Agricultural Economics and Development

Vol. 33, No. 130, Summer 2025

Research Paper

Identification and Ranking of Productivity Indexes of Agricultural Machinery in Horticulture and Agronomy Sectors: A Case Study of Chaharmahal and Bakhtiari Province, Iran

S. Karimikia[1], *M. Mohammadi* [2]

Received: 14 October, 2024 Accepted: 10 May, 2025

Introduction: The adoption of mechanization and the careful selection of appropriate technologies is a strategic approach to addressing resource constraints and food insecurity in the agricultural sector. These technologies must be evaluated and implemented by researchers, stakeholders, and decision-makers within the agricultural domain to ensure their relevance, sustainability, and efficiency. The rapid growth in global population, the increasing demand for food, and the limited availability of arable land and water resources have made it imperative to find more effective ways of enhancing agricultural productivity, the potential of which is found in the mechanization by reducing human labor, optimizing time, and enabling large-scale cultivation. However, the benefits of mechanization can only be fully realized when the machinery used is appropriate to the local conditions and when its use is optimized through proper planning and management. A critical step in achieving this goal is 'identifying and ranking' the factors affecting the productivity of agricultural machinery. Understanding these factors can provide a suitable foundation for optimizing the use of available resources, reducing operational costs, and increasing the efficiency and effectiveness of machinery use in agricultural processes. Despite its importance, there has been insufficient investigation into identifying these influencing factors and resolving the challenges associated with machinery inefficiencies in specific local contexts. So, this research aimed to address that gap by identifying and ranking the productivity indicators of agricultural machinery in the horticulture

1. Corresponding Author and MA Student in Govermental Management, Faculty of Literature and Humanities, Payame Noor University, Tehran, Iran (Karimikiasajad@gmail.com).

2. Associate Professor, Department of Management, Faculty of Literature and Humanities, Payame Noor University, Tehran, Iran.

DoI: 10.30490/aead.2025.367252.1633

and agronomy sectors of Chaharmahal and Bakhtiari province of Iran. This region, known for its diverse agricultural practices and dependency on crop production for economic sustainability, provides a unique case study for understanding how machinery performance can be enhanced through a data-driven and participatory approach.

Material and Methods: In order to gather comprehensive and reliable data, a combination of qualitative and quantitative research methods was employed. The Delphi method, sequential exploratory method, and various statistical analysis techniques were utilized to ensure the accuracy and depth of findings. The Delphi method, in particular, is well-suited for eliciting expert opinion and reaching consensus on complex issues. Questionnaires were distributed among a diverse group of stakeholders, including university professors, technical experts, managers of governmental agricultural organizations, local farmers, and agricultural producers. These individuals were selected based on their experience and familiarity with agricultural machinery and local farming practices. The collected data were analyzed and validated using MaxQDA software, which helped identify and categorize nineteen main codes. These codes were grouped into two broad sets and further divided into six distinct subsets, based on their thematic and functional similarities. To assess the influence and interdependence of these indicators, and to determine their relative importance, the fuzzy Decision Network Process (DNP) technique was used. This technique allows for more nuanced decision-making by incorporating uncertainty and ambiguity, which are often present in expert-based assessments.

Results and Discussion: The study analysis revealed that the most critical factor influencing the productivity of agricultural machinery was 'its design and its interaction with the cultivated land'. This finding underscores the importance of tailoring machinery design to suit the specific characteristics of local soil types, topography, crop types, and climatic conditions. Poorly designed machinery that does not align with these variables can lead to decreased efficiency, higher fuel consumption, increased wear and tear, and ultimately, a reduction in crop yield. Following machinery design, the second most significant factor identified was 'management and planning optimization'. Effective planning and proper management of machinery usage (such as scheduling maintenance, coordinating operations with crop cycles, and optimizing routes and field operations) can greatly enhance machinery performance and longevity. Among the six subsets identified, the performance criterion was found to be the most impactful, carrying a relative weight of 38 percent. This criterion encompasses several key performance indicators such as output efficiency, operational time, maintenance

frequency, and reliability. The needs and conditions adjustment criterion ranked second with a weight of 15 percent, highlighting the importance of aligning machinery use with local agricultural needs and environmental conditions. Machinery efficiency followed closely, with a 14 percent impact, reflecting the overall operational output of the machines relative to the resources used. In the second subset, the efficiency of agricultural machinery once again emerged as a key factor, with a 14 percent influence. This was followed by the machinery application index at 11.5 percent, which includes the suitability of machinery for various farming operations such as plowing, planting, harvesting, and irrigation. Lastly, the provision of financial resources held a 7.8 percent impact, emphasizing the role of financial support and access to funding in the procurement, maintenance, and upgrading of machinery.

Conclusion and Suggestions: The comprehensive identification and examination of the factors affecting agricultural machinery performance are crucial for optimizing efficiency, reducing costs, and improving productivity. This study sought to accomplish that by focusing on the horticultural and agronomic sectors in Chaharmahal and Bakhtiari province of Iran. By employing a multi-method approach that included the Delphi technique, statistical analysis, and fuzzy DNP modeling, the research was able to uncover and prioritize a wide array of indicators influencing machinery productivity. The identified factors were categorized into two main groups: dependent and independent. The dependent category included financial and performance-related factors, while the independent category comprised design and fabrication, technical specifications, and operational applications. The study findings indicated that the dependent category— especially, performance-related factors— had a more significant impact on overall machinery effectiveness and therefore, would deserve further research and investment. The implications of this study are far-reaching. Policymakers, agricultural machinery manufacturers, and local producers can use these insights to improve machinery design, enhance training programs, allocate resources more efficiently, and promote policies that support sustainable agricultural development. By focusing on these productivity indicators and their prioritization, stakeholders can work towards a more resilient, efficient, and food-secure agricultural system in the region.

Keywords: *Agricultural Machinery, Horticulture and Agronomy, Indexes, Productivity.*

JEL Classification: Q16, Q10, C43, D24

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

اقتصاد کشاورزی و توسعه

سال ۳۳، شماره ۱۳۰، تابستان ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

شناسایی و رتبه‌بندی شاخص‌های بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی در بخش باغداری و زراعت استان چهارمحال و بختیاری*

سجاد کریمی‌کیا[۱]، مهدی محمدی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

چکیده

شناسایی عوامل مؤثر بر بهره‌وری ماشین‌آلات و رتبه‌بندی آنها، به‌منظور ایجاد بستر مناسب و انطباق با اراضی زیر کشت برای بهبود کارآیی، نقشی مهم در مدیریت و استفاده صحیح از منابع دارد. اگرچه مطالعاتی در این زمینه انجام شده، اما به شناسایی و رفع چالش‌ها چندان پرداخته نشده است. هدف پژوهش حاضر شناسایی و رتبه‌بندی شاخص‌های بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی در بخش‌های زراعت و باغداری استان چهارمحال و بختیاری بود. بدین منظور، از روش اکتشافی متوالی و شیوهٔ آماری استفاده شد و گردآوری داده‌ها

---

* مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان «شناسایی و رتبه‌بندی شاخص‌های بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی در بخش باغداری و زراعت در استان چهارمحال و بختیاری» در دانشگاه پیام نور است. از این‌رو، از اساتید و مسئولان این دانشگاه و تمام افرادی که در تدوین پژوهش حاضر ما را یاری کرده‌اند، سپاسگزاری می‌شود.

۱- نویسندهٔ مسئول و دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت دولتی، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
(Karimikiasajad@gmail.com)

۲- دانشیار گروه مدیریت، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

DoI: 10.30490/aead.2025.367252.1633

با استفاده از روش دلفی از جامعه آماری شامل افراد باتجربه از اساتید دانشگاه، کارشناسان، مدیران سازمان‌های دولتی، کشاورزان و باغداران صورت گرفت و تا زمان به اجماع رسیدن نظرات ادامه یافت. نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار مکس- کیودا شامل نوزده کد اصلی در دو مجموعه و شش زیرمجموعه توسط متخصصان مورد تأیید قرار گرفت. آنگاه با بهره‌گیری از روش دنپ فازی، به بررسی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری شاخص‌ها نسبت به یکدیگر و سپس، به اولویت‌بندی آنها پرداخته شد. نتایج پژوهش نشان داد که مهم‌ترین شاخص تأثیرگذار در بهره‌وری ماشین‌آلات «طراحی و ساخت ماشین‌آلات و انطباق آنها با اراضی زیر کشت» است و پس از آن، شاخص «مدیریت و برنامه‌ریزی بهینه» بیشترین تأثیرگذاری را در بهره‌وری ماشین‌آلات دارد؛ همچنین، در بین شش زیرمعیار شناسایی‌شده، به‌ترتیب، معیار عملکردی با درصد وزنی حدود ۳۸، معیار متناسب با نیاز و شرایط با پانزده درصد و کارآیی ماشین‌آلات کشاورزی با چهارده درصد در رتبه‌های اول تا سوم جای دارند؛ در شاخص دوم نیز به‌ترتیب، کارآیی ماشین‌آلات کشاورزی با وزن چهارده درصد، استفاده مناسب از ماشین‌آلات با وزن ۱۱/۵ درصد و تأمین منابع مالی با وزن ۷/۸ درصد شناسایی شدند. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود که طراحی و تولید ماشین‌آلات کشاورزی با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و متناسب با شرایط اقلیمی صورت گیرد؛ نمایندگی‌های تخصصی برای تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات توسط بخش‌های دولتی و خصوصی تقویت شوند؛ آموزش به بهره‌برداران جدی‌تر دنبال شود؛ روحیه کار گروهی در میان آنها ترویج یابد؛ تعاونی‌های ارائه‌دهندهٔ خدمات مکانیزاسیون گسترش یابند؛ و همچنین، به‌منظور افزایش بهره‌وری ماشین‌آلات تولیدی، نتایج پژوهش‌ها با بخش صنعت ماشین‌آلات کشاورزی به اشتراک گذاشته شود و در پژوهش‌های آتی پیرامون ماشین‌آلات کشاورزی، بررسی روابط کلی و رویکرد استقرایی بیشتر مد نظر قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: *ماشین‌آلات کشاورزی، باغداری و زراعت، شاخص‌ها، بهره‌وری.*

طبقه‌بندی JEL : Q16, Q10, C43, D24

مقدمه

بهره‌وری، به مفهوم نسبت خروجی به ورودی، نشان‌دهندهٔ کارآمدی منابع در تولید است (Rathnayake et al., 2024)؛ و اغلب به‌طور مبهم مورد بحث قرار می‌گیرد و درکی ضعیف از آن وجود دارد. این مفهوم در کشاورزی، به‌عنوان یکی از معیارهای کلیدی برای سنجش کارآمدی تولید و مدیریت منابع، نقشی حیاتی در تأمین امنیت غذایی و توسعه پایدار ایفا می‌کند. در عصر حاضر، با توجه به افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به مواد غذایی، اهمیت بهینه‌سازی فرآیندهای کشاورزی و مکانیزاسیون بیش از پیش نمایان می‌شود. در کشورهایی مانند ایران که با چالش‌های متعدد از جمله کمبود منابع آب، پراکندگی اراضی و نارسایی‌های اقتصادی مواجه‌اند، توجه بدین مقوله ضروری می‌نماید (Gholizadeh et al., 2017). بر اساس گزارش سازمان همکاری و توسعه اقتصادی[1] در سال ۲۰۲۰،

1. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)

افزایش یک درصدی در بهره‌وری می‌تواند منجر به رشد نیم تا یک درصدی در تولید ناخالص داخلی[1] کشورها شود، که نشان‌دهندهٔ تأثیر مستقیم بهره‌وری بر اقتصاد ملی است. بر پایهٔ گزارش اداره آمار کار ایالات متحده (BLS, 2021)، افزایش بهره‌وری نه‌تنها به بهبود عملکرد اقتصادی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به ایجاد فرصت‌های شغلی نیز منجر شود. همچنین، بر اساس گزارش مجمع جهانی اقتصاد (WEF, 2021)، کشورهایی که توانسته‌اند بهره‌وری خود را افزایش دهند، معمولاً از نظر رقابت‌پذیری جهانی، در رتبه‌های بالاتر قرار دارند. برای نمونه، سوئیس و سنگاپور، با بالاترین نرخ‌های بهره‌وری، به‌ترتیب، در رتبه‌های اول و دوم رقابت‌پذیری جهانی جای گرفته‌اند. بر پایهٔ گزارش مرکز آمار ایران در سال ۱۴۰۱، کشاورزانی که از ماشین‌آلات نوین استفاده می‌کنند، به‌طور متوسط، ۲۵ درصد بیش از کشاورزان سنتی درآمد دارند (MAJ, 2023). بنا به گزارش سازمان جهاد کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری در سال ۱۴۰۱ نیز با استفاده از تجهیزات مکانیزه در کاشت و برداشت محصولات، می‌توان تا سی درصد در زمان و هزینه‌ها صرفه‌جویی کرد (MAJ, 2022). از این‌رو، هدف پژوهش حاضر شناسایی عوامل مؤثر بر بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی و رتبه‌بندی این عوامل به‌لحاظ اهمیت و ضرورت است، که می‌تواند به‌عنوان بخشی از مدیریت مزرعه نقش مهمی در تأمین پایدار منابع غذایی و بهره‌گیری بهینه از منابع آب و خاک ایفا کند (Banaeian & Zangeneh, 2016). استفاده صحیح و به‌موقع از ماشین‌آلات و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین به‌عنوان یک رویکرد مهم در افزایش کارآیی و بهره‌وری ماشین‌های کشاورزی در نظر گرفته می‌شود (Semin et al., 2020). تاکنون، مطالعات مختلف در زمینه بهره‌وری و همچنین، مکانیزاسیون کشاورزی انجام شده که در ادامه، به برخی از آنها اشاره شده است.

رزمجو و رحمتی (Razmjou & Rahmati, 2020) به بررسی نقش دولت در بهبود بهره‌وری در بخش‌های مختلف اقتصادی از جمله بخش کشاورزی و ماشین‌آلات پرداختند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، افزایش سرمایه اجتماعی از طریق دولت را می‌توان زیربنا و بستری برای بهبود بهره‌وری عوامل تولید (از جمله ماشین‌آلات کشاورزی)، بهبود عدالت، و افزایش تولید نهایی کار و سرمایه دانست. اعلائی بروجنی (A'lai Boroujeni, 2021) به‌بررسی رفع موانع تولید و بهبود فضای کسب و کار در بخش کشاورزی، چالش‌های مرتبط با نظام توزیع ماشین‌آلات کشاورزی کشور (تراکتور و کمباین) پرداخت و نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که مواردی همچون حمایت هدفمند از تولیدکنندگان بخش کشاورزی، مدیریت و نظارت بر توزیع کالاها، و عوامل

1. Gross Domestic Product. (GDP)

تولید بخش کشاورزی با سایر بخش‌های اقتصادی مرتبط است. همچنین، بر پایهٔ یافته‌های این پژوهش، برخی شاخص‌های مؤثر بر بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی همچون لزوم سامان‌دهی توزیع ماشین‌آلات، حمایت هدفمند از تولیدکنندگان در دسترسی به عوامل تولید از جمله ماشین‌آلات کشاورزی را می‌توان به‌عنوان شاخص‌های ارتقای بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی برشمرد. نتایج مطالعه محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2021)، با عنوان «ارزیابی عوامل پذیرش فناوری‌های جدید کشاورزی با گسترش جغرافیایی زمین‌های زراعی، چالشی مقابل بهره‌وری»، نشان داد که شاخص‌هایی همچون ناآگاهی کشاورزان، هنجارهای ذهنی، انتظار از مسئولان دولتی، هزینه‌های بالا، انتظار کلاس آموزشی از کارشناسان ترویج، سرمایه پولی و مالی، نوآوری در صنعت، استعداد و توانایی فردی کشاورز، تحصیلات و تجربه، از جمله شاخص‌های انسانی مؤثر بر بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی محسوب می‌شوند. واحدی و همکاران (Vahedi et al., 2022) به بررسی تأثیر دوره‌های آموزشی- ترویجی بر کارآیی فنی مزارع گندم دیم شهرستان اهر پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که میان تعداد دفعات شرکت در دوره‌های آموزشی- ترویجی و مقدار کارآیی فنی کشاورزان، رابطهٔ مثبت وجود دارد؛ همچنین، برگزاری دوره‌های آموزشی- ترویجی به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی شناخته شد. با توجه به قرارگیری این شاخص‌ها در قالب شاخص کارآیی ماشین‌آلات کشاورزی، در پژوهش حاضر نیز بدین شاخص‌ها توجه شده است.

افزون بر پژوهش‌های یادشده، حسین‌زاده و همکاران (Hosseinzadeh et al., 2024) نیز در پژوهشی با عنوان «شناسایی و سطح‌بندی شاخص‌های زیرساختی مبتنی بر خدمات با استفاده از روش تاپسیس[1]»، نشان دادند که دو شاخص دسترسی به تعمیرگاه‌های ماشین‌آلات کشاورزی و توسعه شرکت‌های تعاونی، در کنار سایر شاخص‌های شناسایی‌شده، از شاخص‌هایی به‌شمار می‌روند که از حیث تأثیرگذاری بر راندمان ماشین‌آلات کشاورزی، می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های مهم بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی در نظر گرفته شوند. همچنین، نتایج مطالعه کوز (Kusz, 2018)، با عنوان «سطح هزینه‌های سرمایه‌گذاری در مقابل تغییرات در تجهیزات فنی و کارآیی نیروی کار در کشاورزی در لهستان»، نشان داد که شاخص‌هایی همچون صرفه‌جویی در عامل نیروی کار و سرمایه‌گذاری در بخش فنی و آموزش بهره‌برداران از جمله شاخص‌های بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی محسوب می‌شوند. بررسی این پژوهش نشان می‌دهد که معیار تأمین منابع مالی و همچنین، نگاه ویژه به مدیریت انسانی مناطق زیر کشت را می‌توان به‌عنوان شاخص‌های مهم مورد بحث در بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی مورد توجه

1. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

قرار داد. یانزینا و همکاران (Yanzina et al., 2019) به بررسی بهبود راندمان بهره‌برداری از ماشین‌آلات کشاورزی به‌ویژه عملکرد تراکتور به‌عنوان عامل بهینه‌سازی استفاده از زمین‌های کشاورزی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که بهینه‌سازی دستگاه‌های موتوری موجب افزایش بازدهی کاری تراکتور می‌شود؛ در نهایت، قابلیت اطمینان ماشین‌آلات، نظارت دوره‌ای، کیفیت بالای نگهداری، آموزش تخصصی بهره‌برداران، و تحقیق در راستای بهبود راندمان ماشین‌آلات به‌عنوان شاخص‌های مهم بهبود راندمان بهره‌برداری از ماشین‌آلات کشاورزی ارزیابی شدند. همچنین، نتایج مطالعه سمین و همکاران (Semin et al., 2020)، با عنوان «دیجیتالی شدن کشاورزی به‌عنوان اولویت افزایش کارآیی مدیریت سازمان‌های کشاورزی»، نشان داد که استفاده از فناوری‌های دیجیتال باعث کاهش هزینه‌های عملیات و بهره‌وری در ماشین‌آلات کشاورزی می‌شود؛ روند دیجیتالی شدن کشاورزی را می‌توان راهی به‌سوی به‌وجود آمدن کشاورزی دقیق دانست؛ و به‌کارگیری فناوری‌های نوین در ماشین‌آلات کشاورزی، تلاش در راستای انطباق این ماشین‌آلات با شرایط منطقه زیر کشت و برنامه‌ریزی به‌منظور استفاده دقیق‌تر از این ماشین‌آلات از جمله شاخص‌هایی به‌شمار می‌روند که می‌توانند در بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی مؤثر باشند. یانگ و لی (Yang & Li, 2022)، با بررسی تأثیر خدمات ماشین‌آلات کشاورزی بر بهره‌وری، نشان دادند که گسترش مراکز ارائه‌دهنده خدمات ماشین‌آلات کشاورزی سهمی عمده در به‌کارگیری ماشین‌آلات و بهره‌وری آنها دارد؛ تسهیل‌گری‌های فنی و اجتماعی نیز به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم مؤثر در بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی است، که پژوهش حاضر هم بدان توجه داشته است.

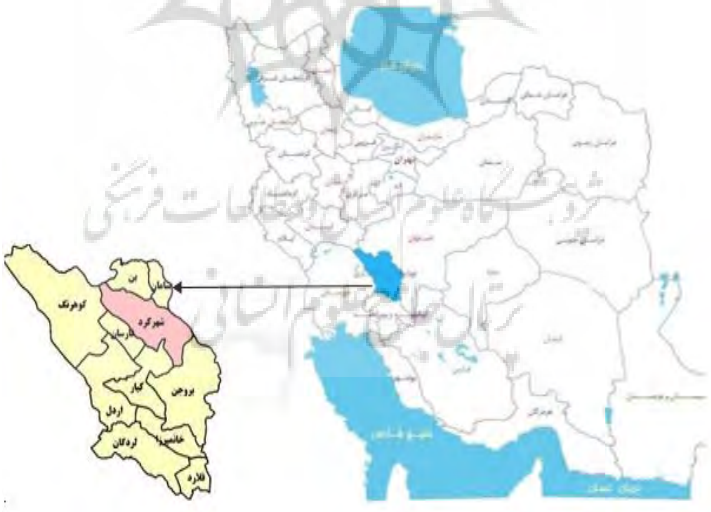
موضوع بهره‌وری در کشاورزی به‌ویژه در ایران، طی سال‌های اخیر، در کانون توجه صاحب‌نظران بوده و با وجود تلاش‌های فراوان در راستای ارتقای بهره‌وری، خلأهایی در زمینه استفاده از دستاوردهای جدید در حوزه مدیریت کشاورزی و مکانیزاسیون مشاهده شده است. بررسی پیشینهٔ پژوهش‌ها در زمینهٔ ماشین‌آلات کشاورزی که به معرفی برخی شاخص‌های مؤثر در بهره‌وری ماشین‌آلات پرداخته‌اند، راه را برای گردآوری داده‌ها، شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌ها به لحاظ ضرورت و اهمیت در بهره‌وری ماشین‌آلات در منطقه مورد مطالعه هموار می‌سازد.

استان چهارمحال و بختیاری، با برخورداری از منابع غنی آبی و خاکی، از مهم‌ترین استان‌های ایران در باغداری و زراعت محسوب می‌شود و از مجموع ۱۶۳۳۲۰۰ هکتار وسعت آن (برابر با ۱/۳۲ درصد وسعت ایران)، ۱۸۹۲۱۴ هکتار شامل اراضی کشاورزی است (MAJ, *2023*)؛ و مدیریت بهینه و بهبود مکانیزاسیون کشاورزی از ضرورت‌های مدیریتی در این استان به‌نظر می‌رسد. بررسی میدانی اراضی زیر کشت زراعی و باغی استان چهارمحال و بختیاری و عدم انطباق و بازده ماشین‌آلات با

وضعیت موجود و همچنین، نکاتی در ارتباط با بهره‌برداران از این ماشین‌آلات موجب شد تا در پژوهش حاضر، شناسایی شاخص‌های بهره‌وری در حوزه مکانیزاسیون کشاورزی مورد توجه قرار گیرد. در این راستا، از طریق رویکرد ترکیبی کیفی- کمی، با بهره‌گیری از روش اکتشافی مبتنی بر مراجعه به خبرگان و تحلیل مضمون داده‌های به‌دست‌آمده و همچنین، با رتبه‌بندی آنها به لحاظ اهمیت و تأثیر در بهره‌وری این ماشین‌آلات به روش‌های آماری، به ارائه الگویی از این شاخص‌ها به‌منظور افزایش تولید و استفاده بهینه از منابع و نیز بررسی مدیریت در حوزه کشاورزی در این استان پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر، استان چهارمحال و بختیاری به‌عنوان منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده با وسعت بیش از ۱۶۴۱۱ کیلومتر مربع در جنوب غربی ایران قرار گرفته است. مساحت اراضی زیر کشت زراعی و باغی این استان ۱۸۹۲۱۴ هکتار است که ۱۱/۵۲ درصد مساحت کل استان را شامل می‌شود. ضریب مکانیزاسیون این استان ۲/۵ اسب بخار است. بادام آبی از شاخص‌ترین محصولات کشاورزی این استان بوده و رتبه اول کشوری در زمینه تولید این محصول بدین استان اختصاص یافته است هلو، گردو، قارچ دکمه‌ای، انگور، گندم و ذرت از سایر محصولات شاخص زراعی و باغی این استان به‌شمار می‌روند (MAJ, 2025).



مأخذ: وزارت جهاد کشاورزی (MAJ, 2023)

شکل ۱- وضعیت استقرار استان چهارمحال و بختیاری در نقشه ایران

تحقیق حاضر، از لحاظ هدف، کاربردی است و گردآوری اطلاعات با استفاده از روش کتابخانه‌ای- میدانی انجام و در تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از روش ترکیبی (کیفی- کمی) استفاده شده است. همچنین، در مطالعه حاضر، از راهبُرد اکتشافی متوالی استفاده شده است؛ البته، تقدم با وجه کیفی پژوهش بوده و از یافته‌های رویکرد کمی در راستای حمایت از تفسیر یافته‌های کیفی استفاده شده است. جامعه آماری پژوهش شامل اساتید دانشگاهی در رشته‌های مرتبط با ماشین‌آلات کشاورزی و مدیریت، کارشناسان و متخصصان حوزه زراعت و باغداری، مدیران ارشد سازمان جهاد کشاورزی، و کشاورزان و باغداران خبره در استان چهارمحال و بختیاری بوده و نمونه‌گیری پژوهش نیز با روش نمونه‌گیری هدفمند انجام شده است، بدین صورت که تعداد پانزده نفر از خبرگان و صاحب‌نظران دارای تخصص و تجربه کافی در زمینه ماشین‌آلات کشاورزی و بهره‌وری در بخش‌های زراعت و باغداری در استان چهارمحال و بختیاری با حداقل ده سال سابقه کار در این زمینه به‌عنوان نمونه پژوهش انتخاب شدند. به دیگر سخن، شرط ورود به نمونه آماری بررسی و مشورت با صاحب‌نظران این حوزه برای بهره‌گیری از تجربه و دانش آنها بوده است. نخست، شناسایی و استخراج معیارهای مؤثر بر بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی با تکیه بر مطالعات کتابخانه‌ای و پژوهش‌های پیشین صورت گرفت و سپس، این معیارها با روش دلفی توسط نظرسنجی از خبرگان پایش و نهایی‌سازی شدند. آنگاه با استفاده از روش دنپ فازی[1] به وزن‌دهی و رتبه‌بندی معیارهای نهایی‌سازی‌شده به لحاظ اهمیت و ضرورت آنها در بهره‌وری ماشین‌های کشاورزی و تأثیرگذاری و تأثیرپذیری آنها نسبت به یکدیگر پرداخته شد.

نتایج و بحث

نتایج دلفی فازی

از روش دلفی برای استخراج و اجماع نظرات خبرگان دارای تخصص کافی در زمینهٔ موضوع پژوهش استفاده می‌شود که به‌عنوان اعضای پانل دلفی در نظر گرفته شده‌اند. این روش از طریق توزیع پرسشنامه‌هایی طی دو مرحله در بین افراد و بازخورد بازبینی‌شدهٔ پاسخ‌ها صورت می‌گیرد و هدف آن شناسایی نظرات خبرگان، اجماع، و به‌دست آوردن بهترین نظرات است. پرسشنامه دور اول شامل سؤالات باز است که به اعضای پانل امکان آن را می‌دهد تا نظرات خود را پیرامون معیارهای به‌دست‌آمده از پیشینه پژوهش ارائه و چنانچه نظر دیگری در این زمینه دارند، به معیارهای به‌دست‌آمده اضافه کنند.

1. fuzzy DANP method

تجزیه‌وتحلیل داده‌های پژوهش با روش تحلیل مضمون و با بهره‌گیری از نرم‌افزار مکس‌کیودا صورت گرفته و کدگذاری باز انجام شده است. برای کدگذاری نیز از مفاهیم مندرج در پرسشنامه‌ها استفاده شد و در مرحله بعد، مفاهیم و مقولات با مضمون مشترک در یک طبقه بالاتر قرار گرفتند. در نهایت، بر اساس مقوله سطح دوم و اصلی، الگوی پارادایمی اخذ و ارائه شده است. پس از مشخص شدن مضامین پایه، مضامین مرتبط با یکدیگر از نظر مفهومی در قالب مضامین سازمان‌دهنده گنجانده و سرانجام، مضامین سازمان‌دهنده در قالب یک مضمون فراگیر ارائه شدند.

آنچه شبکه مضامین بیان می‌کند، نقش‌های شبیه تارنما مانند اصل سازمان‌دهنده و روش نمایه مضامین سازمان‌دهنده است. شبکه مضامین، بر اساس روندی معین، به نظام‌مندسازی مضامین محوری (کدها و نکات کلیدی متن)، مضامین به‌دست‌آمده از ترکیب و تلخیص مضامین محوری، و مضامین فراگیر می‌پردازد. سپس، این مضامین به‌صورت مدلی رسم شده، مضامین کلیدی هر کدام از این سه سطح همراه با روابط میان آنها نشان داده می‌شود. معمولاً هدف مدل‌ها به بیان مفاهیم اصلی و کلیدی نظری و نحوه ارتباط میان آنها می‌پردازند، به‌گونه‌ای که مسئله اصلی در مرکز مدل قرار می‌گیرد. به همین ترتیب، نتایج پژوهش حاضر در بخش کیفی نشان داد که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر بهره‌وری شامل کارآیی ماشین‌آلات، ویژگی‌های عملکردی، تأمین منابع مالی، تناسب با نیازها، و استفاده مناسب از ماشین‌آلات است. همان‌گونه که نتایج مدل نهایی نشان می‌دهد، از این مدل می‌توان به‌عنوان راهنمایی برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در حوزه ماشین‌آلات کشاورزی استفاده کرد. شکل ۲ مدل کیفی سازمان‌دهی شاخص‌های بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی در بخش باغداری و زراعت استان چهارمحال و بختیاری را نشان می‌دهد.

مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۲- مدل کیفی نهایی سازمان‌دهی شاخص‌های بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی در بخش باغداری و زراعت استان چهارمحال و بختیاری

در پژوهش حاضر، پس از گردآوری اطلاعات و تحلیل مضمون داده‌های اولیه، داده‌های به‌دست‌آمده برای پالایش در قالب دو پرسشنامه در اختیار خبرگان قرار گرفت. همچنین، برای غربال‌گری و پالایش نظرات خبرگان، معیارهای شناسایی‌شده در اختیار اعضای پانل دلفی قرار گرفت که با استفاده از طیف لیکرت، به سؤالات پرسشنامه اول پاسخ دادند و در مرحله دوم، ۳۷ عامل بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی استخراج‌شده از تحلیل کیفی تأیید و غربال‌گری شدند. جامعه هدفمند آماری از طریق پرسشنامه مقایسه زوجی که در اختیار آنها قرار گرفت و بر اساس طیف صفر تا چهار که در آن، میزان تأثیرگذاری هر شاخص بر شاخص دیگر مشخص است (صفر= بدون تأثیر، یک= تأثیر خیلی کم، دو= تأثیر کم، سه= تأثیر زیاد و چهار= تأثیر خیلی زیاد)، به هر معیار امتیازی دادند (Thurstone, 2017). در ادامه، برای تعیین وضعیت شاخص‌ها، ابتدا بر اساس طیف جدول ۱، امتیازات داده‌شده به عدد فازی تبدیل شدند و سپس، بر اساس روابط (۱) تا (۳)، میانگین فازی از امتیازات اخذ شده است.

جدول ۱- عبارات زبانی و اعداد دلفی فازی

عبارات زبانی	اعداد فازی مثلثی
خیلی کم	(۰/۰ ,۰/۰ ,۰/۲۵)
کم	(۰/۰ ,۰/۲۵ ,۰/۵)
متوسط	(۰/۲۵ ,۰/۵ ,۰/۷۵)
زیاد	(۰/۵ ,۰/۷۵ ,۱)
خیلی زیاد	(۰/۷۵ ,۱ ,۱)

مأخذ: موسوی و همکاران (Mousavi et al., 2015)؛ میرسپاسی و همکاران (Mirsepasi et al., 2010)

$$a_j = \sum \frac{a_{ij}}{n} \quad (۱)$$

$$b_j = \sum \frac{b_{ij}}{n} \quad (۲)$$

$$c_j = \sum \frac{c_{ij}}{n} \quad (۳)$$

سپس، توسط رابطه (۴)، میانگین فازی به عدد قطعی تبدیل شده و نتایج کلیه محاسبات فازی‌سازی در مرحله اول دلفی در جدول ۲ آمده است. در پژوهش حاضر، عدد آستانه ۰/۷ در نظر گرفته شده و بر این اساس، نوزده معیار تائید و هجده معیار رد شدند. با توجه به نتایج روش دلفی فازی[1]، نوزده

1. fuzzy Delphy method

شاخص در شش مقوله تائید نهایی شدند، گه کدبندی آنها نیز در جدول ۲ آمده است. این نتایج به تعیین شاخص‌های مهم برای بهره‌وری ماشین‌آلات کمک می‌کند.

$$Crisp = \frac{a+b+c}{3} \qquad (۴)$$

جدول ۲- نتایج دلفی فازی (نظرات خبرگان در ارتباط با ماشین‌آلات مورد استفاده در کلیه اراضی و محصولات استان چهارمحال و بختیاری)

معیارها	زیرمعیار	کدهای محوری	امتیاز فازی	امتیاز غیرفازی	وضعیت	کد
طراحی و ساخت ماشین‌آلات کشاورزی	عملکردی	حداقل زمان تلف‌شده در انجام عملیات	(۰.۳۸۳,۰.۶۳۳,۰.۸۱۷)	۰.۶۱۱	رد	–
		بازدهی محصول (میزان سرعت پیشروی در مزرعه)	(۰.۵۶۷,۰.۸۱۷,۰.۹۳۳)	۰.۷۷۲	تائید	A1
		حداکثر بهره‌وری از زمان موجود	(۰.۳۵,۰.۶,۰.۸۳۳)	۰.۵۹۴	رد	–
		طراحی ماشین‌آلات با توان و ظرفیت کاری مناسب	(۰.۶۵,۰.۹,۰.۹۵)	۰.۸۳۳	تائید	A2
		افزایش مقاومت ماشین‌آلات در برابر شرایط محیطی	(۰.۶۵,۰.۹,۱)	۰.۸۵۰	تائید	A3
		بهبود قابلیت تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات	(۰.۵,۰.۷۵,۰.۸۶۷)	۰.۷۰۶	تائید	A4
		انطباق با نیاز و شرایط کشاورزان	(۰.۵۵,۰.۸,۰.۹۵)	۰.۷۶۷	تائید	A5
	فنی	طراحی ساده و قابل نگهداری	(۰.۳۵,۰.۶,۰.۸)	۰.۵۸۳	رد	–
		حداقل زمان تلف‌شده در انجام عملیات	(۰.۵۶۷,۰.۸۱۷,۰.۹۵)	۰.۷۷۸	تائید	B1
		حداکثر بهره‌وری از زمان موجود	(۰.۳,۰.۵۵,۰.۷۸۳)	۰.۵۴۴	رد	–
		سازگاری با محصولات باغی و زراعی	(۰.۵۳۳,۰.۷۸۳,۰.۹۳۳)	۰.۷۵۰	تائید	B2
	متناسب با نیاز و شرایط	دسترسی به خدمات پس از فروش	(۰.۴۱۷,۰.۶۵,۰.۸۵)	۰.۶۳۹	رد	–
		انطباق با توانایی‌های کاربران	(۰.۳۵,۰.۶,۰.۸۱۷)	۰.۵۸۹	رد	–
		تطبیق با مقیاس و ابعاد مزرعه	(۰.۶۱۷,۰.۸۶۷,۰.۹۵)	۰.۸۱۱	تائید	C1
		سازگاری با تنوع محصولات و عملیات	(۰.۵,۰.۷۵,۰.۹)	۰.۷۱۷	تائید	C2
		سازگاری با شرایط محیطی منطقه	(۰.۵۶۷,۰.۸۱۷,۰.۹۶۷)	۰.۷۸۳	تائید	C3
مدیریت و برنامه‌ریزی	کارآیی ماشین‌آلات کشاورزی	شرایط آب و هوایی و توپوگرافی منطقه‌ای	(۰.۳۵,۰.۶,۰.۸)	۰.۵۸۳	رد	–
		نگهداری و تعمیرات به‌موقع	(۰.۵۵,۰.۸,۰.۹۳۳)	۰.۷۶۱	تائید	D1
		بهبود مدیریت و برنامه‌ریزی استفاده از ماشین‌آلات	(۰.۳۸۳,۰.۶۳۳,۰.۸۵)	۰.۶۲۲	رد	–
		تأمین منابع مالی مناسب و افزایش حمایت‌های دولتی	(۰.۴,۰.۶۳۳,۰.۸۱۷)	۰.۶۱۷	رد	–

معیارها	زیرمعیار	کدهای محوری	امتیاز فازی	امتیاز غیرفازی	وضعیت	کد
		ارتقای آموزش و توانمندسازی کاربران ماشین‌آلات	(۰.۵۶۷,۰.۸۱۷,۰.۹۶۷)	۰.۷۸۳	تائید	D2
		میزان تخریب محصول	(۰.۲۵,۰.۴۵,۰.۶۸۳)	۰.۴۶۱	رد	–
		بهره‌وری انرژی، زمان و هزینه	(۰.۵۱۷,۰.۷۵,۰.۹)	۰.۷۲۲	تائید	D3
		بهبود شاخص‌های عملکردی ماشین‌آلات	(۰.۴۳۳,۰.۶۶۷,۰.۸۶۷)	۰.۶۵۶	رد	–
		افزایش تناسب ماشین‌آلات با نیازها و شرایط	(۰.۳۶۷,۰.۶,۰.۸۱۷)	۰.۵۹۴	رد	–
		تسهیل تأمین منابع مالی برای ماشین‌آلات	(۰.۴۳۳,۰.۶۸۳,۰.۸۶۷)	۰.۶۶۱	رد	–
	استفاده مناسب از ماشین‌آلات	زمان‌بندی استفاده از ماشین‌آلات	(۰.۵۱۷,۰.۷۶۷,۰.۹۳۳)	۰.۷۳۹	تائید	E1
		مدیریت استفاده بهینه از ظرفیت	(۰.۵۶۷,۰.۸۱۷,۰.۹۵)	۰.۷۷۸	تائید	E2
		تأمین منابع مالی برای ماشین‌آلات	(۰.۵,۰.۷۵,۰.۹۳۳)	۰.۷۲۸	تائید	E3
		تناسب با نیازهای عملیاتی	(۰.۲۶۷,۰.۵۱۷,۰.۷۶۷)	۰.۵۱۷	رد	–
	تأمین منابع مالی	استفاده از تسهیلات بانکی و وام‌های کشاورزی	(۰.۵,۰.۷۵,۰.۹)	۰.۷۱۷	تائید	F1
		بهره‌گیری از یارانه‌ها و حمایت‌های دولتی	(۰.۴۸۳,۰.۷۱۷,۰.۸۵)	۰.۶۸۳	رد	–
		تناسب هزینه تأمین مالی با توان اقتصادی	(۰.۴۸۳,۰.۷۳۳,۰.۹)	۰.۷۰۶	تائید	F2
		امکان سرمایه‌گذاری جمعی و مشارکتی	(۰.۱۸۳,۰.۳۸۳,۰.۶۳۳)	۰.۴۰۰	رد	–
		امکان تأمین مالی از طریق لیزینگ	(۰.۳,۰.۵۵,۰.۸)	۰.۵۵۰	رد	–
		بهره‌مندی از حمایت‌های دولتی و یارانه‌ها	(۰.۵۵,۰.۸,۰.۹۳۳)	۰.۷۶۱	تائید	F3
		دسترسی به تسهیلات بانکی ارزان‌قیمت	(۰.۳۸۳,۰.۶۳۳,۰.۸۶۷)	۰.۶۲۸	رد	–

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج دنپ فازی

در این گام، از پاسخ‌دهندگان خواسته شد تا میزان تأثیرگذاری معیار i بر معیار j را با استفاده از جدول ۱ نشان دهند. اندیس i به فرد خبره و اندیس j به شاخص تصمیم‌گیری اشاره دارد. برای بررسی معیارها از نظر خبرگان و برای ادغام نظرات خبرگان، از رابطه (۵) استفاده شده است.

$$\widetilde{H}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{r} = \left(\frac{l'_{ij}}{r}, \frac{m'_{ij}}{r}, \frac{u'_{ij}}{r}\right) = (l''_{ij}, m''_{ij}, u''_{ij}) \quad (۵)$$

$$\mathrm{r} = \max_{1\le i\le n}\left(\sum_{j=1}^{n} u'_{ij}, \sum_{i=1}^{n} u'_{ij}\right) \quad (۶)$$

$$T = \lim_{k\to+\infty}(\widetilde{H}^1 \oplus \widetilde{H}^2 \oplus \ldots \oplus \widetilde{H}^k) \quad (۷)$$

مطابق روابط (۶) و (۷) ماتریس میانگین ارتباطات مستقیم را نرمال کرده و آن ماتریس H نامیده شده است. به دیگر سخن، مقدار r برابر با بیشترین مقدار جمع سطری حد بالای ماتریس ادغام‌شده نظرات بوده که در پژوهش حاضر، بیشترین مقدار برابر با ۱۸/۲۵ است. سپس، تک تک درایه‌های جدول ۳ بر این عدد تقسیم شده‌اند. ماتریس ارتباطات مستقیم نهایی و ماتریس نرمال ارتباط مستقیم در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- ماتریس‌های «ارتباط مستقیم» و «ارتباط مستقیم نرمال»

	ماتریس ارتباط مستقیم	ماتریس ارتباط مستقیم نرمال						
	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
A1	(۰٫۰٫۰٫۲۵)	(۰٫۶۶۷٫۰٫۹۱۷٫۱)	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۶۰٫۰۸۵٫۱)	(۰٫۰٫۰٫۰۱۴)	(۰٫۰۳۷٫۰٫۰۵٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۳٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)
A2	(۰٫۷٫۰٫۹۵٫۱)	(۰٫۰٫۰٫۲۵)	(۰٫۶۱۷٫۰٫۸۶۷٫۱)	(۰٫۶۵٫۰٫۹٫۱)	(۰٫۰٫۰٫۰۱۴)	(۰٫۰۳۸٫۰٫۰۵۲٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۴٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۶٫۰٫۰۴۹٫۰٫۰۵۵)
A3	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۶۱۷٫۰٫۸۶۷٫۱)	(۰٫۰٫۰٫۲۵)	(۰٫۶۱۷٫۰٫۸۶۷٫۱)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۴٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰٫۰٫۰۱۴)	(۰٫۰۳۴٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)
A4	(۰٫۶۵٫۰٫۹٫۱)	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۶۶۷٫۰٫۹۱۷٫۱)	(۰٫۰٫۰٫۲۵)	(۰٫۰۳۶٫۰٫۰۲۹٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۷٫۰٫۰۵٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰٫۰٫۰۱۴)
A5	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۶۰٫۰۸۵٫۱)	(۰٫۵۸۳٫۰٫۸۳۳٫۱)	(۰٫۶۱۷٫۰٫۸۶۷٫۱)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۳٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۲٫۰٫۰۴۶٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۴٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)
B1	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۶۵٫۰٫۹٫۱)	(۰٫۶۵٫۰٫۹٫۱)	(۰٫۵۸۳٫۰٫۸۳۳٫۱)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۶٫۰٫۰۴۹٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۶٫۰٫۰۴۹٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۲٫۰٫۰۴۶٫۰٫۰۵۵)
B2	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۵٫۰٫۷۵٫۰٫۹۵)	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۶۶۷٫۰٫۹۱۷٫۱)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۷٫۰٫۰۴۱٫۰٫۰۵۲)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۷٫۰٫۰۵٫۰٫۰۵۵)
C1	(۰٫۶۱۷٫۰٫۸۶۷٫۱)	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۰۳۴٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۳۸٫۰٫۰۴۸)
C2	(۰٫۶۶۷٫۰٫۹۱۷٫۱)	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۶۵٫۰٫۹٫۱)	(۰٫۴۵۰٫۰۷٫۰٫۸۸۳)	(۰٫۰۳۷٫۰٫۰۵٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۶٫۰٫۰۳۹٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۲۵٫۰٫۰۳۸٫۰٫۰۴۸)
C3	(۰٫۶۱۷٫۰٫۸۶۷٫۱)	(۰٫۶۰٫۰۸۵٫۱)	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۴۱۷٫۰٫۶۶۷٫۰٫۸۵)	(۰٫۰۳۴٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۳٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۲۳٫۰٫۰۳۷٫۰٫۰۴۷)
D1	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۶۰٫۰۸۵٫۱)	(۰٫۴۸۳٫۰٫۷۳۳٫۰٫۹۱۷)	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۲۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۳٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۲۶٫۰٫۰۴٫۰٫۰۵)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)
D2	(۰٫۶۱۷٫۰٫۸۶۷٫۱)	(۰٫۵۱۷٫۰٫۷۶۷٫۰٫۹۱۷)	(۰٫۶۵٫۰٫۹٫۱)	(۰٫۶۵٫۰٫۹٫۱)	(۰٫۰۳۴٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۲۸٫۰٫۰۴۲٫۰٫۰۵)	(۰٫۰۳۶٫۰٫۰۳۹٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۶٫۰٫۰۳۹٫۰٫۰۵۵)
D3	(۰٫۶۸۳٫۰٫۹۳۳٫۱)	(۰٫۶۰٫۰۸۵٫۱)	(۰٫۴۸۳٫۰٫۷۳۳٫۰٫۹۵)	(۰٫۴۸۳٫۰٫۷۳۳٫۰٫۹)	(۰٫۰۳۷٫۰٫۰۵۱٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۳٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۲۶٫۰٫۰۴٫۰٫۰۵۲)	(۰٫۰۲۶٫۰٫۰۴٫۰٫۰۴۹)
E1	(۰٫۶۸۳٫۰٫۹۳۳٫۱)	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۶۰٫۰۸۵٫۱)	(۰٫۶۱۷٫۰٫۸۶۷٫۱)	(۰٫۰۳۷٫۰٫۰۵۱٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۳٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۴٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)
E2	(۰٫۶۵٫۰٫۹٫۱)	(۰٫۶۵٫۰٫۹٫۱)	(۰٫۶۶۷٫۰٫۹۱۷٫۱)	(۰٫۴۸۳٫۰٫۷۳۳٫۰٫۹۳۳)	(۰٫۰۳۶٫۰٫۰۲۹٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۶٫۰٫۰۴۹٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۷٫۰٫۰۵٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۲۶٫۰٫۰۴٫۰٫۰۵۱)
E3	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۶۰٫۰۸۵٫۰٫۹۵)	(۰٫۶۱۷٫۰٫۸۶۷٫۱)	(۰٫۶۰٫۰۸۵٫۱)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۳٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۲)	(۰٫۰۳۴٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۳٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)
F1	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۶۱۷٫۰٫۸۶۷٫۱)	(۰٫۶۱۷٫۰٫۸۶۷٫۱)	(۰٫۶۵٫۰٫۹٫۱)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۴٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۴٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۶٫۰٫۰۴۹٫۰٫۰۵۵)
F2	(۰٫۵۵٫۰٫۸٫۱)	(۰٫۶۰٫۰۸۵٫۱)	(۰٫۴۳۳٫۰٫۶۸۳٫۰٫۸۸۳)	(۰٫۶۰٫۰۸۵٫۱)	(۰٫۰۳۰٫۰٫۰۴۴٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۳٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۴۸)	(۰٫۰۲۴٫۰٫۰۳۷٫۰٫۰۴۸)	(۰٫۰۳۳٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)
F3	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۵۵٫۰٫۸٫۰٫۹۵)	(۰٫۶۳۳٫۰٫۸۸۳٫۱)	(۰٫۶۰٫۰۸۵٫۱)	(۰٫۰۳۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۲۰٫۰٫۰۴۴٫۰٫۰۵۲)	(۰٫۰۲۵٫۰٫۰۴۸٫۰٫۰۵۵)	(۰٫۰۳۳٫۰٫۰۴۷٫۰٫۰۵۵)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بعد از محاسبه ماتریس‌های نرمال، با توجه به روابط (۸) تا (۱۰)، ماتریس روابط کل فازی به‌دست آمده است. در این روابط، i ماتریس یکه و H_m ،H_l و H_u هر کدام ماتریس $n \times n$ هستند که به‌ترتیب، درایه‌های آن را عدد پایین، عدد میانی و عدد بالایی اعداد فازی مثلثی ماتریس H تشکیل داده است. ماتریس ارتباطات کامل (TC) در جدول ۴ گزارش شده است.

$$\left[\mathrm{m}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{t}}\right] = \mathrm{H}_{\mathrm{m}} \times (\mathrm{I} - \mathrm{H}_{\mathrm{m}})^{-1} \qquad (۸)$$

$$\left[u_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{t}}\right] = \mathrm{H}_{\mathrm{u}} \times (\mathrm{I} - \mathrm{H}_{\mathrm{u}})^{-1} \qquad (۹)$$

$$\widetilde{D} = \left(\widetilde{D}_i\right)_{n\times 1} = \left[\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}} \widetilde{\mathrm{T}}_{\mathrm{ij}}\right]_{n\times 1} \qquad (۱۰)$$

جدول ۴- ماتریس ارتباطات کامل

	A1	A2	A3	A4	...	F3
A1	(۰.۰۱۹,۰.۰۶۳,۰.۱۹۹)	(۰.۰۵۳,۰.۱۰۹,۰.۲۳۶)	(۰.۰۵۲,۰.۱۰۷,۰.۲۳۶)	(۰.۰۴۹,۰.۱۰۴,۰.۲۳۴)	...	(۰.۰۰۸,۰.۰۳۴,۰.۱۲۴)
A2	(۰.۰۵۶,۰.۱۱۴,۰.۲۳۸)	(۰.۰۱۹,۰.۰۶۲,۰.۱۹۷)	(۰.۰۵۱,۰.۱۰۷,۰.۲۳۶)	(۰.۰۵۲,۰.۱۰۷,۰.۲۳۴)	...	(۰.۰۰۵,۰.۰۲۹,۰.۱۱۹)
A3	(۰.۰۵۳,۰.۱۱۱,۰.۲۴۱)	(۰.۰۵۱,۰.۱۰۸,۰.۲۳۹)	(۰.۰۱۹,۰.۰۶۳,۰.۲)	(۰.۰۵۱,۰.۱۰۶,۰.۲۳۷)	...	(۰.۰۰۷,۰.۰۳۱,۰.۱۲۳)
A4	(۰.۰۵۴,۰.۱۱,۰.۲۳۶)	(۰.۰۵۲,۰.۱۰۷,۰.۲۳۴)	(۰.۰۵۴,۰.۱۰۹,۰.۲۳۴)	(۰.۰۱۸,۰.۰۵۹,۰.۱۹۲)	...	(۰.۰۰۶,۰.۰۳,۰.۱۱۹)
A5	(۰.۰۵۳,۰.۱۱۱,۰.۲۴۱)	(۰.۰۵,۰.۱۰۷,۰.۲۳۹)	(۰.۰۵,۰.۱۰۶,۰.۲۳۹)	(۰.۰۵,۰.۱۰۶,۰.۲۳۷)	...	(۰.۰۰۸,۰.۰۳۵,۰.۱۲۶)
B1	(۰.۰۵۴,۰.۱۱۱,۰.۲۳۹)	(۰.۰۵۴,۰.۱۱,۰.۲۳۷)	(۰.۰۵۴,۰.۱۱,۰.۲۳۷)	(۰.۰۴۹,۰.۱۰۵,۰.۲۳۴)	...	(۰.۰۰۸,۰.۰۳۴,۰.۱۲۴)
B2	(۰.۰۵۴,۰.۱۱۱,۰.۲۳۹)	(۰.۰۴۶,۰.۱۰۲,۰.۲۳۵)	(۰.۰۵۳,۰.۱۰۹,۰.۲۳۷)	(۰.۰۵۳,۰.۱۰۹,۰.۲۳۵)	...	(۰.۰۰۸,۰.۰۳۲,۰.۱۲۳)
C1	(۰.۰۵۲,۰.۱۱,۰.۲۳۷)	(۰.۰۵۲,۰.۱۰۸,۰.۲۳۵)	(۰.۰۵۳,۰.۱۰۹,۰.۲۳۵)	(۰.۰۵۲,۰.۱۰۶,۰.۲۳۳)	...	(۰.۰۰۵,۰.۰۳,۰.۱۱۹)
C2	(۰.۰۵۵,۰.۱۱۳,۰.۲۴)	(۰.۰۵۲,۰.۱۰۹,۰.۲۳۸)	(۰.۰۵۳,۰.۱۱,۰.۲۳۸)	(۰.۰۴۲,۰.۰۹۸,۰.۲۳)	...	(۰.۰۰۸,۰.۰۳۴,۰.۱۲۵)
C3	(۰.۰۵۱,۰.۱۰۶,۰.۲۳۳)	(۰.۰۴۹,۰.۱۰۳,۰.۲۳۱)	(۰.۰۵۱,۰.۱۰۵,۰.۲۳۱)	(۰.۰۳۹,۰.۰۹۲,۰.۲۲۱)	...	(۰.۰۰۹,۰.۰۳۴,۰.۱۲۲)
D1	(۰.۰۵۳,۰.۱۱۱,۰.۲۴۱)	(۰.۰۵۱,۰.۱۰۷,۰.۲۳۹)	(۰.۰۴۵,۰.۱۰۱,۰.۲۳۴)	(۰.۰۵۲,۰.۱۰۷,۰.۲۳۶)	...	(۰.۰۰۶,۰.۰۲۹,۰.۱۲)
D2	(۰.۰۵۳,۰.۱۱۱,۰.۲۴)	(۰.۰۴۷,۰.۱۰۴,۰.۲۳۴)	(۰.۰۵۴,۰.۱۱۱,۰.۲۳۸)	(۰.۰۵۳,۰.۱۰۹,۰.۲۳۵)	...	(۰.۰۰۹,۰.۰۳۳,۰.۱۲۴)
D3	(۰.۰۵۴,۰.۱۱,۰.۲۳۷)	(۰.۰۴۹,۰.۱۰۴,۰.۲۳۵)	(۰.۰۴۳,۰.۰۹۸,۰.۲۳۲)	(۰.۰۴۲,۰.۰۹۶,۰.۲۲۷)	...	(۰.۰۰۶,۰.۰۳,۰.۱۲۱)
E1	(۰.۰۵۷,۰.۱۱۵,۰.۲۴۴)	(۰.۰۵۳,۰.۱۱,۰.۲۴۲)	(۰.۰۵۱,۰.۱۰۹,۰.۲۴۲)	(۰.۰۵۱,۰.۱۰۸,۰.۲۳۹)	...	(۰.۰۰۷,۰.۰۳۴,۰.۱۲۷)
E2	(۰.۰۵۴,۰.۱۱۲,۰.۲۴۲)	(۰.۰۵۳,۰.۱۱,۰.۲۴)	(۰.۰۵۴,۰.۱۱۱,۰.۲۴)	(۰.۰۴۴,۰.۱,۰.۲۳۴)	...	(۰.۰۰۶,۰.۰۲۹,۰.۱۲)
E3	(۰.۰۵۳,۰.۱۱,۰.۲۳۶)	(۰.۰۵,۰.۱۰۶,۰.۲۳۲)	(۰.۰۵۱,۰.۱۰۷,۰.۲۳۵)	(۰.۰۵,۰.۱۰۴,۰.۲۳۲)	...	(۰.۰۰۷,۰.۰۳۳,۰.۱۲۲)
F1	(۰.۰۵۳,۰.۱۱۲,۰.۲۴۲)	(۰.۰۵۲,۰.۱۰۹,۰.۲۴)	(۰.۰۵۲,۰.۱۰۹,۰.۲۴)	(۰.۰۵۳,۰.۱۰۹,۰.۲۳۸)	...	(۰.۰۱۱,۰.۰۳۸,۰.۱۳)
F2	(۰.۰۴۹,۰.۱۰۷,۰.۲۴۳)	(۰.۰۵۱,۰.۱۰۷,۰.۲۴۱)	(۰.۰۴۲,۰.۰۹۹,۰.۲۳۵)	(۰.۰۵,۰.۱۰۶,۰.۲۳۸)	...	(۰.۰۰۵,۰.۰۲۹,۰.۱۲۱)
F3	(۰.۰۵۴,۰.۱۱۳,۰.۲۴۵)	(۰.۰۴۸,۰.۱۰۶,۰.۲۴)	(۰.۰۵۳,۰.۱۱۱,۰.۲۴۳)	(۰.۰۵,۰.۱۰۷,۰.۲۴)	...	(۰.۰۰۳,۰.۰۱۹,۰.۱۱۲)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

برای محاسبه ماتریس ارتباط کامل ابعاد، ماتریس T_D از ماتریس ارتباط کامل معیارها (TC) استخراج شده و از این‌رو، هر درایه ماتریس T_D از میانگین درایه‌های زیرمعیار آن در ماتریس TC حاصل شده است. هر درایه ماتریس T_D، اگر t_{ij} در نظر گرفته شود، هر t''_{ij} از میانگین هر T_C^{ij} حاصل می‌شود، که نتایج آن در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵- ماتریس ارتباطات کامل ابعاد

	A	B	C	D	E	F
A	(۰.۰۴۵,۰.۰۹۹,۰.۲۲۹)	(۰.۰۳۵,۰.۰۸۳,۰.۲)	(۰.۰۴,۰.۰۹۲,۰.۲۱۸)	(۰.۰۲۶,۰.۰۶۴,۰.۱۷)	(۰.۰۱۷,۰.۰۴۹,۰.۱۵۴)	(۰.۰۰۷,۰.۰۳۲,۰.۱۲۳)
B	(۰.۰۵۲,۰.۱۰۹,۰.۲۳۷)	(۰.۰۲۲,۰.۰۶۴,۰.۱۸۳)	(۰.۰۴۴,۰.۰۹۶,۰.۲۲)	(۰.۰۲۶,۰.۰۶۳,۰.۱۶۸)	(۰.۰۱۷,۰.۰۴۸,۰.۱۵۲)	(۰.۰۰۸,۰.۰۳۳,۰.۱۲۴)
C	(۰.۰۵۱,۰.۱۰۶,۰.۲۳۴)	(۰.۰۳۴,۰.۰۸۲,۰.۱۹۷)	(۰.۰۳۲,۰.۰۷۹,۰.۲۰۵)	(۰.۰۲۴,۰.۰۶۱,۰.۱۶۶)	(۰.۰۱۶,۰.۰۴۶,۰.۱۵)	(۰.۰۰۸,۰.۰۳۴,۰.۱۲۴)
D	(۰.۰۵,۰.۱۰۶,۰.۲۳۶)	(۰.۰۳۲,۰.۰۸,۰.۱۹۸)	(۰.۰۴۲,۰.۰۹۴,۰.۲۲)	(۰.۰۱۹,۰.۰۵۴,۰.۱۶۱)	(۰.۰۱۶,۰.۰۴۷,۰.۱۵۲)	(۰.۰۰۷,۰.۰۳۳,۰.۱۲۴)
E	(۰.۰۵۲,۰.۱۰۸,۰.۲۳۸)	(۰.۰۳۳,۰.۰۸۱,۰.۱۹۹)	(۰.۰۴۳,۰.۰۹۶,۰.۲۲۱)	(۰.۰۲۴,۰.۰۶۱,۰.۱۶۹)	(۰.۰۱۳,۰.۰۴۲,۰.۱۴۷)	(۰.۰۰۸,۰.۰۳۳,۰.۱۲۴)
F	(۰.۰۵۱,۰.۱۰۸,۰.۲۴۱)	(۰.۰۳۵,۰.۰۸۴,۰.۲۰۴)	(۰.۰۴۲,۰.۰۹۵,۰.۲۲۳)	(۰.۰۲۵,۰.۰۶۴,۰.۱۷۲)	(۰.۰۱۶,۰.۰۴۹,۰.۱۵۵)	(۰.۰۰۵,۰.۰۲۸,۰.۱۲۱)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در ادامه، بر اساس روابط (۱۱) تا (۱۳)، مقادیر محاسبه شدت و جهت تأثیر، D و R برای هر معیار محاسبه شده است. در این گام، عملیات غیرفازی‌سازی با استفاده از رابطه (۱۳) صورت گرفته و بر این اساس، با توجه به جداول ۶ و ۷، به‌ترتیب، الگوی روابط کلی ماتریس TC و TD، معیارهایی که ماهیت علت دارند (یعنی، از تأثیرگذاری بیشتر برخوردارند) و معیارهایی که معلول هستند (یعنی، از تأثیرپذیری بیشتر برخوردارند) گزارش شده است.

$$\tilde{R} = \left(\tilde{R}_i\right)_{1\times n} = \left[\sum_{j=1}^{n} \tilde{T}_{ij}\right]_{1\times n} \quad (۱۱)$$

$$\text{defuuzy} = \frac{((u-l)+(m-l))}{3} + l \quad (۱۲)$$

$$\left[l_{ij}^{t}\right] = H_l \times (I - H_l)^{-1} \quad (۱۳)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۶- الگوی روابط کل ماتریس TC

معیار	کد	D_i	R_i	فازی (D_i)	فازی (R_i)	$D_i + R_i$	$D_i - R_i$
بازدهی محصول	**A1**	(۰.۲۲۶,۰.۴۹۲,۱.۱۴۱)	(۰.۲۳۵,۰.۵۰۸,۱.۱۵۵)	۰.۶۲۰	۰.۶۳۳	۱.۲۵۳	-۰.۰۱۳
طراحی ماشین‌آلات با توان و ظرفیت کاری مناسب	**A2**	(۰.۲۳,۰.۴۹۸,۱.۱۴۱)	(۰.۲۲۵,۰.۴۹۲,۱.۱۴۵)	۰.۶۲۳	۰.۶۲۱	۱.۲۴۴	۰.۰۰۲
افزایش مقاومت ماشین‌آلات در برابر شرایط محیطی	**A3**	(۰.۲۲۵,۰.۴۹۴,۱.۱۵۶)	(۰.۲۲۵,۰.۴۹۳,۱.۱۴۵)	۰.۶۲۵	۰.۶۲۱	۱.۲۴۶	۰.۰۰۴
بهبود قابلیت تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات	**A4**	(۰.۲۳۱,۰.۴۹۴,۱.۱۳)	(۰.۲۲,۰.۴۸۲,۱.۱۳۲)	۰.۶۱۸	۰.۶۱۱	۱.۲۳۰	۰.۰۰۷
انطباق با نیاز و شرایط کشاورزان	**A5**	(۰.۲۲۳,۰.۴۹۴,۱.۱۵۷)	(۰.۲۲۸,۰.۴۹۷,۱.۱۴۷)	۰.۶۲۵	۰.۶۲۴	۱.۲۴۹	۰.۰۰۰
حداقل زمان تلف‌شده در انجام عملیات	**B1**	(۰.۰۴۷,۰.۱۳۱,۰.۳۶۸)	(۰.۰۴۲,۰.۱۲۵,۰.۳۶۲)	۰.۱۸۲	۰.۱۷۶	۰.۳۵۹	۰.۰۰۶
سازگاری با محصولات باغی و زراعی	**B2**	(۰.۰۴۲,۰.۱۲۶,۰.۳۶۵)	(۰.۰۴۸,۰.۱۳۲,۰.۳۷۱)	۰.۱۷۸	۰.۱۸۳	۰.۳۶۱	-۰.۰۰۶
تطبیق با مقیاس و ابعاد مزرعه	**C1**	(۰.۰۹۸,۰.۲۴۱,۰.۶۱۵)	(۰.۰۹۷,۰.۲۳۸,۰.۶۱۳)	۰.۳۱۸	۰.۳۱۶	۰.۶۳۴	۰.۰۰۲
سازگاری با تنوع محصولات و عملیات	**C2**	(۰.۱۰۱,۰.۲۴۵,۰.۶۲۶)	(۰.۰۹۳,۰.۲۳۵,۰.۶۱۴)	۰.۳۲۴	۰.۳۱۴	۰.۶۳۸	۰.۰۱۰
سازگاری با شرایط محیطی منطقه	**C3**	(۰.۰۹۱,۰.۲۲۷,۰.۶۰۲)	(۰.۱,۰.۲۴,۰.۶۱۶)	۰.۳۰۷	۰.۳۱۹	۰.۶۲۵	-۰.۰۱۲
نگهداری و تعمیرات به‌موقع	**D1**	(۰.۰۵۹,۰.۱۶۳,۰.۴۸۷)	(۰.۰۵۵,۰.۱۵۷,۰.۴۷۶)	۰.۲۳۶	۰.۲۲۹	۰.۴۶۵	۰.۰۰۷
ارتقای آموزش و توانمندسازی کاربران ماشین‌آلات	**D2**	(۰.۰۶۴,۰.۱۶۹,۰.۴۸۷)	(۰.۰۶۲,۰.۱۶۸,۰.۴۹)	۰.۲۴۰	۰.۲۴۰	۰.۴۸۰	۰.۰۰۰
بهره‌وری انرژی، زمان و هزینه	**D3**	(۰.۰۵۲,۰.۱۵۵,۰.۴۷۶)	(۰.۰۵۷,۰.۱۶۲,۰.۴۸۴)	۰.۲۲۸	۰.۲۳۴	۰.۴۶۲	-۰.۰۰۷
زمان‌بندی استفاده از ماشین‌آلات	**E1**	(۰.۰۴,۰.۱۲۹,۰.۴۴۸)	(۰.۰۳۷,۰.۱۲۳,۰.۴۳۶)	۰.۲۰۵	۰.۱۹۹	۰.۴۰۴	۰.۰۰۷
مدیریت استفاده بهینه از ظرفیت	**E2**	(۰.۰۳۸,۰.۱۲۴,۰.۴۴۱)	(۰.۰۳۹,۰.۱۲۷,۰.۴۴۴)	۰.۲۰۱	۰.۲۰۳	۰.۴۰۴	-۰.۰۰۲
تأمین منابع مالی برای ماشین‌آلات	**E3**	(۰.۰۳۵,۰.۱۲۱,۰.۴۳)	(۰.۰۳۶,۰.۱۲۴,۰.۴۳۹)	۰.۱۹۵	۰.۲۰۰	۰.۳۹۵	-۰.۰۰۴
استفاده از تسهیلات بانکی و وام‌های کشاورزی	**F1**	(۰.۰۱۹,۰.۰۸۹,۰.۳۶۶)	(۰.۰۱۶,۰.۰۸۳,۰.۳۶۴)	۰.۱۵۸	۰.۱۵۵	۰.۳۱۳	۰.۰۰۴
تناسب هزینه تأمین مالی با توان اقتصادی	**F2**	(۰.۰۱,۰.۰۷۳,۰.۳۵۲)	(۰.۰۱۵,۰.۰۸۳,۰.۳۶۱)	۰.۱۴۵	۰.۱۵۳	۰.۲۹۸	-۰.۰۰۸
بهره‌مندی از حمایت‌های دولتی و یارانه‌ها	**F3**	(۰.۰۱۹,۰.۰۹,۰.۳۷)	(۰.۰۱۸,۰.۰۸۶,۰.۳۶۳)	۰.۱۶۰	۰.۱۵۶	۰.۳۱۵	۰.۰۰۴

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۷- الگوی روابط کلی ماتریس TD

معیار	کد	D_i	R_i	فازی(D_i)	فازی(R_i)	$D_i + R_i$	$D_i - R_i$
عملکردی	A	(۰.۱۷۱,۰.۴۱۹,۱.۰۹۴)	(۰.۳,۰.۶۳۶,۱.۴۱۴)	۰.۵۶۱	۰.۷۸۳	۱.۳۴۴	−۰.۲۲۲
فنی	B	(۰.۱۷,۰.۴۱۴,۱.۰۸۴)	(۰.۱۹۱,۰.۴۷۳,۱.۱۸۱)	۰.۵۵۶	۰.۶۱۵	۱.۱۷۱	−۰.۰۵۹
متناسب با نیاز و شرایط	C	(۰.۱۶۵,۰.۴۰۸,۱.۰۷۵)	(۰.۲۴۵,۰.۵۵۲,۱.۳۰۷)	۰.۵۴۹	۰.۷۰۱	۱.۰۵۶	−۰.۱۵۲
کارآیی ماشین‌آلات کشاورزی	D	(۰.۱۶۷,۰.۴۱۳,۱.۰۹)	(۰.۱۴۴,۰.۳۶۷,۱.۰۰۵)	۰.۵۵۷	۰.۵۰۶	۰.۹۸۹	۰.۰۵۱
استفاده مناسب از ماشین‌آلات	E	(۰.۱۷۱,۰.۴۲۱,۱.۰۹۸)	(۰.۰۹۴,۰.۲۸۱,۰.۹۰۹)	۰.۵۶۳	۰.۴۲۸	۱.۰۷۲	۰.۱۳۵
تأمین منابع مالی	F	(۰.۱۷۴,۰.۴۲۸,۱.۱۱۶)	(۰.۰۴۴,۰.۱۹۳,۰.۷۴۱)	۰.۵۷۳	۰.۳۲۶	۰.۸۹۸	۰.۲۴۷

مأخذ: یافته‌های پژوهش

با توجه به جدول ۷، می‌توان پی برد که معیار اصلی و تأثیرگذار در این نمودار، معیار تأمین منابع مالی F است، از طرف دیگر، معیار عملکردی A بیشترین تأثیرپذیری را دارد و هرگونه تغییر در سایر معیارها بر وضعیت این معیار اثرگذار خواهد بود. از آن گذشته، روابطی دوطرفه نیز میان معیارهای تأثیرپذیر وجود دارد و نشان‌دهنده تأثیر متقابل این معیارها بر یکدیگر است.

نرمال‌سازی ماتریس ارتباط کامل ابعاد (T_D^{∞})

هدف، در این گام، نرمال‌سازی ماتریس جدول ۳ است. برای نرمال‌سازی، ابتدا تفکیک هر کران این ماتریس به سه کران پایین، میانی، و بالا صورت گرفته و سپس،کران هر درایه بر مجموع سطری که این درایه در آن سطر قرار دارد، تقسیم شده است؛ انگاه جای سطر و ستون عوض شده، که نتایج آن در جدول ۸ آمده است.

جدول ۸- ماتریس نرمال ارتباط کامل ابعاد $T_D^{\infty} = (TDl, TDm, TDu)$

	A	B	C	D	E	F
A	(۰.۲۶۵,۰.۲۳۶,۰.۲۰۹)	(۰.۳۰۸,۰.۲۶۳,۰.۲۱۸)	(۰.۳۰۶,۰.۲۶,۰.۲۱۷)	(۰.۲۹۸,۰.۲۵۶,۰.۲۱۶)	(۰.۳۰۱,۰.۲۵۷,۰.۲۱۷)	(۰.۲۹۱,۰.۲۵۳,۰.۲۱۶)
B	(۰.۲۰۴,۰.۱۹۸,۰.۱۸۳)	(۰.۱۳۲,۰.۱۵۵,۰.۱۶۹)	(۰.۲۰۸,۰.۲۰۱,۰.۱۸۴)	(۰.۱۸۹,۰.۱۹۲,۰.۱۸۱)	(۰.۱۹۱,۰.۱۹۳,۰.۱۸۱)	(۰.۲,۰.۱۹۶,۰.۱۸۳)
C	(۰.۲۳۶,۰.۲۲,۰.۲)	(۰.۲۵۹,۰.۲۳۲,۰.۲۰۳)	(۰.۱۹۵,۰.۱۹۴,۰.۱۹)	(۰.۲۵۵,۰.۲۲۸,۰.۲۰۲)	(۰.۲۵۲,۰.۲۲۷,۰.۲۰۲)	(۰.۲۴۳,۰.۲۲۳,۰.۲)
D	(۰.۱۵۱,۰.۱۵۲,۰.۱۵۵)	(۰.۱۵۴,۰.۱۵۳,۰.۱۵۵)	(۰.۱۴۷,۰.۱۴۹,۰.۱۵۴)	(۰.۱۱۶,۰.۱۳۱,۰.۱۴۸)	(۰.۱۳۷,۰.۱۴۶,۰.۱۵۴)	(۰.۱۴۳,۰.۱۵,۰.۱۵۴)
E	(۰.۱۰۱,۰.۱۱۷,۰.۱۴۱)	(۰.۰۹۹,۰.۱۱۶,۰.۱۴)	(۰.۰۹۵,۰.۱۱۳,۰.۱۳۹)	(۰.۰۹۷,۰.۱۱۴,۰.۱۳۹)	(۰.۰۷۳,۰.۰۹۹,۰.۱۳۳)	(۰.۰۹۲,۰.۱۱۴,۰.۱۳۹)
F	(۰.۰۴۳,۰.۰۷۷,۰.۱۱۳)	(۰.۰۴۸,۰.۰۸۱,۰.۱۱۵)	(۰.۰۴۸,۰.۰۸۲,۰.۱۱۵)	(۰.۰۴۴,۰.۰۷۹,۰.۱۱۴)	(۰.۰۴۵,۰.۰۷۸,۰.۱۱۳)	(۰.۰۳۱,۰.۰۶۶,۰.۱۰۸)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

استخراج اوزان و اولویت‌بندی عوامل

نخست، ماتریس T_D^{∞} را در ماتریس W_{ij} ضرب شده، که ماتریس به‌دست‌آمده «ماتریس موزون» نامیده شده است. سپس، مطابق رابطه (۱۲)، سوپرماتریس موزون آنقدر به توان اعداد فرد متوالی رسانده می‌شود تا تمامی اعداد هر سطر همگرا شوند که در پژوهش حاضر، در توان ۵ به همگرایی رسیده و این ماتریس حاصل نیز «سوپرماتریس حددار» نامیده شده است. در این گام، با استفاده از رابطه (۱۳)، اوزانی که از سوپرماتریس حددار استخراج شده، تبدیل به عدد قطعی شده است. با توجه به جدول ۹، در بین زیرمعیارها، زیرمعیار عملکردی با وزن ۰/۳۸۳۲ رتبه اول، زیرمعیار متناسب با نیاز و شرایط با وزن ۰/۱۵۰۲ رتبه دوم، و زیرمعیار کارآیی ماشین‌آلات کشاورزی با وزن ۰/۱۴۸۴ رتبه سوم را کسب کرده‌اند. در بین کدهای محوری نیز طراحی ماشین‌آلات با توان و ظرفیت کاری مناسب با وزن ۰/۰۹۴۲ رتبه اول، بهبود قابلیت تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات با وزن ۰/۰۹۱۵ رتبه دوم، و انطباق با نیاز و شرایط کشاورزان با وزن ۰/۰۷۳۱ رتبه سوم را به خود اختصاص داده‌اند.

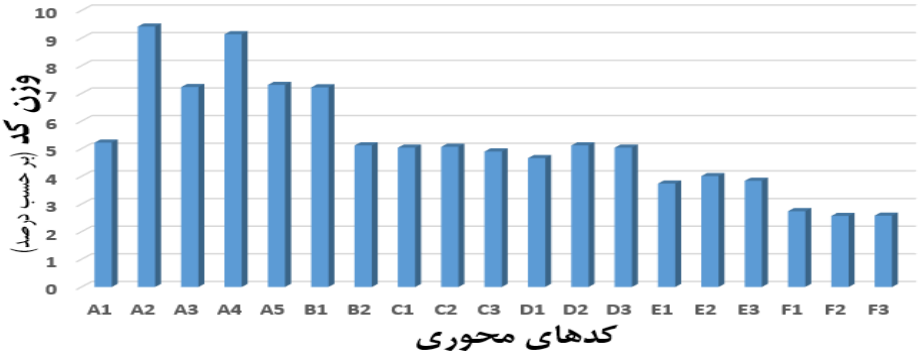
جدول ۹- اوزان نسبی و نهایی عوامل

معیارها	زیرمعیار	وزن زیرمعیار	کدهای محوری	وزن کدها	رتبه نهایی کدها
طراحی و ساخت ماشین‌آلات کشاورزی	عملکردی	۰.۳۸۳۲۴	بازدهی محصول	۰.۰۵۲۱۹۸	۶
			طراحی ماشین‌آلات با توان و ظرفیت کاری مناسب	۰.۰۹۴۱۶۲	۱
			افزایش مقاومت ماشین‌آلات در برابر شرایط محیطی	۰.۰۷۲۳۱۴	۴
			بهبود قابلیت تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات	۰.۰۹۱۴۵۵	۲
			انطباق با نیاز و شرایط کشاورزان	۰.۰۷۳۱۱۲	۳
	فنی	۰.۱۲۳۴۴۴	حداقل زمان تلف‌شده در انجام عملیات	۰.۰۷۲۲۲۸	۵
			سازگاری با محصولات باغی و زراعی	۰.۰۵۱۲۱۶	۸
	متناسب با نیاز و شرایط	۰.۱۵۰۱۶۲	تطبیق با مقیاس و ابعاد مزرعه	۰.۰۵۰۴۱۴	۱۱
			سازگاری با تنوع محصولات و عملیات	۰.۰۵۰۷۷۴	۹
			سازگاری با شرایط محیطی منطقه	۰.۰۴۸۹۷۵	۱۲

معیارها	زیرمعیار	وزن زیرمعیار	کدهای محوری	وزن کدها	رتبه نهایی کدها
مدیریت و برنامه‌ریزی مدیریت	کارآیی ماشین‌آلات کشاورزی	۰.۱۴۸۳۸۷	نگهداری و تعمیرات به‌موقع	۰.۰۴۶۶۵۶	۱۳
			ارتقای آموزش و توانمندسازی کاربران ماشین‌آلات	۰.۰۵۱۲۶۵	۷
			بهره‌وری انرژی، زمان و هزینه	۰.۰۵۰۴۶۶	۱۰
	استفاده مناسب از ماشین‌آلات	۰.۱۱۵۸۹۷	زمان‌بندی استفاده از ماشین‌آلات	۰.۰۳۷۴۵۲	۱۶
			مدیریت استفاده بهینه از ظرفیت	۰.۰۴۰۰۷۲	۱۴
			تأمین منابع مالی برای ماشین‌آلات	۰.۰۳۸۳۷۲	۱۵
	تأمین منابع مالی	۰.۰۷۸۸۶۹	استفاده از تسهیلات بانکی و وام‌های کشاورزی	۰.۰۲۷۳۸۸	۱۷
			تناسب هزینه تأمین مالی با توان اقتصادی	۰.۰۲۵۶۹۶	۱۹
			بهره‌مندی از حمایت‌های دولتی و یارانه‌ها	۰.۰۲۵۷۸۵	۱۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همان‌گونه که از نتایج جدول ۹ برمی‌آید، زیرمعیار عملکردی با بیشترین وزنی که به خود اختصاص داده است، نشان می‌دهد که ویژگی‌های عملکردی ماشین‌آلات کشاورزی مانند بهره‌وری انرژی، کاهش هزینه‌ها، و افزایش سرعت و دقت عملیات از عوامل مهم در بهبود بهره‌وری ماشین‌آلات است. با طراحی و انتخاب ماشین‌آلات بر پایهٔ همین ویژگی‌ها، می‌توان به ارتقای عملکرد کشاورزی کمک کرد. همچنین، زیرمعیار متناسب با نیاز و شرایط نشان می‌دهد که تناسب ماشین‌آلات با نیازهای عملیاتی و شرایط محیطی منطقه از جمله عوامل مهم در افزایش بهره‌وری است. از این‌رو، با طراحی و انتخاب ماشین‌آلات متناسب با نیازها و ویژگی‌های منطقه نیز می‌توان به بهبود عملکرد آنها در عملیات کشاورزی کمک کرد. شکل ۳ درصد وزن زیرمعیارهای محورهای اصلی شناسایی‌شده را نشان می‌دهد. ترتیب قرار گرفتن این زیرمعیارها نشان‌دهنده اولویت، اهمیت، و ضرورت پیگیری آنها برای دستیابی به اهداف بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی در استان چهارمحال و بختیاری است.



مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۳- وزن و رتبه نهایی کدهای محوری

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

برای بهبود بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی، شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر بر بهره‌وری در ماشین‌آلات به‌منظور پیگیری در مناطق مختلف با شرایط اقلیمی و توپوگرافی خاص ضروری است. در پژوهش حاضر، پس از گردآوری اطلاعات و تحلیل مضمون داده‌های اولیه، ۳۷ معیار مؤثر در بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی در منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند و پس از غربال‌گری و پالایش این معیارها، نوزده معیار شامل دو دسته «طراحی و ساخت ماشین‌آلات کشاورزی» و «مدیریت و برنامه‌ریزی» به کمک روش دلفی شناسایی و نهایی‌سازی شدند؛ آنگاه تعیین شاخص اول با شش زیرمعیار (شامل زیرمعیارهای عملکردی، فنی، و متناسب با نیاز و شرایط) و شاخص دوم با سه زیرمعیار (شامل زیرمعیارهای کارآیی ماشین‌آلات کشاورزی، استفاده مناسب از ماشین‌آلات، و تأمین منابع مالی) انجام پذیرفت.

در ادامه، به‌کمک روش دنپ فازی، این زیرمعیارها وزن‌دهی و رتبه‌بندی شدند و ارتباط کلی میان آنها مشخص شده و سرانجام، اهمیت و اولویت پیگیری این زیرمعیارها برای رسیدن به اهداف بهره‌وری ماشین‌آلات در منطقه مورد مطالعه تعیین شده است. نتایج روش دنپ فازی نشان داد که زیرمعیارهای دسته مدیریت و برنامه‌ریزی شامل تأمین منابع مالی، استفاده مناسب از ماشین‌آلات، و کارآیی ماشین‌آلات کشاورزی از نوع مستقل و دارای وابستگی کم و هدایت بالا به‌شمار می‌روند؛ به دیگر سخن، تأثیرگذاری بالا از ویژگی‌های این زیرمعیارهاست. از سوی دیگر، زیرمعیارهای دسته طراحی و ساخت ماشین‌آلات شامل زیرمعیارهای عملکردی، فنی، و متناسب با نیاز و شرایط از نوع وابسته‌اند. این زیرمعیارها وابستگی قوی و هدایت ضعیف دارند و اصولاً از تأثیرپذیری بالا برخوردارند. در نتیجه،

زیرمعیارهای گروه علت اهمیت ویژه دارند و برای بهره‌وری بیشتر ماشین‌آلات کشاورزی در منطقه مورد مطالعه، لازم است که بیشتر مورد توجه مدیران، بهره‌برداران، و متخصصان حوزه ماشین‌آلات کشاورزی قرار گیرند. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند نقشه راهی برای صاحب‌نظران حوزه ماشین‌آلات کشاورزی در زمینه طراحی، ساخت، و مدیریت و برنامه‌ریزی ماشین‌آلات کشاورزی در استان چهارمحال و بختیاری باشد تا بیشترین بهره‌وری از ماشین‌آلات کشاورزی تأمین و بهترین بازده عملیاتی در اراضی کشاورزی این استان فراهم شود.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، نکاتی برای ادامه کار به‌شرح زیر پیشنهاد می‌شود:

- طراحی و تولید ماشین‌آلات کشاورزی با فناوری‌های نوین و متناسب با شرایط اقلیمی،
- تقویت نمایندگی‌های تخصصی برای تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات توسط بخش‌های دولتی و خصوصی،
- آموزش بهتر و تخصصی‌تر به بهره‌برداران برای انتخاب و استفاده صحیح از ماشین‌آلات کشاورزی،
- ترویج کار گروهی و گسترش تعاونی‌های خدمات مکانیزاسیون،
- به اشتراک‌گذاری نتایج پژوهش‌ها با بخش صنعت ماشین‌آلات کشاورزی، و
- بررسی روابط کلی و رویکرد استقرایی در تحقیقات ماشین‌آلات کشاورزی.

منابع

1. A'lai Boroujeni, P. (2021). Overcoming production barriers and improving the business environment in the agricultural sector: challenges related to the distribution system of agricultural machinery (tractors and combines). Report of the Research Center of the Islamic Consultative Assembly. [In Persian]
2. Banaeian, N., & Zangeneh, M. (2016). Estimation of the optimal lifespan of tractors and agricultural machinery based on productivity indices in potato farms in Hamadan province. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 42(2), 197-204.
3. BLS (2021). Productivity and costs. U.S. Department of Labor, Bureau of Labor Statistics (BLS). Available at https://www.bls.gov/lpc.
4. Gholizadeh, H., Nasabian, S., Moghaddasi, R., & Amini, A. (2017). Assessing changes in productivity of total agricultural production factors in Iran: application of productivity indicators. *Economic Strategy*, 6(22), 73-103. [In Persian]

5. Ghalehzadeh, H., Nasabian, S., Moghaddassi, R., & Amini, A. (2017). Evaluation of changes in total factor productivity in agriculture in Iran: application of productivity indices. *Journal of Economic Strategy*, 6(22), 6-9.
6. Hosseinzadeh, A., Mamari, M., Ghorbani, A., Mostafazadeh, R., & Mofidi Chalan, M. (2024). Identification and ranking of infrastructure indices based on services using TOPSIS in rural districts of northern Ardabil province. *Strategies for Rural Development*, 11(1), 1-21. [In Persian]
7. Kusz, D. (2018). Level of investment expenditure versus changes in technical labor equipment and labor efficiency in agriculture in Poland. Proceedings of the International Scientific Conference "Economic Sciences for Agribusiness and Rural Economy".
8. MAJ (2022). Annual performance report 2022: Use of mechanized equipment in planting and harvesting horticultural and agricultural products (pp.15-20). Ministry of Agriculture-Jahad (MAJ), Organization of Chaharmahal and Bakhtiari Province, Shahre Kord County, Iran. [In Persian]
9. MAJ (2023). Farmers' use of modern machinery. Ministry of Agriculture-Jahad (MAJ), Deupty of Statistics, Information and Communication Technology Center, Tehran. [In Persian]
10. MAJ (2025). Agricultural and horticultural featured products of Chaharmahal and Bakhtiari Province: agricultural landscape of Chaharmahal and Bakhtiari province. Ministry of Agriculture-Jahad (MAJ), Organization of Chaharmahal and Bakhtiyari Province, Shahre Kord County, Iran. Available at https://chb.maj.ir/%D8%B3%DB%8C%D9%85%D8%A7-1. [In Persian]
11. Mirsepasi, N., Tolouei Ashlaghi, A., Memarzadeh, Gh., & Peydaei, M. (2010). Designing a model for human resource excellence in Iranian government organizations using fuzzy Delphi technique. *Management Future Studies Journal*, 21(4), 1-22. [In Persian]
12. Mohammadi, G., Abedini, S., & Rasoulzadeh Aghdam, S. (2021). Evaluation of factors influencing the acceptance of new agricultural technologies with geographic expansion of arable lands: a challenge for productivity. *Geographic Space*, 21(76), 135-155. DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.10.8. [In Persian]

13. Mousavi, P. , Yousefi Zenouz, R., & Hasanpoor, A. (2015). Identifying Organizational information security risks using fuzzy Delphi. *Journal of Information Technology Management*, *7*(1), 163-184. DOI: 10.22059/jitm.2015.53555. [In Persian]
14. Rathnayake, A., Murguia, D., & Middleton, C. (2024). Measurement of construction productivity: state of the practice in the UK. Proceedings of Construction Research Congress 2024, pp. 445-454.
15. Razmjou, M., & Rahmati, M. (2020). The role of government in improving productivity. Proceedings of the Fifth International Conference on New Research in Management, Accounting and Humanities in the Third Millennium, Karaj. [In Persian]
16. Semin, A. N., Yalunina, E. N., & Dyachkova, S. P. (2020). Digitalization of agriculture as a priority direction of increasing management efficiency of agricultural organizations. E3S Web of Conferences (Article 04015), EDP Sciences, 176. DOI: 10.1051/e3sconf/202017604015.
17. Thurstone, L. L. (2017). A law of comparative judgment. Scaling, Routledge.
18. Vahedi, J., Dashti, G., & Saei, F. (2022). The impact of educational-extension courses on the technical efficiency of dryland wheat farms in Ahar County. *Iranian Journal of Agricultural Extension and Education Science*, 18, 251-259. [In Persian]
19. WEF (2021). Global competitiveness report 2020-2021. World Economic Forum (WEF). Available at https://www.weforum.org/reports/the-global-competitivenessreport-2020.
20. Yanzina, E., Yanzin, V., Mamai, O., & Parsova, V. (2019). Improving efficiency of agricultural machinery exploitation as a factor of optimization use of agricultural land. *Journal of Engineering for Rural Development*, 18(4), 117.
21. Yang, S., & Li, W. (2022). The impact of socialized agricultural machinery services on land productivity: evidence from China. *Agriculture*, 12(12), 2072. DOI: 10.3390/agriculture12122072.