FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHER)

Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)
Volume 11, Number 1, Spring (2026)

Journal Homepage: www.jess.ir
Print ISSN: 2588-6851 Online ISSN: 2645-520X

Determining the Optimal Rice Harvesting Method in Paddy Fields of Guilan Province Using the Analytic Hierarchy Process (AHP)

Roohollah Yousefi[1*]; Afsaneh Berenjkar Goorabi[2]

[*]1. Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
2. Ph.D. Graduate in Geography and Rural Planning, Rasht, Iran
* Email Address: r.yousefi1348@gmail.com

Article Info

Article Type:
Research Paper

Article History:

Received Date:
2026/04/25
Revised Date:
2026/06/24
Accepted Date:
2026/06/28
Published Date:
2026/06/28

Keywords:
Criterion,
Manual,
Rice Reaper,
Rice Combine,
Objective.

ABSTRACT

This research was conducted with the aim of determining the most suitable rice harvesting method in the paddy fields of Guilan province using the Analytic Hierarchy Process (AHP). Three harvesting methods, including two-stage harvesting (manual + thresher), two-stage harvesting (reaper + thresher), and one-stage harvesting (special rice combine harvester), were evaluated based on eight main criteria. The results indicated that among the criteria, effective field capacity with a weight of 0.304 had the highest importance, and pollutant emissions with a weight of 0.037 had the lowest importance from the experts' perspective. In the final prioritization of options, the one-stage harvesting method was identified as the most suitable method, achieving the highest score. This method was preferred due to its highest field capacity, lowest total cost, reduced labor requirement, and high operational efficiency compared to other methods. This study suggests that mechanizing rice harvesting can significantly increase productivity, save time, and reduce costs, while manual or semi-mechanized harvesting serves as alternative options in specific situations with land and human resource constraints. The obtained results can assist decision-makers and farmers in Guilan province in selecting the appropriate harvesting method and improving paddy field performance.

Cite this article: Roohollah Yousefi, Afsaneh Berenjkar Goorabi (2026). Determining the Optimal Rice Harvesting Method in Paddy Fields of Guilan Province Using the Analytic Hierarchy Process (AHP)**,** Journal of Environmental Sciences Studies, 11 (1) , Pages 11043- 11056.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Efficient harvesting is crucial, directly impacting yield, costs, labor, and sustainability. Traditional methods (manual or two-stage) face high labor demands and losses. Mechanized harvesting, using single-stage combine harvesters, boosts productivity and cost-efficiency but raises concerns about increased energy consumption, fuel use, and emissions, presenting a trade-off between efficiency and environmental impact. While previous studies touched on harvesting aspects, few integrated technical, economic, and environmental criteria systematically. This study fills that gap by evaluating and prioritizing rice harvesting methods in Guilan via a multi-criteria decision-making approach. Its objectives are to: (i) determine the importance of harvesting criteria, (ii) compare single-stage mechanized, two-stage mechanized, and manual methods, and (iii) offer evidence-based recommendations for optimizing harvesting. Using the Analytic Hierarchy Process (AHP), the study provides a structured decision-making framework, offering theoretical insights into sustainable agriculture and practical guidance for stakeholder.

Materials and methods

This study identified the optimal rice harvesting method in Guilan province using the Analytic Hierarchy Process (AHP). Three methods (manual+thresher, walk-behind harvester+thresher, combine harvester) were evaluated across the 2023-2024 season in key districts. Eight criteria—effective farm capacity, harvesting losses, total cost, labor, energy, fuel consumption, emissions, and field adaptability—were identified through literature review and expert consultation. Operational definitions and qualitative assessments (for adaptability) were established.A three-level AHP structure was developed, with experts performing pairwise comparisons using Saaty's 9-point scale. Thirty experts (academics, executives, farmers) were purposively selected. Questionnaires underwent content validity checks, and expert judgments were aggregated using geometric means after ensuring consistency (inconsistency ratio < 0.1). All analyses were conducted using Expert Choice software (v11).

Results and discussion

The results showed that effective field capacity held the highest priority (weight = 0.304). Conversely, pollutant emissions (weight = 0.037) were ranked lowest, suggesting that environmental considerations currently play a minor role in harvesting decisions. In pairwise comparison of harvesting methods, the one-step harvesting method (full-feed rice combine) achieved the highest weights in effective field capacity (0.649), total cost (0.606), labor requirement (0.648), and energy efficiency (0.437). This method demonstrated superior operational performance by integrating cutting and threshing simultaneously, reducing labor dependency, and lowering overall costs. However, it exhibited the highest levels of fuel consumption (0.474) and pollutant emissions (0.395), largely due to continuous engine operation and higher diesel usage. The two-step manual + thresher method showed better adaptability to local field conditions (weight = 0.637) and lower emissions and fuel consumption, making it more suitable for small, uneven, or waterlogged fields. Despite these advantages, its low field capacity and high labor requirements reduced its overall preference.

Conclusion

This study identified the one-step rice harvesting method using a full-feed combine as the most suitable option for the paddy fields of Guilan province. The superiority of this method stems from its higher field efficiency, reduced total operational cost, lower labor requirement, and greater energy-use effectiveness compared with other alternatives. In contrast, the two-step manual + thresher method ranked lowest due to its higher labor dependence and operational expenses. Nevertheless, in small-scale or irregular fields with high soil moisture, the manual-based two-step method remains more adaptable, emphasizing the importance of aligning harvesting technology with field conditions and mechanization infrastructure. Findings highlighted effective field capacity as the most influential factor in decision-making, underlining the central role of operational efficiency in the mechanization of rice harvesting. Overall, adopting the full-feed combine harvester is recommended as an optimal strategy for improving productivity, reducing costs, and advancing sustainable mechanization in Guilan's paddy systems.

مجله مطالعات علوم محیط زیست
جلد ۱۱، شماره ۱
Journal Homepage: www.jess.ir
شاپای چاپی: 2588-6851 شاپای الکترونیکی: 2645-520X

FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHER)

تعیین مناسب‌ترین روش برداشت برنج در اراضی شالیزاری استان گیلان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

روح اله یوسفی [۱*]، افسانه برنجکار گورابی [۲]

*۱- استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
۲- دانش آموخته دکتری جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، علوم تحقیقات تهران، ایران
*ایمیل نویسنده مسئول: r.yousefi1348@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۵/۰۲/۰۵
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۵/۰۴/۰۳
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۵/۰۴/۰۷
تاریخ انتشار:
۱۴۰۵/۰۴/۰۷

چکیده

این تحقیق با هدف تعیین مناسب‌ترین روش برداشت برنج در مزارع شالیزاری استان گیلان با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام شد. سه روش برداشت شامل برداشت دو مرحله‌ای (دستی + خرمن‌کوب)، برداشت دو مرحله‌ای (دروگر + خرمن‌کوب) و برداشت یک مرحله‌ای (کمباین برنج مخصوص) بر اساس هشت معیار اصلی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در بین معیارها، ظرفیت مؤثر مزرعه با وزن ۰/۳۰۴ بیشترین اهمیت و انتشار آلاینده‌ها با وزن ۰/۰۳۷ کمترین اهمیت از دیدگاه خبرگان را داشتند. در اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها، روش برداشت یک مرحله‌ای به عنوان مناسب‌ترین روش با بالاترین امتیاز شناسایی شد. این روش به دلیل بالاترین ظرفیت مزرعه، کمترین هزینه کل، کاهش نیاز به نیروی کار و راندمان عملیاتی بالا نسبت به سایر روش‌ها ترجیح داده شد. این مطالعه نشان می‌دهد که مکانیزه کردن برداشت برنج می‌تواند بهره‌وری را به طور قابل توجهی افزایش دهد، در زمان صرفه‌جویی کند و هزینه‌ها را کاهش دهد، در حالی که برداشت دستی یا نیمه‌مکانیزه به عنوان گزینه‌های جایگزین در شرایط خاص با محدودیت منابع زمین و انسانی عمل می‌کند. نتایج حاصله می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان و کشاورزان استان گیلان در انتخاب روش برداشت مناسب و بهبود عملکرد مزارع شالیزاری کمک کند.

کلید واژه ها:
دروگر برنج،
دستی،
کمباین برنج،
معیار،
هدف.

ناشر: انتشارات فن پایا

DOI: 10.22034/jess.2026.579455.2449

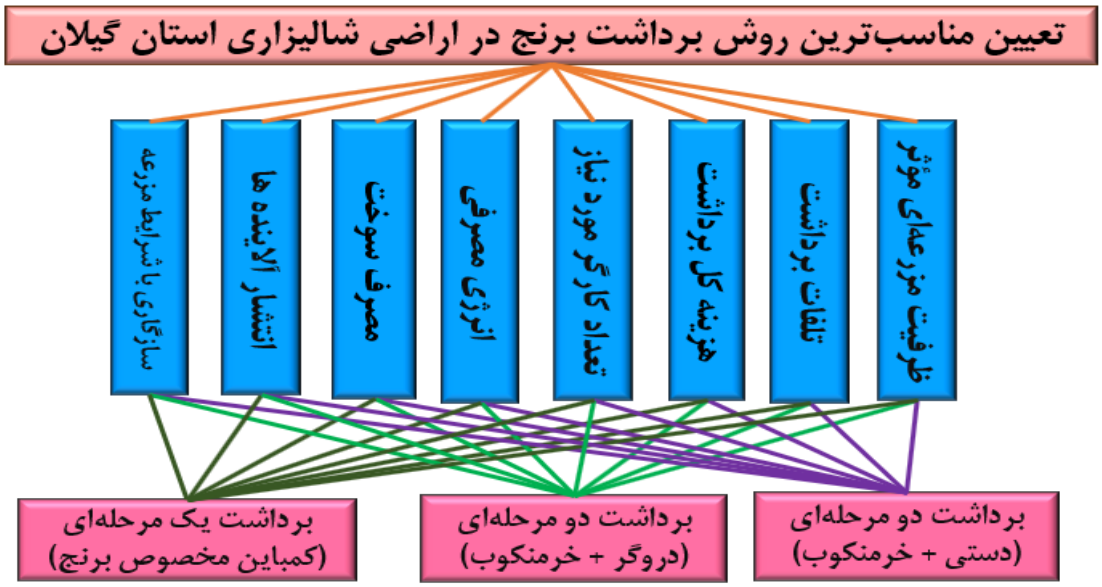
۱- مقدمه

برنج به عنوان غذای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان، نقش حیاتی در امنیت غذایی ایفا می‌کند (Sinha & Talati, 2007). در حال حاضر، تولید برنج در ایران با سطحی معادل ۸۱۱۱۰۹ هکتار زیر کشت و میانگین عملکرد ۴۳۹۰ کیلوگرم شلتوک در هکتار، به حجمی بالغ بر ۳۵۶۰۳۹۷ تن در سال می‌رسد. استان گیلان با تولید سالانه ۹۱۰۴۹۲ تن برنج، تقریباً ۲۶ درصد از کل تولید برنج کشور را شامل می‌شود (بی‌نام، ۱۴۰۴). برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای متعدد و گاه متضادی وجود دارند، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ضروری است. روش تحلیل سلسله مراتبی[1] (AHP) که توسط ساعتی معرفی شد (Saaty, 1990)، 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، ۱۳۹۰). کلیات فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را می توان در طی سه مرحله خلاصه کرد: ساختن سلسله مراتبی، محاسبه وزن و سازگاری سیستم (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 سنجیده می‌شود که مقادیر کمتر از ۰/۱ نشان‌دهنده مقبولیت مقایسات زوجی است (خورشید دوست و عادلی، ۱۳۸۸). روش AHP به دلیل قابلیت تجزیه و تحلیل معیارهای متضاد و اولویت‌بندی گزینه‌ها، به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. در زمینه مکانیزاسیون کشاورزی، مطالعات متعددی از این روش بهره برده‌اند. برای مثال، در مطالعه‌ای جهت انتخاب بهینه‌ترین کمباین، معیارهایی مانند قیمت، تلفات، ظرفیت مزرعه‌ای، مصرف سوخت و قابلیت اطمینان مورد ارزیابی قرار گرفتند (حربی زاده و شیخ داوودی، ۱۳۹۲). همچنین، با استفاده از AHP ، تراکتورهای مناسب در مناطق مختلف بر اساس معیارهایی چون تعمیر و نگهداری و قیمت شناسایی شدند (Amini & Asoodar, 2016).در زمینه انتخاب روش‌های کشاورزی، روش‌های تولید برنج (مکانیزه، نیمه‌مکانیزه و سنتی) در گیلان با استفاده از AHP ارزیابی شدند که در آن روش مکانیزه با میانگین وزنی ۰/۳۴۷ در رتبه نخست قرار گرفت. در این مطالعه به اهمیت معیارهای زراعی، اقتصادی، اجتماعی و ارگونومی اشاره شد (منجم و همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعه‌ای دیگر درباره ارزیابی و انتخاب بهترین روش وجین علف‌های هرز برنج، روش‌های شیمیایی، وجین‌کن مکانیکی بدون موتور، وجین‌کن مکانیکی موتوردار و وجین‌کن دستی بر اساس معیارهایی مانند عملکرد، انرژی، جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و ارگونومی اولویت‌بندی شدند و روش شیمیایی با میانگین نسبت وزنی ۰/۳۴ به‌عنوان کارآمدترین گزینه شناخته شد (اسکندری چراتی، ۱۳۹۱).در مطالعه‌ای که در استان گیلان انجام شد، چهار مدل کسب‌وکار در زنجیره ارزش برنج با استفاده از AHP مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد مدل بازارساز با بالاترین وزن نسبی (۰/۵۱۰) بهترین گزینه است، در حالی که مدل ارکستر کم‌اهمیت‌ترین شناخته شد. پیشنهاد می‌شود این اولویت‌بندی در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های بخش برنج مورد توجه قرار گیرد و با ایجاد مرکز بین‌المللی تجارت برنج، بازار این محصول سامان‌دهی شود (حسنی مقدم و همکاران، ۱۴۰۳). مرور این مطالعات نشان می‌دهد که روش تحلیل سلسله‌مراتبی ابزاری کارآمد برای تحلیل و بهینه‌سازی فرآیندهای تصمیم‌گیری در کشاورزی است. با این حال، تاکنون پژوهش جامعی درباره تعیین مناسب‌ترین روش برداشت برنج در اراضی شالیزاری استان گیلان انجام نشده است. ازاین‌رو، هدف پژوهش حاضر شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر در انتخاب روش برداشت مناسب برای این اراضی، مقایسه روش‌های برداشت رایج (برداشت دومرحله‌ای دستی + خرمنکوب، برداشت دومرحله‌ای دروگر + خرمنکوب، و برداشت یک‌مرحله‌ای با کمباین مخصوص برنج)، و در نهایت تعیین روش بهینه با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتب است. نتایج این مطالعه می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری کشاورزان، افزایش بهره‌وری و ارتقای پایداری تولید برنج در استان گیلان کمک کند.

1 . Analytic hierarchy process

۲- روش انجام تحقیق

در این پژوهش، به‌منظور تعیین مناسب‌ترین روش برداشت برنج در اراضی شالیزاری استان گیلان، سه روش متداول برداشت شامل برداشت دو مرحله‌ای (دستی + خرمنکوب)، برداشت دو مرحله‌ای (دروگر + خرمنکوب) و برداشت یک مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. این مطالعه طی سال‌های زراعی ۱۴۰۴– ۱۴۰۳ و تحت شرایط رایج شالیزارهای استان گیلان انجام شد. با توجه به آمار سطح برداشت برنج به تفکیک روش‌های مختلف برداشت در سال زراعی ۱۴۰۳، منتشرشده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان، شهرستان‌های رشت، آستانه‌اشرفیه، صومعه سرا، لاهیجان، فومن و لنگرود به‌عنوان مناطق شاخص انتخاب شدند. این شهرستان‌ها به دلیل سهم بالای سطح زیر کشت برنج، تنوع روش‌های برداشت (دستی، دروگر و کمباین) و رواج نسبی برداشت مکانیزه، نماینده شرایط غالب شالیزارهای استان محسوب می‌شوند. با توجه به ماهیت چندمعیاره مسئله و ضرورت در نظر گرفتن هم‌زمان شاخص‌های فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجرایی، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به‌عنوان ابزار تصمیم‌گیری استفاده شد. این روش به دلیل ساختار منطقی، قابلیت تلفیق معیارهای کمی و کیفی و قابلیت بررسی سازگاری قضاوت‌ها، کاربرد گسترده‌ای در ارزیابی سامانه‌های مکانیزاسیون کشاورزی دارد. در گام نخست، معیارهای مؤثر بر فرآیند برداشت برنج از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی پژوهش‌های پیشین مرتبط با مکانیزاسیون برنج در شمال کشور و انجام مشاوره با متخصصان ماشین‌های کشاورزی، کارشناسان اجرایی و کشاورزان پیشرو شناسایی شدند. در این مرحله، معیارهایی که هم از فراوانی کاربرد بیشتری در مطالعات مشابه برخوردار بودند و هم از نظر خبرگان نقش تعیین‌کننده‌تری در انتخاب روش برداشت در شرایط شالیزاری استان گیلان داشتند، انتخاب شدند. در نهایت، هشت معیار شامل ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، تلفات برداشت، هزینه کل برداشت، تعداد کارگر مورد نیاز، مصرف انرژی، مصرف سوخت ویژه، میزان انتشار آلاینده‌ها و سازگاری با شرایط مزرعه‌ای به‌عنوان معیارهای اصلی ارزیابی در نظر گرفته شد.برای کاهش ابهام و افزایش دقت قضاوت‌ها و جلوگیری از هم‌پوشانی مفهومی، برای هر یک از معیارها تعریف عملیاتی مشخص و مستقل ارائه گردید. ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر به‌صورت سطح برداشت‌شده در واحد زمان (هکتار بر ساعت) تعریف شد که ارزیابی آن بر اساس دامنه مقادیر گزارش‌شده در منابع علمی معتبر، نتایج مطالعات میدانی انجام‌شده در شرایط شالیزاری شمال کشور و مشخصات فنی ماشین‌های متداول منطقه صورت گرفت. تلفات برداشت شامل مجموع ریزش دانه، باقی‌ماندن محصول در مزرعه و آسیب‌دیدگی دانه‌ها تعریف شد که مبنای قضاوت خبرگان در این خصوص، نتایج تحقیقات میدانی پیشین و گزارش‌های فنی معتبر بود. هزینه کل برداشت به‌صورت مجموع هزینه‌های سوخت، دستمزد نیروی انسانی، استهلاک و تعمیرات ماشین‌آلات در واحد سطح برداشت تعریف شد. تعداد کارگر مورد نیاز نیز به‌عنوان تعداد نیروی انسانی لازم برای انجام کامل عملیات برداشت در هر روش در نظر گرفته شد. مصرف سوخت ویژه به‌صورت مقدار سوخت مصرفی در واحد سطح برداشت (لیتر بر هکتار) تعریف گردید که به‌عنوان شاخصی عملیاتی و اقتصادی مورد استفاده قرار گرفت. در مقابل، مصرف انرژی به‌عنوان انرژی معادل مصرف‌شده در واحد سطح (مگاژول بر هکتار) و با استفاده از ضرایب استاندارد تبدیل سوخت به انرژی محاسبه شد تا تمایز مفهومی این دو معیار حفظ گردد و امکان مقایسه تحلیلی روش‌های مختلف برداشت از منظر کارایی انرژی فراهم گردد. میزان انتشار آلاینده‌ها به‌صورت غیرمستقیم و بر اساس مصرف سوخت ویژه و ضرایب انتشار استاندارد موتورهای دیزلی گزارش‌شده در منابع زیست‌محیطی معتبر برآورد شد و به‌عنوان شاخص نماینده اثرات زیست‌محیطی روش‌های برداشت مورد استفاده قرار گرفت. معیار سازگاری با شرایط مزرعه‌ای به‌صورت کیفی تعریف شد، اما به‌منظور امکان ورود آن به فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، این معیار بر اساس سه شاخص فرعی شامل قابلیت عملکرد در خاک‌های با رطوبت بالا، امکان کار در قطعات کوچک و پراکنده و سهولت تردد ماشین در شرایط شالیزاری عملیاتی گردید. برای این منظور، راهنمای ارزیابی مشخص و یکسانی در اختیار خبرگان قرار گرفت تا مقایسه‌های زوجی این معیار بر اساس مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی انجام شود.ساختار سلسله‌مراتبی مسئله در سه سطح طراحی گردید؛ به‌طوری‌که هدف اصلی (انتخاب مناسب‌ترین روش برداشت برنج) در سطح اول، معیارهای ارزیابی در سطح دوم و گزینه‌های برداشت در سطح سوم قرار گرفتند (شکل ۱).برای تعیین اهمیت نسبی معیارها و گزینه‌ها، از مقایسات زوجی بر اساس مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی استفاده شد (جدول ۱) (حسینی، ۱۴۰۴). وزن نسبی عناصر هر سطح نسبت به سطح بالاتر با استفاده از روش بردار ویژه محاسبه گردید.



شکل ۱- ساختار سلسه مراتبی انتخاب مناسب‌ترین روش برداشت برنج

جدول ۱. مقیاس انجام مقایسه‌های زوجی در اولویت های AHP

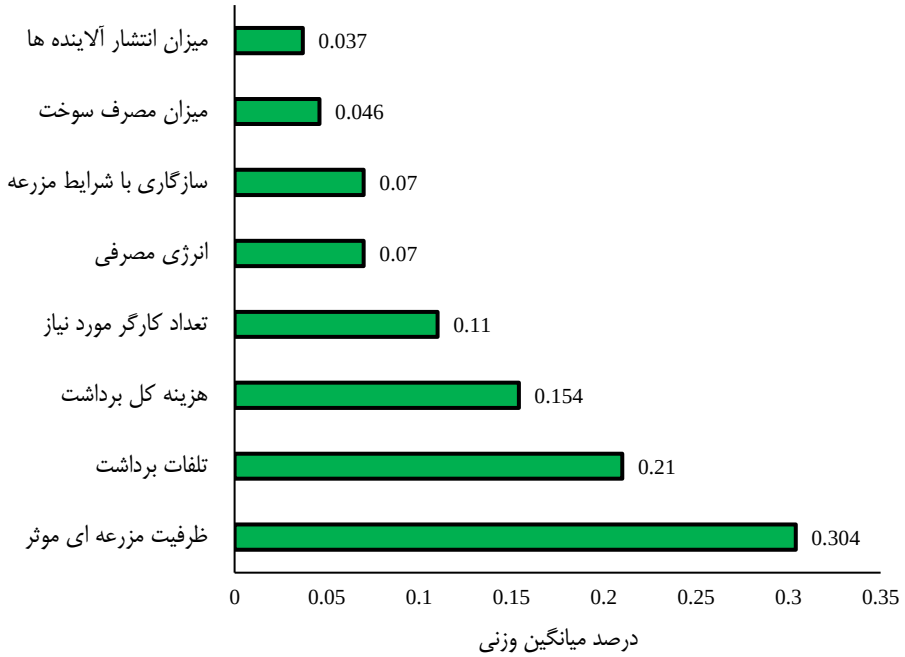
قضاوت در مورد اولویت	برتری شدید	بسیار قوی و تا حدی شدید	برتری بسیار قوی	قوی تا بسیار قوی	برتری قوی	متوسط تا قوی	برتری متوسط	مساوی تا متوسط	برتری مساوی
رقم	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱

برای گردآوری داده‌های موردنیاز، پرسش‌نامه‌های مقایسه زوجی بر اساس ساختار تحلیل سلسله‌مراتبی طراحی شد و جامعه خبرگان به‌صورت نمونه‌گیری هدفمند و با در نظر گرفتن معیارهای ورود مشخص انتخاب گردید تا از کفایت علمی و تجربی قضاوت‌ها اطمینان حاصل شود. این معیارها شامل سابقه تخصصی مرتبط با برداشت و مکانیزاسیون برنج در استان گیلان بود. در نهایت، ۳۰ نفر خبره شامل ۱۰ نفر از متخصصان ماشین‌های کشاورزی (دارای سابقه علمی و پژوهشی مرتبط)، ۱۰ نفر از کارشناسان اجرایی بخش کشاورزی (با حداقل ۵ سال سابقه فعالیت اجرایی در استان گیلان) و ۱۰ نفر از کشاورزان پیشرو (با حداقل ۱۰ سال سابقه کشت و برداشت برنج) در پژوهش مشارکت داشتند. انتخاب این تعداد خبرگان با توجه به توصیه‌های رایج در مطالعات مبتنی بر AHP و به‌منظور افزایش تنوع دیدگاه‌ها، پوشش دیدگاه‌های علمی، اجرایی و تجربی و کاهش سوگیری فردی انجام شد.پیش از تکمیل پرسش‌نامه‌ها، جلسه توجیهی یکسان برای تمامی خبرگان برگزار شد که در آن مفاهیم معیارها، نحوه انجام مقایسات زوجی و مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی به‌طور کامل تشریح گردید. این اقدام به‌منظور کاهش برداشت‌های متفاوت از معیارها و افزایش دقت قضاوت‌ها صورت گرفت.در مرحله بعد، نرخ (شاخص) ناسازگاری هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی فردی محاسبه شد. نرخ سازگاری برای تأیید ضرایب عوامل مؤثر محاسبه می‌شود که برای تأیید ضرایب بسیار مهم است و در صورت وجود ناسازگاری، از کارشناسان خواسته می‌شود تا وزن دهی پارامترها را در ماتریس دوباره بررسی کنند. وقتی نسبت ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، آزمون سازگاری پذیرفته می‌شود (حسینی، ۱۴۰۴). در مواردی که مقدار آن بیش از ۰/۱ بود، از خبره مربوطه درخواست بازبینی قضاوت‌ها صورت گرفت. پس از اطمینان از قابل قبول بودن سازگاری تمامی ماتریس‌های فردی، تجمیع قضاوت‌های خبرگان با استفاده از میانگین هندسی انجام گرفت که به‌عنوان روش متداول برای ترکیب نظرات گروهی در تحلیل سلسله‌مراتبی شناخته می‌شود. همچنین نانرخ سازگاری ماتریس‌های تجمیع‌شده نهایی محاسبه شد و مقدار کمتر از ۰/۱ به‌عنوان معیار پذیرش سازگاری در نظر گرفته شد.به‌منظور اطمینان از روایی ابزار گردآوری داده‌ها، روایی محتوایی پرسش‌نامه مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، معیارها و سؤالات پرسش‌نامه بر اساس منابع علمی معتبر و پژوهش‌های پیشین تدوین شد و پیش‌نویس اولیه آن در اختیار چند نفر از متخصصان مستقل ماشین‌های کشاورزی و کارشناسان خبره قرار گرفت. پس از اعمال اصلاحات پیشنهادی، نسخه نهایی پرسش‌نامه تهیه شد که بیانگر تأیید روایی محتوایی ابزار پژوهش است.پس از محاسبه وزن نسبی معیارها و وزن گزینه‌های برداشت نسبت به هر معیار، وزن نهایی هر گزینه با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار محاسبه شد. برای بررسی پایداری و استحکام نتایج، تحلیل حساسیت انجام گرفت. در این تحلیل، وزن معیارهای اصلی به‌صورت جداگانه و تدریجی در دامنه ±۵٪، ±۱۰٪ و ±۲۰٪ تغییر داده شد و اثر این تغییرات بر رتبه‌بندی نهایی گزینه‌های برداشت مورد ارزیابی قرار گرفت. کلیه مراحل شامل ترسیم ساختار سلسله‌مراتبی، انجام مقایسات زوجی، محاسبه وزن‌ها، بررسی نرخ ناسازگاری و تحلیل حساسیت با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice نسخه ۱۱ انجام شد

۳- نتایج

- **مقایسه معیارها با توجه به هدف**

در این پژوهش، معیارهای اصلی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به‌صورت زوجی مقایسه و اولویت‌بندی شدند. این مقایسه‌ها، که در شکل ۲ نمایش داده شده‌اند، نشان‌دهنده اهمیت نسبی هر معیار در فرآیند انتخاب مناسب‌ترین روش برداشت برنج در اراضی شالیزاری استان گیلان هستند.

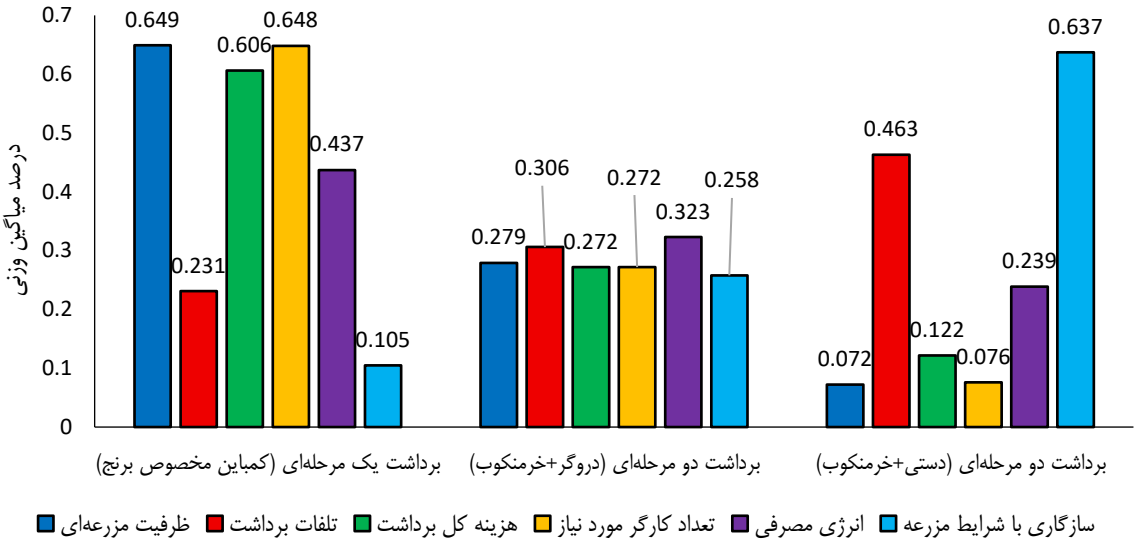


شکل ۲- مقایسه معیارها به صورت زوجی بر اساس هدف

نتایج تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر با وزن ۰/۳۰۴ بالاترین اولویت را در میان معیارهای ارزیابی دارد. این یافته حاکی از آن است که برای کارشناسان و کشاورزان در استان گیلان، میزان سطح برداشت در واحد زمان مهم‌ترین عامل در انتخاب روش برداشت محسوب می‌شود. در مقابل، میزان انتشار آلاینده‌ها با وزن ۰/۰۳۷ کمترین اهمیت را داشت، که نشان‌دهنده آن است که در حال حاضر، ملاحظات زیست‌محیطی نسبت به سایر عوامل از اولویت پایین‌تری برخوردارند. مورد قابل توجه دیگر، اهمیت بالای تلفات برداشت در بین معیارهای میانی است. این نتیجه نشان می‌دهد که حفظ بازدهی محصول و به حداقل رساندن ضایعات در طی فرآیند برداشت، از دغدغه‌های اصلی کشاورزان منطقه محسوب می‌شود. اولویت بالای این معیار نسبت به فاکتورهای اقتصادی مانند هزینه نیز حاکی از حساسیت ویژه کشاورزان به امنیت غذایی و ارزش محصول تولیدی است. در این تحلیل، درجه ناسازگاری برابر با ۰/۰۲ به‌دست آمد که کمتر از حد قابل قبول ۰/۱ (Saaty, 1990) است. این مقدار نشان‌دهنده سازگاری بالای قضاوت‌های انجام شده توسط خبرگان و اعتبار داخلی مناسب نتایج مدل AHP در این پژوهش است.

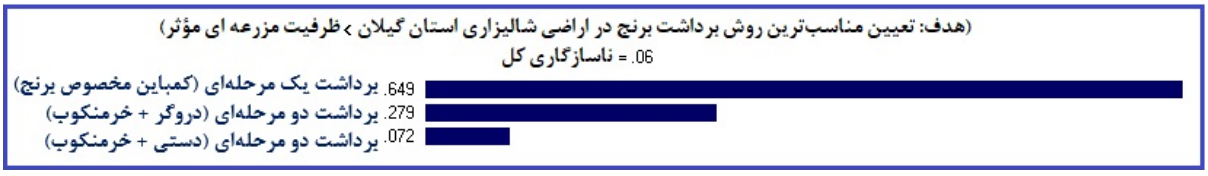
- **مقایسه زوجی گزینه‌ها با توجه به معیارها**

در مرحله دوم تحلیل سلسله مراتبی، گزینه‌های مختلف روش‌های برداشت برنج مورد استفاده در شالیزارهای استان گیلان، با در نظر گرفتن هر یک از معیارهای تعریف‌شده، به‌صورت زوجی مقایسه شدند. این مقایسه‌ها به تعیین وزن نسبی هر روش تحت هر معیار کمک می‌کند (شکل ۳).



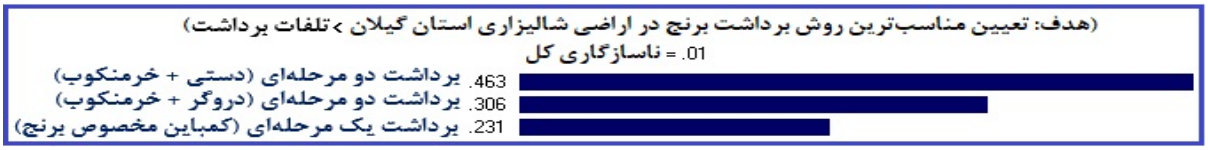
شکل ۳- مقایسه زوجی گزینه‌ها با توجه به معیارها

طبق نمودار ارائه شده در شکل ۴، برداشت یک مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) با وزن ۰/۶۴۹ بیشترین سهم و برداشت دو مرحله‌ای (دستی + خرمنکوب) با وزن ۰/۰۷۲ کمترین سهم را از نظر ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر به خود اختصاص داده‌اند. این نتایج نشان می‌دهد که برداشت یک مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) از نظر ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، بهترین گزینه برای اراضی شالیزاری استان گیلان است. مزیت اصلی این روش، افزایش بازده عملیاتی و کاهش زمان برداشت می‌باشد. نرخ ناسازگاری مربوط به این مقایسه ۰/۰۶ گزارش شد، که نشان‌دهنده هم‌خوانی بسیار بالا و ثبات قضاوت‌های متخصصین در ارزیابی هزینه‌های عملیاتی این روش‌ها است؛ این امر به اعتبار و قابلیت اتکای نتایج این بخش از تحلیل می‌افزاید.یافته‌های حاضر با نتایج پژوهش‌های علیزاده و علامه هم‌خوانی دارد؛ در آن مطالعه، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر به ترتیب برای روش‌های برداشت دستی، با دروگر، و با کمباین تغذیه کامل مخصوص برداشت برنج برابر ۰/۰۰۹، ۰/۲۴۰ و ۰/۳۶۱ هکتار بر ساعت تعیین شده است (Alizadeh & Allameh, 2013).



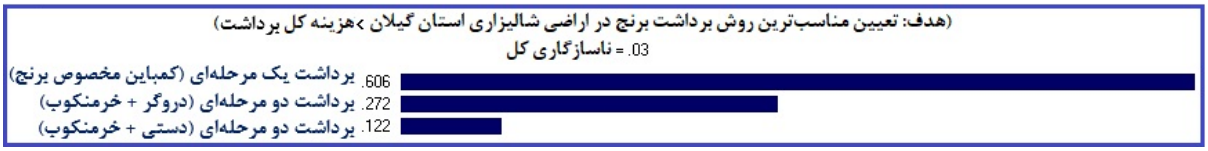
شکل ۴- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در معیار تلفات برداشت، روش برداشت دو مرحله‌ای (دستی + خرمنکوب) با وزن ۰/۴۶۳ بیشترین سهم و روش برداشت یک مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) با وزن ۰/۲۳۱ کمترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند. این نتایج، اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف برداشت را بر اساس میزان تلفات و ریزش دانه در حین عملیات برداشت را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، از دید کارشناسان، روش برداشت دو مرحله‌ای (دستی + خرمنکوب) به دلیل کاهش خسارت مکانیکی به دانه و ریزش کمتر، عملکرد مناسب‌تری نسبت به سایر روش‌ها دارد. نرخ ناسازگاری محاسبه شده برای این مقایسه برابر با ۰/۰۱ است که نرخ قابل قبولی به شمار می‌آید. این نشان می‌دهد که قضاوت‌های کارشناسان در ارزیابی معیار تلفات برداشت روش‌های مختلف، با در نظر گرفتن عوامل موثر، از سازگاری و هم‌خوانی مناسبی برخوردار بوده و در نتیجه، یافته‌های حاصل از تحلیل سلسله‌مراتبی دارای اعتبار و قابلیت اتکای بالایی است. یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیقات کهنداجه و همکاران هم‌خوانی دارد. در آن مطالعه، تلفات برداشت برای روش‌های برداشت دستی، با دروگر، و با کمباین تغذیه کامل مخصوص برداشت برنج، به ترتیب برابر ۲/۶۵، ۲/۵۰ و ۰/۷۱ درصد گزارش شده است (Kahandage *et al.*, 2023).



شکل ۵- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار تلفات برداشت

در معیار هزینه کل برداشت که در شکل ۶ نمایش داده شده است، روش برداشت یک‌مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) با وزن ۰/۶۰۶ بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است؛ این موضوع بیانگر کمترین هزینهٔ عملیاتی در میان روش‌های مقایسه‌شده است. در مقابل، روش برداشت دومرحله‌ای (دستی + خرمنکوب) با وزن ۰/۱۲۲ کمترین سهم کمترین سهم را داشته و از این رو دارای بیشترین هزینهٔ عملیاتی است. این نتایج نشان‌دهندهٔ برتری اقتصادی و صرفه‌جویی قابل‌توجه در روش برداشت یک‌مرحله‌ای نسبت به سایر روش‌ها است. به بیان دیگر، استفاده از کمباین مخصوص برنج به دلیل کاهش نیاز به نیروی انسانی، کاهش زمان برداشت و ادغام چند عملیات در یک مرحله، منجر به کاهش چشمگیر هزینه‌های کل برداشت می‌شود. نرخ ناسازگاری محاسبه‌شده برای این مقایسه ۰/۰۳ است که که نشان‌دهندهٔ انسجام، هم‌خوانی و دقت بالای قضاوت کارشناسان در ارزیابی این معیار مهم می‌باشد. بنابراین، می‌توان گفت نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل سلسله‌مراتبی در این بخش از پایداری و اعتبار قابل‌قبولی برخوردار است.یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیقات علیزاده و علامه، علیزاده و حق طلب و صفری و رحمتی هم‌خوانی دارد. در مطالعهٔ علیزاده و علامه، هزینه برداشت با کمباین و دروگر برنج به ترتیب ۵۱/۵ و ۲۳/۲۰ درصد کمتر از برداشت دستی گزارش شده است (Alizadeh & Allameh, 2013). همچنین در پژوهش علیزاده و حق‌طلب، هزینهٔ کل برداشت دستی و دروگر برنج به ترتیب ۱۳۹۷۳۷۵۰ و ۵۷۸۴۰۲۲ ریال بر هکتار اعلام شده است (علیزاده و حق طلب، ۱۳۹۸). در مطالعه صفری و رحمتی نیز هزینه برداشت دستی و کمباین برنج تمام تغذیه به ترتیب ۷۶ و ۲۴ میلیون ریال در هکتار گزارش گردیده است (صفری و رحمتی، ۱۳۹۹).



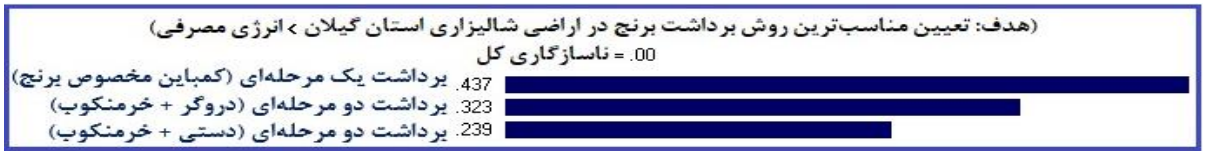
شکل ۶- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار هزینه کل برداشت

نتایج ارائه‌شده در شکل ۷ نشان می‌دهد که روش برداشت یک‌مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) با نسبت ۰/۶۴۸ بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است که به‌معنای کمترین نیاز به نیروی انسانی در فرایند برداشت می‌باشد. در مقابل، روش برداشت دومرحله‌ای (دستی + خرمنکوب) با نسبت ۰/۰۷۶ کمترین سهم را داشته و نشان‌دهندهٔ بیشترین نیاز به تعداد کارگر در مقایسه با سایر روش‌ها است. این یافته‌ها بیانگر برتری قابل‌توجه روش برداشت یک‌مرحله‌ای از نظر کارایی نیروی انسانی و کاهش وابستگی به کارگر فصلی است. در واقع، استفاده از کمباین مخصوص برنج با مکانیزه‌کردن کامل فرایند برداشت، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش هزینه‌های نیروی کار، افزایش سرعت عملیات برداشت و بهبود بهره‌وری در اراضی شالیزاری استان گیلان ایفا کند. نرخ ناسازگاری محاسبه‌شده برای این معیار برابر با ۰/۰۶ است که در محدودهٔ قابل‌قبول قرار دارد و نشان‌دهندهٔ سازگاری و دقت مناسب قضاوت‌های کارشناسان در فرآیند مقایسه‌ی زوجی می‌باشد. بنابراین، نتایج حاصل از تحلیل سلسله‌مراتبی در این بخش از اعتبار و قابلیت اطمینان بالایی برخوردار است. این نتایج با یافته‌های تحقیق حسن جانی و همکاران هم‌خوانی دارد. در آن مطالعه، تعداد کارگر مورد نیاز برای روش‌های برداشت دستی، با دروگر، و با کمباین تغذیه کامل مخصوص برداشت برنج، به ترتیب برابر ۲۰۰/۸، ۵۸/۶۰ و ۱۵/۱ نفر ساعت در هر هکتار گزارش شده است (حسن جانی و همکاران، ۱۳۸۶).

شکل ۷- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار تعداد کارگر مورد نیاز

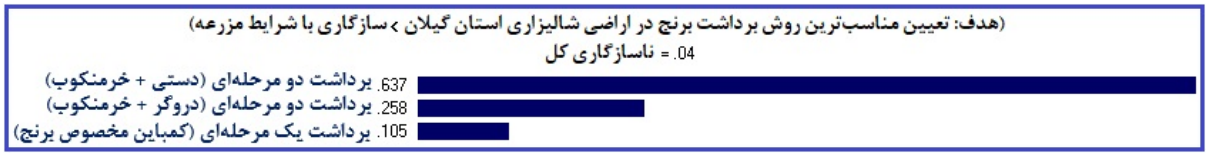
نتایج ارائه‌شده در شکل ۸ نشان‌دهندهٔ وزن گزینه‌های مختلف برداشت با توجه به معیار انرژی مصرفی است. بر اساس این نمودار، روش برداشت یک‌مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) با نسبت ۰/۴۳۷ بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است، در حالی‌که روش برداشت دومرحله‌ای (دستی + خرمنکوب) با نسبت ۰/۲۳۹ کمترین سهم را دارا می‌باشد. این نتایج بیانگر آن است که روش برداشت یک‌مرحله‌ای به دلیل یکپارچگی عملیات و حذف مراحل جداگانه برداشت و خرمنکوبی، از نظر مصرف انرژی کارآمدتر و بهینه‌تر از سایر روش‌ها عمل می‌کند. در مقابل، روش برداشت دومرحله‌ای (دستی + خرمنکوب) به‌علت نیاز به عملیات متعدد و جابه‌جایی‌های مکرر تجهیزات، سبب افزایش مصرف سوخت و انرژی کلی در فرآیند برداشت می‌گردد. نرخ ناسازگاری محاسبه‌شده برای این معیار برابر با ۰/۰۰ به‌دست آمد که نشان‌دهندهٔ سازگاری کامل و دقت بسیار بالای قضاوت کارشناسان در فرآیند مقایسه‌ی زوجی است. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که تحلیل انجام‌شده در معیار انرژی مصرفی از اعتبار و انسجام بالایی برخوردار بوده و نتایج حاصل از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی در این

بخش کاملاً قابل اعتماد می‌باشند.یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیق کهنداجه و همکاران هم‌خوانی دارد. در آن مطالعه، کل انرژی مصرفی برای روش‌های برداشت دستی، با دروگر، و با کمباین تغذیه کامل مخصوص برداشت برنج، به ترتیب برابر ۶۹۰/۸۹، ۷۸۷/۷۳ و ۱۹۳۹/۱۸ مگاژول در هکتار گزارش شده است. بیشترین میزان انرژی مصرفی مربوط به روش یک مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) بوده که به‌طور معناداری بالاتر از سایر روش‌ها ارزیابی شده است (Kahandage et al., 2023).



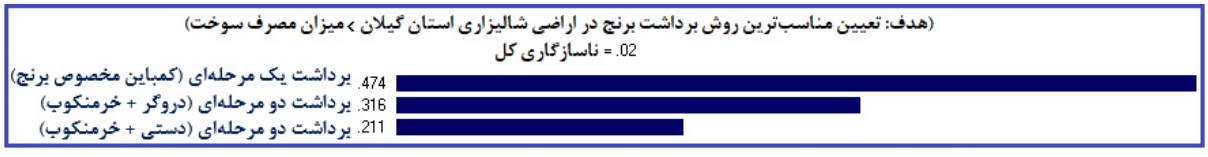
شکل ۸- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار انرژی مصرفی

نتایج ارائه‌شده در شکل ۹ نشان‌دهندهٔ وزن گزینه‌های مختلف برداشت با توجه به معیار سازگاری با شرایط مزرعه است. بر اساس این نمودار، روش برداشت دومرحله‌ای (دستی + خرمنکوب) با نسبت ۰/۶۳۷ بیشترین سهم و روش برداشت یک‌مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) با نسبت ۰/۱۰۵ کمترین سهم را دارا می‌باشند.



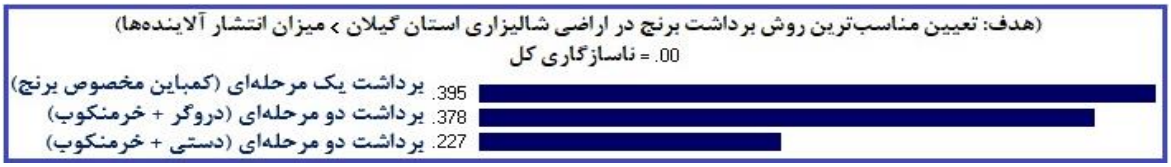
شکل ۹- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار سازگاری با شرایط مزرعه

این یافته نشان می‌دهد که روش برداشت دومرحله‌ای به‌دلیل انعطاف‌پذیری بیشتر در شرایط متغیر مزارع، سازگاری بالاتری با شرایط واقعی مزارع برنج استان دارد. در مقابل، روش برداشت یک‌مرحله‌ای با وجود سرعت و کارایی بالا، در مزارعی با زمین‌های نرم یا شیب‌دار با محدودیت عملکرد مواجه است. بنابراین، نتایج به‌دست‌آمده برتری برداشت دومرحله‌ای (دستی + خرمنکوب) از نظر انطباق‌پذیری با شرایط متنوع مزارع منطقه را تأیید می‌کند. نرخ سازگاری محاسبه‌شده برای این معیار برابر با ۰/۰۴ بوده که مقدار قابل قبولی محسوب می‌شود. این موضوع بیانگر انسجام منطقی قضاوت کارشناسان و اعتبار بالای نتایج حاصل از مقایسهٔ زوجی در چارچوب تحلیل سلسله‌مراتبی است. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که مدل ارزیابی ارائه‌شده در معیار سازگاری با شرایط مزرعه از دقت و قابلیت اطمینان مناسبی برخوردار است.بر اساس نتایج ارائه‌شده در شکل ۱۰، مقایسهٔ گزینه‌ها با توجه به معیار میزان مصرف سوخت، ترتیب و اولویت مشخصی را نشان می‌دهد. در این مقایسه، روش برداشت یک‌مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) با وزن ۰/۴۷۴ در جایگاه نخست قرار گرفته و بیانگر بیشترین میزان مصرف سوخت در میان روش‌های مورد بررسی است. پس از آن، روش برداشت دومرحله‌ای (دروگر + خرمنکوب) با وزن ۰/۳۱۶ در رتبهٔ دوم قرار دارد، در حالی‌که روش برداشت دومرحله‌ای (دستی + خرمنکوب) با وزن ۰/۲۱۱ کمترین سهم را داشته و نشان‌دهندهٔ پایین‌ترین میزان مصرف سوخت است. این یافته‌ها بیانگر آن است که هرچند روش برداشت یک‌مرحله‌ای از نظر سرعت، سهولت و کاهش نیروی انسانی دارای مزایای قابل‌توجهی است، اما به‌دلیل اجرای هم‌زمان چند عملیات، از بیشترین میزان مصرف سوخت برخوردار است. در مقابل، روش برداشت دومرحله‌ای به‌ویژه روش دستی + خرمنکوب به علت محدود بودن استفاده از تجهیزات موتوری، مصرف سوخت کمتری داشته و از دیدگاه مصرف انرژی، کارآمدتر و اقتصادی‌تر ارزیابی می‌شود. نرخ ناسازگاری محاسبه‌شده برای این معیار ۰/۰۲ است که در محدودهٔ مجاز (کمتر از ۰/۱) قرار دارد و نشان‌دهندهٔ سازگاری، انسجام و دقت مناسب قضاوت کارشناسان در مقایسهٔ زوجی گزینه‌هاست. بنابراین، نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل سلسله‌مراتبی در این بخش از اعتبار و قابلیت اطمینان بالایی برخوردار است.یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیق لئونسه و ساراوسوات هم‌خوانی دارد. در آن مطالعه، مصرف سوخت در مراحل مختلف عملیات برداشت مشخص شده است. در برداشت دومرحله‌ای (دستی + خرمن‌کوب)، میزان مصرف سوخت در مرحله برداشت صفر و در مرحله خرمن‌کوب حدود ۲ لیتر در ساعت بوده است. در برداشت دومرحله‌ای دیگر (دروگر + خرمن‌کوب)، این مقادیر به ترتیب ۳ لیتر در ساعت در برداشت و ۲ لیتر در ساعت در خرمن‌کوب گزارش شده است. همچنین در روش یک‌مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج)، مصرف سوخت در کل عملیات برداشت و خرمن‌کوب ۶/۸ لیتر در ساعت برآورد شده است (Leonce & Saraswat, 2015).



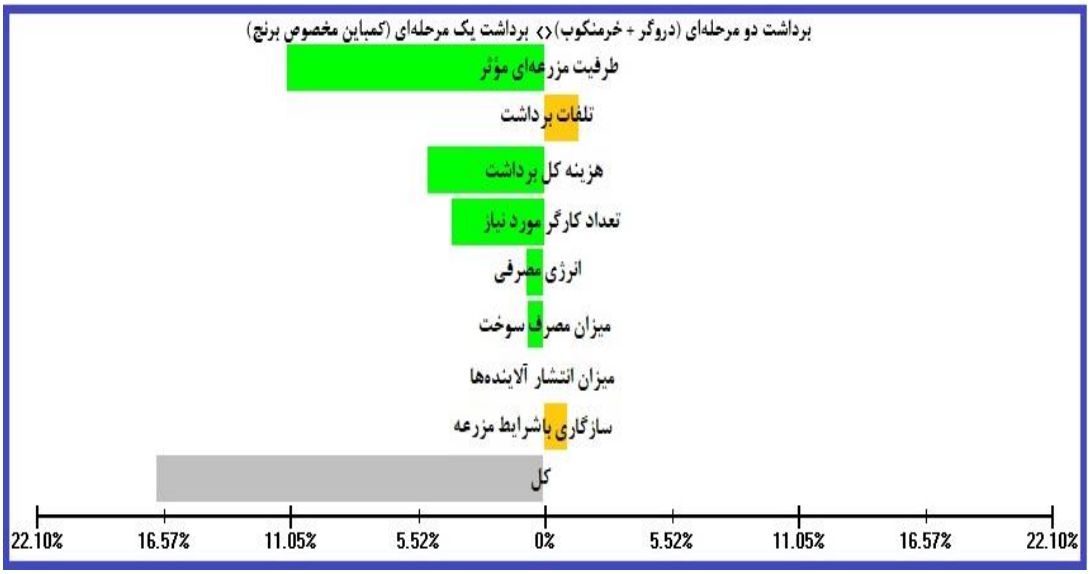
شکل ۱۰- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار میزان مصرف سوخت

بر اساس نتایج ارائه‌شده در شکل ۱۱، مقایسهٔ زوجی گزینه‌ها با توجه به معیار میزان انتشار آلاینده‌ها نشان می‌دهد که روش برداشت یک‌مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) با وزن ۰/۳۹۵ بیشترین میزان انتشار آلاینده‌ها را دارد. در مقابل، روش برداشت دومرحله‌ای (دستی + خرمنکوب) با وزن ۰/۲۲۷ کمترین میزان انتشار آلاینده‌ها را به خود اختصاص داده است. این نتایج بیانگر آن است که استفاده از کمباین مخصوص برنج در روش برداشت یک‌مرحله‌ای، به‌دلیل مصرف بالای سوخت فسیلی، فعالیت مداوم موتور و تردد مکرر ماشین در مزرعه، منجر به افزایش قابل‌توجه انتشار گازهای آلاینده از جمله دی‌اکسیدکربن و ذرات معلق ناشی از احتراق سوخت می‌شود. در مقابل، در روش برداشت دومرحله‌ای (دستی + خرمنکوب)، به‌علت کاهش مصرف سوخت و مشارکت بیشتر نیروی انسانی در فرایند برداشت، میزان انتشار آلاینده‌ها به‌مراتب کمتر بوده و از دیدگاه زیست‌محیطی، گزینه‌ای پایدارتر و سازگارتر با محیط‌زیست محسوب می‌شود. نرخ ناسازگاری محاسبه شده برای این معیار برابر با ۰/۰۰ بوده است که نشان‌دهندهٔ سازگاری کامل قضاوت کارشناسان و اعتبار بسیار بالای نتایج حاصل از تحلیل سلسله‌مراتبی می‌باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که ارزیابی انجام‌شده در این بخش از دقت، انسجام و قابلیت اعتماد بسیار مناسبی برخوردار است. یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیق کهنداجه و همکاران هم‌خوانی دارد. در آن مطالعه، میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از عملیات برداشت برنج برای سه سیستم مختلف شامل برداشت دستی، برداشت با دروگر و برداشت با کمباین به‌ترتیب ۳۲/۹۴، ۴۶/۲ و ۱۷۶/۲۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هر هکتار گزارش شد. بیشترین میزان انتشار مربوط به روش یک‌مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) بود که به‌طور عمده ناشی از مصرف بالای سوخت دیزل و انرژی مکانیکی ماشین‌آلات در حین برداشت و جمع‌آوری کاه بوده است (Kahandage et al., 2023).



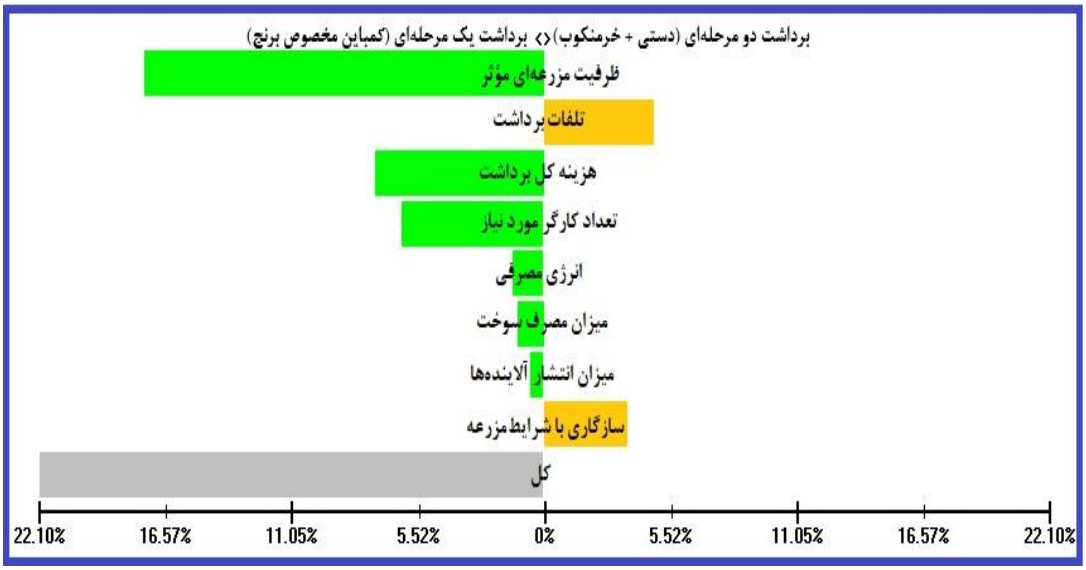
شکل ۱۱- مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار میزان انتشار آلاینده‌ها

با توجه به شکل ۱۲، که نمودار سر به سر بین برداشت یک مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) و برداشت دو مرحله‌ای (دروگر+خرمنکوب) را نشان می‌دهد، مشخص است که برداشت یک مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) به دلیل برتری در معیارهای ظرفیت مزرعه‌ای، هزینه کل برداشت، تعداد کارگر مورد نیاز و میزان مصرف سوخت، نسبت به برداشت دو مرحله‌ای (دروگر+خرمنکوب) ارجحیت دارد. در ارزیابی کلی، برداشت یک مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) ارجحیت دارد.



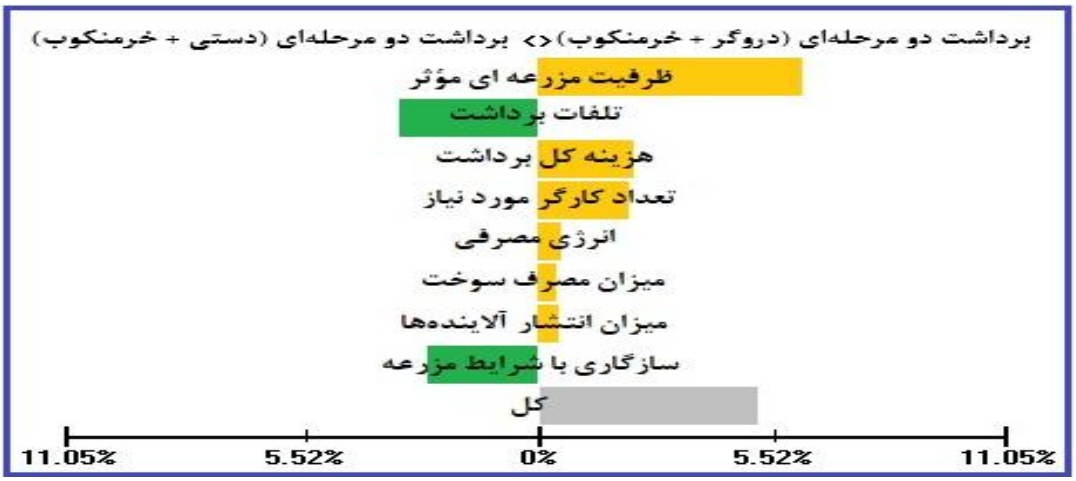
شکل ۱۲- نمودار سر به سر بین برداشت یک مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) و برداشت دو مرحله‌ای (دروگر+خرمنکوب)

با توجه به شکل ۱۳، که نمودار سر به سر بین برداشت یک مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) و برداشت دو مرحله‌ای (دستی+خرمنکوب) را نشان می‌دهد، مشخص است که برداشت یک مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) در تمامی معیارهای ارزیابی، به استثنای معیارهای تلفات برداشت و سازگاری با شرایط مزرعه نسبت به برداشت دو مرحله‌ای (دستی+خرمنکوب) ارجحیت دارد. در مجموع، برداشت یک مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) ارجحیت دارد.



شکل ۱۳- نمودار سر به سر بین برداشت یک مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) و برداشت دو مرحله‌ای (دستی+خرمنکوب)

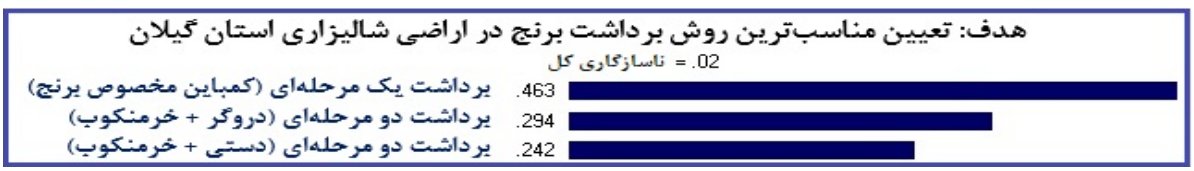
با توجه به شکل ۱۴، که نمودار سر به سر بین برداشت دو مرحله‌ای (دستی+خرمنکوب) و برداشت دو مرحله‌ای (دروگر+خرمنکوب) را نشان می‌دهد، مشخص است که برداشت دو مرحله‌ای (دروگر+خرمنکوب) در تمامی معیارهای ارزیابی، به استثنای معیارهای تلفات برداشت و سازگاری با شرایط مزرعه نسبت به برداشت دو مرحله‌ای (دستی+خرمنکوب) ارجحیت دارد. در مجموع، برداشت دو مرحله‌ای (دروگر+خرمنکوب) ارجحیت دارد.



شکل ۱۴- نمودار سر به سر بین برداشت دو مرحله‌ای (دستی+خرمنکوب) و برداشت دو مرحله‌ای (دروگر+خرمنکوب)

- **تلفیق**

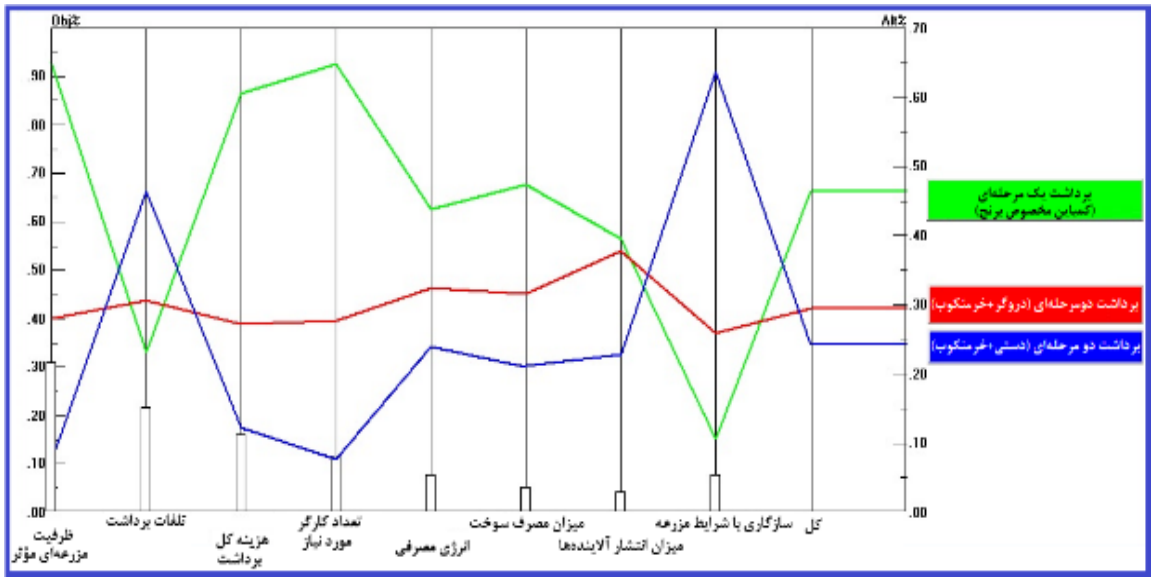
بر اساس نتایج حاصل از تلفیق گزینه‌ها و معیارها، مطابق با شکل ۱۵، روش برداشت یک‌مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) به عنوان مناسب‌ترین گزینه شناسایی شده است. در مقابل، روش برداشت دومرحله‌ای (دستی + خرمنکوب) کمترین اولویت را دارا می‌باشد. نرخ ناسازگاری محاسبه شده برای تلفیق گزینه‌ها و معیارها با توجه به هدف پژوهش، برابر با ۰/۰۲ است. این مقدار که کوچکتر یا مساوی ۰/۱ است، نشان‌دهنده سازگاری قابل قبول سیستم در تحلیل است. در نهایت، بر اساس اولویت‌بندی انجام شده، رتبه‌بندی روش مناسب برداشت برنج برای اراضی شالیزار به ترتیب عبارتند از: برداشت یک‌مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج)، برداشت دومرحله‌ای (دروگر + خرمنکوب) و برداشت دومرحله‌ای (دستی + خرمنکوب).



شکل ۱۵- وزن نهایی گزینه‌ها (تلفیق گزینه‌ها و معیارها با توجه به هدف)

- **تحلیل حساسیت**

مطابق شکل ۱۶، محور عمودی سمت راست، وزن گزینه‌ها (روش‌های برداشت) و محور عمودی سمت چپ، وزن معیارها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶- تجزیه و تحلیل حساسیت (کارایی)

وزن کلی برداشت یک‌مرحله‌ای (کمباین مخصوص برنج) 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.نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که روش‌های برداشت نسبت به معیارهای ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر حساس‌تر از سایر معیارهاست و در رتبه‌های بعد به ترتیب تلفات برداشت، هزینه کل برداشت، تعداد کارگر مورد نیاز، انرژی مصرفی، سازگاری با شرایط مزرعه، میزان مصرف سوخت و میزان انتشار آلاینده‌ها قرار دارد؛ بنابراین در انتخاب روش برداشت می‌بایست معیار ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در اولویت قرار گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تعیین مناسب‌ترین روش برداشت برنج در اراضی شالیزاری استان گیلان با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی انجام شد. نتایج نشان داد که در میان معیارهای ارزیابی، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر با وزن ۰/۳۰۴ بیشترین اهمیت و میزان انتشار آلاینده‌ها با وزن ۰/۰۳۷ کمترین اهمیت را در تصمیم‌گیری کارشناسان و کشاورزان دارا بودند. این امر بیانگر آن است که ارتقای بهره‌وری عملیات برداشت و افزایش سطح برداشت در واحد زمان، اولویت اصلی در انتخاب روش برداشت در منطقه محسوب می‌شود. در میان گزینه‌های مورد بررسی، روش برداشت یک‌مرحله‌ای با کمباین مخصوص برنج با کسب بالاترین وزن نهایی، به‌عنوان مناسب‌ترین روش برداشت برنج در اراضی شالیزاری گیلان شناسایی شد. این روش به‌واسطهٔ ظرفیت مزرعه‌ای بالا، کاهش هزینه‌های کل برداشت، نیاز کمتر به نیروی انسانی و کارایی مطلوب انرژی، برتری قابل‌توجهی نسبت به سایر روش‌ها دارد. در مقابل، روش برداشت دومرحله‌ای (دستی + خرمنکوب) کمترین اولویت را به‌دست آورد که ناشی از نیاز بیشتر به کارگر و هزینه بالاتر عملیات است. با این حال، نتایج نشان داد که در مزارع کوچک، ناهموار یا دارای رطوبت بالا، روش برداشت دومرحله‌ای (دستی + خرمنکوب) از نظر سازگاری با شرایط مزرعه عملکرد مطلوب‌تری دارد. بنابراین، انتخاب روش برداشت باید متناسب با شرایط فیزیکی مزرعه و امکانات مکانیزاسیون موجود انجام شود. نتایج تحلیل حساسیت نیز پایداری مدل و سازگاری مناسب قضاوت‌ها را تأیید کرد (نرخ ناسازگاری = ۰/۰۲). همچنین مشخص گردید که معیار ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر بیشترین تأثیر را بر نتایج نهایی دارد و باید به‌عنوان معیار کلیدی در برنامه‌ریزی مکانیزاسیون برداشت برنج مدنظر قرار گیرد. در مجموع، استفاده از کمباین مخصوص برنج به‌عنوان روش برداشت یک‌مرحله‌ای، گزینه‌ای بهینه برای افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و ارتقای مکانیزاسیون برداشت در اراضی شالیزاری استان گیلان محسوب می‌شود. با وجود این، در شرایط خاص اقلیمی یا مزرعه‌ای، استفاده از روش‌های دومرحله‌ای می‌تواند به‌عنوان جایگزین قابل‌قبول مورد توجه قرار گیرد.

منابع

- Alizadeh, M., & Allameh, A. 2013. Evaluating rice losses in various harvesting practices. International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR), 4(4), 894–901.
- 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.
- Kahandage, P. D., Piyathissa, S. D. S., Ariesca, R., Namgay, Ishizaki, R., Kosgollegedara, E. J., Weerasooriya, G. V. T. V., Ahamed, T., & Noguchi, R. 2023. Comparative analysis of paddy harvesting systems toward low-carbon mechanization in the future: A case study in Sri Lanka. Processes, 11(6), 1851. https://doi.org/10.3390/pr11061851
- Leonce, H., & Saraswat, D. C. 2015. Comparative study of performance and economics of self-propelled combine harvester with other harvesting and threshing methods on paddy rice. Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences, 6(6), 377–382.
- Saaty, T. L. 1990. How to make a decision: The analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, 48(1), 9–26.
- Sinha, S. K., & Talati, J. 2007. Productivity impacts of the system of rice intensification (SRI): A case study in West Bengal, India. Agricultural Water Management, 87, 55–60.
- Srdjevic, B., & Jandric, Z. 2010. Analytical Hierarchy Process in selecting the best irrigation method. Agricultural System, 103(6), 350–358.
- اسکندری چراتی، ف. ۱۳۹۱. استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در ارزیابی و انتخاب بهترین روش وجین‌کاری علف‌های هرز برنج. هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون. دانشگاه شیراز.
- بی‌نام. ۱۴۰۴. آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۳-۱۴۰۲. جلد اول: محصولات زراعی. معاونت آمار مرکز آمار، فناوری اطلاعات و ارتباطات. وزارت جهاد کشاورزی.
- حربی زاه، م. و شیخ داوودی، ج. ۱۳۹۲. انتخاب کمباین مناسب با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون. مشهد. ۳۸۷۶-۳۸۶۶.
- حسن جانی، ح. حسینی، م. خادم الحسینی، ن. و علیزاده، م. ر. ۱۳۸۶. ارزیابی روش های مختلف برداشت برنج در استان گیلان. مجله کشاورزی. ۹(۱). ۳۸-۲۳.
- حسنی مقدم، م. کاظم پور کهریز، ا. آسیابانی، ن. و دوراندیش، آ. ۱۴۰۳. بررسی و انتخاب الگوی مناسب توسعه زنجیره ارزش برنج در استان گیلان. اقتصاد کشاورزی و روستایی، ۲(۲)، ۶۸-۴۳. doi: 10.30490/etr.2024.367307.1037.
- حسینی، ی. ۱۴۰۴. استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای بهبود ارزیابی تناسب اراضی در روش آبیاری قطره‌ای. مطالعات علوم محیط زیست، ۱۰(۲)، ۱۰۴۶۵-۱۰۴۵۰. doi: 10.22034/jess.2023.415421.2122.
- خورشید دوست، ا. م. و عادلی، ز. ۱۳۸۸. استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتی (AHP) برای یافتن مکان بهینهٔ دفن زباله (مطالعه موردی شهر بناب). مجلهٔ محیط شناسی. ۳۵(۵۰). ۳۲-۲۷.
- صفری، ر. و رحمتی، م. ه. ۱۳۹۹. روش های مختلف برداشت برنج، مشکلات و راه حل ها. هفتمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در علوم کشاورزی.تهران.
- علیزاده، م. ر. و حق طلب، د. ۱۳۹۸. ارزیابی عملکرد مزرعه ای دروگر برنج خودگردان و موتوری پشتی و مقایسه آنها با برداشت دستی در استان گیلان. تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی. ۲۰(۷۲)، ۷۲-۵۵. doi: 10.22092/erams.2018.110503.1193
- قدسی پور، س. ح. ۱۳۹۸. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر. ص ۲۲۲.
- مشایخی ، ع. رضاپور، م. و علیرضایی، ع. ا. ۱۳۹۲. انتخاب مناسب ترین نوع پمپ هیدرولیکی با استفاده از نرم افزار آنالیز سلسله مراتبی. هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون. مشهد. ۳۵۵۷-۳۵۵۱.
- منجم، س. رنجی، ع. خانی، م. عطاری، ح. و درستی، ح. ۱۳۹۲. ارزیابی روش های تولید برنج در استان گیلان با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). تحقیقات غلات. ۳(۳). ۲۶۶-۲۵۵.
- نیکمردان، ع. ۱۳۹۰. معرفی نرم افزار Expert choice. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر. ص ۱۷۲.