Karafan

Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University

Spring 2023, Vol. 20, No. 1, p. 409-431

Journal Homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en

TVU

:10.48301/KSSA.2023.375446.2367

An Integrated Model to Evaluate the Design Concept Using the Analytic Hierarchy Process and TOPSIS Technique Based on Rough Numbers

Navid Rafiei[1*], Farzad Amiri[2], Hanieh Mortazavi[3]

[1]Assistant Professor, Industrial Engineering Department, Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran.

[2] Assistant Professor, Industrial Engineering Department, Kermanshah University of Technology, Kermanshah, Iran.

[3]MSc. Student, Department of Industrial Engineering and Management Systems, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:
Original Research

Received: 12.17.2022
Revised: 04.14.2023
Accepted: 05.23.2023

Keyword:
Evaluation
Design Concept
Uncertainty
Rough Numbers
Analytic Hierarchy Process
TOPSIS

***Corresponding Author:**
Navid Rafiei
Email:
Navid.rafiei.ie@gmail.com

ABSTRACT

Evaluation of the design concept is known as one of the main phases in the development of product production because it determines the course of activities in the first stage of product design. However, usually, at this stage the information is subjective and depends on the judgment of experts. How to control and manage these individual uncertainties is considered an important issue. Therefore, this research presents a systematic evaluation method based on integrating the analytic hierarchy process and the Technique of Order Preference by Similarity to Ideal Solution, which is known as the TOPSIS method, and in this article, rough numbers were used to evaluate the concept of design in a subjective environment. Rough numbers are used with the purpose of introducing the preferences and subjective judgments of people in the analytic hierarchy process. Then, an improved rough number was also provided by TOPSIS method to rank the options. To demonstrate the validity and effectiveness of the proposed method, this method was implemented at the Unilever Cosmetics and Hygiene Company and designed to design the above-mentioned OMO concentrate washing powder to indicate that the proposed method can effectively increase the uncertainty in the assessment of the design concept under uncertainty conditions.

©2023 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Evaluation of design concept is seen to have a crucial part in maintaining competition in international marketplaces, which are impacted by the fast-paced competitive environment. Rapid technical advancements, changing customer needs, and increasing business competition encourage corporations to provide products that are higher in quality and cheaper in cost as quickly as possible. However, there is risk and uncertainty involved in this process. These factors should be considered in order to quickly reduce potential difficulties and assure the success of product development. A poor choice of design concept for a specific product might increase development costs, lead to fundamental changes, and jeopardize the progress of the product as a whole. It is challenging to make up for the shortcomings at this stage of product design. Therefore, the concept of final design at the initial stage of development may be considered the most significant stage among the stages of new product development due to its dangerous function in subsequent design activities. The purpose of this paper is to propose a systematic method for dealing with subjectivity and ambiguity in order to evaluate the design concept.

Methodology

Determining the relative importance of the evaluation attributes and ranking the alternatives are the two key components of evaluating the design concepts. Both elements should be considered at once to eliminate bias in the evaluation process. This paper proposes an integrated approach by incorporating rough numbers in the analysis hierarchy process (AHP) and TOPSIS technique to manage ambiguity and subjectivity in product design evaluation. To determine the relative importance, the rough number is integrated into the AHP. The TOPSIS technique based on rough numbers for evaluating design concepts is then presented in the study. The relative importance of each attribute and the final ranking of alternatives can be determined without the need for any additional auxiliary information by combining the rough hierarchical analysis process and rough TOPSIS technique. As a result, the proposed method effectively reflects the decision-makers' accurate perception and increases the certainty of the evaluation of design concepts.

Results and discussion

To evaluate the design concept, the proposed method was utilized to choose the idea of concentrate powder for laundry of all types of clothing and textiles with a laundry machine. Concentrate refers to the fact that you can wash a large volume of clothes without using much powder. Ultra-concentrated powder can efficiently and effectively remove even the most difficult stains from clothing. Therefore, this product's benefits include its capacity to effectively remove stains, especially from colored clothing, and keep the stability of the clothing's color. In light of this decision to make ultra-concentrated laundry powder, the design and research and development units developed the appropriate designs based on the factors influencing the idea of ultra-concentrated laundry powder design. Therefore, it became essential to evaluate the product's conceptual design. Five different conceptual

designs exist for the company that produces concentrated powder. To determine which of these five alternatives is best for designing the following stages, the design concept must be evaluated. Seven attributes including production cost, formulation and raw materials, compliance with current standards, customer needs analysis, suitable and pleasing design, convenient maintenance requirements, and product compatibility with the environment were primarily addressed in the first stage of design. One of these, the cost of production, had a cost-like aspect while others had a profit-like nature. In order to evaluate the various powder design alternatives, five specialists were requested to act as decision-makers and offer their opinions. This evaluation can often be broken down into two stages: evaluating the attributes using a rough AHP, and then ranking the alternatives using a rough TOPSIS.

Rough AHP was conducted to determine the weights of these seven criteria, and pairwise comparison questionnaires were distributed to five respondents. All experts completed their questionnaires in a completely consistent manner, and on the basis of this, rough numbers representing the weights of the attributes were determined. Five alternatives were chosen as the Omo ultra-concentrated laundry powder design concept for the production of Omo ultra-concentrated laundry powder and considering the seven attributes listed above. The information pertaining to each concept for each of the seven attributes was identified by 12 experts. In order to choose the best design concept for the production design of Omo ultra-concentrated laundry powder, five design alternatives were carefully evaluated and ranked using the TOPSIS technique based on rough numbers. According to the ranking rules of rough numbers, concept A1 had the highest priority, and concepts A4, A5, A2, and A3 received priorities from 2 to 5, respectively.

Conclusion

This paper proposed an integrated rough AHP and TOPSIS technique based on rough numbers in order to control ambiguity and subjectivity to address the subjectivity that currently exists in design concept evaluation. In order to capture individual preferences and measurement ambiguities, this study used approximate numbers. Initially, these numbers were used into the AHP to determine the relative weight of each attribute. They were then combined with TOPSIS to prioritize the alternatives. Combining the rough AHP and rough TOPSIS allowed the determination of the relative weights of each attribute and the ranking of the chosen alternatives. Finally, the proposed approach was applied to a case study to demonstrate the efficiency and effectiveness of the evaluation of design concept. The findings demonstrated the applicability of the suggested method, which was based on rough numbers, to many group decision-making contexts. In the future, a variety of other methods, including analytic network process, DEMATEL, Promethee, and even their integrated models, can be used in combination with the rough number to broaden the application areas and remove ambiguities in subjective decision-making conditions.

کارافن
فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای
بهار ۱۴۰۲، دوره ۲۰، شماره ۱، ۴۳۱-۴۰۹
آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2023.375446.2367

مدل یکپارچه برای ارزیابی طراحی مفهومی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و تکنیک تاپسیس مبتنی بر اعداد راف

نوید رفیعی[1*]، فرزاد امیری[2]، هانیه مرتضوی[3]

۱- استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران.
۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مدیریت مهندسی، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶
بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۲۵
پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۳/۰۲

کلید واژگان:
ارزیابی
طراحی مفهومی
عدم قطعیت
اعداد راف
فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی
تاپسیس

***نویسنده مسئول:** نوید رفیعی
پست الکترونیکی:
Navid.rafiei.ie@gmail.com

چکیده

ارزیابی طراحی مفهومی به دلیل این‌که در اولین مرحلهٔ طراحی محصول مسیر فعالیت‌ها را مشخص می‌کند، به عنوان یکی از فازهای اصلی در توسعهٔ تولید محصول شناخته شده است. با این حال، معمولاً در این مرحله اطلاعات سلیقه‌ای و ذهنی بوده و به قضاوت کارشناسان بستگی دارد. چگونگی کنترل و مدیریت این ابهامات فردی مسئلهٔ مهمی به حساب می‌آید. از این جهت، این پژوهش یک روش نظام‌مند ارزیابی را ارائه می‌دهد که بر اساس یکپارچه کردن فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و روش رتبه‌بندی نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل که به عنوان روش تاپسیس شناخته شده، بنا نهاده شده و در آنها از اعداد راف استفاده می‌گردد که طراحی مفهومی را در یک محیط ذهنی مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در این تحقیق از اعداد راف برای معرفی ارجحیت‌ها و قضاوت‌های ذهنی افراد در فرایند سلسله‌مراتبی استفاده می‌شود. سپس، یک عدد راف بهبود یافته نیز توسط روش تاپسیس ارائه می‌گردد تا گزینه‌ها را رتبه‌بندی نماید. برای نمایش اعتبار و اثربخشی روش پیشنهادی، این روش در شرکت تولیدی و پخش لوازم آرایشی بهداشتی و برای طراحی پودر لباسشویی فوق کنسانتره اجرا می‌شود تا نشان دهد که روش پیشنهادی می‌تواند به‌طور مؤثری قطعیت را در ارزیابی طراحی مفهومی در شرایط عدم قطعیت افزایش دهد.

شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰
شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

©2023 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

توسعهٔ محصول جدید به عنوان یکی از نقش‌های کلیدی و حفظ رقابت در بازارهای جهانی در نظر گرفته می‌شود که این بازارها تحت تأثیر سرعت بالای محیط رقابتی هستند. پیشرفت‌های سریع تکنولوژی، نیازهای در حال تغییر مشتریان و افزایش رقابت تجاری، شرکت‌ها را مجبور می‌سازد تا در کمترین زمان برای محصولات هزینهٔ کمتر و کیفیت بالاتر را پدید آورند. با این حال، این فرایند ریسک و عدم‌قطعیت به همراه دارد. برای حل مسائل تصادفی و اطمینان از موفقیت توسعهٔ محصول باید این عوامل را در نظر گرفت و سریعاً آنها را محدود نمود و تصمیمات صحیحی را اتخاذ کرد. توسعهٔ محصول جدید به فرایندی گفته می‌شود که همهٔ مراحل و فعالیت‌ها برای توسعهٔ محصولات جدید را شامل می‌شود. این فرایند از نقطه صفر، یعنی وقتی هیچ‌چیزی وجود ندارد آغاز شده و تا آماده‌سازی محصول برای تجاری‌شدن و عرضه به بازار ادامه دارد. پس از توسعهٔ محصول، تولید محصول در مقیاس انبوه و عرضه گسترده به بازار آغاز می‌شود. محصولی که فرایند توسعه را به‌درستی طی کرده باشد، حضور موفق‌تری هم در بازار خواهد داشت [۱].

وقتی از ایجاد محصول جدید صحبت می‌شود، به‌طور معمول اصطلاح طراحی مفهوم محصول مطرح می‌گردد. مفهوم محصول، توصیفی تقریبی از تکنولوژی، اصول کار و شکل محصول است. همچنین، توصیفی مختصر است از این که محصول چگونه نیازهای مشتری را برآورده خواهد کرد. یک مفهوم معمولاً به‌صورت یک طرح ساده یا یک مدل سه بعدی اولیه نشان داده می‌شود که معمولاً با توضیح مختصر مکتوبی همراه است. میزان رضایت مشتریان از محصول و دستیابی به موفقیت تجاری، به میزان زیادی وابسته به کیفیت مفهوم متضمن است. گاهی اوقات یک مفهوم خوب، در فازهای بعدی توسعه، به‌صورت ضعیف پیاده‌سازی می‌شود، اما یک مفهوم ضعیف به ندرت به موفقیت تجاری دست می‌یابد. خوشبختانه، تولید مفهوم، نسبتاً ارزان است و می‌توان آن را به نسبت سایر مراحل فرآیند توسعه، سریع انجام داد. فرایند تولید مفهوم با مجموعه‌ای از نیازهای مشتری و ویژگی‌های هدف آغاز می‌شود و نتیجهٔ آن، مجموعه‌ای از مفاهیم محصول است که تیم ارزیابی، انتخاب نهایی را از میان آنها به عمل می‌آورد. انتخاب بد طراحی مفهومی یک محصول خاص نه تنها هزینه توسعه را افزایش می‌دهد بلکه ممکن است تغییرات اساسی را ایجاد کند و توسعهٔ محصول کلی را به خطر اندازد. گزارش شده است که بیش از ۷۰-۸۰ درصد کل هزینه توسعهٔ محصول در مراحل اولیه طراحی مشخص می‌شود [۲]. علاوه بر این، کاستی‌ها در این مرحله به سختی در مراحل بعدی طراحی محصول جبران می‌شود. پس به دلیل نقش خطرناک آن در فعالیت‌های طراحی بعدی، طراحی مفهومی نهایی را در مرحلهٔ اولیهٔ توسعه شاید بتوان مهمترین مرحله در میان مراحل توسعهٔ محصول جدید دانست.

به‌طور کلی ارزیابی طراحی مفهومی یک مسئلهٔ تصمیم‌گیری چندمعیاره پیچیده است که بسیاری از عوامل اعم از نیازهای مشتریان، محدودیت‌ها و منابع سرمایه‌گذاری را شامل می‌شود. همچنین، یک تصمیم‌گیری گروهی است که کارشناسان بسیاری را دعوت می‌کند تا کار ارزیابی اجرای نهایی را انجام دهند. هدف این مقاله اینست که به منظور ارزیابی طراحی مفهومی یک روش سیستماتیک پیشنهاد شود تا ابهام و ذهنیت تصمیم‌گیری و کارشناسان را کنترل و مدیریت کند و با ترکیب اعداد راف، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و تکنیک تاپسیس عینیت و بی‌طرفی را افزایش دهد. اعداد راف به منظور جمع‌آوری قضاوت‌ها و ارجحیت‌ها معرفی می‌گردند تا عدم‌قطعیت را در فرایند تصمیم‌گیری کنترل نمایند. بنابراین، یک عدد راف بر اساس فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی ارائه می‌شود تا وزن معیارها را محاسبه کند و یک عدد راف بر اساس تکنیک تاپسیس ارائه می‌گردد تا گزینه‌های طراحی مفهومی را ارزیابی کند. سایر بخش‌های این مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است. بخش دوم یک پیش‌زمینه و مرور مختصر را در بر می‌گیرد. رویکرد اعداد راف در بخش سوم گنجانده شده است. بخش چهارم یک مثال کاربردی را ارائه می‌دهد و بخش پنجم حاوی نتیجه‌گیری می‌باشد.

مبانی نظری و مروری بر مطالعات گذشته

ارزیابی طراحی مفهومی

به دلیل نقش پایه‌ای و مهم ارزیابی طراحی مفهومی در توسعهٔ محصول جدید، این بحث میان پژوهشگران در تصمیم‌گیری، یک موضوع جذاب است. روش‌های تصمیم‌گیری مختلفی برای انتخاب بهترین گزینه در طراحی مفاهیم به‌کار برده شده است. آیاگ[1] (۲۰۰۵) فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و شبیه‌سازی را برای انتخاب طراحی مفهومی در محیط توسعهٔ محصول جدید ادغام کرد. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای ارزیابی گزینه‌های طراحی مفهومی اتخاذ شد و شبیه‌سازی برای انجام تحقیقات اقتصادی بیشتر مورد استفاده قرار گرفت و بهترین گزینه طراحی مفهومی با یک تحلیل هزینه‌سود مشخص گردید [۳]. کیویی و همکاران[2] (۲۰۰۸) با هدف سازگاری بالاتر ارزیابی طراحی مفهومی، روش تعریف راه‌حل ایده‌آل یکپارچه جدید را در مدل ویکور تعمیم‌یافته پیشنهاد دادند و برای تأیید عملکرد روش پیشنهادی مقایسه با سایر روش‌های کلاسیک فاصله‌ای از قبیل تاپسیس، واپراس و کوپراس انجام پذیرفت [۲]. ژای و همکاران[3] (۲۰۰۹) با هدف بررسی اثربخش و هدفمند ارزیابی طراحی مفهومی در توسعهٔ محصول جدید، تجزیه و تحلیل رابطهٔ خاکستری را به عنوان یک روش تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار دادند که شباهت بسیار بالایی به روش تاپسیس دارد [۴]. آیاگ [4] (۲۰۱۶) به منظور ارزیابی طراحی مفهومی در توسعهٔ محصول جدید یک رویکرد یکپارچه متشکل از فرایند تحلیل شبکه‌ای و اولویت‌بندی بر اساس شباهت را به راه‌حل ایده‌آل پیشنهاد دادند که با اجرای یک مطالعهٔ واقعی اثربخشی آن را به اثبات رساندند [۵]. لیو و همکاران[5] (۲۰۱۹) یک روش رادیکال را به منظور ارزیابی ایده‌های طراحی در مرحلهٔ طراحی مفهومی پیشنهاد کردند که ویژگی‌های بارز و قابل اندازه‌گیری نوآوری را در همان ابتدای توسعهٔ محصول بررسی می‌کند [۶]. فاضلی و پنگ[6] (۲۰۲۲) با یکپارچه‌سازی طراحی مبتنی بر بدیهیات توسعه‌یافته، گسترش عملکرد کیفیت و ماتریس ساختار طراحی به ایجاد طراحی مفاهیم پرداخته و با اجرای مطالعهٔ موردی برای تولید یک دستگاه توانبخشی دست، مفاهیم پیشنهادی را ارزیابی کردند و اثربخشی مطالعهٔ خود را نشان دادند [۷].

با این حال، بسیاری از اطلاعات ارزیابی طراحی مفهومی از قضاوت‌های ذهنی کارشناسان نشأت می‌گیرد که نادقیق، مبهم و متناقض هستند. از این جهت، به منظور اداره کردن ابهام و عدم‌قطعیت برخی پژوهشگران نظریه فازی را در علم تصمیم‌گیری معرفی کرده‌اند و به منظور ارزیابی طراحی مفهومی روش‌های تصمیم‌گیری متنوعی را بر اساس مجموعه‌های فازی توسعه داده‌اند. آیاگ و اُزدمیر[7] (۲۰۰۹) در ارزیابی گزینه‌های طرح مفهومی، به منظور جبران کمبودهای فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در نمایش تعاملات و وابستگی‌ها در تصمیم‌گیری، فرایند تحلیل شبکه‌ای را همراه با مجموعه‌های فازی گسترش دادند و یک فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی را ارائه کردند [۸]. مالکلی و همکاران[8] (۲۰۱۰) با ترکیب گسترش عملکرد کیفیت و تاپسیس در محیط فازی یک رویکرد مبتنی بر بهینه‌سازی را برای ارزیابی طرح مفهومی ارائه کردند [۹]. لیو و همکاران[9] (۲۰۱۳) یک رویکرد ارزیابی فازی مبتنی بر شبکه عصبی را ارائه دادند که هدف

[1] Ayağ
[2] Qi et al.
[3] Zhai et al.
[4] Ayağ
[5] Liu et al.
[6] Fazeli & Peng
[7] Ayağ & Özdemir
[8] Malekly et al.
[9] Liu et al.

اصلی آن پیش‌بینی انواع شاخص‌های قابلیت اطمینان محصولات تکاملی در مرحلهٔ طراحی مفهومی است [۱۰]. وینوه و همکاران[1] (۲۰۱۶) با رویکرد تصمیم‌گیری ترکیبی شامل دیمتل فازی، فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی و تاپسیس فازی به انتخاب طراحی مفهومی ناب پرداختند [۱۱]. اولابانجی و ام‌پوفو[2] (۲۰۲۰) به منظور شناسایی طراحی مفهومی بهینه تکنیک‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی مبتنی بر اعداد فازی و میانگین وزنی مبتنی بر اعداد فازی را توسعه دادند [۱۲]. ژو و همکاران[3] (۲۰۲۲) روشی یکپارچه را با ترکیب عبارات کلامی فازی، مدل ابری و روش تحلیل پوششی داده‌ها پیشنهاد دادند که با مدیریت ابهام و عدم‌قطعیت در اطلاعات ذهنی و کیفی، طراحی مفاهیم خدمت-تولید هوشمند را با دقت بالا ارزیابی می‌کرد [۱۳].

اما موضوع مهمی که باید به آن توجه شود اینست رویکردهای مبتنی بر نظریه و اعداد فازی و سایر رویکردهای فاصله‌ای مشابه، به‌صورت مؤثری نمی‌توانند با عدم‌قطعیت در تصمیم‌گیری مقابله کنند چرا که بسیاری از این رویکردها نیازمند در نظر گرفتن و به‌کارگیری اطلاعات کمکی و تکمیلی اضافی هستند که از جمله آنها می‌توان به تعیین تابع عضویت و تعیین مرز فاصله‌ای که به نوبهٔ خود ذهنی محسوب می‌شوند اشاره نمود. با هدف غلبه بر این کاستی‌ها و مشکلات اعداد راف معرفی شدند تا ذهنیت و ابهام در تصمیم‌گیری را مدیریت کنند که این اعداد تنها بر پایه داده‌ها بوده و به هیچگونه اطلاعات اضافی از جمله تابع عضویت نیازی ندارند. در نتیجه، می‌توان تا حد زیادی مانع عدم‌قطعیت و ذهنیت شد و در بسیاری از محدوده‌های تصمیم‌گیری گروهی، ابهام را اندازه‌گیری کرد. از طرف دیگر، نه تنها این اعداد می‌توانند در تکنیک‌های تعیین وزن معیار به‌کار برده شوند، بلکه می‌توانند در تکنیک‌های ترتیب‌دهی گزینه‌ها نیز استفاده شوند [۱۴]. بنابراین، اعداد راف و مدل‌های مختلف آن نیز به عنوان روشی مشهور برای حل عدم‌قطعیت اطلاعات سیستم در تصمیم‌گیری به‌کار گرفته می‌شود.

ژئو و ژانگ[4] (۲۰۰۸) ویکور و نظریه مجموعه راف را در انتخاب تأمین‌کننده ادغام کردند. مجموعه راف برای محاسبه اهمیت نسبی به‌کار گرفته شد و ویکور برای رتبه‌بندی تأمین‌کننده‌های کاندید اتخاذ گردید [۱۵]. لی و همکاران[5] (۲۰۰۸) یک مدل یکپارچه را با ترکیب مدل کانو، مجموعه راف و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی جهت رتبه‌بندی اهمیت الزامات مشتری پیشنهاد دادند. مجموعه راف برای تعیین الزامات مشتریان و ساده‌سازی سیستم تصمیم‌گیری مورد استفاده قرارگرفت. علاوه بر این، مجموعه راف در استخراج قوانین تصمیم‌گیری به‌کار برده شد [۱۶]. تیواری و همکاران[6] (۲۰۱۶) با هدف ارزیابی طراحی مفهومی محصول روش ویکور و مجموعه‌های راف را ترکیب کردند [۱۷]. شیدپور و همکاران[7] (۲۰۱۶) ارزیابی چندمعیاره گروهی طراحی مفهومی را با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس همراه با ترکیب نظریه مجموعه‌های راف و نظریه مجموعه‌های فازی اجرا نمودند [۱۸]. پاموکار و همکاران[8] (۲۰۱۷) با هدف مقابله با عدم قطعیت موجود در ارزیابی مناقصات دولتی مدل ترکیبی فرایند تحلیل شبکه‌ای-دیمتل راف و روش جدید تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای چند شاخصه ایده آل-واقعی راف را استفاده کردند و در مقایسه با روش‌هایی در محیط فازی یعنی الکتر، ویکور، تاپسیس و فرایند تحلیل شبکه‌ای-دیمتل مدل به‌کار گرفته شده پایداری بالاتری را از خود

[1] Vinodh et al.
[2] Olabanji & Mpofu
[3] Zhou et al.
[4] Xie et al.
[5] Li et al.
[6] Tiwari et al.
[7] Shidpour et al.
[8] Pamučar et al.

نشان داد [۱۹]. الس‌سی و ال‌ساید[1] (۲۰۱۹) یک مسئلهٔ غیرخطی چندهدفه دو سطحی را با به‌کارگیری اعداد راف توسعه دادند و برای حل آن روش‌های کوهن‌تاکر و تاپسیس مورد استفاده قرار گرفت [۲۰]. می و چن[2] (۲۰۲۱) با بهره‌گیری از شاخص‌های پایداری نامطمئن به ارزیابی و انتخاب فناوری‌های تولید هیدروژن پرداختند. به منظور تعیین وزن معیارها از روش بهترین‌بدترین راف استفاده شد و رتبه‌بندی گزینه‌های فناوری با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های مبتنی بر راف صورت گرفت و فناوری الکترولیز مبتنی بر باد به عنوان پایدارترین در اولویت اول قرار گرفت [۲۱].

اعداد راف

با توجه به عدم‌قطعیت و ویژگی‌های گروهی ارزیابی طراحی مفهومی، این‌که چگونه قضاوت‌های فردی و ارجحیت‌ها را از گروه کارشناسان و خبرگان جمع‌آوری کرد و ذهنیت را بین آنها مدیریت کرد تبدیل به یک امر ضروری شده است. در این مقاله، اعداد راف معرفی شده‌اند تا این چنین مسائل را مدیریت کنند. عدد راف برای اولین بار با الهام گرفتن از مجموعه‌های راف پیشنهاد گردید، با این هدف که قضاوت‌های ذهنی مشتریان را کنترل کنند و مرز فاصله‌ها را تعیین نمایند. یک عدد راف معمولاً شامل یک حد پایین، حد بالا و فاصله مرزی راف است که فقط به داده‌های اصلی وابسته هستند. در نتیجه، این عدد به هیچ اطلاعات کمکی نیاز ندارد و بهتر می‌تواند ادراک واقعی کارشناسان را دریافت کند و قطعیت تصمیم‌گیری را بهبود بخشد [۲۲].

فرض کنید U یک مجموعه مرجع است که شامل تمام اشیا است، Y یک شی دلخواه در U می‌باشد؛ R مجموعه‌ای از طبقه‌های t ($G_1, G_2, \ldots, G_t$) است که همه اشیای درون U را تحت پوشش قرار می‌دهد، $R = (G_1, G_2, \ldots, G_t)$ است. اگر این طبقه‌ها به صورت $G_1 < G_2 < \ldots < G_t$ دسته‌بندی شوند پس هر Y عضو U، G_q عضو R و $1 \le q \le t$، و تقریب پایین ($\underline{Apr}(G_q)$)، تقریب بالا ($\overline{Apr}(G_q)$) و ناحیه مرزی ($Bnd(G_q)$) طبقه G_q به ترتیب به صورت زیر فرمول‌های (۱)، (۲) و (۳) تعریف می‌شوند:

$$\underline{Apr}(G_q) = \cup \{Y \in U/R(Y) \le G_q\} \quad (۱)$$

$$\overline{Apr}(G_q) = \cup \{Y \in U/R(Y) \ge G_q\} \quad (۲)$$

$$Bnd(G_q) = \cup \{Y \in U/R(Y) \ne G_q\} = \{Y \in U/R(Y) > G_q\} \cup \{Y \in U/R(Y) < G_q\} \quad (۳)$$

سپس، G_q را می‌توان با عدد راف ($RN(G_q)$) نشان داد که با حد پایین ($\underline{\lim}(G_q)$) و حد بالای ($\overline{\lim}(G_q)$) تعیین می‌شود، که در اینجا

$$\underline{\lim}(G_q) = \frac{1}{M_L} \sum R(Y) | Y \in \underline{Apr}(G_q) \quad (۴)$$

$$\overline{\lim}(G_q) = \frac{1}{M_u} \sum R(Y) | Y \in \overline{Apr}(G_q) \quad (۵)$$

[1] Elsisy & El Sayed
[2] Mei & Chen

$$RN\ (G_q) = \left[\underline{\lim}(G_q), \overline{\lim}(G_q) \right] \quad (۶)$$

که M_L و M_U، اعداد اشیا هستند که حاوی تقریب پایین $\underline{Apr}(G_q)$ و تقریب بالای $\overline{Apr}(G_q)$ می‌باشند.
بدیهی است که حدود پایین و بالا ارزش متوسط عناصر را نشان می‌دهند که شامل تقریب پایین و تقریب بالای متناظر هستند. فاصلهٔ بین آنها به عنوان فاصلهٔ مرزی راف ($IRBnd(G_q)$) تعریف می‌شود:

$$IRBnd(G_q) = \overline{lim_q} \underline{lim_q} \quad (۷)$$

فاصلهٔ مرزی راف ابهام G_q را نشان می‌دهد که بزرگتر از یک آن به معنی ابهام بیشتر بوده، درحالی‌که کوچکتر از یک نشان‌دهنده دقت بهتر است. سپس، اطلاعات ذهنی می‌توانند با اعداد راف نمایش داده شوند.
به دلیل شباهت با اعداد فاصله‌ای، قوانین حسابی اعداد فاصله‌ای را می‌توان برای اعداد راف مورد استفاده قرار داد [۱۴]. دو عدد راف $RN(\alpha) = [Lim(\alpha), Lim(\alpha)]$ و $RN(\beta) = [Lim(\beta), Lim(\beta)]$ را در نظر بگیرید، μ یک ثابت غیر صفر است، سپس:

$$RN\ (\alpha) \times \mu = \left[\underline{\lim}(\alpha), \overline{\lim}(\alpha) \right] \times \mu = \left[\mu \times \underline{\lim}(\alpha), \mu \times \overline{\lim}(\alpha) \right] \quad (۸)$$

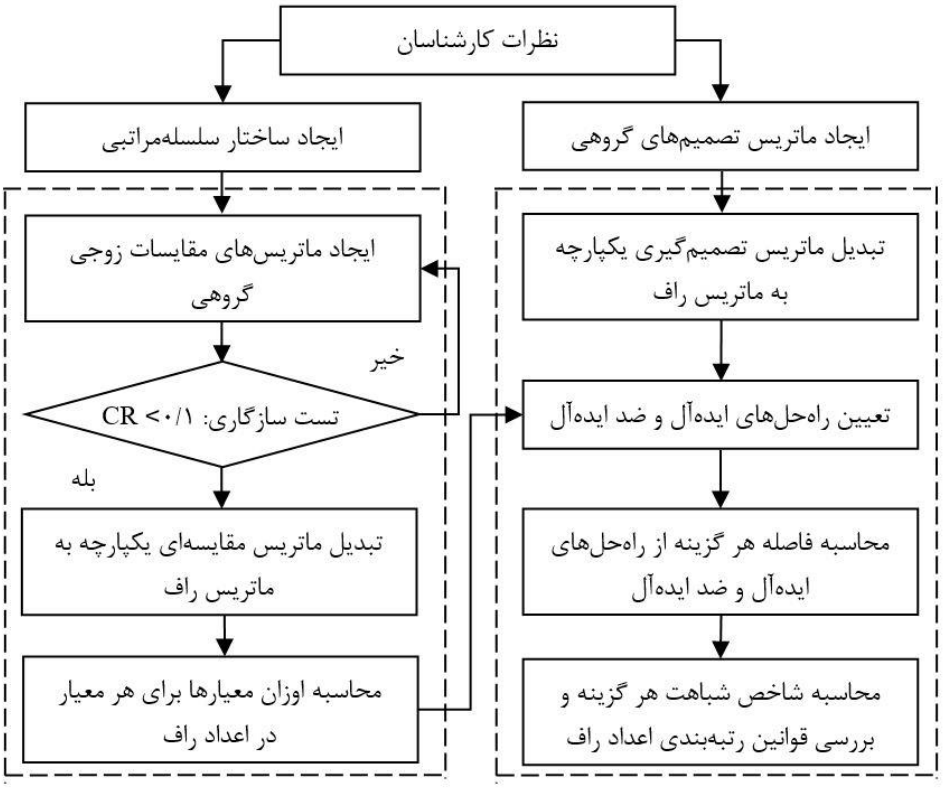
$$\begin{aligned} RN\ (\alpha) + RN\ (\beta) &= \left[\underline{\lim}(\alpha), \overline{\lim}(\alpha) \right] + \left[\underline{\lim}(\beta), \overline{\lim}(\beta) \right] \\ &= \left[\underline{\lim}(\alpha) + \underline{\lim}(\beta), \overline{\lim}(\alpha) + \overline{\lim}(\beta) \right] \end{aligned} \quad (۹)$$

$$\begin{aligned} RN\ (\alpha) \times RN\ (\beta) &= \left[\underline{\lim}(\alpha), \overline{\lim}(\alpha) \right] \times \left[\underline{\lim}(\beta), \overline{\lim}(\beta) \right] \\ &= \left[\underline{\lim}(\alpha) \times \underline{\lim}(\beta), \overline{\lim}(\alpha) \times \overline{\lim}(\beta) \right] \end{aligned} \quad (۱۰)$$

روش‌شناسی

چارچوب روش پیشنهادی

به‌طور کلی، ارزیابی طراحی مفهومی عمدتاً شامل دو قسمت می‌شود: تعیین اهمیت نسبی معیارهای ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها. به منظور برطرف نمودن تبعیض در فرایند ارزیابی، هر دو قسمت باید به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته شوند. برای هدف مدیریت ابهام و ذهنیت در ارزیابی طراحی محصول، این مقاله با معرفی اعداد راف در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و روش تاپسیس یک رویکرد یکپارچه را پیشنهاد می‌دهد. عدد راف برای محاسبه اهمیت نسبی با فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی ادغام شده است. سپس مقاله یک روش تاپسیس راف را برای ارزیابی گزینه‌های طراحی مفهومی ارائه می‌دهد. با ترکیب فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی راف و روش تاپسیس راف اهمیت نسبی هر معیار و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها، بدون هیچ اطلاعات کمکی دیگری می‌تواند مشخص شود. بنابراین، روش پیشنهادی به‌طور مؤثری ادراک صحیح تصمیم‌گیرندگان را منعکس کرده و قطعیت ارزیابی طراحی مفهومی را تقویت می‌کند. چارچوب روش پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. چارچوب روش ارزیابی طراحی مفهومی پیشنهادی.

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی راف برای وزن‌دهی معیارها

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از مشهورترین روش‌ها در مسائل تصمیم‌گیری مختلف بوده که به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است، به خصوص در شرایطی که وزن معیارها را مشخص می‌کند. این فرایند توانایی اندازه‌گیری سازگاری ارجحیت‌ها، اداره کردن تصمیم‌گیرندگان متعدد، رسیدگی به معیارهای اصلی و فرعی و مدیریت تصمیم‌گیری مربوط به قضاوت‌های ذهنی را فراهم می‌کند [۲۳]. به دلیل ابهام و ذهنیت در تصمیم‌گیری، این مقاله عدد راف را برای ترکیب با فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی ارائه می‌دهد تا قضاوت‌های فردی را گردآوری کند و اهمیت نسبی هر معیار را محاسبه نماید. رویکرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی راف به صورت زیر توصیف می‌شود [۱]:

- **گام ۱.** شناسایی هدف، معیارها و گزینه‌های ارزیابی. ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی با هدف ارزیابی در بالاترین سطح، معیارها در سطح میانی و گزینه‌ها در پایین‌ترین سطح.
- **گام ۲.** بررسی اصول فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و تشکیل گروهی از ماتریس‌های مقایسات زوجی. ماتریس مقایسات زوجی e اُمین کارشناس به‌صورت فرمول (۱۱) می‌باشد که x^{e}_{gh} اهمیت نسبی معیار g بر معیار h را توسط کارشناس e نشان می‌دهد. در این ماتریس $1 \le g \le m$، $1 \le h \le m$ و $1 \le e \le s$ و همچنین، m تعداد معیارها و s تعداد کارشناسان است.

$$B_e = \begin{bmatrix} 1 & x^e_{12} & \text{L} & x^e_{1m} \\ x^e_{21} & 1 & \text{L} & x^e_{2m} \\ \text{M} & \text{M} & \text{O} & \text{M} \\ x^e_{m1} & x^e_{m2} & \text{L} & 1 \end{bmatrix} \quad (۱۱)$$

محاسبه حداکثر مقدار ویژه λ^e_{max} برای B_e و سپس محاسبه نرخ سازگاری با استفاده از فرمول (۱۲). در این فرمول شاخص سازگاری تصادفی (RI) مطابق با مقدار m از جدول ۱ استخراج می‌شود.

$$CR = \frac{\lambda^e_{max}}{(m-1)RI} \quad (۱۲)$$

جدول ۱. شاخص سازگاری تصادفی (RI).

m	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰/۵۲	۰/۸۹	۱/۱۱	۱/۲۵	۱/۳۵	۱/۴۰	۱/۴۵	۱/۴۹

انجام آزمون سازگاری. اگر شرط CR < ۰/۱ باشد ماتریس مقایسات قابل قبول است. در غیر این صورت، قضاوت‌های کارشناسان باید تا زمان برقراری شرط سازگاری تکرار شود. سپس ماتریس مقایسات یکپارچه به صورت زیر ایجاد می‌شود:

$$\tilde{B} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1m} \\ \tilde{x}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{x}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (۱۳)$$

که $\tilde{x}_{gh} = \{\tilde{x}^1_{gh}, \tilde{x}^2_{gh}, \ldots, \tilde{x}^s_{gh}\}$ است. $\tilde{x}_{gh}$ دنباله‌ای از اهمیت‌های نسبی معیار g بر معیار h می‌باشد.

- **گام ۳.** تبدیل عنصر x^e_{gh} در $\tilde{B}$ به عدد راف $RN(x^e_{gh})$ با استفاده از فرمول‌های (۱) تا (۶):

$$RN(x^e_{gh}) = \left[x^{eL}_{gh}, x^{eU}_{gh}\right] \quad (۱۴)$$

که در اینجا x^{eL}_{gh} حد پایین $RN(x^e_{gh})$ می‌باشد درحالی‌که x^{eU}_{gh} حد بالا است. سپس دنباله راف $RN(\tilde{x}_{gh})$ به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$RN(\tilde{x}_{gh}) = \{\left[x^{1L}_{gh}, x^{1U}_{gh}\right], \left[x^{2L}_{gh}, x^{2U}_{gh}\right], \ldots, \left[x^{sL}_{gh}, x^{sU}_{gh}\right]\} \quad (۱۵)$$

این مجموعه بیشتر با یک عدد راف متوسط $RN(x_{gh})$ تفسیر می‌شود که توسط فرمول‌های حسابی (۸) تا (۱۰) حاصل می‌گردد:

$$RN(x_{gh}) = \left[x_{gh}^{L}, x_{gh}^{U}\right] = \left[\frac{x_{gh}^{1L} + x_{gh}^{2L} + \ldots + x_{gh}^{sL}}{S}, \frac{x_{gh}^{1U} + x_{gh}^{2U} + \ldots + x_{gh}^{sU}}{S}\right] \quad (۱۶)$$

که در x^{L}_{gh} حد پایین $RN(x_{gh})$ می‌باشد درحالی‌که x^{U}_{gh} حد بالا است. سپس ماتریس مقایسات راف M تشکیل می‌شود:

$$M = \begin{bmatrix} [1,1] & \left[x_{12}^{L}.x_{12}^{U}\right] & \text{L} & \left[x_{1m}^{L}.x_{1m}^{U}\right] \\ \left[x_{21}^{L}.x_{21}^{U}\right] & [1,1] & \text{L} & \left[x_{2m}^{L}.x_{2m}^{U}\right] \\ \text{M} & \text{M} & \text{O} & \text{M} \\ \left[x_{m1}^{L}.x_{m1}^{U}\right] & \left[x_{m2}^{L}.x_{m2}^{U}\right] & \text{L} & [1,1] \end{bmatrix} \quad (۱۷)$$

- **گام ۴.** محاسبه وزن راف هر معیار با استفاده از فرمول زیر. در این فرمول w'_g حالت بی‌مقیاس شده است.

$$w_g = \left[\sqrt[m]{\prod_{h=1}^{m} x_{gh}^{L}}, \sqrt[m]{\prod_{h=1}^{m} x_{gh}^{U}}\right], \text{and} w'_g = w_g / max(w_g^{U}) \quad (۱۸)$$

تاپسیس راف برای ارزیابی گزینه‌ها

تاپسیس یا تکنیک اولویت‌بندی بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل، نخستین بار در سال ۱۹۸۱ معرفی شد، یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است. از این تکنیک می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه گزینه‌های مختلف و انتخاب بهترین گزینه و تعیین فواصل بین گزینه‌ها و گروه‌بندی آنها استفاده نمود. بر اساس این روش بهترین گزینه یا راه‌حل، نزدیک‌ترین راه‌حل به راه‌حل با گزینه ایده‌آل و دورترین از راه‌حل غیر ایده‌آل است. راه‌حل ایده‌آل، راه‌حلی است که بالاترین سود و کمترین هزینه را داشته باشد، در حالی که راه‌حل غیر ایده‌آل، راه‌حلی است که کمترین سود و بیشترین هزینه را داشته باشد [۵]. به دلیل ابهام و ذهنیت در تصمیم‌گیری، این مقاله عدد راف را با تاپسیس ارائه می‌دهد تا گزینه‌ها را ارزیابی و رتبه‌بندی کند. تاپسیس با تزریق عدد اعداد راف به آن بازنویسی می‌شود:

- **گام ۱.** تشکیل گروهی از ماتریس‌های تصمیم‌گیری و تبدیل آنها به ماتریس تصمیم راف D مطابق با فرمول‌های (۱) تا (۱۰). که $\tilde{f}^{e}_{ij} = \{f^{1}_{ij}, f^{2}_{ij}, \ldots, f^{s}_{ij}\}$ است. f^{e}_{ij} مقدار ارزیابی معیار j را برای گزینه i توسط کارشناس e نشان می‌دهد. ساخت ماتریس D مشابه M می‌باشد به گونه‌ای که در بخش قبل بیان شد.

$$D = \begin{bmatrix} \left[f_{11}^{L}.f_{11}^{U}\right] & \left[f_{12}^{L}.f_{12}^{U}\right] & \text{L} & \left[f_{1m}^{L}.f_{1m}^{U}\right] \\ \left[f_{21}^{L}.f_{21}^{U}\right] & \left[f_{22}^{L}.f_{22}^{U}\right] & \text{L} & \left[f_{2m}^{L}.f_{2m}^{U}\right] \\ \text{M} & \text{M} & \text{O} & \text{M} \\ \left[f_{m1}^{L}.f_{m1}^{U}\right] & \left[f_{m2}^{L}.f_{m2}^{U}\right] & \text{L} & \left[f_{nm}^{L}.f_{nm}^{U}\right] \end{bmatrix} \quad (۱۹)$$

- **گام ۲.** تشکیل ماتریس تصمیم بی‌مقیاس راف $\tilde{N}$. با جایگزینی $\tilde{n}_{ij}$ در ماتریس D ماتریس تصمیم بی‌مقیاس راف شکل می‌گیرد. درایه‌های این ماتریس برای معیارهای مثبت و منفی راف به ترتیب از فرمول‌های زیر محاسبه می‌شوند:

$$\tilde{n}_{ij} = \left(\frac{f_{ij}^{L}}{Maxf^{U}{}_{ij}}, \frac{f_{ij}^{U}}{Maxf^{U}{}_{ij}}\right), for positive criteria \quad (۲۰)$$

$$\tilde{n}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{Minf^{L}{}_{ij}}, \frac{a_j^-}{Minf^{L}{}_{ij}}\right), for negative criteria \quad (۲۱)$$

- **گام ۳.** با جایگزینی $\tilde{v}_{ij}$ در ماتریس $\tilde{N}$ ماتریس تصمیم راف وزن‌دار $\tilde{V}$ شکل می‌گیرد. با توجه به وزن معیارهای مختلف، درایه‌های راف وزن‌دار از ضرب کردن ضریب اهمیت مربوط به هر معیار در درایه‌های متناظر در ماتریس تصمیم بی‌مقیاس راف و به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{n}_{ij}.\tilde{w}_g = \left(\frac{f_{ij}^{L}}{Maxf^{U}{}_{ij}}, \frac{f_{ij}^{U}}{Maxf^{U}{}_{ij}}\right).(w^{L}{}_j, w^{U}{}_j), for positive criteria \quad (۲۲)$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{n}_{ij}.\tilde{w}_g = \left(\frac{a_j^-}{Minf^{L}{}_{ij}}, \frac{a_j^-}{Minf^{L}{}_{ij}}\right).(w^{L}{}_j, w^{U}{}_j), for negative criteria \quad (۲۳)$$

- **گام ۴.** شناسایی بهترین مقدار V_j^* و بدترین مقدار V_j^- هر معیار درون ماتریس $\tilde{V}$ با استفاده از فرمول‌های (۲۴) و (۲۵):

$$V_j^* = \left\{\left(\max_i v_{ij}^{U} | j \in positive criteria\right) or \left(\min_i v_{ij}^{L} | j \in negative criteria\right)\right\} \quad (۲۴)$$

$$V_j^- = \left\{\left(\min_i v_{ij}^{L} | j \in postive criteria\right) or \left(\max_i v_{ij}^{U} | j \in negative criteria\right)\right\} \quad (۲۵)$$

- **گام ۵.** محاسبه فاصله از راه‌حل ایده‌آل و راه‌حل ضد ایده‌آل راف. فاصله هر گزینه از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل راف به ترتیب از فرمول‌های زیر قابل محاسبه است:

$$d_i^{L+} = \sqrt{\sum_{j \in positive criteria} \left(V_j^* - v_{ij}^{U}\right)^2 + \sum_{j \in negative criteria} \left(v_{ij}^{L} - V_j^*\right)^2} \quad (۲۶)$$

$$d_i^{U+} = \sqrt{\sum_{j \in postive criteria} \left(V_j^* - v_{ij}^{L}\right)^2 + \sum_{j \in negative criteria} \left(v_{ij}^{U} - V_j^*\right)^2} \quad (۲۷)$$

$$d_i^{L-} = \sqrt{\sum_{j\in postivecriteria} (V_j^- - v_{ij}^U)^2 + \sum_{j\in negativecriteria} (v_{ij}^L - V_j^-)^2} \quad (۲۸)$$

$$d_i^{U-} = \sqrt{\sum_{j\in positivecriteria} (V_j^- - v_{ij}^L)^2 + \sum_{j\in negativecriteria} (v_{ij}^U - V_j^-)^2} \quad (۲۹)$$

- **گام ۶.** محاسبه شاخص شباهت. شاخص شباهت از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Cl_i{}^L = \frac{d_i^{L-}}{d_i^{L-} + d_i^{L+}}, i = 1,2,\dots,a. \quad (۳۰)$$

$$Cl_i{}^U = \frac{d_i^{U-}}{d_i^{U-} + d_i^{U+}}, i = 1,2,\dots,a. \quad (۳۱)$$

- **گام ۷.** رتبه‌بندی گزینه‌ها. قانون رتبه‌بندی اعداد فاصله‌ای به شرح زیر است:

اگر فاصله مرزی راف یک عدد راف حد اکید نباشد، توسط یکی از موارد زیر مرتب می‌شود:

(الف) اگر $\underline{\mathrm{Lim}}(\alpha) \le \underline{\mathrm{Lim}}(\beta)$ و $\overline{\mathrm{Lim}}(\beta) < \overline{\mathrm{Lim}}(\alpha)$ یا $\underline{\mathrm{Lim}}(\beta) < \underline{\mathrm{Lim}}(\alpha)$ و $\overline{\mathrm{Lim}}(\alpha) \le \overline{\mathrm{Lim}}(\beta)$ باشد، سپس $\mathrm{RN}(\alpha) > \mathrm{RN}(\beta)$ است.

(ب) اگر $\underline{\mathrm{Lim}}(\beta) = \underline{\mathrm{Lim}}(\alpha)$ و $\overline{\mathrm{Lim}}(\beta) = \overline{\mathrm{Lim}}(\alpha)$ باشد، سپس $\mathrm{RN}(\beta) = \mathrm{RN}(\alpha)$ است.

اگر فاصله مرزی راف یک عدد راف حد اکید باشد، توسط یکی از موارد زیر مرتب می‌شود، فرض کنید $\mathrm{M}(\alpha)$ و $\mathrm{M}(\beta)$ به ترتیب، ارزش‌های میانی $\mathrm{RN}(\alpha)$ و $\mathrm{RN}(\beta)$ هستند:

(الف) اگر $\underline{\mathrm{Lim}}(\alpha) < \underline{\mathrm{Lim}}(\beta)$ و $\overline{\mathrm{Lim}}(\alpha) > \overline{\mathrm{Lim}}(\beta)$: اگر ارزش‌های میانی $\mathrm{M}(\alpha) \le \mathrm{M}(\beta)$ باشد، سپس $\mathrm{RN}(\alpha) < \mathrm{RN}(\beta)$ است؛ اگر ارزش‌های میانی $\mathrm{M}(\alpha) > \mathrm{M}(\beta)$ باشد، سپس $\mathrm{RN}(\alpha) > \mathrm{RN}(\beta)$ است.

(ب) اگر $\underline{\mathrm{Lim}}(\alpha) > \underline{\mathrm{Lim}}(\beta)$ و $\overline{\mathrm{Lim}}(\alpha) < \overline{\mathrm{Lim}}(\beta)$: اگر ارزش‌های میانی $\mathrm{M}(\alpha) \le \mathrm{M}(\beta)$ باشد، سپس $\mathrm{RN}(\alpha) > \mathrm{RN}(\beta)$ است؛ اگر ارزش‌های میانی $\mathrm{M}(\alpha) > \mathrm{M}(\beta)$ باشد، سپس $\mathrm{RN}(\alpha) > \mathrm{RN}(\beta)$ است.

تحلیل داده‌ها و نتایج

در این بخش رویکرد پیشنهادی برای انتخاب مفهوم پودر کنسانتره مخصوص شستشوی انواع لباس و پارچه با ماشین لباسشویی به‌کار می‌رود تا به ارزیابی طراحی مفهومی کمک شود. کنسانتره یعنی تنها با مقدار کمی از پودر و بدون نیاز به مقدار زیادی پودر می‌توان انبوهی از لباس را شست. پودر فوق کنسانتره به صرفه بوده و همچنین قدرت لکه بری موثر دارد و سرسخت‌ترین لکه‌ها را از روی لباس پاک می‌کند. پس مزایای این محصول قدرت لکه بری مؤثر، مخصوص لباس‌های رنگی و حفظ ثبات رنگ لباس می‌باشد. از این جهت واحدهای طراحی و تحقیق و توسعه تصمیم به تولید پودر لباسشویی فوق کنسانتره را اتخاذ نمودند و طراحی‌های لازم را بر اساس عوامل مؤثر بر طراحی مفهومی پودر لباسشویی فوق کنسانتره شکل دادند. بنابراین، ارزیابی طراحی مفهومی این محصول بسیار مهم شده است. در کارخانه تولیدی پودر کنسانتره، پنج گزینه طراحی مفهومی با توجه به فرمولاسیون متفاوت برای این محصول ایجاد شده است. هر یک از پنج طراحی مفهومی برای پودر کنسانتره با توجه به ترکیب درصدهای متفاوتی از عوامل سفیدکننده‌ها

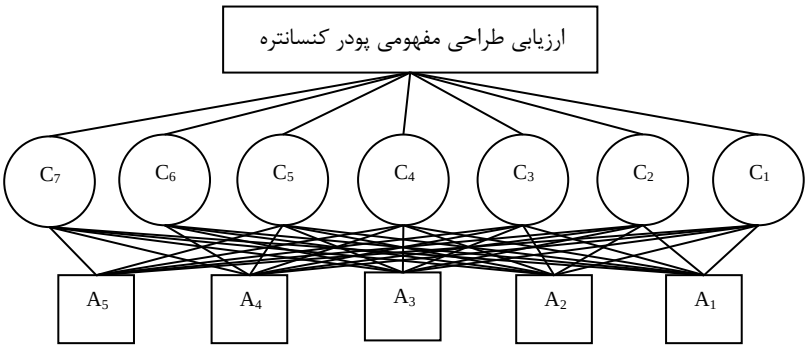
(شامل آب اکسیژنه، هیپوکلریت سدیم و سدیم کربنات)، سورفاکتانت‌ها، پلیمرها، آنزیم‌ها، اسید سیتریک‌ها، دی‌اتیل استر دی‌متیل آمونیوم کلراید و اسانس‌ها تشکیل شده است و نام‌های A_1، A_2، A_3، A_4 و A_5 برای هر یک در نظر گرفته شده است.

هدف ارزیابی طراحی مفهومی انتخاب بهترین از میان این پنج گزینه برای طراحی فازهای بعدی می‌باشد. در اولین مرحله طراحی، افراد به‌طور عمده با هفت معیار سروکار دارند که شامل: هزینهٔ تولید (C_1)، فرمولاسیون و مواد اولیه (C_2)، تطابق با استانداردهای روز (C_3)، بررسی نیازهای مشتری (C_4)، طراحی مناسب و دلنشین (C_5)، شرایط نگهداری آسان (C_6) و مطابقت محصول با محیط‌زیست (C_7) هستند. در میان آنها C_1 معیاری با ماهیت هزینه بوده، درحالی‌که سایر معیارها دارای ماهیت سود می‌باشند. از پنج کارشناس به عنوان تصمیم‌گیرنده دعوت شده است تا که ایده‌ها و قضاوت‌های خود را در ارزیابی طراحی مفاهیم پودر ارائه دهند. به‌طور معمول، این ارزیابی را می‌توان به دو فاز تقسیم کرد: محاسبه وزن‌دهی معیارها توسط فرایند سلسله‌مراتبی راف و تعیین رتبه‌بندی گزینه‌ها با تاپسیس راف.

وزن‌دهی معیارهای ارزیابی طراحی مفهومی پودر کنسانتره

در ارزیابی طراحی مفهومی پودر کنسانتره، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی راف برای جمع‌آوری قضاوت‌های فردی و محاسبه وزن هر معیار به‌کار می‌رود.

- **گام ۱.** ساخت یک ساختار سلسله‌مراتبی برای ارزیابی طراحی مفهومی پودر کنسانتره که در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. ساختار سلسله‌مراتبی ارزیابی طراحی مفهومی پودر کنسانتره.

- **گام ۲.** جمع‌آوری قضاوت‌های فردی و ایجاد گروهی از ماتریس‌های مقایسات زوجی. انجام آزمون سازگاری تا زمانی که تمام ماتریس‌های مقایسات زوجی سازگار شوند. ادغام ماتریس‌های مقایسات زوجی تا این ماتریس‌ها یکپارچه شوند. ماتریس‌های مقایسات زوجی به صورت جدول ۲ می‌باشند:

جدول ۲. ماتریس‌های مقایسات زوجی نظرات پنج کارشناس.

$B_1 =$

۱	۵	۴	۲	۳	۵	۹
۰/۲	۱	۰/۳۳	۰/۲	۰/۲۵	۰/۵	۵
۰/۲۵	۳	۱	۰/۲	۰/۳۳	۲	۵
۰/۵	۵	۵	۱	۳	۵	۹
۰/۳۳	۴	۳	۰/۳۳	۱	۳	۹
۰/۲	۲	۰/۵	۰/۲	۰/۳۳	۱	۵
۰/۱۱	۰/۲	۰/۲	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۲	۱

$CR_1 = ۰/۰۵۹ < ۰/۱$

$B_2 =$

۱	۵	۳	۱	۱	۴	۹
۰/۲	۱	۰/۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۵
۰/۳۳	۲	۱	۰/۲	۰/۵	۳	۷
۱	۵	۵	۱	۲	۴	۹
۱	۵	۲	۰/۵	۱	۳	۷
۰/۲۵	۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۳۳	۱	۳
۰/۱۱	۰/۲	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۳۳	۱

$CR_2 = ۰/۰۵۱ < ۰/۱$

$B_3 =$

۱	۷	۳	۱	۳	۴	۹
۰/۱۴	۱	۰/۵	۰/۱۴	۰/۳۳	۰/۳۳	۳
۰/۳۳	۲	۱	۰/۲	۰/۵	۵	۵
۱	۷	۵	۱	۲	۴	۹
۰/۳۳	۳	۲	۰/۵	۱	۳	۵
۰/۲	۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۳۳	۱	۳
۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۲	۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۱

$CR_3 = ۰/۰۳۹ < ۰/۱$

$B_4 =$

۱	۷	۵	۲	۳	۷	۹
۰/۱۴	۱	۰/۳۳	۰/۱۷	۰/۳۳	۰/۲	۳
۰/۲	۳	۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۲	۴
۰/۵	۶	۳	۱	۳	۵	۷
۰/۳۳	۵	۳	۰/۳۳	۱	۴	۷
۰/۱۴	۲	۰/۵	۰/۲	۰/۲۵	۱	۴
۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۲	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۲۵	۱

$CR_4 = ۰/۰۴۶ < ۰/۱$

$B_5 =$

۱	۷	۵	۱	۲	۵	۷
۰/۱۴	۱	۰/۳۳	۰/۲	۰/۲۵	۰/۵	۳
۰/۲	۳	۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۲	۵
۱	۵	۳	۱	۲	۵	۷

۰/۵	۴	۳	۰/۵	۱	۳	۵
۰/۲	۲	۰/۵	۰/۲	/۳۳ ۰	۱	۲
/۱۴ ۰	/۳۳ ۰	۰/۲	/۱۴ ۰	۰/۲	۰/۵	۱

$CR_5 = ۰/۰۳۳ < ۰/۱$

بدیهی است که که تمام ماتریس‌های بالا کوچکتر از ۰/۱ بوده و همه سازگار و قابل‌قبول هستند. در ادامه ماتریس مقایسات یکپارچه با ترکیب پنج ماتریس مقایسات انفرادی بالا ایجاد می‌شود.

جدول ۳. ماتریس مقایسات یکپارچه تشکیل شده از نظرات پنج کارشناس.

۹, ۹, ۹, ۹, ۷	۵, ۴, ۵, ۷, ۵	.....	۵, ۵, ۷, ۷, ۷	۱, ۱, ۱, ۱, ۱
۵, ۵, ۳, ۳, ۳	۰/۵, ۰/۳۳, ۰/۳۳, ۰/۵, ۰/۵	.....	۱, ۱, ۱, ۱, ۱	۰/۲, ۰/۲, ۰/۱۴, ۰/۱۴, ۰/۱۴
۵, ۷, ۵, ۵, ۵	۲, ۳, ۳, ۲, ۲	.....	۳, ۲, ۲, ۳, ۳	۰/۲۵, ۰/۳۳, ۰/۳۳, ۰/۲, ۰/۲
۹, ۹, ۹, ۷, ۷	۵, ۴, ۴, ۵, ۵	.....	۵, ۵, ۷, ۶, ۵	۰/۵, ۱, ۱, ۰/۵, ۱
۹, ۷, ۵, ۷, ۵	۳, ۳, ۳, ۴, ۳	.....	۴, ۵, ۳, ۵, ۴	۰/۳۳, ۱, ۰/۳۳, ۰/۳۳, ۰/۵
۵, ۳, ۳, ۴, ۲	۱, ۱, ۱, ۱, ۱	.....	۲, ۳, ۳, ۲, ۲	۰/۲, ۰/۲۵, ۰/۲, ۰/۱۴, ۰/۲
۱, ۱, ۱, ۱, ۱	۰/۳۳, ۰/۳۳, ۰/۲۵, ۰/۵ ۰/۲,	.....	۰/۲, ۰/۳۳, ۰/۳۳, ۰/۳۳ ۰/۲,	۰/۱۱, ۰/۱۱, ۰/۱۱, ۰/۱۴ ۰/۱۱,

$\hat{\bar{B}} =$

- **گام ۳** . این گام تبدیل عناصر درون ماتریس جدول ۳ به اعداد راف می‌باشد و متقابلاً ماتریس مقایسات یکپارچه به ماتریس مقایسات راف تبدیل می‌شود. برای مثال، $\%_{16} = \{۵, ۴, ۵, ۷, ۵\}$ را در نظر بگیرید:

$$\underline{\lim}(4)\frac{1}{M_L}\sum R(Y)\,|Y \in \underline{Apr}(4) = 4$$

$$\overline{\lim}(4)\frac{1}{M_U}\sum R(Y)\,|Y \in \overline{Apr}(4) = \frac{1}{5}(5+4+5+7+5) = 5.2$$

$$\underline{\lim}(5)\frac{1}{M_L}\sum R(Y)\,|Y \in \underline{Apr}(5) = \frac{1}{4}(5+4+5+5) = 4.75$$

$$\overline{\lim}(5)\frac{1}{M_U}\sum R(Y)\,|Y \in \overline{Apr}(5) = \frac{1}{4}(5+5+7+5) = 5.5$$

$$\underline{\lim}(7)\frac{1}{M_L}\sum R(Y)\,|Y \in \underline{Apr}(7) = \frac{1}{5}(5+4+5+7+5) = 5.2$$

$$\overline{\lim}(7)\frac{1}{M_U}\sum R(Y)\,|Y \in \overline{Apr}(7) = 7$$

در نتیجه، x^{e}_{16} می‌تواند به عنوان یک عدد راف بیان شود، بدین صورت که x^{1}_{16} ، x^{3}_{16} و x^{5}_{16} عدد راف [۵/۵, ۵/۵]، RN(۵) = [۴/۷۵, ۵/۲] عدد راف x^{2}_{16}، RN(۴) = [۴, ۵/۲] و x^{4}_{16} عدد راف [۵/۲, ۷] = RN(۷) را به خود اختصاص می‌دهند. بر اساس فرمول (۱۶):

$$RN(x_{16}) = \left[\frac{4.75 + 4 + 4.75 + 5.2 + 4.75}{5}, \frac{5.5 + 5.2 + 5.5 + 7 + 5.5}{5}\right] = [4.69, 5.74]$$

در نتیجه دنباله x_{16} در ماتریس مقایسات یکپارچه تبدیل به عدد راف [۴/۶۹, ۵/۷۴] = RN(x_{16}) می‌شود. بنابراین، ماتریس مقایسات راف به شرح جدول ۴ تشکیل می‌شود:

جدول ۴. ماتریس مقایسات راف ارزیابی طراحی مفهومی پودر کنسانتره.

[۱/۰۰, ۱/۰۰]	[۵/۷۲, ۶/۶۸]	.....	[۴/۶۹, ۵/۷۴]	[۸/۲۸, ۸/۸۹]
[۰/۱۵, ۰/۱۸]	[۱/۰۰, ۱/۰۰]	.....	[۰/۳۹, ۰/۴۷]	[۳/۳۲, ۴/۲۸]
[۰/۲۳, ۰/۳۰]	[۲/۳۶, ۲/۸۴]	.....	[۲/۱۶, ۲/۶۴]	[۵/۰۸, ۵/۷۲]
[۰/۶۸, ۰/۹۲]	[۵/۱۷, ۶/۰۶]	.....	[۴/۳۶, ۵/۸۴]	[۷/۷۲, ۸/۶۸]
[۰/۳۸, ۰/۶۵]	[۳/۷۵, ۴/۶۴]	.....	[۳/۰۴, ۳/۳۶]	[۵/۷۲, ۷/۵۱]
[۰/۱۸, ۰/۲۲]	[۲/۱۶, ۲/۶۴]	.....	[۱/۰۰, ۱/۰۰]	[۲/۷۵, ۴/۰۸]
[۰/۱۱, ۰/۱۲]	[۰/۲۵, ۰/۳۱]	.....	[۰/۲۶, ۰/۳۹]	[۱/۰۰, ۱/۰۰]

- **گام ۴.** محاسبه اوزان راف با به‌کارگیری فرمول (۱۸):

جدول ۵. اوزان راف معیارهای ارزیابی طراحی مفهومی پودر کنسانتره.

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
w	[۲/۹۰, ۳/۵۶]	[۰/۴۳, ۰/۵۱]	[۰/۹۰, ۱/۰۷]	[۲/۶۶, ۳/۱۲]	[۱/۵۶, ۱/۹۴]	[۰/۵۹, ۰/۷۰]	[۰/۲۲, ۰/۲۵]
w'	[۰/۸۲, ۱/۰۰]	[۰/۱۲, ۰/۱۴]	[۰/۲۵, ۰/۳۰]	[۰/۷۵, ۰/۸۸]	[۰/۴۴, ۰/۵۴]	[۰/۱۷, ۰/۲۰]	[۰/۰۶, ۰/۰۷]

اولویت‌بندی گزینه‌های طراحی مفهومی پودر کنسانتره

برای تشکیل ماتریس تصمیم طراحی مفاهیم بر اساس معیارها نظرات ۱۵ کارشناس خواسته شده که در قالب چک‌لیست ارائه می‌شد از ۱۵ چک‌لیستی که به نمونه‌ها تحویل داده شد ۱۲ مورد آن تکمیل گشت و به مشابه رویکردی که برای تلفیق نظرات پاسخ‌دهندگان در ماتریس مقایسات زوجی بکار برده شد نیز ۱۲ چک‌لیست با یکدیگر تلفیق شد و ماتریس تصمیم گروهی تشکیل شد. در ادامه به منظور اولویت‌بندی گزینه‌های طراحی مفهومی پودر کنسانتره تکنیک تاپسیس مبتنی بر اعداد راف به‌کار گرفته می‌شود.

- **گام ۱.** تبدیل ماتریس تصمیم گروهی مذکور به یک ماتریس تصمیم راف مطابق با معادلات (۱) تا (۱۰):

جدول ۶. ماتریس تصمیم راف ارزیابی طراحی مفهومی پودر کنسانتره.

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	[۶/۳۴, ۷/۰۱]	[۷/۴۳, ۸/۲۵]	[۵/۷۲, ۶/۶۸]	[۴/۴۲, ۵/۰۲]	[۵/۲۱, ۶/۸۲]	[۵/۸۲, ۶/۳۴]	[۷/۰۲, ۸/۱۸]
A_2	[۶/۸۲, ۷/۵۱]	[۷/۳۲, ۸/۲۸]	[۴/۳۰, ۴/۷۰]	[۷/۰۹, ۷/۶۵]	[۷/۹۲, ۸/۷۱]	[۶/۹۱, ۷/۵۵]	[۷/۰۸, ۷/۷۲]
A_3	[۸/۲۸, ۹/۰۱]	[۷/۷۲, ۶/۶۸]	[۸/۲۸, ۸/۹۲]	[۶/۶۶, ۶/۹۳]	[۷/۲۴, ۸/۰۲]	[۵/۵۹, ۵/۹۹]	[۷/۳۲, ۸/۲۸]
A_4	[۵/۵۱, ۶/۲۱]	[۵/۳۲, ۶/۲۸]	[۷/۰۸, ۷/۷۲]	[۴/۵۹, ۵/۲۲]	[۷/۵۲, ۷/۹۸]	[۷/۲۴, ۸/۳۱]	[۸/۲۸, ۸/۹۲]
A_5	[۷/۶۲, ۷/۷۱]	[۵/۴۴, ۶/۸۱]	[۷/۳۲, ۸/۲۸]	[۶/۷۸, ۶/۱۱]	[۶/۰۱, ۶/۷۷]	[۵/۶۶, ۶/۲۴]	[۵/۷۲, ۶/۶۸]

– **گام ۲.** بنابراین بر اســـاس فرمول‌های (۲۰) و (۲۱) ماتریس تصـــمیم بی‌مقیاس راف به‌صـــورت جدول ۷ به‌دست می‌آید.

جدول ۷. ماتریس تصمیم بی‌مقیاس راف ارزیابی طراحی مفهومی پودر کنسانتره.

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	[۰/۸۷, ۰/۷۹]	[۰/۹۰, ۱/۰۰]	[۰/۶۴, ۰/۷۵]	[۰/۵۸, ۰/۶۶]	[۰/۶۰, ۰/۷۸]	[۰/۷۰, ۰/۷۶]	[۰/۷۹, ۰/۹۲]
A_2	[۰/۸۱, ۰/۷۳]	[۰/۸۸, ۱/۰۰]	[۰/۴۸, ۰/۵۳]	[۰/۹۳, ۱/۰۰]	[۰/۹۱, ۱/۰۰]	[۰/۸۳, ۰/۹۱]	[۰/۷۷, ۰/۸۷]
A_3	[۰/۶۷, ۰/۶۱]	[۰/۹۳, ۰/۸۱]	[۰/۹۳, ۱/۰۰]	[۰/۸۷, ۰/۹۰]	[۰/۸۳, ۰/۹۲]	[۰/۶۷, ۰/۷۲]	[۰/۶۳, ۰/۹۳]
A_4	[۱/۰۰, ۰/۸۹]	[۰/۶۴, ۰/۷۶]	[۰/۷۹, ۰/۸۷]	[۰/۶۰, ۰/۶۸]	[۰/۸۶, ۰/۹۲]	[۰/۸۷, ۱/۰۰]	[۰/۸۱, ۱/۰۰]
A_5	[۰/۷۲, ۰/۷۱]	[۰/۶۶, ۰/۸۲]	[۰/۸۲, ۰/۹۳]	[۰/۸۹, ۰/۸۰]	[۰/۶۹, ۰/۷۸]	[۰/۶۸, ۰/۷۵]	[۰/۶۳, ۰/۷۵]

به عنوان نمونه برای معیار با ماهیت مثبت ارزش راف معیار سوم برای گزینهٔ اول را بی‌مقیاس می‌کنیم. چون ماهیت معیار مثبت است بیشترین مقدارحد بالای معیار سوم انتخاب می‌شود که برابر با ۸/۹۲ می‌باشد و مقدار راف [۶/۶۸ ,۵/۷۲] بر ۸/۹۲ تقسیم می‌شوند و عدد راف بی‌مقیاس [۰/۶۴, ۰/۷۵] حاصل می‌شود. برای معیار با ماهیت منفی ارزش راف معیار اول برای گزینهٔ اول را بی‌مقیاس می‌کنیم. چون ماهیت معیار منفی است کمترین مقدارحد پایین معیار اول انتخاب می‌شود که برابر با ۵/۵۱ می‌باشد و بر مقدار راف [۶/۳۴, ۷/۰۱] تقسیم می‌شوند و عدد راف بی‌مقیاس [۰/۷۹ ,۰/۸۷] حاصل می‌شود.

– **گام ۳.** ماتریس وزین راف بر اساس فرمول‌های (۲۲) و (۲۳) و به صورت جدول ۸ به‌دست می‌آید:

جدول ۸. ماتریس وزین راف ارزیابی طراحی مفهومی پودر کنسانتره.

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	[۰/۷۱, ۰/۷۹]	[۰/۱۱, ۰/۱۴]	[۰/۱۶, ۰/۲۲]	[۰/۴۳, ۰/۵۸]	[۰/۲۶, ۰/۴۲]	[۰/۱۲, ۰/۱۵]	[۰/۰۵, ۰/۰۶]
A_2	[۰/۶۶, ۰/۷۳]	[۰/۱۱, ۰/۱۴]	[۰/۱۲, ۰/۱۶]	[۰/۷۰, ۰/۸۸]	[۰/۴۰, ۰/۵۴]	[۰/۱۴, ۰/۱۸]	[۰/۰۵, ۰/۰۶]
A_3	[۰/۵۵, ۰/۶۱]	[۰/۱۱, ۰/۱۱]	[۰/۲۳, ۰/۳۰]	[۰/۶۵, ۰/۸۰]	[۰/۳۷, ۰/۵۰]	[۰/۱۱, ۰/۱۴]	[۰/۰۴, ۰/۰۶]
A_4	[۰/۸۲, ۰/۸۹]	[۰/۰۸, ۰/۱۱]	[۰/۲۰, ۰/۲۶]	[۰/۴۵, ۰/۶۰]	[۰/۳۸, ۰/۴۹]	[۰/۱۵, ۰/۲۰]	[۰/۰۵, ۰/۰۷]
A_5	[۰/۵۹, ۰/۷۱]	[۰/۰۸, ۰/۱۲]	[۰/۲۱, ۰/۲۸]	[۰/۶۶, ۰/۷۰]	[۰/۳۰, ۰/۴۲]	[۰/۱۲, ۰/۱۵]	[۰/۰۴, ۰/۰۵]

- **گام ۴.** شناسایی بهترین و بدترین مقدار هر معیار درون ماتریس وزین با استفاده از فرمول‌های (۲۴) و (۲۵) به گونه‌ای که در جدول ۹ فهرست شده است.

جدول ۹. بهترین و بدترین مقدار معیارهای ارزیابی طراحی مفهومی پودر کنسانتره.

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
V_j^*	۰/۵۵	۰/۱۴	۰/۳۰	۰/۸۸	۰/۵۴	۰/۲۰	۰/۰۷
V_j^-	۰/۸۹	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۴۳	۰/۲۶	۰/۱۱	۰/۰۴

- **گام ۵.** فاصله هر گزینه از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل راف از فرمول‌های (۲۶) تا (۲۹) قابل محاسبه است:

جدول ۱۰. فاصله گزینه‌های طراحی مفهومی پودر کنسانتره از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل.

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
d_i^{U+}	۰/۶۰۱	۰/۳۵۶	۰/۳۱۶	۰/۵۸۷	۰/۳۸۹
d_i^{L+}	۰/۳۷۶	۰/۱۸۵	۰/۱۱۳	۰/۳۹۸	۰/۲۲۸
d_i^{U-}	۰/۲۱۴	۰/۳۳۵	۰/۳۸۵	۰/۲۴۶	۰/۳۰۴
d_i^{L-}	۰/۳۰۶	۰/۵۸۱	۰/۵۸۲	۰/۳۳۹	۰/۴۶۰

- **گام ۶.** محاسبه شاخص شباهت با فرمول‌های (۳۰) و (۳۱) که نتایج آن در جدول ۱۱ گزارش شده است.

جدول ۱۱. ارزش‌های شاخص شباهت در ارزیابی طراحی پودر کنسانتره.

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
Cl_i^L	۰/۶۳۷	۰/۳۵۶	۰/۲۲۷	۰/۶۱۸	۰/۴۲۹
Cl_i^U	۰/۶۶۳	۰/۳۸۰	۰/۳۵۲	۰/۶۳۴	۰/۴۵۸
Cl_i	[۰/۶۳۷, ۰/۶۶۳]	[۰/۳۵۶, ۰/۳۸۰]	[۰/۲۲۷, ۰/۳۵۲]	[۰/۶۱۸, ۰/۶۳۴]	[۰/۴۲۹, ۰/۴۵۸]

- **گام ۷.** رتبه‌بندی گزینه‌ها. بر اساس قوانین رتبه‌بندی اعداد راف که مطرح گردید رتبه‌بندی طراحی مفاهیم پودر کنسانتره انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که مفهوم A_1 در رتبهٔ اول، مفهوم A_4 در رتبهٔ دوم، مفهوم A_5 در رتبهٔ سوم، مفهوم A_2 در رتبهٔ چهارم و مفهوم A_3 در رتبهٔ پنجم قرار می‌گیرد.

در پایان به منظور اعتبارسنجی و اثربخشی نتایج حاصل از رویکرد پیشنهادی، با به‌کارگیری داده‌های این تحقیق در تکنیک مجموع ساده وزنی مبتنی بر اعداد راف نتایج جدول ۱۲ حاصل شد. خروجی‌های این تکنیک نشان می‌دهند که نتایج رتبه‌های مفاهیم اول تا سوم به‌طور کامل مشابه به نتایج حاصل از رویکرد پیشنهادی بوده و تنها رتبه‌های چهارم و پنجم با امتیازات نسبتاً نزدیکی جابجا شده‌اند.

جدول ۱۲. امتیاز نهایی مفاهیم و رتبه‌های آنها با به‌کارگیری تکنیک مجموع ساده وزنی راف.

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
امتیاز نهایی	[۲/۱۷۲, ۲/۶۹۴]	[۱/۸۴۳, ۲/۳۶۷]	[۱/۹۹۹, ۲/۴۳۳]	[۲/۱۲۲, ۲/۶۱۸]	[۲/۰۶۰, ۲/۵۲۷]
رتبه	اول	پنجم	چهارم	دوم	سوم

نتیجه‌گیری

این مقاله با هدف کنترل ابهام و ذهنیت موجود در ارزیابی طراحی مفهومی، یک رویکرد تصمیم‌گیری مبتنی بر اعداد راف را ارائه داد و به منظور نشان دادن کاربردی بودن و اثربخشی آن، ارزیابی مفهومی پودر لباسشویی فوق کنسانتره در یک شرکت تولیدی و پخش لوازم آرایشی و بهداشتی را در نظر گرفت. هفت معیار مؤثر بر ارزیابی طراحی مفهومی پودر فوق کنسانتره شامل هزینهٔ تولید، فرمولاسیون و مواد اولیه، تطابق با استانداردهای روز، بررسی نیازهای مشتری، طراحی مناسب و دلنشین، شرایط نگهداری آسان و مطابقت محصول با محیط‌زیست شناسایی شدند و برای مشخص کردن اهمیت این هفت معیار فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی راف مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تولید پودر فوق کنسانتره، پنج گزینه به عنوان پنج طراحی مفهومی، متشکل از درصدهای مختلفی از عوامل سفیدکننده‌ها، سورفاکتانت‌ها، پلیمرها، آنزیم‌ها، اسید سیتریک‌ها، دی‌اتیل استر دی‌متیل آمونیوم کلراید و اسانس‌ها تعریف گشت. تکنیک تاپسیس مبتنی بر اعداد راف به‌کار گرفته شد که این پنج گزینه طراحی مفهومی را به‌طور سیستماتیک ارزیابی کند تا مناسب‌ترین مفهوم برای طراحی تولید پودر لباسشویی فوق کنسانتره انتخاب شود. بر اساس قوانین رتبه‌بندی اعداد راف مشخص شد که مفهوم A_1 اولویت اول، مفهوم A_4 اولویت دوم، مفهوم A_5 اولویت سوم، مفهوم A_2 اولویت چهارم و مفهوم A_3 اولویت پنجم را کسب کرده است. همچنین، به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصل، داده‌های استفاده شده در این مطالعه با به‌کارگیری تکنیک مجموع وزنی ساده راف مورد تحلیل قرار گرفت و خروجی‌ها نشان از تأیید نتایج رویکرد پیشنهادی در این مقاله را داشت. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که روش مبتنی بر اعداد راف پیشنهادی برای زمینه‌های تصمیم‌گیری گروهی بسیاری قابل کاربرد است. از این جهت، روش‌های متعدد دیگری از جمله فرایند تحلیل شبکه‌ای، دیمتل، پرامتی و حتی مدل‌های یکپارچه شده آنها می‌تواند با عدد راف ترکیب شوند تا زمینه‌های کاربردی را گسترش دهند و ابهامات را در شرایط ذهنی در تصمیم‌گیری‌ها از بین ببرند. همچنین، در ادامه توسعهٔ این مطالعه، به منظور تعریف گزینه‌های طراحی مفهومی می‌توان از تکنیک‌های سطح پاسخ طراحی آزمایش‌ها استفاده کرد و مطلوب‌ترین مفهوم‌ها را با توجه به درصدهای بهینه عوامل فرمولاسیون آنها به منظور ارزیابی ارائه داد.

References

[1] Zhu, G-N., Hu, J., Qi, J., Gu, C-C., & Peng, Y-H. (2015). An integrated AHP and VIKOR for design concept evaluation based on rough number. *Advanced Engineering Informatics*, *29*(3), 408-418. https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.01.010

[2] Qi, J., Hu, J., & Peng, Y. (2021). A customer-involved design concept evaluation based on multi-criteria decision-making fusing with preference and design values. *Advanced Engineering Informatics*, *50*, 101373. https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101373

[3] Ayağ, Z. (2005). A fuzzy AHP-based simulation approach to concept evaluation in a NPD environment. *Institute of Industrial and Systems Engineers Transactions*, *37*(9), 827-842. https://doi.org/10.1080/07408170590969852

[4] Zhai, L-Y., Khoo, L-P., & Zhong, Z-W. (2009). Design concept evaluation in product development using rough sets and grey relation analysis. *Expert Systems with Applications*, *36*(3), 7072-7079. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.08.068

[5] Ayağ, Z. (2016). An integrated approach to concept evaluation in a new product development. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *27*(5), 991-1005. https://doi.org/10.1007/s10845-014-0930-7

[6] Liu, W., Tan, R., Cao, G., Zhang, Z., Huang, S., & Liu, L. (2019). A proposed radicality evaluation method for design ideas at conceptual design stage. *Computers & Industrial Engineering*, *132*, 141-152. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.04.027

[7] Fazeli, H. R., & Peng, Q. (2022). Generation and evaluation of product concepts by integrating extended axiomatic design, quality function deployment and design structure matrix. *Advanced Engineering Informatics*, *54*, 101716. https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101716

[8] Ayağ, Z., & Özdemir, R. G. (2009). A hybrid approach to concept selection through fuzzy analytic network process. *Computers & Industrial Engineering*, *56*(1), 368-379. https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.06.011

[9] Malekly, H., Meysam Mousavi, S., & Hashemi, H. (2010). A fuzzy integrated methodology for evaluating conceptual bridge design. *Expert Systems with Applications*, *37*(7), 4910-4920. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.12.024

[10] Liu, Y., Huang, H-Z., & Ling, D. (2013). Reliability prediction for evolutionary product in the conceptual design phase using neural network-based fuzzy synthetic assessment. *International Journal of Systems Science*, *44*(3), 545-555. https://doi.org/10.1080/00207721.2011.617887

[11] Vinodh, S., Sai Balagi, T. S., & Patil, A. (2016). A hybrid MCDM approach for agile concept selection using fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *83*(9), 1979-1987. https://doi.org/10.1007/s00170-015-7718-6

[12] Olabanji, O. M., & Mpofu, K. (2020). Hybridized fuzzy analytic hierarchy process and fuzzy weighted average for identifying optimal design concept. *Heliyon*, *6*(1), e03182. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03182

[13] Zhou, T., Chen, Z., & Ming, X. (2022). Multi-criteria evaluation of smart product-service design concept under hesitant fuzzy linguistic environment: A novel cloud envelopment analysis approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *115*, 105228. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105228

[14] Zhu, G-N., Ma, J., & Hu, J. (2022). A fuzzy rough number extended AHP and VIKOR for failure mode and effects analysis under uncertainty. *Advanced Engineering Informatics*, *51*, 101454. https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101454

[15] Xie, G., Zhang, J., Lai, K. K., & Yu, L. (2008). Variable precision rough set for group decision-making: An application. *International Journal of Approximate Reasoning*, *49*(2), 331-343. https://doi.org/10.1016/j.ijar.2007.04.005

[16] Li, G-D., Yamaguchi, D., & Nagai, M. (2008). A grey-based rough decision-making approach to supplier selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *36*(9), 1032-1040. https://doi.org/10.1007/s00170-006-0910-y

[17] Tiwari, V., Jain, P. K., & Tandon, P. (2016). Product design concept evaluation using rough sets and VIKOR method. *Advanced Engineering Informatics*, *30*(1), 16-25. https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.11.005

[18] Shidpour, H., Da Cunha, C., & Bernard, A. (2016). Group multi-criteria design concept evaluation using combined rough set theory and fuzzy set theory. *Expert Systems with Applications*, *64*, 633-644. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.08.022

[19] Pamučar, D., Mihajlović, M., Obradović, R., & Atanasković, P. (2017). Novel approach to group multi-criteria decision making based on interval rough numbers: Hybrid DEMATEL-ANP-MAIRCA model. *Expert Systems with Applications*, *88*, 58-80. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.06.037

[20] Elsisy, M. A., & El Sayed, M. A. (2019). Fuzzy rough bi-level multi-objective nonlinear programming problems. *Alexandria Engineering Journal*, *58*(4), 1471-1482. https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.12.002

[21] Mei, M., & Chen, Z. (2021). Evaluation and selection of sustainable hydrogen production technology with hybrid uncertain sustainability indicators based on rough-fuzzy BWM-DEA. *Renewable Energy*, *165*(10211), 716-730. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.051

[22] Ecer, F., Pamucar, D., Mardani, A., & Alrasheedi, M. (2021). Assessment of renewable energy resources using new interval rough number extension of the level based weight assessment and combinative distance-based assessment. *Renewable Energy*, *170*(2), 1156-1177. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.004

[23] Amini, T., Nasiri, M., Saeedi, P., & Abbasi, E. (2020). Strategic entrepreneurship model based on financial development with a fuzzy AHP approach. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, *17*(3), 127-141. https://doi.org/10.48301/kssa.2020.124674