



Ranking Food Waste Upcycling Strategies Using an Intuitionistic Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Approach

Iraj Rouhi 

Ph.D. student of the Industrial Management, Accounting and management Faculty, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran.

Mahsa Pishdar *

Assistant professor of management and technology, Accounting and management Faculty, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran.

Maryam
Hassanikordede 

Ph.D. student of the Industrial Management, Accounting and management Faculty, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran.

Abstract

Food loss and waste represent a global challenge threatening food security and exacerbating climate change. Upcycling food waste into value-added products is increasingly recognized as an effective pathway toward a circular economy. This study introduces a novel integrated multi-criteria decision-making (MCDM) framework based on Circular Intuitionistic Fuzzy Sets (CIFS) combined with MEREC objective weighting and CIFS-MARCOS ranking, an approach not previously applied to food waste upcycling. Ten prominent upcycling strategies were identified from recent literature and evaluated against twelve sustainability criteria by ten food industry experts. Results revealed “market potential”, “public awareness of upcycled products,” and “food quality and safety” as the most influential criteria. Among strategies, producing sustainable textiles from food waste ranked first, followed by sustainable packaging, novel food ingredients, and bioenergy production. The proposed framework effectively handles uncertainty and dynamic interdependencies among criteria, offering a robust and original tool for prioritizing upcycling pathways.

Introduction

The circular economy and zero-waste economy are emerging as central components of the discourse on sustainable living, offering significant benefits for

* Corresponding Author: mahsa.pishdar@ut.ac.ir

How to Cite: Rouhi, I., Pishdar, M., Hassanikordede, M. (2026). Ranking Food Waste Upcycling Strategies Using an Intuitionistic Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Approach, *Industrial Management Studies*, 23(79), 83-123.

both humanity and ecosystems. An innovative approach to achieving this goal involves transforming food waste into value-added products. Food waste, discarded at various stages of the supply chain from production to consumption, poses a global challenge with profound environmental, economic, and social implications. These wastes encompass fresh horticultural products, dairy, meat, seafood, grains, expired materials, and consumption leftovers, all of which hold potential for utilization in other industries, while restaurants and the catering sector also generate substantial waste through surplus materials and unsold food. Global solid waste production is projected to increase from 2.01 billion tons in 2016 to 3.4 billion tons by 2050, with approximately one-third of food produced for human consumption (1.3 billion tons annually) being wasted, incurring an economic cost of \$1 trillion, which rises to \$2.6 trillion when accounting for social and environmental impacts.

Methodology

The methodology of this research is grounded in the integration of empirical and theoretical knowledge. Empirical data were collected through surveys conducted with experts. Using purposive sampling, ten experts with 10 to 25 years of experience in the food industry were selected. The selection criteria included their distinguished academic and practical backgrounds, which enabled a comprehensive and in-depth understanding of food waste valorization concepts and their practical strategies. Additionally, the theoretical foundation of the study was established through a thorough review of the literature, from which key criteria and indicators related to food waste valorization were extracted. To integrate these two knowledge domains and model the inherent uncertainty in expert judgments, Circular Intuitionistic Fuzzy Sets (CIFS) were employed. The developed multi-criteria decision-making framework in this study performs criteria weighting using the CIFS-MEREC method and strategy ranking using the CIFS-MARCOS method (see Figure 1). This approach enhances the accuracy and reliability of the analysis under complex decision-making conditions.

Findings

The results indicate that, in the ranking of strategies, the production of sustainable textiles from food waste secured the top position, as it simultaneously achieves economic value addition and reduces environmental impacts. Following this, sustainable packaging, the production of new food products from waste, and bioenergy production were ranked sequentially. This ranking suggests that the most successful strategies are those that close the resource cycle while generating economic value, thereby exhibiting the greatest potential for advancing sustainable development goals.

Results and Discussion

This research provides a comprehensive framework for prioritizing food waste valorization strategies, addressing the lack of integrated multi-criteria ranking despite extensive technical and environmental studies. By integrating Circular Intuitionistic Fuzzy Sets (C-IFS), MEREC, and MARCOS, twelve sub-criteria across environmental, economic, social, and technical dimensions were evaluated, yielding ten key strategies. Market potential, public awareness, and food quality and safety emerged as top priorities, offering strategic insights for stakeholders. Transforming food waste, such as fruit peels or coffee grounds, into high-value fibers, natural dyes, or vegan leather requires investment in research and development and collaboration with eco-conscious fashion brands. Converting waste like corn starch or shrimp shells into biodegradable films and containers addresses plastic pollution by developing competitive, durable, and cost-effective alternatives. Repurposing agricultural residues into protein, flour, or enriched foods demands stringent safety and quality standards to gain consumer trust. Producing biogas and biofuels through anaerobic digestion offers a scalable solution, reliant on robust infrastructure and a consistent waste supply.

Conclusion

The findings highlight a shift from traditional approaches, such as bioenergy, to innovative, high-value solutions like sustainable textiles. Strategy selection should align with waste type, technological capacity, and market needs, with hybrid approaches optimizing sustainability and profitability. The proposed C-IFS, MEREC, and MARCOS framework ensures robust decision-making for stakeholders, despite limitations including a limited expert sample and reliance on qualitative data. Future research should expand expert input and investigate long-term impacts, such as food security, employment, and emissions reduction. Integrating MEREC and MARCOS with MABAC and C-IFS could further enhance decision-making precision. This multi-criteria framework provides a solid foundation for policy-making, investment, and future research in the circular economy.

Keywords: Circular Economy, Food Waste Upcycling, Circular Intuitionistic Fuzzy Sets (CIFS), MEREC, MARCOS



رتبه‌بندی استراتژی‌های به‌یافت ضایعات غذایی با رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره فازی شهودی

ایرج روحی 

دانشجوی دکتری رشته مدیریت صنعتی گرایش تحقیق در عملیات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی دانشگاه تهران، شهر تهران، ایران.

مهسا پیشدار  *

استادیار گروه مدیریت و فناوری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، شهر تهران، ایران.

مریم حسنی کرده ده 

دانشجوی دکتری رشته مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، شهر تهران، ایران.

چکیده

با توجه به نگرانی‌های جهانی پیرامون ضایعات غذایی و تغییرات اقلیمی، به‌یافت مواد غذایی به‌عنوان راهبردی کلیدی برای دستیابی به اقتصاد چرخه‌ای و توسعه پایدار مطرح است. این پژوهش باهدف شناسایی و رتبه‌بندی راهبردهای به‌یافت ضایعات غذایی از دیدگاه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فنی انجام شد. ده راهبرد اصلی از ادبیات موضوع استخراج و بر اساس دوازده شاخص کلیدی توسط ده خبره با سابقه در صنعت غذا ارزیابی گردید. نوآوری این پژوهش، ارائه چارچوبی تلفیقی متشکل از مجموعه‌های فازی شهودی دایره‌ای (C-IFS)، روش عینی MEREC جهت وزن دهی و روش MARCOS برای رتبه‌بندی است. به‌طوری‌که شکاف موجود در ادبیات پیرامون فقدان یک مدل یکپارچه برای ارزیابی راهبردهای به‌یافت ضایعات غذایی را پر می‌نماید. یافته‌ها نشان داد که شاخص‌های «پتانسیل بازار»، «آگاهی عمومی از محصولات به‌یافت شده» و «کیفیت و ایمنی غذایی» بیشترین وزن را دارند که بر اهمیت پاسخگویی به بازار، ایمنی و آموزش عمومی تأکید دارد. در رتبه‌بندی نهایی، تولید منسوجات پایدار از ضایعات غذایی رتبه نخست را به خود اختصاص داد و پس از آن به ترتیب بسته‌بندی پایدار، تولید مواد غذایی جدید از ضایعات و تولید انرژی زیستی قرار گرفتند. راهبردهای موفق با بستن چرخه منابع، خلق ارزش اقتصادی و پیشبرد اهداف توسعه پایدار همراه هستند. چارچوب پیشنهادی می‌تواند ابزاری کارآمد برای سیاست‌گذاران، پژوهشگران و فعالان صنعت در انتخاب راهبردهای بهینه به‌یافت باشد.

کلیدواژه‌ها اقتصاد چرخشی، به‌یافت ضایعات مواد غذایی، مجموعه فازی شهودی دایره‌ای، MEREC، MARCOS

مقدمه

اقتصاد چرخشی و اقتصاد زیستی به‌عنوان پارادایم‌های غالب برای دستیابی به پایداری جهانی در حال ظهور هستند و فواید گسترده‌ای برای اکوسیستم‌ها، جوامع و اقتصاد مانند کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهینه‌سازی استفاده از منابع به ارمغان می‌آورند (Rizwan, 2025; Censi et al., 2025). در این چارچوب، به‌یافت ضایعات غذایی^۱ به‌عنوان یک رویکرد نوآورانه برجسته، ضایعات را از منابع هدررفته به محصولات با ارزش افزوده مانند بیوفول ها، ترکیبات زیست فعال و مواد زیستی تبدیل می‌کند که این امر با اصول اقتصاد چرخشی هم‌خوانی کامل دارد (Zhang et al., 2024). ضایعات غذایی که در مراحل مختلف زنجیره تأمین از تولید تا مصرف (شامل محصولات تازه باغبانی، لبنیات، گوشت، غذاهای دریایی، غلات، مواد منقضی‌شده و بقایای مصرفی) تولید می‌شوند، چالشی جهانی با پیامدهای گسترده زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است (Kurniawan et al., 2024). برای مثال، رستوران‌ها و صنعت پذیرایی، با تولید مواد اضافی و غذاهای فروخته نشده، سهم قابل توجهی در این حجم دارند (Urugo et al., 2024). سیستم‌های غذایی خطی غیرپایدار، عامل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند و عواملی مانند فشار بر مدیریت پسماند، ناامنی غذایی، کاهش تنوع زیستی و انتشار پاتوژن‌ها در محل‌های دفن را تشدید می‌کنند (FAO, 2024; pereira et al., 2025). بر اساس گزارش شاخص ضایعات غذایی سازمان ملل متحد (UNEP Food Waste Index Report, 2024)، تولید جهانی ضایعات غذایی در سال ۲۰۲۲ به ۱,۰۵ میلیارد تن (۱۳۲ کیلوگرم به ازای هر نفر) رسیده است که معادل یک پنجم تمام غذای در دسترس مصرف‌کنندگان است و ۱۰ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را به خود اختصاص می‌دهد. این حجم، با پیش‌بینی افزایش تولید زباله جامد شهری از ۲,۰۱ میلیارد تن در ۲۰۱۶ به ۳,۴ میلیارد تن تا ۲۰۵۰، هزینه اقتصادی سالانه‌ای بیش از ۱ تریلیون دلار (با احتساب اثرات اجتماعی و زیست‌محیطی تا ۲,۶ تریلیون دلار) تحمیل می‌کند (Rizwan, 2025). توزیع این ضایعات شامل سهم خانوارها (۵۶۹ میلیون تن)، خدمات غذایی (۲۴۴ میلیون تن) و خرده‌فروشی (۱۱۸ میلیون تن) است که این امر بر لزوم تمرکز بر هدف ۱۲,۳ اهداف توسعه پایدار سازمان ملل (UN-SDG 12.3) برای نصف کردن ضایعات غذایی سرانه تا ۲۰۳۰ تأکید می‌کند (FAO, 2024; Censi et al., 2025). پایداری، عنصری جدایی‌ناپذیر از اقتصاد زیستی است که ضایعات غذایی را به سوخت‌های زیستی، بیومولکول ها و مواد با ارزش افزوده تبدیل

1. food waste upcycling

می‌کند و به دستیابی به SDGs کمک شایانی می‌نماید. (Zhang et al., 2024) روش‌های سنتی مدیریت ضایعات مانند دفن، کمپوست سازی، سوزاندن و هضم بی‌هوازی، با وجود حجم بالای ضایعات، ناکارآمد و پرهزینه از نظر زیست‌محیطی هستند (Kurniawan et al., 2024; Urugo et al., 2024)؛ بنابراین، انتقال به مدل‌های به‌یافت پیشرفته، شامل تبدیل ضایعات به خوراک دام، مواد زیستی، انرژی زیستی و غذاهای نوین، ضروری است (Bangar et al., 2024). این رویکردها نه تنها بار زیست‌محیطی را کاهش می‌دهند و بهره‌وری منابع را افزایش می‌دهند، بلکه فرصت‌های اقتصادی جدیدی ایجاد می‌کنند، هرچند چالش‌هایی مانند چارچوب‌های نظارتی ناکافی، نوهراسی مصرف‌کننده^۱ و بهینه‌سازی فرآیندها همچنان وجود دارد (Sánchez García et al., 2023). با وجود پیشرفت‌های اخیر در استراتژی‌های به‌یافت، مانند استفاده از فناوری‌های (HTC)^۲ برای بازیافت ضایعات به کشاورزی و ادغام اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی برای مدیریت زنجیره تأمین، شکاف‌های پژوهشی قابل توجهی در زمینه ارزیابی استراتژی‌ها مشاهده می‌شود (Zhang et al., 2024; Periyavaram et al., 2023). این شکاف‌ها شامل تمرکز محدود بر رتبه‌بندی چندوجهی^۳ استراتژی‌ها، مدیریت عدم قطعیت داده‌ها در محیط‌های پویا و ارزیابی پذیرش مصرف‌کننده در چارچوب‌های تصمیم‌گیری پیچیده است. (Wu et al., 2025; Alshahrani et al., 2024) مطالعات اخیر بر روش‌های MCDM مبتنی بر مجموعه‌های فازی پیشرفته برای غلبه بر این چالش‌ها تأکید کرده‌اند، اما کاربرد آن‌ها در رتبه‌بندی استراتژی‌های به‌یافت ضایعات غذایی در کشورهای در حال توسعه، به‌ویژه با در نظرگیری روابط پویا میان معیارها همچنان ناکافی است (Buyuk, & Temur, 2020, Gurmani et al., 2025, Petchimuthu et al., 2024).

نوآوری این پژوهش در ارائه یک چارچوب تلفیقی تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر مجموعه‌های فازی شهودی دایره‌ای، وزن‌دهی پویا با روش MEREC و رتبه‌بندی با MARCOS است که شکاف موجود در ادبیات درباره نبود یک مدل منسجم برای ارزیابی و رتبه‌بندی استراتژی‌های به‌یافت ضایعات غذایی را برطرف می‌کند. همچنین این مطالعه نخستین پژوهشی است که ۱۰ استراتژی به‌یافت را به‌صورت هم‌زمان از منظر شاخص‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فنی با مدیریت عدم قطعیت ارزیابی می‌کند (Alshahrani et al., 2024). در نهایت، چارچوب پیشنهادی ابزاری عملی، مقاوم و قابل اعتماد در اختیار سیاست‌گذاران، مدیران صنعتی و پژوهشگران قرار می‌دهد تا با کنترل مؤثر عدم قطعیت‌های واقعی

1. Consumer neophobia

2. Hydrothermal Carbonization

3. multi-dimensional ranking

بازار و فرآورده‌ها، بهترین مسیرهای به‌یافت را اولویت‌بندی کنند و به تحقق اهداف (UN-SDG 12.3) و اقتصاد چرخشی پایدار کمک نمایند (Rizwan, 2025).

سؤالات اصلی پژوهش عبارت‌اند از:

۱. معیارهای کلیدی برای ارزیابی و رتبه‌بندی راهبردهای به‌یافت ضایعات غذایی کدام‌اند و چه اهمیتی دارند؟

۲. کاربرد چارچوب C-IFS-MEREC-MARCOS چگونه دقت و کارایی رتبه‌بندی را در شرایط عدم قطعیت بهبود می‌بخشد؟

۳. کدام راهبردهای به‌یافت، پتانسیل بیشتری برای پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی نشان می‌دهند؟
مقاله به‌صورت زیر ساختاربندی شده است: بخش دوم به مرور مطالعات مرتبط، بخش سوم به روش‌شناسی پیشنهادی، بخش چهارم به اجرای عملی با نظرات خبرگان و بخش پنجم به نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی اختصاص دارد.

۲. پیشینه پژوهش

۲-۱. به‌یافت ضایعات غذایی

به‌یافت ضایعات غذایی، تبدیل مواد دورریختنی به محصولات با ارزش بالاتر از ماده اولیه است و به‌عنوان یکی از مؤثرترین راهبردهای اقتصاد چرخشی در سیستم غذایی شناخته می‌شود (Albizzat et al., 2021). مطالعات اخیر نشان می‌دهند که این رویکرد می‌تواند تا ۷۰ درصد ضایعات غذایی قابل‌پیشگیری را به محصولات تجاری تبدیل کند و ارزش اقتصادی سالانه بیش از ۱۲۰ میلیارد دلار ایجاد نماید (Jeevahan et al., 2021). این فرآیند نه تنها رد پای کربن سیستم غذایی را تا ۶۰ درصد کاهش می‌دهد، بلکه با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین مانند استخراج سبز غیرحرارتی، تخمیر میکروبی و زیست‌پالایش^۱، ترکیبات زیست‌فعال، بیوپلاستیک‌ها و مواد غذایی نوین تولید می‌کند. (Nutrizio et al, 2024) علاوه بر مزایای زیست‌محیطی مانند کاهش انتشار متان از محل‌های دفن و حفظ منابع آب‌وخاک، به‌یافت فرصت‌های اقتصادی جدیدی ایجاد کرده و بازار جهانی محصولات تولیدی حاصل از این فرآیند را تا سال ۲۰۳۰ به بیش از ۹۹ میلیارد دلار می‌رساند. (Prasad, 2024).

1. Biorefinery

۲-۲. استراتژی‌های به‌یافت ضایعات غذایی

استراتژی‌های به‌یافت ضایعات غذایی، به‌عنوان بخشی از اقتصاد چرخشی مستقیماً با اهداف توسعه پایدار سازمان ملل (SDGs) هم‌خوانی دارند، به‌ویژه (SDG 12.3) کاهش نیمی از ضایعات غذایی در سطوح خرده‌فروشی و مصرف‌کننده تا ۲۰۳۰، (SDG 2) پایان گرسنگی و امنیت غذایی و ترویج کشاورزی پایدار، (SDG 13) اقدام اقلیمی از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و (SDG 8) رشد اقتصادی پایدار از طریق ایجاد فرصت‌های شغلی جدید و خلق ارزش افزوده از ضایعات (Manzoor et al., 2024) به عبارتی فرآیند به‌یافت نقش چشمگیری در دستیابی به اهداف چندگانه است، جایی که هر استراتژی نه تنها ضایعات را کاهش می‌دهد، بلکه اثرات زنجیره‌ای بر پایداری ایجاد می‌کند. (FAO, 2024)

جدول ۱ استراتژی‌های کلیدی را با در نظر داشتن SDG نشان می‌دهد.

جدول ۱. استراتژی‌های به‌یافت ضایعات غذایی استخراج شده از ادبیات

منبع	هم‌راستایی با SDGs	مزایای کلیدی	چالش‌های اصلی	استراتژی
Thorsen et al. (2024); Tchonkouang et al. (2025)	(امنیت غذایی 2) (SDG) (کاهش ضایعات 12.3) (SDG)	امنیت غذایی، ارزش اقتصادی	پذیرش مصرف‌کننده، مقررات	A1: غذای نوین
Dou et al. (2024); Salemdeeb et al. (2025)	(تغذیه پایدار 2) (SDG) (کاهش انتشار متان از 13) (SDG) دامداری	کاهش ۵۰٪-۶۰٪ ضایعات دفن شده	ریسک آلودگی	A2: خوراک دام
Tan et al. (2025); Bello et al. (2024)	(انرژی پاک 7) (SDG) کاهش (SDG 13)GWP (مدیریت ضایعات 12.3) (SDG)	کاهش سوخت فسیلی	سرمایه اولیه بالا	A3: بیوانرژی
Bhatia et al. (2024); Narodoslawsky et al. (2025)	(مدیریت زباله‌های 12.4) (SDG) خطرناک (کاهش آلودگی دریایی 14) (SDG)	جایگزینی پلاستیک فسیلی	هزینه تولید	A4: بیوپلاستیک
Sarangi et al. (2024); Romsdal et al. (2024)	(SDG 15)حفاظت خاک و تنوع زیستی (SDG 12.3) کاهش دفن ضایعات	بهبود خاک، کاهش متان	مدیریت آلودگی	A5: کمپوست و زیست تبدیل
Nutrizio et al. (2024); Socas-Rodríguez et al. (2025)	سلامت از طریق ترکیبات مفید 3 (SDG) (کارایی منابع 12.2) (SDG)	حفظ مغذی‌ها، صرفه‌جویی انرژی	مقیاس‌پذیری	A6: استخراج زیست فعال‌ها

منبع	هم راستایی با SDGs	مزایای کلیدی	چالش‌های اصلی	استراتژی
Kanwal et al. (2024); Derossi et al. (2025)	(نوآوری صنعتی 9 SDG) (کاهش ضایعات تولیدی 12.3 SDG)	شخصی‌سازی، کاهش ضایعات	پذیرش فناوری	A7: چاپ سه‌بعدی غذا
Romsdal et al. (2024); Ojha et al. (2025)	(پروتئین پایدار 2 SDG) (کاهش زباله از طریق 12.5 SDG) بازیافت زیستی	پروتئین بالا، چرخه سریع	پذیرش اجتماعی	A8: لارو حشرات
Cattaneo et al. (2025); Muthu et al. (2024)	(بازیافت مواد 12.5 SDG) رشد اقتصادی از صنایع سبز (8 SDG)	جایگزینی الیاف مصنوعی	فراآوری فیبر	A9: منسوجات پایدار
Carnaval et al. (2024); Nilsen-Nygaard et al. (2025)	(مدیریت پلاستیک 12.4 SDG) (حفاظت اقیانوس‌ها 14 SDG)	کاهش میکروپلاستیک، ماندگاری بیشتر	عملکرد مکانیکی	A10: بسته‌بندی پایدار

۲-۳. معیارهای ارزیابی استراتژی‌های به‌یافت ضایعات غذایی

ارزیابی استراتژی‌های به‌یافت ضایعات غذایی نیازمند چارچوبی جامع از معیارها است که ابعاد پایداری را پوشش دهد. معیارها و زیرمعیارهای ارائه‌شده در جدول (۲) بر اساس مرور سیستماتیک ادبیات اخیر (۲۰۲۳-۲۰۲۵) از پایگاه‌های داده معتبر مانند Scopus، Web of Science و Google Scholar احصا شده‌اند. این فرآیند شامل جستجوی کلمات کلیدی مانند "criteria for food waste upcycling"، "environmental sustainability evaluation of food valorization strategies" و "economic social technical indicators for waste management" و مقالات مروری و مطالعات مرتبط با این حوزه می‌باشد. از ۴۵ مقاله غربال‌شده، معیارهای اصلی (زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فنی) بر پایه چارچوب‌های پایداری استخراج و دسته‌بندی شدند (Urugo et al, 2024; Stone et al., 2024, Manfredi & Cristobal, 2016). معیارها انجام گرفت. معیارهای زیست‌محیطی بر اثرات اکولوژیکی (مانند کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، اقتصادی بر جنبه‌های مالی (مانند بازگشت سرمایه و پتانسیل بازار)، اجتماعی بر تأثیرات انسانی (مانند پذیرش مصرف‌کننده و عدالت غذایی) و فنی بر قابلیت اجرا (مقیاس‌پذیری و ایمنی فرآیند) تمرکز دارند. زیرمعیارها از تجمیع فراوانی در مطالعات انتخاب شدند تا جامعیت و عدم هم‌پوشانی را تضمین کنند (Bangar et al., 2024; Zhang et al., 2024). این رویکرد نه تنها بر مرور ادبیات تکیه دارد، بلکه با

اعتبارسنجی اولیه توسط خبرگان از ۱۰ متخصص صنعت غذا جهت تأیید معیارها و زیر معیارها استفاده شد. این معیارها امکان ارزیابی یکپارچه استراتژی‌ها را فراهم می‌کنند و با اهداف توسعه پایدار هم‌خوانی دارند.

جدول ۲. معیارهای ارزیابی استراتژی‌های به یافت ضایعات غذایی

References	Sub- Criteria	Criteria
Bello et al., 2024; Dou et al., 2024; Sneh Punia Bangar et al., 2024	C11: کاهش انتشار آلاینده‌ها C12: حفاظت از منابع C13: کاهش دفن زباله	C1: زیست محیطی
Cristóbal et al., 2018; Miroso & Bremer, 2023	C21: مقرون به صرفه بودن C22: پتانسیل بازار C23: بهینه‌سازی منابع	C2: اقتصادی
Magalhães et al., 2022; Sneh Punia Bangar et al., 2024	C31: امنیت غذایی C32: آگاهی عمومی C33: همکاری ذینفعان	C3: اجتماعی
Kanwal et al., 2024; Bhatia et al., 2024; Socas- Rodríguez et al., 2021	C41: امکان‌پذیری C42: کیفیت و امنیت C43: نوآوری و تکنولوژی	C4: فنی

۲-۴. مجموعه‌های فازی شهودی دایره‌ای (CIFS)

مجموعه‌های فازی شهودی دایره‌ای به عنوان توسعه‌ای نوین از مجموعه‌های فازی شهودی، از یک نمایش هندسی دایره‌ای بهره می‌برند که در آن درجات عضویت و عدم عضویت در مرکز و شعاع دایره به عنوان شاخص‌های تردید مدل‌سازی می‌شوند. این مفهوم در سال‌های اخیر با تمرکز بر کاربردهای تصمیم‌گیری چند معیاره مورد توجه قرار گرفته است. Ünver & Bozuyigit (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای CIFS را برای مدل‌سازی عدم قطعیت در مسائل زنجیره تأمین به کار بردند و آن را با روش TOPSIS یکپارچه کردند تا دقت رتبه‌بندی گزینه‌ها را در محیط‌های پویا افزایش دهند. همچنین، Rukhsar و همکاران (۲۰۲۵)، کاربرد مجموعه‌های فازی شهودی دایره‌ای را در تجمیع داده‌های یادگیری ماشینی بررسی کردند و نشان دادند که این رویکرد می‌تواند دقت پیش‌بینی در سیستم‌های هوشمند را تا ۱۵ درصد بهبود بخشد، به‌ویژه در حوزه‌های داده کاوی با نویز بالا. Çakır & Taş (2024) این روش را با VIKOR ترکیب کردند تا

رتبه‌بندی استراتژی‌های به‌یافت ضایعات غذایی با رویکرد تصمیم‌گیری ...؛ روحی و همکاران | ۹۳

استراتژی‌های مدیریت زباله را در توسعه گردشگری پایدار رتبه‌بندی کنند که این امر به کاهش اثرات زیست‌محیطی کمک شایانی می‌کند. این مطالعات برتری CIFS را نسبت به روش‌های سنتی فازی شهودی برجسته می‌سازند، زیرا قابلیت مدل‌سازی تردیده‌تر را فراهم می‌آورند (Garg et al., 2024).

۲-۵. روش‌های رتبه‌بندی استراتژی‌های به‌یافت ضایعات

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره نقش کلیدی در رتبه‌بندی استراتژی‌های بازیابی ضایعات با تمرکز بر معیارهایی نظیر اثرات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی ایفا می‌کنند. طی دو سال اخیر پژوهش‌ها بر ترکیب این روش‌ها با مدل‌های فازی پیشرفته تأکید داشته‌اند. (Rashama et al, 2023; Sadhya et al, 2021)، کارایی مدیریت انرژی از ضایعات را با استفاده از AHP و TOPSIS ارزیابی کرد و نشان داد که استراتژی‌های بازیابی حرارتی می‌توانند کارایی اقتصاد دایره‌ای را در اروپا تا ۲۵ درصد افزایش دهند. همچنین، Ardra and Barua (۲۰۲۲)، VIKOR را برای رتبه‌بندی گزینه‌های بازیافت غذایی به کار بردند و بر تأثیرات اجتماعی مانند کاهش نابرابری‌های دسترسی به منابع تأکید کردند. علاوه بر این، Abdelaal و همکاران (۲۰۲۴) در کاربرد CODAS را در رتبه‌بندی استراتژی‌های بازیابی ضایعات غذایی بررسی کردند و عوامل فناوری و نظارتی را برجسته ساختند که این امر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تا ۳۰ درصد منجر می‌شود. مرور ادبیات اخیر حاکی از آن است که علی‌رغم پیشرفت‌ها، تحقیقات محدودی بر ارزیابی مستقیم پیامدهای اجتماعی استراتژی‌های بازیابی ضایعات تمرکز کرده‌اند، به‌ویژه در زمینه‌های حفظ منابع طبیعی و تقویت مشارکت‌های جامعه‌محور؛ بنابراین، انجام پژوهش‌های جامع با استفاده از CIFS و MCDM پیشرفته برای رتبه‌بندی این استراتژی‌ها و بررسی اثرات اجتماعی آن‌ها ضروری است. عوامل مؤثر بر رتبه‌بندی شامل اثرات زیست‌محیطی، فواید اقتصادی، ملاحظات اجتماعی و بهداشتی، چالش‌های فناوری و نظارتی و تصمیم‌گیری‌های استراتژیک می‌باشد (جدول ۳). این رتبه‌بندی از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا ضایعات غذایی تأثیرات عمیقی بر محیط‌زیست دارد و می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، حفظ منابع، تولید محصولات با ارزش افزوده و تقویت مشارکت‌های اجتماعی کمک کند.

جدول ۳. عوامل و ضرورت رتبه‌بندی استراتژی‌های به‌یافت ضایعات مواد غذایی

منابع	ضرورت	عامل
Dou et al. (2024), Bhatia et al. (2024), Batool et al. (2024)	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و حفظ منابع	تأثیر زیست‌محیطی
Bangar et al. (2024), Plazzotta & Manzocco (2019), Stone et al. (2019)	تولید محصولات باارزش از ضایعات، ایجاد فرصت‌های بازار، کاهش هزینه‌های مدیریت پسماند	مزایای اقتصادی
Miroso & Bremer (2023), Tchonkouang et al. (2023), Thorsen et al. (2022)	افزایش امنیت غذایی و پذیرش مصرف‌کننده	ملاحظات اجتماعی و سلامتی
Dou et al. (2024), Stone et al. (2019), Socas-Rodríguez et al. (2021)	تضمین امکان‌سنجی فناوری و انطباق با مقررات	چالش‌های فناوری و مقرراتی
Bangar et al. (2024), Stone et al. (2019), Magalhães et al. (2022)	اولویت‌بندی راهبردهای مؤثر و تقویت همکاری‌ها	تصمیم‌گیری استراتژیک
Dou et al. (2024)	ترویج نوآوری در فناوری‌های فرآوری ضایعات	توسعه علمی
Bello et al. (2024), Magalhães et al. (2022), World Bank (2023)	تسهیل اجرا و مقیاس‌پذیری روش‌های بازیابی	الزامات زیرساخت

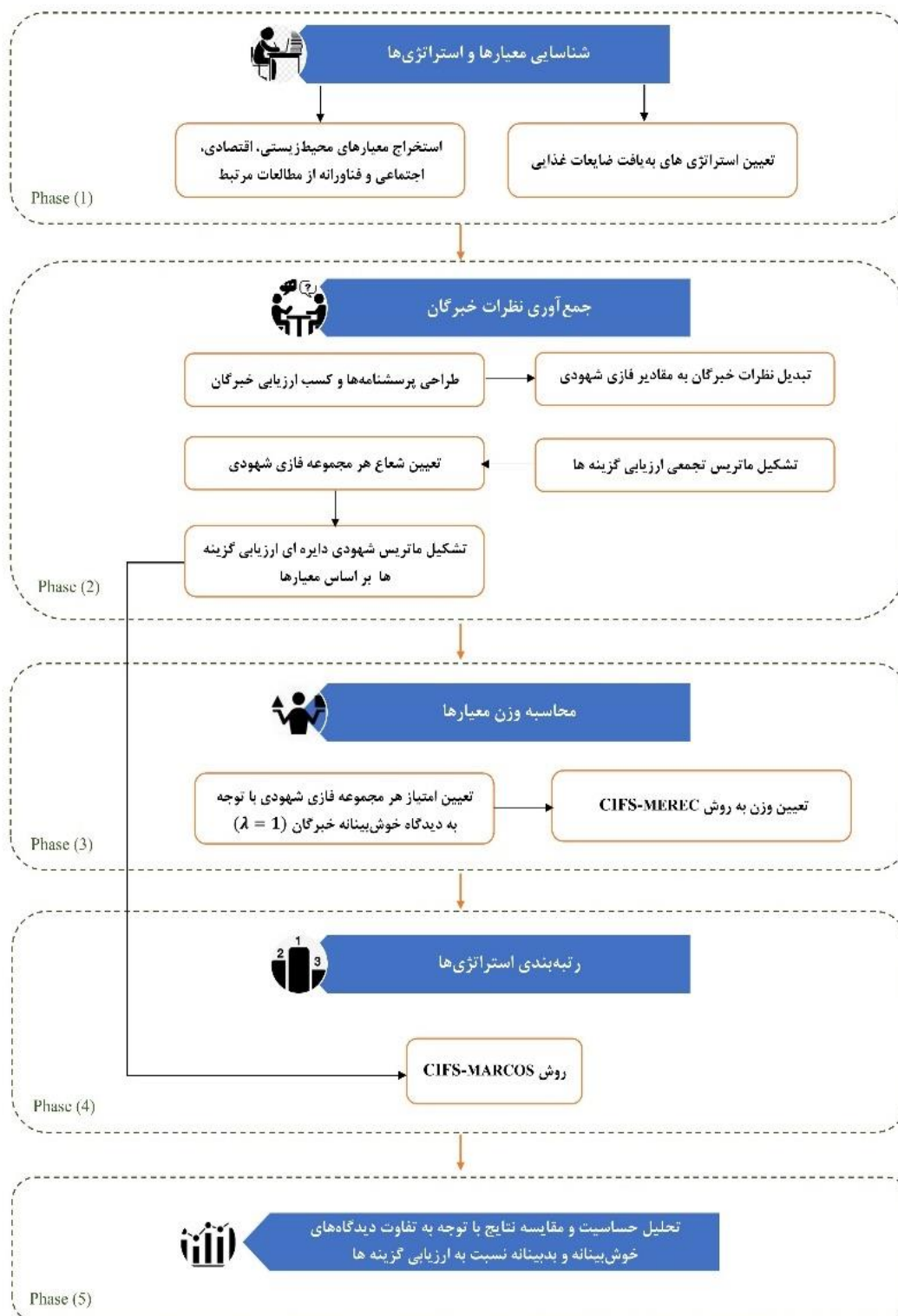
با توجه به ماهیت زمینه محور راهبردهای به‌یافت ضایعات غذایی، کمبود داده‌های کمی قابل اعتماد و تنوع بالای فناوری‌ها و زنجیره‌های تأمین در صنایع غذایی کشور، تلفیق قضاوت خبرگان با دانش نظری اجتناب‌ناپذیر است (Xue et al., 2014). مطالعات اخیر در این حوزه معمولاً از خبرگانی با حداقل ۱۰ سال تجربه مستقیم در فرآوری مواد غذایی، مدیریت پسماند غذایی، به‌یافت فرآورده‌های جانبی یا سیاست‌گذاری اقتصاد چرخشی استفاده کرده‌اند (Kang et al., 2024; Arif et al., 2024; Szarucki et al., 2024; Ionaşcu et al., 2024; Li et al., 2024). حاضر نیز ۱۰ خبره ارشد با میانگین ۱۵/۳ سال تجربه، شامل استادان دانشگاه، مدیران اجرایی شرکت‌های بزرگ غذایی و مشاوران اقتصاد چرخشی انتخاب شدند تا هم اعتبار علمی و هم کاربردی بودن نتایج تضمین شود.

۳. روش‌شناسی پژوهش

روش‌شناسی پژوهش بر ترکیب دانش نظری و تجربی استوار است. داده‌های تجربی از طریق نظرسنجی از ۱۰ متخصص منتخب با روش نمونه‌گیری هدفمند گردآوری شد؛ افرادی دارای ۱۰ تا ۲۵ سال تجربه در صنایع غذایی که توان تحلیل موضوع به‌یافت ضایعات غذایی را داشتند. هم‌زمان با مرور نظام‌مند ادبیات، معیارها و شاخص‌های کلیدی به‌یافت استخراج گردید. برای ادغام دانش کارشناسی و مدیریت عدم قطعیت، از مجموعه‌های فازی شهودی دایره‌ای استفاده شد. در چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره پژوهش، وزن‌دهی شاخص‌ها با روش CIFS-MEREC و رتبه‌بندی استراتژی‌ها با روش CIFS-MARCOS انجام شد (شکل ۱). این رویکرد موجب افزایش دقت و قابلیت اطمینان تحلیل در محیط‌های تصمیم‌گیری پیچیده می‌شود.

در این پژوهش ۱۰ خبره با ۱۰ تا ۲۵ سال تجربه در حوزه صنایع غذایی مشارکت داشتند. این گروه شامل سه نفر با مدرک دکتری و هفت نفر با مدرک کارشناسی ارشد بود. حوزه‌های تخصصی خبرگان شامل مدیریت و طراحی زنجیره تأمین، بازاریابی و فروش محصولات غذایی، تحلیل بازار، تدارکات و مدیریت داده بود. از نظر موقعیت شغلی، ترکیبی از اساتید دانشگاه، مدیران اجرایی، مدیران فروش و صادرات، تحلیلگران بازار و مشاوران صنایع غذایی حضور داشتند.

شکل ۱. روش شناسی پژوهش



۳-۱. تعاریف اولیه

تعریف ۱

یک مجموعه فازی شهودی A بر روی مجموعه مرجع (1) $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x)) | x \in X\} \quad (2)$$

که در آن $\mu_A(x)$ تابع عضویت و $\nu_A(x)$ تابع عدم عضویت است. هر عدم فازی شهودی به صورت $\tilde{a} =$ (3) $\mu_{\tilde{a}}, \nu_{\tilde{a}} >$ بیان می‌شود، با شرایط

$$\mu_{\tilde{a}} \in [0,1] \quad (4) \quad \nu_{\tilde{a}} \in [0,1] \quad (5) \quad 0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (6)$$

درجه تردی $\pi_A(x)$ برابر است با (Atanassov, 1986):

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) \quad (7)$$

تعریف ۲

مجموعه‌های فازی شهودی دایره‌ای که آتاناسوف در سال ۲۰۲۰ معرفی کرده است، بسطی نوین از مجموعه‌های فازی شهودی محسوب می‌شود و امکان مدل‌سازی دقیق‌تری از عدم قطعیت را فراهم می‌کند. برخلاف فرم کلاسیک که تنها از درجات عضویت و عدم عضویت استفاده می‌کند، CIFS میزان ابهام را به وسیله یک پارامتر دایره‌ای نمایش می‌دهد.

اگر E یک مجموعه جهانی و $A \in E$ ، مجموعه فازی شهودی دایره‌ای به صورت زیر تعریف می‌شود (Atanassov, 2021):

$$A_r = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x); r \rangle | x \in E \} \quad (8)$$

به طوری که:

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1, r \in [0, \sqrt{2}] \quad (9)$$

تعریف ۳

در ادبیات مجموعه‌های فازی شهودی و توسعه‌های آن، از جمله CIFS، عملگرهای تجميع متنوعی معرفی شده‌اند؛ از جمله میانگین وزنی فازی شهودی (Khan et al., 2025)، میانگین هندسی وزنی (Rukhsar et al., 2024)، عملگرهای مرتب‌وزنی (Sha et al., 2018) و عملگرهای مبتنی بر فاصله (Gong et al.,

(2022) که در مسائل مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره کاربرد دارند. با این حال، در این پژوهش از میانگین ساده برای ادغام قضاوت خبرگان استفاده شده است، زیرا در مرحله گردآوری داده‌ها وزن تمام متخصصان یکسان در نظر گرفته شد و هدف، دستیابی به برآوردی بی‌طرفانه از نظرات آن‌ها بود. (Atanassov, 2021) این عملگر همچنین خواص بنیادین مجموعه‌های فازی شهودی، از جمله قید $\mu_{ij} + v_{ij} \leq 1$ را پ از تجميع حفظ می‌کند. (Çakır & Taş, 2023) علاوه بر سادگی محاسبات، این انتخاب با ماهیت داده‌ها و فرض برابری اهمیت خبرگان سازگار است. البته در صورت ضرورت، عملگرهایی مانند IFWA یا OWA نیز قابلیت استفاده دارند.

برای مجموعه‌ای از اعداد فازی شهودی زیر

$$\{ \langle \mu_{i1}, v_{i1} \rangle, \langle \mu_{i2}, v_{i2} \rangle, \dots, \langle \mu_{in}, v_{in} \rangle \} \quad (10)$$

آنگاه مقدار تجميع شده A_i به صورت زیر می‌باشد (Atanassov, 2021):

$$A_i = \langle \mu(A_i), v(A_i) \rangle = \langle \frac{\sum_{j=1}^{k_i} \mu_{ij}}{k_i}, \frac{\sum_{j=1}^{k_i} v_{ij}}{k_i} \rangle \quad (11)$$

k_i تعداد جفت‌های مجموعه فازی شهودی مربوط به گزینه i می‌باشد.

تعریف ۴

شعاع مجموعه فازی شهودی دایره‌ای با استفاده از حداکثر فواصل اقلیدسی به صورت زیر به دست می‌آید (Atanassov, 2021):

$$r_i = \max_{1 \leq j \leq k_i} \sqrt{(\mu(C_i) - \mu_{i,j})^2 + (v(C_i) - v_{i,j})^2} \quad (12)$$

تعریف ۵

اگر

$$A = \{ \langle x, \mu_A, v_A; r_A \rangle | x \in X \} \quad (13)$$

و

$$B = \{ \langle x, \mu_B, v_B; r_B \rangle | x \in X \} \quad (14)$$

دو عدد فازی شهودی دایره‌ای باشند آنگاه عملگرهای اصلی به صورت روابط ۱۵ تا ۱۸ تعریف می‌شوند. شعاع کوچک‌تر نشان‌دهنده ابهام کمتر و شعاع بزرگ‌تر نشان‌دهنده ابهام بیش‌تر است (Atanassov, 2021):

$$A \oplus_{\min} B = \{ \langle x, \mu_A + \mu_B - (\mu_A \cdot \mu_B), v_A \cdot v_B; \min(r_A, r_B) \rangle | x \in X \} \quad (15)$$

$$A \oplus_{\max} B = \{ \langle x, \mu_A + \mu_B - (\mu_A \cdot \mu_B), \nu_A \cdot \nu_B; \max(r_A, r_B) \rangle \mid x \in X \} \quad (16)$$

$$A \otimes_{\min} B = \{ \langle x, \mu_A \cdot \mu_B, \nu_A + \nu_B - (\nu_A \cdot \nu_B); \min(r_A, r_B) \rangle \mid x \in X \} \quad (17)$$

$$A \otimes_{\max} B = \{ \langle x, \mu_A \cdot \mu_B, \nu_A + \nu_B - (\nu_A \cdot \nu_B); \max(r_A, r_B) \rangle \mid x \in X \} \quad (18)$$

تعریف ۶

اعداد فازی شهودی به‌طور مستقیم قابل مرتب‌سازی نیستند؛ از این‌رو از توابع کمکی مانند امتیاز $(S_{C-IFS}(c))$ و دقت $(H_{C-IFS}(c))$ ب‌برای رتبه‌بندی استفاده می‌شود. در مقایسه، ابتدا امتیاز و در صورت تساوی، دقت ملاک قرار می‌گیرد.

برای عدد فازی شهودی دایره‌ای $A = (\mu_A, \nu_A; r_A)$ (19) داریم (Çakır & Taş, 2023):

$$S_{C-IFS}(A) = \frac{\mu_A - \nu_A + \sqrt{2}r_A(2\lambda - 1)}{3} \quad \text{Where } S_{C-IFS}(c) \in [-1, 1] \quad (20)$$

$$H_{C-IFS}(A) = \mu_A + \nu_A \quad \text{Where } H_{C-IFS}(c) \in [-1, 1] \quad (21)$$

پارامتر $\lambda \in [0, 1]$ (22) دیدگاه تصمیم‌گیرنده را نسبت به مدل منعکس می‌کند. در پذیرش کلی

(23) $\lambda \in [0, 0.5]$ نشان‌دهنده دیدگاه بدبینانه و (24) $\lambda \in [0.5, 1]$ نشان‌دهنده دیدگاه خوش‌بینانه است.

(25) $\lambda = 0.5$ نشان‌دهنده نگرش بی‌تفاوت تصمیم‌گیرنده است.

برای مقایسه دو عدد C-IFS

$$A = (\mu_A, \nu_A; r_A) \quad (26) \quad \text{و} \quad B = (\mu_B, \nu_B; r_B) \quad (27)$$

داریم:

$$\text{if } S_{C-IFS}(A) > S_{C-IFS}(B) \text{ then } A > B \quad (28)$$

$$\text{if } S_{C-IFS}(A) = S_{C-IFS}(B) \text{ then} \quad (29)$$

$$\text{if } H_{C-IFS}(A) > H_{C-IFS}(B) \text{ then } A > B \quad (30)$$

$$\text{if } H_{C-IFS}(A) = H_{C-IFS}(B) \text{ then } A = B \quad (31)$$

۲-۳. گام‌های ترکیبی روش پیشنهادی

فرآیند رتبه‌بندی در چهار مرحله طراحی شد:

۱. تعریف مسئله (اهداف، گزینه‌ها، معیارها)

۲. جمع‌آوری نظرات خبرگان و تشکیل ماتریس C-IFS

۳. محاسبه وزن شاخص‌ها با CIFS-MEREC

۴. رتبه‌بندی گزینه‌ها با CIFS-MARCOS

تحلیل حساسیت نیز برای بررسی تغییرات وزن‌ها و امتیازات انجام شد

مرحله ۱: شناسایی معیارها و استراتژی‌ها

- استخراج استراتژی‌های به‌یافت ضایعات غذایی (A) از ادبیات (بخش ۲-۲).

$$A: \{A_1, A_2, \dots, A_m\} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (32)$$

- استخراج شاخص‌های ارزیابی (C) از مطالعات (بخش ۲-۳).

$$C: \{C_1, C_2, \dots, C_n\} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (33)$$

مرحله ۲: جمع‌آوری نظرات خبرگان و تشکیل ماتریس تجمعی فازی شهودی دایره‌ای

طراحی پرسشنامه‌ها (ضمیمه الف) و اخذ نظرات خبرگان (DM)

$$DM: \{DM_1, DM_2, \dots, DM_k\} \quad k = 1, 2, \dots, k \quad (34)$$

- تشکیل ماتریس ارزیابی استراتژی‌های i بر مبنای شاخص‌های j برای هر کارشناس
- تبدیل نظرات خبرگان به اعداد فازی شهودی با استفاده از جدول ۵ و تشکیل ماتریس اولیه $\tilde{X}$

$$\tilde{X} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} (\mu_{11}^k, v_{11}^k) \\ \vdots \\ (\mu_{m1}^k, v_{m1}^k) \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} (\mu_{12}^k, v_{12}^k) \\ \vdots \\ (\mu_{m2}^k, v_{m2}^k) \end{pmatrix} & \dots & \begin{pmatrix} (\mu_{1n}^k, v_{1n}^k) \\ \vdots \\ (\mu_{mn}^k, v_{mn}^k) \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (35)$$

- تشکیل ماتریس تجمعی با استفاده از معادله (۵)

$$\tilde{X}_{agg} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} (\mu_{11}, v_{11}) \\ \vdots \\ (\mu_{m1}, v_{m1}) \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} (\mu_{12}, v_{12}) \\ \vdots \\ (\mu_{m2}, v_{m2}) \end{pmatrix} & \dots & \begin{pmatrix} (\mu_{1n}, v_{1n}) \\ \vdots \\ (\mu_{mn}, v_{mn}) \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (36)$$

- محاسبه شعاع هر مجموعه C-IFS با استفاده از رابطه (۱۲) و تشکیل ماتریس نهایی فازی شهودی دایره‌ای.

$$\tilde{X}_{C-IFS} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} (\mu_{11}, v_{11}, r_{11}) \\ \vdots \\ (\mu_{m1}, v_{m1}, r_{m1}) \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} (\mu_{12}, v_{12}, r_{12}) \\ \vdots \\ (\mu_{m2}, v_{m2}, r_{m2}) \end{pmatrix} & \dots & \begin{pmatrix} (\mu_{1n}, v_{1n}, r_{1n}) \\ \vdots \\ (\mu_{mn}, v_{mn}, r_{mn}) \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (37)$$

جدول ۵. متغیرهای زبانی برای رتبه‌بندی استراتژی‌ها (Ecer and Pamučar, 2021)

رتبه	عبارت زبانی	نماد	اعداد فازی شهودی $[\mu, \nu]$
۱	Extremely good (EG)	EG	[1.0, 0.00]
۲	Very very good (VVG)	VVG	[0.85, 0.10]
۳	Very good (VG)	VG	[0.80, 0.15]
۴	Good (G)	G	[0.70, 0.20]
۵	Medium good (MG)	MG	[0.60, 0.30]
۶	Fair (F)	F	[0.50, 0.40]
۷	Medium bad (MB)	MB	[0.40, 0.50]
۸	Bad (B)	B	[0.25, 0.60]
۹	Very bad (VB)	VB	[0.10, 0.75]
۱۰	Very very bad (VVB)	VVB	[0.10, 0.90]

مرحله ۳: برای تعیین وزن معیارهای اصلی و زیرمعیارها از روش عینی MEREC در محیط فازی شهودی دایره‌ای استفاده شد. این رویکرد نوین با تلفیق C-IFS و MEREC، امکان مدیریت عدم قطعیت و وزن‌دهی پویا را فراهم می‌سازد. (Keshavarz-Ghorabae et al, 2021)

- محاسبه ماتریس امتیاز C-IFS برای معیارها و زیرمعیارها با استفاده از رابطه (۲۰) و تشکیل ماتریس (۳۸):

$$\tilde{S}_{C-IFS} = \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{pmatrix} C_1 & C_2 & \cdots & C_n \\ \tilde{S}_{C_{11}} & \tilde{S}_{C_{12}} & \cdots & \tilde{S}_{C_{1n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{S}_{C_{m1}} & \tilde{S}_{C_{m2}} & \cdots & \tilde{S}_{C_{mn}} \end{pmatrix} \quad (38)$$

- نرمال‌سازی ماتریس $\tilde{S}_{C-IFS}$ با استفاده از رابطه (۳۹)

$$\tilde{n}_{ij} = \begin{cases} \frac{\min_r \tilde{S}_{C_{rj}}}{\tilde{S}_{C_{ij}}} & \text{if } j \in \text{Benefit} \\ \frac{\tilde{S}_{C_{ij}}}{\max_r \tilde{S}_{C_{rj}}} & \text{if } j \in \text{Cost} \end{cases} \quad (39)$$

- محاسبه عملکرد کلی استراتژی‌ها و با استفاده از رابطه (۴۰)

$$\tilde{S}_i = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{m} \sum_j |\ln \tilde{n}_{ij}| \right) \right) \quad (40)$$

- محاسبه اثر حذف هر معیار و زیرمعیار بر عملکرد کلی استراتژی‌ها با استفاده از رابطه (۴۱)

$$\tilde{S}'_{ij} = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{m} \sum_{r, r \neq j} |\ln \tilde{n}_{ir}| \right) \right) \quad (41)$$

- محاسبه جمع انحرافات مطلق اثر حذف معیار i ام و زیرمعیار j ام با استفاده از رابطه (۴۲)

$$\tilde{E}_j = \sum_i |\tilde{S}'_{ij} - \tilde{S}_i| \quad (42)$$

- تعیین وزن نهایی هر معیار و زیرمعیار با استفاده از رابطه (۴۳)

$$\tilde{W}_j = \frac{\tilde{E}_j}{\sum \tilde{E}_j} \quad (43)$$

مرحله ۴: رتبه‌بندی استراتژی‌ها

روش MARCOS فازی شهودی دایره‌ای (Željko Stević et al, 2020, Stanković et al, 2020):

این روش با مقایسه گزینه‌ها نسبت به راه‌حل‌های ایده‌آل (AI) و ضد ایده‌آل (AAI) و محاسبه تابع مطلوبیت، به رتبه‌بندی می‌پردازد (Mijajlović et al, 2020).

- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری اولیه و ماتریس امتیاز فازی شهودی دایره‌ای
- تشکیل یک ماتریس CIFS توسعه‌یافته (ماتریس ۲۷)، با تعیین راه‌حل ضد ایده‌آل ($\widetilde{AAI}$) (بدترین استراتژی) و ایده‌آل فازی شهودی دایره‌ای ($\widetilde{AAI}$) (بهترین استراتژی) با استفاده از روابط (۴۵) و (۴۶):

$$\tilde{S}_{C-IFS} = \begin{matrix} & \tilde{C}_1 & \tilde{C}_2 & \dots & \tilde{C}_n \\ \begin{matrix} \widetilde{AAI} \\ \tilde{A}_1 \\ \tilde{A}_2 \\ \vdots \\ \tilde{A}_m \\ \widetilde{AI} \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{S}_{ca11} & \tilde{S}_{ca12} & \dots & \tilde{S}_{ca1n} \\ \tilde{S}_{c21} & \tilde{S}_{c22} & \dots & \tilde{S}_{c2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{S}_{cm1} & \tilde{S}_{cm2} & \dots & \tilde{S}_{cmn} \\ \tilde{S}_{cai1} & \tilde{S}_{cai2} & \dots & \tilde{S}_{cain} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (44)$$

$$\widetilde{AAI} = \min_i \tilde{S}_{cij} \quad \text{if } j \in \text{Benefit} \quad \text{and} \quad \max_i \tilde{S}_{cij} \quad \text{if } j \in \text{Cost}$$

(45)

$$\widetilde{AI} = \max_i \tilde{S}_{cij} \quad \text{if } j \in \text{Benefit} \quad \text{and} \quad \min_i \tilde{S}_{cij} \quad \text{if } j \in \text{Cost}$$

(46)

رتبه‌بندی استراتژی‌های به‌یافت ضایعات غذایی با رویکرد تصمیم‌گیری ...؛ روحی و همکاران | ۱۰۳

- تشکیل ماتریس نرمال شده $\tilde{N} = [\tilde{n}_{ij}]_{m \times n}$ با استفاده از روابط (۴۷) و (۴۸)

$$\tilde{n}_{ij} = \frac{\tilde{s}_{cai}}{\tilde{s}_{cij}} \quad \text{if } j \in \text{Cost} \quad (47)$$

$$\tilde{n}_{ij} = \frac{\tilde{s}_{cij}}{\tilde{s}_{cai}} \quad \text{if } j \in \text{Benefit} \quad (48)$$

- تعیین ماتریس وزن $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$ با استفاده از رابطه (۴۹).

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{n}_{ij} \times \tilde{w}_j \quad (49)$$

- محاسبه درجه مطلوبیت گزینه‌های $\tilde{K}_i$ با استفاده از روابط (۵۰) و (۵۱)

$$\tilde{K}_{i-} = \frac{\tilde{s}_i}{\tilde{s}_{aai}} \quad (50)$$

$$\tilde{K}_{i+} = \frac{\tilde{s}_i}{\tilde{s}_{ai}} \quad (51)$$

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{v}_{ij} \quad (52)$$

- تعیین تابع مطلوبیت گزینه‌های $f(\tilde{K}_i)$ با استفاده از روابط (۵۳ تا ۵۵)، رتبه‌بندی نهایی بر اساس

بیشینه‌سازی تابع مطلوبیت انجام می‌شود.

$$f(\tilde{K}_i) = \frac{\tilde{K}_{i+} + \tilde{K}_{i-}}{1 + \frac{1-f(\tilde{K}_{i+})}{f(\tilde{K}_{i+})} + \frac{1-f(\tilde{K}_{i-})}{f(\tilde{K}_{i-})}} \quad (53)$$

$$f(\tilde{K}_{i-}) = \frac{\tilde{K}_{i+}}{\tilde{K}_{i+} + \tilde{K}_{i-}} \quad (54)$$

$$f(\tilde{K}_{i+}) = \frac{\tilde{K}_{i-}}{\tilde{K}_{i+} + \tilde{K}_{i-}} \quad (55)$$

مرحله ۵: تحلیل حساسیت با تغییر پارامتر نگرش (λ) جهت بررسی پایداری نتایج.

۴. نتایج عددی

مرحله ۱: با بررسی ادبیات ۱۰ استراتژی $A: \{A_1, A_2, \dots, A_{10}\}$ و ۱۲ شاخص $C: \{C_1, C_2, \dots, C_{12}\}$

استخراج گردید (جدول ۲ و ۳).

مرحله ۲: نظرات ۱۰ خبره صنعت غذا (با حداقل ۱۰ سال سابقه) $DM: \{DM_1, DM_2, \dots, DM_{10}\}$

جمع‌آوری و با استفاده از جدول ۵ به اعداد فازی شهودی تبدیل شد. سپس ماتریس تجمعی C-IFS با

محاسبه شعاع مجموعه‌ها تشکیل گردید.

مرحله ۳: محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها

در این مرحله ابتدا ماتریس امتیاز مجموعه‌های فازی شهودی دایره‌ای برای معیارها و زیرمعیارها با استفاده از رابطه ۱۸ و در نظر گرفتن $\lambda = 1$ تعیین می‌شود (جدول ۶ و ۹). سپس با توجه به مراحل شرح داده‌شده در بخش ۳، وزن هر شاخص (جدول ۷ و ۸) و زیرشاخص (جدول ۱۰ و ۱۱) محاسبه گردید. سپس با ضرب این دو وزن در یکدیگر وزن نهایی هر زیرشاخص به دست می‌آید (جدول ۱۲). نتایج نشان داد که شاخص‌های «آگاهی عمومی از محصولات بازیافت‌شده»، «پتانسیل بازار» و «کیفیت و ایمنی غذایی» وزن بالاتری دارند. این یافته بر اهمیت پاسخگویی به تقاضای بازار، تضمین کیفیت و ایمنی و آموزش عمومی تأکید دارد. موفقیت به‌یافت به توازن بین نوآوری فنی، پذیرش بازار و آگاهی اجتماعی وابسته است که پایه‌های یک اکوسیستم پایدار را تشکیل می‌دهند.

جدول ۶. ماتریس تجمعی نظرات کارشناسان نسبت به هر گزینه با توجه به هر شاخص

	C1 (زیست‌محیطی)	C2 (اقتصادی)	C3 (اجتماعی)	C4 (فنی)
A1	(0.87, 0.10, 0.15)	(0.80, 0.15, 0.12)	(0.75, 0.20, 0.18)	(0.89, 0.08, 0.10)
A2	(0.90, 0.08, 0.14)	(0.92, 0.06, 0.09)	(0.94, 0.04, 0.07)	(0.92, 0.06, 0.08)
A3	(0.75, 0.20, 0.22)	(0.89, 0.09, 0.11)	(0.85, 0.12, 0.15)	(0.84, 0.13, 0.16)
A4	(0.81, 0.15, 0.19)	(0.95, 0.03, 0.05)	(0.92, 0.06, 0.08)	(0.77, 0.19, 0.21)
A5	(0.79, 0.17, 0.20)	(0.92, 0.06, 0.08)	(0.82, 0.14, 0.17)	(0.89, 0.08, 0.11)
A6	(0.89, 0.08, 0.13)	(0.87, 0.10, 0.14)	(0.85, 0.12, 0.16)	(0.85, 0.12, 0.15)
A7	(0.95, 0.03, 0.04)	(0.74, 0.21, 0.23)	(0.85, 0.12, 0.16)	(0.85, 0.12, 0.15)
A8	(0.78, 0.18, 0.21)	(0.95, 0.03, 0.05)	(0.87, 0.10, 0.14)	(0.90, 0.07, 0.09)
A9	(0.74, 0.21, 0.24)	(0.82, 0.14, 0.17)	(0.77, 0.19, 0.22)	(0.87, 0.10, 0.13)
A10	(0.78, 0.18, 0.21)	(0.86, 0.11, 0.15)	(0.86, 0.11, 0.15)	(0.88, 0.09, 0.12)

جدول ۷. ماتریس امتیاز مجموعه‌های فازی شهودی نرمال شده وزن معیارها حاصل از جدول ۵

	C1 (زیست‌محیطی)	C2 (اقتصادی)	C3 (اجتماعی)	C4 (فنی)
A1	0.33	0.27	0.27	0.32
A2	0.34	0.33	0.33	0.32
A3	0.29	0.32	0.31	0.31
A4	0.31	0.33	0.32	0.29
A5	0.30	0.32	0.31	0.32

رتبه‌بندی استراتژی‌های به‌یافت ضایعات غذایی با رویکرد تصمیم‌گیری ...؛ روحی و همکاران | ۱۰۵

	C1 (زیست محیطی)	C2 (اقتصادی)	C3 (اجتماعی)	C4 (فنی)
A6	0.33	0.32	0.32	0.31
A7	0.33	0.29	0.32	0.31
A8	0.30	0.33	0.32	0.32
A9	0.29	0.31	0.30	0.32
A10	0.30	0.32	0.32	0.32

جدول ۸. محاسبه وزن نهایی هر شاخص

	C1 (زیست محیطی)	C2 (اقتصادی)	C3 (اجتماعی)	C4 (فنی)
وزن هر معیار	0.177	0.311	0.342	0.170

جدول ۹. ماتریس تجمعی نظرات کارشناسان نسبت به هر گزینه با توجه به هر زیرشاخص

	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C31	C32	C33	C41	C42	C43
A1 μ	0.89	0.82	0.80	0.76	0.86	0.79	0.88	0.77	0.77	0.81	0.81	0.85
A1 ν	0.09	0.13	0.15	0.19	0.11	0.15	0.09	0.17	0.18	0.15	0.14	0.11
A1 r	0.14	0.22	0.39	0.47	0.46	0.26	0.35	0.36	0.49	0.39	0.26	0.18
A2 μ	0.77	0.80	0.81	0.82	0.77	0.84	0.74	0.66	0.75	0.77	0.74	0.73
A2 ν	0.17	0.15	0.14	0.13	0.17	0.12	0.19	0.27	0.19	0.17	0.19	0.20
A2 r	0.21	0.25	0.40	0.23	0.22	0.30	0.32	0.35	0.33	0.36	0.32	0.33
A3 μ	0.87	0.78	0.80	0.71	0.85	0.72	0.62	0.74	0.64	0.67	0.81	0.80
A3 ν	0.10	0.17	0.16	0.22	0.11	0.21	0.30	0.20	0.27	0.26	0.13	0.16
A3 r	0.20	0.36	0.70	0.41	0.19	0.43	0.48	0.46	0.51	0.54	0.24	0.38
A4 μ	0.78	0.79	0.83	0.64	0.74	0.78	0.63	0.71	0.76	0.69	0.70	0.86
A4 ν	0.17	0.16	0.12	0.30	0.18	0.17	0.28	0.22	0.19	0.24	0.22	0.10
A4 r	0.36	0.38	0.30	0.49	0.19	0.37	0.50	0.28	0.34	0.39	0.27	0.19
A5 μ	0.82	0.85	0.76	0.82	0.74	0.82	0.73	0.79	0.84	0.84	0.80	0.79
A5 ν	0.13	0.11	0.18	0.13	0.19	0.13	0.21	0.14	0.12	0.12	0.14	0.15
A5 r	0.28	0.18	0.66	0.27	0.32	0.23	0.61	0.26	0.20	0.20	0.25	0.26
A6 μ	0.83	0.76	0.69	0.72	0.73	0.80	0.73	0.72	0.68	0.75	0.78	0.75
A6 ν	0.13	0.17	0.23	0.22	0.20	0.15	0.21	0.21	0.24	0.19	0.16	0.19

	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C31	C32	C33	C41	C42	C43
A6 r	0.29	0.20	0.40	0.43	0.31	0.39	0.34	0.35	0.40	0.47	0.37	0.33
A7 μ	0.68	0.68	0.68	0.60	0.84	0.75	0.73	0.78	0.69	0.64	0.76	0.77
A7 v	0.25	0.25	0.26	0.32	0.12	0.20	0.19	0.16	0.24	0.28	0.18	0.18
A7 r	0.38	0.37	0.41	0.66	0.58	0.46	0.33	0.27	0.39	0.51	0.34	0.49
A8 μ	0.79	0.80	0.75	0.66	0.70	0.78	0.76	0.62	0.73	0.75	0.80	0.79
A8 v	0.16	0.15	0.20	0.26	0.22	0.17	0.18	0.30	0.21	0.19	0.14	0.15
A8 r	0.38	0.39	0.46	0.43	0.27	0.37	0.48	0.31	0.35	0.33	0.39	0.26
A9 μ	0.79	0.76	0.74	0.73	0.77	0.73	0.65	0.78	0.77	0.72	0.81	0.77
A9 v	0.16	0.19	0.20	0.21	0.18	0.21	0.28	0.17	0.18	0.22	0.14	0.17
A9 r	0.52	0.47	0.46	0.44	0.88	0.62	0.45	0.50	0.49	0.36	0.41	0.36
A10 μ	0.82	0.82	0.80	0.73	0.84	0.76	0.79	0.78	0.74	0.77	0.80	0.87
A10 v	0.14	0.14	0.15	0.21	0.12	0.19	0.16	0.17	0.19	0.16	0.14	0.10
A10 r	0.41	0.42	0.39	0.44	0.44	0.33	0.51	0.36	0.32	0.36	0.25	0.33

جدول ۱۰. ماتریس امتیاز مجموعه‌های فازی شهودی نرمال‌سازی شده

Normalized	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C31	C32	C33	C41	C42	C43
A1	0.90	0.87	0.84	0.82	0.59	1.00	0.79	0.68	0.78	0.83	0.83	1.00
A2	1.00	0.88	0.82	1.00	0.90	0.88	1.00	0.84	0.97	0.90	0.85	1.00
A3	0.86	0.78	0.61	0.94	0.82	0.90	1.00	0.63	0.93	0.86	0.85	0.85
A4	0.80	0.75	0.88	0.97	1.00	0.89	0.94	0.85	0.96	1.00	1.00	0.97
A5	0.83	0.88	0.67	0.94	0.82	1.00	0.72	0.75	1.00	1.00	0.85	1.00
A6	0.82	1.00	0.98	0.91	0.85	0.84	1.00	0.75	1.00	0.82	0.75	0.98
A7	0.93	0.92	1.00	0.84	0.53	0.84	0.99	0.75	1.00	0.92	0.82	0.79
A8	0.77	0.74	0.84	1.00	0.96	0.89	0.79	1.00	1.00	0.98	0.71	1.00
A9	0.66	0.71	0.84	0.87	0.45	0.72	1.00	0.57	0.78	1.00	0.69	0.90
A10	0.72	0.69	0.83	0.87	0.61	0.97	0.74	0.67	1.00	0.89	0.85	0.81

جدول ۱۱. محاسبه وزن هر زیرشاخص

	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C31	C32	C33	C41	C42	C43
W_j	0.099	0.104	0.100	0.045	0.159	0.061	0.060	0.154	0.032	0.043	0.105	0.039

رتبه‌بندی استراتژی‌های به‌یافت ضایعات غذایی با رویکرد تصمیم‌گیری ...؛ روحی و همکاران | ۱۰۷

جدول ۱۲. محاسبه وزن نهایی هر زیرشاخص

	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C31	C32	C33	C41	C42	C43
W_j	0.0175	0.0184	0.0177	0.0140	0.0495	0.0190	0.0205	0.0526	0.0109	0.0073	0.0179	0.0066

مرحله چهار: رتبه‌بندی استراتژی‌ها

در این مرحله استراتژی‌ها با استفاده از روش CIFS-MARCOS محاسبه و استراتژی‌ها رتبه‌بندی شدند (جدول ۱۳ و ۱۴). نتایج نشان می‌دهد، تولید منسوجات پایدار از ضایعات غذایی در جایگاه نخست قرار گرفت؛ زیرا هم‌زمان ارزش افزوده اقتصادی و کاهش اثرات زیست‌محیطی را محقق می‌کند. پس‌ازاین استراتژی، بسته‌بندی پایدار، تولید مواد غذایی جدید از ضایعات و تولید انرژی زیستی به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. این رتبه‌بندی حاکی از آن است که راهبردهای موفق، آن‌هایی هستند که با بستن چرخه منابع، هم‌زمان به خلق ارزش اقتصادی می‌پردازند و ازاین‌رو، بیشترین پتانسیل را برای پیشبرد اهداف توسعه پایدار دارا می‌باشند.

جدول ۱۳. ماتریس اولیه توسعه‌یافته با امتیاز هر مجموعه فازی شهودی دایره‌ای و راه‌حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل

	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C31	C32	C33	C41	C42	C43
AAI	0.30	0.29	0.33	0.33	0.27	0.33	0.33	0.25	0.33	0.33	0.28	0.33
A1	0.33	0.33	0.39	0.40	0.46	0.33	0.42	0.37	0.42	0.40	0.34	0.33
A2	0.30	0.33	0.41	0.33	0.30	0.38	0.33	0.29	0.34	0.37	0.33	0.33
A3	0.35	0.37	0.54	0.35	0.33	0.37	0.33	0.39	0.36	0.38	0.33	0.39
A4	0.37	0.39	0.37	0.34	0.27	0.37	0.35	0.29	0.35	0.33	0.28	0.34
A5	0.36	0.35	0.50	0.35	0.33	0.33	0.46	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
A6	0.37	0.29	0.34	0.36	0.32	0.39	0.33	0.33	0.33	0.41	0.38	0.34
A7	0.32	0.31	0.33	0.41	0.51	0.40	0.33	0.33	0.33	0.36	0.35	0.42
A8	0.39	0.39	0.39	0.33	0.28	0.37	0.42	0.25	0.33	0.34	0.40	0.33
A9	0.46	0.41	0.39	0.38	0.61	0.46	0.33	0.44	0.43	0.33	0.42	0.37
A10	0.42	0.42	0.40	0.38	0.45	0.34	0.45	0.37	0.33	0.37	0.34	0.41
AI	0.46	0.42	0.545	0.41	0.61	0.46	0.46	0.44	0.43	0.41	0.42	0.42

جدول ۱۴. محاسبه درجه مطلوبیت، تابع مطلوبیت و رتبه‌بندی گزینه‌ها

Ai	Si	Ki-	Ki+	f(Ki-)	f(Ki+)	f(Ki)	Rank
AAI	6.138						
A1	7.343	1.196	0.842	0.413	0.586	0.652	3
A2	6.663	1.085	0.764	0.413	0.586	0.592	10
A3	7.303	1.189	0.838	0.413	0.586	0.649	4
A4	6.754	1.100	0.775	0.413	0.586	0.600	9
A5	7.016	1.142	0.805	0.413	0.586	0.623	6
A6	6.950	1.132	0.797	0.413	0.586	0.617	8
A7	7.108	1.158	0.815	0.413	0.586	0.631	5
A8	7.088	1.154	0.813	0.413	0.586	0.630	7
A9	8.110	1.321	0.930	0.413	0.586	0.720	1
A10	7.601	1.238	0.872	0.413	0.586	0.675	2
AI	8.713						

مرحله ۵. تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت برای ارزیابی پایداری نتایج انجام شد. در بخش اول، تأثیر تغییر نگرش تصمیم‌گیرنده λ بر وزن معیارها بررسی شد. در بخش دوم، این تغییرات بر رتبه‌بندی اعمال و نتایج مقایسه گردید.

۱-۴. تغییرات وزن با تغییر λ

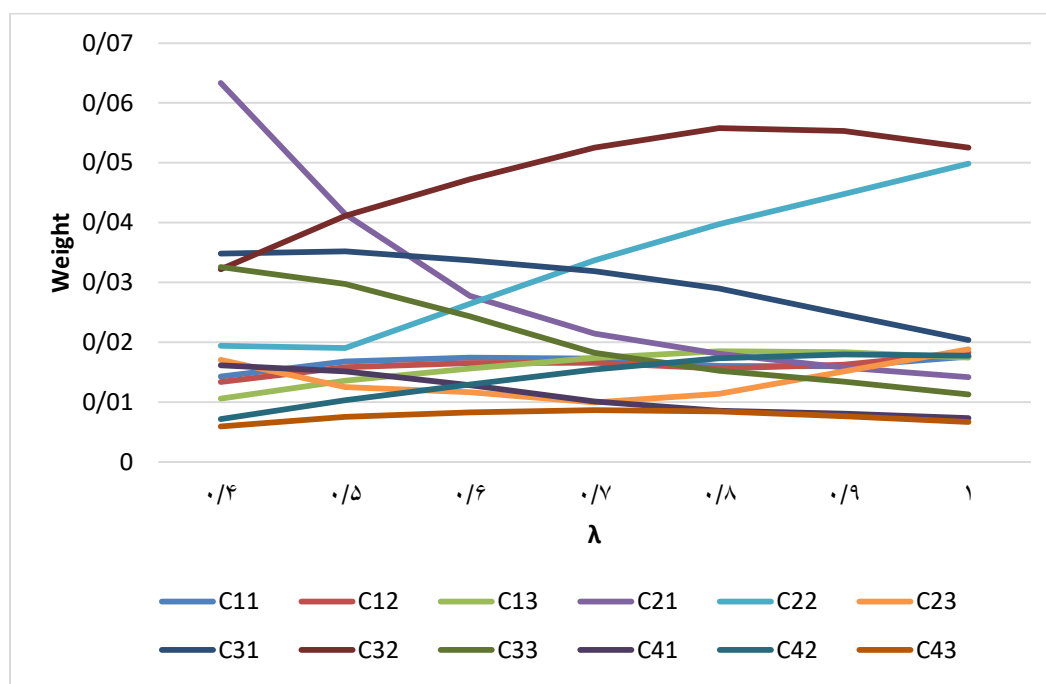
در این بخش تحلیل حساسیت با تغییرات λ در بازه $[0.4, 1]$ و محاسبه امتیاز C-IFS (رابطه ۲۰) انجام شد. در نگرش‌های بدبینانه، شاخص‌های هزینه-منفعت و ایمنی غذایی و در نگرش‌های خوش‌بینانه، آگاهی عمومی و پتانسیل بازار وزن بالاتری یافتند (جدول ۱۵، شکل ۲).

جدول ۱۵. تغییرات وزن شاخص‌ها با تغییر نگرش تصمیم‌گیرندگان

λ	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
C11	0.014	0.017	0.017	0.017	0.016	0.016	0.017
C12	0.013	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.018
C13	0.011	0.014	0.015	0.017	0.018	0.018	0.017
C21	0.063	0.041	0.028	0.021	0.018	0.016	0.014

λ	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
C22	0.019	0.019	0.026	0.033	0.039	0.045	0.049
C23	0.017	0.012	0.012	0.009	0.011	0.015	0.018
C31	0.034	0.035	0.034	0.032	0.029	0.025	0.020
C32	0.032	0.041	0.047	0.052	0.056	0.055	0.052
C33	0.032	0.029	0.024	0.018	0.015	0.013	0.011
C41	0.016	0.015	0.013	0.010	0.008	0.008	0.007
C42	0.007	0.010	0.013	0.015	0.017	0.018	0.018
C43	0.006	0.007	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007

شکل ۲. تغییرات وزن شاخص‌ها با توجه به تغییرات λ

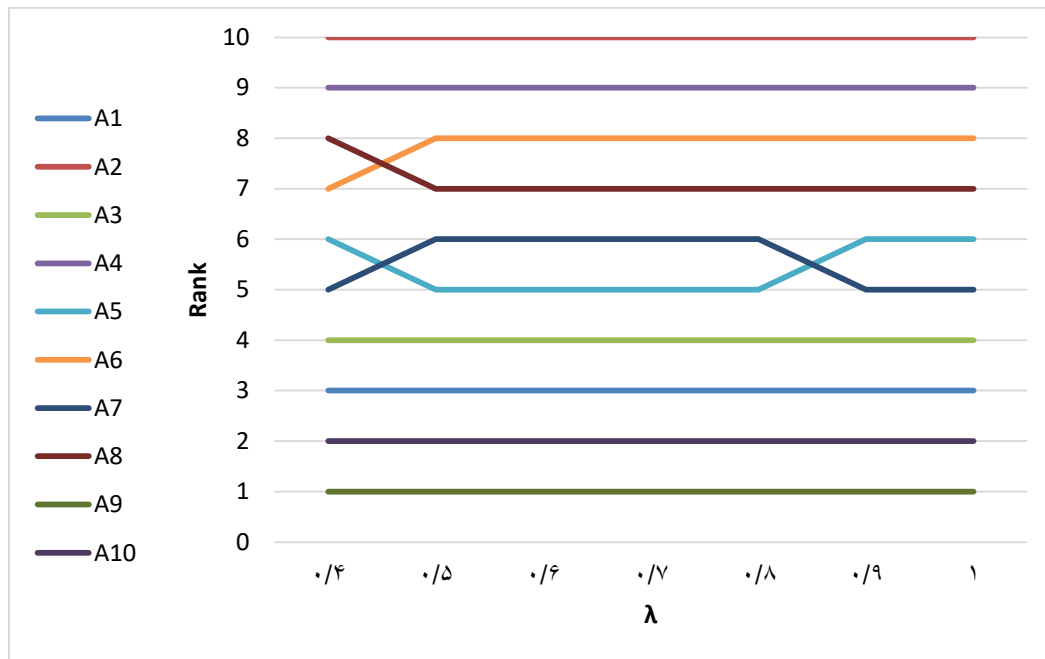


۴-۲. تغییرات رتبه‌بندی با تغییرات وزن در بخش ۴-۴-۱

در بخش دوم با توجه به تغییرات وزن در اثر تغییرات λ رتبه‌های به‌دست آمده به روش‌های MARCOS مقایسه می‌شود. نتایج تحلیل حساسیت روش MARCOS نشان می‌دهد که در بیشتر حالت‌های λ ثبات در

رتبه گزینه‌ها مشاهده شده است و فقط در $\lambda = 0.5, 0.9$ جایگاه A7 و A5 و همچنین در $\lambda = 0.5$ رتبه A6 و A8 تغییر کرده است (شکل ۳).

شکل ۳. تغییرات رتبه استراتژی‌ها به روش MARCOS با توجه به تغییرات وزن در اثر تغییرات λ



بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با ارائه یک چارچوب نوین تلفیقی مبتنی بر مجموعه‌های فازی شهودی دایره‌ای (C-IFS)، روش عینی MEREC و روش رتبه‌بندی MARCOS، گامی مؤثر در راستای اولویت‌بندی استراتژی‌های به‌یافت ضایعات غذایی برداشت. یافته‌ها به‌وضوح نشان داد که معیارهای «پتانسیل بازار»، «آگاهی عمومی» و «کیفیت و ایمنی غذایی» به‌عنوان مؤثرترین شاخص‌ها، نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت این راهبردها دارند (Magalhães et al., 2022; Bangar et al., 2024). این امر بر لزوم عبور از نگرش صرفاً فنی و تأکید هم‌زمان بر مقبولیت اجتماعی و توجیه اقتصادی در طراحی راه کارهای اقتصاد چرخشی تأکید می‌کند. از جنبه نظری، اصلی‌ترین دستاورد این مطالعه، توسعه و به‌کارگیری یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره مقاوم در محیط‌های پیچیده و همراه با عدم قطعیت است. ادغام C-IFS با روش‌های MEREC و MARCOS، امکان مدل‌سازی دقیق‌تر ابهام ذاتی در قضاوت‌های خبرگان و در نظرگیری پویایی بین معیارهای چندبعدی (زیست‌محیطی، اقتصادی،

اجتماعی و فنی) را فراهم می‌سازد (Çakır & Taş, 2023; Garg et al., 2023). این چارچوب روش‌شناختی می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای حل مسائل مشابه در سایر حوزه‌های مدیریت پسماند و ارزیابی پایداری مورد استفاده قرار گیرد. از منظر عملی، یافته‌ها بینش‌های ارزشمندی را در اختیار ذینفعان مختلف قرار می‌دهد:

- سیاست‌گذاران می‌توانند با اتکا بر این رتبه‌بندی، مشوق‌ها و قانون‌گذاری خود را به سمت استراتژی‌های پرطرفیت و نوآورانه‌ای مانند «تولید منسوجات پایدار» (رتبه اول) و «بسته‌بندی پایدار» (رتبه دوم) سوق دهند (UNEP Food Waste Index Report, 2024).

- مدیران صنعتی و سرمایه‌گذاران باید با درک اولویت بالای «پتانسیل بازار» و «آگاهی عمومی»، سرمایه‌گذاری خود را بر توسعه بازار، برند سازی، شفافیت و کسب گواهینامه‌های معتبر بین‌المللی (مانند ISO 22000) متمرکز کنند (Lu et al., 2024).

- فعالان صنعت می‌توانند با تمرکز بر سه حوزه کلیدی توسعه بازار و تحلیل مشتری، سرمایه‌گذاری بر آموزش و شفاف سازی و تضمین کیفیت و ایمنی، شانس موفقیت خود را در عرصه به‌یافت ضایعات به‌طور چشمگیری افزایش دهند (Miroso & Bremer, 2023).

رتبه‌بندی نهایی استراتژی‌ها که به ترتیب شامل تولید منسوجات پایدار، بسته‌بندی پایدار، تولید مواد غذایی جدید و انرژی زیستی می‌باشد، نشان‌دهنده یک گذار استراتژیک از راه‌حل‌های سنتی (مانند تولید انرژی) به سمت مدل‌های کسب و کار نوآورانه و با ارزش افزوده بالاست. این تحول، بازیافت را از یک فعالیت صنعتی صرف به یک فرآیند خلاقانه و اقتصادی پربازده تبدیل می‌کند (Thorsen et al, 2023). این پژوهش با محدودیت‌هایی از جمله حجم نمونه محدود خبرگان و تکیه بر داده‌های کیفی روبه‌رو بود. جهت غلبه بر این محدودیت‌ها و گسترش دامنه پژوهش، پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی به یکپارچه سازی چارچوب حاضر با تکنیک‌های یادگیری ماشین برای تعیین وزن معیارها و خودکار سازی فرآیند تصمیم‌گیری، تعمیم و تطبیق این مدل در سایر صنایع مانند الکترونیک، پلاستیک، توسعه روش‌شناختی از طریق ترکیب با سایر تکنیک‌های تصمیم‌گیری نوین مانند MABAC، ABAC، COCOSO و اجرای مطالعات موردی عملی با تمرکز بر عدالت اجتماعی و پایش پیامدهای بلندمدت، می‌تواند گام‌های مؤثری در توسعه این چارچوب و رفع محدودیت‌های موجود باشد. در نتیجه، این مطالعه نه تنها یک چارچوب علمی برای اولویت‌بندی راهبردها ارائه

می‌دهد، بلکه با شناسایی معیارهای کلیدی و ترسیم چشم‌انداز تحول‌آفرین فناوری‌های نوین، نقشه راهی برای سیاست‌گذاری، سرمایه‌گذاری و پژوهش‌های آینده در مسیر تحقق اقتصاد چرخشی ترسیم می‌کند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافع ندارند.

ORCID

Iraj Rouhi

Mahsa Pishdar

Maryam Hassanikordede



<https://orcid.org/0009-0003-8627-6058>



<https://orcid.org/0000-0003-4517-8796>



<https://orcid.org/0009-0006-7838-4923>

ضمیمه الف

پرسشنامه ارسالی برای متخصصان

متخصص گرامی

این نظرسنجی تخصصی به‌عنوان بخشی از یک پروژه تحقیقاتی علمی باهدف ارزیابی استراتژی‌های به‌یافت ارزش پسماند مواد غذایی انجام می‌شود. بینش‌ها و ارزیابی‌های شما برای سنجش استراتژی‌های نوآورانه در زمینه ارتقاء ارزش پسماند مواد غذایی، بر اساس معیارهای زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فنی، بسیار حیاتی است.

این نظرسنجی شامل سه بخش اصلی است:

۱. اطلاعات متخصص

- برای زمینه‌سازی پاسخ‌های شما در حوزه تخصصی‌تان.

۲. اهمیت معیارهای ارزیابی

- از شما خواسته می‌شود تا اهمیت نسبی معیارهای مختلف را با استفاده از عبارات زبانی ارزیابی کنید؛ عباراتی مانند: بسیار مهم (Very Important - VI) تا بسیار کم‌اهمیت (Very Unimportant - VU).

۳. ارزیابی استراتژی‌ها

- شما عملکرد ده استراتژی اصلی ارتقاء ارزش پسماند مواد غذایی را در برابر هر زیرمعیار، با استفاده از یک مقیاس زبانی ارزیابی خواهید کرد؛ مقیاسی که از عالی (EG) تا بسیار بسیار ضعیف (VVB) متغیر است.

نکته روش‌شناختی: پاسخ‌های شما با استفاده از مجموعه‌های فازی شهودی تحلیل خواهند شد که این امر امکان تفسیر دقیق‌تر عدم قطعیت و تردید در قضاوت متخصصان را فراهم می‌کند. لطفاً اطمینان داشته باشید که تمام پاسخ‌ها محرمانه تلقی شده و منحصراً برای اهداف آکادمیک مورد استفاده قرار خواهند گرفت. از موافقت شما برای مشارکت در این نظرسنجی سپاسگزاریم و از وقت و تخصص شما نهایت قدردانی را داریم.

با احترام،

اطلاعات متخصص بخش اول:

نام:

سمت و عنوان شغلی:

حوزه تخصصی:

سوابق کاری:

بخش ۲: ارزیابی استراتژی با توجه به هر معیار

لطفاً عملکرد هر استراتژی را در برابر هر معیار با استفاده از عبارات زبانی زیر ارزیابی کنید:

مقیاس ارزیابی عملکرد: عالی (EG)، بسیار بسیار خوب (VVG)، بسیار خوب (VG)، خوب (G)، نسبتاً خوب (MG)، قابل قبول (F)، نسبتاً بد (MB)، ضعیف (B)، بسیار ضعیف (VB)، بسیار بسیار ضعیف (VVB)

C4 (فنی)	C3 (اجتماعی)	C2 (اقتصادی)	C1 (زیست محیطی)
A1			
A2			
A3			
A4			
A5			
A6			
A7			
A8			
A9			
A10			

بخش سوم: ارزیابی استراتژی با توجه به هر زیرمعیار

لطفاً عملکرد هر استراتژی را در برابر هر زیرمعیار با استفاده از عبارات زبانی زیر ارزیابی کنید:

مقیاس ارزیابی عملکرد: عالی (EG)، بسیار بسیار خوب (VVG)، بسیار خوب (VG)، خوب (G)، نسبتاً خوب (MG)، قابل قبول (F)، نسبتاً بد (MB)، ضعیف (B)، بسیار ضعیف (VB)، بسیار بسیار ضعیف (VVB)

معیارهای زیست محیطی:

C11 کاهش آلاینده‌ها/ انتشار گازها

References

1. Alkan, M., Kahraman, C. (2021). Circular intuitionistic fuzzy TOPSIS method with vague membership functions: Supplier selection application context. *Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets* 27(1):24-52. DOI:10.7546/nifs.2021.27.1.24-52.
2. Aghajani Mir, M., Taherei Ghazvinei, P., Sulaiman, N. M. N., Basri, N. E. A., Saheri, S., Mahmood, N. Z., Jahan, A., Begum, R. A., & Aghamohammadi, N. (2016). Application of TOPSIS and VIKOR improved versions in a multi criteria decision analysis to develop an optimized municipal solid waste management model. *Journal of Environmental Management*, 166, 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.09.028>.
3. Abdulaal, R. M., Makki, A. A., & Al-Filali, I. Y. (2023). A novel hybrid approach for prioritizing investment initiatives to achieve financial sustainability in higher education institutions using MEREC-G and RATMI. *Sustainability*, 15(16), 12635. DOI: 10.3390/su151612635.
4. Albizzati, P. F., Tonini, D., & Astrup, T. F. (2021). A Quantitative Sustainability Assessment of Food Waste Management in the European Union. *Environmental Science and Technology*, 55(23), 16099-16109. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03940>.
5. Abdelaal, R.M., Makki, A.A., Al-Madi, E.M., Qhadi, A.M. (2024). Prioritizing Strategic Objectives and Projects in Higher Education Institutions: A New Hybrid Fuzzy MEREC-G-TOPSIS Approach. *IEEE Access*, 12, 89735-89753. DOI:10.1109/ACCESS.2024.3419701.
6. Atanassov, K.T. (1986) Intuitionistic Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20, 87-96. [http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3).
7. Ardra, S., & Barua, M. K. (2022). Halving food waste generation by 2030: The challenges and strategies of monitoring UN sustainable development goal target 12.3. *Journal of Cleaner Production*, 380, 135042. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135042>.
8. Alimohammadlou, M., Alinejad, S., Khoshsepehr, Z., Safari, M., Jafari, Y., Tajodin, A., & Mohammadi, S. S. (2023). Circular Intuitionistic Fuzzy AHP: An Application in Manufacturing Sector. In *Analytic Hierarchy Process with Fuzzy Sets Extensions: Applications and Discussions* (pp. 369-394). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-39438-6_17.
9. Atanassov, K., & Marinov, E. (2021). Four distances for circular intuitionistic fuzzy sets. *Mathematics*, 9(10), 1121. <https://doi.org/10.3390/math9101121>.
10. Alshahrani, R., Yenugula, M., Algethami, H., Alharbi, F., Goswami, S. S., Naveed, Q. N., Lasisi, A., Islam, S., Khan, N. A., & Zahmatkesh, S. (2024). Establishing the fuzzy integrated hybrid MCDM framework to identify the key barriers to implementing artificial intelligence-enabled sustainable cloud system in an IT industry. *Expert Systems with Applications*, 238(Part C), Article 121732. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121732>.
11. Bozyiğit, M. C., & Ünver, M. (2024). Parametric circular intuitionistic fuzzy information measures and multi-criteria decision making with extended

- TOPSIS. *Granular Computing*, 9(2), 43. <https://doi.org/10.1007/s41066-024-00469-3>.
12. Batool, F., Kurniawan, T. A., Mohyuddin, A., Othman, M. H. D., Aziz, F., Al-Hazmi, H. E., ... & Anouzla, A. (2024). Environmental impacts of food waste management technologies: A critical review of life cycle assessment (LCA) studies. *Trends in Food Science & Technology*, Volume 143, 104287. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104287>.
13. Bhatia, S. K., Patel, A. K., & Yang, Y. H. (2024). The green revolution of food waste upcycling to produce polyhydroxyalkanoates. *Trends in Biotechnology*. 1273-1287. doi: 10.1016/j.tibtech.2024.03.002.
14. Bello, O. S., Orodepo, G. O., Olakunle, M. O., Agboola, O. S., Inyinbor, A. A., & Agegoke, K. A. (2024). Socioeconomic concern, environmental impact assessment and feasibility study of up-cycled food waste. *Food Waste Valorization*, 47-64. DOI:10.1016/B978-0-443-15958-9.00005-8.
15. Buyuk, A. M., & Temur, G. T. (2020, July). A framework for selection of the best food waste management alternative by a spherical fuzzy AHP based approach. In *International conference on intelligent and fuzzy systems* (pp. 151-159). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51156-2_19
16. Bangar, S. P., Chaudhary, V., Kajla, P., Balakrishnan, G., & Phimolsiripol, Y. (2024). Strategies for upcycling food waste in the food production and supply chain. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 143, 104314 ref. 105. DOI: 10.1016/j.tifs.2023.104314.
17. Caicedo-Paz, A.V., Huckle, H., Tropea, A., Mondello, L. (2025). Win-win upcycling strategy for red araçá fruit waste: Process intensification and application of food-grade cyanidin-rich antioxidants. *Future Foods* 11 (2025) 100535. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100535>
18. Csordas, A. (2024). Foodtech for the Circular Economy. *Foresight and STI Governance*. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2024.2.58.68>.
19. Censi, R., Campana, P., Tarola, A. M., & Ruggieri, R. (2025). Artificial intelligence and digital twins for sustainable waste management: A bibliometric and thematic review. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 21, 15(11), 6337. <https://doi.org/10.3390/app15116337>.
20. Çakır, E., & Taş, M.A. (2023). Circular Intuitionistic Fuzzy Decision Making and Its Application. *Expert Syst. Appl.*, 225, 120076. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120076>.
21. Carnaval, L. D. S., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2024). Agro-Food Waste Valorization for Sustainable Bio-Based Packaging. *Journal of Composites Science*, 8(2), 41. DOI: 10.3390/polym13010134.
22. Dou, Z., Dierenfeld, E. S., Wang, X., Chen, X., & Shurson, G. C. (2024). A critical analysis of challenges and opportunities for upcycling food waste to animal feed to reduce climate and resource burdens. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 203, 107418. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107418>.
23. Ecer, F., & Pamučar, D. (2021). MARCOS technique under intuitionistic fuzzy environment for determining the COVID-19 pandemic performance of insurance

- companies in terms of healthcare services. *Applied Soft Computing*, 104, 107199 - 107199. DOI: 10.1016/j.asoc.2021.107199.
24. Ejegwa, P. A., Anum, M. T., & Isife, K. I. (2024). A new method of distance measure between intuitionistic fuzzy sets and its application in admission procedure. *Journal of uncertain systems*, 17(02), 2440005. <https://doi.org/10.1142/S1752890924400051>.
25. FAO. (2024). The state of food security and nutrition in the world 2024: Food stocktaking at mid-point on the road to 2030. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 50-54. <https://doi.org/10.4060/cd1254en>.
26. Manzoor, S., Fayaz, U., Hussain Dar, A., Kumar Dash, K., Shams, R., Bashir, I., Kumar Pandey, V., Abdi, A. (2024). *FUTURE FOODS*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100362>. Journal volume 9,p. 100362.
27. Garg, H., Ünver, M., Olgun, M., & Türkarlan, E. (2023). An extended EDAS method with circular intuitionistic fuzzy value features and its application to multi-criteria decision-making process. *Artificial intelligence review*, 56, 3173 – 320. <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10601-5>.
28. Guillard, V., Gaucel, S., Fornaciari, C., Angellier-Coussy, H., Buche, P., & Gontard, N. (2018). The next generation of sustainable food packaging to preserve our environment in a circular economy context. *Frontiers in nutrition*, 5, 121. DOI: 10.3390/polym13010134.
29. Garcia- Gonzalez, L., Bijttebier, S., Voorspoels, S., Uyttendaele, M., Elst, K., Dejonghe, W., & De Wever, H. (2015). Cascaded valorization of food waste using bioconversions as core processes. *Advances in food biotechnology*, 427.
30. Galanakis, C. M., Cvejic, J., Verardo, V., & Segura-Carretero, A. (2022). Food use for social innovation by optimizing food waste recovery strategies. In *Innovation strategies in the food industry* (pp. 209-227). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85203-6.00016-5>.
31. Gong, C., Jiang, L., & Hou, L. (2022). Group decision-making with distance induced fuzzy operators. *International Journal of Fuzzy Systems*, 24(1), 440-456.
32. Gedvilaitė, D., Lapinskienė, G., & Szarucki, M. (2024). Assessment of the development of the circular economy in the EU countries: Comparative analysis by multiple criteria methods. *European Scientific Journal*, 2024(8), 13. <https://doi.org/10.28991/esj-2024-08-02-013>
33. Gurmani, S. H., Ding, W., Zulqarnain, R. M., & Hao, J. (2025). Cubic linguistic T-spherical fuzzy aggregation operator-based multi-attribute group decision-making model and its application to food waste treatment technique selection. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 161, 112111. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.112111>
34. Haq, R.S., Saeed, M., Mateen, N., Siddiqui, F., Naqvi, M., Yi, J., & Ahmed, S. (2022). Sustainable material selection with crisp and ambiguous data using single-valued neutrosophic-MEREC-MARCOS framework. *Appl. Soft Comput.*, 128, 109546. DOI: 10.1016/j.asoc.2022.109546.
35. Jovanovic, S., Savic, S., Jovicic, N., Boskovic, G., & Djordjevic, Z. (2016). Using multi-criteria decision making for selection of the optimal strategy for municipal

- solid waste management. *Waste Management & Research*, 34(9), 884–895. <https://doi.org/10.1177/0734242x16654753>.
36. Jeevahan, J., Anderson, A., Sriram, V., Durairaj, R. B., Britto Joseph, G., & Mageshwaran, G. (2021). Waste into energy conversion technologies and conversion of food wastes into the potential products: a review. *International Journal of Ambient Energy*, 42(9), 1083-1101. <https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1537939>
37. Kanwal, N., Zhang, M., Zeb, M., Batool, U., & Rui, L. (2024). From plate to palate: Sustainable solutions for upcycling food waste in restaurants and catering. *Trends in Food Science & Technology*, 104687. DOI:10.1016/j.tifs.2024.104687.
38. Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2021). Determination of Objective Weights Using a New Method Based on the Removal Effects of Criteria (MEREC). *Symmetry*, 13(4), 525. <https://doi.org/10.3390/sym13040525>
39. Keshtpour, A., Shadkam, E., Beheshti, H. K. (2023). Proposing a novel integrated OPA-MARCOS multi-criteria decision making model to choose the best plastic recycling method (case study). *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 26(4), 449–474. <https://doi.org/10.1504/ijmor.2023.135542>.
40. Kamber, E., & Baskak, M. (2024). Green logistics park location selection with circular intuitionistic fuzzy CODAS method: The case of Istanbul. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 46(2), 4173-4189. <https://doi.org/10.3233/JIFS-231843>.
41. Khan, M. R., Pervaiz, F., Raza, A., Latif, A., & Shang, Y. (2025). A decision support system for assessment of digital marketing platform selection using novel circular intuitionistic fuzzy Dombi aggregation operators. *jirmcs*. <https://doi.org/10.62270/jirmcs.v4i1.48>
42. Kurniawan, T. A., Meidiana, C., Goh, H. H., Zhang, D., Othman, M. H. D., Aziz, F., Anouzla, A., Sarangi, P. K., Pasaribu, B., & Ali, I. (2024). Unlocking synergies between waste management and climate change mitigation to accelerate decarbonization through circular-economy digitalization in Indonesia. *Sustainable Production and Consumption*, 46, 431–445. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.03.011>.
43. Lu, P., Parrella, J. A., Xu, Z., & Kogut, A. (2024). A scoping review of the literature examining consumer acceptance of upcycled foods. *Food Quality and Preference*, 114, 105098. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.105098>.
44. Magalhães, V. S., Ferreira, L. M. D., & Silva, C. (2022). Prioritising food loss and waste mitigation strategies in the fruit and vegetable supply chain: A multi-criteria approach. *Sustainable Production and Consumption* Volume 31, Pages 569-581. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.03.022>.
45. Miroso, M., & Bremer, P. (2023). Understanding new foods: Upcycling. In *Sustainable Food Innovation* (pp. 147-156). Cham: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-031-12358-0_11.

46. Mastilo, Z., Štilić, A., Gligović, D., Puška, A., 2024, Assessing the Banking Sector of Bosnia and Herzegovina: An Analysis of Financial Indicators through the MEREC and MARCOS Methods, *Journal of Central Banking Theory and Practice*, 2024
47. Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *Journal of cleaner production*, 65, 28-41. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.051>.
48. Makki, A. A., & Abdulaal, R. M. (2023). A hybrid MCDM approach based on fuzzy MEREC-G and Fuzzy RATMI. *Mathematics*, 11(17), 3773. <https://doi.org/10.3390/math11173773>.
49. Manfredi, S., & Cristobal, J. (2016). Towards more sustainable management of European food waste: Methodological approach and numerical application. *Waste Management & Research*, 34(9), 957-968. 10.1177/0734242X16652965
50. Nutrizio, M., Dukić, J., Sabljak, I., Samardžija, A., Fučkar, V. B., Djekić, I., & Jambrak, A. R. (2024). Upcycling of food by-products and waste: nonthermal green extractions and life cycle assessment approach. *Sustainability*, 16(21), 9143. <https://doi.org/10.3390/su16219143>.
51. Oddershede, A., Quezada, L., Palominos, P., & Reitter, F. (2023). A multicriteria DM framework in the eco-management of operations: a case of organic waste reuse. *Procedia Computer Science*, 221, 726–732. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.08.044>
52. Plazzotta, S., & Manzocco, L. (2019). Food waste valorization. In *Saving Food* (pp. 279- 313). *Academic Press*. DOI:10.1016/B978-0-12-815357-4.00010-9.
53. Pereira, c.p., Bassin, I.D., Bassin, J.P.(2025). Bioreactor Technologies for Biogas Generation from Food Waste. In book: Resource Recycling and Management of Food Waste (pp.383-397). DOI:10.1007/978-3-031-86688-3_17.
54. Periyavaram, S.R., Bella ,K., Lavakumar ,U., P Hari Prasad, R.(2023). Hydrothermal carbonization of food waste: Process parameters optimization and biomethane potential evaluation of process water. *J Environ Manage*. Dec 1:347:119132. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119132>.
55. Patti, A., Cicala, G., & Acierno, D. (2020). Eco-sustainability of the textile production: Waste recovery and current recycling in the composites world. *Polymers*, 13(1), 134. DOI: DOI: 10.3390/polym13010134.
56. Prasad, M. N. V. (2024). Bioremediation, bioeconomy, circular economy, and circular bioeconomy—Strategies for sustainability. In *Bioremediation and bioeconomy* (pp. 3-32). Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-443-16120-9.00025-X
57. Petchimuthu, S., Kamacı, H., & Senapati, T. (2024). Evaluation of artificial intelligence-based solid waste segregation technologies through multi-criteria decision-making and complex q-rung picture fuzzy frank aggregation operators. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 133, 108154. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108154>
58. Romsdal, A., Dreyer, H. C., Bakker, S. J., & Carvajal, A. (2024, September). Upcycling of Food Waste Through Bioconversion by Insect Larvae: Conceptual Model and Research Agenda for a Circular Food Supply Chain. In *IFIP*

- International Conference on Advances in Production Management Systems* (pp. 112-126). DOI: 10.1007/978-3-031-71622-5_8
59. Rani, P., Mishra, A. R., Krishankumar, R., Ravichandran, K. S., & Kar, S. (2021). Multi-criteria food waste treatment method selection using single-valued neutrosophic-CRITIC-MULTIMOORA framework. *Applied Soft Computing*, 111, 107657. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107657>.
60. Rashama, C., Riann, C., & Matambo, T. (2023). Hierarchy of waste management strategies: Strategy selection for managing Johannesburg city's restaurant food waste. 10.3390/ECP2023-14627
61. Rukhsar, M., Ullah, K., Ali, Z., & Hussain, A. (2024). Analysis of power aggregation operators through circular intuitionistic fuzzy information and their applications in machine learning analysis. *Engineering Reports*. <https://doi.org/10.30765/er.2571>
62. Rizwan, S. B., Rizwan, D., Masoodi, A.F. (2025). Circular economy in the food systems: A review. *Environmental Quality Management*, 34(3), 47–60. <https://doi.org/10.1002/tqem.70096>.
63. Ren, J., & Toniolo, S. (2020). Life cycle sustainability prioritization of alternative technologies for food waste to energy: a multi-actor multi-criteria decision-making approach. *Waste-To-Energy*, 345–380. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816394-8.00012-4>.
64. Rukhsar, M., Hussain, A., Ullah, K., Moslem, S., & Senapati, T. (2025). Intelligent decision analysis for green supplier selection with multiple attributes using circular intuitionistic fuzzy information aggregation and frank triangular norms. *Energy Reports*, 13, 5773-5791. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.05.011>
65. Stone, J., Garcia-Garcia, G., & Rahimifard, S. (2019). Development of a pragmatic framework to help food and drink manufacturers select the most sustainable food waste valorisation strategy. *Journal of environmental management*, Volume 247, Pages 425-438. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.037>.
66. Šimić, V., Gokasar, I., Deveci, M., & Švadlenka, L. (2024). Mitigating Climate Change Effects of Urban Transportation Using a Type-2 Neutrosophic MEREC-MARCOS Model. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 3233-3249. DOI:10.1109/TEM.2022.3207375.
67. Son, N.H., & Hieu, T.T. (2023). Selection of welding robot by multi-criteria decision-making method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*.
68. Sadhya, H., Mansoor Ahammed, M., & Shaikh, I. N. (2021, August). Use of multi-criteria decision-making techniques for selecting waste-to-energy technologies. In *International Conference on Chemical, Bio and Environmental Engineering* (pp. 505-527). Cham: Springer International Publishing. 10.1007/978-3-030-96554-9_34
69. Suvitha, K., Narayanamoorthy, S., Pamučar, D., & Kang, D. (2024). An ideal plastic waste management system based on an enhanced MCDM technique. *Artificial Intelligence Review*. <https://doi.org/10.1007/s10462-024-10737-y>

70. Stanković, M., Stević, Ž., Das, D. K., Subotić, M., & Pamučar, D. (2020). A New Fuzzy MARCOS Method for Road Traffic Risk Analysis. *Mathematics*, 8(3), 457. <https://doi.org/10.3390/math8030457>
71. Stone, J., Garcia-Garcia, G., & Rahimifard, S. (2019). Development of a pragmatic framework to help food and drink manufacturers select the most sustainable food waste valorisation strategy. *Journal of Environmental Management*, 247, 425-438. [10.1016/j.jenvman.2019.06.037](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.037)
72. Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., & Lobo, M. G. (2018). Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 17(3), 512-531. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330>
73. Sánchez García, E., Martínez Falcó, J., Marco Lajara, B., & Manresa Marhuenda, E. (2023). Revolutionizing the circular economy through new technologies: A new era of sustainable progress. *Environmental Technology & Innovation*. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103509>
74. Socas-Rodríguez, B., Álvarez-Rivera, G., Valdés, A., Ibáñez, E., & Cifuentes, A. (2021). Food by-products and food wastes: Are they safe enough for their valorization?. *Trends in Food Science & Technology*, Volume 114, 133-147. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.002>.
75. Sha, X., Xu, Z., & Yin, C. (2018). Elliptical distribution-based weight-determining method for ordered weighted averaging operators. *International Journal of Intelligent Systems*, 33(5), 761-775. <https://doi.org/10.1002/int.22078>
76. Sarangi, P. K., Pal, P., Singh, A. K., Sahoo, U. K., & Prus, P. (2024). Food Waste to Food Security: Transition from Bioresources to Sustainability. *Resources*, 13(12), 164. DOI: 10.3390/resources13120164.
77. Thorsen, M., Skeaff, S., Goodman-Smith, F., Thong, B., Bremer, P., & Miroso, M. (2022). Upcycled foods: A nudge toward nutrition. *Frontiers in Nutrition*, 1071829. DOI:10.3389/fnut.2022.1071829.
78. Tchoukouang, R. D., Onyeaka, H., & Miri, T. (2023). From waste to plate: Exploring the impact of food waste valorisation on achieving zero hunger. *Sustainability*, 15(13), 10571; <https://doi.org/10.3390/su151310571>
79. Tronnebati, I., Jawab, F., Frichi, Y., & Arif, J. (2024). Green supplier selection using fuzzy AHP, fuzzy TOSIS, and fuzzy WASPAS: A case study of the Moroccan automotive industry. *Sustainability*, 16(11), 4580. <https://doi.org/10.3390/su16114580>
80. Urugo, M. M., Teka, T. A., Gemedé, H. F., Mersha, S., Tessema, A., Woldemariam, H. W., & Admassu, H. (2024). A comprehensive review of current approaches on food waste reduction strategies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(5), e70011. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70011>.
81. Wang, X., Dou, Z., Feng, S. et al. Global food nutrients analysis reveals alarming gaps and daunting challenges. *Nat Food* 4, 1007–1017 (2023). DOI: 10.1038/s43016-023-00851-5.
82. Wu, G., Chong, J.W.R., Khoo, K. S., Ying Ying Tang, D., Loke Show, P. (2025). Upcycling food waste for microalgae cultivation toward lipid production in a

- closed-loop and system integrated circular bioeconomy. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts* (2025) 18:74 <https://doi.org/10.1186/s13068-025-02679-6>.
83. Wang, J., Wang, Y., Xiao, M., Liang, Q., Yang, S., Liu, J., Sun, H. (2024). Upcycling food waste into biorefinery production by microalgae. *Chemical Engineering Journal*, 149532. DOI:10.1016/j.cej.2024.149532.
84. Wang, Q., Cheng, T., Lu, Y., Huang, J. (2024). Underground Mine Safety and Health: A Hybrid MEREC-CoCoSo System for the Selection of Best Sensor. DOI: 10.3390/s24041285.
85. Wong, G. H. C., Pant, A., Zhang, Y., Chua, C. K., Hashimoto, M., Leo, C. H., & Tan, U. X. (2022). 3D food printing sustainability through food waste upcycling. *Materials Today: Proceedings*, 70, 627-630. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.565>.
86. Xue, H. Y., Zhang, X. J., & Wang, Y. Q. (2014). Research on the disposal strategy of waste textiles. *Applied Mechanics and Materials*, 522, 817-820. DOI: 10.1007/s12649-014-9311.
87. Yazdi, M., Moradi, R., Nedjati, A., Pirbalouti, R. G., & Li, H. (2024). E-waste circular economy decision-making: a comprehensive approach for sustainable operation management in the UK. *Neural Computing and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s00521-024-09754-3>
88. Zhang, Q., & Zhang, H. (2024). Assessing agri-food waste valorization challenges and solutions considering smart technologies: An integrated Fermatean fuzzy multi-criteria decision-making approach. *Sustainability*, 16(14), Article 6169. <https://doi.org/10.3390/su16146169>.

استناد به این مقاله: روحی، ایرج، پیشدار، مهسا، حسنی کرده ده، مریم. (۱۴۰۴). رتبه‌بندی استراتژی‌های به‌یافت ضایعات غذایی با

رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره فازی شهودی، مدیریت صنعتی، ۲۳(۷۹)، ۸۳-۱۲۳. DOI:

10.22054/jims.2025.89026.2995



Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.