نشریه علمی
اقتصاد و توسعه کشاورزی
(علوم و صنایع کشاورزی)

جلد ۴۰ شماره ۳
سال ۱۴۰۵

شماره پیاپی ۷۲
شاپا: ۴۷۲۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

ارزیابی اثرات رفاهی و زیست‌محیطی استفاده از انرژی زیست‌توده سلولزی در ایران ۲۳۹
امیر مهرجو- حمید امیرنژاد- کمال عطایی سلوط- حسین آزادی

چالش‌های پایداری واحدهای تولید دامی مبتنی بر چرا در شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: استان کرمانشاه)..... ۲۵۵
شیوا نجاتیان- حسین شعبانعلی فمی- ناصر مطیعی

واکاوی نقش فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در توسعهٔ کشاورزی هوشمند با نقش میانجی تحول دیجیتال (مورد مطالعه: استان اردبیل)..... ۲۷۹
ناصر سیف‌اللهی

مطالعه ترکیب بهینه پایدار محصولات کشاورزی منتخب کم‌آب‌بر ایران ۲۹۳
ریحانه اله‌وردی- حامد رفیعی- اسماعیل پیش‌بهار- سعید یزدانی- مهدی پندار- عبدالمجید لیاقت

تحلیل موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی از دیدگاه گلخانه‌داران استان تهران ۲۲۱
محمد خراسانی- فاطمه رزاقی بورخانی- طاهر عزیزی خالخیلی

ارزیابی کارایی زیست-اقتصادی بازیافت ضایعات مواد غذایی در ایران: رویکرد تحلیل پوششی داده‌های پویا با خروجی‌های نامطلوب ۲۴۱
خدیجه کریمی- مصطفی مردانی نجف‌آبادی- عباس میرزایی

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی

(علوم وصنایع کشاورزی)

با شماره پروانه 21/2015 / 68/4/11 و درجه علمی – پژوهشی شماره 26524 / 73/10/19 از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

جلد 40 شماره 3 پاییز 1405

بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال 1398، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند.

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: رضا ولی زاده — تغذیه نشخوارکنندگان(دانشگاه فردوسی مشهد)

سردبیر: ناصر شاهنوشی — اقتصاد کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیئت تحریریه:

اکبری، احمد	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه سیستان وبلوچستان)
بخشوده، محمد	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه شیراز)
حسن زاده، سمیرا	گروه اقتصاد (دانشگاه هورون، کانادا)
دانشور کاخکی، محمود	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)
دوراندیش، آرش	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه تهران)
دشتی، قادر	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه تبریز)
قاضیانی، شاهین	گروه کاربردهای کامپیوتری و مدیریت بازرگانی در کشاورزی(دانشگاه هوهنهایم، اشتوتگارت، آلمان)
رستگاری، شیدا	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه ایالتی اوکلاهما، آمریکا)
جان باودن، ریچارد	کشاورزی (دانشگاه وسترن سیدنی، استرالیا)
زیبایی، منصور	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه شیراز)
ایجمانیگبوهان، ساندی استفان	دانشکده علوم مدیریت (دانشگاه ایالتی لاگوس، اوجو، لاگوس نیجریه)
سلامی، حبیب اله	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه تهران)
سقاییان نژاد، سید حسین	دانشکده کشاورزی (دانشگاه کنتاکی، آمریکا)
شاهنوشی، ناصر	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)
صبوحی صابونی، محمود	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)
صدر، سید کاظم	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه شهید بهشتی تهران)
عبدشاهی، عباس	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان)
کرباسی، علیرضا	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)
مجاوریان، سید مجتبی	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری)
مهدوی عادلی، محمد حسین	اقتصاد (دانشگاه فردوسی مشهد)
رابرت رید، میچل	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه کنتاکی، آمریکا)
نجفی، بهاء الدین	اقتصاد کشاورزی (دانشگاه شیراز)
وانگ، چی	گروه علوم علفزار (دانشگاه کشاورزی گانسو، چین)
همایونی فر، مسعود	اقتصاد (دانشگاه فردوسی مشهد)

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد - کد پستی 91775 صندوق پستی 1163

دانشکده کشاورزی _ دبیرخانه نشریات علمی _ نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی

پست الکترونیکی: Jead2@um.ac.ir

این نشریه به صورت فصلنامه (4 شماره در سال) چاپ ومنتشر می شود.

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

ارزیابی اثرات رفاهی و زیست‌محیطی استفاده از انرژی زیست‌توده سلولزی در ایران 239
امیر مهرجو - حمید امیرنژاد - کمال عطایی سلوط - حسین آزادی

چالش‌های پایداری واحدهای تولید دامی مبتنی بر چرا در شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: استان کرمانشاه) 255
شیوا نجاتیان - حسین شعبانعلی فمی - ناصر مطیعی

واکاوی نقش فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در توسعهٔ کشاورزی هوشمند با نقش میانجی تحول دیجیتال (مورد مطالعه: استان اردبیل) 279
ناصر سیف‌اللهی

مطالعه ترکیب بهینه پایدار محصولات کشاورزی منتخب کم‌آب‌بر ایران 293
ریحانه الهوردی - حامد رفیعی - اسماعیل پیش‌بهار - سعید یزدانی - مهدی پندار - عبدالمجید لیاقت

تحلیل موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی از دیدگاه گلخانه‌داران استان تهران 221
محمد خراسانی - فاطمه رزاقی بورخانی - طاهر عزیزی خالخیلی

ارزیابی کارایی زیست-اقتصادی بازیافت ضایعات مواد غذایی در ایران: رویکرد تحلیل پوششی داده‌های پویا با خروجی‌های نامطلوب 241
خدیجه کریمی - مصطفی مردانی نجف‌آبادی - عباس میرزایی

Journal of Agricultural Economics & Development

Homepage: https://jead.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 3, Fall 2026, p. 237-252

Evaluating the Welfare and Environmental Impacts of Using Cellulosic Biomass Energy in Iran

A. Mehrjo[1], H. Amirnejad[1*], K. Ataie Solout[1], H. Azadi[2]

1- Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(*- Corresponding Author Email: hamidamirnejad@yahoo.com)

2- Department of Geography, Ghent University, 9000 Ghent, Belgium

Received: 15 May 2025
Revised: 17 February 2026
Accepted: 19 April 2026
Available Online: 19 April 2026

How to cite this article:

Mehrjo, A., Amirnejad, H., Ataie Solout, K., & Azadi, H. (2026). Evaluating the welfare and environmental impacts of using cellulosic biomass energy in Iran. *Journal of Agricultural Economics & Development, 40*(3), 237-252. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jead.2026.93528.1353

Introduction

Energy production from agricultural residue is an important research area with significant potential for sustainable energy production. In Iran, the use of agricultural waste for energy production, due to its favorable geographical characteristics, has the potential to address energy security, reduce greenhouse gas (GHG) emissions, and create economic opportunities for rural communities. Rice and wheat are major crops in Iran, which produce residue in the form of rice husk and wheat straw, respectively, which can be converted into energy sources. Biomass energy production from agricultural residue is currently being carried out worldwide. Although biomass energy is believed to be an effective option in terms of domestic renewable energy production, its ability to improve social welfare is controversial. Therefore, this study aims to examine the extent to which increases in biomass prices affect social welfare. It also investigates the potential for reducing greenhouse gas emissions through electricity generation using biomass derived from two major agricultural crops, wheat and rice.

Materials and Methods

This study evaluates the welfare and environmental impacts of using biomass derived from two major crops, wheat and rice. To achieve this objective, a partial equilibrium model was employed to maximize the total surplus of biomass producers and consumers, subject to resource availability constraints, thereby assessing the economic implications of biomass utilization. In addition, the potential for carbon dioxide emission reduction was estimated through a life cycle assessment of biomass-based electricity generation and by comparing its emissions with those associated with electricity generated from fossil fuels.

Results and Discussion

The results of the model simulation show that the welfare of biomass consumers decreases and that of biomass producers increases; so that the maximum social welfare is achieved at a price of 28.63 million Tomans per ton for wheat biomass and 27.59 million Tomans per ton for rice biomass. The results also showed that an increase in the price of biomass leads to an increase in biomass production, and by using this biomass produced from the two crops wheat and rice in electricity generation, greenhouse gas emissions can be reduced by 8.2 percent in the country.

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

https://doi.org/10.22067/jead.2026.93528.1353

Conclusion

Wheat straw and rice straw are among the agricultural residues that are used to produce electrical energy. Increasing the price of electrical energy produced from crop residue will increase the supply of biomass from wheat and rice crops, because straw and stubble can be a source of income for farmers in addition to the main wheat and rice crops, and on the other hand, by collecting straw and stubble, their burning in the fields is prevented. Given the increasing demand for electrical energy in the country, this study can be a basis for the government and policymakers to think of a solution for generating electricity from agricultural waste on a large scale that can produce clean energy and manage agricultural land residue. Therefore, according to the results of this study, it is suggested that by setting an appropriate price for wheat and rice straw and stubble, it is possible to collect them and not burn them in the fields, and to invest in biomass energy plants to produce clean energy. In this study, agricultural producers and power plants are considered as biomass consumers, and potential electricity market effects are ignored. To inform the sustainable use of biomass resources, the proposed model can be extended to the electricity sector consumed by the government and households. In addition, further research is needed to examine environmental impacts, such as biodiversity and water consumption, in a broader manner. The authors leave these explorations to future work.

Keywords: Agricultural residues, Biomass, Consumer and producer surplus, Partial equilibrium model, Rice, Wheat

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
https://jead.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۴۰، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، ص.۲۵۲-۲۳۷

ارزیابی اثرات رفاهی و زیست‌محیطی استفاده از انرژی زیست‌توده سلولزی در ایران

امیر مهرجو[۱]- حمید امیرنژاد[۱*]- کمال عطایی سلوط[۱]- حسین آزادی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۳۰

چکیده

تولید انرژی از بقایای کشاورزی یک حوزه مهم تحقیقاتی با پتانسیل قابل‌توجهی برای تولید انرژی پایدار است. در ایران، استفاده از بقایای کشاورزی برای تولید انرژی، به‌دلیل ویژگی‌های جغرافیایی مطلوب، پتانسیل مقابله با ناامنی انرژی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ایجاد فرصت‌های اقتصادی برای جوامع روستایی را دارد؛ بنابراین، هدف این مطالعه ارزیابی اثرات رفاهی و زیست‌محیطی استفاده از انرژی زیست‌توده سلولزی در ایران، با تمرکز ویژه بر استفاده از یک مدل تعادل جزئی با به حداکثر رساندن مجموع مازاد مصرف‌کنندگان زیست‌توده و تولیدکنندگان زیست‌توده، مشروط به محدودیت‌های در دسترس بودن منابع برای تحلیل پیامدهای اقتصادی است. در این مطالعه جهت ارزیابی اثرات رفاهی و زیست‌محیطی از زیست‌توده دو محصول گندم و برنج استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی مدل نشان می‌دهد که رفاه مصرف‌کنندگان زیست‌توده کاهش و تولیدکنندگان زیست‌توده افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که در قیمت ۲۸۶/۳ میلیون ریال در هر تن برای زیست‌توده گندم و ۲۷۵/۹ میلیون ریال در هر تن برای زیست‌توده برنج حداکثر رفاه اجتماعی حاصل می‌گردد. همچنین نتایج نشان داد که افزایش قیمت زیست‌توده منجر به افزایش تولید زیست‌توده می‌شود و با بکارگیری این زیست‌توده تولید شده از دو محصول گندم و برنج در تولید برق می‌توان میزان انتشار گاز گلخانه‌ای را تا ۸/۲ درصد در کشور را کاهش داد؛ بنابراین با توجه به نتایج، قیمت‌گذاری مناسب زیست‌توده و ایجاد انگیزه برای جمع‌آوری پسماند محصولات کشاورزی و سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های تولید برق از زیست‌توده می‌تواند به‌عنوان سیاست‌های افزایش رفاه اجتماعی و بهبود کیفیت محیط‌زیست انتخاب شود. در نهایت نتایج این تحقیق می‌تواند به سیاست‌گذاری برای توسعه استراتژی های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور با منابع فراوان زیست‌توده کمک کند.

واژه‌های کلیدی: بقایای کشاورزی، برنج، زیست‌توده، گندم، مازاد مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان، مدل تعادل جزئی

مقدمه

تولید انرژی از سوخت‌های فسیلی یکی از عوامل مهم انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات آب و هوایی است. برای کنترل این اثرات، روش‌های زیادی از جمله بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر توسط دانشمندان و محققان پیشنهاد شده است (Fadai, 2007; Taufiq *et al.*, 2007). این روش‌ها در حال حاضر توسط برخی کشورها (مانند چین، ایالات متحده آمریکا، آلمان، هند، اروگوئه، برزیل) استفاده می‌شود و به نظر می‌رسد انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی خورشیدی، بادی، برق‌آبی، زمین‌گرمایی و زیست‌توده منبع اصلی انرژی برای جهان در آینده باشد (Abdullah-Al-Mahbub & Islam, 2023).

در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، زیست‌توده به‌طور گسترده به‌عنوان یک انرژی تجدیدپذیر برای کاهش انتشار دی اکسید کربن و آلودگی محیط‌زیست توصیه شده است (Popp *et al.*, 2021). در حال حاضر زیست‌توده چهارمین منبع اصلی انرژی در جهان پس از زغال‌سنگ،

۱- گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: hamidamirnejad@yahoo.com)
۲- گروه جغرافیا، دانشگاه گنت، بلژیک

https://doi.org/10.22067/jead.2026.93528.1353

نفت و گاز طبیعی است. این منبع تقریباً ۱۴ درصد از انرژی اولیه جهانی را تأمین می‌کند و در حال حاضر بیش از ۱۱/۵ درصد از انرژی اولیه جهانی از طریق منابع زیست‌توده تأمین می‌شود (Bahrami & Abbaszadeh, 2013). زیست‌توده یک منبع تجدیدپذیر از محصولات زراعی، بقایای گیاهی، منابع جنگلی، زباله‌های شهری و فضولات دام است که در سراسر جهان یافت می‌شود (Makul *et al.*, 2021). به تمام گیاهان طبیعی مانند درختان، محصولات کشاورزی، بوته‌ها و علف‌ها که دارای سلولز[1]، همی‌سلولز[2] و لیگنین[3] هستند زیست‌توده لیگنوسلولزی یا زیست‌توده سلولزی گفته می‌شود (Chowdhury *et al.*, 2025). پس از برداشت محصولات کشاورزی، برخی از بقایای گیاهی به‌عنوان کود به خاک برگردانده می‌شوند، در حالی‌که مقادیر زیادی بلااستفاده می‌مانند و در نهایت در مزرعه سوزانده می‌شوند یا رها می‌شوند تا پوسیده شوند. این بقایای گیاهی، زیست‌توده سلولزی پس از برداشت محصولات کشاورزی هستند و بزرگ‌ترین نوع زیست‌توده تولید شده از نظر وزنی هستند (Quartey & Chýlková, 2012).

فناوری‌های تبدیل انرژی زیست‌توده، استفاده از محصولاتی مانند گندم، برنج، ذرت، دانه‌های روغنی و نیشکر را گسترش داده است و کشاورزان را قادر می‌سازد محصولات خود را فراتر از مواد غذایی و خوراک دام به بازار عرضه کنند (Revilla *et al.*, 2022). استفاده از بقایای محصولات کشاورزی برای تولید انرژی، درآمد کشاورزان را افزایش می‌دهد و باعث ایجاد اشتغال در کشاورزی و سایر بخش‌های مرتبط می‌شود که از دیدگاه تولیدکننده، تغییری خوشایند نسبت گذشته است. با این حال، این تغییر به سمت تولید انرژی زیست‌توده مبتنی بر محصولات زراعی همراه با افزایش همزمان هزینه‌های تولید کشاورزی در نتیجه افزایش قیمت انرژی و سایر فشارها بر بخش کشاورزی باعث نگرانی گسترده در کشورها می‌شود (Baye *et al.*, 2019). اوینگ و سانگی (Ewing & Msangi, 2009) استدلال کردند که فشار بیش‌ازحد بر بازارهای محصولات کشاورزی باعث افزایش قیمت بین‌المللی مواد غذایی شده و بر رفاه اجتماعی تأثیر می‌گذارد. تأثیر سیاست‌های مختلف بر بازارهای کشاورزی در چندین مطالعه مدل‌سازی شده است و افزایش مداوم قیمت‌های کالاهای اساسی را در دهه‌های آینده نشان می‌دهد (Von Lampe, 2006; Elobeid & Hart, 2007; Banse & Grethe, 2008; Rosegrant, 2008; Schmidhuber, 2008).

در حالی که کشور ایران از منابع طبیعی فراوان برخوردار است، با چالش‌های چندوجهی ناشی از اتکای شدید به سوخت‌های فسیلی نظیر انتشار بالای دی‌اکسید کربن، ناامنی غذایی، حفاظت از محیط‌زیست و توسعه پایدار مواجه است (Naderi *et al.*, 2021). طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، حدود ۹۹/۱ درصد از کل انرژی مصرفی در ایران از طریق سوخت‌های فسیلی تأمین شده است. این مقدار حدود ۱۸/۷ درصد بیشتر از میانگین جهانی در مدت مشابه است، بنابراین سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل مصرف تنها حدود ۰/۹ درصد بوده است (Solaymani, 2021). این امر باعث شده است که ایران جز منتشرکننده‌های بزرگ دی اکسید کربن سرانه در دنیا باشد (رتبه ۷). با توجه به تنوع اقلیم در مناطق مختلف و کشت انواع محصولات زراعی، ایران پتانسیل قابل‌توجهی برای تنوع بخشیدن به ترکیب انرژی به‌ویژه انرژی زیست‌توده دارد؛ اما یارانه‌های سنگین روی انرژی (۱۲۷ میلیون دلار در سال ۲۰۲۲)، باعث شده انرژی‌های تجدیدپذیر مانند زیست‌توده سلولزی از نظر اقتصادی کمتر رقابت‌پذیر باشند (IEA, 2024). در چنین شرایطی، انگیزه اقتصادی تولید انرژی زیست‌توده کاهش می‌یابد، اما پرداختن به بحث رفاهی و زیست‌محیطی نظیر کاهش انتشار دی اکسید کربن و رفع ناترازی انرژی به‌ویژه برق، در بلندمدت کاملاً ضروری است و می‌تواند به تحقق اهداف برنامه هفتم توسعه کشور کمک زیادی کند.

ایران یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان محصولات کشاورزی در جهان است. تا دهه ۱۹۹۰ منبع اصلی تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران زیست‌توده کشاورزی بود که قبل از استخراج نفت مورد استفاده قرار می‌گرفت (Alavijeh & Yaghmaei, 2016). ایران در ۱۰ سال گذشته به‌طور متوسط حدود ۱۰/۹ میلیون هکتار زمین کشاورزی برای تولید محصولات زراعی داشته است. در ایران، کشاورزی حدود ۱۱ درصد به تولید ناخالص داخلی کمک می‌کند و شغل بیش از ۱۷/۵ درصد از کل جمعیت است (Statistical Center of Iran, 2023). کشت برنج و گندم یک فعالیت اساسی کشاورزی در ایران است که نقش مهمی در امنیت غذایی دارد. این دو محصول ضایعاتی به‌صورت پوسته و کاه برنج و کاه گندم تولید می‌کنند. بیشتر باقیمانده این محصولات در مزارع سوزانده می‌شوند و تنها درصد کمی برای تولید انرژی استفاده می‌شود.

تولید انرژی زیست‌توده از بقایای کشاورزی در حال حاضر در سراسر جهان انجام می‌شود. به‌عنوان مثال کشورهای ایالات متحده آمریکا، چین، برزیل و ژاپن به‌ترتیب با ظرفیت‌های نصب شده تقریباً ۸۱۴۰ مگاوات، ۴۷۸۸ مگاوات، ۴۰۲۴ مگاوات و ۳۷۸۵ مگاوات (IEA, 2024). مقادیر تولید شده بقایای کشاورزی همراه با در دسترس بودن فصلی بقایای کشاورزی عامل اصلی تأثیرگذار بر استفاده از زیست‌توده به‌عنوان سوخت در یک نیروگاه است. این امر مستلزم توسعه یک استراتژی مؤثر توسط دولت برای استفاده از بقایای محصول به‌عنوان سوخت است (Gosens, 2015) که می‌تواند جایگزین سوخت‌های

1- Cellulose
2- Hemicellulose
3- Lignin

فسیلی شود و بر تولید انرژی و رفاه اجتماعی تأثیر بگذارد (Egbendewe-Mondzozo *et al.*, 2011; Maung & McCarl, 2013). بررسی‌ها نشان داد که مطالعات در مورد تأثیر استفاده از انرژی زیست‌توده سلولزی بر رفاه اجتماعی و محیط‌زیست بسیار کم است، اما مطالعات روی انرژی زیست‌توده نسبتاً زیاد است. اگرچه اعتقاد بر این است که انرژی زیست‌توده یک گزینه مؤثر از نظر تولید انرژی تجدیدپذیر داخلی است، اما توانایی آن برای بهبود رفاه اجتماعی بحث‌برانگیز است (Kumar *et al.*, 2023). بررسی جامع مطالعات قبلی نشان می‌دهد که اکثر مطالعاتی که اثرات بازار یک سوخت زیستی را بررسی می‌کنند، بر رقابت برای زمین تمرکز می‌کنند (Thompson *et al.*, 2010; Havlík *et al.*, 2011). برخی از این مطالعات نشان می دهند که انرژی زیست‌توده درآمد جایگزین از طریق اشتغال ایجاد می کند، رشد اقتصادی را افزایش می‌دهد و در نتیجه امنیت غذایی و رفاه را بهبود می‌بخشد (Sulle *et al.*, 2009; Arndt *et al.*, 2011; Hung *et al.*, 2012; Kgathi *et al.*, 2012; Headey & Martin, 2016). برخی از دیگر مطالعات نشان می‌دهند که گسترش انرژی زیست‌توده باعث کاهش در دسترس بودن غذا و افزایش قیمت غذا و در نتیجه کاهش امنیت غذایی و کاهش رفاه می‌شود (Mitchell, 2008; Godfray *et al.*, 2010; Zilberman *et al.*, 2013; Renzaho *et al.*, 2017; Brinkman *et al.*, 2020).

برخی دیگر از محققان بیشتر بر تجزیه‌وتحلیل قیمت، هزینه، منابع زیست‌توده و آلودگی سوخت‌های فسیلی که جایگزین انرژی زیست‌توده می‌شوند تمرکز کرده‌اند (Tofigh & Abedian, 2016; Paolini *et al.*, 2018; Jekayinfa & Scholz; 2009. Xin *et al.*, 2018; Welfle *et al.*, 2020; Zheng & Qiu, 2020). به‌عنوان مثال، لاندالف (Landälv, 2017) به این نتیجه رسید که مهم‌ترین عامل تعیین کننده تولید انرژی زیست‌توده، قیمت مواد اولیه است. بن ایوو و همکاران (Ben-Iwo *et al.*, 2016) منابع زیست‌توده (شامل بقایای کشاورزی، جنگلی، شهری و دیگر) موجود در نیجریه را برای تولید انرژی زیست‌توده ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که ۸۰ درصد از کل انرژی مصرفی در نیجریه را زیست‌توده جامد و زباله‌ها تشکیل می‌دهند. لائوری و همکاران (Lauri *et al.*, 2017) پیامدهای بازار استفاده از زیست‌توده جنگلی برای رسیدن به کاهش میانگین ۲ درجه سانتی‌گراد دمای جهانی را بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که برای رسیدن به این هدف باید بیش از پیش از زیست‌توده استفاده کرد. کانگاس و همکاران (Kangas *et al.*, 2011) تأثیر ابزارهای سیاستی حمایت از انرژی زیست‌توده را بر روی سرمایه‌گذاری در پالایشگاه تولید انرژی از زیست‌توده بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که یارانه کارآمدترین اقدام سیاستی جهت بکارگیری انرژی زیست‌توده در کارخانه‌های خمیر و کاغذ فنلاند است.

برخی از محققان ظرفیت سالانه تولید زیست‌توده را در کشورهای مختلف بررسی کردند (Najafi *et al.*, 2009; Singh & Gu, 2010; Hamzeh *et al.*, 2011; Hosseini *et al.*, 2013; Okello *et al.*, 2013; Gabisa & Gheewala, 2018; Tolessa, 2023; Sebastian *et al.*, 2025). به‌عنوان مثال، اوزدیل و کالیسکان (Ozdil & Caliskan, 2022) پتانسیل زیست‌توده تولید شده از محصولات کشاورزی و تولید برق با استفاده از زیست‌توده برای مناطق ترکیه را بین سال‌های ۲۰۱۸–۲۰۰۸ محاسبه کردند. مجموع زیست‌توده حاصل شده از محصولات زراعی ۷۷۱۳۵۴ کیلوتن محاسبه شد که ۵۹۹۱۶۶ کیلوتن از این مقدار ناشی از محصولات زراعی و ۱۷۲۱۸۸ کیلوتن مربوط به محصولات باغی بوده است. بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از وزارت انرژی ترکیه، برق مصرفی در دوره ۲۰۰۸–۲۰۱۸ برای ترکیه ۲۷۲۶ × ۱۰۹ کیلووات ساعت است در حالی‌که پتانسیل برق به دست آمده از محصولات در همان سال‌ها حدود ۹۹۴ × ۱۰۹ کیلووات ساعت است؛ یعنی ۳۶ درصد انرژی مورد نیاز را می‌توان از پتانسیل زیست‌توده محصولات کشاورزی تأمین کرد.

حسن و آمنبرگ (Hasan & Ammenberg, 2019) تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر را به‌عنوان راهی پایدار برای کاهش انتشار CO_2 در نظر گرفتند؛ بنابراین، آن‌ها به پتانسیل تولید بیوگاز از زباله‌های شهری و بقایای کشاورزی در قلمرو شهری داکا به نام هزاری باغ پرداختند. آن‌ها نشان دادند که پتانسیل خوبی برای تولید بیوگاز و تولید برق از زباله‌های شهری و بقایای کشاورزی هزاری باغ وجود دارد.

یوزیر و همکاران (Uzair *et al.*, 2020) استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در پاکستان را بهترین راه برای جبران نیازهای انرژی و کاهش مصرف سوخت فسیلی دانستند. آن‌ها نشان دادند که سالانه مقدار زیادی بقایای کشاورزی تولید می‌شود که می‌تواند به‌عنوان یک نهاده ارزان برای تولید برق استفاده شود. نتایج آن‌ها نشان داد که در مجموع می‌توان حدود ۱۷۰۰ مگاوات برق از بقایای کشاورزی چهار محصول اصلی (به‌عنوان مثال، ذرت، پنبه، گندم و برنج) تولید کرد.

ترکیب انرژی در ایران از چهار منبع اصلی تشکیل شده است که عبارت‌اند از: نفت خام (ایران چهارمین تولیدکننده بزرگ نفت در جهان است)، گاز طبیعی (ایران اولین در خاورمیانه و دومین در جهان است)، زغال‌سنگ (فقط ۰/۲۱ درصد از ترکیب انرژی در ایران را سهم دارد) و انرژی‌های تجدیدپذیر (کمتر از ۱٪). از آنجایی‌که ایران ششمین تولیدکننده سرانه گازهای گلخانه‌ای در جهان است (۲/۱۴ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان) و با توجه به پتانسیل استفاده از منابع انرژی زیست‌توده، ایران باید به استفاده از انرژی زیست‌توده توجه بیشتری داشته باشد (Mohammadnejad *et al.*, 2011). بررسی ادبیات تحقیق نشان داد مطالعات زیادی برای ترویج استفاده از انرژی زیست‌توده انجام شده است؛ اما اثرات رفاهی و زیست‌محیطی استفاده از انرژی زیست‌توده سلولزی در ایران هنوز بررسی نشده است؛ بنابراین در این مطالعه به دنبال بررسی این موضوع هستیم که افزایش قیمت زیست‌توده تا چه حد می‌تواند رفاه اجتماعی را تغییر دهد. همچنین در

این مطالعه پتانسیل کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای با بکارگیری زیست‌توده تولید شده از دو محصول گندم و برنج در تولید برق مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

روش‌شناسی برای ارزیابی رفاه اجتماعی

روش‌های مختلفی برای مطالعه تولید انرژی زیست‌توده استفاده شده است (Lobell & Burke, 2010; Chen *et al.*, 2016)، اما چانگ و همکاران (Chang *et al.*, 2012) به این نتیجه رسیدند که تحلیل‌های کل بخش مانند مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی بر مدل‌های آماری ارجحیت دارند، زیرا آن‌ها به‌طور مناسب تغییرات رفاه اجتماعی را تحت واکنش‌های مختلف بازار به تصویر می‌کشند. بر همین اساس این مطالعه یک چارچوب برنامه‌ریزی ریاضی را پیشنهاد می‌کند تا تغییر قیمت انرژی زیست‌توده سلولزی را بر رفاه اجتماعی بررسی کند.

نظریه تعادل جزئی ابتدا توسط مارشال در سال ۱۹۲۰ مطرح شد (Canova, 1994). تعادل جزئی به وضعیتی اشاره دارد که در آن رابطه عرضه و تقاضای یک بازار واحد می‌تواند قیمت کالاها را تعیین کند و سایر بازارها ثابت فرض شوند. در تحلیل تعادل جزئی حوزه تحلیل به یک بخش خاص اقتصاد داخلی و بین‌المللی محدود می‌شود و سایر موارد حداقل به‌طور نظری ثابت فرض می‌شوند. اگرچه در چنین تحلیلی رابطه بین بازارهای مختلف مورد توجه قرار نمی‌گیرد اما درک آثار ناشی از سیاست‌ها در تحلیل تعادل جزئی بسیار آسان است؛ بنابراین، استفاده از مدل‌های تعادل جزئی می‌تواند برای تحلیل آثار اعمال سیاست‌های مختلف بسیار مفید باشد. در ایجاد این مدل‌ها، به اطلاعات بسیار محدودتری نسبت به مدل‌های تعادل عمومی نیاز است که با واقعیت محدودیت اطلاعات در کشورهای جهان سوم، انطباق بیشتری دارد (Sacchelli *et al.*, 2014).

چارچوب مدل در مطالعه حاضر، از پژوهش ساموئلسون (Samuelson, 1952) و چندین مطالعه دیگر (Adams *et al.*, 1990; Kung *et al.*, 2013) گرفته شده است. تاکایاما و جادج (Takayama & Judge, 1964) رویکرد ساموئلسون را به مسائل تعادل مکانی و زمانی گسترش دادند و نشان دادند که با به حداکثر رساندن مجموع مازاد مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان، مشروط به محدودیت‌های در دسترس بودن منابع، می‌توان تعادل اقتصادی چند بازاری را حل کرد. در این دسته از مدل‌ها، قیمت‌ها به‌صورت برون‌زا اعمال نمی‌شوند؛ بلکه به‌صورت درون‌زا به‌عنوان قیمت‌های سایه‌ای مرتبط با محدودیت‌های تسویه بازار تعیین می‌شوند. این روش در مطالعات تجربی متعددی مورد استفاده قرار گرفته است (McCarl & Spreen, 1980; Chang *et al.*, 1992; Lambert *et al.*, 1995; McCarl & Schneider, 2000; Guieysse *et al.*, 2013; Kung & Zhang, 2015). این مدل، بازارهای کالاهای کشاورزی و انواع مختلفی از بقایای محصول را در نظر می‌گیرد. در این تحقیق از رویکرد تاکایاما و جادج (Takayama & Judge, 1964) و با استناد به مطالعه ونگ (Wang, 2023) مدل برنامه‌ریزی ریاضی توسعه‌یافته غیرخطی به شرح زیر استفاده شده است:

$$
\begin{aligned}
&Max\ W \\
&= \left[\left(\sum_i [\beta_0 + \beta_1 S_i] - \sum_i C_i Land_i\right)\right. \\
&+ \left(\sum_i [(pwx_{(i)}.(1 - tx_{(i)})Exchange + CostX_{(i)})X_i]\right. \\
&\left.\left. - \sum_i [(pwm_{(i)}.(1 + tm_{(i)}) + CostM_{(i)})M_i]\right)\right. \\
&\left. + \sum_i [(Biomass_{(i)}.PBiomass_i - CostBiomass_{(i)})Land]\right] \\
&+ \left[\sum_i [P_{electricity} \times Q_{electricity}]\right. \\
&\left. - \sum_i [TVC + TFC + TC_{emission}]\right]
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

Subject to:

$$S_i + M_i \geq X_i + D_i \qquad (۲)$$

$$P_i \leq \beta_{0(i)} + \beta_{1(i)} S_i \qquad (۳)$$

$$(pwm_{(i)}.(1 + tm_{(i)}) + CostM_{(i)}) \leq P_i \qquad (۴)$$

$$(pwx_{(i)}.(1 - tx_{(i)})Exchange + CostX_{(i)}) \geq P_i \qquad (۵)$$

$$\sum_i TEP_i = \sum_i Biomass_i \times RPR_i \times A_i \times HV_i \qquad (۶)$$

$$Emission_{CO_2} = \gamma \times Q_{electricity} \qquad (۷)$$

$$\sum_i L_i \leq Total\ land \qquad (۸)$$

در معادله (۱)، β_0 عرض از مبدأ تابع تولید محصول iام، β_1 کشش متغیرهای مستقل تابع تولید محصول iام، S_i مقدار تولید محصول iام، $pwx_{(i)}$ قیمت صادراتی محصول iام، $tx_{(i)}$ تعرفه صادرات محصول iام، $Exchange$ نرخ ارز، $COSTX_i$ هزینه صادرات محصول iام، X_i مقدار صادرات محصول iام، $pwm_{(i)}$ قیمت وارداتی محصول iام، $CostM_{(i)}$ هزینه واردات مجصول iام، M_i مقدار واردات محصول iام، $Biomass_{(i)}$ مقدار زیست‌توده محصول iام، $PBiomass_{(i)}$ قیمت زیست‌توده محصول iام، $CostBiomass_{(i)}$ هزینه جمع‌آوری زیست‌توده محصول iام، $Land_{(i)}$ مقدار زمین تخصیص یافته به محصول iام، $P_{electricity}$ قیمت برق تولیدی توسط نیروگاه زیست‌توده، $Q_{electricity}$ مقدار برق تولیدی توسط نیروگاه زیست‌توده، TVC هزینه‌های متغیر نیروگاه زیست‌توده، TFC هزینه‌های ثابت نیروگاه زیست‌توده و $TC_{emission}$ مالیات انتشار کربن نیروگاه زیست‌توده می‌باشد. در واقع معادله (۱) از مجموع دو قسمت اصلی تشکیل شده است. قسمت اول مربوط به مازاد تولیدکننده می‌باشد. در واقع این کمیت معیاری است که افزایش منفعت کشاورزان را در هر سطح تولیدی از محصولات که سود کشاورزان حداکثر می‌شود را نشان

می‌دهد. به عبارت دیگر مازاد رفاه تولیدکننده عبارت است از اختلاف میان درآمد کل و هزینه‌های تولید برای یک کشاورز است (Gregory Mankiw, 2006). قسمت دوم مربوط به مازاد مصرف‌کننده است. در واقع نیروگاه‌های تولید برق از زیست‌توده به‌طور عادی برای کالای مورد نظر خود (انرژی الکتریکی) مقدار کمتری از آنچه که برای از دست ندادن کالا حاضر به پرداخت هستند، می‌پردازند. بنابراین مقدار کمی فوق عبارت است از اختلاف حداکثر قیمتی که مصرف‌کننده مایل است در هر مقدار برای انرژی الکتریکی بپردازد با قیمتی که در بازار می‌پردازد. لذا مازاد مصرف‌کننده جهت بهینه‌سازی رفتار طرف تقاضا در مدل در نظر گرفته شده است که شامل رفاه مصرف‌کننده از محل تقاضای انرژی الکتریسیته است. در واقع این قسمت از تابع هدف با در نظر گرفتن هزینه‌های نیروگاه دارای متغیر تصمیم سطح فعالیت تولید برق در جهت تأمین تقاضای آن می‌باشد (Gregory Mankiw, 2006).

معادلات (۲–۸) از دیدگاه‌های مختلف بیانگر تعادل در بازار است. معادله (۲) تعادل کمی در بازار محصولات کشاورزی را نشان می‌دهد که در آن مقدار کل محصولات کشاورزی تولید شده و وارداتی باید پاسخگوی نیازهای داخلی و صادرات باشد. معادله (۳) رفتار تولیدکننده را نشان می‌دهد؛ جایی که عرضه بهینه زمانی رخ می‌دهد که هزینه تولید نهایی بیشتر یا برابر با درآمد نهایی تولید باشد. معادلات ۴ و ۵ بیانگر امکان واردات و صادرات محصولات کشاورزی در مدل است. در این معادلات P_i بیانگر قیمت محصول iام می‌باشد.

در معادله (۴)، $(pwm_{(i)}.(1+tm_{(i)})+CostM_{(i)})$ قیمت محصول وارداتی را نشان می‌دهد؛ بنابراین تا زمانی‌که قیمت محصول وارداتی کمتر یا برابر قیمت داخلی آن محصول باشد، واردات در سطح بهینه خواهد بود. همچنین، زمانی صادرات در سطح بهینه خواهد بود که قیمت محصول صادراتی بیشتر یا برابر با قیمت داخلی آن محصول باشد، یعنی $(pwx_{(i)}.(-tx_{(i)})Exchange+CostX_{(i)})$ (معادله ۵). در معادله (۶) TBP_i بیانگر پتانسیل نظری زیست‌توده[1] است و کل تولید سالانه زیست‌توده به‌دست آمده از بقایای کشاورزی را نشان می دهد. ارزش TBP_i بسته به مقدار تولید سالانه محصولات و نسبت تولید به بقایا[2] (RPR) متفاوت است. به‌عنوان مثال RPR=2 نشان می‌دهد که به ازای هر تن تولید محصول، دو تن بقایا تولید می‌شود (Singh, 2015). در این معادله A_i نرخ جمع‌آوری بقایا است که به‌صورت درصد بیان می‌شود. HV_i نیز نشان‌دهنده ارزش گرمایشی نیروگاه است که واحد آن MJ/kg می‌باشد (Ozturk & Bascetincelik, 2006; Iye & Bilsborrow, 2013; Milhau & Fallot, 2013; Okello *et al.*, 2013; Riva *et al.*, 2014). در نهایت معادله (۸) نیز بیانگر این مطلب است که کل زمینی که به محصول iام تخصیص داده شده است نمی‌تواند از کل اراضی کشاورزی بیشتر باشد.

محاسبه مقدار کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای با بکارگیری زیست‌توده برای تولید برق

با استفاده از معادله (۹) میزان انتشار گاز گلخانه‌ای در حالتی‌که نیروگاه‌ها تنها از سوخت فسیلی[3] برای تولید برق استفاده کنند، محاسبه می‌شود:

$$GHG_{fossil} = Q_{fossil} \times EF_{fossil} \quad (۹)$$

در رابطه (۹)، Q_{fossil} بیانگر کل مقدار برق تولیدی مبتنی بر سوخت فسیلی گاز طبیعی برحسب کیلووات ساعت است که مقدار آن حدود ۲۴ هزار و ۳۹۲ مگاوات ساعت در کشور است (Ministry of Energy, 2023). EF_f ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای از نیروگاه سوخت فسیلی است که مقدار آن ۸۵۶ گرم دی اکسید کربن به ازای تولید هر کیلووات ساعت برق است (Wang, 2023).

کل انتشار گاز گلخانه‌ای از نیروگاه زیست‌توده با استفاده از معادله (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$GHG_{bio}=GHG_{harvest}+GHG_{preprocessing}+GHG_{transportation}+GHG_{burn} \quad (۱۰)$$

در معادله (۱۰)، GHG_{bio} چرخه حیات[4] انتشار گاز گلخانه‌ای ناشی از استفاده از زیست‌توده برای تولید برق است. $GHG_{harvest}$ انتشار گازهای گلخانه‌ای از مزرعه به‌دلیل عملیات کاشت، داشت و برداشت محصولات و بقایای محصولات کشاورزی است. $GHG_{preprocessing}$ انتشار گازهای گلخانه‌ای با پیش‌پردازش زیست‌توده شامل خرد کردن، عدل‌بندی، حمل، ذخیره‌سازی و غیره است (Phanphanich & Mani, 2011; Masum *et al.*, 2020). $GHG_{transportation}$ انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از انتقال زیست‌توده از مکان جمع‌آوری به نیروگاه‌ها است؛ GHG_{burn} نشان‌دهنده انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از سوزاندن زیست‌توده برای تولید برق است. با استناد به مطالعه وانگ (Wang, 2023) مقدار GHG_{bio} ۲۳۵ تا ۳۲۵ گرم دی اکسید کربن برای تولید هر کیلووات ساعت برق به ازای هر تن زیست‌توده است[5].

در نهایت کاهش در انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از جایگزینی سوخت فسیلی با زیست‌توده با استفاده از معادله (۱۱) برآورد می‌شود:

$$GHG_{savig} = GHG_{fossil} - GHG'_{fossil} - GHG_{bio} \quad (۱۱)$$

1- Theoretical Biomass Potential
2- Residue Production Ratio
۳- در این تحقیق فرض شده است که نیروگاه سوخت فسیلی از سوخت پایه گاز برای تولید برق استفاده می‌کند؛ چرا که بیش از ۸۰ در صد نیروگاه‌ها از سوخت گاز برای تولید برق در کشور استفاده می‌کنند.
4- Life Cycle
۵- با توجه به شدت انرژی چرخه سوخت، مشخصات سوخت زیستی، فناوری مورد استفاده و راندمان تبدیل حرارتی در تولید برق این رقم متفاوت است.

جدول ۱- منابع داده‌های مورد استفاده در مدل

Table 1- Data sources used in the model

متغیرهای تصمیم Decision variables	تعریف Definition	منبع Source	متغیرهای تصمیم Decision variables	تعریف Definition	منبع Source
S_i	مقدار تولید محصولات Production quantity of crops	بانک مرکزی Central bank	$Q_{electricity}$	مقدار برق تولیدی توسط نیروگاه زیست‌توده Amount of electricity produced by the biomass power plant	سازمان انرژی‌های نو New energy organization
M_i	مقدار واردات Import quantity	فائو FAO	L_i	زمین‌های تحت کشت گندم و برنج Land under wheat and rice (cultivation (hectares	مرکز آمار ایران Statistical center of Iran
X_i	مقدار صادرات Export quantity	فائو FAO	P_i	قیمت‌های داخلی محصولات Domestic prices of crops	مرکز آمار ایران Statistical center of Iran
			$Biomass_{(i)}$	مقدار زیست‌توده Amount of biomass	یافته‌های تحقیق Research findings
پارامترها Parameters	تعریف Definition	منبع Source	پارامترها Parameters	تعریف Definition	منبع Source
$Exchange$	نرخ ارز Exchange rate	بانک جهانی World bank	TVC	هزینه‌های متغیر نیروگاه Variable costs of power plant	آژانس بین‌المللی انرژی EIA
$CostX_{(i)}$	هزینه صادرات Export cost	گمرک Customs	TEP_i	پتانسیل نظری زیست‌توده Theoretical biomass potential	یافته‌های تحقیق Research findings
β_1 و β_0	ضرایب تابع عرضه Supply function coefficients	یافته‌های تحقیق Research findings	$P_{electricity}$	قیمت هر kwh برق نیروگاه زیست‌توده Price per kwh of electricity from biomass power plant	گزارش‌های وزارت نیرو Ministry of Energy reports
$tx_{(i)}$	تعرفه صادرات Export tariff	گمرک Customs	RPR_i	نرخ تولید بقایا Residue production rate	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122662
$pwm_{(i)}$	قیمت واردات محصولات Import price of crops	Trading economics	A_i	ضریب دسترسی بقای residue accessibility factor	https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.053
$CostM_{(i)}$	هزینه واردات Import costs	گمرک Customs	HV_i	ارزش حرارتی بقایا Residue heating value	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122662
$TC_{emission}$	هزینه انتشار دی اکسید کربن از نیروگاه The cost of carbon dioxide emissions from a power plant	آژانس بین‌المللی انرژی EIA	$Emission_{CO_2}$	انتشار دی اکسید کربن از نیروگاه زیست‌توده Carbon dioxide emissions from biomass power plants	سازمان انرژی‌های نو New Energy Organization
$pwx_{(i)}$	قیمت صادرات محصولات Export price of crops	Trading economics	γ	مقدار انتشار به ازای هر kwh Emissions per kwh	doi.org/10.3390/en16062725
$PBiomass_i$	قیمت زیست‌توده Biomass price	سامانه تأمین دام و طیور Livestock and poultry supply system	TFC	هزینه ثابت نیروگاه Fixed cost of power plant	آژانس بین‌المللی انرژی EIA
$CostBiomass_{(i)}$	هزینه جمع‌آوری زیست‌توده Cost of biomass collection	پرسشنامه جهاد کشاورزی Agricultural Jihad Questionnaire	$Land$	کل مساحت زمین‌های کشاورزی Total area of agricultural land	بانک جهانی World Bank
			$tm_{(i)}$	تعرفه واردات Import tariff	گمرک Customs

در معادله (۱۱)، GHG_{saving} کاهش در انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب گرم دی‌اکسید کربن است به ازای هر کیلووات ساعت است.

همچنین GHG'_{fossil} میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید برق با استفاده از سوخت فسیلی با قیمت زیست‌توده غیر صفر است. $GHG_{fossil} - GHG'_{fossil}$ نشان‌دهنده انتشار گازهای گلخانه‌ای است که با جایگزینی زیست‌توده به‌جای سوخت فسیلی در نیروگاه کاهش می‌یابد.

منابع داده‌ها

در این تحقیق بقایای دو محصول مهم و استراتژیک کاه گندم و کاه برنج را در نظر گرفته شده است. چرا که این دو محصول بالاترین میزان تولید بقایا در کشور را دارند[۱]. داده‌های مورد نیاز برای کالیبراسیون مدل شبیه‌ساز ریاضی از منابع مختلف استخراج شده است که در جدول ۱ نشان داده شده است. مقادیر پارامترهای تابع عرضه با برآورد انواع توابع تولید به‌صورت مقطعی برای سال ۱۴۰۲ برای دو محصول گندم و برنج و انتخاب بهترین نوع تابع برآورد گردید و در مدل جای‌گذاری شد. در نهایت مدل شبیه‌ساز ریاضی در محیط نرم‌افزار GAMS اجرا و با استفاده از الگوریتم CONOPT3 حل شد.

نتایج و بحث

با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی با سناریوهای طراحی شده افزایش قیمت زیست‌توده، تغییرات تولید محصولات، مقدار زیست‌توده، مازاد مصرف‌کننده، مازاد تولیدکننده و در نهایت تغییرات رفاه جامعه بررسی شده است. در این تحقیق قیمت زیست‌توده در چهار سناریوی افزایش ۲۵ درصد نسبت به قیمت پایه، افزایش ۵۰ درصد نسبت به قیمت پایه، افزایش ۷۵ درصد نسبت به قیمت پایه و افزایش ۱۰۰ درصد نسبت به قیمت پایه در نظر گرفته شده است.

جدول ۲ نشان می‌دهد که با توجه به سناریوها، افزایش قیمت زیست‌توده برای ترغیب کشاورزان به جمع‌آوری بقایای محصول گندم مورد نیاز است. تولید کل محصول و تولید کل زیست‌توده همزمان با افزایش قیمت زیست‌توده افزایش می‌یابد. در سناریوی یکم، برای محصول گندم، انتظار می‌رود تولید بقایای گیاهی با قیمت زیست‌توده ۱۵۳۷۵ریال به‌ازای هر کیلوگرم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. در سناریوی دوم، با فرض اینکه قیمت زیست‌توده ۵۰٪ بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده باشد، قیمت زیست‌توده ۲۶۱۵۴ ریال به‌ازای هر کیلوگرم برای شروع جمع‌آوری بقایای گیاهی مورد نیاز است. در سناریوی سوم قیمت زیست‌توده ۲۸۶۳۰ ریال به‌ازای هر کیلوگرم برای شروع جمع‌آوری بقایای گیاهی مورد نیاز است. در سناریوی چهارم، قیمت زیست‌توده ۳۱۵۲۴ ریال به‌ازای هر کیلوگرم برای جمع‌آوری بقایای محصول از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. این نتایج همسو با نتیجه مطالعه (Chen, 2016) می‌باشد. در این مطالعه نویسنده به این نتیجه رسید که برای ترغیب کشاورزان برای جمع‌آوری کاه برنج و کاه ذرت نیاز به افزایش قیمت زیست‌توده می‌باشد.

همچنین بر اساس تغییرات قیمت زیست‌توده نتایج مدل رفاه اجتماعی برای محصول گندم در سناریو سوم به بالاترین مقدار خود رسیده است بنابراین برای تشویق کشاورزان به جمع‌آوری زیست‌توده با حداکثر رفاه اجتماعی، افزایش قیمت زیست‌توده تا ۷۵ درصد نسبت به ارزش شبیه‌سازی شده ضروری است. این نتیجه همسو با نتایج گروهی از محققان (Miguel *et al.*, 2003; Lescaroux & Mignon, 2008; Hamilton, 2018) است که نشان دادند افزایش قیمت انرژی در درازمدت اثرات منفی بر فعالیت‌های اقتصادی و رفاه اجتماعی دارد.

توجه: مقدار شبیه‌سازی شده وضعیت فعلی را در نظر می‌گیرد. سناریوی (۱) فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۲۵٪ بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است. سناریوی ۲ فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۵۰٪ بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است. سناریوی ۳ فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۷۵ درصد بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است. سناریوی ۴ فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۱۰۰٪ بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است.

مقادیر داخل پرانتز درصد تغییرات هر سناریو نسبت به مقدار شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

نتایج شبیه‌سازی مدل برای محصول برنج در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود در سناریو یک، سناریو دو، سناریو سه و سناریو چهار قیمت زیست‌توده برنج به‌ترتیب ۱۵۲۳۰، ۲۷۵۹۰، ۳۲۱۰۰، ۳۷۷۲۰ ریال به ازای هر کیلوگرم است. تولید برنج از ۲۷۷۶/۲۴ هزار تن در سناریو پایه به ۲۸۸۱/۳ هزار تن در سناریو چهارم افزایش می‌یابد. قیمت زیست‌توده نیز از ۸۰۳۰ ریال به ازای هر کیلوگرم در سناریو پایه به ۳۷۷۲۰ ریال به ازای هر کیلوگرم در سناریو چهارم افزایش می‌یابد.

با افزایش قیمت زیست‌توده، رفاه اجتماعی از ۴۵۵/۵ میلیون ریال در هر هکتار در سناریو پایه به ۴۸۴ میلیون ریال در هر هکتار در سناریو (۲) افزایش می‌یابد، در حالی‌که رفاه اجتماعی در سناریو سوم و چهارم کاهش می‌یابد؛ بنابراین، قیمت زیست‌توده ۲۷۵۹۰ ریال به ازای هر کیلوگرم برای ایجاد انگیزه در کشاورزان برای جمع‌آوری بقایای محصول برنج برای به حداکثر رساندن رفاه اجتماعی مورد نیاز است. این نتایج همسو با مطالعه (Ahn *et al.*, 2021) می‌باشد. این محققین در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که افزایش ۱۰ درصد سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ترکیب انرژی در ایالات متحده، رفاه اجتماعی را در درازمدت به میزان ۰/۷۵۳ درصد کاهش خواهد داد.

۱- در صورت لزوم جدول محاسبه میزان تولید بقایای محصولات کشاورزی مختلف در اختیار خوانندگان قرار خواهد گرفت.

جدول ۲- نتایج مدل شبیه‌ساز ریاضی تحت قیمت‌های مختلف انرژی زیست‌توده گندم

Table 2- Results of the mathematical simulator model under different wheat biomass energy prices

	گندم Wheat				
	مقدار شبیه‌سازی‌شده Simulated value	سناریو ۱ Scenario 1	سناریو ۲ Scenario 2	سناریو ۳ Scenario 3	سناریو ٤ Scenario 4
تولید Production (thousand tons)	11676.44 (0)	12694.41 (8.7)	14786.76 (26.6)	15721.5 (34.6)	16002.21 (37)
زیست‌توده Biomass (thousand tons)	13152.59 (0)	13427.99 (2)	13994 (6.3)	14264.64 (8.4)	14323 (8.8)
قیمت Price (thousand rials)	6125 (0)	15375 (151)	26154 (327)	28630 (367)	31524 (414)
مازاد مصرف‌کننده Consumer surplus (thousand rials)	19988530 (0)	18361150 (-8.1)	17523400 (-12.3)	15207060 (-23.9)	13164600 (-34.1)
مازاد تولیدکننده Producer surplus (thousand rials)	27271000 (0)	29529800 (8.2)	30171500 (10.6)	36590050 (34.1)	37521060 (37.5)
رفاه Welfare (thousand rials)	47259530 (0)	47890950 (1.3)	47694900 (0.9)	51797110 (9.6)	50685660 (7.2)

منبع: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول ۳- نتایج مدل شبیه‌ساز ریاضی تحت قیمت‌های مختلف انرژی زیست‌توده برنج

Table 3- Results of the mathematical simulator model under different rice biomass energy prices

	برنج Rice				
	مقدار شبیه‌سازی‌شده Simulated value	سناریو ۱ Scenario 1	سناریو ۲ Scenario 2	سناریو ۳ Scenario 3	سناریو ٤ Scenario 4
تولید Production (thousand tons)	2776.24 (0)	2794.41 (0.6)	2865.76 (3.2)	2878.5 (3.6)	2881.3 (3.7)
زیست‌توده Biomass (thousand tons)	3249.59 (0)	3354.99 (3.2)	3373.75 (3.8)	3377.195 (3.9)	3478.251 (7)
قیمت Price (thousand rials)	8030 (0)	15230 (89.6)	27590 (243.5)	32100 (299.7)	37720 (369.7)
مازاد مصرف‌کننده Consumer surplus (thousand rials)	16573523 (0)	16327137 (-1.2)	16224969 (-1.6)	15735719 (-1.8)	15335711 (-7.6)
مازاد تولیدکننده Producer surplus (thousand rials)	28936170 (0)	29802505 (3)	30178716 (4.3)	36592400 (26.5)	37206201 (30)
رفاه Welfare (thousand rials)	45509693 (0)	46129642 (1.3)	48403685 (6.3)	48328119 (6.1)	48041912 (5.5)

منبع: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

توجه: مقدار شبیه‌سازی شده وضعیت فعلی را در نظر می‌گیرد. سناریوی ۱ فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۲۵٪ بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است. سناریوی ۲ فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۵۰٪ بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است. سناریوی ۳ فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۷۵ درصد بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است. سناریوی ۴ فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۱۰۰٪ بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است.

مقادیر داخل پرانتز درصد تغییرات هر سناریو نسبت به مقدار شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

در جدول ۴ میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر کیلووات ساعت برق در دو نیروگاه سوخت فسیلی با زیست‌توده نشان شده است. ستون دوم جدول ۴ بیانگر مقدار کل زیست‌توده تولید شده دو محصول

برنج و گندم طی سناریوهای مختلف قیمتی را نشان می‌دهد. ستون سوم جدول ۴ نشان‌دهنده انتشار گازهای گلخانه‌ای است که با جایگزینی زیست‌توده به‌جای سوخت فسیلی در نیروگاه کاهش می‌یابد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود با افزایش جایگزینی، مقدار بیشتری انتشار دی اکسید کربن به ازای تولید هر کیلووات ساعت برق کاهش می‌یابد. ستون چهارم جدول ۴ نیز نشان‌دهنده میزان انتشار دی اکسید کربن به ازای هر کیلووات ساعت تولید برق توسط زیست‌توده طی سناریوهای مختلف است. با کسر کردن ستون ۳ از ستون ۴ خالص کاهش انتشار دی اکسید کربن طی سناریوهای مختلف برآورد می‌گردد. نتایج درصد کاهش انتشار GHG در هر سناریو نسبت به سناریوی پایه نشان می‌دهد که با بکارگیری زیست‌توده به‌جای سوخت فسیلی در تولید برق می‌توان تا ۸/۲ درصد از انتشار گاز گلخانه‌ای جلوگیری کرد. این نتیجه همسو با نتیجه مطالعه (Inglesi-Lotz, 2016) می‌باشد. این محقق نشان داد که افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ترکیب انرژی آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهد و رشد اقتصادی را افزایش می‌دهد.

جدول ٤- انتشار گازهای گلخانه‌ای و درصد کاهش خالص در انتشار گازهای گلخانه‌ای با جایگزین کردن سوخت زیست‌توده به‌جای سوخت فسیلی در سناریوهای مختلف

Table 4- Greenhouse gas emissions and net percentage reduction in greenhouse gas emissions by replacing fossil fuels with biomass in different scenarios

سناریوها Scenarios	مقدار کل زیست‌توده Total biomass amount (1000 tons)	$GHG_{fossil} - GHG'_{fossil}$ (gCO_2/kwh)	GHG_{bio} (gCO_2/kwh)	$GHG_{savig} = GHG_{fossil} - GHG'_{fossil} - GHG_{bio}$ (gCO_2/kwh)	در هر GHG درصد کاهش انتشار سناریو نسبت به مقدار شبیه‌سازی شده Percentage reduction in GHG emissions in each scenario compared to the Simulated value
مقدار شبیه‌سازی‌شده Simulated value	16402.18	14942471356	4592610400	10349860956	0
سناریو ۱ Scenario 1	16782.95	15195639846	4699226000	10496413846	1.415989
سناریو ۲ Scenario 2	17367.75	15587052790	4862970000	10724082790	3.615718
سناریو ۳ Scenario 3	17641.835	15912095529	4939713800	10972381729	6.014774
سناریو ۴ Scenario 4	17801.251	16189093098	4984350280	11204742818	8.259839

منبع: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

نتیجه‌گیری

ایران کشوری در حال توسعه با پتانسیل غنی زیست‌توده است. در این تحقیق تجزیه‌وتحلیل رفاه اجتماعی نشان می‌دهد که بکارگیری زیست‌توده برای تولید برق منجر به افزایش مازاد تولیدکنندگان و کاهش مازاد مصرف‌کنندگان و در نهایت افزایش رفاه جامعه می‌شود. سیاست‌هایی که توسعه انرژی از زیست‌توده را ترویج می‌کنند می‌توانند به افزایش درآمد کشاورزان، توسعه مناطق روستایی و کاهش فقر کمک کنند. همچنین برای بهره‌برداری کامل از پتانسیل نظری زیست‌توده انتظار می‌رود که در فناوری‌های استحصال انرژی زیست‌توده سرمایه‌گذاری شود. برای این هدف، هماهنگ‌سازی سیاست‌های کشاورزی و زیست‌محیطی تأثیر مثبتی بر تولید انرژی زیست‌توده دارد.

در این مطالعه برای بررسی اثرات رفاهی و زیست‌محیطی از دو محصول گندم و برنج که بالاترین میزان پتانسیل نظری انرژی را در ایران ایجاد می‌کنند، استفاده شده است. یکی از یافته‌های اصلی این مقاله این است که برای تولید انرژی زیست‌توده بهتر است روی مناطقی که گندم و برنج به‌وفور کشت می‌شود، تمرکز شود. سرمایه‌گذاری در نیروگاه زیست‌توده گزینه خوبی است، برق ارزان و پایدار را می‌توان با استفاده از بقایای مختلف کشاورزی تولید کرد اما راه‌حل کاملی برای حل بحران آب و هوایی کنونی در ایران نیست. دولت باید نقش خود را در توسعه تعرفه اولیه یارانه‌ای برای جذب و تسهیل سرمایه‌گذاران بالقوه برای پیگیری سریع توسعه پروژه‌های مربوط به تولید انرژی از زیست‌توده ایفا کند. در حال حاضر، هیچ یارانه‌ای از سوی دولت برای

تشویق کشاورزان به حفظ پسماندهای محصول ارائه داده نمی‌شود. یک طرح یارانه‌ای خوب می‌تواند کشاورزان را تشویق کند تا مقدار معقولی از پسماندها را بدون آسیب رساندن به مواد مغذی خاک به نیروگاه‌ها عرضه کنند.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که برای تشویق کشاورزان به جمع‌آوری پسماندهای محصولات کشاورزی و عرضه آن‌ها برای اهداف زیست‌انرژی، قیمت زیست‌توده باید افزایش یابد؛ اما دولت معمولاً به دلیل عرضه ناپایدار زیست‌توده و مسائل ناشی از تغییر کاربری زمین که ممکن است امنیت غذایی را تهدید کند، از ادامه ترویج زیست‌توده در مقیاس بزرگ دریغ می‌کند؛ بنابراین بررسی اثر تولید انرژی از زیست‌توده بر امنیت غذایی در مطالعات آتی می‌تواند به این مسئله کمک کند.

در این مطالعه، تولیدکنندگان بخش کشاورزی و نیروگاه‌های تولید برق به‌عنوان مصرف‌کنندگان زیست‌توده مورد بررسی قرار گرفته است و اثرات بالقوه بازار برق نادیده گرفته شده است. برای اطلاع‌رسانی در مورد استفاده پایدار از منابع زیست‌توده، مدل پیشنهادی می‌تواند به بخش برق مصرفی توسط دولت و خانوارها نیز تعمیم داده شود. علاوه بر این، تحقیقات بیشتری برای بررسی اثرات زیست‌محیطی مانند تنوع زیستی و مصرف آب، به شیوه‌ای گسترده‌تر ضروری است. نویسندگان این کاوش‌ها را به کارهای آینده واگذار می‌کنند.

References

1. Abdullah-Al-Mahbub, M., & Islam, A.R.M.T. (2023). Current status of running renewable energy in Bangladesh and future prospect: A global comparison. *Heliyon*, *9*(3). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14308
2. Adams, R.M., Rosenzweig, C., Peart, R.M., Ritchie, J.T., McCarl, B.A., Glyer, J.D., Curry, R.B., Jones, J.W., Boote, K.J., & Allen Jr, L.H. (1990). Global climate change and US agriculture. *Nature*, *345*(6272), 219-224. https://doi.org/10.1038/345219a0
3. Ahn, K., Chu, Z., & Lee, D. (2021). Effects of renewable energy use in the energy mix on social welfare. *Energy Economics*, *96*, 105174. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105174
4. Alavijeh, M.K., & Yaghmaei, S. (2016). Biochemical production of bioenergy from agricultural crops and residue in Iran. *Waste management*, *52*, 375-394. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.025
5. Arndt, C., Msangi, S., & Thurlow, J. (2011). Are biofuels good for African development? An analytical framework with evidence from Mozambique and Tanzania. *Biofuels*, *2*(2), 221-234. https://doi.org/10.4155/bfs.11.1
6. Bahrami, M., & Abbaszadeh, P. (2013). An overview of renewable energies in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *24*, 198-208. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.043
7. Banse, M., & Grethe, H. (2008). Effects of a potential new biofuel directive on EU land use and agricultural markets. https://doi.org/10.22004/ag.econ.6331
8. Baye, K., Hirvonen, K., Dereje, M., & Remans, R. (2019). Energy and nutrient production in Ethiopia, 2011-2015: Implications to supporting healthy diets and food systems. *PloS One*, *14*(3), e0213182. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213182
9. Ben-Iwo, J., Manovic, V., & Longhurst, P. (2016). Biomass resources and biofuels potential for the production of transportation fuels in Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *63*, 172-192. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.050
10. Brinkman, M., Levin-Koopman, J., Wicke, B., Shutes, L., Kuiper, M., Faaij, A., & van der Hilst, F. (2020). The distribution of food security impacts of biofuels, a Ghana case study. *Biomass and Bioenergy*, *141*, 105695. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105695
11. Canova, F. (1994). Statistical inference in calibrated models. *Journal of Applied Econometrics*, *9*(S1), 123-144. https://doi.org/10.1002/jae.3950090508
12. Chang, C.C., Chen, C.C., & McCarl, B. (2012). Evaluating the economic impacts of crop yield change and sea level rise induced by climate change on Taiwan's agricultural sector. *Agricultural Economics*, *43*(2), 205-214. https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2011.00577.x
13. Chang, C.C., McCarl, B.A., Mjelde, J.W., & Richardson, J.W. (1992). Sectoral implications of farm program modifications. *American Journal of Agricultural Economics*, *74*(1), 38-49. https://doi.org/10.2307/1242988
14. Chen, S., Chen, X., & Xu, J. (2016). Impacts of climate change on agriculture: Evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*, *76*, 105-124. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2015.01.005
15. Chen, X. (2016). Economic potential of biomass supply from crop residues in China. *Applied Energy*, *166*, 141-149. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.034
16. Chowdhury, P., Mahi, N.A., Yeassin, R., Chowdhury, N.U.R., & Farrok, O. (2025). Biomass to biofuel:

Impacts and mitigation of environmental, health, and socioeconomic challenges. *Energy Conversion and Management: X*, 100889. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100889
17. Egbendewe-Mondzozo, A., Swinton, S.M., Izaurralde, C.R., Manowitz, D.H., & Zhang, X. (2011). Biomass supply from alternative cellulosic crops and crop residues: a spatially explicit bioeconomic modeling approach. *Biomass and Bioenergy*, *35*(11), 4636-4647. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.09.010
18. Elobeid, A., & Hart, C. (2007). Ethanol expansion in the food versus fuel debate: how will developing countries fare?. *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization*, *5*(2). https://doi.org/10.2202/1542-0485.1201
19. Ewing, M., & Msangi, S. (2009). Biofuels production in developing countries: assessing tradeoffs in welfare and food security. *Environmental Science & Policy*, *12*(4), 520-528. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2008.10.002
20. Fadai, D. (2007). Utilization of renewable energy sources for power generation in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *11*(1), 173-181. https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.01.011
21. Gabisa, E.W., & Gheewala, S.H. (2018). Potential of bio-energy production in Ethiopia based on available biomass residues. *Biomass and Bioenergy*, *111*, 77-87. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.02.009
22. Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M., & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, *327*(5967), 812-818. https://doi.org/10.1126/science.1185383
23. Gosens, J. (2015). Biopower from direct firing of crop and forestry residues in China: a review of developments and investment outlook. *Biomass and Bioenergy*, *73*, 110-123. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.12.014
24. Gregory Mankiw, N. (2006). Fundamentals of economics, translated by Manouchehr Askari, Tehran: Kohsar.
25. Guieysse, B., Béchet, Q., & Shilton, A. (2013). Variability and uncertainty in water demand and water footprint assessments of fresh algae cultivation based on case studies from five climatic regions. *Bioresource Technology*, *128*, 317-323. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.096
26. Hamilton, J.D. (2018). Oil and the Macroeconomy. In *The new Palgrave dictionary of economics* (pp. 9753-9759). Palgrave Macmillan, London. https://doi.org/10.1057/978-1-349-95189-5_2119
27. Hamzeh, Y., Ashori, A., Mirzaei, B., Abdulkhani, A., & Molaei, M. (2011). Current and potential capabilities of biomass for green energy in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(9), 4934-4938. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.060
28. Hasan, A.M., & Ammenberg, J. (2019). Biogas potential from municipal and agricultural residual biomass for power generation in Hazaribagh, Bangladesh–A strategy to improve the energy system. *Renewable Energy Focus*, *29*, 14-23. https://doi.org/10.1016/j.ref.2019.02.001
29. Havlík, P., Schneider, U.A., Schmid, E., Böttcher, H., Fritz, S., Skalský, R., Aoki, K., De Cara, S., Kindermann, G., Kraxner, F., & Leduc, S. (2011). Global land-use implications of first and second generation biofuel targets. *Energy Policy*, *39*(10), 5690-5702. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.030
30. Headey, D.D., & Martin, W.J. (2016). The impact of food prices on poverty and food security. *Annual Review of Resource Economics*, *8*(1), 329-351. https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100815-095303
31. Hosseini, S.E., Andwari, A.M., Wahid, M.A., & Bagheri, G. (2013). A review on green energy potentials in Ira. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *27*, 533-545. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.015
32. Hung, J., Yang, J., Msangi, S., Rosegrant, M., Rozelle, S., & Weersink, A. (2012). Biofuels, Food Secuirty and the Poor: Global Impact Pathways of Biofuels on Agricultural Markets. *Food Policy*. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.04.004
33. IEA. (2024). https://www.iea.org/data-and-statistics.
34. Inglesi-Lotz, R. (2016). The impact of renewable energy consumption to economic growth: A panel data application. *Energy Economics*, *53*, 58-63. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.01.003
35. Iye, E.L., & Bilsborrow, P.E. (2013). Assessment of the availability of agricultural residues on a zonal basis for medium-to large-scale bioenergy production in Nigeria. *Biomass and Bioenergy*, *48*, 66-74. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.11.015
36. Jekayinfa, S.O., & Scholz, V. (2009). Potential availability of energetically usable crop residues in Nigeria, Energy Sources, Part A. *Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, *31*(8), 687-697. https://doi.org/10.1080/15567030701750549
37. Kangas, H.L., Lintunen, J., Pohjola, J., Hetemäki, L., & Uusivuori, J. (2011). Investments into forest biorefineries under different price and policy structures. *Energy Economics*, *33*(6), 1165-1176. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.04.008
38. Kgathi, D.L., Mfundisi, K.B., Mmopelwa, G., & Mosepele, K. (2012). Potential impacts of biofuel development on food security in Botswana: A contribution to energy policy. *Energy Policy*, *43*, 70-79. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.027
39. Kumar, V., Vangnai, A.S., Sharma, N., Kaur, K., Chakraborty, P., Umesh, M., Singhal, B., Utreja, D., Carrasco, E.U., Andler, R., & Awasthi, M.K. (2023). Bioengineering of biowaste to recover bioproducts and bioenergy: A circular economy approach towards sustainable zero-waste environment. *Chemosphere*, *319*, 138005. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138005

40. Kung, C.C., & Zhang, N. (2015). Renewable energy from pyrolysis using crops and agricultural residuals: An economic and environmental evaluation. *Energy*, *90*, 1532-1544. https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.114
41. Kung, C.C., McCarl, B., Cao, X., & Xie, H. (2013). Bioenergy prospects in Taiwan using set-aside land–an economic evaluation. *China Agricultural Economic Review*, *5*(4), 489-511. https://doi.org/10.1108/CAER-01-2012-0002
42. Lambert, D.K., McCarl, B.A., He, Q., Kaylen, M.S., Rosenthal, W., Chang, C.C., & Nayda, W.I. (1995). Uncertain yields in sectoral welfare analysis: an application to global warming. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, *27*(2), 423-436. https://doi.org/10.1017/S1074070800028479
43. Landälv, I. (2017). Methanol as a renewable fuel–a knowledge synthesis. The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels. *Sweden*, p.6.
44. Lauri, P., Forsell, N., Korosuo, A., Havlík, P., Obersteiner, M., & Nordin, A. (2017). Impact of the 2 C target on global woody biomass use. *Forest Policy and Economics*, *83*, 121-130. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.07.005
45. Lescaroux, F., & Mignon, V. (2008). On the influence of oil prices on economic activity and other macroeconomic and financial variables. *OPEC Energy Review*, *32*(4), 343-380. https://doi.org/10.1111/j.1753-0237.2009.00157.x
46. Lobell, D.B., & Burke, M.B. (2010). On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, *150*(11), 1443-1452. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.07.008
47. Makul, N., Fediuk, R., Amran, M., Al-Akwaa, M.S., Pralat, K., Nemova, D., Petropavlovskii, K., Novichenkova, T., Petropavlovskaya, V., & Sulman, M. (2021). Utilization of biomass to ash: An overview of the potential resources for alternative energy. *Materials*, *14*(21), 6482. https://doi.org/10.3390/ma14216482
48. Masum, M.F.H., Dwivedi, P., & Anderson, W.F. (2020). Estimating unit production cost, carbon intensity, and carbon abatement cost of electricity generation from bioenergy feedstocks in Georgia, United States. *Renew Sustain. Energy Rev*, *117*, 109514. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109514
49. Maung, T.A., & McCarl, B.A. (2013). Economic factors influencing potential use of cellulosic crop residues for electricity generation. *Energy*, *56*, 81-91. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.064
50. McCarl, B.A., & Schneider, U.A. (2000). US agriculture's role in a greenhouse gas emission mitigation world: An economic perspective. *Applied Economic Perspectives and Policy*, *22*(1), 134-159. https://doi.org/10.1111/1058-7195.t01-1-00011
51. McCarl, B.A., & Spreen, T.H. (1980). Price endogenous mathematical programming as a tool for sector analysis, *American Journal of Agricultural Economics*, *62*(1), 87-102. https://doi.org/10.2307/1239475
52. Miguel, C.D., Manzano, B., & Martm-Moreno, J.M. (2003). Oil price shocks and aggregate fluctuations. *The Energy Journal*, *24*(2), 47-61. https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol24-No2-2
53. Milhau, A., & Fallot, A. (2013). Assessing the potentials of agricultural residues for energy: What the CDM experience of India tells us about their availability. *Energy Policy*, *58*, 391-402. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.03.041
54. Ministry of Energy. (2023). https://www.moe.gov.ir/
55. Mitchell, D. (2008). A note on rising food prices, World Bank policy research working paper, (4682).
56. Mohammadnejad, M., Ghazvini, M., Mahlia, T.M.I., & Andriyana, A. (2011). A review on energy scenario and sustainable energy in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(9), 4652-4658. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.087
57. Naderi, M.M., Mirchi, A., Bavani, A.R.M., Goharian, E., & Madani, K. (2021). System dynamics simulation of regional water supply and demand using a food-energy-water nexus approach: Application to Qazvin Plain, Iran. *Journal of Environmental Management*, *280*, 111843. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111843
58. Najafi, G., Ghobadian, B., Tavakoli, T., & Yusaf, T. (2009). Potential of bioethanol production from agricultural wastes in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *13*(6-7), 1418-1427. https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.010
59. Okello, C., Pindozzi, S., Faugno, S., & Boccia, L. (2013). Bioenergy potential of agricultural and forest residues in Uganda. *Biomass and Bioenergy*, *56*, 515-525. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.06.003
60. Ozdil, N.T., & Caliskan, M. (2022). Energy potential from biomass from agricultural crops: Development prospects of the Turkish bioeconomy. *Energy*, *249*, 123770. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123770
61. Ozturk, H.H., & Bascetincelik, A. (2006). Energy exploitation of agricultural biomass potential in Turkey. *Energy Exploration & Exploitation*, *24*(4), 313-330. https://doi.org/10.1260/014459806779398802
62. Paolini, V., Petracchini, F., Segreto, M., Tomassetti, L., Naja, N., & Cecinato, A. (2018). Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge. *Journal of Environmental Science and Health*, Part A, *53*(10), 899-906. https://doi.org/10.1080/10934529.2018.1459076
63. Phanphanich, M., & Mani, S. (2011). Impact of torrefaction on the grindability and fuel characteristics of forest biomass. *Bioresours Technology*, *102*, 1246–1253. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.028
64. Popp, J., Kovács, S., Oláh, J., Divéki, Z., & Balázs, E. (2021). Bioeconomy: Biomass and biomass-based energy

supply and demand. *New Biotechnology*, *60*, 76-84. https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.10.004
65. Quartey, E.T., & Chýlková, J.A.R.O.M.Í.R.A. (2012). Challenges and opportunities in managing agricultural waste in Ghana, Advances in Environment. *Biotechnology and Biomedicine*, 235-239.
66. Renzaho, A.M., Kamara, J.K., & Toole, M. (2017). Biofuel production and its impact on food security in low and middle income countries: Implications for the post-2015 sustainable development goals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *78*, 503-516. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.072
67. Revilla, P., Alves, M.L., Andelković, V., Balconi, C., Dinis, I., Mendes-Moreira, P., Redaelli, R., Ruiz de Galarreta, J.I., Vaz Patto, M.C., Žilić, S., & Malvar, R.A. (2022). Traditional foods from maize (*Zea mays* L.) in Europe. *Frontiers in Nutrition*, *8*, 683399. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.683399
68. Riva, G., Foppapedretti, E., & Caralis, C. (2014). Handbook on Renewable Energy Sources-Biomass. *Ener Supply*, 157. https://doi.org/10.56845/rebs.v2i2.22
69. Rosegrant, M.W. (2008). Biofuels and grain prices: impacts and policy responses (pp. 1-4), Washington, DC: *International Food Policy Research Institute*. https://hdl.handle.net/10568/160345
70. Sacchelli, S., Bernetti, I., De Meo, I., Fiori, L., Paletto, A., Zambelli, P., & Ciolli, M. (2014). Matching socio-economic and environmental efficiency of wood-residues energy chain: a partial equilibrium model for a case study in Alpine area. *Journal of Cleaner Production*, *66*, 431-442. https:doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.059
71. Samuelson, P.A. (1952). Spatial price equilibrium and linear programming. *The American Economic Review*, *42*(3), 283-303.
72. Schmidhuber, J. (2008). Impact of an increased biomass use on agricultural markets, prices and food security: A longer-term perspective, In ENERGY SECURITY IN EUROPE Proceedings from the conference "Energy Security in Europe" (p. 133).
73. Sebastian, R.M., Billal, M.M., & Kumar, A. (2025). The development of a framework to assess waste and biomass availability: A case study for Canada, Resources. *Conservation and Recycling*, *215*, 108170. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108170
74. Singh, J., & Gu, S. (2010). Biomass conversion to energy in India- A critique. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(5), 1367-1378. https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.01.013
75. Singh, J. (2015). Overview of electric power potential of surplus agricultural biomass from economic, social, environmental and technical perspective- A case study of Punjab. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *42*, 286-297. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.015
76. Solaymani, S. (2021). A review on energy and renewable energy policies in Iran. *Sustainability*, *13*(13), 7328. https://doi.org/10.3390/su13137328
77. Statistical Center of Iran. (2023). www.amar.org.ir
78. Sulle, E., Fauveaud, S., & Vermeulen, S. (2009). Biofuels in Africa: growing small-scale opportunities.
79. Takayama, T., & Judge, G.G. (1964). Equilibrium among spatially separated markets: A reformulation, Econometrica. *Journal of the Econometric Society*, 510-524. https://doi.org/10.2307/1910175
80. Taufiq, B.N., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I., Saidur, R., Faizul, M.S., & Mohamad, E.N. (2007). Second law analysis for optimal thermal design of radial fin geometry by convection. *Applied Thermal Engineering*, *27*(8-9), 1363-1370. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.10.024
81. Thompson, W., Meyer, S., & Green, T. (2010). The US biodiesel use mandate and biodiesel feedstock markets. *Biomass and Bioenergy*, *34*(6), 883-889. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.01.033
82. Tofigh, A.A., & Abedian, M. (2016). Analysis of energy status in Iran for designing sustainable energy roadmap. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *57*, 1296-1306. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.209
83. Tolessa, A. (2023). Bioenergy potential from crop residue biomass resources in Ethiopia. *Heliyon*, *9*(2). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13572
84. Uzair, M., Sohail, S.S., Shaikh, N.U., & Shan, A. (2020). Agricultural residue as an alternate energy source: A case study of Punjab province, Pakistan. *Renewable Energy*, *162*, 2066-2074. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.041
85. Von Lampe, M. (2006). Agricultural market impacts of future growth in the production of biofuels, Organization for Economic Co-operation and Development (www.oecd.Org). https://doi.org/10.1787/oecd_papers-v6-art1-en
86. Wang, W. (2023). Integrated assessment of economic supply and environmental effects of biomass co-firing in coal power plants: A case study of Jiangsu, China. *Energies*, *16*, 2725. https://doi.org/10.3390/en16062725
87. Welfle, A., Chingaira, S., & Kassenov, A. (2020). Decarbonising Kenya's domestic & industry Sectors through bioenergy: An assessment of biomass resource potential & GHG performances. *Biomass and Bioenergy*, *142*, 105757. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105757
88. Xin, L., Guo, Z., Xiao, X., Xu, W., Geng, R., & Wang, W. (2018). Feasibility of anaerobic digestion for contaminated rice straw inoculated with waste activated sludge. *Bioresource Technology*, *266*, 45-50. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.048
89. Zheng, Y., & Qiu, F. (2020). Bioenergy in the Canadian Prairies: Assessment of accessible biomass from agricultural crop residues and identification of potential biorefinery sites. *Biomass and Bioenergy*, *140*, 105669.

https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105669
90. Zilberman, D., Hochman, G., Rajagopal, D., Sexton, S., & Timilsina, G. (2013). The impact of biofuels on commodity food prices: Assessment of findings. *American Journal of Agricultural Economics*, *95*(2), 275-281. https://doi.org/10.1093/ajae/aas037

Journal of Agricultural Economics & Development

Homepage: https://jead.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 3, Fall 2026, p. 253-275

Challenges of Sustainability in Grazing-Based Livestock Production Systems under Climate Change (Case Study: Kermanshah Province)

Sh. Nejatian[1], H. Shabanali Fami[1], N. Motiei[1]

1- Department of Agricultural Management and Development, Faculty of Agricultural Economics and Development, University of Tehran, Karaj, Iran

(*- Corresponding Author Email: hfami@ut.ac.ir)

Received: 03 July 2025
Revised: 19 January 2026
Accepted: 28 January 2026
Available Online: 28 January 2026

How to cite this article:

Nejatian, Sh., Shabanali Fami, H., & Motiei, N. (2026). Challenges of sustainability in grazing-based livestock production systems under climate change (Case study: Kermanshah province). *Journal of Agricultural Economics & Development*, *40*(3), 253-275. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jead.2026.94239.1361

Introduction

The rapid growth of the global population, ongoing climate change, and limited production resources have intensified concerns about food security. Sustainable food production systems, particularly grazing-based livestock production, play a vital role in addressing these challenges. However, these systems face numerous obstacles in developing countries and arid/semi-arid regions, including heavy reliance on natural resources, climate change impacts, and drought vulnerability, lower efficiency compared to other production methods, high greenhouse gas emissions, and competition for agricultural land allocated to feed production. Additionally, high operational costs and susceptibility to livestock diseases have significantly reduced both the profitability and sustainability of these systems .In Iran, livestock production systems remain predominantly traditional and are evaluated as unsustainable in terms of environmental, economic, and social indicators. Kermanshah Province, with approximately 2,500 rangeland systems and 63,000 rural and nomadic households, represents one of the most important livestock production hubs in western Iran. However, the presence of 1.4 million livestock units exceeding rangeland carrying capacity, combined with significant climatic changes over the past three decades (including rising temperatures, declining precipitation, and intensifying droughts), has made this region an ideal case study for examining sustainability challenges in livestock production systems. This study aims to identify and analyze the challenges facing livestock production systems in relation to climate change impacts in Kermanshah Province.

Materials and Methods

This research was conducted in Kermanshah Province, located in the middle part of the Zagros Mountains. Kermanshah Province, as one of the livestock breeding hubs in the Middle Zagros, plays an important role in providing livestock feed from rangelands. The province contains approximately 2,500 rangeland systems supporting about 63,000 rural and nomadic households. These households primarily rely on rangeland grazing to meet their livestock feed requirements. Based on forage production capacity, the rangelands can sustainably support only 1.5 million livestock units, while the current livestock population exceeds this capacity by approximately 1.4 million units. Recent studies indicate significant climatic changes in the province over recent decades, particularly increased drought intensity and duration, which have directly impacted natural forage availability and threatened the sustainability of livestock production systems. Methodologically, this quantitative, applied research employed a survey approach. The study population consisted of 140 experts and specialists in livestock production and natural resources management from Kermanshah Province, with 131 participants studied through census method (with 93 % rate of return) based on their research and practical experience in livestock

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)
https://doi.org/10.22067/jead.2026.94239.1361

production systems and associated challenges. Data were collected using a researcher-developed questionnaire, designed through literature review and interviews with livestock production experts. Content validity was assessed by agricultural and natural resources experts from Kermanshah and faculty members from the University of Tehran's Agricultural Management Department. Discriminant validity was confirmed using average variance extracted (AVE). Reliability was evaluated through Cronbach's alpha and composite reliability. Data processing utilized SPSS 27 and Smart PLS 3 software packages.

Results and Discussion

The findings revealed that the most critical sustainability challenges for grazing-based livestock systems in Kermanshah Province were, in order of significance: environmental (β=0.756), economic (β=0.683), managerial (β=0.669), technical (β=0.593), social (β=0.563), and legal challenges (β=0.454) .Environmental challenges emerged as the foremost sustainability barrier, underscoring their pivotal role in determining the overall sustainability of pastoral livestock systems according to expert assessments. Among environmental factors, climate variability and drought (factor loading=0.858) were identified as the most severe environmental challenges. Given that climate change impacts are projected to exacerbate system vulnerability - particularly when combined with rapid population growth and economic development that intensify food demand - these findings highlight the urgent need for adaptive strategies to mitigate climatic effects .Economic challenges represented the second most significant sustainability obstacle. Within this category, high prices for production inputs and animal feed (factor loading = 0.856) emerged as the most prominent economic constraint. This finding reflects the substantial financial burden on pastoralists for procuring inputs and animal feed, which increases production costs and may compromise their capacity for sustainable rangeland utilization .Managerial challenges ranked third, with poor community organization in local associations for coordinated action and inadequate service provision (factor loading=0.837) representing critical management shortcomings .Technical challenges represented another key sustainability barrier, where low productivity of grazing livestock was identified as a fundamental technical constraint. This emphasizes the importance of enhancing livestock productivity to improve overall system efficiency and profitability in the province .Social challenges ranked fifth, with insufficient awareness and knowledge regarding drought management and its impacts on rangelands (factor loading=0.853) being the primary social challenge. This underscores the critical need for educational interventions to improve pastoralists' understanding of drought management and rangeland conservation .Finally, legal challenges (β=0.454) were ranked as the least severe sustainability obstacle. Within this category, insufficient government budgeting and credit allocation for natural resource conservation and rangeland management (factor loading=0.874) emerged as the most significant legal constraint .This hierarchical challenge structure provides valuable insights for prioritizing intervention strategies to enhance the sustainability of grazing-based livestock systems in semi-arid regions.

Conclusion

Understanding these challenges can contribute to developing practical solutions for enhancing the sustainability of these systems. To improve the sustainability of livestock production systems, several strategies are proposed, including: establishing local cooperatives, enhancing access to technical training, developing innovative technologies, and providing financial support to livestock producers.

Keywords: Climate change, Grazing-based, Livestock production systems, Sustainability

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
https://jead.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۴۰، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، ص. ۲۷۵-۲۵۳

چالش‌های پایداری واحدهای تولید دامی مبتنی بر چرا در شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: استان کرمانشاه)

شیوا نجاتیان[۱] - حسین شعبانعلی فمی[۱*] - ناصر مطیعی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۸

چکیده

افزایش سریع جمعیت، تغییرات اقلیمی و محدودیت منابع تولید، تأمین امنیت غذایی جهان را با چالشی بزرگ مواجه کرده است. نظام‌های تولید غذایی پایدار، ازجمله نظام‌های تولید دامی مبتنی بر چرا، نقش مهمی در مقابله با این چالش دارند. این نظام‌ها نه‌تنها بخشی از تقاضای جهانی گوشت و محصولات لبنی را تأمین می‌کنند، بلکه به تنوع‌بخشی منابع غذایی و پایداری اکوسیستم‌ها کمک می‌کنند. بااین‌حال، این نظام‌ها به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه و مناطق خشک و نیمه‌خشک با چالش‌های متعددی مواجه هستند. این مطالعه باهدف شناسایی و تحلیل چالش‌های پیش روی نظام‌های دامی در شرایط تغییر اقلیم در استان کرمانشاه انجام شد. جامعه آماری شامل ۱۴۰ کارشناس و خبره در حوزه تخصصی مدیریت امور دام و منابع طبیعی بودند که به روش سرشماری مورد مطالعه قرار گرفتند. از بین این کارشناسان ۱۳۱ نفر (با نرخ پاسخگویی ۹۳ درصد) پرسشنامه‌های تحقیق را تکمیل کردند. روایی محتوایی و پایایی پرسشنامه توسط اعضای هیأت علمی و کارشناسان تأیید شدند. داده‌ها به‌وسیله پرسشنامه محقق‌ساخته گردآوری و با نرم‌افزار SMART-PLS تحلیل شد. نتایج نشان داد مهم‌ترین چالش‌های پایداری این نظام‌ها به‌ترتیب شامل چالش‌های زیست‌محیطی با ضریب مسیر (β=۰/۷۵۶)، اقتصادی (β=۰/۶۸۳)، مدیریتی (β=۰/۶۶۹)، فنی (β=۰/۵۹۳)، اجتماعی (β=۰/۵۶۳) و قانونی (β=۰/۴۵۴) بودند. در بین چالش‌های زیست‌محیطی، تغییرات اقلیمی و خشکسالی مهم‌ترین سهم را در پایداری نظام‌های تولید دامی استان دارا بودند. همچنین چالش‌های اقتصادی مانند بالا بودن قیمت نهاده‌ها، ضعف توان مالی دامداران و نوسانات بازار و عدم دسترسی به اعتبارات نیز از موانع مهم بودند. شناخت این چالش‌ها می‌تواند به تدوین راهکارهای عملی برای ارتقای پایداری این نظام‌ها کمک کند. به‌منظور بهبود پایداری نظام‌های دامی، راهکارهایی نظیر ایجاد تشکل‌های محلی، افزایش دسترسی به آموزش‌های فنی، توسعه فناوری‌های نوین و حمایت مالی از دامداران پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: پایداری، تغییر اقلیم، مبتنی بر چرا، نظام‌های تولید دام

مقدمه

پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که جمعیت جهان تا میانه‌ی قرن ۲۱ میلادی از ۹ میلیارد نفر فراتر خواهد رفت (Saleem *et al.*, 2024). این افزایش جمعیت، چالش بزرگی برای تأمین امنیت غذایی در سطح جهانی به شمار می‌رود (Abebe, 2024; Hosseini *et al.*, 2024; Yagoub and Abdelaleem, 2024) و ضرورت طراحی و استقرار نظام‌های غذایی پایدار را بیش‌ازپیش آشکار می‌سازد. با توجه به این چالش، اهمیت موضوع پایداری نظام‌های غذایی بیش از پیش برجسته است، زیرا این نظام‌ها باید بتوانند نیازهای غذایی رو به رشد را بدون تخریب منابع طبیعی تأمین کنند. به‌عبارتی یک نظام غذایی پایدار، متکی بر اصول کشاورزی پایدار است که علاوه بر تأمین نیازهای غذایی جامعه و بهبود رفاه اقتصادی، اثرات منفی زیست‌محیطی را به حداقل می‌رساند. به‌عبارت دیگر، چنین نظامی باید بتواند بین تولید غذا و حفاظت از منابع طبیعی تعادل برقرار کند (Çakmakçı *et al.*, 2023;

۱- گروه مدیریت و توسعه کشاورزی، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: hfami@ut.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jead.2026.94239.1361

Lykogianni *et al*., 2021). نظام‌های تولید دامی به‌عنوان جزئی از کلان نظام‌های تولید کشاورزی، سهم بسزایی در ایجاد امنیت غذایی پایدار از طریق تأمین تقاضای جهانی گوشت و محصولات لبنی، تنوع‌بخشی به منابع غذایی و افزایش پایداری اکوسیستم‌ها ایفا می‌کنند (Rapiya *et al*., 2025; WorldBank, 2021). این نظام‌ها نه‌تنها در تأمین مواد غذایی مؤثرند، بلکه در حفظ تعادل اکولوژیکی و مدیریت پایدار منابع طبیعی نیز اهمیت دارند. باید توجه داشت که سهم بخش دام در تولیدات کشاورزی، ۴۰ درصد در کشورهای توسعه‌یافته و ۲۰ درصد در کشورهای درحال‌توسعه است (Khade *et al*., 2021).

نظام دامداری مبتنی بر چرا، گسترده‌ترین شکل بهره برداری اراضی در کره زمین را تشکیل می‌دهند که تقریباً ۲۵٪ از مساحت اراضی جهان و ۶۶٪ از زمین‌های کشاورزی جهان را اشغال می‌کند. این در حالی است که بیش از ۱/۳ میلیارد نفر در این نظام فعال و ۱/۴ تریلیون دلار به اقتصاد جهانی کمک می‌کنند. این نظام حدود ۳۳٪ از پروتئین مصرفی انسان را نیز تأمین می‌کند (McDonald *et al*., 2019). این نظام یک روش نسبتاً پایدار برای تأمین خوراک دام و بهره‌برداری از منابع مرتعی در مناطق مختلف جهان محسوب می‌شود. در واقع این نظام یکی از معدود نظام‌های تولید مواد غذایی است که می‌تواند بدون جایگزینی زیست‌بوم‌های طبیعی توسعه یابد و درنتیجه تنوع زیستی و خدمات مهم اکوسیستمی را حفظ کند (Blumetto *et al*., 2023). این نظام نقش مهمی نیز در تأمین معیشت پایدار، بهبود درآمد دامداران و حمایت از توسعه جامعه محلی روستایی دارد (Ickowicz *et al*., 2022; Rahimi Dehcheraghi *et al*., 2023; Wróbel *et al*., 2023). با وجود مزایای ذکر شده، این نظام به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه و مناطق خشک و نیمه‌خشک با چالش‌های متعددی از جمله وابستگی شدید به منابع طبیعی، بازدهی پایین تولید در مقایسه با سایر نظام‌های تولیدی (Mofidi Chelan *et al*., 2018) انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای (Thompson & Rowntree, 2020)، هزینه‌های بالای نگهداری و حساسیت به بیماری‌های دامی (Morales-Reyes *et al*., 2025) و رقابت بر سر زمین‌های کشاورزی برای تولید خوراک دام (Palladini *et al*., 2024) روبرو است. مسئله تحقیق حاضر بر پایداری این نظام در شرایط تغییرات اقلیمی تمرکز دارد. به‌عبارتی تغییر اقلیم به‌عنوان یک چالش کلیدی، پایداری نظام‌های دامداری مبتنی بر چرا را تهدید می‌کند. از منظر نظری، تغییرات اقلیمی بر اساس مدل‌های اکولوژیکی با افزایش دما، کاهش بارندگی و رویدادهای شدید آب‌وهوایی، تعادل زیست‌بوم‌های مرتعی را برهم می‌زند و منجر به کاهش بهره‌وری علوفه قابل استفاده، افزایش استرس حرارتی بر دام‌ها و اختلال در چرخه‌های تولید دامی می‌شود. از منظر تجربی، مطالعات میدانی نشان می‌دهند که این تغییرات در مناطق خشک مانند خاورمیانه، منجر به کاهش تولید علوفه و افزایش مرگ‌ومیر دام‌ها شده است، که مستقیماً پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی نظام‌های مبتنی بر چرا را کاهش می‌دهد (Bondaruk *et al*., 2022). بنابراین تغییرات اقلیمی به‌عنوان یک چالش جدی، تأثیرات منفی بر منابع طبیعی و نظام‌های تولید دامی داشته است (Cheng *et al*., 2022; Godde *et al*., 2021; Holechek *et al*., 2020). مدل‌های پیش‌بینی نشان می‌دهند که این تغییرات، عملکرد واحدهای بهره‌برداری مبتنی بر چرا را در بسیاری از مناطق جهان تحت تأثیر قرار خواهند داد (Sejian *et al*., 2016) و ممکن است پیامد های تغییر اقلیم و خشکسالی آن‌ها را به سمت ترک شغل دامداری (Shahraki *et al*., 2024) و رکود این نظام ها (Moameri *et al*., 2024) سوق دهد.

وضعیت موجود نظام‌های دامی مبتنی بر چرا در ایران نشان‌دهنده ناپایداری آن‌هاست؛ بطوری‌که این نظام‌ها عمدتاً سنتی هستند و از نظر شاخص‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی ناپایدار ارزیابی می‌شوند (MofidiChelan *et al*., 2015; Nikdokht *et al*., 2007; Nikdokht & Karami, 2004). این نظام‌ها در سازگاری با تغییر اقلیم دچار چالش‌های اجتماعی،زیست‌محیطی و اقتصادی هستند (Shabanali Fami *et al*., 2025). مطالعات مختلفی چالش‌های این نظام‌ها را بررسی کرده‌اند، از جمله می‌توان به مطالعه صالحی و شرافتمند راد و همکاران (Salehi, 2004; Sharaftmandrad *et al*., 2024) اشاره کرد که چالش‌هایی نظیر عدم آگاهی دامداران، ناتوانی مالی بهره‌برداران، کمبود منابع (آب و زمین)، تأمین علوفه، کنترل بیمارهای دام، افزایش هزینه‌های تولید، ناچیز بودن اعتبارات دولتی، وجود نظام دامپروری ناکارآمد، مشخص نبودن میزان و نحوه مشارکت دامداران بیمه دامداری و فقدان سیاست مدون درازمدت توسعه دامپروری را شناسایی کرده است. همچنین بیات و همکاران (Bayat *et al*., 2011) ضعف توان مالی روستاییان در خرید دام‌های با بازدهی بالا، محدودیت واگذاری اعتبارات و تسهیلات بانکی، خشک‌سالی و کمبود علوفه و قره‌باش و قورچی (Gharebash & Ghorchi, 2011) نیز کمبود و گران بودن علوفه، پایین بودن سطح زیر کشت علوفه، پایین بودن اطلاعات علمی و فنی دامداران، نبود مراکز خرید و صنایع تبدیلی محصولات دامی، مشکلات مدیریتی در زمینه تغذیه، بهداشت، تولیدمثل، اصلاح نژاد، بازاریابی، آشنا نبودن دامداران با فناوری‌های روز، مشکلات اقتصادی و بی‌سوادی بخش عمده دامداران را به‌عنوان مهم‌ترین مشکلات و چالش‌های صنعت دامپروری کشور ارائه کرده‌اند. بنابراین تهیه طرح‌های اقتصادی مرتعداری می‌تواند توان اقتصادی دامداران در مقابله با چالش‌های افزایش هزینه و ناکار آمدی اقتصادی را بهبود دهد (Mofidi Chelan, 2022). از سوی دیگر طبق یک بررسی اجرای الگوهای مدیریت پایدار مراتع در استان کرمانشاه باید مبتنی بر لحاظ نمودن شرایط معیشتی دامداران باشد (Mahmoudi Mostali *et al*., 2025). در تحقیق دیگری میرزایی و منصور (Mirzaei & Zibaei, 2013) در ارزیابی سیاست‌های دولت به‌منظور مقابله با خشک‌سالی، مهم‌ترین دلیل آسیب‌پذیری شدید دامداری سنتی

حاصل از خشک‌سالی را کمبود علوفه برشمردند. معمری و همکاران (Moameri *et al*., 2024) نیز هزینه بالای تأمین نهاده‌ها و علوفه، فرصت‌های اقتصادی بیشتر در مناطق شهری و خشک‌سالی و عدم اجرای طرح‌های مرتع‌داری و مجوز چرا را به‌عنوان چالش‌های پیش روی دامداری سنتی در مناطق شمال‌غربی ایران شناسایی کردند. با توجه به تعدد مطالعات و چالش‌های پایداری این نظام‌ها در پژوهش‌های پیشین نتیجه بررسی این مطالعات در جدول ۱ ارائه‌شده است.

جدول ۱- چالش‌های پایداری نظام‌های دامی از نگاه تحقیقات پیشین

Table 1- Sustainability challenges of livestock systems from perior research

بعد Dimension	مؤلفه Component	محقق/سال Author(s)/Year
اجتماعی Social	کهولت سن دامداران و عدم تمایل نسل جوان به ادامه فعالیت‌های دامداری Advanced age of livestock farmers and young generation's reluctance to continue livestock activities	(Bayat *et al*., 2011) (Becking, 2019)
	تغییر سبک زندگی تولیدکنندگان Change in producers' lifestyle	(Mikhak *et al*., 2018)
	مشکلات آموزشی و خدمات ترویجی ناکافی Educational problems and inadequate extension services	(Tambi & Anyah, 2019) (Mikhak *et al*., 2018)
	درگیری‌های جمعی Collective/communal conflicts	(Ruvuna *et al*., 2014)
	کمبود نیروی کار Labor shortage	(Becking, 2019)
	شکاف جنسیتی Gender gap	(Becking, 2019)
	شهرنشینی و مهاجرت Urbanization and migration	(Chedid, 2019)
	بازاریابی ضعیف و دسترسی نامناسب به بازارهای فروش Weak marketing and poor access to sales markets	(Mikhak *et al*., 2018) (Gong, 2017) (Eeswaran *et al*., 2022) (Bayat *et al*., 2011)
اقتصادی Economic	بالا بودن هزینه‌های تولید High production costs	(Bayat et al., 2011)
	عدم رفاه دامداران و خانواده Lack of welfare for herders and their families	(Becking, 2019)
	رقابت با مشاغل دیگر Competition with other occupations	(Becking, 2019)
	بالا بودن قیمت خوراک دام و نهاده‌های دامی High price of livestock feed and inputs	(Bayat *et al*., 2011)
	کمبود خوراک دام Feed shortage	(Kidanemariam & Fesseha, 2020) (Becking, 2019) (Maass *et al*., 2012)
	نوسان قیمت شیر Milk price fluctuation	(Becking, 2019)
	نوسان قیمت خوراک Feed price fluctuation	(Becking, 2019)
	بهره‌وری پایین Low productivity	(Tambi & Anyah, 2019) (Mikhak *et al*., 2018)
	تأمین اعتبارات و مشکلات قیمت Credit provision and pricing problems	(Becking, 2019)
	حاشیه سود کم Low profit margin	(Gharebash & Ghorchi, 2011)
	محدودیت در تأمین نهاده‌های باکیفیت Limited access to quality inputs	(Mengistu *et al*., 2021)

(Umutoni *et al*., 2015) (Sintayehu *et al*., 2025) (Eeswaran *et al*., 2022) (Bayat *et al*., 2011) (Bayat *et al*., 2011) (Mirakhorli *et al*., 2021)	ناهماهنگی و نوسانات فصلی تقاضای بازار Market demand mismatch and seasonal fluctuations	
(Bayat *et al*., 2011) (Gong, 2017) (Muzzo *et al*., 2023) (Sintayehu et al., 2025)	کمبود منابع آبی Water resource shortage	
(Gharebash & Ghorchi, 2011) (Dahal, 2012)	خشک‌سالی Drought	
(Mikhak *et al*., 2018)	چرای بیش‌ازحد Overgrazing	
(Umutoni *et al*., 2015) (Ruvuna *et al*., 2014)	تأمین علوفه Forage supply	
(Gong, 2017)	تخریب مراتع Rangeland degradation	
(Tambi & Anyah, 2019)	خشک‌سالی و کاهش علوفه Drought and forage reduction	
(Becking, 2019)	دسترسی کم به خوراک دام Low access to livestock feed	
(Becking, 2019)	کمبود خوراک فصلی shortage Seasonal feed	
(Eeswaran *et al*., 2022)	آتش‌سوزی بوته‌ها Bush/rangeland fires	
(Muzzo *et al*., 2023)	دسترسی به آب سالم Access to clean water	زیست‌محیطی Environmental
(Muzzo *et al*., 2023)	افزایش قیمت خوراک به دلیل خشک‌سالی Rising feed prices due to drought	
(Umutoni *et al*., 2015)	افزایش فشار آفات و بیماری‌ها به دلیل تغییرات اقلیمی Increased pest/disease pressure due to climate change	
(Sintayehu *et al*., 2025) (Chedid, 2019) (Eeswaran *et al*., 2022) (Dahal, 2012)	تخریب خاک (بیولوژیکی، شیمیایی، فیزیکی) Soil degradation (biological, chemical, physical)	
(Gharebash & Ghorchi, 2011)	کمبود چراگاه و خوراک با کیفیت Shortage of pasture and quality feed	
(Kidanemariam & Fesseha, 2020) (Muzzo et al., 2023)	بارندگی کم و نامنظم که منجر به کمبود مراتع در فصل خشک Low, irregular rainfall causing rangeland shortage in the dry season	
(Gharebash & Ghorchi, 2011)	کمبود فصلی در تأمین خوراک Seasonal shortage in feed supply	
(Kidanemariam & Fesseha, 2020) Mikhak *et al*.,)/(Becking, 2019) (2018		
(Mengistu *et al*., 2021) (Maass *et al*., 2012) (Tambi & Anyah, 2019) (Muzzo *et al*., 2023) (Ruvuna *et al*., 2014)	تغییرات اقلیمی Climate change	
(Eeswaran *et al*., 2022)	کمبود دانش فنی و مهارت‌های مدیریتی در بین دامداران محلی Lack of technical knowledge and management skills amonge local herders	فنی Technical
(Tambi & Anyah, 2019)	فقدان نظام‌های نوین مدیریتی و دانش فنی روزآمد در بین دامداران Lack of modern management systems and up-to-date technical knowledge among livestock farmers	

	فناوری ناکافی و دانش فنی محدود Inadequate technology and limited technical knowledge	(Kidanemariam & Fesseha, 2020) (Tambi & Anyah, 2019)
	وابستگی به روش‌های سنتی با بهره‌وری پایین Dependence on traditional methods with low productivity	(Mengistu *et al.*, 2021)
	تکنولوژی پایین دامدارهای سنتی Low technology level of traditional livestock farming	(Chedid, 2019)
	پشتیبانی ناکافی و ارائه خدمات ضعیف دامپزشکی Inadequate support and poor veterinary services	(Bayat *et al.*, 2011)
	بیماری‌های دام Livestock diseases	(Gharebash & Ghorchi, 2011) (Mikhak *et al.*, 2018) (Forouzeh & Mirdeilami, 2023) (Muller & Shackleton, 2014)
	پایین بودن بهره‌وری سیستم‌های دامی تحت مدیریت زنان Low productivity of livestock systems managed by women	(Tambi & Anyah, 2019)
	مشکلات تغذیه دام Livestock nutrition problems	(Muller & Shackleton, 2014)
	مشکلات ذخایر دامی Livestock reserve problems	(Muzzo *et al.*, 2023)
	عرضه ضعیف فناوری technology supply Weak	(Muller & Shackleton, 2014)
	عملکرد نژادی Breed performance	(Becking, 2019)
	فقدان مهارت‌ها و داده‌های فنی Lack of skills and technical data	(Becking, 2019)
	سیاست‌های ناپایدار حمایتی دولت Unstable government support policies	(Becking, 2019)
	زیرساخت‌های ناکافی و عدم دسترسی به فناوری‌های نوین Inadequate infrastructure and lack of access to modern technologies	(Becking, 2019)
	عدم‌حمایت‌های مالی و اعتباری کافی Insufficient financial and credit support	(Chedid, 2019)
مدیریتی Managerial	کاهش کمی و کیفی نیروی انسانی Quantitative and qualitative decline of human resources	(Chedid, 2019)
	عدم مشارکت دامداران در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی Lack of livestock farmers participation in decision making and planning	(Feldt *et al.*, 2020) (Eeswaran *et al.*, 2022)
	دسترسی به اطلاعات در مورد تغییر اقلیم و استراتژی‌های سازگاری strategies Access to information on climate change and adaptation	(Eeswaran *et al.*, 2022)
	ضعف مدیریت مالی management Weak financial	(Eeswaran *et al.*, 2022)
	کمبود بودجه Budget shortage	Bayat *et al.*,) (Becking, 2019) (2011
	منافع متضاد سایر کاربران زمین Conflicting interests of other land users	(Mikhak *et al.*, 2018)
	عدم‌حمایت دولت support Lack of government	(Mikhak *et al.*, 2018) (Tambi & Anyah, 2019)
قانونی Legal	مشکلات صادرات و واردات دام زنده برای حفظ توان تولید گله Problems with the export and import of live livestock to maintain herd productivity	(Ruvuna *et al.*, 2014)
	دسترسی کم و قیمت‌های بالای زمین Low access to land and high land prices	(Becking, 2019)
	موقعیت ضعیف چانه‌زنی کشاورزان در زنجیره غذایی Farmers' weak bargaining position in the food chain	(Becking, 2019)
	مقررات زیست‌محیطی سخت‌گیرانه برای استفاده از کود Strict environmental regulations on fertilizer use	(Chedid, 2019)

تصرف زمین Land occupation/encroachment	(Bayat *et al*., 2011)
تجاوز به اراضی زراعی، جنگل‌زدایی و چرای بی‌رویه Encroachment on farmland, deforestation, and excessive grazing	(Bayat *et al*., 2011)
مالکیت زمین Land ownership	(Becking, 2019)
جنگل‌زدایی Deforestation	(Bayat *et al*., 2011)
گسترش برنامه‌ریزی نشده کشت محصولات Unplanned expansion of crop cultivation	(Gong, 2017) (Mikhak *et al*., 2018) (Eeswaran *et al*., 2022)

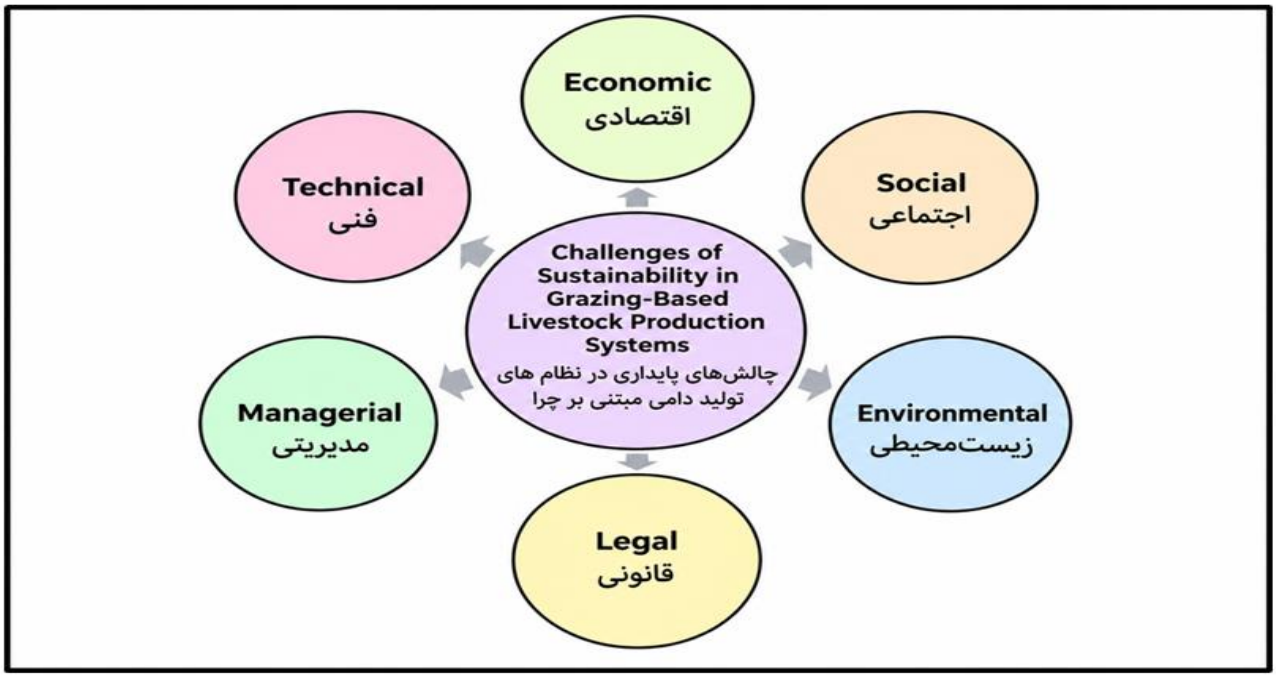
در یک جمع‌بندی از مطالعات پیشین منعکس شده در جدول ۱، چالش‌های پایداری نظام تولید دامی مبتنی بر چرا در شش بعد اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی، فنی، مدیریتی و قانونی دسته‌بندی می‌شوند. دسته‌بندی چالش‌ها در این ابعاد مبتنی بر مرور جامع ادبیات و با هدف ارائه چارچوبی یکپارچه و جامع برای تحلیل این نظام انجام شده است. مطالعات پیشین نشان می‌دهند که پایداری این نظام‌ها تحت تأثیر عوامل چندوجهی و چند بعدی قرار دارد بطوری‌که بعد اجتماعی بر معیشت و پویایی جوامع محلی، بعد اقتصادی بر رفاه مالی و بازار، بعد زیست‌محیطی بر تعادل زیست‌بوم‌ها، بعد فنی بر بهره‌وری و فناوری تولید، بعد مدیریتی بر سازماندهی و برنامه‌ریزی، و بعد قانونی بر چارچوب‌های حقوقی و نهادی تمرکز دارد. این دسته‌بندی، با الهام از چارچوب‌های تحلیلی پایداری در کشاورزی، امکان بررسی ساختارمند چالش‌ها و ارائه راهکارهای سیاستی هدفمند را فراهم می‌کند و یک چارچوب جامع و فراگیر برای بررسی این موضوع ارائه می‌کند.

بر اساس این بخش مطالعه، چالش‌ها در بعد اجتماعی شامل کهولت سن دامداران، عدم تمایل نسل جوان به ادامه دامداری، تغییر سبک زندگی، شهرنشینی، مهاجرت، کمبود نیروی کار در بخش دامداری و درگیری‌های جمعی است که پایداری جوامع محلی را تهدید می‌کند. بعد اقتصادی شامل بازاریابی ضعیف، هزینه‌های بالای تولید، قیمت بالای نهاده‌های دامی، نوسانات قیمت، بهره‌وری پایین و کمبود اعتبارات است که رفاه دامداران را کاهش می‌دهد. در بعد زیست‌محیطی، خشک‌سالی، کمبود آب و علوفه، تخریب مراتع، افزایش آفات و بیماری‌ها و تخریب خاک، پایداری زیست‌بوم‌ها را به خطر می اندازد. بعد فنی با چالش‌هایی مانندکمبود دانش و مهارت دامداران، وابستگی به روش‌های سنتی، فناوری ناکافی، خدمات ضعیف دامپزشکی و مشکلات تغذیه و بیماری دام روبرو است. بعد مدیریتی شامل سیاست‌های ناپایدار، زیرساخت‌های ضعیف، عدم مشارکت دامداران در تشکل‌ها و ضعف مدیریت مالی است. در نهایت، بعد قانونی با چالش‌هایی نظیر کمبود حمایت دولتی، مشکلات مالکیت زمین، مقررات سخت‌گیرانه زیست‌محیطی و گسترش کشت ناپایدار مواجه است. این چالش‌ها، به‌ویژه در مناطق خشک و تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، ضرورت رویکردهای یکپارچه برای پایداری این نظام‌ها را نشان می‌دهد. طبق این مطالعات چالش‌های پایداری در سیستم‌های دامداری، به‌ویژه در مواجهه با تغییرات آب‌وهوایی، اهمیت زیادی دارند. مدیریت مؤثر این چالش‌ها می‌تواند به تقویت پایداری و توسعه سیستم‌های دامداری مبتنی بر چرا کمک کند و در عین حال از معیشت‌هایی که به این سیستم‌ها وابسته‌اند، حمایت کند؛ معیشت‌هایی که اغلب از جمله آسیب‌پذیرترین گروه‌های جامعه هستند.

از مجموع اراضی منابع طبیعی استان کرمانشاه ۱,۲۰۰,۰۰۰ هکتار آن مرتع است که از این مقدار ۵۸ درصد مراتع ییلاقی و ۴۲ درصد مراتع قشلاقی می‌باشند. در ضمن ۵۲۷,۰۰۰ هکتار از کل مراتع استان زیر اشکوب جنگل‌های منطقه هستند. تعداد کل بهره‌برداران مراتع استان ۶۲,۲۰۰ خانوار برآورد شده است که از این تعداد ۷۰۰۰ بهره‌بردار از نوع عشایری می‌باشند. تعداد دام مجاز در مراتع اتان ۱,۹۰۰,۰۰۰ واحد دامی تعیین شده است که ۳۲۵,۰۰۰ واحد دامی آن متعلق به جامعه عشایری است. از کل مراتع استان حدود ۳۱۱,۰۰۰ تن علوفه تولید می شود که ارزش آن معادل ۲۵۰۰ میلیارد تومان است. از نظر نوع دام در مجموع ۳,۴۳۰,۷۱۲ راس دام سبک و سنگین در استان وجود دارد که ۸۴ درصد دام سنگین و ۹۷ درصد دام سبک از نوع روستایی (غیر صنعتی) می‌باشند. بخش دامداری استان سالانه حدود ۳۴۱,۰۰۰ تن شیر و ۴۳ هزار تن گوشت قرمز تولید می‌کند (KGDNR, 2026; KAJO, 2026). یک تحقیق حاکی از آن است که مهمترین عامل فشار بر مراتع استان و تخریب آنها ورود دام غیر مجاز به‌دلیل افزایش قیمت نهاده‌های دامی و آتش‌سوزی گسترده در مراتع است (Hajarian, 2022). در یک بررسی دیگر مهمترین چالش‌های مراتع عشایری استان علاوه بر وجود دام بیش از ظرفیت در مراتع در بخش های برنامه‌ریزی و نظارت، ضعف قوانین و مقررات، اقتصادی و مشکلات کارفرمایان و مجریان طرح‌های مرتعداری شناسایی شده است (Mahmoudi Mosali *et al*., 2025). همچنین تغییرات اقلیمی قابل توجه در سه دهه اخیر همچون افزایش دما، کاهش بارندگی و شدت یافتن خشک‌سالی‌ها، این منطقه به نمونه‌ای ایده‌آل برای مطالعه چالش‌های پایداری سیستم‌های دامداری تبدیل شده است. بطور کلی علی‌رغم اینکه نظام تولید دامی مبتنی بر چرا، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند استان کرمانشاه، نقش کلیدی در تأمین امنیت غذایی

و حفظ معیشت جوامع محلی دارند، بااین‌حال، تغییرات اقلیمی با تأثیرات منفی مانند کاهش بارندگی، افزایش دما و شدت یافتن خشک‌سالی‌ها، پایداری این نظام‌ها را تهدید می‌کند. این تغییرات منجر به کاهش تولید علوفه، افزایش استرس حرارتی بر دام‌ها و ناپایداری اقتصادی و زیست‌محیطی می‌شود. با این حال، خلأ پژوهشی اصلی این است که مطالعات پیشین عمدتاً بر چالش‌های عمومی تأثیرگذار بر بخش دامداری بطور کلی تمرکز کرده‌اند و بررسی جامع و محلی چالش‌های اختصاصی پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا در استان کرمانشاه، به‌ویژه در شرایط تغییرات اقلیمی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این شکاف، نیاز به تحقیقاتی را برجسته می‌کند که چالش‌ها را به‌صورت نظام‌مند شناسایی و تحلیل کند. این پژوهش قصد دارد تا با پر کردن این شکاف، چالش‌های پایداری سیستم‌های دامداری مبتنی بر چرا در این منطقه را شناسایی کند و راهکارهای مؤثری برای مقابله با این چالش‌ها ارائه دهد. در این راستا اهداف مشخص تحقیق عبارتند از: ۱) شناسایی چالش‌های کلیدی پایداری در ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی، مدیریتی، فنی، اجتماعی و قانونی و ۲) پیشنهاد راهکارهای عملی برای ارتقای پایداری نظام های تولید دامی مبتنی بر چرا.

مدل مفهومی چالش‌های پایداری نظام دامی مبتنی بر چرا، که در شکل ۱ ارائه شده، از طریق تلفیق یافته‌های مرور ادبیات و واکاوی‌های اولیه داده‌های میدانی مبتنی بر مشاهده محققان و مصاحبه‌های نیمه ساختارمند با چند نفر از کارشناسان امور دام و منابع طبیعی و دامداران نمونه پیش از ورود به مرحله میدانی اصلی در استان کرمانشاه توسعه یافت. این مدل با شناسایی شش بعد کلیدی (اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، فنی، مدیریتی، قانونی) به‌عنوان چارچوبی جامع، امکان ساختاردهی به چالش‌های پیچیده این نظام را فراهم می‌کند. طراحی مدل بر اساس نیاز به یکپارچگی ابعاد مختلف پایداری و با هدف ارائه ابزاری عملی برای تحلیل روابط بین چالش‌ها و نشانگرهای تشکیل دهنده و تدوین سیاست‌های هدفمند صورت گرفت، که می‌تواند به تصمیم‌گیران در اولویت‌بندی راهکارهای محلی کمک کند.



شکل ۱- مدل مفهومی تحقیق

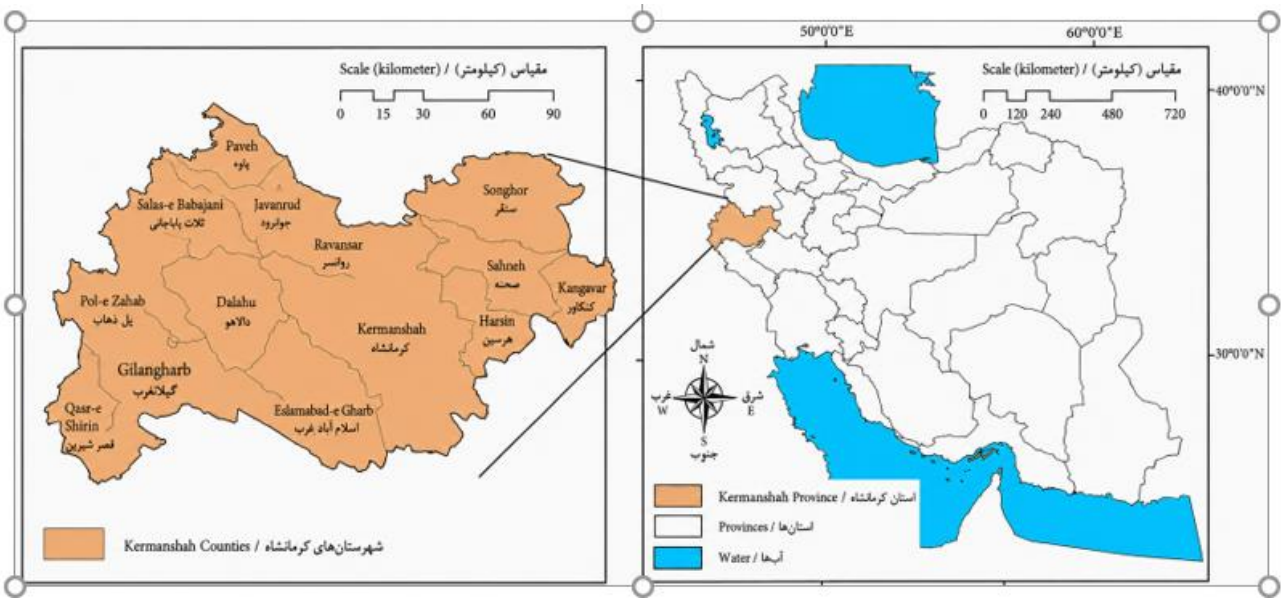
Figure 1- Conceptual model of the research

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

این پژوهش در استان کرمانشاه واقع در بخش میانی رشته‌کوه‌های زاگرس انجام شده است. این استان با مساحتی معادل ۲۵،۰۰۸ کیلومتر مربع، در محدوده جغرافیایی بین طول شرقی ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه و عرض شمالی ۳۳ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه قرار دارد (شکل ۲). استان کرمانشاه از شمال به استان کردستان، از جنوب به استان‌های لرستان و ایلام، از شرق با استان همدان و از غرب با کشور عراق همسایه است (Hajjarian, 2022). استان کرمانشاه، به‌عنوان یکی از قطب‌های دامپروری در زاگرس میانی، نقش مهمی در تأمین خوراک دام از مراتع دارد. این خانوارها بخش عمده‌ای از خوراک موردنیاز دام‌های خود را از طریق چرای دام در مراتع

تأمین می‌کنند. با توجه به میزان تولید علوفه در استان، این منابع تنها پاسخگوی خوراک ۱/۵ میلیون رأس دام هستند، درحالی‌که دام مازاد بر ظرفیت حدود ۱/۴ میلیون رأس است (NRWMO, 2024). مطالعات نشان می‌دهد که در دهه‌های اخیر، تغییرات اقلیمی قابل‌توجهی در استان رخداده است. به‌ویژه، میانگین دما روند افزایشی داشته، درحالی‌که رطوبت نسبی و میزان بارش‌ها کاهش‌یافته است. بررسی شاخص SPEI در بازه زمانی ۲۵ ساله از ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶ در این استان نشان می‌دهد به‌جز بخش‌های کوچکی در جنوب شرقی که دچار خشک‌سالی خفیف تا متوسط بوده، نواحی جنوب غربی با خشک‌سالی شدیدتری مواجه بوده‌اند. همچنین روند تغییر خشک‌سالی نیز نشان می‌دهد که در بیشتر نقاط استان در دهه‌ی اخیر نسبت به دهه‌های گذشته شاهد افزایش شدت و طول دوره‌ی خشک‌سالی و کاهش طول دوره‌ی ترسالی بوده است (Shahbazi *et al.*, 2020). این تغییرات اقلیمی، به‌ویژه افزایش شدت و طول دوره‌ی خشک‌سالی، تأثیر مستقیمی بر کاهش دسترسی به علوفه طبیعی و پایداری نظام‌های دامپروری دارد.



شکل ۲- موقعیت استان کرمانشاه در کشور

Figure 2- The location of Kermanshah Province in the country

پژوهش حاضر ازنظر پارادایم، بر پایه‌ی فلسفه پراگماتیسم (عمل‌گرایی) و مبتنی بر نظریه‌های کشاورزی پایدار است. از منظر رویکرد، کمی، ازنظر هدف، کاربردی، ازنظر شیوه گردآوری داده‌ها، پیمایشی و از نظر رویکرد پردازش داده‌ها توصیفی–همبستگی به شمار می‌رود. هدف اصلی این پژوهش، شناسایی چالش‌های کلیدی پایداری در واحدهای تولیدات دامی مبتنی بر چرا است. چارچوب اصلی از طریق مرور پیشینه بدست آمد و از طریق مشورت با متخصصان بومی، با شرایط خاص استان کرمانشاه انطباق داده شد.

جامعه آماری شامل ۱۴۰ نفر کارشناس خبره در حوزه تخصصی مدیریت امور دام و منابع طبیعی با داشتن حداقل ۵ سال سابقه کار در این حوزه در استان کرمانشاه بودند که به روش سرشماری مورد مطالعه قرار گرفتند. از بین این کارشناسان ۱۳۱ نفر (با نرخ پاسخگویی ۹۳ درصد) پرسشنامه‌های تحقیق را تکمیل کردند. داده‌ها به‌وسیله پرسشنامه محقق‌ساخته و به روش توزیع حضوری در محل کار، از طریق پست الکترونیکی و پیام رسان‌های مرسوم و همراه با تبیین نحوه پاسخگویی و اهداف تحقیق به پاسخگویان، تکمیل و گردآوری شدند. پرسشنامه اولیه پژوهش از طریق مرور پیشینه پژوهش و مصاحبه با صاحب‌نظران و متخصصان موضوعی بخش تولیدات دامی در منطقه مورد مطالعه طراحی شد. در این پرسشنامه چالش‌های نظام‌های تولید دامی مبتنی بر چرا در شرایط تغییر اقلیم در قالب شش عامل اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، فنی، مدیریتی و قانونی دسته‌بندی شدند. مقیاس اندازه‌گیری متغیرها نیز طیف لیکرت بود. روایی محتوایی پرسشنامه توسط کارشناسان حوزه مدیریت منابع طبیعی و امور دام استان کرمانشاه و اعضای هیأت علمی گروه مدیریت و توسعه کشاورزی دانشگاه تهران مورد تأیید قرار گرفت. پایایی ابزار تحقیق (مقیاس کل) با روش انسجام درونی مقیاس بررسی شد که ضریب آلفای کرونباخ معادل ۰/۹۰۳ بدست آمد. برای تجزیه‌وتحلیل اطلاعات، علاوه بر آمارهای توصیفی (میانگین و درصد فراوانی) از تحلیل عاملی تأییدی به روش حداقل مربعات جزئی استفاده شد. نرم‌افزارهای مورداستفاده برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نیز SPSS27 و Smart PLS3 بود. برای ارزیابی نیکویی برازش مدل در این پژوهش، از روش حداقل مربعات

جزئی (PLS)[1] با نرم‌افزار Smart PLS3 استفاده شد. شاخص‌های روایی و پایایی شامل میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE[2]) بالاتر از ۰/۵، پایایی ترکیبی (CR) [3]بالاتر از ۰/۷، و بارهای متقاطع مناسب بود که نشان‌دهنده روایی همگرا و افتراقی مناسب سازه‌ها هستند. برای بررسی هم‌خطی، شاخص عامل تورم واریانس (VIF)[4] محاسبه شد و تمامی نشانگرها با مقادیر کمتر از ۵ حفظ شدند، که فقدان هم‌خطی را تأیید می‌کند. روش مقادیر ویژگی تک خصیصه‌ای به چند خصیصه‌ای (HTMT) [5] نیز برای سازه‌های چالش‌های اجتماعی ۰/۷۷۰، چالش های اقتصادی ۰/۸۲۵، چالش‌های زیست‌محیطی ۰/۷۶۰، چالش‌های فنی ۰/۷۱۹، چالش‌های قانونی ۰/۷۸۵ و چالش‌های مدیریتی ۰/۷۳۹ بود که اعتبار مدل را تأیید کرد. ضریب تعیین (R^2) برای کوچکترین سازه چالش قانونی ۰/۲۰۶ محاسبه شد که، اگرچه کمتر از آستانه ایده‌آل ۰/۲۵ است، با توجه به پیچیدگی زمینه‌ای نظام‌های دامی مبتنی بر چرا و محدودیت‌های داده‌ای در منطقه مورد مطالعه، قابل‌قبول است.

یافته‌های پژوهش

ویژگی‌های فردی-حرفه‌ای کارشناسان

نتایج تحلیل توصیفی داده‌ها نشان داد که میانگین سنی کارشناسان موردمطالعه ۴۳/۸ بود. از نظر جنسیت ۵۷/۳ درصد پاسخگویان را مردان و ۴۲/۷ درصد را زنان تشکیل دادند. از نظر وضعیت شغلی، ۷۶/۳ درصد پاسخگویان از بین کارشناسان جهاد کشاورزی، ۱۱/۵ درصد کارشناسان نظام‌مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، ۹/۲ درصد کارشناسان شرکت های فعال در بخش دام، ۱/۵ درصد از بین اعضای هیأت‌علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و ۱/۵ درصد نیز دامداران پیشرو بودند. میانگین سابقه خدمت افراد ۱۳/۹ سال با انحراف معیار ۴/۹ سال بود. از نظر سطح تحصیلات نیز ۱/۵ درصد دارای مدرک تحصیلی دیپلم، ۴۳/۵ درصد دارای مدرک لیسانس، ۵۵ درصد دارای تحصیلات فوق‌لیسانس و بالاتر بودند که رشته تحصیلی ۵۷/۳ درصد در رشته دام، ۲۷/۵ درصد در رشته ترویج، ۵/۳ درصد در رشته زراعت، ۸/۴ درصد در رشته منابع طبیعی و ۱/۶ درصد سایر رشته‌های تحصیلی بودند و همگی در بخش دام دارای سابقه فعالیت بودند.

تحلیل عاملی تأییدی چالش‌های پایداری

به‌منظور تحلیل چالش‌های پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا از دیدگاه کارشناسان از تکنیک تحلیل عاملی تأییدی به روش حداقل مربعات جزئی (PLS) استفاده شد. بدین‌منظور بر اساس مرور ادبیات موضوع و مصاحبه‌های نیمه‌ساختارمند با متخصصان موضوعی فهرستی از چالش‌های پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا در استان کرمانشاه در شش دسته شامل اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، قانونی، مدیریتی و فنی دسته‌بندی شدند. به‌منظور بهبود برازش مدل تحقیق، نشانگرهای دارای بار عاملی ضعیف (کمتر از ۰/۷) از مدل خارج و سازه‌هایی که مقدار AVE بالاتر از ۰/۵ بود نشانگرهای دارای بار عاملی بین ۰/۵ تا ۰/۷ نیز در مدل حفظ شدند (جدول ۲).

ارزیابی مقادیر آلفای کرونباخ (α) و پایایی ترکیبی (CR) سازه‌های مدل نیز نشان داد که مقادیر آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی همه سازه‌های مدل بالاتر از ۰/۷ است که بیانگر پایایی مطلوب آن است. نتایج معیار واریانس استخراج‌شده (AVE) نشان داد تفکیک سازه‌ها به‌درستی صورت گرفته و مدل تحقیق از روایی واگرا و همگرای مطلوبی برخوردار است. بر اساس نتایج جدول ۳، که شاخص فورنل و لارکر را برای تبیین روایی تشخیصی نشان می‌دهد حاکی از آن است که نشانگرهای منتخب برای اندازه‌گیری سازه‌های موجود از روایی تشخیصی یا واگرای خوبی برخوردارند، زیرا ریشه دوم میانگین واریانس استخراج شده برای هر سازه در قطر ماتریس از تمام همبستگی‌های سایر عوامل با آن عامل بیشتر است. به‌عبارتی هر نشانگر بیشترین همبستگی را فقط با سازه خود و کمترین همبستگی را با سایر سازه‌ها دارد. به‌عبارت دیگر، مادامی که اعداد زیر قطر ماتریس کمتر از اعداد قرار گرفته بر روی قطر هستند روایی بالایی وجود دارد.

نتایج بررسی روایی واگرا با استفاده از روش مقادیر ویژگی تک خصیصه‌ای به چند خصیصه‌ای (HTMT) نیز کمتر از ۰/۹ بود که تأییدکننده نتایج معیار فورنل و لارکر (جدول ۳) یا روایی واگرای مناسب سازه‌ها است (جدول ۴).

جدول بارهای عاملی متقاطع (جدول ۵) برای ارزیابی روایی افتراقی یا واگرایی مدل اندازه‌گیری در این پژوهش استفاده شد. بارهای متقاطع نشان دادند که هر نشانگر با سازه مرتبط خود بار عاملی بالاتری (بیش از ۰/۷) در مقایسه با سایر سازه‌ها دارد، که تأییدکننده تمایز مناسب بین سازه‌ها (اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی، فنی، مدیریتی، قانونی) است. این تحلیل مبنای تصمیم‌گیری برای حفظ نشانگرهای معتبر در مدل قرار گرفت و اطمینان داد که سازه‌ها به‌درستی از یکدیگر تفکیک شده‌اند، بنابراین نتایج تحلیل عاملی تأییدی و روابط ساختاری با دقت بیشتری تفسیر شدند. بنابراین بر اساس یافته های این جدول نیز، روایی واگرای مدل تأیید می‌گردد.

1- Partial Least squares
2- Average Variance Exteracted
3- Composite Reliability
4- Variance Inflation Factor
5- Heterotrait-Monotrait ratio

جدول ۲- چالش‌های پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا از دیدگاه کارشناسان به همراه مقادیر بار عاملی

Table 2- Sustainability challenges with factor-loading values

سازه Construct	نشانگر Indicator	نماد Symbol	بار عاملی Factor loading	آماره تی t-value	معنی سطح داری Sig.
محیط‌زیست (Environmental ENV)	افزایش تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی Increasing climate change and drought	ENV1	0.858	24.011	0.000
	عدم کفایت مراتع برای دام‌های موجود (کمبود و محدود بودن مراتع) Shortage and limited extent of rangelands (insufficient for existing livestock)	ENV2	0.780	10.636	0.000
	بهره‌برداری غیر بهینه از مراتع Non-optimal utilization of rangelands	ENV3	0.819	14.192	0.000
	افزایش فرسایش خاک در مراتع Increasing soil erosion in rangelands	ENV4	0.758	11.385	0.000
	عدم دسترسی به آب کافی و مناسب در مرتع برای دام‌ها Lack of access to sufficient, suitable water for livestock in rangelands	ENV5	0.759	11.773	0.000
	افزایش درجه حرارت و گرما در تابستان در مقایسه با قبل افزایش Rising summer temperature and heat compared to before	ENV7	0.767	13.334	0.000
	افزایش طوفان و ریز گردها در مراتع Increasing storms and dust in rangelands	ENV12	0.567	4.945	0.000
	توسعه اندک کشت علوفه و مناسب شرایط اکولوژیکی منطقه Limited development of forage cultivation suited to the region's ecological conditions	ENV13	0.740	9.159	0.000
اقتصادی Economic (ECO)	عدم وجود منابع اعتباری جهت اعطای تسهیلات کم‌بهره Lack of credit resources for granting low-interest loans	ECO1	0.831	23.024	0.000
	بالا بودن هزینه تولید دام‌های مرتعی به دلیل سنتی بودن تولید High production cost of rangeland livestock due to traditional production methods	ECO2	0.821	15.143	0.000
	ضعف توانایی مالی دامداران در خرید خوراک دام Herders' weak financial capacity to purchase livestock feed	ECO3	0.850	18.252	0.000
	عدم وجود ثبات اقتصادی در بازار دام و فرآورده‌های آن در کشور Lack of economic stability in the national livestock and livestock-product market	ECO5	0.841	15.768	0.000
	بالا بودن قیمت نهاده‌ها و خوراک دام در بازار High market prices of inputs and livestock feed	ECO8	0.856	26.405	0.000
	عدم وجود رقابت‌پذیری بخش دامداری با سایر بخش‌های اقتصادی Lack of competitiveness of the livestock sector versus other economic sectors	ECO9	0.749	7.611	0.000
مدیریتی Managerial (MAN)	عدم سازمان‌دهی مردم در قالب تشکل‌های محلی جهت اقدامات بهتر و نظام‌مندتر و ارائه بهتر خدمات و پشتیبانی‌ها Lack of people's organization into local associations for better, more systematic action and improved services/support	MAN4	0.837	18.992	0.000
	نبود تشکل‌ها و اتحادیه‌های فعال و کارآمد استفاده‌کنندگان از مراتع Absence of active, effective associations/unions of rangeland users	MAN5	0.745	9.359	0.000
	عدم‌حمایت مناسب دولت از دامداران فعال در مراتع Lack of adequate government support for herders active in rangelands	MAN7	0.616	7.643	0.000
	مداخله ناکارآمد دولت در بازار دام Ineffective government intervention in the livestock market	MAN12	0.676	8.819	0.000
	زنجیره ارزش ناکارآمد محصولات دامی Inefficient value chain for livestock products	MAN13	0.806	20.011	0.000
	نبود مراکز خرید و صنایع تبدیلی محصولات دامی Lack of purchasing centers and processing industries for livestock	MAN14	0.752	11.809	0.000

	products عدم تخصیص به‌موقع نهاده‌های دامی	MAN17	0.721	8.958	0.000
Technical (TEC) فنی	Failure to allocate livestock inputs in a timely manner بهره‌وری پایین دام‌های مرتعی	TEC1	0.823	23.583	0.000
	Low productivity of rangeland livestock بالا بودن ضریب تبدیل در تولید دام‌های بومی	TEC2	0.731	13.684	0.000
	High feed-conversion ratio in native-breed production عدم دسترسی مناسب و به‌موقع به نهاده‌های دامی	TEC5	0.719	15.390	0.000
	Lack of adequate, timely access to livestock inputs کیفیت پایین نهاده‌های دامی	TEC6	0.666	9.881	0.000
	Low quality of livestock inputs عدم آشنایی با مدیریت تولیدمثل دام، مراقبت بارداری و تغذیه بره و...	TEC7	0.573	6.980	0.000
	Unfamiliarity with reproduction management, pregnancy care, lamb nutrition, etc. بهره‌وری پایین و عدم همگامی با پیشرفت‌های فناورانه به دلیل پایین بودن سطح علمی دامداران	TEC9	0.798	21.734	0.000
	Low productivity and failure to keep pace with technological advances due to herders' low education level اتکای صرف بسیاری از دامداران به دانش بومی در مدیریت گله‌ها (عدم استفاده از دانش نوین)	TEC10	0.695	10.084	0.000
Social (SCO) اجتماعی	Many herders' sole reliance on indigenous knowledge for herd management (no use of modern knowledge) مهاجرت عشایر به شهرها به دلیل جاذبه‌های شهری	SCO1	0.745	10.806	0.000
	Migration of nomads to cities due to urban attractions کمبود اطلاعات در مورد بهره‌برداری، حفظ و احیای مراتع	SCO3	0.820	17.649	0.000
	Lack of information on rangeland utilization, conservation, and restoration عدم دسترسی دامداران به نیروی کار مناسب در فعالیت‌های مربوط به پرورش دام	SCO4	0.698	8.365	0.000
	Herders' lack of access to suitable labor for livestock-rearing activities عدم آگاهی و دانش کافی به‌منظور مقابله با خشک‌سالی و تأثیرات آن بر مراتع	SCO5	0.853	20.522	0.000
	Insufficient awareness and knowledge to cope with drought and its effects on rangelands عدم مشارکت دامداران در برنامه‌ها و طرح‌های مرتع‌داری	SCO6	0.844	29.833	0.000
	Herders' lack of participation in rangeland-management programs and plans عدم مشارکت دامداران در برنامه‌ها و طرح‌های اصلاح نژاد دام	SCO7	0.639	9.893	0.000
	Herders' lack of participation in livestock breed-improvement programs and plans مشکلات مربوط به بهره‌برداری مشاعی از مراتع	LEG1	0.781	10.437	0.000
	Problems related to common (shared) use of rangelands مشکلات صادرات و واردات دام	LEG4	0.683	8.305	0.000
	Problems with livestock export and import معطوف بودن سیاست‌های دولت در تعیین قیمت گوشت دام به حمایت از مصرف‌کننده	LEG8	0.810	10.313	0.000
Legal (LEG) قانونی	Government meat-pricing policies being oriented toward consumer protection سیاست‌گذاری‌ها و تصمیم‌گیری‌های نابجا	LEG10	0.710	6.961	0.000
	Misguided policymaking and decision-making مشخص نبودن وضعیت منابع طبیعی در برنامه‌های کلان کشور	LEG11	0.854	11.133	0.000
	Unclear status of natural resources in the country's macro-level plans عدم اختصاص کافی بودجه و اعتبارات دولت در حفظ منابع طبیعی و بهره‌برداری از مراتع	LEG12	0.874	11.113	0.000
	Insufficient government budget/credit allocation for natural-resource conservation and rangeland use ضعف پوشش بیمه محصولات کشاورزی و دام	LEG13	0.764	8.010	0.000
	Weak insurance coverage for agricultural and livestock products				

مأخذ : (یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲)

Source: Research findings, 2023

با توجه به معنادار بودن ضرایب مسیر (در سطح خطای ۰/۰۵) درصد و مقادیر آماره t که بالاتر از حد بحرانی ۱/۹۶ است می‌توان اذعان که همه چالش‌های پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا از دیدگاه کارشناسان مورد تأیید بوده‌اند (جدول ۶).

جدول ۳- روایی سنجی مدل اندازه‌گیری با استفاده از شاخص فورنل و لارکر

Table 3- Discriminant validity: Fornell–Larcker criterion

	سازه					
	اجتماعی Social	اقتصادی Economic	زیست‌محیطی Environmental	فنی Technical	قانونی Legal	مدیریتی Managerial
اجتماعی Social	0.770	-	-	-	-	-
اقتصادی Economic	0.204	0.825	-	-	-	-
محیطی‌زیست Environmental	0.230	0.483	0.760	-	-	-
فنی Technical	0.318	0.136	0.389	0.719	-	-
قانونی Legal	0.154	0.350	0.198	0.004	0.785	-
مدیریتی Managerial	0.372	0.277	0.295	0.412	0.173	0.739

مأخذ : (یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲)

Source: Research findings, 2023

جدول ٤- روایی سنجی مدل اندازه‌گیری با استفاده از شاخص

Table 4- Discriminant validity: HTMT ratio HTMT

	HTMT					
	اجتماعی Social	اقتصادی Economic	زیست‌محیطی Environmental	فنی Technical	قانونی Legal	مدیریتی Managerial
اجتماعی Social	-	-	-	-	-	-
اقتصادی Economic	0.223	-	-	-	-	-
محیطی‌زیست Environmental	0.275	0.535	-	-	-	-
فنی Technical	0.376	0.175	0.438	-	-	-
قانونی Legal	0.170	0.382	0.228	0.135	-	-
مدیریتی Managerial	0.410	0.304	0.324	0.475	0.197	-

مأخذ : (یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲)

Source: Research findings, 2023

نتایج ارزیابی کیفیت مدل ساختاری چالش‌های پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا از دیدگاه کارشناسان در جدول ۶ ارائه شده است. بر اساس نتایج ضریب استاندارد بتا (ضرایب مسیر)، مهمترین چالش پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا در استان کرمانشاه مربوط به چالش‌های زیست‌محیطی با ضریب مسیر ۰/۷۵۶ است. این امر بر نقش حیاتی عوامل محیطی در تعیین پایداری کلی نظام‌های دامی مبتنی بر چرا از دیدگاه کارشناسان تأکید می‌کند. در میان چالش‌های زیست‌محیطی شناسایی‌شده، چندین عامل کلیدی به‌عنوان عوامل مهم بر پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا شناسایی شدند. از بین چالش‌های زیست‌محیطی و بر طبق مقادیر بارهای عاملی، افزایش تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی (با بار عاملی ۰/۸۵۸) به‌عنوان مهمترین چالش زیست‌محیطی شناخته شد. همچنین، بهره‌برداری حداکثری از مراتع در سال‌های اخیر (با بار عاملی ۰/۸۱۹)، کمبود و محدود بودن مراتع (عدم‌کفایت مراتع برای دام‌های موجود) (با بار عاملی ۰/۷۸۰) نیز به‌عنوان یک چالش زیست‌محیطی حیاتی شناخته شد.

چالش‌های اقتصادی با ضریب مسیر ۰/۶۸۳ دومین چالش مهم

پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا در منطقه است. بر اساس نتایج، از بین چالش‌های اقتصادی پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا در استان کرمانشاه بالا بودن قیمت نهاده‌ها و خوراک دام در بازار (با بار عاملی ۰/۸۵۶) به‌عنوان مهمترین چالش اقتصادی شناخته شد. همچنین، ضعف توانایی مالی دامداران در خرید خوراک دام (با بار عاملی ۰/۸۵۰)، عدم وجود ثبات اقتصادی در بازار دام و فرآورده‌های آن در کشور (با بار عاملی ۰/۸۴۱) نیز به‌عنوان چالش اقتصادی جدی شناخته شد.

سومین چالش پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا از دیدگاه کارشناسان مربوط به چالش‌های مدیریتی با ضریب مسیر ۰/۶۶۹ است. بر اساس نتایج، از بین چالش‌های مدیریتی پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا در استان کرمانشاه چندین عامل کلیدی به‌عنوان چالش‌های مهم پایداری نظام‌های دامی برجسته شده است. عدم سازمان‌دهی مردم در قالب تشکل‌های محلی جهت اقدامات بهتر و نظام‌مندتر و ارائه بهتر خدمات و پشتیبانی‌ها (با بار عاملی ۰/۸۳۷)، زنجیره ارزش ناکارآمد محصولات دامی (با بار عاملی ۰/۸۰۶)، و نبود مراکز خرید و صنایع تبدیلی محصولات دامی (با بار عاملی ۰/۷۵۲) نیز به‌عنوان یک چالش مدیریتی حیاتی شناخته شد.

جدول ۵- بارهای عاملی متقاطع مدل اندازه‌گیری چالش‌های پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا از دیدگاه کارشناسان

Table 5- Cross-loadings of the measurement model

معرف‌ها	اجتماعی Social	اقتصادی Economic	زیست‌محیطی Environmental	فنی Technical	قانونی Legal	مدیریتی Managerial
ECO1	0.127	0.831	0.409	0.173	0.144	0.291
ECO2	0.167	0.821	0.445	0.035	0.300	0.235
ECO3	0.246	0.850	0.355	0.091	0.366	0.191
ECO5	0.125	0.841	0.448	0.160	0.260	0.223
ECO8	0.182	0.856	0.457	0.135	0.410	0.272
ECO9	0.165	0.749	0.247	0.067	0.232	0.144
ENV1	0.297	0.497	0.858	0.352	0.254	0.359
ENV2	0.140	0.443	0.780	0.281	0.179	0.121
ENV3	0.233	0.260	0.819	0.387	0.115	0.342
ENV4	0.196	0.388	0.758	0.259	0.141	0.216
ENV5	0.163	0.254	0.759	0.333	0.034	0.262
ENV7	0.216	0.211	0.767	0.333	0.063	0.320
ENV12	0.010	0.446	0.567	0.124	0.198	0.040
ENV13	0.056	0.458	0.740	0.243	0.216	0.035
LEG1	0.191	0.251	0.191	0.065	0.781	0.163
LEG4	0.068	0.310	0.132	0.049	0.683	0.170
LEG8	0.113	0.166	0.157	-0.027	0.810	0.130
LEG10	0.074	0.239	0.171	-0.110	0.710	0.038
LEG11	0.193	0.303	0.134	0.008	0.854	0.089
LEG12	0.111	0.319	0.139	0.057	0.874	0.176
LEG13	0.073	0.320	0.172	-0.062	0.764	0.159
MAN4	0.406	0.254	0.295	0.277	0.145	0.837
MAN5	0.242	0.244	0.154	0.212	0.135	0.745
MAN7	0.279	0.237	0.259	0.339	0.162	0.616
MAN12	0.142	0.100	0.225	0.357	0.019	0.676
MAN13	0.393	0.212	0.231	0.441	0.163	0.806
MAN14	0.234	0.214	0.143	0.236	0.206	0.752
MAN17	0.137	0.142	0.195	0.242	0.026	0.721
SCO1	0.745	0.155	0.195	0.172	0.061	0.162
SCO3	0.820	0.094	0.171	0.289	0.100	0.299
SCO4	0.698	0.134	-0.021	0.249	0.023	0.235
SCO5	0.853	0.089	0.142	0.214	0.054	0.352
SCO6	0.844	0.284	0.274	0.309	0.181	0.261
SCO7	0.639	0.148	0.219	0.217	0.233	0.385
TEC1	0.291	0.164	0.305	0.823	-0.081	0.271
TEC2	0.042	0.107	0.254	0.731	0.110	0.391
TEC5	0.186	0.144	0.321	0.719	0.070	0.292
TEC6	0.347	0.063	0.274	0.666	-0.041	0.225
TEC7	0.223	0.143	0.201	0.573	-0.038	0.224
TEC9	0.291	0.023	0.343	0.798	-0.075	0.424
TEC10	0.227	0.041	0.238	0.695	0.086	0.218

مأخذ : (یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲)

Source: Research findings, 2023

جدول ٦- ارزیابی کیفیت مدل ساختاری چالش‌های پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا از دیدگاه کارشناسان

Table 6- Quality assessment of structural model

	بتا Beta	آماره t t-value	Sig Sig	AVE AVE	A Alpha	CR CR
اجتماعی Social	0.563	7.434	0.000	0.594	0.861	0.897
اقتصادی Economic	0.683	8.298	0.000	0.681	0.906	0.928
زیست‌محیطی Environmental	0.756	13.104	0.000	0.578	0.894	0.915
فنی Technical	0.593	6.882	0.000	0.517	0.841	0.881
قانونی Legal	0.454	4.635	0.000	0.616	0.895	0.918
مدیریتی Managerial	0.669	6.842	0.000	0.547	0.860	0.893

مأخذ : (یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲)

Source: Research findings, 2023

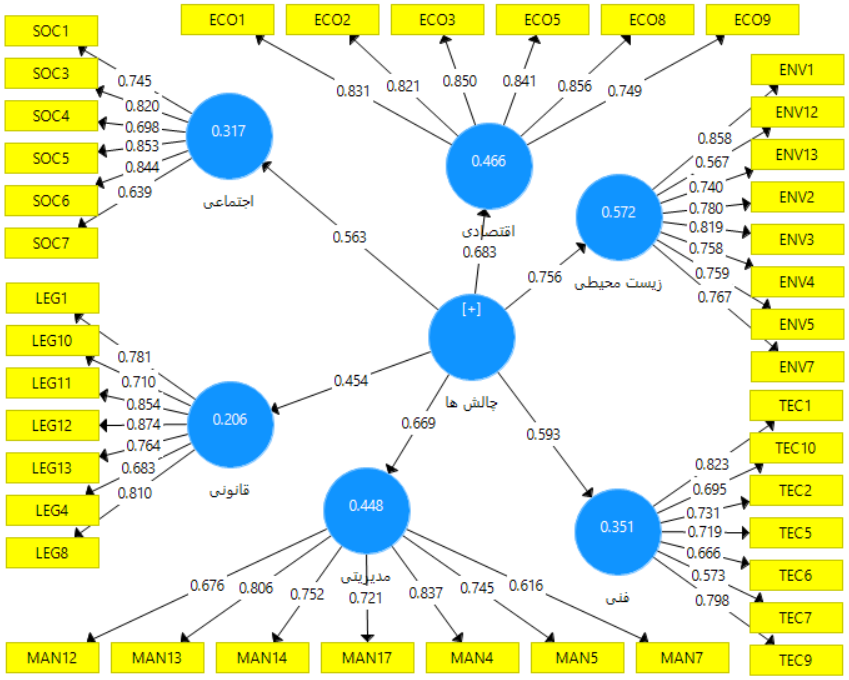
چالش دیگر مؤثر بر پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا در استان کرمانشاه از دیدگاه کارشناسان، چالش‌های فنی با ضریب ۰/۵۹۳ بود. یکی از چالش‌های فنی کلیدی شناسایی‌شده بهره‌وری پایین دام‌های مرتعی (با بار عاملی ۰/۸۲۳) است که به‌عنوان یک مانع اصلی برجسته شده است. بهره‌وری پایین و عدم همگامی با پیشرفت‌های فناورانه به دلیل پایین بودن سطح علمی دامداران (با بار عاملی ۰/۷۹۸) بالا بودن ضریب تبدیل در تولید دام‌های بومی (با بار عاملی ۰/۷۳۱) به‌عنوان دیگر چالش فنی کلیدی با شناسایی شد.

پنجمین چالش پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا در استان کرمانشاه از دیدگاه کارشناسان مربوط به چالش‌های اجتماعی با ضریب ۰/۵۶۳ بود. بر اساس نتایج، از بین چالش‌های اجتماعی پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا در استان کرمانشاه، عدم آگاهی و دانش کافی به‌منظور مقابله با خشک‌سالی و تأثیرات آن بر مراتع (با بار عاملی ۰/۸۵۳) به‌عنوان مهمترین چالش اجتماعی شناسایی شد. عدم مشارکت دامداران در برنامه‌ها و طرح‌های مرتع‌داری (با بار عاملی ۰/۸۴۴) و کمبود اطلاعات در مورد بهره‌برداری، حفظ و احیای مراتع (با بار عاملی ۰/۸۲۰) به‌عنوان یکی دیگر از چالش‌های اجتماعی کلیدی شناسایی شد.

درنهایت، چالش‌های قانونی با ضریب مسیر (۰/۴۵۴) در رتبه آخر چالش‌های پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا از دیدگاه کارشناسان دسته‌بندی‌شده است. از بین چالش‌های قانونی، عدم اختصاص کافی بودجه و اعتبارات دولت در حفظ منابع طبیعی و بهره‌برداری از مراتع (با بار عاملی ۰/۸۷۴) به‌عنوان مهمترین چالش قانونی شناخته شد. مشخص نبودن وضعیت منابع طبیعی در برنامه‌های کلان کشور (با بار عاملی ۰/۸۵۴) و معطوف بودن سیاست‌های دولت در تعیین قیمت گوشت دام به حمایت از مصرف‌کننده (با بار عاملی ۰/۸۱۰) به‌عنوان یک چالش دیگر قانونی شناخته شد. این موضوع اهمیت همسویی سیاست‌های قیمت‌گذاری را با اصول پایداری و توزیع عادلانه منافع در بین ذینفعان در زنجیره ارزش دام نشان می‌دهد. مکانیسم‌های قیمت‌گذاری منصفانه می‌تواند ضمن تأمین نیازهای مصرف‌کننده به تضمین پایداری طولانی‌مدت تولید دام کمک کند (شکل ۳ و ۴).

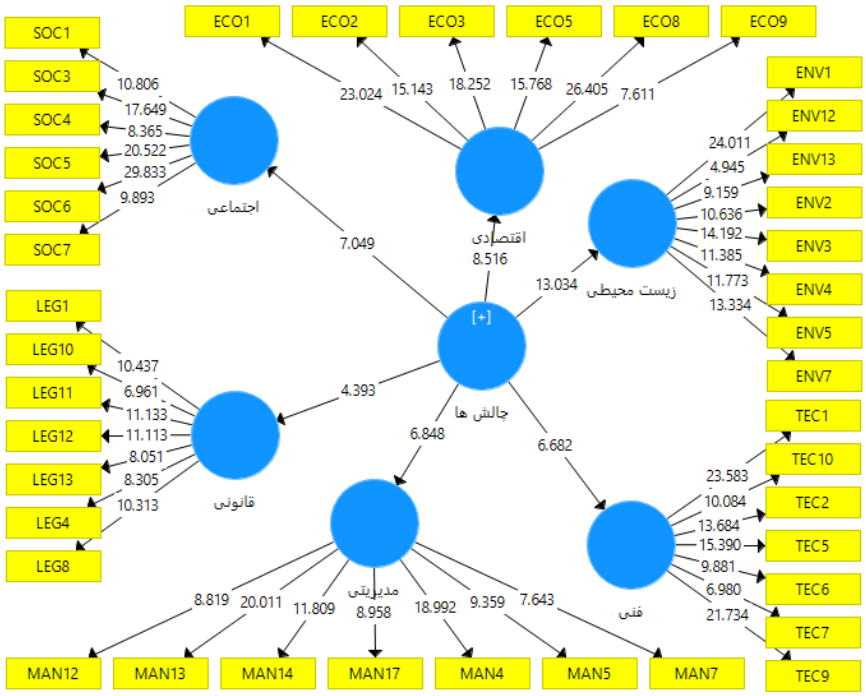
بحث

بر اساس نتایج تحقیقات اخیر، مهم‌ترین چالش در مسیر پایداری سیستم‌های دامی مبتنی بر چرا در استان کرمانشاه، مسائل زیست‌محیطی است. در بین این مسائل، تغییرات اقلیمی و خشکسالی به‌عنوان چالش‌های اصلی شناسایی شده‌اند. با توجه به اینکه تغییرات اقلیمی می‌تواند آسیب‌پذیری این سیستم‌ها را افزایش دهد و رشد جمعیت و توسعه اقتصادی نیز به تقاضای بیشتر برای مواد غذایی منجر می‌شوند، ضرورت ایجاد و اجرای استراتژی‌های تطبیقی جهت کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی بیش از پیش احساس می‌شود. این استراتژی ها می‌توانند به حفظ و تقویت پایداری سیستم‌های دامی و بهبود شرایط زیست‌محیطی کمک کنند. در این راستا، توجه به مدیریت منابع طبیعی و اجرای برنامه‌های مؤثر برای مقابله با خشکسالی و تغییرات اقلیمی ضروری است. همچنین افزایش آگاهی و توانمندی کشاورزان و دامداران می‌تواند نقش مهمی در کاهش تأثیرات منفی این چالش‌ها ایفا کند. نتایج این تحقیق بامطالعه معمری و همکاران (Moameri *et al.*, 2024)، میرزایی و منصور (Mirzaei & Zibaei, 2013) و بیات و همکاران (Bayat *et al.*, 2011) پیرامون آسیب‌پذیری شدید دامداری‌ای سنتی حاصل از خشک‌سالی همسو است.



شکل ۳- مقادیر بار عاملی و ضرایب مسیر مدل چالش‌های پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا (مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲)

Figure 3- Factor loadings and path coefficients of the sustainability challenges model of grazing-based livestock systems (Source: Research findings, 2023)



شکل ٤- مقادیر آماره t مربوط به متغیرهای آشکار و پنهان مدل چالش‌های پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا (مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲)

Figure 4- t-Statistic values for observed and latent variables of the sustainability challenges model of grazing-based livestock systems (Source: Research findings, 2023)

بهره‌برداری نادرست از مراتع به‌عنوان یکی از مسائل جدی زیست‌محیطی مطرح شده است. شیوه‌های چرای شدید باعث فشار زیادی بر منابع طبیعی می‌شود که نتیجه آن تخریب خاک و فرسایش آن است. همچنین کاهش تنوع زیستی و کاهش تولید علوفه رخ می دهد که این کاهش نمی‌تواند نیازهای دام‌ها را برآورده کند و باعث افزایش وابستگی به علوفه دستی می‌شود. این وضعیت می‌تواند هزینه‌های دامداری را افزایش داده و سودآوری آن را کاهش دهد، که در نهایت پایداری سیستم‌های دامداری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، اتخاذ سیاست‌هایی برای جلوگیری از افزایش بی‌رویه تعداد دام و پرهیز از چراندن زودهنگام آنها در فصولی که چرا مناسب نیست، می تواند به جلوگیری از تخریب مراتع کمک کند. علاوه بر این، کمبود و محدود بودن مرتع، چالش زیست‌محیطی دیگر شناخته شد که بامطالعه اسواران و همکاران (Eeswaran *et al.*, 2022) و حبانابکیز و همکاران (Habanabakize *et al.*, 2022) پیرامون کمبود مراتع و دسترسی به علوفه و تغییرات اقلیمی همسو است. این چالش اهمیت شیوه‌های مدیریت پایدار مراتع و نیاز به رسیدگی به مسائل مربوط به کمبود و شیوه بهره‌برداری از مراتع را برای اطمینان از پایداری طولانی‌مدت نظام‌های دامی مبتنی بر چرا را نمایان می‌کند.

دومین چالش‌های بزرگ در پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا در منطقه، چالش‌های اقتصادی است. از جمله مهم‌ترین این چالش‌ها، افزایش قیمت نهاده‌ها و خوراک دام در بازار محسوب می‌شود، که فشار مالی سنگینی را بر دامداران وارد کرده و هزینه‌های تولید را افزایش می دهد. این موضوع می‌تواند توانایی دامداران را برای استفاده پایدار از مراتع کاهش دهد. همچنین، کمبود قدرت مالی دامداران برای خرید خوراک دام به‌عنوان یکی دیگر از چالش‌های اقتصادی به‌شمار می‌رود. این مسئله به محدودیت‌های مالی دامداران در دسترسی به منابع حیاتی برای دام‌هایشان اشاره دارد و می‌تواند باعث کاهش بهره‌وری و عدم پایداری در سیستم‌های دامی شود که بامطالعه معمری و همکاران (Moameri *et al.*, 2024)، صالحی (Salehi, 2004)، بیات و همکاران (Bayat *et al.*, 2011)، قره‌باش و قورچی (Gharebash & Ghorchi, 2011) و حبانابکیز و همکاران (Habanabakize *et al.*, 2022) در زمینه هزینه بالای تأمین نهاده‌ها و علوفه موردنیاز برای دام و ناتوانی مالی دامداران همسو است. نبود ثبات اقتصادی در بازار دام و محصولات مرتبط با آن به‌عنوان یک چالش اقتصادی اساسی در کشور شناخته می‌شود. این چالش به نوسانات قیمتی و تقاضای نامطمئن اشاره دارد که می‌تواند به‌طور جدی بر درآمد و زندگی کشاورزان تأثیر بگذارد و در نهایت بر پایداری سیستم‌های دامداری مبتنی بر چرا نیز اثرات منفی داشته باشد. این عدم ثبات، با ایجاد عدم اطمینان در بازار، توانایی کشاورزان را برای برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و مدیریت مؤثر منابعشان کاهش می‌دهد و موجب نگرانی‌های بیشتری در خصوص آینده اقتصادی بخش دامپروری می‌شود. لذا شناسایی و مدیریت این مسائل برای حفظ پایداری اقتصادی ضروری است که با یافته‌های بامطالعه میرزایی و همکاران (Mirzaei *et al.*, 2023) در خصوص سیاست‌گذاری در قیمت تولیدات دامی عشایری و تأثیر آن بر پایداری معیشت دامداران و مراتع، معمری و همکاران (Moameri *et al.*, 2024) و منگیستو و همکاران (Mengistu *et al.*, 2021) پیرامون مشکل بازار به‌دلیل نوسانات فصلی تقاضای بازار برای محصولات دامی مطابقت دارد.

سومین چالش در پایداری سیستم‌های دامداری مبتنی بر چرا از نگاه کارشناسان، چالش‌های مدیریتی است. در استان کرمانشاه، برخی عوامل کلیدی به‌عنوان موانع اساسی در پایداری این نظام‌ها شناخته شده‌اند. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های مدیریتی، نبود سازمان‌دهی مناسب مردم در قالب تشکل‌های محلی است که می‌تواند به اجرای بهتر و نظام‌مندتر اقدامات و ارائه خدمات و پشتیبانی‌های مؤثرتر کمک کند. این مسئله اهمیت زیادی در بهبود عملکرد و پایداری دامداری‌ها دارد و رفع آن می‌تواند به توسعه پایدار این سیستم‌ها در منطقه کمک شایانی کند که با یافته‌های که بامطالعه صالحی (Salehi, 2004)، پیرامون مشخص نبودن نحوه مشارکت دامداران، فروزه و میردیلمی (Forouzeh & Mirdeilami, 2023) پیرامون عدم توجه به مشارکت مرتع‌داران در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی همسو است. این امر نیاز به تلاش‌های هماهنگ و حمایت تشکل‌های محلی برای اجرای اقدامات جامع مؤثر پایداری نظام‌های دام مبتنی بر چرا را نمایان می‌کند. علاوه بر این، زنجیره ارزش ناکارآمد محصولات دامی، به‌عنوان یکی دیگر از چالش‌های مدیریتی مهم شناسایی شد. کاستی‌ها در زنجیره ارزش می تواند منجر به کاهش کیفیت و قابلیت رقابت محصولات دامی شود و در نهایت پایداری نظام‌های دامی را به‌خطر بیندازد. همچنین، نبود مراکز خرید و صنایع تبدیلی برای محصولات دامی، به‌عنوان یک چالش مهم مدیریتی مطرح شده است که نیازمند توجه ویژه است. این مشکلات، علاوه بر کاهش سودآوری، می‌توانند به تضعیف کلی صنعت دامی منجر شوند. توسعه و بهبود زیرساخت‌ها و ایجاد مراکز تخصصی برای خرید و تبدیل محصولات دامی، می‌تواند به ارتقای کیفیت و افزایش بازارپذیری این محصولات کمک کند و در نتیجه، به تقویت پایداری و بهره‌وری این بخش حیاتی از کشاورزی بینجامد. این یافته با نتایج تحقیقات حبانابکیز و همکاران (Habanabakize *et al.*, 2022) در سنگال و اسواران و همکاران (Eeswaran *et al.*, 2022) پیرامون سرمایه‌گذاری و توسعه زیرساخت‌ها همسو است. زنجیره تأمین به‌عنوان یک فرآیند متصل از تولیدکننده تا مصرف‌کننده، با انتقال دقیق و به‌موقع محصولات از سمت تولیدکننده به مصرف‌کننده و دریافت اطلاعات از

مصرف‌کننده به تولیدکننده، نقشی حیاتی در رشد بازار و تولید محصولات ایفا می‌کند. این موضوع نشان‌دهنده نیاز به توسعه زیرساخت‌ها و سرمایه‌گذاری در تأسیسات فرآوری است تا ارزش افزوده به محصولات دامی افزوده شود و فرصت‌های جدیدی در بازار محصولات دامی برای دامداران ایجاد گردد. این امر نیازمند ایجاد فضایی برای تعامل بین تولیدکنندگان و کارخانجات لبنی است تا همکاری‌های پایدارتری شکل گیرد.

در استان کرمانشاه، یکی از چالش‌های عمده در پایداری سیستم‌های دامی مبتنی بر چرا، مسائل فنی است که کارشناسان به آن اشاره کرده‌اند. یکی از مشکلات اساسی، بهره‌وری پایین دام‌های چراگاهی است که به‌عنوان یک مانع اصلی در نظر گرفته می‌شود. این امر نشان می‌دهد که افزایش کارایی دام‌های چراگاهی برای بهبود کلی سیستم‌های دامداری در این منطقه ضروری است. همچنین، به‌دلیل سطح علمی پایین دامداران، همگام نشدن با پیشرفت‌های فناوری به عنوان یک چالش دیگر مطرح شده است. این موضوع اهمیت ارتقای دانش و مهارت‌های علمی دامداران را برای پذیرش فناوری‌ها و روش‌های جدید که می‌تواند بهره‌وری و پایداری سیستم‌های دامی مبتنی بر چرا را افزایش دهد، برجسته می‌سازد. بهبود این جنبه‌ها می تواند به ایجاد یک سیستم دامی کارآمدتر و پایدارتر در کرمانشاه منجر شود. علاوه بر این، بالا بودن ضریب تبدیل در تولید دام‌های بومی به‌عنوان دیگر چالش فنی کلیدی با شناسایی شد. نتایج این بخش بامطالعه منگیستیو و همکاران (Mengistu *et al.*, 2021) در خصوص عملکرد ژنتیکی نژادها، فس‌ها و کیدانیماریام (Kidanemariam & Fesseha, 2020) و اسواران و همکاران (Eeswaran *et al.*, 2022) در زمینه پایین بودن اطلاعات علمی و فنی پایین دامداران و عرضه ضعیف فناوری‌ها همسو است.

پنجمین چالش در پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا در این منطقه به مسائل اجتماعی برمی‌گردد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، از میان چالش‌های اجتماعی مختلف، مهم‌ترین آن‌ها عدم آگاهی و دانش کافی در زمینه مقابله با خشکسالی و اثرات آن بر مراتع شناسایی شده است. این موضوع نشان می‌دهد که افزایش آگاهی و ارائه آموزش‌های لازم به دامداران درباره مدیریت شرایط خشکسالی و تأثیرات آن بر مراتع، برای کاهش خطرات و تضمین پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا در این استان ضروری است. با توجه به این امر، اجرای برنامه‌های آموزشی و اطلاع‌رسانی به‌منظور افزایش دانش دامداران می‌تواند نقش مهمی در بهبود پایداری این نظام‌ها داشته باشد. نتایج این بخش بامطالعه راکگاس و نوریس (Rakgase & Norris, 2015) مبتنی بر درک کشاورزان از خشکسالی و تغییرات اقلیمی و کمک به تصمیم‌گیری‌های سیاستی و تدوین استراتژی‌های مداخله‌ای مناسب همسو است. همچنین، عدم مشارکت دامداران در برنامه‌ها و طرح‌های مرتع‌داری به‌عنوان یک چالش اجتماعی مهم دیگر شناخته شد؛ که بامطالعه سواری (Savari, 2023) در خصوص چالش مشارکت دامداران در طرح‌ها و پروژه‌های حفاظت از مراتع و صالحی (Salehi, 2004) پیرامون چالش مشارکت دامداران در طرح‌ها و پروژه‌های حفاظت از مراتع در استان کردستان همسو است.

در نهایت، چالش‌های قانونی به‌عنوان کم‌اهمیت‌ترین مسائل در پایداری سیستم‌های دامپروری مبتنی بر چرا از دیدگاه کارشناسان مطرح شده‌اند. با این حال، نبود تخصیص کافی بودجه و اعتبارات دولتی برای حفظ و بهره‌برداری از منابع طبیعی و مراتع به‌عنوان اصلی‌ترین چالش قانونی شناخته می‌شود. این مسئله نشان می‌دهد که برای اطمینان از مدیریت پایدار سیستم‌های دامپروری چرایی، توجه به مشکلات ناشی از بهره‌برداری نادرست از مراتع ضروری است. اعمال قوانین و مقرراتی که از چرای بیش از حد جلوگیری کند و به حفاظت از مراتع کمک نماید، می‌تواند به حفظ تعادل اکولوژیکی و انعطاف‌پذیری این سیستم‌ها کمک کند. همچنین، عدم وضوح در وضعیت منابع طبیعی در برنامه‌های کلان کشور به‌عنوان یکی دیگر از چالش‌های قانونی مهم شناسایی شده است. تدوین مقررات شفاف در زمینه سیاست‌های دولتی مرتبط با مدیریت منابع طبیعی نه تنها تعارضات احتمالی در استفاده از منابع را کاهش می‌دهد، بلکه بهره‌برداری مسئولانه‌ای را در میان ذینفعان ترویج می‌کند. این بخش بامطالعه موزو (Muzzo *et al.*, 2023) در خصوص چالش منافع متضاد کاربران زمین همسو است. معطوف بودن سیاست‌های دولت در تعیین قیمت گوشت دام به حمایت از مصرف‌کننده به‌عنوان یک چالش دیگر قانونی شناخته شد که بامطالعه صالحی (Salehi, 2004) که بر فقدان سیاست‌های مدون درازمدت توسعه، همسو است. این موضوع اهمیت همسویی سیاست‌های قیمت‌گذاری را با اصول پایداری و توزیع عادلانه منافع در بین ذینفعان در زنجیره ارزش دام نشان می‌دهد. مکانیسم‌های قیمت‌گذاری منصفانه می‌تواند ضمن تأمین نیازهای مصرف‌کننده به تضمین پایداری طولانی‌مدت تولید دام کمک کند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پایداری سیستم‌های دامداری مبتنی بر چرا در استان کرمانشاه با چالش‌های متعددی مواجه است. عوامل محیطی مانند خشکسالی و کمبود باران به کاهش شدید پوشش گیاهی و علوفه در مراتع منجر شده و فشار زیادی بر دامداران وارد کرده است. برای مقابله با این مشکلات و بهبود پایداری دامداری‌ها، پیشنهاد می‌شود که برنامه‌های مدیریت پایدار مراتع، توسعه سیستم‌های آبیاری و پروژه‌های آبخیزداری با افزایش آگاهی در مورد تغییرات اقلیمی و ارائه حمایت‌های مالی و فنی اجرایی شود. مدیریت مراتع با اقداماتی مانند محدود کردن چرای زودهنگام، کاهش تعداد دام و اجرای سیستم‌های چرای چرخشی می‌تواند به کاهش فرسایش خاک و افزایش تولید علوفه

کمک کند. با توجه به هزینه بالای نهاده‌ها و خوراک دام، همکاری و هماهنگی بین بخش‌های دولتی، خصوصی و پژوهشی برای یافتن راه‌حل‌های مناسب ضروری است.سرمایه‌گذاری در کشت محصولات علوفه‌ای که به صورت دیم و مقاوم در برابر خشکی باشند، همراه با استفاده از فناوری‌های مدرن و روش‌های بهینه در تولید خوراک دام، می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری منجر شود. بهره‌گیری از منابع جایگزین مانند ضایعات کشاورزی و صنعتی نیز می‌تواند نقش مهمی در کاهش وابستگی به مواد اولیه سنتی ایفا کند. به عبارتی به‌جای تکیه تنها بر یارانه‌ها به‌عنوان راه‌حل بلندمدت، دولت می‌تواند با تخصیص بودجه از محل درآمدهای مالیاتی و عمومی به بخش کشاورزی یا جذب سرمایه‌گذاری‌های بخش خصوصی در زنجیره ارزش دامداری، اعطای تسهیلات مالی کم‌بهره و مشوق‌های هدفمند (مانند معافیت‌های مالیاتی برای تولیدکنندگان خوراک دام) از این تولید کنندگان پشتیبانی کند. این رویکرد پایدارتر بوده و فشار مالی بر بودجه عمومی را در دراز مدت کاهش می‌دهد. همچنین، ایجاد و تقویت تشکل‌های محلی و تعاونی‌های دامپروری می‌تواند به پایداری این نظام‌ها کمک کند. اجرای این رویکردها به صورت جامع و هماهنگ می‌تواند باعث افزایش امنیت غذایی، توسعه روستایی، حفظ منابع طبیعی و پایداری نظام‌های دامی در شرایط تغییرات اقلیمی در استان کرمانشاه شود. برای دستیابی به این اهداف، توسعه برنامه‌های آموزشی برای دامداران در زمینه مدیریت پایدار مراتع و سازگاری با تغییرات اقلیمی ضروری است. ایجاد تشکل‌های محلی و تعاونی‌ها می‌تواند همکاری بین دامداران را تقویت و هزینه‌های تولید را کاهش دهد. سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین و روش‌های بهینه تولید خوراک دام، به همراه استفاده از ضایعات کشاورزی و صنعتی به‌عنوان منابع جایگزین، می تواند وابستگی به مواد اولیه سنتی را کاهش و بهره‌وری را افزایش دهد. این راهکارها به‌صورت هماهنگ و جامع می‌توانند تاب‌آوری دامداران را در برابر تغییرات اقلیمی افزایش داده و پایداری نظام‌های دامی مبتنی بر چرا را در استان کرمانشاه تضمین کنند. برای ارتقای پایداری نظام دامی مبتنی بر چرا در استان کرمانشاه، پیشنهادهای سیاستی زیر با اولویت‌بندی مشخص ارائه می‌شود. در کوتاه‌مدت، اجرای برنامه‌های آموزشی– ترویجی فشرده برای دامداران در زمینه مدیریت پایدار مراتع و سازگاری مطلوب با تغییرات اقلیمی، شیوه بهره‌برداری پایدار از مراتع، همراه با ایجاد تشکل‌های محلی برای تقویت همکاری بین بهره‌برداران و کاهش هزینه‌های تولید پیشنهاد می‌شود. در میان‌مدت، توسعه سیستم‌های آبیاری در بخش‌های زراعت و باغداری در مناطق خشک و دیمکاری و اجرای پروژه‌های آبخیزداری و استحصال و ذخیره‌سازی آب باران برای بهبود دسترسی دام‌ها به آب و علوفه در مراتع، و ارائه یارانه‌ها و تسهیلات کم‌بهره به دامداران مبتنی بر چرا برای کاهش هزینه‌های نهاده‌ها پیشنهاد می‌گردد. در بلندمدت، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین تولید خوراک دام و بهره‌گیری بهینه از ضایعات کشاورزی در تأمین خوراک دام مکمل به‌عنوان منابع جایگزین برای دامداری های مبتنی بر چرا، همراه با تدوین سیاست‌های کلان برای تخصیص بودجه کافی به حفظ مراتع و اصلاح سازو کارهای های قیمت‌گذاری عادلانه خوراک دام و محصولات دامی پیشنهاد می‌شود. این راهکارها در صورت هماهنگی و همکاری با بخش‌های دولتی، خصوصی و پژوهشی، می‌توانند تاب‌آوری دامداران مبتنی بر چرا را در برابر تغییرات اقلیمی تقویت کرده و پایداری این نظام‌ها را تضمین کنند.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت‌های مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به انجام رسید. لذا بدین‌وسیله از همکاری و مساعدت این معاونت سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Abebe, M.G. (2024). Impacts of urbanization on food security in Ethiopia. A review with empirical evidence. *Journal of Agriculture and Food Research*, *15*, 100997. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.100997
2. Bayat, N., Rastegar, E., Khorasani, M.A., & Nasab, A.G. (2011). Identifying and analyzing the actors affecting the stagnation of the livestock economy in rural areas (Case study: Paridar and Mahdavieh villages- Malayer County). *Rural Research*, *2*(4), 28. https://sid.ir/paper/180942/fa
3. Becking, J.B. (2019). An assessment of the sustainability and resilience of two livestock farming systems in Europe using a participatory approach, online MSc thesis successfully defended at Wageningen University.
4. Blumetto, O., Ruggia, A., & Tiscornia, G. (2023). Chapter 4- Reconciling the design of livestock production systems and the preservation of ecosystems. In R. Accorsi & R. Bhat (Eds.), Sustainable Development and Pathways for Food Ecosystems (pp. 69-114). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90885-6.00012-0
5. Bondaruk, V.F., Oñatibia, G.R., Fernández, R.J., Agüero, W., Blanco, L., Bruschetti, M., Kröpfl, A., Loydi, A., Pascual, J., Peri, P., Peter, G., Quiroga, R.E., & Yahdjian, L. (2022). Forage provision is more affected by droughts in arid and semi-arid than in mesic rangelands. *Journal of Applied Ecology*, *59*(9), 2404-2418. https://doi.org/10.1111/1365-2664.14243
6. Çakmakçı, R., Salık, M.A., & Çakmakçı, S. (2023). Assessment and principles of environmentally sustainable food and agriculture systems. *Agriculture*, *13*(5), 1073. https://www.mdpi.com/2077-0472/13/5/1073

7. Chedid, M. (2019). Sustainability of agro-pastoralist systems undergoing global changes as reflected by farmers' perception and value chain analysis: a Lebanese Case-study institut agronomique, Vétérinaire et Forestier de France. https://doi.org/10.70675/b6092d3dzabbfz4f65za8dcz0d67b17733ac
8. Cheng, M., McCarl, B., & Fei, C. (2022). Climate change and livestock production: A literature review. *Atmosphere*, *13*(1), 140.
9. Dahal, D. (2012). Impact of climate change on livelihood & biodiversity in rural community: A case study from Siddhiganes and Nepane community forest user groups of Sanosirubari VDC, Sindhupalchok District, Nepal.
10. Eeswaran, R., Nejadhashemi, A.P., Faye, A., Min, D., Prasad, P.V.V., & Ciampitti, I.A. (2022). Current and future challenges and opportunities for livestock farming in West Africa: Perspectives from the case of Senegal. *Agronomy*, *12*(8), 1818. https://www.mdpi.com/2073-4395/12/8/1818
11. Feldt, T., Karg, H., Kadaouré, I., Bessert, L., & Schlecht, E. (2020). Growing struggle over rising demand: How land use change and complex farmer-grazier conflicts impact grazing management in the Western highlands of Cameroon. *Land Use Policy*, *95*, 104579. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104579
12. Forouzeh, M.R., & Mirdeilami, S.Z. (2023). Factors affecting the non-acceptance of multiple-use projects from the viewpoints of rangeland utilizers [Research]. *Journal of Rangeland*, *16*(4), 666-681. (In Persian). http://rangelandsrm.ir/article-1-985-fa.html. http://rangelandsrm.ir/article-1-985-fa.pdf
13. Gharebash, A., & Ghorchi, T. (2011). The necessity of developing industrial animal husbandry in the north of Golestan province. Regional Knowledge-Based Conference on Sustainable Management of Agriculture and Natural Resources. (In Persian). https://civilica.com/doc/130473
14. Godde, C.M., Mason-D'Croz, D., Mayberry, D.E., Thornton, P.K., & Herrero, M. (2021). Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. *Global Food Security*, *28*, 100488. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100488
15. Gong, A.S. (2017). Prospects and challenges of livestock production in the bole district of the northern region of Ghana (Publication Number 151) University for Development Studies]. http://hdl.handle.net/123456789/1175
16. Habanabakize, E., Ba, K., Corniaux, C., Cortbaoui, P., & Vasseur, E. (2022). A typology of smallholder livestock production systems reflecting the impact of the development of a local milk collection industry: Case study of Fatick region, Senegal. *Pastoralism*, *12*(1), 22. https://doi.org/10.1186/s13570-022-00234-8
17. Hajarian, A. (2022). Analysis of barriers and challenges of rangeland management (Case study: Rangelands of Kermanshah province). *Journal Watershed Manage Research*, *13*(26), 125-134. https://doi.org/10.52547/jwmr.13.26.125
18. Holechek, J.L., Geli, H.M.E., Cibils, A.F., & Sawalhah, M.N. (2020). Climate change, rangelands, and sustainability of ranching in the Western United States. *Sustainability*, *12*(12), 4942. https://www.mdpi.com/2071-1050/12/12/4942
19. Hosseini, S.M., Qhalibaf, M.B., Moussavi Neghabi, S.M., & Hosseini, S.A. (2024). Developing a model of strategies for enhancing food security against the phenomenon of food geopolitization. *Environment, Development and Sustainability*, *26*(3), 6635-6652. https://doi.org/10.1007/s10668-023-02979-7
20. Ickowicz, A., Hubert, B., Blanchard, M., Blanfort, V., Cesaro, J.-D., Diaw, A., Lasseur, J., Huyen, L.T.T., Li, L., Mauricio, R.M., Cangussu, M., Müller, J.-P., Mendiola, M.Q., Roger, J.Q., Vera, T.A., Ulambayar, T., & Wedderburn, L. (2022). Multifunctionality and diversity of livestock Grazing systems for sustainable food systems throughout the world: Are there learning opportunities for Europe? *Grass and Forage Science*, *77*(4), 13. https://doi.org/10.1111/gfs.12588
21. KAJO. (2026). State of livestock farming in Kermanshah Province. Unpublished report. Kermanshah, Iran.
22. Khade, S.B., Khillare, R.S., & Mb, D. (2021). Global livestock development: Policies and vision. Published in Indian *Journal of Animal Sciences*, *91*(9), 770-779. https://doi.org/10.56093/ijans.v91i9.116470
23. Kidanemariam, F., & Fesseha, H. (2020). Assessment on livestock production: Opportunities and challenges to livestock household in Welkayt District. *Archives of Animal Husbandry & Dairy Science*, *2*(1), 19.18. https://doi.org/10.33552/AAHDS.2020.02.000530
24. KGDNR. (2026). State of rangelands in Kermanshah Province. Unpublished report. Kermanshah, Iran.
25. Lykogianni, M., Bempelou, E., Karamaouna, F., & Aliferis, K.A. (2021). Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. *Science of The Total Environment*, *795*, 148625. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148625
26. Maass, B.L., Katunga Musale, D., Chiuri, W.L., Gassner, A., & Peters, M. (2012). Challenges and opportunities for smallholder livestock production in post-conflict south Kivu, Eastern DR Congo. *Tropical Animal Health and Production*, *44*(6), 1221-1232. https://doi.org/10.1007/s11250-011-0061-5

27. Mahmoudi Mostali, A., Vahedi, M., Poursaeed, A., & Chaharsoughi Amin, H. (2025). Designing a sustainable management model for nomadic rangelands in Kermanshah province. *Integrated Watershed Management.* https://doi.org/10.22034/iwm.2025.2045340.1188
28. McDonald, S.E., Lawrence, R., Kendall, L., & Rader, R. (2019). Ecological, biophysical and production effects of incorporating rest into grazing regimes: A global Meta-analysis. *Journal of Applied Ecology, 56*(12), 2723-2731. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13496
29. Mengistu, S., Nurfeta, A., Tolera, A., Bezabih, M., Adie, A., Wolde-meskel, E., & Zenebe, M. (2021). Livestock production challenges and improved forage production efforts in the damot Gale district of Wolaita Zone, Ethiopia. *Advances in Agriculture, 2021*(1), 5553659. https://doi.org/10.1155/2021/5553659
30. Mikhak, H., Rahimian, M., & Asadpourian, Z. (2018). Challenges facing the management of traditional livestock units in Khorram Abad city. *Quarterly Journal of Entrepreneurial Research Approaches in Agriculture, Khuzestan University of Sciences and Natural Resources, 4*, 21. (In Persian). https://civilica.com/doc/965430
31. Mirakhorli, M., seyed, A.J., & Arzani, H. (2021). Identifying the consequences and preconditions of ranger farmers' participation in the implementation of rangeland plans in Guilan province. *Journal of Renewable Natural Resources Research, 12*(1), 27-37. https://sid.ir/paper/953369/en
32. Mirzaei, A., Abdeshahi, A., & Azarm, H. (2023). The effect of price surging of livestock products on the rangeland and the livelihood of Nomads: Mamasani rangelands. *Mamasani Rangelands, 17*(3), 426-446. (In Persian with English abstract). http://rangelandsrm.ir/article-1-1199-fa.html
33. Mirzaei, N., & Zibaei, M. (2013). Evaluation of government drought response policies in support of Nomadic communities in Fars province. *Journal of Agricultural Economics and Development, 27*(2), 84-94, (In Persian). https://doi.org/10.22067/jead2.v0i0.26399
34. Moameri, M., Lotfi, M., Ghorbani, A., & Ghasemi Aryan, Y. (2024). Factors affecting the downturn of traditional livestock husbandry in local communities of Northwestern rangelands of Iran. *Scientific Reports, 14*(1), 16933. https://doi.org/10.1038/s41598-024-67933-7
35. Mofidi Chelan, M. (2022). Financial analysis of traditional rangeland-based livestock husbandry in pastoral units of Sahand Mountain Rangelands [Research]. *Journal of Rangeland, 16*(2), 345-358. (In Persian). http://rangelandsrm.ir/article-1-1089-fa.html
36. Mofoidi Chelan, M., Alijanpour, A., Barani, H., Motamedi, J., Azadi, H., & Van Passel, S. (2018). Economic sustainability assessment in semi-steppe rangelands. *Science of the Total Environment, 637*, 112-119. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.428
37. Mofidi Chelan, M., Barani, H., Sarvestani, A.A., Motamedi, J., & Astana, A.D. (2015). Explaining the indicators for measuring the economic sustainability of customary systems in summer pastures: A case study of Sahand Summer Pastures, Maragheh County. *Village and Development, 18*(3), 20. (In Persian). https://sid.ir/paper/94727/fa
38. Morales-Reyes, Z., Barbosa, J.M., Sánchez-Zapata, J.A., & Pérez-Ibarra, I. (2025). Farmer perceptions of the vulnerabilities of traditional livestock farming systems under global change. Ambio. https://doi.org/10.1007/s13280-025-02150-8
39. Muller, C., & Shackleton, S.E. (2014). Perceptions of climate change and barriers to adaptation amongst commonage and commercial livestock farmers in the semi-arid Eastern Cape Karoo. *African Journal of Range & Forage Science, 31*(1), 1-12. https://doi.org/10.2989/10220119.2013.845606
40. Muzzo, B., Maleko, D., Eric, T., & Provenza, F. (2023). Review: Rangeland management in Tanzania: Opportunities, challenges, and prospects for sustainability. *International Journal of Tropical Drylands, 7*, 83-102. https://doi.org/10.13057/tropdrylands/t070204
41. Nikdokht, R., Karami, E., & Ahmadvand, M. (2007). Comparative analysis of sustainability in traditional livestock systems: A case study of livestock farmers in Firouzabad city. *Soil and Water Sciences (Agricultural Sciences and Technologies and Natural Resources), 11*(41 (b)), 9. (In Persian). https://sid.ir/paper/15028/fa
42. NRWMO. (2024). Rangelands of Kermanshah Province. (In Persian).
43. Palladini, N.M., Gislon, G., Sandrucci, A., Zucali, M., Tamburini, A., & Bava, L. (2024). Assessment of food-feed competition for producing milk in cow dairy farms. *Agricultural Systems, 218*, 103984. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103984
44. Rahimi Dehcheraghi, M., Arzani, H., Azarnivand, H., Jafari, M., & Zare Chahouki, M. (2023). Optimal rangeland management to improve rangeland livelihood (Case study of Lar Absar Mazandaran Rangeland). *Iranian Journal of Range and Desert Research, 30*(1), 48-59. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijrdr.2023.128947
45. Rakgase, M., & Norris, D. (2015). Determinants of livestock farmers' perception of future droughts and adoption of mitigating plans. *International Journal of Climate Change Strategies and Management, 7*, 191-205. https://doi.org/10.1108/IJCCSM-01-2014-0011

46. Rapiya, M., Mndela, M., Truter, W., & Ramoelo, A. (2025). Assessing the economic viability of sustainable Pasture and Rangeland management practices: A review. *Agriculture*, *15*(7). https://doi.org/10.3390/agriculture15070690
47. Nikdokht, R., & Karami, E. (2004). Investigating the sustainability of Nomadic livestock system. National Conference on Organizing the Nomadic Community of Iran. https://civilica.com/doc/352481
48. Ruvuna, F., Cartwright, T., Smith, G., Bradford, Y., Berger, C., Ahuya, C., & Muia, J. (2014). Productivity measures and challenges facing small holder livestock farmers in humid north central Nigeria. *Tropical Grasslands*, *32*, 195-200.
49. Saleem, A.-M., Mahmood, A.-M., Mohammed, A., Akram, A.-R., & Saqr, A. (2024). The impact of ICTS in the development of smart city: Opportunities and challenges. In M. Pier Luigi & S. Paolo (Eds.), Smart Cities (pp. Ch. 3). IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.114156
50. Salehi, A. (2004). Investigating the obstacles and problems of the plan to transfer livestock farms outside the cities and providing appropriate solutions in Isfahan province. *Rural and Development*, *7*(1). (In Persian). https://sid.ir/paper/442585/fa
51. Savari, M. (2023). Investigating the challenges of the participation of livestock farmers in rangeland protection plans and projects (Case study: Saral Region in the West of Iran). *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research 21*(2), 207-224. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijfrpr.2023.362405.1581
52. Sejian, V., Gaughan, J., Bhatta, R., & Naqvi, S. (2016). Impact of climate change on livestock productivity. Feedipedia-Animal Feed Resources Information System-INRA CIRAD AFZ and FAO, 2016, 1-4.
53. Shabanali Fami, H., Shariatyniya, L., & Motaghed, M. (2025). Analyzing the challenges of livestock farmers to adapt to climate change in Grazing livestock production systems: A study in Tafresh county. *Iranian Journal of animal Science*, *56*(2), 279-299. https://doi.org/10.22059/ijas.2024.376148.654013
54. Shahbazi, K., Heshmati, M., & Saeedifar, Z. (2020). Investigating the impact of climate change on drought and desertification risk in Kermanshah Province. *Desert Management*, *8*(16), 17. https://sid.ir/paper/400766/fa
55. Shahraki, M., Sharafatmandrad, M., & GHasemi Arian, Y. (2024). Uncovering the causes of abandoning traditional animal husbandry by Nomadic pastoralists of northeastern Iran. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, *30*(4), 571-589. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijrdr.2024.130970
56. Sharaftmandrad, M., Abedi Sarvestani, A., Shahraki, M., & Hassanzadeh Nafooti, M. (2024). Uncovering the reasons behind the failure of pastoralists in adopting climate change adaptation strategies. *Scientific Reports*, *14*(1), 20602. https://doi.org/10.1038/s41598-024-70818-4
57. Sintayehu, D.W., Alemayehu, S., Terefe, T., Tegegne, G., Engdaw, M.M., Gebre, L., Tesfaye, L., Doyo, J., Reddy R., U., & Girvetz, E. (2025). Effects of drought on livestock production, market dynamics, and pastoralists' adaptation strategies in semi-arid Ethiopia. *Climate*, *13*(4), 65. https://doi.org/10.3390/cli13040065
58. Tambi, M.D., & Anyah, F.J. (2019). Constraints and challenges in livestock production in Cameroon. *South Asian Research Journal of Business and Management*, *1*(1), 10-17. https://doi.org/10.36346/sarjbm.2019.v01i01.003
59. Thompson, L.R., & Rowntree, J.E. (2020). Invited review: Methane sources, quantification, and mitigation in grazing beef systems. *Applied Animal Science*, *36*(4), 556-573. https://doi.org/10.15232/aas.2019-01951
60. Umutoni, C., Ayantunde, A., & Sawadogo, G.J. (2015). Evaluation of feed resources in mixed crop-livestock systems in Sudano-Sahelian zone of Mali in West Africa. https://doi.org/10.5455/ijlr.20150813090546
61. WorldBank. (2021). Moving Towards Sustainability: The Livestock Sector and the World Bank. https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/brief/moving-towards-sustainability-the-livestock-sector-and-the-world-bank
62. Wróbel, J., Gałczyńska, M., Tański, A., Korzelecka-Orkisz, A., & Formicki, K. (2023). The challenges of aquaculture in protecting the aquatic ecosystems in the context of climate changes. *Journal of Water and Land Development*, *57*, 231-241. https://doi.org/10.24425/jwld.2023.145354
63. Yagoub, S.O., Abdelaleem, E.A. (2024). Organic agriculture and food security in Saudi Arabia. In: Ahmed, A.E., Al-Khayri, J.M., Elbushra, A.A. (eds) Food and Nutrition Security in the Kingdom of Saudi Arabia, Vol. 1. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46716-5_11

Journal of Agricultural Economics & Development

Homepage: https://jead.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 3, Fall 2026, p. 277-289

Investigation of the Role of Virtual Reality and Augmented Reality Technologies in the Development of Smart Agriculture with the Mediating Role of Digital Transformation

N. Seifollahi[1*]

1- Department of Manegment, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
(*- Corresponding Author Email: n.seifollahi@uma.ac.ir)

Received: 30 October 2025
Revised: 28 December 2025
Accepted: 06 February 2026
Available Online: 08 February 2026

How to cite this article:

Seifoolahi, N. (2026). Investigation of the role of virtual reality and augmented reality technologies in the development of smart agriculture with the mediating role of digital transformation. *Journal of Agricultural Economics & Development*, *40*(3), 277-289. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jead.2026.96257.1394

Introduction

Smart agriculture refers to the use of modern technologies- such as artificial intelligence, the Internet of Things (IoT), big data analytics, and other innovations- to enhance agricultural productivity. It represents a transformative paradigm in modern farming practices, leveraging advanced technologies to boost efficiency, productivity, and sustainability. At its core, smart agriculture integrates a diverse array of technological components, beginning with the deployment of sensors and IoT devices. Smart agriculture operates based on key principles such as resource optimization, precision and accuracy in farming practices, data-driven decision-making, sustainability, and integration with market access platforms. Virtual reality is transforming the way we experience and interact with digital content. By creating a simulated environment capable of replicating real-world scenarios, it offers unprecedented levels of interaction and immersion .In agriculture, virtual reality and augmented reality assist in training farmers through simulations of new farming methods, examining farm conditions to monitor plant and soil status, and simulating various scenarios. Digital transformation is defined as a process of fundamental change enabled by the innovative use of digital technologies combined with the leveraging of strategic resources and key capabilities aimed at radically improving an organization and redefining its value proposition for stakeholders. Digital transformation is widely regarded as a driver of change across all field particularly in business and impacts every aspect of human life that relies on technology. The term "transformation" encompasses the ability to recognize and undertake necessary actions when confronted with new technologies, and it should not be confused with simple change.

Materials and Methods

In terms of purpose, this study was applied, and regarding its methodological nature, it was descriptive-correlational. The statistical population consisted of all agricultural producers in Ardabil Province. Given the infinite size of the population, a sample size of 384 was determined using Cronbach's alpha formula; these individuals were selected from the population via simple random sampling, and the research questionnaire was distributed among them. The validity of the questionnaires was assessed and confirmed through confirmatory factor analysis, while their reliability was verified using Cronbach's alpha. Data analysis was conducted using structural equation modeling with the aid of SPSS 26 and Smart-PLS 3 software.

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)
https://doi.org/10.22067/jead.2026.96257.1394

Results and Discussion

Data analysis was conducted using the structural equation modeling (SEM) method with the aid of SPSS 26 and Smart-PLS 3 software. The findings indicate that virtual reality, augmented reality, and digital transformation have a positive and significant impact on smart agriculture. As an emerging technology in this field, virtual reality can enhance training, decision-making, system design, and farm management. Augmented reality technologies facilitate the simulation of various agricultural stages and methods, allowing collected data to inform relevant decisions; meanwhile, digital transformation by establishing technological infrastructure and fostering smart advancements, productivity gains, and resource optimization—creates a robust foundation for the development of smart technologies.

Conclusion

This study was conducted to analyze the roles of virtual reality and augmented reality technologies in the development of smart agriculture, with digital transformation serving as a mediating factor. It posits that, given the necessary infrastructure, virtual reality has a positive and significant impact on smart agriculture—a finding consistent with the results of research by Chatterjee *et al.* (2025). Accordingly, it can be concluded that virtual technologies play a significant role in the development of smart agriculture. Indeed, as an emerging technology in this field, virtual reality can facilitate improvements in training, decision-making, system design, and even farm management. Given the existence of the necessary infrastructure, augmented reality has a positive and significant impact on smart agriculture. This finding aligns with the results of research conducted by Sara *et al.* (2024). Accordingly, it can be stated that augmented reality plays a vital role in the development of smart agriculture by integrating the real world with digital data within agricultural processes; specifically, through the use of smart glasses or augmented reality-based applications, agricultural producers can visualize—in real-time and in a graphical format—data collected by specialized tools. Given the existence of the necessary infrastructure, virtual reality has a positive and significant impact on digital transformation. This finding aligns with part of the results from the study by Rath *et al.* (2019). Consequently, virtual reality can be considered a key technology in the process of digital transformation; by enabling users to be present in digital environments, this shift from mere viewing to actual experiencing renders human interaction with technology deeper, more natural, and more effective. Given the existence of the necessary infrastructure, augmented reality has a positive and significant impact on digital transformation. This finding aligns with the results of the study by Rath *et al.* (2019). Accordingly, it can be stated that augmented reality can play a crucial role in digital transformation. Given the existence of the necessary infrastructure, digital transformation acts as a bridge between virtual reality and smart agriculture. As a key technology within digital transformation, virtual reality transforms agriculture from a traditional activity into a smart, data-driven, and sustainable system.

Keywords: Augmented reality, Digital transformation, Smart agriculture, Virtual reality

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
https://jead.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۴۰، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، ص. ۲۸۹-۲۷۷

واکاوی نقش فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در توسعهٔ کشاورزی هوشمند با نقش میانجی تحول دیجیتال (مورد مطالعه: استان اردبیل)

ناصر سیف‌اللهی[1*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۷

چکیده

امروزه، با توجه به چالش‌هایی مانند کمبود منابع آب، تغییرات اقلیمی، نیاز به حفظ محیط‌زیست، افزایش بهره‌وری، سیستم‌های آبیاری هوشمند، بررسی شرایط مزرعه، استفاده از فناوری‌های نوین و تحول دیجیتال نقش اساسی در تبدیل کشاورزی به یک صنعت پیشرفته و پایدار ایفا می‌کنند. هدف از پژوهش حاضر، واکاوی نقش فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در توسعهٔ کشاورزی هوشمند با نقش میانجی تحول دیجیتال است. این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت روش، توصیفی-همبستگی بود. جامعهٔ آماری پژوهش، کلیهٔ تولیدکنندگان محصولات کشاورزی استان اردبیل بود. با توجه به نامحدود بودن حجم جامعهٔ آماری، حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران، ۳۸۴ نفر تعیین شد که انتخاب این افراد از جامعهٔ آماری با روش تصادفی ساده صورت گرفت و پرسشنامهٔ پژوهش در بین آن‌ها توزیع گردید. روایی پرسشنامه‌ها به‌وسیلهٔ تحلیل عاملی تأییدی و پایایی آن‌ها با روش آلفای کرونباخ بررسی و تأیید شد. تحلیل داده‌ها با روش مدل‌سازی معادلات ساختاری و با کمک نرم‌افزارهای SPSS 26 و Smart-PLS 3 انجام شد. یافته‌ها نشان دادند که واقعیت مجازی، واقعیت افزوده و تحول دیجیتال بر کشاورزی هوشمند، تأثیر مثبت و معنادار دارند. واقعیت مجازی به‌عنوان یک فناوری نوظهور در کشاورزی هوشمند می‌تواند به بهبود آموزش، تصمیم‌گیری، طراحی سیستم‌ها و مدیریت مزارع کمک کند. استفاده از واقعیت افزوده، مراحل و فرآیندهای مختلف کشاورزی را پایش می‌کنند و داده‌های گردآوری شده را در تصمیم‌گیری‌های مرتبط هم به کار می‌برند و تحول دیجیتال با ایجاد زیرساخت‌های فناورانه، هوشمندسازی فرآیندها، افزایش بهره‌وری و کاهش اتلاف منابع، بستری قدرتمند برای توسعهٔ کشاورزی هوشمند فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تحول دیجیتال، کشاورزی هوشمند، واقعیت افزوده، واقعیت مجازی

مقدمه

در عصر حاضر، شهرنشینی رژیم غذایی انسان‌ها را تغییر داده است. منابع طبیعی رو به اتمام هستند. اراضی کشاورزی به‌تدریج برای کشت و زرع نامناسب می‌شوند. به‌طوری‌که در حال حاضر، ۲۵ درصد از زمین‌های زراعی موجود به‌طور کامل برای کشاورزی نامناسب‌اند و ۴۴ درصد دیگر نیز تا حد زیادی از نظر بهره‌برداری کشاورزی مناسب نیستند. به‌دلیل کمبود آب، ۴۰ درصد از زمین‌های زراعی در حال تبدیل شدن به اراضی غیر مولد هستند. هم‌چنین، گسترش شهرنشینی و جنگل‌زدایی به‌منظور ایجاد زمین‌های زراعی جدید نیز منجر به کاهش سریع منابع آب زیرزمینی می‌شود. کشت بیش از حد، موجب کوتاه شدن دوره‌های تناوب زراعی و چرای بیش از حد دام نیز باعث فرسایش خاک می‌گردد.

اتلاف مواد غذایی هم مسئلهٔ مهم دیگری است؛ بین ۳۳ تا ۵۰

۱- گروه مدیریت دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: n.seifollahi@uma.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jead.2026.96257.1394

درصد از مواد غذایی در سراسر جهان هدر می‌رود. در نهایت، تغییرات اقلیمی با سرعت زیادی در حال پیشرفت است و تمام ابعاد تولید مواد غذایی را تحت تأثیر قرار داده است. در طول ۵۰ سال گذشته، انتشار گازهای گلخانه‌ای دو برابر شده و الگوهای بارش، غیرقابل پیش‌بینی‌تر شده‌اند؛ همراه با افزایش موارد خشک‌سالی و سیلاب‌ها (Mitra *et al.*, 2024). به همین دلیل، اکنون زمان آن فرا رسیده است که با معرفی رویکردهای سازگار با محیط‌زیست و هوشمند، از چنین زیان‌هایی جلوگیری شود. البته، گذار سریع از روش‌های پیشین و مرسوم در کشاورزی، خود امری چالش‌برانگیز است (Hu *et al.*, 2023). کشاورزی هوشمند، صرفاً به معنای واردکردن فناوری اطلاعات به حوزهٔ کشاورزی نیست؛ بلکه بیش از آن، بر ایجاد و بهره‌گیری از دانش از طریق فناوری تمرکز دارد. ماشین‌ها و تجهیزات کشاورزی باید به فناوری اطلاعات مجهز شوند تا بتوانند داده‌ها را پردازش و تحلیل کنند و در نهایت، تصمیماتی اتخاذ کرده یا دست‌کم به‌صورت نیمه‌خودکار آن‌ها را آماده سازند. این رویکرد، بر پایهٔ رشد فناوری‌های کلان داده، اینترنت اشیاء، مشاهدات ماهواره‌ای، داده‌های لینک شده و هوش مصنوعی، در تمامی مراحل زنجیرهٔ تأمین کشاورزی بنانهاده می‌شود (Zinke-Wehlmann & Charvat, 2021).

افزون بر فناوری‌هایی که در سطرهای فوق به آن‌ها اشاره شد، «واقعیت مجازی» و «واقعیت افزوده» وجه تمایزی برای کشاورزی دقیق و هوشمند است و ورود دوبارهٔ انسان به عرصهٔ مزرعه یا باغ را به ارمغان آورده است. اما این بار، با حضور غیرمادی و مجازی انسان در هر زمان، در هر جای مزرعه و در هر شرایط آب‌وهوایی و برای نظارت و مراقبت و صدور دستور تغییرات لازم از هر نقطه از جهان، مدیریت مزرعه به ثمر خواهد رسید (Hakimi, 2021). واقعیت مجازی، فناوری‌ای است که محیط‌های مجازی را در سیستم ادراکی انسان می‌آفریند و تجربه‌ای فراگیر را به کاربر می‌دهد. این کار از طریق استفاده از تجهیزات تخصصی، مانند نمایشگرهای نصب‌شده بر روی سر و اهرمک‌ها، صورت می‌گیرد و کاربران می‌توانند با محیط‌های مجازی تعامل داشته باشند (Zheng & Feng, 2024). واقعیت افزوده نیز به‌عنوان یک تصویر در زمان واقعی از یک محیط فیزیکی تعریف می‌شود که با داده‌های مجازی تولیدشده توسط رایانه تقویت یا غنی‌سازی شده است. فناوری‌های واقعیت افزوده و واقعیت مجازی از طریق افزایش تعامل و کارآیی، صنایع را متحول می‌کنند.

به‌طوری‌که واقعیت افزوده، داده‌ها را در محیط‌های دنیای واقعی پوشش می‌دهد، محیط‌های کاری را بهینه می‌سازد و با پیش‌بینی آب‌وهوا و نظارت بر زیرساخت‌ها، توانمندی‌های کشاورزی را آزاد می‌کند. واقعیت مجازی هم کاربران را در محیط‌های چند حسی غوطه‌ور می‌سازد و با وجود محدودیت‌های مرتبط با حسگر، تعاملات واقع‌گرایانه را ممکن می‌سازد. هم‌چنین، باید افزود که «تحول دیجیتال»، به معنای یک تجربهٔ دیجیتالی جامع‌تر از گذشته است که فرآیندهای کسب‌وکار، روابط با مشتری و عملیات را متحول می‌سازد و منجر به تغییرات مخرب خلاقانه در تمام ساختارهای کسب‌وکار می‌شود (Klein, 2020). این مفهوم از این نظر موردتوجه قرار گرفته است که یکی از نیروهای محرکه برای کشاورزی پایدار و چالش‌برانگیز برای مناطق روستایی در دهه‌های آینده است. فناوری‌های تحول‌ساز دیجیتال با تحولات کشاورزی همراه هستند و به‌عنوان نسل چهارم آن نیز تلقی می‌شوند.

بر اساس مطالب فوق و با توجه به وجود مسائل و مشکلات مختلف در کشاورزی سنتی و لزوم حرکت به‌سوی کشاورزی هوشمند و نیز با توجه به اهمیت یافتن نقش فناوری‌های نوین همچون، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده که می‌توانند منجر به تحول دیجیتال شوند و از آن‌جایی که پژوهش‌های پیشین به بررسی هم‌زمان نقش فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده همراه با تحول دیجیتال در توسعهٔ کشاورزی هوشمند نپرداخته‌اند، لذا بررسی روابط میان کلیهٔ متغیرهای برشمرده امری ضروری تلقی می‌شود. انتظار می‌رود که نتایج این پژوهش بتواند منجر به تشویق به استفاده از فناوری‌های نوین در حوزهٔ کشاورزی و ایجاد یک تحول دیجیتال و در نهایت هوشمندسازی کشاورزی در کشور گردد.

بنابراین، هدف اصلی از انجام پژوهش حاضر، واکاوی نقش فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در کشاورزی هوشمند با نقش میانجی تحول دیجیتال است. در واقع، سؤال اصلی این پژوهش این است که آیا فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده از طریق تحول دیجیتال می‌توانند منجر به توسعهٔ کشاورزی هوشمند شوند؟

مبانی نظری پژوهش

کشاورزی هوشمند

کشاورزی، علم، هنر و حرفه‌ای است که شامل کشت و کار بر روی زمین به‌منظور پرورش محصولات زراعی و هم‌چنین، پرورش و نگهداری دام‌هاست. این فعالیت در واقع، به معنای ساده‌سازی شبکه‌های پیچیدهٔ غذایی در طبیعت و هدایت انرژی برای مصرف انسان و حیوان است (Bagal, 2022). کشاورزی در چند دههٔ گذشته، پیشرفت‌های فناورانهٔ متعددی را تجربه کرده، صنعتی‌تر و به فناوری وابسته‌تر شده است. به‌طوری‌که استفاده از فناوری‌های هوشمند کشاورزی به کشاورزان امکان کنترل بیشتری بر پرورش دام و کشت محصولات کشاورزی داده و پیش‌بینی‌پذیری و کارایی آن‌ها را افزایش داده است (Raj & Prahadeeswaran, 2025). کشاورزی ۴,۰ که با نام‌های کشاورزی هوشمند و یا کشاورزی دیجیتال نیز شناخته می‌شود، مرحلهٔ بعدی در کشاورزی صنعتی است که با ادغام فناوری‌ها در

کشاورزی تقویت می‌شود (Singh *et al.*, 2022). کشاورزی هوشمند به استفاده از فناوری‌های مدرن، مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، تجزیه‌وتحلیل کلان داده و سایر نوآوری‌ها برای افزایش بهره‌وری کشاورزی اشاره دارد (El Etaiby, 2023). کشاورزی هوشمند با استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای افزایش کارایی، بهره‌وری و پایداری، یک الگوی متحول‌کننده در شیوه‌های کشاورزی مدرن است. در هستهٔ خود، کشاورزی هوشمند، مجموعه‌ای متنوع از اجزای فناوری را ادغام می‌کند که با استقرار حسگرها و دستگاه‌های اینترنت اشیا آغاز می‌شود. کشاورزی هوشمند بر اساس اصول کلیدی، مانند بهینه‌سازی منابع، دقت و صحت در شیوه‌های کشاورزی، تصمیم‌گیری مبتنی بر داده، پایداری و ادغام با پلتفرم‌های دسترسی به بازار عمل می‌کند. زمینه‌های کاربرد کلیدی کشاورزی هوشمند، شامل رشد محصول، نظارت بر محصول، مدیریت دام، مدیریت آبیاری، کنترل آفات و بیماری‌ها، بهینه‌سازی زنجیرهٔ تأمین و غیره است (Ahmed *et al.*, 2024).

واقعیت مجازی

واقعیت مجازی به‌عنوان بازنمایی دیجیتال از یک محیط سه‌بعدی تعریف می‌شود که از طریق یک نمایشگر نصب‌شده بر روی سر ارائه شده و تجربه‌ای کاملاً غوطه‌ورکننده را فراهم می‌کند (Lie *et al.*, 2022). واقعیت مجازی در حال تغییر شکل نحوهٔ تجربه و تعامل ما با محتوای دیجیتال است. واقعیت مجازی با ایجاد یک محیط شبیه‌سازی شده که می‌تواند سناریوهای دنیای واقعی را تکرار کند، سطوح بی‌سابقه‌ای از تعامل و غوطه‌وری را ارائه می‌دهد. با پیشرفت در فناوری و کاهش هزینه‌های سخت‌افزار، واقعیت مجازی برای کسب‌وکارها و مصرف‌کنندگان به‌طور یکسان و در دسترسی بیشتری قرار می‌گیرد (Rahman, 2024). فناوری واقعیت مجازی، عمدتاً مبتنی بر فناوری اطلاعات است که می‌تواند حواس بینایی، شنوایی و لامسهٔ افراد را در یک محیط مجازی تعاملی غوطه‌ور کند. کاربران می‌توانند در این محیط سه‌بعدی با اشیاء تعامل داشته باشند و تجربه‌ای واقع‌گرایانه‌تر به آن‌ها ارائه شود. فناوری واقعیت مجازی یک فناوری شبیه‌سازی محیطی است که با شبیه‌سازی کامپیوتری، پردازش تصویر، فناوری حسگر و سایر فناوری‌ها توسعه‌یافته است. در حال حاضر، با کاربرد گستردهٔ فناوری اطلاعات، تغییرات اساسی در زندگی افراد ایجاد می‌کند و نقش مهمی در برخی زمینه‌های منحصربه‌فرد ایفا می‌کند (Wu, 2023). با توجه به طیف گستردهٔ رشته‌ها، حوزه‌های کاربردی و انواع سیستم‌هایی که واقعیت مجازی در بر می‌گیرد، و هم‌چنین، اهداف تحقیقاتی خاص و نیازهای کاربردی آن، می‌توان دسته‌های متمایزی از سیستم‌های واقعیت مجازی را از زوایای مختلف ایجاد کرد. استفاده از فناوری واقعیت مجازی در صنایع مختلفی از جمله، تلویزیون و سینما، آموزش، طراحی، مراقبت‌های بهداشتی، بخش هوافضا، حوزهٔ نظامی و موارد دیگر گسترده است (Lei *et al.*, 2022).

واقعیت افزوده

مؤسسهٔ ملی استاندارد و فناوری، واقعیت افزوده را به‌عنوان فناوری‌ای تعریف می‌کند که تصاویر واقعی را با اشیاء مجازی به‌طور هم‌زمان ادغام می‌کند. واقعیت افزوده را می‌توان به‌عنوان بسطی رایانه‌ای از واقعیت انسانی در سیستمی دانست که دارای سه ویژگی کلیدی است: ترکیب واقعیت و دنیای مجازی، تعاملی بودن در زمان واقعی و ارائه در یک قالب سه‌بعدی. بر این اساس، واقعیت افزوده در بستر پیوستار میان واقعیت و دنیای مجازی قرار می‌گیرد؛ پیوستاری که به‌عنوان طیفی میان محیط‌های واقعی و مجازی توصیف می‌شود. واقعیت افزوده، نه به‌عنوان یک شکل خاص از فناوری، بلکه به‌عنوان یک مفهوم فناورانه در نظر گرفته می‌شود. به‌طور مشابه، واقعیت افزوده نباید به هیچ نوع خاصی از فناوری محدود شود، بلکه باید به‌عنوان یک مفهوم گسترده که می‌تواند فراتر از فناوری مفهوم‌سازی شود، در نظر گرفته شود. بنابراین، واقعیت افزوده باید در هر محیطی نقش مکمل داشته باشد، نه این‌که جایگزین واقعیت در چنین محیط‌هایی شود (Alzahrani, 2020). واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در کشاورزی به آموزش کشاورزان با استفاده از شبیه‌سازی برای آموزش روش‌های جدید کشاورزی و بررسی شرایط مزرعه برای نظارت بر وضعیت گیاهان و خاک و شبیه‌سازی شرایط مختلف کمک می‌کنند.

تحول دیجیتال

تحول دیجیتال به‌عنوان یک فرآیند تغییر اساسی، که با استفادهٔ نوآورانه از فناوری‌های دیجیتال همراه با اهرم منابع استراتژیک و قابلیت‌های کلیدی که با هدف بهبود اساسی یک نهاد و باز تعریف ارزش پیشنهادی آن برای ذی‌نفعان امکان‌پذیر می‌گردد، تعریف می‌شود (Pereira *et al.*, 2022). تحول دیجیتال، به‌طور گسترده به‌عنوان محرک تغییر در همهٔ زمینه‌ها، به‌ویژه، در زمینهٔ کسب‌وکار تلقی می‌شود و بر همهٔ جنبه‌های زندگی انسان که مبتنی بر استفاده از فناوری‌هاست، تأثیر می‌گذارد. اصطلاح «تحول»، شامل قابلیت درک انجام اقدامات لازم در هنگام مواجهه با فناوری‌های جدید است و نباید آن را با تغییر ساده اشتباه گرفت (Kraus *et al.*, 2022). تحول دیجیتال، نه‌تنها نشان‌دهندهٔ بهبود تدریجی فناوری‌های موجود است، بلکه نشان‌دهندهٔ تغییر اساسی در نحوهٔ طراحی و اجرای تولید و عملیات است و فناوری‌های دیجیتال را در تمام جنبه‌های زنجیره ارزش ادغام می‌کند. خودکارسازی فرآیندهای تولید، خطاهای انسانی را از بین می‌برد و به شرکت‌ها اجازه می‌دهد تا به‌طور مداوم فعالیت کنند. در نتیجه، ظرفیت تولید را افزایش داده و زمان لازم برای عرضه محصولات به بازار را کاهش می‌دهد. در عین حال، بهینه‌سازی منابع با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته می‌تواند منجر به صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مواد

اولیه و انرژی شود و به پایداری بلندمدت عملیات کمک کند (Vărzaru & Bocean, 2024).

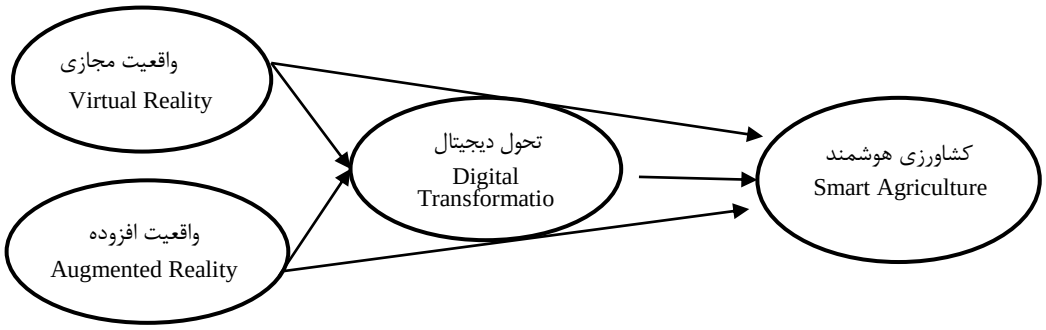
پیشینهٔ پژوهش

در میان پژوهش‌های پیشین داخلی، سیف‌اللهی و فروزان (Seifollahi & Frozan, 2025) در تحقیقی با عنوان تحلیل اثر هم‌آفرینی ارزش بر توسعه پایدار گردشگری شهری نقش میانجی واقعیت مجازی و واقعیت افزوده نشان دادند که هم‌آفرینی ارزش بر گردشگری شهری، هم‌آفرینی ارزش بر واقعیت مجازی و واقعیت مجازی بر گردشگری شهری، به‌طور مستقیم و معناداری تأثیر دارد. هم‌چنین، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در رابطهٔ هم‌آفرینی ارزش و گردشگری شهری نقش میانجی دارند. سیف‌للهی و اکبری (Seifollahi & Akbari, 2023) در تحقیقی با عنوان شناسایی چالش‌ها و فرصت‌های اقتصاد دیجیتال در توسعه کسب‌وکارهای خانگی زنان روستایی نشان داند که کسب وکارهای خانگی زنان روستایی باید از فناوری استفاده کند و برنامه‌های آموزشی را ارتقا دهند تا خود را با مجموعه‌ای از مهارت‌های مناسب تجهیز کنند؛ بنابراین، در طول تحول دیجیتال سریع، نتها باید سرمایه‌گذاری در اتصال و شبکه‌های دیجیتال برای مشاغل روستایی که خدمات دیجیتالی آن‌ها کم است در نظر گرفت، بلکه باید مهارت‌ها و سواد دیجیتالی را افزایش داد و به جذب نوآوری‌های دیجیتال جدید کمک کرد.

در میان پژوهش‌های پیشین خارجی، چاترجی و همکاران (Chatterjee *et al.*, 2025) در پژوهشی با عنوان «استفاده از شیوه‌های شبیه‌سازی واقعیت مجازی برای پرورش کشاورزان» به این نتایج دست یافته‌اند که سیستم واقعیت مجازی، کاربردهایی در حوزه‌هایی مانند شبیه‌سازی مجازی محصولات کشاورزی، کشاورزی هوشمند، مدیریت دام مبتنی بر همزاد دیجیتال و بهینه‌سازی زنجیره‌های تأمین دارد. علاوه بر این، واقعیت مجازی می‌تواند با اطلاعات نادرست در مورد تغییرات اقلیمی مبارزه کند و شایستگی‌های عملی و تصمیم‌گیری استراتژیک را برای روش‌های کشاورزی پایدار افزایش دهد. سارا و همکاران (Sara *et al.*, 2024) در پژوهشی با عنوان «بررسی قصد استفاده از فناوری‌های واقعیت افزوده در کشاورزی: آیا عینک‌های هوشمند بخشی از انقلاب کشاورزی دیجیتال خواهند بود؟» به این نتایج دست یافته‌اند که نگرش، سودمندی ادراک‌شده و سازگاری، به‌طور مستقیم بر پذیرش عینک‌های هوشمند به‌عنوان ابزاری جدید و نوآورانه برای پشتیبانی از فعالیت‌های کشاورزی از سوی ذی‌نفعان کشاورزی تأثیر می‌گذارند. به‌علاوه، امکان انتشار و پیاده‌سازی مناسب فناوری‌های واقعیت افزوده در بین کشاورزان و تکنسین‌های آینده، ادغام و ارتباط بین عینک‌های هوشمند و سایر فناوری‌هایی که قبلاً در مزارع کشاورزی به کار گرفته شده‌اند، بسیار مهم خواهد بود. دایوگلو و تورکر (Dayioglu & Turker, 2021) در پژوهشی با عنوان «تحول دیجیتال برای آیندهٔ پایدار– کشاورزی نسل چهارم» به این نتایج دست یافته‌اند که برای آینده‌ای پایدار، نوآوری‌های فناوری که بهره‌وری محصول را افزایش می‌دهند و کیفیت محصول را بهبود می‌بخشند، از محیط‌زیست محافظت می‌کنند، استفادهٔ کارآمد از منابع را فراهم می‌کنند و هزینه‌های ورودی را کاهش می‌دهند، می‌توانند به کشاورزی امروز کمک کنند تا بر بسیاری‌های چالش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی غلبه کند. راث و همکاران Rath (*et al.*, 2019) در پژوهشی با عنوان واقعیت افزوده و واقعیت مجازی– کانالی برای تحول دیجیتال در صنعتی‌سازی و پرورش نوآوری و کارآفرینی به این نتیجه دست یافته‌اند که واقعیت افزوده و واقعیت مجازی به‌عنوان هوشمندانه‌ترین شیوهٔ تحول دیجیتال نقشی محوری در صنعتی‌شدن نسل چهارم ایفا می‌کنند.

مدل مفهومی و فرضیه‌های پژوهش

بر اساس مدل مفهومی (شکل ۱)، فرضیه‌های اصلی پژوهش به‌صورت زیر است:



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش

Figure 1- Conceptual model of the research

۱- واقعیت مجازی بر توسعه کشاورزی هوشمند تأثیر معنادار دارد.
۲- واقعیت افزوده بر توسعه کشاورزی هوشمند تأثیر معنادار دارد.
۳- واقعیت مجازی بر تحول دیجیتال تأثیر معنادار دارد.
۴- واقعیت افزوده بر تحول دیجیتال تأثیر معنادار دارد.
۵- تحول دیجیتال بر توسعه کشاورزی هوشمند تأثیر معنادار دارد.
۶- تحول دیجیتال بین واقعیت مجازی و توسعه کشاورزی هوشمند نقش میانجی می‌کند.
۷- تحول دیجیتال بین واقعیت افزوده و توسعه کشاورزی هوشمند نقش میانجی می‌کند.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، پژوهشی کاربردی و به لحاظ ماهیت روش کار، از نوع توصیفی-همبستگی است. جامعهٔ آماری پژوهش، کلیهٔ تولیدکنندگان محصولات کشاورزی در استان اردبیل است. برای نمونه‌گیری، روش نمونه‌گیری تصادفی ساده و برای تعیین حجم نمونه، فرمول کوکران مورد استفاده قرار گرفته است و با توجه به نامحدود بودن حجم جامعهٔ آماری، حجم نمونه برابر با ۳۸۴ نفر تعیین شده است (در هنگام توزیع پرسشنامه توضیحات در حد نیاز ارائه شد تا دچار سوگیری نشوند). اطلاعات و داده‌ها از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و هم‌چنین، روش میدانی گردآوری شده‌اند. به‌منظور گردآوری داده‌های بخش میدانی، چهار پرسشنامهٔ استاندارد کاربرد واقعیت مجازی فلور و همکاران (Flohr et al., 2020) (دارای ۴ گویه)، واقعیت افزوده» هلین و همکاران (Helin et al., 2018) (دارای ۱۱ گویه)، کشاورزی هوشمند (دارای ۳۰ گویه) و تحول دیجیتال ال نعیمی و همکاران El-Naimi *et al.*, 2022) (دارای ۵ گویه) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در هر چهار پرسشنامه، سؤالات به‌صورت طیف پنج گزینه‌ای لیکرت (از گزینهٔ ۱= کاملاً مخالفم تا گزینهٔ ۵= کاملاً موافقم) درجه‌بندی شده‌اند. روایی پرسشنامه‌ها به‌وسیلهٔ تحلیل عاملی تأییدی و پایایی آن‌ها با استفاده از آلفای کرونباخ مورد بررسی قرار گرفته و تأیید شده است. تجزیه‌وتحلیل داده‌های پژوهش نیز با روش مدل‌سازی معادلات ساختاری (با رویکرد حداقل مربعات جزئی) و به کمک دو نرم‌افزار آماری SPSS 26 و Smart-PLS 3 صورت گرفته است.

نتایج

برازش مدل اندازه‌گیری

مدل اندازه‌گیری، روابط بین متغیرهای پنهان و آشکار را تعریف می‌کند. برای بررسی روایی همگرایی، معیار میانگین واریانس استخراج‌شده[1] (مقادیر بالاتر از ۰/۵) تحلیل می‌شود. پایایی ترکیبی[2] (مقادیر بالاتر از ۰/۷)، یک معیار ارزیابی برازش درونی مدل است و بر اساس میزان سازگاری سؤالات مربوط به سنجش هر عامل، قابل‌محاسبه است. شاخص پایایی ترکیبی، نسبت مجموع بارهای عاملی متغیرهای مکنون به مجموع بارهای عاملی به‌علاوهٔ واریانس خطا است. مقادیر آن بین ۰ و ۱ و جایگزینی برای آلفای کرونباخ است. شاخص آلفای کرونباخ، میزان بارگیری هم‌زمان متغیرهای مکنون یا سازه را در زمان افزایش یک متغیر آشکار اندازه‌گیری می‌کند. مقدار این شاخص از ۰ تا ۱ است. میزان رابطهٔ یک سازه با شاخص‌هایش در مقایسهٔ رابطهٔ آن سازه با سایر سازه‌ها با روایی واگرا مشخص می‌شود. طبق شاخص فورنل و لارکر (Fornell & Larcker, 1981)، جذر میانگین واریانس استخراج‌شدهٔ هر متغیر پنهان باید بیش‌تر از حداکثر همبستگی آن متغیر پنهان با متغیرهای دیگر باشد. روایی واگرای قابل‌قبول یک مدل حاکی از آن است که یک سازه در مدل، تعامل بیش‌تری با شاخص‌های خود دارد تا با سازه‌های دیگر. برای این شاخص، حداقل مقدار ۰/۵ در نظر گرفته شده است و این بدان معناست که متغیر پنهان مورد نظر حداقل ۰/۵ واریانس مشاهده‌پذیر خود را تبیین می‌کند. در جدول ۱، شاخص‌های برازش مدل اندازه‌گیری، یعنی میانگین واریانس استخراج‌شده، پایایی ترکیبی، آلفای کرونباخ و شاخص فورنل و لارکر همگی از حداقل مقدارشان بیش‌ترند. بنابراین برازش مدل اندازه‌گیری تأیید می‌شود.

بررسی روایی واگرا به روش Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT)

تحلیل HTMT برای ارزیابی اعتبار تشخیصی استفاده می‌شود. تمام مقادیر HTMT باید کم‌تر از ۰/۹ باشند تا تأیید شود که اعتبار تشخیصی مشکلی ندارد. تحلیل HTMT اعتبار تشخیصی سازه‌ها را در یک مطالعه تعیین می‌کند و تأیید می‌کند که هر سازه ابعاد متمایزی را اندازه‌گیری می‌کند. این امر با اطمینان از این‌که سازه‌ها واقعاً با یکدیگر متفاوت هستند، تحقیق را تقویت می‌کند (جدول ۲). بنابراین شاخص HTMTیک معیار برای ارزیابی همپوشانی بین سازه‌های مختلف در مدل‌های معادلات ساختاری است. این شاخص به کمک بررسی نسبت همبستگی بین متغیرهای پنهان مختلف به‌دست می‌آید. هدف اصلی HTMTارزیابی اعتبار سازه‌ها و جلوگیری از همپوشانی غیر مجاز بین سازه‌ها است.

1- Average Variance Extracted (AVE)

2- Composite Reliability (CR)

جدول ۱- خلاصهٔ شاخص‌های برازش مدل اندازه‌گیری

Table 1- Summary of measurement model fit indices

متغیر Variable	میانگین واریانس استخراج‌شده AVE	پایایی ترکیبی CR	الفای کرون باخ Cronbach's alpha	معیار فورنل و لارکر Fornell-Larcker criterion
واقعیت مجازی Virtual reality	0.76	0.93	0.89	0.87
واقعیت افزوده Augmented reality	0.52	0.90	0.87	0.72
کشاورزی هوشمند Smart agriculture	0,61	0.95	0.95	0.71
تحول دیجیتال Digital transformation	0.61	0.91	0.87	0.82

جدول ۲- شاخص HTHM

Table 2- HTHM index

متغیر Variable	واقعیت مجازی Virtual Reality	واقعیت افزوده Augmented Reality	کشاورزی هوشمند Smart Agriculture	تحول دیجیتال Digital Transformation
واقعیت مجازی Virtual Reality				
واقعیت افزوده Augmented Reality	0.71			
کشاورزی هوشمند Smart Agriculture	0.67	0.75		
تحول دیجیتال Digital Transformation	0.65	0.61	0.72	

برازش مدل ساختاری

برای بررسی برازش مدل ساختاری، دو معیار ضریب تعیین (R^2) و ارتباط پیش‌بین (Q^2) استفاده می‌شوند. R^2 شاخصی است که نشان می‌دهد مدل چه اندازه از تغییرات متغیر وابسته را توضیح می‌دهد. مقادیر تقریبی ۰/۶۷ قوی، مقادیر حدود ۰/۳۳ متوسط و مقادیر ۰/۱۹ و کم‌تر ضعیف در نظر گرفته می‌شوند. مقدار Q^2 نشان‌دهنده دقت پیش‌بینی مدل است. اگر Q^2 مثبت باشد، مدل توانایی پیش‌بینی تغییرات در متغیر وابسته را دارد.۰/۰۲، ۰/۱۵ و ۰/۳۵ تبیین می‌کند که به‌ترتیب، نشان‌دهندهٔ مقادیر کوچک، متوسط و بزرگ آن هستند. در جدول ۳، برای هر دو معیار R^2 و Q^2، مقادیر قابل‌قبول و مناسبی به‌دست آمده است. بنابراین، برازش مدل ساختاری تأیید می‌شود.

آزمون فرضیات پژوهش

بر اساس مقادیر آمارهٔ t که از ۱/۹۶ در سطح اطمینان ۹۵ درصد بزرگ‌تر است، می‌توان گفت که واقعیت مجازی بر کشاورزی هوشمند، واقعیت افزوده بر کشاورزی هوشمند، واقعیت مجازی بر تحول دیجیتال، واقعیت افزوده بر تحول دیجیتال و تحول دیجیتال بر کشاورزی هوشمند تأثیر مثبت و معنادار دارند. بنابراین، فرضیات اول تا پنجم پژوهش تأیید می‌شوند.

جدول ۳. خلاصهٔ شاخص‌های برازش مدل ساختاری

Table 3- Summary of structural model fit indices

متغیر Variable	قدرت پیش‌بینی Predictive power	ضریب تعیین R-Square
کشاورزی هوشمند Smart Agriculture	0.25	0.70
تحول دیجیتال Digital Transformation	0.32	0.55

اما به‌منظور سنجش نقش میانجی از آزمون سوبل استفاده می‌شود.

رابطهٔ $Z - Value = \frac{a \times b}{\sqrt{\left(b^2 \times s_a^2\right)+\left(a^2 \times s_b^2\right)+\left(s_a^2 \times s_b^2\right)}}$ (۲)

در رابطهٔ فوق:

a: مقدار ضریب مسیر بین متغیر مستقل و میانجی

b: مقدار ضریب مسیر بین متغیر میانجی و وابسته

S_a: خطای استاندارد مربوط به مسیر بین متغیر مستقل و میانجی

S_b: خطای استاندارد مربوط به مسیر متغیر میانجی و وابسته

بر این اساس ابتدا به سنجش نقش میانجی تحول دیجیتال در رابطهٔ واقعیت مجازی و کشاورزی هوشمند پرداخته می‌شود.

$$\text{Z-Value}=\frac{۰/۲۱۰ \times ۰/۴۱۱}{\sqrt{\left(۰/۴۱۱^{۲} \times ۰/۰۴۵^{۲}\right)+\left(۰/۲۱۰^{۲} \times ۰/۰۵۲^{۲}\right)+\left(۰/۰۴۵^{۲} \times ۰/۰۵۲^{۲}\right)}} = 3.99$$

بر اساس مقدار آمارهٔ Z محاسبه‌شده که بزرگ‌تر از ۱/۹۶ در سطح اطمینان ۹۵ درصد است، تأثیر میانجی تأیید می‌شود و نشان می‌دهد که تحول دیجیتال میان واقعیت مجازی و کشاورزی هوشمند نقش میانجی ایفا می‌کند، پس فرضیهٔ ششم تأیید می‌شود. هم‌چنین با توجه به تحلیل مسیر غیرمستقیم، میزان تأثیر واقعیت مجازی بر کشاورزی هوشمند از طریق تحول دیجیتال برابر است با:

۰/۲۱۰ × ۰/۴۱۱ = ۰/۰۹

سنجش نقش میانجی تحول دیجیتال در رابطهٔ واقعیت افزوده و کشاورزی هوشمند در زیر ارائه شده است.

$$\text{Z–Value}=\frac{۰/۶۵۵ \times ۰/۴۱۱}{\sqrt{\left(۰/۴۱۱^{۲} \times ۰/۰۳۳^{۲}\right)+\left(۰/۶۵۵^{۲} \times ۰/۰۵۲^{۲}\right)+\left(۰/۰۳۳^{۲} \times ۰/۰۵۲^{۲}\right)}} = 7.33$$

بر اساس مقدار آمارهٔ Z محاسبه‌شده که بزرگ‌تر از ۱/۹۶ در سطح اطمینان ۹۵ درصد است، تأثیر میانجی تأیید می‌شود و نشان می‌دهد که تحول دیجیتال میان واقعیت افزوده و کشاورزی هوشمند نقش میانجی ایفا می‌کند، پس فرضیهٔ هفتم تأیید می‌شود. هم‌چنین با توجه به تحلیل مسیر غیرمستقیم میزان تأثیر واقعیت افزوده بر کشاورزی هوشمند از طریق تحول دیجیتال برابر است با: ۰/۲۷ = ۰/۴۱۱ × ۰/۶۵۵.

در جدول ۴ خلاصهٔ نتایج آزمون فرضیه‌ها ارائه شده است. هم‌چنین در شکل‌های ۲ و ۳ خروجی نرم‌افزار Smart-PLS3 بر روی مدل مفهومی پژوهش نشان داده است.

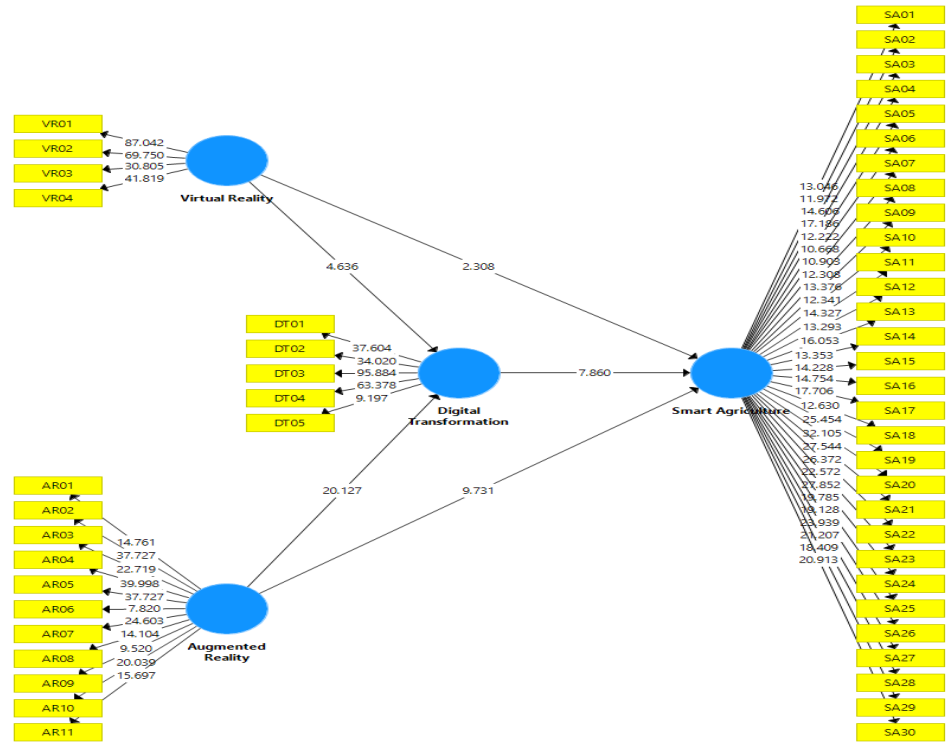
بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف واکاوی نقش فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در توسعهٔ کشاورزی هوشمند با نقش میانجی تحول دیجیتال انجام گرفت. با فرض وجود زیرساخت نتیجهٔ فرضیهٔ اول نشان داد که واقعیت مجازی بر کشاورزی هوشمند تأثیر مثبت و معنادار دارد. این یافته با نتایج پژوهش کاترجی و همکاران (۲۰۲۵) همسو است. بر این اساس، می‌توان گفت که فناوری واقعیت مجازی می‌تواند نقش چشم‌گیری در توسعهٔ کشاورزی هوشمند ایفا کند. در واقع، واقعیت مجازی به‌عنوان یک فناوری نوظهور در کشاورزی هوشمند مطرح است که می‌تواند به بهبود آموزش، تصمیم‌گیری، طراحی سیستم‌ها و حتی مدیریت مزارع کمک کند. به‌طوری‌که واقعیت مجازی نقش مهمی در آموزش نیروی انسانی، نظیر تولیدکنندگان محصولات کشاورزی، کارشناسان و حتی دانشجویان کشاورزی دارد. هم‌چنین، واقعیت مجازی می‌تواند داده‌های گردآوری‌شده را در فرآیند تصمیم‌گیری در مراحل و فرآیندهای مختلف کشاورزی به کار گیرد. به‌علاوه، واقعیت مجازی می‌تواند برای طراحی و شبیه‌سازی یک مزرعه پیش از پیاده‌سازی عملی آن مورد استفاده قرار گیرد. در ضمن، واقعیت مجازی امکان مدیریت مزرعه از راه دور را برای کشاورزان، مشاوران و کارشناسان فراهم می‌کند. در نهایت، واقعیت مجازی حتی می‌تواند در بازاریابی محصولات کشاورزی نیز به کار رود. با توجه به این موارد، می‌توان گفت که واقعیت مجازی نقش مؤثری در توسعهٔ کشاورزی هوشمند دارد.

جدول ٤. خلاصهٔ نتایج آزمون فرضیات پژوهش

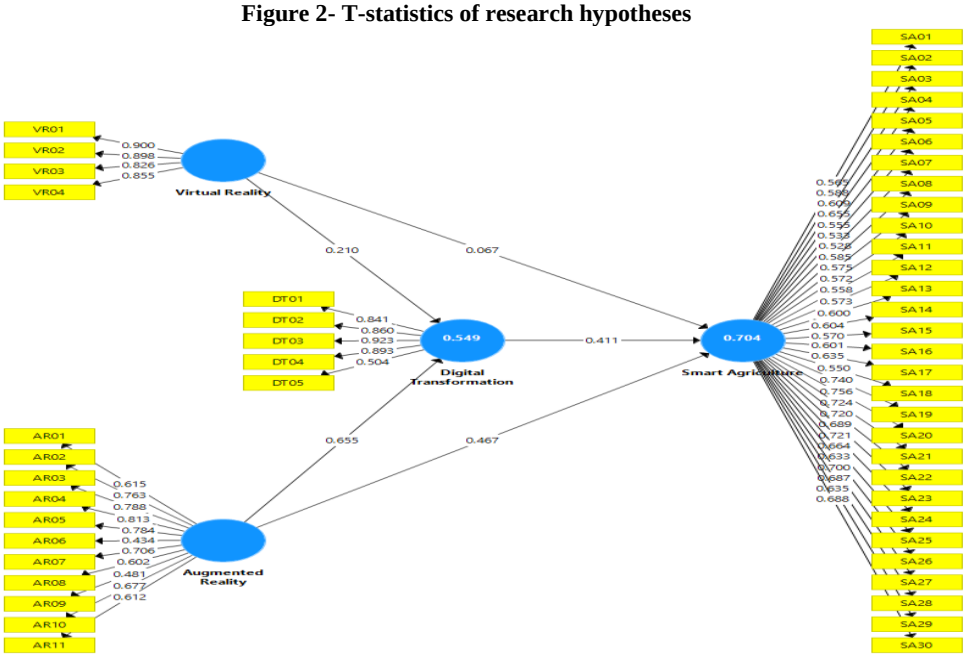
Table 4- Summary of the results of testing the research hypotheses

فرضیه Hypothesis	مقدار آمارهٔ Z/t value of the statistic	ضریب مسیر Path coefficient	نتیجه Conclusion
واقعیت مجازی ← کشاورزی هوشمند VR→ SA	2.3	0.067	تأیید Confirm
واقعیت افزوده ← کشاورزی هوشمند AR→ SA	9.7	0.46	تأیید Confirm
واقعیت مجازی ← تحول دیجیتال VA→ DT	4.6	0.21	تأیید Confirm
واقعیت افزوده ← تحول دیجیتال AR→ DT	20	0.65	تأیید Confirm
تحول دیجیتال ← کشاورزی هوشمند DT→ SA	7.8	0.41	تأیید Confirm
نقش میانجی تحول دیجیتال در رابطهٔ واقعیت مجازی و کشاورزی هوشمند The mediating role of DT in the relationship between VR and SA	3.99	0.9	تأیید Confirm
نقش میانجی تحول دیجیتال در رابطهٔ واقعیت افزوده و کشاورزی هوشمند The mediating role of DT in the relationship between AR and SA	7.3	9.27	تأیید Confirm



شکل ۲- آمارهٔ t فرضیات پژوهش

Figure 2- T-statistics of research hypotheses



شکل ۳- ضرایب بار عاملی و ضرایب مسیر فرضیات پژوهش

Figure 3- Factor loading coefficients and path coefficients of research hypotheses

با فرض وجود زیرساخت، نتیجهٔ فرضیهٔ دوم نشان داد که واقعیت افزوده بر کشاورزی هوشمند تأثیر مثبت و معنادار دارد. این یافته با نتایج پژوهش سارا و همکاران (Sara *et al.*, 2024) همسو است. بر این اساس می‌توان گفت که واقعیت افزوده نقش مهمی در توسعهٔ کشاورزی هوشمند دارد که با ترکیب دنیای واقعی و داده‌های دیجیتال در فرآیندهای کشاورزی عمل می‌کند. به‌طوری‌که با استفاده از عینک‌های هوشمند یا برنامه‌های کاربردی مبتنی بر واقعیت افزوده، تولیدکنندگان محصولات کشاورزی می‌توانند داده‌های گردآوری‌شده به‌وسیلهٔ

ابزارهای خاص را در همان لحظه به‌صورت گرافیکی مشاهده کنند. هم‌چنین، واقعیت افزوده می‌تواند به هدایت دقیق ماشین‌آلات کشاورزی کمک کند. به‌علاوه، با استفاده از واقعیت افزوده، مراحل و فرآیندهای مختلف کشاورزی را پایش می‌کنند و داده‌های گردآوری شده را در تصمیم‌گیری‌های مرتبط هم به کار می‌برند. به‌طور کلی، واقعیت افزوده نقش مهمی در دیجیتالی‌سازی کشاورزی و مزارع، افزایش دقت عملیات، صرفه‌جویی در منابع و ... دارد که به توسعهٔ کشاورزی هوشمند کمک می‌کند.

با فرض وجود زیرساخت، نتیجهٔ فرضیهٔ سوم نشان داد که واقعیت مجازی بر تحول دیجیتال تأثیر مثبت و معنادار دارد. این یافته با قسمتی از نتیجهٔ پژوهش راث و همکاران (Rath *et al.*, 2019) همسو است (نیاز به تحول دیجیتال در بخش‌های مختلف صنعتی با سرعت سرسام‌آوری در حال رشد است و در نتیجه، نیاز به مداخله فنی واقعیت افزوده و واقعیت مجازی از اولویت‌های اصلی شرکت‌های مختلف در بخش‌های مختلف است). بر این اساس می‌توان گفت که واقعیت مجازی یکی از فناوری‌های کلیدی در مسیر تحول دیجیتال محسوب می‌شود. به‌طوری‌که واقعیت مجازی به کاربران خود اجازه می‌دهد تا در محیط‌های دیجیتال حضور یابند، این تغییر از دیدن به تجربه کردن باعث می‌شود که تعامل انسان با فناوری عمیق‌تر، طبیعی‌تر و مؤثرتر شود. هم‌چنین، واقعیت مجازی امکان بازسازی و تحلیل محیط‌های واقعی را در فضای دیجیتال برای انسان فراهم می‌کند. به‌علاوه، واقعیت مجازی امکان ایجاد محصولات و خدمات جدید را به شکل دیجیتال فراهم می‌کند. با فراهم کردن محیط‌های آزمایشی و تجربه‌ای بدون خطر، به رشد مهارت‌های دیجیتال، نوآوری و خلاقیت کمک می‌کند. در مجموع با توجه به موارد برشمرده شده، واقعیت مجازی در تسریع تحول دیجیتال نقش‌آفرینی می‌نماید.

با فرض وجود زیرساخت، نتیجهٔ فرضیهٔ چهارم نشان می‌دهد که واقعیت افزوده بر تحول دیجیتال تأثیر مثبت و معنادار دارد. این یافته با نتیجهٔ پژوهش نتیجهٔ پژوهش راث و همکاران (Rath *et al.*, 2019) همسو است. بر این اساس می‌توان گفت که واقعیت افزوده می‌تواند نقش بسیار مهمی در تحول دیجیتال ایفا کند. به‌طوری‌که واقعیت افزوده می‌تواند اطلاعات واقعی و دیجیتال را ترکیب و در تصمیم‌گیری‌ها سرعت را افزایش دهد. می‌تواند میزان تعامل مشتری با محصولات و خدمات را افزایش دهد. می‌تواند داده‌های دیجیتال را با محیط واقعی به‌صورت لحظه‌ای و تحلیلی ارائه دهد. در نهایت می‌تواند تجربهٔ دیجیتال را ملموس و تعاملی‌تر کند. در مجموع با توجه به موارد برشمرده، واقعیت افزوده پلی میان دنیای واقعی و دیجیتال ایجاد می‌کند.

با فرض وجود زیرساخت، نتیجهٔ فرضیهٔ پنجم نشان داد که تحول دیجیتال بر کشاورزی هوشمند تأثیر مثبت و معنادار دارد. بر این اساس می‌توان گفت که تحول دیجیتال به‌طور چشم‌گیری به توسعهٔ کشاورزی هوشمند کمک می‌کند، زیرا با استفاده از فناوری‌های نوین، فرآیندهای تولید، مدیریت و تصمیم‌گیری را در بخش کشاورزی، دقیق‌تر، سریع‌تر و کارآمدتر می‌کند. به‌طوری‌که تحول دیجیتال باعث می‌شود که کشاورزی از حالت سنتی به کشاورزی مبتنی بر داده تغییر یابد. به کمک ماشین‌آلات خودکار، بسیاری از فعالیت‌های کشاورزی با دقت بیش‌تر و حتی دخالت کم‌تر نیروی انسانی صورت گیرد. حتی به هوشمندسازی بازاریابی و مراحل زنجیرهٔ تأمین کشاورزی هم کمک می‌کند. در ضمن، پلتفرم‌های دیجیتال، امکان دسترسی تولیدکنندگان کشاورزی به دانش روز، تجربیات دیگران و توصیه‌های تخصصی را هم فراهم می‌کنند. بنابراین، به‌طور کلی، تحول دیجیتال با ایجاد زیرساخت‌های فناورانه، هوشمندسازی فرآیندها، افزایش بهره‌وری و کاهش اتلاف منابع، بستری قدرتمند برای توسعهٔ کشاورزی هوشمند فراهم می‌کند.

با فرض وجود زیرساخت، نتیجهٔ فرضیهٔ ششم نشان داد که تحول دیجیتال در رابطهٔ واقعیت مجازی و کشاورزی هوشمند نقش میانجی دارد. با توجه به این که تاکنون پژوهش مشابهی در این رابطه انجام نشده است، لذا امکان مقایسه وجود ندارد. بااین‌وجود می‌توان گفت که واقعیت مجازی به‌عنوان یکی از فناوری‌های کلیدی در تحول دیجیتال، کشاورزی را از یک فعالیت سنتی به یک نظام هوشمند، داده محور و پایدار تبدیل می‌کند. در واقع، فناوری واقعیت مجازی با ارتقای دانش کشاورزان و تولیدکنندگان محصولات کشاورزی، شبیه‌سازی دقیق شرایط واقعی، تسهیل تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر داده و ... موجب افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و پایداری زیست‌محیطی در کشاورزی شده و در نهایت به توسعهٔ کشاورزی هوشمند منجر می‌شود.

با فرض وجود زیرساخت، نتیجهٔ فرضیهٔ هفتم نشان داد که تحول دیجیتال در رابطهٔ واقعیت افزوده و کشاورزی هوشمند نقش میانجی دارد. با توجه به این که تاکنون پژوهش مشابهی در این رابطه انجام نشده است، لذا امکان مقایسه وجود ندارد. بااین‌وجود می‌توان گفت که واقعیت افزوده به‌عنوان یک فناوری تحول‌آفرین دیجیتال نقش مهمی در توسعهٔ کشاورزی هوشمند دارد. به طوری که با ترکیب داده‌های دیجیتال و دنیای واقعی، فرآیندهای تصمیم‌گیری را دقیق‌تر می‌سازد، آموزش و مدیریت را تسهیل می‌کند و ارتباط بین انسان و فناوری را طبیعی‌تر و تعاملی‌تر می‌سازد. به بیان دیگر، واقعیت افزوده، کشاورزی را از یک فعالیت صرفاً تجربی به یک سامانهٔ بصری، داده محور و مبتنی بر هوش دیجیتال تبدیل کرده و در نهایت، کشاورزی هوشمند را توسعه می‌دهد.

با توجه به نتایج فرضیات پژوهش، پیشنهادهای کاربردی به شرح زیر مطرح می‌گردند:

نرم‌افزارهایی به‌منظور قرار دادن تولیدکنندگان محصولات کشاورزی در محیط‌های شبیه‌سازی‌شده به‌منظور تجربهٔ فرآیندهای کشاورزی طراحی و سپس به آن‌ها آموزش داده شود.

برنامهٔ کاربردی راهنمای مزرعه مبتنی بر واقعیت افزوده برای

تولیدکنندگان محصولات کشاورزی طراحی و آموزش داده شود.

برنامه‌های کاربردی مبتنی بر واقعیت مجازی و واقعیت افزوده برای حوزه‌های مختلف به‌منظور ایجاد تحول دیجیتال طراحی شوند.

نرم‌افزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی برای کنترل مراحل مختلف کشاورزی طراحی شود.

یک برنامه کاربردی موبایلی مبتنی بر واقعیت مجازی و افزوده طراحی شود تا تولیدکنندگان محصولات کشاورزی بتوانند با استفاده از آن، اطلاعات هوشمند و توصیه‌های تخصصی را به صورت زنده مشاهده کنند.

هم‌چنین، با توجه به وجود محدودیت‌هایی در روش‌های پژوهش کمی به پژوهشگران آتی توصیه می‌شود که روش‌های پژوهش کیفی به‌ویژه داده بنیاد را در زمینهٔ موضوع پژوهش حاضر به کار گیرند.

منابع تأمین مالی

این مقاله با حمایت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی از طرح پژوهشی با شماره قرارداد ۱۹۴۳۰/د/۹/۱۴۰۴ استخراج گردیده است.

References

1. Ahmed, B., Shabbir, H., Naqvi, S.R., & Peng, L. (2024). Smart agriculture: Current state, opportunities, and challenges. *IEEE Access*, (99):1-1. https://doi.org/10.1109/ACCESS .2024.3471647
2. Alzahrani, N.M. (2020). Augmented reality: A systematic review of its benefits and challenges in e-learning contexts. *Applied Sciences*, *10*(16), 5660. https://doi.org/10.3390/app10165660
3. Bagal, Y.S. (2022). India's agriculture: Situation, challenges, policies and strategies. *The Planta RBS, Chapter in Planta*, *3*(1), 869–876.
4. Chatterjee, D., Sadhu, S., Mondal, D., & Kalindi, D. (2025). Use of virtual reality simulation practices for farmers training. *Madras Agricultural Journal*, *1*, 74-83. https://doi.org/10.29321/MAJ.10.701159
5. El Etaiby, Y.S. (2023). Smart agriculture and future technologies for achieving food security. *International Journal of Family Studies, Food Science and Nutrition Health*, *4*(2), 56–71. https://doi.org/10.21608/ijfsnh.2024.293384.1006
6. Fornell, C., & Larcker, D.F. (1981). Structural equation models with unobservable variables and measurement error: Algebra and statistics. *Journal of Marketing Research*, *18*, 382-388. https://doi.org/10.1177/002224378101800313
7. Hakimi, H. (2021). Metaverse leading the way in smart agriculture transformation. *Agricultural Information Sciences and Technology*, *4*(2), 23-32. (In Persian). https://doi.org/2022.360361 .1071AISTJ10.2209
8. Hu, Y., Koondhar, M.A., & Kong, R. (2023). From traditional to smart: Exploring the effects of smart agriculture on green production technology diversity in family farms. *Agriculture*, *13*(6), 1-19. https://doi.org/10.3390/agriculture13061236
9. Klein, M. (2020). Leadership characteristics in the era of digital transformation. Business & Management Studies: *An International Journal*, *8*(1), 883-902. https://doi.org/10.15295/bmij.v8i1.1441
10. Kraus, S., Durst, S., Ferreira, J., Veiga, P., Kailer, N., & Weinmann, A. (2022). Digital transformation in business and management research: An overview of the current status quo Author links open overlay pane. *63*(4), 102466. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102466
11. Lei, Y., Su, Z., He, X., & Cheng, C. (2023). Immersive virtual reality application for intelligent manufacturing: Applications and art design. *Mathematical Biosciences and Engineering*, *20*(3), 4353–4387. https://doi.org/10.3934/mbe.2023202
12. Lie, S.S., Helle, N., Sletteland, N.V., Vikman, M.D., & Bonsaksen, T. (2022). Implementation of virtual reality in health professional higher education: Protocol for a scoping review. *JMIR Research Protocols*, *11*(7), 1–6. https://doi.org/10.2196/37222
13. Mitra, A., Vangipuram, L.S.T., Bapatla, A., Bathalapalli, V.K.V.V., & et al. (2024). Smart agriculture: A comprehensive overview. *SN Computer Science*, *5*(8), 1–26. https://doi.org/10.1007/s42979-024-03319-w
14. Pereira, C.S., Durão, N., Moreira, F., & Veloso, B. (2022). The importance of digital transformation in international business. *Sustainability*, *14*(2), 1–26. https://doi.org/10.3390/su14020834
15. Rahman, R. (2024). Virtual reality: Transforming experiences across industries. *Global Media Journal*, *22*(71), 1–3. https://doi.org/10.36648/1550-7521.22.71.463
16. Raj, M., & Prahadeeswaran, M. (2025). Revolutionizing agriculture: A review of smart farming technologies for a sustainable future. *Discover Applied Sciences*, *7*(937), 1–24. https://doi.org/10.1007/s42452-025-07561-6
17. Rath, D., Satpathy, I., & Patnaik, B.C.M. (2019). Augmented reality (AR) & virtual reality (VR)- A channel for digital transformation in industrialization fostering innovation & entrepreneurship. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, *8*(10), 3228-3236. https://doi.org/10.35940/ijitee.J1167.0881019
18. Sara, G., Todde, G., Pinna, D., & Caria, M. (2024). Investigating the intention to use augmented reality technologies in agriculture: Will smart glasses be part of the digital farming revolution? *Computers and Electronics in*

Agriculture, *224*, 1-10. https://dog.org/10.1016/j.compag.2024.109252

19. Seifollahi, N., & Forouzan, M.A. (2025). Analyzing the impact of value co-creation on the sustainable development of urban tourism, the mediating roles of virtual reality and augmented reality: A case study of Ardabil. *Journal of Urban Tourism, 12*(2), 59-79. http://doi.org/10.22059/jut.2025.393487.1286
20. Seifollahi, N., & Akbari Arbatan, G. (2023). Identifying the challenges and opportunities of the digital economy in the development of rural women's home businesses. *Women in Development and Politics*, *21*(3), 781-806. https://doi.org/10.22059/JWDP.2023.351079.1008275
21. Singh, G., Kalra, N., Yadav, N., Sharma, A., & Saini, M. (2022). Smart agriculture: A review. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *14*(6), 423–454. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-423-454
22. Värzaru, A.A., & Boccan, C.G. (2024). Digital transformation and innovation: The influence of digital technologies on turnover from innovation activities and types of innovation. *Systems*, *12*(9), 1–25. https://doi.org/10.3390/systems12090359
23. Wu, X. (2023). A review of virtual reality technology. Proceedings of the 2021. *International Conference on Machine Learning and Automation*. *36*(1), 1-6. https://doi.org/10.54254/2755-2721 /38/20230521
24. Zheng, T., & Feng, X.S. (2024). The application and innovation of virtual reality technology in network media. *SNH Web of Conference*, *183*, 1-4. https://doi.org/10.1051/shsconf/20241 83 02019
25. Zinke-Wehlmann, C., & Charvat, K. (2021). Introduction of smart agriculture. In book: Big Data in Bioeconomy, Results from the European DataBio Project Publisher: *Springer*. (pp. 187-190). https://doi.org/10.1007/978-3-030-71069-9_14

Journal of Agricultural Economics & Development

Homepage: https://jead.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 3, Fall 2026, p. 291-317

Study of a Stable Optimal Combination for Selected Low-Water-Consuming Agricultural Crops in Iran

R. Allahverdi[1], H. Rafiee [1]*, E. Pishbahar [1], S. Yazdani [1], M. Pendar [1], A. Liaghat [2]

1- Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: Hamedrafiee@ut.ac.ir)
2- Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 10 November 2025
Revised: 31 December 2025
Accepted: 07 February 2026
Available Online: 07 February 2026

How to cite this article:
Allahverdi, R., Rafiee, H., Pishbahar, E., Yazdani, S., Pendar, M., & Liaghat, A. (2026). Study of a stable optimal combination for selected low-water-consuming agricultural crops in Iran. *Journal of Agricultural Economics & Development*, *40*(3), 291-317. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jead.2026.96305.1401

Introduction

Iran's agricultural sector plays a strategic role in ensuring food security and generating non-oil export revenues. However, growing water scarcity, climatic constraints, and global market instability have posed serious challenges to the sustainability of agricultural exports. Policies restricting exports of water-intensive crops-often implemented without considering economic water productivity-have further distorted the export structure and reduced overall efficiency. This study aims to identify the optimal export pattern of low water-consuming agricultural products in Iran while examining the dynamics and stability of target export markets. The central research question is whether Iran can restructure its agricultural exports in a way that either (a) maximizes export revenue for a given level of virtual water consumption, or (b) minimizes virtual water consumption while maintaining the same export earnings. To address this, a hybrid analytical framework combining the Markov chain model and mathematical programming was developed.

Materials and Methods

The research consisted of two complementary stages:

Stage one: Market Stability Analysis (Markov Chain Model): The Markov model was applied to analyze the persistence and transition probabilities of Iran's major agricultural exports across key destination markets during 2013–2022. This probabilistic approach enabled the identification of market stability, volatility, and dependence patterns for products such as saffron, pistachios, dates, apples, raisins, figs, almonds, and watermelons.

Stage two: Export Optimization (Mathematical Programming): Two models were formulated:

Model a: Maximize export revenue subject to a constraint on virtual water consumption.

Model b: Minimize virtual water consumption subject to a constraint on export earnings.

These models were solved under different water and income scenarios to explore the trade-offs between economic performance and water sustainability. Scenario analyses tested the impacts of stricter or more relaxed water constraints on the optimal export composition.

Results and Discussion

1. Market Stability and Dynamics

The Markov chain analysis revealed that Iran's agricultural exports are highly unstable and geographically concentrated, relying heavily on a few volatile markets. Generally, smaller markets showed greater stability, whereas larger markets were more volatile.

Saffron: Afghanistan, with only a 5% share, showed the highest stability (57%), while Spain-despite a large

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)
https://doi.org/10.22067/jead.2026.96305.1401

share-was highly unstable.

Pistachios: China and "other destinations" had the highest stability (27%), whereas the UAE, which absorbed most exports, was volatile.

Dates: India was the most stable destination (73%) with a moderate share.

Apples: Iraq was both the dominant and most stable destination (44% share, 24% stability).

Similar trends were observed for raisins, figs, almonds, and watermelons, indicating the need for market diversification and strategic reorientation toward more stable destinations.

2. Optimal Export Composition

The optimization results demonstrated a clear trade-off between water use and income. When stricter water constraints were applied, low water-consuming crops (e.g., saffron, figs, and almonds) gained larger shares in the optimal export mix. Conversely, under relaxed constraints, water-intensive crops (e.g., watermelons, apples) expanded, yielding higher revenues but lower water productivity.

Among all crops, saffron emerged as the most efficient in both water and economic terms, consistently appearing as a core component in all optimal scenarios. Quantitatively, restructuring the export composition could reduce virtual water use by 5-40% without lowering export income, or increase export revenue by 5-55% while maintaining current water consumption.

These findings underscore the potential of aligning trade policies with water resource management to enhance both economic and environmental outcomes.

3. Policy Implications

The results indicate that export earnings could increase by approximately 5–55% while maintaining water consumption at its current level in the export pattern. Considering these findings, export incentives for products that the optimal pattern recommends reducing could provide an effective policy instrument.

The findings also call for a shift in the basis for classifying agricultural products from physical water intensity to economic water productivity. Even under a virtual-water minimization objective, the export of some physically water-intensive products may remain economically justified when they generate high economic returns per unit of water. Export policy should also account for demand conditions in individual destination markets. Accordingly, agricultural export policies should adopt a destination-oriented approach, with decisions to restrict or promote the export of each product informed by economic water indicators, the importance of the destination market, demand in the target market, and the strategic contribution of each market-product combination to national foreign-exchange earnings.

Conclusion

Integrating Markov chain analysis with optimization modeling provides a practical framework for sustainable export policy design. The results indicate that Iran's current export strategy compromises both market stability and water efficiency. Strategic market diversification and prioritization of water-efficient crops can simultaneously enhance export performance and reduce water stress. This study suggests that Iran can save up to 40% of virtual water without reducing export income or increase export earnings by up to 55% while maintaining current water use. These findings align with Article 11, Clause 2 of Iran's Seventh Development Plan, and emphasizing incentives for water-efficient agricultural exports. Future research should incorporate climatic variability, global price fluctuations, and partner-country trade policies to refine the model further, ultimately promoting alignment between agricultural trade strategy and sustainable water management.

Keywords: Exports, Foreign exchange earnings, Instability, Low water-consuming products, Virtual water
JEL Classification: Q17, Q25, F14, Q56, C61

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
https://jead.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۴۰، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، ص. ۳۱۷-۲۹۱

مطالعه ترکیب بهینه پایدار محصولات کشاورزی منتخب کم‌آب‌بر ایران

ریحانه الهوردی[۱]- حامد رفیعی [۱*]- اسماعیل پیش‌بهار [۱]- سعید یزدانی [۱]- مهدی پندار [۱]- عبدالمجید لیاقت [۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۸

چکیده

محدودیت شدید منابع آبی و ناپایداری بازارهای جهانی، ضرورت بازنگری در الگوی صادرات محصولات کشاورزی را دوچندان کرده است. در سال‌های اخیر، سیاست‌های محدودکننده صادرات محصولات آب‌بر بدون توجه به بازده اقتصادی آب، موجب فاصله ترکیب صادراتی از حالت بهینه شده است. این پژوهش با هدف شناسایی الگوی بهینه صادرات محصولات کم‌آب‌بر ایران و ارزیابی پایداری بازارهای هدف، با استفاده از دو رویکرد مکمل انجام شده است. هدف این پژوهش، بررسی امکان ارتقای ترکیب صادراتی محصولات کشاورزی منتخب به حالتی بهینه است؛ به‌طوری‌که درآمد حاصل از صادرات با همان میزان مصرف آب مجازی بیشینه و یا مصرف آب مجازی با همان میزان ارزآوری حداقل شود. در این راستا، ابتدا با استفاده از الگوی زنجیره مارکوف، پایداری صادرات محصولات عمده کشاورزی ایران در بازارهای هدف طی دوره‌ی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ تحلیل شد. سپس دو الگوی برنامه‌ریزی ریاضی جداگانه تدوین گردید. الگوی نخست با هدف بیشینه‌سازی درآمد صادراتی تحت قید مصرف آب و الگوی دوم با هدف کمینه‌سازی مصرف آب مجازی تحت قید درآمد صادراتی برآورد شد. نتایج نشان داد محصولاتی مانند زعفران، با توجه به کارایی اقتصادی بالای آب و ارزش افزوده صادراتی، گزینه‌های مناسبی برای تمرکز صادرات هستند. همچنین، بازارهایی مانند افغانستان در صادرات زعفران بیش‌ترین پایداری را داشتند، در حالی‌که برخی بازارهای بزرگ مانند اسپانیا و امارات ناپایدارتر بودند. بر اساس نتایج الگوهای بهینه در الگوی صادراتی ایران، بدون کاهش درآمدهای ارزی و با چینش صحیح بازارهای هدف و نسبت مناسب صادرات محصولات می‌توان در حدود ۵ تا ۴۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. از طرفی، نتایج بر امکان افزایش درآمد حاصل از صادرات در بازه ۵ تا ۵۵ درصدی با الزام تثبیت مصرف آب در الگو دلالت دارد. بنابراین، باتوجه به نتایج و با استناد بر جز دوم ماده ۱۱ قانون برنامه هفتم توسعه، درنظرگیری مشوق‌های صادراتی در این زمینه راه‌گشا خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آب مجازی، ارزآوری، صادرات، کم‌آب‌بر، ناپایداری
طبقه‌بندی JEL: Q17, Q25, F14, Q56, C61

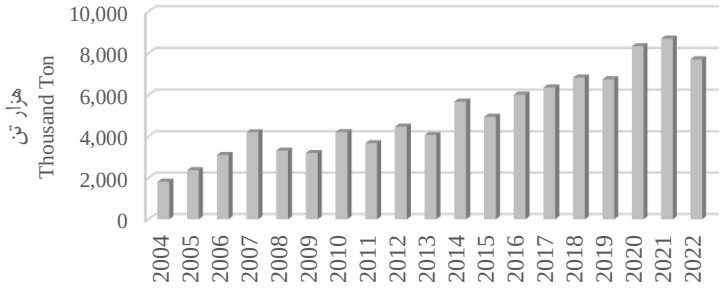
مقدمه

بخش کشاورزی یکی از پایه‌های اصلی اقتصاد در کشورهای کمتر توسعه‌یافته و در حال توسعه، از جمله ایران، به شمار می‌آید. این بخش، به‌واسطه نقش کلیدی خود در افزایش صادرات غیرنفتی و ارزآوری پایدار، جایگاهی مهم در فرآیند توسعه اقتصادی کشور دارد (Khalilian & Farhadi, 2002). توسعه صادرات کشاورزی، علاوه بر آثار مثبت اقتصادی می‌تواند، ارتقاء بهره‌وری، افزایش کیفیت محصولات، به‌کارگیری فناوری‌های نوین و تحرک‌بخشی به زنجیره ارزش کشاورزی را به‌دنبال داشته باشد (Pishbahar *et al.*, 2021). باتوجه به موارد گفته شده در خصوص اهمیت صادرات محصولات کشاورزی برای کشور، لازم است تا وضعیت صادرات این محصولات مورد بررسی قرار گیرد. نمودار ۱، میزان صادرات محصولات کشاورزی ایران را در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۲ بر حسب هزار تن نشان می‌دهد. براساس این نمودار و به‌طور کلی، صادرات محصولات کشاورزی ایران دارای روند افزایشی؛ اما همراه با نوسان و ناپایداری در سال‌های مذکور بوده است.

برای درک بهتر این ناپایداری در صادرات محصولات کشاورزی به محصولات عمده (اصلی) به لحاظ میزان سهم از ارزش صادرات کشاورزی ایران پرداخته شده است. میانگین سهم این محصولات از

۱- گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Hamedrafiee@ut.ac.ir)
۲- گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
https://doi.org/10.22067/jead.2026.96305.1401

کل ارزش صادرات بخش کشاورزی ایران به همراه متوسط درآمد صادرات سالانه به میلیون دلار در جدول ۱ در دوره زمانی (۲۰۲۲-۲۰۱۳) نشان داده شده است. این محصولات در مجموع با ۴۲ درصد سهم و به‌طور جداگانه با سهم بالای ۰/۵ درصد از کل ارزش صادرات بخش کشاورزی (شامل خام و فرآوری شده)، مهم‌ترین محصولات خام صادراتی کشاورزی هستند. محصولات مذکور، شامل پسته، زعفران، خرما، سیب، کشمش، گوجه‌فرنگی، هندوانه، انجیر و بادام بوده که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همانطور که در جدول مذکور نشان داده شده، بیش‌ترین درآمد حاصل از صادرات در بخش کشاورزی، به‌ترتیب از صادرات پسته، زعفران و خرما حاصل شده است.



نمودار ۱- میزان صادرات محصولات کشاورزی ایران در دوره زمانی (۲۰۲۲-۲۰۰٤) (واحد: هزار تن) (مأخذ: ITC (۲۰۲۵))

Figure 1- Iran's agricultural export volumes (2004–2022), in thousand tonnes

جدول ۱- سهم هر یک از محصولات اصلی از کل ارزش صادرات بخش کشاورزی ایران و متوسط صادرات سالانه به‌طور میانگین در دوره زمانی (۲۰۱۳-۲۰۲۲)

Table 1- The proportion of the main agricultural product in Iran's total agricultural export value and the mean annual exports over the period 2013–2022

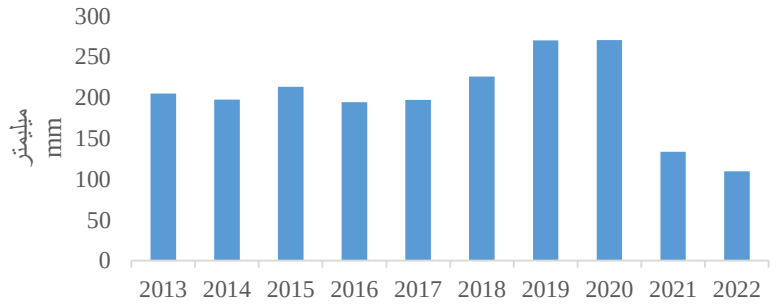
محصولات Products	کد تعرفه HS-code	متوسط صادرات سالانه Average annual export value (unit: million USD)	سهم از ارزش صادرات بخش کشاورزی Share in the total value of agricultural exports (unit: percent)
پسته Pistachio	080251(25)	745	17.6
زعفران Saffron	09102020	359	4.5
خرما Date	080410	255	4.3
سیب Apple	080810	220	4
کشمش Dried Grapes	080620	215	4
گوجه فرنگی Tomato	070200	225	3.8
هندوانه Watermelon	080711	163	2.7
انجیر Fig	080420	35	0.6
بادام Almond	080212	26	0.5
سایر Others	-	-	58

مأخذ: ITC (۲۰۲۵)

Source: ITC, 2025

باتوجه به مطالب مذکور و در شرایط کنونی که تحریم‌های اقتصادی، نوسانات ارزی، محدودیت منابع آبی و چالش‌های امنیت غذایی کشور را تهدید می‌کند، توسعه صادرات هدفمند و پایدار محصولات کشاورزی به‌ویژه محصولات کم‌آب‌بر، یک ضرورت راهبردی به شمار می‌رود.

در ارتباط با محدودیت آب در کشور، تنش خشکی به‌عنوان نتیجه‌ای از بحران آب، رشد و تولید محصولات و در نهایت صادرات را به شدت تهدید می‌کند (Rasheed *et al*., 2022). این تنش در ایران نیز همانند سایر نقاط جهان وجود دارد، به‌طوری‌که باتوجه به نمودار ۲، در دهه اخیر غیر از سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰، مقدار بارش سالیانه در ایران نسبت به میانگین ۵۰ ساله (۲۵۰ میلی‌متر در سال) آن کم‌تر بوده است. میزان بارش سالیانه در سال ۲۰۲۱ نسبت به سال‌های پیشین، کاهش شدیدی داشته که گواه بر تغییرات اقلیمی و وقوع پدیده خشکسالی است (Babaeian *et al*., 2024).



نمودار ۲- میزان بارش سالیانه در ایران (۲۰۲۲-۲۰۱۳) (مأخذ: بانک جهانی، ۲۰۲۴)

Figure 2- Annual precipitation in Iran (2013–2022) (Source: World Bank, 2024)

در سال‌های اخیر، با توجه به افزایش فشارهای ناشی از کم‌آبی و خشکسالی (Ministry of Agricultural Jihad, 2024)، دولت ایران، سیاست‌هایی را با هدف محدودیت صادرات محصولات کشاورزی آب‌بر اعمال کرده که یکی از این سیاست‌ها، اعمال عوارض صادراتی آب مجازی بوده که در بخشنامه گمرک ایران با موضوع «فهرست محصولات کشاورزی و غذایی آب‌بر مشمول نیم درصد عوارض صادراتی آب مجازی» عنوان شده است. محصولات ذکر شده در این بخشنامه که مشمول تعرفه شده‌اند، عبارت اند از: پیاز، گوجه زراعی، سیب‌زمینی، خیار، هندوانه، خربزه، طالبی، گرمک، ملون، فلفل، کدو، بادمجان، هویج، شلغم، کنجد، لوبیا، ماش، عدس، آفتابگردان، توتون، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، سورگوم، کلزا، سویا، چغندرقند، پنبه، برنج، نیشکر، زعفران، یونجه، گوشت قرمز، تخم مرغ و شیرخشک (IRICA, 2023).

در همین راستا، بررسی اسناد بالادستی در زمینه مصرف آب محصولات کشاورزی صادراتی ایران حاکی از آن است که مطابق با بند «ه» تبصره هشت قانون بودجه سال ۱۴۰۲ کل کشور، به‌منظور حفظ منابع آبی کشور، وزارت امور اقتصادی و دارایی (گمرک جمهوری اسلامی ایران) موظف است، نیم درصد از ارزش محصولات صادراتی کشاورزی و غذایی آب‌بر را اخذ و درآمد حاصل از عوارض فوق را به ردیف درآمدی مربوط به الگوی کشت واریز نماید. بنابراین، موضوع آب را می‌توان یکی از محورهای اصلی این لایحه نیز قلمداد نمود.

این رویکرد در نگاه اول، مبتنی بر ملاحظات محیط‌زیستی و ضرورت مدیریت منابع آب به نظر می‌رسد؛ اما مسئله آب‌بر بودن یک محصول صرفاً به متوسط مصرف آب به ازای واحد سطح (نیاز آبی) محدود نمی‌شود. اصولا تعریف «آب‌بر» بودن یک محصول صرفاً بر اساس میزان آب مورد نیاز در هکتار نمی‌تواند معیار کاملی باشد؛ چراکه کل آب مصرفی یک محصول نه تنها به آب مورد نیاز در هر هکتار، بلکه به سطح زیرکشت اختصاص‌یافته به آن محصول نیز بستگی دارد. علاوه بر این، حذف یک محصول از سبد صادرات، تنها به دلیل آب‌بر بودن آن منطقی نیست، زیرا برخی محصولات آب‌بر ممکن است درآمد صادراتی قابل توجهی به ازای هر واحد آب مصرفی ایجاد کنند. به عبارت دیگر، ارزش اقتصادی آب مصرف‌شده در تولید و صادرات این محصولات می‌تواند، معیاری مناسب‌تری برای تصمیم‌گیری باشد. برای بررسی این موضوع، از داده‌های جدول ۲ جدول ۲که مربوط به نه قلم کالای اصلی صادراتی کشاورزی ایران در سال ۲۰۲۲ است، جهت تحلیل دقیق‌تر این داده‌ها در راستای سیاست‌گذاری بهینه‌تر استفاده می‌شود.

برای درک بهتر عبارت «آب‌بر بودن»، ابتدا باید معیاری جامع‌تر از آب‌بر بودن با شاخص فیزیکی تعریف نمود. یکی از بهترین معیارها، محاسبه درآمد صادراتی به ازای هر متر مکعب آب مصرفی است. این معیار نشان می‌دهد که ارزش اقتصادی معادل با آب مصرفی هر محصول چه میزان است. همچنین این معیار، از تقسیم ارزش صادرات (هزار دلار) بر کل آب مصرفی (متر مکعب) به‌دست می‌آید که در

ستون نهایی جدول ۲ نمایش داده شده است. باتوجه به این جدول، این معیار نشان می‌دهد که به‌طور مثال، زعفران با ۰/۴۶ هزار دلار به ازای هر متر مکعب آب، جز کارآمدترین محصولات از نظر اقتصادی است، در حالی‌که بادام با ۰/۰۲ هزاردلار از کم‌ترین رتبه برخوردار است. مقایسه این نتایج با میزان آب مورد نیاز در هکتار و کل آب مصرفی نشان می‌دهد که انگور با نیاز آبی ۱۰،۷۴۰ متر مکعب آب در هکتار و رتبه دوم از نظر سطح زیرکشت (۲۷۷،۹۵۵ هکتار)، بیش‌ترین مصرف آب را داشته؛ اما از کارایی اقتصادی بسیار کمی (۰/۰۶ هزار دلار/متر مکعب) برخوردار است. همچنین، خرما با ۱۵،۶۶۹ متر مکعب آب در هکتار، دومین رتبه از نظر نیاز آبی را دارد؛ اما به‌دلیل سطح زیر کشت نسبتاً کم (۳۶،۶۷۶ هکتار)، کل آب مصرفی کم (۵۷۴ میلیون متر مکعب) و درآمد بالای صادراتی (۲۸۹ میلیون دلار)، در رتبه دوم از نظر نیاز آبی قرار می‌گیرد و بیش‌ترین کارایی اقتصادی (۰/۵ هزار دلار/متر مکعب) را دارد. در مقابل، پسته با آب مورد نیاز کمتر در هکتار (۴،۳۰۰ متر مکعب)، به‌دلیل سطح زیر کشت بسیار بالا (۵۵۹،۷۴۹ هکتار)، کل آب مصرفی بسیاری (۲/۴ میلیارد متر مکعب) دارد؛ اما همچنان با ارزش صادراتی ۴۰۱ میلیون دلار، کارایی اقتصادی متوسطی (۰/۱۷ هزار دلار/متر مکعب) را نشان می‌دهد. این داده‌ها نیز نشان می‌دهند که تعریف آب‌بر بودن تنها بر اساس آب مورد نیاز در هکتار ناکافی است. باتوجه به بخشنامه «گمرک جمهوری اسلامی ایران با موضوع فهرست محصولات کشاورزی و غذایی آب‌بر مشمول نیم درصد عوارض صادراتی آب مجازی»، در میان اقلام مذکور، نام «زعفران» نیز در فهرست محصولات آب‌بر و مشمول عوارض آب مجازی قرار گرفته که این امر، منجر به کاهش انگیزه صادرات زعفران و کاهش سهم بازاری ایران در عرصه صادرات جهانی این محصول ارزشمند و ارزآور خواهد شد (گمرک ایران، ۱۴۰۲). همچنین بر اساس این جدول، زعفران با نیاز آبی ۴،۷۶۹ متر مکعب آب در هکتار، آب‌بر به نظر می‌رسد؛ اما کل آب مصرفی زعفران ۵۳۵ میلیون متر مکعب بوده که از این نظر دارای رتبه هشت در مقایسه با سایر محصولات است. علاوه بر این، زعفران با قیمت صادراتی ۱۱۳۴ دلار بر کیلوگرم و ارزش صادراتی ۲۴۷ میلیون دلار، دومین رتبه را در کارایی اقتصادی (۰/۴۶ هزار دلار/متر مکعب) دارد. این تفاوت نشان می‌دهد که سیاست‌های صادراتی نباید صرفاً بر اساس معیار فیزیکی طراحی شوند، بلکه باید کل آب مصرفی و بازده اقتصادی در نظر گرفته شود.

با توجه به بحران آب در ایران، طراحی الگوی محصولات کم آب‌بر صادراتی ضروری است؛ اما این الگو باید بر اساس کارایی اقتصادی و پایداری منابع آبی تعریف شود. محصولاتی مانند زعفران و خرما که درآمد بالایی به ازای هر مترمکعب آب (۰/۴۶ و ۰/۵۰ هزار دلار) ایجاد می‌کنند، می‌توانند به‌عنوان گزینه‌های راهبردی در اولویت قرار گیرند؛ حتی اگر متوسط مصرف آب به ازای واحد سطح آن‌ها بالا باشد. در واقع، آب‌بر بودن لزوماً به معنای ناکارآمدی اقتصادی نیست، بلکه می‌تواند با درآمد بالا جبران شود. در مقابل، محصولاتی مانند کشمش با کارایی پایین و کل آب مصرفی بالا، ممکن است نیاز به بازنگری در الگوی کشت و صادرات داشته باشند؛ چراکه منابع آبی را به شکلی ناکارآمد مصرف می‌کنند.

موارد ذکر شده، لزوم تفکیک صحیح محصولات به لحاظ مفهوم اقتصادی نیاز آبی و سپس به‌کارگیری سیاست‌های بازاریابی مناسب جهت در نظرگیری الگوی پایدار و مناسب برای صادرات محصولات کشاورزی که صادرات آن‌ها به منزله خروج آب به‌عنوان یک منبع مهم حیاتی از کشور است را فراهم می‌آورد. همچنین، لازم است، پرداختن به الگوی محصولات کم آب‌بر صادراتی با در نظر گرفتن تعادل بین پایداری زیست‌محیطی و رشد اقتصادی، در دستور کار قرار گیرد که این امر مستلزم سیاست‌گذاری مبتنی بر داده و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین کشاورزی است.

لازم به ذکر است، باتوجه به این نکته که ارقام این جدول به لحاظ نوسان موجود در ساختار صادرات محصولات ممکن است در طول زمان تغییر نماید، مطالعه یک ترکیب بهینه از این محصولات که بیش‌ترین ارزآوری و کم‌ترین میزان آب‌بری را داشته باشند، امری ضروری است.

درحقیقت، با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور لازم است، در استفاده پایدار از آب به عنوان منبع طبیعی با ارزش دقت نمود. در شرایطی که کشور با بحران آب رو به رو است، چنانچه اهتمام لازم در راستای انتخاب الگوی صادراتی پایدار برای محصولات عمده کشاورزی صورت نگیرد، صادرات غیر نفتی ایران مستقیما تحت تأثیر پیامدهای تنش خشکی قرار خواهد گرفت.

پایداری منابع طبیعی به‌عنوان رویکردی برای توسعه؛ امکان برآورده شدن نیازهای نسل حاضر بدون به خطر انداختن قابلیت نسل‌های آینده را ممکن می‌سازد. این رویکرد به حفظ منابع طبیعی، تنوع زیستی، کاهش تأثیرات منفی بر محیط زیست، بهبود کیفیت زندگی انسان‌ها و توسعه اقتصاد پایدار کمک می‌کند. به‌طور ساده پایداری محیطزیست به معنای تعادل بین توسعه اقتصادی، پایداری اجتماعی و حفظ محیطزیست است (Javaheri *et al*., 2024).

از طرفی بی‌ثباتی در اقتصاد از جمله ناپایداری سهم ایران در بازارهای هدف اصلی محصولات عمده می‌تواند منجر به هدررفت آب به کار رفته در تولید و صادرات این محصولات شود. سهم ایران از صادرات جهانی برخی از محصولات عمده از جمله (پسته، زعفران، خرما، کشمش، گوجه‌فرنگی و هندوانه) در دهه اخیر نشان می‌دهد که ناپایداری در سهم ایران از بازارهای اصلی صادرات اقلام عمده، کاملا مشهود است و این ناپایداری منجر به بی‌ثباتی و کاهش درآمد صادراتی و نهایتا تضییع آب خواهد شد (ITC, 2025).

جدول ۲- مصرف آب و صادرات نه محصول کشاورزی ایران در ۲۰۲۲

Table 2- Water consumption and export performance of nine major Iranian agricultural products in 2022

نام محصول Product name	متوسط مصرف آب به ازای واحد سطح (m³/ha) Average water consumption per unit area (m³/ha)	کل سطح زیر کشت (ha) Total cultivated area (ha)	کل آب مصرفی بر اساس سطح زیر کشت (m³) Total water consumption based on cultivated area (m³)	متوسط مصرف آب به ازای واحد تولید (m³/ton) Average water consumption per unit of production (m³/tonne)	تولید کل (ton) Total production (ton)	کل آب مصرفی بر اساس تولید کل (m³) Total water consumption based on total production (m³)	ارزش صادرات (هزار دلار) Export value (thousand USD)	مقدار صادرات (ton) Export quantity (ton)	قیمت صادرات (دلار بر کیلوگرم) Export price (USD/kg)	ارزش صادرات به کل آب مصرفی (هزار دلار/متر مکعب) Export value to total water consumption (thousand USD/m³)
پسته Pistachio	4300 (9)	559749 (1)	2406920700 (2)	8377 (2)	287339 (6)	2406920700 (2)	401209 (1)	65866 (6)	6.09 (3)	0.17 (5)
گوجه‌فرنگی Tomato	7221 (3)	103303 (6)	745950963 (5)	148 (9)	5049910 (1)	745950963 (5)	321232 (2)	691919 (3)	0.46 (7)	0.43 (3)
خرما Date	15669 (1)	36676 (9)	574676244 (7)	360 (6)	1596790 (4)	574676244 (7)	289545 (3)	339569 (4)	0.85 (6)	0.50 (1)
زعفران Saffron	4769 (8)	112307 (5)	535592083 (8)	1312726 (1)	408 (9)	535592083 (8)	246605 (4)	217 (9)	1134 (1)	0.46 (2)
هندوانه Watermelon	7180 (4)	84168 (7)	604326240 (6)	213 (8)	2839775 (3)	604326240 (6)	201872 (5)	927962 (1)	0.22 (9)	0.33 (4)
سیب درختی Apple	5902 (6)	236641 (3)	1396655182 (3)	351 (7)	3982157 (2)	1396655182 (3)	199798 (6)	722795 (2)	0.28 (8)	0.14 (7)
کشمش Dried Grapes	10740 (2)	277955 (2)	2985236700 (1)	3280 (4)	910190 (5)	2985236700 (1)	171787 (7)	107878 (5)	1.60 (5)	0.06 (8)
انجیر Fig	5808 (7)	44473 (8)	258299184 (9)	2492 (5)	103642 (8)	258299184 (9)	42009 (8)	14055 (7)	2.99 (4)	0.16 (6)
بادام درختی Almond	5903 (5)	144936 (4)	855557208 (4)	6280 (3)	136239 (7)	855557208 (4)	17218 (9)	1932 (8)	8.91 (2)	0.02 (9)

اعداد داخل پرانتز رتبه محصولات می‌باشد. رتبه‌ها از ۱ (بالاترین مقدار یا مثبت‌ترین در اختلاف) تا ۹ (پایین‌ترین مقدار یا منفی‌ترین در اختلاف) در هر ستون محاسبه شده‌اند.

The numbers in parentheses are the product rankings. The rankings range from 1 (highest value or most positive difference) to 9 (lowest value or most negative difference) in each column.

ارزش و مقدار صادرات پسته: مجموع ارقام کدهای تعرفه ۰۸۰۲۵۱ و ۰۸۰۲۵۲، قیمت صادرات پسته: میانگین ارقام کدهای تعرفه ۰۸۰۲۵۱ و ۰۸۰۲۵۲

Value and quantity of pistachio exports: Total figures of tariff codes 080251 and 080252, pistachio export price: Average figures of tariff codes 080251 and 080252

ضریب ۴ برای کشمش در قسمت تولید اعمال شد؛ زیرا به طور متوسط از هر ۴ کیلو انگور یک کیلو کشمش حاصل می‌شود.

A factor of 4 was applied to raisins in the production section because, on average, one kilo of raisins is produced from every 4 kilos of grapes.

کل آب مصرفی بر اساس سطح زیر کشت: حاصل‌ضرب متوسط مصرف آب به ازای واحد سطح در کل سطح زیر کشت.

Total water consumption based on cultivated area: The product of average water consumption per unit area by the total cultivated area.

کل آب مصرفی بر اساس تولید کل: حاصل‌ضرب متوسط مصرف آب به ازای واحد تولید در تولید کل.

Total water consumption based on total production: The product of average water consumption per unit of production by total production.

قیمت صادرات: حاصل تقسیم ارزش صادرات (هزار دلار) بر مقدار صادرات (تن).

Export price: The result of dividing the export value (thousand dollars) by the export quantity (tons).

ارزش صادرات به کل آب مصرفی: حاصل تقسیم ارزش صادرات (دلار) بر کل آب مصرفی (m^3) برای هر روش (سطح زیر کشت یا تولید کل).

Export value to total water consumption: The result of dividing export value (dollars) by total water consumption (m^3) for each method (area under cultivation or total production).

Area under cultivation (column 3): Approximate values for dates, saffron, apple, grapes, and almond (may differ from local realities). سطح زیر کشت (ستون ۳): مقادیر تقریبی برای خرما، زعفران، سیب درختی، انگور، و بادام درختی. مقادیر تقریبی ممکن است با واقعیت‌های محلی متفاوت باشند.

بنابراین، با توجه به بحران منابع آب در ایران و ضرورت تمرکز بر محصولات کشاورزی کم‌آب‌بر، مطالعه دقیق ساختار صادراتی محصولات، شناسایی بازارهای پایدار (کم‌ترین نوسان واردات از ایران) صادراتی و جهت‌گیری مناسب در تجارت این محصولات که به نوعی تجارت آب بوده، از اهمیت بسزایی برخوردار است. پژوهش حاضر با استفاده از تحلیل زنجیره مارکوف، برای نخستین‌بار در ایران، سهم بازار و مقدار صادرات نه محصول عمده صادراتی را به تفکیک مقصدهای صادراتی، طی دو سال متوالی (۲۰۲۳ و ۲۰۲۴) پیش‌بینی

می‌نماید. این مطالعه، ابزاری کارآمد برای شناسایی مقاصد پایدار و تعیین جهت‌گیری آینده صادرات این محصولات ارائه می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند در بهینه‌سازی ترکیب محصولات صادراتی، افزایش تاب‌آوری تجارت کشاورزی و ارتقای سیاست‌گذاری‌های صادراتی با توجه به بحران آب در کشور مورد استفاده قرار گیرد.

پیشینه پژوهش

مطالعات مرتبط با پیش‌بینی صادرات

الگوی زنجیره مارکوف نخستین بار توسط آندری مارکوف (Andrey Markov, 1906) برای الگوسازی احتمالاتی معرفی شد و به تدریج در حوزه‌های اقتصادی از جمله توزیع دستمزد (Solow, 1951)، تحرک اجتماعی (Prais, 1955) و توزیع اندازه بنگاه‌ها (Adelman, 1958) به‌کار رفت. از دهه ۱۹۶۰، این روش در تجارت بین‌الملل نیز کاربرد یافت؛ به‌طوری‌که تیل (Theil, 1961) در تحلیل سهم بازار و تلسر (Telser, 1962) در بررسی وفاداری برند از آن استفاده کردند. در ادامه، جرت و دنت (Jarrett, 1966) در صنعت نساجی و دنت (Dent, 1967) در صادرات پشم استرالیا این الگو را به کار گرفتند. نخستین استفاده صریح از آن در کشاورزی به مطالعه فالوشی (Falusi, 1976) برای پیش‌بینی تقاضای نهاده‌های کشاورزی بازمی‌گردد و از دهه ۱۹۷۰ این روش در تحلیل تغییر کاربری اراضی، انتخاب محصول و شبیه‌سازی بازارهای کشاورزی گسترش یافت. مطالعات بعدی شامل وینا و همکاران (Veena, 1944) درباره پویایی صادرات قهوه هند (۱۹۹۰-۱۹۵۰) بود که رشد چشمگیر تولید و تغییر مقصدهای صادراتی را نشان داد. مورتی و سوبراهمانیام (Murthy & Subrahmanyam, 1999) نیز با تحلیل صادرات پیاز هند در دهه ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵ بازارهای باثباتی چون مالزی، امارات و سنگاپور را شناسایی کردند. نتایج این پژوهش‌ها بر اهمیت شناسایی بازارهای پایدار، انطباق با تغییرات تقاضا و بهبود کیفیت و بهره‌وری برای تقویت صادرات محصولات کشاورزی تأکید دارند.

در دهه‌های اخیر نیز پژوهش‌های متعددی به‌کارگیری زنجیره مارکوف در تحلیل صادرات پایدار و تولید محصولات کشاورزی را بررسی کرده‌اند. در بعد بین‌المللی، گانش‌کومار و همکاران (Ganeshkumar *et al.*, 2016)، در تحلیل صادرات انار هند طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ بیان نمودند که امارات، بنگلادش و نپال بازارهای باثباتی هستند که از ظرفیت تقویت روابط تجاری برخوردارند. سونیل و همکاران (Sunil & Singh, 2021) با بررسی صادرات بادام‌زمینی هند نشان دادند که مالزی و روسیه پایدارترین بازارها و اندونزی و تایلند ناپایدارترین مقصدها هستند. در چین، ژو و همکاران (Xu *et al.*, 2023) با ترکیب الگوریتم‌های یادگیری ماشین (SVM[1]) و ARIMA[2] نشان دادند که دقت پیش‌بینی صادرات با ادغام روش‌های آماری و داده‌کاوی به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. شاهو و همکاران (Sahu *et al.*, 2024) با ترکیب الگوهای ARIMA و زنجیره مارکوف برای تحلیل تولید و صادرات سیب‌زمینی نتیجه گرفتند که اگرچه تولید رشد داشته؛ اما بهره‌وری پایین بوده و پیش‌بینی می‌شود واردات کشورهای عمده به‌جز عربستان و عمان کاهش یابد. در مطالعات داخلی، امیری و بیگلری (Amiri & Biglari, 2014) کارایی الگوی مارکوف را در پیش‌بینی شاخص صنایع داوجونز[3] نشان داده و کاربرد آن را در تحلیل روندهای تصادفی کشاورزی نیز قابل تعمیم دانستند. پیش‌بهار و همکاران (Pishbahar *et al.*, 2021) با استفاده از اقتصادسنجی و پویایی سیستم برای بخش کشاورزی ایران (۱۳۹۶-۱۳۵۷) پیش‌بینی کردند که در افق ۲۰ ساله، ارزش صادرات، واردات و عرضه کل افزایش می‌یابد و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های کارآمد ضروری است.

مطالعات مرتبط با ردپای آب[4]

در راستای تبیین اهمیت منابع آب در برنامه‌ریزی اقتصادی و تجاری، آلن (Allan, 1997) برای اولین بار در مقاله خود با معرفی مفهوم «آب مجازی[5]» بر چالش‌های فزاینده کم‌آبی تأکید نمود. این مطالعه، با تاکید بر نقش آب به‌عنوان یک منبع استراتژیک، زمینه‌ساز توسعه نظریه‌هایی چون تجارت آب مجازی و مدیریت پایدار منابع شده است. اولین مطالعه‌ای که به‌طور رسمی مفهوم رد پای آب را در تجارت معرفی و تبیین کرد، توسط هوکسترا (Hoekstra, 2003) ارائه شد. در این گزارش، هوکسترا برای نخستین‌بار مفهوم «آب مجازی» و «رد پای آب» را در چارچوبی علمی تعریف کرد. در زمینه تجارت آب مجازی، مطالعات بین‌المللی از جمله پژوهش کنار و همکاران (Konar *et al.*, 2011) با به‌کارگیری الگوی شبکه‌های پیچیده نشان داد که تجارت جهانی آب مجازی ماهیتی سلسله‌مراتبی دارد و کشورهایی با حجم بالای تجارت بیشتر با یکدیگر در ارتباط هستند. تامه و همکاران (Tamea *et al.*, 2014) با الگوی جاذبه[6] نشان دادند که جمعیت، تولید ناخالص داخلی و فاصله جغرافیایی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تجارت آب مجازی‌اند. مکانن و هوکسترا (Mekonnen & Hoekstra, 2020) نتیجه‌گیری نمودند که ۵۷ درصد از ردپای آب آبی جهانی ناپایدار است و بیش‌تر به تولید گندم، برنج، پنبه، نیشکر و علوفه مربوط می‌شود. همچنین، کشورهای خاورمیانه بیش‌ترین

1- Support Vector Machine
2- Autoregressive Integrated Moving Average
3- Dow Jones Industrial Average
4- Water Footprint
5- Virtual Water
6- Gravity Model

ناپایداری سهم را دارند. موهی و همکاران (Mohy *et al*., 2023) نیز در مصر نشان دادند که تمرکز بر صادرات محصولات پربازده می‌تواند به پایداری منابع آب کمک کند.

در مطالعات داخلی، امیری و همکاران (Amiri *et al*., 2014) نشان دادند که مزیت صادراتی پسته و زعفران با بهره‌وری آب هم‌راستا نیست، در حالی‌که کیوی و سیب کاراترند؛ نتیجه‌ای که بر لزوم بازنگری در الگوی صادرات آب مجازی کشور تأکید دارد. علیقلی‌نیا و همکاران (Aligholinia *et al*., 2020) پیش‌بینی کردند که تغییرات اقلیمی موجب افزایش ردپای آب آبی و کاهش ردپای آب سبز در ایران می‌شود. همچنین، رفیعی و همکاران (Rafiee *et al*., 2021) ضایعات آب مجازی در توزیع محصولات تره‌بار تهران را ۲۹۶،۲۷۰ متر مکعب (۱۶ درصد صادرات) برآورد کردند. همچنین، (Amini *et al*., 2025) در مطالعه خود بر اهمیت استفاده از شاخص‌های اقتصادی آب به‌جای تمرکز صرف بر مصرف آب، در مدیریت منابع آب کشاورزی تأکید نمودند.

مرور ادبیات نشان می‌دهد که الگوی زنجیره مارکوف به‌طور گسترده در تحلیل پویایی صادرات محصولات کشاورزی در کشورهایی همچون هند و نیجریه به‌کار گرفته شده است. با این حال، بیش‌تر این مطالعات محدود به پیش‌بینی صادرات تک‌محصول یا تحلیل‌های تجمیعی با استفاده از روش‌های آماری و اقتصادسنجی سری‌های زمانی بوده و در داخل نیز تاکنون پژوهشی نظام‌مند و مبتنی بر زنجیره مارکوف در حوزه تجارت محصولات کشاورزی یافت نشد. از سوی دیگر، ادبیات مرتبط با ردپای آب و آب مجازی بیانگر افزایش توجه به این مفاهیم در مدیریت منابع و سیاست‌گذاری تجاری است؛ اما هنوز چارچوبی یکپارچه برای بهینه‌سازی سبد صادراتی بر اساس بهره‌وری آب ارائه نشده است. به‌ویژه، خلأ مطالعاتی در تلفیق تحلیل پویایی بازارهای صادراتی با رویکرد ردپای آب برای طراحی الگوی بهینه صادراتی کاملاً مشهود است. نوآوری پژوهش، در ارائه چارچوبی تلفیقی برای شناسایی بازارهای پایدار، کاهش ریسک ناپایداری تجاری و ارتقای بهره‌وری اقتصادی مصرف آب در تجارت محصولات کشاورزی ایران است که می‌تواند مبنای ارزشمندی برای تدوین سیاست‌های توسعه صادرات پایدار فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

الگوی تحلیل زنجیره مارکوف (MCAM[1])

در این پژوهش، با هدف تحلیل پویایی وضعیت صادرات محصولات کشاورزی کم‌آب‌بر ایران، از الگوی زنجیره مارکوف مرتبه اول استفاده شده است. در این چارچوب، هر محصول صادراتی در هر بازه زمانی در یکی از چند وضعیت صادراتی (صادرات به هر مقصد) قرار دارد. تخمین این الگو، نیازمند محاسبه ماتریس احتمال انتقال بین وضعیت‌های صادراتی در طول زمان است که تنها بر پایه داده‌های خود صادرات در طول دوره مورد بررسی انجام می‌شود (Ganeshkumar *et al*., 2016).

الگوی تحلیل زنجیره مارکوف، با فرض ساده‌سازی‌شده‌ای از حافظه کوتاه‌مدت در سیستم، در تحلیل ساختار بازار و پویایی آن کاربرد دارد. با این حال، یکی از محدودیت‌های این روش، عدم در نظر گرفتن عوامل ساختاری، سیاستی و اقتصادی خارج از سیستم صادرات است که می‌تواند بر رفتار بازار اثرگذار باشد (Ganeshkumar *et al*., 2016).

مبانی نظری الگوی تحلیل زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف، یک فرآیند تصادفی گسسته در زمان است که در آن، سیستم می‌تواند در هر زمان معین در یکی از چندین حالت ممکن باشد و احتمال انتقال از حالتی به حالت دیگر به وسیله یک ماتریس احتمال انتقال[2] تعیین می‌شود. در تکنیک زنجیره مرتبه اول مارکوف، فرض بر آن است که احتمال حضور در یک حالت خاص در زمان t تنها به حالت سیستم در زمان $t-1$ وابسته بوده و این رابطه برای تمام زمان‌ها ثابت است (Ganeshkumar *et* Lee *et al*., 1970 ; *al*., 2016). فرض اصلی تکنیک زنجیره اول مارکوف این است که میانگین صادرات در یک دوره (Ex_{jt}) فقط به صادرات دوره قبلی وابسته است و این رابطه در طول دوره‌ها ثابت باقی می‌ماند (Mahadevaiah *et al*., 2005).

در این روش، مقادیر احتمالات انتقال P_{ij} به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که تابع هدف خاصی (اغلب بر اساس حداقل‌سازی مجموع مربعات خطا) را تحت قید مشخصی، از جمله غیرمنفی بودن مقادیر و جمع واحد سطرها، به حداقل برساند. در الگوی رگرسیونی نشان داده شده در رابطه (۱) که بیانگر الگوی مارکوف از نوع گسسته است، جز خطا V_{jt} تصادفی بوده و دارای ویژگی امید ریاضی صفر است (رابطه (۳)). همچنین طبق رابطه (۴) از دیگر خصوصیات V_{jt}، می‌توان به عدم ارتباط این متغیر با متغیرهای مستقل الگو (Ex_{it-1}) اشاره نمود.

$$Ex_{jt} = \sum_{i=1}^{r} P_{ij}.Ex_{it-1} + V_{jt} \quad , \quad (j = 1, \dots, r) \tag{۱}$$

$$\sum_{i=1}^{r} P_{ij} = 1 \quad \forall i \quad , \quad (0 \le P_{ij} \le 1) \tag{۲}$$

$$E(V_{jt}) = 0 \quad \forall t, j \tag{۳}$$

$$E(V_{jt}\, Ex_{it-1}) = 0 \quad \forall t, j \tag{۴}$$

1- Markov Chain Analysis Model

2- Transition Probability Matrix

تدوین ماتریس احتمالات انتقال

در این مطالعه، ماتریس احتمالات انتقال P (با عناصر P_{ij})، به منظور تحلیل تغییرات در سهم بازارهای صادراتی تدوین می‌شود که نشان‌دهنده احتمال جابجایی مقصد صادراتی از کشور i به کشور j است (Dent, 1967). در این پژوهش، از ماتریس احتمال انتقال برای بررسی جابه‌جایی سهم کشور صادرکننده (مبدا) از بازار مقصد، در میان کلیه کشورهای واردکننده محصول صادراتی کشور مبدا استفاده شده است. P_{ii}، عناصر قطری این ماتریس بوده و چنانچه (i=j) باشد، بیانگر احتمال حفظ سهم بازار توسط کشور واردکننده و در واقع بیانگر وفاداری آن کشور به واردات از یک کشور صادرکننده خاص (Sunil & Singh, 2021) هستند، در حالی‌که عناصر غیرقطری نشان‌دهنده احتمال انتقال سهم بازار از یک کشور به دیگر کشورهای هدف می‌باشند.

ماتریس انتقال برای یک الگوی ساده با دو وضعیت (کشور)، به شرح رابطه (۵) است:

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} Pr(S_t = j|S_{t-1} = i) & Pr(S_t = j|S_{t-1} = i) \\ Pr(S_t = j|S_{t-1} = i) & Pr(S_t = j|S_{t-1} = i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Pr(S_t = 1|S_{t-1} = 1) & Pr(S_t = 2|S_{t-1} = 1) \\ Pr(S_t = 1|S_{t-1} = 2) & Pr(S_t = 2|S_{t-1} = 2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} \quad (۵)$$

که در آن P_{ij} بیانگر انتقال از وضعیت $(S_{t-1} = i)$ به وضعیت $(S_t = j)$ است.

ماتریس انتقال[1] به‌صورت یک ماتریس با ابعاد (r×c) نمایش داده می‌شود که ویژگی‌های زیر را دارد (Lee *et al.*, 1970 ; Ganeshkumar *et al.*, 2016; Jhade & Singh, 2020) (رابطه (۶) و (۷)):

$$0 \le P_{ij} \le 1 \quad (۶)$$

$$\sum_{i=1}^{n} P_{ij} = 1 \,, \forall\, i \quad (۷)$$

r، بیانگر تعداد کشورهای «انتقال دهنده» سهم (بازنده‌ها) و c، تعداد کشورهای به‌دست آورنده سهم (برنده‌ها) در بازار صادراتی یک محصول است (Lee *et al.*, 1970). رابطه (۷) در واقع قیدی است که به‌منظور نرمال‌سازی به الگو اعمال خواهد شد. چراکه در این مطالعه، کشورهای عمده به لحاظ واردات محصولات مورد بررسی از ایران به‌عنوان واردکنندگان اصلی این محصولات شناسایی شدند و سایر کشورهای واردکننده در گروه «سایر» دسته‌بندی شدند. بنابراین، مجموع مقادیر واردات کشورهای اصلی و «سایر مقصدها»، کل میزان صادرات از یک محصول از ایران را نشان می‌دهد که چنانچه سهم هر یک از این مقصدها از میزان کل صادرات کشور محاسبه گردد، مجموع این سهم‌ها معادل با عدد یک خواهد بود.

بنابراین زنجیره مرتبه اول مارکوف در مطالعه حاضر به‌صورت رابطه (۸) بیان می‌شود:

$$Ex_{jt} = \sum_{i=1}^{r} P_{ij}.Ex_{it-1} + V_{jt} \quad , \quad (j = 1, \dots, r) \quad (۸)$$

که در آن Ex_{jt} صادرات ایران به کشور j در سال t، Ex_{it-1} صادرات ایران به کشور i در سال قبل $(t-1)$ که $(i = j)$، P_{ij} احتمال انتقال سهم از بازار واردات محصولات ایران، از کشور i به کشور j، V_{jt} جمله خطا و r تعداد کشورهای واردکننده است.

چنانچه اطلاعات دقیق از تعداد انتقال از حالت i به حالت j در دسترس باشد از تخمین‌زن درست‌نمایی بیشینه (ML) جهت تخمین احتمال‌های انتقال بر اساس رابطه (۹) استفاده می‌شود (Lee *et al.*, 1965) که اولین بار توسط اندرسون و گودمن[1] (۱۹۵۷) معرفی شد.

$$\widehat{P_{ij}} = \frac{n_{ij}}{\sum_j n_{ij}} \quad (۹)$$

که در آن n_{ij} تعداد انتقال سهم از کشور i به کشور j است. در واقع در این رابطه، n_{ij} نشان می‌دهد که چند بار در طول دوره مورد بررسی، سهم مقصد i به مقصد j، انتقال یافته که در کل بیانگر افزایش در سهم کشور دوم و کاهش در سهم کشور اول است. در بیش‌تر مواقع، تعداد انتقال‌ها قابل محاسبه نبوده که در این حالت، پیشنهاد می‌شود از روش حداقل مربعات[2] برای تخمین ماتریس انتقال استفاده شود. این پیشنهاد اولین بار توسط میلر (Miller, 1952) مطرح و سپس توسط گودمن (Goodman, 1953)، کائو (Kao, 1953)، مادانسکی (Madansky, 1959) توسعه یافت.

پیش‌بینی میزان صادرات

حال، با استفاده از ماتریس در ماتریس انتقال احتمال برآورد شده، می‌توان میزان و سهم صادرات محصولات در آینده را پیش‌بینی نمود. رابطه (۱۰) برای پیش‌بینی سهم صادرات در دوره‌های آتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Jhade & Singh, 2020).

$$Ex_{jt} = \sum_{i=1}^{r} P_{ij}.Ex_{jt-1} \quad (۱۰)$$

که در آن Ex_{jt-1} بردار مقادیر (صادرات) به کشور j در سال $t-1$، P_{ij} احتمال پایدار هر وضعیت (مقصد) (قطر اصلی در ماتریس) و Ex_{jt} مقادیر (صادرات یا سهم بازاری) پیش‌بینی شده کشور j برای سال t است.

1- Anderson & Goodman

2- Least Squares

تخمین قطر بهینه ماتریس احتمال انتقال

در طول چند دهه گذشته، پژوهشگران متعددی به توسعه روش‌هایی برای برآورد آماره‌های احتمالی در ماتریس‌های گذار (احتمال انتقال) زنجیره مارکوف پرداخته‌اند. در نتیجه، استفاده از روش‌های محاسباتی ساده‌تر از جمله روش انحراف مطلق معمولی[1] که بر پایه MAD تحت قیود مشخص است، مورد توجه قرار گرفته است. این روش به‌ویژه در شرایطی که محدودیت‌هایی بر پارامترهای الگو (احتمالات) اعمال شده باشد، مفید واقع می‌شود (Lee *et al.*, 1970; Ashar & Wallace, 1963; Fisher, 1961; Wagner, 1959). هدف در این روش، یافتن بردار P شامل احتمالات انتقال بین وضعیت‌ها است، به‌طوری‌که مجموع قدر مطلق انحرافات باقی‌مانده[2] بین داده‌های مشاهده‌شده و الگوی تخمینی کمینه گردد (Lee *et al.*, 1970). فرمول‌بندی مسئله برنامه‌ریزی خطی حل زنجیره اول مارکوف با روش LAD به صورت روابط (۱۱) تا (۱۳) است (Lee *et al.*, 1970):

$$Min\ |y - Xp|'E \quad (۱۱)$$

$$S.t:$$

$$Xp + u = Y$$

$$Rp = 1 \quad (۱۲)$$

$$p \geq 0 \quad (۱۳)$$

که در آن p بردار احتمالات انتقال (P_{ij}) در هر سطر، E بردار خطاهای مطلق، Y بردار مقادیر در سال t، X ماتریس مقادیر در سال قبل، u بردار خطاها و R ماتریس ضرایب (احتمالات انتقال) است.

جهت برآورد این الگو و بهینه‌یابی ضرایب (احتمال‌های پایداری بهینه) از معادله لاگرانژ استفاده می‌شود (Lee *et al.*, 1970).

همچنین، فرمول‌بندی مسئله برنامه‌ریزی خطی حل زنجیره اول مارکوف با روش LAD، باتوجه به موضوع مورد بررسی در رساله، به شرح روابط (۱۴) تا (۱۶) است (Ganeshkumar *et al.*, 2016; Jhade & Singh, 2020):

$$Min \quad OP^* + Ie \quad (۱۴)$$

$$S.t:$$

$$XP^* + V = Y$$

$$GP^* = 1 \quad (۱۵)$$

$$P^* \geq 0 \quad (۱۶)$$

که در آن P^* بردار احتمالات انتقال سهم بازاری P_{ij} در هر سطر، O بردار صفرها، I بردار واحد مناسب با بعد مسأله، e بردار خطاهای مطلق، Y بردار صادرات به هر کشور در هر سال، X ماتریس مقادیر صادرات در سال قبل، V بردار خطاها و G ماتریس جمع سطری عناصر هر ردیف از ماتریس احتمال انتقال است. پس از برآورد زنجیره مرتبه اول مارکوف به روش MAD و برنامه‌ریزی خطی، احتمال‌های پایدار بهینه که همان قطر اصلی ماتریس احتمال انتقال است، به‌دست می‌آیند.

آب مجازی صادراتی

باتوجه به این‌که، بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین جهان (۷۰ درصد) شناخته می‌شود (UNEP, 2007)، بنابراین تولیدات کشاورزی اغلب از ردپای آب قابل توجهی برخوردار هستند (Hoekstra, 2003). در این مطالعه نیاز خالص آبیاری محصولات منتخب در هر یک از دشت‌های استان‌های قطب (به لحاظ تولید و سطح زیرکشت) کشور از طریق نرم افزار NETWAT استخراج می‌شود. میانگین اعداد دشت‌های هر استان پس از تقسیم بر میزان میانگین راندمان آب آبیاری در ایران (۳۶ درصد) با هدف حذف تمایز روش آبیاری، به‌عنوان نیاز ناخالص آبیاری محصول مورد نظر در آن استان در نظر گرفته می‌شود. بنابراین به‌منظور محاسبه نیاز خالص آبیاری برای هر کیلوگرم محصول، طبق رابطه (۱۷)، نیاز خالص آبیاری (متر مکعب در هکتار) بر عملکرد محصولات در هکتار تقسیم می‌شود (Rafiee *et al.*, 2021Hoekstra, 2003;):

$$NWC_{ij} = \frac{NW_{ij}}{yield_{ij}} \quad (۱۷)$$

در این رابطه، NW_{ij} نیاز خالص آبیاری محصول (i) در استان (j) در هر هکتار (متر مکعب در هر هکتار) و $yield$ نیز عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) در منطقه مورد نظر است. رابطه (۱۷) در واقع بیانگر مفهوم عکس بهره‌وری آب است که در نهایت میزان آب مورد نیاز برای تولید هر کیلوگرم محصول را نشان می‌دهد. همچنین، نیاز ناخالص آبیاری برای هر کیلوگرم محصول از تقسیم نیاز خالص آبیاری بر راندمان آبیاری در کشور و عملکرد محصول در منطقه مورد نظر، مطابق با رابطه (۱۸) حاصل می‌شود (Hoekstra, 2003; Rafiee *et al.*, 2021):

$$GWC_{ij} = \frac{NW_{ij}}{e \times yield_{ij}} \quad (۱۸)$$

در این رابطه، GWC_{ij} نیاز ناخالص آبیاری هر کیلوگرم محصول (i) در استان (j) و e راندمان کل آبیاری در ایران است.

باتوجه به این‌که، نیاز آبیاری (آب آبی) بیش‌ترین سهم (در حدود ۸۰ درصد) از ردپای آب یک محصول را در بر می‌گیرد (Balovi *et al.*, 2022) و همچنین باتوجه به این‌که محصولات منتخب در پژوهش حاضر به‌صورت خام‌فروشی مطرح بوده و عملیات بازاریابی عمیقی در خصوص محصولات انجام نشده، بنابراین، در این مطالعه صرفا از روش مستقیم و از آب آبی برای محاسبه ردپای آب محصولات استفاده شده است. با توجه به مفهوم رد پای آب، می‌توان محصولات منتخب در پژوهش حاضر را به لحاظ میزان مصرف آب به‌طور فیزیکی مقایسه و از این مقادیر به‌عنوان ضرایب در تابع هدف

1- Least Absolute Deviation (LAD)
2- Residuals

حداقل‌سازی میزان آب مجازی صادراتی این محصولات و نیز محدودیت آب در تابع حداکثرسازی درآمد حاصل از صادرات محصولات مذکور که در بخش بهینه‌سازی ترکیب صادراتی به آن پرداخته خواهد شد، استفاده نمود. همچنین، از حاصلضرب نیاز ناخالص آبیاری در میزان صادرات پیش‌بینی شده توسط زنجیره مرتبه اول مارکوف، می‌توان آب مجازی صادرات شده طی صادرات هر محصول را محاسبه نمود.

برنامه‌ریزی خطی

با توجه به اهداف مطالعه مورد نظر با تأکید بر پایداری صادرات و لزوم حفظ منابع آب، جهت تعیین ترکیب بهینه شامل محصولات مورد نظر، دو نوع الگوی بهینه‌سازی مقادیر پیش‌بینی شده صادرات در بستر برنامه‌ریزی خطی[1] و با استفاده از بسته نرم افزاری Lingo 18، برآورد خواهد شد. در الگوی اول، تابع هدف، حداکثرسازی درآمد حاصل از صادرات این محصولات و در الگوی دوم، حداقل‌سازی میزان صادرات آب مجازی است. هریک از این دو الگو در سه سناریو که در آن‌ها بازه‌های ۱۰، ۲۰ درصد و تغییر در بازه حداقل و حداکثر صادرات در دوره مورد بررسی، به‌عنوان بازه مجاز برای تغییر مقادیر پیش‌بینی شده بهینه در سال ۲۰۲۳ در نظر گرفته می‌شود، برآورد خواهند شد. هدف از بهینه‌سازی در این بخش، پاسخ به این سوال است که «آیا می‌توان در ترکیب صادراتی محصولات کشاورزی منتخب به حالتی نزدیکتر به وضعیت بهینه یا بهتر نسبت به وضع موجود، ارتقا یافت؟». به عبارت بهتر، «آیا حالت دیگری وجود دارد که درآمد حاصل از صادرات با همان میزان مصرف آب (آب مجازی صادراتی) بیشینه و یا میزان آب مجازی صادراتی با همان میزان ارزآوری حاصل از محصولات منتخب، کمینه شود؟». ساختار مسئله به نحوی طراحی شده که امکان تحلیل راه‌حل‌های بهینه در سناریوهای مختلف و تحت شرایط واقعی بازار فراهم باشد. در نتیجه، پیوند نظریه و عمل در این پژوهش از طریق تلفیق ساختار کلاسیک برنامه‌ریزی خطی و کاربرد آن در طراحی سیاست‌های صادراتی پایدار برای محصولات کشاورزی کم‌آب‌بر ایران، به‌خوبی نمایان است.

از آن‌جاکه الگوهای با محدودیت نابرابری در اغلب موارد فاقد فرم تحلیلی بسته هستند، استفاده از الگوریتم‌های حل عددی نظیر سیمپلکس[2]، امکان دستیابی به پاسخ‌های قابل اعتماد و کاربردی را فراهم می‌سازند که در این پژوهش از آن بهره گرفته شده است.

الگوی بهینه‌سازی ترکیب صادراتی در سال ۲۰۲۳ با هدف حداقل‌سازی آب مجازی صادراتی و محدودیت‌های مرتبط با مقادیر صادرات بر پایه فرمول‌بندی نخستین[3] (Norton & Hazell, 1986)، به شرح رابطه (۱۹) تا (۲۳) است:

$$Min \sum_{i=1}^{9} GWC_i\, X_i \qquad (۱۹)$$

$$s.t$$

$$\sum_{i=1}^{9} P_i\, X_i \geq TR \qquad (۲۰)$$

$$(X_i - 10\%) \leq X_i \leq (X_i + 10\%), \quad \forall (i = 1, \dots, 10) \qquad (۲۱)$$

$$(X_i - 20\%) \leq X_i \leq (X_i + 20\%), \quad \forall (i = 1, \dots, 10) \qquad (۲۲)$$

$$(Min_{2013\dots2022}) \leq X_i \leq (Max_{2013\dots2022}) \qquad (۲۳)$$

که در آن X_i متغیر تصمیم (میزان صادرات بهینه محصولات منتخب)، GWC_i نیاز آبی محصول i در تولید، P_i قیمت پیش‌بینی شده صادراتی محصول i از طریق نرخ رشد مرکب سالانه[4]، TR درآمد حاصل از صادرات محصولات منتخب در سال ۲۰۲۳ که از طریق مقادیر پیش‌بینی شده مارکوف برای محصولات در این سال به‌دست آمده و $\sum_{i=1}^{9} P_i\, X_i \geq TR$ محدودیت درآمد پیش‌بینی شده حاصل از صادرات محصولات منتخب است. همانگونه که در این الگو نشان داده شد، حد مجاز تغییر میزان صادرات محصولات، تحت سه سناریو به شرح روابط (۱۹) تا (۲۳) است. همانگونه که مشاهده می‌شود، در محدودیت مربوط به درآمد حاصل از صادرات، قیمت صادرات محصول در سال ۲۰۲۳ با استفاده از معادله نرخ رشد مرکب سالانه (برای دوره مورد بررسی) که به شرح رابطه (۲۴) است، پیش‌بینی می‌شود:

$$CAGR = \left(\frac{V_f}{V_b}\right)^{1/t} - 1, \quad \forall (t = 2013, \dots, 2022) \qquad (۲۴)$$

که در آن V_f مقدار نهایی[5]، V_b مقدار اولیه[6] و t تعداد سال‌های دوره مورد بررسی است.

در واقع ابتدا با استفاده از رابطه (۲۴)، قیمت پیش‌بینی شده محصولات در سال ۲۰۲۳ (باتوجه به نرخ رشد به دست‌آمده) محاسبه خواهد شد. در مرحله بعد، ارزش حاصل از صادرات هر محصول از ضرب قیمت پیش‌بینی شده و مقدار صادرات پیش‌بینی شده با بهره‌گیری از زنجیره اول مارکوف با بهره‌گیری از رابطه (۲۵) برآورد خواهد شد:

$$\sum_{i=1}^{9} P_i\, X_i = TR \qquad (۲۵)$$

1- Linear Programming
2- Simplex
3- Primal
4 Compound Annual Growth Rate (CAGR)
5- Final
6- Beginning

همچنین، الگوی بهینه‌سازی ترکیب صادراتی در سال ۲۰۲۳ با هدف حداکثرسازی درآمد صادراتی و محدودیت‌های مرتبط با مقادیر صادرات، به شرح رابطه (۲۶) تا (۳۰) است:

$$Max \sum_{i=1}^{9} P_i X_i \quad (۲۶)$$

$$s.t$$

$$(TW - 0.1\%) \leq \sum_{i=1}^{9} GWC_i X_i \leq (TW + 0.1\%) \quad (۲۷)$$

$$(X_i - 10\%) \leq X_i \leq (X_i + 10\%), \quad \forall (i = 1, \dots, 10) \quad (۲۸)$$

$$(X_i - 20\%) \leq X_i \leq (X_i + 20\%), \quad \forall (i = 1, \dots, 10) \quad (۲۹)$$

$$(Min_{2013\dots2022}) \leq X_i \leq (Max_{2013\dots2022}) \quad (۳۰)$$

که در آن X_i متغیرهای تصمیم، GWC_i نیاز آبی محصول i، P_i قیمت پیش‌بینی شده صادراتی محصول i از طریق نرخ رشد مرکب سالانه[1]، TW کل آب مجازی صادراتی محصولات منتخب در سال ۲۰۲۳، $TW - 0.1\% \leq \sum_{i=1}^{9} GWC_i X_i \leq TW + 0.1\%$ محدودیت آب مجازی صادراتی از صادرات محصولات منتخب بوده (که از طریق مقادیر پیش‌بینی شده مارکوف برای محصولات در این سال به‌دست آمده) که به میزان کم‌تر از ۰/۱ درصد جهت انعطاف الگو آزادسازی شده است. همانگونه که مشاهده شد، محدودیت درآمد در تابع هدف (۱۹)، خود به تابع هدف در الگوی حداکثرسازی (رابطه (۲۶)) تبدیل شده است. لازم به ذکر است که در الگوهای بهینه‌سازی مذکور، نیاز آبی محصولات منتخب در استان قطب به‌عنوان نماینده نیاز آبی در تمامی استان‌های تحت کشت محصولات در نظر گرفته شد. همچنین، ۹ محصول کلی و ۱۰ کد تعرفه فرعی (با احتساب پسته با پوست و بی‌پوست) درنظر گرفته شد.

داده

آمار و اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل و بررسی در این پژوهش، به‌طور کلی داده‌های مربوط به صادرات نه قلم عمده از محصولات کشاورزی ایران بوده (پسته (هر دو کد تعرفه)، زعفران، خرما، سیب درختی، کشمش، گوجه‌فرنگی، هندوانه، انجیر و بادام درختی) که از وبسایت ITC[2] استخراج شده است. همچنین، ماخذ دریافت آمار تولید، سطح زیرکشت و نیازآبی این محصولات نیز آمارنامه ۱۴۰۲ وزارت جهاد کشاورزی است.

نتایج و بحث

محاسبه پایداری مقاصد صادراتی

بر اساس

جدول ۳

جدول ۳ جدول ۳، احتمال پایداری بهینه صادرات اقلام عمده کشاورزی ایران با استفاده از الگوی زنجیره مارکوف (MCAM) و میانگین سهم بازاری کشورها در دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد میزان پایداری و تمرکز بازار در میان محصولات و مقاصد تجاری تفاوت قابل‌توجهی دارد. برای پسته با پوست (۰۸۰۲۵۱)، بیش‌ترین احتمال پایداری به چین و سایر مقاصد (هر دو ۲۷ درصد) و کم‌ترین به آلمان (۱۱ درصد) تعلق دارد؛ در حالی‌که «سایر مقاصد» بیش‌ترین میانگین سهم بازار (۶۷ درصد) و آلمان و عراق کم‌ترین (۶ درصد) را دارند. این الگو حاکی از آن است که تمرکز صادراتی ایران بر بازارهای متنوع اما کم‌ثبات بوده و چین، با سهم متوسط، از پایداری بیشتری برخوردار است. در مورد پسته بدون پوست (۰۸۰۲۵۲)، بیش‌ترین پایداری مربوط به آلمان (۳۵ درصد) و کم‌ترین به ترکیه (۱۵ درصد) است. «سایر مقاصد» با ۴۷ درصد بیش‌ترین و ترکیه با ۸ درصد کم‌ترین سهم بازار را دارند.

بیش‌ترین احتمال پایداری صادرات زعفران به ترتیب متعلق به افغانستان (۵۷ درصد)، چین، امارات، سایر مقاصد و اسپانیا (۶ درصد) است. میانگین سهم صادراتی در میان چهار مقصد اصلی، برای امارات (۳۱ درصد) بیش‌ترین و برای افغانستان (۵ درصد) کم‌ترین است. در نتیجه، افغانستان با وجود پایداری بالا سهم ناچیزی دارد، در حالی‌که اسپانیا با سهم بالا و پایداری پایین، مقصدی ناپایدار محسوب می‌شود. این ارقام بر ضرورت بازنگری در بازارهای هدف زعفران تأکید دارد. برای خرما، هند با ۷۳ درصد پایدارترین و قزاقستان با ۳ درصد ناپایدارترین مقصد است.

1- Compound Annual Growth Rate (CAGR)
2- www.intracen.org

جدول ۳- احتمال پایداری بهینه و میانگین سهم صادراتی اقلام عمده صادرات بخش کش‌اورزی ایران به تفکیک مقصدهای تجاری در دوره زمانی (۲۰۲۲-۲۰۱۳)

Table 6- Optimal stability probability and average export share of major agricultural export commodities of Iran by trading destination during the period 2013–2022

محصول Product	مقصدها Directions	چین China	امارات UAE	آلمان Germany	عراق Iraq	سایر مقصدها Other destinations
پسته (۰۸۰۲۵۱) Pistachio (080251)	احتمال پایداری بهینه Optimal stability probability	0.27	0.13	0.11	0.21	0.27
	میانگین سهم بازاری Average market share	0.12	0.08	0.06	0.06	0.67
پسته (۰۸۰۲۵۲) Pistachio (080251)	مقصدها Directions	امارات UAE	آلمان Germany	هند India	ترکیه Turkiye	سایرمقصدها Other Destinations
	احتمال پایداری بهینه	0.16	0.35	0.16	0.15	0.18
	میانگین سهم بازاری	0.14	0.15	0.15	0.08	0.47
زعفران Saffron	مقصدها Directions	امارات UAE	اسپانیا Spain	چین China	افغانستان Afghanistan	سایرمقصدها Other Destinations
	احتمال پایداری بهینه	0.13	0.06	0.16	0.57	0.08
	میانگین سهم بازاری	0.31	0.23	0.10	0.05	0.32
خرما Date	مقصدها Directions	هند India	پاکستان Pakistan	قزاقستان Kazakhstan	ترکیه Turkiye	سایرمقصدها Other Destinations
	احتمال پایداری بهینه	0.73	0.14	0.03	0.05	0.04
	میانگین سهم بازاری	0.16	0.15	0.10	0.09	0.50
سیب درختی Apple	مقصدها Directions	عراق Iraq	افغانستان Afghanistan	امارات UAE	ترکمنستان Turkmenistan	سایرمقصدها Other Destinations
	احتمال پایداری بهینه	0.24	0.24	0.19	0.12	0.21
	میانگین سهم بازاری	0.44	0.19	0.08	0.09	0.20
کشمش Dried Grapes	مقصدها Directions	عراق Iraq	امارات UAE	ترکیه Turkiye	روسیه Russia	سایرمقصدها Other Destinations
	احتمال پایداری بهینه	0.15	0.21	0.15	0.27	0.22
	میانگین سهم بازاری	0.15	0.14	0.12	0.09	0.50
گوجه فرنگی Tomato	مقصدها Directions	عراق Iraq	امارات UAE	پاکستان Pakistan	افغانستان Afghanistan	سایرمقصدها Other Destinations
	احتمال پایداری بهینه	0.12	0.29	0.20	0.23	0.16
	میانگین سهم بازاری	0.66	0.10	0.06	0.10	0.08
هندوانه Watermelon	مقصدها Directions	عراق Iraq	امارات UAE	ترکیه Turkiye	عمان Oman	سایرمقصدها Other Destinations
	احتمال پایداری بهینه	0.19	0.14	0.39	0.11	0.17
	میانگین سهم بازاری	0.60	0.22	0.07	0.03	0.09
انجیر Fig	مقصدها Directions	ویتنام Vietnam	چین China	امارات UAE	ژاپن Japan	سایرمقصدها Other Destinations
	احتمال پایداری بهینه	0.22	0.23	0.11	0.22	0.22
	میانگین سهم بازاری	0.62	0.18	0.08	0.01	0.11
بادام درختی Almond	مقصدها Directions	هند India	ترکیه Turkiye	آلمان Germany	امارات UAE	سایرمقصدها Other Destinations
	احتمال پایداری بهینه	0.28	0.19	0.15	0.11	0.27
	میانگین سهم بازاری	0.43	0.37	0.04	0.09	0.06

مأخذ: یافته‌های پژوهش

Source: Research findings

با این حال، میانگین سهم بازار برای «سایر مقاصد» بیش‌ترین (۵۰ درصد) و برای ترکیه کم‌ترین (۹ درصد) است. این امر نشان می‌دهد تمرکز صادرات بر بازارهای پایدارتر بوده است. بازار هند از ثبات و سهم بالا برخوردار است؛ از این‌رو، صادرات خرما تقریبا در مسیر مناسبی نسبت به سایر محصولات قرار دارد. در صادرات سیب درختی، بیش‌ترین احتمال پایداری به عراق و افغانستان (۲۴ درصد) و کم‌ترین به ترکمنستان (۱۲ درصد) تعلق دارد. عراق با ۴۴ درصد بیش‌ترین و امارات با ۸ درصد کم‌ترین سهم بازار را دارد که اهمیت عراق را به‌عنوان بزرگ‌ترین و درعین‌حال پایدارترین مقصد سیب ایران تأیید می‌کند.

نتایج مربوط به کشمش نشان می‌دهد روسیه بالاترین پایداری (۲۷ درصد) و عراق و ترکیه کم‌ترین (۱۵ درصد) دارند. با وجود این، «سایر مقاصد» بیش‌ترین سهم (۵۰ درصد) و روسیه کم‌ترین (۹ درصد) را دارد؛ بنابراین تمرکز بر روسیه می‌تواند ثبات صادرات کشمش را افزایش دهد. در گوجه‌فرنگی، امارات پایدارترین مقصد (۲۹ درصد) و عراق ناپایدارترین (۱۲ درصد) است. در عین حال، عراق با ۶۶ درصد بزرگ‌ترین بازار و پاکستان با ۶ درصد کوچک‌ترین بازار است. تمرکز بر امارات به‌عنوان بازاری با پایداری بیشتر می‌تواند به بهبود ثبات صادرات این محصول کمک کند. درخصوص هندوانه، ترکیه با ۳۹ درصد بیش‌ترین و عمان با ۱۱ درصد کم‌ترین پایداری را دارد. میانگین سهم بازار برای عراق (۶۰ درصد) بیش‌ترین و عمان (۳ درصد) کم‌ترین است. توسعه بازار ترکیه می‌تواند به تنوع‌بخشی و کاهش نوسان صادرات این محصول منجر شود. در صادرات انجیر، چین با ۲۳ درصد بیش‌ترین و امارات با ۱۱ درصد کم‌ترین پایداری را دارد. ویتنام با ۶۲ درصد بیش‌ترین و ژاپن با ۱ درصد کم‌ترین سهم بازار را داراست. ویتنام بزرگ‌ترین اما ناپایدارترین مقصد در میان چهار مقصد اصلی است؛ در حالی‌که ژاپن با وجود سهم کمتر، بازار باثبات‌تری محسوب می‌شود که توجه به آن می‌تواند نقش مهمی در افزایش ثبات صادرات انجیر داشته باشد.

در نهایت، نتایج مربوط به بادام درختی نشان می‌دهد هند (۲۸ درصد) بیش‌ترین و امارات (۱۱ درصد) کم‌ترین پایداری را دارد. هند (۴۳ درصد) و ترکیه (۳۷ درصد) بیش‌ترین سهم بازار را به خود اختصاص داده‌اند. تمرکز بر مقاصد پایدار امری منطقی است، با این حال، تنوع‌بخشی بیشتر و توجه به بازارهای باثباتی چون آلمان می‌تواند ثبات صادرات بادام را ارتقا دهد. به‌طور کلی، بسیاری از مقاصد صادراتی ایران سهم بالایی از بازار داشته اما از پایداری کمتری برخوردارند، در حالی‌که برخی مقاصد با ثبات سهم ناچیزی دارند. این امر ضرورت بازنگری در سیاست‌های تجاری و تمرکز بر توسعه بازارهای پایدار را در صادرات محصولات کشاورزی ایران برجسته می‌سازد.

محاسبه میزان آب لازم برای صادرات پیش‌بینی شده

با استفاده از جدول ۴ که نشان‌دهنده میانگین نیاز آبی، مقدار تولید، سطح زیرکشت و آب مورد نیاز برای تولید هر واحد محصول تولیدی است، از تقسیم میانگین نیاز آبی بر عملکرد (نسبت عکس بهره‌وری)، آب مورد نیاز برای تولید هر تن محصول به‌دست می‌آید. بر اساس این جدول، آب مورد نیاز برای تولید هر تن زعفران (۱،۷۷۴،۶۱۲ متر مکعب بر تن)، بیش‌ترین و برای گوجه‌فرنگی کم‌ترین میزان (۱۳۰ متر مکعب بر تن) است.

جدول ۵، میزان صادرات شبیه‌سازی شده با زنجیره مرتبه اول مارکوف، آب مجازی صادراتی برای سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴، به تفکیک محصولات منتخب را نشان می‌دهد. باتوجه به این جدول، میزان صادرات شبیه‌سازی شده در ۲۰۲۴ نسبت به ۲۰۲۳ برای تمام محصولات افزایش یافته و به همین ترتیب میزان آب مجازی صادراتی در سال ۲۰۲۴ حدود ۱۰ میلیارد متر مکعب بوده که نسبت به ۲۰۲۳ که برابر با ۷/۳ میلیارد متر مکعب است، بیش‌تر خواهد بود. از ضرب آب موردنیاز برای تولید هرتن از هر محصول (جدول ۴) در مقدار صادرات شبیه‌سازی شده برای سال ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴، کل آب مجازی صادراتی در این سال‌ها به‌دست خواهد آمد. لازم به ذکر است، به‌دلیل در دسترس بودن آمار تولید تا سال ۱۴۰۲، از مقادیر شبیه‌سازی شده ۲۰۲۳، در محاسبات الگوی بهینه استفاده شده است.

تعیین ترکیب بهینه صادرات با هدف حداقل‌سازی مصرف آب

جدول ۶، بیانگر نتایج تعیین ترکیب بهینه محصولات صادراتی با هدف حداقل‌سازی صادرات آب مجازی در سال ۲۰۲۳، با در نظرگیری سه سناریو است. باتوجه به نتایج این جدول، ترکیب فعلی صادراتی بهینه نبوده و چنانچه هر محصول اجازه ۱۰ و ۲۰ درصد تغییر را در ترکیب بهینه سبد صادراتی محصولات کشاورزی مورد نظر داشته باشد، با همان درآمد حاصل از صادرات این محصولات (۲،۱۷۱،۹۴۹ هزار دلار) در ۱۰ سال گذشته می‌توان به‌ترتیب حدود ۵/۳ و ۱۰/۵ درصد میزان آب مجازی صادراتی را کاهش داد. همچنین در ترکیب جدید، چنانچه تغییرات میزان صادرات هر یک از محصولات در بازه حداقل و حداکثر این میزان در این ۱۰ سال گذشته قرار گیرد، امکان کاهش صادرات آب مجازی تا ۳۹/۸ درصد بدون تغییر درآمد وجود دارد. لازم به ذکر است که پسته به دو کد تعرفه موجود، تفکیک شده اما طبق فرمول‌ها عدد ۹ به محصولات اصلی اشاره داشته است. همچنین، اندیس اول در هر کد محصول بیانگر نام آن و اندیس دوم بیانگر مقصد صادراتی محصول مورد نظر است. به‌طور مثال، $X11$ به خرمای صادراتی به هند اشاره دارد.

جدول ٤- میانگین نیاز آبی، مقدار تولید، سطح زیرکشت و آب مورد نیاز برای تولید هر واحد محصول تولید شده

Table 4- Average water requirement, production quantity, cultivated area, and water requirement per unit of produced agricultural product

محصولات تولیدی Products Produced	میانگین نیاز آبی*(نیاز خالص) Average water requirement (net (m³/ha)* requirement)	مقدار تولید آبی بارور** Irrigated productive yield** (ton)	سطح زیرکشت آبی بارور** Irrigated productive cultivated area** (ha)	آب مورد نیاز برای تولید هر تن محصول*** Water requirement per ton of product*** (m³/ton)
Date خرما	15669	1710725	256269	2347
Pistachio پسته	4300	439186	599420	5869
Grape انگور	10740	799268	226185	3039
Apple سیب	5902	4006443	239871	353
Tomato گوجه‌فرنگی	7221	5385993	96977	130
Watermelon هندوانه	7180	2705930	78735	209
Saffron زعفران	4769	298	110890	1774612
Fig انجیر	5808	83990	8006	554
Almond بادام (درختی)	5902	125657	88400	4152

Source: NETWAT NETWAT :منبع *

** منبع مقدار تولید و سطح زیرکشت: آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۴۰۲ (معادل با ۲۰۲۳)

Source of production and cultivated area data: Agricultural Statistics Yearbook of the Ministry of Agriculture Jihad, 2023

*** منبع: یافته‌های پژوهش Source: Research findings

جدول ٥- میزان صادرات شبیه‌سازی شده با زنجیره مرتبه اول مارکوف، آب مجازی صادراتی برای سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۲٤

Table 5- Simulated export volumes based on the first-order Markov chain and virtual water exports for the years 2023 and 2024

محصولات صادراتی Exported products	میزان صادرات شبیه‌سازی شده برای سال ۲۰۲۳ Simulated export volume for 2023 (ton)	میزان صادرات شبیه‌سازی شده برای سال ۲۰۲٤ Simulated export volume for 2024 (ton)	آب مجازی صادراتی در سال ۲۰۲۳ Virtual water export in 2023 (m³/ton)	آب مجازی صادراتی در سال ۲۰۲٤ Virtual water export in 2024 (m³/ton)
Date خرما	497023	879810	2916647086	5162928301
Pistachio پسته	88951	108173	1305089084	1587126462
Grape انگور	112632	117797	855829404	895073373
Apple سیب	882210	993335	779311078	877474637
Tomato گوجه‌فرنگی	673971	732976	219065447	238244298
Watermelon هندوانه	863262	903526	450854648	471883645
Saffron زعفران	164	168	728955675	743560413
Fig انجیر	16805	18535	23259101	25654008
Almond بادام (درختی)	3076	3944	31926434	40941300
Total مجموع	–	–	7310937958	10042886437

* برای محاسبه آب مورد نیاز برای تولید کشمش از نسبت وزن خشک به وزن تر محصول که برابر با ۰/۲۹ است، استفاده شد.

* The estimation of water requirements for Dried Grapes was conducted using the ratio of dry weight to fresh weight of the product, which equals 0.29.

مأخذ: یافته‌های پژوهش Source: Research findings

جدول ٦- تعیین ترکیب بهینه محصولات صادراتی با هدف حداقل‌سازی صادرات آب مجازی (A) با در نظرگیری سه سناریو

Table 6- Determination of the optimal composition of export products aimed at minimizing virtual water exports (Case A) under three scenarios

محصول صادراتی Exported product		کد محصول Product code	میزان صادرات شبیه‌سازی شده با زنجیره اول مارکوف (تن)-۲۰۲۳ Simulated exports based on the first-order Markov chain (ton) – 2023	مقادیر بهینه Optimal values		
				سناریو اول (A_1) Scenario I (A1)	سناریو چهارم (B_2) Scenario IV(B_2)	سناریو ششم (B_3) Scenario VI(B_3)
				بازه‌ها Ranges		
				2023 ± 10%	2023 ± 20%	Min < 2023 < Max
				میزان بهینه صادرات		
خرمای... Date	هند India	X11	358850	322965	287080	9206
	پاکستان Pakistan	X12	70376	63338	56301	12901
	قزاقستان Kazakhstan	X13	8619	7757	6895	10805
	ترکیه Turkey	X14	14065	12659	11252	11810
	سایرمقصدها Others	X15	45113	40602	36090	94408
پسته (۰۸۰۲۵۱)ی... Pistachio (080251)	چین China	X21	9117	8205	7294	194
	امارات UAE	X22	2079	1871	1663	3854
	آلمان Germany	X23	1124	1012	899	2760
	عراق Iraq	X24	6050	5445	4840	3373
	سایرمقصدها Others	X25	56062	60682	66800	26991
پسته (۰۸۰۲۵۲) Pistachio (080252)	امارات UAE	X211	1773	1950	2128	9731
	آلمان Germany	X222	6303	6933	7564	4363
	هند India	X233	2451	2696	2941	4429
	ترکیه Turkey	X244	490	539	588	9286
	سایرمقصدها Others	X255	3501	3851	4201	50190
کشمش... Dried Grapes	عراق Iraq	X31	16824	15142	13459	14040
	امارات UAE	X32	18665	16799	14932	12583
	ترکیه Turkey	X33	7318	6586	5854	4290
	روسیه Russia	X34	18518	16666	14814	6604
	سایرمقصدها Others	X35	51308	46177	41046	44971
سیب... Apple	عراق Iraq	X41	434048	390643	347238	98623
	ترکیه Turkey	X42	166432	149789	133146	15193
	امارات UAE	X43	61165	55049	48932	22790
	ترکمنستان Turkmenistan	X44	18357	16521	14686	3800
	سایرمقصدها Others	X45	202208	181987	161766	20727
گوجه‌فرنگی... Tomato	عراق Iraq	X51	99949	109944	119939	443261
	امارات UAE	X52	262299	288529	314759	176207
	پاکستان Pakistan	X53	128056	140862	153667	131677
	افغانستان Afghanistan	X54	131886	145075	158263	137605
	سایرمقصدها Others	X55	51780	56958	62136	88918

ادامه جدول ٦- تعیین ترکیب بهینه محصولات صادراتی با هدف حداقل‌سازی صادرات آب مجازی (A) با در نظرگیری سه سناریو

Table 6 continued- Determination of the optimal composition of export products aimed at minimizing virtual water exports (Case A) under three scenarios

محصول صادراتی Exported product		کد محصول Product code	میزان صادرات شبیه‌سازی شده با زنجیره اول مارکوف (تن)-۲۰۲۳ Simulated exports based on the first-order Markov chain (ton) – 2023	مقادیر بهینه Optimal values		
				سناریو اول (A_1) Scenario I (A1)	سناریو چهارم (B_2) Scenario IV(B_2)	سناریو ششم (B_3) Scenario VI(B_3)
				بازه‌ها Ranges		
				2023 ± 10%	2023 ± 20%	Min < 2023 < Max
				میزان بهینه صادرات		
هندوانه... Watermelon	عراق Iraq	X61	419622	461584	503546	318640
	امارات UAE	X62	175037	192541	210044	106321
	ترکیه Turkey	X63	160303	176333	192364	26521
	عمان Oman	X64	15571	17128	18685	184
	سایرمقصدها Others	X65	92729	102002	111275	12367
زعفران... Saffron	امارات UAE	X71	47	42	38	43
	اسپانیا Spain	X72	13	12	10	29
	چین China	X73	56	50	45	1.48
	افغانستان Afghanistan	X74	25	23	20	0.16
	سایرمقصدها Others	X75	23	21	18	25
انجیر خشک... Dried Figs	ویتنام Vietnam	X81	281	309	337	10923
	چین China	X82	14426	15869	17311	11753
	امارات UAE	X83	187	206	224	1841
	ژاپن Japan	X84	245	270	294	211
	سایرمقصدها Others	X85	1665	1832	1998	1555
بادام (درختی)... Almond	هند India	X91	2572	2829	3086	2546
	ترکیه Turkey	X92	74	81	89	4579
	آلمان Germany	X93	50	55	60	226
	امارات UAE	X94	21	23	25	827
	سایرمقصدها Others	X95	359	395	431	297
درآمد کل حاصل از صادرات محصولات (هزار دلار) Total revenue from product exports (thousand USD)			2171949	2171949	2171949	2171949
درصد تغییرات درآمد Percentage change in revenue			–	–	–	–
میزان آب مجازی صادراتی (متر مکعب) Volume of virtual water exports (m^3)			7310937958	6917313000	6543364000	4397163000
درصد تغییرات آب مجازی Percentage change in virtual water			–	-5.3	-10.5	-39.8

ماخذ: یافته‌های پژوهش Source: Research findings

همچنین، نتایج این جدول نشان می‌دهد که هر سه سناریو در خصوص زعفران، توصیه با کاهش صادرات این محصول به مقصدهای امارات، چین و افغانستان داشته‌اند و در مقابل صادرات به اسپانیا در هر سناریو نتایج متفاوتی را گزارش می‌کند. بنابراین، در صادرات به هر مقصد، لازم است که به تقاضای آن بازار توجه نمود.

جدول ۷، بیانگر نتایج تعیین ترکیب بهینه محصولات صادراتی با هدف حداکثرسازی درآمد حاصل از صادرات در سال ۲۰۲۳، با در نظرگیری سه سناریو است. باتوجه به نتایج این جدول، در ترکیب جدید، اگر هر محصول امکان تغییر هر محصول به میزان ۱۰ و ۲۰ درصد تغییر را در ترکیب بهینه صادراتی داشته باشد، با همان مقدار صادرات آب مجازی (۷،۳۱۰،۹۳۷،۹۵۸ متر مکعب) می‌توان به‌ترتیب حدود ۵/۳ و ۱۰/۲ درصد میزان ارزآوری حاصل از این سبد صادراتی

را افزایش داد. همچنین، در صورتی‌که هر محصول طبق روند ۱۰ ساله خود در بازه حداقل و حداکثر میزان صادرات خود تغییر کند، با همان میزان صادرات آب، امکان افزایش درآمد حاصل از صادرات محصولات مورد بررسی تا ۵۵/۲ درصد وجود دارد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که هر سه سناریو، افزایش صادرات زعفران به اسپانیا را توصیه کرده و برای مقصدهای دیگر، توصیه‌های متفاوتی ارائه می‌کند.

جدول ۷- تعیین ترکیب بهینه محصولات صادراتی با هدف حداکثرسازی درآمد حاصل از صادرات (B) با در نظرگیری سه سناریو

Table 7- Determination of the optimal composition of export products aimed at maximizing export revenue (Case B) under three scenarios

محصول صادراتی Exported product		کد محصول Product code	میزان صادرات شبیه‌سازی شده با زنجیره اول مارکوف (تن)-۲۰۲۳ Simulated exports based on the first-order Markov chain (ton) – 2023	مقادیر بهینه Optimal values		
				سناریو دوم (B_1) Scenario II(B_1)	سناریو چهارم (B_2) Scenario IV(B_2)	سناریو ششم (B_3) Scenario VI(B_3)
				بازه‌ها Ranges		
				2023 ± 10%	2023 ± 20%	Min < 2023 < Max
				میزان بهینه صادرات		
خرمای... Date	هند India	X11	358850	322965	287080	9206
	پاکستان Pakistan	X12	70376	63338	56301	12901
	قزاقستان Kazakhstan	X13	8619	7757	6895	10805
	ترکیه Turkey	X14	14065	12659	11252	11810
	سایرمقصدها Others	X15	45113	40602	36090	94408
پسته (۰۸۰۲۵۱)ی... Pistachio (080251)	چین China	X21	9117	10029	10940	83758
	امارات UAE	X22	2079	2287	2495	12274
	آلمان Germany	X23	1124	1236	1349	9850
	عراق Iraq	X24	6050	6655	7260	9310
	سایرمقصدها Others	X25	56062	61668	67274	89967
پسته (۰۸۰۲۵۲) Pistachio (080252)	امارات UAE	X211	1773	1950	2128	9731
	آلمان Germany	X222	6303	6933	7564	4363
	هند India	X233	2451	2696	2941	4429
	ترکیه Turkey	X244	490	539	588	9286
	سایرمقصدها Others	X255	3501	3851	4201	54032
کشمش... Dried Grapes	عراق Iraq	X31	16824	15142	13459	14040
	امارات UAE	X32	18665	16799	14932	12583
	ترکیه Turkey	X33	7318	6586	5854	4290
	روسیه Russia	X34	18518	16666	14814	6604
	سایرمقصدها Others	X35	51308	50173	48379	44971
سیب... Apple	عراق Iraq	X41	434048	477453	520858	98623
	ترکیه Turkey	X42	166432	183075	199718	15193
	امارات UAE	X43	61165	67282	73398	22790
	ترکمنستان Turkmenistan	X44	18357	20193	22028	3800
	سایرمقصدها Others	X45	202208	222429	242650	84352
گوجه‌فرنگی... Tomato	عراق Iraq	X51	99949	109944	119939	443261
	امارات UAE	X52	262299	288529	314759	176207
	پاکستان Pakistan	X53	128056	140862	153667	131677
	افغانستان Afghanistan	X54	131886	145075	158263	137605
	سایرمقصدها Others	X55	51780	56958	62136	88918

ادامه جدول ۷- تعیین ترکیب بهینه محصولات صادراتی با هدف حداکثرسازی درآمد حاصل از صادرات (B) با در نظرگیری سه سناریو

Table 7 continued- Determination of the optimal composition of export products aimed at maximizing export revenue (Case B) under three scenarios

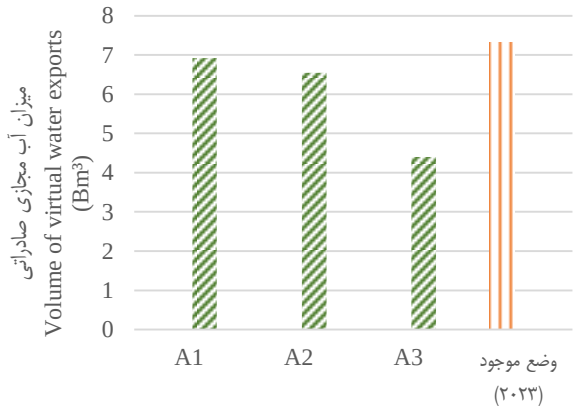
محصول صادراتی Exported Product		کد محصول Product code	میزان صادرات شبیه‌سازی شده با زنجیره اول مارکوف (تن)-۲۰۲۳ Simulated exports based on the first-order Markov chain (ton) – 2023	مقادیر بهینه Optimal values		
				سناریو دوم (B_1) Scenario II(B_1)	سناریو چهارم (B_2) Scenario IV(B_2)	سناریو ششم (B_3) Scenario VI(B_3)
				بازه‌ها Ranges		
				2023 ± 10%	2023 ± 20%	Min < 2023 < Max
				میزان بهینه صادرات		
هندوانه... Watermelon	عراق Iraq	X61	419622	461584	503546	607676
	امارات UAE	X62	175037	192541	210044	267098
	ترکیه Turkey	X63	160303	176333	192364	79703
	عمان Oman	X64	15571	17128	18685	53771
	سایرمقصدها Others	X65	92729	102002	111275	114468
زعفران... Saffron	امارات UAE	X71	47	52	56	43
	اسپانیا Spain	X72	13	14	16	29
	چین China	X73	56	62	67	1
	افغانستان Afghanistan	X74	25	28	30	0.2
	سایرمقصدها Others	X75	23	25	28	25
انجیر خشک... Dried Figs	ویتنام Vietnam	X81	281	309	337	10923
	چین China	X82	14426	15869	17311	11753
	امارات UAE	X83	187	206	224	1841
	ژاپن Japan	X84	245	270	294	211
	سایرمقصدها Others	X85	1665	1832	1998	1555
بادام (درختی)... Almond	هند India	X91	2572	2829	3086	2546
	ترکیه Turkey	X92	74	81	89	4579
	آلمان Germany	X93	50	55	60	226
	امارات UAE	X94	21	23	25	827
	سایرمقصدها Others	X95	359	395	431	297
درآمد کل حاصل از صادرات محصولات (هزار دلار) Total revenue from product exports (thousand USD)			2171949	2288137	2394418	3370634
درصد تغییرات درآمد Percentage change in revenue			-	5.3	10.2	55.2
میزان آب مجازی صادراتی (متر مکعب) Volume of virtual water exports (m^3)			7310937958	7310937958	7310937958	7310937958
درصد تغییرات آب مجازی Percentage change in virtual water			-	-	-	-

مأخذ: یافته‌های پژوهش Source: Research findings

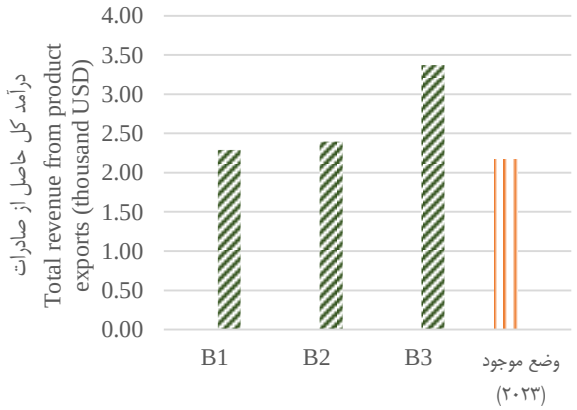
نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی ترکیب بهینه صادرات محصولات کشاورزی در سال ۲۰۲۳ نشان می‌دهد که ترکیب فعلی صادراتی ایران از منظر کارایی مصرف آب و درآمدزایی چندان بهینه نیست. بر اساس یافته‌ها، در حالتی‌که هدف حداقل‌سازی مصرف آب مجازی باشد، با حفظ سطح فعلی درآمد صادراتی (۲،۱۷۱،۹۴۹ هزار دلار)، می‌توان در سناریوهای تغییر ۱۰ و ۲۰ درصدی در مقادیر صادرات، به‌ترتیب حدود ۵ و ۱۰ درصد از حجم آب مجازی صادرشده را کاهش داد. در حالت سوم، با اجازه تغییرات در محدوده حداقل و حداکثر ۱۰

ساله میزان صادرات هر محصول، امکان کاهش مصرف آب مجازی تا ۴۰ درصد بدون کاهش درآمد وجود دارد. در مقابل، زمانی‌که هدف حداکثرسازی درآمد صادراتی تعیین شود، با حفظ میزان فعلی صادرات آب مجازی (حدود ۷/۳۱ میلیارد متر مکعب)، می‌توان درآمد را در سناریوهای مشابه به‌ترتیب ۵ و ۱۰ درصد افزایش داد و در حالتی‌که مقادیر صادرات در بازه تاریخی نوسان داشته باشند، افزایش درآمد تا حدود ۶۰ درصد نیز امکان‌پذیر است. بنابراین، نتایج حاکی از آن است که بازنگری در ترکیب سبد صادراتی محصولات کشاورزی، می‌تواند ضمن کاهش چشمگیر مصرف آب مجازی، بهبود قابل توجهی در درآمد ارزی کشور ایجاد کند.

نمودار ۳-الف، نتایج الگوی حداقل‌سازی صادرات آب مجازی برای کل مقصدها را نشان می‌دهد. باتوجه به این نمودار، در تمامی سناریوها باتوجه به کم‌تر بودن مقدار صادراتی آب مجازی نسبت به وضع موجود (آب مجازی صادراتی پیش‌بینی‌شده در سال ۲۰۲۳)، کاهش میزان صادرات آب مجازی پیشنهاد می‌شود. همچنین نمودار ۳-ب، نتایج الگوی حداکثر سازی صادرات آب مجازی برای کل مقصدهای صادراتی را نشان می دهد. بر اساس نتایج این نمودار، میزان درآمد صادراتی قابل دسترس در هر سه سناریو بیش از وضع موجود (درآمد صادراتی پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۲۳) است.



نمودار ۳-الف- نتایج حداقل‌سازی آب مجازی صادراتی
Figure 3-a- Results of Minimizing Exported Virtual Water



نمودار ۳-ب- نتایج حداکثرسازی درآمد صادراتی
Figure 3-b- Results of Maximizing Income Export

مأخذ: یافته‌های پژوهش Source: Research findings

جدول ۸، نتایج تحلیل حساسیت نیاز آبی محصولات صادراتی با هدف حداقل‌سازی میزان آب مجازی صادراتی به تفکیک مقصدهای اصلی را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، باتوجه به کران‌های بالا الگو از پایداری مناسبی در ضرایب برخوردار است.

باتوجه به نتایج کران‌های جدول ۹، برای برخی محصولات که کران بالا بی‌نهایت گزارش شده است؛ افزایش قیمت سبب تمایل حداکثری الگو به افزایش صادرات آن محصولات (در محدوده محدودیت آب) تا جایی‌که درآمد افزایش یابد؛ اما میزان آب مجازی صادراتی تغییری نکند، می‌شود. این امر نشان‌دهنده قدرت الگو برای تحمل افزایش قیمت محصولات ارزآوری چون زعفران است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر با ترکیب دو رهیافت مکمل، تحلیل زنجیره مارکوف برای بررسی پایداری بازارهای صادراتی و الگوی برنامه‌ریزی ریاضی برای تعیین ترکیب بهینه صادرات، چارچوبی جامع برای تصمیم‌گیری در تجارت کشاورزی پایدار ارائه می‌دهد.

نتایج بیانگر آن است که ساختار فعلی صادرات کشاورزی ایران از جهت تمرکز صادرات بر کشورهایی با سهم زیاد ولی احتمال پایداری کم (مانند اسپانیا در زعفران) که سبب نوسان درآمد و کاهش ثبات تجاری شده، دچار چالش است.

بر این اساس، تنوع‌بخشی و بازآرایی بازارهای هدف با تمرکز بر مقاصد پایدارتر و کاهش وابستگی به بازارهای ناپایدار، تمرکز سیاست‌های حمایتی بر محصولات کم‌آب‌بر و با ارزش افزوده بالا به‌منظور افزایش بهره‌وری آب در صادرات، ایجاد مشوق‌های صادراتی مبتنی بر شاخص آب مجازی جهت هدایت تولیدکنندگان به سمت محصولات پایدارتر، توسعه دیپلماسی تجاری و توافق‌های بلندمدت با بازارهای پایدار برای تثبیت روابط صادراتی و تقویت زنجیره ارزش و بازاریابی بین‌المللی محصولات کم‌آب‌بر به‌جای تمرکز صرف بر حجم صادرات، توصیه می‌شوند.

جدول ۸- تحلیل حساسیت نیاز آبی محصولات صادراتی به تفکیک مقصدهای اصلی (هدف: حداقل‌سازی میزان آب مجازی صادراتی)

Table 8- Sensitivity analysis of exported crops' water requirements by major destination markets (Objective: minimization of virtual water exports)

کد محصول Product code	آب مورد نیاز برای تولید هر تن محصول GWC per ton (m^3)	سناریو اول (A_1) Scenario I (A1)		سناریو سوم (A_2) Scenario III (A2)		سناریو پنجم (A_3) Scenario V (A3)	
		کران بالا Upper Bound	کران پایین Lower Bound	کران بالا Upper Bound	کران پایین Lower Bound	کران بالا Upper Bound	کران پایین Lower Bound
X11	5868	+∞	3839	∞+	3839	+∞	4743
X12		+∞	3839	∞+	3839	+∞	4743
X13		+∞	3839	∞+	3839	+∞	4743
X14		+∞	3839	∞+	3839	+∞	4743
X15		+∞	3839	∞+	3839	+∞	4743
X21	14672	+∞	0	∞+	0	+∞	6533
X22		+∞	0	∞+	0	+∞	6533
X23		+∞	0	∞+	0	+∞	6533
X24		+∞	0	∞+	0	+∞	6533
X25		0	602	0	602	+∞	6533
X211	14672	11777	−∞	11777	−∞	0	−∞
X222		11777	−∞	11777	−∞	0	−∞
X233		11777	−∞	11777	−∞	0	−∞
X244		11777	−∞	11777	−∞	0	−∞
X255		11777	−∞	11777	−∞	10692	0
X31	7598	+∞	3763	+∞	3763	+∞	5471
X32		+∞	3763	+∞	3763	+∞	5471
X33		+∞	3763	+∞	3763	+∞	5471
X34		+∞	3763	+∞	3763	+∞	5471
X35		+∞	3763	+∞	3763	+∞	5471
X41	883	+∞	240	+∞	240	+∞	526
X42		+∞	240	+∞	240	+∞	526
X43		+∞	240	+∞	240	+∞	526
X44		+∞	240	+∞	240	+∞	526
X45		+∞	240	+∞	240	+∞	526
X51	325	863	−∞	526	−∞	334	−∞
X52		863	−∞	526	−∞	334	−∞
X53		863	−∞	526	−∞	334	−∞
X54		863	−∞	526	−∞	334	−∞
X55		863	−∞	526	−∞	334	−∞
X61	522	22	−∞	22	−∞	+∞	220
X62		22	−∞	22	−∞	+∞	220
X63		22	−∞	22	−∞	+∞	220
X64		22	−∞	22	−∞	+∞	220
X65		22	−∞	22	−∞	+∞	220

ادامه جدول ۸- تحلیل حساسیت نیاز آبی محصولات صادراتی به تفکیک مقصدهای اصلی (هدف: حداقل‌سازی میزان آب مجازی صادراتی)

Table 8 continued- Sensitivity analysis of exported crops' water requirements by major destination markets (Objective: minimization of virtual water exports)

کد محصول Product code	آب مورد نیاز برای تولید هر تن محصول GWC per ton (m^3)	سناریو اول (A_1) Scenario I (A1)		سناریو سوم (A_2) Scenario III (A2)		سناریو پنجم (A_3) Scenario V (A3)	
		کران بالا Upper bound	کران پایین Lower bound	کران بالا Upper bound	کران پایین Lower bound	کران بالا Upper bound	کران پایین Lower bound
X71	4436530	+∞	1701031	+∞	1701031	+∞	2919083
X72		+∞	1701031	+∞	1701031	+∞	2919083
X73		+∞	1701031	+∞	1701031	+∞	2919083
X74		+∞	1701031	+∞	1701031	+∞	2919083
X75		+∞	1701031	+∞	1701031	+∞	2919083
X81	1384	5841	−∞	5841	−∞	2624	−∞
X82		5841	−∞	5841	−∞	2624	−∞
X83		5841	−∞	5841	−∞	2624	−∞
X84		5841	−∞	5841	−∞	2624	−∞
X85		5841	−∞	5841	−∞	2624	−∞
X91	10380	12012	−∞	12012	−∞	2041	−∞
X92		12012	−∞	12012	−∞	2041	−∞
X93		12012	−∞	12012	−∞	2041	−∞
X94		12012	−∞	12012	−∞	2041	−∞
X95		12012	−∞	12012	−∞	2041	−∞
X71	4436530	+∞	1701031	+∞	1701031	+∞	2919083
X72		+∞	1701031	+∞	1701031	+∞	2919083
X73		+∞	1701031	+∞	1701031	+∞	2919083
X74		+∞	1701031	+∞	1701031	+∞	2919083
X75		+∞	1701031	+∞	1701031	+∞	2919083
X81	1384	5841	−∞	5841	−∞	2624	−∞
X82		5841	−∞	5841	−∞	2624	−∞
X83		5841	−∞	5841	−∞	2624	−∞
X84		5841	−∞	5841	−∞	2624	−∞
X85		5841	−∞	5841	−∞	2624	−∞
X91	10380	12012	−∞	12012	−∞	2041	−∞
X92		12012	−∞	12012	−∞	2041	−∞
X93		12012	−∞	12012	−∞	2041	−∞
X94		12012	−∞	12012	−∞	2041	−∞
X95		12012	−∞	12012	−∞	2041	−∞
محدودیت درآمد Income Constraint	2171949	5847	60640	2809	130166	41069	494136

مأخذ: یافته‌های پژوهش Source: Research findings

جدول ۹- تحلیل حساسیت قیمت صادراتی به تفکیک مقصدهای اصلی (هدف: حداکثرسازی درآمد حاصل از صادرات)

Table 9- Sensitivity analysis of export prices by major destination markets (Objective: maximization of export revenue)

کد محصول Product code	قیمت صادراتی پیش‌بینی شده محصولات در ۲۰۲۳ Export Price (USD per Kg)	سناریو دوم (B_1) Scenario II (B1)		سناریو چهارم (B_2) Scenario IV		سناریو ششم (B_3) Scenario VI	
		کران بالا Upper bound	کران پایین Lower bound	کران بالا Upper bound	کران پایین Lower bound	کران بالا Upper bound	کران پایین Lower bound
X11	0.82	0.38	−∞	0.38	−∞	0.91	−∞
X12		0.38	−∞	0.38	−∞	0.91	−∞
X13		0.38	−∞	0.38	−∞	0.91	−∞
X14		0.38	−∞	0.38	−∞	0.91	−∞
X15		0.38	−∞	0.38	−∞	0.91	−∞
X21	5.93	+∞	2.94	+∞	2.94	+∞	1.61
X22		+∞	2.94	+∞	2.94	+∞	1.61
X23		+∞	2.94	+∞	2.94	+∞	1.61
X24		+∞	2.94	+∞	2.94	+∞	1.61
X25		+∞	2.94	+∞	2.94	+∞	1.61
X211	10.69	+∞	7.70	+∞	7.70	+∞	6.37
X222		+∞	7.70	+∞	7.70	+∞	6.37
X233		+∞	7.70	+∞	7.70	+∞	6.37
X244		+∞	7.70	+∞	7.70	+∞	6.37
X255		+∞	7.70	+∞	7.70	+∞	6.37
X31	1.55	0	−∞	0	−∞	0.69	−∞
X32		0	−∞	0	−∞	0.69	−∞
X33		0	−∞	0	−∞	0.69	−∞
X34		0	−∞	0	−∞	0.69	−∞
X35		0.34	0	0.34	0	0.69	−∞
X41	0.26	+∞	0.08	+∞	0.08	0	−∞
X42		+∞	0.08	+∞	0.08	0	−∞
X43		+∞	0.08	+∞	0.08	0	−∞
X44		+∞	0.08	+∞	0.08	0	−∞
X45		+∞	0.08	+∞	0.08	0.10	0
X51	0.48	+∞	0.41	+∞	0.41	+∞	0.38
X52		+∞	0.41	+∞	0.41	+∞	0.38
X53		+∞	0.41	+∞	0.41	+∞	0.38
X54		+∞	0.41	+∞	0.41	+∞	0.38
X55		+∞	0.41	+∞	0.41	+∞	0.38
X61	0.22	+∞	0.11	+∞	0.11	+∞	0.07
X62		+∞	0.11	+∞	0.11	+∞	0.07
X63		+∞	0.11	+∞	0.11	+∞	0.07
X64		+∞	0.11	+∞	0.11	+∞	0.07
X65		+∞	0.11	+∞	0.11	+∞	0.07
X71	1105.61	+∞	200.55	+∞	200.55	200.73	−∞
X72		+∞	200.55	+∞	200.55	200.73	−∞
X73		+∞	200.55	+∞	200.55	200.73	−∞
X74		+∞	200.55	+∞	200.55	200.73	−∞
X75		+∞	200.55	+∞	200.55	200.73	−∞

ادامه جدول ۹- تحلیل حساسیت قیمت صادراتی به تفکیک مقصدهای اصلی (هدف: حداکثرسازی درآمد حاصل از صادرات)

Table 9 continued- Sensitivity analysis of export prices by major destination markets (Objective: maximization of export revenue)

کد محصول Product code	قیمت صادراتی پیش‌بینی شده محصولات در ۲۰۲۳ Export Price (USD per Kg)	سناریو دوم (B_1) Scenario II (B1)		سناریو چهارم (B_2) Scenario IV		سناریو ششم (B_3) Scenario VI	
		کران بالا Upper bound	کران پایین Lower bound	کران بالا Upper bound	کران پایین Lower bound	کران بالا Upper bound	کران پایین Lower bound
X81	2.92	+∞	2.64	+∞	2.64	+∞	2.51
X82		+∞	2.64	+∞	2.64	+∞	2.51
X83		+∞	2.64	+∞	2.64	+∞	2.51
X84		+∞	2.64	+∞	2.64	+∞	2.51
X85		+∞	2.64	+∞	2.64	+∞	2.51
X91	9.05	+∞	6.93	+∞	6.93	+∞	5.99
X92		+∞	6.93	+∞	6.93	+∞	5.99
X93		+∞	6.93	+∞	6.93	+∞	5.99
X94		+∞	6.93	+∞	6.93	+∞	5.99
X95		+∞	6.93	+∞	6.93	+∞	5.99
محدودیت آب Water Constraint	7310937958	14621880	-∞	14621880	-∞	14621880	-∞

Source: Research findings مأخذ: یافته‌های پژوهش

همچنین، نتایج سنجش پایداری با مطالعه (Ganeshkumar *et al.*, 2016) همخوانی دارد. همچنین، طبق نتایج الگوهای بهینه در الگوی صادراتی ایران، بدون کاهش درآمدهای ارزی می‌توان در حدود ۵ تا ۴۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. از طرفی، نتایج بر امکان افزایش درآمد حاصل از صادرات در بازه ۵ تا ۵۵ درصدی با الزام تثبیت مصرف آب در الگو دلالت دارد. بنابراین، باتوجه به نتایج و با استناد بر جز دوم ماده ۱۱ قانون برنامه هفتم توسعه، درنظرگیری مشوق‌های صادراتی برای محصولاتی که الگو توصیه به کاهش آن‌ها می‌کند، راهگشا خواهد بود.

یافته‌ها همچنین بر ضرورت تغییر معیار طبقه‌بندی محصولات از «آب‌بری فیزیکی» به «بهره‌وری اقتصادی آب» تأکید دارند؛ به‌گونه‌ای که حتی در چارچوب حداقل‌سازی آب مجازی صادراتی، صادرات برخی محصولات آب‌بر از نظر فیزیکی می‌تواند در صورت برخورداری از بازده اقتصادی بالا، توجیه‌پذیر و مطلوب باشد. همچنین، در صادرات به هر مقصد، لازم است که به تقاضای آن بازار توجه نمود. بر این اساس و باتوجه به نتایج قبلی، پیشنهاد می‌شود سیاست‌های صادرات کشاورزی به‌صورت مقصدمحور طراحی شده و تصمیم‌گیری درباره محدودیت یا تشویق صادرات هر محصول، بر پایه شاخص‌های اقتصادی آب، اهمیت بازار مقصد، تقاضای بازار هدف و نقش راهبردی هر بازار و محصول در درآمد ارزی کشور صورت گیرد. این نتیجه با نتیجه مطالعه (Amini *et al.*, 2025) همخوانی دارد و تأییدکننده آن است.

در نهایت، برای تحقیقات آتی، پیشنهاد می‌شود عوامل اقلیمی، محدودیت‌های تولید، نوسانات قیمتی جهانی و سیاست‌های تجاری کشور مقصد نیز در الگوی بهینه‌سازی وارد شوند. بدین‌ترتیب، یافته‌های تحقیق حاضر نشان می‌دهد که ارائه سیاست‌های تجاری و سیاست‌های مدیریت منابع آب با نگاه اقتصادی، می‌تواند نه‌تنها موجب حفظ پایداری زیست‌محیطی، بلکه زمینه‌ساز افزایش ثبات و درآمد ارزی در بخش کشاورزی ایران گردد.

References

1. Adelman, I.G. (1958). A stochastic analysis of the size distribution of firms. *Journal of the American Statistical Association*, *53*(284), 893-904. https://doi.org/10.1080/01621459.1958.10501486
2. Aligholinia, T., Ghorbani, K., Rezaie, H., & Gorbani Nasrabad, G. (2020). Evaluation and simulation of water footprints of agricultural crops in different climates of Iran considering of climate change scenarios. *Iran-Water Resources Research*, *16*(3), 80-97.
3. Allan, J.A. (1997). 'Virtual water': a long-term solution for water short Middle Eastern economies? (Vol. 5145). London, UK: School of Oriental and African Studies, University of London.

4. Amini, A., Othman, K., Abassi, F., & Booij, M.J. (2025). Determining virtual water, physical and economic indices to optimize agricultural water consumption in three different climates. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *22*(5), 2941-2954. https://doi.org/10.1007/s13762-024-05967-0
5. Amiri, F., Rafiee, H., & Mahmoodi, A. (2021). Investigating the conformity of virtual water export pattern with Iran's competitive advantages. *Irrigation and Water Engineering*, *12*(1), 382-397. (In Persian). https://doi.org/10.22125/iwe.2021.138352
6. Amiri, M., & Biglari Kami, M. (2014). Prediction of stock market behavior using Markov chain model. *Financial Engineering and Securities Management* (Portfolio Management), *5*(20), 79-94. SID. (In Persian). https://sid.ir/paper/197742/en
7. Ashar, V.G., & Wallace, T.D. (1963). A sampling study of minimum absolute deviations estimators. *Operations Research*, *11*(5), 747-758. https://doi.org/10.1287/opre.11.5.747
8. Babaeian, I., Javanshiri, Z., Modirian, R., Khazanedari, L., Falamarzi, Y., Malbusi, S., Karimian, M., Pakdaman, M., & Kouhi, M. (2024). Multi-annual prediction of precipitation and temperature over Iran and neighboring countries during 2022-2026 using DCPP models. *Journal of the Earth and Space Physics*, *50*(1), 199-215. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jesphys.2023.356693.1007510
9. Balovi, F., Liaghat, A., & Ebrahimian, H. (2022). Estimation of water footprint in current cropping patterns and its reduction capacity in optimal patterns under multiple goals conditions (Case study; Varamin region). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *53*(4), 987-999. https://doi.org/10.22059/ijaedr.2022.338478.669130
10. Dent, W.T. (1967). Application of Markov analysis to international wool flows. *The Review of Economics and Statistics*, 613-616. https://doi.org/10.2307/1928354
11. Falusi, B. (1976). Application of Markov chain analysis in short-term demand forecasting for agricultural inputs.
12. Fisher, W.D. (1961). A note on curve fitting with minimum deviations by linear programming. *Journal of the American Statistical Association*, *56*(294), 359-362. https://doi.org/10.1080/01621459.1961.10482119
13. Ganeshkumar, V., Narayan, S., & Thomas, S. (2016). Analysis of pomegranate export performance from India using Markov chains. *Agricultural Policy and Trade Journal*, *13*(1), 77-89. https://doi.org/10.5958/0976-4666.2016.00071.1
14. Goodman, L.A. (1953). A further note on "Finite Markov Processes in Psychology". *Psychometrika*, *18*(3), 245-248. https://doi.org/10.1007/bf02289062
15. Hoekstra, A.Y., & Hung, P.Q. (2003). Virtual water trade. In Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade, 12, 1-244.
16. https://intracen.org/
17. https://irica.ir/(In Persian)
18. https://www.maj.ir/(In Persian)
19. https://www.unep.org/
20. https://www.worldbank.org/
21. Jarrett, F.G., & Dent, W. (1966). Fiber substitution – A Markov Process Analysis. Australian Economic Papers, 5
22. Javaheri, B., Azizi, V., & Shahveisi, H. (2024). Political freedom, human development and environmental sustainability in Iran. *Stable Economy Journal*, *5*(1), 116-149. (In Persian). https://doi.org/10.22111/sedj.2024.47601.1430
23. Jhade, S., & Singh, A. (2020). Structural change analysis of groundnut export markets of India: Markov Chain Approach. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *9*(2), 1806–1812. https://doi.org/10.17485/IJED/v9.2021.5
24. Kao, R.C. (1953). Note on Miller's "Finite Markov Processes in Psychology". *Psychometrika*, *18*(3), 241-243. https://doi.org/10.1007/bf02289061
25. Khalilian, S., & Farhadi, A. (2002). Study of factors affecting Iran's agricultural exports. *Agricultural Economics and Development*, *10*(3), 71-84. (In Persian)
26. Konar, M., Dalin, C., Suweis, S., Hanasaki, N., Rinaldo, A., & Rodriguez-Iturbe, I. (2011). Water for food: The global virtual water trade network. *Water Resources Research*, *47*(5). https://doi.org/10.1029/2010WR010307
27. Lee, L.F., Judge, G.G., & Takayama, T. (1965). On Estimating the Transition Probabilities of a Markov Process.
28. Lee, T.C., Judge, G.G., & Takayama, T. (1970). On Estimating the Transition Probabilities of a Markov Process. *Journal of Farm Economics*, *52*(3), 742–744. https://doi.org/10.2307/1236285
29. Madansky, A. (1959). The fitting of straight lines when both variables are subject to error. *Journal of the American Statistical Association*, *54*(285), 173-205. https://doi.org/10.1080/01621459.1959.10501505
30. Mahadevaiah, G.S., Ravi, P.C., & Chengappa, P.G. (2005). Stability analysis of raw cotton export markets of India–Markov chain approach. *Agricultural Economics Research Review*, *18*(2), 253-259. https://doi.org/10.1177/0971344120050208
31. Mekonnen, M.M., & Hoekstra, A.Y. (2020). Sustainability of the blue water footprint of crops. *Advances in Water Resources*, *143*, 103679. https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103679

32. Miller, G.A. (1952). Finite Markov processes in psychology. *Psychometrika*, *17*(2), 149-167. https://doi.org/10.1007/BF02288779
33. Ministry of Agricultural Jihad. (2024). Volume 1 and 3 of the Statistical Bulletin. < www.maj.ir >.
34. Mohy, S., El Aasar, K., & Sakr, Y. (2023). Decomposition analysis of virtual water outflows for major Egyptian exporting crops to the European Union. *Sustainability*, *15*(6), 4943. https://doi.org/10.3390/su15064943
35. Murthy, D.S., & Subrahmanyam, K.V. (1999). Onion exports markets and their stability for increasing India's exports Markov chain approach. *Agricultural Economics Research Review*, *12*(2), 118-128.
36. Norton, R.D., & Hazell, P.B. (1986). Mathematical programming for economic analysis in agriculture. New York, NY, USA: Macmillan. https://doi.org/10.2307/2531573
37. Pishbahar, E., Shahbazi, P., & Hosseinzad, J. (2021). Prediction of production, export and import of Iran´s agricultural sector: The combination of econometrics and system dynamics methods. *Agricultural Economics*, *15*(1), 1-28. (In Persian). https://doi.org/10.22034/iaes.2021.526889.1829
38. Prais, S.J. (1955). Measuring social mobility. *Journal of the Royal Statistical Society*. *Series A (General)*, *118*(1), 56-66. https://doi.org/10.2307/2342522
39. Rafiee, H., Shahnabati, N., & Kiani Feyzabad, Z. (2021). Estimation of virtual water waste due to wasted products in wholesale fruit and vegetable markets; case study of Tehran city. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *52*(2), 229-246. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijaedr.2020.301216.668901
40. Rasheed, A., M, A., M, R., Albaqami, M., Sher, A., Sattar, A., & Wu, Z. (2022). Key insights to develop drought-resilient soybean: A review. *Journal of King Saud University-Science*, 34(5), https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102089.
41. Sahu, P. K., Das, M., Sarkar, B., VS, A., Dey, S., Narasimhaiah, L., & Raghav, Y. S. (2024). Potato production in India: a critical appraisal on sustainability, forecasting, price and export behaviour. *Potato Research*, *67*(4), 1209-1245. https://doi.org/10.1007/s11540-023-09682-0
42. Solow, R. (1951). Some Long-Run Aspects of the Distribution of Wage Incomes. *Econometrica*, 19.
43. Sunil, J., & Singh, A. (2021). Structural change analysis of groundnut export markets of India: Markov Chain Approach. *Indian Journal of Economics and Development*, *9*(1), 1-6. https://doi.org/10.17485/IJED/v9.2021.5
44. Tamea, S., Carr, J.A., Laio, F., & Ridolfi, L. (2014). Drivers of the virtual water trade. *Water Resources Research*, *50*(1), 17-28. https://doi.org/10.1002/2013WR014707
45. Telser, L.G. (1962). The demand for branded goods as estimated from consumer panel data. *The Review of Economics and Statistics*, *44*(3). https://doi.org/10.2307/1926401
46. Theil, H. (1961). *Economic Forecasts and Policy*. North-Holland Publishing Company.
47. Veena, U.M., Suryaprakash, S., & Achoth, L. (1994). Changing direction of Indian coffee exports. *Indian Journal of Agricultural Economics*, *49*(3), 426-431.
48. Wagner, H.M. (1959). Linear programming techniques for regression analysis. *Journal of the American Statistical Association*, *54*(285), 206-212. https://doi.org/10.1080/01621459.1959.10501506
49. Xu, H., Chaiboonsri, C., & Chokethaworn, K. (2023, February). Research on export prediction model based on machine learning: Application of China's agricultural products export. In Proceedings of the 2023 3rd International Conference on Bioinformatics and Intelligent Computing (pp. 259-263). https://doi.org/10.1145/3592686.3592733

Journal of Agricultural Economics & Development

Homepage: https://jead.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 3, Fall 2026, p. 319-337

Explaining the Barriers and Limitations of International Entrepreneurial Marketing from the Perspective of Greenhouse Growers in Tehran Province

M. Khorasani[1], F. Razzaghi Borkhani[1*], T. Azizi-Khalkheili[1]

1- Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(*- Corresponding Author Email: f.razzaghi@sanru.ac.ir)

Received: 21 November 2025
Revised: 05 January 2026
Accepted: 16 February 2026
Available Online: 16 February 2026

How to cite this article:

Khorasani, M., Razzaghi Borkhani, F., & Azizi-Khalkheili, T. (2026). Explaining the barriers and limitations of international entrepreneurial marketing from the perspective of greenhouse growers in Tehran Province. *Journal of Agricultural Economics & Development*, *40*(3), 319-337. (In Persian).
https://doi.org/10.22067/jead.2026.96614.1403

Introduction

Despite its vital importance, the agricultural sector in Iran faces structural challenges and weaknesses in an efficient marketing system. The issue of gaining competitive advantage and higher profitability must be accompanied by a full understanding of international and export markets. The development of greenhouse cultivation is expanding owing to water-saving policies under climate change conditions. The international entrepreneurial marketing (IEM) approach, as an innovative and opportunity-oriented strategy for creating value in foreign markets, is a strategic necessity for greenhouse units in Tehran Province. However, in practice, numerous obstacles, such as structural and operational barriers, have limited the ability of these entrepreneurs to transform global opportunities into economic value and sustainable economic development and have negatively affected the key dimensions of IEM, namely, risk-taking and innovation at the international level. The main objective of this study was to identify, analyze, and prioritize the barriers and limitations of international entrepreneurial marketing of greenhouse products from the perspective of greenhouse producers in Tehran Province.

Materials and Methods

This study was applied in terms of its objective and employed a descriptive–survey (quantitative) research design. The statistical population comprised 1,934 greenhouse producers across four counties in Tehran Province. A sample of 322 producers was selected using stratified simple random sampling. The main data collection instrument was a researcher-made questionnaire, the face and content validity of which were confirmed by an expert panel. To conduct an overall evaluation of the measured indicators, the preliminary draft of the survey and questions prior to the interview stage with rural respondents were reviewed by an expert panel consisting of faculty members in agricultural extension and education, environmental sciences, psychology, social sciences, sociology, and rural planning. Based on their views, the necessary revisions were applied until final approval was obtained. Cronbach's alpha coefficient was used to assess the internal reliability of the research instrument, which ranged from 0.7 to 0.9. The barriers to international entrepreneurial marketing were measured using seven latent variables (economic-financial, supportive–legal, infrastructural–institutional, policy-planning, green marketing, educational–informational, and socio–cultural) and 28 observed variables. To analyze the barriers, confirmatory factor analysis (CFA) was performed using SmartPLS v.3.

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)
https://doi.org/10.22067/jead.2026.96614.1403

Results and Discussion

Confirmatory factor analysis (CFA) results indicated that the seven-factor structure of the barriers demonstrated satisfactory model fit, validity, and reliability, and all components were statistically significant at the 99% confidence level. Economic and financial barriers (path coefficient = 0.848), supportive-legal barriers (0.820), infrastructural-institutional barriers (0.819), green marketing barriers (0.766), educational-informational barriers (0.753), socio-cultural barriers (0.627), and policy-planning barriers (0.607) were ranked first to seventh, respectively. Among all dimensions, economic and financial barriers emerged as the most critical constraints in international entrepreneurial marketing. Within the economic and financial dimensions, factor loadings highlighted that the lack of adequate capital for standardizing and equipping greenhouse production units, coupled with insufficient governmental support in providing loans and financial incentives, particularly the high interest rates of bank loans, represented the most significant challenges. Following this, supportive-legal barriers were strongly characterized by government-imposed sanctions, restricted access to high-quality and authorized production inputs, and procedural difficulties in obtaining permits for exports and international marketing. The infrastructural-institutional dimension ranked next, primarily due to the absence of smart digital infrastructures for global and online marketing and persistent weaknesses in the transportation systems. Green marketing barriers ranked fourth, influenced by global market threats such as inflation, economic sanctions, and geopolitical conflicts, alongside the lack of governmental support for guaranteed purchasing of certified green or healthy products. The fifth-ranked dimension, educational-informational barriers, was driven by shortages of specialized human resources in market management and international trade and the absence of effective training and extension programs related to export procedures. Socio-cultural barriers were also notable, including insufficient cultural and educational foundations for entrepreneurship, creativity, and innovation, and low levels of public trust in online purchasing platforms. Finally, the policy and planning barriers, characterized by weaknesses in agricultural insurance systems and limited awareness of national strategies for regional and international markets, were ranked last but remained significant barriers to international entrepreneurial marketing from the perspective of greenhouse producers in Tehran Province.

Conclusion

The results further indicate that macro-level environmental and institutional barriers, particularly economic and financial constraints, constitute the most fundamental and influential challenges limiting international entrepreneurial marketing. The prominence of economic and financial barriers as the highest-priority constraint suggests that the primary obstacles originate from the external business environment rather than from entrepreneurs themselves. As long as stable access to credit, investment support, and relief from sanctions are not available to facilitate production standardization, innovation, and risk-taking, progress along the export pathway will remain constrained. Furthermore, the findings indicate that these barriers have direct negative effects on the key dimensions of international entrepreneurial marketing (IEM). Therefore, overcoming these constraints requires substantial government intervention in export financing, administrative facilitation, and the development of smart infrastructure and cold supply chains. In this regard, designing a mechanism for targeted export investment facilities with low interest rates-aimed at standardizing and mechanizing cold storage and packaging equipment in greenhouse units-is recommended. In other words, addressing or reducing a single barrier alone cannot lead to a significant improvement in the performance of international entrepreneurial marketing. Instead, a comprehensive and coordinated approach is required that simultaneously considers economic, legal, infrastructural, and human capacity dimensions. These findings highlight the importance of designing and implementing integrated policies and programs by the government, supporting institutions, and the private sector to enhance export capacity and increase the international market share of greenhouse units.

Keywords: Barriers and constraints, Confirmatory factor analysis, Export, Greenhouse units, International entrepreneurial marketing

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
https://jead.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۴۰، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، ص. ۳۳۷-۳۱۹

تحلیل موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی از دیدگاه گلخانه‌داران استان تهران

محمد خراسانی[۱]- فاطمه رزاقی بورخانی[۱*]- طاهر عزیزی خالخیلی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۷

چکیده

بخش کشاورزی ایران با وجود اهمیت حیاتی، با چالش‌های ساختاری و ضعف در نظام بازاریابی کارآمد مواجه است. رویکرد بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی (IEM)، به‌عنوان یک استراتژی نوآورانه و فرصت‌محور برای خلق ارزش در بازارهای خارجی، برای واحدهای گلخانه‌ای استان تهران یک ضرورت راهبردی است. هدف اصلی پژوهش حاضر، شناسایی و تحلیل ساختارمند موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی در راستای ارائه راهکارهای راهبردی برای توسعه صادرات محصولات گلخانه‌ای است. جامعه آماری پژوهش شامل کلیه بهره‌برداران (مدیران و مالکان) واحدهای تولیدی سبزی و صیفی‌جات گلخانه‌ای فعال در چهار شهرستان کلیدی استان تهران شامل پاکدشت، پیشوا، ورامین و شهر ری بودند که مجموعاً ۱۹۳۴ واحد را تشکیل می‌دهند. با استناد به جدول کرجسی و مورگان، حجم نمونه ۳۲۲ واحد تعیین گردید. پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی-پیمایشی است. داده‌ها از طریق پرسشنامه گردآوری شده و موانع با استفاده از تحلیل عاملی تأییدی مبتنی بر روش PLS در نرم‌افزار SmartPLS نسخه ۳ مورد ارزیابی قرار گرفت. موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی با استفاده از هفت مؤلفه (شامل موانع اقتصادی-مالی، حمایتی-قانونی، زیرساختی-نهادی، سیاست‌گذاری-برنامه‌ریزی، بازاریابی سبز، آموزشی-اطلاع‌رسانی و اجتماعی-فرهنگی) و ۲۸ گویه نهایی مورد سنجش قرار گرفت. نتایج حاصل از تحلیل عاملی تأییدی حاکی از برازش و پایایی مطلوب ساختار هفت‌عاملی موانع است و تمامی مؤلفه‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنادار بودند. مطابق یافته‌ها، مهم‌ترین موانع بر اساس ضریب مسیر به‌ترتیب عبارت‌اند از: موانع اقتصادی-مالی (۰/۸۴۸)، موانع حمایتی-قانونی (۰/۸۲۰) و موانع زیرساختی-نهادی (۰/۸۱۹). همچنین، گویه‌های کلیدی با بالاترین بار عاملی شامل فقدان سرمایه کافی برای استانداردسازی تجهیزات واحدهای کسب‌وکار و تحریم‌های دولتی و محدودیت در ورود نهاده‌های تولیدی باکیفیت و مجاز بودند. نتایج پژوهش به‌وضوح نشان می‌دهد که موانع کلان محیطی و بیرونی، مؤثرترین چالش در محدودسازی بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی محسوب می‌شوند. رفع این محدودیت‌ها نیازمند مداخله جدی نهادهای دولتی در قالب حمایت مالی از صادرات، تسهیل فرایندهای اداری و توسعه زیرساخت‌های هوشمند و زنجیره تأمین سرد است. در این راستا، طراحی مکانیزم اعطای تسهیلات سرمایه‌ای هدفمند صادراتی با نرخ بهره پایین، به‌منظور استانداردسازی و مکانیزاسیون تجهیزات سردخانه‌ای و بسته‌بندی در واحدهای گلخانه‌ای پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی، تحلیل عاملی تأییدی، صادرات، موانع و محدودیت‌ها، واحدهای گلخانه‌ای

مقدمه

بخش کشاورزی، به‌عنوان یکی از ستون‌های حیاتی اقتصاد ملی و ضامن امنیت غذایی، همواره در کانون توجه سیاست‌گذاران بوده است. با این حال، در سال‌های اخیر، این بخش در ایران با روندی کاهشی در سهم اشتغال و چالش‌های ساختاری عدیده‌ای روبه‌رو گشته است (Khakzadian & Rezaei, 2021). این چالش‌ها دامنه گسترده‌ای از فشارهای جهانی‌سازی، تغییرات اقلیمی، نوسانات مستمر هزینه‌های تولید و ضعف حمایت‌های دولتی را شامل می‌شود (Khakzadian &

۱- گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: f.razzaghi@sanru.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jead.2026.96614.1403

(Rezaei, 2021). گذر از نظام تولید سنتی، معضلات بازاررسانی و عرضه محصولات کشاورزی را تشدید کرده است. سال‌هاست که ضعف نظام بازاریابی کارآمد، سلطه واسطه‌گران و دلالان در چرخه توزیع (Abbasi *et al*., 2019)، موجب کاهش درآمد کشاورزان خرده‌پا و تضعیف انگیزه تولید شده است (Anabestani & Tolabi Nejad, 2019). از این رو، ایجاد یک نظام بازاریابی و بازارسازی کارا (Zeratkish & Yousefi Motaghaed, 2017) و تکیه بر شرکت‌های کارآفرینانه و نوآور، به‌عنوان پیش‌شرط رونق و توسعه اقتصادی بخش کشاورزی مطرح می‌گردد (Khakzadian & Rezaei, 2021).

در این شرایط رقابتی، اتخاذ رویکردهای بازاریابی نوین حیاتی است، چرا که ضعف در مهارت‌های بازاریابی در کسب‌وکارهای کوچک، مستقیماً به عملکرد ضعیف و ریسک بالاتر شکست می‌انجامد (Toghraei & Rezvani, 2012). طی دو دهه اخیر، مفهوم بازاریابی کارآفرینانه (EM)[1] به‌عنوان یک حوزه تحقیقاتی نوظهور پدیدار شده است (Jones & Rowley, 2011). برخلاف رویکرد سنتی که عمدتاً بر «جهت‌گیری مشتری» و انطباق با نیازهای موجود متمرکز است (Crick, 2019)، رویکرد فرصت‌محور در بازاریابی کارآفرینانه مهم است. سازمان‌های با گرایش بازاریابی کارآفرینانه، دارای توانایی بالایی در پاسخگویی به محیط‌های متغیر، کنترل منابع، و فرصت‌طلبی هستند (Morrish & Deacon, 2011). این رویکرد شرکت‌ها را قادر می‌سازد تا به نیازهای پنهان و تقاضای آینده مشتریان پاسخ دهند و بر اساس نوآوری ارزش‌آفرینی کنند (Shirkhodaei *et al*., 2012). در این پارادایم، نقش محوری کارآفرینان در تعریف دیدگاه‌های نوآورانه و موفقیت شرکت بسیار برجسته است (Andersson *et al*., 2018; Yang, 2018)؛ به گونه‌ای که این رویکرد کارآفرینانه با اهداف استراتژیک کلانی همچون حل مسائل اقتصادی و اجتماعی، کاهش بیکاری، مهار فقر، جلوگیری از مهاجرت، افزایش تنوع درآمد و ارتقای امنیت‌غذایی پایدار پیوند خورده است (Modanloo *et al*., 2026). با تکیه بر چنین توانمندی‌هایی، صادرات به‌عنوان متداول‌ترین و در دسترس‌ترین راهبرد برای جهانی شدن شرکت‌های کوچک و متوسط مطرح می‌شود که می‌تواند پلی میان این ارزش آفرینی داخلی و بازارهای بین‌المللی باشد (Samadzad, 2025). در عصر رقابت جهانی، عدم حضور فعال در بازارهای بین‌المللی بقای کسب‌وکارهای داخلی را با تهدید روبه‌رو می‌سازد (Nooraee *et al*., 2015). لذا، صنایع برای کسب مزیت رقابتی و سودآوری بیشتر، باید با شناخت کامل به بازارهای جهانی وارد شده و به‌دنبال تسخیر بازارهای صادراتی باشند (Nooraee *et al*., 2015). مفهوم بازاریابی کارآفرینی به‌عنوان "شناسایی و بهره‌برداری فعال از فرصت‌ها برای به‌دست آوردن و حفظ مشتریان سودآور از طریق رویکردهای نوآورانه برای مدیریت ریسک، استفاده از منابع و ایجاد ارزش" است (Morris *et al*., 2002). هنگامی که رویکرد کارآفرینانه با الزامات بازارهای بین‌المللی در هم می‌آمیزد، مفهوم بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی (IEM)[2] شکل می‌گیرد که شامل توانایی بنگاه‌ها برای پیاده‌سازی استراتژی‌های نوآورانه و فرصت‌طلبانه در محیط‌های خارجی است. برای واحدهای تولیدی مانند گلخانه‌های استان تهران، که نیازمند رشد اقتصادی و دستیابی به درآمدهای ارزی هستند، ادغام ویژگی‌های فرصت‌طلبانه بازاریابی کارآفرینانه با الزامات بازارهای خارجی یک ضرورت راهبردی است. یافته‌های پژوهشی نیز بر اهمیت این رویکرد تأکید دارند: یانگ (Yang, 2018) استراتژی IEMرا شامل نوآوری، افزایش ارزش مشتری و گسترش بین‌المللی می‌داند و نشان می‌دهد که مدیران برای توسعه IEM از رویکرد بریکولاژ[3] (استفاده خلاقانه از منابع موجود) بهره می‌برند و عدم اطمینان محیطی و فرهنگ کارآفرینی را پیش‌بینی‌کننده‌های کلیدی اجرای آن می‌داند. همچنین، تحقیقات ناوارو گارسیا و همکاران (Navarro-García *et al*., 2015) بر وابستگی کارآفرینی صادرات به عوامل داخلی (تعهد مدیریتی) و محیط خارجی (شدت رقابت و فاصله بازارها) صحه می‌گذارند. وادانا و همکاران (Vadana *et al*., 2020) نیز تأثیر ابزارهایی مانند دیجیتالی شدن زنجیره ارزش در ارتقای سهم فروش خارجی شرکت‌ها با منابع محدود را اثبات کرده‌اند.

در بین فعالیت‌های مختلف کشاورزی، کشت گلخانه‌ای یک سیستم کشاورزی پرکاربرد برای ارائه یک محیط کنترل‌شده مناسب برای تولید بهینه محصول است (Yazgan *et al*,. 2008). مساحت واحدهای گلخانه‌ای در کشور ۱۷۱۳۴ است که ۱۲۷۷۷/۷ هکتار به سبزی و صیفی‌جات گلخانه‌ای و مساحت ۳۲۷۳/۷ هکتار به گل و گیاهان زینتی گلخانه‌ای و ۱۵۱/۹ هکتار گیاهان دارویی و ۵۲۶/۹ هکتار توت‌فرنگی گلخانه‌ای است. رتبه استان‌ها از لحاظ مساحت گلخانه‌ها نشان می‌دهد که حدود ۲۱ درصد از سهم گلخانه‌های کشور در استان تهران قرار گرفته است که رتبه نخست کشور را دارد (Statistical Center of Iran, 1400). استان تهران که به‌عنوان یکی از استان‌ها با بیشترین تراکم در زمینه گلخانه‌ها و افزایش سهم در میزان گلخانه‌ها همراه بوده است. سهم گلخانه‌های استان تهران در سال ۱۳۹۹ به نسبت سایر استان‌ها، از لحاظ مساحت حدود ۲۱ درصد رسیده است و رتبه نخست کشور را دارد (Statistical Center of Iran, 1400). در تولید محصولات خیار گلخانه‌ای، استان تهران در سال ۱۳۹۹ با ۲۵۰۲ هکتار مساحت گلخانه و ۷۵۹۲۸۸ تن تولید رتبه نخست را به خود اختصاص داده است (Agricultural Statistics, 1400).

1- Entrepreneurial Marketing- EM
2- International Entrepreneurial Marketing- IEM
3- Bricolage

استان تهران، به‌رغم برخورداری از مزایای منطقه‌ای و پتانسیل بالای تولید محصولات گلخانه‌ای، با چالش‌های جدی در مسیر بین‌المللی شدن مواجه است. این واحدها اغلب با مشکلاتی نظیر قیمت تمام شده بالای محصولات، عدم توانایی در صادرات پایدار، خرد بودن اندازه واحدهای تولیدی، عدم تولید مطابق با تقاضای بازارهای هدف، و نبود یک راهبرد مشخص صادراتی دست و پنجه نرم می‌کنند (Azizi *et al.*, 2017). اگرچه توسعه کشت گلخانه‌ای به‌دلیل سیاست‌های صرفه‌جویی در مصرف آب (Guo *et al.*, 2021؛Azizi *et al.*, 2017) رو به گسترش است، اما در عمل، موانع ساختاری و عملیاتی متعدد، توانایی این کارآفرینان را برای تبدیل فرصت‌های جهانی به ارزش اقتصادی محدود ساخته است. این موانع، همان عواملی هستند که ریسک‌پذیری و نوآوری کارآفرینان در سطح بین‌المللی را تضعیف می‌کنند: موانع مالی و قانونی، مانند نوسانات ارزی، عدم سهولت دسترسی به اعتبارات بانکی، و مشکلات حمل‌ونقل و گمرکی (Samadzad, 2025؛ Seifollahi onar *et al.*, 2021)؛ موانع بازاریابی، شامل ضعف در برندسازی، نبود تشکل‌های صادراتی، و عدم توجه به نیاز و سلیقه مصرف‌کنندگان در بازار هدف (Samadzad, 2025)؛ و عوامل کلان محیطی، نظیر تحریم‌ها و مشکلات نقل و انتقال پول، که مستقیماً بر انگیزه کارآفرینان اثر منفی می‌گذارد (Aghasafari *et al.*, 2024). ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2017) نیز بر تأثیر مثبت حمایت‌های دولت بر عملکرد صادراتی SMEها تأکید دارند. با توجه به محدودیت منابع و لزوم تمرکز سیاست‌گذاری‌ها بر رفع موانع ریشه‌ای، یک شکاف تحقیقاتی در زمینه اولویت‌بندی علمی این موانع از منظر ذی‌نفعان اصلی (بهره‌برداران) در استان تهران وجود دارد.

بنابراین، هدف اصلی این پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی محصولات گلخانه‌ای از دیدگاه بهره‌برداران استان تهران است. این پژوهش سعی دارد با تمرکز بر دیدگاه ذی‌نفعان اصلی، به این سؤال کلیدی پاسخ دهد که "مهم‌ترین موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی پیش‌روی گلخانه‌داران استان تهران کدامند و دارای چه اولویت نسبی هستند؟"

جدول ۱- طبقه‌بندی موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی محصولات گلخانه‌ای

Table 1- Classification of Barriers and Constraints to International Entrepreneurial Marketing of Greenhouse Products

متغیرها Variables	محققان/سال Researchers/Year
موانع اقتصادی و مالی Economic and financial barriers	Yeganeh & Saeid, (2011), Sudarevic *et al.*, (2017), Seifollahi onar *et al.*, (2021), Aghasafari *et al.* (2024), Zhao & Gao, (2025), Samadzad, (2025)
موانع حمایتی–قانونی Legal-supportive barriers	Yeganeh & Saeid, (2011), Uner *et al.*, (2013), Cahen *et al.*, (2015), Azizi *et al.*, (2017), Seifollahi onar *et al.*, (2021), Aghasafari *et al.* (2024), Zhao & Gao, (2025)
موانع زیرساختی–نهادی Infrastructural-institutional barriers	Yeganeh & Saeid, (2011), Soltanifar *et al.*, (2013), Zeratkish & Yousefi Motaghaed, (2017), Vadana *et al.*, (2020), Seifollahi onar *et al.*, (2021) ,Da Silveria *et al.*, (2023),
موانع بازاریابی سبز barriers to green marketing	Yeganeh & Saeid, (2011), Seifollahi onar *et al.*, (2021), Zhao & Gao, (2025)
موانع آموزشی–اطلاع‌رسانی Educational-information barriers	Toghraei & Rezvani (2012), Uner *et al.*, (2013), Cahen *et al.*, (2015), Shahabadi & Safaee (2017), Seifollahi onar *et al.*, (2021)
موانع اجتماعی–فرهنگی Socio-cultural barriers	Yeganeh & Saeid, (2011), Kaur & Madan, (2013), Soltanifar *et al.*, (2013)
موانع سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی Obstacles to policymaking and planning	Azizi *et al.*, (2017)

روش‌شناسی تحقیق

پژوهش حاضر از لحاظ هدف، کاربردی و از منظر رویکرد، کمی با ماهیت توصیفی–پیمایشی است که در یک مقطع زمانی (تک‌مقطعی) و با هدف اولویت‌بندی موانع بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی انجام شده است. جامعه آماری (N) پژوهش شامل کلیه بهره‌برداران (مدیران/مالکان) واحدهای تولیدی سبزی و صیفی‌جات گلخانه‌ای فعال در چهار شهرستان کلیدی استان تهران یعنی پاکدشت، پیشوا، ورامین، و شهر ری می‌باشد که مجموعاً ۱۹۳۴ واحد را تشکیل می‌دهند. حجم نمونه (n) مورد مطالعه با استفاده از جدول مورگان، ۳۲۲ واحد تعیین و نمونه‌گیری به روش تصادفی طبقه‌بندی شده با انتساب متناسب انجام

پذیرفت. ابزار اصلی گردآوری داده‌ها، پرسشنامه محقق‌ساخته شامل ۲ بخش اصلی: بخش اول مربوط به ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای است که سوالات به صورت بسته و باز طراحی شد و بخش دوم شامل ۷ مؤلفه اصلی (موانع) بود که در قالب موانع زیرساختی–نهادی (۶ نشانگر)، موانع اقتصادی و مالی (۸ نشانگر)، موانع سیاست‌گزاری و برنامه‌ریزی (۷ نشانگر)، موانع اجتماعی–فرهنگی (۵ نشانگر)، موانع آموزشی–اطلاع‌رسانی (۷ نشانگر)، موانع حمایتی–قانونی (۵ نشانگر) و موانع بازاریابی سبز (۶ نشانگر) طراحی شد. به‌طورکلی موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی با هفت مؤلفه و ۴۴ نشانگر که به‌صورت طیف لیکرت از ۱ تا ۵ (۱– خیلی کم، ۲– کم، ۳– متوسط، ۴– زیاد، ۵– خیلی زیاد) سنجیده شد. روایی صوری و محتوایی آن توسط پنل خبرگان تأیید و پایایی درونی آن با ضرایب آلفای کرونباخ ارزیابی و تأیید شد (جدول ۲). در مراحل طراحی پرسشنامه محقق‌ساخته ابتدا گویه‌ها بر اساس مرور نظام‌مند ادبیات پژوهش استخراج شدند، سپس از طریق بازبینی و پالایش مفهومی بومی‌سازی گردیدند. در ادامه، روایی محتوایی پرسشنامه با استفاده از نظر خبرگان دانشگاهی و متخصصان حوزه موضوعی بررسی و بر اساس بازخوردهای دریافتی اصلاحات لازم اعمال شد. در نهایت، نسخه نهایی پرسشنامه پس از اطمینان از پوشش مناسب سازه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۲- پایایی ابزار تحقیق

Table 2- Reliability of the Research Instrument

متغیر Variable	ضریب آلفا Alpha coefficient	متغیر Variable	ضریب آلفا Alpha coefficient
موانع زیرساختی–نهادی Infrastructural-institutional barriers	0.787	موانع آموزشی–اطلاع‌رسانی Educational-Information barriers	0.702
موانع اقتصادی و مالی Economic and financial barrier	0.642	موانع حمایتی–قانونی Legal-supportive barriers	0.711
موانع سیاست‌گزاری و برنامه‌ریزی Barriers to policymaking and planning	0.855	موانع بازاریابی سبز Barriers to green marketing	0.808
موانع اجتماعی–فرهنگی Socio-cultural barriers	0.635		

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS v.26 (برای آمار توصیفی) و نرم‌افزار Smart PLS v.3 (برای آمار استنباطی) انجام شد. برای تبیین ساختار عاملی موانع، از روش تحلیل عاملی تأییدی استفاده گردید. فرآیند تعیین وزن و اولویت‌بندی موانع نیز بر اساس بارهای عاملی و اهمیت هر مؤلفه در تبیین متغیر پنهان "موانع بازاریابی کارآفرینانه" صورت پذیرفت. استفاده از این روش، امکان بررسی همزمان مدل اندازه‌گیری (رابطه گویه‌ها با موانع) و سنجش اعتبار سازه را در محیط نرم‌افزار فراهم آورد.

بر اساس چارچوب نظری تحقیق در نتیجه مطالعات نظری و پیشینه تحقیقات انجام گرفته شده متغیر نهفته موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی با هفت مؤلفه و ۴۴ نشانگر وارد تحلیل عامل تأییدی شدند. در اجرای مدل نهایی تحقیق، حدود ۱۵ نشانگرها از در مجموع ابعاد موانع به‌دلیل پایین بودن بار عاملی یا معناداری حذف شدند؛ برخی گویه‌ها به‌دلیل ابهام مفهومی یا هم‌پوشانی با سایر گویه‌ها و برخی دیگر به‌دلیل عدم تطابق با تجربه عملی پاسخ‌دهندگان بارعاملی پایینی داشتند. این رویکرد موجب شد حذف گویه‌ها علاوه بر معیار آماری، پشتوانه نظری و عملی نیز داشته باشد و سازه‌ها از نظر همگرایی و پایایی تقویت شوند.در خروجی نرم‌افزار برای مدل اندازه‌گیری مورد استفاده، ضرایب مسیر و ضریب معنی‌داری (t-value) در سطح خطای ۰/۰۱ و در سطح اطمینان ۹۹ درصد محاسبه شد. مطابق با نتایج جدول ۵، ضرایب مسیر و بارهای عاملی هر یک از گویه‌ها برابر یا بزرگتر از ۰/۵ و با ضریب‌معنی‌داری بزرگتر از ۲/۵۸ مورد تأیید قرار گرفت. همچنین، شاخص‌های ارزیابی مدل اندازه‌گیری و ساختاری با استفاده از نرم‌افزار SmartPLS برای مقادیر آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی (CR) برای تمامی مؤلفه‌ها در محدوده قابل قبول (بالاتر از ۰/۶ و ۰/۸) قرار گرفت که نشان‌دهنده اعتبار بالای درونی و سازگاری سازه‌ها در سنجش مفاهیم مورد نظر است. همچنین، روایی واگرا و همگرا به‌ترتیب با استفاده از معیار فورنل و لارکر و بارهای عاملی مورد تأیید قرار گرفتند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای پاسخگویان

بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده، با توجه به جدول ۳، حدود ۹۷ درصد از پاسخگویان مرد بودند. از منظر سنی، ۵۳/۴ درصد از پاسخگویان در رده بالای ۴۵ سال قرار می‌گیرند. در زمینه سطح تحصیلات، ۶۰/۹ درصد از بهره‌برداران دارای مدرک در حد متوسطه بوده و حدود ۲۸/۵ درصد از گلخانه‌داران از تحصیلات دانشگاهی

برخوردار هستند. این تولیدکنندگان (با سابقه متوسط ۱۲ سال تجربه در فعالیت‌های کشاورزی) عموماً دارای سیستم‌های مدرن گلخانه‌ای (۹۲/۵ درصد) بودند و تمرکز تولیدشان عمدتاً بر کشت گوجه‌فرنگی و خیار سبز معطوف بود. در خصوص بهره‌مندی از حمایت‌ها و تسهیلات، نتایج نشان‌دهنده اختلاف فاحش در استفاده از زیرساخت‌ها است؛ به طوری‌که ۹۱/۹ درصد از گلخانه‌داران از یارانه سوخت استفاده کرده‌اند، در حالی‌که این سهم برای تسهیلات حیاتی چون آبیاری قطره‌ای ۱۲/۴ درصد و برای فناوری‌های نوین مانند فیبر نوری و پنل خورشیدی تنها ۰/۳درصد بوده است. در حوزه بازاریابی محصولات، الگوی غالب فروش بر عرضه عمده به میادین میوه و تره‌بار و واسطه‌ها در داخل استان (۹۴/۱ درصد) متمرکز است. در مقابل این شیوه سنتی، سهم فروش اینترنتی در شبکه‌های مجازی و وب‌سایت‌ها و همچنین صادرات به سایر کشورها بسیار ناچیز بوده و برای هر یک از این روش‌ها تنها ۰/۹ درصد از جامعه را شامل می‌شود.

جدول ۳- خصوصیات فردی و حرفه‌ای پاسخگویان

Table 3- Personal and professional characteristics of respondents

متغیرها Variables		فراوانی Frequency	درصد Percentage
جنسیت/ Gender	زن/ Woman	8	2.5
	مرد/ Man	314	97.5
سن Old	Less than 30	11	3.4
	31-45	137	42.5
	46-60	169	52.5
	More than 60	3	0.9
تحصیلات Education	زیر دیپلم/ Less than a diploma	34	10.5
	دیپلم/ Diploma	196	60.9
	کاردانی/ Associate	40	12.4
	لیسانس و بالاتر از لیسانس Bachelor's degree and above	52	16.1
تجربه Experience	میانگین سابقه کشاورزی Average agricultural experience	-	12.12
نوع سیستم گلخانه‌ای Type of greenhouse system	سنتی/Traditional	7	2.2
	مدرن/ Modern	298	92.5
	سنتی و مدرن/ Traditional and Modern	16	5.0
محصولات گلخانه‌ای Greenhouse products	خیار سبز/ Green Cucumber	107	33.2
	گوجه فرنگی/Tomato	144	44.7
	فلفل دلمه‌ای/Bellied Pepper	62	19.3
	بادمجان/Eggplant	7	2.2
زمینه‌های دریافت تسهیلات بانکی Areas for receiving bank facilities	یارانه سوخت/Fuel Subsidy	297	86.6
	فیبر و پنل نوری/Fiber and Optical Panels	1	0.3
	آبیاری قطره‌ای/Drip Irrigation	23	7.1
	یارانه سوخت و آبیاری قطره‌ای Fuel Subsidy and Drip Irrigation	17	5.3
بازاریابی محصول Product Marketing	عرضه عمده به میادین میوه و تره‌بار و واسطه‌ها در داخل استان/ Major supply to fruit and vegetable markets and intermediaries within the province	303	94.1
	سهم فروش اینترنتی در شبکه‌های مجازی و وب‌سایت‌ها/ Share of Internet sales on virtual networks and websites	3	0.9
	صادرات به سایر کشورها/ Exports to other countries	3	0.9

اولویت‌بندی موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی

با توجه به جدول ۴ نتایج تحلیل‌های پیمایشی و اولویت‌بندی مؤلفه‌های موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی از منظر گلخانه‌داران استان تهران، بیانگر تفاوت معناداری در شدت و اهمیت این موانع است. در یک نگاه کلان، موانع اقتصادی و مالی با کسب بالاترین میانگین (۴/۰۲ از ۵) به‌عنوان مهم‌ترین و ریشه‌ای‌ترین

عامل بازدارنده شناسایی شدند. این یافته، تأکید ویژه‌ای بر چالش‌های کلان محیطی و پولی در مسیر صادرات دارد. در مقابل، موانع اجتماعی–فرهنگی با کمترین میانگین (۲/۸۸ از ۵)، در اولویت آخر قرار گرفتند. موانع سیاست‌گزاری و برنامه‌ریزی، زیرساختی–نهادی، بازاریابی سبز، حمایتی–قانونی، و آموزشی–اطلاع‌رسانی نیز به‌ترتیب، اولویت‌های دوم تا ششم را به خود اختصاص دادند.

بررسی مؤلفه‌ها در سطح گویه‌ها، اهمیت مسئله را آشکار می‌سازد، مطابق با نتایج پژوهش در جدول ۴، در موانع اقتصـــادی و مالی، شدیدترین مانع شناسایی شده در تمامی ابعاد مربوط به "قیمت مناسب و پایین‌تر رقبای خارجی در بازار" با میانگین کم‌نظیر ۴/۹۸ بود. این امر نشان می‌دهد که چالش‌های قیمتی و عدم توانایی در رقابت‌پذیری، بالاتر از سایر مشکلات قرار دارد. در کنار آن، "ریسک و هزینه بالای صـــادرات محصـــولات کشـــاورزی" (۴/۸۶) به‌عنوان دومین مانع، بر بی‌ثباتی‌های کلان اقتصاد ملی و هزینه‌های عملیاتی تحمیل شده بر صـــادرکنندگان تأکید می‌کند. در بخش موانع ســـیاســـت‌گزاری و برنامه‌ریزی، عدم اطمینان به فضـــای کســـب‌وکار، عامل غالب اســـت. "عدم وجود امنیت و ثبات برای ســـرمایه‌گذاری در بخش کشـــاورزی" (۴/۴۳) در رتبه اول و گویه "عدم وجود بازار مشخص و ثابت منطقه‌ای جهت تولید محصـــول" (۴/۱۸) با قرار گرفتن در رتبه دوم، بر لزوم تدوین ســـیاســـت‌های حمایتی مســـتمر و ایجاد افق بلندمدت برای تولیدکنندگان تأکید دارند.

در موانع حمایتی–قانونی "بروکراسی پیچیده اداری اخذ مجوزهای صادرات و توسعه بازار" (۴/۳۸) به‌عنوان عامل نخست، حاکی از فرسایش منابع کارآفرینان درگیر با فرآیندهای اداری دست‌وپاگیر است. نکته قابل توجه، قرارگیری "نبود یارانه و تسهیلات برای تولید محصول سالم و صادراتی" (۲/۹۰) در پایین‌ترین اولویت این بخش است که نشان می‌دهد اصلاح ساختارهای اداری، از دریافت حمایت‌های مستقیم مالی، نزد بهره‌برداران مهم‌تر تلقی شده است. در بعد موانع زیرساختی–نهادی، "نبود شبکه و زیرساخت‌های هوشمند برای بازاریابی اینترنتی و جهانی" (۳/۹۱) و "نبود سیستم‌های مکانیزه بسته‌بندی" (۳/۹۰) بالاتر از ضعف در حمل‌ونقل فیزیکی قرار گرفتند. این نتایج به ضعف در فناوری‌های نوین و مکانیزاسیون اشاره دارد که مؤید نیاز به تحول دیجیتال و توجه به استانداردسازی جهانی در فرآیند صادرات است. در موانع بازاریابی سبز، گویه "عدم ایجاد انگیزه ملموس واقعی صادرات از سوی دولت" (۴/۹۱) نسبت به سایر گویه‌ها اولویت دارد، و نیز در بخش آموزشی و اطلاع‌رسانی، "نبود تبلیغ مؤثر مانند حضور در نمایشگاه‌های بین‌المللی" (۴/۱۵) بالاترین امتیاز را کسب کرد. همچنین، در موانع اجتماعی–فرهنگی، معضل "حاکمیت فرهنگ دلالی و واسطه‌گری در بازار" (۳/۱۱) به‌عنوان ریشه سایر ناکارآمدی‌ها، برجسته شده است.

جدول ٤- اولویت‌بندی موانع بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی

Table 4- Coefficient of variation values of international entrepreneurial marketing barriers

مؤلفه‌ها Components	گویه‌ها Items	میانگین Average	انحراف معیار Standard deviation	اولویت Priority
موانع اقتصادی و مالی Economic and financial obstacles	فقدان سرمایه کافی برای تجهیز استاندارد واحد کسب‌وکار Lack of sufficient capital to equip the business unit to the standard	3.70	1.35	5
	هزینه بالا نیروی کار فصلی High cost of seasonal labor	4.18	0.38	3
	نبود حمایت مناسب دولت در پرداخت وام و تسهیلات دولتی مانند بهره بالای وام‌های بانکی Lack of proper government support in paying loans and government facilities, such as high interest rates on bank loans	3.66	1.04	6
	عدم ثبات و نوسان زیاد قیمت محصولات تولیدی Instability and high volatility of product prices	3.77	1.04	4
	توزیع محصول به صورت عمده فروشی و قیمت پایین Product distribution in wholesale and low prices	3.67	1.02	7
	بالابودن تعرفه‌های حمل و نقل High transportation tariffs	3.35	1.05	8
	قیمت مناسب و پایین‌تر رقبای خارجی در بازار Reasonable price and lower than foreign competitors in the market	4.98	0.13	1
	ریسک و هزینه بالای صادرات محصولات کشاورزی در کشور The high risk and cost of exporting agricultural products in the country	4.86	0.55	2
	کل/Total	4.02	0.51	1

موانع سیاست‌گزاری و برنامه‌ریزی Obstacles to policymaking and planning	عدم وجود امنیت و ثبات برای سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی Lack of security and stability for investment in the agricultural sector	4.43	1.04	1
	عدم هماهنگی ادارات و سازمان‌های مختلف صادرات محصولات Lack of coordination between various departments and organizations for exporting products	3.72	1.33	3
	نامناسب بودن سیاست‌های ارزی دولت Inappropriate government currency policies	3.47	1.08	7
	قوانین و استانداردهای سخت صادرات محصولات Strict rules and standards for exporting products	3.65	1.15	4
	ضعف نظام بیمه‌ای کشاورزی Weakness of the agricultural insurance system	3.51	1.11	6
	عدم شناخت و آگاهی از سیاست کشور در بازار منطقه‌ای و بین‌المللی Lack of knowledge and awareness of the country's policy in the regional and international market	3.56	1.07	5
	عدم وجود بازار مشخص و ثابت منطقه‌ای جهت تولید محصول مورد نیاز آن کشور The absence of a specific and stable regional market for the production of the product needed by that country.	4.18	1.10	2
	کل/ Total	3.78	0.76	2
موانع زیرساختی-نهادی Infrastructural-institutional barriers	نبود شبکه و زیرساخت‌های هوشمند برای بازاریابی اینترنتی و جهانی Lack of smart networks and infrastructure for internet and global marketing	3.91	1.26	1
	نبود چارچوب‌های نهادی مناسب برای حمایت از صادرت محصولات در واحدهای تولیدی کوچک Lack of appropriate institutional frameworks to support the export of products in small production units	3.59	0.98	5
	عدم دسترسی آسان به نهاده‌های مجاز و سالم (بذر، سموم و...) برای تولید محصول با استاندارد جهانی Lack of easy access to authorized and healthy inputs (seeds, pesticides, ...) for producing products with global standards	3.76	0.97	4
	عدم وجود سردخانه برای نگهداری محصولات تولیدی Lack of cold storage for storing manufactured products	3.76	1.02	3
	ضعف در سیستم حمل‌ونقل Weakness in the transportation system	3.55	1.08	6
	نبود سیستم‌های مکانیزه بسته‌بندی Lack of mechanized packaging systems	3.90	0.96	2
	کل/ Total	3.74	0.74	3
موانع بازاریابی سبز Obstacles to green marketing	عدم ایجاد انگیزه ملموس واقعی صادرات از سوی دولت The government's failure to create real tangible incentives for exports	4.91	0.40	1
	هزینه بالای سرمایه‌گذاری برای تولید محصولات سبز High investment cost for producing green products	3.03	1.19	5
	فقدان اطمینان از بازار و فروش محصول گلخانه‌ای سالم در سطح بین‌المللی Lack of market confidence and international sales of healthy greenhouse products	3.03	0.87	6
	تهدیدهای بازار جهانی تورم، تحریم اقتصادی و جنگ Global market threats: inflation, economic sanctions, and war	3.32	1.09	4
	نبود شرایط رقابت پذیری محصول تولیدی داخل در سطح بین‌المللی Lack of conditions for competitiveness of domestically produced products at the international level	3.41	1.14	3
	عدم حمایت دولت در خرید تضمینی محصولات برند سبز و سالم Lack of government support in guaranteed purchase of green and healthy brand products	3.78	1.10	2

	کل/ Total	3.58	1.17	4
موانع حمایتی- قانونی Legal-supportive obstacles	بروکراسی پیچیده اداری اخذ مجوزهای صادرات و توسعه بازار محصول Complex administrative bureaucracy in obtaining export licenses and developing the product market	4.38	1.06	1
	مشکلات دریافت مجوز برای صادرات و بازاریابی بین‌المللی Problems obtaining permits for export and international marketing	3.39	1.10	4
	تحریم دولتی و عدم ورود نهاده‌های تولید با کیفیت و مجاز Government sanctions and the lack of import of quality and authorized production inputs	3.49	1.14	3
	نبود حمایت مشخص بیمه‌ای و مالیاتی و گمرکی به تولیدکنندگان در بازاریابی بین‌المللی Lack of specific insurance, tax, and customs support for producers in international marketing	3.74	1.08	2
	نبود یارانه و تسهیلات برای تولید محصول سالم و صادراتی Lack of subsidies and facilities for producing healthy and exportable products	2.90	1.15	5
	کل/ Total	3.57	0.65	5
موانع آموزشی- اطلاع رسانی Educational-Information Barriers	کمبود دانش و اطلاعات کارشناسان برای تولید محصولات سبز و صادراتی Lack of expert knowledge and information for producing green and exportable products	2.41	0.74	7
	کمبود نیروی انسانی متخصص در مدیریت بازار و تجارت بین‌المللی Lack of human resources specialized in market management and international trade	2.88	1.00	6
	کمبود خدمات مشاوره‌ای مناسب در شناخت انواع محصولات با مزیت رقابتی در بازاریابی بین‌المللی Lack of appropriate consulting services in identifying types of products with competitive advantages in international marketing	3.11	0.83	5
	فقدان آموزش مهارت‌های کارآفرینانه در بازاریابی بین‌المللی محصولات Lack of entrepreneurial skills training in international product marketing	3.43	1.19	3
	عدم وجود برنامه‌های آموزشی- ترویجی در مورد نحوه صادرات محصولات Lack of educational and promotional programs on how to export products	3.42	1.33	4
	نبود تبلیغ موثر مانند حضور در نمایشگاه‌های بین‌المللی در زمینه بازاریابی بین‌المللی محصولات گلخانه‌ای Lack of effective advertising, such as attending international exhibitions in the field of international marketing of greenhouse products	4.15	1.11	1
	کمبود مهارت فنی و عملی گلخانه داران در تولید و بازاریابی محصول استاندارد Lack of technical and practical skills of greenhouse owners in producing and marketing standard products	4.06	1.11	2
	کل/ Total	3.35	0.58	6
موانع اجتماعی-فرهنگی Socio-cultural barriers	عدم تشکیل تعاونی‌هاو اتحادیه‌های تولید و صادرات محصول استاندارد Lack of formation of cooperatives and unions for the production and export of standard products	2.43	0.92	5
	حاکمیت فرهنگ دلالی و واسطه‌گری در بازار The dominance of brokerage and mediation culture in the market	3.11	1.00	1
	نبود بستر فرهنگ و آموزش کارآفرینی و پرورش خلاقیت و نوآوری در تولید Lack of a cultural and educational environment for entrepreneurship and fostering creativity and innovation in production	2.93	0.93	3
	ناتوانی در تماس و ارتباطات با مشتریان بالقوه در خارج از کشور به علل گوناگون از جمله ضعف در زبان Inability to contact and communicate with potential customers abroad due to various reasons, including language difficulties	3.06	0.57	2

	عدم اعتماد مردم به خرید در بستر وب People's lack of trust in online shopping	2.88	1.03	4
	کل/ Total	2.88	0.61	7

مقیاس لیکرت: ۱- خیلی کم، ۲- کم، ۳- متوسط، ۴- زیاد، ۵- خیلی زیاد
Likert scale: 1- very low, 2- low, 3- moderate, 4- high, 5- very high

جدول ۵- بارهای عاملی و ضرایب مسیر متغیرهای مؤلفه‌های محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی
Table 5- Factor loadings and path coefficients of the international entrepreneurial marketing constraints components

مؤلفه‌ها Components	نمادها Symbols	متغیرهای آشکار Observed variables	بار عاملی Factor loading	ضریب مسیر Path coefficient	مقدار t T-value
موانع زیرساختی -نهادی Infrastructural-institutional barriers	IIB1	نبود شبکه و زیرساخت‌های هوشمند برای بازاریابی اینترنتی و جهانی Lack of smart networks and infrastructure for internet and global marketing	0.803	0.819	37.048
	IIB2	نبود چارچوب‌های نهادی مناسب برای حمایت از صادرت محصولات در واحدهای تولیدی کوچک Lack of appropriate institutional frameworks to support the export of products in small production units	0.702		20.819
	IIB3	عدم دسترسی آسان به نهاده‌های مجاز و سالم (بذر، سموم و...) برای تولید محصول با استاندارد جهانی Lack of easy access to authorized and healthy inputs (seeds, pesticides, ...) for producing products with global standards	0.756		24.827
	IIB5	ضعف در سیستم حمل و نقل Weakness in the transportation system	0.782		33.268
موانع اقتصادی و مالی Economic and financial obstacles	ESB1	فقدان سرمایه کافی برای تجهیز استاندارد واحد کسب‌وکار Lack of sufficient capital to equip the business unit to the standard	0.844	0.848	52.870
	ESB3	نبود حمایت مناسب دولت در پرداخت وام و تسهیلات دولتی مانند بهره بالای وام‌های بانکی Lack of proper government support in paying loans and government facilities, such as high interest rates on bank loans	0.715		2.205
	ESB4	عدم ثبات و نوسان زیاد قیمت محصولات تولیدی Instability and high volatility of product prices	0.710		0.103
	ESB5	توزیع محصول به صورت عمده فروشی و قیمت پایین Product distribution in wholesale and low prices	0.697		17.428
	ESB6	بالابودن تعرفه‌های حمل و نقل High transportation tariffs	0.688		17.197
موانع سیاست‌گزاری و برنامه‌ریزی Obstacles to policymaking and planning	PPB3	نامناسب بودن سیاست‌های ارزی دولت Inappropriate government currency policies	0.711	0.607	21.841
	PPB4	عدم وجود امنیت و ثبات برای سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی Lack of security and stability for investment in the agricultural sector	0.681		16.566
	PPB5	ضعف نظام بیمه‌ای کشاورزی Weakness of the agricultural insurance system	0.814		32.156
	PPB6	عدم شناخت و آگاهی از سیاست کشور در بازار منطقه‌ای و بین‌المللی Lack of knowledge and awareness of the country's policy in the regional and international market	0.793		29.739
موانع اجتماعی- فرهنگی Socio-cultural barriers	SCB1	عدم تشکیل تعاونی‌هاو اتحادیه‌های تولید و صادرات محصول استاندارد Lack of formation of cooperatives and unions for the production and export of standard products	0.750	0.672	21.446
	SCB2	حاکمیت فرهنگ دلالی و واسطه‌گری در بازار	0.745		18.650

		The dominance of brokerage and mediation culture in the market			
	SCB3	نبود بستر فرهنگ و آموزش کارآفرینی و پرورش خلاقیت و نوآوری در تولید Lack of a cultural and educational environment for entrepreneurship and fostering creativity and innovation in production	0.766		19.740
	SCB5	عدم اعتماد مردم به خرید در بستر وب People's lack of trust in online shopping	0.755		25.645
موانع آموزشی- اطلاع رسانی Educational-Information Barriers	EIB2	کمبود نیروی انسانی متخصص در مدیریت بازار و تجارت بین‌المللی Lack of human resources specialized in market management and international trade	0.851	0.753	51.522
	EIB3	کمبود خدمات مشاوره‌ای مناسب در شناخت انواع محصولات با مزیت رقابتی در بازاریابی بین‌المللی Lack of appropriate consulting services in identifying types of products with competitive advantages in international marketing	0.670		14.407
	EIB4	فقدان آموزش مهارت‌های کارآفرینانه در بازاریابی بین‌المللی محصولات Lack of entrepreneurial skills training in international product marketing	0.717		22.548
	EIB5	عدم وجود برنامه‌های آموزشی- ترویجی در مورد نحوه صادرات محصولات Lack of educational and promotional programs on how to export products	0.718		23.712
موانع حمایتی- قانونی Legal-supportive obstacles	SLB2	مشکلات دریافت مجوز برای صادرات و بازاریابی بین‌المللی Problems obtaining permits for export and international marketing	0.773	0.673	30.620
	SLB3	تحریم دولتی و عدم ورود نهاده‌های تولید با کیفیت و مجاز Government sanctions and the lack of import of quality and authorized production inputs	0.797		31.331
	SLB4	نبود حمایت مشخص بیمه‌ای و مالیاتی و گمرکی به تولیدکنندگان در بازاریابی بین‌المللی Lack of specific insurance, tax, and customs support for producers in international marketing	0.685		17.125
	SLB5	نبود یارانه و تسهیلات برای تولید محصول سالم و صادراتی Lack of subsidies and facilities for producing healthy and exportable products	0.584		11.443
موانع بازاریابی سبز Obstacles to green marketing	EMB3	فقدان اطمینان از بازار و فروش محصول گلخانه‌ای سالم در سطح بین‌المللی Lack of market confidence and international sales of healthy greenhouse products	0.770	0.766	27.235
	EMB4	تهدیدهای بازار جهانی تورم، تحریم اقتصادی و جنگ Global market threats: inflation, economic sanctions, and war	0.829		40.147
	EMB5	نبود شرایط رقابت‌پذیری محصول تولیدی داخل در سطح بین‌المللی Lack of conditions for competitiveness of domestically produced products at the international level	0.765		24.865
	EMB6	عدم حمایت دولت در خرید تضمینی محصولات برند سبز و سالم Lack of government support in guaranteed purchase of green and healthy brand products	0.804		36.010

برازش مدل اندازه‌گیری موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی

با توجه به جدول ۵، مقادیر بارهای عاملی برای تمامی نشانگرهای انتخاب شده برای هر هفت مؤلفه موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی بالاتر از حد آستانه ۰/۵ (Hair *et al.*, 2017) و مقادیر آماره t نیز بالاتر از ۲/۵۸ بود؛ این امر بیانگر آن است که تمامی نشانگرهای انتخاب شده برای سنجش سازه‌های مدل از برازش و اعتبار لازم برخوردارند.

به‌منظور سنجش پایایی مرکب، از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد. بر اساس دیدگاه سالووسی و همکاران (Salvucci *et al.*, 1997) ضرایب بالاتر از ۰/۵ نشان‌دهنده قابلیت اطمینان متوسط و مقادیر بالاتر از ۰/۸ نشان‌دهنده پایایی بالاتر هستند. مطابق با نتایج پژوهش در جدول ۶، مقادیر آلفای کرونباخ برای تمامی مؤلفه‌ها بالاتر از آستانه پذیرش (۰/۶) قرار دارد، لذا متغیرهای آشکار از سازگاری درونی خوبی برخوردارند. همچنین مقدار CR بزرگتر از ۰/۸ نشان‌دهنده پایایی قابل قبول است. برای سنجش روایی همگرا در برازش مدل‌های اندازه‌گیری با استفاده از نرم‌افزار PLS از شاخص AVE برای سنجش میزان تأثیر نشانگرها بر واریانس سازه، استفاده می‌شود. لذا، مطابق با نتایج حاصل از پژوهش مقدار AVE بالاتر از ۰/۵ بدست آمد که روایی سازه مدل را تأیید می‌کند.

جدول ٦- شاخص‌های ارزیابی برازش مدل

Table 6- Model fit evaluation indices

	ضریب مسیر Path coefficient	مقدار t T-value	R^2	CR	AVE	آلفای کرونباخ (α)
موانع زیرساختی- نهادی Infrastructural-institutional barriers	0.819	37.992	0.670	0.846	0.850	0.759
موانع اقتصادی و مالی Economic and financial obstacles	0.848	55.119	0.719	0.852	0.537	0.783
موانع سیاست‌گزاری و برنامه‌ریزی Obstacles to policymaking and planning	0.607	14.263	0.367	0.838	0.565	0.746
موانع اجتماعی- فرهنگی Socio-cultural barriers	0.762	20.336	0.452	0.841	0.569	0.749
موانع آموزشی- اطلاع‌رسانی Educational-Information Barriers	0.753	32.401	0.566	0.829	0.550	0.782
موانع حمایتی-قانونی Legal-supportive obstacles	0.820	40.794	0.673	0.805	0.511	0.673
موانع بازاریابی سبز Obstacles to green marketing	0.766	25.133	0.587	0.871	0.627	0.802

جهت سنجش روایی واگرا در مدل اندازه‌گیری، از ماتریس فورنل و لارکر استفاده شد. این ماتریس با مقایسه جذر میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE) با ضریب همبستگی میان سازه‌ها، تضمین می‌کند که هر عامل (مانع) به‌طور معناداری از سایر عوامل متمایز است. بر این اساس، در ادامه تجزیه‌وتحلیل این ماتریس و بررسی برازش مدل اندازه‌گیری انجام شده است. مطابق با جدول ۷ مدل از روایی واگرا خوبی برخوردار است.

پس از ارزیابی و تأیید برازندگی بخش اندازه‌گیری، ارزیابی برازندگی بخش ساختاری انجام شده است. به‌منظور ارزیابی معنادار بودن رابطه بین متغیرها از آماره t-value در سطح خطای یک درصد برای عامل مرتبه دوم مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج مطابق با جدول ۶ کلیه ضرایب مسیر از نظر آماری در مدل عاملی مرتبه دوم فرض‌شده از مقدار ۲/۵۸ بزرگتر است و در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است و همبستگی‌های مشاهده شده تأیید می‌گردد. به عبارتی می‌توان بیان داشت که عوامل و سازه‌های هفت‌گانه مشخص‌شده به عنوان چالش‌ها و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی از همسویی بالایی برخوردار هستند.

تفسیر مدل موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی از تحلیل عاملی تاییدی

بر اساس شکل ۱، از میان محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی، موانع اقتصادی و مالی (با ضریب مسیر ۰/۸۴۸) مؤثرترین چالش است. در موانع اقتصادی و مالی بر اساس بارهای عاملی، به ترتیب فقدان سرمایه کافی برای تجهیز استاندارد واحد کسب‌وکار (۰/۸۴۴) و نبود حمایت مناسب دولت در پرداخت وام و تسهیلات دولتی

مانند بهره بالای وام‌های بانکی (۰/۷۱۵) جزء مهم‌ترین موانع اقتصادی و مالی بودند. پس از موانع اقتصادی و مالی، موانع حمایتی- قانونی (با ضریب مسیر ۰/۸۲۰) به‌ترتیب با دو عامل تحریم دولتی و عدم ورود نهاده‌های تولید با کیفیت و مجاز (۰/۷۹۷) و مشکلات دریافت مجوز برای صادرات و بازاریابی بین‌المللی (۰/۷۷۳) از مؤثرترین چالش‌ها است.

جدول ۷- ماتریس سنجش روایی واگرا (معیار فورنل-لارکر)

Table 7- Discriminant validity measurement matrix (Fornell-Larker criterion)

متغیرها	موانع آموزشی- اطلاع‌رسانی Educational-information barriers	موانع بازاریابی سبز Obstacles to green marketing	موانع اقتصادی و مالی Economic and financial obstacles	موانع زیرساختی- نهادی Infrastructural-institutional barriers	موانع سیاست‌گزاری و برنامه‌ریزی Obstacles to policymaking and planning	موانع اجتماعی- فرهنگی Socio-cultural barriers	موانع حمایتی- قانونی Legal-supportive obstacles
موانع آموزشی- اطلاع‌رسانی Educational-Information Barriers	0.742						
موانع بازاریابی سبز Obstacles to green marketing	0.524	0.792					
موانع اقتصادی و مالی Economic and financial obstacles	0.547	0.596	0.733				
موانع زیرساختی-نهادی Infrastructural-institutional barriers	0.443	0.588	0.682	0.762			
موانع سیاست‌گزاری و برنامه‌ریزی Obstacles to policymaking and planning	0.279	0.387	0.438	0.576	0.752		
موانع اجتماعی-فرهنگی Socio-cultural barriers	0.604	0.387	0.434	0.402	0.275	0.754	
موانع حمایتی- قانونی Legal-supportive obstacles	0.619	0.511	0.672	0.604	0.387	0.551	0.715

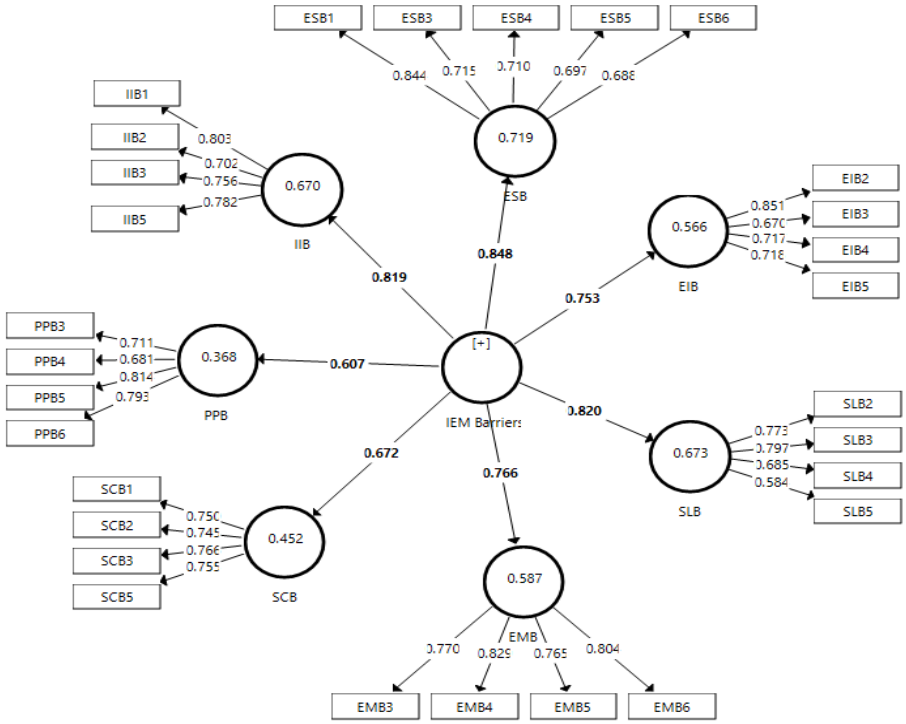
بعد از موانع حمایتی- قانونی به‌ترتیب موانع زیرساختی-نهادی (با ضریب مسیر ۰/۸۱۹) با نبود شبکه و زیرساخت‌های هوشمند برای بازاریابی اینترنتی و جهانی (۰/۸۰۳) و ضعف در سیستم حمل‌ونقل (۰/۷۸۲)، موانع بازاریابی سبز (با ضریب مسیر ۰/۷۶۶) با تهدیدهای بازار جهانی تورم، تحریم اقتصادی و جنگ (۰/۸۲۹) و عدم حمایت دولت در خرید تضمینی محصولات برند سبز و سالم (۰/۸۰۴)، موانع آموزشی-اطلاع‌رسانی (با ضریب مسیر ۰/۷۵۳) با دو عامل کمبود نیروی انسانی متخصص در مدیریت بازار و تجارت بین‌المللی (۰/۸۵۱) و عدم وجود برنامه‌های آموزشی- ترویجی در مورد نحوه صادرات محصولات (۰/۸۱۷)، موانع اجتماعی-فرهنگی (با ضریب مسیر ۰/۶۲۷) با دو عامل نبود بستر فرهنگ و آموزش کارآفرینی و پرورش خلاقیت و نوآوری در تولید (۰/۷۶۶) و عدم اعتماد مردم به خرید در بستر وب (۰/۷۵۵)، و موانع سیاست‌گزاری و برنامه‌ریزی (با ضریب مسیر ۰/۶۰۷) با ضعف نظام بیمه‌ای کشاورزی (۰/۸۱۴) و عدم شناخت و آگاهی از سیاست کشور در بازار منطقه‌ای و بین‌المللی (۰/۷۹۳) از مهم‌ترین تا کم‌اهمیت‌ترین محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی از نظر بهره‌برداران تولیدات گلخانه‌ای استان تهران بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این بخش به تحلیل و تفسیر نتایج حاصل از موانع و محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی و ارائه راهکارهایی برای رفع این محدودیت‌ها در راستای افزایش بازاریابی بین‌المللی توسط گلخانه‌داران استان تهران پرداخته شده است.

از میان محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی، موانع اقتصادی و مالی مؤثرترین چالش بود. در موانع اقتصادی و مالی بر اساس بارهای عاملی، به‌ترتیب: فقدان سرمایه کافی برای تجهیز استاندارد واحد کسب‌وکار و نبود حمایت مناسب دولت در پرداخت وام و تسهیلات دولتی مانند بهره بالای وام‌های بانکی جزء مهم‌ترین موانع اقتصادی و مالی بودند. این نتایج همگام با مطالعات محققان

Aghasafari *et al*., 2024; Seifollahi onar Samadzad, 2025) Sudarevic *et al*., 2017; Yeganeh & Saeid, *et al*., 2021; (Zhao & Gao, 2025; 2011 است. حمایت مالی، به‌عنوان یک نیروی کلیدی محرک توسعه اقتصادی، تأثیر غیر قابل اغماض بر صادرات محصولات کشاورزی دارد. لذا، ایجاد یک سیستم جامع پرداخت و تسویه، ارائه خدمات تأمین مالی تجارت بین‌المللی و تقویت مدیریت ریسک مالی توسط دولت که همگی می‌توانند خدمات مالی راحت‌تر و کارآمدتری را برای شرکت‌های صادراتی کشاورزی فراهم کنند و به ادغام بهتر آنها در بازار بین‌المللی و افزایش سهم صادراتی کمک کنند، پیشنهاد می‌شود.



شکل ۱- مقادیر بارهای عاملی و ضرایب مسیر مدل محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی

Figure 1- Factor loading values and path coefficients of the international entrepreneurial marketing constraints model

پس از موانع اقتصادی و مالی، موانع حمایتی- قانونی به‌ترتیب با دو عامل تحریم دولتی و عدم ورود نهاده‌های تولید با کیفیت و مجاز و مشکلات دریافت مجوز برای صادرات و بازاریابی بین‌المللی از مؤثرترین چالش‌ها است. این نتایج همگام با مطالعات محققان (Aghasafari *et* Azizi et al., 2017; Seifollahi onar *et al*., 2021; *al*., 2024 Cahen *et al*., Yeganeh & Saeid, 2011; Zhao & Gao, 2025 (2015; Uner *et al*., 2013; است. مطابق با نتایج بدست آمده بزرگترین موانع در بازاریابی بین‌المللی نبود حمایت کافی دولت از تولیدکنندگان در راستای ارائه محصولات تولیدی در بازارهای بین‌المللی است. لذا، همگام با مطالعات داولینگ و لوسی Dowling & Lucey, (2023) دولت با تسهیل صادرات مجوز و ارائه تسهیلات می‌تواند به شرکت‌های صادرات کشاورزی کمک کند تا سطح فناوری واحدهای تولیدی خود را افزایش دهند، کیفیت محصول را بهبود بخشند و در نتیجه رقابت بین‌المللی خود را با تأمین منابع مالی و کاهش هزینه‌های تأمین مالی تقویت کنند.

بعد از موانع حمایتی- قانونی، موانع زیرساختی-نهادی با نبود شبکه و زیرساخت‌های هوشمند برای بازاریابی اینترنتی و جهانی و ضعف در سیستم حمل‌ونقل در اولویت قرار گرفتند. این یافته‌ها همگام با مطالعات وادانا و همکاران (Vadana *et al*., 2020) که بر اهمیت زیرساخت‌های دیجیتالی شدن زنجیره ارزش برای شرکت‌های کوچک تأکید دارند، و همچنین مطالعات داخلی زراعت کیش و یوسفی Zeratkish & (Yousefi Motaghaed, 2017) در خصوص ضعف سیستم‌های لجستیکی محصولات کشاورزی همخوانی دارد، و همگام با مطالعات سایر محققان، Da;Silveria *et al*., Yeganeh & Saeid, 2011) (Soltanifar *et al*., 2013 Seifollahi onar *et al*., 2021; 2023; است. لذا، ایجاد یک فضای تجاری اینترنتی و ترویج کشاورزی صادرات‌محور و گسترش کانال‌های بازاریابی بین‌المللی و بهبود سیستم حمل‌ونقل توسط دولت و اتاق بازرگانی با همکاری سازمان جهاد

کشاورزی پیشنهاد می‌شود.

موانع بازاریابی سبز با تهدیدهای بازار جهانی تورم، تحریم اقتصادی و جنگ و عدم حمایت دولت در خرید تضمینی محصولات برند سبز و سالم در اولویت قرار گرفتند. این مطالعات همگام با مطالعات محققان (Seifollahi Yeganeh & Saeid, 2011; Zhao & Gao, 2025; onar *et al*., 2021) است. با افزایش شدت مسائل زیست‌محیطی جهانی، موانع تجارت سبز، به‌عنوان شکلی از موانع غیر تعرفه‌ای، به تدریج به عامل مهمی در تجارت بین‌المللی کشاورزی تبدیل شد. موانع تجارت سبز در درجه اول به مجموعه‌ای از مقررات، استانداردها یا سیاست‌های تدوین شده توسط کشورهای واردکننده برای محدودکردن یا ممنوعیت واردات محصولات کشاورزی خارجی، برای محافظت از محیط‌زیست، منابع طبیعی و سلامت انسان اشاره دارد (Fang & Shao, 2022). این موانع الزامات بالاتری را بر کیفیت و استانداردهای زیست‌محیطی محصولات کشاورزی کشورهای صادرکننده تحمیل می کنند و چالش‌های مهمی را برای صادرات کشاورزی ایجاد می‌کنند (Kong *et al*., 2021). بنابراین، ضمن ترویج محصول سبز، تدوین سیاست‌ها و استراتژی‌های مناسب بازار و فراهم کردن امکانات لازم جهت بهبود بهره‌وری و تولید محصولات سالم پیشنهاد می‌شود.

موانع آموزشی–اطلاع‌رسانی با دو عامل کمبود نیروی انسانی متخصص در مدیریت بازار و تجارت بین‌المللی و عدم وجود برنامه‌های آموزشی– ترویجی در مورد نحوه صادرات محصولات در اولویت قرار گرفتند که هم‌راستا با مطالعات محققان (Cahen *et al*., 2015; Shahabadi, Seifollahi onar *et al*., 2021; Uner *et al*., 2013; Toghraei & Rezvani, 2012; & Safaee, 2017) است که ضعف در مهارت‌های بازاریابی در کسب‌وکارهای کوچک و اهمیت تصمیمات مدیریتی متناسب با شرایط بین‌المللی را تأکید می‌کنند. فعالیت‌های فرامرزی امری ضروری برای بسیاری از شرکت‌ها برای حیات و رشد خود است. هنگام فعالیت در بازارهای بین‌المللی، تعداد زیادی از عوامل محیطی باید رعایت شود تا فعالیت موفقیت شرکت‌ها تضمین شود که این عوامل به تطبیق تصمیمات مدیریت در هماهنگی با این شرایط بستگی دارد. این که چه عواملی در کدام کشور و تا چه حد باید در نظر گرفته شود، تنها در هر محصول مشخص می‌شود که نیازمند نیروی انسانی متخصص در مدیریت بازار و تجارت بین‌المللی است تا نیازهای بازار شناسایی و تحقیقات بازار با تولید مرتبط شود تا صادرات و واردات مواد اولیه و محصولات تضمین شود. لذا، این امر نیازمند افزایش دانش بازرگانان یا همان بهره‌بردار گلخانه‌ای برای صادرات محصول خود با ایجاد پایگاه داده‌محور در مورد معامله‌گران صیفی و سبزیجات و بازارهای مقصد است. همچنین، برگزاری کلاس‌های آموزشی– ترویجی در مورد نحوه صادرات محصولات تولیدی گلخانه‌ای، شناخت‌بازارهای بین‌المللی و به اشتراک‌گذاری آن با تولیدکنندگان در قالب خدمات مشاوره‌ای، بازدید از نمایشگاه‌های بین‌المللی توسط بهره‌بردار و مهندسین برای کسب دانش و اطلاعات بازاریابی بین‌المللی محصولات و سفر به کشور مقصد و شناخت انواع محصولات با مزیت رقابتی پیشنهاد می‌شود.

موانع اجتماعی–فرهنگی با دو عامل نبود بستر فرهنگ و آموزش کارآفرینی و پرورش خلاقیت و نوآوری در تولید و عدم اعتماد مردم به خرید در بستر وب در اولویت قرار گرفتند که همگام با مطالعات (Soltanifar *et al*., 2013; Yeganeh & Saeid, 2011) است. با گسترش بیشتر اینترنت، روش‌های سنتی انجام تجارت به‌طور قابل توجهی تغییر کرده است. سازمان‌ها در سرتاسر جهان تجارت الکترونیک را به‌عنوان یک راه اصلی برای انجام تجارت شروع کرده‌اند. با رشد بی سابقه تجارت الکترونیک، اعتماد مهم‌ترین عامل برای تبادل است. اعتماد مصرف‌کنندگان در خرید اینترنتی به کیفیت محصول، امکان بازگشت کالا، تحویل محصول، امنیت و احساس ناامنی سایت نشأت می‌گیرد (Kaur & Madan, 2013). از طرفی فرهنگ جامعه بر اعتماد افراد تأثیر می‌گذارد. لذا، استفاده از گواهی‌هایی برای ارتقاء اعتماد مصرف‌کنندگان به محصولات، حمایت دولت در اجرای هرچه بهتر استانداردهای کشور ثالث و ایجاد وجه بین‌المللی از محصولات کشاورزی ایرانی پیشنهاد می‌شود.

موانع سیاست‌گزاری و برنامه‌ریزی با ضعف نظام بیمه‌ای کشاورزی و عدم شناخت و آگاهی از سیاست کشور در بازار منطقه‌ای و بین‌المللی از مهم‌ترین محدودیت‌های بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی از نظر بهره‌برداران تولیدات گلخانه‌ای استان تهران بود که همگام با مطالعات عزیزی و همکاران (Azizi *et al*., 2017) است. تولیدکنندگان کشاورزی با انواع خطرات اساسی در فرآیند تولید و بازاریابی مواجه هستند با این حال بیمه کشاورزی به‌ندرت خارج از یارانه دولتی در دسترس است. لذا، تخصیص بودجه‌ای برای فرآیندهای تولید و بازاریابی بین‌المللی محصولات کشاورزی توسط دولت و حمایت از صادرات محصولات کشاورزی پیشنهاد می‌شود.

تحلیل جامع داده‌ها قویاً نشان می‌دهد که موانع تحمیلی اقتصاد کلان و نظام اداری (با تأثیر ترکیبی سه عامل اول)، مهم‌ترین بازدارنده در مسیر کارآفرینی بین‌المللی هستند. غلبه موانع اقتصادی در بالاترین اولویت، مؤید این نکته است که ریشه اصلی چالش‌ها در محیط بیرونی کارآفرین قرار دارد و تا زمانی که ثبات اعتباری و تسهیلات سرمایه‌ای برای استانداردسازی تولید فراهم نشود، ریسک‌پذیری و نوآوری او محدود خواهد ماند.

پیشنهاد کاربردی

با تمرکز بر حیاتی‌ترین مانع (فقدان سرمایه کافی برای تجهیز استاندارد واحد کسب‌وکار) و نیاز به حفظ توان رقابتی در بازارهای خارجی، پیشنهاد می‌شود. مکانیزم "تسهیلات سرمایه‌ای هدفمند

صادراتی" با بهره صفر یا بسیار اندک برای استانداردسازی و مکانیزاسیون تجهیزات سردخانه‌ای و بسته‌بندی واحدهای گلخانه‌ای استان تهران طراحی شود. این اقدام، به‌طور مستقیم، توانایی گلخانه‌داران برای ارائه محصولات استاندارد و کاهش هزینه‌های عملیاتی را هدف قرار می‌دهد و به افزایش سهم بازار بین‌المللی کمک می‌نماید.

با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود تحقیقات آتی به بررسی اثربخشی سیاست‌ها و ابزارهای مالی صادرات‌محور، به‌ویژه تسهیلات سرمایه‌ای هدفمند برای استانداردسازی و مکانیزاسیون واحدهای گلخانه‌ای، بپردازند. همچنین انجام مطالعات تطبیقی بین استان‌ها یا کشورهای دارای شرایط مشابه می‌تواند به شناسایی الگوهای موفق بازاریابی کارآفرینانه بین‌المللی کمک کند. بررسی نقش فناوری‌های دیجیتال، تجارت الکترونیک و بازاریابی داده‌محور در کاهش موانع زیرساختی و اجتماعی–فرهنگی، و نیز تحلیل تأثیر آموزش‌های تخصصی بازاریابی و مدیریت صادرات بر عملکرد بین‌المللی گلخانه‌داران، از دیگر محورهای مهم پژوهشی آینده به‌شمار می‌رود. علاوه بر این، با توجه به اهمیت روزافزون تجارت سبز، مطالعه الزامات، چالش‌ها و راهبردهای تطبیق واحدهای گلخانه‌ای با استانداردهای زیست‌محیطی بین‌المللی می‌تواند مسیر توسعه پایدار صادرات محصولات گلخانه‌ای را هموار سازد.

References

1. Abbasi, L., Sharifzadeh, M.Sh., Abdollahzadeh, Gh., & Mahboubi, M.R. (2019). Factors affecting entrepreneurial collective marketing in agricultural production cooperatives of Kurdistan province. *Journal of Cooperation and Agriculture*, *8*(30), 61–96. (In Persian)
2. Aghasafari, H., Karbasi, A., Mohammadi, H., & Calisti, R. (2024). Investigating the appropriate strategy to enter the international market of organic agricultural products. *Journal of Agricultural Economics & Development*, *37*(4), 397–413. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jead.2024.84095.1214
3. Agricultural Statistics. (1400). Agricultural Statistics 2019 Volume 3: Ministry of Agricultural Jihad, Deputy for Planning and Economy, Information and Communication Technology Center. (In Persian)
4. Anabestani, A.A., & Tolabi Nejad, M. (2019). Assessment and prioritization of agricultural marketing challenges using Fuzzy Analytical Network Process (case study: the central rural city Poldokhtar). *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, *8*(30), 59-78. (In Persian). https://doi.org/10.30488/gps.2019.85832
5. Andersson, S., Evers, N., & Gliga, G. (2018). Entrepreneurial marketing and born global internationalisation in China. *Qualitative Market Research: An International Journal*, *21*(2), 202-231. https://doi.org/10.1108/QMR-11-2016-0115
6. Azizi, J., Khabbaz Yeganeh, M.R., & Allahyari, M.S. (2017). The impact of entrepreneurship and market orientation on export performance of greenhouse producers' cooperatives in Tehran province. *Journal of Cooperation and Agriculture*, *6(24)*, *27–46*. (In Persian)
7. Cahen, F.R., Lahiri, S., & Borini, D.L. (2015). Managerial perception of barriers to internationalization: An examination of Brazil new technology based firm. *Journal of Business Research*, *69*(6), 1973–1979. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.10.143
8. Crick, J.M. (2019). Incorporating coopetition into the entrepreneurial marketing literature: Directions for future research. *Journal of Research in Marketing and Entrepreneurship*, *21*(1), 19-36. https://doi.org/10.1108/JRME-01-2018-0001
9. Da Silveira, F., Da Silva, S.L.C., Machado, F.M., Barbedo, J.G.A., & Amaral, F.G. (2023). Farmers' perception of the barriers that hinder the implementation of agriculture 4.0. *Agricultural Systems*, *208*, 103656. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103656
10. Dowling, M., & Lucey, B. (2023). ChatGPT for (finance) research: The Bananarama conjecture. *Finance Research Letters*, *53*, 103662. https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.103662
11. Fang, Y., & Shao, Z. (2022). The Russia-Ukraine conflict and volatility risk of commodity markets. *Finance Research Letters*, *50*, 103264. https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103264
12. Guo, Y., Zhao, H., Zhang, S., Wang, Y., & Chow, D. (2021). Modeling and optimization of environment in agricultural greenhouses for improving cleaner and sustainable crop production. *Journal of Cleaner Production*, *285*, 124843. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124843
13. Hair, J.F., Hult, G.T.M., Ringle, C.M., & Sarstedt, M. (2017). *A primer on partial least squares structural* Hair *equation modeling (PLS-SEM)* (2nd ed.). Sage publications. https://doi.org/10.54055/ejtr.v6i2.134
14. Jones, R., & Rowley, J. (2011). Entrepreneurial marketing in small businesses: A conceptual exploration. *International Small Business Journal*, *29*(1), 25-36. https://doi.org/10.1177/0266242610369743
15. Kaur, B., & Madan, S. (2013). Factors influencing trust in online shopping: an Indian consumer's perspective. *European Journal of Business and Management*, *5*(29), 132-138.
16. Khakzadian, S.M., & Rezaei, H. (2021). Identifying and analyzing factors affecting the entrepreneurial marketing

in agricultural cooperatives in Mazandaran province. *Journal Entrepreneurial Strategies Agriculture*, *8*(15), 46-54. (In Persian). https://doi.org/10.52547/jea.8.15.46
17. Kong, Q., Peng, D., Ni, Y., Jiang, X., & Wang, Z. (2021). Trade openness and economic growth quality of China: Empirical analysis using ARDL model. *Finance Research Letters*, *38*, 101488. https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101488
18. Modanloo, M.A., Razzaghi Borkhani, R., & Azizi- Khalkhili, T. (2026). Modeling the barriers to rural micro-entrepreneurship development. *Village and Space Sustainable Development*, *7*(1), 191-212. (In Persian). https://doi.org/10.22077/vssd.2026.10367.1338
19. Morris, M.H., Schindehutte, M., & LaForge, R.W. (2002). Entrepreneurial marketing: a construct for integrating emerging entrepreneurship and marketing perspectives. *Journal of Marketing Theory and Practice*, *10*(4), 1-19. https://doi.org/10.1080/10696679.2002.11501922
20. Morrish, S.C., & Deacon, J.H. (2011). A tale of two spirits: entrepreneurial marketing at 42 below vodka and Penderyn whisky. *Journal of Small Business & Entrepreneurship*, *24*(1), 113-124. https://doi.org/10.1080/08276331.2011.10593529
21. Navarro-García, A., Schmidt, A.C.M., & Rey-Moreno, M. (2015). Antecedents and consequences of export entrepreneurship. *Journal of Business Research*, *68*(7), 1532-1538. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.01.047
22. Nooraee, M., Afshar, P., & Daghighi, D. (2015). Identifying and ranking international marketing barriers in Iran. In the third national conference on entrepreneurship and management of knowledge-based businesses Babolsar, Mazandaran. (In Persian)
23. Salvucci, S., Walter, E., Conley, V., Fink, S., & Saba, M. (1997). Measurement error studies at the national center for education statistics.
24. Samadzad, S. (2025). Explaining the obstacles and challenges to developing agricultural exports in East Azerbaijan province of Iran. *Agricultural Economics and Development*, *32*(4), 37-59. (In Persian). https://doi.org/10.30490/aead.2025.364165.1569
25. Seifollahi onar, N., bashekouh, M., & Mohammadkhani, R. (2021). Designing a conceptual model of factors effective agricultural export development: Grounded theory presentation. *Journal of International Business Administration*, *4*(4), 111-131. (In Persian). https://doi.org/10.22034/jiba.2021.45321.1671
26. Shahabadi, A., & Safaee, M. (2017). Effects of knowledge factors on supply of agricultural exports of Iran. *Iranian Journal of Trade Studies*, *21*(84), 1-26. (In Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17350794.1396.21.84.1.9
27. Shirkhodaei, M., Razvani, M., & Khazaeipool, M. (2012). Entrepreneurial marketing: Nature and meaning. In Proceedings of the First National Conference on Entrepreneurship and Management of Knowledge-Based Businesses (pp. [Page Numbers, if available]). Babolsar, Mazandaran. (In Persian)
28. Soltanifar, A., Bakhtiari, L., & Doostar, M. (2013). Investigating export barriers of agricultural products (Horticultural products) [Master's Thesis, University of Guilan, Iran]. (In Persian)
29. Statistical Center of Iran. (1400). Share and rank of provinces based on important indicators and variables of the agricultural sector. National Planning and Budget Organization, Statistical Center of Iran. 59 pages. (In Persian)
30. Sudarevic, T., Radojevic, P., Marjanovic, D., & Dragas, R. (2017). Marketing and financial barriers in agri-food exporting. *British food journal*, *119*(3), 613-624. https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2016-0183
31. Toghraei, M., & Rezvani, M. (2012). Mapping of social capital in entrepreneurial marketing activities in small business. *New Marketing Research Journal*, *2*(3), 87-106. (In Persian)
32. Uner, M.M., Kocak, A., Cavasgil, E., & Cavasgil, S.T. (2013). Do barriers to export vary for born globals and across stages of Internationalization? An empirical in guiry in the emerging market of Turkey. *International Business Review*, *22*(5), 800–813. https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2012.12.005
33. Vadana, I.I., Torkkeli, L., Kuivalainen, O., & Saarenketo, S. (2020). Digitalization of companies in international entrepreneurship and marketing. *International Marketing Review*, *37*(3), 471-492. https://doi.org/10.1108/IMR-04-2018-0129
34. Yang, M. (2018). International entrepreneurial marketing strategies of MNCs: Bricolage as practiced by marketing managers. *International Business Review*, *27*(5), 1045-1056. https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2018.03.004
35. Yazgan, S., Ayas, S., Demirtas, C., Büyükcangaz, H., & Candogan, B.N. (2008). Deficit irrigation effects on lettuce (*Lactuca sativa* var. Olenka) yield in unheated greenhouse condition.
36. Yeganeh, H., & Saeid, M. (2011). A typology of the perceived external barriers hindering export of agricultural products in Iran. *Journal of Comparative International Management*, *14*(1), 16-25.
37. Zeratkish, Y., & Yousefi Motaghaed, H. (2017). Factors affecting the marketing margin for greenhouse rose flower in Kohgiloye and Boyerahmad province. *Agricultural Economics and Development*, *25*(1), 137-156. (In Persian). https://doi.org/10.30490/aead.2017.59069
38. Zhang, M., Gao, Q., & Cho, H.S. (2017). The effect of sub-national institutions and international entrepreneurial capability on international performance of export-focused SMEs: Evidence from China and South Korea. *Journal of International Entrepreneurship*, *15*, 85-110. https://doi.org/10.1007/s10843-016-0196-6
39. Zhao, P., & Gao, S. (2025). Green trade barriers, financial support and agricultural exports. *International Review*

of Economics & Finance, *97*, 103758. https://doi.org/10.1016/j.iref.2024.103758

Journal of Agricultural Economics & Development

Homepage: https://jead.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 3, Fall 2026, p. 339-356

Assessing the Eco-efficiency of Food Waste Recycling in Iran: A Dynamic Data Envelopment Analysis Approach with Undesirable Outputs

Kh. Karimi[1], M. Mardani Najafabadi[1]*, A. Mirzaei[1]

1- Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

(*- Corresponding Author Email: m.mardani@asnrukh.ac.ir)

Received: 16 December 2025
Revised: 19 February 2026
Accepted: 04 April 2026
Available Online: 04 April 2026

How to cite this article:

Karimi, Kh., Mardani Najafabadi, M., & Mirzaei, A. (2026). Assessing the eco-efficiency of food waste recycling in Iran: A dynamic data envelopment analysis approach with undesirable outputs. *Journal of Agricultural Economics & Development*, *40*(3), 339-356. (In Persian abstract). https://doi.org/10.22067/jead.2026.97043.1411

Introduction

Global population growth and shrinking natural resources have intensified pressure on agricultural systems, positioning sustainable waste management as a national priority, particularly in arid and semi-arid countries like Iran. Agricultural activities generate substantial biomass residues, yet inefficient handling (e.g., open burning, uncontrolled dumping) contributes significantly to greenhouse gas (GHG) emissions (CO_2 , CH_4), energy overuse, and economic losses. Globally, one-third of food production is lost or wasted (FAO, 2011, 2013), with profound environmental and food security implications. In this context, the Circular Waste-Based Bioeconomy (CWBE) framework offers a strategic pathway: integrating circular economy principles into agricultural systems to transform waste into compost, biogas, animal feed, and bio-based materials—thereby enhancing resource efficiency and reducing environmental footprints. However, existing efficiency assessments in agricultural waste management in Iran predominantly ignore undesirable outputs, yielding an incomplete picture of sustainability. This study addresses that gap by evaluating the Eco-efficiency of agricultural waste recycling across Iran's 31 provinces over 2014–2019 (1393–1398), using a Dynamic Network Data Envelopment Analysis (DN-DEA) model that jointly accounts for desirable and undesirable outputs.

Materials and Methods

We construct a dynamic network model inspired by Lu et al. (2022), conceptualizing waste recycling as a two-stage system: (1) waste collection and preprocessing, and (2) valorization and environmental mitigation. The DN-DEA model allows efficiency scores to reflect carry-over effects—such as investment in fixed assets—across time periods, making it suitable for assessing policy persistence and technological lock-in.

Inputs include: (i) monetary cost of managing agricultural waste (IRR, adjusted for inflation), and (ii) energy consumption (GJ) in collection, transport, and processing. Desirable output is the quantity of recycled biomass (tonnes), while undesirable outputs encompass: (a) CO_2 emissions (tonnes), (b) CH_4 emissions (tonnes), (c) total energy consumption (as above, dual-counted to penalize inefficiency), and (d) waste management cost (as a proxy for incomplete valorization). Data were compiled from the Statistical Center of Iran, Agricultural Jihad provincial reports, and the Central Bank's economic databases. All monetary values were deflated using the consumer price index (base = 1390), and emission factors were standardized using IPCC Tier 1 guidelines adapted to Iran's agronomic conditions. The model was solved using GAMS 36.2.0 (with CONOPT solver), and statistical validation—including Pearson correlation matrices and significance tests—was performed in SPSS 28.

Results and Discussion

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

https://doi.org/10.22067/jead.2026.97043.1411

Results reveal striking regional heterogeneity. Five provinces—Tehran, Bushehr, Ilam, Khuzestan, and South Khorasan—consistently achieved full efficiency (score = 1.00) across all six years, functioning as benchmarks. In contrast, Golestan (avg. $\theta = 0.34$), Kurdistan (0.35), Sistan & Baluchestan (0.36), East Azerbaijan (0.41), and Kermanshah (0.41) exhibited chronic underperformance. Nationally, average efficiency declined from 0.72 in 2014 to 0.61 in 2019, signaling systemic deterioration—potentially linked to subsidy distortions, energy price volatility, or drought-induced feedstock scarcity.

Crucially, Pearson correlation analysis confirmed strong, positive, and statistically significant ($p < 0.01$) relationships between recycling efficiency and the management of undesirable outputs .This implies eco-efficiency synergy: provinces excelling in one dimension (e.g., lowering disposal costs) tend to outperform across all environmental and economic metrics. Moreover, undesirable outputs are highly inter correlated (e.g., energy–CO_2 : r = 1.000; CO_2 –CH_4 : r = 0.999), suggesting that interventions targeting energy efficiency will likely reduce multiple emissions simultaneously. Spatial mapping (Figure 2) further confirms a pronounced east–west efficiency gradient, with high-efficiency clusters in central/southern/eastern provinces and low-efficiency zones concentrated in the northwest and southwest—mirroring disparities in infrastructure, technology access, and institutional capacity.

Conclusion

This study advances the literature by: (i) applying DN-DEA to Iranian agricultural waste for the first time; (ii) integrating four undesirable outputs simultaneously; and (iii) linking efficiency diagnostics to concrete, region-specific policy levers. Findings underscore that a one-size-fits-all approach is inadequate: instead, precision sustainability governance, where efficiency metrics inform spatially differentiated interventions, is essential. We recommend:

Region-targeted interventions for low-performing provinces (e.g., Golestan, Kurdistan, Sistan & Baluchestan).

Knowledge diffusion mechanisms, such as peer-learning networks, to transfer best practices from benchmark provinces

Efficiency-based budgeting, where provincial subsidies or green credit access are tied to annual DN-DEA scores.

Ultimately, improving eco-efficiency in agricultural waste recycling is not merely a technical challenge but a governance imperative, one that can simultaneously bolster rural livelihoods, enhance resource security, and advance Iran’s commitment to low-carbon development.

JEL Classification: Q15, Q53, Q56, C61
Keywords: Agricultural waste recycling, Dynamic network DEA, Greenhouse gas emissions, Pearson correlation coefficient, Undesirable outputs

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
https://jead.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۴۰، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، ص. ۳۵۶-۳۳۹

ارزیابی کارایی زیست-اقتصادی بازیافت ضایعات مواد غذایی در ایران: رویکرد تحلیل پوششی داده‌های پویا با خروجی‌های نامطلوب

خدیجه کریمی[۱]- مصطفی مردانی نجف‌آبادی[۱*]- عباس میرزایی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۱۵

چکیده

در شرایطی که فشار جمعیتی فزاینده و کاهش منابع طبیعی، مدیریت پایدار ضایعات کشاورزی را به یکی از اولویت‌های ملی در چارچوب اقتصاد زیستی تبدیل کرده است، ارزیابی جامع کارایی این سیستم‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این مطالعه با هدف ارزیابی کارایی زیست‌اقتصادی بازیافت ضایعات مواد غذایی در ۳۱ استان ایران طی دوره ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ طراحی شده است. برخلاف مطالعات سنتی که تنها خروجی‌های مطلوب را مدنظر قرار می‌دهند، در این مطالعه از مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویا (DN-DEA) استفاده شده تا خروجی‌های نامطلوب شامل دی‌اکسیدکربن (CO_2) و متان (CH_4) به‌صورت همزمان در ساختار ارزیابی کارایی گنجانده شوند. یافته‌ها نشان می‌دهد که تنها پنج استان (تهران، بوشهر، ایلام، خوزستان و خراسان جنوبی) در تمام سال‌های مورد بررسی، دارای کارایی کامل (امتیاز ۱) بوده‌اند، در حالی‌که استان‌های گلستان (۰/۳۴)، کردستان (۰/۳۵)، سیستان و بلوچستان (۰/۳۶) و آذربایجان شرقی (۰/۴۱) عملکردی بسیار پایین داشته‌اند. میانگین کارایی دوره‌ای نیز از ۰/۷۲ در سال ۱۳۹۳ به ۰/۶۱ در سال ۱۳۹۸ کاهش یافته است. بر این اساس، دستیابی به اهداف توسعه پایدار در گرو بهبود مستمر فرآیندهای بازیافت و کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی در سراسر کشور است. آزمون همبستگی پیرسون رابطه‌ای مثبت، قوی و معنادار ($r \geq 0.94, p < 0.01$) میان کارایی بازیافت و کارایی در مدیریت خروجی‌های نامطلوب تأیید می‌کند؛ این یافته بیانگر آن است که استان‌هایی که در کاهش هزینه، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای موفق‌تر هستند، به‌طور همزمان کارایی بالاتری در بازیافت ضایعات نیز کسب می‌کنند. نتایج این پژوهش بر ضرورت اتخاذ سیاست‌های منطقه‌محور و تسهیل انتقال دانش از استان‌های الگو به مناطق کم‌کارا تأکید دارند.

طبقه‌بندی JEL: C61 ،Q56 ،Q53 ،Q15
واژه‌های کلیدی: بازیافت ضایعات کشاورزی، تحلیل پوششی داده‌های پویا، خروجی‌های نامطلوب، گازهای گلخانه‌ای، ضریب همبستگی پیرسون

مقدمه

رشد سریع جمعیت جهانی، که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۸ میلیارد نفر و تا پایان قرن حاضر به بیش از ۱۱ میلیارد نفر برسد (United Nations, 2022) فشار بی‌سابقه‌ای بر منابع طبیعی و نظام‌های تولید غذا وارد کرده است. بخش کشاورزی، به‌عنوان ستون اساسی امنیت غذایی، نقش تعیین‌کننده‌ای در پاسخ‌گویی به این تقاضای فزاینده دارد؛ اما در عین حال یکی از مهم‌ترین تولیدکنندگان ضایعات زیستی و گازهای گلخانه‌ای نیز محسوب می‌شود. برآوردهای سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد نشان می‌دهد که سالانه حدود ۱/۳ میلیارد تُن غذا (معادل یک‌سوم کل تولید جهانی) در زنجیره تأمین از دست می‌رود یا هدر می‌رود (FAO, 2011, 2013). این پدیده، که تحت عنوان هدررفت و از دست‌رفت مواد غذایی (FLW)[۲] شناخته می

۱- گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.mardani@asnrukh.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jead.2026.97043.1411

2- Food Loss and Waste

شود، علاوه بر تهدید امنیت غذایی، از طریق مصرف غیربهینه منابع و انتشار آلاینده‌ها پیامدهای گسترده‌ای برای محیط‌زیست به‌همراه دارد (Munir *et al.*, 2025).

در میان اجزای FLW، ضایعات کشاورزی (شامل بقایای پس از برداشت، ضایعات پردازشی و بقایای مزارع) سهم قابل‌توجهی دارند. گزارش‌ها نشان می‌دهد که فعالیت‌های کشاورزی سالانه حدود ۰/۱۴ تریلیون تن پسماند زیستی تولید می‌کنند و این مقدار تا سال ۲۰۵۰ حدود ۶۰ درصد افزایش خواهد یافت (Al Mamun *et al.*, 2020; Ong *et al.*, 2023). مدیریت ناکارآمد این ضایعات، نظیر سوزاندن آزاد یا رهاسازی در طبیعت، منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای (به‌ویژه CO_2 و CH_4)، آلودگی هوا، تخریب خاک و کاهش تنوع زیستی می شود (Kumar *et al.*, 2024). برای مثال، در هند سالانه بیش از ۹۲ میلیون تُن ضایعات کشاورزی سوزانده می‌شود که پیامدهای جدی برای سلامت و محیط‌زیست ایجاد می‌کند (Koli *et al.*, 2024; Sharma, 2024). افزون بر این، فعالیت‌های کشاورزی از جمله مصرف کودهای نیتروژنی، آبیاری و مدیریت خاک در کنار تجزیه یا سوزاندن بقایای زیستی، سهم مهمی در انتشار CO_2، CH_4 و N_2O دارند (Mirzaei *et al.*, 2024; Muizniecea *et al.*, 2015).

در سال‌های اخیر، و با گسترش رویکرد اقتصاد پایدار، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که بازیافت و فرآوری ضایعات کشاورزی می‌تواند به تولید کود آلی، خوراک دام، زیست‌سوخت، بیوپلاستیک و محصولات با ارزش افزوده منجر شود (Baráth *et al.*, 2024). این فرآیندها علاوه بر کاهش آلودگی و هزینه‌های دفع ضایعات، موجب افزایش درآمد کشاورزان و ارتقای بهره‌وری منابع می‌شوند (Lu *et al.*, 2022). مطالعات اقتصادی برای مثال در تایوان نشان داده‌اند که روش‌های بازیافت مانند کمپوست و بیوگاز از منظر هزینه–فایده مقرون‌به‌صرفه‌اند و نرخ بازگشت سرمایه مطلوبی دارند (Hsu, 2021). از این‌رو، ادغام ضایعات در زنجیره تولید و مصرف می‌تواند به بهبود کارایی زیست‌اقتصادی بخش کشاورزی کمک کند.

در ادامه این مسیر، مفهوم «اقتصاد زیستی مبتنی بر ضایعات» یا اقتصاد زیستی چرخشی پسماند (CWBE)[1] مطرح شده است که با ادغام اصول اقتصاد چرخشی در نظام زیست‌اقتصادی، هم موجب کاهش آلاینده‌ها می‌شود و هم زنجیره ارزش کشاورزی را گسترش می دهد (Fytili & Zabaniotou, 2022; Munir *et al.*, 2025). میوزنیکا و همکاران (Muizniecea *et al.*, 2015) با توسعه یک مدل پویا، چارچوب CWBE را بسط داده‌اند تا تعامل میان تولید محصول، تولید ضایعات، بازیافت آن‌ها و انتشار آلاینده‌ها را شبیه‌سازی کنند؛ مدلی که با لحاظ‌کردن خروجی‌های مطلوب و نامطلوب، امکان ارزیابی جامع کارایی زیست‌اقتصادی را فراهم می‌کند.

با وجود این ظرفیت‌ها، سیستم‌های کشاورزی در بسیاری از کشورهای درحال‌توسعه، از جمله ایران با چالش‌هایی مانند کمبود فناوری‌های بازیافت، نبود زیرساخت جمع‌آوری، نوسانات قیمتی و مدیریت ناکارآمد نهاده‌هایی مانند آب و کود روبه‌رو هستند. این عوامل سبب می‌شود بخش بزرگی از ضایعات کشاورزی بدون ارزش‌آفرینی دور ریخته یا سوزانده شود (De Corato *et al.*, 2024; Dey *et al.*, 2021). همچنین بخش عمده مطالعات کارایی کشاورزی تنها بر خروجی‌های مطلوب (تولید محصول) تمرکز داشته و از لحاظ‌کردن خروجی‌های نامطلوب مانند انتشار CO_2 یا مصرف آب غفلت شده است، که این امر موجب ارائه تصویری ناقص از پایداری زیست‌اقتصادی می‌شود. بنابراین، ارزیابی کارایی زیست‌اقتصادی، که ترکیبی از کارایی اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی است، نیازمند روش‌هایی پیشرفته نظیر تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)[2] با قابلیت لحاظ‌کردن خروجی‌های نامطلوب و پویایی زمانی است.

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی در جهان به اهمیت کاهش ضایعات غذایی و نقش آن در بهبود پایداری زیست‌محیطی پرداخته‌اند. برای نمونه، مطالعات انجام‌شده در اروپا نشان می‌دهد که کاهش پسماند غذایی می‌تواند به کاهش قابل‌توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر شود (Osei-Owusu *et al.*, 2023). از جمله تلاش‌های سیستماتیک در این حوزه، مطالعه لیو و همکاران (Lu *et al.*, 2022) با عنوان «ارزیابی سه‌مرحله‌ای کارایی چرخشی در تولید کشاورزی، مصرف غذا و بازیافت ضایعات در کشورهای اتحادیه اروپا» است که با به‌کارگیری چارچوب تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی هر مرحله از زنجیره غذایی را جداگانه و در تعامل با یکدیگر ارزیابی کرده است. این پژوهش نشان می‌دهد که کارایی مرحله بازیافت اغلب الگوی متفاوتی از کارایی کل زنجیره دارد و نیاز به سیاست‌های هدفمند برای هر مرحله دارد، یافته‌ای که به‌وضوح بر ضرورت بررسی دقیق بر مرحله «بازیافت» در مطالعات آینده تأکید دارد.

در حوزه بازیافت ضایعات، رن و همکاران (Ren *et al.*, 2019) مدل‌هایی را برای ارزیابی کارایی بازیافت در صنایع کشاورز ی و غذایی ارائه کرده است که نشان می‌دهد استفاده مؤثر از ضایعات می‌تواند هم آلودگی را کاهش دهد و هم بهره‌وری را افزایش دهد. همچنین لیو و همکاران (Lu *et al.*, 2022) تأکید کرده‌اند که توسعه فناوری‌های نوین و نوآوری‌های تکنولوژیک در فرآیند بازیافت، نقشی اساسی در کاهش هزینه‌ها و بهبود کارایی دارد.

در کشورهای درحال‌توسعه نیز رویکردهای مبتنی بر فناوری برای کاهش ضایعات و افزایش بازدهی بازیافت مورد توجه قرار گرفته است. ژانگ (Zhang, 2019) بر اهمیت سیاست‌های حمایتی و ترویج فناوری های سبز تأکید کرده‌اند. از سوی دیگر، نتایج مطالعه یه و همکاران

1- Circular Waste-Based Bioeconomy

2- Data Envelopment Analysis

(Ye *et al.*, 2019) نشان می‌دهد که ارتقای فرآیندهای بازیافت علاوه‌بر کاهش ضایعات، می‌تواند فرصت‌های شغلی جدیدی برای جوامع محلی ایجاد کند. تحقیقات المراز و همکاران (Almaraz *et al.*, 2018) و ساین و همکاران (Singh *et al.*, 2022) نیز بیانگر نقش کلیدی سیاست‌های دولتی، حمایت‌های مالی و مشوق‌ها در بهبود کارایی بازیافت ضایعات کشاورزی و کاهش پیامدهای زیست‌محیطی آن است.

از دیگر منابع کلیدی، کتاب کلیتکو و همکاران (Klitkou *et al.*, 2019) است که چارچوب‌های نوین اقتصاد زیستی را برای تبدیل ضایعات آلی به ارزش اقتصادی بررسی می‌کند. این اثر به‌طور جامع به مسیرهای ارزش‌آفرینی (از کود آلی و خوراک دام تا زیست‌سوخت و مواد شیمیایی زیستی) می‌پردازد و بر ضرورت سیاست‌های فراتکنولوژیک (شامل قوانین، مالیات، بازار و همکاری‌های چندبخشی) برای تحول ضایعات به منابع تأکید دارد. پژوهش‌های دیگری نیز کارایی زیست‌محیطی را به‌عنوان نسبت رشد اقتصادی به فشارهای زیست‌محیطی تعریف کرده‌اند و آن را شاخصی مهم برای ارزیابی کارایی فرآیندهای بازیافت دانسته‌اند. برای مثال، در مطالعه باراث و همکاران (Baráth *et al.*, 2024) با استفاده از DEA، نشان داده شد که مدیریت مناسب ضایعات کشاورزی می‌تواند به ارتقای کارایی زیست‌محیطی کمک کند. همچنین هیدنریچ و همکاران (Heidenreich *et al.*, 2022) در بررسی‌هایی در غنا و کنیا نشان دادند که بهبود مدیریت ضایعات در بخش کشاورزی موجب کاهش آلودگی و افزایش کارایی اقتصادی می‌شود. در تحقیق چن و ونگ (Chen & Wang, 2024) نیز تأکید شده است که مدیریت و بازیافت صحیح ضایعات، به‌ویژه ضایعات کشاورزی، می‌تواند از انتشار خروجی های نامطلوب کاسته و کارایی تولید را افزایش دهد.

با وجود این پژوهش‌ها، هنوز شکاف‌های قابل‌توجهی در ادبیات علمی وجود دارد. بخش زیادی از مطالعات پیشین بر کشورهای توسعه یافته متمرکز بوده و تحقیقات اندکی به‌صورت جامع در کشورهای درحال‌توسعه، به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، انجام شده است. علاوه‌براین، بیشتر مطالعات از مدل‌های ایستا استفاده کرده و رابطه پویا بین تولید، مصرف و بازیافت را در نظر نگرفته‌اند (Mardani Najafabadi *et al.*, 2023; Rastegaripour *et al.*, 2025). در حوزه زیست‌محیطی نیز بررسی همزمان کارایی تولید و مدیریت پسماند با لحاظ خروجی‌های نامطلوبی مانند انتشار آمونیاک و متان کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، نقش فناوری‌های نوین در بهبود بهره‌وری کشاورزی مناطق مختلف ایران به‌طور کمی تحلیل نشده و بسیاری از مطالعات محدود به بازه‌های زمانی کوتاه بوده‌اند.

اگرچه مطالعات متعددی به ارزیابی کارایی کشاورزی و بازیافت ضایعات پرداخته‌اند، اما بیشتر آنها از مدل‌های ایستا و تک‌فرآیندی استفاده کرده‌اند که قادر به مدل‌سازی همزمان فرآیندهای مرتبط (تولید، مصرف و بازیافت) و اثرات انتقالی بین دوره‌های زمانی نیستند (Mardani Najafabadi *et al.*, 2025; Rastegaripour *et al.*, 2025). همچنین، بسیاری از پژوهش‌های پیشین یا صرفاً بر خروجی‌های مطلوب تمرکز داشته و از لحاظ‌کردن خروجی‌های نامطلوب مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای غفلت کرده‌اند، یا در صورت لحاظ این متغیرها، از تبدیل‌های خطی استفاده نموده‌اند که ممکن است به نتایج اریب منجر شود (Tone, 2002). از این‌رو، نیاز به رویکردی یکپارچه که بتواند همزمان روابط شبکه‌ای بین مراحل مختلف، پویایی‌های زمانی، و خروجی‌های مطلوب و نامطلوب را در چارچوبی منسجم مدل‌سازی کند، به‌وضوح احساس می‌شود.

مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویای توسعه‌یافته توسط لیو و همکاران (Lu *et al.*, 2022) دقیقاً برای پاسخ به چنین نیازهایی طراحی شده است. این مدل با ساختار شبکه‌ای خود، امکان تحلیل فرآیندهای داخلی و پیوندهای بین بخش‌های مختلف سیستم بازیافت را فراهم کرده و ماهیت پویای آن، مدل‌سازی متغیرهای انتقالی بین دوره‌های زمانی را میسر می‌سازد. ویژگی متمایز این مدل، قابلیت مدل‌سازی همزمان خروجی‌های مطلوب (بازیافت) و نامطلوب (آلاینده‌های زیست‌محیطی) بدون نیاز به تغییر در مقادیر آنهاست که آن را از مدل‌های کلاسیک DEA که صرفاً به ارزیابی تک‌دوره‌ای و تک‌فرآیندی می‌پردازند، متمایز می‌کند. لیو و همکاران (Lu *et al.*, 2022) در مطالعه خود بر روی ۲۷ کشور اروپایی نشان دادند که مرحله بازیافت ضایعات غذایی مهمترین مرحله قابل مدیریت در زنجیره اقتصاد چرخشی است و متغیرهایی مانند تولید کشاورزی، ضایعات غذایی، بازیافت، دی‌اکسیدکربن و متان همگی همبستگی بالایی با یکدیگر دارند؛ یافته‌ای که بر ضرورت مدل‌سازی همزمان این متغیرها در چارچوبی یکپارچه تأکید دارد. بنابراین، استفاده از این مدل در پژوهش حاضر، پاسخی به شکاف‌های روش‌شناختی موجود و ابزاری مناسب برای دستیابی به اهداف مطالعه است.

بر این اساس، مطالعه حاضر با بهره‌گیری از مدل DEA پویا تلاش می‌کند ارزیابی جامعی از وضعیت بازیافت ضایعات کشاورزی در ایران ارائه دهد و بخشی از خلاهای موجود در پیشینه پژوهش را پوشش دهد. این پژوهش با در نظر گرفتن خروجی‌های نامطلوب (مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف بی‌پایان منابع طبیعی) و با تأکید بر بازیافت ضایعات کشاورزی، به تحلیل کارایی زیست‌اقتصادی سیستم‌های بازیافت ضایعات کشاورزی در سطح استان‌های ایران می‌پردازد. رویکرد پژوهش پویا و مبتنی بر اصول اقتصاد پایدار است و هدف آن، ارزیابی چگونگی دستیابی به تعادل بین عملکرد اقتصادی و پایداری زیست‌محیطی در چرخه مدیریت ضایعات کشاورزی است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، به‌منظور ارزیابی کارایی بازیافت پسماندهای غذایی در استان‌های مختلف، از مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویای ارائه شده توسط لیو و همکاران (Lu *et al*., 2022) استفاده شده است. این مدل یک ابزار قدرتمند برای تحلیل عملکرد سیستم‌هایی است که از چندین فرآیند مرتبط تشکیل شده‌اند. تحلیل شبکه‌ای پویا امکان بررسی و ارزیابی تغییرات کارایی در طول زمان را فراهم می‌کند (Mardani Najafabadi *et al*., 2025).

در این مطالعه، ورودی‌های بازیافت شامل مخارج بازیافت ضایعات غذایی و مصرف انرژی در آن بوده و خروجی‌های آن شامل کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی و مواد بازیافتی قابل استفاده مجدد، است.

تابع هدف کارایی کلی بر اساس یک رویکرد چنددوره‌ای تعریف شده که در آن وزن‌دهی به دوره‌ها (با ضرایب W^t) برای تحلیل جامع‌تر انجام می‌شود. پارامترها و متغیرهای این مدل شامل موارد زیر است:

X_i^t: ورودی مدل شامل مخارج بازیافت ضایعات غذایی و مصرف انرژی در کشاورزی در زمان t می‌باشد.

Y_{bad}^t: خروجی نامطلوب شامل دی اکسیدکربن (CO_2) و متان (CH_4) می‌باشد.

Y_{good}^t: خروجی مطلوب بازیافت ضایعات مواد غذایی

$Z_{input}^{(t.(t+1)}$: انتقال شامل سرمایه‌گذاری در دارایی‌های ثابت

S_0^{t-} : متغیرهای ورودی بازیافت را نشان می‌دهد.

S_{20bad}^{t+}: بیانگر مازاد خروجی نامطلوب بازیافت می‌باشند.

$S_{input}^{(t.(t+1)}$: بیانگر متغیر مازاد برای انتقال است.

ب) کارایی دوره‌ای: برای هر دوره، میزان کارایی در آن بازه زمانی خاص محاسبه می‌شود تا تغییرات زمانی بررسی شوند.

این کارایی به بررسی عملکرد سیستم در یک بازه زمانی خاص می‌پردازد. در واقع، با محاسبه کارایی دوره‌ای می‌توان تغییرات زمانی و عوامل محیطی یا مدیریتی تأثیرگذار بر سیستم را تحلیل کرد (معادله ۲).

$$\partial_0^* =$$

توابع هدف و محدودیت‌ها

مدل ریاضی شامل توابع هدف و محدودیت‌هایی برای ارزیابی کارایی کلی و دوره‌ای است. در اینجا توابع هدف و محدودیت‌های مدل به‌صورت زیر تعریف شده‌اند:

الف) تابع هدف (کارایی کلی[1]): این تابع هدف حداقل کردن نسبت ناکارایی کل ورودی‌ها به خروجی‌های مطلوب و نامطلوب در تمامی دوره‌ها را دنبال می‌کند. این کارایی نشان‌دهنده عملکرد کلی سیستم است.

این تابع هدف، به حداقل رساندن نسبت ناکارایی ورودی‌ها (هزینه ضایعات و انرژی مصرفی) به خروجی‌های مطلوب (بازیافت ضایعات کشاورزی) و خروجی‌های نامطلوب (مانند آلاینده‌های زیست‌محیطی) در طول تمام دوره‌ها تمرکز دارد (معادله ۱).

$$\theta_0^* = min \frac{\sum_{t=1}^{T} W^t \left[1 - \frac{1}{m_k + linkin_k + ninput_k} \times \left(\sum_{i=1}^{m_k} \frac{S_{iok}^{t-}}{X_{iok}^t} + \sum_{(kh)_l=l}^{linkin_k} \frac{S_{o(kh)_l in}^t}{Z_{o(kh)_l in}^t} + \sum_{k_l}^{ninput_k} \frac{S_{ok_l input}^{(t.(t+1)}}{Z_{ok_l\ input}^{(t.t+1)}} \right) \right]}{\sum_{t=1}^{T} W^t \left[1 + \frac{1}{r_{1k} + r_{2k}} \times \left(\sum_{r=1}^{r_{1k}} \frac{S_{rokgood}^{t+}}{y_{rokgood}^t} + \sum_{r=1}^{r_{2k}} \frac{S_{rokbad}^{t-}}{y_{rokbad}^t} \right) \right]} \quad (۱)$$

$$\text{iin} \frac{\left[\frac{1 - \frac{1}{m_k + linkin_k + ngood_k} \times \left(\sum_{i=1}^{m_k} \frac{S_{iok}^{t-}}{x_{iok}^t} + \sum_{(kh)_l=1}^{linkin_k} \frac{s_{o(kh)_l in}^t}{z_{o(kh)_l in}^t} + \sum_{k_l}^{ngood_k} \frac{s_{ok_l good}^{(t.t+1)}}{z_{ok_l good}^{(t.t+1)}} \right)} \right]}{\left[\frac{1}{1 + \frac{1}{r_{1k} + r_{2k}} \times \left(\sum_{r=1}^{r_{1k}} \frac{s_{rokgood}^{t+}}{y_{rokgood}^t} + \sum_{r=1}^{r_{2k}} \frac{s_{rokbad}^{t-}}{y_{rokbad}^t} \right)} \right]} \quad (۲)$$

تابع هدف کارایی دوره‌ای مشابه کارایی کلی است، اما بر یک دوره زمانی خاص تمرکز دارد و برای هر دوره به‌طور مستقل محاسبه می‌شود. ویژگی‌ها و کاربرد این تحلیل شامل انعطاف‌پذیری زمانی برای ارزیابی عملکرد سیستم در واکنش به تغییرات فصلی، اقتصادی یا محیطی، تطبیق‌پذیری در شناسایی دوره‌های با عملکرد ضعیف یا بسیار کارا، بررسی تأثیرات کوتاه‌مدت سیاست‌ها یا شرایط محیطی، شناسایی روندهای مثبت یا منفی در بازه‌های زمانی مختلف، و ارائه بازخورد سریع جهت اصلاح فرایندها است.

کاربرد این توابع شامل شناسایی ضعف‌ها و ناکارایی‌های کلی سیستم، ارائه راهکارهای مدیریتی برای بهبود عملکرد کل زنجیره، و فراهم کردن تحلیلی جامع‌تر در مقایسه با ارزیابی‌های محدود به کارایی دوره‌ای یا بخشی است.

ج) محدودیت‌ها

محدودیت‌های تعریف‌شده برای بازیافت ضایعات غذایی در مدل،

1- Overall efficiency

به تحلیل دقیق ورودی‌ها و خروجی‌های مرتبط با آن کمک می‌کنند و از رعایت تعادل و منطق در تخصیص منابع و بررسی ناکارایی‌ها اطمینان حاصل می‌کنند.

معادله ۳ محدودیتی است که تضمین می‌کند خروجی‌های مطلوب حاصل از بازیافت ضایعات غذایی، بر اساس ترکیب مناسب ضرایب وزنی λ^t و مقدار ناکارایی s_o^{t-} محاسبه می‌شوند.

$$x_o^t = X^t \lambda^t + s_o^{t-} (\forall t) \qquad (۳)$$

معادله ۴ برای بررسی انتشار مواد نامطلوب (مانند گازهای گلخانه‌ای) ناشی از بازیافت ضایعات طراحی شده است. این مواد بر اساس ضرایب وزن λ^t و ناکارایی‌ها s_{obad}^{t-} محاسبه می‌شوند.

$$y_{obad}^t = Y_{bad}^t \lambda^t + s_{obad}^{t-} (\forall t) \qquad (۴)$$

مدل بکار گرفته شده در این مطالعه بدون تغییر در مقدار ورودی‌های نامطلوب، قادر است این متغیرها را نامطلوب در نظر بگیرد. توضیح این مطلب به این صورت است که درست مانند محدودیت ورودی‌ها (معادله ۳) که متغیر کمبود دارای علامت مثبت است، در محدودیت ۴ نیز علامت متغیر کمبود مثبت است؛ این علامت مثبت به معنی در نظر گرفتن خروجی‌ها به‌عنوان خروجی نامطلوب بوده و هیچ نیازی به تغییر در مقدار پارامترها وجود ندارد.

معادله ۵ بیان می‌کند که خروجی‌های مطلوب (مانند مواد بازیافتی) باید مطابق با ضرایب وزنی λ^t و مقدار ناکارایی S_{oin}^t محاسبه شوند.

$$y_{oin}^t = y_{in}^t \lambda^t + S_{oin}^t (in) \qquad (۵)$$

ضرایب وزنی برای تمامی واحدهای تصمیم‌گیرنده باید برابر با یک باشند تا تعادل و انسجام در محاسبات حفظ شود (معادله ۶).

$$e\lambda^t = 1 (\forall t) \qquad (۶)$$

معادلات ۷ و ۸ محدودیت‌های انتقال را معرفی می‌کنند. این محدودیت‌ها تضمین می‌کنند که ورودی‌های انتقالی در دوره‌های مختلف قابل انتقال باشند.

$$\sum_{j=1}^n z_{j\alpha}^{(t.(t+1))} \lambda_j^t = \sum_{j=1}^n z_{j\alpha}^{(t.(t+1))} \lambda_j^{t+1} (t = 1. \dots . T-1) \qquad (۷)$$

$$Z_{oinput}^{(t.(t+1))} = \sum_{j=1}^n z_{jinput}^{(t.(t+1))} \lambda_{jk}^t + s_{oinput}^{(t.(t+1))} \quad \forall t \qquad (۸)$$

در نهایت، تمام متغیرهای مدل باید غیرمنفی باشند، زیرا خروجی‌های مطلوب، نامطلوب و ضرایب وزنی نمی‌توانند مقادیر منفی داشته باشند (معادله ۹).

$$\lambda^t \geq 0. s_o^{t-} \geq 0. s_{obad}^{t-} \geq 0. \quad (\forall t) \qquad (۹)$$

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل اطلاعات کشاورزی ۳۱ استان ایران در بازه زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ است. این داده‌ها از منابع معتبری مانند آمارنامه‌های جهاد کشاورزی، مرکز آمار ایران و بانک مرکزی جمع‌آوری شده‌اند. اطلاعات مربوط به متغیرهای ورودی، خروجی و انتقال پس از پردازش و استانداردسازی به مدل وارد شده‌اند. اطلاعات کامل در زمینه جمع‌آوری داده‌های مدل در جدول ۱ ارائه شد.

شایان ذکر است که برای حل مدل ریاضی تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویا، از نرم‌افزار GAMS[1] استفاده شده است. شایان ذکر است که تابع هدف این مدل (معادله ۱) به‌صورت کسری تعریف شده است. این تابع هدف دارای ویژگی‌هایی است که آن را ذاتاً غیرخطی می‌کند. اول آنکه تابع هدف به‌صورت نسبت دو تابع خطی است. اگرچه برخی از مدل‌های برنامه‌ریزی کسری DEA[2] با استفاده از تبدیل‌هایی به فرم خطی تبدیل می‌شوند، اما این تبدیل در مدل‌های شبکه‌ای پویا با متغیرهای انتقالی و خروجی‌های نامطلوب، به‌دلیل وجود همزمان متغیرهای کمبود در صورت و مخرج کسر و همچنین وجود پیوندهای زمانی، منجر به یک مدل خطی ساده نمی‌شود. دوم وجود متغیرهای کمبود در مخرج کسر است. تنی (Tone, 2002) خود اشاره می‌کند که مدل SBM اصلی غیرخطی است و برای حل آن باید از تبدیل‌های خاص یا حلگرهای غیرخطی استفاده کرد. سوم آنکه مدل شامل محدودیت‌های انتقال بین دوره‌ای (معادلات ۷ و ۸) است که متغیرهای Z را به λ پیوند می‌دهد. این محدودیت‌ها همراه با تابع هدف کسری، مدلی ایجاد می‌کنند که خطی‌سازی ساده آن امکان‌پذیر نیست. بنابراین، حفظ ساختار اصلی مدل و حل آن به‌صورت NLP، رویکردی دقیق‌تر و قابل اعتمادتر است.CONOPT یک حلگر قدرتمند در نرم‌افزار GAMS است که برای مسائل بهینه‌سازی غیرخطی در مقیاس بزرگ که بر اساس روش گرادیان کاهش‌یافته تعمیم‌یافته (GRG)[3] کار می کند، تعبیه شده است. مدل مورد استفاده در این مطالعه با توجه به تعداد استان‌ها (n)، دوره‌ها (T) و متغیرها، یک مسئله غیرخطی نسبتاً بزرگ اما تنک[4] است و CONOPT برای چنین مسائلی بهینه شده است. همچنین، CONOPT به‌دلیل پایداری عددی بالا، در مسائل DEA که ممکن است مقادیر بسیار کوچک یا صفر در داده‌ها داشته باشند، مناسب است.

1- General Algebraic Modeling System
2- Fractional Programming
3- Generalized Reduced Gradient
4- Sparse

جدول ۱- توضیح محاسبه پارامترهای مدل به همراه منابع مورد استفاده

Table 1- Explanation of the calculation of model parameters along with the sources used

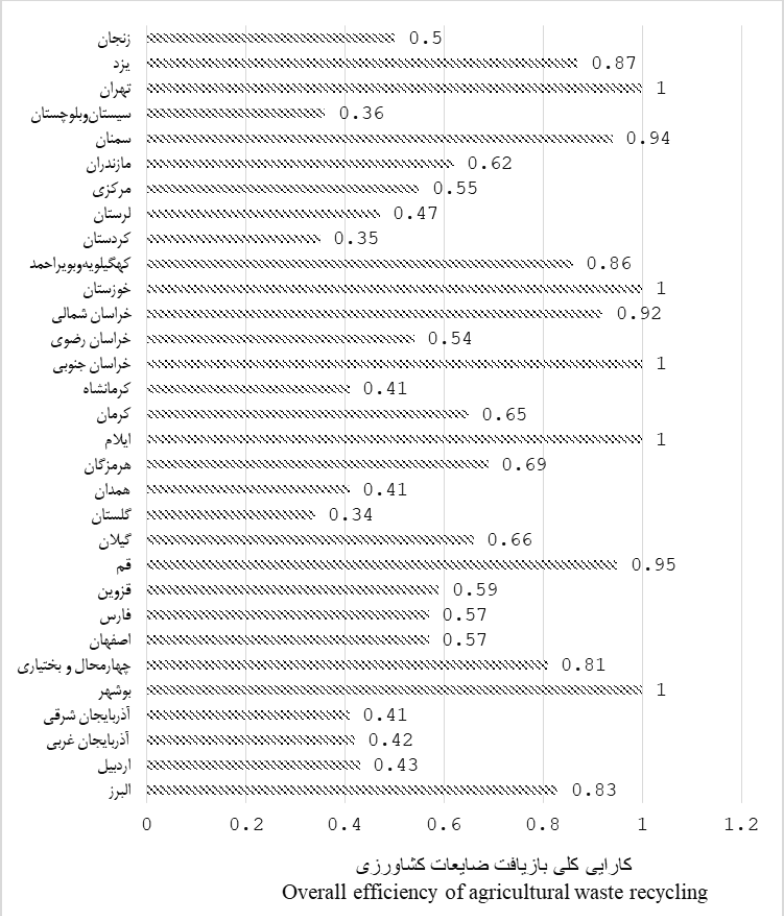
نوع پارامتر Parameter type	تعریف پارامتر Parameter definition	واحد Unit	نماد Symbol	نحوه محاسبه Calculation	منبع Source
ورودی Input	هزینه بازیافت ضایعات Waste recycling cost	میلیون ریال Million Rials	X3	جمعیت هر استان در سال t ضربدر سرانه ضایعات مواد غذایی (۲۷/۶ کیلوگرم) ضربدر نرخ بازیافت (۱۰ درصد) ضربدر هزینه بازیافت به ازای هر واحد وزنی. Population of each province in year t times per capita food waste (27.6 kg) times recycling rate (10%) times recycling cost per unit weight.	جمعیت استان‌ها: مرکز آمار ایران (سرشماری نفوس و مسکن)–سرانه ضایعات و نرخ بازیافت: (Khosravani *et al*., 2016) – هزینه بازیافت: (Badeenezhad *et al*., 2024) Population of provinces: Statistical Center of Iran (Population and Housing Census) - Per capita waste and recycling rate: (Khosravani *et al*., 2016) - Recycling cost: (Badeenezhad *et al*., 2024)
خروجی‌های نامطلوب Undesirable outputs	انرژی مصرفی Energy consumed	تن Ton	Y3	تولید محصولات کشاورزی استان j در سال t تقسیم بر کل تولیدات کشور در سال t ضربدر مقدار انرژی مصرفی سالانه کل کشور (بر اساس گزارش‌های ترازنامه انرژی). Agricultural production of province j in year t divided by the total production of the country in year t multiplied by the annual energy consumption of the entire country (based on energy balance reports).	تولیدات کشاورزی: وزارت جهاد کشاورزی، آمارنامه کشاورزی (جلد اول و سوم)–انرژی مصرفی کل کشور: ترازنامه هیدروکربوری Agricultural production: Ministry of Agricultural Jihad, Agricultural Statistics (Volumes One and Three) - Total national energy consumption: Hydrocarbon balance sheet
	CO_2	هزار تن A thousand tons		تولیدات کشاورزی استان مورد بررسی در سال t تقسیم بر کل تولیدات کشور در همان سال t ضربدر مقدار CO_2 انتشار یافته سال t (بر اساس ترازنامه هیدروکربوری). Agricultural production of the province under study in year t divided by the total production of the country in the same year t multiplied by the amount of CO2 emitted in year t (based on the hydrocarbon balance sheet).	تولیدات کشاورزی: وزارت جهاد کشاورزی آمارنامه کشاورزی (جلد اول و سوم)–انتشار آلاینده‌ها: ترازنامه هیدروکربوری Agricultural Production: Ministry of Agricultural Jihad Agricultural Statistics (Volumes One and Three) - Emissions of Pollutants: Hydrocarbon Balance Sheet
	CH_4	تن Ton		تولیدات کشاورزی استان مورد بررسی در سال t تقسیم بر کل تولیدات کشور در همان سال t ضربدر مقدار متان انتشار یافته سال t (بر اساس ترازنامه هیدروکربوری). Agricultural production of the province under study in year t divided by the total production of the country in the same year t multiplied by the amount of methane emitted in year t (based on the hydrocarbon balance sheet).	تولیدات کشاورزی: وزارت جهاد کشاورزی آمارنامه کشاورزی (جلد اول و سوم)–انتشار آلاینده‌ها: ترازنامه هیدروکربوری Agricultural Production: Ministry of Agricultural Jihad Agricultural Statistics (Volumes One and Three) - Emissions of Pollutants: Hydrocarbon Balance Sheet
پیوند Link	بازیافت ضایعات Waste recycling	صد تن One hundred tons	Z31	جمعیت هر استان در سال t ضربدر سرانه ضایعات مواد غذایی (۲۷/۶ کیلوگرم) ضربدر نرخ بازیافت (۱۰ درصد) Population of each province in year t times per capita food waste (27.6 kg) times recycling rate (10 percent)	جمعیت استان‌ها: مرکز آمار ایران (سرشماری نفوس و مسکن)–سرانه ضایعات و نرخ بازیافت: (Khosravani *et al*., 2016) Population of provinces: Statistical Center of Iran (Population and Housing Census) - Per capita waste and recycling rate: (Khosravani *et al*., 2016)

همچنین، برای تحلیل آماری و محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین کارایی عوامل (ورودی‌ها و خروجی‌ها) و میانگین کارایی کلی، از نرم‌افزار SPSS بهره گرفته شده است. این تحلیل به‌منظور بررسی آماری همبستگی بین امتیازهای کارایی هر یک از ورودی و خروجی‌های پژوهش انجام شده است.

در این پژوهش، برای اولین بار در ایران، از مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویا بر اساس رویکرد لیو و همکاران (Lu *et al.*, 2022) برای ارزیابی کارایی زیست‌اقتصادی بازیافت ضایعات مواد غذایی استفاده شده است. این مدل که یکی از پیشرفته‌ترین و جدیدترین مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها محسوب می‌شود، با ساختار شبکه‌ای خود امکان تحلیل فرآیندهای داخلی و پیوندهای بین بخشی را فراهم کرده و ماهیت پویای آن، مدل‌سازی متغیرهای انتقالی بین دوره‌های زمانی را میسر می‌سازد. ویژگی متمایز این مدل، قابلیت مدل‌سازی همزمان خروجی‌های مطلوب (بازیافت) و نامطلوب (آلاینده‌های زیست‌محیطی) بدون نیاز به تغییر در مقادیر آنهاست که آن را از مدل‌های کلاسیک DEA که صرفاً به ارزیابی تک‌دوره‌ای و تک‌فرآیندی می‌پردازند، متمایز می‌کند. نوآوری این پژوهش در کاربرد این مدل پیشرفته در حوزه بازیافت ضایعات غذایی و تلفیق همزمان ابعاد اقتصادی و زیست‌محیطی در چارچوبی یکپارچه و پویا برای استان‌های ایران است.

نتایج و بحث

شکل ۱ نتایج ارزیابی کارایی کلی سیستم‌های بازیافت ضایعات کشاورزی در استان‌های ایران را نشان می‌دهد. بر این اساس، پنج استان تهران، خوزستان، ایلام، خراسان جنوبی و بوشهر با کسب امتیاز کارایی برابر با ۱، به‌عنوان واحدهای کاملاً کارا شناسایی شده‌اند. این استان‌ها مرز کارایی را تشکیل می‌دهند و الگوی مناسبی برای بهره‌گیری سایر واحدها محسوب می‌شوند.



شکل ۱- مقایسه کارایی کلی بازیافت ضایعات غذایی در استان‌های ایران

Figure 1- Comparison of overall food waste recycling efficiency in Iranian provinces

جدول ۲- کارایی دوره‌ای بازیافت ضایعات کشاورزی در استان‌های ایران (۱۳۹۳-۱۳۹۸)

Table 2- Periodic efficiency of agricultural waste recycling in Iranian provinces (2014-2019)

استان Province	1393 2014	1394 2015	1395 2016	1396 2017	1397 2018	1398 2019
البرز Alborz	1	1	0.66	0.74	0.89	0.73
اردبیل Ardabil	0.46	0.62	0.36	0.36	0.4	0.39
آذربایجان غربی Azerbaijan West	0.44	0.4	0.41	0.38	0.58	0.35
آذربایجان شرقی Azerbaijan East	0.45	0.44	0.41	0.41	0.42	0.35
بوشهر Busheh	1	1	1	1	1	1
چهارمحال و بختیاری Chahar-e-Mahāl-e-Bakhtiari	0.8	0.84	0.79	0.79	0.8	0.81
اصفهان Isfahan	1	0.53	0.48	0.53	0.56	0.43
فارس Fars	0.61	0.62	0.56	0.61	0.58	0.43
قزوین Qazvin	0.58	0.56	0.7	0.63	0.61	0.44
قم Qom	0.9	0.92	1	0.94	0.96	0.99
گیلان Gilan	0.63	0.56	0.63	1	0.67	0.54
گلستان Golestan	0.38	0.35	0.33	0.35	0.31	0.31
همدان Hamdan	0.5	0.42	0.39	0.35	0.41	0.36
هرمزگان Hormozgan	1	0.69	0.6	0.6	0.69	0.64
ایلام Ilam	1	1	1	1	1	1
کرمان Kerman	0.63	0.55	0.59	0.63	1	0.57
کرمانشاه Kermanshah	0.41	0.35	0.33	0.36	0.63	0.35
خراسان جنوبی Khorasan South	1	1	1	1	1	1
خراسان رضوی Khorasan Razavi	0.5	1	0.44	0.45	0.53	0.41
خراسان شمالی North Khorasan	1	1	1	1	0.8	0.78
خوزستان Khuzestan	1	1	1	1	1	1
کهگیلویه‌وبویراحمد Kohgiluyeh-e-Boyr-Ahmad	1	0.74	1	0.69	1	0.74
کردستان Kurdistan	0.42	0.36	0.33	0.33	0.32	0.29

لرستان Lorestan	0.46	0.4	0.44	0.42	0.47	0.63
مرکزی Markazi	0.71	0.55	0.51	0.46	0.66	0.42
مازندران Mazandaran	0.66	0.62	0.58	0.67	0.6	0.59
سمنان Semnan	1	0.83	1	1	1	0.82
سیستان‌وبلوچستان Sistan-e-Baluchestan	0.38	0.35	0.34	0.34	0.35	0.32
تهران Tehran	1	1	1	1	1	1
یزد Yazd	1	1	0.79	0.74	0.95	0.77
زنجان Zanjan	0.49	0.48	0.48	0.57	0.52	0.46
میانگین Average	0.72	0.68	0.65	0.66	0.7	0.61

در مقابل، استان‌های گلستان (۰/۳۴)، کردستان (۰/۳۵)، آذربایجان شرقی و کرمانشاه (هر دو ۰/۴۱)، و آذربایجان غربی (۰/۴۲) کمترین سطح کارایی را ثبت کرده‌اند. این یافته بیانگر ضعف جدی در ساختارهای فنی، نهادی یا عملیاتی مدیریت و بازیافت ضایعات کشاورزی در این مناطق است و لزوم توجه فوری و برنامه‌ریزی هدفمند برای رفع شکاف کارایی را آشکار می‌سازد.

همچنین، گروهی از استان‌ها از جمله قم (۰/۹۵)، سمنان (۰/۴۵)، کهگیلویه و بویراحمد (۰/۸۶)، یزد (۰/۸۷)، البرز (۰/۸۳) و چهارمحال و بختیاری (۰/۸۱) در محدوده کارایی نسبتاً بالا قرار دارند، اما همچنان فاصله‌ای تا دستیابی به کارایی کامل دارند.

در مجموع، میانگین کارایی در سطح کشور نشان‌دهنده توزیع ناهمگون و پراکنده عملکرد استانی است؛ در حالی‌که بخشی از استان‌ها عملکردی نزدیک به بهینه دارند، گروه قابل توجه دیگری فاصله چشم گیری تا مرز کارایی دارند. این پراکندگی، بازتابی از ناهمگونی‌های منطقه‌ای در دسترسی به زیرساخت‌های مناسب، سطح فناوری، ظرفیت‌های نهادی و چارچوب‌های حکمرانی در حوزه مدیریت پسماند کشاورزی است.

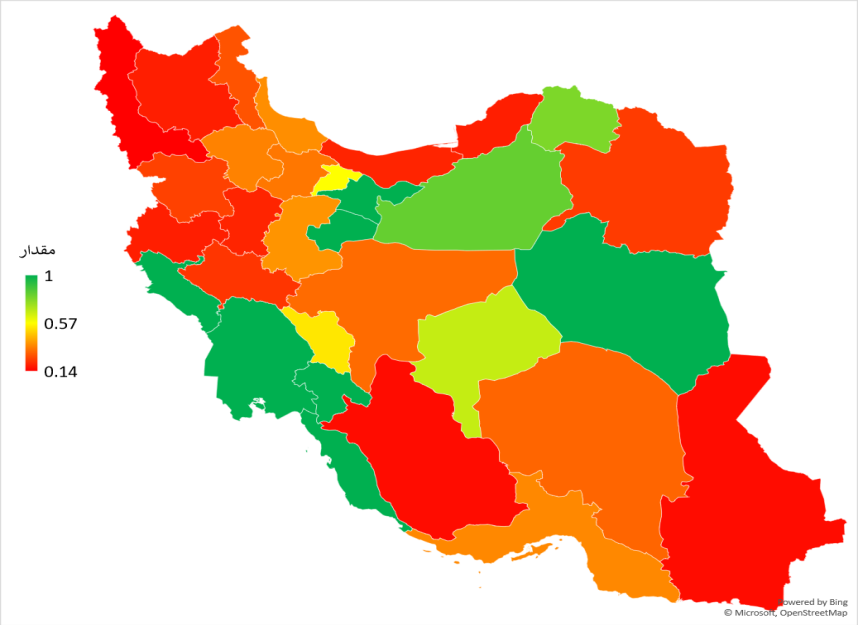
جدول ۲ کارایی بازیافت ضایعات کشاورزی در استان‌های ایران را در طول شش سال (۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸) نشان می‌دهد. برخی استان‌ها در تمام دوره‌ها به کارایی کامل (امتیاز ۱) دست یافته‌اند. از جمله این استان‌ها می‌توان به بوشهر، ایلام، خراسان جنوبی، خوزستان و تهران اشاره کرد که مدیریت مؤثر و پایداری در فرآیندهای بازیافت داشته‌اند. در مقابل، استان‌های گلستان، سیستان و بلوچستان، کردستان و اردبیل در تمام سال‌ها کارایی پایین (زیر ۰/۵) داشته‌اند. به‌عنوان مثال، گلستان در سال ۱۳۹۸ کمترین کارایی را با امتیاز ۰/۳۱ ثبت کرده است. این یافته‌ها نشان‌دهنده نیاز این استان‌ها به بهبود زیرساخت‌ها و فرآیندهای بازیافت است. استان‌هایی مانند آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و لرستان در بیشتر سال‌ها کارایی متوسطی داشته‌اند، اما تغییرات قابل توجهی نشان داده‌اند. برای نمونه، لرستان در سال ۱۳۹۸ به امتیاز ۰/۶۳ رسیده که نسبت به سال‌های قبل افزایش قابل توجهی است. استان‌های اصفهان، گیلان و فارس نیز عملکردی نوسانی داشته‌اند. این استان‌ها در برخی دوره‌ها به کارایی نزدیک به کامل دست یافته‌اند، اما در سایر دوره‌ها افت چشم‌گیری داشته‌اند. به‌طور مثال، اصفهان در سال ۱۳۹۳ کارایی کامل داشته، اما در سال ۱۳۹۸ به ۰/۴۳ کاهش یافته است.

میانگین کارایی کشوری از ۰/۷۲ در سال ۱۳۹۳ به ۰/۶۱ در سال ۱۳۹۸ کاهش یافته است که نشان‌دهنده چالش‌های افزایشی در مدیریت ضایعات غذایی در طول این دوره است.

این الگوها بیانگر تفاوت‌های قابل ملاحظه در عملکرد استان‌ها است. استان‌هایی که در تمام دوره‌ها کارایی کامل داشته‌اند، نمونه‌های موفقی از مدیریت پایدار منابع هستند. در مقابل، استان‌های با کارایی پایین نیازمند اقدامات اصلاحی و سیاست‌های حمایتی برای بهبود فرآیندهای بازیافت و بهره‌برداری بهتر از منابع هستند.

شکل ۲ توزیع فضایی کارایی بازیافت ضایعات کشاورزی در ایران را نشان می‌دهد. در این نقشه، نواحی با رنگ سبز بیانگر کارایی بالا و نواحی با رنگ قرمز نشان‌دهنده کارایی پایین هستند. همان‌طور که دیده می‌شود، الگوی روشنی از ناهمگونی جغرافیایی وجود دارد. مناطق با کارایی بالاتر بیشتر در بخش‌های مرکزی، جنوبی و شرقی کشور قرار دارند، در حالی که مناطق با کارایی پایین عمدتاً در غرب و شمال‌غرب مشاهده می‌شوند. رنگ‌های زرد و نارنجی نیز بیانگر سطوح میانی

کارایی بوده و در برخی مناطق شمال، مرکز و جنوب‌شرق کشور دیده می‌شوند. این الگوی فضایی نشان می‌دهد که کارایی بازیافت ضایعات کشاورزی در ایران یکنواخت نیست و تفاوت قابل‌توجهی بر اساس موقعیت جغرافیایی وجود دارد.



شکل ۲- نقشه کارایی بازیافت ضایعات مواد غذایی در ایران
Figure 2- Food waste recycling efficiency map in Iran

جدول ۳ وضعیت اولویت حاکمیت برای اهمیت دادن به متغیرهای مختلف در بازیافت ضایعات مواد غذایی را در استان‌های ایران نشان می‌دهد. میانگین کارایی کلی در حدود ۰/۴(۴۰ درصد) است، که نشان‌دهنده این است که بیش از ۶۰ درصد استان‌ها کارایی پایین‌تر از میانگین دارند.

کمترین کارایی در میان پارامترهای مورد بررسی مربوط به مصرف انرژی بوده است که میانگین پایینی نسبت به سایر متغیرها (مثل CO_2 و متان) داشته است. این یافته نشان‌دهنده ضعف ساختاری در مدیریت انرژی در فرایندهای بازیافت ضایعات کشاورزی در اکثر استان‌ها است.

بر اساس رتبه‌بندی کارایی بازیافت، استان‌هایی با کارایی پایین‌تر شامل اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، گلستان، همدان، کرمانشاه، کردستان، لرستان و سیستان و بلوچستان هستند. این استان‌ها باید در اولویت بالاتری برای بهبود قرار گیرند (به‌ویژه در زمینه‌های کاهش هزینه‌های ضایعات و مصرف انرژی). در میان این استان‌ها، گلستان (۰/۳۸)، کردستان (۰/۴۵)، سیستان و بلوچستان (۰/۲۸)، آذربایجان شرقی (۰/۳۴)، همدان (۰/۴۳)، کرمانشاه (۰/۳۸)، آذربایجان غربی (۰/۲۹) و فارس (۰/۳۸) به دلیل کارایی پایین در هزینه ضایعات، نیازمند توجه ویژه‌تری هستند.

نمادهای اولویت بهبود در جدول شامل ★ (اولویت بالا)، □ (اولویت متوسط) و X (بدون نیاز به بهبود) نشان‌دهنده سطح ضرورت مداخله سیاستی است. استان‌هایی با نماد ★، به‌ویژه گلستان، کردستان و سیستان و بلوچستان نیازمند برنامه‌های فوری برای ارتقای کارایی در مدیریت انرژی و هزینه‌های ضایعات هستند.

شکل ۳ مقایسه‌ای بین کارایی کلی و کارایی کل-عامل برای خروجی‌های نامطلوب شامل هزینه ضایعات، انرژی مصرفی، CO_2 و متان را در استان‌های ایران نشان می‌دهد. در این شکل، استان‌هایی با کارایی بازیافت بالا، مانند بوشهر، ایلام، خراسان جنوبی، خوزستان و تهران دارای کارایی کلی نزدیک به ۱ هستند. در مقابل، استان‌هایی با کارایی بازیافت پایین، مانند گلستان (۰/۱۸۵)، کردستان (۰/۲۴۹)، سیستان و بلوچستان (۰/۱۵۵) و آذربایجان شرقی (۰/۱۸۷) نشان‌دهنده کارایی کلی پایین‌تر هستند. خروجی‌های نامطلوب نیز الگوهای مشابهی را نشان می‌دهند: استان‌هایی با کارایی بالا، مقدار کمتری از متان، CO_2 و انرژی مصرفی دارند. به عنوان مثال بوشهر با کارایی ۱، مقدار متان، CO_2 و انرژی مصرفی را همگی برابر با ۱ (به معنای کمترین سطح خروجی نامطلوب در مقیاس) ثبت کرده است. در مقابل، گلستان با کارایی ۰/۱۸۵، مقدار متان، CO_2 و انرژی مصرفی را به‌ترتیب ۰/۲۱۴، ۰/۲۱۲و ۰/۲۱۲ دارد که نشان‌دهنده ناکارآمدی در کاهش آلودگی است. این یافته‌ها بر ضرورت توسعه فناوری‌های کاهش انتشار در این مناطق تأکید دارد. به‌طور کلی، کارایی کلی تحت تأثیر کارایی بازیافت و خروجی‌های نامطلوب قرار دارد. این یافته‌ها نشان می‌دهد

که بهبود کارایی بازیافت، به‌ویژه از طریق کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های ضایعات می‌تواند به افزایش کارایی کلی و کاهش آلودگی منجر شود.

این الگوها با یافته‌های جدول ۳ هم سو ه ستند و ن شان می‌دهند که اســـتان‌هایی با اولویت بهبود بالاتر (نماد ★) مانند گلســـتان، کردســـتان و ســـیســـتان و بلوچســـتان نیازمند توجه ویژه به مدیریت خروجی‌های نامطلوب هستند.

جدول ۳- وضعیت اولویت حاکمیت برای متغیرهای بکار رفته در کارایی بازیافت ضایعات مواد غذایی

Table 3- Governance priority status for variables used in food waste recycling efficiency

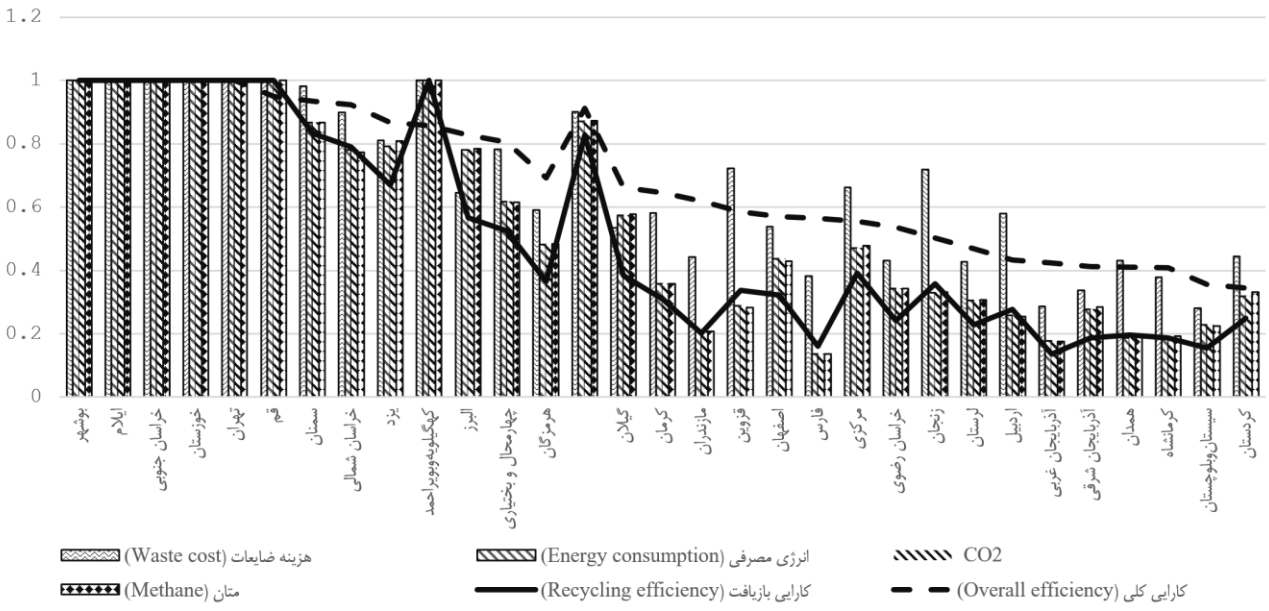
کارایی بازیافت Recycling efficiency	رتبه Rank	متان Methane	CO_2	انرژی مصرفی Energy consumption	هزینه ضایعات Waste cost	استان Province	اولویت بهبود Priority for improvement
0.34	1	0.21	0.21	0.21	0.38	گلستان Golestan	★(۲)
0.35	2	0.33	0.32	0.32	0.45	کردستان Kurdistan	★(۲)
0.36	3	0.23	0.23	0.23	0.28	سیستان‌وبلوچستان Sistan and Baluchestan	★(۱)
0.41	4	0.29	0.28	0.28	0.34	آذربایجان شرقی Azerbaijan East	★(۱)
0.41	5	0.19	0.19	0.19	0.43	همدان Hamedan	★(۱)
0.41	6	0.19	0.19	0.19	0.38	کرمانشاه Kermanshah	★(۱)
0.42	7	0.18	0.18	0.18	0.29	آذربایجان غربی Azerbaijan West	★(۱)
0.43	8	0.25	0.26	0.26	0.58	اردبیل Ardabil	★(۱)
0.47	9	0.31	0.31	0.3	0.43	لرستان Lorestan	★(۱)
0.5	10	0.33	0.33	0.33	0.72	زنجان Zanjan	★(۱)
0.54	11	0.34	0.34	0.34	0.43	خراسان رضوی Razavi Khorasan	★(۱)
0.55	12	0.48	0.47	0.47	0.66	مرکزی Markazi	★(۱)
0.57	13	0.43	0.44	0.44	0.54	اصفهان Isfahan	★(۱)
0.57	14	0.14	0.14	0.14	0.38	فارس Fars	★(۱)
0.59	15	0.28	0.29	0.29	0.72	قزوین Qazvin	★(۱)
0.62	16	0.21	0.21	0.21	0.44	مازندران Mazandaran	★(۱)
0.65	17	0.36	0.36	0.36	0.58	کرمان Kerman	★(۱)
0.66	18	0.58	0.58	0.57	0.53	گیلان Gilan	★(۱)
0.69	19	0.48	0.48	0.48	0.59	هرمزگان Hormozgan	★(۱)
0.81	20	0.62	0.62	0.62	0.78	چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	◎(۱)
0.83	21	0.79	0.78	0.78	0.65	البرز Alborz	★(۱)
0.86	22	1	1	1	1	کهگیلویه‌وبویراحمد Kohgiluyeh and Boyer Ahmad	X

◎(۱)	یزد Yazd	0.81	0.79	0.79	0.81	23	0.87
◎(۱)	خراسان شمالی Khorasan North	0.9	0.78	0.78	0.77	24	0.92
◎(۱)	سمنان Semnan	0.98	0.87	0.87	0.87	25	0.94
X	قم Qom	1	1	1	1	26	0.95
X	بوشهر Busheh	1	1	1	1	27	1
X	ایلام Ilam	1	1	1	1	28	1
X	خراسان جنوبی Khorasan South	1	1	1	1	29	1
X	خوزستان Khuzestan	1	1	1	1	30	1
X	تهران Tehran	1	1	1	1	31	1

★ ارتقا اولویت با بهره‌وری پایین‌تر (★ Priority upgrade with lower productivity)

◎ اولویت بهبود کمتر با امتیاز کارایی بالاتر (□ Lower improvement priority with higher performance score)

اولویت (۱) > (۲) > (۳)



شکل ۳- کارایی کل و کل-عامل خروجی‌های نامطلوب در بازیافت ضایعات غذا به تفکیک استان‌ها

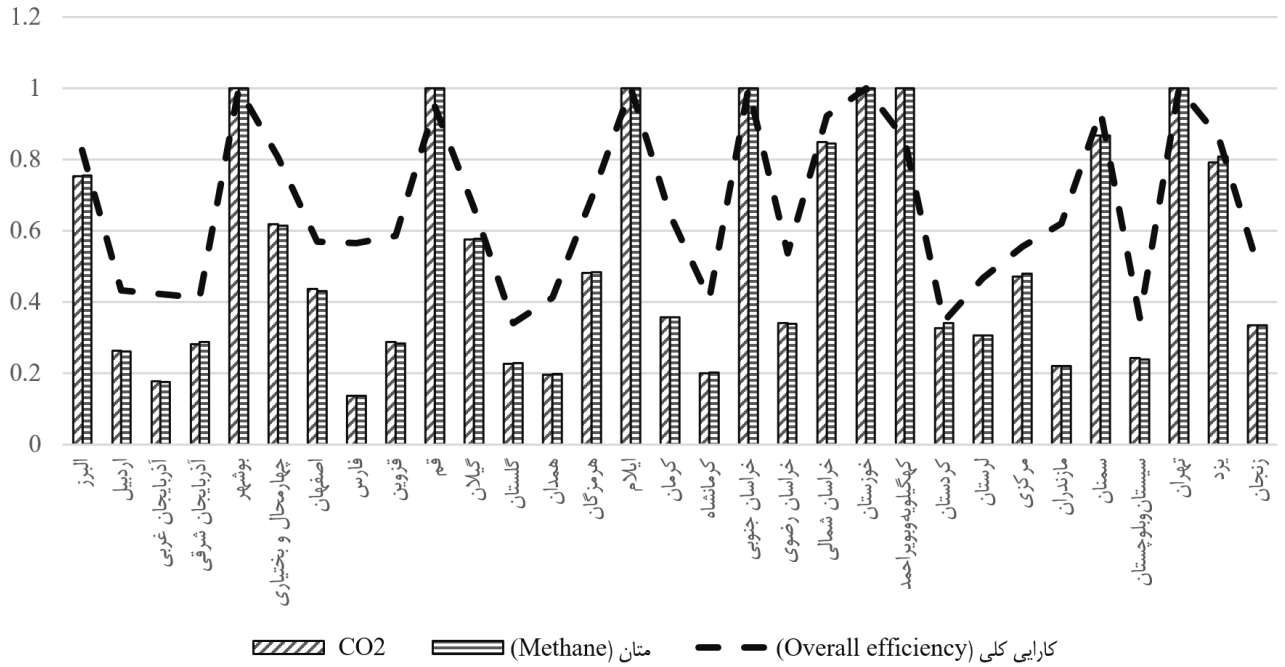
Figure 3- Overall efficiency and total-factor of undesirable outputs in food waste recycling by province

شکل ۴ کارایی مدیریت متان و دی‌اکسید کربن را در فرآیند بازیافت ضایعات عذایی در استان‌های ایران نشان می‌دهد. در این چارچوب، مقادیر بالاتر نشان‌دهنده مدیریت بهتر و کاهش بیشتر انتشار این گازهای گلخانه‌ای است. بر اساس داده‌ها، استان فارس کمترین کارایی را در مدیریت هر دو خروجی نامطلوب (متان= ۰/۱۳۷، CO_2= ۰/۱۳۷) دارد و نیازمند تمرکز فوری بر کاهش انتشار این گازها در فرآیند بازیافت ضایعات کشاورزی است.

در مقابل، استان‌های بوشهر، ایلام، خراسان جنوبی، خوزستان و تهران کارایی کامل (۱) در مدیریت هر دو گاز را ثبت کرده‌اند، که نشان‌دهنده عملکرد بهینه در کاهش آلودگی هوا است.

استان‌های لرستان، کردستان، کرمانشاه، مازندران، سیستان و بلوچستان، همدان، اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، قزوین، گلستان، کرمان، خراسان رضوی، زنجان، اصفهان، مرکزی و هرمزگان نیز کارایی پایین‌تری در مدیریت متان و CO_2 دارند و باید بهبود این دو پارامتر را در اولویت سیاست‌های خود قرار دهند. به‌ویژه، استان‌های اردبیل، گلستان، همدان، کرمانشاه، آذربایجان شرقی، کردستان،

لرستان، مرکزی و سیستان و بلوچستان در مدیریت متان عملکرد ضعیف‌تری دارند (مقادیر زیر ۰/۲) و نیازمند اقدامات خاص برای کاهش این گاز با پتانسیل گرمایشی بالا هستند. این الگوها نشان می‌دهند که بیشتر استان‌های با کارایی پایین در بازیافت، همزمان با مشکل جدی انتشار گازهای گلخانه‌ای مواجه هستند، که نشان‌دهنده ناکارآمدی ساختاری در فرآیندهای بازیافت است.



شکل ٤- کارایی عوامل توسعه پایدار موادغذایی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای

Figure 4- Efficiency of factors for sustainable food development and greenhouse gas emission reduction

جهت بررسی رابطه میان امتیاز کارایی بازیافت ضایعات غذایی و کارایی در مدیریت عوامل نامطلوب، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد (جدول ۴). نتایج این آزمون نشان می‌دهد که همبستگی مثبت، قوی و معناداری بین کارایی بازیافت و سایر شاخص‌های مدیریت خروجی‌های نامطلوب وجود دارد. به‌طور خاص، ضریب همبستگی پیرسون بین کارایی بازیافت و هزینه ضایعات (۰/۹۴۱)، مصرف انرژی (۰/۹۸۱)، دی‌اکسیدکربن (۰/۹۸۱) و متان (۰/۹۸۰) نشان می‌دهد که این عوامل به‌شدت با امتیاز کارایی بازیافت در ارتباط هستند. تمامی ضرایب همبستگی در سطح معناداری ۰/۰۱ آماری معنادار بوده‌اند که نشان‌دهنده رابطه‌ای قوی و مثبت بین این متغیرهاست. این یافته‌ها بیانگر آن است که استان‌هایی که در مدیریت هزینه‌های ضایعات، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای (دی‌اکسیدکربن و متان) عملکرد بهتری دارند، همزمان کارایی بالاتری در فرایند بازیافت ضایعات کشاورزی نیز کسب می‌کنند.

همچنین، نتایج نشان می‌دهد که ارتباط قوی میان خود عوامل نامطلوب نیز وجود دارد؛ به‌عنوان مثال، ضریب همبستگی بین مصرف انرژی و دی‌اکسیدکربن (۱/۰۰۰) و بین دی‌اکسیدکربن و متان (۰/۹۹۹) بسیار بالا و معنادار است. این امر نشان می‌دهد که این خروجی‌های نامطلوب اغلب همزمان و هم‌راستا در سیستم بازیافت رخ می‌دهند و کاهش یکی می‌تواند به کاهش دیگری منجر شود. بنابراین، سیاست‌هایی که همزمان بر کاهش مصرف انرژی، هزینه‌های ضایعات و انتشار گازهای گلخانه‌ای تمرکز کنند، می‌توانند به‌طور همزمان کارایی بازیافت ضایعات کشاورزی را در سطح استانی بهبود بخشند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش با بهره‌گیری از مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویا و لحاظ کردن خروجی‌های نامطلوب، به ارزیابی کارایی زیست‌اقتصادی بازیافت ضایعات کشاورزی در ۳۱ استان ایران طی دوره ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ پرداخته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که عملکرد استان‌ها در این حوزه بسیار ناهمگون است. پنج استان تهران، بوشهر، ایلام، خوزستان و خراسان جنوبی در تمامی سال‌های مورد بررسی دارای کارایی کامل (۱) بوده‌اند و به‌عنوان الگوهای موفق در مدیریت پایدار ضایعات کشاورزی شناخته می‌شوند. در مقابل، استان‌هایی مانند گلستان، کردستان، سیستان و بلوچستان، آذربایجان شرقی و کرمانشاه به‌طور مداوم کارایی بسیار پایینی (زیر ۰/۴۵) داشته‌اند و در مدیریت هزینه‌های ضایعات، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO_2

و متان) عملکرد ضعیفی از خود نشان داده‌اند.

آزمون همبستگی پیرسون نیز رابطه‌ای مثبت، قوی و معنادار بین کارایی بازیافت و کارایی در مدیریت عوامل نامطلوب تأیید کرد. این یافته نشان می‌دهد که کاهش همزمان هزینه‌ها، مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها نه‌تنها با یکدیگر هم‌راستاست، بلکه مستقیماً به افزایش کارایی بازیافت منجر می‌شود. همچنین، کاهش میانگین کارایی کشوری از ۰/۷۲ در سال ۱۳۹۳ به ۰/۶۱ در سال ۱۳۹۸، بیانگر تشدید چالش‌های ساختاری در سیستم بازیافت ضایعات کشاورزی در ایران است.

جدول ٤- آزمون ضریب همبستگی پیرسون برای بازیافت ضایعات موادغذایی

Table 4- Pearson correlation coefficient test for food waste recycling

	هزینه ضایعات Waste cost	انرژی مصرفی Energy consumed	دی‌اکسیدکربن Carbon dioxide	متان Methane	بازیافت ضایعات Waste recycling
هزینه ضایعات Waste cost	1.00	0.889**	0.889**	0.887**	0.941**
انرژی مصرفی Energy consumed	0.889**	1.00	1.00**	0.999**	0.981**
دی‌اکسیدکربن Carbon dioxide	0.889**	1.00**	1.00	0.999**	0.981**
متان Methane	0.887**	0.999**	0.999**	0.887**	0.980**
بازیافت ضایعات Waste recycling	0.941**	0.981**	0.981**	0.980**	1.00

* و ** به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد هستند.

*and ** indicate significance at the 5 and 1 percent levels, respectively.

پیشنهادهای سیاستی

اولویت‌دهی منطقه‌محور: استان‌های با کارایی پایین (به‌ویژه گلستان، کردستان و سیستان و بلوچستان) باید در اولویت اول برنامه‌های مداخله‌گری قرار گیرند.

تبادل دانش و تجربیات موفق: ایجاد بستری برای انتقال دانش فنی و مدیریتی از استان‌های الگو (مانند تهران و خوزستان) به استان‌های با کارایی پایین‌تر می‌تواند زمینه‌ساز بهبود شرایط گردد.

حمایت‌های مالی و قانونی: ارائه مشوق‌های مالی، معافیت‌های مالیاتی و قوانین الزام‌آور برای جمع‌آوری و بازیافت ضایعات غذایی با توجه به اولویت‌های تعیین شده در این مطالعه می‌تواند کارایی کلی در ایران را بهبود بخشد.

این پژوهش با پر کردن شکاف‌های تحقیقاتی، از جمله لحاظ خروجی‌های نامطلوب و استفاده از مدل پویا گامی مؤثر در جهت تحول به سمت اقتصاد زیستی در ایران برداشته است.

References

1. Al Mamun, A., Hayat, N., Malarvizhi, C.A.N., & Zainol, N.R.B. (2020). Economic and environmental sustainability through green composting: A study among low-income households. *Sustainability*, *12*(16), 6488. https://doi.org/10.3390/su12166488
2. Almaraz, M., Bai, E., Wang, C., Trousdell, J., Conley, S., Faloona, I., & Houlton, B.Z. (2018). Agriculture is a major source of NO x pollution in California. *Science Advances*, *4*(1), eaao3477. https://doi.org/10.1126/sciadv.aau2561
3. Badeenezhad, A., Darabi, K., Torkashvand, J., Khosravani, F., & Moein, H. (2024). Economic and waste flow analysis of available scenarios to improve food waste management in Tehran. *Results in Engineering*, *24*, 102852. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102852
4. Baráth, L., Bakucs, Z., Benedek, Z., Fertő, I., Nagy, Z., Vígh, E., Debrenti, E., & Fogarasi, J. (2024). Does participation in agri-environmental schemes increase eco-efficiency? *Science of the Total Environment*, *906*, 167518. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167518
5. Chen, C.-M., & Wang, H. (2024). Comparing eco-efficiency with productive efficiency: Addressing the dimensionality issue. *European Journal of Operational Research*, *313*(3), 1170-1179. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.09.001
6. De Corato, U., Viola, E., Keswani, C., & Minkina, T. (2024). Impact of the sustainable agricultural practices for governing soil health from the perspective of a rising agri-based circular bioeconomy. *Applied Soil Ecology*, *194*,

105199. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105199
7. Dey, S., Reang, N., Das, P., & Deb, M. (2021). A comprehensive study on prospects of economy, environment, and efficiency of palm oil biodiesel as a renewable fuel. *Journal of Cleaner Production*, *286*, 124981. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124981
8. FAO. (2011). *Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention.* https://doi.org/10.19103/as.2019.0053.01
9. FAO. (2013). *Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food wastage footprint: Impacts on natural resources.* .
10. Fytili, D., & Zabaniotou, A. (2022). Organizational, societal, knowledge and skills capacity for a low carbon energy transition in a Circular Waste Bioeconomy (CWBE): Observational evidence of the Thessaly region in Greece. *Science of the Total Environment*, *813*, 151870. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151870
11. Heidenreich, A., Grovermann, C., Kadzere, I., Egyir, I.S., Muriuki, A., Bandanaa, J., Clottey, J., Ndungu, J., Blockeel, J., & Muller, A. (2022). Sustainable intensification pathways in Sub-Saharan Africa: Assessing eco-efficiency of smallholder perennial cash crop production. *Agricultural Systems*, *195*, 103304. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103304
12. Hsu, E. (2021). Cost-benefit analysis for recycling of agricultural wastes in Taiwan. *Waste Management*, *120*, 424-432. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.051
13. Khosravani, F., Pezeshki Rad, G.R., & Farhadian, H. (2016). Analyze of component consumer behavior toward food waste in Tehran. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, *13*(53), 173-183.
14. Klitkou, A., Fevolden, A.M., & Capasso, M. (2019). *From waste to value: Valorisation pathways for organic waste streams in circular bioeconomies*. Taylor & Francis. https://doi.org/10.4324/9780429460289
15. Koli, A., Pattanshetti, A., Mane-Gavade, S., Dhabbe, R., Kamble, R., Garadkar, K., & Sabale, S. (2024). Agro-waste management through sustainable production of activated carbon for CO_2 capture, dye and heavy metal ion remediation. *Waste Management Bulletin*, *2*(1), 97-121. https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.12.010
16. Kumar, R.S., Sasikumar, R., & Dhilipkumar, T. (2024). Exploiting agro-waste for cleaner production: A review focusing on biofuel generation, bio-composite production, and environmental considerations. *Journal of Cleaner Production*, *435*, 140536. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140536
17. Lu, L.C., Chiu, S.-Y., Chiu, Y.-h., & Chang, T.-H. (2022). Three-stage circular efficiency evaluation of agricultural food production, food consumption, and food waste recycling in EU countries. *Journal of Cleaner Production*, *343*, 130870. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130870
18. Mardani Najafabadi, M., Karimi, K., & Mirzaei, A. (2025). Managing the use of production inputs to improve the efficiency of agricultural production in Iran: Application of dynamic network data envelopment analysis. *Agricultural Economics*, *19*(3). https://doi.org/10.22034/iaes.2025.2043911.2089
19. Mardani Najafabadi, M., Kazmi, H., Shirzadi Laskookalayeh, S., & Abdeshahi, A. (2023). Investigating the ability of fuzzy and robust DEA models to apply uncertainty conditions: an application for date palm producers. *OPSEARCH*, *60*(2), 776-801. https://doi.org/10.1007/s12597-023-00631-6
20. Mirzaei, A., Naserin, A., & Najafabadi, M.M. (2024). Optimizing water-energy-food nexus index, CO_2 emissions, and chemical pollutants under irrigation water salinity scenarios. *Environmental and Sustainability Indicators*, *23*, 100461. https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100461
21. Muizniecea, I., Dace, E., & Blumberga, D. (2015). Dynamic modeling of the environmental and economic aspects of bio-resources from agricultural and forestry wastes. *Procedia Earth and Planetary Science*, *15*, 806-812. https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.08.129
22. Munir, S., Zia Ul Haq, M., Shafiq, S., Azeem, A., & Ali, I. (2025). From waste to value: traditional to innovative approaches for agricultural and food waste valorization. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 1-23. https://doi.org/10.1007/s10163-025-02251-2
23. Ong, P.J., Leow, Y., Soo, X.Y.D., Chua, M.H., Ni, X., Suwardi, A., Tan, C.K.I., Zheng, R., Wei, F., & Xu, J. (2023). Valorization of Spent coffee Grounds: A sustainable resource for Bio-based phase change materials for thermal energy storage. *Waste Management*, *157*, 339-347. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.12.039
24. Osei-Owusu, A.K., Read, Q.D., & Thomsen, M. (2023). Potential energy and environmental footprint savings from reducing food loss and waste in Europe: a scenario-based multiregional input–output analysis. *Environmental Science & Technology*, *57*(43), 16296-16308. https://doi.org/10.1021/acs.est.3c00158
25. Rastegaripour, F., Najafabadi, M.M., Ohadi, N., Tavassoli, A., & Caballero-Calvo, A. (2025). Enhancing agricultural eco-efficiency amid data uncertainty: Saffron farming insights from a semi-arid region. *Environmental Modeling & Assessment*, *30*(5), 1089-1103. https://doi.org/10.1007/s10666-025-10043-z
26. Ren, C., Liu, S., Van Grinsven, H., Reis, S., Jin, S., Liu, H., & Gu, B. (2019). The impact of farm size on agricultural sustainability. *Journal of Cleaner Production*, *220*, 357-367. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.151
27. Sharma, R. (2024). Agro-industrial waste to energy-Sustainable management. *Sustainable Materials and Technologies*, *41*, e01117. https://doi.org/10.1016/j.susmat.2024.e01117
28. Singh, R., Paritosh, K., Pareek, N., & Vivekanand, V. (2022). Integrated system of anaerobic digestion and pyrolysis

for valorization of agricultural and food waste towards circular bioeconomy. *Bioresource Technology*, *360*, 127596. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127596

29. Tone, K. (2002). A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, *143*(1), 32-41. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00324-1
30. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results (UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3). United Nations. https://doi.org/10.18356/9789211065138
31. Ye, Z., Guo, X., Cheng, L., Cheng, S., Chen, D., Wang, W., & Liu, B. (2019). Reducing PM2. 5 and secondary inorganic aerosols by agricultural ammonia emission mitigation within the Beijing-Tianjin-Hebei region, China. *Atmospheric Environment*, *219*, 116989. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116989
32. Zhang, X.-h. (2019). Farm size and fertilizer sustainable use: An empirical study in Jiangsu, China. *Journal of Integrative Agriculture*, *18*(12), 2898-2909. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62732-2

Contents

Evaluating the Welfare and Environmental Impacts of Using Cellulosic Biomass Energy in Iran 237
A. Mehrjo, H. Amirnejad, K. Ataie Solout, H. Azadi

Challenges of Sustainability in Grazing-Based Livestock Production Systems under Climate Change (Case Study: Kermanshah Province) 253
Sh. Nejatian, H. Shabanali Fami, N. Motiei

Investigation of the Role of Virtual Reality and Augmented Reality Technologies in the Development of Smart Agriculture with the Mediating Role of Digital Transformation 277
N. Seifollahi

Study of a Stable Optimal Combination for Selected Low-Water-Consuming Agricultural Crops in Iran 291
R. Allahverdi, H. Rafiee, E. Pishbahar, S. Yazdani, M. Pendar, A. Liaghat

Explaining the Barriers and Limitations of International Entrepreneurial Marketing from the Perspective of Greenhouse Growers in Tehran Province 319
M. Khorasani, F. Razzaghi Borkhani, T. Azizi-Khalkheili

Assessing the Eco-efficiency of Food Waste Recycling in Iran: A Dynamic Data Envelopment Analysis Approach with Undesirable Outputs 339
Kh. Karimi, M. Mardani Najafabadi, A. Mirzaei

Agricultural Economics & Development

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol. 40 No.3 Fall 2026

Published by: Ferdowsi University of Mashhad (College of Agriculture) Iran.

Editor in charge: Valizadeh, R. (Ruminant Nutrition)

General Chief Editor: Shahnoushi, N(Economics & Agricultural)

Editorial Board:

Akbari, A	Agricultural Economics	University of Sistan & Baluchestan
Abdeshahi, A	Agricultural Economics	Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan
Bakhshoodeh, M	Agricultural Economics	Shiraz University
Daneshvar Kakhki, M	Agricultural Economics	Ferdowsi University of Mashhad
Dourandish, A	Agricultural Economics	University of Tehran
Dashti, GH	Agricultural Economics	University of Tabriz
Hasanzadeh, S	Economics	Huron at Western University, Canada
Homayounifar, H	Economics	Ferdowsi University of Mashhad
Karbasi, A.R	Agricultural Economics	Ferdowsi University of Mashhad
Mahdavi Adeli, M.H	Economics	Ferdowsi University of Mashhad
M. Mojaverian	Agricultural Economics	Sari Agricultural Sciences and Natural Resources
Najafi, B	Agricultural Economics	Shiraz University
Robert Reed, M	Agricultural Economics	University of Kentucky
Rastegari Henneberry, Sh	Agricultural Economics	Oklahoma State University
John Bawden, R	Agricultural	Western Sydney University, Australia
Sadr, K	Agricultural Economics	University of Shahid BeheshtiTehran
Salami, H	Agricultural Economics	Tehran University
Shahnoushi, N	Agricultural Economics	Ferdowsi University of Mashhad
Ghaziani, Sh	Department of Computer Applications and Business Management in Agriculture	University of Hohenheim ,Stuttgart, Germany
Sabouhi sabouni, M	Agricultural Economics	Ferdowsi University of Mashhad
Saghaian, S.H	Agricultural Economics	Prof. Department of Agricultural Economics, University of Kentucky, UK
Ajemunigbohun , S. S	Risk Management and Insurance	Department of Insurance, Faculty of Management Sciences, Lagos State University, Ojo, Lagos Nigeria
Wang, Q	Agricultural	College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou, China
Zibaei, M	Agricultural Economics	Shiraz University

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad (College of Agriculture)

Address: College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

P.O.BOX: 91775- 1163

Fax: +98 -0511- 8787430

E-Mail: Jead2@um.ac.ir

Web Site: https://jead.um.ac.ir/

Ferdowsi University of Mashhad

Journal of Agricultural Economics & Development

(Agricultural Sciences and Technology)

Vol.40 No.3

2026

ISSN:2008-4722

Contents

Evaluating the Welfare and Environmental Impacts of Using Cellulosic Biomass Energy in Iran..... 237
A. Mehrjo, H. Amirnejad, K. Ataie Solout, H. Azadi

Challenges of Sustainability in Grazing-Based Livestock Production Systems under Climate Change (Case Study: Kermanshah Province) 253
Sh. Nejatian, H. Shabanali Fami, N. Motiei

Investigation of the Role of Virtual Reality and Augmented Reality Technologies in the Development of Smart Agriculture with the Mediating Role of Digital Transformation 277
N. Seifollahi

Study of a Stable Optimal Combination for Selected Low-Water-Consuming Agricultural Crops in Iran 291
R. Allahverdi, H. Rafiee, E. Pishbahar, S. Yazdani, M. Pendar, A. Liaghat

Explaining the Barriers and Limitations of International Entrepreneurial Marketing from the Perspective of Greenhouse Growers in Tehran Province 319
M. Khorasani, F. Razzaghi Borkhani, T. Azizi-Khalkheili

Assessing the Eco-efficiency of Food Waste Recycling in Iran: A Dynamic Data Envelopment Analysis Approach with Undesirable Outputs 339
Kh. Karimi, M. Mardani Najafabadi, A. Mirzaei