Iranian Journal of Biosystem Engineering
Homepage: http://ijbse.ut.ac.ir
ISNN: 2423-7841

Determining of the Most Suitable Method of Planting Triticale as a Second Crop in the Paddy Fields of Guilan Province Using the Analytic Hierarchy Process

Roohollah Yousefi[1]✉ | Afsaneh Berenjkar Gorabi[2] | Fatemeh Alipour Mobaraki[3]

1. Corresponding Author, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran. E-mail: r.yousefi@areeo.ac.ir
2. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran. E-mail: berenjkar.guilan@gmail.com
3. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran. E-mail: apghazal@yahoo.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Dec. 26, 2025

Revised: March. 31, 2026

Accepted: May. 4, 2026

Published online: Summer 2026

Keywords:
Analytical Hierarchy Process,
Effective field capacity,
Second Crop,
Triticale,
Water and drainage management.

ABSTRACT

Guilan province, with its extensive paddy fields, has significant potential for developing second cropping and increasing land productivity. Triticale, as a forage crop with high tolerance to cold, drought, salinity, and poor or low fertility soils, is a suitable option for autumn planting after rice harvest; however, the lack of efficient technical methods for its cultivation in paddy fields remains a major challenge.This study evaluated five triticale planting methods based on nine technical, operational, and economic criteria, including appropriate sowing depth, uniformity of seed distribution, water and drainage management, applicability across different field plots, ergonomics and ease of operation, effective field capacity, labor requirements, energy consumption, and operational costs.The criteria were weighted and the planting methods prioritized using the Analytic Hierarchy Process (AHP) in EXPERT CHOICE 11 software, and data were collected from 30 experts and progressive farmers. The results showed that water and drainage management, with a weight of 0.241, was the most important criterion. Among the triticale planting methods (options), broadcasting seeds using a centrifugal fertilizer spreader plus a furrower received the highest final weight of 0.337 and was identified as the most suitable planting method. Seed broadcasting with a fertilizer spreader plus a disc ranked second, while fully manual methods, especially hand sowing, with a weight of 0.083—had the lowest priority. The inconsistency ratio was below 0.1, indicating the reliability of the results. The findings of this study can support farmers in making informed decisions regarding the adoption and expansion of triticale cultivation after rice.

Cite this article: Yousefi, R., Berenjkar Gorabi, A., & Alipour Mobaraki, F. (2026). Determining of the Most Suitable Method of Planting Triticale as a Second Crop in the Paddy Fields of Guilan Province Using the Analytic Hierarchy Process, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 57 (2), 63-80. https://doi.org/10.22059/ijbse.2026.408827.665633

© The Author(s).
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2026.408827.665633

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Guilan Province, Iran, has extensive rice-growing areas, making the efficient use of paddy fields through second cropping a key strategy for increasing agricultural productivity. However, many paddy fields remain fallow after rice harvest due to the absence of appropriate technical guidelines for waterlogged conditions.

Triticale, a stress-tolerant and high-yielding forage crop, is a suitable candidate for second cropping in paddy systems because of its favorable planting window and establishment after rice harvest. Nevertheless, challenges such as variable soil moisture, fragmented fields, and machinery constraints complicate the selection of an optimal planting method.

As planting methods strongly influence productivity, resource use, and operational efficiency, this study employed the Analytic Hierarchy Process (AHP) to identify and prioritize the most appropriate triticale planting method for second cropping in Guilan's paddy fields based on local conditions.

Method

Five triticale planting methods—hand sowing, hand spreading combined with disk harrow or furrower, and centrifugal fertilizer spreader combined with disk harrow or furrower—were evaluated using nine technical, operational, and economic criteria. A three-level Analytic Hierarchy Process (AHP) model was developed, and pairwise comparisons were conducted using Saaty's 9-point scale based on expert judgments from 30 respondents, with consistency ratios below 0.1.

Field measurements were used to estimate effective field capacity, fuel consumption, energy inputs, and operational costs. Energy and cost analyses included both fixed and variable components. All weighting, prioritization, and sensitivity analyses were performed using Expert Choice software.

Results

The results revealed clear differences among planting methods across technical, operational, and economic criteria. Water and drainage management received the highest weight (0.241), highlighting its critical role in Guilan's water-retentive paddy soils, followed by effective field capacity (0.139), energy consumption (0.122), operational cost (0.121), and labor requirement (0.115). The overall consistency ratio (0.006) indicated high reliability of expert judgments.

Disk-based methods achieved superior sowing depth accuracy (0.283), while the highest seed distribution uniformity was observed for the centrifugal spreader combined with disk harrow (0.337) and furrower (0.309). Furrower-based methods performed best in water and drainage management (0.336). In operational terms, hand sowing showed the greatest adaptability to irregular fields (0.447), whereas the centrifugal spreader + furrower provided the best ergonomics (0.398). The highest effective field capacity was obtained with the centrifugal spreader + disk harrow (0.452).

Although mechanized methods required higher energy input and operational costs, they significantly outperformed manual methods in overall efficiency, seed uniformity, and water management. AHP synthesis identified the centrifugal fertilizer spreader combined with a furrower as the optimal planting method, offering the most balanced performance under paddy field conditions.

Conclusions

The Analytic Hierarchy Process (AHP) identified the centrifugal fertilizer spreader combined with a furrower as the most suitable method for triticale cultivation as a second crop in Guilan's paddy fields (weight = 0.337). This method showed superior overall performance by effectively integrating technical, operational, and economic criteria, particularly in seed distribution uniformity, water and drainage management, ergonomics, and field efficiency. The centrifugal spreader combined with a disk harrow ranked second (weight = 0.262), excelling in sowing depth and seed uniformity but showing weaker performance in operational and economic aspects. Manual methods, especially hand sowing, ranked lowest (weight = 0.083) due to limitations in uniformity, efficiency, and resource management. Sensitivity analysis revealed that water and drainage management was the most influential criterion, followed by effective field capacity, energy consumption, and operational costs. Overall, the results demonstrate that mechanized systems, despite higher energy use and costs, provide superior agronomic and operational performance. Adoption of a fertilizer spreader combined with a furrower is therefore recommended to improve establishment quality and productivity of second-crop triticale in Guilan's paddy fields.

Funding

This research was conducted with the financial and moral support of the Rice Research Institute of Iran.

Author Contribution

Roohollah Yousefi: conceptualization and conducting the research, data collection, statistical data analysis, analysis and interpretation of information and results, preparation of the original draft of the manuscript, review and verification of the results, revision, editing, and finalization of the manuscript.

Afsaneh Berenjkar Gorabi: data collection.

Fatemeh Alipour Mobaraki: data collection.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

No artificial intelligence tools were used in this research

Data availability statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to express their sincere gratitude to the Rice Research Institute of Iran for their financial support in conducting this research.

The authors would like to thank the esteemed reviewers for providing structural and scientific feedback.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and any form of misconduct.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

مجله مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۵۷، شماره ۲ شاپا: ۷۸۴۱-۲۴۲۳
Homepage: http://ijbse.ut.ac.ir

تعیین مناسب‌ترین روش کاشت تریتیکاله به عنوان کشت دوم در اراضی شالیزاری استان گیلان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

روح اله یوسفی[۱] ✉| افسانه برنجکار گورابی[۲]| فاطمه مبارکی علیپور[۳]

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. رایانامه: r.yousefi@areeo.ac.ir

۲. موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. رایانامه: berenjkar.guilan@gmail.com

۳. بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. رایانامه: apghazal@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۱/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۲/۱۴
تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۵

واژه‌های کلیدی:
تریتیکاله،
ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر،
کشت دوم،
مدیریت آب و زهکشی،
تحلیل سلسله مراتبی.

چکیده

استان گیلان با برخورداری از اراضی گسترده شالیزاری، ظرفیت قابل توجهی برای توسعه کشت دوم و افزایش بهره‌وری زمین دارد. تریتیکاله به‌عنوان گیاهی علوفه‌ای با تحمل بالا به سرما، خشکی، شوری و خاک‌های فقیر و کم بازده، گزینه مناسبی برای کشت پاییزه پس از برداشت برنج است، اما نبود روش‌های فنی کارآمد برای کاشت آن در شالیزارها از چالش‌های اصلی محسوب می‌شود. این پژوهش پنج روش کاشت تریتیکاله را بر اساس نه معیار فنی، عملیاتی و اقتصادی شامل عمق مناسب کاشت، یکنواختی پخش بذر، مدیریت آب و زهکشی، قابلیت کاربری در انواع قطعات، عوامل انسانی و سهولت انجام کار، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، تعداد نیروی کار، مصرف انرژی و هزینه‌های عملیاتی مورد ارزیابی قرار داده است. وزن‌دهی معیارها و اولویت‌بندی روش‌ها با تحلیل سلسله‌مراتبی و نرم افزار EXPERT CHOICE11 انجام شد و داده‌ها از ۳۰ متخصص و کشاورز پیشرو جمع‌آوری گردید. نتایج نشان داد که معیار مدیریت آب و زهکشی با وزن ۰/۲۴۱ دارای بیشترین ارجحیت در بین معیارها است. در بین روش‌های کاشت تریتیکاله (گزینه‌ها)، بذرپاشی با کودپاش سانتریفیوژ + فاروئر با وزن نهایی ۰/۳۳۷ از حداکثر امتیاز برخوردار شد و به‌عنوان مناسب‌ترین روش کاشت معرفی گردید. بذرپاشی با کودپاش + دیسک در رتبه دوم قرار گرفت و روش‌های کاملاً دستی، به‌ویژه بذرکاری با دست با وزن ۰/۰۸۳ کمترین اولویت را دارا شدند. نرخ ناسازگاری در روش به کار رفته کمتر از ۰/۱ بود که نشان‌دهنده اعتبار نتایج است. از یافته‌های این تحقیق می‌تواند برای تصمیم‌گیری کشاورزان در توسعه کشت تریتیکاله بعد از برنج استفاده کرد.

استناد: استناد: یوسفی، روح اله؛ برنجکار گورابی، افسانه؛ و علیپور مبارکی، فاطمه (۱۴۰۵). تعیین مناسب‌ترین روش کاشت تریتیکاله به عنوان کشت دوم در اراضی شالیزاری استان گیلان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی. *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، ۵۷ (۲)، ۸۰-۶۳.
https://doi.org/10.22059/ijbse.2026.408827.665633

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2026.408827.665633

مقدمه

با توجه به سطح زیرکشت گسترده برنج در استان گیلان، بهره‌برداری بهینه از اراضی شالیزاری برای افزایش تولیدات کشاورزی و ارتقای امنیت غذایی کشور امری ضروری است (یوسفی و حسینی چالشتری، ۱۳۹۹). در این راستا، توسعه کشت دوم پس از برداشت برنج، به عنوان یکی از راهکارهای اساسی مطرح می‌شود. با توجه به محدودیت‌های منابع آبی کشور و لزوم مدیریت جامع در تمامی عرصه‌های کشاورزی، توصیه به کشت دوم در اراضی شالیزاری مانند تریتیکاله، باید با در نظر گرفتن همه جوانب، از جمله اثربخشی این کشت‌ها بر چرخه آب منطقه و اولویت‌بندی منابع در دسترس، صورت پذیرد. کشت دوم در اراضی شالیزاری با بهره‌گیری از رطوبت باقی‌مانده در خاک و نزولات جوی، می‌تواند با افزایش درآمد کشاورزان، پایداری تولید و بهبود بهره‌وری زمین، نقش مؤثری در اقتصاد خانوارهای روستایی ایفا کند (نداف فهمیده و همکاران، ۱۳۹۴). با وجود این اهمیت، فقدان راهکارهای فنی کارآمد برای استقرار کشت دوم در شالیزار موجب شده است که بخش قابل توجهی از این اراضی پس از برداشت برنج بدون کشت باقی بماند (ربیعی و شاکرکوهی، ۱۴۰۳).

یکی از رویکردهای مؤثر برای توسعه کمی و کیفی کشت دوم، استفاده از گیاهان علوفه‌ای مقاوم نظیر تریتیکاله[1]است. این گیاه با برخورداری از تحمل مناسب نسبت به شرایط نامساعد محیطی، پتانسیل عملکرد مطلوب و کیفیت مناسب علوفه، می‌تواند گزینه‌ای کارآمد برای تأمین علوفه دام و بهره‌برداری بهینه از اراضی شالیزاری باشد. تریتیکاله در مقایسه با بسیاری از غلات دارای ظرفیت عملکرد بالاتری است و علاوه بر تولید علوفه، امکان استفاده دو منظوره (علوفه و دانه) را فراهم می‌کند. مناسب‌ترین تاریخ کاشت تریتیکاله (علوفه‌ای) بعد از برنج به عنوان کشت دوم در استان گیلان، نیمه دوم مهرماه تا دهۀ اول آبان ماه است. بهترین زمان برای برداشت تریتیکاله با هدف تأمین علوفه، حداکثر دهۀ سوم فروردین و اوایل اردیبهشت می‌باشد (ربیعی و همکاران، ۱۴۰۳). با توجه به زمان کاشت و برداشت، این گیاه از نظر تناوب کشت پس از برنج گزینه‌ای مناسب محسوب می‌شود.

با وجود مزایای قابل توجه تریتیکاله در نظام کشت دوم، یکی از چالش‌های اساسی در توسعه این محصول در اراضی شالیزاری گیلان، عدم وجود یک الگوی فنی معتبر برای انتخاب روش کاشت مناسب است. شرایط ویژه شالیزارها پس از برداشت برنج، شامل رطوبت بالای خاک، محدودیت زمانی برای کشت پاییزه، بارندگی‌های مکرر در زمان کاشت و پس از آن، کوچک بودن قطعات زراعی و محدودیت تجهیزات قابل استفاده به‌دلیل ویژگی‌های فیزیکی و ساختاری خاک، ضرورت تعیین روش کاشت بهینه را برجسته می‌سازد (ربیعی و ابراهیمی، ۱۴۰۳). انتخاب یک روش کاشت مناسب می‌تواند موجب بهبود استقرار بوته، افزایش کارآیی مصرف نهاده‌ها و ارتقای عملکرد کمی و کیفی علوفه شود و در نهایت بهره‌وری کشت دوم را افزایش دهد. عدم وجود یک چارچوب علمی برای تصمیم‌گیری در این زمینه سبب می‌شود که روش کاشت عمدتاً بر اساس تجربه فردی انتخاب شده و موجب کاهش عملکرد و کاهش انگیزه کشاورزان برای توسعه کشت این محصول گردد.

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، یکی از اصول تصمیم‌گیری در مورد نحوه انجام فرایندهای مختلف است که در شرایطی که معیارهای متعدد و گاه متضادی وجود دارند، استفاده می‌شود. روش تحلیل سلسله مراتبی[2](AHP) که توسط ساعتی (۱۹۹۰) معرفی شد (سعدی و همکاران، ۱۳۸۷). یک ابزار قدرتمند، مهم و انعطاف پذیر برای تصمیم گیری گروهی در محیط‌های پیچیده می‌باشد که به تصمیم گیران اجازه می‌دهد تا یک مسئله را در یک ساختار سلسله مراتبی شامل ارتباط بین هدف، معیار، زیر معیار و گزینه‌ها نشان دهند (مشایخی و همکاران، ۱۳۹۲).

این روش به دلیل توانایی و قابلیت بالا، سادگی و قابل فهم بودن و همچنین قابلیت به کارگیری هم زمان معیارهای کمی و کیفی برای ارزیابی معیارهای مؤثر در فرآیند تصمیم گیری، روشی مناسب و کاربردی است (نیکمردان، ۱۳۹۱). کلیات فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را می توان در طی سه مرحله خلاصه کرد: تشکیل ساختار سلسله مراتبی بر اساس هدف، معیاره (و زیر معیارها) و گزینه‌ها، محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها و برآورد سازگاری سیستم و انجام اصلاحات لازم (قدسی پور، ۱۳۹۸). این روش ساختاری سه‌سطحی شامل هدف، معیارهای اصلی (و فرعی) و گزینه‌ها را فراهم می‌کند و با استفاده از مقایسات زوجی، وزن هر معیار و اولویت گزینه‌ها را مشخص می‌سازد (Srdjevic & Jandric, 2010). اعتبار نتایج AHP با نرخ ناسازگاری[3]سنجیده می‌شود که مقادیر کمتر از ۰/۱ نشان‌دهنده مقبولیت مقایسات زوجی است (خورشید دوست و عادلی، ۱۳۸۸) (Srdjevic & Jandric, 2010).

---

1. *Triticosecale Wittmack.x.*
2. Analytic Hierarchy Process
3. Inconsistency Ratio

پژوهش حاضر با بهره‌گیری از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و ارزیابی میدانی روش‌های کاشت متداول تریتیکاله در اراضی شالیزاری گیلان، به دنبال شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر در انتخاب روش کاشت مناسب برای این اراضی، مقایسه روش‌های کاشت و در نهایت تعیین روش بهینه با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی است.

هدف اصلی این پژوهش، ارائه یک چارچوب تصمیم‌گیری علمی و کاربردی برای انتخاب بهترین روش کاشت تریتیکاله در اراضی شالیزاری در استان گیلان است تا با افزایش بهره‌وری کشت دوم و بهینه‌سازی مصرف منابع، به ارتقای وضعیت اقتصادی کشاورزان و توسعه پایدار بخش کشاورزی کمک نماید.

پیشینهٔ پژوهش

روش AHP به دلیل قابلیت تجزیه و تحلیل معیارهای متضاد و اولویت‌بندی گزینه‌ها، به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. در مطالعه‌ای در استفاده از این روش برای انتخاب مناسب‌ترین کمباین، معیارهایی چون قیمت، تلفات، ظرفیت مزرعه‌ای، مصرف سوخت و قابلیت اطمینان مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتیجه این مطالعه نشان داد که از میان سه گزینه کمباین مورد بررسی، کمباین نیوهلند تی سی ۸۶ با وزن نهایی ۰/۴۷۲ بالاترین اولویت را کسب کرد. کمباین جاندیر ۱۱۶۵ و جاندیر ۹۵۵ نیز به ترتیب با وزن نهایی ۰/۳۲۶ و ۰/۲۰۲ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (حربی‌زاده و شیخ داوودی، ۱۳۹۲). همچنین، با استفاده از AHP، تراکتورهای مناسب در مناطق مختلف بر اساس معیارهایی چون هزینه‌های تعمیر و نگهداری و قیمت انتخاب شده است (Amini & Asoodar, 2016).

در تحقیق دیگری، روش‌های تولید برنج (مکانیزه، نیمه‌مکانیزه و سنتی) در گیلان با استفاده از روش AHP ارزیابی شده است که روش مکانیزه با میانگین وزنی ۰/۳۴۷، در رتبه اول قرار گرفت. همچنین اهمیت و وزن معیارهای زراعی، اقتصادی، اجتماعی و ارگونومی بیشتر از سایر معیارها بود (منجم و همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعه ارزیابی و انتخاب بهترین روش وجین‌کاری علف‌های هرز برنج، روش شیمیایی، وجین‌کن مکانیکی بدون موتور، وجین‌کن مکانیکی موتوردار و وجین‌کن دستی بر اساس معیارهای مانند عملکرد، انرژی، جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و ارگونومی اولویت‌بندی گردید و روش شیمیایی با میانگین نسبت وزنی ۰/۳۴ کارآمدتر یافت شد (اسکندری چراتی، ۱۳۹۱).

در مطالعه‌ای با هدف انتخاب بهینه‌ترین سم‌پاش در شالیزارهای استان گیلان از میان پنج نوع سم‌پاش (پشتی تلمبه‌ای دستی، پشتی شارژی دستی، پشتی موتوری لانسی، اتومایزر و فرغونی)، سم‌پاش پشتی موتوری اتومایزر با امتیاز نهایی ۰/۷۲ و نرخ ناسازگاری ۰/۰۳ به عنوان مناسب‌ترین گزینه معرفی شد. از طرفی اثربخشی و یکنواختی پاشش به عنوان معیارهای کلیدی شناسایی شدند (یوسفی و برنجکار گورابی، ۱۴۰۴). در تحقیق دیگری، برای انتخاب بهینه‌ترین سم‌پاش برای باغات مرکبات مازندران از بین چهار نوع سم‌پاش (پشتی موتوری لانسی، اتومایزر، فرغونی و بادبزنی تراکتوری)، سم‌پاش اتومایزر با ارزش نهایی ۰/۵۰۴ و نرخ ناسازگاری ۰/۰۴ به عنوان مناسب‌ترین گزینه برای باغات مرکبات معرفی گردید و کیفیت سم‌پاشی و میزان محلول مصرفی به عنوان معیارهای اصلی معرفی شد (لقمانپور زرینی و همکاران، ۱۴۰۰). بر اساس نتایج تحقیقی، سم‌پاش میکرونر با وزن ۰/۳۳۷ به عنوان مناسب‌ترین گزینه و سم‌پاش لانس‌دار با وزن ۰/۰۷۸، به عنوان ناکارآمدترین روش برای سم‌پاشی مزارع گندم معرفی شد. در این حال، اثربخشی در کنترل آفات و علف‌های هرز به عنوان مهم‌ترین معیار ارزیابی و لهیدگی محصول به عنوان کم‌اهمیت‌ترین معیار معرفی شدند (صفری و گرامی، ۱۳۹۹).

در مطالعه‌ای با هدف بررسی و مقایسه روش‌های مختلف کاشت قلمه نیشکر در شرایط خوزستان، با استفاده از روش AHP و نرم‌افزار Expert Choice، روش کاشت نیمه‌مکانیزه به دلیل هزینه کمتر و کیفیت بالاتر به‌عنوان گزینه برتر معرفی شد (منصوری و همکاران، ۱۳۹۸).

در مطالعه‌ای در شهرستان رشت، ارجحیت ذهنی شالیکاران نسبت به کشت دوم پس از برنج با استفاده از AHP مورد تحلیل قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد که محصول راتون با وزن نهایی ۰/۴۵۳ بالاترین اولویت را از نظر اقتصادی و بازار فروش داشته و لوبیای محلی و علوفه در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شاهین رخسار و همکاران، ۱۴۰۱).

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با هدف تعیین مناسب‌ترین روش کاشت تریتیکاله به‌عنوان کشت دوم در اراضی شالیزاری استان گیلان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی انجام شد. اراضی شالیزاری این استان پس از برداشت برنج با شرایط ویژه‌ای از جمله رطوبت بالای خاک، محدودیت

زمانی برای استقرار کشت پاییزه، بارندگی‌های مکرر، خرد بودن قطعات زراعی و محدودیت در به‌کارگیری ماشین‌آلات سنگین مواجه هستند که کشت دوم را در این اراضی با محدودیت‌هایی روبرو می‌سازند. این شرایط سبب می‌شود انتخاب روش کاشت مناسب، فرایندی چندمعیاره باشد که در آن عوامل فنی، عملیاتی و اقتصادی به‌صورت هم‌زمان نقش دارند.

بر این اساس، پنج روش کاشت تریتیکاله که از نظر فنی و اجرایی قابلیت استفاده در شرایط شالیزاری منطقه را دارند، به‌عنوان گزینه‌های تصمیم‌گیری انتخاب شدند. این روش‌ها شامل: بذرکاری با دست (در این روش، ابتدا کشاورز با استفاده از یک چوب یا وسیله مشابه، شیاری در خاک ایجاد کرده، سپس بذر تریتیکاله را درون آن قرار می‌دهد و در نهایت، با همان ابزار، خاک کنار زده شده از شیار را روی بذر بر می‌گرداند)، بذرپاشی با دست همراه با دیسک، بذرپاشی با دست همراه با فاروئر، بذرپاشی با کودپاش همراه با دیسک و بذرپاشی با کودپاش همراه با فاروئر بودند. انتخاب این گزینه‌ها بر اساس امکان اجرا در خاک‌های مرطوب، سازگاری با محدودیت‌های مکانیزاسیون شالیزارها و بررسی مطالعات پیشین صورت گرفت.

با توجه به ماهیت چندمعیاره مسئله و وجود هم‌زمان معیارهای کمی و کیفی، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به‌عنوان ابزار تصمیم‌گیری استفاده شد. این روش به دلیل قابلیت ساختاربندی مسائل پیچیده، امکان تلفیق قضاوت‌های خبرگان و ارزیابی سازگاری تصمیم‌ها، در مطالعات مرتبط با مکانیزاسیون کشاورزی و مدیریت سامانه‌های زراعی کاربرد گسترده‌ای دارد.

به‌منظور انتخاب روش مناسب تصمیم‌گیری، پیش از طراحی مدل، استقلال معیارها مورد بررسی قرار گرفت. منظور از استقلال معیارها، عدم وابستگی در سطح ساختار تصمیم‌گیری است؛ به‌گونه‌ای که تغییر در ارزیابی یا وزن یک معیار، منجر به تغییر مستقیم در تعریف یا وزن سایر معیارها نشود. در این راستا، روابط احتمالی بین معیارها از طریق بررسی مفهومی روابط علت—معلولی و اخذ نظر خبرگان ارزیابی شد. این ارزیابی شامل قضاوت خبرگان در مورد میزان وابستگی یا استقلال هر جفت معیار، و در صورت لزوم، امتیازدهی به این میزان بود تا اطمینان حاصل شود که معیارهای نهایی، تا حد امکان مستقل هستند.

نتایج این بررسی نشان داد که اگرچه برخی معیارها ممکن است از نظر اجرایی هم‌زمان تحت تأثیر شرایط یکسان قرار گیرند (برای مثال مدیریت آب و زهکشی و قابلیت کاربری در قطعات شالیزاری)، اما این ارتباط‌ها فاقد وابستگی بازخوردی مستقیم بوده و هر معیار از یک بُعد مستقل فنی، عملیاتی یا اقتصادی قابل ارزیابی است. از این رو، معیارها از نظر ساختار تصمیم‌گیری مستقل تلقی شدند و استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نسبت به روش‌های تحلیل شبکه‌ای مانند ANP[۱] مناسب‌تر تشخیص داده شد. بنابراین، پیچیدگی‌های ناشی از مدل‌سازی روابط بازخوردی که در روش ANP مدنظر قرار می‌گیرد، در ساختار مسئله حاضر مشاهده نشد.

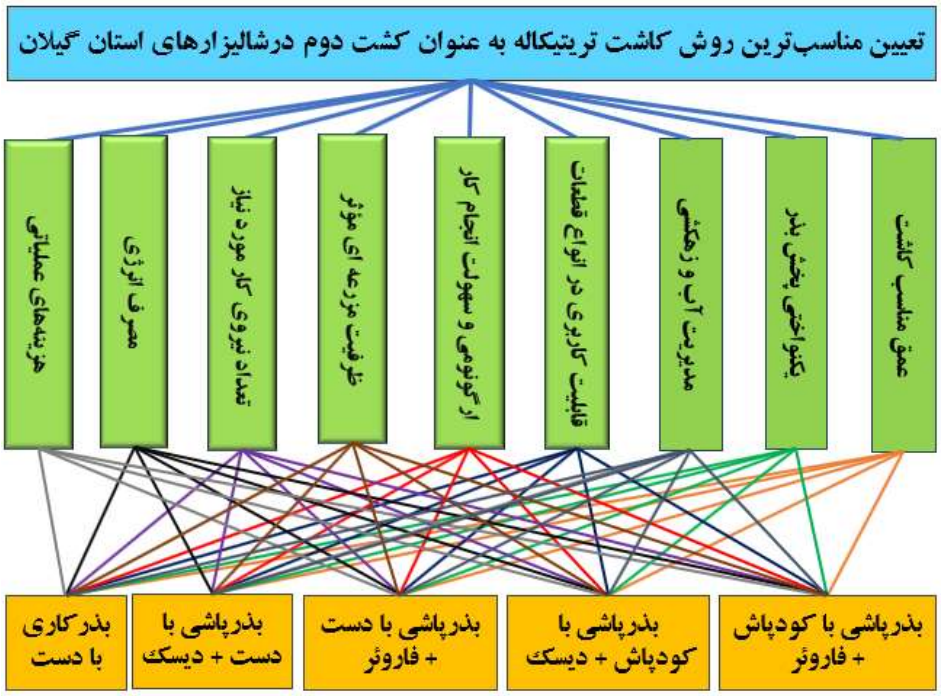
به‌منظور شناسایی معیارهای مؤثر در انتخاب روش کاشت تریتیکاله، ابتدا مرور منابع علمی و مطالعات پیشین انجام شد. سپس مصاحبه‌های هدفمند با متخصصان کشاورزی، کارشناسان اجرایی و کشاورزان پیشرو استان گیلان صورت گرفت تا معیارها بومی و عملیاتی نیز استخراج گردد. در نهایت، ۹ معیار اصلی که بیشترین تأثیر مستقیم بر فرآیند اجرا و هزینه‌های اولیه کاشت در شرایط شالیزاری دارند، انتخاب و تعریف عملیاتی شدند. این معیارها شامل: عمق مناسب کاشت، یکنواختی پخش بذر، مدیریت آب و زهکشی، قابلیت کاربری در انواع قطعات شالیزاری، ارگونومی و سهولت انجام کار، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، تعداد نیروی کار مورد نیاز، مصرف انرژی و هزینه‌های عملیاتی بودند. به‌منظور کاهش ابهام و جلوگیری از قضاوت‌های صرفاً ذهنی، برای هر یک از معیارهای انتخاب‌شده، تعریف عملیاتی مشخص و مستقل تدوین شد. این تعاریف به‌گونه‌ای تنظیم گردید که هر معیار صرفاً از یک بُعد فنی، عملیاتی یا اقتصادی مورد ارزیابی قرار گیرد و هم‌پوشانی مفهومی بین معیارها به حداقل برسد. تعاریف عملیاتی معیارها پیش از تکمیل پرسشنامه‌های مقایسه زوجی در اختیار خبرگان قرار گرفت و قضاوت‌ها بر اساس این چارچوب مشترک انجام شد.

در این پژوهش، تمرکز بر انتخاب مناسب‌ترین روش کاشت تریتیکاله به‌عنوان کشت دوم، بر اساس شاخص‌های فنی، عملیاتی و اقتصادی پیش از اجرای عملیات کاشت بوده است. از این رو، شاخص‌های نتیجه‌گرا نظیر درصد سبز شدن و عملکرد دانه که تحت تأثیر عوامل متعددی مانند شرایط اقلیمی، مدیریت مزرعه و عملیات داشت و برداشت قرار دارند و تنها پس از اجرای روش کاشت قابل اندازه‌گیری هستند، در مدل تصمیم‌گیری وارد نشدند.

ورود این شاخص‌ها می‌توانست سبب آمیختگی اثر روش کاشت با سایر عوامل مدیریتی و محیطی شود و امکان مقایسه منصفانه روش‌ها در مرحله تصمیم‌گیری اولیه را کاهش دهد. بنابراین، شاخص‌های عملکردی به‌طور آگاهانه خارج از دامنه این مطالعه قرار گرفتند و بررسی آن‌ها می‌تواند موضوع پژوهش‌های تکمیلی آینده باشد.

۱- Analytic Network Process

ساختار تصمیم‌گیری پژوهش در قالب یک مدل سه‌سطحی طراحی شد؛ به‌گونه‌ای که در سطح اول هدف پژوهش (انتخاب مناسب‌ترین روش کاشت تریتیکاله به‌عنوان کشت دوم در شالیزارهای استان گیلان)، در سطح دوم معیارهای ارزیابی و در سطح سوم گزینه‌های کاشت قرار گرفتند (شکل ۱).



شکل ۱. ساختار سلسه مراتبی انتخاب مناسب‌ترین روش کاشت تریتیکاله (منبع: نویسنده)

جامعه آماری پژوهش شامل ۳۰ نفر از خبرگان مرتبط با موضوع بود که به‌صورت هدفمند و بر اساس تجربه، تخصص و آشنایی عملی با شرایط شالیزاری استان گیلان انتخاب شدند. این خبرگان در سه گروه شامل ۱۰ نفر متخصص کشاورزی (اعضای هیات علمی و محققان)، ۱۰ نفر کارشناس بخش کشاورزی (مربیان ترویج و کارشناسان جهاد کشاورزی با حداقل ۱۰ سال سابقه در استان) و ۱۰ نفر کشاورز پیشرو (دارای تجربه کشت دوم در ۵ سال گذشته) قرار داشتند. برای اطمینان از درک یکسان، پیش از تکمیل پرسشنامه‌ها، یک جلسه توجیهی حضوری برای تشریح معیارها، گزینه‌ها و نحوه انجام مقایسه‌های زوجی پاسخ‌دهندگان برگزار شد. روایی محتوایی پرسشنامه‌ها نیز توسط ۵ متخصص مستقل تأیید گردید.

به منظور وزن‌دهی به معیارها، از روش مقایسه زوجی عناصر استفاده شد که در آن هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر، به صورت زوجی مقایسه و وزن نسبی آن‌ها محاسبه شد (قدسی پور، ۱۳۹۸). سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص شد. در این تحقیق، برای محاسبه وزن‌های عناصر هر سطح نسبت به سطح بالاتر خود، از روش بردار ویژه که مؤثرترین شیوه در یافتن عناصر هر سطح است، استفاده شد.

در مقایسه زوجی، تصمیم گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده می‌کنند به گونه‌ای که اگر عنصر i با عنصر j مقایسه شود، تصمیم گیرنده چنان تصمیم می‌گیرد که اهمیت عنصر i بر j یکی از ۹ امتیاز نشان داده شده در جدول ۱ است (Harker & Vargass, 1987).

به‌منظور تلفیق قضاوت‌های خبرگان، سه گروه شامل متخصصان دانشگاهی، کارشناسان اجرایی و کشاورزان پیشرو در نظر گرفته شد. در سناریوی پایه، وزن یکسانی برای هر یک از این گروه‌ها لحاظ گردید. این رویکرد با هدف جلوگیری از غلبه دیدگاه صرفاً نظری یا صرفاً تجربی و ایجاد توازن میان دانش علمی، تجربه اجرایی و دانش بومی اتخاذ شد. لازم به تأکید است که وزن برابر گروه‌ها به معنای هم‌ارزی سطح تخصص افراد نبوده، بلکه به‌منزله ایجاد تعادل در مشارکت دیدگاه‌های مختلف در فرآیند تصمیم‌گیری است. به‌منظور بررسی اثر این فرض، تحلیل حساسیت بر روی وزن گروه‌ها انجام شد و نتایج نشان داد تغییر در وزن‌دهی گروه‌ها تأثیر معناداری بر رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها نداشته است؛ از این رو، نتایج از پایداری قابل قبولی برخوردار بودند.

جدول ۱. مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی (Saaty, 1990)

ارزش ترجیحی	وضعیت i مقایسه نسبت به j	توضیح
۱	اهمیت برابر	گزینه یا شاخص **i** نسبت به **j** اهمیت برابر دارند
۳	نسبتاً مهم‌تر	گزینه یا شاخص **i** نسبت به **j** کمی مهم‌تر است.
۵	مهم‌تر	گزینه یا شاخص **i** نسبت به **j** مهم‌تر است.
۷	خیلی مهم‌تر	گزینه یا شاخص **i** نسبت به **j** خیلی مهم‌تر است.
۹	کاملاً مهم	گزینه یا شاخص **i** نسبت به **j** مطلقاً مهم‌تر است.
۲، ۴، ۶، ۸	بینابینی	ارزش‌های میانی بین ارزش‌های ترجیحی را نشان می‌دهد. مثلاً ۸، بیانگر اهمیتی زیادتر از ۷ و پایین‌تر از ۹ برای **i** است.

از میانگین هندسی برای ترکیب قضاوت‌های فردی هر گروه و سپس برای ترکیب نهایی گروه‌ها استفاده شد. وزن نهایی معیارها و گزینه‌ها با استفاده از روش بردار ویژه محاسبه گردید. نرخ ناسازگاری برای تمامی ماتریس‌های مقایسه زوجی محاسبه شد. در مواردی که نرخ ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ بود، نتیجه به اطلاع خبره مربوطه رسانده شد و از وی خواسته شد تا پس از بازنگری، مقایسات متناقض را اصلاح کند. در نهایت، تمامی ماتریس‌های مورد استفاده در تحلیل نهایی دارای نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ بودند.

به‌منظور بررسی پایداری نتایج مدل، تحلیل حساسیت بر روی معیارهای دارای وزن بالاتر انجام شد. در این تحلیل، وزن هر یک از معیارهای کلیدی به‌صورت تدریجی در دامنه ±۱۰ درصد تغییر داده شد و وزن سایر معیارها متناسب با آن نرمال‌سازی گردید. در هر سناریو، تأثیر تغییر وزن معیارها بر رتبه‌بندی نهایی گزینه‌های کاشت بررسی شد.

کلیه مراحل طراحی ساختار سلسله‌مراتبی، محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها، بررسی نرخ ناسازگاری و انجام تحلیل حساسیت با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice نسخه ۱۱ انجام شد.

یافته‌های پژوهش

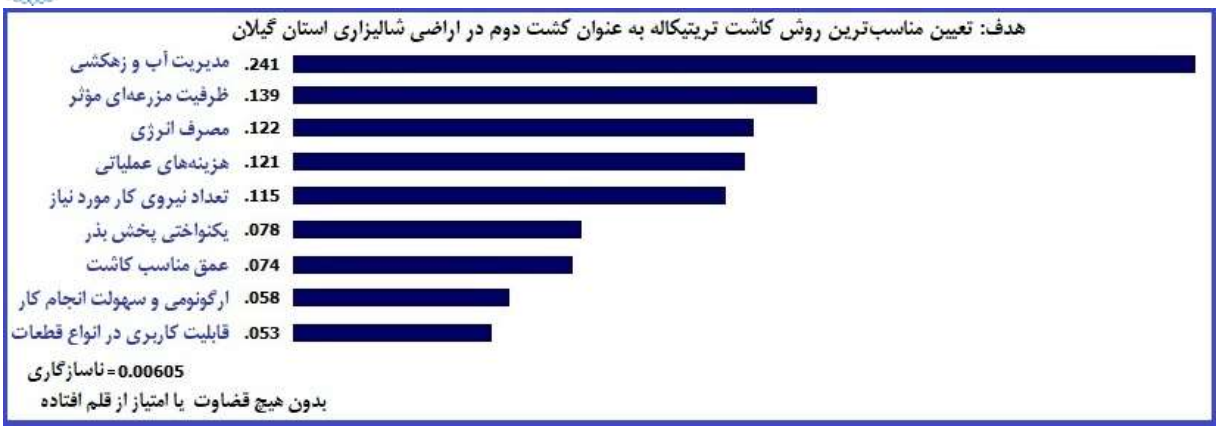
مقایسه معیارها با توجه به هدف

معیارهای اصلی تحقیق شامل عمق مناسب کاشت، یکنواختی پخش بذر، مدیریت آب و زهکشی، قابلیت کاربری در انواع قطعات شالیزاری، ارگونومی و سهولت انجام کار، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، تعداد نیروی کار مورد نیاز، مصرف انرژی و هزینه‌های عملیاتی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به‌صورت زوجی مقایسه و اولویت‌بندی شدند. این مقایسه‌ها، نشان‌دهنده اهمیت نسبی هر معیار در فرآیند انتخاب مناسب‌ترین روش کاشت هستند (شکل ۲).

بر اساس وزن‌های به‌دست‌آمده، مدیریت آب و زهکشی با وزن ۰/۲۴۱ بالاترین اولویت را در میان معیارهای ارزیابی به خود اختصاص داد. این نتیجه نشان می‌دهد که از دیدگاه کارشناسان و کشاورزان استان گیلان، مدیریت صحیح آب و تخلیه مناسب زهکش‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت کاشت تریتیکاله در اراضی شالیزاری دارد. شرایط خاص رطوبتی شالیزارها، حساسیت گیاه به غرقابی و ضرورت دسترسی به بستر نسبتاً مرطوب اما غیر اشباع، سبب می‌شود که این معیار بیش از سایر عوامل اهمیت یابد. پس از آن، معیارهای ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (۰/۱۳۹)، مصرف انرژی (۰/۱۲۲)، هزینه‌های عملیاتی (۰/۱۲۱) و تعداد نیروی کار مورد نیاز (۰/۱۱۵) در رده‌های بعدی اهمیت، قرار گرفتند.

اهمیت این معیارها نشان‌دهنده توجه همزمان تصمیم‌گیرندگان به کارایی عملیاتی، اقتصادی و انرژی‌بر بودن روش‌های مختلف کاشت است. معیار یکنواختی پخش بذر (۰/۰۷۸) و عمق مناسب کاشت (۰/۰۷۴) نیز در رتبه‌های بعدی قرار دارند که بیانگر اهمیت فنی این عوامل در استقرار یکنواخت بوته‌ها و دستیابی به تراکم مطلوب است. کمترین وزن‌ها به معیارهای ارگونومی و سهولت انجام کار (۰/۰۵۸) و قابلیت کاربری در انواع قطعات (۰/۰۵۳) تعلق گرفت که نشان می‌دهد اگرچه این معیارها از جنبه عملیاتی و کاربری در مزرعه حائز اهمیت‌اند، اما نسبت به سایر عوامل نقش تعیین‌کننده‌کمتری در انتخاب نهایی روش کاشت دارند.

در نهایت، مقدار درجه ناسازگاری برابر با ۰/۰۰۶ محاسبه گردید که کمتر از حد قابل قبول ۰/۱ بوده و نشان‌دهنده سازگاری مطلوب قضاوت‌های خبرگان است. این امر اعتبار درونی بالای نتایج و استحکام مدل AHP مورد استفاده در این مطالعه را تأیید می‌کند.

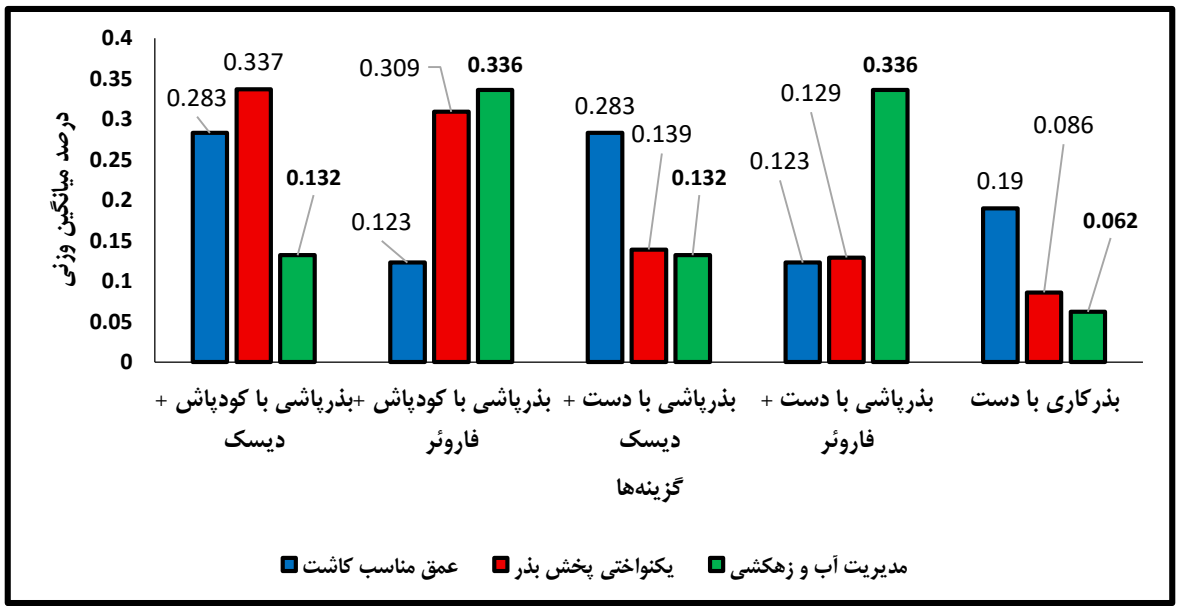


شکل ۲. مقایسه معیارها به صورت زوجی بر اساس هدف

مقایسه زوجی گزینه‌ها با توجه به معیارها

در این پژوهش، برای تسهیل درک و تحلیل روابط بین ۹ معیار اصلی، روش‌های مختلف کاشت تریتیکاله در شالیزارهای استان گیلان بر اساس ماهیت فنی-کیفی، عملیاتی-کاربردی و اقتصادی-منابع در سه گروه متمایز طبقه‌بندی شدند. شایان ذکر است که این گروه‌بندی صرفاً نقش سازماندهی و تسهیل در انجام مقایسه‌ها را دارد و سلسله مراتب جدیدی در ساختار تصمیم‌گیری ایجاد نمی‌کند؛ بنابر این، معیارهای اصلی پژوهش همان ۹ معیار تعریف شده اولیه بوده و مقایسه‌های زوجی نیز به‌طور مستقیم میان همین ۹ معیار انجام شده است.

گروه فنی- کیفی: این گروه شامل سه معیار عمق مناسب کاشت، یکنواختی پخش بذر و مدیریت آب و زهکشی می‌باشد. نرخ ناسازگاری محاسبه‌شده برای این گروه ۰/۰۲ است که نشان‌دهنده سازگاری بالا و اعتبار نتایج مقایسه زوجی است. بر اساس نتایج مقایسه زوجی که در شکل ۳ ارائه شده، در معیار عمق مناسب کاشت، دو روش بذرپاشی با کودپاش + دیسک و بذرپاشی با دست + دیسک با وزن برابر ۰/۲۸۳ بهترین عملکرد را از نظر دستیابی به عمق مناسب کاشت دارند. استفاده از دیسک پس از پخش بذر سبب یکنواختی بیشتر عمق قرارگیری بذر و کاهش احتمال کاشت بیش از حد سطحی یا عمقی می‌شود. روش بذرکاری با دست با وزن ۰/۱۹ در رتبه بعدی قرار دارد. هرچند این روش امکان کنترل عمق کاشت را تا حدودی فراهم می‌کند، دخالت مستقیم نیروی انسانی موجب کاهش دقت و یکنواختی نسبت به روش‌های دیسکی می‌شود. دو روش مبتنی بر فاروئر، یعنی بذرپاشی با کودپاش + فاروئر و بذرپاشی با دست + فاروئر، کمترین وزن (۰/۱۲۳) را کسب کردند که ناشی از خاک رسی، سنگین و چسبنده شالیزارهای گیلان و محدودیت عملکرد فاروئر در ایجاد شیارهای منظم است.



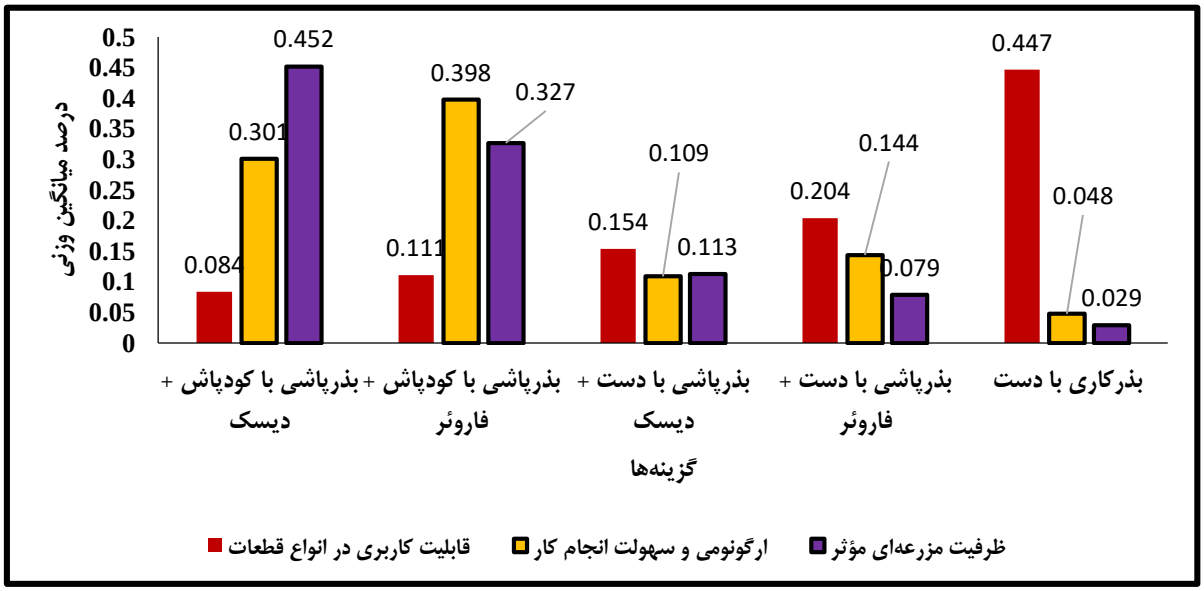
شکل ۳. مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیارهای فنی-کیفی

در معیار یکنواختی پخش بذر، بهترین عملکرد به بذرپاشی با کودپاش + دیسک (۰/۳۳۷) و بذرپاشی با کودپاش + فاروئر (۰/۳۰۹) تعلق دارد. این روش‌ها بیشترین انطباق را با استانداردهای یکنواختی پخش بذر در شالیزارهای گیلان نشان می‌دهند. روش‌های دستی، یعنی بذرپاشی با دست + دیسک (۰/۱۳۹) و بذرکاری با دست (۰/۰۸۶) وزن کمتری دارند و نشان‌دهنده محدودیت در یکنواختی قرارگیری بذر هستند. استفاده از فاروئر به دلیل مشکلات خاک رسی و چسبندگی، نتایج نسبتاً کمتری ارائه می‌دهد. در معیار مدیریت آب و زهکشی، روش‌های مبتنی بر فاروئر، یعنی بذرپاشی با کودپاش + فاروئر و بذرپاشی با دست + فاروئر با وزن ۰/۳۳۶ بالاترین اولویت را دارند. این نتایج نشان می‌دهد که فاروئر می‌تواند تا حدی در مدیریت بهتر آب و زهکشی مؤثر باشد. روش‌های دیسکی (۰/۱۳۲) و بذرکاری دستی (۰/۰۶۲) وزن‌های پایین‌تر دارند و از نظر مدیریت آب عملکرد کمتری ارائه می‌کنند.

گروه عملیاتی- کاربردی: این گروه شامل سه معیار قابلیت کاربری در انواع قطعات، ارگونومی و سهولت انجام کار و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر می‌باشد. نرخ ناسازگاری محاسبه‌شده برای این گروه بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۷ است که نشان‌دهنده سازگاری بالا و اعتبار نتایج مقایسه زوجی است.

بر اساس نتایج مقایسه زوجی که در شکل ۴ ارائه شده، در معیار قابلیت کاربری در انواع قطعات، بالاترین وزن (۰/۴۴۷) به گزینه بذرکاری با دست تعلق دارد که نشان‌دهنده تطبیق‌پذیری بسیار بالا در اراضی با شرایط متنوع است. گزینه‌های بذرپاشی با دست + فاروئر با وزن ۰/۲۰۴ و بذرپاشی با دست + دیسک با وزن ۰/۱۵۴ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. گزینه‌های بذرپاشی با کودپاش + فاروئر و بذرپاشی با کودپاش + دیسک با وزن‌های ۰/۱۱۱ و ۰/۰۸۴ به ترتیب محدودیت بیشتری در کاربری در انواع قطعات دارند.

در معیار ارگونومی و سهولت انجام کار، بیشترین وزن (۰/۳۹۸) به گزینه بذرپاشی با کودپاش + فاروئر تعلق دارد و نشان‌دهنده سهولت بیشتر اجرای عملیات و کاهش فشار نیروی کار است. گزینه بذرپاشی با کودپاش + دیسک با وزن ۰/۳۰۱ در رتبه دوم قرار دارد. گزینه‌های بذرپاشی با دست + فاروئر و بذرپاشی با دست + دیسک به ترتیب با وزن‌های ۰/۱۴۴ و ۰/۱۰۹ و گزینه بذرکاری با دست با وزن ۰/۰۴۸، کمترین سهولت و ارگونومی را ارائه می‌دهند. در معیار ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، بالاترین وزن (۰/۴۵۲) متعلق به گزینه بذرپاشی با کودپاش + دیسک است که نشان‌دهنده بیشترین توان پوشش سطح مزرعه در زمان محدود می‌باشد. گزینه بذرپاشی با کودپاش + فاروئر با وزن ۰/۳۲۷ در رتبه دوم قرار دارد. گزینه‌های بذرپاشی با دست + دیسک و بذرپاشی با دست + فاروئر با وزن‌های ۰/۱۱۳ و ۰/۰۷۹ و گزینه بذرکاری با دست با وزن ۰/۰۲۹، محدودیت بیشتری در ظرفیت مزرعه‌ای دارند.



شکل ۴. مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیارهای عملیاتی-کاربردی

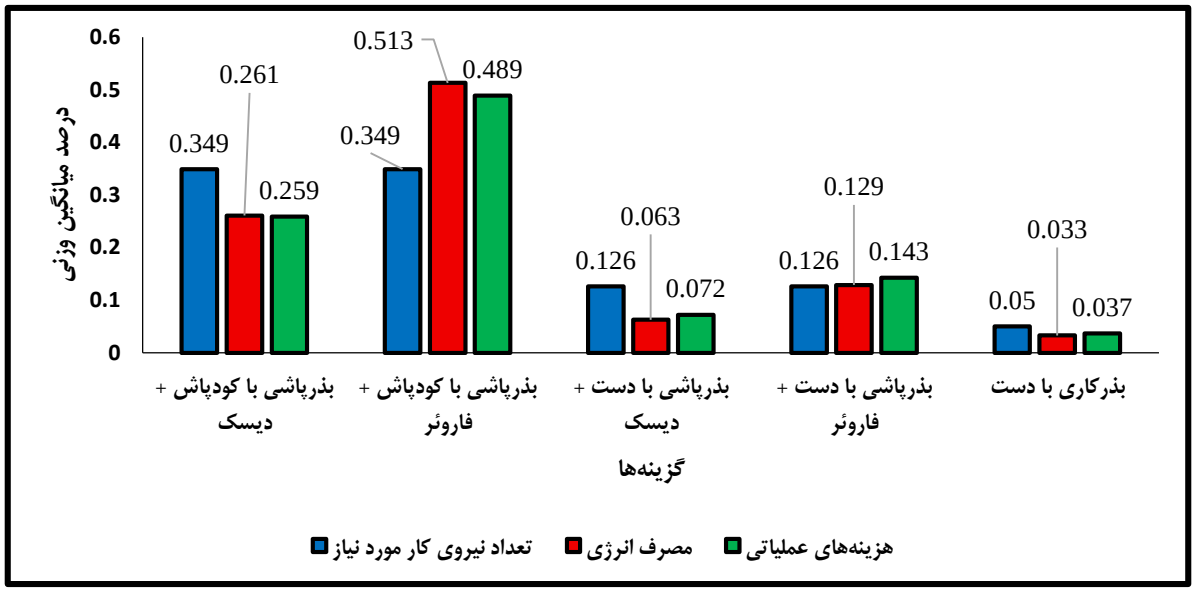
گروه اقتصادی- منابع: این گروه شامل سه معیار تعداد نیروی کار مورد نیاز، مصرف انرژی و هزینه‌های عملیاتی می‌باشد. نرخ ناسازگاری محاسبه‌شده برای این گروه بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۶ است که نشان‌دهنده سازگاری بالا و اعتبار نتایج مقایسه زوجی است.

بر اساس نتایج مقایسه زوجی که در شکل ۵ ارائه شده، در معیار تعداد نیروی کار مورد نیاز، بالاترین وزن (۰/۳۴۹) به گزینه‌های

بذرپاشی با کودپاش + دیسک و بذرپاشی با کودپاش + فاروئر تعلق دارد، که نشان‌دهنده نیاز بیشتر این روش‌ها به نیروی انسانی نسبت به گزینه‌های دیگر است. گزینه‌های بذرپاشی با دست + دیسک و بذرپاشی با دست + فاروئر با وزن ۰/۱۲۶ در رتبه بعدی قرار دارند و بذرکاری با دست با وزن ۰/۰۵ کمترین نیاز به نیروی کار را دارد.

در معیار مصرف انرژی، بیشترین وزن (۰/۵۱۳) متعلق به گزینه بذرپاشی با کودپاش + فاروئر است، که نشان‌دهنده مصرف انرژی بالاتر این روش نسبت به سایر گزینه‌ها می‌باشد. گزینه بذرپاشی با کودپاش + دیسک با وزن ۰/۲۶۱ در رتبه دوم قرار دارد. گزینه‌های بذرپاشی با دست + فاروئر و بذرپاشی با دست + دیسک با وزن‌های ۰/۱۲۹ و ۰/۰۶۳ و بذرکاری با دست با وزن ۰/۰۳۳ کمترین مصرف انرژی را نشان می‌دهند.

در معیار هزینه‌های عملیاتی، بیشترین وزن (۰/۴۸۹) به گزینه بذرپاشی با کودپاش + فاروئر تعلق دارد، در حالی که گزینه بذرپاشی با کودپاش + دیسک با وزن ۰/۲۵۹ در رتبه دوم است. گزینه‌های بذرپاشی با دست + فاروئر و بذرپاشی با دست + دیسک با وزن‌های ۰/۱۴۳ و ۰/۰۷۲ و بذرکاری با دست با وزن ۰/۰۳۷ کمترین هزینه عملیاتی را دارند.



شکل ۵. مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیارهای اقتصادی-منابع

این تحلیل نشان می‌دهد که روش‌های مبتنی بر کودپاش با وجود کیفیت و کارایی بالا، نیاز به نیروی کار و مصرف انرژی و هزینه بیشتری دارند، در حالی که روش‌های دستی از نظر منابع اقتصادی سبک‌تر و کم‌هزینه‌تر هستند. تصمیم‌گیری نهایی باید با توجه به تعادل میان عملکرد فنی و صرفه اقتصادی صورت گیرد.

بررسی روش‌های مختلف کاشت تریتیکاله بر اساس امتیاز در معیارها

نتایج حاصل از جدول ۲، اختلاف وزن‌ها یا امتیازات روش‌های مکانیزه و دستی را در هر یک از معیارهای ارزیابی به روشنی نشان می‌دهد.

روش بذرپاشی با کودپاش + دیسک: این روش معیار ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر با امتیاز ۰/۴۵۲ بهترین عملکرد را دارد. همچنین در معیارهای یکنواختی پخش بذر (۰/۳۳۷) و ارگونومی و سهولت انجام کار (۰/۳۰۱) امتیازات خوبی کسب کرده است. در عمق مناسب کاشت (۰/۲۸۳) عملکرد قابل قبولی دارد، اما در معیارهای مدیریت آب و زهکشی (۰/۱۳۲) و قابلیت کاربری در انواع قطعات (۰/۰۸۴) امتیازات کمتری دریافت کرده است. در معیارهای هزینه‌ای مانند تعداد نیروی کار مورد نیاز (۰/۳۴۹)، مصرف انرژی (۰/۲۶۱) و هزینه‌های عملیاتی (۰/۲۵۹) امتیاز بالاتری دارد که نشان‌دهنده هزینه‌های بیشتر نسبت به برخی روش‌های دیگر است.

روش بذرپاشی با کودپاش + فاروئر: در معیارهای مصرف انرژی (۰/۵۱۳) و هزینه‌های عملیاتی (۰/۴۸۹) بالاترین امتیاز را دارد که نشان‌دهنده بالاتر بودن این هزینه‌ها است. با این حال، در معیارهای ارگونومی و سهولت انجام کار (۰/۳۹۸) و مدیریت آب و زهکشی (۰/۳۳۶) امتیازات بسیار خوبی کسب کرده است. همچنین در یکنواختی پخش بذر (۰/۳۰۹) و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (۰/۳۲۷) عملکرد مطلوبی دارد. در عمق مناسب کاشت (۰/۱۲۳) و قابلیت کاربری در انواع قطعات (۰/۱۱۱) امتیازات کمتری دریافت کرده است.

روش بذرپاشی با دست + دیسک: این روش در معیار عمق مناسب کاشت (۰/۲۸۳) عملکردی مشابه روش مکانیزه دیسک دارد. در قابلیت کاربری در انواع قطعات (۰/۱۵۴) نسبت به روش مکانیزه دیسک، امتیاز بالاتری کسب کرده است. امتیازات آن در یکنواختی پخش بذر (۰/۱۳۹) و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (۰/۱۱۳) نسبت به روش‌های مکانیزه مشابه کمتر است. همچنین در معیارهای هزینه‌ای مانند تعداد نیروی کار مورد نیاز (۰/۱۲۶)، مصرف انرژی (۰/۰۶۳) و هزینه‌های عملیاتی (۰/۰۷۲) امتیازات کمتری نسبت به روش مکانیزه دیسک دارد.

روش بذرپاشی با دست + فاروئر: در معیار قابلیت کاربری در انواع قطعات (۰/۲۰۴) امتیاز قابل قبولی دارد و بالاتر از روش مکانیزه فاروئر است. در مدیریت آب و زهکشی (۰/۳۳۶) مشابه روش مکانیزه فاروئر امتیاز بالایی کسب کرده است. با این حال، در معیارهای یکنواختی پخش بذر (۰/۱۲۹) و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (۰/۰۷۹) امتیازات کمتری نسبت به روش مکانیزه دریافت کرده است. در معیارهای هزینه‌ای مانند تعداد نیروی کار مورد نیاز (۰/۱۲۶)، مصرف انرژی (۰/۱۲۹) و هزینه‌های عملیاتی (۰/۱۴۳) امتیازات نسبتاً پایینی دارد.

روش بذرکاری با دست: این روش در معیار قابلیت کاربری در انواع قطعات با امتیاز ۰/۴۴۷ بهترین عملکرد را دارد و در این زمینه بر سایر روش‌ها برتری قاطع دارد. همچنین در معیارهای هزینه‌ای مانند تعداد نیروی کار مورد نیاز (۰/۰۵۰)، مصرف انرژی (۰/۰۳۳) و هزینه‌های عملیاتی (۰/۰۳۷) کمترین امتیاز را کسب کرده که نشان‌دهنده پایین‌ترین هزینه‌ها است. اما در اکثر معیارهای فنی و بهره‌وری مانند یکنواختی پخش بذر (۰/۰۸۶)، مدیریت آب و زهکشی (۰/۰۶۲)، ارگونومی و سهولت انجام کار (۰/۰۴۸) و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (۰/۰۲۹) امتیازات بسیار پایینی دارد.

در مجموع، اگرچه روش دستی در دو معیار (عمق کاشت و سازگاری با قطعات مختلف زمین) عملکرد بهتری دارد، اما برتری قابل توجه روش مکانیزه فاروئری در معیارهای فنی–بهره‌وری و اقتصادی باعث می‌شود که در ارزیابی کلی، روش بذرپاشی با کودپاش + فاروئر به‌طور محسوسی مناسب‌تر از بذرکاری با دست باشد.

در تائید نتایج پژوهش حاضر، (یوسفی، ۱۴۰۴)، در ارزیابی فنی و اقتصادی روش‌های مختلف کاشت تریتیکاله به‌عنوان کشت دوم در اراضی شالیزاری استان گیلان نشان دادکه روش‌های مکانیزه به طور معناداری از نظر زمان انجام عملیات بر روش‌های دستی برتری دارند. به طوری که بذرپاشی با کودپاش + دیسک با ۶/۱۵ ساعت در هکتار و بذرپاشی با کودپاش + فاروئر با ۶/۱۶ ساعت در هکتار بالاترین کارایی زمانی را نشان دادند. در مقابل، روش‌های دستی، به ویژه بذرکاری با دست با ۲۳۸/۴۶ ساعت در هکتار، به عنوان کم‌بازده‌ترین و زمان‌برترین شیوه معرفی شدند. از منظر اقتصادی نیز نتایج نشان داد که کمترین هزینه تولید مربوط به روش‌های مکانیزه، شامل بذرپاشی با کودپاش + فاروئر (۶۵۷۱۲۲۵۰ ریال در هکتار) و بذرپاشی با کودپاش + دیسک (۶۵۹۴۶۲۵۰ ریال در هکتار) بوده است. در مقابل، بیشترین هزینه تولید به روش‌های دستی، به ویژه بذرکاری با دست (۲۵۴۴۰۵۰۰۰ ریال در هکتار) اختصاص داشته است.

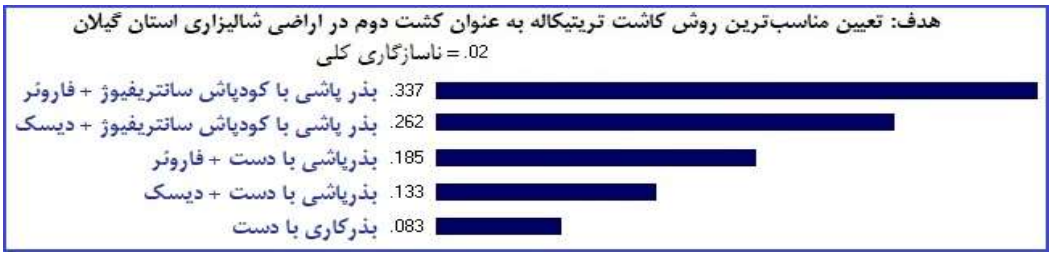
جدول ۲. مقایسه روش‌های کاشت تریتیکاله بر اساس معیارها

معیارها	بذرپاشی با کودپاش + دیسک	بذرپاشی با کودپاش + فاروئر	بذرپاشی با دست + دیسک	بذرپاشی با دست + فاروئر	بذرکاری با دست
عمق مناسب کاشت	۰/۲۸۳	۰/۱۲۳	۰/۲۸۳	۰/۱۲۳	۰/۱۹۰
یکنواختی پخش بذر	۰/۳۳۷	۰/۳۰۹	۰/۱۳۹	۰/۱۲۹	۰/۰۸۶
مدیریت آب و زهکشی	۰/۱۳۲	۰/۳۳۶	۰/۱۳۲	۰/۳۳۶	۰/۰۶۲
قابلیت کاربری در انواع قطعات	۰/۰۸۴	۰/۱۱۱	۰/۱۵۴	۰/۲۰۴	۰/۴۴۷
ارگونومی و سهولت انجام کار	۰/۳۰۱	۰/۳۹۸	۰/۱۰۹	۰/۱۴۴	۰/۰۴۸
ظرفیت مزرعه ای مؤثر	۰/۴۵۲	۰/۳۲۷	۰/۱۱۳	۰/۰۷۹	۰/۰۲۹
تعداد نیروی کار مورد نیاز	۰/۳۴۹	۰/۳۴۹	۰/۱۲۶	۰/۱۲۶	۰/۰۵۰
مصرف انرژی	۰/۲۶۱	۰/۵۱۳	۰/۰۶۳	۰/۱۲۹	۰/۰۳۳
هزینه‌های عملیاتی	۰/۲۵۹	۰/۴۸۹	۰/۰۷۲	۰/۱۴۳	۰/۰۳۷

تلفیق

بر اساس نتایج حاصل از تلفیق گزینه‌ها و معیارها، مطابق با شکل ۶، روش بذرپاشی با کودپاش همراه با فاروئر با وزن ۰/۳۳۷ به عنوان مناسب‌ترین گزینه در میان روش‌های کاشت تریتیکاله شناسایی شده است. این نتیجه بیانگر برتری این روش از منظر تلفیقی معیارهای فنی، عملیاتی و مدیریتی است. در گروه اقتصادی–منابع، این روش به دلیل مصرف انرژی بهینه‌تر (امتیاز بالاتر در این معیار) و هزینه‌های

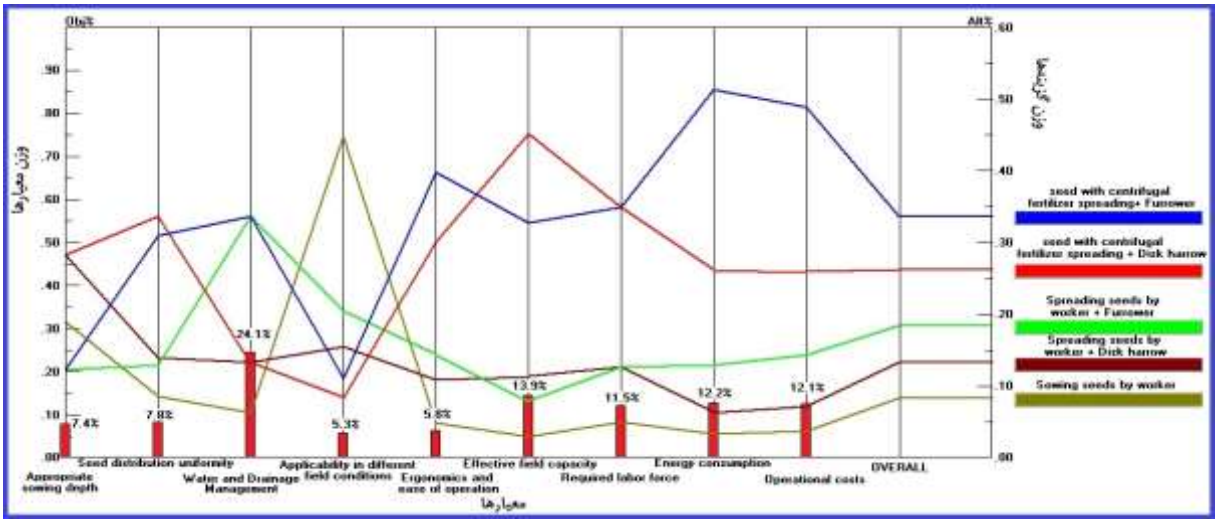
عملیاتی کمتر (امتیاز بالاتر در این معیار) نسبت به سایر روش‌ها، اولویت بالاتری یافته است. همچنین، این روش در معیارهای فنی و مدیریتی شامل عمق کاشت، یکنواختی پخش بذر، مدیریت آب و زهکشی، ظرفیت مزرعه‌ای و سهولت انجام کار نیز امتیازات قابل قبولی کسب کرده است. روش بذرپاشی با کودپاش همراه با دیسک با وزن ۰/۲۶۲ دومین گزینه برتر محسوب می‌شود. این روش نیز در گروه اقتصادی–منابع، با وجود آنکه نسبت به روش فاروئر در برخی جنبه‌ها (مانند مصرف انرژی یا هزینه‌های عملیاتی) امتیاز کمتری کسب کرده، همچنان از گزینه‌های دستی کارآمدتر است. گزینه‌های دستی، به ویژه بذرکاری صرفاً با دست با وزن ۰/۰۸۳، کمترین اولویت را نشان می‌دهند. این امر به دلیل امتیازات پایین‌تر در معیارهای اقتصادی–منابع (مانند نیاز به نیروی کار بیشتر و هزینه‌های عملیاتی بالاتر) و همچنین محدودیت عملکرد در معیارهای فنی و بهره‌وری تحقیق است. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که استفاده از کودپاش مکانیزه و ابزار فاروئر، ضمن بهبود یکنواختی پخش بذر، مدیریت آب و ظرفیت عملیاتی، به طور چشمگیری کارایی کاشت را افزایش داده و در جنبه‌های اقتصادی–منابع نیز مقرون‌به‌صرفه‌تر عمل می‌کند. به طور کلی، این یافته‌ها تأکید می‌کنند که روش‌های مکانیزه مبتنی بر کودپاش و فاروئر، بهترین راهکار برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های عملیاتی در کاشت تریتیکاله هستند. در مقابل، روش بذرکاری صرفاً با دست کمترین اولویت را دارا می‌باشد. نرخ ناسازگاری محاسبه شده برای تلفیق گزینه‌ها و معیارها با توجه به هدف پژوهش، برابر با ۰/۰۲ است. این مقدار که کوچکتر یا مساوی ۰/۱ است، نشان‌دهنده سازگاری قابل قبول سیستم در تحلیل است.



شکل ۶. وزن نهایی گزینه‌ها (تلفیق گزینه‌ها و معیارها با توجه به هدف تحقیق)

تحلیل حساسیت

مطابق شکل ۷، محور عمودی سمت راست، وزن گزینه‌ها (روش‌های کاشت) و محور عمودی سمت چپ، وزن معیارها را نشان می‌دهد. وزن کلی روش کاشت بذرپاشی با کودپاش + فاروئر نسبت به سایر روش‌ها بیشتر است. معیارهای این روش، دارای نوساناتی است که در تعدادی از معیارها، وزن آن پائین و در تعدادی، بالاتر از سایر روش‌هاست و وزن کلی این روش، نسبت به سایر روش‌ها بالاتر است و استفاده از آن قابل توصیه است. این تحقیق نشان می‌دهد که روش‌های کاشت تریتیکاله نسبت به معیار مدیریت آب و زهکشی حساس‌تر از سایر معیارهاست و در رتبه‌های بعد به ترتیب ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، مصرفی انرژی، هزینه‌های عملیاتی، تعداد نیروی کار مورد نیاز، یکنواختی پخش بذر، عمق مناسب کاشت، ارگونومی و سهولت انجام کار و قابلیت کاربری در انواع قطعات قرار دارد؛ بنابراین در انتخاب روش کاشت می‌بایست معیار مدیریت آب و زهکشی در اولویت قرار گیرد.



شکل ۷. تجزیه و تحلیل حساسیت (کارآئی)

بحث

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که وزن روش‌های مکانیزه کاشت تریتیکاله، به ویژه بذرپاشی با کودپاش همراه با فاروئر، برتری قابل توجهی نسبت به روش‌های دستی دارند. در گروه معیارهای عملیاتی، اگرچه بذرکاری با دست بیشترین انعطاف‌پذیری و قابلیت کاربری در زمین‌های با شرایط متنوع را ارائه می‌دهد، اما از نظر ارگونومی، سهولت انجام کار و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، عملکرد آن محدود است. این یافته‌ها تأکید می‌کند که روش دستی برای زمین‌های کوچک یا ناهموار مناسب است، اما در بهره‌وری کلی مزرعه محدودیت دارد.

در گروه معیارهای اقتصادی، روش‌های مکانیزه، مصرف انرژی، تعداد نیروی کار و هزینه‌های عملیاتی بالاتری دارند، در حالی که روش‌های دستی از نظر اقتصادی سبک‌تر و کم‌هزینه‌تر هستند. این تضاد میان کارایی فنی و صرفه اقتصادی نشان‌دهنده ضرورت اتخاذ تصمیم متوازن در انتخاب روش کاشت است.

تحلیل تلفیقی و وزن نهایی گزینه‌ها بیانگر برتری روش بذرپاشی با کودپاش + فاروئر است که ضمن یکنواختی پخش بذر، عمق مناسب کاشت و مدیریت آب و زهکشی، ظرفیت عملیاتی بالاتری ارائه می‌دهد. روش کودپاش + دیسک در برخی معیارهای فنی عملکرد مناسبی دارد، اما در معیارهای اقتصادی ضعیف‌تر است. روش‌های دستی، علی‌رغم مزیت در قابلیت کاربری زمین و عمق کاشت، در سایر معیارها عملکرد پایینی دارند.

تحلیل حساسیت نیز نشان داد که معیار مدیریت آب و زهکشی بیشترین تأثیر را در انتخاب روش کاشت دارد، پس از آن ظرفیت مزرعه‌ای، مصرف انرژی و هزینه‌های عملیاتی اهمیت دارند. در نهایت، یافته‌ها حاکی از آن است که استفاده از کودپاش مکانیزه همراه با فاروئر، بهترین تعادل را میان کارایی فنی، بهره‌وری عملیاتی و صرفه اقتصادی فراهم می‌کند و گزینه‌ای مناسب برای افزایش بهره‌وری و کاهش محدودیت‌های انسانی و زمانی در کاشت تریتیکاله است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تحلیل‌های AHP نشان داد که روش بذرپاشی با کودپاش همراه با فاروئر با وزن نهایی ۰/۳۳۷، بهترین گزینه برای کاشت تریتیکاله به عنوان کشت دوم در شالیزارهای استان گیلان است. این روش از نظر تلفیق معیارهای فنی، عملیاتی و اقتصادی شامل یکنواختی پخش بذر، مدیریت آب و زهکشی، ارگونومی و سهولت انجام کار، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، مصرف انرژی و هزینه‌های عملیاتی عملکرد برتری داشت. بذرپاشی با کودپاش همراه با دیسک با وزن ۰/۲۶۲ در رتبه دوم قرار گرفت و اگرچه در برخی معیارهای فنی مانند عمق مناسب کاشت و یکنواختی پخش بذر مزیت داشت، اما از نظر مجموع معیارهای عملیاتی و اقتصادی کمتر مؤثر بود. روش‌های دستی، به ویژه بذرکاری صرفاً با دست با وزن ۰/۰۸۳ دارای کمترین اولویت بود و محدودیت‌های آن‌ها در دستیابی به یکنواختی کاشت، بهره‌وری مزرعه‌ای و مدیریت منابع به وضوح مشهود بود. تحلیل حساسیت نشان داد که معیار مدیریت آب و زهکشی بیشترین تأثیر را بر انتخاب روش کاشت داشته است و پس از آن ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، مصرف انرژی و هزینه‌های عملیاتی اهمیت بالایی داشتند. بنابراین، برای افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های عملیاتی و بهبود کیفیت کاشت تریتیکاله، استفاده از روش مکانیزه مبتنی بر کودپاش و فاروئر توصیه می‌شود .انتخاب روش کاشت باید با توجه به حساسیت نسبت به مدیریت آب و زهکشی و همزمان با توجه به جنبه‌های عملیاتی و اقتصادی انجام گیرد تا بالاترین عملکرد مزرعه‌ای حاصل شود.

با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل معیارها و گزینه‌ها، توصیه‌های زیر به‌منظور بهبود کارآیی و افزایش بهره‌وری عملیات کاشت تریتیکاله در شالیزارهای استان گیلان ارائه می‌شود:

۱- استفاده از روش بذرپاشی مکانیزه با کودپاش + فاروئر به عنوان روش اولویت‌دار برای افزایش بهره‌وری و کاهش محدودیت‌های نیروی انسانی و زمانی.

۲- در زمین‌های کوچک یا ناهموار که ماشین‌آلات مکانیزه محدودیت دارند، استفاده از روش دستی با رعایت نکات فنی توصیه می‌شود.

۳- در مدیریت کشت تریتیکاله بعد از برنج باید معیارهای مدیریت آب و زهکشی و ظرفیت مزرعه‌ای را به عنوان اولویت اصلی در انتخاب روش کاشت لحاظ کند.

۴- بررسی اقتصادی بلندمدت و آموزش کشاورزان برای بهره‌گیری از تکنیک‌های مکانیزه جهت کاهش هزینه‌های عملیاتی و مصرف انرژی ضروری است.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی
مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی موسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد.

مشارکت نویسندگان
مشارکت نویسندگان در مقاله به شکل زیر باشد:
روح اله یوسفی: طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله
افسانه برنجکار گورابی: گردآوری داده‌ها
فاطمه علیپور مبارکی: گردآوری داده‌ها

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش
از ابزار هوش مصنوعی استفاده نشده است
داده‌هایی پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

سپاسگزاری
از موسسه تحقیقات برنج کشور به خاطر حمایت مالی در اجرای پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌شود.
از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش
نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

تعارض منافع
بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

اسکندری چراتی، فضل‌الله. (۱۳۹۱). استفاده از فرآیند سلسله مراتبی (AHP) در ارزیابی و انتخاب بهترین روش وجین کاری علف‌های هرز برنج. هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، شیراز.

حربی زاده، محمد و شیخ داوودی، جواد. (۱۳۹۲). انتخاب کمباین مناسب با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی. هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، مشهد.

خورشید دوست، علی محمد و عادلی، زهرا. (۱۳۸۸). اسفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای یافتن مکان بهینهٔ دفن زباله (مطالعهٔ موردی شهر بناب). *مجلهٔ محیط شناسی*. ۳۵ (۵۱)، ۲۷-۳۲.

ربیعی، محمد و ابراهیمی، مینا. (۱۴۰۳). باقلا گیاهی سازگار با اقلیم شمال کشور پس از برداشت برنج. *مجله ترویجی شالیزار. ۶ (۱)، ۱۸-۲۵.*

ربیعی، محمد و شاکرکوهی، سجاد. (۱۴۰۳). ارزیابی صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد باقلا(Vicia faba L.) تحت تأثیر سطوح مختلف کودهای شیمیایی در اراضی شالیزاری. *پژوهش‌های حبوبات ایران*. ۱۶ (۱)، ۵۵-۶۹.

ربیعی، محمد؛ حسینی چالشتری، مریم و ابراهیمی، مینا. (۱۴۰۳). زراعت تریتیکاله به‌عنوان محصول دوم در شالیزار. *موسسه تحقیقات برنج کشور*. ۶۱ صفحه.

سعدی، حشمت الله؛ کلانتری، خلیل و ایروانی، هوشنگ. (۱۳۸۷). اولویت سنجی نظام برتر ترویج در حفاظت آب، خاک و پوشش گیاهی (بیابان زدایی): فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). *علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران*. ۴ (۱)، ۱-۱۳.

شاهین رخسار، پریسا؛ قاسمی، جواد و نظمی، علی. (۱۴۰۱). تحلیل ارجحیت ذهنی شالیکاران نسبت به کشت دوم پس از برنج در شهرستان رشت: کاربرد تحلیل سلسه مراتبی (AHP). *مطالعات کارآفرینی و توسعه پایدار کشاورزی. ۹ (۳). ۵۳-۷۰.*

صفری، محمود و گرامی، کریم. (۱۳۹۹). اولویت‌بندی روش و معیار سم‌پاشی مزارع گندم به کمک تحلیل سلسله مراتبی (AHP). *مهندسی بیوسیستم ایران*. ۵۱ (۱)، ۱۳۹-۱۴۸.

قدسی پور، حسن. (۱۳۹۸). *فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)*. چاپ سیزدهم. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

لقمانپور زرینی، رسول؛ کلانتری، داود. اکرم، اسداله و ملاپور، سامان. (۱۴۰۰). انتخاب مناسب ترین نوع سمپاش در باغات مرکبات استان مازندران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی. *مهندسی بیوسیستم ایران*. ۵۲ (۱)، ۱۱۹-۱۲۹.

مشایخی، علی؛ رضاپور، میلاد و علیرضایی، علی اصغر. (۱۳۹۲). انتخاب انتخاب مناسب ترین نوع پمپ هیدرولیکی با استفاده از نرم افزار آنالیز سلسله مراتبی. هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، مشهد.

منجم، سالار؛ رنجی، عادل. خانی، مریم. عطاری، حمید و درستی، حمید (۱۳۹۲). ارزیابی روش های تولید برنج در استان گیلان با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). *تحقیقات غلات*. ۳ (۳)، ۲۵۵-۲۶۶.

منصوری، ندا؛ ذکی دیزجی، حسن؛ شیخ داودی، محمدجواد و عساکره، عباس. (۱۳۹۸). بررسی و مقایسه روش‌های مختلف کشت قلمه نیشکر در شرایط خوزستان. *تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی*. ۲۰ (۷۲)، ۷۳-۹۰.

نداف فهمیده، سلماز؛ اللهیاری، محمد صادق؛ انصاری، محمد حسین و کاوسی کلاشمی، محمد. (۱۳۹۴). تحلیل آثار اقتصادی- اجتماعی پذیرش کشت دوم پس از برنج در شهرستان فومن. *تحقیقات غلات. ۵ (۲)*، ۱۲۱-۱۳۰.

نیکمردان، علی. (۱۳۹۱). معرفی نرم افزار Expert choice 11. چاپ دوم. جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیر کبیر.

یوسفی، روح اله و برنجکار گوربی، افسانه. (۱۴۰۴). تعیین مناسب‌ترین نوع سم‌پاش در اراضی شالیزاری استان گیلان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی. *مهندسی بیوسیستم ایران*. ۵۶(۳)، ۶۱-۸۱.

یوسفی، روح‌اله. (۱۴۰۴). ارزیابی فنی و اقتصادی روش‌های کاشت تریتیکاله به عنوان کشت دوم در اراضی شالیزاری استان گیلان. نشریه مکانیزاسیون کشاورزی. ۱۰(۳)، ۵۷-۶۸

یوسفی، روح اله و حسینی چالشتری، مریم. (۱۳۹۹). دستورالعمل فنی تولید تریتیکاله به‌عنوان کشت دوم در اراضی شالیزاری (اقلیم گرم و مرطوب). *موسسه تحقیقات برنج کشور*. ۳۶ صفحه.

REFERENCES

Amini, S., & Asoodar, M. A. (2016). Selecting the most appropriate tractor using Analytic Hierarchy Process-an Iranian case study. *Information Processing in Agriculture*, 3, 223-234.

Eskandari-Cherati, F. A. (2012). Using Analytical Hierarchy Process (AHP) in the Evaluation and Selection of the Best Work Weeding the Weeds in Rice. The 7th National Congress on Agricultural Machinery Engineering & Mechanization, 14-16 June. Shiraz. (in Persian).

Ghodsipour, S. H. (2019). *Analytical Hierarchy Process (AHP).* The Thirteenth edition. Amirkabir University Publication (Tehran Polytechnic), 224 p. (in Persian).

Harbizadeh, M., & Sheikhdavoodi, M. J.(2013). Choosing proper combine using Analytic Hierarchy Process. In The 8th *National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Biosystem) & Mechanization*, 9–11 November, Mashhad, 3866–3876. (In Persian).

Harker, P., & vargass, L. (1987). The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytical Hierarchy Process. *Management Science*, 33(11), 1383- 1403.

Khorshid Dost, AM., & Adeli, Z. (2009). Using the analytic hierarchy process (AHP) to find the optimal location for waste landfill (a case study of Bonab City). *Journal of Ecology*. 35 (51), 27-32. (In Persian).

Loghmanpour zarini, R., Kalantari, D., Akram, A., & Mollapour, S. 2020. Selecting the Proper Sprayer in Citrus Gardens of Mazandaran Province by Analytical Hierarchy Process. *Iranian Journal of Biosystems Engineering (IJBSE)*, 52(1), 119-129. (In Persian). https://dx.doi.org/10.22059/ijbse.2020.298099.665280.

Mansouri, N., Zaki Dizaji, H., Sheikhdavoodi, M. J., & Asakereh, A. (2019). Evaluation of different planting method for sugarcane for Khuzestan region. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 20(72): 73–90. (in Persian).

Mashayekhi, A., Rezapour, M., & Alirezaei, A. A. (2013). Selecting the most appropriate type of hydraulic pump using software. The 8th National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Biosystem) & Mechanization, 9-11 November. Mashhad. 3551-3557. (in Persian).

Monajem, S., Ranji, A., Khani, M., & Dorosti, H. (2013). Evaluation of rice production systems in Guilan province by using of Analytical Hierarchy Process (AHP). *Cereal Research*, 3(3), 255-266. (in Persian).

Naddaf Fahmideh, S., Allahyari, M., Ansari, M. H., & Kavoosi Kalashami, M. (2015). The socio-economic effects of accepting the second culture after rice in Fouman Township. *Cereal Research*, 5(2): 121–130. (in Persian). Doi: 20.1001.1.22520163.1394.5.2.2.5.

Nikmardan, A. (2012). *Introduction the Expert Choice Software (With Abstract of AHP Subject).* The Second Edition. Jahad Daneshgahi Publication. Amirkabir University, 172 p. (in Persian).

Rabiee, M., & Ebrahimi, M. (2023). Local beans are a suitable crop for cultivation after harvesting rice in paddy fields. *Shalizar Extension Magazine*, 5(1): 29–35. (In Persian).

Rabiee, M., & Shaker Kouhi, S. (2025). Evaluation of morphological traits, yield and components of faba bean under different fertilizer levels in paddy fields. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(1): 55–69. (in Persian). Doi: 10.22067/ijpr.2024.89419.1096.

Rabiee, M., Hosseini Chaleshtori, M., & Ebrahimi, M. (2024). Cultivation of triticale as a second crop in rice paddies. *Publications of the Rice Research Institute of Iran*, 61 p. (in Persian).

Saadi, H., Kalantari, Kh., & Iravani, H. (2008). Determination of Preferable Extension System for Preventing Desertification: an Application of Analytical and Hierarchical Process (AHP). *Iran Agricultural Extension and Education Journal*, 4(1), 54-67. (in Persian).

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.

Safari, M., & Gerami, K. (2019). Prioritization of Methods and Criteria of Spraying for Wheat Fields by Analytical Hierarchy Process (AHP). *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 51(1), 139- 148. (in Persian).

Shahinrokhsar, P., Ghasemi, J., & Nazmi, A. (2022). Analyzing mental preferences of paddy farmers toward post-rice crops. *Journal of Studies in Entrepreneurship & Sustainable Agricultural Development*, 9(3): 53–70. (in Persian). Doi:10.22069/JEAD.2022.20275.1602.

Srdjevic, B., & Jandric, Z. (2010). Analytical Hierarchy Process in selecting the best irrigation method. *Agricultural System*, 103(6), 350-358.

Yousefi, R., & Berenjkar Gorabi, A. (2025). Determining the most suitable type of sprayer for paddy fields in Guilan Province using AHP. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 56(3): 61–81. (in Persian). Doi:10.22059/IJBSE.2025.402790.665615.

Yousefi, R. (2025). Technical and Economic Evaluation of Triticale Cultivation Methods as a Second Crop in paddy fields of Guilan Provinc. *Journal of Agricultural Mechanization*, 10 (3):57-68. (in Persian). https://doi.org/10.22034/jam.2025.67931.1340.

Yousefi, R., & Hosseini Chaleshtori, M. (2020). Technical Guidelines for the Production of Triticale as a Second Crop in Paddy Fields. *Publications of the Rice Research Institute of Iran*, 36 p. (in Persian).