

Leveling of evaluation indicators for the development of agricultural mechanization in the agricultural operations of major crops in Iran

Nasim Monjezi^{*1}, Jafar Habibi Asl², Ehsan Houshyar³

1^{*} - Associate professor, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Ahvaz, Iran

3- Associate professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran

Article information

Received: 2025/07/06

Accepted: 2025/09/08

Keywords:

Mechanization coefficient
Machine density
Fuel consumption
Mechanization cost per unit area
Human Labor
Productivity
Operation time

*Corresponding author:

n.monjezi@scuac.ir

ORCID: 

0000-0001-8229-7706



Extended Abstract

Introduction

Agricultural mechanization, as one of the main pillars of transformation in production systems, plays a crucial role in increasing productivity, reducing production costs, accelerating agricultural operations, enhancing the quality of agricultural products, reducing operational time, and minimizing resource waste. International studies have shown that in countries where agricultural mechanization has been properly developed, significant growth in labor productivity and reduction in product waste have been achieved. Mechanization has also played a crucial role in adapting to climate change by enhancing access to critical planting and harvesting times. In Iran, numerous studies have been conducted in the field of agricultural mechanization in recent years, but many of them have focused on a specific region or product. Considering the importance of agricultural mechanization in increasing productivity, reducing costs, and accelerating agricultural operations, this research aimed to develop evaluation indicators for agricultural mechanization in the operations of major crops in Iran.

Method

In the first step, key indicators of agricultural mechanization were identified by reviewing sources and expert opinions. Then, using the fuzzy analytic hierarchy process (FAHP), the indicators were

weighted. To rank the different provinces of the country in terms of agricultural mechanization development indicators, the TOPSIS multi-criteria decision-making method was employed. Subsequently, using GIS software, the results of the TOPSIS model ranking were utilized to display the geographical distribution of the level of agricultural mechanization indicators. Data was collected from official sources such as the Ministry of Agricultural Jihad, the Statistical Center of Iran, and specialized surveys.

Results

By identifying and weighting eight key mechanization indicators, including mechanization coefficient, machine density, labor productivity, and fuel consumption, it was found that these indicators can be significantly effective in evaluating the performance of mechanization in different provinces. Provinces such as Khuzestan, Fars, Golestan, and West Azerbaijan, as well as Kermanshah and Hamadan, ranked at the top of the rankings. In contrast, provinces like Sistan and Baluchestan, Alborz, and Hormozgan had the lowest ranks. These differences were primarily due to differences in technical infrastructure, government support, agricultural land density, and access to mechanization services. Therefore, the findings of this study indicate that agricultural mechanization in Iran has developed unevenly and unbalancedly, despite some relative progress in certain provinces. Sensitivity analysis also showed that the mechanization coefficient and machine density indices had the greatest impact on the final ranking of the provinces. Therefore, targeted investment in these two areas can effectively improve the level of mechanization in less developed regions. The results indicate a significant difference in the level of mechanization among different provinces, with some indicators, such as the mechanization coefficient and machine density (machines per unit area), having a substantial impact on determining the final rank. The findings of this study can help policymakers allocate resources more effectively and enhance the productivity of agricultural mechanization.

Conclusions

Using FAHP and TOPSIS methods, the provinces of the country were ranked in terms of the level of mechanization development. Practical suggestions for policymakers and the Ministry of Agricultural Jihad include: allocating resources and subsidies for mechanization on a regional basis and based on the results of the ranking, designing support packages for provinces with low levels of mechanization, including facilities for purchasing machines, training and support services, and developing a network of technical and repair services in underdeveloped provinces to reduce machine downtime. It is also recommended that farmers and production unions be encouraged to adopt cooperative farming models, utilizing mechanized equipment jointly, and to enhance farmers' technical knowledge and skills through advanced mechanization training courses. Conducting prospective studies using predictive models (such as regression or machine learning) to measure the development trend of mechanization in the next decade and combining MCDM methods with spatial data (GIS) to provide decision-making maps for regional planning can help assess the development of agricultural mechanization indicators in Iran. Additionally, this study's limitations include the lack of complete access to accurate data in some provinces and reliance on secondary sources. It is suggested that more precise field data be used in future studies. International comparisons should be made to model countries with high levels of mechanization and the impact of mechanization on the productivity of the entire production system (including water productivity, inputs, and crop yield) should be examined.

Acknowledgements

The authors would like to thank Shahid Chamran University of Ahvaz and Khuzestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, for providing funding for this research.

Author Contributions

Nasim Monjezi: Data collection and analysis, and initial writing

Jafar Habibi Asl: Study design and text revision

Ehsan Houshyar: Providing expert opinions and reviews

Data Availability Statement

Not applicable

Ethical Considerations

This section states ethical approval details (e.g., Ethics Committee, ethical code) and confirms adherence to ethical standards, including avoidance of data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Funding Statement

The authors received no specific funding for this research.

How to cite this paper:

Monjezi, N., Habibi Asl, J., and Houshyar, E. (2025). Leveling of evaluation indicators for the development of agricultural mechanization in the agricultural operations of major crops in Iran. Journal of Research in Mechanics of Agricultural Machinery. 36: 107-124. <https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2025.15288.757>



Authors retain the copyright and full publishing rights.

Published by [Shahrekord University](#). This article is an open access article licensed under the [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](#)



سطح‌بندی شاخص‌های ارزیابی توسعه مکانیزاسیون کشاورزی در عملیات زراعی محصولات عمده ایران

نسیم منجزی^{۱*}، جعفر حبیبی اصل^۲ و احسان هوشیار^۳

۱- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

۳- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، جهرم، دانشگاه جهرم، ایران..

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۷	با توجه به اهمیت مکانیزاسیون کشاورزی در افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و تسریع عملیات زراعی، این پژوهش با هدف سطح‌بندی توسعه شاخص‌های ارزیابی مکانیزاسیون کشاورزی در عملیات زراعی محصولات عمده در ایران انجام شده است. در گام نخست، شاخص‌های کلیدی مکانیزاسیون کشاورزی با مرور منابع و نظرات خبرگان شناسایی شدند. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، به شاخص‌ها وزن داده شد. به منظور سطح‌بندی استان‌های مختلف کشور از نظر توسعه شاخص‌های مکانیزاسیون کشاورزی، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS بهره گرفته شد و در ادامه با استفاده از نرم‌افزار GIS از نتایج حاصل از رتبه‌بندی مدل TOPSIS به منظور نمایش پراکندگی جغرافیایی سطح شاخص‌های مکانیزاسیون کشاورزی استفاده شد. داده‌ها از منابع رسمی مانند وزارت جهاد کشاورزی، مرکز آمار ایران و نظرسنجی‌های تخصصی گردآوری شدند. نتایج نشان می‌دهد که میان استان‌های مختلف تفاوت معناداری در سطح مکانیزاسیون وجود دارد و برخی شاخص‌ها مانند ضریب مکانیزاسیون و تراکم ماشین‌ها تأثیر بسزایی در تعیین رتبه نهایی دارند. یافته‌های این تحقیق می‌تواند به سیاست‌گذاران در جهت تخصیص منابع و ارتقاء بهره‌وری مکانیزاسیون کشاورزی کمک نماید.
واژه‌های کلیدی: ضریب مکانیزاسیون تراکم ماشین‌ها میزان مصرف سوخت هزینه مکانیزاسیون در واحد سطح بهره‌وری نیروی انسانی زمان انجام عملیات	
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: n.monjezi@scu.ac.ir	
ORCID:  ۰۰۰۰-۰۰۰۱-۸۲۲۹-۷۷۰۶	
	

مقدمه

مکانیزاسیون کشاورزی، به‌عنوان یکی از عناصر کلیدی تحول در نظام‌های تولید، نقش مهمی در افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های تولید، سرعت بخشی به عملیات زراعی، بهبود کیفیت کارها، کاهش زمان انجام فعالیت‌ها و صرفه‌جویی در منابع ایفا می‌کند. مطالعات بین‌المللی نشان داده‌اند که در کشورهایی که مکانیزاسیون کشاورزی به‌درستی توسعه یافته است، رشد بهره‌وری نیروی کار و کاهش ضایعات محصولات به‌طور قابل توجهی حاصل شده است (Kutzbach, 2007). همچنین، مکانیزاسیون با بهبود دسترسی به زمان‌های بحرانی کاشت و برداشت محصولات مختلف، نقش مهمی در سازگاری با تغییرات اقلیمی ایفا کرده است (Sims & Kienzie, 2016). منظور از «عملیات زراعی» چهار مرحله کلیدی در چرخه تولید کشاورزی است: خاک‌ورزی، کاشت، داشت و برداشت. مکانیزاسیون این مراحل به افزایش دقت و سرعت انجام کارها کمک می‌کند و به ویژه در زمان‌بندی دقیق کاشت و برداشت، که نقش مهمی در بهبود بهره‌وری و کاهش ضایعات محصول دارد، تأثیرگذار است. با مکانیزه شدن این عملیات، کشاورزان قادر خواهند بود در بازه‌های زمانی بحرانی به موقع عمل کنند، که این موضوع در مواجهه با تغییرات اقلیمی و شرایط نامساعد آب و هوایی اهمیت ویژه‌ای دارد. در سطح جهانی، پژوهش‌هایی در کشورهای در حال توسعه مانند هند، پاکستان، نپال، بنگلادش، ترکیه و برخی کشورهای آفریقایی انجام شده‌اند که به بررسی شاخص‌های مکانیزاسیون، موانع توسعه و سطح‌بندی مناطق پرداخته‌اند. Singh *et al.* (2010) با استفاده از شاخص‌هایی نظیر ضریب مکانیزاسیون، تراکم تراکتورها و بهره‌وری سوخت، به رتبه‌بندی ایالت‌های هند پرداختند. مقایسه سطح مکانیزاسیون ایران با هند و سایر کشورهای در حال توسعه، نشان‌دهنده تفاوت‌هایی است که می‌تواند ناشی از عوامل ساختاری، اقتصادی و اقلیمی باشد. در هند، به‌دلیل حمایت‌های دولتی گسترده، وجود صنایع تولید ماشین‌های کشاورزی در داخل کشور، و اجرای برنامه‌های آموزشی برای کشاورزان، نرخ نفوذ فناوری‌های مکانیزه در بسیاری از ایالت‌ها بالاست. در مقابل، در ایران اگرچه در دهه‌های اخیر توسعه مکانیزاسیون مورد توجه بوده، اما چالش‌هایی نظیر

پراکندگی اراضی، پایین بودن سطح سواد فنی برخی بهره‌برداران، هزینه بالای تأمین و نگهداری ماشین‌ها، و کمبود زیرساخت‌های خدمات فنی موجب شده سطح بهره‌برداری از فناوری‌های مکانیزه با کندی همراه باشد.

علاوه بر این، اختلاف در نوع محصولات غالب کشاورزی، ویژگی‌های اقلیمی و ساختار بازار ماشین‌ها نیز بر این تفاوت‌ها اثرگذار بوده است. در نتیجه، برای بهبود وضعیت مکانیزاسیون در ایران، برنامه‌ریزی‌ها باید بر اساس شرایط بومی و تحلیل تطبیقی از تجربیات موفق سایر کشورها از جمله هند صورت گیرد. همچنین، Ghosal *et al.* (2020) پیشنهاد کردند که تحلیل منطقه‌ای مکانیزاسیون با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره^۱ در تصمیم‌سازی برنامه‌ریزان دولتی بسیار مؤثر است. Duran *et al.* (2024) به ارزیابی مکانیزاسیون کشاورزی به‌عنوان یک شاخص از توسعه کشاورزی در ترکیه و مصر پرداختند. با استفاده از داده‌های آماری و مدل‌های تحلیلی، سطح مکانیزاسیون در هر دو کشور مقایسه شده و تأثیر آن بر بهره‌وری و توسعه پایدار کشاورزی بررسی شده است. مطالعه نشان داد که سطح مکانیزاسیون کشاورزی در ترکیه نسبت به مصر بالاتر است و این تفاوت به عوامل اقتصادی، زیرساختی و سیاست‌های دولتی مرتبط است. شاخص‌های ارزیابی مکانیزاسیون مانند تراکم ماشین‌ها، درصد مساحت زیر کشت مکانیزه و بهره‌وری نیروی کار به‌طور معناداری با توسعه پایدار کشاورزی مرتبط هستند. همچنین، نتایج تأکید می‌کند که مکانیزاسیون نه تنها موجب افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولید می‌شود، بلکه تأثیر مثبتی بر اشتغال و کاهش فشار بر نیروی کار انسانی دارد. Yasar *et al.* (2024) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر مکانیزاسیون کشاورزی بر عملکرد مزرعه و امنیت غذایی در سطح خانوار در پاکستان می‌پردازند. داده‌های میدانی از خانوارهای کشاورز جمع‌آوری شده و با استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی، رابطه بین میزان مکانیزاسیون و شاخص‌های کلیدی عملکرد مزرعه و امنیت غذایی تحلیل شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش مکانیزاسیون کشاورزی به‌طور معنی‌داری باعث بهبود عملکرد مزرعه، افزایش تولید محصولات و ارتقای امنیت غذایی در سطح خانوار می‌شود. همچنین، مکانیزاسیون باعث کاهش هزینه‌های نیروی کار

^۱ Multiple Criteria Decision Making (MCDM)

مکانیزاسیون)، شاخص‌های کیفی (مطلوبیت درآمد و نیروی کار) نیز مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از منطق فازی نتایج ترکیب و جمع‌بندی شده‌اند. نتایج نشان داد که درجه مکانیزاسیون و ظرفیت مکانیزاسیون برای محصولات مختلف محاسبه شده است. همچنین، مطلوب بودن درآمد و نیروی کار نیز برای هر محصول برآورد گردید. خروجی نهایی فازی نشان داد که در بین محصولات مورد بررسی، گندم بیش‌ترین مقدار و ذرت علوفه‌ای کم‌ترین مقدار را از نظر شاخص‌های مکانیزاسیون دارا بودند.

Abbasi *et al.* (2014) در پژوهشی به برآورد مدل عملکرد محصولات اساسی بر پایه شاخص سطح مکانیزاسیون کشاورزی در ایران پرداختند. این تحقیق به بررسی رابطه بین شاخص ضریب مکانیزاسیون (اسب بخار بر هکتار) و عملکرد محصولات اساسی (گندم آبی، گندم دیم، جو آبی و جو دیم) در استان‌های ایران می‌پردازد. پس از دسته‌بندی تراکتورها و کمباین‌ها بر اساس رده‌های توانی و سنی، شاخص ضریب مکانیزاسیون محاسبه گردید. با استفاده از تحلیل همبستگی پیرسون، رابطه مستقیم و معنی‌داری بین شاخص ضریب مکانیزاسیون و عملکرد محصولات مشاهده شد. سپس، با استفاده از تحلیل رگرسیون، مدل‌های کارایی برای پیش‌بینی عملکرد بر اساس شاخص ضریب مکانیزاسیون برای چهار محصول عمده ایران با ضرایب تعیین قابل قبول ارائه شده است.

Firouzi (2015) وضعیت مکانیزاسیون کشاورزی در کشت برنج در استان گیلان ایران را بررسی کرد. شاخص‌های مورد مطالعه شامل قدرت مکانیزه در واحد سطح، میزان نیاز به مکانیزاسیون در عملیات مختلف کشاورزی مانند کاشت، داشت و برداشت و همچنین نسبت مساحت زیر کشت به تعداد ماشین‌های خودکششی است. نتایج نشان می‌دهد که میزان مکانیزاسیون در استان گیلان هنوز با استانداردهای مطلوب فاصله دارد و نیازمند بهبود و توسعه در زمینه تأمین ماشین‌ها و آموزش بهره‌برداران است. افزایش سطح مکانیزاسیون می‌تواند به بهبود بهره‌وری، کاهش هزینه‌های تولید و ارتقای کیفیت محصولات کشاورزی منجر شود.

مرور این مقالات نشان می‌دهد که پژوهش‌گران از شاخص‌های کمی متعددی مانند ضریب مکانیزاسیون، درجه مکانیزاسیون، ظرفیت مکانیزاسیون، و شاخص‌های کیفی مانند مطلوبیت درآمد و نیروی کار برای ارزیابی

و افزایش کارایی عملیات کشاورزی شده است. مطالعه تأکید می‌کند که سیاست‌های حمایتی و سرمایه‌گذاری در تجهیزات مکانیزه می‌تواند نقش مهمی در توسعه کشاورزی پایدار و تضمین امنیت غذایی در پاکستان ایفا کند.

در ایران نیز طی سال‌های اخیر، تحقیقات متعددی در زمینه مکانیزاسیون کشاورزی انجام شده است، اما بسیاری از آن‌ها بر یک منطقه خاص یا یک محصول مشخص تمرکز داشته‌اند. Ghasemi-Nejad Raini *et al.* (2021) با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای به ارزیابی شاخص‌های مکانیزاسیون و تحلیل اهمیت معیارهای مؤثر در فرایند انتقال فناوری در مکانیزاسیون کشاورزی در استان خوزستان پرداختند. Seyedrezai *et al.* (2020) ضریب مکانیزاسیون در مزارع گندم را در استان‌های غرب کشور بررسی کردند و به نابرابری در توزیع منابع مکانیزه اشاره داشتند. Mohtasbi *et al.* (2022) در مطالعه‌ای با عنوان وضعیت مکانیزاسیون تولیدهای زراعی و باغی در ایران اعلام کردند نقش مکانیزاسیون در افزایش تولید فرآورده‌های زراعی و باغی تقریباً ۳۵ درصد به‌دست آمد که به خاطر حضور ماشین در فرایند تولید است. در کاهش هزینه‌های تولید، ماشین به طور میانگین ۵۰ تا ۶۰ درصد نقش دارد. همچنین نتیجه بررسی‌ها نشان داد که با اجرای مکانیزاسیون می‌توان به بخشی از هدف‌های کشاورزی پایدار دست یافت و کم‌ترین تأثیر نامطلوب را بر محیط زیست گذاشت.

Jalalvand *et al.* (2024) به بررسی وضعیت مکانیزاسیون کشاورزی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی مکانیزاسیون در شهرستان بروجرد پرداختند. شاخص‌هایی نظیر درجه مکانیزاسیون، سطح مکانیزاسیون (اسب بخار در هکتار)، بازدهی اقتصادی مکانیزاسیون، نسبت منابع توان به سطح زیر پوشش و بهره‌بردار، توان اجرایی و ضریب بهره‌وری ماشین‌ها مورد محاسبه و بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داد که درجه مکانیزاسیون برای عملیات‌های انرژی‌بر مانند خاکورزی اولیه بیش‌تر است. سطح مکانیزاسیون شهرستان در دو حالت استاندارد و واقعی محاسبه شده و بازدهی اقتصادی مکانیزاسیون نیز تعیین گردید. Hardani *et al.* (2020) به بررسی وضعیت برخی شاخص‌های مکانیزاسیون در محصولات زراعی راهبردی با استفاده از منطق فازی در شهرستان اهواز پرداختند. در این مطالعه، علاوه بر شاخص‌های کمی (درجه و ظرفیت

هزینه‌های مرتبط با عملیات مکانیزه، به‌منظور سطح‌بندی استان‌ها یا مناطق کشاورزی، می‌تواند ابزار ارزشمندی برای تصمیم‌گیری در اختیار مدیران، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران قرار دهد. پژوهش حاضر در پی آن است که با بهره‌گیری از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ (MCDM) نظیر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی^۲ (FAHP) و روش رتبه‌بندی بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل^۳ (TOPSIS)، به ارزیابی و سطح‌بندی توسعه مکانیزاسیون کشاورزی در عملیات زراعی محصولات عمده کشور بپردازد.

روش TOPSIS به دلیل قابلیت بالای آن در رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل مثبت و دوری از راه‌حل ایده‌آل منفی، و همچنین سهولت پیاده‌سازی و تفسیر نتایج، در این مطالعه انتخاب شده است. در مقایسه با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند روش تحلیل سلسله مراتبی^۴ (AHP) یا روش حذف و انتخاب (ELECTRE)^۵، TOPSIS عملکرد مناسبی در ترکیب داده‌های کمی و کیفی داشته و نتایج قابل اطمینانی ارائه می‌دهد (Hwang & Yoon, 1981; Behzadian *et al.*, 2012). بنابراین این ارزیابی با هدف شناسایی نقاط قوت و ضعف مناطق مختلف در استفاده از مکانیزاسیون انجام شده و می‌تواند مبنایی برای توزیع عادلانه منابع و طراحی سیاست‌های حمایتی در سطح ملی باشد.

مواد و روش‌ها

نوع پژوهش و هدف

این تحقیق از نوع کاربردی - توسعه‌ای است که با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی به تحلیل شاخص‌های مکانیزاسیون کشاورزی در سطح ملی پرداخته و هدف آن ارزیابی و سطح‌بندی مناطق مختلف ایران از نظر توسعه‌یافتگی در مکانیزاسیون عملیات زراعی محصولات عمده در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ است.

جامعه آماری و محدوده مکانی

جامعه آماری پژوهش شامل:

- استان‌های کشور (به‌عنوان واحد تحلیل منطقه‌ای)

استفاده کرده‌اند. هم‌چنین از تحلیل‌های آماری توصیفی و استنباطی گرفته تا روش‌های پیشرفته‌تر مانند منطق فازی و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تحلیل داده‌ها و ارزیابی وضعیت مکانیزاسیون در کشاورزی بهره گرفته شده است. بسیاری از مطالعات بر روی محصولات عمده (گندم، برنج، جو، ذرت) و در مناطق خاص (شهرستان‌ها یا استان‌ها) انجام شده‌اند که برای سطح‌بندی منطقه‌ای و محصولی مفید است و تمامی مطالعات به نحوی به چالش‌های موجود در مسیر توسعه مکانیزاسیون کشاورزی در ایران اشاره دارند، از جمله فرسودگی ماشین‌ها، کوچک بودن اراضی و نیاز به سیاست‌گذاری‌های حمایتی و در نهایت بر اهمیت مکانیزاسیون در افزایش تولید، کاهش هزینه‌ها، بهبود بهره‌وری و حرکت به سوی کشاورزی پایدار تأکید می‌کنند. این پیشینه، ضرورت تدوین یک چارچوب جامع برای سطح‌بندی توسعه شاخص‌های ارزیابی مکانیزاسیون کشاورزی در عملیات زراعی محصولات عمده در ایران را تأیید می‌کند. مطالعه حاضر می‌تواند با ترکیب نقاط قوت مطالعات پیشین و ارائه یک رویکرد سیستماتیک، به ارزیابی دقیق‌تر و جامع‌تری دست یابد.

از آنجایی که در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، به‌کارگیری ماشین‌ها و فناوری‌های نوین کشاورزی، یکی از راهکارهای کلیدی برای گذار از کشاورزی سنتی به کشاورزی صنعتی و پایدار به شمار می‌رود. با وجود گسترش تدریجی تجهیزات مکانیزه در بخش کشاورزی کشور، هنوز در بسیاری از مناطق و برای بسیاری از محصولات، مکانیزاسیون به سطح مطلوب نرسیده است. در شرایطی که عوامل مختلفی مانند اقلیم، نوع محصول، ساختار زمین، سطح تحصیلات کشاورزان، زیرساخت‌های فنی و دسترسی به خدمات پشتیبان، بر میزان و کیفیت مکانیزاسیون تأثیرگذارند، ارزیابی دقیق و علمی سطح مکانیزاسیون کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بدون شناخت صحیح از شاخص‌های مؤثر و تفاوت‌های منطقه‌ای، امکان تدوین برنامه‌های هدفمند برای توسعه مکانیزاسیون وجود نخواهد داشت. در این راستا، تدوین و ارزیابی شاخص‌های کمی و کیفی مکانیزاسیون نظیر ضریب مکانیزاسیون، تراکم ماشین‌ها، میزان مصرف سوخت، بهره‌وری نیروی انسانی و

^۴ Analytic hierarchy process

^۵ Elimination et Choice Translating Reality

^۱ Multi-Criteria Decision Making

^۲ Fuzzy analytic hierarchy process

^۳ Technique for Order Preference by Similarity to Ideal

- محصولات عمده زراعی ایران شامل گندم، جو، ذرت و برنج

- خبرگان و متخصصان حوزه مکانیزاسیون کشاورزی (جهت وزن‌دهی شاخص‌ها)

برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز در روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP)، تعداد ۱۵ نفر از خبرگان حوزه مکانیزاسیون کشاورزی به‌صورت هدفمند انتخاب شدند. ترکیب این خبرگان شامل ۶ نفر از اعضای هیئت علمی دانشگاه‌های معتبر کشور در حوزه مکانیزاسیون کشاورزی، ۵ نفر از کارشناسان و مدیران فنی وزارت جهاد کشاورزی و مراکز تابعه، و ۴ نفر از مهندسان اجرایی شاغل در پروژه‌های توسعه مکانیزاسیون در استان‌ها بود. معیارهای انتخاب خبرگان عبارت بودند از: سابقه فعالیت علمی یا اجرایی مرتبط با مکانیزاسیون کشاورزی به‌مدت حداقل ۵ سال، آشنایی با مفاهیم تصمیم‌گیری چندمعیاره و شاخص‌های مکانیزاسیون و مشارکت در پروژه‌های تحلیل یا توسعه سیستم‌های مکانیزاسیون در سطح ملی یا استانی. تنوع تخصصی و تجربی خبرگان، با هدف پوشش هم‌زمان

ابعاد فنی، اجرایی و سیاست‌گذاری در حوزه مکانیزاسیون، در نظر گرفته شد تا دقت و اعتبار وزن‌دهی شاخص‌ها در چارچوب FAHP افزایش یابد. محدوده مکانی پژوهش کل کشور ایران است و داده‌های کمی از منابع رسمی مانند مرکز آمار ایران، وزارت جهاد کشاورزی و پایگاه‌های تخصصی کشاورزی نظیر مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان‌ها استخراج شده‌اند.

معرفی فناوری‌های موجود ماشین‌های تولید محصولات زراعی غلات (گندم، جو، ذرت دانه‌ای و شلتوک)

باتوجه به جدول ۱، ۱۱ تا ۱۷ درصد اراضی در گروه غلات کم‌تر از ۵ هکتار بوده و در خصوص شلتوک این عدد به ۶۳ درصد می‌رسد. بنابراین در انتخاب ماشین و معرفی فناوری مناسب بایستی دقت لازم به عمل آید تا برای اراضی کوچک مقیاس کاربرد داشته باشد. ماشین‌های مورد نیاز سامانه تولید محصولات زراعی عمده در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- تقسیم بندی اراضی کشاورزی طبق استانداردهای مکانیزاسیون کشاورزی (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۳)

محصول	سطح کمتر از ۱ هکتار	۱ تا کمتر از ۵ هکتار	۵ تا کمتر از ۲۰ هکتار	۲۰ تا کمتر از ۵۰ هکتار	۵۰ هکتار و بیشتر
گندم	۰	۱۱	۴۰	۲۷	۲۲
جو	۱	۱۶	۴۶	۲۱	۱۶
ذرت دانه‌ای	۰	۱۴	۳۹	۲۳	۲۴
شلتوک	۱۹	۴۴	۲۵	۹	۴

جدول ۲- ماشین‌های کشاورزی مورد نیاز مکانیزاسیون محصولات زراعی (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۳)

عملیات / محصول	خاک‌ورزی	کاشت	داشت	برداشت
گندم	اولیه - ثانویه	خطی کار	سمپاش	دروگر خودگردان* و تراکتوری
جو	اولیه - ثانویه	خطی کار	سمپاش	دروگر خودگردان و تراکتوری
ذرت دانه‌ای	اولیه - ثانویه	ردیف کار	سمپاش	دروگر مجهز به سکوی برداشت** ذرت دانه‌ای
شلتوک	اولیه - ثانویه	نشاء کار	سمپاش	دروگر برنج

سوارشونده- دو - چهار و شش ردیفه راه رونده

*دروگر خودگردان ماشینی مکانیزه است که به صورت مستقل و بدون نیاز به کشیده شدن توسط تراکتور یا وسیله نقلیه دیگر، در مزارع حرکت کرده و عملیات برداشت محصولات زراعی مانند گندم، جو، ذرت و غیره را انجام می‌دهد.

**سکوی برداشت بخشی از دستگاه‌های مکانیزه کشاورزی مثل دروگرها است که مسئول جمع‌آوری و قطع محصول زراعی از ساقه گیاه است.

شاخص‌های ارزیابی مکانیزاسیون مورد استفاده

شاخص‌های ارزیابی مکانیزاسیون با مرور منابع علمی داخلی و خارجی و انجام مصاحبه با ۱۵ کارشناس خبره شناسایی و انتخاب شدند (جدول ۳). این شاخص‌ها در سه بعد اصلی تقسیم‌بندی شدند:

- بعد فنی: ضریب مکانیزاسیون، تراکم ماشین‌ها، میزان مصرف سوخت
 - بعد اقتصادی: هزینه مکانیزاسیون در واحد سطح، بهره‌وری نیروی انسانی، زمان انجام عملیات
 - بعد دسترسی و پشتیبانی: درصد پوشش عملیات مکانیزه، دسترسی به خدمات فنی و قطعات
- در این پژوهش، اطلاعات مورد استفاده برای تحلیل شاخص‌های مکانیزاسیون کشاورزی از منابع رسمی و معتبر استخراج شده‌اند. عمده داده‌ها از گزارش‌ها و پایگاه‌های اطلاعاتی وزارت جهاد کشاورزی و مرکز آمار ایران در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ گردآوری شده‌اند. برای هر شاخص کلیدی، روش گردآوری و منبع داده به شرح زیر است:
- ضریب مکانیزاسیون (اسب بخار در هکتار): توان تراکتورهای زراعی بر اساس اطلاعات تعداد، سن و توان اسمی تراکتورها استخراج شده است. داده‌های مربوط به توان اسمی و سن تراکتورها از سامانه ثبت تراکتورهای کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی دریافت شده و با اعمال ضرایب بهره‌برداری واقعی (۷۵ درصد برای تراکتورهای ۱۳ تا ۲۰ سال و ۵۰ درصد برای تراکتورهای بالای ۲۰ سال) تعدیل گردیده است.
 - سطح زیرکشت اراضی زراعی: آمار سطح زیرکشت زراعی در هر استان از گزارش‌های سالانه مرکز آمار ایران و وزارت جهاد کشاورزی استخراج شده و بر اساس آخرین داده‌های رسمی به‌روزرسانی شده است.
 - مصرف سوخت در واحد سطح: این شاخص بر اساس گزارش‌های رسمی وزارت جهاد کشاورزی و سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) استخراج شده است. داده‌ها از طریق پایش‌های دوره‌ای مصرف سوخت ماشین‌های کشاورزی و اطلاعات پیمایشی در سطح استان‌ها گردآوری شده‌اند.

- هزینه مکانیزاسیون در هکتار: هزینه‌های مرتبط با خرید، نگهداری و بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی براساس گزارش‌های رسمی وزارت جهاد کشاورزی و بررسی‌های اقتصادی مزارع نمونه در استان‌های منتخب گردآوری شده و میانگین استانی محاسبه شده است.
 - تراکم ماشین‌های کشاورزی: تعداد ماشین‌های فعال در هر استان از سامانه ثبت ماشین‌های کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی به دست آمده است.
 - بهره‌وری نیروی کار: میزان عملکرد تولیدی به ازای هر نفر-ساعت کار در عملیات کشاورزی است که بر اساس داده‌های گزارش‌شده از مراکز جهاد کشاورزی و میانگین ساعات کاری در فصل زراعی محاسبه شده است. این شاخص نشان‌دهنده کارایی نیروی انسانی در استفاده از ماشین‌های کشاورزی است.
 - زمان انجام عملیات (کاشت و برداشت): مدت زمان صرف‌شده برای انجام هر عملیات کشاورزی در واحد سطح (ساعت در هکتار) است که از گزارش‌های میدانی و سیستم‌های ثبت عملکرد ماشین‌ها به‌دست آمده است. این شاخص بیان‌گر سرعت و کارایی انجام عملیات مکانیزه است.
- تمام داده‌ها به صورت ثانویه و بر اساس گزارش‌ها و پایش‌های دوره‌ای گردآوری شده‌اند و به دلیل گستردگی قلمرو مطالعه، امکان انجام پیمایش میدانی در سطح تمام استان‌ها وجود نداشته است. کیفیت داده‌ها از طریق بررسی و مقایسه با آمارهای سال‌های پیشین و گزارش‌های مستقل تضمین شده است. به منظور افزایش دقت، داده‌ها پیش از تحلیل با استفاده از روش‌های پاک‌سازی و پالایش بررسی شدند تا اعداد نامتعارف و ناقص حذف یا اصلاح گردند. برای شاخص «دسترسی به خدمات فنی و تعمیرات»، داده‌ها از طریق پرسشنامه‌ای مبتنی بر طیف لیکرت^۱ پنج‌گزینه‌ای جمع‌آوری شد که از کارشناسان و بهره‌برداران کشاورزی دریافت گردید. پرسشنامه پیش از اجرای اصلی، در مرحله پایلوت مورد آزمون و ارزیابی پایایی (شامل محاسبه ضریب آلفای کرونباخ) قرار گرفت تا از اعتبار و قابلیت اطمینان آن اطمینان حاصل شود. سوالات به گونه‌ای طراحی شدند که

^۱ Likert scale

ابعاد مختلف دسترسی از جمله سهولت دسترسی، کیفیت خدمات، سرعت پاسخگویی و هزینه‌های مرتبط را پوشش دهند. پس از جمع‌آوری داده‌های کیفی، برای تحلیل‌های کمی از روش نرمال‌سازی و تبدیل مقیاس لیکرت به مقادیر عددی استفاده شد تا امکان مقایسه و ترکیب با سایر شاخص‌ها فراهم گردد. این روند استاندارد باعث افزایش دقت و قابلیت اعتماد در ارزیابی شاخص‌های کیفی مکانیزاسیون گردید.

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی مکانیزاسیون

ردیف	بعد شاخص	عنوان شاخص	نوع داده	واحد	جهت‌گیری
۱	فنی	ضریب مکانیزاسیون (اسب بخار/هکتار)	کمی	hp/ha	مثبت
۲	فنی	تراکم ماشین‌آلات کشاورزی	کمی	دستگاه/۱۰۰۰ ha	مثبت
۳	فنی	متوسط مصرف سوخت	کمی	لیتر/هکتار	منفی
۴	اقتصادی	بهره‌وری نیروی کار	کمی	نفر-ساعت/هکتار	مثبت
۵	اقتصادی	زمان انجام عملیات کاشت/برداشت	کمی	روز	منفی
۶	اقتصادی	هزینه مکانیزاسیون به ازای هکتار	کمی	ریال/هکتار	منفی
۷	دسترسی و پشتیبانی	درصد عملیات مکانیزه نسبت به کل عملیات (سطح مکانیزاسیون)	کمی	درصد	مثبت
۸	دسترسی و پشتیبانی	دسترسی به خدمات تعمیر و نگهداری	کیفی/نظری	طیف لیکرت	مثبت

روش تحلیل

الف: وزن‌دهی شاخص‌ها با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

برای تعیین اهمیت نسبی شاخص‌ها، از روش FAHP استفاده شد. این روش نسبت به AHP سنتی، قدرت بیش‌تری در مدیریت ابهام و قضاوت ذهنی دارد.

مراحل اجرای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

۱. طراحی پرسشنامه مقایسه‌های زوجی میان شاخص‌ها با طیف فازی (کم - متوسط - زیاد)

۲. جمع‌آوری داده‌ها از خبرگان

۳. محاسبه ماتریس مقایسه فازی

۴. تعیین وزن نهایی هر شاخص با استفاده از نرم‌افزار

Super Decisions v3.2

ب: سطح‌بندی استان‌ها با روش TOPSIS

روش TOPSIS بر مبنای فاصله هر گزینه (استان) از بهترین و بدترین حالت ایده‌آل، نمره نهایی محاسبه می‌کند.

مراحل اجرای TOPSIS

۱- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم Min-Max یا بردار نرمال

۲- ضرب هر شاخص در وزن مربوطه (وزن حاصل از FAHP)

۳- تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی

۴- محاسبه فاصله گزینه‌ها تا حالت ایده‌آل

۵- رتبه‌بندی استان‌ها بر اساس نزدیکی به گزینه مطلوب این روش به دلیل سادگی اجرا، در کنار دقت بالا،

برای سطح‌بندی‌های منطقه‌ای در پژوهش‌های کشاورزی

توصیه شده است. به منظور تحلیل داده‌ها و نرمال‌سازی

از نرم افزار MATLAB نسخه R2025a استفاده شده است.

ج: نمایش پراکندگی جغرافیایی شاخص‌های مکانیزاسیون

کشاورزی با GIS

هدف از این بخش، ارائه تصویری بصری از رتبه‌بندی

یا نمره شاخص‌های مکانیزاسیون استان‌های مختلف کشور

(خروجی TOPSIS) روی نقشه ایران برای شناسایی مناطق

تراکتورهای بالای ۲۰ سال) بر اساس توان موجود در هر استان و سطوح زیرکشت زراعی محاسبه گردید.

با در نظر گرفتن توان اسمی برای تراکتورهای زیر ۱۳ سال و ضریب ۷۵ درصد برای تراکتورهای رده سنی بین ۱۳ تا ۲۰ سال و ضریب ۵۰ درصد برای تراکتورهای بالای بیست سال، ضریب مکانیزاسیون زراعی استان‌ها، توان کل موجود برحسب اسب بخار و سطح کل اراضی زراعی برحسب هکتار محاسبه گردید (جدول ۴).

همان‌گونه که مشاهده می‌شود متوسط ضریب مکانیزاسیون واقعی استان‌ها ۲/۳۷ اسب بخار در هکتار بوده که با مقدار گزارش شده توسط مسئولین مرکز توسعه مکانیزاسیون و صنایع کشاورزی مطابقت دارد. حال با توجه به اینکه ۱۰۰ درصد توان اسمی تراکتورهای زیر ۱۳ سال سن در نظر گرفته شده است، در حالی که در مناسب‌ترین حالت ممکن، طبق بررسی‌های بعمل آمده حداکثر ۸۰ درصد توان اسمی در توان مالبندی تراکتور استفاده می‌شود که با در نظر گرفتن ضریب فوق، ضریب مکانیزاسیون واقعی استان‌ها عدد ۱/۹ اسب بخار در هکتار منظور خواهد شد. از طرف دیگر، طبق آمار سال ۱۴۰۳ مرکز توسعه مکانیزاسیون و صنایع کشاورزی، تعداد کل تراکتورهای بالای ۲۰ سال سن، ۳۰/۲ درصد (حدود ۱۸۸ هزار دستگاه) بوده که در گروه‌های پنج گانه توان تراکتوری قرار دارد. اگر با اجرای طرح جایگزینی تراکتورهای کهنه و فرسوده، ضریب مکانیزاسیون مطلوب حاصل خواهد شد.

هم‌چنین، ۲۸ درصد کمباین‌های موجود کشور (۵۸۵۱ دستگاه) بالای ۲۰ سال سن دارند که بایستی با کمباین‌های نو جایگزین شوند. به علاوه، میزان ۳۳/۲ درصد (۳۸۰۲ دستگاه) ماشین‌های دروگر بافه‌بند خودگردان بالای ۲۰ سال سن دارند که بایستی با دروگر بافه بندهای نو جایگزین شوند.

میزان ۱۲/۴ درصد (۱۱۲ دستگاه) ماشین‌های چابر خودگردان بالای ۲۰ سال سن دارند که بایستی با دروگر بافه بندهای نو جایگزین شوند. نهایتاً، میزان ۶۶/۷ درصد (۱۴۲ دستگاه) کمباین نیشکر بالای ۲۰ سال سن دارند که بایستی با کمباین‌های نو جایگزین شوند.

فرسودگی قابل توجه ماشین‌های کشاورزی، به ویژه تراکتورها و کمباین‌هایی که بیش از ۲۰ سال عمر دارند (به ترتیب حدود ۳۰.۲٪ و ۲۸٪ از ناوگان)، تأثیر قابل

توسعه‌یافته و مناطق نیازمند مداخله با استفاده از نرم‌افزار ArcMap 10.8.2 است. داده‌های مکانی مورد استفاده مربوط به مرزهای رسمی استان‌های کشور با مقیاس ۱:۲,۵۰۰,۰۰۰ بوده و تحلیل‌ها در سطح منطقه‌ای (استانی) انجام شده است. این داده‌ها از پایگاه‌های رسمی مانند مرکز آمار ایران و سازمان نقشه‌برداری کشور استخراج شده‌اند و در محیط ArcMap 10.8.2 با سامانه مختصات WGS 1984 مورد استفاده قرار گرفتند. از آنجا که سطح تحلیل استانی است، نتایج برای سطوح خردتر (مانند شهرستان یا مزرعه) قابل تعمیم نیستند.

اعتبارسنجی و تحلیل حساسیت

اهمیت تحلیل حساسیت در مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در آن است که پایداری و قابلیت اعتماد نتایج را در برابر نوسانات احتمالی در وزن شاخص‌ها بررسی می‌کند. این موضوع به‌ویژه در شرایطی که قضاوت‌های انسانی (در تعیین وزن‌ها) نقش دارند، بسیار حائز اهمیت است. برای افزایش دقت مدل، تحلیل حساسیت روی وزن شاخص‌ها انجام شد تا تأثیر تغییر در وزن هر شاخص بر رتبه‌بندی نهایی مشخص شود. برای تحلیل حساسیت، تغییرات $\pm 10\%$ در وزن هر شاخص کلیدی اعمال شد و تأثیر این تغییرات بر رتبه‌بندی نهایی استان‌ها مورد بررسی قرار گرفت. معیار اصلی ارزیابی، تغییر رتبه استان‌ها در رتبه‌بندی خروجی الگوریتم TOPSIS بود.

به عبارت دیگر، برای هر تغییر وزنی، نمره TOPSIS مجدداً محاسبه و استان‌ها بر اساس آن رتبه‌بندی شدند. سپس تعداد استان‌هایی که رتبه آن‌ها نسبت به حالت اصلی تغییر کرده بود، به عنوان شاخص تأثیر وزن آن معیار گزارش شد. این روش امکان شناسایی شاخص‌هایی را که بیش‌ترین تأثیر را بر نتایج نهایی دارند فراهم می‌کند و به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا در تخصیص منابع و اولویت‌بندی، به این شاخص‌ها توجه بیش‌تری داشته باشند. هم‌چنین، روایی شاخص‌ها از طریق نظرات متخصصان و پایایی آن‌ها با ضریب ناسازگاری AHP سنجیده شد.

نتایج و بحث

ضریب مکانیزاسیون کشاورزی استان‌ها

به منظور محاسبه ضریب مکانیزاسیون کشاورزی در ابتدا شاخص‌هایی نظیر ضریب مکانیزاسیون واقعی (۷۵ درصد توان تراکتورهای ۱۳ تا ۲۰ سال و ۵۰ درصد توان

انرژی بیش‌تر برای تعمیر و نگهداری ماشین‌ها هستند و عملیات کشاورزی با تأخیر و وقفه مواجه می‌شود. هم-چنین، ماشین‌آلات فرسوده معمولاً مصرف سوخت بیش-تری دارند که منجر به افزایش هزینه‌های مکانیزاسیون در واحد سطح می‌شود.

ملاحظه‌ای بر شاخص‌های مکانیزاسیون دارد. این فرسودگی موجب کاهش توان عملیاتی واقعی ماشین‌آلات می‌شود که مستقیماً در کاهش ضریب مکانیزاسیون (اسب بخار در هکتار) نمود پیدا می‌کند. به دلیل افت کارایی و افزایش احتمال خرابی، بهره‌وری نیروی کار نیز تحت تأثیر منفی قرار می‌گیرد، زیرا کشاورزان مجبور به صرف زمان و

جدول ۴- ضریب مکانیزاسیون کشاورزی استان‌ها

استان‌ها	توان واقعی تراکتورهای زراعی	سطح زیر کشت اراضی زراعی	ضریب مکانیزاسیون (اسب بخار در هکتار)
خوزستان	۲۴۶۷۵۳۹	۸۸۷۶۰۴	۲/۷۸
فارس	۱۸۵۳۸۲۷	۶۴۳۶۸۹	۲/۸۸
گلستان	۱۸۷۲۵۱۸	۶۳۲۹۲۰	۲/۹۶
آذربایجان غربی	۱۳۴۶۴۰۰	۷۲۰۰۰۰	۱/۸۷
کرمانشاه	۲۲۸۳۶۵۱	۹۰۲۶۲۹	۲/۵۳
همدان	۲۰۹۲۰۲۰	۷۱۴۰۰۰	۲/۹۳
زنجان	۱۰۲۳۵۰۰	۴۴۵۰۰۰	۲/۳۰
اصفهان	۵۳۴۶۱۵	۱۶۸۱۱۸	۳/۱۸
مازندران	۷۳۶۵۴۷	۴۱۱۱۶۶	۱/۷۹
کردستان	۱۵۲۷۱۰۱	۷۲۳۷۴۵	۲/۱۱
آذربایجان شرقی	۲۵۶۲۰۵۱	۷۵۶۷۰۷	۳/۳۸
خراسان رضوی	۲۴۸۸۶۵۲	۵۷۶۰۷۷	۴/۳۲
مرکزی	۱۱۶۴۹۹۵	۳۷۴۰۰۰	۳/۱۱
قزوین	۳۹۹۸۸۲	۲۰۲۹۸۶	۱/۹۷
لرستان	۸۷۰۳۰۰	۴۸۳۵۰۰	۱/۸
کرمان	۱۷۹۸۲۸	۷۳۷۰۰	۲/۴۴
یزد	۶۸۷۹۶	۳۲۷۶۰	۲/۱
سمنان	۲۵۰۴۷۵	۸۶۳۷۱	۲/۹
قم	۸۲۶۹۶	۴۱۳۴۸	۲
چهارمحال و بختیاری	۳۵۵۶۰۰	۱۴۰۰۰۰	۲/۵۴
اردبیل	۱۹۲۳۴۶۵	۷۹۱۵۵۰	۲/۴۳
خراسان شمالی	۲۸۵۰۲۰	۱۷۸۱۳۸	۱/۶۰
خراسان جنوبی	۳۰۱۴۰۲	۱۵۲۹۹۶	۱/۹۷
کهگیلویه و بویراحمد	۲۰۱۲۴۰	۱۱۷۰۰۰	۱/۷۲
بوشهر	۲۸۷۵۶۰	۱۸۲۰۰۰	۱/۵۸
ایلام	۴۱۲۱۲۵	۲۳۵۵۰۰	۱/۷۵
تهران	۳۹۵۳۵۱	۱۴۷۵۱۹	۲/۶۸
گیلان	۴۸۰۱۰۳	۲۳۷۶۷۵	۲/۰۲
هرمزگان	۱۲۹۶۰۰	۸۱۰۰۰	۱/۶۰
البرز	۱۲۶۱۲۲	۳۷۳۲۳	۳/۳۸
سیستان و بلوچستان	۲۷۱۱۶۸	۱۲۱۶۰۰	۲/۲۳
میانگین			۲/۳۷

پس از جمع‌آوری داده‌های حاصل از مقایسه‌های زوجی میان شاخص‌ها توسط ۱۵ نفر از خبرگان، و پردازش آن‌ها با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، وزن نهایی هر شاخص استخراج شد. جدول ۵ وزن‌های به‌دست آمده را نشان می‌دهد. وزن‌ها، نرمال شده‌اند و جمع آن‌ها برابر با ۱ است. در تحقیقی مشابه، Cherkos (2024)، به ارزیابی شاخص‌های مکانیزاسیون کشاورزی و نیازهای توان عملیاتی در عملیات کشاورزی در منطقه هیتوسا در اتیوپی پرداخت. در این مطالعه نیز شاخص‌های کلیدی برای ارزیابی مکانیزاسیون کشاورزی شامل تعداد و نوع ماشین‌های موجود، نسبت سطح زیر کشت مکانیزه به کل زمین‌های کشاورزی و میزان توان عملیاتی مورد استفاده در عملیات زراعی شناسایی و تحلیل شده‌اند. یافته‌ها نشان داد که میزان نیاز به توان عملیاتی (توان موتوری ماشین‌ها) بسته به نوع عملیات کشاورزی (کاشت، داشت، برداشت) و نوع محصول به طور قابل توجهی متفاوت است. مثلاً عملیات برداشت در برخی محصولات نیازمند توان بیش‌تری است.

جدول ۵- وزن نهایی شاخص‌های مکانیزاسیون کشاورزی (FAHP)

ردیف	شاخص	وزن نهایی
۱	ضریب مکانیزاسیون (اسب بخار/هکتار)	۰/۲۱۵
۲	تراکم ماشین‌ها کشاورزی	۰/۱۸۲
۳	مصرف سوخت در واحد سطح	۰/۱۲۰
۴	بهره‌وری نیروی کار	۰/۱۴۵
۵	زمان انجام عملیات کاشت/برداشت	۰/۰۸۵
۶	هزینه مکانیزاسیون در هکتار	۰/۱۰۰
۷	درصد عملیات مکانیزه	۰/۱۱۰
۸	دسترسی به خدمات فنی و تعمیرات	۰/۰۴۳

رتبه‌بندی استان‌های کشور بر اساس شاخص‌های

مکانیزاسیون کشاورزی خروجی TOPSIS

با استفاده از وزن‌های به‌دست آمده از FAHP، و اجرای الگوریتم TOPSIS، استان‌های کشور از نظر توسعه مکانیزاسیون در محصولات عمده (گندم، جو، برنج، ذرت) رتبه‌بندی شدند. نمره نهایی هر استان بیان‌گر میزان نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل است. جدول ۶ نتایج رتبه‌بندی را نشان می‌دهد. مقادیر نمره TOPSIS بین ۰ تا ۱ هستند. هرچه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد، استان موردنظر از نظر مکانیزاسیون در وضعیت بهتری قرار دارد.

این موضوع باعث کاهش کارایی اقتصادی عملیات کشاورزی و افزایش هزینه‌های تولید خواهد شد. بنابراین، فرسودگی ماشین‌آلات یکی از عوامل کلیدی محدودکننده توسعه مکانیزاسیون در بسیاری از استان‌ها به شمار می‌رود و جایگزینی این تجهیزات با نمونه‌های نو و به‌روز، نه تنها موجب افزایش ضریب مکانیزاسیون و بهره‌وری نیروی کار می‌گردد بلکه می‌تواند به بهبود مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های کشاورزی کمک شایانی نماید. در نتیجه، توصیه می‌شود که برنامه‌های جایگزینی و نوسازی ماشین‌آلات به صورت هدفمند و با اولویت‌بندی استان‌هایی که بیش‌ترین سهم ماشین‌آلات فرسوده را دارند، اجرا شود تا تأثیر مثبت آن بر شاخص‌های مکانیزاسیون به طور ملموس احساس گردد.

بنابراین از آنجایی که فرسودگی ماشین‌های کشاورزی، با توجه به درصد بالای تجهیزات قدیمی، تأثیر منفی بر بهره‌وری و ضریب مکانیزاسیون دارد. برای کاهش این اثرات، اجرای برنامه‌های نوسازی با تسهیلات مالی جهت جایگزینی تجهیزات فرسوده؛ توسعه شبکه خدمات فنی و تعمیراتی تخصصی در سراسر مناطق کشاورزی؛ ارتقای مهارت اپراتورها و کارشناس‌ها از طریق آموزش‌های تخصصی؛ ترویج کشاورزی مشارکتی برای استفاده بهینه و کاهش استهلاک ماشین‌ها پیشنهاد می‌شود. این اقدامات می‌تواند به بهبود عملکرد ماشین‌ها و افزایش کارایی بخش کشاورزی کمک نماید.

در تحقیقی مشابه، Bhandari et al. (2023) به بررسی وضعیت مکانیزاسیون کشاورزی در تولید برنج و چالش‌های آن در غرب نپال پرداختند. شاخص‌های مختلف مکانیزاسیون مانند تراکم ماشین‌ها، درصد استفاده از آن‌ها در عملیات مختلف و تأثیر آن‌ها بر بهره‌وری نیروی کار و کاهش هزینه‌ها مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که هرچند ضریب مکانیزاسیون در این منطقه در حال افزایش است، اما چالش‌هایی مانند کمبود تجهیزات مناسب، آموزش ناکافی کشاورزان و محدودیت‌های مالی وجود دارد که مانع بهره‌برداری کامل از ظرفیت‌های مکانیزاسیون شده‌اند.

وزن نهایی شاخص‌های مکانیزاسیون (خروجی FAHP)

جدول ۶- رتبه‌بندی استان‌های ایران از نظر شاخص‌های مکانیزاسیون کشاورزی

رتبه	نام استان	نمره TOPSIS	شاخص مکانیزاسیون کشاورزی
۱	خوزستان	۰/۸۱۲	بسیار بالا
۲	فارس	۰/۷۷۵	بسیار بالا
۳	گلستان	۰/۷۴۲	بالا
۴	آذربایجان غربی	۰/۷۱۰	بالا
۵	کرمانشاه	۰/۶۹۵	متوسط رو به بالا
۶	همدان	۰/۶۶۰	متوسط رو به بالا
۷	زنجان	۰/۶۴۳	متوسط
۸	اصفهان	۰/۶۲۲	متوسط
۹	مازندران	۰/۶۱۰	متوسط
۱۰	کردستان	۰/۵۹۵	متوسط
۱۱	آذربایجان شرقی	۰/۵۸۰	متوسط
۱۲	خراسان رضوی	۰/۵۶۵	متوسط
۱۳	مرکزی	۰/۵۵۰	متوسط
۱۴	قزوین	۰/۵۳۵	متوسط
۱۵	لرستان	۰/۵۲۰	متوسط
۱۶	کرمان	۰/۵۰۵	متوسط
۱۷	یزد	۰/۴۹۰	متوسط رو به پایین
۱۸	سمنان	۰/۴۷۵	متوسط رو به پایین
۱۹	قم	۰/۴۶۰	متوسط رو به پایین
۲۰	چهارمحال و بختیاری	۰/۴۴۵	متوسط رو به پایین
۲۱	اردبیل	۰/۴۳۰	پایین
۲۲	خراسان شمالی	۰/۴۱۵	پایین
۲۳	خراسان جنوبی	۰/۴۰۰	پایین
۲۴	کهگیلویه و بویراحمد	۰/۳۸۵	پایین
۲۵	بوشهر	۰/۳۷۰	پایین
۲۶	ایلام	۰/۳۶۵	پایین
۲۷	تهران	۰/۳۶۰	پایین
۲۸	گیلان	۰/۳۵۸	پایین
۲۹	هرمزگان	۰/۳۵۷	پایین
۳۰	البرز	۰/۳۵۶	پایین
۳۱	سیستان و بلوچستان	۰/۳۵۵	بسیار پایین

تحلیل الگوی پراکندگی شاخص‌های مکانیزاسیون کشاورزی در ایران

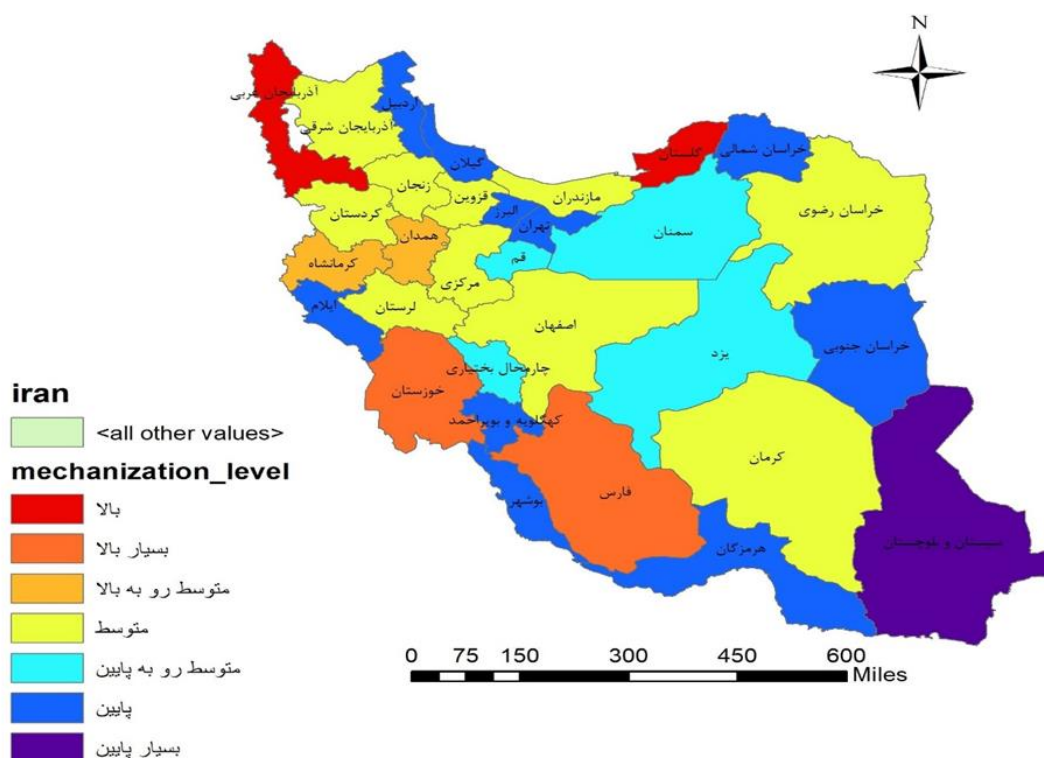
با توجه به نتایج، استان‌های جنوبی (خوزستان، فارس)، گلستان، آذربایجان غربی، کرمانشاه و همدان دارای بالاترین سطح توسعه مکانیزاسیون هستند (شکل ۱). عواملی همچون زیرساخت مناسب، سطح بالای کشت مکانیزه، وجود خدمات فنی فعال و سیاست‌های حمایتی منطقه‌ای از دلایل اصلی این وضعیت مطلوب محسوب می‌شوند.

در مقابل، استان‌هایی مانند سیستان و بلوچستان، البرز و هرمزگان در انتهای جدول قرار گرفته‌اند. فقدان تجهیزات مدرن، پراکندگی واحدهای کشاورزی، کمبود نیروهای متخصص، و نبود پشتیبانی‌های مالی مناسب از دلایل پایین بودن سطح مکانیزاسیون در این مناطق است. نتایج نشان می‌دهد که توسعه مکانیزاسیون در کشور به‌طور نامتوازن صورت گرفته است. تفاوت‌های قابل توجه در سطح مکانیزاسیون کشاورزی بین استان‌های مختلف ایران ناشی از تأثیر متقابل عوامل محیطی، اجتماعی و اقتصادی است.

مکانیزاسیون دارند. بنابراین، تفاوت‌های منطقه‌ای مکانیزاسیون کشاورزی ایران نه تنها به عوامل فنی بلکه به شرایط محیطی، اجتماعی و اقتصادی بستگی دارد که باید در برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای و سیاست‌گذاری‌ها به صورت جامع مورد توجه قرار گیرند. برای دستیابی به عدالت منطقه‌ای و بهره‌وری ملی، سیاست‌گذاران باید بر اساس این رتبه‌بندی و شاخص‌های کلیدی، منابع، تجهیزات و آموزش‌های تخصصی را هدفمند و منطقه‌محور تخصیص دهند. در پژوهشی مشابه (Toraman, 2023) به بررسی شاخص‌های مختلف ارزیابی سطح مکانیزاسیون کشاورزی در استان شیراک ترکیه پرداخته است. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که توزیع مکانیزاسیون در این منطقه نابرابر است و بخش‌هایی وجود دارند که سطح مکانیزاسیون بسیار پایین است. افزایش سطح مکانیزاسیون منجر به بهبود بهره‌وری، کاهش استفاده از نیروی انسانی و کاهش هزینه‌های تولید شده است. همچنین این مطالعه پیشنهاد می‌کند که سیاست‌های توسعه‌ای باید متناسب با شرایط محلی هر بخش تنظیم شود تا استفاده بهینه از ماشین‌های کشاورزی فراهم گردد.

از نظر محیطی، تنوع اقلیمی و شرایط خاک در هر منطقه بر نوع و میزان استفاده از ماشین‌های کشاورزی تأثیرگذار است. به عنوان مثال، استان‌هایی با اراضی وسیع و هموار مانند خوزستان و فارس امکان بهره‌گیری گسترده‌تر از تجهیزات مکانیزه را دارند، در حالی که در مناطق کوهستانی یا با پراکندگی زمین‌های کشاورزی مانند استان‌های شمالی و غربی، استفاده از ماشین‌ها محدودتر است.

از منظر اجتماعی، تراکم جمعیت روستایی، سطح آموزش و دانش فنی کشاورزان و همچنین فرهنگ و پذیرش فناوری‌های نوین در هر منطقه نقش مهمی در میزان مکانیزاسیون دارد. استان‌هایی با دسترسی بهتر به آموزش و خدمات فنی، توانسته‌اند بهره‌برداری بهینه‌تری از ماشین‌های کشاورزی داشته باشند. عوامل اقتصادی نیز از جمله درآمد کشاورزان، سطح سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی، دسترسی به تسهیلات مالی و سیاست‌های حمایتی دولتی، تأثیر مستقیم بر توان خرید و به‌روزرسانی ماشین‌ها دارد. مناطق برخوردارتر از لحاظ اقتصادی، معمولاً توانایی بیشتری در نوسازی ناوگان کشاورزی و توسعه



شکل ۱- پراکندگی جغرافیایی توسعه شاخص‌های مکانیزاسیون کشاورزی در محصولات عمده زراعی در ایران (یافته‌های تحقیق)

تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت نشان داد که دو شاخص ضریب مکانیزاسیون و تراکم ماشین‌ها، بیش‌ترین تأثیر را بر رتبه‌بندی نهایی استان‌ها داشته‌اند. به‌طوری‌که تغییر ۱۰ درصدی در وزن این دو شاخص، می‌تواند منجر به تغییر رتبه ۴ تا ۵ استان در جدول نهایی شود (جدول ۷). هم‌چنین تغییر رتبه استان‌ها با تغییر وزن ضریب مکانیزاسیون و تغییر وزن ضریب تراکم ماشین‌ها در جدول ۸ و ۹ نمایش داده شده است. در تحقیقی مشابه، شاخص‌های ضریب مکانیزاسیون در عملیات مختلف و توان ورودی به ازای واحد سطح در مکانیزاسیون تولید برنج در کشور نپال، به عنوان مهم‌ترین عوامل اثرگذار شناسایی شدند (Bhandari et al., 2023).

جدول ۷- تعداد استان‌های متأثر از تغییر وزن شاخص‌ها (تغییر رتبه)

شاخص	درصد تغییر وزن	تعداد استان با تغییر رتبه
ضریب مکانیزاسیون	$\pm 10\%$	۵
تراکم ماشین‌آلات	$\pm 10\%$	۴

جدول ۸- تغییر رتبه استان‌ها با تغییر وزن ضریب مکانیزاسیون

وزن ضریب مکانیزاسیون	خوزستان (رتبه)	فارس (رتبه)	گلستان (رتبه)
۰/۱۹۳۵ (-۱۰٪)	۲	۱	۳
۰/۲۱۵ (وزن اصلی)	۱	۲	۳
۰/۲۳۶۵ (+۱۰٪)	۱	۲	۴

جدول ۹- تغییر رتبه استان‌ها با تغییر وزن تراکم ماشین‌ها

وزن تراکم ماشین‌آلات	خوزستان (رتبه)	فارس (رتبه)	گلستان (رتبه)
۰/۱۶۳۸ (-۱۰٪)	۱	۱	۳
۰/۱۸۲ (وزن اصلی)	۱	۲	۳
۰/۲۰۰۲ (+۱۰٪)	۱	۲	۴

نتیجه‌گیری

با استفاده از روش‌های FAHP و TOPSIS، استان‌های کشور از نظر سطح توسعه مکانیزاسیون رتبه‌بندی شدند. با شناسایی و وزن‌دهی به ۸ شاخص کلیدی مکانیزاسیون از

جمله ضریب مکانیزاسیون، تراکم ماشین‌ها، بهره‌وری نیروی کار، مصرف سوخت و ...، مشخص شد که این شاخص‌ها می‌توانند به‌طور معناداری در ارزیابی عملکرد مکانیزاسیون در استان‌های مختلف مؤثر باشند. استان‌هایی نظیر خوزستان، فارس، گلستان و آذربایجان غربی، کرمانشاه و همدان در صدر رتبه‌بندی قرار گرفتند، در حالی که استان‌هایی نظیر سیستان و بلوچستان و البرز و هرمزگان پایین‌ترین رتبه‌ها را داشتند. این تفاوت‌ها عمدتاً ناشی از زیرساخت‌های فنی، حمایت‌های دولتی، تراکم اراضی کشاورزی و دسترسی به خدمات مکانیزاسیون بود. بنابراین یافته‌های این پژوهش نشان داد که مکانیزاسیون کشاورزی در ایران با وجود پیشرفت‌های نسبی در برخی استان‌ها، به‌صورت نابرابر و نامتوازن توسعه یافته است. هم‌چنین تحلیل حساسیت نشان داد که شاخص‌های ضریب مکانیزاسیون و تراکم ماشین‌ها بیش‌ترین تأثیر را بر رتبه نهایی استان‌ها داشتند. بنابراین، سرمایه‌گذاری هدفمند در این دو حوزه می‌تواند به‌طور مؤثر موجب ارتقاء سطح مکانیزاسیون در مناطق کم‌تر توسعه‌یافته شود.

پیشنهادهای کاربردی برای سیاست‌گذاران و وزارت جهاد کشاورزی عبارتند از: تخصیص منابع و یارانه‌های مکانیزاسیون به‌صورت منطقه‌ای و بر اساس نتایج سطح‌بندی انجام‌شده، طراحی بسته‌های حمایتی برای استان‌های با سطح پایین مکانیزاسیون شامل تسهیلات خرید ماشین‌ها، آموزش و خدمات پشتیبانی و توسعه شبکه خدمات فنی و تعمیراتی در استان‌های کم‌برخوردار به‌منظور کاهش زمان خواب ماشین‌ها. هم‌چنین به کشاورزان و اتحادیه‌های تولیدی، تشویق به استفاده از الگوهای کشاورزی مشارکتی برای بهره‌برداری اشتراکی از تجهیزات مکانیزه و افزایش دانش فنی و مهارتی کشاورزان از طریق دوره‌های آموزشی مکانیزاسیون پیشرفته پیشنهاد می‌شود. انجام مطالعات آینده‌نگر با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی (مانند رگرسیون یا یادگیری ماشین) به‌منظور سنجش روند توسعه مکانیزاسیون در دهه آینده و ترکیب روش‌های MCDM با داده‌های مکانی (GIS) جهت ارائه نقشه‌های تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی منطقه‌ای می‌تواند در ارزیابی توسعه شاخص‌های مکانیزاسیون کشاورزی در ایران راه‌گشا باشد. هم‌چنین از جمله محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به عدم دسترسی کامل به داده‌های دقیق در برخی استان‌ها و اتکا به منابع ثانویه اشاره کرد.

- Applications, 39(17), 13051-13069.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.032>.
- Bhandari, S., Bhandari, S., K.C., S., Badu, R., Dhital, P. R., & Khanal, A. (2023). Assessment of agricultural mechanization status in rice production and its challenges in the western Nepal. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 8(2), 236-243.
<https://doi.org/10.26832/24566632.2023.08020210>
- Cherkos, B. G. (2024). Agricultural mechanization indicators and power requirements of farming operations in Ethiopia. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 26(3), 1-8.
<https://doi.org/10.13031/aei.9331>
- Duran, H., Ghaly, N. A., & Gürdil, G. A. K. (2024). Evaluation of agricultural mechanization as an indicator of agricultural development: A comparative study for Türkiye and Egypt. *Black Sea Journal of Agriculture*, 15(2), 257-265.
<https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1429314>
- Firouzi, S. (2015). A Survey on the Current Status of Mechanization of Paddy Cultivation in Iran: Case of Guilan Province. *International Journal of Agricultural Management and Development*, 5(2), 117-124.
<https://oiccpres.com/ijamad/article/view/6761>
- Ghasemi-Nejad Raini, M., Marzban, A., Keshvari, A. & Hassanaki, N.. (2021). Analysis of the importance of effective criteria in the process of technology transfer in agricultural mechanization. *Technology Development Management*, 9(1), 165-197.
<https://doi.org/10.22104/jtdm.2021.4859.2780> (In Persian)
- Ghosal, S., Banerjee, S., & Das, S. (2020). Regional analysis of agricultural mechanization using multi-criteria decision-making (MCDM) techniques: Implications for policy planning. *Journal of Agricultural Systems*, 178, 102736.
<https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102736>
- Hardani, S., Ghasemi Mobtaker, H., & Khanali, M. (2020). Evaluation of mechanization indices for strategic crops in Ahvaz County using fuzzy logic. *Journal of biosystem Engineering*, 25(2), 527-538. (In Persian)
<https://doi.org/10.22059/ijbse.2020.291886.665240>
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-48318-9>
- Jalalvand, M., Ahmadi, S., & Mohammadi, R. (2024). Assessment of agricultural mechanization

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده از داده‌های میدانی دقیق‌تری استفاده شود. مقایسه‌های بین‌المللی برای الگوبرداری از کشورهایی با سطح مکانیزاسیون بالا انجام شود و تأثیر مکانیزاسیون بر بهره‌وری کل نظام تولید (شامل بهره‌وری آب، نهاده‌ها و عملکرد محصول) بررسی شود.

سیاسگزاری

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان سپاسگزاری می‌نمایند.

تضاد منافع نویسندگان

در این مقاله هیچ‌گونه تضاد منافع وجود ندارد و این مسئله مورد تایید همه نویسندگان است.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نحوه و میزان مشارکت نویسندگان در انجام این پژوهش به صورت زیر است:

- نسیم منجزی: جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها، و نگارش اولیه
- جعفر حبیبی اصل: طراحی مطالعه، و اصلاح متن
- احسان هوشیار: ارائه نظرات تخصصی و بازبینی

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها است.

حمایت مالی

نویسندگان هیچ حمایت مالی خاصی برای انجام این پژوهش دریافت نکرده‌اند.

منابع

- Abbasi, K., Almasi, M., Borqei, A. M., Minaei, S. (2014). Model for estimating the yield of basic crops based on the agricultural mechanization level index in Iran. *Agricultural Machinery*, 4(2), 344-351. <https://doi.org/10.22067/jam.v4i2.34826> (In Persian)
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with*

- status in Borujerd county using mechanization evaluation indices. *Iranian Journal of Agricultural Research*, 19(1), 45–62. (In Persian)
- Kutzbach, H. D. (2007). Agricultural mechanization: Adoption patterns and economic impact. In R. E. Evenson, P. Pingali, & T. P. Schultz (Eds.), *Handbook of Agricultural Economics* (Vol. 3, pp. 2779–2805). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-0072\(06\)03054-4](https://doi.org/10.1016/S1574-0072(06)03054-4)
- Mohtasbi, S. S., Abbaspour Gilandeh, Y. & Borqei, A. M.. (2022). The status of mechanization of agricultural and horticultural production in Iran.. *Journal of Strategic Research in Agricultural Sciences and Natural Resources*, 7(1), 51-62. <https://doi.org/10.22047/srjasnr.2022.147430> (In Persian)
- Seyedrezai, M., Noori, H., & Kazemi, F. (2020). Assessment of mechanization coefficient in wheat farms of western provinces and inequality in mechanized resource distribution. *Iranian Journal of Agricultural Research*, 35(2), 75–90. (In Persian)
- Sims, B., & Kienzle, J. (2016). Agricultural mechanization in sub-Saharan Africa: Guidelines for preparing a strategy. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/i5553e/i5553e.pdf>
- Singh, S., Singh, J., & Singh, R. (2010). Assessment of agricultural mechanization in India: State-wise analysis and ranking. *Journal of Agricultural Engineering*, 47(2), 34–45.
- Toraman, M. C. (2023). Agricultural Mechanization Level of Şırnak Province and Districts. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 11(9), 1628–1638. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i9.1628-1638.6167>
- Yasar, H., Raza, M. H., Faisal, M., Nadeem, N., Khan, N., Kassem, H. S., Elhindi, K. M., & Mahmood, S. (2024). Does farm mechanization improve farm performance and ensure food availability at household level? Empirical evidence from Pakistan. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1453221. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1453221>