



Determining The Most Appropriate Rice Transplanting Method in the Paddy Fields of Gilan Province Using the Analytic Hierarchy Process (AHP)

Roohollah Yousefi^{1*}, Afsaneh Berenjkar Goorabi²

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.

* Corresponding Author's Email: r.yousefi@areeo.ac.ir

(Received: October. 20, 2025 – Accepted: December. 17, 2025)

ABSTRACT

Objective: This study aimed to evaluate and compare different rice seedling transplanting methods in the paddy fields of Gilan Province and to identify the most suitable option using the Analytic Hierarchy Process (AHP). Three transplanting methods—manual, walking transplanter, and ride-on transplanter—were assessed based on a set of technical, economic, and operational criteria to determine the relative importance of each criterion in transplanting efficiency.

Material and methods: In this study, three seedling planting methods were assessed based on nine key criteria, encompassing technical, economic, and operational aspects. Data were gathered through a questionnaire and the insights of 30 experts, and were subsequently analyzed using the Analytic Hierarchy Process (AHP) in Expert Choice software.

Results: The results indicated that effective field capacity (0.278) and labor requirement (0.146) were the most important criteria. Overall, the ride-on transplanter performed best in field capacity, labor reduction, operational cost, spacing uniformity, and ease of operation. The walking transplanter was superior in energy consumption, while the manual method scored highest only in the criterion of usability in small or irregular plots.

Conclusion: The ride-on transplanter was identified as the most efficient and advantageous method for rice seedling transplantation in Gilan Province. This method offers the greatest benefits to farmers by increasing field capacity and reducing labor and operational costs. The findings suggest that adopting mechanized transplanting methods can play a significant role in improving both the productivity and sustainability of rice production.

Keywords: Agricultural Mechanization, Analytic Hierarchy Process, Effective Field Capacity, Operational Cost, Rice, Seedling Transplantation

Cite this article: Yousefi, R., Berenjkar Goorabi, A. 2025. Determining the Most Appropriate Rice Transplanting Method in the Paddy Fields of Gilan Province Using the Analytic Hierarchy Process (AHP). *Journal of Sustainable Agricultural Science Research*, 5 (3), 1-22. DOI: <https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1225165>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1225165>

Publisher: Islamic Azad University of Kerman Branch Press.

تعیین مناسب ترین روش نشا 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.yousefi@areco.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۲۶ - تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۹/۳۰)

چکیده

هدف: این پژوهش با هدف ارزیابی و مقایسه روش های مختلف کاشت نشای برنج در اراضی شالیزاری استان گیلان و انتخاب مناسب ترین گزینه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است. در این راستا سه روش نشاکاری؛ دستی، نشاکار راه رونده و نشاکار سوارشونده، براساس مجموعه ای از معیارهای فنی، اقتصادی و عملیاتی مورد سنجش قرار گرفته اند تا اهمیت نسبی هر معیار در کارایی عملیات نشاکاری مشخص شود.

مواد و روش ها: در این پژوهش سه روش کاشت نشا، براساس ۹ معیار اصلی؛ فنی، اقتصادی و عملیاتی ارزیابی شدند. داده ها از طریق پرسش نامه و با استفاده از نظر ۳۰ خبره گردآوری و با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در نرم افزار Expert Choice تحلیل شدند.

یافته ها: نتایج نشان داد، ظرفیت مزرعه ای مؤثر (۰/۲۷۸) و تعداد کارگر مورد نیاز (۰/۱۴۶) مهم ترین معیارها هستند. در جمع بندی وزن ها، نشاکار سوارشونده بهترین عملکرد را در معیارهای ظرفیت کار، کاهش کارگر، هزینه عملیاتی، یکنواختی فاصله و سهولت کار داشت. نشاکار راه رونده در مصرف انرژی برترین گزینه بود و در روش دستی تنها در معیار قابلیت کاربری در قطعات کوچک و نامنظم بالاترین امتیاز را کسب کرد.

نتیجه گیری: روش نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده به عنوان بهترین و کارآمدترین گزینه برای کاشت نشای برنج در استان گیلان معرفی شد. این روش با افزایش ظرفیت مزرعه ای و کاهش هزینه و نیروی کار، بیشترین مزیت را برای بهره برداران دارد. نتایج پژوهش نشان می دهد اتخاذ روش های مکانیزه می تواند نقش مهمی در افزایش بهره وری و پایداری تولید برنج ایفا کند.

واژه های کلیدی: برنج؛ تحلیل سلسله مراتبی، ظرفیت مزرعه ای مؤثر، مکانیزاسیون کشاورزی، نشاکاری، هزینه عملیاتی

استناد:

Cite this article: Yousefi, R., Berenjkari Goorabi, A. 2025. Determining the Most Appropriate Rice Transplanting Method in the Paddy Fields of Gilan Province Using the Analytic Hierarchy Process (AHP). *Journal of Sustainable Agricultural Science Research*, 5 (3), 1-22. DOI: <https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1225165>



© The Author(s).

ناشر: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

DOI: <https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1225165>

مقدمه

است (Khorshid & Adeli, 2009; Srdjevic & Jandric, 2010).

در زمینه مکانیزاسیون کشاورزی، مطالعات متعددی از روش AHP بهره برده‌اند. برای مثال، 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 (Monajem *et al.*, 2013). 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 (Eskandari-Cherati, 2012).

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 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 (Amini *et al.*, 2015).

برنج (*Oryza sativa* L.) به عنوان غذای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان، نقش حیاتی در امنیت غذایی ایفا می‌کند (Sinha & Talati, 2007). استان گیلان با تولید سالانه ۹۱۰۴۹۲ تن برنج، تقریباً ۲۶ درصد از کل تولید برنج کشور را شامل می‌شود (MAJ, 2025).

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 (Saadi *et al.*, 2008)، 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 (Mashayekhi *et al.*, 2013).

این روش به دلیل به کارگیری هم‌زمان معیارهای کمی و کیفی برای ارزیابی معیارهای مؤثر در فرآیند تصمیم‌گیری، روشی مناسب و کاربردی است (Nikmardan, 2012). کلیات فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را می‌توان در طی سه مرحله خلاصه کرد: ساختن سلسله مراتبی، محاسبه وزن و سازگاری سیستم (Ghodsipour, 2023). 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

نسبی (۰/۵۱۰) بهترین گزینه است، درحالی که مدل ارکستر کم اهمیت‌ترین شناخته شد. پیشنهاد می‌شود این اولویت بندی در برنامه ریزی و سیاست گذاری‌های بخش برنج مورد توجه قرار گیرد و با ایجاد مرکز بین‌المللی تجارت برنج، بازار این محصول سامان‌دهی شود (Hassani moghaddam *et al.*, 2024).

در مطالعه‌ای در استان مازندران، مدل کسب‌وکار مطلوب زنجیره ارزش برنج با بهره‌گیری از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Expert Choice 11 طراحی شد. جامعه آماری شامل فعالان بازار، تجار، کارخانه‌های فرآوری و سازمان‌های مرتبط با تولید برنج بود که داده‌ها با استفاده از نمونه‌گیری هدفمند، جلسات گروه کانونی و مصاحبه گردآوری شدند. نتایج پژوهش نشان داد مدل ارکستر با وزن نسبی ۰/۳۲۸ به‌عنوان بهترین مدل کسب‌وکار برای توسعه و گسترش زنجیره ارزش برنج در استان مازندران انتخاب شد (Asadollahpour, 2023).

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، به‌منظور بررسی و تعیین مناسب‌ترین روش کاشت نشا برنج در اراضی شالیزاری استان گیلان، سه روش کاشت نشای برنج شامل نشاکاری به‌صورت دستی، با نشاکار راه‌رونده (در انواع راه رونده (کاربر پیاده)، معمولاً ماشین دارای یک محور (محرک) و یک چرخ در هر طرف بوده، راننده (کاربر) پشت سر ماشین حرکت نموده آن را هدایت و کنترل می‌نماید (همانند تیلرها)) و با نشاکار سوارشونده (در انواع سوار شونده (کاربر سوار)، ماشین دارای دو محور محرک می‌باشد. علاوه بر آن، دارای یک صندلی مخصوص راننده بوده که راننده

در پژوهشی با هدف شناسایی مناسب‌ترین رقم برنج جهت پایداری نظام کشت، از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. نتایج نشان داد که معیارهای پایداری اقتصادی (۳۲ درصد)، بوم‌شناختی (۲۳ درصد) و اجتماعی (۲۱ درصد) بیشترین اهمیت را دارند و در مجموع، دو رقم هاشمی و طارم به‌عنوان مناسب‌ترین ارقام از نظر پایداری نظام کشت معرفی شدند (Moumenihelali *et al.*, 2015).

در مطالعه‌ای دیگر، با استفاده از رویکرد چندهدفه، بهینه‌سازی تخصیص مکانیزاسیون پایدار در سامانه‌های محلول‌پاشی و برداشت برنج در شهرستان رامهرمز مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش با ترکیب روش‌های AHP و TOPSIS، شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی سامانه‌های مختلف مکانیزاسیون را ارزیابی کرده و نشان داد که توسعه سامانه‌های نوین مانند محلول‌پاشی پهبادی و برداشت مستقیم با کمباین برنج، در راستای پایداری کشاورزی گزینه‌های برتر هستند (Hormozi *et al.*, 2022).

در مطالعه‌ای که با کاربرد AHP در شهرستان رشت انجام شد، ارجحیت ذهنی شالیکاران نسبت به کشت دوم پس از برنج مورد تحلیل قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد که محصول راتون با وزن نهایی ۰/۴۵۳ بالاترین اولویت را از نظر اقتصادی و بازار فروش داشته و در مقابل، لوبیای محلی و علوفه در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (Shahinrokhsar *et al.*, 2022).

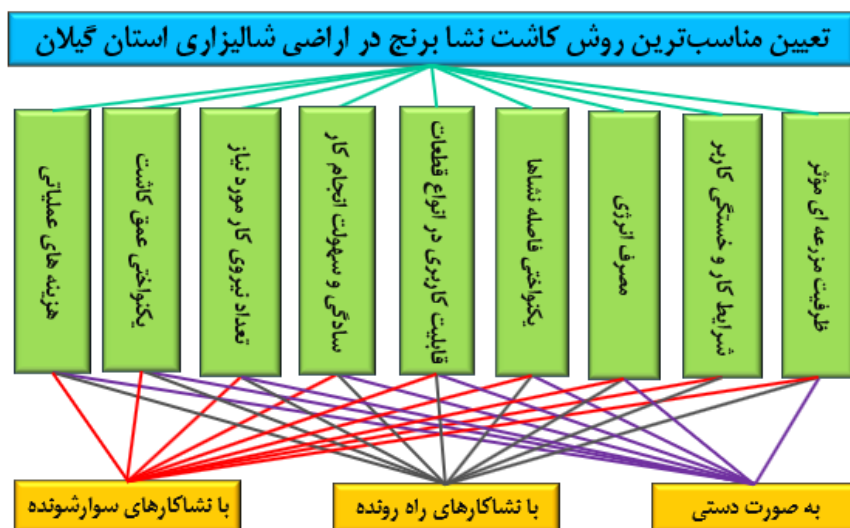
در مطالعه‌ای که در استان گیلان انجام شد، چهار مدل کسب‌وکار در زنجیره ارزش برنج با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد مدل بازارساز با بالاترین وزن

انواع قطعات، سادگی و سهولت انجام کار، تعداد کارگر مورد نیاز، یکنواختی عمق کاشت و هزینه عملیاتی دسته‌بندی گردیدند.

اولین گام در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، ایجاد یک ساختار سلسله‌مراتبی از مسئله است که شامل سه سطح می‌باشد: هدف، معیارها و گزینه‌ها. در این پژوهش، هدف اصلی یعنی انتخاب مناسب‌ترین روش کاشت نشا برنج در اراضی شالیزاری استان گیلان در سطح اول قرار گرفت. در سطح دوم، معیارهای ارزیابی و در سطح سوم، گزینه‌های کاشت نشا واقع شدند (شکل ۱).

ضمن استقرار بر روی آن، ماشین را هدایت و کنترل می‌نماید) مورد مقایسه قرار گرفتند. برای تحلیل و اولویت‌بندی این روش‌ها بر اساس معیارهای مختلف، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شد.

به‌منظور تعیین معیارهای ارزیابی، ابتدا مطالعات کتابخانه‌ای انجام و سپس با کارشناسان، محققان بخش کشاورزی و صاحب‌نظران محلی، مشورت شد. براساس نتایج این بررسی‌ها، شاخص‌های مؤثر بر فرآیند نشای برنج شناسایی و در قالب نه معیار اصلی شامل ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، شرایط کار و خستگی کاربر، مصرف انرژی، یکنواختی فاصله نشاها، قابلیت کاربری در



شکل ۱- ساختار سلسله‌مراتبی انتخاب مناسب‌ترین روش کاشت نشای برنج

خود، از روش بردار ویژه که مؤثرترین شیوه در یافتن عناصر هر سطح است، استفاده شد.

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

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 (Ghodsipour, 2023). سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هرگزینه مشخص شد. در این تحقیق، برای محاسبه وزن‌های عناصر هر سطح نسبت به سطح بالاتر

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

وضعیت i مقایسه نسبت به j	ارزش ترجیحی
اهمیت برابر	۱
نسبتاً مهم‌تر	۳
مهم‌تر	۵
خیلی مهم‌تر	۷
کاملاً مهم	۹
بینایی	۲، ۴، ۶، ۸

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 (Ghodsipour, 2023).

به منظور وزن‌دهی به فاکتورها و عوامل مؤثر ذکر شده، پرسش‌نامه‌هایی طراحی گردید. این پرسش‌نامه‌ها توسط خبرگان شامل ۱۰ نفر از متخصصان ماشینهای کشاورزی، ۱۰ نفر از کارشناس بخش کشاورزی و ۱۰ 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:

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 درمورد 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.

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

$$ME = \frac{MEC \times W}{EFC \times L} \quad (5)$$

که در آن: ME انرژی ماشین‌های کشاورزی بر حسب مگاژول بر هکتار؛ MEC ضریب تبدیل انرژی برای ماشین مربوطه بر حسب مگاژول بر کیلوگرم؛ W وزن ماشین بر حسب کیلوگرم؛ EFC ظرفیت مؤثر مزرعه بر حسب هکتار بر ساعت؛ و L طول عمر مفید ماشین بر حسب ساعت است.

انرژی سوخت مصرفی در واحد سطح، تابعی از نوع سوخت (دیزل یا بنزین) و مقدار مصرف آن توسط ماشین‌های کشاورزی در حین عملیات برداشت است. انرژی سوخت از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$FE = \frac{AF \times FC}{A} \quad (6)$$

که در آن: FE انرژی سوخت بر حسب مگاژول بر هکتار؛ AF میزان سوخت مصرفی بر حسب لیتر که در طی آزمایش اندازه‌گیری می‌شود؛ FC ضریب تبدیل انرژی سوخت بر حسب مگاژول بر لیتر؛ و A مساحت کل نشا شده بر حسب هکتار است.

انرژی انسانی: برای محاسبه انرژی انسانی مورد نیاز در عملیات نشا، از رابطه (۷) استفاده می‌شود:

$$HE = \frac{n \times t \times HC}{A} \quad (7)$$

که در آن: HE انرژی انسانی بر حسب مگاژول بر هکتار؛ n تعداد کارگران شرکت‌کننده در عملیات؛ t مدت زمان انجام عملیات بر حسب ساعت که با استفاده از زمان‌سنج اندازه‌گیری می‌شود؛ HC ضریب تبدیل انرژی نیروی انسانی بر حسب مگاژول بر ساعت؛ و A مساحت کل نشا شده بر حسب هکتار است.

ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر

ظرفیت مزرعه‌ای از رابطه (۱) تعیین می‌شود (Roy et al., 2001):

$$EFC = \frac{A}{T_t} \quad (1)$$

که در آن، EFC ظرفیت مؤثر (هکتار بر ساعت)، A سطح عملیات (هکتار)؛ و T_t کل مدت زمان نشاکاری در هر کرت (ساعت)، شامل مدت زمان‌های مفید و غیر مفید (تلف شده).

برای تعیین ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در کاشت نشا به صورت دستی از دو رابطه (۲) و (۳) استفاده می‌شود (Konaka, 2005):

$$MH = T \times NW \quad (2)$$

$$EFC = \frac{A}{MH} \quad (3)$$

که در آنها، MH تعداد کارگر مورد نیاز (نفر ساعت)؛ T مدت زمان عملیات (ساعت)؛ NW تعداد کارگر؛ A مساحت کرت (هکتار)؛ و EFC ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (هکتار بر نفر ساعت).

تعیین انرژی مصرفی

کل انرژی مصرفی در عملیات نشا برنج (مگاژول بر هکتار)، به‌عنوان مجموع انرژی مصرفی از تمامی منابع شامل انرژی ماشین‌های کشاورزی، انرژی سوخت و انرژی انسانی از رابطه (۴) محاسبه می‌شود (Kahandage et al., 2023):

$$TEI = ME + FE + HE \quad (4)$$

انرژی ماشین‌های کشاورزی برای هر یک از ماشین‌های مورد بررسی با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود (Elsoragaby et al., 2019):

مصرف سوخت

برای تعیین سوخت مصرفی ماشین‌های مورد استفاده در نشا برنج، از روش باک پر استفاده می‌شود. در این روش، قبل از شروع کار، مخزن سوخت تا سطح مشخص پر می‌گردد؛ پس از پایان عملیات، با استفاده از یک ظرف مدرج، مخزن سوخت مجدداً تا سطح مورد نظر پر 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. مصرف سوخت بر حسب لیتر بر ساعت از رابطه (۸) محاسبه می‌شود (Anon, 1995):

$$F_C = \frac{q}{t} \quad (8)$$

که در آن: F_C میزان سوخت مصرفی بر حسب لیتر بر ساعت، q مقدار سوخت مصرفی بر حسب لیتر، t مدت زمان اجرای عملیات برداشت در هر کرت بر حسب ساعت.

با استفاده از مساحت کرت و زمان عملیات، میزان مصرف سوخت بر اساس لیتر بر هکتار محاسبه می‌گردد.

هزینه اجرای عملیات

هزینه نشا در روش دستی شامل دستمزد کارگر برای جابجایی نشا و کاشت نشا و در روش ماشینی مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر است (Alizadeh & Haghtalab, 2019).

هزینه‌های ثابت: هزینه‌های ثابت شامل هزینه‌های استهلاک، سود سرمایه، بیمه، مالیات و جایگاه نگهداری ماشین می‌باشد (Kepner et al., 1982).

هزینه ثابت سالیانه (ریال بر سال) از مجموع هزینه‌های استهلاک، سود سرمایه، بیمه، مالیات و هانگار بدست می‌آید. هزینه ثابت در هکتار از رابطه (۹) به دست می‌آید (Konaka, 2005):

$$FCa = \frac{FC}{CA} \quad (9)$$

که در آن، FCa هزینه ثابت (ریال بر هکتار)؛ FC هزینه ثابت سالیانه (ریال بر سال)؛ و CA سطح عملیات سالیانه (هکتار بر سال).

هزینه‌های متغیر به میزان استفاده از ماشین بستگی دارد. این هزینه‌ها از مجموع هزینه‌های سوخت، روغن؛ تعمیرات و نگهداری و کارگر بدست می‌آید. هزینه متغیر در هر هکتار از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود (Konaka, 2005):

$$VCa = \frac{VCh}{EFC} \quad (10)$$

که در آن، VCa هزینه متغیر در هر هکتار (ریال بر هکتار)؛ EFC ظرفیت مزرعه ای مؤثر ماشین (هکتار بر ساعت)؛ و VCh هزینه متغیر (ریال بر ساعت).

هزینه کل عملیات ماشینی در هر هکتار، مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر است و از رابطه (۱۱) به دست می‌آید:

$$TCa = FCa + VCa \quad (11)$$

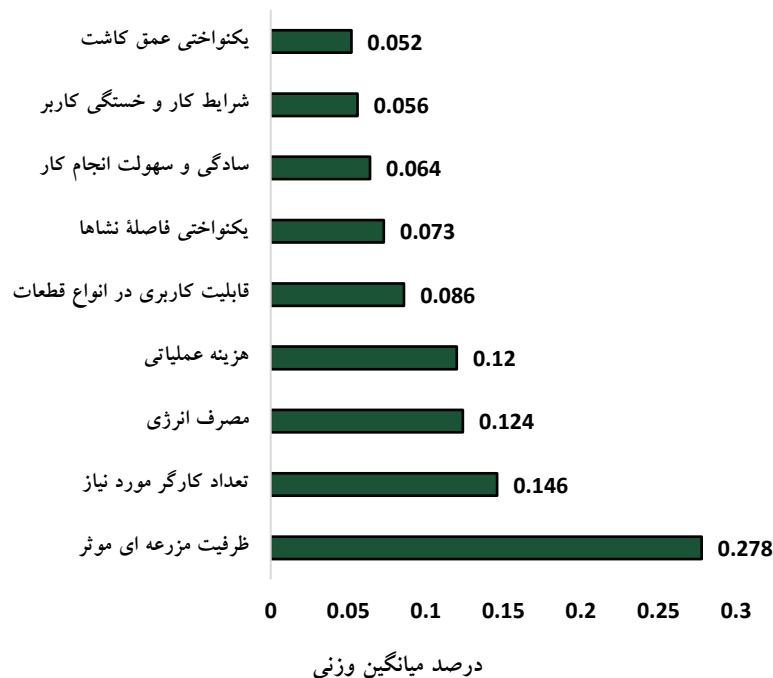
که در آن، TCa هزینه کل عملیات ماشینی (ریال بر هکتار) است.

بحث و نتیجه‌گیری

مقایسه معیارها با توجه به هدف

در این پژوهش، معیارهای اصلی 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 تعیین مناسب‌ترین روش کاشت نشا برنج در اراضی شالیزاری استان گیلان هستند.



شکل ۲- مقایسه معیارها به صورت زوجی بر اساس هدف

می‌شود و افزایش سرعت و کارایی عملیات، بر دیگر شاخص‌ها برتری دارد.

در مقابل، یکنواختی عمق کاشت با وزن ۰/۰۵۲ کمترین اهمیت را به خود اختصاص داده است؛ به‌گونه‌ای که نسبت به سایر معیارها، در تصمیم‌گیری مربوط به انتخاب روش کاشت نقش کم‌رنگ‌تری ایفا می‌کند. این موضوع می‌تواند ناشی از آن باشد که در بسیاری از روش‌های کاشت موجود، اختلاف عمق کاشت چندان تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد نهایی محصول ندارد یا از دید کاربران کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد.

از دیگر نکات قابل توجه، اهمیت نسبتاً بالای معیار تعداد کارگر مورد نیاز با وزن ۰/۱۴۶ است که پس از

برای تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی، از قضاوت‌های گروهی خبرگان استفاده گردید. ارزیابی‌ها بر اساس مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی (Saaty, 1990) انجام شد و میانگین هندسی نظرات برای تشکیل ماتریس نهایی تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار Expert Choice صورت گرفت و وزن نسبی معیارها و گزینه‌ها استخراج گردید.

نتایج تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد که ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر با وزن ۰/۲۷۸ بالاترین اولویت را در میان معیارهای ارزیابی دارد. این امر بیانگر آن است که برای کارشناسان و کشاورزان استان گیلان، میزان سطحی که می‌توان در واحد زمان نشاکاری کرد مهم‌ترین عامل در انتخاب روش کاشت نشا محسوب

مقایسه زوجی گزینه‌ها با توجه به معیارها

در مرحله دوم تحلیل سلسله مراتبی، گزینه‌های مختلف روش‌های کاشت نشا برنج، با در نظر گرفتن هر یک از معیارهای تعریف‌شده، به صورت زوجی مقایسه شدند. این مقایسه‌ها به تعیین وزن نسبی هر روش تحت هر معیار کمک می‌کند. همچنین، نرخ ناسازگاری برای هر مقایسه مورد بررسی قرار گرفت تا از پایداری و اعتبار قضاوت‌ها اطمینان حاصل شود.

بر اساس نتایج مقایسه زوجی که در شکل ۳ ارائه شده، نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده با وزن ۰/۵۸۲ بیشترین سهم و نشاکاری به صورت دستی با وزن ۰/۱۳ کمترین سهم را از نظر ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر به خود اختصاص داده‌اند. این نتایج نشان می‌دهد که نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده از نظر افزایش بازده عملیاتی و کاهش زمان کاشت بهترین گزینه برای اراضی شالیزاری استان گیلان است. مزیت اصلی این روش، می‌باشد. یافته‌های حاضر با نتایج پژوهش‌های (Ahmmed et al., 2024; Mousavi Seyadi & Hashemi, 2008; Eyvani et al., 2014) همخوانی دارد.

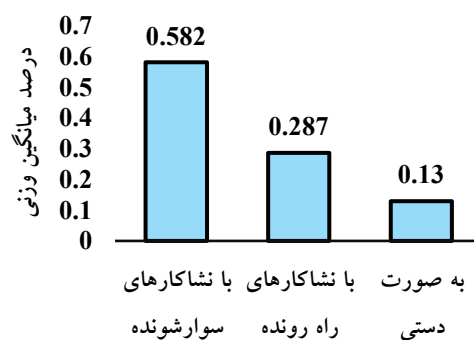
نرخ ناسازگاری مربوط به این مقایسه ۰/۰۶ گزارش شد، که نشان‌دهنده همخوانی بسیار بالا و ثبات قضاوت‌های متخصصین در ارزیابی ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر است؛ این امر به اعتبار و قابلیت اتکای نتایج این بخش از تحلیل می‌افزاید و نشان می‌دهد که ارزیابی‌ها به شکل منطقی و منسجم انجام شده است.

ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در رتبه دوم قرار می‌گیرد. این نتیجه نشان می‌دهد که با توجه به کاهش نیروی کار و افزایش هزینه‌های کارگری در سال‌های اخیر، انتخاب روش‌هایی که نیاز به کارگر کمتری دارند برای بهره‌برداران بسیار حائز اهمیت است.

همچنین معیارهای مصرف انرژی و هزینه عملیاتی نیز در رده معیارهای مهم قرار می‌گیرند و تأکید می‌کنند که جنبه‌های اقتصادی و انرژی‌بری عملیات، نقش قابل توجهی در تصمیم‌گیری نهایی دارند. معیارهایی مانند قابلیت کاربری در انواع قطعات، یکنواختی فاصله نشاها و سادگی و سهولت انجام کار نیز در سطح متوسط اهمیت قرار گرفته‌اند و نشان می‌دهند که کاربران علاوه بر سرعت و هزینه، به کاربرپذیری عملی و کیفیت کاشت نیز توجه دارند.

به طور کلی، نتایج بیانگر آن است که تصمیم‌گیرندگان در انتخاب مناسب‌ترین روش کاشت نشا، بیش از هر چیز به افزایش کارایی مزرعه و کاهش نیاز به نیروی کار توجه می‌کنند و در رتبه‌های بعدی، معیارهای اقتصادی، انرژی‌بری بودن عملیات و کیفیت نهایی کاشت مورد توجه قرار می‌گیرد.

در این تحلیل، درجه ناسازگاری برابر با ۰/۰۵ به دست آمد. این مقدار نشان‌دهنده سازگاری بالای قضاوت‌های انجام شده توسط خبرگان و اعتبار داخلی مناسب نتایج مدل AHP در این پژوهش است.



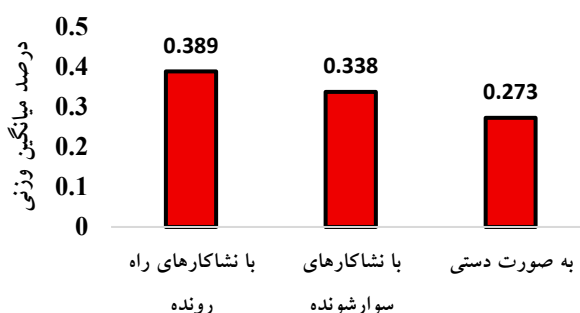
شکل ۳- مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (ناسازگاری کل = ۰/۰۶)

قادر است عملیات کاشت نشا را با مصرف انرژی کمتر و کارایی بهتر انجام دهد، که از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی برای کشاورزان و مدیران شالیزارهای استان گیلان بسیار مهم است. یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیقات (Payman *et al.*, 2005) همخوانی دارد.

همچنین، نرخ ناسازگاری پایین ۰/۰۰۲ در این مقایسه، تأییدی بر پایداری و سازگاری قضاوت‌های کارشناسان در ارزیابی مصرف انرژی است که باعث افزایش اعتماد به نتایج تحلیل می‌شود.

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، روش نشاکاری با نشاکارهای راه رونده با وزن ۰/۳۸۹ بیشترین اولویت را در زمینه مصرف انرژی دارد و به عنوان بهینه‌ترین گزینه در مصرف انرژی شناخته شده است. در رتبه دوم، نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده با وزن ۰/۳۳۸ قرار دارد و روش نشاکاری به صورت دستی با وزن ۰/۲۷۳ کمترین اولویت را دارد.

این نتایج نشان می‌دهد که نشاکارهای راه رونده، به دلیل طراحی بهینه و بهره‌وری بالاتر در مصرف انرژی، نسبت به سایر روش‌ها صرفه‌جویی بیشتری در مصرف انرژی دارند. به عبارت دیگر، این روش



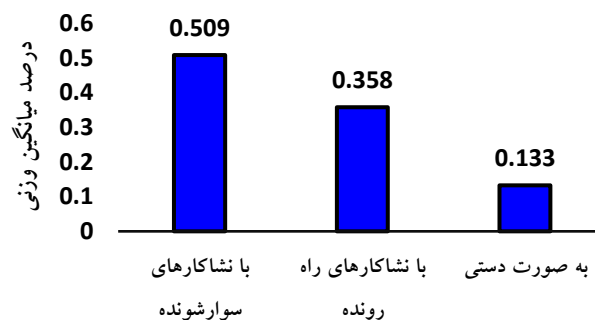
شکل ۴- مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار مصرف انرژی (ناسازگاری کل = ۰/۰۰۲)

کارگر مورد نیاز دارد. روش نشاکاری با نشاکارهای راه رونده با وزن ۰/۳۵۸ در رتبه دوم قرار گرفته و

بر اساس نتایج مقایسه زوجی که در شکل ۵ ارائه شده، روش نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده با وزن ۰/۵۰۹ بیشترین اهمیت را از نظر کاهش تعداد

یافته‌های تحقیقات (Bhatt *et al.*, 2023; Saha *et al.*, 2021; Hassan *et al.*, 2022; Kumar *et al.*, 2025; Dastan *et al.*, 2017; Hedayatipour & Eyvani, 2011) همخوانی دارد و نشان می‌دهد که استفاده از تجهیزات مکانیزه، نقش مهمی در کاهش فشار نیروی کار و بهبود بهره‌وری اقتصادی مزارع برنج دارد.

نرخ ناسازگاری پایین ۰/۰۰۳ بیانگر سازگاری و اعتبار بالای قضاوت‌های کارشناسان در این مقایسه است، که به افزایش اطمینان به نتایج تحلیل کمک می‌کند.



شکل ۵- مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار تعداد کارگر مورد نیاز (ناسازگاری کل = ۰/۰۰۳)

نسبت به روش دستی، هزینه‌های عملیاتی کمتری دارند، اما نسبت به سوارشونده‌ها کارایی پایین‌تری دارند. نتایج این پژوهش با یافته‌های مطالعات (Rajendran & Ranganathan, 2025; Manoj *et al.*, 2025; Peyman *et al.*, 2016; Sodaee *et al.*, 2013) همسو است و تأکید می‌کند که انتخاب تجهیزات مکانیزه مناسب می‌تواند نقش مهمی در کاهش هزینه‌های تولید و افزایش بهره‌وری اقتصادی مزارع برنج داشته باشد.

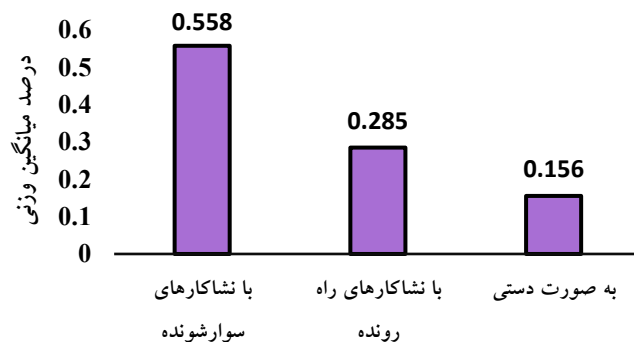
نرخ ناسازگاری پایین ۰/۰۰۸ بیانگر سازگاری و ثبات قضاوت‌های کارشناسان در این مقایسه است و باعث افزایش اعتماد به نتایج تحلیل می‌شود.

روش نساکاری به صورت دستی با وزن ۰/۱۳۳ کمترین اولویت را دارد.

این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از نساکارهای سوارشونده در فرآیند کاشت نشا، به طور قابل توجهی نیاز به نیروی کار انسانی را کاهش می‌دهد و از این جهت برای کشاورزان و بهره‌برداران اقتصادی‌تر است. همچنین، نساکارهای راه رونده نیز به نسبت روش دستی، به میزان قابل توجهی نیاز به کارگر را کاهش می‌دهند. نتایج این تحقیق، با

براساس نتایج مقایسه زوجی که در شکل ۶ ارائه شده است، روش نساکاری با نساکارهای سوارشونده با وزن ۰/۵۵۸ بیشترین اهمیت را از نظر کاهش هزینه‌های عملیاتی دارد. روش نساکاری با نساکارهای راه رونده با وزن ۰/۲۵۸ در رتبه دوم قرار گرفته و نساکاری به صورت دستی با وزن ۰/۱۵۶ کمترین اولویت را از نظر هزینه عملیاتی دارد.

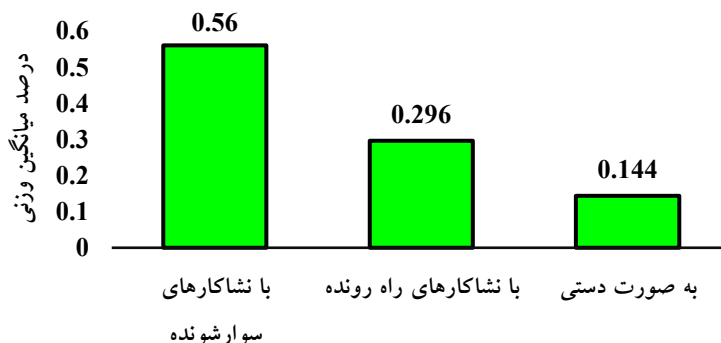
این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از نساکارهای سوارشونده می‌تواند به شکل قابل توجهی هزینه‌های عملیاتی کاشت نشا را کاهش دهد و از نظر اقتصادی برای بهره‌برداران بهینه‌تر است. کاهش هزینه‌ها عمدتاً به دلیل کاهش نیاز به نیروی کار و افزایش سرعت عملیات حاصل می‌شود. نساکارهای راه رونده نیز



شکل ۶- مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار هزینه عملیاتی (ناسازگاری کل = ۰/۰۸)

فاصله‌ها را به شکل قابل توجهی کاهش می‌دهد. یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیقات (Eyvani *et al.*, 2014; Hedayipour & Evani, 2007) همسو است. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از نشاکارهای مکانیزه، به ویژه سوارشونده موجب افزایش یکنواختی کاشت می‌شود و این یکنواختی، اثر مستقیمی بر عملکرد محصول و کاهش ضایعات ناشی از رقابت بین گیاهان دارد. نرخ ناسازگاری پایین ۰/۰۱ بیانگر سازگاری و ثبات قضاوت‌های کارشناسان در این مقایسه است و به اعتبار نتایج تحلیل افزوده است.

براساس نتایج مقایسه زوجی ارائه شده در شکل ۷، روش نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده با وزن ۰/۵۶ بیشترین اولویت را از نظر یکنواختی فاصله نشاها دارد. روش نشاکاری با نشاکارهای راه رونده با وزن ۰/۲۹۶ در رتبه دوم قرار گرفته و نشاکاری به صورت دستی با وزن ۰/۱۴۴ کمترین اولویت را دارد. این نتایج نشان می‌دهد که نشاکارهای سوارشونده قادرند فاصله بین نشاها را به شکل یکنواخت‌تری حفظ کنند، که این موضوع برای رشد متوازن گیاهان، افزایش عملکرد و کاهش رقابت بین نشاها اهمیت بالایی دارد. روش دستی به دلیل محدودیت نیروی انسانی و خطای انسانی در کاشت، یکنواختی



شکل ۷- مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار یکنواختی فاصله نشاها (ناسازگاری کل = ۰/۰۱)

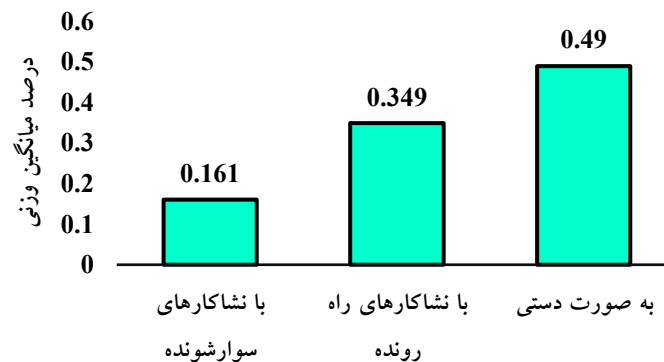
بیشترین اولویت را از نظر قابلیت کاربری در انواع قطعات دارد. روش نشاکاری با نشاکارهای راه رونده

بر اساس نتایج مقایسه زوجی ارائه شده در شکل ۸، روش نشاکاری به صورت دستی با وزن ۰/۴۹

غیرمنظم را دارند، اما نشاکارهای سوارشونده به دلیل ابعاد بزرگ و محدودیت مانور، کارایی کمتری در چنین قطعاتی نشان می‌دهند. یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیق (Lantarsih *et al.*, 2021) همخوانی دارد. نرخ ناسازگاری پایین ۰/۰۰۵ نشان‌دهنده سازگاری بالای قضاوت کارشناسان و اعتبار نتایج این مقایسه است.

با وزن ۰/۳۴۹ در رتبه دوم قرار گرفته و نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده با وزن ۰/۱۶۱ کمترین اولویت را دارد.

این نتایج نشان می‌دهد که روش دستی انعطاف‌پذیری بالاتری برای کار در قطعات مختلف مزارع دارد، به ویژه در مزارع کوچک، غیرمنظم یا دارای محدودیت فیزیکی، جایی که استفاده از ماشین‌آلات بزرگ دشوار است. نشاکارهای راه‌رونده نیز تا حدی توانایی کاربری در قطعات کوچک و



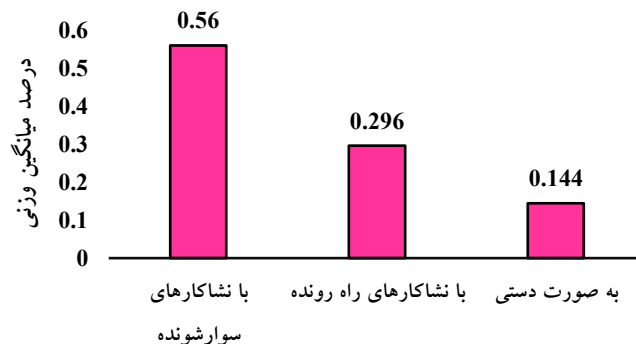
شکل ۸- مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار قابلیت کاربری در انواع قطعات (ناسازگاری کل = ۰/۰۰۵)

تلاش فیزیکی بالا، کمترین سهولت را دارد. نشاکارهای راه‌رونده نیز تا حدی عملیات کاشت را ساده می‌کنند اما نسبت به سوارشونده‌ها کمتر مؤثر هستند. یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیقات (Ahmmed *et al.*, 2024; Khani *et al.*, 2023) همسو است.

نرخ ناسازگاری پایین ۰/۰۱ نشان‌دهنده ثبات و سازگاری بالای قضاوت کارشناسان در این مقایسه است و اعتبار نتایج را تأیید می‌کند.

بر اساس نتایج مقایسه زوجی ارائه شده در شکل ۹، روش نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده با وزن ۰/۵۶ بیشترین اهمیت را از نظر سادگی و سهولت انجام کار دارد. روش نشاکاری با نشاکارهای راه‌رونده با وزن ۰/۲۹۶ در رتبه دوم قرار گرفته و نشاکاری به صورت دستی با وزن ۰/۱۴۴ کمترین اولویت را دارد.

این نتایج نشان می‌دهد که نشاکارهای سوارشونده عملیات کاشت نشا را آسان‌تر و سریع‌تر می‌کنند و باعث کاهش خستگی کاربر می‌شوند، در حالی که روش دستی به دلیل نیاز به نیروی انسانی زیاد و

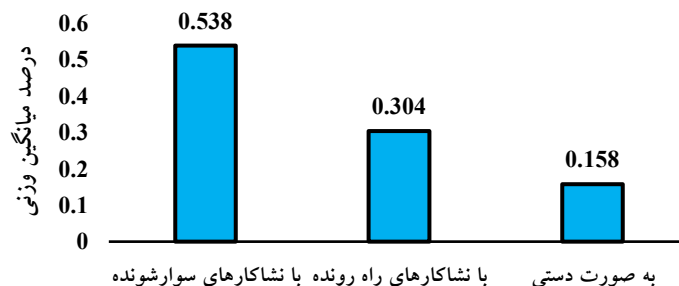


شکل ۹- مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار سادگی و سهولت انجام کار (ناسازگاری کل = ۰/۰۱)

گیاهان، نفوذ یکنواخت آب و کاهش مشکلات فیزیولوژیکی گیاهان اهمیت دارد. روش دستی به دلیل محدودیت نیروی انسانی و خطای انسانی در کاشت، یکنواختی عمق کاشت را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد.

نرخ ناسازگاری ۰/۰۳ اندکی بالاتر از معیارهای دیگر است، اما همچنان نشان‌دهنده سازگاری قابل قبول قضاوت‌های کارشناسان است و اعتبار تحلیل را حفظ می‌کند.

بر اساس نتایج مقایسه زوجی ارائه شده در شکل ۱۰، روش نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده با وزن ۰/۵۳۸ بیشترین اهمیت را از نظر یکنواختی عمق کاشت دارد. روش نشاکاری با نشاکارهای راه رونده با وزن ۰/۳۰۴ در رتبه دوم قرار گرفته و نشاکاری به صورت دستی با وزن ۰/۱۵۸ کمترین اولویت را دارد. این نتایج نشان می‌دهد که نشاکارهای سوارشونده قادرند عمق کاشت نشاها را به شکل یکنواخت و استاندارد حفظ کنند، که این امر برای رشد متوازن



شکل ۱۰- مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار یکنواختی عمق کاشت (ناسازگاری کل = ۰/۰۳)

نشاکاری به صورت دستی با وزن ۰/۱۲۶ کمترین اولویت را دارد.

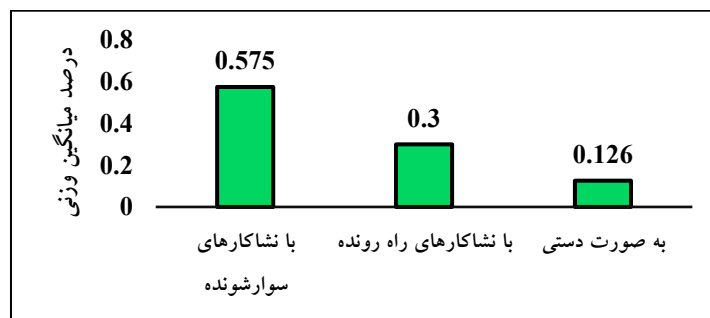
این نتایج نشان می‌دهد که نشاکارهای سوارشونده به شکل قابل توجهی بار فیزیکی و خستگی کاربر را کاهش می‌دهند و انجام عملیات کاشت را راحت‌تر

بر اساس نتایج مقایسه زوجی ارائه شده در شکل ۱۱، روش نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده با وزن ۰/۵۷۵ بیشترین اهمیت را از نظر کاهش خستگی و بهبود شرایط کار دارد. روش نشاکاری با نشاکارهای راه رونده با وزن ۰/۳ در رتبه دوم قرار گرفته و

نشاکارهای سوارشونده، باعث کاهش خستگی فیزیکی و افزایش راحتی کارگر در عملیات کاشت می‌شود.

نرخ ناسازگاری پایین ۰/۰۱ نشان‌دهنده سازگاری و ثبات قضاوت کارشناسان در این مقایسه است و اعتبار نتایج تحلیل را تأیید می‌کند.

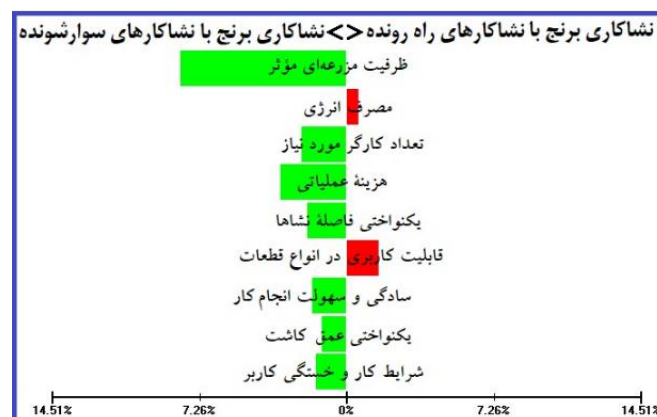
و ایمن‌تر می‌کند. روش دستی به دلیل نیاز به نیروی انسانی زیاد و تلاش فیزیکی بالا، کمترین سهولت و بیشترین خستگی را ایجاد می‌کند. نشاکارهای راه رونده تا حدی خستگی را کاهش می‌دهند، اما به اندازه سوارشونده‌ها مؤثر نیستند. یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیقات (Ahmmed et al., 2024; Khani et al., 2023) همخوانی دارد. مطالعات نشان داده که استفاده از تجهیزات مکانیزه، به ویژه



شکل ۱۱- مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی بر اساس معیار شرایط کار و خستگی کاربر (ناسازگاری کل = ۰/۰۱)

به استثنای معیار قابلیت کاربری در انواع قطعات، نسبت به نشاکارهای راه رونده ارجحیت دارد. در مجموع، نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده ارجحیت دارد.

با توجه به شکل ۱۲ که نمودار سر به سر بین روش نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده و نشاکارهای راه رونده را نشان می‌دهد، مشخص است که نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده در تمامی معیارهای ارزیابی،



شکل ۱۲- نمودار سر به سر بین کاشت نشا با نشاکارهای سوارشونده و نشاکارهای راه رونده

نشاکارهای سوارشونده به دلیل برتری در معیارهای ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، شرایط کار و خستگی کاربر، مصرف انرژی، یکنواختی فاصله نشاها، سادگی و

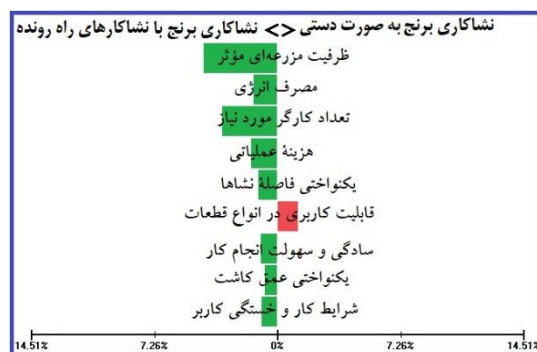
با توجه به شکل ۱۳، که نمودار سر به سر بین روش نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده و روش نشاکاری به صورت دستی را مقایسه می‌کند، نشاکاری با

سهولت انجام کار، تعداد کارگر مورد نیاز، یکنواختی عمق کاشت و هزینه عملیاتی بر نشاکاری به صورت دستی ارجحیت دارد. در ارزیابی کلی، نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده برتری محسوسی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳- نمودار سر به سر بین کاشت نشا با نشاکارهای سوارشونده و نشا به صورت دستی

با استناد به شکل ۱۴، که نقطه سر به سر میان نشاکاری با نشاکارهای راه رونده و نشاکاری به صورت دستی را ارائه می‌دهد، نشاکاری با نشاکارهای راه رونده به دلیل دارا بودن مزیت در معیارهای ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، شرایط کار و خستگی کاربر، مصرف انرژی، یکنواختی فاصله نشاها، سادگی و سهولت انجام کار، تعداد کارگر مورد نیاز، یکنواختی عمق کاشت و هزینه عملیاتی بر نشاکاری به صورت دستی ارجحیت دارد.



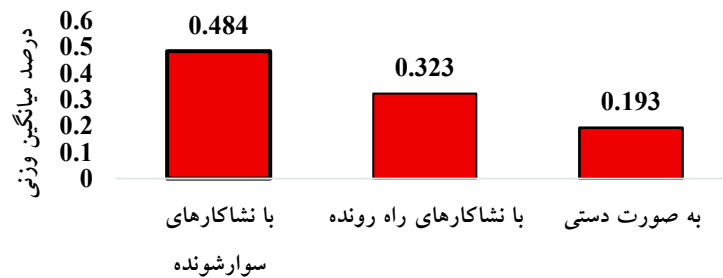
شکل ۱۴- نمودار سر به سر بین کاشت نشا با نشاکارهای راه رونده و نشا به صورت دستی

تلفیق

معیارها با توجه به هدف پژوهش، برابر با ۰/۰۴ 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 نشا برنج برای اراضی شالیزار به ترتیب عبارتند از: نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده، نشاکاری با نشاکارهای راه رونده و

بر اساس نتایج حاصل از تلفیق گزینه‌ها و معیارها، مطابق با شکل ۱۵، روش نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده به عنوان مناسب‌ترین گزینه شناسایی شده است. در مقابل، روش نشاکاری به صورت دستی کمترین اولویت را دارا می‌باشد. نرخ ناسازگاری محاسبه شده برای تلفیق گزینه‌ها و

نشاکاری به صورت دستی.

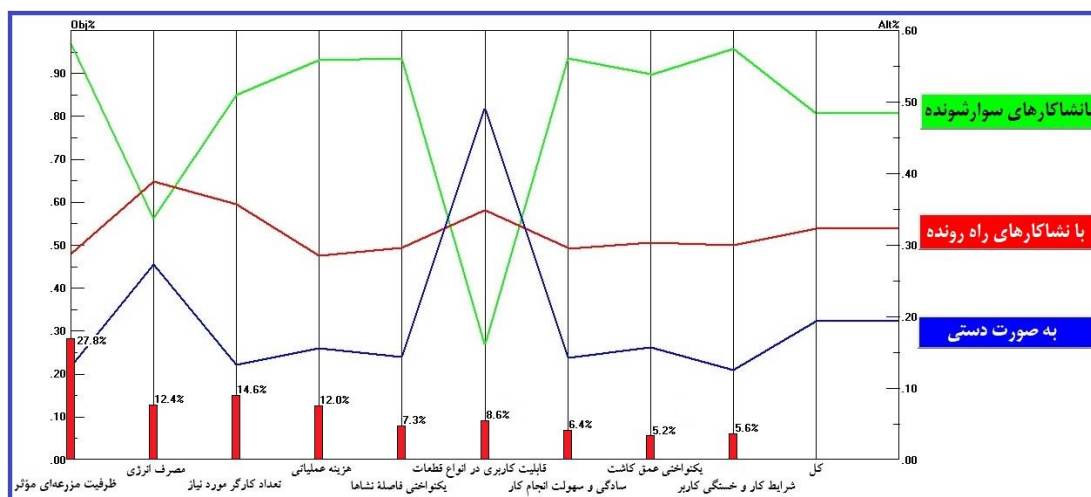


شکل ۱۵- وزن نهایی گزینه‌ها (تلفیق گزینه‌ها و معیارها با توجه به هدف) (ناسازگاری کل = ۰/۰۴)

تحلیل حساسیت

استفاده از آن قابل توصیه است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که روش‌های کاشت نشا نسبت به معیارهای ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر حساس‌تر از سایر معیارهاست و در رتبه‌های بعد به ترتیب تعداد کارگر مورد نیاز، مصرف انرژی، هزینه عملیاتی، قابلیت کاربری در انواع قطعات، یکنواختی فاصله نشاها، سادگی و سهولت انجام کار، شرایط کار و خستگی کاربر و یکنواختی عمق کاشت قرار دارد؛ بنابراین در انتخاب روش کاشت می‌بایست معیار ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در اولویت قرار گیرد.

مطابق شکل ۱۶، محور عمودی سمت راست، وزن گزینه‌ها (روش‌های کاشت نشا) و محور عمودی سمت چپ، وزن معیارها را نشان می‌دهد. وزن کلی نشاکاری با نشاکارهای سوارشونده 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



شکل ۱۶- تجزیه و تحلیل حساسیت (کارایی)

پژوهش حاضر با هدف تعیین مناسب‌ترین روش کاشت نشا برنج در اراضی شالیزاری استان گیلان با

نتیجه‌گیری

عنوان بهترین گزینه معرفی شدند. نشاکارهای راه رونده به ویژه در صرفه‌جویی انرژی و کاهش هزینه‌ها نسبت به روش دستی مؤثر هستند، اما در کارایی و سهولت کار نسبت به سوارشونده‌ها پایین‌ترند. روش دستی بیشتر در قطعات کوچک و غیرمنظم کاربرد دارد و قابلیت انعطاف بالایی دارد، اما از نظر کارایی، زمان، هزینه و انرژی کمترین اولویت را دارد.

نرخ ناسازگاری پایین در تمامی مقایسه‌ها (کمتر از ۰/۱) نشان‌دهنده سازگاری و اعتبار بالای قضاوت‌های کارشناسان و قابل اعتماد بودن نتایج تحلیل AHP است.

بنابراین، مکانیزه کردن کاشت نشا با استفاده از نشاکارهای سوارشونده به عنوان بهترین استراتژی برای افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و نیروی کار و بهبود کیفیت کاشت در شالیزارهای استان گیلان پیشنهاد می‌شود. همزمان، استفاده از روش دستی یا نشاکارهای راه رونده در قطعات کوچک، غیرمنظم یا محدودیت فیزیکی می‌تواند مفید باشد.

استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی انجام شد. نتایج نشان داد که در میان معیارهای ارزیابی، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر با وزن ۰/۲۷۸ مهم‌ترین معیار برای کارشناسان و کشاورزان است و بیشترین اهمیت را در تصمیم‌گیری دارد. پس از آن، تعداد کارگر مورد نیاز با وزن ۰/۱۴۶ و معیارهای اقتصادی و انرژی‌بر مانند مصرف انرژی (۰/۱۲۴) و هزینه عملیاتی (۰/۱۲۰) در رتبه‌های بعدی اهمیت قرار گرفتند. معیارهایی مانند قابلیت کاربری در انواع قطعات، یکنواختی فاصله نشاها و سادگی انجام کار نیز اهمیت متوسط دارند و معیار یکنواختی عمق کاشت (۰/۰۵۲) کمترین وزن را دارد. این نتایج نشان می‌دهد که تصمیم‌گیرندگان بیشتر بر افزایش کارایی، کاهش نیاز به نیروی انسانی و بهینه‌سازی اقتصادی عملیات تمرکز دارند و کیفیت کاشت و سادگی انجام کار، در درجه دوم اهمیت قرار می‌گیرد.

در مقایسه روش‌های مختلف کاشت نشا؛ نشاکارهای سوارشونده به دلیل بالاترین ظرفیت مزرعه‌ای، کاهش تعداد کارگر، کاهش هزینه‌های عملیاتی، یکنواختی فاصله و عمق کاشت و سهولت کار، به

REFERENCES

- Ahmmed, M., Huda, D., Chandra Nath, B., Paul, S., Kibria Bhuiyan, G., and Ullah Khan, A. 2024. Commercializing mechanical rice transplanter in Bangladesh: A review. *AgricEngInt: CIGR Journal Open access* at <http://www.cigrjournal.org> 26(3), 79-94
- Alizadeh, M., and Haghtalab, D. 2019. Field performance assessment of self-propelled and knapsack power rice reapers, and comparison with manual harvesting. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 20(72), 55–72. <https://doi.org/10.22092/erams.2018.110503.1193>. (In Farsi).
- Amini, A., Nouri, S. A., and 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)
- Anon. 1995. RNAM test codes and procedures for farm machinery. Technical Series No. 12.

- 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 Farsi).
- Bhatt, R., Wagner Oliveira, M., Kumar Garg, A., Sharma, S., de Freitas Santos, D., and Singh, B. 2023. Mechanical transplanting of rice for reducing water, energy, and labor footprints with improved rice yields in the Tropics. *Agricultural Mechanization in Asia*. 54(5).13253-13288
- Dastan, S., Soltani, A., and Alimagham, SM. 2017. Documenting the process of local rice varieties production in two conventional and semi-mechanized planting methods in Mazandaran province. *Cereal Research*. 7(4). 485-502. (In Farsi).
- Elsoragaby, S., Yahya, A., Mahadi, M. R., Mat Nawati, N., and Mairghany, M. 2019. Comparative field performances between conventional combine and mid-size combine in wetland rice cultivation. *Heliyon*, 5(4), e01427. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01427>
- Eskandari-Cherati, F. A. 2012. Using Analytical Hierarchy Process (AHP) in the evaluation and selection of the best work weeding the weeds in rice. In *The 7th National Congress on Agricultural Machinery Engineering & Mechanization*, 14–16 June, Shiraz. (In Farsi).
- Eyvani, A., Safari, M., and Hedayatipour, A. 2014. Comparison of Rice Direct Seeding Methods (Mechanical and Manual) with Transplanting Method. *Journal of Agricultural Machinery*. 4(1), 108-115. (In Farsi).
- Ghodsipour, S. H. 2023. Analytic Hierarchy Process (AHP) (14th ed.). *Tehran: Amirkabir University of Technology Press*. 224 p. (In Farsi).
- Harker, P., and Vargass, L. 1987. The theory of ratio scale estimation: Saaty's Analytical Hierarchy Process. *Management Science*, 33(11), 1383–1403.
- Hassan, U., Ali, L., Yonus, M., Qamar, W., Chauhdhary, T., and Hassan, I. 2022. Evaluation of Planting Methods for Rice in Rice-Wheat Zone of. *Journal of Arable Crops and Marketing*. 4(2), 89-95.
- Hassanimoghaddam, M., Kazempour Kahriz, A., Asiabani, N., and Dourandish, A. 2024. Examining and choosing the appropriate model for development of rice value chain in Gilan Province of Iran. *Agricultural and Rural Economics*, 2(2), 43–68. <https://doi.org/10.30490/etr.2024.367307.1037>. (In Farsi).
- Hedayipour, A., and Evani, A. 2007. The effect of direct rice cultivation using a manual line on rice yield compared to the transplanting method. *Journal: Agricultural Sciences*. 13(1). (In Farsi).
- Hormozi, M. A., Zaki Dizaji, H., Bahrami, H., Sharifyazdi, M., and Monjezi, N. 2023. Multi-objective optimization of allocating sustainable mechanization for spraying and harvesting systems in paddy fields. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 53(4), 357–378. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.346979.665495>. (In Farsi).
- Kahandage, P. D., Piyathissa, S. D. S., Ariesca, R., Namgay, Ishizaki, R., Kosgollegedara, E. J., Weerasooriya, G. V. T. V., Ahamed, T., and 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>

- Kepner, R. A., Bainer, R., and Barger, E. L. 1982. *Principle of farm machinery* (3rd ed.). AVI, West Port, Connecticut.
- Khani, M., Esfanjari Kenari, R., and Peyman, SH. 2023. Economic Analysis of Modern and Traditional Transplanting Systems in Rice Production (Case Study: Rasht County). *Journal of Agricultural Machinery Mechanics Research*, 12(1). (In Farsi).
- Khorshid Dost, A. M., and 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 Farsi).
- Konaka, T. 2005. *Farm mechanization planning*. Tsukuba International Center, Japan International Cooperation Agency (JICA).
- Lampridi, M., Kateris, D., Sørensen, C. G., and Bochtis, D. 2020. Energy footprint of mechanized agricultural operations. *Energies*, 13(3), 769. <https://doi.org/10.3390/en13030769>
- Lantarsih, R., Prabowo, T. I., and Kresnanto N. C. 2021. Using Transplanter for Rice Planting: Socio-Economic, Demographic, and Soil Characteristic Reviews. *2nd International Conference on Agriculture and Applied Science*. 1012 .012006
- MAJ. 2025. Ministry of Agriculture Jihad of Iran. Available from: www.maj.ir
- Manoj Kumar, S., Karthikeyan, R., Thirukumaran, K., Senthil, A., and Dhananchezhian, P. 2025. Prospects of Mechanization in Direct Seeded Rice: A Comprehensive Review. *Journal of Agricultural Machinery*, 15(3), 419-434. <https://doi.org/10.22067/jam.2024.87897.124>
- Mashayekhi, A., Rezapour, M., and Alirezaei, A. A. 2013. Selecting the most appropriate type of hydraulic pump using software. In *The 8th National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Biosystem) & Mechanization*, 9–11 November, Mashhad, 3551–3557. (In Farsi).
- Monajem, S., Ranji, A., Khani, M., & Dorosti, H. 2013. Evaluation of rice production systems in Gilan province by using of Analytical Hierarchy Process (AHP). *Cereal Research*, 3(3), 255–266. (In Farsi).
- Mousavi Seyadi, S. R., and Hashemi, SJ. 2008. Comparative Evaluation of Fuel Consumption and Actual Field Capacity in Riding. Type and Walking Type Rice Transplanters Machines in Different Puddlings. *Agricultural research (water, soil and plants in agriculture)*. 7(4), 1-11. (In Farsi).
- Moumenihelali, H., Ahmadpour, A., and Poursaeed, A. R. 2015. Identifying the most appropriate cultivar for sustainability of rice production system using Analytic Hierarchy Process (AHP). *Journal of Crop Production and Processing*, 5(16), 163–173. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.16.163>. (In Farsi).
- Nikmardan, A. 2012. Introduction the Expert Choice Software (With Abstract of AHP Subject) (2nd ed.). Jahad Daneshgahi Publication, Amirkabir University, 172 p. (In Farsi).
- Peyman, M. H., Babazadeh, Sh., Zhareiforosh, H., and Vaisi, A. 2016. Field performance study of two types of rice transplanters in Guilan Province. *10th National Congress of Biosystems Mechanical Engineering (Agricultural Machinery) and Mechanization in Iran*. (In Farsi).
- Peyman, M. H., Rouhi, R., and Alizadeh, M.R.. 2005. Determination of Energy Consumption in Traditional and Semi-Mechanized Methods for Rice Production. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6(22), 67-80. (In Farsi).

- Rajendran, M., and Ranganathan, T. 2025. Advancements in paddy transplanter mechanization implications for sustainable agriculture. *Sustainable Futures*, 10 (2025) 101235, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101235>.
- Roy, S. K., Jusoff, K., Ismail, W. I. W., and Ahmed, D. 2001. Performance evaluation of a combine harvester in Malaysian paddy field. Paper presented at *Asia Pacific Advanced Network (APAN) Penang Meeting*, 20–22 August, University Science Malaysia (USM), Penang, Malaysia.
- Saadi, H., Kalantari, Kh., and 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 Farsi).
- Saaty, T. L. 1990. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26.
- Saha, R., Sarathi Patra, P., and Sahid Ahmed, A. (2021). Impact of Mechanical Transplanting on Rice Productivity and Profitability- Review. *International Journal of Economic Plants*, 8(4), 226-230
- Shahinrokhsar, P., Ghasemi, J., and Nazmi, A. 2022. Analyzing the mental preferences of paddy farmers towards post-rice crops in Rasht County: The use of Analytical Hierarchy Process (AHP). *Journal of Studies in Entrepreneurship and Sustainable Agricultural Development*, 9(3), 53–70. <https://doi.org/10.22069/jead.2022.20275.1602>. (In Farsi).
- Sinha, S. K., and 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.
- Sodaei Mashaei, S., Erfani, A., Nasiri, M., and Omrani, M. 2013. An Analysis of Factors Affecting the Development of Mechanized Rice Cultivation in Mazandaran Province. *Rice Extension Journal*, 4, 11-17. (In Farsi).
- Srdjevic, B., and Jandric, Z. 2010. Analytical Hierarchy Process in selecting the best irrigation method. *Agricultural System*, 103(6), 350–358.
- Zami, M. A., Altaf Hossain, M. D., Sayed, M. A., Biswas, B. K., and Hossain, M. A. 2014. Performance evaluation of the BRRI reaper and Chinese reaper compared to manual harvesting of rice (*Oryza sativa* L.). *Agriculturists*, 12(2), 142–150.