



Identifying and Analyzing Influential Variables Affecting the Development Pathways of Agricultural Mechanization in Boroujerd Province through PESTEL and Cross-Impact Approach

Mehrdad Jalalvand¹ | Asadolah Akram² | Majid Khanali³

1. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mehrdad.jalalvand@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: aakram@ut.ac.ir
3. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: khanali@ut.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Sep. 12, 2025

Revised: Jan. 5, 2026

Accepted: Jan. 18, 2026

Published: Spring, 2026

Keywords:

*Agricultural Mechanization,
Influential Variables,
PESTEL Analysis*

Agriculture, as the most critical pillar of food security, requires the adoption of modern and forward-looking technologies in the field of mechanization. The present study was conducted with the aim of identifying and examining the effects of variables influencing the development of agricultural mechanization in Boroujerd Province. To this end, through field studies, documentary reviews, and the collection of expert opinions from specialists in agricultural mechanization, a total of 73 influencing variables were identified and validated. Among these, 64 variables with an importance coefficient higher than 75 percent were selected. After confirming the reliability of the collected questionnaires, cross-impact analysis was conducted across six groups, namely political, economic, sociocultural, technical, environmental, and legal. Then, 19 key variables from different groups were selected, and both direct and indirect influence calculations were performed on these. In the combined analysis of variables, the highest direct influence and dependence scores were obtained for variables education and extension and precision agriculture technology, with respective values of 904 and 1523. Similarly, the highest indirect influence and dependence scores were attributed to government financial support and environmental pressures on natural resources, with respective values of 963 and 1463. According to the results, sustainable development of agricultural mechanization will only be achieved when, alongside technical investments, sociocultural, political, and environmental variables are also given due consideration. Otherwise, the mechanization process will not only lack the necessary efficiency, but may also generate adverse consequences for food security, natural resources, and the overall trajectory of the country's sustainable development.

Cite this article: Jalalvand, M., Akram, A. & Khanali, M. (2026). Identifying and Analyzing Influential Variables Affecting the Development Pathways of Agricultural Mechanization in Boroujerd Province through PESTEL and Cross-Impact Approach, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 57 (1), 37-62. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2026.402239.665612>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2026.402239.665612>





EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Agriculture, as the most fundamental human activity, plays a vital role in meeting basic human needs. With the rapid growth of the global population and the simultaneous limitation of production resources, the necessity of shifting perspectives toward agricultural production methods has become increasingly evident. In the broader discourse on mechanization, the involvement of experts from disciplines beyond agriculture such as environmental sciences and sociology, as well as learning from the experiences of leading countries, has gained particular importance. An examination of the study country's mechanization trajectory reveals a pattern of hasty decision-making, often lacking scientific justification. This is further compounded by incomplete implementation and inadequate monitoring. Nevertheless, forecasting the future path of agricultural mechanization and identifying the key factors that influence the strengthening of its fundamental elements requires a comprehensive and forward-looking approach. Accordingly, this study seeks not only to identify the influencing factors and variables but also to analyze their mutual effects. On this basis, it becomes possible to provide a holistic and data driven outlook on the future of agricultural mechanization.

Material and Methods

In this study, both documentary sources and field investigations were combined with a qualitative phenomenological approach to capture the tacit knowledge of experts. Influential factors were identified through carefully designed expert interviews, extraction from research literature, and a researcher-developed questionnaire. Expert evaluations employed Likert scale ratings, a 0–3 numerical scoring method, and a –3 to +3 scale, with the interpretation of values based on expert judgment. The identified variables were then analyzed using the MICMAC software. To ensure questionnaire reliability, Cronbach's alpha was calculated. Approximately 70 variables influencing the state of agricultural mechanization were identified and assessed by experts. After feedback was collected, the reliability of the questionnaire was confirmed, and the relative importance of variables was determined. Data processing was carried out using Python software. The subsequent stage involved developing the cross-impact matrix. Using the PESTEL framework, the variables were classified into six dimensions: political, economic, sociocultural, technological, environmental, and legal. A subset of representative variables from each category was then selected, with Python applied to support the selection process. Finally, influence/dependence maps were drawn, variables were ranked, and their interrelationships analyzed.

Results and Discussion

In this study, the reliability of the questionnaire was analyzed using Python software. The calculated Cronbach's alpha coefficient was 0.868, and the standardized alpha value was 0.858. Since these values fall within the acceptable range of 0.80–0.90, the questionnaire demonstrated satisfactory reliability and was considered dependable for the subsequent stages of the research. The results of the analysis of combined variables from different groups indicate that among the variables, education and government support exhibit the highest level of direct influence, and therefore, can be considered as the main driving forces in the system. In contrast, technology and land consolidation show the highest direct dependency, reflecting their strong sensitivity to changes in other variables. From the perspective of indirect influence, variables such as government financial support and inflation rate rank higher, highlighting their role in shaping the system's indirect dynamics. Likewise, in terms of indirect dependency, variables such as environmental pressures, sustainable agriculture, and climate change record the highest values, indicating that the stability and future trajectory of the system are strongly affected by changes in other factors. Overall, the emerging patterns suggest that variables like education, government policies, and financial support serve as key driving forces, whereas variables such as technology, land consolidation, and sustainable agriculture fall more into the category of dependent and reactive factors. Similarly, variables like labor regulations, which appear in the lower ranks, have limited impact on the overall system dynamics and play more of a marginal role.

Conclusions

The findings of this study highlight that agricultural mechanization in the country evolves within a complex and multidimensional system. Each category of variables, with its own drivers and outcomes, plays a crucial role in shaping the future of mechanization, while their interactions create a dynamic yet fragile development trajectory. For example, in the political group, government support policies, agricultural management structures, and financial subsidies emerge as key drivers, steering resources and influencing mechanization pathways. In contrast, variables such as rural development policies and agricultural machinery trade exhibit strong dependency, quickly reflecting shifts in macro level strategies. Indirectly, the integration of mechanization into national policy frameworks underscores the linkage between strategic policymaking and program implementation. Similar influence/dependence patterns are observed across economic, social, technological, environmental, and legal dimensions. Overall, the results suggest that sustainable agricultural mechanization requires more than technical and economic investment; it depends on institutional reforms, active stakeholder participation, and environmental considerations. Neglecting these aspects may undermine efficiency and pose risks to food security, natural resources, and long-term sustainable development.

Author Contributions

Conceptualization: Mehrdad Jalalvand, Asadolah Akram and Majid Khanali. **Methodology:** Mehrdad Jalalvand. **Software:** Mehrdad Jalalvand. **Validation:** Majid Khanali. **Formal analysis:** Asadolah Akram. **Investigation:** Mehrdad Jalalvand. **Resources:** Asadolah Akram and Majid Khanali. **Data curation:** Mehrdad Jalalvand. **Writing-original draft preparation:** Mehrdad Jalalvand. **Writing-review and final editing:** Asadolah Akram and Majid Khanali. **Visualization:** Mehrdad Jalalvand. **Supervision:** Asadolah Akram and Majid Khanali. **Project administration:** Asadolah Akram and Majid Khanali.

A.R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript

Data Availability Statement

The data that support the finding of this study will be available from the corresponding author on reasonable requests.

Acknowledgements

Thank you to all those who have collaborated in this research.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

شناسایی و تحلیل متغیرهای تأثیرگذار بر مسیر توسعه مکانیزاسیون کشاورزی در شهرستان بروجرد با رویکرد تحلیل عوامل کلان محیطی و اثرات متقابل

مهرداد جلالوند^۱ | اسداله اکرم^۲ | مجید خانعلی^۳

۱. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج،

ایران. رایانامه: mehرداد.jalalvand@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی،

دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: akram@ut.ac.ir

۳. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج،

ایران. رایانامه: khanali@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۸

تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۵

واژه‌های کلیدی:

متغیرهای مؤثر،

مکانیزاسیون کشاورزی،

تحلیل عوامل کلان محیطی

کشاورزی به‌عنوان مهمترین رکن تأمین امنیت غذایی، نیازمند بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و آینده‌نگر در حوزه مکانیزاسیون است. تحقیق حاضر با هدف شناسایی و بررسی اثرات متغیرهای تأثیرگذار بر توسعه مکانیزاسیون کشاورزی در شهرستان بروجرد، انجام گرفته است. به‌همین منظور از طریق مطالعات میدانی، اسنادی و گردآوری نظرهای خبرگان و متخصصان حوزه مکانیزاسیون کشاورزی تعداد ۷۳ متغیر تأثیرگذار در وضعیت مکانیزاسیون کشاورزی شناسایی و اعتبار سنجی شد. سپس ۶۴ متغیر که ضریب اهمیت بیش از ۷۵ درصد داشتند، انتخاب شد. پس از تأیید میزان پایایی پرسش‌نامه‌های اخذ شده، محاسبات اثرات متقابل در شش گروه؛ یعنی گروه‌های سیاسی، اقتصادی، اجتماعی- فرهنگی، فنی، زیست‌محیطی و قانونی انجام پذیرفت. از این تعداد ۱۹ متغیر به‌عنوان مهمترین متغیرها از گروه‌های مختلف انتخاب، و محاسبات اثرات متقابل و تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر روی این مجموعه از متغیرها صورت گرفت. در بررسی متغیرهای ترکیبی از گروه‌های مختلف، رتبه اول اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم به متغیرهای آموزش و ترویج و فناوری کشاورزی دقیق، به‌ترتیب با مقادیر ۹۰۴ و ۱۵۲۳ تعلق می‌گیرد. همچنین رتبه اول اثرگذاری و اثرپذیری غیرمستقیم نیز به متغیرهای حمایت‌های مالی دولت و فشارهای زیست‌محیطی بر منابع طبیعی، به‌ترتیب با مقادیر ۹۶۳ و ۱۴۶۳ تعلق می‌گیرد. طبق نتایج، توسعه پایدار مکانیزاسیون کشاورزی زمانی محقق خواهد شد که در کنار سرمایه‌گذاری‌های فنی، سایر متغیرها همچون متغیرهای فرهنگی- اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی نیز مورد توجه قرار گیرد. در غیر این‌صورت، فرآیند مکانیزاسیون نه‌تنها از کارآمدی لازم برخوردار نخواهد بود، بلکه می‌تواند پیامدهایی منفی برای امنیت غذایی، منابع طبیعی و مسیر توسعه پایدار کشور به‌همراه داشته باشد.

استناد: جلالوند؛ مهرداد، اکرم؛ اسداله، خانعلی؛ مجید، (۱۴۰۵). شناسایی و تحلیل متغیرهای تأثیرگذار بر مسیر توسعه مکانیزاسیون کشاورزی در شهرستان بروجرد با رویکرد تحلیل عوامل کلان محیطی و اثرات متقابل. *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، ۵۷ (۱)، ۶۲-۳۷.

<https://doi.org/10.22059/ijbse.2026.402239.665612>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2026.402239.665612>

مقدمه

کشاورزی همواره به‌عنوان زیربنایی‌ترین فعالیت انسانی، نقشی اساسی در تأمین نیازهای اولیه بشر ایفا کرده است. با افزایش روزافزون جمعیت و در مقابل، محدودیت منابع تولید، ضرورت تغییر نگرش به شیوه‌های تولید در بخش کشاورزی بیش از پیش احساس می‌شود. این تغییر نگرش نه‌تنها از سوی متخصصان و پژوهش‌گران، بلکه از جانب بهره‌برداران و تصمیم‌گیرندگان نیز مورد توجه قرار گرفته است، چرا که تداوم امنیت غذایی و توسعه پایدار بدون نوآوری و بهبود در نظام‌های تولیدی امکان‌پذیر نخواهد بود. نقش مکانیزاسیون بسیار فراتر از یک نهاده تولیدی ساده است و می‌توان آن‌را به‌منزله ابزاری مدیریتی در نظر گرفت که با ارتقاء بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و بهینه‌سازی مصرف سایر نهاده‌ها؛ زمینه تحول بنیادین در نظام‌های مختلف کشاورزی را فراهم می‌سازد. بنابراین، بررسی دقیق جایگاه و کارکرد مکانیزاسیون کشاورزی نه‌تنها در افزایش تولید و کارایی، بلکه در مدیریت منابع و حرکت به‌سمت توسعه پایدار اهمیت حیاتی دارد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۳). در توسعه پایدار کشاورزی، مفهوم پایداری در ابعاد مختلفی همچون فنی، اقتصادی و اجتماعی مد نظر قرار می‌گیرد و اهدافی مثل عدم آلودگی، جلوگیری از تهی‌سازی و تخریب منابع طبیعی، ایجاد بستری مناسب برای برگشت سرمایه در بازه زمانی قابل قبول و عرضه مواد غذایی به میزان کافی و مورد نیاز دنبال می‌شود. با کمی تأمل در ابعاد مذکور، وسعت و گستردگی عوامل تأثیرگذار در توسعه کشاورزی پایدار نمایان می‌شود. به‌همین علت در بحث کلان مکانیزاسیون استفاده از نظرات متخصصین خارج از حوزه کشاورزی مانند محیط زیست و جامعه‌شناسی، و نیز استفاده از تجربه کشورهای پیشرو مورد توجه قرار می‌گیرد (الماسی و همکاران، ۱۳۸۷).

از طرفی با بررسی روند مکانیزاسیون طی سال‌های گذشته، فهرستی از مشکلات، موانع و چالش‌های این بخش را می‌توان مشاهده نمود. در این بین و در اولین نظر، تصمیم‌گیری‌های شتاب‌زده، فاقد توجیه علمی و منطقی و نیز اجراهای ناقص و نبود نظارت در حین اجرا مشهود است. هر چند که در این خصوص از اقدام‌های مثبت طی سال‌های گذشته نیز نمی‌توان چشم‌پوشی کرد، ولی برآیند تصمیم‌ها و سیاست‌های اجرا شده، وضعیت فعلی مکانیزاسیون کشور است که در آن، کاستی‌ها و عقب‌ماندگی‌ها غالب بر موفقیت‌های این بخش می‌باشد.

از جمله علل مسبب این وضعیت می‌توان به نگاه دوگانه دولت به بخش کشاورزی و صنعت اشاره نمود (اثنی عشری و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین موضوع قوانین سخت اداری در پرداخت‌ها نیز از دیگر عوامل بروز این وضعیت است (جلالوند و اکرم، ۱۴۰۲). از دیگر موارد می‌توان به افزایش راندمان و عملکرد محصول و کاهش ضایعات، به‌عنوان یکی از اهداف توسعه مکانیزاسیون اشاره کرد، که در این زمینه نیز متأسفانه توفیق قابل توجهی حاصل نشده است (امامی و همکاران، ۱۴۰۰). شایان ذکر است که در سال‌های گذشته، سیاست‌گذاران عمدتاً افزایش سطح مکانیزاسیون را به‌عنوان هدف اصلی مدنظر قرار داده و از طریق تأکید بر مالکیت خصوصی ماشین‌ها و ادوات، آن‌را نشانه‌ای از پیشرفت قلمداد کرده‌اند. در حالی که نظام بهره‌برداری زمین در کشور، به‌دلیل پراکندگی قطعات و کوچک بودن مساحت اراضی، در بسیاری از موارد با الگوی مالکیت خصوصی ماشین‌ها تعارض قرار دارد (امجدی و چیدری، ۱۳۸۵). از جمله چالش‌های شناخته شده در مسیر توسعه کشاورزی می‌توان به ضعف‌های مدیریتی، عدم یکپارچگی اراضی، کمبود صنایع تبدیلی، محدودیت منابع و نبود نیروی متخصص به اندازه کافی اشاره نمود (طاهرزاده شالمائی و قاسمی‌مبتکر، ۱۴۰۱).

مجموعه موارد فوق‌الذکر سبب شده است که استفاده از واژه توسعه در کنار مفهوم مکانیزاسیون کشاورزی کشور، با ابهام و تردید همراه باشد. به‌نظر می‌رسد، در خوش‌بینانه‌ترین حالت، آینده مکانیزاسیون کشاورزی کشور ادامه مسیر پیشین خواهد بود و بر همان اساس، تصمیم‌های گذشته یا ترکیبی از آن‌ها مبنای عمل قرار خواهد گرفت.

هدف از انجام این تحقیق، پیش‌بینی مسیر توسعه مکانیزاسیون به‌منظور اجتناب از اشتباهات گذشته و کمک به هموار نمودن مسیر توسعه آن می‌باشد. به‌همین سبب سعی شده است از طریق پاسخ به سؤال‌های تحقیق به‌شرح ذیل، نیل به این هدف فراهم گردد.

عوامل و متغیرهای مهم در وضعیت مکانیزاسیون کشاورزی شهرستان بروجرد کدامند؟

نقش متغیرهای شناسایی شده (پاسخ سؤال قبل) از لحاظ اثرگذاری یا اثرپذیری به چه صورت است؟

مقدار کمی اثرگذاری یا اثرپذیری هر متغیر به چه میزان است؟

آثار مقادیر متفاوت کمی شده چگونه در وضعیت آتی مکانیزاسیون کشاورزی شهرستان ظهور می‌یابد؟

بر این اساس، امکان ارایه چشم‌اندازی جامع و مبتنی بر داده، از آینده مکانیزاسیون کشاورزی فراهم خواهد گردید.

پیشینه پژوهش

در این بخش، پژوهش‌های مرتبط با مکانیزاسیون کشاورزی مرور می‌شوند تا روندها، دستاوردها و خلأهای پژوهشی شناسایی شده و زمینه‌ای مناسب برای تحلیل نتایج تحقیق ایجاد گردد. مطالعات نشان می‌دهد که مکانیزاسیون کشاورزی به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی در ارتقاء بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و پایداری تولید نقشی بنیادی ایفا می‌کند.

(امامی و همکاران، ۱۴۰۰)، طی تحقیقی، راهبردهای تحقق امنیت غذایی پایدار در کشور را بر مبنای مکانیزاسیون کشاورزی بررسی نمودند. در این بررسی با در نظر گرفتن نقاط ضعف، قدرت، فرصت‌ها و تهدیدهای پیش روی امنیت غذایی کشور؛ یک چهارچوب تحلیلی برای پیش‌بینی امنیت غذایی با استفاده از مدل‌های سری زمانی و تعیین ارتباط میان شاخص‌های مکانیزاسیون ایجاد شد. نتایج نشان داد که در زمان مطالعه، کشور از لحاظ موجودی امنیت غذایی در وضعیتی مطلوب قرار دارد، هر چند که نیاز توجه بیشتر به سایر ابعاد امنیت غذایی مشهود است.

(مرادی و همکاران، ۱۴۰۰)، به بررسی و تحلیل راهبردی توسعه مکانیزاسیون زراعی و تعیین نقاط ضعف، قدرت، فرصت و تهدیدهای توسعه مکانیزاسیون محصولات زراعی با استفاده از ماتریس تحلیل راهبردی در شهرستان اهواز پرداختند. در این تحقیق مهمترین نقاط قوت و شایستگی منطقه وجود اراضی وسیع و مسطح، توانایی انتخاب ماشین‌ها و ادوات مناسب کشاورزی و افزایش رفاه کشاورزان و مهمترین نقاط ضعف و کمبودها، شوری آب آبیاری و هزینه زیاد تأمین ماشین‌های کشاورزی تشخیص داده شد.

(طاهرزاده شالمائی و قاسمی مبتکر، ۱۴۰۱)، با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، به بررسی و اولویت‌بندی چالش‌های پیش روی توسعه کشاورزی در استان گیلان پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد مسایل مدیریتی مهم‌ترین مانع در مسیر پیشرفت کشاورزی این منطقه هستند، که بر ضرورت اصلاح ساختارهای تصمیم‌گیری و بهبود سیاست‌گذاری‌های کلان تأکید می‌کند. همچنین، پراکندگی و قطعه‌قطعه بودن اراضی کشاورزی به‌عنوان چالشی کلیدی شناسایی شد، که نشان‌دهنده نیاز به برنامه‌ریزی برای یکپارچه‌سازی زمین‌ها به‌منظور افزایش کارایی تولید است.

(عباسپور گیلانده و همکاران، ۱۴۰۱)، با استفاده از آمار تولیدات زراعی و باغی، وضعیت مکانیزاسیون کشاورزی کشور را مورد واکاوی قرار دادند. نتایج نشان داد که از دیدگاه مکانیزاسیون، وضعیت ضریب شاخص مکانیزاسیون تعاونی‌های تولیدی کشاورزی در کشور، چندان مناسب نبوده و نقش مکانیزاسیون در افزایش تولید فرآورده‌های زراعی و باغی حدود ۳۵ درصد و مدیون استفاده از ماشین در فرآیند تولید می‌باشد. همچنین مشخص شد که نقش ماشین در کاهش هزینه‌های تولید، به‌طور میانگین ۶۰-۵۰ درصد می‌باشد.

(توکلی و همکاران، ۱۴۰۳)، طی مطالعه‌ای پارامترهای مؤثر بر توسعه مکانیزاسیون کشاورزی را به‌وسیله سه روش مجموع ساده وزین، تاپسیس و الکرتر رتبه‌بندی نمودند. نتایج به‌دست آمده از سه روش متفاوت بود، و پس از ادغام و یکپارچه‌سازی آن‌ها، رتبه‌بندی واحدی حاصل شد. در این مطالعه، چالش‌هایی همچون عدم وجود برنامه مدون و منسجم و پراکندگی اراضی در رتبه اول، و عدم مهارت فنی کشاورز، متغیر بودن قیمت مواد اولیه و نبود تعمیرگاه در محل در جایگاه‌های بعدی قرار گرفتند. طبق یافته‌های این تحقیق، با عنایت به یکی بودن روش تاپسیس و نتایج حاصل از ادغام روش‌های سه‌گانه، روش تاپسیس به‌عنوان روشی مناسب برای رتبه‌بندی مورد تأیید قرار گرفت.

(Rajendran & Ranganathan, 2025) در تحقیق خود، به بررسی نقش فناوری‌های نوین نشاکاری در ارتقاء پایداری تولید برنج پرداخته‌اند. یافته‌های این تحقیق بیانگر آن است که کاربرد فناوری‌های نوین در این مرحله از تولید، می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داده و اثرات زیست‌محیطی تولید برنج را به حداقل برساند. بر اساس نتایج، گسترش مکانیزاسیون نشاکاری یکی از مسیرهای مؤثر برای تحقق کشاورزی پایدار و افزایش تاب‌آوری نظام تولید برنج در برابر تغییرات اقلیمی به‌شمار می‌رود.

(Wirarno et al., 2025) در پژوهشی به شناسایی موانع و محرک‌های مکانیزاسیون کشاورزی در اندونزی پرداختند. نتایج نشان داد که نبود زیرساخت‌های مناسب، محدودیت دسترسی به سرمایه و خدمات پس از فروش ماشین‌ها از مهم‌ترین موانع توسعه مکانیزاسیون هستند. در مقابل عواملی چون افزایش هزینه نیروی کار، حمایت‌های دولتی و نوآوری در فناوری‌های کوچک‌مقیاس از جمله محرک‌های اصلی گسترش مکانیزاسیون محسوب می‌شوند. همچنین مشخص شد که برای گذار به نظام‌های غذایی پایدار، لازم است مسیرهای سیاستی مبتنی بر مشارکت بخش خصوصی، آموزش کشاورزان و ایجاد اکوسیستم نوآوری مکانیزاسیون دنبال شود.

مرور پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که، مهم‌ترین چالش‌ها و شکاف‌های تحقیقاتی در حوزه مکانیزاسیون کشاورزی را می‌توان در چند محور خلاصه نمود: نخست این‌که، تمرکز غالب مطالعات بر ابعاد فنی و اقتصادی بوده و شناسایی نظام‌مند عوامل مؤثر مدیریتی، سیاسی و آموزشی و نیز تحلیل روابط علت و معلولی و اثرگذاری متقابل آن‌ها بر ارتقا وضعیت مکانیزاسیون کمتر مورد توجه

قرار گرفته است. دوم، علی‌رغم توجه به شاخص‌های کمی مانند درجه مکانیزاسیون، به بررسی نقش مکانیزاسیون در ابعاد پایداری زیست‌محیطی، تاب‌آوری در برابر تغییرات اقلیمی و تحقق امنیت غذایی پایدار به صورت جامع و راهبردی کمتر پرداخته شده است. این شکاف‌ها لزوم تدوین چارچوب‌های تحلیلی یکپارچه‌نگر و مبتنی بر شواهد را برای سیاست‌گذاری مؤثر در این حوزه ایجاب می‌نماید. لذا در این تحقیق متغیرهای مؤثر و اثرات متقابل آن‌ها مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت.

روش‌شناسی پژوهش

شهرستان بروجرد در شمال استان لرستان و در غرب کشور واقع شده و وسعت آن حدود ۱۶۰۶ کیلومتر مربع است. موقعیت جغرافیایی شهرستان بروجرد در شکل (۱) نشان داده شده است. اقلیم منطقه معتدل سرد و میانگین بارندگی سالیانه آن حدود ۵۰۰ میلی‌متر است که بیشتر در فصل بهار اتفاق می‌افتد. در بخش کشاورزی، سطحی معادل ۲۳۰۰۰ هکتار از اراضی این منطقه به کشت محصولات آبی، ۳۵۰۰۰ هکتار به صورت دیم و بیش از ۱۳۰۰۰ هکتار نیز به محصولات باغی اختصاص دارد (بی‌نام، ۱۴۰۲).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان بروجرد، a: در کشور، b: در استان و c: نقشه بروجرد

داده‌های لازم برای اجرای این پژوهش، یعنی شناسایی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر وضعیت مکانیزاسیون شهرستان بروجرد از طریق روش‌های اسنادی، پیمایشی و میدانی جمع‌آوری گردید، و اعتبارسنجی آن‌ها با استفاده از نظر گروه متخصصین مکانیزاسیون کشاورزی و صاحب‌نظران دانشگاهی، تحقیقاتی و اجرایی در سطح شهرستان، استان و کشور صورت پذیرفت. با توجه به محدودیت تعداد متخصصان و صاحب‌نظران در این حوزه و ضرورت برخورداری مشارکت‌کنندگان از دانش و تجربه کافی، نمونه‌گیری هدفمند، به‌عنوان روش نمونه‌گیری و انتخاب متخصصان مورد استفاده قرار گرفت. معیار انتخاب، داشتن دانش تخصصی، تجربه حرفه‌ای مرتبط با موضوع و آشنایی با سیاست‌ها و چالش‌های مکانیزاسیون کشاورزی در کشور بود. در مجموع، تعداد ۳۰ نفر از متخصصین به شرح مشخصات ذکر شده در جدول (۱)، در تکمیل پرسش‌نامه‌های پژوهش مشارکت نمودند. شایان ذکر است که ارتباط با متخصصین، ارسال پرسش‌نامه و دریافت بازخوردها در بستر اینترنت صورت پذیرفت.

جدول ۱. مشخصات متخصصین شرکت‌کننده در تکمیل پرسش‌نامه‌ها

تعداد	مدرک تحصیلی	رشته تحصیلی	گروه متخصصین
۱۹	دکتری	مکانیزاسیون کشاورزی	اعضای هیئت علمی دانشگاه‌ها
۲	دکتری	مکانیزاسیون کشاورزی	پژوهشگران مراکز تحقیقاتی
۱	دکتری	مکانیزاسیون کشاورزی	مدیران و کارشناسان بخش دولتی
۱	دکتری	سایر گرایش‌های کشاورزی	
۱	کارشناسی ارشد	ماشین‌های کشاورزی	
۶	کارشناسی ارشد	سایر گرایش‌های کشاورزی	

در این تحقیق از روش تحلیل عوامل کلان محیطی آدر مرحله ورودی و پویای محیطی داده‌های مورد نیاز، استفاده شده است.

این روش در مواقعی که تعداد متغیرها زیاد و تشکیل ماتریس‌های اثرات متقابل و جواب‌دهی مشارکت‌کنندگان مشکل، زمان‌بر و توأم با خطا باشد، از طریق گروه‌بندی متغیرها در بخش‌های مختلف، امکان استفاده از نظر متخصصین در حوزه‌های متفاوت را فراهم می‌نماید. این روش به‌عنوان یکی از ابزارهای شناخته‌شده، برای شناسایی و بررسی نیروهای خارجی مؤثر بر یک سامانه یا فعالیت به‌کار گرفته می‌شود. روش مذکور، موضوع را با نگاهی جامع و از ابعاد سیاسی، اقتصادی، اجتماعی- فرهنگی، فنی، زیست‌محیطی و قانونی می‌نگرد. این نوع تحلیل، امکان پیش‌بینی اثر تغییرات محیطی بر روندها، فرصت‌ها و تهدیدهای پیش‌رو را برای سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان فراهم می‌نماید. انتخاب این روش در تحقیق حاضر، نقش مهمی در شناسایی اثرات بیرونی دارد، زیرا توسعه مکانیزاسیون نه‌تنها به عوامل درون‌بخشی مثل سطح فناوری و ساختار بهره‌برداری، بلکه به عوامل بیرونی همچون شرایط سیاسی، اقتصادی، اجتماعی- فرهنگی، زیست‌محیطی و قانونی وابسته است. لذا استفاده از این روش، ضمن ایجاد نگرشی جامع نسبت به عوامل تأثیرگذار، زمینه‌ای مناسب برای تحلیل‌های ساختاری و تدوین برنامه‌های آتی را مهیا می‌سازد. مراحل اجرای روش تحلیل عوامل کلان محیطی شامل جمع‌آوری روندها، بررسی روندهای هر بخش، اولویت‌بندی عوامل و ترسیم تصویر آینده است.

همچنین از روش تحلیل اثرات متقابل^۱ برای شناسایی متغیرهای کلیدی و تعیین میزان تأثیر یا وابستگی متغیرها استفاده شده است. این روش شبه‌کمی بوده و در آن ماتریس‌های اثرات متقابل مورد بررسی قرار گرفته است، که بر اساس تعیین اثرات متقابل و دوسویه ایجاد شده است.

در ابتدا با استفاده از روش تحلیل عوامل کلان محیطی متغیرها به شش گروه به‌شرح ذیل تقسیم شدند:

متغیرهای سیاسی^۲: شامل متغیرهایی همچون سیاست‌های حمایتی دولت در حوزه مکانیزاسیون، یارانه‌ها و مشوق‌های دولتی برای فناوری‌های جدید، تأثیر تحریم‌ها یا روابط بین‌الملل بر واردات تجهیزات مکانیزه

متغیرهای اقتصادی^۳: این گروه شامل متغیرهای متخلفی مانند هزینه‌های سرمایه‌گذاری در مکانیزاسیون کشاورزی، دسترسی بهره‌برداران به تسهیلات مالی و وام‌ها و تأثیر نوسانات قیمت انرژی و مواد اولیه بر توسعه ماشین‌های کشاورزی می‌باشد.

متغیرهای اجتماعی^۴: متغیرهای این گروه شامل مواردی همچون میزان سواد و پذیرش کشاورزان نسبت به فناوری‌های جدید، روند جمعیتی و کاهش نیروی کار در بخش کشاورزی، تأثیر تغییرات سبک زندگی بر تولید و مصرف محصولات کشاورزی می‌باشد.

متغیرهای فنی^۵: متغیرهایی مثل توسعه هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و رباتیک در کشاورزی، سطح دسترسی کشاورزان به آموزش‌های مرتبط با فناوری‌های جدید و نوآوری‌های مربوط به پهپادها و سیستم‌های خودکار در کشاورزی در این گروه قرار می‌گیرند.

متغیرهای زیست‌محیطی^۶: از جمله این متغیرها می‌توان به‌مواردی مثل تأثیر تغییرات اقلیمی بر مکانیزاسیون کشاورزی، نقش فناوری‌های نوین در کاهش مصرف آب و بهینه‌سازی منابع، سیاست‌های مربوط به پایداری و کشاورزی سبز اشاره نمود. از جنبه آسیب‌های زیست‌محیطی نیز می‌توان به مسایل مربوط به سلامت انسان، کیفیت زیست‌بوم و تقلیل منابع اشاره نمود.

متغیرهای قانونی^۷: این گروه شامل مواردی همچون قوانین مربوط به استانداردهای ماشین‌های کشاورزی، محدودیت‌های قانونی در استفاده از برخی فناوری‌های جدید و مقررات مربوط به ایمنی و سلامت در حوزه مکانیزاسیون کشاورزی می‌باشد.

در مرحله بعدی تحقیق، ماتریس‌های اثرات متقابل^۸ به تفکیک برای هر گروه از متغیرها، در اختیار متخصصین قرار گرفت و میزان تأثیر هر یک از متغیرهای واقع در سطر بر متغیرهای ستون جدول مشخص شد. برای تعیین میزان اثرات از اعداد ۰-۳ استفاده شد، به‌طوری‌که بدون اثر، اثر ضعیف، اثر متوسط و اثر قوی، به‌ترتیب با اعداد صفر تا سه، و اثر بالقوه، یعنی اثری که ممکن است در آینده ایجاد شود، با نماد P مشخص گردید. در ماتریس مذکور، خانه‌های قطر اصلی جدول، یعنی اثر هر متغیر بر خودش باید خالی یا صفر باقی بماند. بعد از تحلیل ماتریس‌ها و استخراج نقشه‌های تأثیرگذاری، محل هر یک از متغیرها روی نقشه‌ها مشخص شد. بر این اساس، متغیرها تفکیک شده و در چهار گروه به‌این شرح قرار گرفتند:

متغیرهای کلیدی در بالا و سمت راست، متغیرهای محرک در بالا و سمت چپ، متغیرهای وابسته در پایین و سمت راست و

1. Cross- impact analysis
2. Political Variables
3. Economic Variables
4. Social Variables
5. Technological Variables
6. Environmental Variables
7. Legal Variables
8. Direct Influence Matrix

متغیرهای مستقل در پایین و سمت چپ نقشه

پس از مرحله تحلیل عوامل کلان محیطی، متغیرهای مهم هر یک از گروه‌های شش گانه سیاسی، اقتصادی، اجتماعی- فرهنگی، فنی، زیست‌محیطی و قانونی استخراج، ترکیب و تحت عنوان متغیرهای ترکیبی قلمداد شدند. سپس مراحل قبل یعنی تعیین اثرات متقابل متغیرها، برای این گروه از متغیرهای ترکیبی نیز به صورت مجزا انجام شد. برای انتخاب و استخراج متغیرها از نرم‌افزار پایتون استفاده شد. کدهای مربوطه در این نرم‌افزار به گونه‌ای تدوین شد که در فرآیند انتخاب متغیرهای کلیدی از گروه‌های مختلف، ترکیب سه معیار اصلی به شرح زیر، و با اولویت‌های اشاره شده، مد نظر قرار بگیرد:

اولویت اول پتانسیل تأثیرگذاری و وابستگی، که ترکیبی است از تأثیر مستقیم و غیر مستقیم و وابستگی مستقیم و غیر مستقیم. این شاخص به عنوان یک شاخص کل‌نگر، نشان‌دهنده نقش نظام‌مند متغیر در کل شبکه می‌باشد، زیرا متغیری که هم اثرگذار و هم اثرپذیر است، مهمترین متغیر برای برنامه‌ریزی و طراحی سناریو خواهد بود. این حالت شامل صورت‌های مستقیم و غیر مستقیم است (Godet, 2006).

اولویت دوم تأثیرگذاری غیر مستقیم است. این شاخص نشان‌دهنده پویایی درازمدت سامانه (تحلیل عمق نفوذ) است. اولویت سوم تأثیرگذاری مستقیم است که در برخی موارد، معیار و شاخص انتخاب می‌باشد ولی به تنهایی کافی نیست و در مواقعی استفاده می‌شود که متغیر علاوه بر تأثیر مستقیم بالا، در سایر شاخص‌ها نیز رتبه بالایی داشته باشد.

ترکیب وابستگی و تأثیرگذاری بالا موجب خلق متغیری ناپایدار^۱ خواهد گردید. بعد از طی مراحل فوق و تعیین اثرات متقابل متغیرهای هر گروه، مجموعه متغیرهای انتخاب شده به طریق فوق، به عنوان متغیرهای ترکیبی استخراج و تمامی مراحل یاد شده، در مورد این گروه از متغیرهای ترکیبی نیز اجرا شد. هدف از انجام این روش در درجه اول، ساده کردن ماتریس اثرات متقابل و کاهش تعداد متغیرها از طریق گروه‌بندی و در درجه دوم، انتخاب مهمترین متغیرهای هر گروه برای تحلیل اثرات متقابل می‌باشد.

در مراحل مختلف اجرای این تحقیق از نرم‌افزارهای پایتون نسخه ۳/۸/۸، برای تعیین مشخصات آماری، استخراج متغیرهای مهم از گروه‌های مختلف، تعیین میزان اهمیت متغیرها و ارزیابی پایایی پرسش‌نامه‌ها؛ و نرم‌افزار میک‌مک، نسخه ۶/۱/۲، برای تحلیل ساختاری، مدل‌سازی و انجام محاسبات ماتریس‌های اثرات متقابل استفاده شده است.

یافته‌های پژوهش

در گام نخست تحقیق، متغیرهای تأثیرگذار بر وضعیت مکانیزاسیون کشاورزی شناسایی شدند. برای شناسایی متغیرها، ضمن استفاده از منابع اسنادی و مطالعات میدانی، از روش کیفی پدیدارشناسی^۲ برای کسب دانش ضمنی متخصصین استفاده شد. در روش پدیدارشناسی، مشارکت‌کنندگان افرادی هستند که در زمینه موضوع تحقیق دارای تجربه بوده و نتایج به دیدگاه و نحوه قضاوت آن‌ها وابسته است. در این مرحله مؤلفه‌های تأثیرگذار از طریق مطالعات صورت پذیرفته، طرح سؤال‌های دقیق و کارشناسی شده از متخصصین و بهره‌برداران شناسایی، و با استفاده از پاسخ به پرسش‌نامه محقق‌ساخته، استخراج گردید. به این ترتیب تعداد ۷۳ متغیر تأثیرگذار بر مکانیزاسیون کشاورزی شناسایی شد. در مرحله بعد، برای اعتبار سنجی متغیرهای حاصل شده از مقیاس لیکرت استفاده شد، و بازخوردها در قالب جواب‌های پنج‌گزینه‌ای بسیار موافق، موافق، بی‌نظر، مخالف و بسیار مخالف جمع‌آوری گردید.

میزان پایایی پرسش‌نامه، با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ سنجیده شد. این ضریب توسط نرم‌افزار پایتون مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق نتایج، ضریب آلفای کرونباخ داده‌های اصلی و داده‌های استاندارد شده به ترتیب برابر با ۰/۸۶۸ و ۰/۸۵۸ تعیین گردید. با توجه به این‌که ضریب به دست آمده در طیف ۰/۹-۰/۸ قرار گرفته بود، پایایی پرسش‌نامه در رده "خوب" قرار گرفت.

در گام بعدی، متغیرهای اعتبارسنجی شده، از لحاظ اهمیت مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این راستا، متغیرهای مذکور مجدد در اختیار متخصصین قرار گرفت و میزان اهمیت آن‌ها تعیین شد. در این مرحله نیز متخصصین نظرات خود را با استفاده از طیف لیکرت و در قالب گزینه‌های خیلی مهم، مهم، تا حدودی مهم، کم اهمیت و بی‌اهمیت ارایه نمودند. سپس با استفاده از نرم‌افزار پایتون، متغیرهایی که دارای ضریب اهمیت بالای ۰/۷۵ بود استخراج، و به عنوان متغیرهای اصلی انتخاب شدند. به این ترتیب، از بین تعداد ۷۳ متغیر، تعداد

1. Linkage Variable
2. Python, Ver. 3.8.8
3. MICMAC, Ver. 6.1.2
4. Cross- impact matrix
5. Phenomenology

۶۴ متغیر به‌عنوان متغیرهای تأثیرگذار و با اهمیت، برای مراحل بعدی مطالعات حاصل شد که در جدول (۲) نشان داده شده است. در این جدول، نماد متغیر نشان‌دهنده شماره سؤالی است که متغیر از آن طریق استخراج شده است. با توجه به تعداد زیاد متغیرها، تشکیل یک ماتریس کلی و تعیین اثرات متقابل آن‌ها طاقت‌فرسا، زمان‌بر و توأم با خطا یا ابهام خواهد بود. در این گونه مواقع یعنی مواجهه با تعداد زیاد متغیرها، تقسیم موضوع به زیرگروه‌ها و تحلیل در سطح هر گروه، یک روش مرسوم و علمی برای کاهش پیچیدگی است. از مزایای این روش، که به‌نام روش تحلیل عوامل کلان محیطی شناخته می‌شود و نوعی تحلیل ساختاری مرحله‌ای یا چند سطحی است، می‌توان به انتخاب متغیرهای کلیدی هر گروه با منطقی قوی، دقیق‌تر و نیز تحلیل با استفاده از نظرات تخصصی خبرگانی که دارای تخصص در زمینه متغیرهای هر گروه هستند، اشاره نمود. همچنین تحلیل در خوشه‌ها و گروه‌های کوچک‌تر موجب افزایش کیفیت ورودی‌ها می‌گردد. در این تحقیق، با توجه به تعداد زیاد متغیرها و نظر به محاسن خوشه‌بندی آن‌ها، با استفاده از روش تحلیل عوامل کلان محیطی، متغیرها در شش گروه اصلی به شرح جدول (۲) سازمان‌دهی شدند.

جدول ۲. متغیرهای تأثیرگذار بر مکانیزاسیون کشاورزی با استفاده از روش تحلیل عوامل کلان محیطی

نام متغیر	نماد متغیر	گروه
سیاست‌ها و برنامه‌های دولت در حمایت از مکانیزاسیون	P1	سیاسی
ثبات سیاسی و امنیتی منطقه	P2	
سیاست‌های واردات و صادرات ماشین‌های کشاورزی	P3	
حمایت‌های مالی دولت	P4	
سیاست‌های توسعه روستایی	P5	
نقش مکانیزاسیون در اسناد بالادستی	P6	
ساختار مدیریتی و تصمیم‌گیری در بخش کشاورزی	P7	
قوانین و مقررات استانداردسازی ماشین‌های کشاورزی	P8	
روابط بین‌المللی در حوزه فناوری کشاورزی	P9	
قوانین مالکیت و تجمیع زمین‌های کشاورزی	P10	
سطح هماهنگی بین نهادهای اجرایی (مثل وزارت جهاد کشاورزی، بانک‌ها، استانداردی‌ها، شرکت‌ها)	P11	
قیمت خرید ماشین‌های کشاورزی	E1	اقتصادی
هزینه‌های نگهداری و تعمیرات ماشین‌های کشاورزی	E2	
دسترسی به تسهیلات مالی و اعتبارات	E3	
نرخ بهره و شرایط بازپرداخت وام‌ها	E4	
هزینه نیروی انسانی	E5	
درآمد خالص بهره‌برداران	E6	
قیمت فروش محصولات کشاورزی	E7	
نرخ بازگشت سرمایه	E8	
صرفه‌جویی در مقیاس تولید	E9	
قیمت سوخت و انرژی	E10	
هزینه فرصت سرمایه‌گذاری	E11	
تورم و نوسانات اقتصادی	E12	
سطح مشارکت بخش خصوصی در برنامه‌ریزی و اجرا	E13	
سطح آگاهی و دانش بهره‌برداران	S1	اجتماعی - فرهنگی
نگرش بهره‌برداران نسبت به فناوری	S2	
فرهنگ ریسک‌پذیری	S3	
سطح تحصیلات بهره‌برداران	S4	
نقش آموزش و ترویج	S5	
ساختار سنی بهره‌برداران	S6	
سطح زندگی و باورهای سنتی	S7	
مشارکت اجتماعی و همکاری‌های گروهی	S8	
نقش و مشارکت زنان	S9	

گروه	نماد متغیر	نام متغیر
	S10	سوابق و تجربه استفاده از مکانیزاسیون
	S11	ارتباطات و شبکه‌های اجتماعی
	T1	سطح فناوری ماشین‌های کشاورزی
	T2	فناوری کشاورزی دقیق
	T3	اتوماسیون و استفاده از ماشین به‌جای انسان
	T4	کارآیی و راندمان ماشین‌های کشاورزی
	T5	سطح مکانیزاسیون مجموعه عملیات کشاورزی (کاشت، داشت و برداشت)
فنی	T6	وجود و کیفیت زیرساخت‌های پشتیبان
	T7	دسترسی به قطعات یدکی و خدمات پس از فروش
	T8	قابلیت انتقال و بومی‌سازی فناوری
	T9	استفاده از فناوری‌های نوظهور مانند پهپاد
	T10	یکپارچه‌سازی و تجمیع اراضی کشاورزی
	T11	سطح فناوری در سامانه‌های آبیاری مکانیزه و هوشمند
	En1	تغییرات اقلیمی و گرمایش زمین
	En2	دسترسی به منابع آبی
	En3	کیفیت و فرسایش خاک
	En4	آلودگی‌های ناشی از استفاده از ماشین‌های کشاورزی
زیست‌محیطی	En5	فشارهای زیست‌محیطی بر منابع طبیعی
	En6	سیاست‌ها و مقررات زیست‌محیطی
	En7	رواج کشاورزی پایدار و زیستی
	En8	اثرات مکانیزاسیون بر مصرف انرژی
	L1	قوانین و آیین‌نامه‌های مکانیزاسیون کشاورزی
	L2	مقررات واردات و صادرات ماشین‌های کشاورزی
	L3	استانداردهای ایمنی ماشین‌های کشاورزی
	L4	قوانین زیست‌محیطی مرتبط با مکانیزاسیون کشاورزی
	L5	حقوق مالکیت زمین‌های کشاورزی
قانونی	L6	قوانین کار و ایمنی حرفه‌ای
	L7	قوانین حمایت از تولیدکنندگان داخلی
	L8	الزامات بیمه‌ای در استفاده از ماشین‌های کشاورزی
	L9	وجود بانک اطلاعاتی جامع از ماشین‌ها و بهره‌برداران کشاورزی
	L10	سامانه‌های کنترل کیفیت و بازرسی عملکرد ماشین‌های کشاورزی

در مرحله بعد، جدول خام اثرات متقابل متغیرهای هر گروه به صورت مستقل و در قالب یک پرسش‌نامه در اختیار متخصصین قرار گرفت. سپس جدول‌های حاصل از نظرسنجی که حاوی اثرات متغیرهای واقع در سطرها بر متغیرهای قرار گرفته در ستون‌ها بود و در قالب امتیازدهی ۳-۰ تکمیل شده بود، توسط نرم‌افزار میک‌مک تحلیل گردید. شایان ذکر است که برای تجمیع نظرات مختلف توسط مشارکت کنندگان و قبل از ورود داده‌ها به نرم‌افزار، از شاخص آماری مد استفاده شده است. یکی از خروجی‌های نرم‌افزار میک‌مک، ماتریس اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرها می‌باشد. ماتریس اثرات مستقیم، در ساده‌ترین حالت همان رابطه‌ای است که میان دو متغیر به‌طور بی‌واسطه وجود دارد و حاصل درک کارشناسی مشارکت کنندگان از پیوندهای آشکار و فوری میان متغیرها است، که به صورت امتیازدهی مشخص می‌شود. در مقابل آن، ماتریس اثرات غیرمستقیم وجود دارد که حاصل ضرب تکراری ماتریس اثرات مستقیم در خودش و جمع کردن نتایج به دست آمده است. ماتریس اثرات غیرمستقیم نشان‌دهنده اثر یک متغیر بر دیگری از طریق واسطه‌ها و زنجیره‌های علت و معلولی است. شایان ذکر است که هر دو اثر مستقیم و غیرمستقیم با وجود تفاوت‌های اساسی، برای شناخت پویایی‌های سامانه مورد تحقیق، حیاتی هستند. بعد از این مرحله، اثرگذاری و اثرپذیری (وابستگی) مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای هر گروه

به صورت مستقل محاسبه و بر اساس رتبه مرتب گردید. جدول (۳) نشان دهنده میزان اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای گروه سیاسی، و رتبه بندی آن‌ها می‌باشد.

جدول ۳. اثرگذاری و اثرپذیری متغیرهای سیاسی مکانیزاسیون کشاورزی بر اساس رتبه

رتبه	نماد	اثرگذاری	نماد	وابستگی	نماد	اثرگذاری	نماد	وابستگی
	متغیر	مستقیم	متغیر	مستقیم	متغیر	مستقیم	متغیر	مستقیم
۱	P1	۱۷۱۱	P5	۲۱۶۲	P1	۱۶۵۹	P5	۲۳۳۳
۲	P7	۱۵۳۱	P3	۱۶۲۱	P7	۱۵۸۹	P3	۱۵۲۶
۳	P4	۱۱۷۱	P1	۱۱۷۱	P6	۱۴۹۲	P10	۱۱۷۷
۴	P6	۱۱۷۱	P8	۱۰۸۱	P4	۱۲۷۸	P8	۱۱۵۵
۵	P2	۹۰۰	P9	۱۰۸۱	P11	۱۲۵۸	P9	۹۴۹
۶	P11	۹۰۰	P10	۸۱۰	P2	۹۶۶	P6	۷۳۶
۷	P3	۷۲۰	P6	۶۳۰	P3	۵۰۸	P1	۷۲۱
۸	P9	۷۲۰	P11	۶۳۰	P5	۴۵۱	P11	۶۹۶
۹	P5	۵۴۰	P4	۴۵۰	P9	۴۰۷	P4	۳۷۴
۱۰	P8	۳۶۰	P7	۳۶۰	P8	۲۴۱	P7	۳۲۸
۱۱	P10	۲۷۰	P2	۰	P10	۱۴۶	P2	۰

بر اساس نتایج بدست آمده از جدول (۳)، سه متغیر برتر در اثرگذاری مستقیم در گروه سیاسی عبارتند از: سیاست‌ها و برنامه‌های دولت در حمایت از مکانیزاسیون، ساختار مدیریتی و تصمیم‌گیری در بخش کشاورزی و حمایت‌های مالی دولت. این سه متغیر، مستقیماً بر سایر عوامل تأثیر گذاشته و به‌عنوان محرک‌های نهادی و ساختاری در نظام مکانیزاسیون کشاورزی ایفای نقش می‌نمایند. همچنین سه متغیری که بالاترین اثرپذیری را دارند عبارتند از: سیاست‌های توسعه روستایی، سیاست‌های واردات و صادرات ماشین‌های کشاورزی و سیاست‌ها و برنامه‌های دولت در حمایت از مکانیزاسیون. این متغیرها تحت تأثیر مستقیم سایر عوامل قرار دارند و تغییر در متغیرهای اثرگذار می‌تواند به سرعت بر آن‌ها بازتاب یابد. سیاست‌های توسعه روستایی، به‌عنوان متغیری که دارای بالاترین اثرپذیری است، نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی‌های روستایی به شدت وابسته به تصمیم‌های کلان کشاورزی، حمایتی و اقتصادی است.

در ادامه میزان اثرگذاری و اثرپذیری متغیرها به صورت مستقیم و غیرمستقیم، و نیز رتبه بندی آن‌ها به تفکیک برای متغیرهای هر یک از گروه‌های اقتصادی، اجتماعی- فرهنگی، فنی، زیست‌محیطی و قانونی محاسبه و به ترتیب در جدول‌های (۴) تا (۸) نمایش داده شده است. در این جدول‌ها، متغیرها بر اساس اثرگذاری و اثرپذیری (وابستگی) مستقیم و غیرمستقیم مرتب شده‌اند. همان‌طور که در جدول‌ها مشاهده می‌شود، کسب رتبه بالاتر در اثرگذاری یا وابستگی مستقیم، الزاماً به معنی حفظ همان جایگاه در اثرگذاری یا وابستگی غیرمستقیم نیست.

با توجه به جدول (۴)، سه متغیر تورم و نوسانات اقتصادی، قیمت سوخت و انرژی و قیمت خرید ماشین‌های کشاورزی به ترتیب بیشترین اثرگذاری مستقیم در این گروه را داشته و به‌عنوان محرک‌های کلان اقتصادی، تأثیری گسترده و فوری بر سایر متغیرها دارند. متغیر تورم در صدر اثرگذاران مستقیم قرار دارد و این مسئله نشان می‌دهد که بی‌ثباتی‌های اقتصادی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری در مکانیزاسیون را افزایش و تصمیم‌گیری را برای بهره‌برداران با ریسک بیشتری مواجه می‌سازد. افزایش ناگهانی قیمت‌ها می‌تواند موجب توقف برنامه‌های تجهیز و نوسازی ماشین‌ها گردد. همچنین نرخ تورم بالا موجب کاهش قدرت خرید کشاورزان، فرار سرمایه‌گذاران خصوصی و افزایش هزینه تأمین قطعات یدکی خواهد شد. همچنین در مبحث وابستگی‌های مستقیم سه متغیر سطح مشارکت بخش خصوصی در برنامه‌ریزی و اجرا، درآمد خالص بهره‌برداران و هزینه فرصت سرمایه‌گذاری، به ترتیب برترین رتبه‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. این متغیرها به شدت تابع متغیرهای کلان اقتصادی بوده و خود قادر به تأثیرگذاری مستقیم بر سایر متغیرها نیستند.

جدول ۴. اثرگذاری و اثرپذیری متغیرهای اقتصادی مکانیزاسیون کشاورزی بر اساس رتبه

رتبه	نماد	اثرگذاری	نماد	وابستگی	نماد	اثرگذاری	نماد	وابستگی
	متغیر	مستقیم	متغیر	مستقیم	متغیر	مستقیم	متغیر	مستقیم
۱	E12	۱۸۶۰	E13	۱۷۰۵	E13	۲۶۳۸	E12	۲۶۹۲
۲	E10	۱۴۷۲	E6	۱۶۲۷	E11	۱۹۵۱	E10	۲۱۴۸
۳	E1	۱۰۸۵	E11	۱۶۲۷	E6	۱۸۴۱	E1	۹۶۴
۴	E2	۱۰۸۵	E7	۱۲۴۰	E8	۱۲۳۰	E2	۹۶۴
۵	E5	۹۳۰	E8	۱۲۴۰	E7	۱۰۳۹	E5	۷۳۴
۶	E7	۷۷۵	E5	۹۳۰	E9	۶۶۵	E7	۵۷۰
۷	E4	۶۹۷	E9	۶۹۷	E5	۵۴۰	E4	۴۱۸
۸	E6	۴۶۵	E1	۳۱۰	E1	۳۰	E6	۴۱۲
۹	E8	۳۸۷	E2	۱۵۵	E2	۱۵	E8	۲۶۴
۱۰	E9	۳۸۷	E4	۱۵۵	E4	۱۵	E9	۲۳۹
۱۱	E3	۳۱۰	E10	۱۵۵	E10	۱۵	E3	۲۱۹
۱۲	E11	۳۱۰	E12	۱۵۵	E12	۱۵	E11	۲۰۸
۱۳	E13	۲۳۲	E3	۰	E3	۰	E13	۱۶۲

جدول ۵. اثرگذاری و اثرپذیری متغیرهای اجتماعی - فرهنگی مکانیزاسیون کشاورزی بر اساس رتبه

رتبه	نماد	اثرگذاری	نماد	وابستگی	نماد	اثرگذاری	نماد	وابستگی
	متغیر	مستقیم	متغیر	مستقیم	متغیر	مستقیم	متغیر	مستقیم
۱	S5	۱۴۸۴	S2	۱۵۶۲	S8	۱۵۰۹	S5	۱۶۱۳
۲	S6	۱۴۰۶	S11	۱۴۰۶	S11	۱۵۰۹	S6	۱۵۹۳
۳	S4	۱۲۵۰	S7	۱۳۲۸	S2	۱۴۹۷	S4	۱۲۰۷
۴	S1	۱۰۱۵	S8	۱۳۲۸	S7	۱۴۸۱	S1	۹۷۰
۵	S7	۱۰۱۵	S1	۱۲۵۰	S9	۱۳۹۵	S7	۸۸۸
۶	S11	۸۵۹	S9	۱۱۷۱	S3	۱۲۰۴	S11	۷۹۴
۷	S2	۷۸۱	S3	۱۰۹۳	S1	۱۰۵۲	S2	۷۹۲
۸	S10	۷۸۱	S4	۶۲۵	S4	۳۱۵	S10	۶۹۷
۹	S8	۷۰۳	S5	۱۵۶	S10	۳۳	S8	۶۸۲
۱۰	S3	۳۹۰	S10	۷۸	S5	۰	S3	۴۲۹
۱۱	S9	۳۱۲	S6	۰	S6	۰	S9	۳۲۹

همان‌طور که در جدول (۵)، مشخص شده، سه متغیر نقش آموزش و ترویج، ساختار سنی بهره‌برداران و سطح تحصیلات بهره‌برداران برترین رتبه اثرگذاری مستقیم را به خود اختصاص داده‌اند. متغیر آموزش و ترویج در جایگاه نخست اثرگذاری مستقیم قرار دارد که بیانگر قدرت بالای آن در شکل‌دهی به سایر متغیرها است. این متغیر از طریق ارتقاء سطح آگاهی، آموزش استفاده صحیح از فناوری‌ها و تبیین مزایای استفاده از ماشین‌ها؛ نگرش و رفتار بهره‌برداران را به‌صورت عینی تغییر می‌دهد. در اثرگذاری غیرمستقیم، رتبه‌های برتر شامل سه متغیر ساختار سنی بهره‌برداران، نقش آموزش و ترویج و سطح تحصیلات بهره‌برداران می‌شود. نکته مهم در این بخش آن است که جایگاه متغیر ساختار سنی از رتبه دوم اثرگذاری مستقیم به رتبه اول اثرگذاری غیرمستقیم ارتقاء یافته است. ترکیب آموزش، سن و تحصیلات، سه ضلع اصلی تغییر نگرش در روستاها را تشکیل می‌دهند. این سه متغیر می‌توانند در هماهنگی با یکدیگر، مسیر تحول فرهنگی و اجتماعی لازم برای پذیرش مکانیزاسیون را فراهم نمایند.

نتایج جدول (۶) نشان می‌دهد که رتبه‌های برتر در اثرگذاری مستقیم گروه فنی شامل سه متغیر وجود و کیفیت زیرساخت‌های پشتیبان، فناوری کشاورزی دقیق و یکپارچه‌سازی و تجمیع اراضی کشاورزی است. وجود کیفیت و زیرساخت‌های پشتیبان به‌عنوان متغیر رتبه اول اثرگذاری مستقیم، نقش پیش‌ران فنی را ایفا می‌کند. زیرساخت‌هایی نظیر جاده‌های روستایی، کارگاه‌های تعمیر و نگهداری، شبکه توزیع قطعات یدکی و امکانات مخابراتی و داده‌ای؛ بستر لازم را برای استقرار، بهره‌برداری و پایداری ماشین‌های کشاورزی فراهم می‌کنند. کیفیت پایین این‌گونه زیرساخت‌ها می‌تواند بهره‌وری فناوری‌های پیشرفته را به‌شدت کاهش دهد. در بخش اثرگذاری

غیرمستقیم، سه رتبه اول به متغیرهای وجود و کیفیت زیرساخت‌های پشتیبان، استفاده از فناوری‌های نوظهور و یکپارچه‌سازی و تجمیع اراضی کشاورزی تعلق گرفته است. تکرار متغیر وجود و کیفیت زیرساخت‌های پشتیبان در صدر اثرگذاری غیرمستقیم نشان می‌دهد که این متغیر دارای اثرات زنجیره‌ای و مهمی بر کل ساختار مکانیزاسیون است.

جدول ۶. اثرگذاری و اثرپذیری متغیرهای فنی مکانیزاسیون کشاورزی بر اساس رتبه

رتبه	نماد	اثرگذاری	نماد	وابستگی	نماد	اثرگذاری	نماد	وابستگی
	متغیر	مستقیم	متغیر	مستقیم	متغیر	مستقیم	متغیر	مستقیم
۱	T6	۱۸۰۷	T5	۲۱۶۸	T6	۳۵۸۰	T4	۳۵۲۳
۲	T2	۱۶۸۶	T4	۱۹۲۷	T9	۱۷۴۳	T11	۲۲۱۴
۳	T10	۱۵۶۶	T1	۱۶۸۶	T10	۱۵۴۳	T5	۱۹۹۰
۴	T9	۱۳۲۵	T11	۱۴۴۵	T2	۱۰۱۸	T10	۷۹۴
۵	T3	۱۲۰۴	T3	۱۳۲۵	T7	۵۸۶	T1	۶۷۹
۶	T1	۸۴۳	T2	۴۸۱	T5	۴۴۷	T3	۴۶۲
۷	T7	۶۰۲	T7	۳۶۱	T3	۳۹۳	T7	۱۳۸
۸	T5	۴۸۱	T10	۳۶۱	T8	۳۸۵	T9	۱۳۸
۹	T8	۴۸۱	T9	۲۴۰	T1	۳۰۰	T2	۴۶
۱۰	T4	۰	T6	۰	T4	۰	T6	۰
۱۱	T11	۰	T8	۰	T11	۰	T8	۰

جدول ۷. اثرگذاری و اثرپذیری متغیرهای زیست‌محیطی مکانیزاسیون کشاورزی بر اساس رتبه

رتبه	نماد	اثرگذاری	نماد	وابستگی	نماد	اثرگذاری	نماد	وابستگی
	متغیر	مستقیم	متغیر	مستقیم	متغیر	مستقیم	متغیر	مستقیم
۱	En5	۱۷۳۳	En3	۱۸۶۶	En5	۱۶۴۰	En3	۱۷۳۶
۲	En7	۱۷۳۳	En5	۱۷۳۳	En7	۱۵۸۸	En5	۱۶۵۵
۳	En6	۱۶۰۰	En1	۱۳۳۳	En6	۱۵۴۸	En7	۱۴۴۳
۴	En1	۱۲۰۰	En6	۱۳۳۳	En1	۱۲۲۱	En6	۱۳۳۵
۵	En3	۱۰۶۶	En7	۱۳۳۳	En3	۱۱۴۰	En2	۱۳۳۱
۶	En4	۱۰۶۶	En2	۱۲۰۰	En4	۱۱۳۷	En1	۱۱۹۷
۷	En8	۹۳۳	En4	۶۶۶	En8	۹۳۶	En8	۶۵۱
۸	En2	۶۶۶	En8	۵۳۳	En2	۷۸۸	En4	۶۴۸

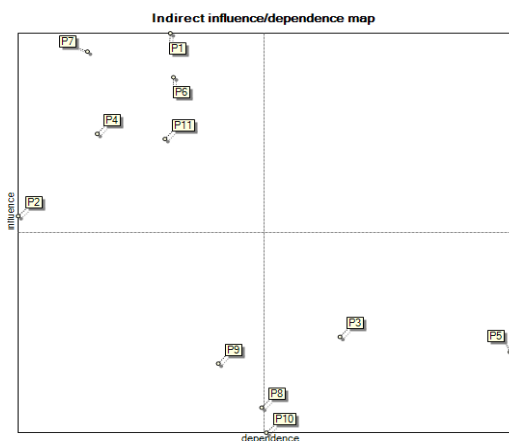
بر اساس نتایج حاصل از جدول (۷) در خصوص متغیرهای زیست‌محیطی، رتبه‌های برتر در بخش اثرگذاری مستقیم، به ترتیب به سه متغیر فشارهای زیست‌محیطی بر منابع طبیعی، رواج کشاورزی پایدار و زیستی و سیاست‌ها و مقررات زیست‌محیطی اختصاص دارد. فشارهایی نظیر تخریب جنگل‌ها، فرسایش خاک، افت سطح آب‌های زیرزمینی و آلودگی‌های ناشی از نهاده‌ها و ماشین‌های کشاورزی؛ موجب تغییرات عمیق در ساختار تولید و فناوری‌های مورد استفاده در بخش کشاورزی شده است. این فشارها، به صورت مستقیم بر تصمیم‌گیری‌های فنی، انتخاب ماشین و تمایل به نوآوری‌های کم‌مصرف و سازگار با محیط‌زیست، تأثیرگذار هستند. همچنین سه متغیر کیفیت و فرسایش خاک، فشارهای زیست‌محیطی بر منابع طبیعی و رواج کشاورزی پایدار؛ بالاترین اثرپذیری غیر مستقیم را دارا می‌باشند. این متغیرها بیش از سایر عوامل در معرض تغییرات ناشی از اثرات زنجیره‌ای دیگر متغیرها قرار می‌گیرند. به عنوان نمونه، سیاست‌گذاری‌های مکانیزاسیون در بخش‌های مختلف مثل حوزه‌های مالی، فنی یا آموزشی، می‌تواند از طریق مسیرهای چندگانه بر تمایل بهره‌برداران به اجرای الگوهای پایدار و در نتیجه حفظ خاک تأثیرگذار باشد.

جدول ۸. اثرگذاری و اثرپذیری متغیرهای قانونی مکانیزاسیون کشاورزی بر اساس رتبه

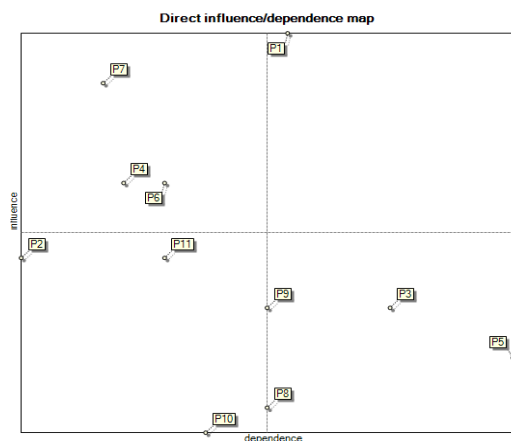
رتبه	نماد متغیر	اثرگذاری مستقیم	نماد	اثرگذاری غیر مستقیم	وابستگی مستقیم	نماد	وابستگی غیر مستقیم
۱	L1	۳۵۰۰	L3	۱۷۵۰	L1	۲۷۳۷	L3
۲	L9	۱۵۰۰	L6	۱۷۵۰	L9	۲۷۳۷	L6
۳	L6	۱۰۰۰	L2	۱۲۵۰	L6	۱۷۱۹	L8
۴	L8	۱۰۰۰	L7	۱۲۵۰	L8	۹۰۴	L2
۵	L2	۷۵۰	L8	۱۲۵۰	L4	۹۰۴	L7
۶	L10	۷۵۰	L4	۱۰۰۰	L10	۳۶۱	L10
۷	L3	۵۰۰	L1	۷۵۰	L3	۲۹۴	L4
۸	L7	۵۰۰	L5	۷۵۰	L2	۱۸۰	L5
۹	L4	۲۵۰	L10	۲۵۰	L7	۱۵۸	L1
۱۰	L5	۲۵۰	L9	۰	L5	۰	L9

نتایج جدول (۸) نشان می‌دهد که در میان متغیرهای قانونی، سه متغیر قوانین و آیین‌نامه‌های مکانیزاسیون کشاورزی، وجود بانک اطلاعاتی جامع از ماشین‌ها و بهره‌برداران کشاورزی و قوانین کار و ایمنی حرفه‌ای دارای بیشترین اثرگذاری مستقیم می‌باشند. متغیر قوانین و آیین‌نامه‌های مکانیزاسیون کشاورزی، به‌عنوان یک رکن اصلی در حوزه مکانیزاسیون عمل می‌کند. تدوین قوانین به‌روز، جامع و منطبق بر شرایط بومی، نقشی اساسی در تسهیل واردات ماشین‌ها، ارتقاء ایمنی، تخصیص اعتبارات و حمایت‌های لازم از تولیدات داخلی دارد. اثرگذاری مستقیم این متغیر بر سایر ابعاد قانونی همچون استانداردها، مقررات واردات، بیمه و ایمنی کاملاً طبیعی و ساختاری است. در اثرپذیری مستقیم نیز سه متغیر دارای بیشترین تأثیرپذیری به‌ترتیب عبارتند از: استانداردهای ایمنی ماشین‌های کشاورزی، قوانین کار و ایمنی حرفه‌ای و مقررات واردات و صادرات ماشین‌های کشاورزی. همچنین رتبه‌های اول تا سوم در اثرگذاری غیرمستقیم نیز، همانند اثرگذاری مستقیم به متغیرهای قوانین و آیین‌نامه‌های مکانیزاسیون کشاورزی، وجود بانک اطلاعاتی جامع از ماشین‌ها و بهره‌برداران کشاورزی و قوانین کار و ایمنی تعلق گرفته است. اثرگذاری غیرمستقیم این متغیرها نشان می‌دهد که آن‌ها از طریق واسطه و اثر بر سایر عوامل مانند سیاست‌های حمایتی، زیرساخت‌های مدیریتی و حتی آموزش، می‌توانند تأثیرات چند لایه‌ای بر کل سامانه داشته باشند.

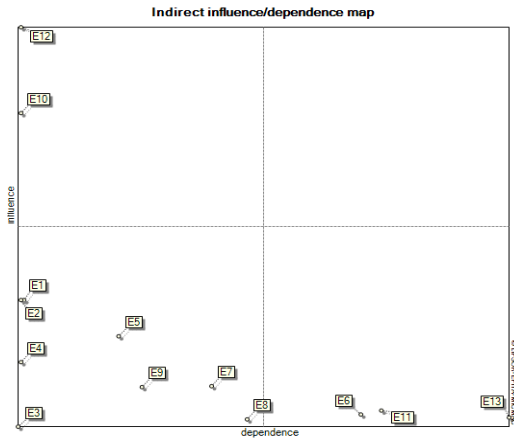
بعد از مشخص شدن اثرگذاری و اثرپذیری متغیرها در گروه‌های مختلف و رتبه‌بندی آن‌ها، نقشه‌های اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم و غیرمستقیم متغیرها به تفکیک برای تمام گروه‌ها ترسیم گردید و در نمودارهای (۱) تا (۱۲) نشان داده شده است.



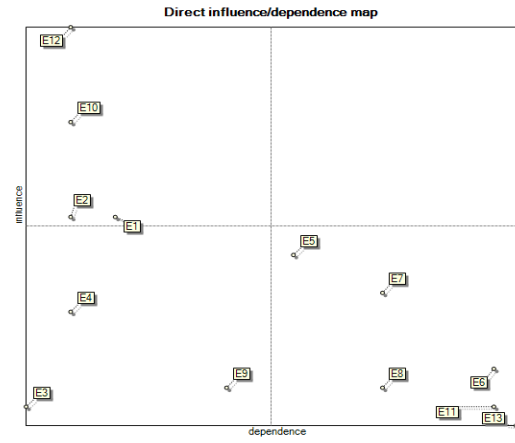
نمودار ۲. نقشه اثرگذاری و اثرپذیری غیرمستقیم متغیرهای گروه سیاسی مکانیزاسیون کشاورزی



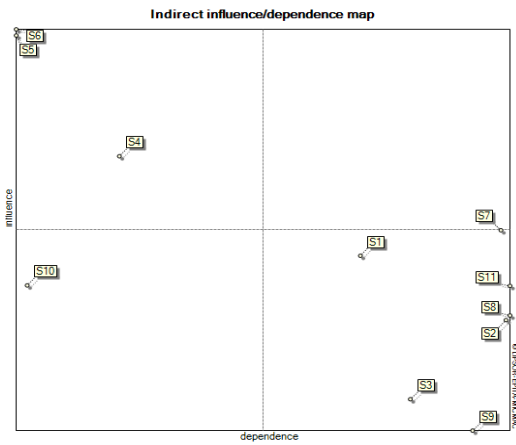
نمودار ۱. نقشه اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم متغیرهای گروه سیاسی مکانیزاسیون کشاورزی



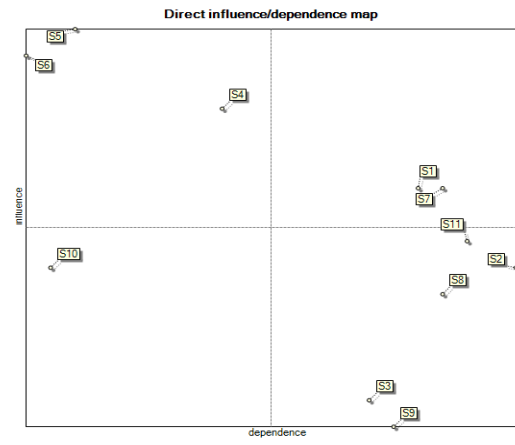
نمودار ۴. نقشه اثرگذاری و اثرپذیری غیرمستقیم متغیرهای گروه اقتصادی مکانیزاسیون کشاورزی



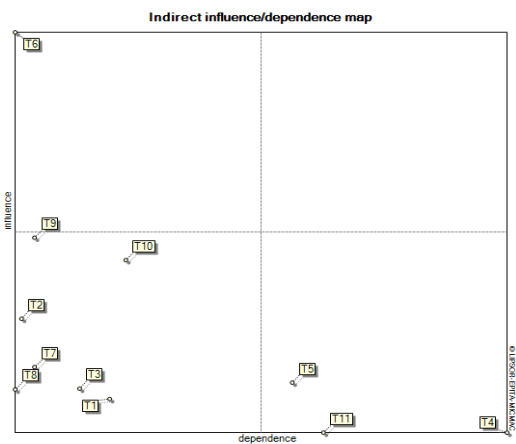
نمودار ۳. نقشه اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم متغیرهای گروه اقتصادی مکانیزاسیون کشاورزی



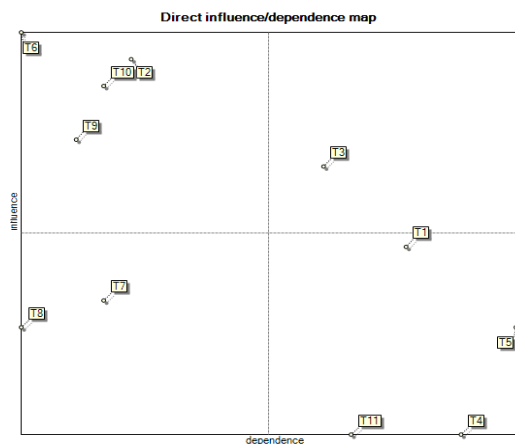
نمودار ۶. نقشه اثرگذاری و اثرپذیری غیرمستقیم متغیرهای گروه اجتماعی - فرهنگی مکانیزاسیون کشاورزی



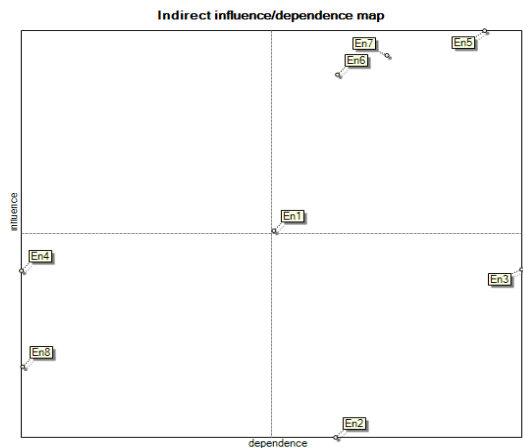
نمودار ۵. نقشه اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم متغیرهای گروه اجتماعی - فرهنگی مکانیزاسیون کشاورزی



نمودار ۸. نقشه اثرگذاری و اثرپذیری غیرمستقیم متغیرهای گروه فنی مکانیزاسیون کشاورزی

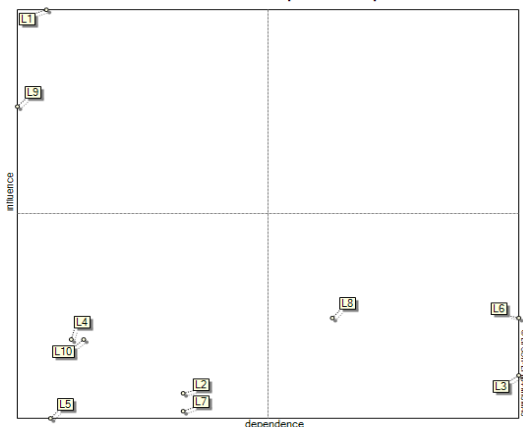


نمودار ۷. نقشه اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم متغیرهای گروه فنی مکانیزاسیون کشاورزی



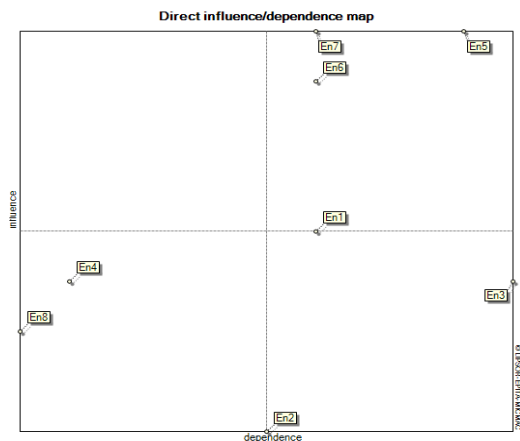
نمودار ۱۰. نقشه اثرگذاری و اثرپذیری غیرمستقیم متغیرهای

گروه زیست محیطی مکانیزاسیون کشاورزی



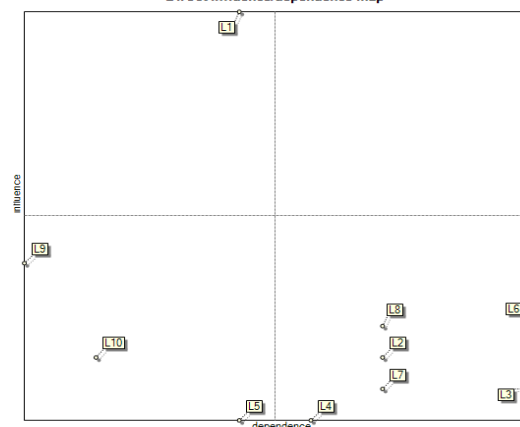
نمودار ۱۲. نقشه اثرگذاری و اثرپذیری غیرمستقیم متغیرهای

گروه قانونی مکانیزاسیون کشاورزی



نمودار ۹. نقشه اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم متغیرهای گروه

زیست محیطی مکانیزاسیون کشاورزی



نمودار ۱۱. نقشه اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم متغیرهای

گروه قانونی مکانیزاسیون کشاورزی

در خصوص اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم متغیرهای گروه سیاسی، با توجه به نمودار (۱)، ملاحظه می‌شود که متغیر سیاست‌ها و برنامه‌های دولت در حمایت از مکانیزاسیون، به‌عنوان یک متغیر کلیدی و هسته مرکزی هم اثرگذاری بالایی دارد و هم از سایر متغیرها اثر می‌پذیرد. تغییر در سیاست‌های حمایتی دولت می‌تواند کل ساختار مکانیزاسیون را متحول کند. در بحث اثرگذاری و اثرپذیری غیرمستقیم با عنایت به نمودار (۲)، متغیر سطح هماهنگی بین نهادهای اجرایی نیز به جمع متغیرهای محرک مستقیم اضافه شده است. به‌عبارتی می‌توان گفت که هماهنگی بین نهادها اگرچه در روابط مستقیم، اثرگذاری زیادی ندارد، اما از طریق روابط زنجیره‌ای مانند تسهیل تخصیص منابع یا حذف موازی‌کاری‌های سازمانی، تأثیری پایدار و گسترده خواهد داشت.

نمودار (۳) نشان‌دهنده اثرات مستقیم گروه اقتصادی می‌باشد. با توجه به این نمودار، چهار متغیر قیمت خرید ماشین‌های کشاورزی، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات ماشین‌های کشاورزی، قیمت سوخت و انرژی و تورم و نوسانات اقتصادی به‌عنوان متغیرهای محرک شناخته شده‌اند. قیمت بالای ماشین‌ها به‌طور مستقیم تصمیم بهره‌برداران برای خرید تجهیزات جدید را تحت تأثیر قرار می‌دهد. متغیر قیمت خرید ماشین‌های کشاورزی، نقش مؤثری در نوسازی ناوگان مکانیزاسیون دارد. کاهش قیمت یا ارایه یارانه خرید می‌تواند ورود فناوری‌های جدید را تسریع نماید. متغیر هزینه‌های نگهداری و تعمیر ماشین‌ها، عاملی تعیین‌کننده در انتخاب فناوری است. اگر این نوع هزینه‌ها بالا باشد، حتی با وجود تجهیزات جدید، انگیزه و رغبت استفاده از آن‌ها کاهش خواهد یافت. متغیر قیمت سوخت و انرژی، تأثیر مستقیمی بر هزینه‌های عملیاتی ماشین‌ها دارد و می‌تواند نوع و میزان استفاده از آن‌ها را تغییر دهد. نحوه عمل متغیر تورم و نوسانات اقتصادی به‌صورتی است که ناپایداری اقتصادی موجب بی‌ثباتی قیمت‌ها و کاهش قابلیت پیش‌بینی سرمایه‌گذاری شده و تمایل بهره‌برداران برای سرمایه‌گذاری بلندمدت در مکانیزاسیون را کاهش خواهد داد. در بخش اثرات غیرمستقیم، با عنایت به نمودار (۴) ملاحظه می‌شود که، دو متغیر قیمت سوخت و انرژی و تورم و نوسانات اقتصادی به‌عنوان محرک‌های اصلی باقی مانده‌اند. این موضوع

نشان می‌دهد که اثرات این دو متغیر از طریق زنجیره‌هایی همچون هزینه‌های تولید، قیمت ماشین‌ها و انگیزه سرمایه‌گذاری در کل چرخه تولید جریان می‌یابد.

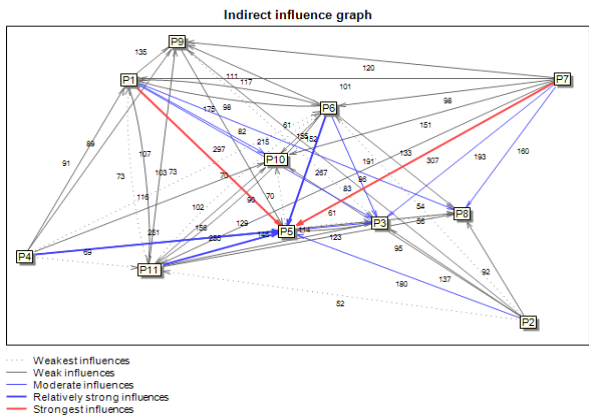
نمودار (۵) نشان می‌دهد که، دو متغیر سطح آگاهی و دانش بهره‌برداران و سطح زندگی و باورهای سنتی به‌عنوان متغیرهای کلیدی در اثرات مستقیم گروه اجتماعی- فرهنگی مطرح هستند. ارتقاء دانش موجب پذیرش سریع‌تر فناوری و مدیریت بهتر ماشین‌ها می‌شود و هم‌زمان تحت تأثیر آموزش، ساختار سنی و فرهنگ محلی نیز قرار می‌گیرد. در تحلیل غیرمستقیم متغیرهای این گروه با توجه به نمودار (۶)، سطح تحصیلات بهره‌برداران، نقش آموزش و ترویج و ساختار سنی بهره‌برداران همچنان به‌عنوان محرک‌های اصلی باقی مانده و اثرگذاری آن‌ها نه تنها بر نگرش و مشارکت اجتماعی، بلکه بر سطح آگاهی و دانش بهره‌برداران نیز آشکار شده است.

طبق نمودار (۷)، متغیر اتوماسیون و استفاده از ماشین به‌جای انسان که یک متغیر کلیدی با اثر مستقیم در گروه فنی است، به‌عنوان یکی از تحولات بنیادین در بخش کشاورزی محسوب می‌شود که قادر است افق آینده مکانیزاسیون کشاورزی را ترسیم نماید. نمودار (۸) نشان‌دهنده اثرگذاری و اثرپذیری غیرمستقیم متغیرهای گروه فنی است. بر این اساس، در حالی که متغیر وجود و کیفیت زیرساخت‌های پشتیبان تنها متغیر محرک غیرمستقیم این بخش است، نقشی بسیار گسترده و قابل مشاهده داشته و تأثیر آن از طریق تسهیل استفاده از ماشین‌های مدرن، امکان استفاده از فناوری‌های دقیق، و بهبود راندمان تجهیزات اعمال می‌گردد.

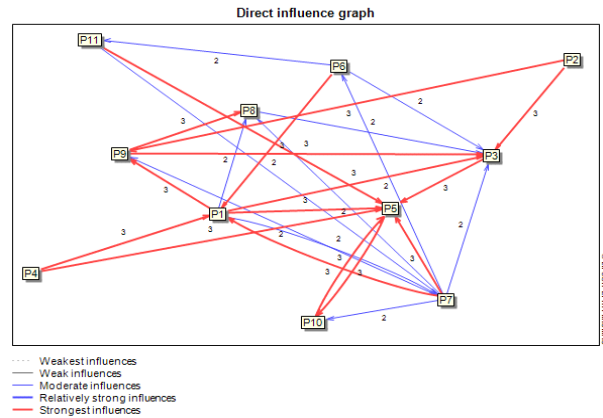
بر اساس نتایج حاصل از نمودار (۹)، چهار متغیر تغییرات اقلیمی و گرمایش زمین، فشارهای زیست‌محیطی بر منابع طبیعی، سیاست‌ها و مقررات زیست‌محیطی و رواج کشاورزی پایدار و زیستی متغیرهای کلیدی در بخش اثرات مستقیم گروه زیست‌محیطی تشخیص داده شده‌اند. متغیر تغییرات اقلیمی و گرمایش زمین تأثیرات کلان و ساختاری بر نظام کشاورزی دارد، به‌طوری‌که از تغییر زمان کاشت و برداشت گرفته تا افزایش نیاز به فناوری‌های کم‌آب‌بر و مقاوم به گرما را شامل می‌گردد. همان‌طور که در نمودار (۱۰) نشان داده شده است، چهار متغیر کلیدی در تحلیل مستقیم، در تحلیل غیرمستقیم نیز جایگاه خود را حفظ و به‌عنوان متغیر کلیدی بخش غیرمستقیم نیز مطرح شده‌اند. این موضوع نشان می‌دهد که این متغیرها دارای اثرگذاری عمیقی هستند و اثرگذاری آن‌ها نه تنها به‌صورت مستقیم، بلکه از طریق زنجیره‌ای از متغیرهای واسطه‌ای، ساختار کلی مکانیزاسیون را شکل می‌دهد.

نمودار (۱۱) نشان می‌دهد که، متغیر قوانین و آیین‌نامه‌های مکانیزاسیون کشاورزی، متغیر محرک این گروه و مهم‌ترین عامل محرک در حوزه اثرات مستقیم متغیرهای گروه قانونی است که می‌تواند مسیر توسعه مکانیزاسیون را تسهیل یا مسدود نماید. تدوین مقررات مشخص برای واردات، حمایت از تولیدات داخلی، ایمنی، آموزش، بیمه و تأمین مالی در گرو شفافیت و به‌روزرسانی قوانین مربوطه می‌باشد. با توجه به نمودار (۱۲)، دو متغیر قوانین و آیین‌نامه‌های مکانیزاسیون کشاورزی و وجود بانک اطلاعاتی جامع از ماشین‌ها و بهره‌برداران کشاورزی، متغیرهای محرک بخش غیرمستقیم می‌باشند. نقش ریشه‌ای و پایه‌ای متغیر قوانین و آیین‌نامه‌ها در تحلیل غیرمستقیم نیز باقی مانده و به واسطه تأثیرات زنجیره‌ای بر سایر حوزه‌ها، کماکان عامل پیشران محسوب می‌گردد. پس از مشخص شدن نقشه‌های اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای گروه‌های مختلف، میزان تأثیر بین متغیرها به‌صورت نمودار مشخص گردید.

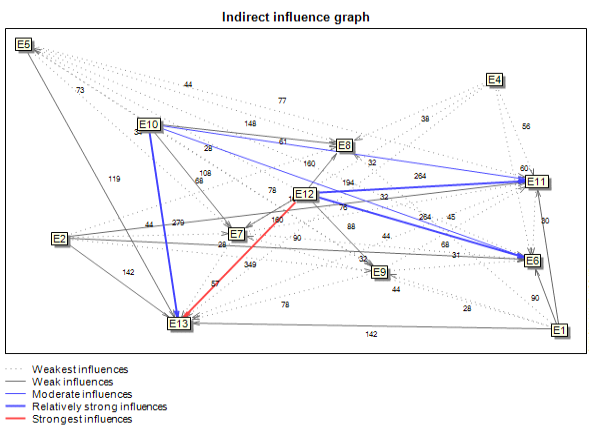
با توجه به پیچیده بودن روابط مستقیم و غیرمستقیم، این روابط بر اساس شدت، تقسیم‌بندی و در قالب چهار سطح، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد استخراج شده‌اند. منظور از این تقسیم‌بندی، تولید نمودارهایی متناسب با قابلیت درک ذهنی می‌باشد، به‌صورتی که شدت ۱۰ درصد، تنها ۱۰ درصد برتر روابط را که در بالاترین لایه‌های اثرگذاری هستند نمایش می‌دهد و به‌راحتی قابل درک است، ولی شدت ۱۰۰ درصد تمامی روابط در لایه‌های مختلف را نمایش داده، و از لحاظ ایجاد ذهنیت کلی روابط بسیار پیچیده بین متغیرها اهمیت دارد. نمودارهای (۱۳) تا (۲۴) به‌ترتیب نشان‌دهنده اثرگذاری مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای گروه سیاسی، اقتصادی، اجتماعی- فرهنگی، فنی، زیست‌محیطی و قانونی بر یکدیگر در سطح ۵۰ درصد ارتباطات می‌باشد. انتخاب این شدت ارتباط برای ارزیابی، قابلیت درک و در عین حال ایجاد دیدگاهی کلی از پیچیدگی روابط می‌باشد. این نمودارهای یکی از ابزارهای مهم برای تحلیل شبکه‌ای سامانه‌ها و شناسایی متغیرهای پیشران و وابسته می‌باشند. نمودارهای مذکور امکان درک بصری و تحلیلی روابط پیچیده بین متغیرها را فراهم نموده و قادر می‌باشند در تصمیم‌گیری‌های آینده مورد استفاده قرار بگیرند.



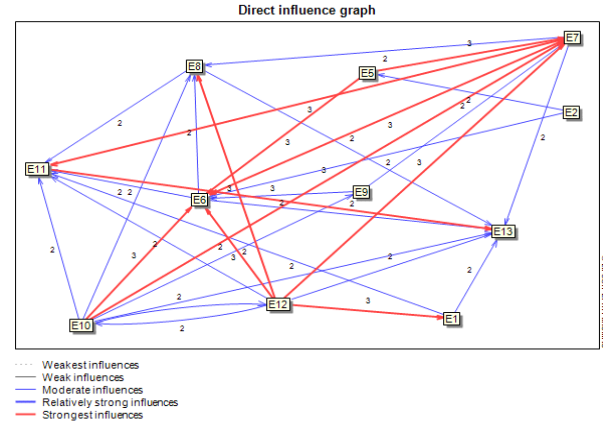
نمودار ۱۴. نقشه اثرگذاری غیرمستقیم متغیرهای گروه سیاسی در سطح ۵۰ درصد



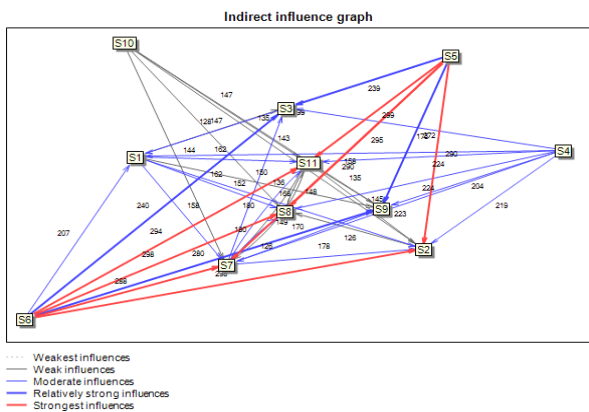
نمودار ۱۳. نقشه اثرگذاری مستقیم متغیرهای گروه سیاسی در سطح ۵۰ درصد



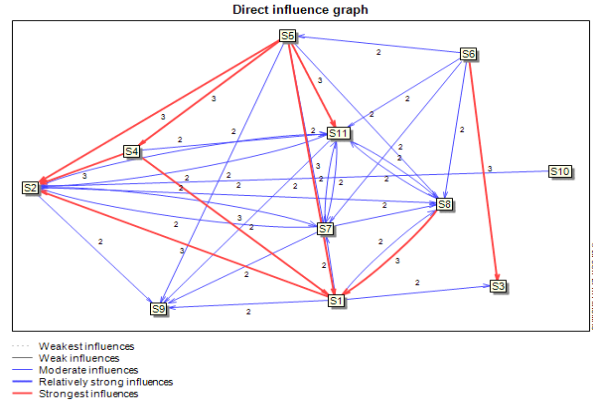
نمودار ۱۶. نقشه اثرگذاری غیرمستقیم متغیرهای گروه اقتصادی در سطح ۵۰ درصد



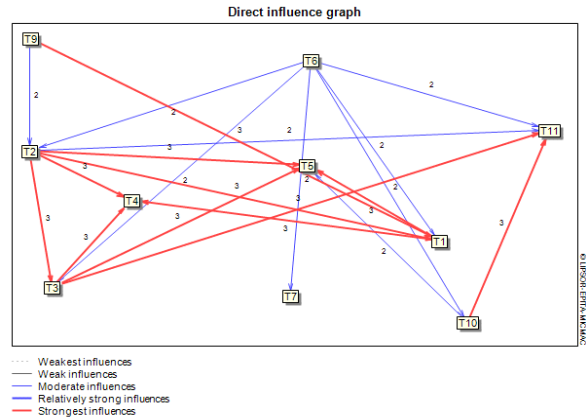
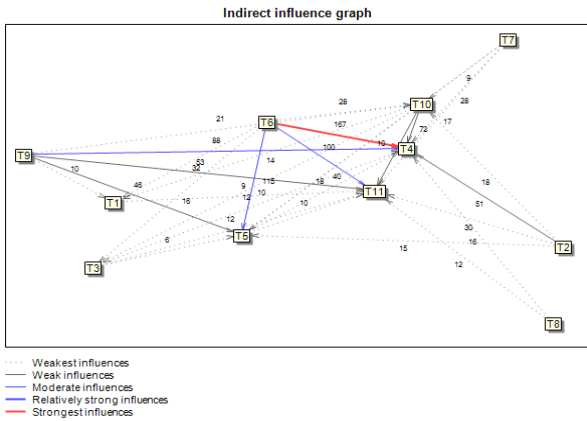
نمودار ۱۵. نقشه اثرگذاری مستقیم متغیرهای گروه اقتصادی در سطح ۵۰ درصد



نمودار ۱۸. نقشه اثرگذاری غیرمستقیم متغیرهای گروه اجتماعی - فرهنگی در سطح ۵۰ درصد

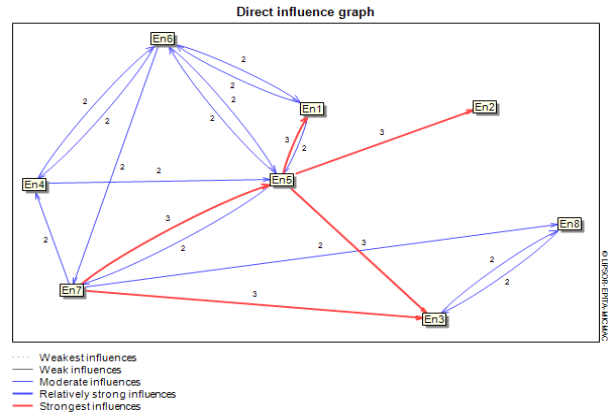
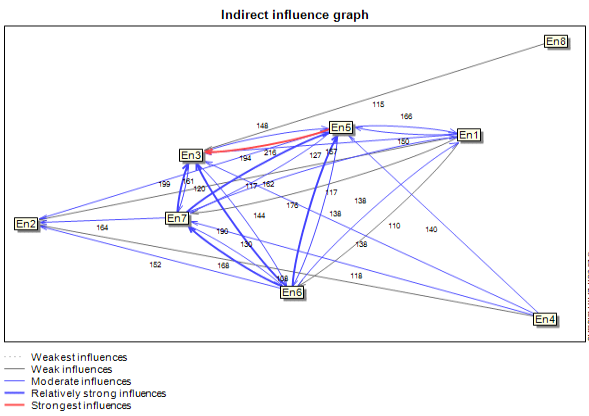


نمودار ۱۷. نقشه اثرگذاری مستقیم متغیرهای گروه اجتماعی - فرهنگی در سطح ۵۰ درصد



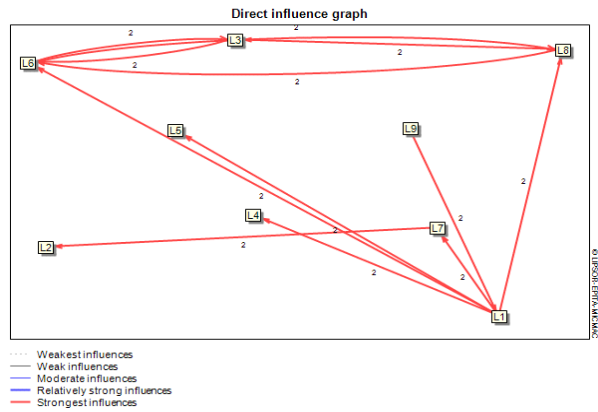
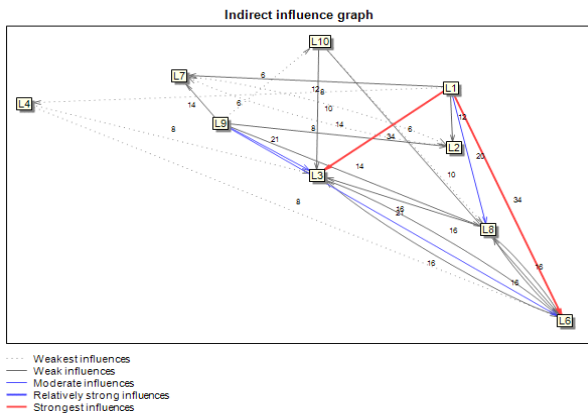
نمودار ۲۰. نقشه اثرگذاری غیرمستقیم متغیرهای گروه فنی در سطح ۵۰ درصد

نمودار ۱۹. نقشه اثرگذاری مستقیم متغیرهای گروه فنی در سطح ۵۰ درصد



نمودار ۲۲. نقشه اثرگذاری غیرمستقیم متغیرهای گروه زیست-محیطی در سطح ۵۰ درصد

نمودار ۲۱. نقشه اثرگذاری مستقیم متغیرهای گروه زیست-محیطی در سطح ۵۰ درصد



نمودار ۲۴. نقشه اثرگذاری غیرمستقیم متغیرهای گروه قانونی در سطح ۵۰ درصد

نمودار ۲۳. نقشه اثرگذاری غیرمستقیم متغیرهای گروه قانونی در سطح ۵۰ درصد

در مرحله بعدی تحقیق، پس از این که هر یک از گروه‌ها به صورت مستقل مورد مطالعه قرار گرفت، از هر گروه تعدادی از متغیرها انتخاب، و پس از ترکیب آن‌ها، مراحل قبلی برای این دسته از متغیرهای ترکیبی نیز صورت پذیرفت. برای انتخاب متغیرها از گروه‌های مختلف به ترتیب اولویت، از سه معیار پتانسیل ترکیبی (حاصل از ترکیب تأثیر مستقیم و غیر مستقیم و وابستگی مستقیم و غیر مستقیم)، تأثیر غیرمستقیم و تأثیر مستقیم استفاده گردید. به منظور استخراج معیارهای مد نظر در این بخش، از نرم‌افزار پایتون استفاده شد. کدهایی که برای این منظور در نرم‌افزار مذکور نوشته شد، به گونه‌ای تنظیم گردید که برای انتخاب متغیرها، ترتیب اولویت سه معیار در نظر گرفته شود. جدول (۹) نشان‌دهنده متغیرهای انتخاب شده از هر گروه و علت انتخاب آن با توجه به معیارهای فوق الذکر می‌باشد.

جدول ۹. متغیرهای انتخاب شده از شش گروه مختلف بر اساس اولویت‌های انتخاب

نوع متغیر	اولویت‌های انتخاب			نماد متغیر
	اثرگذاری مستقیم (اولویت سوم)	اثرگذاری غیرمستقیم (اولویت دوم)	پتانسیل ترکیبی (اولویت اول)	
کلیدی	رتبه اول	رتبه اول	رتبه دوم	P1
محرک	رتبه دوم	رتبه دوم	رتبه پنجم، متوسط به بالا	P7
محرک	رتبه سوم	رتبه چهارم، متوسط به بالا	رتبه هفتم، متوسط به بالا	P4
محرک	رتبه اول	رتبه اول	رتبه دوم، متوسط به بالا	E12
محرک	رتبه دوم	رتبه دوم	رتبه پنجم، متوسط به بالا	E10
محرک	رتبه سوم	رتبه سوم، نزدیک به متوسط	رتبه نهم، متوسط به بالا	E1
محرک	رتبه اول	رتبه دوم، متوسط به بالا	رتبه هفتم، متوسط به بالا	S5
محرک	رتبه دوم	رتبه اول	رتبه دهم، متوسط به بالا	S6
محرک	رتبه سوم	رتبه سوم، متوسط به بالا	رتبه ششم، متوسط به بالا	S4
محرک	رتبه اول	رتبه اول	رتبه دوم، متوسط به بالا	T6
محرک	رتبه دوم	رتبه چهارم، چهارم دوم	رتبه نهم، متوسط به بالا	T2
محرک	رتبه سوم	رتبه سوم، نزدیک به متوسط	رتبه چهارم، متوسط به بالا	T10
کلیدی	رتبه اول	رتبه اول	رتبه اول	En5
کلیدی	رتبه دوم	رتبه دوم	رتبه دوم	En7
کلیدی	رتبه سوم	رتبه سوم	رتبه سوم	En6
کلیدی	رتبه چهارم، متوسط به بالا	رتبه چهارم، متوسط به بالا	رتبه پنجم، متوسط به بالا	En1
محرک	رتبه اول	رتبه اول	رتبه اول	L1
خنثی	رتبه دوم	رتبه دوم	رتبه پنجم، متوسط به بالا	L9
مستقل	رتبه سوم	رتبه سوم	رتبه دوم	L6

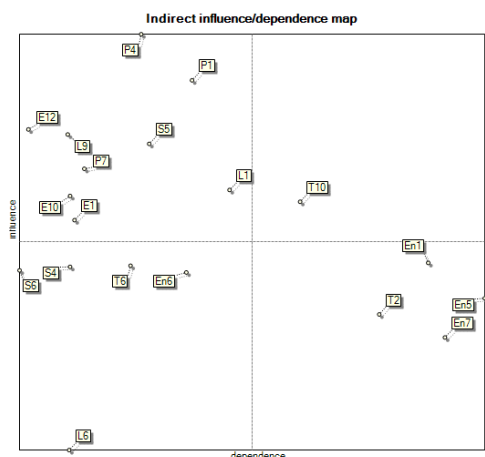
پس از طی مراحل فوق و انتخاب ۱۹ متغیر از گروه‌های مختلف، این متغیرها به عنوان متغیرهای ترکیبی به شرح جدول (۹)، در اختیار متخصصین و خبرگان قرار گرفت و نتایج همانند مراحل قبل با استفاده از نرم‌افزار میک‌مک تجزیه و تحلیل گردید. در جدول (۱۰)، اثرگذاری و اثرپذیری متغیرهای ترکیبی مکانیزاسیون کشاورزی و رتبه‌بندی آن‌ها نمایش داده شده است. همچنین نمودارهای (۲۵) و (۲۶) به ترتیب نقشه‌های اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای ترکیبی مکانیزاسیون را نمایش می‌دهند. سپس نقشه‌های اثرگذاری و اثرپذیری متغیرهای ترکیبی در سطح ۵۰ درصد ارتباطات ترسیم، و به ترتیب در نمودارهای (۲۷) و (۲۸) نشان داده شده است.

بر اساس نتایج جدول (۱۰)، سه متغیر برتر از نظر تأثیرگذاری مستقیم به ترتیب عبارتند از: نقش آموزش و ترویج، سیاست‌ها و برنامه‌های دولت در حمایت از مکانیزاسیون و حمایت‌های مالی دولت. متغیر آموزش و ترویج در صدر عوامل اثرگذار مستقیم قرار دارد. علت این امر، نقش مهم و بنیادی آن در انتقال دانش فنی، ارتقاء مهارت‌های بهره‌برداران و تغییر نگرش‌ها نسبت به نوآوری‌ها در مکانیزاسیون کشاورزی است. در بخش اثرپذیری مستقیم؛ سه متغیر فناوری کشاورزی دقیق، یکپارچه‌سازی و تجمیع اراضی کشاورزی و رواج کشاورزی پایدار و زیستی شناسایی شده‌اند. این متغیرها به عنوان پیامدهای راهبردی سیاست‌ها و اقدامات توسعه‌ای در حوزه مکانیزاسیون تلقی می‌شوند. پذیرش و توسعه فناوری‌های دقیق، بدون آموزش مناسب، سیاست‌های مشوق و زیرساخت‌های قوی امکان‌پذیر نیست. به همین ترتیب، تجمیع اراضی و حرکت به سمت کشاورزی پایدار نیز وابسته به الگوهای مناسب قانونی، اقتصادی و اجتماعی می‌باشد.

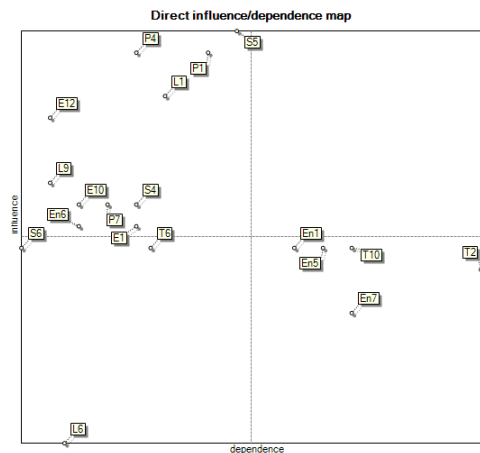
طبق آن چه که در نمودار (۲۵) نمایش داده شده، متغیرهای سیاست‌ها و برنامه‌های دولت در حمایت از مکانیزاسیون، حمایت‌های مالی دولت، ساختار مدیریتی و تصمیم‌گیری در بخش کشاورزی، قیمت خرید ماشین‌های کشاورزی، قیمت سوخت و انرژی، تورم و نوسانات اقتصادی، سطح تحصیلات بهره‌برداران، نقش آموزش و ترویج، سیاست‌ها و مقررات زیست‌محیطی، قوانین و آیین‌نامه‌های مکانیزاسیون کشاورزی و وجود بانک اطلاعاتی جامع از ماشین‌ها و بهره‌برداران کشاورزی از نوع محرک در بخش اثرات مستقیم شناخته شده‌اند. با توجه به نمودار (۲۶)، متغیر یکپارچه‌سازی و تجمیع زمین‌های کشاورزی در سطح تحلیل غیرمستقیم، به‌عنوان متغیر کلیدی شناسایی شده است که دلیل آن، نقش بنیادین در فراهم‌سازی شرایط بهره‌وری بالا، معیار اقتصادی مناسب برای ورود تکنولوژی‌های نوین، تسهیل تأمین مالی و دسترسی به خدمات مکانیزه می‌باشد. همان‌گونه که در جدول (۱۰) مشاهده می‌شود، گروه‌های اجتماعی-فرهنگی، سیاسی و اقتصادی در رأس اثرگذاری‌های مستقیم و غیرمستقیم؛ و گروه‌های فنی و زیست‌محیطی نیز در بالاترین سطوح در وابستگی مستقیم و غیرمستقیم قرار گرفته‌اند.

جدول ۱۰. اثرگذاری و اثرپذیری متغیرهای ترکیبی مکانیزاسیون کشاورزی بر اساس رتبه

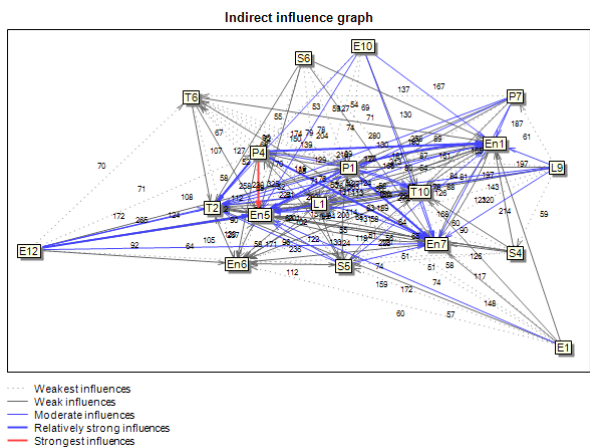
رتبه	نماد متغیر	اثرگذاری مستقیم	نماد متغیر	اثرگذاری غیر مستقیم	وابستگی مستقیم	نماد متغیر	وابستگی غیر مستقیم
۱	S5	۹۰۴	T2	۱۵۲۳	En5	۱۴۶۳	
۲	P1	۸۵۷	T10	۱۰۹۵	En7	۱۳۳۸	
۳	P4	۸۵۷	En7	۱۰۹۵	En1	۱۲۸۵	
۴	L1	۷۶۱	En5	۱۰۰۰	T2	۱۱۳۱	
۵	E12	۷۱۴	En1	۹۰۴	T10	۸۸۲	
۶	L9	۵۷۱	S5	۷۱۴	L1	۶۶۰	
۷	P7	۵۲۳	P1	۶۱۹	P1	۵۴۲	
۸	E10	۵۲۳	L1	۴۷۶	En6	۵۲۴	
۹	S4	۴۲۳	T6	۴۲۸	S5	۴۰۷	
۱۰	E1	۴۷۶	P4	۳۸۰	P4	۳۸۲	
۱۱	En6	۴۷۶	E1	۳۸۰	T6	۳۴۹	
۱۲	S6	۴۲۸	S4	۳۸۰	P7	۲۰۳	
۱۳	T6	۴۲۸	P7	۲۸۵	E1	۱۷۲	
۱۴	T10	۴۲۸	E10	۱۹۰	E10	۱۵۸	
۱۵	En5	۴۲۸	En6	۱۹۰	S4	۱۵۸	
۱۶	En1	۴۲۸	L6	۱۴۲	L6	۱۵۵	
۱۷	T2	۳۸۰	E12	۹۵	L9	۱۵۱	
۱۸	En7	۲۸۵	L9	۹۵	E12	۲۷	
۱۹	L6	۰	S6	۰	S6	۰	



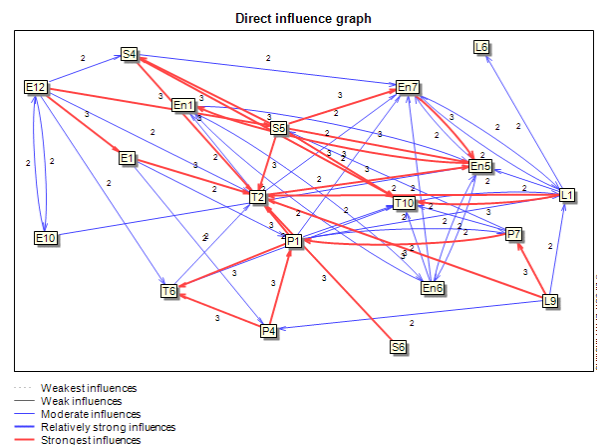
نمودار ۲۶. نقشه اثرگذاری و اثرپذیری غیرمستقیم متغیرهای ترکیبی مکانیزاسیون کشاورزی



نمودار ۲۵. نقشه اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم متغیرهای ترکیبی مکانیزاسیون کشاورزی



نمودار ۲۸. نقشه اثرگذاری غیرمستقیم متغیرهای ترکیبی مکانیزاسیون کشاورزی در سطح ۵۰ درصد



نمودار ۲۷. نقشه اثرگذاری مستقیم متغیرهای ترکیبی مکانیزاسیون کشاورزی در سطح ۵۰ درصد

بحث

یافته‌های حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که توسعه مکانیزاسیون کشاورزی در شهرستان بروجرد در بستری پیچیده و چند بُعدی رقم می‌خورد. هر یک از گروه‌ها با برخورداری از پیشران‌ها و پیامدهای خاص خود، نقشی اساسی در شکل‌دهی آینده مکانیزاسیون دارند و برهم کنش میان آن‌ها، چشم‌اندازی پویا و در عین حال شکننده از روند توسعه این حوزه را ترسیم می‌کند.

نتایج حاصل از تحلیل متغیرها نشان داد که در شهرستان بروجرد، توسعه مکانیزاسیون فراتر از یک تحول فنی بوده، و نیازمند هماهنگی میان ابعاد سیاسی، اقتصادی، اجتماعی- فرهنگی، فنی، زیست‌محیطی و قانونی است. بررسی گروه متغیرهای ترکیبی نشان می‌دهد که این دسته از عوامل با ایفای نقش واسطه‌ای میان حوزه‌های مختلف، بنیان شکل‌گیری آینده مکانیزاسیون را فراهم می‌آورند. نقش آموزش و ترویج، سیاست‌های حمایتی دولت و حمایت‌های مالی در این گروه برجسته بوده و اثرگذاری مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها بر سایر حوزه‌ها، به‌ویژه فناوری‌های نوین و کشاورزی پایدار، جایگاه راهبردی آن‌ها را روشن می‌سازد.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که، مکانیزاسیون کشاورزی در حالی که تولید را افزایش می‌دهد، چالش‌های زیست‌محیطی قابل توجهی نیز ایجاد می‌کند. برای مثال، در مطالعه‌ای بر تحول تاریخی و چشم‌اندازهای آینده مکانیزاسیون برای توسعه پایدار، مکانیزاسیون به‌عنوان عامل افزایش تولید شناسایی شده، اما با مشکلات جانبی مانند فشردگی خاک، فرسایش و انتشار گازهای گلخانه‌ای همراه است. فرصت‌های آینده شامل ادغام فناوری‌های دقیق، انرژی‌های تجدیدپذیر و آموزش کشاورزان برای بهره‌برداری کارآمد است، و پیش‌بینی‌ها حاکی از ادغام اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و ماشین‌های خودران در سال‌های آتی است که می‌تواند نیروی کار را کاهش و منابع را بهینه سازد (Malik et al., 2023). در تحقیق مذکور به بررسی چالش‌های همراه با ظهور فناوری‌های جدید پرداخته شده، در حالی که پژوهش حاضر بر جنبه‌های تأثیرگذار بر وضعیت آینده مکانیزاسیون و به‌صورت منطقه‌ای متمرکز شده است.

تحقیقات صورت گرفته در زمینه روندهای بازار و رشد جهانی مکانیزاسیون مزارع تا سال ۲۰۳۳، گسترش بازار را تأیید، و علت آن را ناشی از افزایش هزینه‌های نیروی کار، تقاضای غذا و کمبود نیروی انسانی عنوان می‌کند، و افزایش ماشین‌های خودکار و فناوری‌های دقیق برای بهبود کارایی را به‌عنوان روندها و مسیرهای آینده معرفی می‌نماید. همچنین پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۳۳، ادغام هوش مصنوعی و داده‌های بزرگ‌داده در مدیریت مزارع، با تمرکز بر پایداری و کاهش هزینه‌ها در کشورهای در حال توسعه، گسترش خواهد داشت (Akhadovich, 2024). در این گونه تحقیق‌ها، روند رشد جهانی مکانیزاسیون بررسی شده، و حال آن‌که تحقیق حاضر به بررسی در مقیاس کوچک و منطقه‌ای متمرکز شده و بر اساس مشاهدات و نتایج عینی صورت پذیرفته است.

به‌طور کلی، نتایج حاکی از آن است که توسعه پایدار مکانیزاسیون کشاورزی، فرآیندی چندبُعدی و وابسته به تعامل پیچیده میان

1. Internet of Things
2. Artificial Intelligence
3. Local
4. Big Data

سیاست‌ها، اقتصاد، فناوری و محیط زیست است. تحقق این هدف نه تنها مستلزم سرمایه‌گذاری در حوزه‌های اقتصادی و فنی است، بلکه نیازمند اصلاحات نهادی، تغییرات فرهنگی و اجتماعی و همچنین توجه جدی به ملاحظات زیست‌محیطی می‌باشد. در غیر این صورت، توسعه مکانیزاسیون نه تنها پایدار نخواهد بود، بلکه می‌تواند تهدیدی برای منابع طبیعی و امنیت غذایی کشور نیز محسوب گردد. به بیانی دیگر می‌توان گفت که در صورت نگاه همه‌جانبه به مکانیزاسیون و لحاظ تمامی ابعاد از گروه‌های مختلف، تصمیم‌گیری‌ها منسجم‌تر خواهد بود، یعنی متخصصین هر یک از حوزه‌ها مسائل مربوط به آن بخش را بررسی می‌نمایند، ولی تصمیم‌گیری‌ها توسط کمیته‌ای متشکل از متخصصین تمام حوزه‌ها اتخاذ خواهد شد. نتیجه این رویکرد، تصمیم‌های منطقی و در مسیر پیشرفت خواهد بود، که فرآیند تصمیم‌گیری‌ها را از حالت سردرگمی خارج نموده و هر یک از بخش‌ها، برنامه‌های پیش‌نهادی خود را رصد خواهند نمود. از طرفی بهره‌برداران نیز هر روز با یک سیاست جدید روبرو نخواهند شد و قادرند برنامه‌ریزی میان‌مدت یا بلندمدت و مطابق سیاست‌های اجرایی را عملی کنند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که آینده مکانیزاسیون کشاورزی در منطقه مورد مطالعه تنها در گرو توسعه فناوری نیست، بلکه مستلزم نظام‌مند شدن تعامل میان سیاست، آموزش، سرمایه و محیط زیست است. نوآوری این پژوهش در ارائه چهارچوبی یکپارچه و آینده‌نگر برای گذار از کشاورزی سنتی به مکانیزاسیون هوشمند و پایدار است. چهارچوبی که از قالب نگاه تک بُعدی خارج شده و ابعاد سیاسی، اقتصادی، اجتماعی- فرهنگی، فناورانه، زیست‌محیطی و قانونی را به صورت هم‌زمان و در قالب یک نظام تعاملی مورد توجه قرار می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، موارد ذیل به ترتیب اولویت جهت ارتقاء وضعیت مکانیزاسیون کشاورزی تأکید می‌گردد:

تثبیت متغیرهای کلان اقتصادی، سیاست‌های هدفمند حمایتی و مدل‌های نوآورانه تأمین مالی، که می‌تواند زمینه جذب سرمایه و تسریع نوسازی ماشین‌های کشاورزی را فراهم نماید.

ارتقاء سرمایه انسانی از طریق آموزش مستمر، ایجاد شبکه‌های ترویجی و الگوسازی فرهنگی در کنار توسعه زیرساخت‌های فناورانه و سامانه‌های اطلاعاتی هوشمند؛ که قادر است بستری مناسب برای تصمیم‌گیری دقیق و کارآمد ایجاد نماید.

هم‌افزایی میان سیاست‌های زیست‌محیطی، مالی، استانداردسازی تجهیزات و یکپارچه‌سازی اراضی، بدین ترتیب مسیر تحقق کشاورزی سازگار با محیط زیست هموار خواهد گردید.

نکته کلیدی و بدیع در این تحقیق آن است که پایداری مکانیزاسیون در گرو ایجاد بستر حکمرانی چندسطحی و هماهنگ میان دولت، بخش خصوصی، نهادهای علمی و بهره‌برداران محلی است؛ به گونه‌ای که سیاست‌گذاری، اجرا، ارزیابی و بازخورد به صورت چرخه‌ای و پویا انجام پذیرد. این رویکرد، نه تنها از غفلت نسبت به بهره‌برداران خرد جلوگیری می‌کند، بلکه با تقویت انسجام نهادی و تحلیل اثرات سیاست‌ها، مسیر گذار به نظام مکانیزاسیون پایدار و تاب‌آور را ترسیم می‌نماید. این موضوع از آن جهت اهمیت دارد که علی‌رغم تأثیرگذاری بالای بهره‌برداران خرد در مکانیزاسیون، این گروه غالباً احساس بی‌توجهی و نادیده‌گرفتن در تصمیم‌گیری‌ها را داشته و به علت عدم هماهنگی میان ذی‌نفعان مختلف، بهره‌برداری مؤثری از منابع و ظرفیت‌ها صورت نمی‌پذیرد (Dorvlo et al., 2025).

در نهایت، توسعه مکانیزاسیون کشاورزی تنها در صورتی موفق و پایدار خواهد بود که با اصلاحات نهادی، مشارکت فعال ذی‌نفعان و توجه به ابعاد زیست‌محیطی همراه گردد. عدم توجه به این ملاحظات می‌تواند نه تنها کارایی مکانیزاسیون را کاهش دهد، بلکه قادر است تهدیدی جدی برای امنیت غذایی، منابع طبیعی و توسعه پایدار کشور ایجاد نماید.

منابع

اثنی عشری، هاجر؛ کرباسی، علیرضا و پیری، مهدی (اردیبهشت ۱۳۹۱). *تاثیر سیاست های پولی و مالی بر مکانیزاسیون در بخش کشاورزی و پیش‌بینی روند مکانیزاسیون در طی چند سال آینده*. مقاله ارائه شده در هشتمین همایش دو سالانه اقتصاد کشاورزی ایران، دانشگاه شیراز، شیراز.

الماسی، مرتضی؛ کیانی، شهرام و لویمی، نعیم (۱۳۸۷). *مبانی مکانیزاسیون کشاورزی*. چاپ چهارم. تهران: انتشارات جنگل، جاودانه.

امامی، محمد؛ الماسی، مرتضی؛ باخدا، حسین و کلانتری، عیسی (۱۴۰۰). *طراحی الگوی راهبردی امنیت غذایی جمهوری اسلامی ایران با تأکید بر نقش مکانیزاسیون کشاورزی*. *فصلنامه علمی مطالعات راهبردی سیاست گذاری عمومی*. ۱۱ (۳۸)، ۳۲۳-۲۹۸.

امجدی، افشین و چیذری، امیر حسین (۱۳۸۵). *وضعیت مکانیزاسیون کشاورزی در ایران*. *فصلنامه اقتصاد کشاورزی و توسعه*. ۱۴ (۳)،

- بی‌نام (۱۴۰۲). داده‌های کشاورزی. مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان بروجرد.
- توکلی، نجمه؛ قاسمی مبتکر، حسن و شریفی، محمد (۱۴۰۳). رتبه‌بندی و تحلیل چالش‌های توسعه پایدار مکانیزاسیون کشاورزی در منطقه نی‌ریز. *نشریه مکانیزاسیون کشاورزی*، ۹ (۱)، ۱-۱۱.
- جلالوند، مهرداد و اکرم، اسداله (شهریور ۱۴۰۲). *ارزیابی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر توسعه مکانیزاسیون کشاورزی در شهرستان بروجرد با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی*. مقاله ارائه شده در پنزدهمین کنگره ملی و اولین کنگره بین‌المللی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون کشاورزی. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج.
- طاهرزاده شالمائی، ناهید و قاسمی مبتکر، حسن (۱۴۰۱). شناسایی و رتبه‌بندی چالش‌های کشاورزی استان گیلان با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. *نشریه تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی*، ۲۳ (۸۱)، ۷۴-۵۷.
- عباسپور گیلانده، یوسف؛ محتسبی، سید سعید و برقی، سید علی محمد (۱۴۰۱). وضعیت مکانیزاسیون تولیدهای زراعی و باغی در ایران. *نشریه پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۷ (۱)، ۶۲-۵۱.
- عباسی، کامبیز؛ الماسی، مرتضی؛ برقی، سید علی محمد و مینائی، سعید (۱۳۹۳). برآورد مدل عملکرد محصولات اساسی بر پایه شاخص سطح مکانیزاسیون کشاورزی در ایران. *نشریه ماشین‌های کشاورزی*، ۴ (۲)، ۳۵۱-۳۴۴.
- مرادی، نادر؛ عساکره، عباس و شیخ داودی، محمد جواد (۱۴۰۰). بررسی چالش‌ها و فرصت‌های شهرستان اهواز در توسعه مکانیزاسیون محصولات زراعی با استفاده از ماتریس سوات. *نشریه ماشین‌های کشاورزی*، ۱۱ (۲)، ۵۴۸-۵۳۵.

REFERENCES

- Abbasi, K., Almassi, M., Borghaee, S.A.M., & Minaee, S. (2013). Modeling of Yield Estimation for The Main Crops in Iran Based on Mechanization Index. *Journal of Agricultural Machinery*, 4(2), 344–351. <https://doi.org/10.22067/jam.v4i2.34826>. (In Persian).
- Abbaspour – Gilandeh, Y., Mohtasebi, S.S., & Borghaee, S.A.M. (2022). Status of Mechanization of Agricultural and Horticultural Products in Iran. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 7(1), 51–62. <https://10.22047/SRJASNR.2022.147430>. (In Persian).
- Akhadovich, S. M. (2024). Agricultural mechanisation: Achievements, impacts and future prospects. *Western European Journal of Modern Experiments and Scientific Methods*, 2(10), 65–67. <https://westerneuropeanstudies.com/index.php/1/article/view/1545>
- Almassi, M., Kiani, Sh., & Loveimi, N. (2008). *Principles of Agricultural Mechanization*. 4th edition. Jungle: Tehran. (In Persian).
- Amjadi, A. & Chizari, A. H. (2006). Agricultural Mechanization in Iran. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 14(3), 155–182. <https://10.30490/aead.2006.58912>. (In Persian).
- Anonymous. (2022). *Agricultural data*. Jihad-e-Agriculture Management of Boroujerd province. (In Persian).
- Emami, M., Almassi, M., Bakhoda, H. & Kalantari, I. (2021). Designing a Strategic Model for Food Security in the Islamic Republic of Iran Emphasizing the Role of Agricultura Mechanization. *Quarterly Journal of Strategic Studies of Public Policy*, 11(38), 298–323. <https://0000-0002-6279-1245>. (In Persian).
- Esnashari, H., Karbasi, A & Piri, J. (2012, May). *The effect of fiscal and monetary policies on mechanization and forecasting mechanization trend in Iran*. Paper presented at the 8th Biennial Iranian Economic Conference. University of Shiraz, Shiraz. (In Persian).
- Godet, M. (2006). *Creating Futueres: Scenario planning as strategic management tools*. 2nd edition. Economica Ltd: London, Paris. 17(1), 29–44.
- Jalalvand, M., & Akram, A. (2023, September). *Evaluation and ranking of the effecting factors on development of Agricultural Mechanization in Boroujerd Province by Analytical Hierarchy Process*. Paper presented at the 15th National & 1st International Congress on Mechanics of Biosystems Engineering & Agricultural Mechanization. College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (In Persian).
- Malik, V., Tomar, B., Tomar, S. S., Kumar, M., Kumari, M., & Gupta, S. (2023). *Future prospects of agricultural mechanization for sustainable development*. Elite Publishing House: New Delhi, India.
- Moradi, N, Asakereh, A & Sheikh Davoodi, M. J. (2021). Challenges and opportunities in development of agricultural mechanization in Ahvaz county SWOT method. *Journal of agricultural machinery*, 11(2), 535–548. <https://doi.org/10.22067/jam.v11i2.83348>. (In Persian).
- Rajendran, M., & Ranganathan, T. (2025). Advancements in paddy transplanter mechanization implications for sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Futures*, 10, 101235. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101235>.
- Taherzadeh-Shalmaei, N., & Ghasemi-Mobtaker, H. (2022). Identifying and Rankin the Agricultural Challenges of Guilan Province using the Hierarchical Analysis Process. *Journal of Agricultural*

Mechanization and Systems Research, 23(81). 57–74. <https://doi.org/10.22092/amsr.2022.357132.1406>. (In Persian).

[Tavakoli, N.](#), Ghasemi-Mobtaker, H. & Sharifi, M. (2024). Ranking and analysis of the challenges of sustainable development of agricultural mechanization in Neyriz region. *Journal of Agricultural Mechanization*, 9(1). 1–11. <https://10.22034/jam.2024.58941.1260>. (In Persian).

Winarno, K., Sustiyo, J., Aziz, A. A., & Permani, R. (2025). Unlocking agricultural mechanisation potential in Indonesia: Barriers, drivers, and pathways for sustainable agri-food systems. *Journal of Agricultural Systems*, 226, 104305. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2025.104305>