



Determining the Most Suitable Type of Sprayer for Paddy Fields in Guilan Province Using the Analytic Hierarchy Process (AHP)

Roohollah Yousefi¹ | Afsaneh Berenjkari Gorabi² |

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: berenjkari.guilan@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Sep. 22, 2025

Revised: Oct. 21, 2025

Accepted: Oct. 26, 2024

Published online: Autumn 2025

Keywords:

*Analytical Hierarchy Process,
Atomizer,
Rice,
Machine selection,
Sprayer.*

ABSTRACT

The effectiveness of pest control operations is critically dependent on the application of precise application methods and appropriately suited equipment. This study aimed to identify the most optimal sprayer for paddy fields in Guilan province, employing the analytic hierarchy process with the support of Expert Choice 11 software. The research encompassed an evaluation of five prevalent sprayer types in the region: manual backpack, battery-powered backpack, motorized backpack with lance, atomizer and wheelbarrow. Selection criteria were established to include effectiveness, spray uniformity, ease of use and ergonomics, operating costs, spraying volume, drift, energy consumption, field capacity, and environmental impacts. The weighting and prioritization of these criteria were determined through comprehensive literature reviews and structured consultations with agricultural experts, industry specialists, and leading farmers via questionnaires. The findings revealed that effectiveness emerged as the paramount criterion, carrying a weight of 0.19, closely followed by spray uniformity and ease of use. Conversely, energy consumption, with a weight of 0.055, was deemed the least significant factor. The atomizer sprayer was identified as the superior choice, demonstrating marked advantages in effectiveness, spray uniformity, drift, and energy consumption. Concurrently, the battery-powered sprayer was recommended as an economically viable and user-centric alternative, owing to its minimal operational costs, optimal ergonomics, and reduced environmental impact. The manual sprayer, however, underperformed across most evaluated metrics, securing the lowest priority. Sensitivity analysis confirmed that the overall ranking of sprayers is notably sensitive to variations in the effectiveness criterion's weight, underscoring its pivotal role in the decision-making process.

Cite this article: Yousefi, R., & Berenjkari Gorabi, A. (2025). Determining the Most Suitable Type of Sprayer for Paddy Fields in Guilan Province Using the Analytic Hierarchy Process (AHP), *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 56 (3), 61-81. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.402790.665615>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.402790.665615>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Rice is a staple food for more than half of the world's population and plays a vital role in global food security. In Iran, the northern provinces, particularly Guilan, are central to rice production, contributing significantly to the national yield. However, pests, diseases, and weeds cause substantial annual losses, with improper pesticide use worsening environmental and health risks. Choosing a proper sprayer is crucial for optimizing pesticide application, reducing costs, and minimizing ecological damage. Given the variety of sprayers used in rice paddies, a comprehensive evaluation is needed. This study aims to identify and prioritize the criteria for selecting the most suitable sprayer in Guilan using the analytic hierarchy process. By filling existing research gaps, this work provides practical insights to assist farmers in making informed decisions, ultimately improving both productivity and sustainability.

Method

This study utilized a multi-criteria decision-making approach based on the analytic hierarchy process to identify the most suitable sprayer for rice paddies in Guilan. Five types of sprayers; manual backpack, battery-powered backpack, motorized backpack with lance, atomizer and wheelbarrow, were evaluated against nine criteria: include effectiveness, spray uniformity, ease of use and ergonomics, operating costs, spraying volume, drift, energy consumption, field capacity, and environmental impacts. These criteria were established through a comprehensive literature review and consultations with experts and farmers. The analytic hierarchy process framework comprised three hierarchical levels: goal, criteria, and alternatives. Questionnaires were administered to 25 experts and 20 farmers to perform pairwise comparisons. Criteria weights and alternative priorities were calculated using the eigenvector method in Expert Choice software, with consistency ratios verified to ensure reliability. Data collection occurred during the 2024-2025 agricultural year and included measurements of solution consumption, drift, effective capacity, spray quality, and pest control effectiveness. Additionally, a cost analysis was performed based on a 10-year cash flow projection. All procedures were thoroughly documented to guarantee replicability, and informed consent was obtained from all participants.

Results

In this study, the criteria for selecting the most suitable sprayer for rice paddies in Guilan were pairwise compared and weighted using the analytic hierarchy process. Effectiveness was identified as the most important criterion with a weight of 0.190, while energy consumption was the least important with a weight of 0.055. The overall consistency ratio of 0.03 indicated high consistency and reliability of the judgments.

Pairwise comparisons of sprayer alternatives against each criterion showed that the battery-powered backpack sprayer ranked the highest in operational costs (weight = 0.397), ease of use and ergonomics (0.361), and environmental impact (0.394), whereas the wheelbarrow sprayer scored lowest in these criteria. The atomizer sprayer scored the highest in field capacity (0.324), pesticide solution consumption (0.109), spray uniformity (0.383), drift (0.341), effectiveness (0.417), and energy consumption (0.396). All inconsistency ratios for pairwise comparisons were below 0.10, confirming the stability and validity of the results.

Head-to-head comparisons revealed that the atomizer outperformed other sprayers in most criteria except environmental impacts, where the battery-powered sprayer showed superiority. Integrating criteria weights and alternatives, the atomizer emerged as the most suitable sprayer for rice paddies in Guilan, while the manual sprayer ranked lowest. Sensitivity analysis confirmed that effectiveness was the most influential criterion in sprayer selection, followed by spray uniformity, ease of use and ergonomics, field capacity, and other factors.

Conclusions

This study utilized the the analytic hierarchy process to identify the optimal sprayer for rice paddies in Guilan province. The findings revealed that effectiveness, with a weight of 0.190, was the most critical criterion, followed by spray uniformity and ease of use and ergonomics. Energy consumption was deemed the least important criterion, with a weight of 0.055. Among the evaluated alternatives, the atomizer sprayer emerged as the most efficient and suitable option. The battery-powered sprayer ranked second and was recommended as a cost-effective and user-friendly alternative due to its low operating costs and minimal environmental impact. Conversely, the widely used manual sprayer demonstrated the weakest performance across most criteria and ranked the lowest. Sensitivity analysis confirmed that the final ranking was most sensitive to the changes in the effectiveness criterion's weight, underscoring its vital role in the decision-making process. These results provide valuable insights for farmers and agricultural experts seeking to enhance pest control efficiency in the rice fields of Guilan.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

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

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

تعیین مناسب‌ترین نوع سم‌پاش در اراضی شالیزاری استان گیلان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

روح اله یوسفی^۱ | افسانه برنجکار گورابی^۲

۱. 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

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	اثربخشی عملیات سم‌پاشی، مستلزم به‌کارگیری روش‌های صحیح و تجهیزات (سم‌پاش) متناسب است. این مطالعه با هدف انتخاب بهینه‌ترین سم‌پاش برای شالیزارهای استان گیلان، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به کمک نرم افزار اکسپرت چویس ۱۱ انجام شد. در این تحقیق پنج نوع سم‌پاش معمول در منطقه شامل پستی تلمبه‌ای دستی، پستی شارژی دستی، پستی موتوری لانس، اتومایزر و فرغونی مورد بررسی قرار گرفتند. معیارهای انتخاب شامل اثربخشی، یکنواختی پاشش، سهولت استفاده و عوامل انسانی، هزینه‌های عملیاتی، مصرف محلول سم، بادبردگی، مصرف انرژی، ظرفیت مزرعه‌ای و اثرات زیست‌محیطی بودند. این معیارها و نحوه اولویت‌بندی و وزن‌دهی آن‌ها با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و مذاکره با کارشناسان کشاورزی، صاحب‌نظران و کشاورزان پیشرو در قالب پرسش‌نامه صورت گرفت. نتایج نشان داد که معیار اثربخشی با وزن ۰/۱۹ مهم‌ترین عامل در انتخاب سم‌پاش است و پس از آن، یکنواختی پاشش و سهولت استفاده اهمیت بالایی دارند، در حالی که مصرف انرژی با وزن ۰/۰۵۵ کم‌اهمیت‌ترین معیار شناخته شد. سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر به دلیل برتری چشمگیر در اثربخشی، یکنواختی پاشش، بادبردگی و مصرف انرژی، به عنوان بهترین گزینه معرفی شد. همچنین، سم‌پاش پستی شارژی با کمترین هزینه‌های عملیاتی، بهترین ارگونومی و کمترین اثرات زیست‌محیطی، به عنوان گزینه‌ای اقتصادی و کاربرپسند توصیه گردید. سم‌پاش پستی تلمبه‌ای دستی، در اکثر معیارها ضعیف عمل کرد و کمترین اولویت را داشت. تحلیل حساسیت نشان داد که اولویت‌بندی گزینه‌ها نسبت به تغییر وزن معیار اثربخشی حساس است که بر اهمیت بالایی این معیار در تصمیم‌گیری تأکید دارد.
واژه‌های کلیدی: انتخاب ماشین، اتومایزر، برنج، تحلیل سلسله مراتبی، سم‌پاش.	

استناد: یوسفی، روح اله؛ و برنجکار گورابی، افسانه. (۱۴۰۴). مناسب‌ترین نوع سم‌پاش در اراضی شالیزاری استان گیلان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، مجله

مهندسی بیوسیستم ایران/ ایران، ۵۶ (۳)، ۸۱-۶۱ <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.402790.665615>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.402790.665615>

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) 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. بخش عمده‌ای از این تولید، تقریباً ۷۲ درصد از کل سطح زیر کشت برنج کشور، در سه استان شمالی گیلان، مازندران و گلستان متمرکز شده است. این سه استان، با در اختیار داشتن مجموع ۶۰۷۰۸۴ هکتار از اراضی زیر کشت و تولیدی فراتر از دو میلیون تن برنج، نقش محوری در تأمین این محصول استراتژیک ایفا نموده و بالاترین سهم را در تولید ملی بر عهده دارند. به طور خاص، استان گیلان به تنهایی با تولید سالانه ۹۱۰۴۹۲ تن برنج، تقریباً ۲۶ درصد از کل تولید برنج کشور را شامل می‌شود (MAJ, 2025).

از این رو، کنترل و حذف آفات گیاهی از مهم‌ترین عملیات مدیریتی در کشاورزی محسوب می‌شود. سم‌پاشی به عنوان یکی از روش‌های اصلی مبارزه، نقش کلیدی در حفظ کیفیت و کمیت محصولات دارد. با این حال، استفاده بی‌رویه و نادرست از سموم شیمیایی و روش‌های سنتی سم‌پاشی، پیامدهای منفی زیست‌محیطی و بهداشتی در پی دارد. این نگرانی‌ها، سیاست‌گذاران بخش کشاورزی را به سمت تجدید نظر در الگوهای تولید و مدیریت، با هدف توسعه سم‌پاش‌های جدید و بهبود کیفیت سم‌پاشی برای کاهش آسیب‌های وارده به محیط‌زیست، سوق داده است (جعفری ملک آبادی، ۱۳۹۴).

کاربرد سم‌پاش‌های متداول در اراضی شالیزاری، نظیر سم‌پاش‌های پشته دستی، پشته شارژی، پشته موتوری لانس، پشته موتوری اتومایزر و چرخ‌دار موتوری (فرغونی)، هر یک محدودیت‌ها و مشکلات کاربری خاص خود را دارند و هیچ یک برای استفاده در تمامی شرایط بهینه نیستند. بنابراین، انتخاب هر یک از آنها می‌بایست بر اساس شرایط محیطی و نیازهای خاص شالیکاران صورت پذیرد. انتخاب سم‌پاش مناسب، نه تنها در کاهش هزینه‌های تولید و آلودگی‌های زیست‌محیطی مؤثر است، بلکه می‌تواند به افزایش عملکرد محصول نیز کمک شایانی کند. در این راستا، تعیین معیارهای دقیق و علمی برای ارزیابی سم‌پاش‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Safari & Gerami, 2019).

برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای متعدد و گاه متضادی وجود دارند، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ضروری است. روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP) که توسط ساعتی (۱۹۸۰) معرفی شد (سعدی و همکاران، ۱۳۸۷)، یک ابزار قدرتمند، مهم و انعطاف پذیر برای تصمیم‌گیری گروهی در محیط‌های پیچیده می‌باشد که به تصمیم‌گیران 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 تصمیم‌گیری، روشی مناسب و کاربردی است (نیکمردان، ۱۳۹۱). کلیات فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را می‌توان 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^۲ سنجیده می‌شود که مقادیر کمتر از ۰/۱ نشان‌دهنده مقبولیت مقایسات زوجی است (خورشید دوست و عادل، ۱۳۸۸) (Srdjevic & Jandric, 2010).

هدف این پژوهش شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر در انتخاب سم‌پاش مناسب برای اراضی شالیزاری استان گیلان، ارزیابی و مقایسه انواع سم‌پاش‌های رایج در این استان (شامل پشته تلمبه‌ای دستی، پشته شارژی دستی، پشته موتوری لانس، پشته اتومایزر و چرخ‌دار موتوری) بر اساس معیارهای شناسایی شده، و در نهایت تعیین مناسب‌ترین سم‌پاش برای این اراضی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است. دلیل انجام این پژوهش، وجود خلأ تحقیقاتی مشخص در خصوص معرفی جامع و اولویت‌بندی سم‌پاش‌های بهینه برای شرایط خاص شالیزارهای ایران، و به ویژه استان گیلان است. این امر کشاورزان را در انتخاب ابزار مناسب با چالش مواجه می‌سازد و می‌تواند منجر به ناکارآمدی در مصرف سموم، افزایش هزینه‌ها و اثرات زیست‌محیطی نامطلوب گردد. نتایج این مطالعه می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا در انتخاب سم‌پاش مناسب، تصمیمات بهینه‌تری اتخاذ کرده و در نهایت بهره‌وری و پایداری تولید را افزایش دهند.

1. Analytic hierarchy process

2. Consistency ratio

پیشینه پژوهش

مطالعات متعددی در زمینه مقایسه انواع سمپاش‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، به‌ویژه فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، انجام شده است. تحقیقاتی نشان دادند که سمپاش پشت تراکتوری بوم‌دار در مقایسه با انواع اتومایزر، میکرونر و الکترواستاتیک، از نظر صفات کلیدی مانند دبی خروجی، عرض کار، ظرفیت مؤثر و هزینه‌ها، وضعیت مطلوب‌تری دارد (قائمقامی و همکاران، ۱۳۸۶). این مطالعات بر ضرورت تعیین معیارها و اولویت‌ها بر اساس اهداف مبارزه با آفات و علف‌های هرز تأکید دارند.

روش AHP به دلیل قابلیت تجزیه و تحلیل معیارهای متضاد و اولویت‌بندی گزینه‌ها، به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. مطالعاتی از این روش برای انتخاب بهینه‌ترین کمباین استفاده کرده‌اند، که در آن معیارهایی چون 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 نمودند (Amini & Asoodar, 2016).

در زمینه انتخاب روش‌های کشاورزی، روش‌های تولید برنج (مکانیزه، نیمه‌مکانیزه و سنتی) در گیلان با AHP ارزیابی شده که روش مکانیزه با میانگین وزنی ۰/۳۴۷، در رتبه اول قرار گرفت و به اهمیت معیارهای زراعی، اقتصادی، اجتماعی و ارگونومی اشاره شده است (منجم و همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعه ارزیابی و انتخاب بهترین روش وجین‌کاری علف‌های هرز برنج، روش شیمیایی، وجین کن مکانیکی بدون موتور، وجین کن مکانیکی موتوردار و وجین کن دستی بر اساس معیارهای مشابهی مانند عملکرد، انرژی، جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و ارگونومی اولویت‌بندی گردید و روش شیمیایی با میانگین نسبت وزنی ۰/۳۴ کارآمدتر یافت شد (اسکندری چراتی، ۱۳۹۲). در تحقیق دیگری، برای انتخاب بهینه‌ترین سمپاش برای باغات مرکبات مازندران از بین چهار نوع سمپاش (پشتی موتوری لانس، اتومایزر، فرغونی و بادبزی 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 کلیدی در نظر گرفته شد (لقمانپور زرینی، ۱۴۰۰). در تحقیقی با هدف اولویت‌بندی روش و معیار سمپاشی در مزارع گندم، سمپاش میکرونر با وزن ۰/۳۳۷ به عنوان مناسب‌ترین گزینه معرفی شد، در حالی که سمپاش لانس‌دار با وزن ۰/۰۷۸، به عنوان ناکارآمدترین شناخته شد، و اثربخشی در کنترل آفات و علف‌های هرز به عنوان مهم‌ترین معیار ارزیابی و لپیدگی محصول به عنوان کم‌اهمیت‌ترین معیار معرفی شدند (Safari & Gerami, 2019).

در مطالعه‌ای که در استان گیلان انجام شد، چهار مدل کسب‌وکار در زنجیره ارزش برنج با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد مدل بازاریاز با بالاترین وزن نسبی (۰/۵۱۰) بهترین گزینه است، در حالی که مدل ارکستر کم‌اهمیت‌ترین مدل شناخته شد. پیشنهاد می‌شود اولویت‌بندی مدل‌ها توسط برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران مورد توجه قرار گیرد و با ایجاد مرکز بین‌المللی تجارت برنج، بازار این محصول سامان‌دهی شود (حسنی‌مقدم و همکاران، ۱۴۰۳).

در پژوهشی با هدف ارزیابی پایداری شالیکاری در شهرستان رضوانشهر استان گیلان، با توجه به اهمیت منابع آب و خاک در کشاورزی پایدار، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تحلیل بهره‌برداری از این منابع استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که بین مناطق مختلف از نظر پایداری شالیکاری تفاوت معناداری وجود دارد و مناطق مورد بررسی در سه وضعیت پایدار (دهستان خوشابر)، نیمه‌پایدار (دهستان گیلدولاب) و ناپایدار (دیناچال) طبقه‌بندی شدند (امینی و همکاران، ۱۳۹۴).

در مطالعه‌ای در استان مازندران، مدل کسب‌وکار مطلوب زنجیره ارزش برنج با بهره‌گیری از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice 11 طراحی شد. جامعه آماری شامل فعالان بازار، تجار، کارخانه‌های فرآوری و سازمان‌های مرتبط با تولید برنج بود که با نمونه‌گیری هدفمند و استفاده از جلسات گروه کانونی و مصاحبه، داده‌ها گردآوری شد. نتایج پژوهش نشان داد مدل ارکستر با وزن نسبی ۰/۳۲۸ به عنوان بهترین مدل کسب‌وکار برای توسعه و گسترش زنجیره ارزش برنج در استان مازندران انتخاب شده است (اسداله‌پور، ۱۴۰۲).

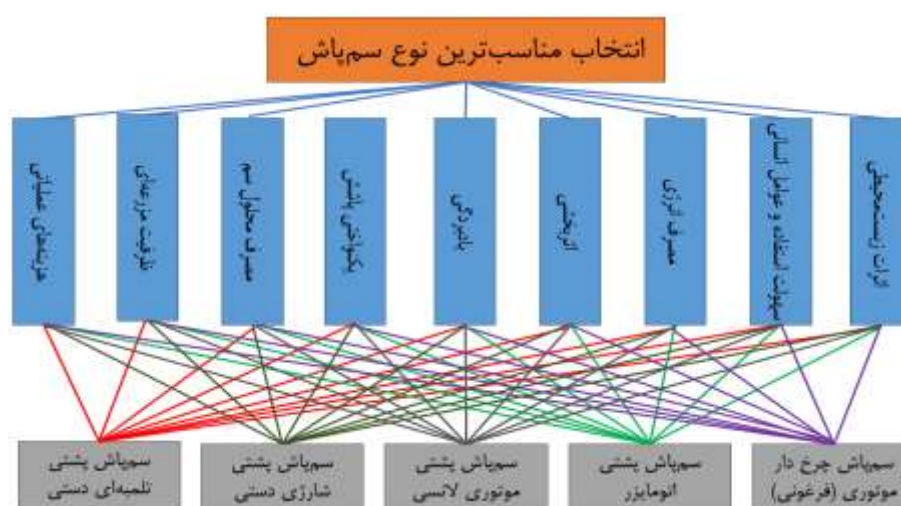
بررسی منابع نشان می‌دهد که علیرغم اهمیت بالای موضوع، تحقیق جامعی در خصوص معرفی سمپاش مناسب مزارع برنج در استان گیلان، با در نظر گرفتن تمامی معیارها و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، صورت نگرفته است. اکثر مطالعات موجود صرفاً به مزایا و معایب روش‌های سمپاشی اشاره کرده‌اند. لذا، این پژوهش با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و با بررسی میدانی شرایط کاری سمپاش‌های رایج در اراضی شالیزاری استان گیلان، به دنبال انتخاب مناسب‌ترین نوع سمپاش برای مبارزه با علف‌های هرز و آفات برنج است. معیارهای اصلی ارزیابی در این تحقیق شامل اثربخشی، ظرفیت، بادبردگی، انرژی مصرفی، هزینه‌های عملیات، یکنواختی پاشش و مصرف محلول سم، و گزینه‌های سمپاشی شامل پشتی تلمبه‌ای دستی، پشتی شارژی، پشتی موتوری لانس، پشتی موتوری

اتومایزر و چرخ‌دار موتوری خواهند بود. همچنین، یکی از نقاط قوت این تحقیق، توجه به فاکتور عوامل انسانی است که در بلندمدت می‌تواند بر سلامت اپراتورها تأثیرگذار باشد.

روش‌شناسی پژوهش

در این تحقیق، برای بررسی و انتخاب مناسب‌ترین سم‌پاش برای سم‌پاشی اراضی شالیزاری استان گیلان، بین پنج سم‌پاش؛ پستی تلمبه‌ای دستی، پستی شارژی دستی، پستی موتوری لانس، پستی اتومایزر و چرخ‌دار موتوری و بر اساس معیارهای مختلف، از تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. جهت تعیین معیارها، پس از مطالعات کتابخانه‌ای و مذاکره با کارشناسان و محققان کشاورزی و صاحب‌نظران، شاخص‌های احتمالی تأثیرگذار بر سم‌پاشی شناسایی و در نه معیار (هزینه‌های عملیاتی، ظرفیت مزرعه‌ای، مصرف محلول سم، یکنواختی پاشش، بادبردگی، اثربخشی، مصرف انرژی، سهولت استفاده و عوامل انسانی و اثرات زیست‌محیطی) تقسیم‌بندی شدند.

اولین گام در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله است که شامل هدف، معیارها و گزینه‌ها می‌باشد. در این پژوهش، هدف اصلی، انتخاب مناسب‌ترین نوع سم‌پاش جهت کاربری در اراضی شالیزاری استان گیلان در سطح اول قرار گرفت. در سطح دوم، معیارهای ارزیابی و در سطح سوم، گزینه‌های سم‌پاش مورد بررسی قرار گرفتند (شکل ۱).



شکل ۱. ساختار سلسله مراتبی انتخاب مناسب‌ترین نوع سم‌پاش (منبع: نویسنده)

به منظور وزن‌دهی به معیارها، از روش مقایسات زوجی عناصر استفاده شد که در آن عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر، به صورت زوجی مقایسه شد 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، تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده می‌کنند به گونه‌ای که اگر عنصر i با عنصر j مقایسه شود، تصمیم‌گیرنده چنان تصمیم می‌گیرد که اهمیت عنصر i بر j یکی از ۹ امتیاز نشان داده شده در جدول ۱ است (Harker & Vargass, 1987).

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 و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
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 دارای ارجحیت خیلی بیشتری از j است.
۹	کاملاً مهم	گزینه یا شاخص i از j مطلقاً مهم‌تر و قابل مقایسه با j نیست.
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.

یکی از مزایای تحلیل سلسله مراتبی، توانایی کنترل میزان سازگاری تصمیم است. برای هر ماتریس، حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری، به شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی هم بعد آن ماتریس، معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری است که آن را نرخ ناسازگاری می‌گویند. چنانچه این عدد کوچک‌تر از ۰/۱ است، سازگاری سیستم قابل قبول است. در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر نمود. در این پژوهش، برای هر یک از ماتریس‌های تصمیم، میزان ناسازگاری توسط نرم‌افزار اکسپرت چویس محاسبه و پس از ارزیابی، تصمیمات لازم صورت گرفت.

در نهایت ماتریس مقایسه زوجی به صورت رابطه (۱) تشکیل می‌شود.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$i, j = 1, 2, \dots, n$

که در آن، a_{ij} ترجیح عنصر i ام نسبت به عنصر j ام است. حال با مشخص بودن a_{ij} ها وزن عناصر، یعنی w_i ها به دست می‌آید.

برای به دست آوردن وزن هر یک از معیارها، ابتدا عناصر ماتریس مقایسه زوجی از طریق رابطه (۲) نرمال شد.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=0}^n a_{ij}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، r_{ij} میزان ترجیح نرمال شده دو جایگزین i و j ، و $\sum_{i=0}^n a_{ij}$ جمع عناصر در هر ستون ماتریس است.

از این رو، ماتریس مقایسه زوجی، از تقسیم هر عنصر در جمع ستون خودش نرمال می‌شود. سپس، میانگین عناصر در هر سطر از ماتریس نرمال، از رابطه (۳) محاسبه می‌شود که همان وزن معیارها را نشان می‌دهد.

$$W_i = \frac{1}{n} \left[\sum_{j=1}^n r_{ij} \right] \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه فوق، W_i وزن معیار i ام و n تعداد عناصر مورد مقایسه در هر سطر است.

ذکر این نکته لازم است که در تصمیم‌گیری‌های گروهی برای انجام ماتریس گروه‌ها از میانگین هندسی پاسخ‌های پرسش شوندگان

به عنوان عناصر ماتریس از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

$$\overline{a_{ij}} = \left(\prod_{k=1}^p a_{ij}^{(k)} \right)^{\frac{1}{p}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن، $\overline{a_{ij}}$ میانگین هندسی میزان ترجیحات دو جایگزین i ، j و k که مربوط به فرد پاسخ‌دهنده، و p تعداد کل شرکت کنندگان

در تکمیل پرسش‌نامه است.

ارزیابی پرسش‌نامه‌ها توسط محققان نشان داد نظرات کارشناسان بخش‌های مختلف کشاورزی در خصوص انتخاب راهکارها از روند مشابهی برخوردار بوده است. به همین دلیل، محاسبه میانگین هندسی به جای میانگین وزنی، مناسب‌تر تشخیص داده شد.

تمامی مراحل ذکر شده، از جمله ترسیم درخت تصمیم‌گیری، محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها، و همچنین نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسه زوجی، از طریق نرم‌افزار Expert Choice و با استفاده از روش AHP (تحلیل سلسله مراتبی) انجام شد. این نرم‌افزار قابلیت‌هایی چون طراحی ساختار سلسله مراتبی تصمیم‌گیری، طراحی پرسش‌ها، تعیین ترجیحات و اولویت‌ها، محاسبه وزن نهایی، تحلیل حساسیت تصمیم‌گیری نسبت به تغییر پارامترها و ایجاد نمودار سر به سر بین گزینه‌ها را داراست.

نمودار سر به سر، نمودار تحلیل حساسیت تفاضل‌های وزنی است که تفاوت اولویت بین هر جفت گزینه را در تمام معیارها نشان می‌دهد. در این نمودار، گزینه سمت چپ ثابت است و گزینه سمت راست قابلیت تغییر دارد (قدسی پور، ۱۳۹۸).

به منظور وزن‌دهی به فاکتورها و عوامل مؤثر ذکر شده، پرسش‌نامه‌هایی طراحی گردید. این پرسش‌نامه‌ها توسط ۲۵ کارشناس بخش کشاورزی و ۲۰ کشاورز پیشرو در سال زراعی ۱۴۰۴ تکمیل و برای تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گرفتند.

روش اندازه‌گیری و تعیین معیارها به شرح زیر، برای کشاورزان پیشرو توضیح داده شد تا بتوانند پرسش‌نامه را تکمیل نمایند:

تعیین محلول مصرفی در هکتار: ابتدا میزان دبی خروجی نازل‌ها بر حسب لیتر بر دقیقه تعیین می‌شود. برای این منظور، در

هر یک از سم‌پاش‌های مورد بررسی، ظرفی در زیر نازل قرار داده شده و میزان محلول خروجی در زمان معین ثبت می‌گردد. با داشتن دبی

خروجی (لیتر بر دقیقه) و ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای (هکتار بر ساعت)، میزان محلول مصرفی در هکتار (لیتر بر هکتار) محاسبه می‌شود (Safari & Gerami, 2019).

تعیین میزان بادرده‌گی: پیش از عملیات سم‌پاشی، در مناطق اطراف مزرعه، ۲۰ عدد کارت حساس به فاصله ۳۰ متر از یکدیگر، به‌صورت موازی با جهت حرکت سم‌پاش‌ها و در فاصله ۱۰ متری از مرز جداکننده مزرعه با مزرعه هم‌جوار قرار داده می‌شوند. پس از اتمام عملیات، این کارت‌ها جمع‌آوری شده و درصد کارت‌هایی که در معرض قطرات سم قرار گرفته بودند، تعیین می‌شود (Safari & Gerami, 2019).

تعیین ظرفیت مؤثر زراعی: ظرفیت مؤثر زراعی سم‌پاش‌ها از طریق محاسبه سرعت پیشروی و زمان لازم برای سم‌پاشی یک هکتار تعیین شده و در رابطه (۵) قرار می‌گیرد (لقمانپور زرینی و همکاران، ۱۴۰۰):

$$T = \frac{1}{Ca} \quad \text{رابطه ۵}$$

که در آن، Ca ظرفیت مؤثر (هکتار بر ساعت)، T زمان لازم برای سم‌پاشی یک هکتار (ساعت)

تعیین کیفیت سم‌پاشی: کیفیت سم‌پاشی از طریق مشاهده یکنواختی پاشش سم بر سطح برگ‌ها و اندازه قطرات تعیین می‌شود (لقمانپور زرینی و همکاران، ۱۴۰۰).

تعیین اثر بخشی محلول سمی: برای ارزیابی اثربخشی محلول سم به‌کار رفته توسط انواع سم‌پاش، از فرمول هندرسون-تیلتون استفاده می‌شود. این ارزیابی بر اساس تغییرات جمعیت عوامل خسارت‌زا (آفات، بیماری‌ها یا علف‌های هرز) باقی‌مانده پس از عملیات سم‌پاشی و مطابق رابطه (۶) انجام می‌گیرد (Henderson & Tilton, 1955). نمونه‌برداری از جمعیت عوامل خسارت‌زا یک روز پیش از انجام محلول‌پاشی انجام می‌شود و نمونه‌برداری بعد از محلول‌پاشی نیز مطابق زمان‌بندی توصیه شده و متناسب با نوع عامل خسارت‌زا انجام می‌گیرد تا میزان کاهش جمعیت و اثربخشی تعیین شود.

$$E = \left(1 - \frac{(T_a \times C_b)}{(T_b \times C_a)} \right) \times 100 \quad \text{رابطه ۶}$$

که در آن، E کارایی سم‌پاشی (درصد)، T_a تعداد عامل خسارت‌زای زنده در کرت تیمار پس از سم‌پاشی، T_b تعداد عامل خسارت‌زای زنده در کرت تیمار پیش از سم‌پاشی، C_a تعداد عامل خسارت‌زای زنده در کرت شاهد پس از سم‌پاشی، و C_b تعداد عامل خسارت‌زای زنده در کرت شاهد پیش از سم‌پاشی است.

تعیین هزینه‌ها: هزینه‌های عملیاتی با استفاده از روش گردش نقدی سالانه یکنواخت و با در نظر گرفتن عمر اقتصادی ۱۰ ساله ماشین، نرخ سود بانکی ۱۵ درصد، قیمت اولیه، ارزش اسقاطی (۱۰ درصد قیمت اولیه) و هزینه سرویس و نگهداری (۵ درصد قیمت اولیه) محاسبه می‌شود (سلطانی، ۱۳۸۷). هزینه‌های عملیاتی شامل هزینه نیروی انسانی (کاربر سم‌پاش)، هزینه ثابت و متغیر سم‌پاش است.

هزینه کاربر سم‌پاشی: این هزینه در مراحل مختلف اجرای عملیات سم‌پاشی و تعداد مورد نیاز بر حسب نفر ساعت در هکتار محاسبه می‌شود. هزینه کاربر سم‌پاش با توجه به نرخ محلی در نظر گرفته می‌شود. مزد کاربر معمولاً روزانه می‌باشد. برای محاسبه آن در ساعت معمولاً هر روز ۸ ساعت کار در نظر گرفته می‌شود (یوسفی، ۱۳۹۱).

هزینه ماشین به دو بخش هزینه ثابت و هزینه متغیر (کاربردی) تقسیم و محاسبه می‌گردد.

هزینه ثابت: این هزینه به میزان کارکرد سم‌پاش بستگی ندارد و شامل استهلاک، سود سرمایه، هزینه جایگاه نگهداری ماشین، بیمه و مالیات می‌باشد.

استهلاک، عبارت از کاهش در ارزش اقتصادی ماشین در اثر گذشت زمان که از رابطه (۷) محاسبه می‌شود (یوسفی، ۱۳۹۱).

$$D = \frac{P - S}{L} \quad \text{رابطه ۷}$$

که در آن، D مبلغ استهلاک سالیانه ماشین (هزار ریال در سال)، P قیمت اولیه ماشین (هزار ریال)، S قیمت اسقاطی ماشین (هزار ریال)، L طول عمر مفید ماشین (سال) است.

سود سرمایه، سرمایه‌ای است که برای خرید ماشین یا در ارتباط با آن هزینه می‌گردد و از رابطه (۸) محاسبه می‌شود (یوسفی، ۱۳۹۱).

$$I = \frac{(P - S)i}{2} \quad \text{رابطه ۸}$$

که در آن، I سود سرمایه (هزار ریال در سال)، P و S قیمت اولیه و اسقاطی ماشین (هزار ریال)، i نرخ بهره (درصد) است.

سایر هزینه‌های ثابت، شامل: هزینه جایگاه نگهداری ماشین، $۰/۷۵$ درصد قیمت اولیه ماشین، بیمه سالیانه، $۰/۲۵$ درصد

قیمت خرید و مالیات سالیانه ماشین، $۰/۰۲$ تا $۰/۰۱$ قیمت اولیه محاسبه می‌شود (یوسفی، ۱۳۹۱).

هزینه متغیر (هزینه کاربرد ماشین): این هزینه به میزان استفاده از ماشین بستگی دارد. هرچه از ماشین بیشتر استفاده شود

هزینه افزایش خواهد یافت که عبارتند از: هزینه‌های سوخت، روغن، تعمیرات، سرویس و نگهداری دستمزد کاربر سمپاش.

هزینه سوخت، برای تعیین مقدار سوخت مصرف شده، از روش باک پر استفاده می‌گردد. در این روش، قبل از شروع عملیات،

مخزن سوخت سمپاش کاملاً پر و لبریز گردیده و پس از پایان عملیات نیز مخزن سوخت مجدداً لبریز می‌شود. مقدار سوخت مورد نیاز

برای پر کردن مجدد مخزن سوخت در پایان عملیات، برابر مقدار سوخت مصرفی در مساحت یا مدت زمان انجام کار توسط ماشین در نظر

گرفته می‌شود. در نهایت میزان سوخت مصرفی بر حسب لیتر در ساعت تعیین می‌شود. هزینه سوخت مصرفی نیز از رابطه (۹) محاسبه

می‌شود (یوسفی، ۱۳۹۱).

$$C_s = \frac{P_L \times Q_i}{EFC} \quad \text{رابطه ۹}$$

که در آن، C_s هزینه سوخت مصرفی (ریال در هکتار)، P_L قیمت سوخت مصرفی (ریال در لیتر)، Q_i میزان سوخت مصرف شده (لیتر

در ساعت)، EFC ظرفیت مزرعه ای در انجام عملیات (هکتار در ساعت) است.

هزینه روغن، تقریباً معادل ۱۰ تا ۱۵ درصد هزینه سوخت مصرفی محاسبه می‌شود.

هزینه تعمیرات، این هزینه در سمپاش‌ها غالباً به دلیل فرسودگی‌های عادی در اثر کار کردن، تعمیرات به دلیل غفلت و ناآگاهی

کاربر و تعمیرات اساسی می‌باشد.

هزینه سرویس و نگهداری، از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$C_m = W \times K \quad \text{رابطه ۱۰}$$

که در آن، C_m هزینه کل سرویس (هزار ریال)، W هزینه هر ساعت انجام سرویس و نگهداری (هزار ریال)، K تعداد ساعات کار برای

انجام سرویس متناسب با ساعت کار است (یوسفی، ۱۳۹۱).

یافته‌های پژوهش

مقایسه معیارها با توجه به هدف

در این پژوهش، معیارهای اصلی شامل هزینه‌های عملیاتی، ظرفیت مزرعه‌ای، مصرف محلول سم، یکنواختی پاشش، بادبردگی، اثربخشی،

مصرف انرژی، سهولت استفاده و عوامل انسانی در مزارع برنج، و اثرات زیست‌محیطی (ضایعات آفت‌کش‌ها، انتشار آلاینده‌ها و انتشار صدا)

با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به صورت زوجی مقایسه و اولویت‌بندی شدند. این مقایسه‌ها، که در شکل ۲ نمایش داده شده‌اند،

نشان‌دهنده اهمیت نسبی هر معیار در فرآیند انتخاب مناسب‌ترین سمپاش هستند.

نتایج نشان داد که معیار اثربخشی با وزن $۰/۱۹۰$ بالاترین اولویت را به خود اختصاص داده است. این یافته حاکی از آن است که

برای کارشناسان و کشاورزان در استان گیلان، کارایی سمپاش در کنترل آفات و بیماری‌ها، مهم‌ترین عامل در انتخاب محسوب می‌شود.

در مقابل، معیار مصرف انرژی با وزن $۰/۰۵۵$ ، کمترین اولویت را داشت. این امر نشان می‌دهد که در حال حاضر، ملاحظات مربوط به

مصرف انرژی در فرآیند انتخاب سمپاش، اهمیت کمتری نسبت به سایر عوامل برای ذی‌نفعان دارد.

ترتیب کلی اهمیت معیارها برای عملیات سمپاشی، عبارتند از: اثربخشی، یکنواختی پاشش، سهولت استفاده و عوامل انسانی در مزارع

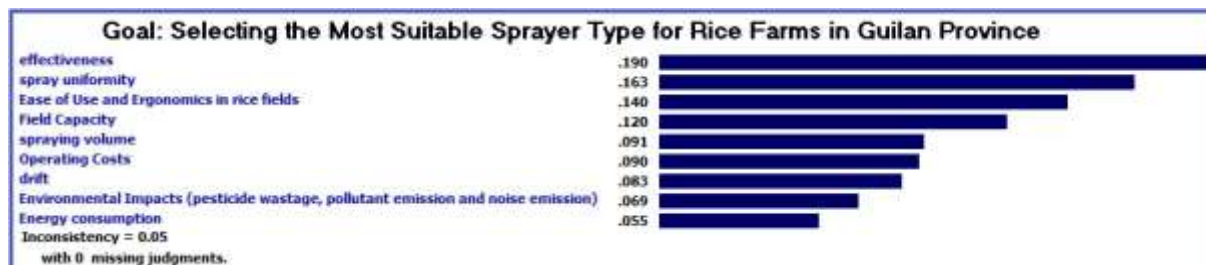
برنج، ظرفیت مزرعه‌ای، مصرف محلول سم، هزینه‌های عملیاتی، بادبردگی، اثرات زیست‌محیطی و مصرف انرژی.

مورد قابل توجه دیگر، اهمیت بالای سهولت استفاده و عوامل انسانی در بین معیارهای میانی است. این نتیجه نشان می‌دهد که با

توجه به شرایط خاص کار در شالیزارها (مانند زمین‌های گل‌آلود و نیاز به حرکت مداوم کاربر)، راحتی کار با سمپاش، حمل و نقل آسان و

طراحی ارگونومیک که فشار فیزیکی کمتری به کاربر وارد کند، برای کشاورزان از اهمیت بالایی برخوردار است. این عامل می‌تواند به طور

مستقیم بر کیفیت و سرعت عملیات سم‌پاشی و همچنین سلامت کاربر تأثیرگذار باشد. در این تحلیل، درجه ناسازگاری برابر با $0/05$ به دست آمد که کمتر از حد قابل قبول $0/1$ (Saaty, 1990) است. این مقدار نشان‌دهنده سازگاری بالای قضاوت‌های انجام شده توسط خبرگان و اعتبار داخلی نتایج مدل AHP در این پژوهش است.

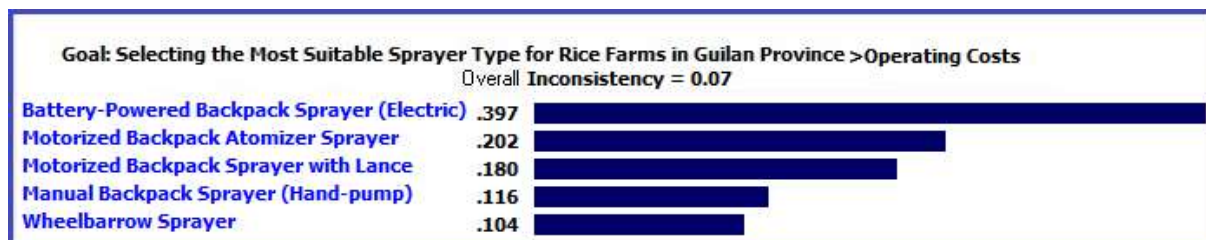


شکل ۲. مقایسه معیارها به صورت زوجی بر اساس هدف

مقایسه زوجی گزینه‌ها با توجه به معیارها

در مرحله دوم تحلیل سلسله مراتبی، گزینه‌های مختلف سم‌پاش‌های مورد استفاده در شالیزارهای استان گیلان، با در نظر گرفتن هر یک از معیارهای تعریف‌شده، به صورت زوجی مقایسه شدند. این مقایسه‌ها به تعیین وزن نسبی هر سم‌پاش تحت هر معیار کمک می‌کند. نتایج تفصیلی این مقایسه‌ها در شکل‌های ۳ تا ۱۱ ارائه شده است. همچنین، نرخ ناسازگاری برای هر مقایسه مورد بررسی قرار گرفت تا از پایداری قضاوت‌ها اطمینان حاصل شود؛ تمامی نرخ‌های ناسازگاری محاسبه شده کمتر از $0/1$ بودند که نشان‌دهنده سازگاری قابل قبول در فرآیند مقایسات زوجی است.

طبق نمودار ارائه شده در شکل ۳، سم‌پاش پشتی کتابی شارژی با وزن $0/397$ بیشترین سهم و سم‌پاش چرخ‌دار موتوری با وزن $0/104$ کمترین سهم را از نظر هزینه‌های عملیاتی به خود اختصاص داده‌اند. این نتایج نشان می‌دهد که سم‌پاش پشتی کتابی شارژی از منظر هزینه‌های عملیاتی، بهترین گزینه برای اراضی شالیزاری استان گیلان به شمار می‌رود. مزیت رقابتی سم‌پاش پشتی شارژی در هزینه‌های عملیاتی عمدتاً از ماهیت الکتریکی آن نشأت می‌گیرد که منجر به مصرف انرژی ارزان‌تر و نیاز کمتر به نگهداری و تعمیرات می‌شود. این ویژگی‌ها آن را به گزینه‌ای اقتصادی و جذاب برای کشاورزان شالیکار تبدیل می‌کند که به دنبال بهینه‌سازی هزینه‌های تولید خود هستند. نرخ ناسازگاری مربوط به این مقایسه $0/07$ بود، که نشان‌دهنده همخوانی فوق‌العاده و ثبات در قضاوت‌های متخصصین در زمینه ارزیابی هزینه‌های عملیاتی این سم‌پاش‌ها است. این موضوع به اعتبار و قابلیت اتکای نتایج این بخش از تحلیل می‌افزاید. این نتایج با یافته‌های تحقیق حیدری و همکاران در خصوص هزینه بالاتر سم‌پاش چرخ‌دار موتوری نسبت به سایر انواع سم‌پاش‌ها همخوانی دارد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۲).

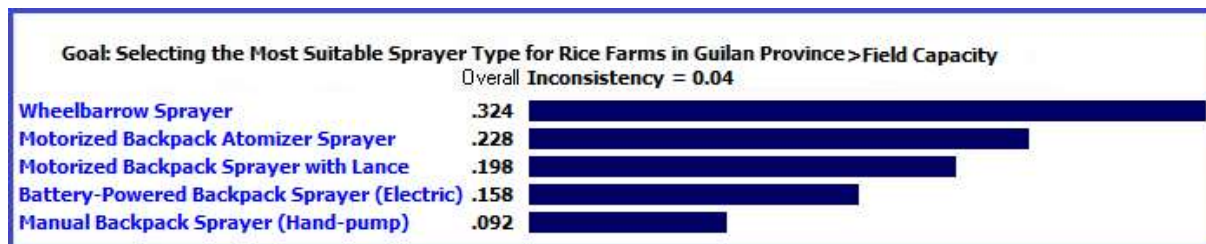


شکل ۳. مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار هزینه‌های عملیاتی

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در معیار ظرفیت مزرعه‌ای (هکتار بر ساعت)، سم‌پاش فرغونی با وزن $0/324$ بیشترین سهم و سم‌پاش پشتی تلمبه‌ای دستی با وزن $0/092$ کمترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند. این نتایج، اولویت‌بندی گزینه‌ها را بر اساس توانایی آن‌ها در پوشش‌دهی مساحت بیشتر در واحد زمان، مشخص می‌کند. نرخ ناسازگاری محاسبه شده برای این مقایسه برابر با $0/04$ است که نرخ قابل قبولی می‌باشد. این نشان می‌دهد که قضاوت‌های کارشناسان در ارزیابی ظرفیت مزرعه‌ای سم‌پاش‌ها با در نظر گرفتن عوامل موثر، دارای سازگاری و همخوانی خوبی بوده و نتایج به دست آمده قابل اعتماد هستند. یافته‌های به دست آمده با نتایج تحقیقات

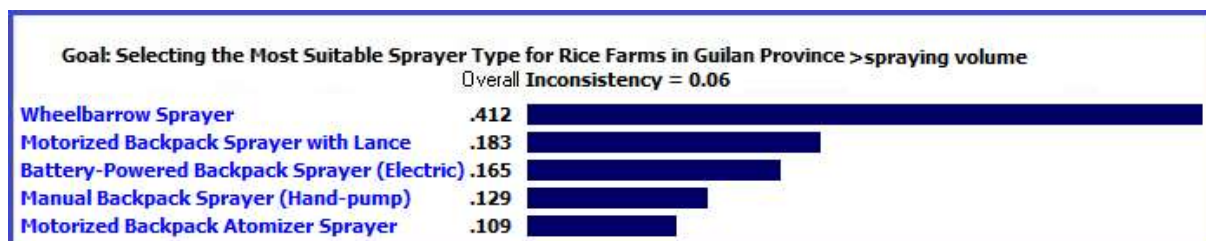
صفری و همکاران و همچنین یوسفی و یونسی الموتی همخوانی دارد؛ به گونه‌ای که در پژوهش‌های آن‌ها، بیشترین ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (هکتار بر ساعت) در استفاده از سم‌پاش فرغونی گزارش شده و این مقدار به‌طور معناداری بالاتر از سایر انواع سم‌پاش‌ها بوده است (صفری و همکاران، ۱۴۰۲؛ یوسفی و یونسی الموتی، ۱۴۰۲).

برتری سم‌پاش فرغونی در ظرفیت مزرعه‌ای ریشه در ترکیب بهینه قدرت پاشش بالا (عرض پاشش زیاد)، سهولت نسبی جابجایی (سرعت پیشروی قابل قبول بدون خستگی مفرط اپراتور) و به ویژه کاهش چشمگیر زمان‌های توقف برای پر کردن مخزن (بازده بالا) دارد. در مقابل، سم‌پاش اهرمی با محدودیت‌های ذاتی در هر سه عامل فوق، پایین‌ترین ظرفیت مزرعه‌ای را از خود نشان می‌دهد. سایر سم‌پاش‌های پستی موتوری و شارژی در میانه این طیف قرار می‌گیرند و تعادلی بین قدرت پاشش و سهولت حمل ارائه می‌دهند.



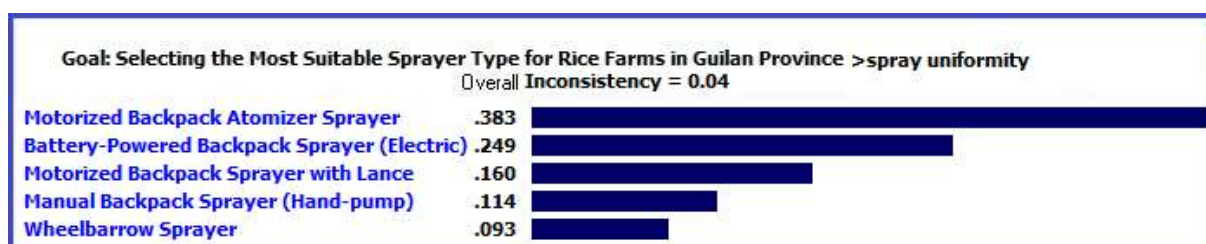
شکل ۴. مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار ظرفیت مزرعه‌ای

در معیار مصرف محلول سم (لیتر بر هکتار)، که در شکل ۵ نمایش داده شده است، سم‌پاش فرغونی با وزن ۰/۴۱۲ بیشترین سهم (بیشترین میزان محلول مصرفی در هکتار) و سم‌پاش سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر با وزن ۰/۱۰۹ کمترین سهم (کمترین میزان محلول مصرفی در هکتار) را به خود اختصاص داده‌اند. این نتیجه نشان‌دهنده کارایی بالاتر سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر در کاهش مصرف محلول سم در هکتار است. نرخ ناسازگاری محاسبه شده برابر با ۰/۰۶ است که مطلوب بوده و نشان‌دهنده انسجام و دقت بالای قضاوت‌ها در ارزیابی این معیار مهم است. این نتایج با یافته‌های تحقیق مدرس نجف‌آبادی و حیدری درباره مصرف بالای محلول سم توسط سم‌پاش فرغونی همخوانی دارد (مدرس نجف‌آبادی و حیدری، ۱۳۹۳).



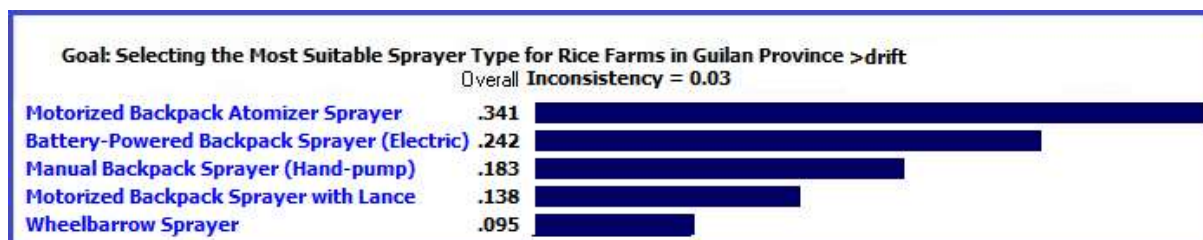
شکل ۵. مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار مصرف محلول سم

نتایج شکل ۶ حاکی از آن است که سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر با نسبت ۰/۳۸۳ بیشترین سهم و سم‌پاش فرغونی با نسبت ۰/۰۹۳ کمترین سهم را از نظر یکنواختی پاشش دارا هستند. این یافته برتری قابل توجه سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر را در توزیع یکنواخت سموم نشان می‌دهد. نرخ ناسازگاری این بخش ۰/۰۴ محاسبه شد. این نتایج با یافته‌های تحقیق نامور و حیدری و مدرس نجف‌آبادی و حیدری درباره یکنواختی پاشش سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر و عدم یکنواختی سم‌پاش فرغونی همخوانی دارد (نامور و حیدری، ۱۳۹۲؛ مدرس نجف‌آبادی و حیدری، ۱۳۹۳).



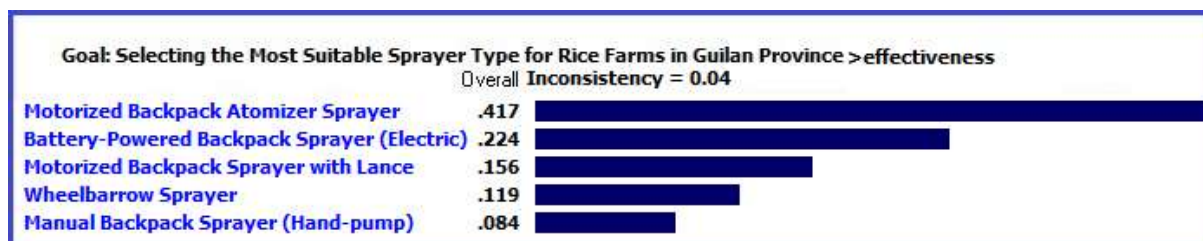
شکل ۶. مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار یکنواختی پاشش

شکل ۷ نشان دهنده وزن گزینه‌ها با توجه به معیار بادبردگی است. طبق این نمودار، سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر با نسبت ۰/۳۴۱ و سم‌پاش فرغونی با نسبت ۰/۰۹۵ بیشترین و کمترین سهم را دارا می‌باشند. در ضمن نرخ ناسازگاری محاسبه شده برابر با ۰/۰۳ بود. بنابر این سازگاری معیار بادبردگی با گزینه‌ها قابل قبول است. این نتایج با یافته‌های تحقیقات حیدری و همکاران و صفری و همکاران درباره بادبردگی بالای محلول سم در سم‌پاشی با سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر و کمترین بادبردگی در سم‌پاش فرغونی همخوانی دارد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۲؛ صفری و همکاران، ۱۳۹۰).



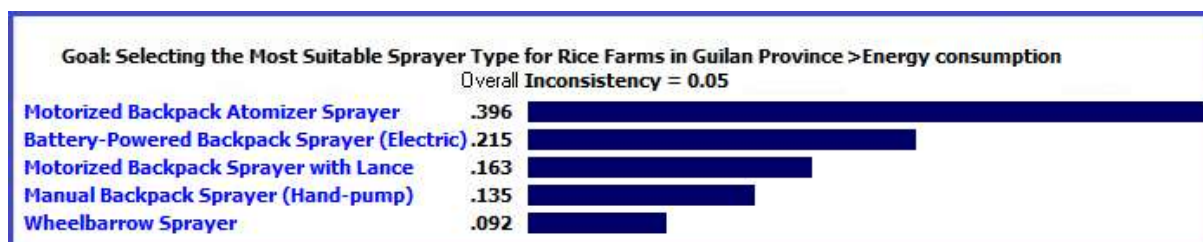
شکل ۷. مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار بادبردگی

شکل ۸ نشان دهنده وزن گزینه‌ها با توجه به معیار اثربخشی است. طبق این نمودار، سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر با نسبت ۰/۴۱۷ و سم‌پاش پستی تلمبه‌ای دستی با نسبت ۰/۰۸۴ بیشترین و کمترین سهم را دارا می‌باشند. این یافته، برتری سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر را در کارایی کلی کنترل آفات و بیماری‌ها تأیید می‌کند. در ضمن نرخ ناسازگاری محاسبه شده برابر با ۰/۰۴ بود. بنابر این سازگاری معیار بادبردگی با گزینه‌ها قابل قبول است. این نتایج با یافته‌های نامور و حیدری، مدرس نجف‌آبادی و حیدری و همکاران، و مظفری و همکاران، درباره اثربخشی بالای سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر همخوانی دارد (نامور و حیدری، ۱۳۹۲؛ مدرس نجف‌آبادی و حیدری، ۱۳۹۳؛ حیدری و همکاران، ۱۳۹۲؛ مظفری و همکاران، ۱۳۹۷).



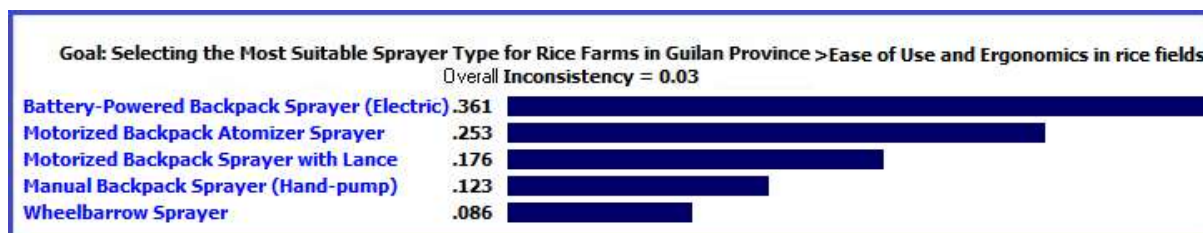
شکل ۸. مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار اثر بخشی

بر اساس شکل ۹، مقایسه گزینه‌ها با معیار مصرف انرژی (که به معنای بهره‌وری انرژی یا کمترین مصرف تفسیر می‌شود)، اولویت‌بندی زیر را نشان می‌دهد: سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر با وزن ۰/۳۹۶ در صدر قرار دارد که بالاترین بهره‌وری انرژی را نشان می‌دهد. در مقابل، سم‌پاش فرغونی با وزن ۰/۰۹۲ کمترین بهره‌وری را دارد. سم‌پاش‌های شارژی و پستی اهرمی در رده‌های میانی قرار می‌گیرند. نرخ ناسازگاری ۰/۰۵ نیز نشان‌دهنده اعتبار بالای این نتایج است. بنابراین، سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر به دلیل کارایی بالا و مصرف بهینه، گزینه برتر در این معیار محسوب می‌شود. این نتایج با یافته‌های تحقیق صفری درباره بهره‌وری انرژی و مصرف بهینه سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر در ارزیابی فنی سم‌پاش‌های رایج کاملاً همخوانی دارد (صفری، ۱۳۸۷).



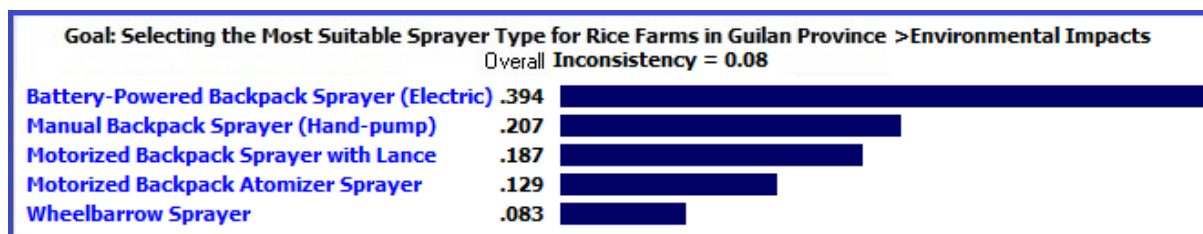
شکل ۹. مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار مصرف انرژی

بر اساس شکل ۱۰، مقایسه زوجی گزینه‌ها با معیار سهولت استفاده و عوامل انسانی نشان می‌دهد که سمپاش پستی شارژی با وزن $0/361$ بیشترین سهولت را دارد و سمپاش فرغونی با وزن $0/086$ کمترین سهولت را ارائه می‌دهد. نرخ ناسازگاری بسیار پایین $0/03$ ، اعتبار این نتایج را تایید می‌کند. بنابراین، سمپاش شارژی به طور قابل توجهی راحت‌ترین و ارگونومیک‌ترین گزینه در بین موارد بررسی شده است. این نتایج با نتایج تحقیق زیلپیلوار^۱ و همکاران همخوانی دارد که نشان می‌دهد در استفاده از سمپاش پستی شارژی، کمترین میزان ضربان قلب، مصرف اکسیژن، مصرف انرژی، بار کاری (در محدوده سبک تا متوسط) و ناراحتی کلی در بدن اپراتورها مشاهده شده است و این مقادیر نسبت به سمپاش‌های دیگر به طور قابل توجهی کمتر بوده‌اند (Zilpilwar et al., 2021).



شکل ۱۰. مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار سهولت استفاده و عوامل انسانی

بر اساس شکل ۱۱، در مقایسه زوجی اثرات زیست‌محیطی (شامل ضایعات آفت‌کش، آلاینده‌ها و صدا)، سمپاش پستی شارژی با نسبت $0/394$ کمترین تأثیر را دارد، در حالی که سمپاش فرغونی با نسبت $0/083$ بیشترین تأثیر را نشان می‌دهد. این بدان معناست که سمپاش شارژی به دلیل نداشتن موتور و در نتیجه عدم تولید آلاینده‌های دود و صدا، اثرات زیست‌محیطی بسیار کمتری نسبت به سمپاش فرغونی دارد. نرخ ناسازگاری محاسبه شده $0/08$ است که نشان‌دهنده سازگاری بالایی در این مقایسه‌هاست و یافته‌ها را از نظر علمی معتبر می‌سازد. این نتایج با نتایج تحقیق حیدری و همکاران در خصوص مصرف بالای محلول سم و تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی بیشتر توسط سمپاش فرغونی همخوانی دارد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۰).

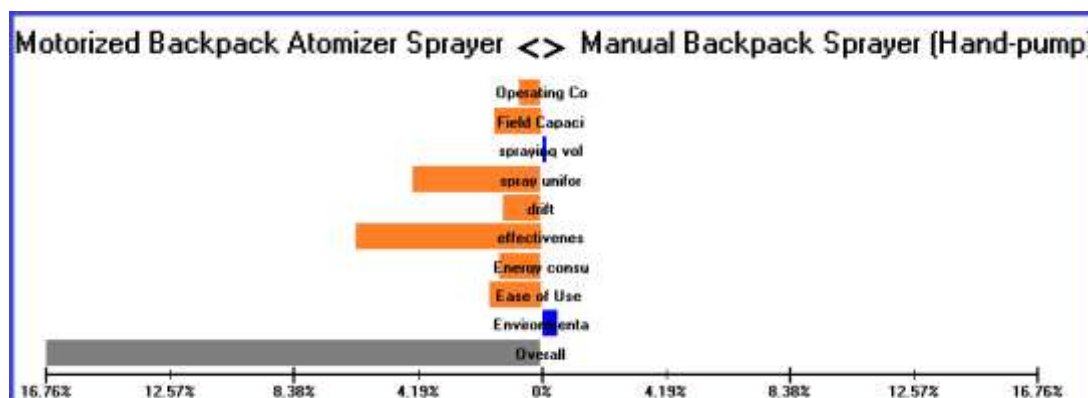


شکل ۱۱. مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار اثرات زیست‌محیطی

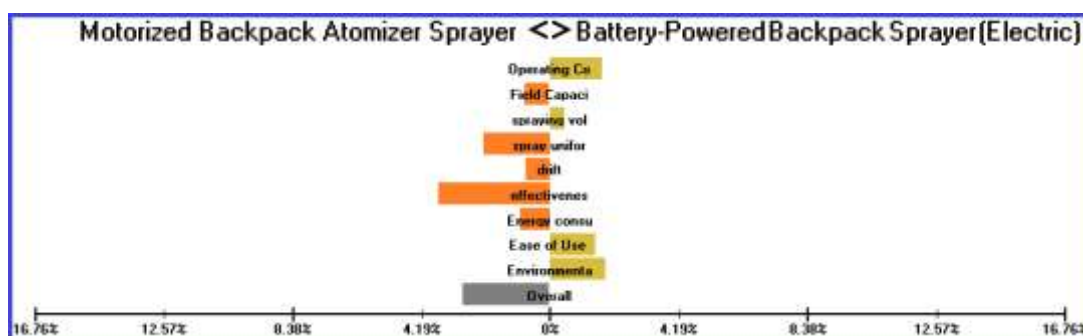
با توجه به شکل ۱۲ که نمودار سر به سر بین سمپاش پستی موتوری اتومایزر و سمپاش پستی تلمبه‌ای دستی را نشان می‌دهد، مشخص است که سمپاش اتومایزر در تمامی معیارهای ارزیابی، به استثنای معیارهای مصرف محلول سم و اثرات زیست‌محیطی، نسبت به سمپاش پستی تلمبه‌ای دستی ارجحیت دارد. در مجموع، سمپاش پستی موتوری اتومایزر ارجحیت دارد.

با توجه به شکل ۱۳، که نمودار سر به سر بین سمپاش پستی موتوری اتومایزر و سمپاش پستی شارژی را مقایسه می‌کند، سمپاش اتومایزر به دلیل برتری در معیارهای ظرفیت مزرعه‌ای، یکنواختی پاشش، بادبردگی، اثربخشی و مصرف انرژی، بر سمپاش پستی شارژی ارجحیت دارد. در ارزیابی کلی، سمپاش پستی موتوری اتومایزر برتری محسوس را نشان می‌دهد.

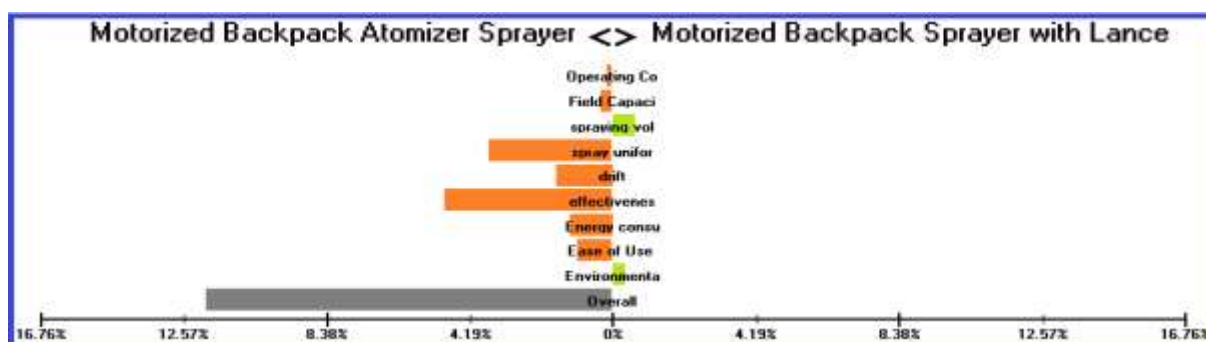
با استناد به شکل ۱۴، که نقطه سر به سر میان سمپاش پستی موتوری اتومایزر و سمپاش پستی موتوری لانس‌دار را ارائه می‌دهد، سمپاش اتومایزر به دلیل دارا بودن مزیت در معیارهای هزینه‌های عملیاتی، ظرفیت مزرعه‌ای، یکنواختی پاشش، بادبردگی، اثربخشی، مصرف انرژی، و همچنین سهولت استفاده و عوامل انسانی در مزارع برنج، بر سمپاش پستی موتوری لانس‌دار ارجحیت دارد. به طور کلی، سمپاش پستی موتوری اتومایزر برتری کلی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲. نمودار سر به سر بین سم‌پاش پشتی موتوری اتومایزر و سم‌پاش پشتی تلمبه‌ای دستی

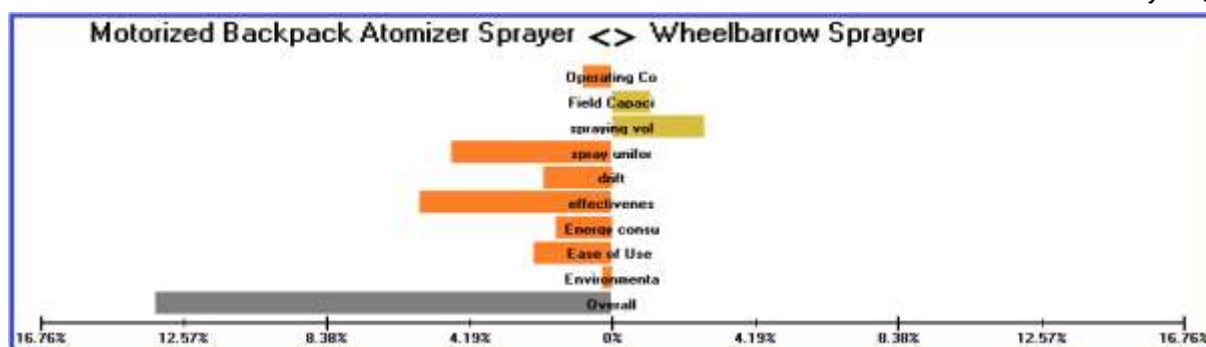


شکل ۱۳. نمودار سر به سر بین سم‌پاش پشتی موتوری اتومایزر و سم‌پاش پشتی شارژی



شکل ۱۴. نمودار سر به سر بین سم‌پاش پشتی موتوری اتومایزر و سم‌پاش پشتی موتوری لانس‌دار

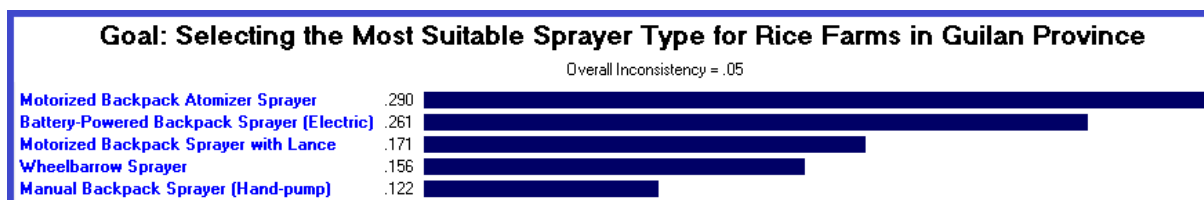
با توجه به شکل ۱۵، که نمودار سر به سر میان سم‌پاش پشتی موتوری اتومایزر و سم‌پاش فرغونی را مقایسه می‌کند، سم‌پاش اتومایزر به دلیل برتری در معیارهای هزینه‌های عملیاتی، یکنواختی پاشش، بادبردگی، اثربخشی، مصرف انرژی، سهولت استفاده و عوامل انسانی در مزارع برنج، و همچنین اثرات زیست‌محیطی، بر سم‌پاش فرغونی ارجحیت دارد. در ارزیابی کلی، سم‌پاش پشتی موتوری اتومایزر ارجحیت دارد.



شکل ۱۵. نمودار سر به سر بین سم‌پاش پشتی موتوری اتومایزر و سم‌پاش فرغونی

تلفیق

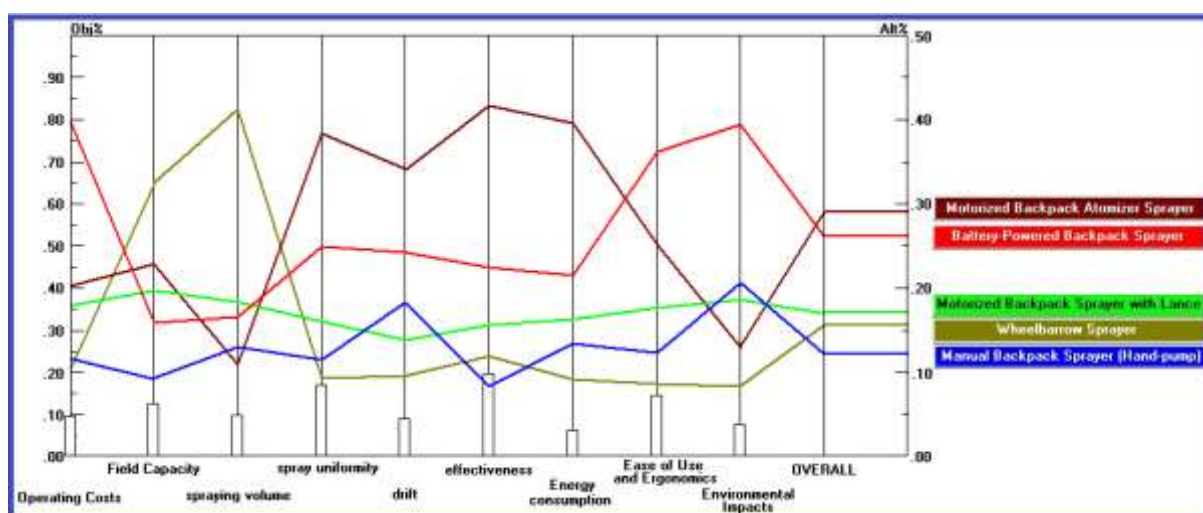
بر اساس نتایج حاصل از تلفیق گزینه‌ها و معیارها، مطابق با شکل ۱۶، سمپاش پستی موتوری اتومایزر به عنوان مناسب‌ترین گزینه شناسایی شده است. در مقابل، سمپاش تلمبه‌ای دستی کمترین اولویت را دارا می‌باشد. نرخ ناسازگاری محاسبه شده برای تلفیق گزینه‌ها و معیارها با توجه به هدف پژوهش، برابر با ۰/۰۵ است. این مقدار که کوچکتر یا مساوی ۰/۱ است، نشان‌دهنده سازگاری قابل قبول سیستم در تحلیل است. در نهایت، بر اساس اولویت‌بندی انجام شده، رتبه‌بندی سمپاش‌های مناسب برای اراضی شالیزار به ترتیب عبارتند از: سمپاش اتومایزر، سمپاش شارژی، سمپاش لانس دار، سمپاش فرغونی و سمپاش تلمبه‌ای دستی.



شکل ۱۶. وزن نهایی گزینه‌ها (تلفیق گزینه‌ها و معیارها با توجه به هدف)

تحلیل حساسیت

مطابق شکل ۱۷، محور عمودی سمت راست، وزن گزینه‌ها (روش‌های سمپاشی) و محور عمودی سمت چپ، وزن معیارها را نشان می‌دهد. وزن کلی سمپاش اتومایزر نسبت به سایر روش‌ها بیشتر است. معیارهای این سمپاش، دارای نوساناتی است که در تعدادی از معیارها، وزن آن پایین 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 سمپاشی نسبت به معیارهای اثربخشی حساس‌تر از سایر معیارهاست و در رتبه‌های بعد به ترتیب یکنواختی پاشش، سهولت استفاده و عوامل انسانی در مزارع برنج، ظرفیت مزرعه‌ای، مصرف محلول سم، هزینه‌های عملیاتی، بادبردگی، اثرات زیست‌محیطی و مصرف انرژی قرار دارد؛ بنابراین در انتخاب روش سمپاشی می‌بایست معیار اثربخشی بودن در اولویت قرار گیرد.



شکل ۱۷. تجزیه و تحلیل حساسیت (کارایی)

بحث

یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده اولویت‌های کشاورزان و کارشناسان در انتخاب سمپاش‌های مناسب برای اراضی شالیزاری استان گیلان است. در صدر این اولویت‌ها، معیار اثربخشی قرار دارد که نشان‌دهنده اهمیت توانایی ابزار در کنترل مؤثر آفات و بیماری‌ها است. بر اساس نتایج، سمپاش پستی موتوری اتومایزر بیشترین اثربخشی را نشان داده و به عنوان گزینه برتر معرفی شده است.

یکی دیگر از معیارهای مهم در انتخاب، یکنواختی پاشش است که نقش کلیدی در کیفیت کنترل آفات، کاهش مصرف سموم و محدود کردن اثرات زیست‌محیطی ایفا می‌کند. در این زمینه نیز، سم‌پاش اتومایزر عملکرد بهتری نسبت به سایر گزینه‌ها داشته است. علاوه بر جنبه‌های فنی، سهولت استفاده و عوامل انسانی نیز در فرآیند تصمیم‌گیری مورد توجه قرار گرفته‌اند. شرایط دشوار کاری در اراضی شالیزاری، شامل زمین گل‌آلود، نیاز به کار در وضعیت ایستاده و حمل تجهیزات سنگین، ضرورت توجه به طراحی ارگونومیک و کاهش فشار فیزیکی بر کاربر را برجسته می‌سازد. در این حوزه، سم‌پاش پستی شارژی عملکرد مناسبی داشته و راحتی بیشتری را برای کاربر فراهم می‌آورد، هرچند از نظر اثربخشی در مرتبه پایین‌تری قرار دارد.

مصرف انرژی به عنوان کم‌اهمیت‌ترین معیار از دیدگاه ذی‌نفعان ارزیابی شده است که احتمالاً ناشی از آگاهی محدود نسبت به تأثیرات زیست‌محیطی یا نقش کم‌اهمیت هزینه انرژی در ساختار اقتصادی کشاورزی منطقه است. با این وجود، با توجه به ارتباط مستقیم مصرف انرژی با پایداری کشاورزی و حفظ منابع طبیعی، توصیه می‌شود در آینده اقدامات آموزشی و سیاست‌گذاری جهت افزایش آگاهی کشاورزان در این زمینه تقویت شود.

از منظر فنی، مقایسه عملکرد گزینه‌های مختلف نشان داد که سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر در معیارهایی مانند اثربخشی، یکنواختی پاشش، مصرف محلول، ظرفیت مزرعه‌ای و بهره‌وری انرژی دارای برتری قابل توجهی است. این سم‌پاش در مقایسه مستقیم با سایر گزینه‌ها، در بیشتر موارد رتبه بالاتری کسب کرده و می‌تواند به عنوان انتخاب اصلی برای تجهیز شالیزارهای برنج استان گیلان پیشنهاد شود.

در مقابل، سم‌پاش پستی تلمبه‌ای دستی به دلیل عملکرد ضعیف در اغلب معیارها، پایین‌ترین رتبه را به خود اختصاص داده است. اگرچه هزینه اولیه خرید این ابزار کمتر است، اما ضعف‌های آن در زمینه‌هایی مانند اثربخشی، یکنواختی پاشش، ظرفیت مزرعه‌ای و سهولت استفاده، کارآمدی آن را در بلندمدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، استفاده از این نوع سم‌پاش تنها در اراضی کوچک یا شرایط خاص توصیه می‌شود.

نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که تغییر وزن معیار اثربخشی بیشترین تأثیر را بر تغییر رتبه‌بندی گزینه‌ها دارد، که این امر اهمیت بالای این معیار و احتمال تغییر اولویت‌ها در صورت تغییر شرایط اقلیمی یا افزایش شیوع بیماری‌ها را نشان می‌دهد. همچنین، معیارهای یکنواختی پاشش، سهولت استفاده و ظرفیت مزرعه‌ای نیز حساسیت قابل توجهی داشته‌اند که ضرورت انتخاب تجهیزاتی با عملکرد متوازن در چند حوزه کلیدی را تأکید می‌کند.

به طور کلی، یافته‌های این مطالعه حاکی از آن است که فرآیند انتخاب سم‌پاش مناسب برای اراضی شالیزاری استان گیلان باید مبتنی بر ترکیبی از عوامل فنی، عملیاتی، انسانی و زیست‌محیطی باشد. اگرچه اثربخشی و یکنواختی پاشش از اهمیت بالایی برخوردارند، اما نباید نقش عوامل انسانی و زیست‌محیطی نادیده گرفته شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر با هدف انتخاب بهینه‌ترین نوع سم‌پاش برای شالیزارهای برنج استان گیلان، با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی، به اولویت‌بندی معیارها و ارزیابی گزینه‌های مختلف پرداخت. یافته‌ها نشان داد که معیار اثربخشی با وزن ۰/۱۹، مهم‌ترین معیار در انتخاب سم‌پاش برای شالیزارهای برنج استان گیلان شناخته شد. پس از آن، یکنواختی پاشش و سهولت استفاده و عوامل انسانی به ترتیب در رتبه‌های بعدی اهمیت قرار گرفتند. در مقابل، مصرف انرژی با وزن ۰/۰۵۵ کم‌اهمیت‌ترین معیار بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که برای کشاورزان و کارشناسان، کارایی عملیات کنترل آفات و راحتی کاربر در شرایط سخت شالیزار، بر ملاحظات مانند هزینه‌های عملیاتی و مصرف انرژی اولویت دارد. این یافته‌ها با نتایج تحقیقات نامور و حیدری (۱۳۹۲) و نیز مدرس نجف‌آبادی و حیدری (۱۳۹۳) همخوانی دارد، که در آن‌ها نیز اثربخشی و یکنواختی پاشش به عنوان عوامل کلیدی در ارزیابی عملکرد سم‌پاش‌ها معرفی شده‌اند. همچنین، نتایج پژوهش Zilpilwar و همکاران (۲۰۲۱) حاکی از آن است که در شرایط سخت محیطی، سهولت استفاده و ویژگی‌های ارگونومیک سم‌پاش‌های شارژی نقش مهمی در کاهش خستگی اپراتور و بهبود کیفیت کار ایفا می‌کنند؛ موضوعی که با یافته‌های این مطالعه درباره اهمیت بالای سهولت استفاده و عوامل انسانی مطابقت دارد.

از منظر اولویت‌بندی گزینه‌ها، نتایج این تحقیق نشان داد که سم‌پاش پستی موتوری اتومایزر با عملکرد برتر در معیارهای کلیدی مانند اثربخشی، یکنواختی پاشش، بادبردگی و مصرف انرژی، به عنوان مناسب‌ترین و کارآمدترین گزینه برای استفاده در شالیزارهای استان

گیلان شناخته شد. در رتبه‌های بعدی به ترتیب، سم‌پاش پشته‌ی شارژی، سم‌پاش پشته‌ی موتوری لانس‌دار، سم‌پاش فرغونی و در نهایت سم‌پاش پشته‌ی تلمبه‌ای دستی قرار گرفتند.

انتخاب سم‌پاش اتومایزر به عنوان گزینه برتر با نتایج پژوهش‌های صفری (۱۳۸۷) و حیدری و همکاران (۱۳۹۲) نیز هم‌راستا است؛ در آن مطالعات نیز عملکرد فنی مطلوب و بهره‌وری بالای انرژی این نوع سم‌پاش تأیید شده است. همچنین، یافته‌های این پژوهش در خصوص عملکرد ضعیف سم‌پاش تلمبه‌ای دستی در معیارهایی همچون ظرفیت مزرعه‌ای و اثربخشی، با نتایج پژوهش یوسفی و یونسی الموتی (۱۴۰۲) هم‌خوانی دارد.

با وجود استفاده گسترده از سم‌پاش پشته‌ی تلمبه‌ای دستی در میان کشاورزان، تحلیل‌ها نشان داد که این ابزار در اغلب معیارهای فنی، به‌ویژه در ظرفیت مزرعه‌ای، یکنواختی پاشش و اثربخشی، عملکرد پایینی دارد و از این‌رو در اولویت انتخاب قرار نمی‌گیرد. استقبال از این ابزار احتمالاً به دلیل دسترسی آسان، قیمت پایین و آشنایی سنتی کشاورزان با آن است؛ با این حال، از منظر بهره‌وری و کارایی، گزینه‌های بهتری در دسترس است.

در مقابل، سم‌پاش پشته‌ی شارژی به دلیل هزینه‌های عملیاتی پایین، وضعیت مطلوب عوامل انسانی و کمترین اثرات زیست‌محیطی، گزینه‌ای اقتصادی، کاربرپسند و سازگار با محیط‌زیست محسوب می‌شود. این نتیجه نیز با یافته‌های پژوهش Zilpilwar و همکاران (۲۰۲۱) در خصوص تأثیر مثبت این نوع سم‌پاش بر سلامت و راحتی اپراتورها هم‌راستا است.

نتایج تحلیل حساسیت نیز تأیید کرد که اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها نسبت به تغییر وزن معیار اثربخشی بیش از سایر معیارها حساس است که بر اهمیت غیرقابل انکار این معیار در فرآیند تصمیم‌گیری صحنه می‌گذارد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از تحلیل معیارها و گزینه‌ها، پیشنهادهای زیر به منظور بهبود کارایی و افزایش بهره‌وری عملیات سم‌پاشی در شالیزارهای استان گیلان ارائه می‌شود:

۱- جایگزینی تدریجی سم‌پاش‌های سنتی (مانند سم‌پاش‌های پشته‌ی تلمبه‌ای دستی) با مدل‌های پیشرفته‌تر همچون سم‌پاش پشته‌ی موتوری اتومایزر جهت افزایش بهره‌وری و بهبود کنترل آفات در شالیزارهای برنج استان گیلان.

۲- ترویج استفاده از سم‌پاش‌های پشته‌ی شارژی به دلیل مزایای اقتصادی، سهولت استفاده و اثرات زیست‌محیطی کمتر، به ویژه در مزارع کوچک و برای کاربران با تجربه کمتر.

۳- ارتقای طراحی و فناوری سم‌پاش‌ها با تمرکز بر بهبود اثربخشی، یکنواختی پاشش و عوامل انسانی به منظور پاسخگویی به شرایط خاص کار در مزارع برنج.

۴- توصیه به نهادهای متولی کشاورزی برای تدوین برنامه‌های آموزشی، حمایت‌های مالی و تسهیل دسترسی کشاورزان به تجهیزات بهینه و جدید به منظور تسریع در فرآیند نوسازی ماشین‌های سم‌پاشی.

۵- توجه ویژه به معیار اثربخشی در توسعه و به‌روزرسانی فناوری‌های سم‌پاشی؛ زیرا این معیار بیشترین تأثیر را در اولویت‌بندی گزینه‌ها دارد و نقش کلیدی در بهبود عملکرد عملیات سم‌پاشی ایفا می‌کند.

منابع

- اسکندری چراتی، فضل‌الله (۱۳۹۱). استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در ارزیابی و انتخاب بهترین روش وجین کاری علف‌های هرز برنج. هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، شیراز.
- اسداله پور، علی (۱۴۰۲). تدوین مدل مطلوب کسب و کار در زنجیره ارزش محصول برنج استان مازندران. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران. ۱۹(۱)، ۲۰۵-۱۹۱.
- امینی، عباس؛ نوری، هدایت‌اله و اصلانی سنگده، بیتا (۱۳۹۴). ارزیابی و سنجش پایداری برنج با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (مورد مطالعه: شهرستان رضوانشهر). علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران. ۱۱(۱)، ۱۰۱-۱۲۶.
- جعفری ملک آبادی، ایوب؛ صادقی، مرتضی؛ ذکی دیزجی، حسن و خجسته پور، مهدی (۱۳۹۴). ارزیابی کارایی سم‌پاش‌های مرسوم باغات ایران. دهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران، مشهد.
- حسنی مقدم، مجید؛ کاظم پور کهریز، اتابک؛ آسیابانی، ناصر و دوراندیش، ناصر (۱۴۰۳). بررسی و انتخاب الگوی مناسب توسعه زنجیره ارزش برنج در استان گیلان. اقتصاد کشاورزی و روستایی. ۲(۳)، ۴۳-۶۸.
- حربی زاده، محمد و شیخ داوودی، جواد (۱۳۹۲). انتخاب کمابین مناسب با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی. هشتمین کنگره ملی مهندسی

- ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، مشهد.
- حیدری، احمد؛ ناظریان، عیسی؛ پارسا، حسین و گرامی، کریم (۱۳۹۲). بررسی کارایی دو نوع سمپاش بر پایه الکترواستاتیک و صفحات چرخان در مقایسه با سمپاش فرقونی لانس دار در مبارزه با بیماری بلاست برنج. *مجله دانش گیاه پزشکی ایران*. ۴۴(۱)، ۱۶۳-۱۷۱.
- خورشید دوست، علی محمد و عادل، زهرا (۱۳۸۸). اسفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای یافتن مکان بهینه دفن زباله (مطالعه موردی شهر بناب). *مجله محیط شناسی*. ۳۵(۵۰)، ۲۷-۳۲.
- 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.
- سلطانی، غلامرضا. (۱۳۸۷). *اقتصاد مهندسی*. چاپ یازدهم. مرکز نشر دانشگاه شیراز.
- صفری، محمود. (۱۳۸۷). ارزیابی فنی سمپاش های رایج مورد استفاده در مزارع گندم و تعیین روش ها و ماشین های مناسب. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران. مشهد.
- صفری، محمود؛ باقری، نیکروز؛ و عزیز شیخی گرجان، عزیز (۱۴۰۲). ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از پهپاد سمپاش، در مقایسه با سمپاش های رایج، برای کنترل کرم هلیوتیس گوجه فرنگی. *تحقیقات سامانه ها و مکانیزاسیون کشاورزی*. ۲۴(۸۵)، ۹۱-۱۱۰.
- صفری، محمود؛ هدایتی پور، ابوالفضل و گرامی، کریم (۱۳۹۰). ساخت و ارزیابی سمپاش اتومایزر بوم دار جهت مبارزه با سن گندم. *مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)*. ۳۴(۱)، ۷۵-۸۶.
- قائم مقامی، علیرضا؛ خادم الحسینی، نصرت الله و لویی، نعیم (۱۳۸۶). ارزیابی چهار نوع مکانیزم سمپاشی در گندم. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، مشهد.
- قدسی پور، حسن (۱۳۹۸). *فرایند 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.
- مدرس نجف آبادی، سید سعید و حیدری، احمد (۱۳۹۳). بررسی کارایی دو سمپاش الکترواستاتیک و صفحه چرخان در مقایسه با سمپاش های متداول با دو غلظت مختلف از کنه کش هگزی تیاژوکس (EC 10%) علیه کنه تارتن دو لکه ای، *Tetranychus urticae* Koch، لوبیا. *آفت کش ها در علوم گیاه پزشکی*. ۲(۱)، ۶۰-۷۲.
- 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.
- مظفری گنبری، منصوره؛ یوسفزاده طاهری، محمدرضا و سلیمانی، جابر (۱۳۹۷). بررسی عملکرد فنی و کارایی سمپاش های پستی با مکانیزم های مختلف در کنترل تریپس پیاز. *مکانیزاسیون کشاورزی*. ۴(۲)، ۱۲۱-۱۳۲.
- منجم، سالار؛ رنجی، عادل؛ خانی، مریم؛ عطاری، حمید و درستی، حمید (۱۳۹۲). ارزیابی روش های تولید برنج در استان گیلان با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). *تحقیقات غلات*. ۳(۳)، ۲۵۵-۲۶۶.
- نامور، پیمان و حیدری، احمد (۱۳۹۲). مطالعه کارایی روش های مختلف سمپاشی در کنترل کنه زرد و پهن سبب زمینی. *آفت کش ها در علوم گیاه پزشکی*. ۲(۱)، ۱۴۷-۱۳۷.
- نیکمردان، علی (۱۳۹۱). معرفی نرم افزار Expert choice 11. چاپ دوم. جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیر کبیر.
- یوسفی، روح اله (۱۳۹۱). مکانیزاسیون کشاورزی. چاپ اول. موسسه آموزش و ترویج کشاورزی.
- یوسفی، روح اله و یونسوی المونی، محمد (۱۴۰۲). بررسی وضعیت موجود و تعیین شاخص های مکانیزاسیون برنج در استان گیلان. *تحقیقات سامانه ها و مکانیزاسیون کشاورزی*. ۲۴(۸۶)، ۲۱-۴۰.

REFERENCES

- Amini, A., Nouri, S.A., & Aslani Sangdeh, B. (2015). Evaluation of Rice Production Sustainability Using Multi Criteria Decision Making Methods: The case of Rezvanshahr County. *Iran Agricultural Extension and Education Journal*, 11(1), 101-126. (In Persian).
- 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.
- Asadollahpour, A. (2023). Development of A Desirable Business Model in the Value Chain of Rice Products in Mazandaran Province. *Iran Agricultural Extension and Education Journal*, 19 (1), 191-205. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20081758.1402.19.1.12.2>. (In Persian).
- 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).
- Ghaemmaghami, A., Khademol-hosaini, N., & Lovaimi, N. (2008). Evaluation of four mechanisms in wheat spraying, The 5th National Conference on Agriculture Machinery Engineering Mechanization, 27-28 August 2008. Mashhad Iran. (In Persian).
- Ghodsipour, S. H. (2019). *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. The Thirteenth edition. Amirkabir University Publication (Tehran Polytechnic), 224 p. (In Persian).
- Harker, P., & vargass, L. (1987). The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytical Hierarchy Process. *Management Science*, 33(11), 1383- 1403.
- Hassani Moghaddam, M., Kazempour Kahriz, A., Asiabani, N., & Dourandish, A. (2024). Examining and Choosing the Appropriate Model for Development of Rice Value Chain in Guilan Province of Iran. *Journal of Agricultural and Rural Economics*. 2(3), 43-68. <https://doi.org/10.30490/etr.2024.367307.1037>. (In Persian).
- Heidari, A., Nazerian, I., Parsa, H., & Gerami, K. (2013). Comparison of efficiency of electrostatic and spinning sprayers with wheelbarrows sprayer against *Pyricularia grisea* Sacc. *Journal of Plant Protection Research*. 44(1):163-171. (In Persian).
- Henderson, C. F., & Tilton, E. W. (1955). Tests with acaricides against the brown wheat mite. *Journal of economic entomology*, 48(2), 157-61. <https://doi.org/10.1093/jee/48.2.157>.
- Jafari-Malekabadi, A., Sadeghi, M., Zaki-Dizaji, H., & Khojastepour, M. (2016). Evaluation the efficiency of conventional sprayers in iran Gardens. The 10th National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Biosystem) & Mechanization, 9-10 June. Mashhad. Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).
- 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*. 50, 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. <https://dx.doi.org/10.22059/ijbse.2020.298099.665280>. (In Persian).
- MAJ, (2025). Ministry of Agriculture Jihad of Iran. Available from: www.maj.ir
- 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).
- Modarres Najafabadi, S. S., & Heidari, A. (2015). Investigation on the Efficiency of Electrostatic Charge and Spinning-disc Sprayers in Comparison with Common Sprayers Using Two Concentrations of hexythiazox (EC10%) against Two-spotted Spider Mite, *Tetranychus urticae* Koch., on Common Bean. *Pesticides in Plan Protection Sciences*, 2(1). 60-72. (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).
- Mozaffari Gonbari, M., Yosefzadeh Taheri, M.R., & Soleymani, J. (2019). Investigation of Technical Performance and Efficiency of Different Backpack Sprayers on Onion Thrips Control. *Agricultural Mechanization*. 4(2),121-132.
- Namvar, P., & Heidari, A. (2014). Efficiency Study of Different Spraying Techniques in the Control of Potato Yellow Broad Mite (*Polyphagotarsonemus latus* Banks). *Pesticides in Plan Protection Sciences* 1(2), 137-147. (In Persian).
- 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).
- 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), 1-13. (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.
- Safari, M. (2008). Technical evaluation of common sprayers used in wheat fields and determination of suitable methods and machines. The 5th National Conference on Agriculture Machinery Engineering Mechanization, 27-28 August 2008. Mashhad Iran. (In Persian).
- Safari, M., Bagheri, N., & Sheikhi Garjan, A. (2023). Technical and Economical Evaluation of UAV Sprayer

- in Comparison with Conventional Methods to Control Tomato Helicoverpa Amigera. *Agricultural Mechanization and Systems Research*. 24(85), 91-110. <https://doi.org/10.22092/amsr.2024.364474.1474>. (In Persian).
- Safari, M., Hedayatipour, A., & Gerami, K. (2011). Construction and evaluation of a boom-mounted atomizer sprayer for combating wheat blight. *Agricultural Engineering*. 34(1), 75-86. (In Persian).
- 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.
- Soltani, G. R. (2008). *Economical engineering*. Publications of Shiraz University, Second Edition. (In Persian).
- Srdjevic, B., & Jandric, Z. (2010). Analytical Hierarchy Process in selecting the best irrigation method. *Agricultural System*, 103(6), 350-358.
- Yousefi, R. (2012). *Agricultural Mechanization*. Agricultural Jihad Institute of Applied Scientific Higher Education. Iran. Tehran. (In Persian).
- Yousefi, R., & Younesi Alamouti, M. (2023). Determination of Rice Mechanization Indices in Guilan Province. *Agricultural Mechanization and Systems Research*. 24(86), 21-40. <https://doi.org/10.22092/amsr.2024.364240.1470>. (In Persian).
- Zilpilwar, S. Yadav, R., Sakariya, K., & Gahane, M. (2021). Ergonomic evaluation of battery operated knapsack sprayer. *Agricultural Engineering International : The CIGR e-journal*. 23(3):182-189.