

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,”

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

How to Cite:

Received: Original Research

Review

Accepted:

eISSN: 2476-5988 ISSN: 2251-8037

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.

۱. Introduction

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

۲. 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.

3. 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.

4. 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 consistent waste supply.

۵. 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

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

ایرج روحی 

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

مهسا پیشدار *

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

مریم حسنی کرده 

تاریخ دریافت: ۰۰/۰۰/۰۰ تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۰/۰۰

eISSN: 2476-5988 ISSN: 2251-8037

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 با هدف 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 وزن‌دهی 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

* نویسنده مسئول: Email Address (ترجیحاً سازمانی) (قلم بی‌زر، ساینز ۱۰)

به بازار، ایمنی و آموزش عمومی تأکید دارد. در رتبه بندی نهایی، تولید منسوجات پایدار از ضایعات غذایی رتبه نخست را به خود اختصاص داد و پس از آن به ترتیب بسته بندی پایدار، تولید مواد غذایی جدید از ضایعات و تولید انرژی زیستی قرار گرفتند. راهبرد های موفق با بستن چرخه منابع، خلق ارزش اقتصادی و پیشبرد اهداف توسعه پایدار همراه هستند. چارچوب پیشنهادی می تواند ابزاری کارآمد برای سیاست گذاران، پژوهشگران و فعالان صنعت در انتخاب راهبرد های بهینه به یافت باشد.

کلید واژه ها: اقتصاد چرخشی، به یافت ضایعات مواد غذایی، مجموعه فازی شهودی دایره ای، MARCOS، MEREC

مقدمه

اقتصاد چرخشی و اقتصاد زیستی به عنوان 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 بهینه سازی استفاده از منابع به ارمغان می‌آورند (Rizwan, 2025; Censi et al., 2025). در این چارچوب، به‌یافت ضایعات غذایی^۱ به عنوان یک رویکرد نوآورانه برجسته، ضایعات را از منابع هدر رفته به محصولات با ارزش افزوده مانند بیوفول‌ها، 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، غذا های دریایی، غلات، مواد منقضی‌شده و بقایای مصرفی) تولید می‌شوند، چالشی جهانی با پیامدهای گسترده زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی است. (Kurniawan et al., 2024). برای مثال، رستوران‌ها و صنعت پذیرایی، با تولید مواد اضافی و غذا های فروخته نشده، سهم قابل توجهی در این حجم دارند (Urugo et al., 202). سیستم‌های غذایی خطی غیرپایدار، عامل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند و عواملی مانند فشار بر مدیریت پسماند، نا امنی 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 زیست محیطی 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).

^۱ food waste upcycling

(Censi et al., 2025; ۲۰۲۴). پایداری، عنصری جدایی ناپذیر از اقتصاد زیستی است که ضایعات غذایی را به سوخت های زیستی، بیومولکول ها و مواد با ارزش افزوده تبدیل می کند و به دستیابی به SDGs کمک شایانی می نماید. (Zhang et al., 2024) روش های سنتی مدیریت ضایعات مانند دفن، کمپوست سازی، سوزاندن و هضم بی هوازی، با وجود حجم بالای ضایعات، ناکارآمد و پرهزینه از نظر زیست محیطی هستند (Kurniawan et al., 2024; Urugo et al., 2024). بنابراین، انتقال به مدل های به یافت پیشرفته، شامل تبدیل ضایعات به خوراک دام، مواد زیستی، انرژی زیستی و غذا های نوین، ضروری است (Bangar et al., 2024). این رویکرد ها نه تنها بار زیست محیطی را کاهش می دهند و بهره وری منابع را افزایش می دهند، بلکه فرصت های اقتصادی جدیدی ایجاد می کنند، هرچند چالش هایی مانند چارچوب های نظارتی ناکافی، نوهراسی مصرف کننده^۱ و بهینه سازی فرآیند ها همچنان وجود دارد (Sánchez García et al., 2023). با وجود پیشرفت های اخیر در استراتژی های به یافت، مانند استفاده از فناوری های (HTC) برای بازیافت ضایعات به کشاورزی و ادغام اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی برای مدیریت زنجیره تأمین، شکاف های پژوهشی قابل توجهی در زمینه ارزیابی استراتژی ها مشاهده می شود (Zhang et al., 2024; Periyavaram et al., 2023). این شکاف ها شامل تمرکز محدود بر رتبه بندی چندوجهی^۲ استراتژی ها، مدیریت عدم قطعیت داده ها در محیط های پویا و ارزیابی پذیرش مصرف کننده در چارچوب های تصمیم گیری پیچیده است (Wu et al., 2025; Alshahrani et al., 2024). مبتنی بر مجموعه های فازی پیشرفته برای غلبه بر این چالش ها تأکید کرده اند، اما کاربرد آن ها در رتبه بندی استراتژی های به یافت ضایعات غذایی در کشور های در حال توسعه، به ویژه با در نظر گیری روابط پویا میان معیارها همچنان ناکافی است (Buyuk, & Temur, ۲۰۲۰, Gurmani et al, 2025, Petchimuthu et al, 2024).

^۱. Consumer neophobia

^۲. Hydrothermal Carbonization

^۳. multi-dimensional ranking

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 بازار و فرآیندها، 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 راهبرد های 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 راهبرد های به‌یافت، پتانسیل بیشتری برای پایداری زیست محیطی و اقتصادی نشان می‌دهند؟

مقاله به صورت زیر ساختار بندی 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 پیشنهادات برای پژوهش‌های آتی اختصاص دارد.

۲. پیشینه پژوهش

۲-۱. به یافت ضایعات غذایی

به یافت ضایعات غذایی، تبدیل مواد دور ریختنی به محصولات با ارزش بالاتر از ماده اولیه است و به عنوان یکی از مؤثرترین راهبرد های اقتصاد چرخشی در سیستم غذایی شناخته می شود (Albizzat et al., 2021). مطالعات اخیر نشان می دهند که این رویکرد می تواند تا ۷۰ درصد ضایعات غذایی قابل پیشگیری 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 می دهد، بلکه با بهره گیری از فناوری های نوین مانند استخراج سبز غیرحرارتی، تخمیر میکروبی و زیست پالایش، ترکیبات زیست فعال، بیوپلاستیک ها و مواد غذایی نوین تولید می کند (Nutrizio et al., 2024). علاوه بر مزایای زیست محیطی مانند کاهش انتشار متان از محل های دفن و حفظ منابع آب و خاک، به یافت فرصت های اقتصادی جدیدی ایجاد کرده و بازار جهانی محصولات تولیدی حاصل از این فرآیند را تا سال ۲۰۳۰ به بیش از ۹۹ میلیارد دلار می رساند (Prasad, 2024).

۲-۲. استراتژی های به یافت ضایعات غذایی

استراتژی های به یافت ضایعات غذایی، به عنوان بخشی از اقتصاد چرخشی مستقیماً با اهداف توسعه پایدار سازمان ملل (SDGs) هم خوانی دارند، به ویژه (SDG 12.3) کاهش نیمی از ضایعات غذایی در سطوح خرده فروشی و مصرف کننده تا ۲۰۳۰، (SDG 2) پایان گرسنگی و امنیت غذایی و ترویج کشاورزی پایدار، (SDG 13) اقدام اقلیمی از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و (SDG 8) رشد اقتصادی پایدار از طریق ایجاد فرصت

^۱. Biorefinery

های شغلی جدید و خلق ارزش افزوده از ضایعات (Manzoor et al., 2024) به عبارتی فرآیند به یافت نقش چشمگیری در دستیابی به اهداف چندگانه است، جایی که هر استراتژی نه تنها ضایعات را کاهش می دهد، بلکه اثرات زنجیره ای بر پایداری ایجاد می کند (FAO, ۲۰۲۴).

جدول ۱ استراتژی های کلیدی را با در نظر داشتن SDG نشان می دهد.

جدول ۱. استراتژی های به یافت ضایعات غذایی استخراج شده از ادبیات

منبع	هم راستایی با SDGs	مزایای کلیدی	چالش های اصلی	استراتژی
Thorsen et al. (۲۰۲۴); Tchoukouang et al. (2025)	امنیت غذایی (SDG 2) کاهش (SDG 12.3) ضایعات	امنیت غذایی، ارزش اقتصادی	پذیرش مصرف کننده، مقررات	A1: غذای نوین
Dou et al. (۲۰۲۴); Saleemdeen et al. (2025)	تغذیه پایدار (SDG 2) کاهش انتشار متان (SDG 13) از دامداری	کاهش ۵۰-۶۰٪ ضایعات دفن شده	ریسک آلودگی	A2: خوراک دام
Tan et al. (۲۰۲۵); Bello et al. (2024)	انرژی پاک (SDG 7) کاهش GWP (SDG 13) مدیریت (SDG 12.3) ضایعات	کاهش سوخت فسیلی	سرمایه اولیه بالا	A3: بیوانرژی
Bhatia et al. (۲۰۲۴); Narodoslowsky et al. (2025)	مدیریت زباله (SDG 12.4) های خطرناک کاهش آلودگی (SDG 14) دریایی	جایگزینی پلاستیک فسیلی	هزینه تولید	A4: بیوپلاستیک
Sarangi et al. (۲۰۲۴); Romsdal et al. (۲۰۲۴)	حفاظت خاک و (SDG 15) تنوع زیستی کاهش دفن (SDG 12.3) ضایعات	بهبود خاک، کاهش متان	مدیریت آلودگی	: کمپوست و A5: زیست تبدیل

Nutrizio et al. (۲۰۲۴); Socas-Rodríguez et al. (2025)	سلامت از طریق (SDG 3) ترکیبات مفید کارایی منابع (SDG12.2)	حفظ مغذی‌ها، صرفه‌جویی انرژی	مقیاس پذیری	: استخراج زیست فعال‌ها A6
Kanwal et al. (۲۰۲۴); Derossi et al. (۲۰۲۵)	نوآوری صنعتی (SDG 9) کاهش ضایعات (SDG 12.3) تولیدی	شخصی‌سازی، کاهش ضایعات	پذیرش فناوری	: چاپ سه بعدی غذا A7
Romsdal et al. (۲۰۲۴); Ojha et al. (2025)	پروتئین پایدار (SDG 2) کاهش زباله از (SDG 12.5) طریق بازیافت زیستی	پروتئین بالا، چرخه سریع	پذیرش اجتماعی	: لارو حشرات A8
Cattaneo et al. (۲۰۲۵); Muthu et al. (2024)	بازیافت مواد (SDG 12.5) رشد اقتصادی از (SDG 8) صنایع سبز)	جایگزینی الیاف مصنوعی	فرآوری فیبر	: منسوجات پایدار A9
Carnaval et al. (۲۰۲۴); Nilsen-Nygaard et al. (۲۰۲۵)	مدیریت (SDG 12.4) پلاستیک حفاظت اقیانوس‌ها (SDG 14)	کاهش میکروپلاستیک، ماندگاری بیشتر	عملکرد مکانیکی	: بسته بندی پایدار A10

۲-۳. معیارهای ارزیابی استراتژی های به‌یافت ضایعات غذایی

ارزیابی استراتژی های به یافت ضایعات غذایی نیازمند چارچوبی جامع از معیارها است که ابعاد پایداری را پوشش دهد. معیارها و زیرمعیارهای ارائه شده در جدول (۲) بر اساس مرور سیستماتیک ادبیات اخیر (۲۰۲۳-۲۰۲۵) از پایگاه های داده معتبر مانند Scopus ، Web of Science و Google Scholar احصا شده اند. این فرآیند شامل جستجوی کلمات کلیدی مانند "criteria for food waste upcycling MCDM"، "sustainability evaluation of food valorization strategies" و "environmental economic social technical indicators for waste management" با تمرکز بر مقالات مروری و مطالعات مرتبط با این حوزه می باشد. از ۴۵ مقاله غربال شده، معیارهای اصلی (زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فنی) بر پایه

چارچوب های پایداری استخراج و دسته بندی شدند (Urugo et al, ۲۰۲۴; Stone et al., 2024, Manfredi & Cristobal, 2016). این دسته بندی بر اساس وابستگی های ساختاری معیارها انجام گرفت. معیارهای زیست محیطی بر اثرات اکولوژیکی (مانند کاهش انتشار گازهای گلخانه ای، اقتصادی بر جنبه های مالی (مانند بازگشت سرمایه و پتانسیل بازار)، اجتماعی بر تأثیرات انسانی (مانند پذیرش مصرف کننده و عدالت غذایی) و فنی بر قابلیت اجرا (مقیاس پذیری و ایمنی فرآیند) تمرکز دارند. زیرمعیارها از تجميع فراوانی در مطالعات انتخاب شدند تا جامعیت و عدم هم پوشانی 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 تایید معیارها و زیر معیارها استفاده شد. این معیارها امکان ارزیابی یکپارچه استراتژی ها را فراهم می کنند و با اهداف توسعه پایدار هم خوانی دارند.

جدول ۲. معیارهای ارزیابی استراتژی های به یافت ضایعات غذایی

References	Sub- Criteria	Criteria
Bello et al., 2024; Dou et al., 2024; Sneha Punia Bangar et al., 2024	C11: کاهش انتشار آلاینده ها	C1: زیست محیطی
	C12: حفاظت از منابع	
	C13: کاهش دفن زباله	
Cristóbal et al., 2018; Miroso & Bremer, 2023	C21: مقرون به صرفه بودن	C2: اقتصادی
	C22: پتانسیل بازار	
	C23: بهینه سازی منابع	
Magalhães et al., 2022; Sneha Punia Bangar et al., ۲۰۲۴	C31: امنیت غذایی	C3: اجتماعی
	C32: آگاهی عمومی	
	C33: همکاری ذینفعان	
Kanwal et al., 2024; Bhatia et al., 2024; Socas- Rodríguez et al., ۲۰۲۱	C41: امکان پذیری	C4: فنی
	C42: کیفیت و امنیت	
	C43: نوآوری و تکنولوژی	

۲-۴. مجموعه های فازی شهودی دایره ای (CIFS)

مجموعه های فازی شهودی دایره ای به عنوان توسعه ای نوین از مجموعه های فازی شهودی، از یک نمایش هندسی دایره ای بهره می برند که در آن درجات عضویت و عدم عضویت در مرکز و شعاع دایره به عنوان شاخص های تردید مدل سازی می شوند. این مفهوم در سال های اخیر با تمرکز بر کاربرد های تصمیم گیری چند معیاره مورد توجه قرار گرفته است. Ünver & Bozyiğit (۲۰۲۴) در مطالعه ای CIFS را برای مدل سازی عدم قطعیت در مسائل زنجیره تأمین به کار بردند و آن را با روش TOPSIS یکپارچه کردند تا دقت رتبه بندی گزینه ها را در محیط های پویا افزایش دهند. همچنین، Rukhsar و همکاران (۲۰۲۵)، کاربرد مجموعه های فازی شهودی دایره ای را در تجمیع داده های یادگیری ماشینی بررسی کردند و نشان دادند که این رویکرد می تواند دقت پیش بینی در سیستم های هوشمند را تا ۱۵ درصد بهبود بخشد، به ویژه در حوزه های داده کاوی با نویز بالا. Taş & Çakır (۲۰۲۴) این روش را با VIKOR ترکیب کردند تا استراتژی های مدیریت زباله را در توسعه گردشگری پایدار رتبه بندی کنند، که این امر به کاهش اثرات زیست محیطی کمک شایانی می کند. این مطالعات برتری CIFS را نسبت به روش های سنتی فازی شهودی برجسته می سازند، زیرا قابلیت مدل سازی تردید های پیچیده تر را فراهم می آورند. (Garg et al., 2024)

۲-۵. روش های رتبه بندی استراتژی های به یافت ضایعات

روش های تصمیم گیری چند معیاره نقش کلیدی در رتبه بندی استراتژی های بازیابی ضایعات با تمرکز بر معیارهایی نظیر اثرات زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی ایفا می کنند. طی دو سال اخیر پژوهش ها بر ترکیب این روش ها با مدل های فازی پیشرفته تأکید داشته اند. (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 استراتژی های بازیابی حرارتی می توانند کارایی اقتصاد دایره ای را در اروپا تا ۲۵ درصد افزایش دهند. همچنین، Ardra and Barua (۲۰۲۲)، VIKOR را برای رتبه بندی گزینه های بازیافت غذایی به کار بردند و بر تأثیرات اجتماعی مانند کاهش نابرابری های دسترسی به منابع تأکید کردند. علاوه بر این، Abdelaal و همکاران (۲۰۲۴) در کاربرد CODAS را در رتبه بندی استراتژی های بازیابی ضایعات غذایی بررسی کردند و عوامل فناوری و نظارتی را برجسته ساختند، که این امر به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای تا ۳۰ درصد منجر می شود. مرور ادبیات اخیر حاکی از آن است که علی رغم پیشرفت ها، تحقیقات محدودی بر ارزیابی مستقیم پیامد های اجتماعی استراتژی های بازیابی ضایعات تمرکز کرده اند، به ویژه در زمینه های حفظ منابع طبیعی و تقویت مشارکت های جامعه محور. بنابراین، انجام پژوهش های جامع با استفاده از CIFS و MCDM پیشرفته برای رتبه بندی این استراتژی ها و بررسی اثرات اجتماعی آنها ضروری است. عوامل مؤثر بر رتبه بندی شامل اثرات زیست محیطی، فواید اقتصادی، ملاحظات اجتماعی و بهداشتی، چالش های فناوری و نظارتی و تصمیم گیری های استراتژیک می باشد (جدول ۳). این رتبه بندی از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا ضایعات غذایی تأثیرات عمیقی بر محیط زیست دارد و می تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای، حفظ منابع، تولید محصولات با ارزش افزوده و تقویت مشارکت های اجتماعی کمک کند.

جدول ۳. عوامل و ضرورت رتبه بندی استراتژی های به یافت ضایعات مواد غذایی

منابع	ضرورت	عامل
Dou et al. (2024), Bhatia et al. (2024), Batool et al. (2024)	کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و حفظ منابع	تاثیر زیست محیطی
Bangar et al. (2024), Plazzotta & Manzocco (2019), Stone et al. (2019)	تولید محصولات با ارزش از ضایعات، ایجاد فرصت های بازار، کاهش هزینه های مدیریت پسماند	مزایای اقتصادی
Mirosa & Bremer (2023), Tchoukouang et al. (2023), Thorsen et al. (2022)	افزایش امنیت غذایی و پذیرش مصرف کننده	ملاحظات اجتماعی و سلامتی
Dou et al. (2024), Stone et al. (2019), Socas-Rodríguez et al. (2021)	تضمین امکان سنجی فناوری و انطباق با مقررات	چالش های فناوری و مقرراتی
Bangar et al. (2024), Stone et al. (2019), Magalhães et al. (2022)	اولویت بندی راهبردهای مؤثر و تقویت همکاری ها	تصمیم گیری استراتژیک

منابع	ضرورت	عامل
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

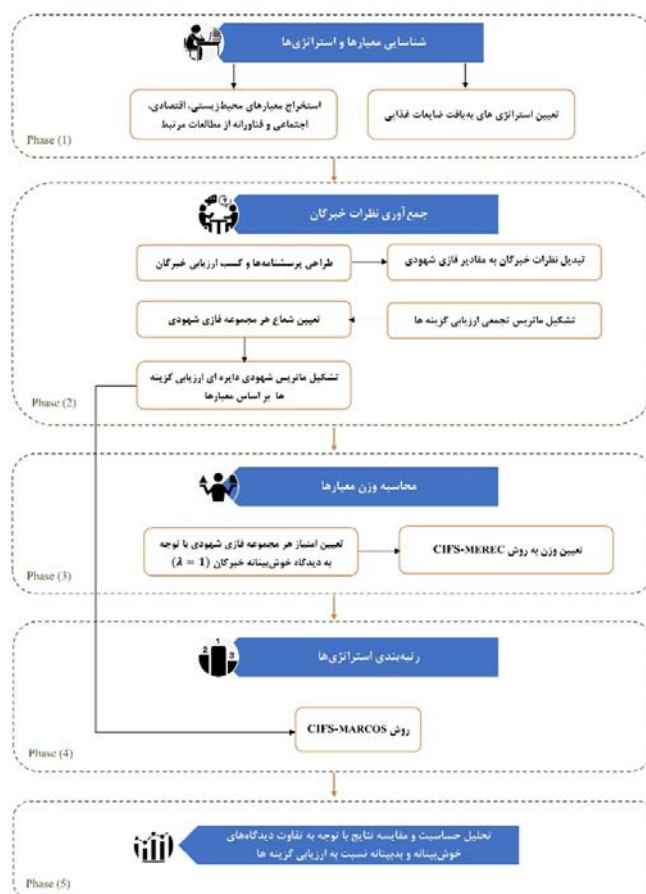
با توجه به ماهیت زمینه محور راهبرد های به‌یافت ضایعات غذایی، کمبود داده‌های کمی قابل اعتماد و تنوع بالای فناوری‌ها و زنجیره‌های تأمین در صنایع غذایی کشور، تلفیق قضاوت خبرگان با دانش نظری اجتناب‌ناپذیر است (Xue et al., 2014). مطالعات اخیر در این حوزه معمولاً از خبرگانی با حداقل ۱۰ سال تجربه مستقیم در 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). 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. روش شناسی 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 $(۱) X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x)) | x \in X\} \quad (۲)$$

که در آن $\mu_A(x)$ تابع عضویت و $\nu_A(x)$ تابع عدم عضویت است. هر عدد فازی شهودی بصورت $(۳) \tilde{a} = \langle \mu_{\tilde{a}}, \nu_{\tilde{a}} \rangle$ بیان می‌شود، با شرایط

$$(۴) \mu_{\tilde{a}} \in [0, 1] \text{ و } (۵) \nu_{\tilde{a}} \in [0, 1] \text{ و } (۶) 0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$$

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):

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

بطوری که:

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

تعریف ۳

در ادبیات مجموعه‌های فازی شهودی و توسعه‌های آن، از جمله CIFS، عملگرهای تجمیع 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 پس از تجمیع 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 تجمیع شده A_i بصورت 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 دایره ای با استفاده از حداکثر فواصل اقلیدسی به صورت زیر بدست می آید (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

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

و

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

دو عدد فازی شهودی دایره ای باشند آنگاه عملگرهای اصلی به صورت روابط ۱۵ تا ۱۸ تعریف می شوند. شعاع کوچک تر نشان دهنده ابهام کمتر و شعاع بزرگ تر نشان دهنده ابهام بیش تر است (Atanassov, 2021):

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

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

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

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

تعریف ۶

اعداد فازی شهودی به طور مستقیم قابل مرتب سازی نیستند؛ از این رو از توابع کمکی مانند امتیاز $(S_{C-IFS}(c))$ و دقت $(H_{C-IFS}(c))$ ب برای رتبه بندی استفاده می شود. در مقایسه، ابتدا امتیاز و در صورت تساوی، دقت ملاک قرار می گیرد.

برای عدد فازی شهودی دایره ای (۱۹) $A = (\mu_A, \nu_A; r_A)$ داریم (Çakır & Taş, ۲۰۲۳):

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

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

پارامتر (۲۲) $\lambda \in [0, 1]$ دیدگاه تصمیم گیرنده را نسبت به مدل منعکس می کند. در پذیرش کلی (۲۳) $\lambda \in [0, 0.5]$ نشان دهنده دیدگاه بدبینانه و (۲۴) $\lambda \in [0.5, 1]$ نشان دهنده دیدگاه خوش بینانه است. (۲۵) $\lambda = 0.5$ نشان دهنده نگرش بی تفاوت تصمیم گیرنده 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:

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

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

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

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

۳-۲. گام های ترکیبی روش پیشنهادی

فرآیند رتبه بندی در چهار مرحله طراحی شد:

۱. تعریف مسئله (اهداف، گزینه ها، معیارها)

۲. جمع آوری نظرات خبرگان و تشکیل ماتریس C-IFS

۳. محاسبه وزن شاخص ها 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 $\tilde{X}$

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

- تشکیل ماتریس تجمعی با استفاده از معادله (۵)

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

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

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

جدول ۵. متغیرهای زبانی برای رتبه بندی استراتژی ها (Ecer and Pamučar, 2021)

رتبه	عبارت زبانی	نماد	اعداد فازي شهودی $[\mu, \nu]$
۱	Extremely good (EG)	EG	$[۱.۰, ۰.۰۰]$
۲	Very very good (VVG)	VVG	$[۰.۸۵, ۰.۱۰]$
۳	Very good (VG)	VG	$[۰.۸۰, ۰.۱۵]$
۴	Good (G)	G	$[۰.۷۰, ۰.۳۰]$
۵	Medium good (MG)	MG	$[۰.۶۰, ۰.۴۰]$
۶	Fair (F)	F	$[۰.۵۰, ۰.۵۰]$
۷	Medium bad (MB)	MB	$[۰.۴۰, ۰.۶۰]$

رتبه	عبارت زبانی	نماد	اعداد فازی شهودی $[\mu, \nu]$
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):

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

- نرمال سازی 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 استراتژی ها 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 $\tilde{I}$ ام و زیرمعیار $\tilde{J}$ 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: رتبه بندی استراتژی ها

روش MARCOS فازي شهودی دایره ای (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, ۲۰۲۰).

- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری اولیه و ماتریس امتیاز فازي شهودی دایره ای
- تشکیل یک ماتریس CIFS توسعه یافته (ماتریس ۲۷)، با تعیین راه حل ضد ایده آل ($\overline{AI}$) (بدترین استراتژی) و ایده آل فازي شهودی دایره ای ($\overline{AAI}$) (بهترین استراتژی) با استفاده از روابط (۴۵) و (۴۶):

$$\tilde{S}_{C-IFS} = \begin{matrix} & \tilde{C}_1 & \tilde{C}_r & \dots & \tilde{C}_n \\ \begin{matrix} \tilde{A}\tilde{A}I \\ \tilde{A}_1 \\ \tilde{A}_r \\ \vdots \\ \tilde{A}_m \\ \tilde{A}I \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{S}_{ca1} & \tilde{S}_{ca2} & \dots & \tilde{S}_{can} \\ \tilde{S}_{c_1} & \tilde{S}_{c_r} & \dots & \tilde{S}_{c_n} \\ \tilde{S}_{c_{r1}} & \tilde{S}_{c_{rr}} & \dots & \tilde{S}_{c_{rn}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{S}_{cm1} & \tilde{S}_{cm2} & \dots & \tilde{S}_{cmn} \\ \tilde{S}_{cai1} & \tilde{S}_{cai2} & \dots & \tilde{S}_{cain} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (44)$$

$$\tilde{A}\tilde{A}I = \min_i \tilde{S}_{cij} \quad \text{if } j \in \text{Benefit} \quad \text{and} \quad \max_i \tilde{S}_{cij} \quad \text{if } j \in \text{Cost} \quad (45)$$

$$\tilde{A}I = \max_i \tilde{S}_{cij} \quad \text{if } j \in \text{Benefit} \quad \text{and} \quad \min_i \tilde{S}_{cij} \quad \text{if } j \in \text{Cost} \quad (46)$$

• 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 گزینه های $\tilde{K}_i$ 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 گزینه های $f(\tilde{K}_i)$ با استفاده از روابط (۵۳ تا ۵۵)، رتبه بندی نهایی بر اساس بیشینه سازی تابع مطلوبیت انجام می شود.

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

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

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

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 مجموعه های فازی شهودی دایره ای برای معیارها و زیرمعیارها با استفاده از رابطه ۱۸ و در نظر گرفتن $\lambda = 1$ تعیین می شود (جدول ۶ و ۹). سپس با توجه به مراحل شرح داده شده 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 بدست می آید (جدول ۱۲). نتایج نشان داد که شاخص های «آگاهی عمومی از محصولات بازیافت شده»، «پتانسیل بازار»، «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 پایه های یک اکوسیستم پایدار را تشکیل می دهند.

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

	C1 (زیست محیطی)	C2 (اقتصادی)	C3 (اجتماعی)	C4 (فنی)
A1	(۰.۸۷, ۰.۱۰, ۰.۱۵)	(۰.۸۰, ۰.۱۵, ۰.۱۲)	(۰.۷۵, ۰.۲۰, ۰.۱۸)	(۰.۸۹, ۰.۰۸, ۰.۱۰)
A2	(۰.۹۰, ۰.۰۸, ۰.۱۴)	(۰.۹۲, ۰.۰۶, ۰.۰۹)	(۰.۹۴, ۰.۰۴, ۰.۰۷)	(۰.۹۲, ۰.۰۶, ۰.۰۸)
A3	(۰.۷۵, ۰.۲۰, ۰.۲۲)	(۰.۸۹, ۰.۰۹, ۰.۱۱)	(۰.۸۵, ۰.۱۲, ۰.۱۵)	(۰.۸۴, ۰.۱۳, ۰.۱۶)
A4	(۰.۸۱, ۰.۱۵, ۰.۱۹)	(۰.۹۵, ۰.۰۳, ۰.۰۵)	(۰.۹۲, ۰.۰۶, ۰.۰۸)	(۰.۷۷, ۰.۱۹, ۰.۲۱)
A5	(۰.۷۹, ۰.۱۷, ۰.۲۰)	(۰.۹۲, ۰.۰۶, ۰.۰۸)	(۰.۸۲, ۰.۱۴, ۰.۱۷)	(۰.۸۹, ۰.۰۸, ۰.۱۱)
A6	(۰.۸۹, ۰.۰۸, ۰.۱۳)	(۰.۸۷, ۰.۱۰, ۰.۱۴)	(۰.۸۵, ۰.۱۲, ۰.۱۶)	(۰.۸۵, ۰.۱۲, ۰.۱۵)
A7	(۰.۹۵, ۰.۰۳, ۰.۰۴)	(۰.۷۴, ۰.۲۱, ۰.۲۳)	(۰.۸۵, ۰.۱۲, ۰.۱۶)	(۰.۸۵, ۰.۱۲, ۰.۱۵)

	C1 (زیست محیطی)	C2 (اقتصادی)	C3 (اجتماعی)	C4 (فنی)
A8	(۰.۷۸, ۰.۱۸, ۰.۲۱)	(۰.۹۵, ۰.۰۳, ۰.۰۵)	(۰.۸۷, ۰.۱۰, ۰.۱۴)	(۰.۹۰, ۰.۰۷, ۰.۰۹)
A9	(۰.۷۴, ۰.۲۱, ۰.۲۴)	(۰.۸۲, ۰.۱۴, ۰.۱۷)	(۰.۷۷, ۰.۱۹, ۰.۲۲)	(۰.۸۷, ۰.۱۰, ۰.۱۳)
A10	(۰.۷۸, ۰.۱۸, ۰.۲۱)	(۰.۸۶, ۰.۱۱, ۰.۱۵)	(۰.۸۶, ۰.۱۱, ۰.۱۵)	(۰.۸۸, ۰.۰۹, ۰.۱۲)

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

	C1 (زیست محیطی)	C2 (اقتصادی)	C3 (اجتماعی)	C4 (فنی)
A1	۰.۳۳	۰.۲۷	۰.۲۷	۰.۳۲
A2	۰.۳۴	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۲
A3	۰.۲۹	۰.۳۲	۰.۳۱	۰.۳۱
A4	۰.۳۱	۰.۳۳	۰.۳۲	۰.۲۹
A5	۰.۳۰	۰.۳۲	۰.۳۱	۰.۳۲

	C1 (زیست محیطی)	C2 (اقتصادی)	C3 (اجتماعی)	C4 (فنی)
A6	۰.۳۳	۰.۳۲	۰.۳۲	۰.۳۱
A7	۰.۳۳	۰.۲۹	۰.۳۲	۰.۳۱
A8	۰.۳۰	۰.۳۳	۰.۳۲	۰.۳۲
A9	۰.۲۹	۰.۳۱	۰.۳۰	۰.۳۲
A10	۰.۳۰	۰.۳۲	۰.۳۲	۰.۳۲

جدول ۸. محاسبه وزن نهایی هر شاخص

	C1 (زیست محیطی)	C2 (اقتصادی)	C3 (اجتماعی)	C4 (فنی)
وزن هر معیار	۰.۱۷۷	۰.۳۱۱	۰.۳۴۲	۰.۱۷۰

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 v	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 v	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 v	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 v	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 v	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 v	0.13	0.17	0.23	0.22	0.20	0.15	0.21	0.21	0.24	0.19	0.16	0.19
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 مجموعه های فازی شهودی نرمال سازی شده

Normalize d	C1 ۱	C1 ۲	C1 ۳	C2 ۱	C2 ۲	C2 ۳	C3 ۱	C3 ۲	C3 ۳	C4 ۱	C4 ۲	C4 ۳
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	۰.۰۹۹	۰.۱۰۴	۰.۱۰۰	۰.۰۴۵	۰.۱۵۹	۰.۰۶۱	۰.۰۶۰	۰.۱۵۴	۰.۰۳۲	۰.۰۴۳	۰.۱۰۵	۰.۰۳۹

جدول ۱۲. محاسبه وزن نهایی هر زیرشاخص

	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C31	C32	C33	C41	C42	C43
W_j	۰.۰۱ ۷۵	۰.۰۱ ۸۴	۰.۰۱ ۷۷	۰.۰۱ ۴۰	۰.۰۴ ۹۵	۰.۰۱ ۹۰	۰.۰۲ ۰۵	۰.۰۵ ۲۶	۰.۰۱ ۰۹	۰.۰۰ ۷۳	۰.۰۱ ۷۹	۰.۰۰ ۶۶

مرحله چهار: رتبه بندی استراتژی ها

در این مرحله استراتژی ها با استفاده از روش CIFS-MARCOS محاسبه و استراتژی ها رتبه بندی شدند (جدول ۱۳ و ۱۴). نتایج نشان می دهد، تولید منسوجات پایدار از ضایعات غذایی در جایگاه نخست قرار گرفت؛ زیرا هم زمان ارزش افزوده اقتصادی و کاهش اثرات زیست محیطی را محقق می کند. پس از این استراتژی، بسته بندی پایدار، تولید مواد غذایی جدید از ضایعات و تولید انرژی زیستی به ترتیب در رتبه های بعدی قرار گرفتند. این رتبه بندی حاکی از آن است که راهبرد های موفق، آن هایی هستند که با بستن چرخه منابع، هم زمان به خلق ارزش اقتصادی می پردازند و از این رو، بیشترین پتانسیل را برای پیشبرد اهداف توسعه پایدار دارا می باشند.

جدول ۱۳. ماتریس اولیه توسعه یافته با امتیاز هر مجموعه فازی شهودی دایره ای و راه حل ایده آل و

ضد ایده آل

	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C31	C32	C33	C41	C42	C43
AAI	۰.۳۰	۰.۲۹	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۲۷	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۲۵	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۲۸	۰.۳۳
A1	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۹	۰.۴۰	۰.۴۶	۰.۳۳	۰.۴۲	۰.۳۷	۰.۴۲	۰.۴۰	۰.۳۴	۰.۳۳
A2	۰.۳۰	۰.۳۳	۰.۴۱	۰.۳۳	۰.۳۰	۰.۳۸	۰.۳۳	۰.۲۹	۰.۳۴	۰.۳۷	۰.۳۳	۰.۳۳
A3	۰.۳۵	۰.۳۷	۰.۵۴	۰.۳۵	۰.۳۳	۰.۳۷	۰.۳۳	۰.۳۹	۰.۳۶	۰.۳۸	۰.۳۳	۰.۳۹
A4	۰.۳۷	۰.۳۹	۰.۳۷	۰.۳۴	۰.۲۷	۰.۳۷	۰.۳۵	۰.۲۹	۰.۳۵	۰.۳۳	۰.۲۸	۰.۳۴
A5	۰.۳۶	۰.۳۵	۰.۵۰	۰.۳۵	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۴۶	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۳
A6	۰.۳۷	۰.۲۹	۰.۳۴	۰.۳۶	۰.۳۲	۰.۳۹	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۴۱	۰.۳۸	۰.۳۴
A7	۰.۳۲	۰.۳۱	۰.۳۳	۰.۴۱	۰.۵۱	۰.۴۰	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۶	۰.۳۵	۰.۴۲
A8	۰.۳۹	۰.۳۹	۰.۳۹	۰.۳۳	۰.۲۸	۰.۳۷	۰.۴۲	۰.۲۵	۰.۳۳	۰.۳۴	۰.۴۰	۰.۳۳
A9	۰.۴۶	۰.۴۱	۰.۳۹	۰.۳۸	۰.۶۱	۰.۴۶	۰.۳۳	۰.۴۴	۰.۴۳	۰.۳۳	۰.۴۲	۰.۳۷
A10	۰.۴۲	۰.۴۲	۰.۴۰	۰.۳۸	۰.۴۵	۰.۳۴	۰.۴۵	۰.۳۷	۰.۳۳	۰.۳۷	۰.۳۴	۰.۴۱
AI	۰.۴۶	۰.۴۲	۰.۵۴۵	۰.۴۱	۰.۶۱	۰.۴۶	۰.۴۶	۰.۴۴	۰.۴۳	۰.۴۱	۰.۴۲	۰.۴۲

جدول ۱۴. محاسبه درجه مطلوبیت، تابع مطلوبیت و رتبه بندی گزینه ها

Ai	Si	Ki-	Ki+	f(Ki-)	f(Ki+)	f(Ki)	Rank
AAI	۶.۱۳۸						
A1	۷.۳۴۳	۱.۱۹۶	۰.۸۴۲	۰.۴۱۳	۰.۵۸۶	۰.۶۵۲	۳
A2	۶.۶۶۳	۱.۰۸۵	۰.۷۶۴	۰.۴۱۳	۰.۵۸۶	۰.۵۹۲	۱۰
A3	۷.۳۰۳	۱.۱۸۹	۰.۸۳۸	۰.۴۱۳	۰.۵۸۶	۰.۶۴۹	۴
A4	۶.۷۵۴	۱.۱۰۰	۰.۷۷۵	۰.۴۱۳	۰.۵۸۶	۰.۶۰۰	۹
A5	۷.۰۱۶	۱.۱۴۲	۰.۸۰۵	۰.۴۱۳	۰.۵۸۶	۰.۶۲۳	۶
A6	۶.۹۵۰	۱.۱۳۲	۰.۷۹۷	۰.۴۱۳	۰.۵۸۶	۰.۶۱۷	۸
A7	۷.۱۰۸	۱.۱۵۸	۰.۸۱۵	۰.۴۱۳	۰.۵۸۶	۰.۶۳۱	۵
A8	۷.۰۸۸	۱.۱۵۴	۰.۸۱۳	۰.۴۱۳	۰.۵۸۶	۰.۶۳۰	۷
A9	۸.۱۱۰	۱.۳۲۱	۰.۹۳۰	۰.۴۱۳	۰.۵۸۶	۰.۷۲۰	۱
A10	۷.۶۰۱	۱.۲۳۸	۰.۸۷۲	۰.۴۱۳	۰.۵۸۶	۰.۶۷۵	۲
AI	۸.۷۱۳						

مرحله ۵. تحلیل حساسیت

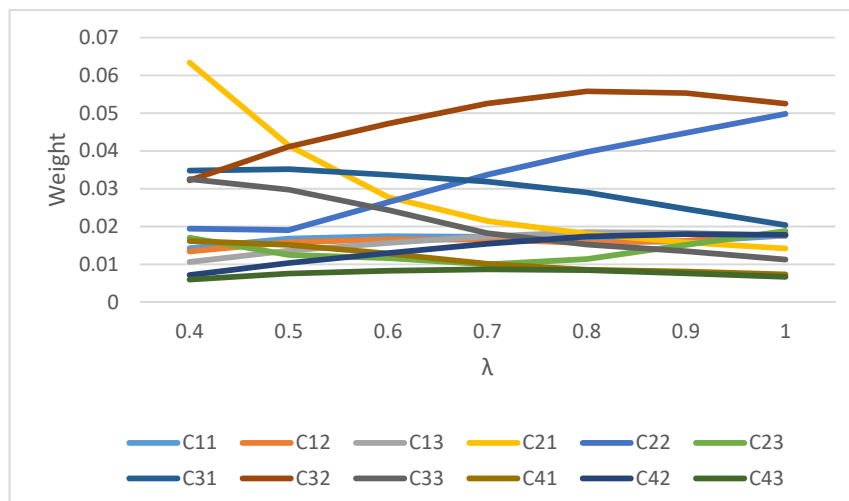
تحلیل حساسیت برای ارزیابی پایداری نتایج انجام شد. در بخش اول، تأثیر تغییر نگرش تصمیم گیرنده λ بر وزن معیارها بررسی شد. در بخش دوم، این تغییرات بر رتبه بندی اعمال و نتایج مقایسه گردید.

۴-۱. 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 نگرش های بدبینانه، شاخص های هزینه-منفعت و ایمنی غذایی و در نگرش های خوش بینانه، آگاهی عمومی و پتانسیل بازار وزن بالاتری یافتند (جدول ۱۵، شکل ۲).

جدول ۱۵. تغییرات وزن شاخص ها با تغییر نگرش تصمیم گیرندگان

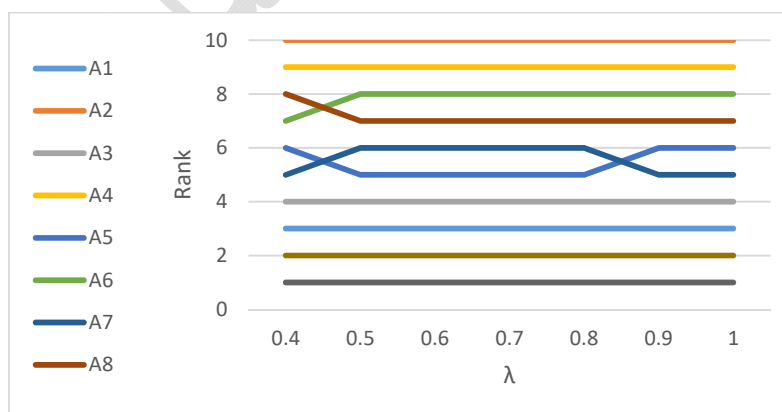
λ	۰.۴	۰.۵	۰.۶	۰.۷	۰.۸	۰.۹	۱
C11	۰.۰۱۴	۰.۰۱۷	۰.۰۱۷	۰.۰۱۷	۰.۰۱۶	۰.۰۱۶	۰.۰۱۷
C12	۰.۰۱۳	۰.۰۱۶	۰.۰۱۶	۰.۰۱۶	۰.۰۱۶	۰.۰۱۶	۰.۰۱۸
C13	۰.۰۱۱	۰.۰۱۴	۰.۰۱۵	۰.۰۱۷	۰.۰۱۸	۰.۰۱۸	۰.۰۱۷
C21	۰.۰۶۳	۰.۰۴۱	۰.۰۲۸	۰.۰۲۱	۰.۰۱۸	۰.۰۱۶	۰.۰۱۴
C22	۰.۰۱۹	۰.۰۱۹	۰.۰۲۶	۰.۰۳۳	۰.۰۳۹	۰.۰۴۵	۰.۰۴۹
C23	۰.۰۱۷	۰.۰۱۲	۰.۰۱۲	۰.۰۰۹	۰.۰۱۱	۰.۰۱۵	۰.۰۱۸
C31	۰.۰۳۴	۰.۰۳۵	۰.۰۳۴	۰.۰۳۲	۰.۰۲۹	۰.۰۲۵	۰.۰۲۰
C32	۰.۰۳۲	۰.۰۴۱	۰.۰۴۷	۰.۰۵۲	۰.۰۵۶	۰.۰۵۵	۰.۰۵۲
C33	۰.۰۳۲	۰.۰۲۹	۰.۰۲۴	۰.۰۱۸	۰.۰۱۵	۰.۰۱۳	۰.۰۱۱
C41	۰.۰۱۶	۰.۰۱۵	۰.۰۱۳	۰.۰۱۰	۰.۰۰۸	۰.۰۰۸	۰.۰۰۷
C42	۰.۰۰۷	۰.۰۱۰	۰.۰۱۳	۰.۰۱۵	۰.۰۱۷	۰.۰۱۸	۰.۰۱۸
C43	۰.۰۰۶	۰.۰۰۷	۰.۰۰۸	۰.۰۰۸	۰.۰۰۸	۰.۰۰۸	۰.۰۰۷



شکل ۲. تغییرات وزن شاخص ها با توجه به تغییرات λ

۲-۴. تغییرات رتبه بندی با تغییرات وزن در بخش ۴-۴-۱

در بخش دوم با توجه به تغییرات وزن در اثر تغییرات λ رتبه های بدست آمده به روش های MARCOS مقایسه می شود. نتایج تحلیل حساسیت روش MARCOS نشان می دهد که در بیشتر حالت های λ ثبات در رتبه گزینه ها مشاهده شده است و فقط در $\lambda = 0.5, 0.9$ جایگاه $A5$ و $A7$ و همچنین در $\lambda = 0.5$ رتبه $A6$ و $A8$ تغییر کرده است (شکل ۳).



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

۵. بحث و نتیجه گیری

این پژوهش با ارائه یک چارچوب نوین تلفیقی مبتنی بر مجموعه‌های فازی شهودی دایره‌ای (C-IFS)، روش عینی MEREC و روش رتبه بندی MARCOS، گامی مؤثر در راستای اولویت بندی استراتژی های به‌یافت ضایعات غذایی برداشت. یافته ها به وضوح نشان داد که معیارهای «پتانسیل بازار»، «آگاهی عمومی» و «کیفیت و ایمنی غذایی» به عنوان مؤثرترین شاخص ها، نقش تعیین کننده‌ای در موفقیت این راهبرد ها 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 می کند. از جنبه نظری، اصلی ترین دستاورد این مطالعه، توسعه و بکارگیری یک مدل تصمیم گیری چند معیاره مقاوم در محیط های پیچیده و همراه با عدم قطعیت است. ادغام C-IFS با روش های MEREC و MARCOS، امکان مدلسازی دقیق تر ابهام ذاتی در قضاوت های خبرگان و در نظرگیری پویایی بین معیارهای چند بعدی (زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فنی) را فراهم می سازد (Çakır & Taş, 2023; Garg et al., 2023). این چارچوب روش شناختی می تواند به عنوان پایه ای برای حل مسائل مشابه در سایر حوزه های مدیریت پسماند و ارزیابی پایداری مورد استفاده قرار گیرد. از منظر عملی، یافته ها بینش های ارزشمندی را در اختیار ذینفعان مختلف قرار می دهد:

– سیاست گذاران می توانند با اتکا بر این رتبه بندی، مشوق ها و قانون گذاری خود را به سمت استراتژی های پرفریت و نوآورانه ای مانند «تولید منسوجات پایدار» (رتبه اول) و «بسته بندی 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 به طور چشمگیری افزایش دهند (Miroso & Bremer, 2023).

رتبه بندی نهایی استراتژی‌ها که به ترتیب شامل تولید منسوجات پایدار، بسته بندی پایدار، تولید مواد غذایی جدید و انرژی زیستی می باشد، نشان‌دهنده یک گذار استراتژیک از راه حل‌های 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 رو به رو 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 روش شناختی 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 بلند مدت، می‌تواند گام‌های مؤثری در توسعه این چارچوب و رفع محدودیت‌های موجود باشد. در نتیجه، این مطالعه نه تنها یک چارچوب علمی برای اولویت بندی راهبرد ها ارائه می‌دهد، بلکه با شناسایی معیارهای کلیدی و ترسیم

چشم انداز تحول آفرین فناوری های نوین، نقشه راهی برای سیاست گذاری، سرمایه گذاری و پژوهش های آینده در مسیر تحقق اقتصاد چرخشی ترسیم می کند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافی ندارند.

ضمیمه الف

پرسشنامه ارسالی برای متخصصان

متخصص گرامی

این نظرسنجی تخصصی به عنوان بخشی از یک پروژه تحقیقاتی علمی با هدف ارزیابی استراتژی های به یافت ارزش پسماند مواد غذایی انجام می شود. بیش ها و ارزیابی های شما برای سنجش استراتژی های نوآورانه در زمینه ارتقاء ارزش پسماند مواد غذایی، بر اساس معیارهای زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فنی، بسیار حیاتی است. این نظرسنجی شامل سه بخش اصلی است:

۱. اطلاعات متخصص

- برای زمینه سازی پاسخ های شما در حوزه تخصصی تان.

۲. اهمیت معیارهای ارزیابی

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

۳. ارزیابی استراتژی ها

- شما عملکردده 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 روش شناختی: پاسخ های شما با استفاده از مجموعه های فازی شهودی تحلیل خواهند شد، که این امر امکان تفسیر دقیق تر عدم قطعیت و تردید در قضاوت متخصصان را فراهم می کند. لطفاً اطمینان داشته باشید که تمام پاسخ

ها 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،

بخش اول: اطلاعات متخصص

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)

	C1 (زیست محیطی)	C2 (اقتصادی)	C3 (اجتماعی)	C4 (فنی)
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 آلاینده ها/ انتشار گازها

C12 حفظ منابع

C13 کاهش دفن زباله

معیارهای اقتصادی:

C21 مقرون به صرفه بودن / اثربخشی هزینه

C22 پتانسیل بازار

C23 بهینه سازی منابع

معیارهای اجتماعی:

C31 امنیت غذایی

C32 آگاهی عمومی

C33 همکاری ذی نفعان

معیارهای فنی:

C41 امکان سنجی/ عملیاتی بودن

C42 کیفیت و ایمنی

C43 نوآوری و فناوری

	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C31	C32	C33	C41	C42	C43
A1												
A2												
A3												
A4												
A5												
A6												
A7												
A8												
A9												
A10												

ORCID

Iraj Rouhi	 https://orcid.org/0009-0003-8627-6058
Mahsa Pishdar	 https://orcid.org/0000-0003-4517-8796
Maryam Hassanikordede	 https://orcid.org/0009-0006-7838-4923

Reference

١. 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.
٢. 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>.
٣. 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.
٤. 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>.
٥. 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.
٦. 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).
٧. 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>.
۸. 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.
 ۹. Atanassov, K., & Marinov, E. (2021). Four distances for circular intuitionistic fuzzy sets. *Mathematics*, 9(10), 1121. <https://doi.org/10.3390/math9101121>.
 ۱۰. 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>.
 ۱۱. 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>.
 ۱۲. 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>.
 ۱۳. 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.
 ۱۴. 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.

١٥. 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
١٦. 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.
١٧. Caicedo-Paz, A.V., Hucke, 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>
١٨. Csordas, A. (2024). Foodtech for the Circular Economy. *Foresight and STI Governance* . <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2024.2.58.68>.
١٩. 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>.
٢٠. 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>.
٢١. 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.
٢٢. 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>.

۲۳. 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.
۲۴. 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>.
۲۵. 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>.
۲۶. 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.
۲۷. Garg, H., Ünver, M., Olgun, M., & Türkarslan, 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>.
۲۸. 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.
۲۹. Garcia-Gonzalez, L., Bijttebier, S., Voorspoels, S., Uyttebroek, M., Elst, K., Dejonghe, W., & De Wever, H. (2015). Cascaded valorization of food waste using bioconversions as core processes. *Advances in food biotechnology*, 427.
۳۰. 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>.

۳۱. Gong, C., Jiang, L., & Hou, L. (2022). Group decision-making with distance induced fuzzy operators. *International Journal of Fuzzy Systems*, 24(1), 440-456.
۳۲. 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>
۳۳. 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>
۳۴. 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.
۳۵. 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>.
۳۶. 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>
۳۷. 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.
۳۸. 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

- (MERECE). *Symmetry*, 13(4), 525.
<https://doi.org/10.3390/sym13040525>
۳۹. 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>.
۴۰. 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>.
۴۱. 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>
۴۲. 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>.
۴۳. 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>.
۴۴. 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>.
۴۵. 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.
۴۶. 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.
۵۶. 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
 ۵۷. 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>
 ۵۸. 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
 ۵۹. 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>.
 ۶۰. 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
 ۶۱. 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>
 ۶۲. Rizwan, S. B., Rizwan, D., Masoodi, A.F. (2025). Circular economy in the food systems: A review. *Environmental Quality Management*, ۳۴(۳), ۴۷-۶۰. <https://doi.org/10.1002/tqem.۷۰۰۹۶>.
 ۶۳. 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>.

٦٤. 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>
٦٥. 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>.
٦٦. 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.
٦٧. Son, N.H., & Hieu, T.T. (2023). Selection of welding robot by multi-criteria decision-making method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*.
٦٨. 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
٦٩. 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>
٧٠. 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>
٧١. 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

۷۲. 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>
۷۳. 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>
۷۴. 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>.
۷۵. 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>
۷۶. 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.
۷۷. 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.
۷۸. 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>
۷۹. 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>
۸۰. Urugo, M. M., Teka, T. A., Gemede, 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>.

- ^{^1}. 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.
- ^{^2}. 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>.
- ^{^3}. 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.
- ^{^4}. 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.
- ^{^5}. 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>.
- ^{^6}. 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.
- ^{^7}. 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>
- ^{^8}. 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>.