



## Identifying and Prioritizing Challenges of Implementing Smart Product-service Systems Using the Best-worst Rough-fuzzy Method

**Maryam Esmailzadeh**

MSc., Department of Industrial Management, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: esmaeilzadeh.ma@ut.ac.ir

**Aliyeh Kazemi** \*

\*Corresponding Author, Prof., Department of Operations Management and Decision Sciences, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: aliyehkazemi@ut.ac.ir

**Hossein Safari**

Prof., Department of Innovation and Technology Management, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: hsafari@ut.ac.ir

### Abstract

**Objective:** Smart product-service systems (SPSS) as a new paradigm was presented recently, which created considerable changes in the industry and production, especially in the production of smart home appliances. Despite many achievements in implementing SPSS, this system faces many challenges in the development and implementation processes. This study aims to identify and analyze the challenges of implementing an SPSS and evaluate and prioritize them as one of the most basic initial steps in implementing the system.

**Methods:** In this paper, first, the challenges of implementing SPSS are identified through literature review, document review, interviews with experts, and the fuzzy Delphi method. Then the best-worst rough-fuzzy method is used to prioritize the identified challenges.

**Results:** Twenty challenges of implementing SPSS were classified into seven main groups consisting of staff, information security, technology, finance and process, design, infrastructure, and government/market, and evaluated by the best-worst rough-fuzzy method. The main challenges are financial and process, technology, employees, design, market and government, infrastructure and information security, respectively. In the same way, the weight and rank of all twenty challenges classified in these groups were determined. Since evaluating and prioritizing the challenges of implementing the SPSS is a multi-criteria decision-making process and includes uncertainties that may lead to incorrect evaluation results, in this research, the concepts of rough set theory and fuzzy logic, which are efficient in such conditions, are used as the prioritization method. Since the best-worst rough-fuzzy method simultaneously integrates both intra-individual and interpersonal uncertainty and takes advantage of the features of the fuzzy set in managing

individual verbal ambiguities and the benefits of the rough set theory in examining the diversity of group preferences, the model has a good performance for finding optimal and fuzzy rough weights of challenges and makes the obtained evaluation more accurate and objective than the best-worst method based on fuzzy logic or rough theory.

**Conclusion:** Since SPSS is rapidly expanding as a new field in manufacturing and industry, and the development of smart home appliances is one of the waves of technology in the future and will provide new and exciting opportunities for businesses, home appliance manufacturing companies are bound to compete to get their share of these opportunities. Industrial enterprises, especially in the home appliance industry, can be more profitable, and improve their market share in this industry by turning to the integration of products and smart services based on information and communication technology and joining the production companies that use SPSS. Using the results of this study, manufacturing and service companies can more accurately assess the challenges ahead in implementing SPSS and appropriately allocate organizational resources to manage the challenges.

**Keywords:** Service-product System, Smart system, System implementation challenges, Best-Worst rough-fuzzy method

**Citation:** Esmeilzadeh, Maryam; Kazemi, Aliyeh & Safari, Hossein (2022). Identifying and Prioritizing Challenges of Implementing Smart Product-service Systems Using the Best-worst Rough-fuzzy Method. *Industrial Management Journal*, 14(4), 539-564. (in Persian)

---

Industrial Management Journal, 2022, Vol. 14, No 4, pp. 539-564  
Published by University of Tehran, Faculty of Management  
<https://doi.org/10.22059/IMJ.2022.336855.1007910>  
Article Type: Research Paper  
© Authors

Received: January 13, 2022  
Received in revised form: August 13, 2022  
Accepted: August 23, 2022  
Published online: January 20, 2023





## شناسایی و اولویت‌بندی چالش‌های پیاده‌سازی سیستم‌های خدمات محصول هوشمند به‌روشی بهترین بدترین راف - فازی

مریم اسماعیل‌زاده

کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: esmaeilzadeh.ma@ut.ac.ir

عالیه کاظمی\*

نویسنده مسئول، استاد گروه مدیریت عملیات و علوم تصمیم، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: aliyehkazemi@ut.ac.ir

حسین صفری

استاد گروه مدیریت تکنولوژی و نوآوری، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: hsafari@ut.ac.ir

### چکیده

**هدف:** هدف از این پژوهش، بررسی و شناسایی چالش‌های پیاده‌سازی سیستم‌های خدمات محصول هوشمند و ارزیابی و اولویت‌بندی این چالش‌ها، به‌عنوان یکی از اقدام‌های اساسی اولیه برای اجرای این سیستم است.

**روش:** در این مقاله ابتدا چالش‌های پیاده‌سازی سیستم‌های خدمات محصول هوشمند، از طریق مرور ادبیات، بررسی اسناد، مصاحبه با صاحب‌نظران و روش دلفی فازی شناسایی شد. در ادامه با استفاده از روش بهترین بدترین راف - فازی، چالش‌های شناسایی‌شده اولویت‌بندی شدند.

**یافته‌ها:** بیست چالش پیاده‌سازی سیستم‌های خدمات - محصول هوشمند، در هفت گروه اصلی طبقه‌بندی و به‌روشی بهترین بدترین راف - فازی ارزیابی شدند. بر اساس نتایج، چالش‌های مالی و فرایندی، مهم‌ترین گروه شناخته شد. روش بهترین بدترین راف - فازی با بررسی هم‌زمان عدم قطعیت درون‌فردی و بین‌فردی باعث می‌شود که ارزیابی به‌دست‌آمده، دقت و عینیت بیشتری را در مقایسه با روش بهترین بدترین مبتنی بر منطق فازی یا مبتنی بر تئوری راف ارائه دهد.

**نتیجه‌گیری:** با استفاده از نتایج این پژوهش شرکت‌های تولیدی و خدماتی، می‌توانند چالش‌های پیش‌رو در مسیر پیاده‌سازی سیستم‌های خدمات محصول هوشمند را دقیق‌تر ارزیابی کنند و به‌نحوی مناسب، منابع محدود سازمانی را برای رفع چالش‌های شناسایی‌شده اختصاص دهند.

**کلیدواژه‌ها:** سیستم خدمات - محصول، سیستم هوشمند، چالش‌های پیاده‌سازی سیستم، روش بهترین بدترین راف - فازی.

**استناد:** اسماعیل‌زاده، مریم؛ کاظمی، عالیه و صفری، حسین (۱۴۰۱). شناسایی و اولویت‌بندی چالش‌های پیاده‌سازی سیستم‌های خدمات محصول هوشمند به‌روشی بهترین بدترین راف - فازی. *مدیریت صنعتی*، ۱۴(۴)، ۵۳۹-۵۶۴.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۳

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۳۰

doi: <https://doi.org/10.22059/IMJ.2022.336855.1007910>

مدیریت صنعتی، ۱۴۰۱، دوره ۱۴، شماره ۴، صص. ۵۳۹-۵۶۴

ناشر: دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

نوع مقاله: علمی پژوهشی

© نویسندگان

## مقدمه

طی چند دهه گذشته، با وجود سیستم‌های خدمات - محصول (PSS)<sup>۱</sup>، بنگاه‌های صنعتی در کسب‌وکارهای خود از منطق ارائه محصولات به ارائه بسته‌های خدمات - محصولات روی آورده‌اند. این تحول پیامدهای چشمگیری در سودآوری شرکت‌ها، استراتژی، عملیات، تنظیم سازمانی، رویکردهای فروش و بازاریابی و روش‌های تحقیق و توسعه داشته است (چودری، هافتور و پاشکویچ<sup>۲</sup>، ۲۰۱۸). توسعه سریع فناوری‌های اطلاعات (ICT)<sup>۳</sup> و ارتباطات، تحول دیجیتال (دیجیتالی شدن) را امکان‌پذیر کرده است، به این ترتیب، نه تنها کالاهای فیزیکی، بلکه خدمات را به‌عنوان بسته راه‌حل برای پاسخ‌گویی به نیازهای مشتری خاص ارائه می‌دهند. چنین هم‌گرایی دیجیتالی شدن و سرویس‌دهی (سرویس‌دهی دیجیتال) باعث شده است که الگوی کسب‌وکار مبتنی بر فناوری اطلاعات، به نام سیستم‌های خدمات محصول هوشمند (SPSS)<sup>۴</sup> ظهور کند.

در عصر حاضر، تکنولوژی بی‌وقفه در خدمت ساده‌تر و سریع‌تر کردن زندگی است و دیگر نمی‌توان دنیا را بدون تکنولوژی تصور کرد. لوازم خانگی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین نیازهای زندگی روزمره‌اند، به همین دلیل در دهه‌های اخیر و در انقلاب تکنولوژی نوین، صنعت لوازم خانگی تغییرات زیادی کرده است. لوازم خانگی مجهز به تکنولوژی‌های جدید، باعث آسان‌تر شدن زندگی روزمره و کاهش دخالت انسان در انجام امور روزانه شده‌اند.

سیستم‌های هوشمند خدمات - محصول، به‌عنوان الگوی جدید در سال ۲۰۱۵ ابداع شد. علی‌رغم دستاوردهای بسیار زیاد در زمینه اجرای سیستم‌های خدمات - محصول هوشمند، این سیستم در فرایند توسعه و اجرای خود با چالش‌های بسیاری مواجه است. پژوهش‌های موجود به‌ندرت به موضوع چالش‌های مسیر اجرا و پیاده‌سازی سیستم‌های خدمات - تولید هوشمند اشاره کرده‌اند. در مطالعه حاضر چالش‌های پیاده‌سازی سیستم خدمات - محصول هوشمند شناسایی و به‌منظور ایجاد زمینه مناسب برای اجرای این سیستم، ارزیابی و اولویت‌بندی می‌شوند. با توجه به اینکه امروزه در صنعت لوازم خانگی، از سیستم‌های خدمات محصول هوشمند استفاده گسترده‌ای می‌شود و استفاده از این سیستم‌ها، مزیت رقابتی برای موفقیت در بازار این صنعت است، در این پژوهش صنعت لوازم خانگی بررسی شده است.

فرایند ارزیابی چالش‌های پیاده‌سازی سیستم خدمات - محصول هوشمند، عدم قطعیت‌هایی دارد که ممکن است به نتایج ارزیابی نادرست منجر شود؛ به همین دلیل، از روش بهترین بدترین راف - فازی<sup>۵</sup> برای اولویت‌بندی آن‌ها استفاده شده است. این روش با بررسی هم‌زمان عدم قطعیت درون فردی و بین فردی<sup>۶</sup>، باعث می‌شود که ارزیابی انجام‌شده، دقت و عینیت بیشتری را در مقایسه با روش بهترین بدترین مبتنی بر منطق فازی یا مبتنی بر تئوری راف ارائه دهد.

در ادامه تحقیق، مبانی نظری و پیشینه پژوهش بررسی می‌شود. بخش بعدی به روش‌شناسی پژوهش اختصاص دارد. تحلیل یافته‌های حاصل از ارزیابی چالش‌های پیاده‌سازی سیستم‌های خدمات محصول هوشمند با استفاده از این مدل در بخش چهارم ارائه شده است. در بخش پنجم نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادها بیان شده است.

1. Product-service system
2. Chowdhury, Haftor & Pashkevich
3. Information Communications Technology
4. Smart product-service system
5. Rough-Fuzzy Best Worst method
6. Intrapersonal uncertainty and interpersonal uncertainty

## پیشینه نظری پژوهش

### سیستم‌های خدمات - محصول

در بازار جهانی دائم در حال تغییر کنونی، شرکت‌ها از حوزه کسب‌وکار فروش محصولات، به سمت کسب‌وکار مبتنی بر خدمات روی می‌آورند و از طریق ادغام محصولات و خدمات در سیستم خدمات محصول برای پیشی گرفتن از رقبای خود تلاش می‌کنند. سیستم‌های خدمات - محصول برای ادغام محصولات ملموس و خدمات نامشهود در نظر گرفته شده و با ارائه محصولات شخصی‌سازی شده و خدمات توأم، سعی می‌کنند که نیازهای خاص مشتریان را برطرف کنند (ژنگ و ونگ، چن و خو<sup>۱</sup>، ۲۰۱۹). به تعریف مونت<sup>۲</sup> (۲۰۰۲) سیستم خدمات محصول سیستمی از محصولات، خدمات، شبکه‌های پشتیبانی‌کننده و زیرساختی است و به گونه‌ای طراحی شده است که رقابتی و تأمین‌کننده نیازهای مشتریان باشد و تأثیرهای زیست‌محیطی کمتری نسبت به مدل‌های تجاری سنتی داشته باشد.

### سیستم‌های خدمات - محصول هوشمند

سیستم‌های خدمات - محصول هوشمند، به عنوان الگوی جدید کسب‌وکار، در سال ۲۰۱۵ توسط والنسیا و همکارانش معرفی شد. ترکیبی از عملکردهای فیزیکی محصولات و دیجیتالی‌سازی خدمات، به شکل‌گیری یک مدل PSS منجر می‌شود که می‌تواند به طور سیستماتیک و نوآورانه نیازهای کاربر را برآورده کند. با توجه به بلوغ فزاینده اینترنت اشیا<sup>۳</sup>، شرکت‌ها نه تنها محصولات فیزیکی تولید می‌کنند، بلکه با ارائه خدمات ضروری و ارزشمند نیازهای خاص کاربران را نیز برآورده می‌کنند. اتصال بی‌سیم به همراه اجزای هوشمندی همچون سنسورها، سیستم‌های کنترل و نرم‌افزارهای تعبیه شده در ماشین‌آلات، محدوده رقابتی بالقوه‌ای را برای شرکت‌های تولیدی ایجاد کرده است. سیستم خدمات - محصول هوشمند، در واقع زمانی توسعه می‌یابد که یک شرکت تولیدی، خدماتی را به محصولات خود اضافه می‌کند یا یک شرکت خدماتی، محصولاتی را در کنار خدمات خود عرضه می‌کند یا یک شرکت جدید، کسب‌وکار خود را بر مبنای هر دو آن‌ها بنا می‌کند (والنسیا، ماگ، اسکورمن و شیفرشتاین<sup>۴</sup>، ۲۰۱۴). این سیستم بر اساس ترکیبات و تعاملات بین فناوری‌های هوشمند، محصولات فیزیکی، خدمات و مدل‌های تجاری تعریف شده است (چودری و همکاران، ۲۰۱۸). فناوری‌های هوشمند فناوری‌هایی هستند که از این قابلیت‌ها برخوردارند: برنامه‌ریزی<sup>۵</sup>، به‌خاطر سپاری<sup>۶</sup>، آدرس‌دهی<sup>۷</sup>، انتقال<sup>۸</sup>، ردیابی<sup>۹</sup>، معقول<sup>۱۰</sup> و مرتبط<sup>۱۱</sup>. محصولات فیزیکی (برای مثال، تجهیزات صنعتی جاسازی شده با اشیای دیجیتالی) به عنوان بخشی از قرارداد به فروش می‌رسند، اجازه داده می‌شوند یا به شکل موقت به مشتری تحویل داده

1. Zheng, Wang, Chen & Khoo

2. Mont

3. Internet of things

4. Valencia, Mugge, Schoormans & Schifferstein

5. Programmable

6. Memorable

7. Addressable

8. Portable

9. Traceable

10. Reasonable

11. Related

می‌شوند. خدمات دیجیتالی و غیردیجیتالی، فعالیتی است که برای ارائه راه‌حل‌های دیجیتالی و غیردیجیتالی برای رفع نیازهای مشتری انجام می‌شود و مدل‌های تجاری دیجیتال، سازوکاری برای استفاده از فناوری‌ها، محصولات و خدمات هوشمند برای ایجاد و جذب ارزش تعریف می‌شوند. جدول ۱ ویژگی‌های متمایز PSS هوشمند را نشان می‌دهد.

جدول ۱. ویژگی‌های متمایز PSS هوشمند

ویژگی PSS هوشمند	جنبه
بسیاری از فناوری‌های پیشرفته اطلاعاتی مانند هوش مصنوعی و پایگاه داده برای هوشمندسازی محصولات استفاده می‌شود و مشتریان می‌توانند از محصولات بهتر استفاده کنند.	استفاده از فناوری اطلاعات
به دلیل پشتیبانی از فناوری اطلاعات، PSS هوشمند، برای ارائه خدمات شخصی به افراد، قدرت محاسباتی بیشتری دارد.	خدمات شخصی
PSS هوشمند دارای مجموعه‌ای کامل از استانداردهای صنعت است.	استاندارد صنعت
در مقایسه با PSS سنتی، استفاده گسترده از فناوری اطلاعات کمبود آن را در استفاده‌های صنعتی در مقیاس وسیع جبران می‌کند.	کاربردهای صنعتی در مقیاس بزرگ

منبع: چن و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۰

با تجزیه و تحلیل چارچوب نظری سیستم هوشمند خدمات - محصول، می‌توان دید این سیستم با ویژگی‌های خوبی مانند شخصی‌سازی و سفارشی‌سازی، رشد پایدار و مشارکت در خدمات، در مقایسه با سیستم‌های سنتی خدمات - محصول، از لحاظ عملی، از اهمیت زیادی برخوردار است و چشم‌اندازهای خوبی برای کاربرد دارد (چن و همکاران، ۲۰۲۰).

### پیاده‌سازی سیستم‌های خدمات محصول هوشمند

از نظر فنی، پیاده‌سازی PSS هوشمند در چرخه عمر مهندسی به مراحل طراحی، تولید، توزیع - لجستیک، کاربرد و پایان چرخه عمر تقسیم می‌شود (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۹).

#### مرحله طراحی

وظایف در مرحله طراحی به دو دسته تقسیم می‌شوند، مدیریت نیاز و طراحی هوشمند. مهندسی نیاز در PSS هوشمند عمدتاً بر جذب و ارزیابی نیاز متمرکز است که در آن خواسته‌ها و بازخورد مشتری، نه تنها در مرحله طراحی اولیه، بلکه در مرحله ساخت و تولید به صورت داده‌محور جمع‌آوری می‌شود.

#### مرحله تولید

سیستم سایبرفیزیکی (CPS)<sup>۲</sup>، به عنوان انواع منحصر به فرد PSS هوشمند، فناوری‌های هستند که به طور گسترده در فرایند تولید، به ویژه در تولید هوشمند و بازرسی هوشمند به کار گرفته می‌شوند. فرایندهای فیزیکی موجود در کارخانه هوشمند و زنجیره ارزش آن به واسطه سامانه CPS با استفاده از پایش مداوم داده‌های حاصل از حسگرهای هوشمند و

1. Chen et al

2. Cyber-physical system

معمولی که در شبکه‌های صنعتی قرار دارند و با پردازش و تفسیر آن‌ها، اطلاعات باارزشی برای خلق نسخه مجازی از فرایندهای مزبور ایجاد کرده و سیستم را قادر می‌کند تا به صورت غیرمتمرکز، برای کنترل بهینه کارخانه و زنجیره ارزش خود تصمیم‌گیری کند. این مرحله، مدیریت منابع، برنامه تولید و کنترل - تنظیم مجدد فرایند تولید را شامل می‌شود.

### مرحله توزیع / لجستیک

در دامنه لجستیک، سیر اطلاعات و خدمات پایدار با استفاده از اینترنت فیزیکی (PI)<sup>۱</sup> سیستم خدمات - محصول و رایانش ابری در دسترس هستند. با ایجاد مفهوم ابر زنجیره‌ای<sup>۲</sup> پیشنهاد شده وازکز مارتینز<sup>۳</sup> (۲۰۱۸) می‌توان جریان اطلاعاتی یکپارچه بین مشتریان، شرکا و سازمان‌ها را تضمین کرد. همچنین، حریم خصوصی خدمات تحویل محصول نیز با استفاده از بسته‌های رمزگذاری شده تضمین می‌شود. از این رو، کیفیت خدمات لجستیک به طور شایان توجهی در زمینه PSS هوشمند افزایش می‌یابد.

### مرحله کاربرد

این مرحله به عنوان عملیات - نگهداری هوشمند، پیکربندی مجدد هوشمند، کاربرد مجدد هوشمند و بازسازی هوشمند، به شرح زیر تقسیم می‌شود:

۱. عملیات تعمیر و نگهداری هوشمند. این عملیات عمدتاً شامل دو نوع وظیفه خاص است: ارزیابی عملکرد و همچنین نظارت و نگهداری و عیب‌یابی. ارزیابی عملکرد، بر تجزیه و تحلیل گزاره‌های PSS مانند زمان اجرا، هزینه‌ها و انعطاف‌پذیری عملیاتی متمرکز است؛ در حالی که وظایف نظارت، نگهداری و عیب‌یابی و همچنین نظارت و عملکرد گزاره‌های PSS را مدنظر دارد. بسیاری از فناوری‌های پیشرفته امکان‌پذیر، از جمله واقعیت افزوده (AR)<sup>۴</sup> و دوقلوی دیجیتال در این نوع وظایف اعمال می‌شوند و به PSS قابلیت‌های جدیدی می‌دهند.
۲. پیکربندی هوشمند. اصلاح یک محصول هوشمند موجود، به منظور تحقق نیازهای جدید توصیف شده است. در محیط هوشمند و متصل، می‌توان بر اساس داده‌های حسگر محصول و داده‌های تولید شده توسط کاربر سیستم (برای مثال محیط استفاده یا رفتار کاربر)، تصمیمات اطمینان‌آورتری درباره تغییر مهندسی اتخاذ کرد.
۳. کاربرد مجدد/ ساخت مجدد هوشمند. با استفاده از فناوری سنسورها، می‌توان از ویژگی‌های کاربردی مجدد کاهش هزینه) در صنایع، به ویژه صنایع حساس به زمان استفاده کرد. در همین حال، استفاده از PSS هوشمند روند تولید مجدد را تسهیل می‌کند و کیفیت محصولات بازسازی شده (محصولات ترمیم یا تعمیر شده با مشخصات محصول اصلی تولیدشده از طریق تعمیر یا جایگزینی اجزا و قطعات فرسوده و منسوخ) را بهبود می‌بخشد.

1. Physical Internet  
2. Cloud-chain  
3. Vazquez-Martinez et al.  
4. Augmented reality

### مرحلهٔ پایان چرخهٔ عمر

با ادغام PSS هوشمند و اقتصاد مدور<sup>۱</sup>، مفهوم جدیدی با عنوان «سیستم مدور هوشمند» معرفی شد. بازیافت هوشمند در پایان چرخه، یکی از اصلی‌ترین استراتژی‌های سیستم است. فرایند بازیافت محصول، به دلیل فناوری‌های پیشرفته اینترنت اشیا و مدیریت داده‌های چرخهٔ عمر محصول می‌تواند کارآمدتر و مؤثرتر باشد. با اتصال سنسورها و اطلاعات ترکیب محصول به محصولات هوشمند، می‌توان طراحی فرایند بازیافت (برای مثال فرایند جمع‌آوری مواد زائد) را به‌جای استفاده از یک پایگاه دادهٔ اضافی، بر اساس اطلاعات متصل‌شدهٔ محصولات، ساده کرد. درعین حال، کیفیت بازیافت محصول نیز بهبود می‌یابد (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۹).

### پیشینهٔ پژوهش

طراحی PSS هوشمند به‌عنوان فرایند ادغام مدل‌های کسب‌وکار (ادغام محصولات و خدمات برای ایجاد ارزش افزوده برای مصرف‌کنندگان) تعریف می‌شود. شناسایی چالش‌های طراحی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ زیرا می‌تواند به کاهش ضعف‌هایی کمک کند که در زمینهٔ طراحی خاص و مؤثر PSS هوشمند وجود دارند. PSS های هوشمند به‌دنبال تعامل بلندمدت با مصرف‌کنندگان نهایی هستند و تعریف گزاره‌های ارزش مناسب در ساخت چنین روابطی نقش بسزایی دارد. والنسیا و همکاران (۲۰۱۴) با شناسایی چالش‌های طراحی PSS هوشمند بیان کردند که ایجاد تعامل باکیفیت بین PSS هوشمند و مصرف‌کنندگان به‌عنوان چالش مهم طراحی، نشان‌دهندهٔ اهمیت جنبهٔ بشری در PSS هوشمند است، ایجاد انسجام در نقطهٔ تماس<sup>۲</sup> (هر تعاملی فیزیکی یا آنالین که در اثر آن تعامل ممکن است فکر و احساس مشتری دربارهٔ محصول، برند، کسب‌وکار یا خدمات شما تغییر کند) در PSS هوشمند که تجربه مصرف‌کنندگان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مهمترین چالش طراحی محسوب می‌شود. انسجام در نمایش بصری سیستم، همچون رنگ‌ها، شکل‌ها، تصویرها و زبان نوشتاری، به مصرف‌کننده کمک می‌کند که نقطه تماس‌های متفاوتی را با سیستم تجربه کند (والنسیا و همکاران، ۲۰۱۴).

ارزیابی گزاره‌های نوآورانه (IVP)<sup>۳</sup> در سیستم خدمات وسایل نقلیهٔ هوشمند با استفاده از روش دیمتل<sup>۴</sup> راف - فازی مبتنی بر گرافیک، پژوهش دیگری در زمینهٔ سیستم‌های خدمات - محصول هوشمند است. استفاده از مجموعه‌های رافی و فازی با هم، در روش‌های تصمیم‌گیری همچون دیمتل و بهترین بدترین، می‌تواند نتایج دقیق‌تری را حاصل نماید. چن و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۲۰)، برای ارزیابی گزاره‌های نوآورانه در سیستم‌های خدمات محصول هوشمند (سیستم خدمات وسایل نقلیهٔ هوشمند)، روش دیمتل راف - فازی مبتنی بر گرافیک را ارائه دادند. تجزیه و تحلیل IVPها در برنامه‌ریزی و طراحی موفق مدل کسب‌وکار PSS هوشمند نقش مهمی دارد. روش پیشنهادی آن‌ها، قضاوت‌های کلامی تصمیم‌گیرندگان را با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های درون‌فردی و بین‌فردی، به عدد بازه‌ای راف - فازی تبدیل می‌کند. روش دیمتل راف -

1. Circular economy
2. Touchpoint
3. Innovation value propositions
4. DEMATEL
5. Chen et al



فازی پیشنهادی، در مقایسه با سایر روش‌های ارزیابی، در ارزیابی ارتباط متقابل و درجه اهمیت گزاره‌های شناسایی شده اثربخشی بیشتری دارد و مزایای مجموعه فازی در مقابله با عدم قطعیت درون فردی و قدرت مجموعه راف در مدیریت عدم قطعیت بین فردی را ادغام می‌کند. نتایج این تحقیق نشان داد که گزینه‌های تعمیر نگهداری هوشمند، بازخورد داده‌های هوشمند به تولید خودرو هوشمند، تحلیل رفتار کاربر و بازخورد داده هوشمند به زنجیره تأمین هوشمند، به ترتیب در توسعه سیستم خدمات وسایل نقلیه هوشمند بیشترین اولویت‌ها را دارند.

شناسایی چالش‌های پیاده‌سازی سیستم‌های خدمات - محصول هوشمند، به منظور ایجاد زمینه مناسب برای اجرای این سیستم‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. شودین، پریدا، لکسل و پتروویک<sup>۱</sup> (۲۰۱۸)، چالش‌های پیاده‌سازی PSS هوشمند را به سه دسته چالش کارکنان، چالش فناوری و چالش فرایندی تقسیم کردند. کارمندان و کارکنان کارخانه، اغلب از اجرای سیستم خدمات - محصول هوشمند، دیدگاه مشترک و درک کاملی ندارند. همچنین با توجه به ماهیت کاملاً پیچیده فناوری‌ها و سیستم‌های خدمات - محصول هوشمند، سنجش سود بالقوه این پروژه‌ها کار سختی است و باعث تبدیل شدن پروژه پیاده‌سازی PSS هوشمند به پرونده‌ای نامطمئن برای اجرا می‌شود. هزینه بسیار سنگین اجرای PSS هوشمند، به ویژه در سال‌های اولیه، عدم اطمینان را بیشتر می‌کند؛ زیرا سود این گونه سرمایه‌گذاری، در زمان نامعلوم و در آینده به دست خواهد آمد. فرایندهای تولید، در کل، به همان روش موجود برای مدت طولانی اجرا می‌شوند. همچنین عدم درک و دید مشترک بین کارمندان، پیچیدگی فناوری و ایجاد عدم اطمینان درباره کسب و کار، مشکلات در برنامه‌ریزی طولانی مدت به دلیل گردش مالی زیاد، عدم درک مزایای بالقوه PSS هوشمند، عدم همکاری بین کارخانه‌ای بین تیم‌های پیاده‌سازی و چالش‌های ایمنی و امنیتی اطلاعات را به عنوان چالش‌های دیگر پیاده‌سازی و اجرای PSS هوشمند عنوان کردند.

ژنگ و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی سیستم‌های خدمات هوشمند محصول و جنبه‌های کلیدی، چالش‌ها و چشم‌انداز آینده آن، یک معماری عمومی برای سیستم خدمات محصول هوشمند ارائه دادند. همچنین به دو چالش ترکیبی در فرایند توسعه و اجرای PSS هوشمند اشاره کردند.

### چالش طراحی ترکیبی

PSS هوشمند با استفاده از فناوری اطلاعات پیشرفته، هم فرایند طراحی و هم طراحی معکوس را مورد توجه قرار می‌دهد. در مرحله طراحی اولیه PSS هوشمند، علاوه بر اینکه خانواده خدمات - محصول از پیش تعریف شده (غیرهوشمند) را در بستر وب برای پیکربندی کاربر فراهم می‌کند، می‌بایست به خوبی مؤلفه‌های اتصال هوشمند در محیط اینترنت اشیا را تعریف کند و بتواند در مرحله کاربرد با استفاده از داده‌های گسترده تولید شده توسط کاربر و داده‌های مربوط به محصول در محیط هوشمند و متصل، برای طراحی مجدد نوآوری - بهبود، تغییر یا ارتقا یابد.

### چالش ارزش ترکیبی

PSS هوشمند الگوی تجاری ایجاد ارزش از طریق فناوری اطلاعات است و هدف نهایی آن، دستیابی به نوآوری باز

(ارزش اجتماعی) و پایداری (ارزش زیست محیطی) است. از نظر صنعتی، PSS هوشمند را می‌توان همانند یک اکوسیستم اجتماعی - فنی انسان محور دید. سهام‌داران با استفاده از فناوری، به بخشی جدایی‌ناپذیر از فرایند نوآوری تبدیل می‌شوند و تجربه آن‌ها، یعنی تجربه کاربر، روند نوآوری را هدایت می‌کند. از این رو، توسعه و پیاده‌سازی PSS هوشمند باید همیشه انسان‌ها را به روشی نوآورانه درون این حلقه قرار دهد. از نظر چالش‌های پایداری، PSS هوشمند از اصول اساسی PSS پیروی کرده و بر تأثیر کمتر بر محیط زیست برای اقتصاد مدور تأکید می‌کند. پژوهش‌های کمی بسیاری برای فهم دقیق PSS مدور هوشمند انجام شده است؛ ولی مطالعات کیفی اندکی درباره پتانسیل‌های PSS مدور هوشمند برای پرداختن به مسائل پایداری و افزایش بهره‌وری منابع و افزایش طول عمر بحث کرده‌اند.

در زمینه بررسی چالش‌های اجرای PSS هوشمند، فویال و بیستا<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) به برخی از چالش‌های اجرای PSS هوشمند از جمله امنیت اطلاعات، تلفیق تجهیزات و فناوری‌ها و مسائل سرمایه‌گذاری، مالی و فرایندی اشاره کرده‌اند؛ چرا که PSS هوشمند از طریق اینترنت تنظیم می‌شود و اشتراک اطلاعات از طریق اینترنت، به امنیت داده‌ها و اطلاعات در سراسر سیستم نیاز دارد. چالش دیگر اجرای سیستم خدمات - محصول هوشمند، یکپارچه‌سازی سیستم و تلفیق تجهیزات فناوری‌های جدید با تجهیزات موجود است. سازگاری دستگاه‌های موجود با دستگاه‌های جدید، مشکلات مختلفی را در اجرای فناوری‌های PSS هوشمند ایجاد می‌کند. تجزیه و تحلیل مالی و بازگشت سرمایه که از چالش‌های اصلی پیاده‌سازی این سیستم است، با دقت زیادی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. پس از مرور مقالات در حوزه سیستم‌های خدمات محصول هوشمند، مشخص شد که در زمینه چالش‌های پیاده‌سازی، به‌خصوص دسته‌بندی و اولویت‌بندی آن‌ها تحقیقی انجام نشده است. پژوهش حاضر به شناسایی، بررسی و اولویت‌های چالش‌های اجرای این سیستم با استفاده از روش بهترین بدترین راف فازی می‌پردازد و می‌تواند مرجع مناسبی برای محققان، مدیران و کارشناسان شرکت‌هایی باشد که در این زمینه فعالیت دارند.

## روش‌شناسی پژوهش

### روش دلفی فازی

هدف از روش دلفی فازی دسترسی به مطمئن‌ترین توافق گروهی خبرگان درباره موضوعی خاص است که با استفاده از پرسش‌نامه و نظرخواهی از خبرگان و با توجه به بازخورد حاصل از آن‌ها صورت می‌پذیرد. کاربرد این روش به‌منظور تصمیم‌گیری و اجماع بر مسائلی که اهداف و پارامترها به‌صراحت مشخص نیستند، به نتایج ارزنده‌ای منجر می‌شود. ویژگی مهم این روش، ارائه چارچوبی انعطاف‌پذیر است که بسیاری از موانع مربوط به عدم دقت و صراحت را تحت پوشش قرار می‌دهد. بسیاری از مشکلات در تصمیم‌گیری‌ها مربوط به اطلاعات ناقص و نادقیق است. همچنین تصمیم‌های اتخاذ شده خبرگان، بر اساس صلاحیت فردی آنان است و به‌شدت ذهنی. بنابراین بهتر است داده‌ها به‌جای اعداد قطعی با عدد فازی نمایش داده شوند. در روش دلفی، پیش‌بینی‌های ارائه شده توسط افراد خبره، در قالب اعداد قطعی بیان می‌شوند، در حالی که استفاده از اعداد قطعی برای پیش‌بینی‌های بلندمدت، آن را از دنیای واقعی دور می‌سازد.

از طرفی افراد خبره از شایستگی‌ها و توانایی‌های ذهنی خود برای پیش‌بینی استفاده می‌کنند و این نشان می‌دهد که عدم قطعیت حاکم بر این شرایط، از نوع امکانی است نه احتمالی. امکانی بودن عدم قطعیت، با مجموعه‌های فازی سازگاری دارد و بنابراین بهتر آن است با استفاده از مجموعه‌های فازی (با به‌کارگیری اعداد فازی) به پیش‌بینی بلندمدت و تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پردازیم. بدین ترتیب اطلاعات لازم را در قالب زبان طبیعی از خبرگان اخذ کرده و تحلیل می‌کنیم. این روش تحلیل، روش دلفی فازی نامیده می‌شود. مراحل اجرایی روش دلفی فازی در واقع ترکیبی از اجرای روش دلفی و انجام تحلیل‌ها روی اطلاعات با استفاده از تعاریف نظریه مجموعه‌های فازی است. مراحل اجرای روش دلفی مورد استفاده در این تحقیق به شرح زیر است (ژانگ<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷):

۱. از افراد خبره خواسته می‌شود تا ارزش هر شاخص را با واژه‌های کلامی مشخص کنند. واژه‌های کلامی مطابق

با جدول ۲ به اعداد فازی مثلثی تبدیل می‌شوند.

۲. ارزش  $k$  امین شاخص که توسط  $i$  امین خبره مشخص شده است، به صورت اعداد فازی مثلثی و به شکل

$w_{ik} = (a_{ik}, b_{ik}, c_{ik}) \quad i = 1, 2, \dots, m$  نشان داده می‌شود. بنابراین وزن فازی  $k$  امین شاخص به صورت زیر

است.

$$w_k = (\alpha_k, \beta_k, \gamma_k) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه (۱)}$$

در اینجا  $\alpha_k = \min(a_{ik})$  و  $\beta_k = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m b_{ik}$  و  $\gamma_k = \max(c_{ik})$  است.

جدول ۲. اعداد فازی مثلثی معادل واژه‌های کلامی

واژه کلامی	مقیاس فازی	عدد فازی مثلثی
خیلی مهم	$\tilde{9}$	(۷، ۹، ۹)
مهم	$\tilde{7}$	(۵، ۷، ۹)
متوسط	$\tilde{5}$	(۳، ۵، ۷)
کم اهمیت	$\tilde{3}$	(۱، ۳، ۵)
بسیار کم اهمیت	$\tilde{1}$	(۱، ۱، ۳)

۳. برای به دست آوردن وزن نهایی  $S_k$ ، وزن فازی هر شاخص با استفاده از رابطه ۲ دی‌فازی می‌شود.

$$S_k = \frac{\alpha_k + \beta_k + \gamma_k}{3} \quad \text{رابطه (۲)}$$

۴. آستانه  $\rho$  برای مشخص کردن شاخص‌های مهم تعیین می‌شود. اگر  $S_k > \rho$  باشد،  $k$  امین شاخص انتخاب

می‌شود و چنانچه  $S_k < \rho$  باشد، آن شاخص حذف می‌شود. در عمل، چنانچه شاخص‌های بیشتری مدنظر

باشد،  $\rho$  بزرگ‌تری در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش، حد آستانه  $5/6$  در نظر گرفته شده است.

## روش بهترین بدترین راف - فازی

روش بهترین بدترین راف - فازی جزء روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)<sup>۱</sup> است. داده‌هایی که از دنیای واقعی اخذ می‌شوند، معمولاً انواع نویزها، عدم قطعیت بسیار و اطلاعات غیرکامل فراوانی را دربرمی‌گیرند. بسیاری از مفاهیم و تئوری‌های عدم قطعیت نظیر مجموعه‌های فازی، سیستم‌های خاکستری و مجموعه‌های راف، در گذشته معرفی شده و در سال‌های اخیر ابزارهای ریاضی مبتنی بر آن‌ها با سرعت بالایی توسعه یافته‌اند. این روش به‌طور هم‌زمان عدم قطعیت درون فردی و بین فردی<sup>۲</sup> را در نظر می‌گیرد. عدم قطعیت درون فردی، عدم اطمینان شخص دربارهٔ یک کلمه را توصیف می‌کند، یک فرد در توصیف یک موقعیت مشخص می‌تواند از عبارات‌های متنوعی استفاده کند. اگر این عدم اطمینان بین گروهی از افراد دربارهٔ یک موقعیت یکسان باشد، به‌عنوان عدم اطمینان بین فردی شناخته می‌شود. از آنجایی که انتخاب مهم‌ترین چالش و نیز اولویت‌بندی آن‌ها، از مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره است و فرایند ارزیابی چالش‌های پیاده‌سازی سیستم خدمات - محصول هوشمند شامل عدم قطعیت‌هایی است که ممکن است به نتایج ارزیابی نادرست منجر شود، تصمیم‌گیرندگان در ارزیابی گزینه‌ها و معیارهای پژوهش، از ترجیحاتی استفاده می‌کنند که غیرقطعی است. از این رو، در این پژوهش از مفهوم تئوری مجموعه راف و منطق فازی که در چنین شرایطی کارآمد است، استفاده می‌شود. این روش با بررسی هم‌زمان عدم اطمینان درون فردی و بین فردی، باعث می‌شود که ارزیابی به‌دست‌آمده، دقت و عینیت بیشتری را در مقایسه با روش بهترین بدترین مبتنی بر منطق فازی و یا مبتنی بر تئوری راف ارائه دهد. مراحل روش بهترین بدترین راف - فازی به شرح زیر است (چن و همکاران، ۲۰۲۰).

### گام ۱. مشخص کردن بهترین / مهم‌ترین گزینه (B) و کم‌اهمیت‌ترین گزینه (W)

یک گروه تصمیم‌گیری متشکل از تعداد R تصمیم‌گیرنده (DM)<sup>۵</sup> برای ارزیابی تعداد n گزینه تصمیم دعوت می‌شوند. ابتدا گروه تصمیم‌گیرنده‌ها، بر اساس اولویت‌های رایج خود بهترین (مهم‌ترین) و بدترین (کم‌اهمیت‌ترین) گزینه را انتخاب می‌کنند.

### گام ۲. تشکیل بردار بهترین راف - فازی (RF-BO)

- گام ۱-۲. ایجاد گروه بردارهای کلامی BO<sup>۶</sup> (بهترین نسبت به سایر گزینه‌ها)

از کارشناسان خواسته می‌شود که از متغیرهای کلامی برای بیان درجهٔ اولویت بهترین گزینه نسبت به سایر گزینه‌ها استفاده کنند. بردارهای مقایسه‌ای بهترین گزینه نسبت به سایر گزینه‌ها ( $A_{BO}^S$ ) به شکل زیر تعریف می‌شود.  $A_{BO}$  شامل ماتریسی از بردارهای  $A_{BO}^S$  است که در آن S شمارهٔ تصمیم‌گیرنده را نشان می‌دهد. به‌طور مثال،  $A_{BO}^2$  بردار درجهٔ اولویت بهترین گزینه نسبت به سایر گزینه‌هاست که توسط کارشناس دوم مشخص شده است.

1. Multi Criteria Decision Making
2. Intrapersonal uncertainty and interpersonal uncertainty
3. Best
4. Worst
5. Decision makers
6. Best option over the other options

برای سایر کارشناسان این بردار تشکیل می‌شود و در نهایت گروه‌های برداری BO به صورت زیر بیان می‌شود.

$$A_{BO} = \begin{matrix} A_{BO}^1 \\ A_{BO}^2 \\ \vdots \\ A_{BO}^R \end{matrix} \begin{bmatrix} CH_1 & CH_2 & \dots & CH_n \\ a_{B1}^1 & a_{B2}^1 & \dots & a_{Bn}^1 \\ a_{B1}^2 & a_{B2}^2 & \dots & a_{Bn}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{B1}^R & a_{B2}^R & \dots & a_{Bn}^R \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$A_{BO}^S = [a_{B1}^S, a_{B2}^S, \dots, a_{Bj}^S, \dots, a_{Bn}^S]$$

• گام ۲-۲. تشکیل بردارهای BO فازی گروهی

در این مرحله  $A_{BO}^S$  و  $A_{BO}$  به صورت فازی بیان می‌شوند. متغیرهای کلامی در جدول ۳ مشخص شده‌اند. بنابراین عنصر  $a_{B1}^S$  از بردار کلامی  $A_{BO}^S$  به  $(l_{Bj}^S, m_{Bj}^S, u_{Bj}^S)$  تبدیل می‌شود.  $l_{Bj}^S$ ،  $m_{Bj}^S$  و  $u_{Bj}^S$  به ترتیب حد پایینی، میانی و بالایی عدد فازی مثلثی (TFN)<sup>۱</sup> هستند. معادل فازی بردارهای فوق به شکل زیر است.

$$\hat{A}_{BO} = \begin{matrix} \hat{A}_{BO}^1 \\ \hat{A}_{BO}^2 \\ \vdots \\ \hat{A}_{BO}^R \end{matrix} \begin{bmatrix} CH_1 & CH_2 & \dots & CH_n \\ \tilde{a}_{B1}^1 & \tilde{a}_{B2}^1 & \dots & \tilde{a}_{Bn}^1 \\ \tilde{a}_{B1}^2 & \tilde{a}_{B2}^2 & \dots & \tilde{a}_{Bn}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{B1}^R & \tilde{a}_{B2}^R & \dots & \tilde{a}_{Bn}^R \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$\hat{A}_{BO}^S = [\tilde{a}_{B1}^S, \tilde{a}_{B2}^S, \dots, \tilde{a}_{Bj}^S, \dots, \tilde{a}_{Bn}^S]$$

گروه بردارهای BO به شکل  $\hat{A}_{BO}$  نمایش داده می‌شود.

$$\hat{A}_{BO} = [\hat{a}_{B1}, \hat{a}_{B2}, \dots, \hat{a}_{Bj}, \dots, \hat{a}_{Bn}] \quad \text{رابطه ۵}$$

که

$$\hat{a}_{Bj} = (\hat{l}_{Bj}, \hat{m}_{Bj}, \hat{u}_{Bj}), \hat{l}_{Bj} = (l_{Bj}^1, \dots, l_{Bj}^S, \dots, l_{Bj}^R) \quad \text{رابطه ۶}$$

$$\hat{m}_{Bj} = (m_{Bj}^1, \dots, m_{Bj}^S, \dots, m_{Bj}^R), \hat{u}_{Bj} = (u_{Bj}^1, \dots, u_{Bj}^S, \dots, u_{Bj}^R)$$

همچنین گروه اعداد مثلثی به شکل زیر بیان می‌شوند.

$$\hat{a}_{Bj} = (\tilde{a}_{Bj}^1, \dots, \tilde{a}_{Bj}^S, \dots, \tilde{a}_{Bj}^R) \quad \text{رابطه ۷}$$

1. Triangular fuzzy number

جدول ۳. متغیرهای کلامی و معادل اعداد فازی مثلثی

متغیرهای کلامی	معادل عدد قطعی	عدد فازی مثلثی
به‌شدت بی‌اهمیت	۱	(۱،۱،۱)
مابین بسیار بی‌اهمیت و به‌شدت بی‌اهمیت	۲	(۱،۲،۳)
بسیار بی‌اهمیت	۳	(۲،۳،۴)
مابین بسیار بی‌اهمیت و نسبتاً مهم	۴	(۳،۴،۵)
نسبتاً مهم	۵	(۴،۵،۶)
مابین نسبتاً مهم و خیلی مهم	۶	(۵،۶،۷)
خیلی مهم	۷	(۶،۷،۸)
مابین خیلی مهم و به‌شدت مهم	۸	(۷،۸،۹)
به‌شدت مهم	۹	(۸،۹،۹)

• گام ۲-۳. یافتن بردار RF-BO

در این مرحله، بردارهای فازی گروهی که توسط R تصمیم‌گیرنده ایجاد می‌شوند، به بردارهای راف - فازی تبدیل می‌شوند، اعداد راف فازی اولین بار توسط چن و همکاران (۲۰۲۰) ارائه شدند. برای تبدیل اعداد فازی مثلثی با فرم  $\hat{a}_{Bj} = (\hat{l}_{Bj}, \hat{m}_{Bj}, \hat{u}_{Bj})$  به اعداد راف - فازی  $RF(\hat{a}_{Bj})$  از رویکرد عملیات راف - فازی استفاده می‌شود.

گام ۲-۳-۱. به‌دست‌آوردن تقرب پایین و بالای هر TFN

برای گروه‌های برداری فازی مثلثی  $\hat{a}_{Bj} = \{\hat{a}_{Bj}^1, \dots, \hat{a}_{Bj}^S, \dots, \hat{a}_{Bj}^R\}$  تقرب پایین و بالای s امین عدد فازی مثلثی  $(TFN \hat{a}_{Bj}^S)$  به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند.

تقرب پایین:

$$\underline{Apr}(\hat{a}_{Bj}^S) = \cup \{\hat{a}_{Bj}^t \in \hat{a}_{Bj} / \hat{a}_{Bj}^t \leq \hat{a}_{Bj}^S\} \quad \text{رابطه ۸}$$

تقرب بالا:

$$\overline{Apr}(\hat{a}_{Bj}^S) = \cup \{\hat{a}_{Bj}^t \in \hat{a}_{Bj} / \hat{a}_{Bj}^t \geq \hat{a}_{Bj}^S\} \quad \text{رابطه ۹}$$

گام ۲-۳-۲. به دست آوردن حد بالا و پایین هر TFN به پایین و بالای  $\hat{a}_{Bj}^S$  به روش زیر محاسبه می‌شوند.

$$\underline{lim}(\hat{a}_{Bj}^S) = (\underline{lim}(l_{Bj}^S), \underline{lim}(m_{Bj}^S), \underline{lim}(u_{Bj}^S)) \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$= \left( \frac{1}{N_s^L} \sum_{k=1}^{N_s^L} X_k^l, \frac{1}{N_s^L} \sum_{k=1}^{N_s^L} X_k^m, \frac{1}{N_s^L} \sum_{k=1}^{N_s^L} X_k^u \right)$$

$$\overline{lim}(\hat{a}_{Bj}^S) = (\overline{lim}(l_{Bj}^S), \overline{lim}(m_{Bj}^S), \overline{lim}(u_{Bj}^S))$$

$$= \left( \frac{1}{N_s^U} \sum_{k=1}^{N_s^U} Y_k^l, \frac{1}{N_s^U} \sum_{k=1}^{N_s^U} Y_k^m, \frac{1}{N_s^U} \sum_{k=1}^{N_s^U} Y_k^u \right)$$

گام ۲-۳-۳. تبدیل هر TFN به راف - فازی. عناصر تقریب پایین برای حد پایین، حد میانی، حد بالایی عدد فازی مثلثی  $\tilde{\alpha}_{Bj}^S$  هستند.  $x_k^l$ ،  $x_k^m$  و  $x_k^u$  به ترتیب، عناصر تقریب بالا برای حد پایین، حد میانی، حد بالایی عدد فازی مثلثی  $\tilde{\alpha}_{Bj}^S$  و همچنین،  $y_k^l$ ،  $y_k^m$  و  $y_k^u$  به ترتیب عناصر تقریب بالا برای حد پایین، حد میانی، حد بالایی عدد فازی مثلثی  $\tilde{\alpha}_{Bj}^S$  و  $N_S^U$  تعداد اعداد منظور شده در تقریب پایین و تقریب بالای عدد فازی مثلثی  $\tilde{\alpha}_{Bj}^S$  هستند.

گام ۲-۳-۳. تبدیل هر TFN به راف - فازی

فرم راف - فازی  $\tilde{\alpha}_{Bj}^S$  که به شکل  $RF(\tilde{\alpha}_{Bj}^S)$  نوشته می‌شود، به شرح ذیل است.

$$RF(\tilde{\alpha}_{Bj}^S) = [\tilde{\alpha}_{Bj}^{SL}, \tilde{\alpha}_{Bj}^{SU}] = [(l_{Bj}^{SL}, m_{Bj}^{SL}, u_{Bj}^{SL}), (l_{Bj}^{SU}, m_{Bj}^{SU}, u_{Bj}^{SU})] \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

عدد راف - فازی  $RF(\tilde{\alpha}_{Bj}^S)$  به شکل زیر هم می‌تواند نوشته شود.

$$RF(\tilde{\alpha}_{Bj}^S) = (RN(l_{Bj}^S), RN(m_{Bj}^S), RN(u_{Bj}^S)) = \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$([l_{Bj}^{SL}, l_{Bj}^{SU}], [m_{Bj}^{SL}, m_{Bj}^{SU}], [u_{Bj}^{SL}, u_{Bj}^{SU}])$$

$$[\underline{\lim}(l_{Bj}^S), \overline{\lim}(l_{Bj}^S)]$$

$$(l_{Bj}^{SL}, m_{Bj}^{SL}, u_{Bj}^{SL}) = (\underline{\lim}(l_{Bj}^S), \underline{\lim}(m_{Bj}^S), \underline{\lim}(u_{Bj}^S))$$

$$(l_{Bj}^{SU}, m_{Bj}^{SU}, u_{Bj}^{SU}) = (\overline{\lim}(l_{Bj}^S), \overline{\lim}(m_{Bj}^S), \overline{\lim}(u_{Bj}^S))$$

در اینجا،  $\tilde{\alpha}_{Bj}^{SL}$  و  $\tilde{\alpha}_{Bj}^{SU}$  به ترتیب حدود پایین و بالای عدد راف - فازی  $RF(\tilde{\alpha}_{Bj}^S)$  هستند.  $l_{Bj}^{SL}$  و  $l_{Bj}^{SU}$  به ترتیب

حدود پایین و بالای عدد رافی  $RN(l_{Bj}^S)$  را نشان می‌دهند.  $m_{Bj}^{SL}$  و  $m_{Bj}^{SU}$  حدود پایین و بالای عدد رافی  $RN(m_{Bj}^S)$  را

معرفی می‌کنند و  $u_{Bj}^{SL}$  و  $u_{Bj}^{SU}$  حدود پایین و بالای عدد رافی  $RN(u_{Bj}^S)$  هستند.

گام ۲-۳-۴. به دست آوردن عدد بازه‌ای راف فازی برای گروه اعداد فازی مثلثی (TFNs)

عدد بازه‌ای<sup>۱</sup> راف فازی  $RF(\hat{\alpha}_{Bj})$  با ادغام گروه اعداد راف - فازی  $RF(\tilde{\alpha}_{Bj}^S)$ ، براساس اصول محاسبات راف به شکل

زیر به دست می‌آید (عملیات محاسباتی اعداد فازی توسط چن و همکاران (۲۰۱۹) و عملیات حسابی اعداد رافی توسط

جای، کو و زانگ<sup>۲</sup> (۲۰۰۸) ارائه شده است).

$$RF(\hat{\alpha}_{Bj}) = RN(\hat{l}_{Bj}), RN(\hat{m}_{Bj}), RN(\hat{u}_{Bj}) = [l_{Bj}^L, l_{Bj}^U], [m_{Bj}^L, m_{Bj}^U], [u_{Bj}^L, u_{Bj}^U] \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$[l_{Bj}^L, l_{Bj}^U] = \left[ \frac{1}{R} \sum_{S=1}^R l_{Bj}^{SL}, \frac{1}{R} \sum_{S=1}^R l_{Bj}^{SU} \right] \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

1. Interval

2. Zhai, Khoo and Zhong

$$[m_{Bj}^L, m_{Bj}^U] = \left[ \frac{1}{R} \sum_{S=1}^R m_{Bj}^{SL}, \frac{1}{R} \sum_{S=1}^R m_{Bj}^{SU} \right]$$

$$[l_{Bj}^L, l_{Bj}^U] = \left[ \frac{1}{R} \sum_{S=1}^R l_{Bj}^{SL}, \frac{1}{R} \sum_{S=1}^R l_{Bj}^{SU} \right]$$

که  $l_{Bj}^U$  و  $l_{Bj}^L$  حدود پایین و بالای عدد بازه‌ای راف  $RN(\hat{l}_{Bj})$  و  $m_{Bj}^L$  و  $m_{Bj}^U$  حدود پایین و بالای عدد بازه‌ای رافی  $RN(\hat{m}_{Bj})$  و  $u_{Bj}^L$  و  $u_{Bj}^U$  حدود پایین و بالای عدد بازه‌ای رافی  $RN(\hat{u}_{Bj})$  هستند.

گام ۲-۳-۵. محاسبه بردار RF-BO

بعد از تبدیل اعداد فازی مثلثی  $TFN(\hat{a}_{Bj}) = (\hat{l}_{Bj}, m_{Bj}, \hat{u}_{Bj})$  به عدد راف - فازی  $RF(\hat{a}_{Bj})$  بردارهای BO فازی  $(\hat{A}_{BO})$  به بردار راف - فازی BO  $(RF(\hat{A}_{BO}))$  تبدیل می‌شوند.

$$RF(\hat{A}_{BO}) = [RF(\hat{a}_{B1}), RF(\hat{a}_{B2}), \dots, RF(\hat{a}_{Bj}), \dots, RF(\hat{a}_{Bn})]_{1 \times n} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

### گام ۳. تشکیل بردار راف - فازی Others-Worst (RF-OW)

در ادامه از گروه تصمیم‌گیری خواسته می‌شود که از متغیرهای کلامی برای بیان درجه اولویت سایر گزینه‌ها  $(CH_j (j = 1, 2, \dots, n))$  نسبت به بدترین (کم‌اهمیت‌ترین) گزینه استفاده کنند. با استفاده از روش‌های توصیف شده در گام ۲، بردارهای گروه کلامی سایر گزینه‌ها نسبت به بدترین گزینه (Others-Worst) به بردار راف - فازی Others-Worst  $(RF-OW)$  به شرح زیر تبدیل می‌شوند.

$$RF(\hat{A}_{OW}) = [RF(\hat{a}_{1W}), RF(\hat{a}_{2W}), \dots, RF(\hat{a}_{jW}), \dots, RF(\hat{a}_{nW})]_{1 \times n} \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$RF(\hat{a}_{jW}) = ([l_{jW}^L, l_{jW}^U], [m_{jW}^L, m_{jW}^U], [u_{jW}^L, u_{jW}^U])$$

گام ۴. محاسبه وزن راف - فازی هر گزینه بر اساس مدل برنامه‌ریزی خطی راف - فازی (RF-LPM) این مرحله با هدف تعیین وزن مطلوب گزینه‌ها به فرم اعداد بازه‌ای راف - فازی انجام می‌شود که باید اختلاف حداکثر مقادیر مطلق برای هر  $CH_j$  حداقل باشد و به شرح زیر بیان می‌شود.

$$\min_j \left\{ \left| \frac{RF(W_B)}{RF(W_j)} - RF(\hat{a}_{Bj}) \right|, \left| \frac{RF(W_j)}{RF(W_W)} - RF(\hat{a}_{jW}) \right| \right\}$$

$RF(W_B)$ ،  $RF(W_j)$  و  $RF(W_W)$  به ترتیب وزن بهینه راف - فازی  $\lambda$ م بهترین و بدترین گزینه هستند  $(CH_j)$

و  $CH_W$  و  $CH_B$ .



نمایش وزن راف - فازی:

$$RF(W_j) = ([l_j^{WL}, l_j^{WU}], [m_j^{WL}, m_j^{WU}], [u_j^{WL}, u_j^{WU}]) \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

برای تمام عناصر وزن‌های راف - فازی گزینه‌ی  $z_{am}(CH_j)$  می‌توان دید که حد پایین هر حد، همیشه کم‌تر یا مساوی حد بالایی مربوطه است و حد پایین و حد میانی و بالا همواره دنباله‌ی صعودی تشکیل می‌دهند. بنابراین محدودیت‌های مربوط به وزن راف - فازی را می‌توان به شرح زیر توصیف کرد.

$$\begin{cases} l_j^{WL} \leq l_j^{WU}, m_j^{WL} \leq m_j^{WU}, u_j^{WL} \leq u_j^{WU} \\ l_j^{WL} \leq m_j^{WL} \leq u_j^{WL}, l_j^{WU} \leq u_j^{WU} \\ 0 \leq l_j^{WL}, l_j^{WU}, m_j^{WL}, m_j^{WU}, u_j^{WL}, u_j^{WU} \leq 1 \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

به‌علاوه، مقدار قطعی  $W_j$  برای هر وزن راف - فازی  $RF(W_j)$  به‌صورت زیر است:

$$l_j^{WL} \leq m_j^{WL} \leq W_j \leq m_j^{WU} \leq u_j^{WU}$$

از آنجایی که مجموع وزن‌های صحیح یک است ( $\sum_{j=1}^n W_j = 1$ ) می‌توان نوشت:

$$\sum_{j=1}^n l_j^{WL} \leq \sum_{j=1}^n m_j^{WL} \leq 1, \quad 1 \leq \sum_{j=1}^n m_j^{WU} \leq \sum_{j=1}^n u_j^{WU}$$

همچنین:

$$\text{sum}(RF(w_j)) \geq \text{sum}(RF(w_w)), \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

$$\text{sum}(RF(w_j)) \leq \text{sum}(RF(w_B))$$

$$\text{sum}(RF(w_j)) = l_j^{WL} + l_j^{WU} + m_j^{WL} + m_j^{WU} + u_j^{WL} + u_j^{WU}$$

با توجه به شرایط و محدودیت‌های مشخص‌شده برای وزن‌های راف - فازی، مدل خطی راف - فازی (RF-LPM)

برای تعیین وزن بهینه برای گزینه‌ها به شرح زیر نوشته می‌شود.

$$\text{Min } \sigma \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

s.t.

$$\left| \frac{l_B^{WL}}{u_j^{WU}} - l_{Bj}^L \right| \leq \sigma; \quad \left| \frac{l_B^{WU}}{u_j^{WL}} - l_{Bj}^U \right| \leq \sigma; \quad \left| \frac{m_B^{WL}}{m_j^{WU}} - m_{Bj}^L \right| \leq \sigma;$$

$$\left| \frac{s_B^{WU}}{m_j^{WL}} - m_{Bj}^u \right| \leq \sigma; \quad \left| \frac{u_B^{WL}}{u_j^{WU}} - u_{Bj}^L \right| \leq \sigma; \quad \left| \frac{u_B^{WU}}{l_j^{WL}} - u_{Bj}^U \right| \leq \sigma;$$

$$\left| \frac{l_j^{WL}}{u_w^{WU}} - l_{jw}^L \right| \leq \sigma; \quad \left| \frac{l_j^{WU}}{u_w^{WL}} - l_{jw}^U \right| \leq \sigma; \quad \left| \frac{m_j^{WL}}{m_w^{WU}} - m_{jw}^L \right| \leq \sigma;$$

$$\left| \frac{S_j^{wU}}{m_w^{wL}} - m_{jw}^u \right| \leq \sigma; \left| \frac{u_j^{wL}}{u_w^{wU}} - u_{jw}^L \right| \leq \sigma; \left| \frac{u_j^{wU}}{l_w^{wL}} - u_{jw}^U \right| \leq \sigma;$$

$$l_j^{wL} \leq l_j^{wU}, m_j^{wL} \leq m_j^{wU}, u_j^{wL} \leq u_j^{wU}$$

$$l_j^{wL} \leq m_j^{wL} \leq u_j^{wL}, l_j^{wU} \leq u_j^{wU}$$

$$0 \leq l_j^{wL}, l_j^{wU}, m_j^{wL}, m_j^{wU}, u_j^{wL}, u_j^{wU} \leq 1$$

$$\text{sum}(RF(w_j)) \leq \text{sum}(RF(w_B))$$

$$\text{sum}(RF(w_j)) \geq \text{sum}(RF(w_w))$$

$$\sum_{j=1}^n l_j^{wL} \leq \sum_{j=1}^n m_j^{wL} \leq 1$$

$$\sum_{j=1}^n m_j^{wU} \leq \sum_{j=1}^n u_j^{wU} \geq 1$$

$$1 \leq j \leq n$$

با حل مدل فوق، وزن بهینه راف - فازی مجموعه گزینه‌ها و همچنین مقدار  $\delta^*$  به دست می‌آید.

#### گام ۵. محاسبه وزن قطعی هر گزینه بر اساس مدل دی‌رافی و دی‌فازی

برای اولویت‌بندی گزینه‌ها، لازم است که مقدار قطعی وزن راف - فازی تعیین شده برای هر چالش را به دست آورد. از آنجا که  $RF(W_j)$  یک عدد راف و فازی با مقدار بازه‌ای است، فرایند به دست آوردن مقدار قطعی شامل دو مرحله دی‌رافی و دی‌فازی کردن  $RF(W_j)$  است. برای دی‌رافی کردن از «الگوی رافی» ارائه شده توسط سانگ و کائو<sup>۱</sup> (۲۰۱۷) و برای دی‌فازی کردن از مدل دی‌فازی CFCS<sup>۲</sup> (تبدیل داده‌های فازی به امتیازهای قطعی) (چانگ، چانگ و وو<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱) استفاده می‌شود.

برای محاسبه نرخ سازگاری از رابطه ۲۱ و جدول ۴ استفاده شده است (رضایی<sup>۴</sup>، ۲۰۱۵). هرچه نرخ سازگاری به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، مقایسه‌ها از سازگاری بیشتری برخوردارند.

$$\text{رابطه ۲۱)} \quad \text{نرخ سازگاری} = \frac{\delta^*}{\text{شاخص سازگاری}}$$

جدول ۴. شاخص سازگاری

۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	$\alpha_{BW}$
۵/۲۳	۴/۴۷	۳/۷۳	۳/۰۰	۲/۳۰	۱/۶۳	۱/۰۰	۰/۴۴	۰/۰۰	شاخص سازگاری

1. Song and Cao
2. Converting Fuzzy data into Crisp Scores
3. Chang, Chang & Wu
4. Rezaei

## یافته‌های پژوهش

### شناسایی، ارزیابی و رتبه بندی چالش‌ها

در مرحله تعیین و شناسایی چالش‌های پیاده‌سازی سیستم خدمات - محصول هوشمند و شاخص‌های ارزیابی آن‌ها، پس از مرور ادبیات و مصاحبه با پنج خبره باتجربه و آشنا به مفاهیم سیستم‌های خدمات محصول هوشمند در شرکت‌های تولید لوازم خانگی، فهرستی از چالش‌های پیش روی این سیستم‌ها استخراج شد. برای نهایی کردن چالش‌های استخراج‌شده از مرور ادبیات و مصاحبه‌های انجام شده، از روش دلفی - فازی استفاده شد و در نهایت ۲۰ چالش در ۷ گروه اصلی کارکنان، امنیت اطلاعات، فناوری، مالی و فرایندی، طراحی، زیرساخت و بازار دولت دسته‌بندی شدند. نتایج در جدول ۵ مشاهده می‌شود.

جدول ۵. چالش‌های پیاده‌سازی SPSS در صنعت لوازم خانگی و زیرگروه‌های آن‌ها

منبع	چالش‌های فرعی	چالش‌های اصلی
شودین و همکاران (۲۰۱۸)	۱. عدم وجود دیدگاه مشترک و درک درست از اجرای سیستم خدمات - محصول هوشمند در بین کارمندان	چالش‌های مربوط به کارکنان
خبرگان	۲. مقاومت کارکنان و مدیران در مقابل تغییر	
شودین و همکاران (۲۰۱۸)	۳. عدم همکاری و درک مزایای بالقوه PSS هوشمند بین تیم‌های پیاده‌سازی	
خبرگان	۴. عدم وجود مهارت‌های لازم در کارکنان کارخانه	
فویال، بیستا و بیستا <sup>۱</sup> (۲۰۲۰)	۵. مسائل امنیت اطلاعات	چالش‌های امنیت اطلاعات
خبرگان	۶. نگرانی مصرف‌کنندگان از حریم خصوصی‌شان	
فویال و همکاران (۲۰۲۰)	۷. یکپارچه‌سازی سیستم و پیچیدگی فناوری	چالش‌های فناوری
خبرگان	۸. سرعت تغییر تکنولوژی	
شودین و همکاران (۲۰۱۸)	۹. نیاز به بودجه و سرمایه شایان توجه	چالش‌های مالی و فرایندی
فویال و همکاران (۲۰۲۰)	۱۰. ابهام در بازگشت سرمایه و مشکلات برنامه‌ریزی مالی در دراز مدت	
شودین و همکاران (۲۰۱۸)	۱۱. تغییر و تحول‌های اساسی در فرایندهای تولید و دشواری تغییر در فرهنگ سنتی موجود در تولید	
خبرگان	۱۲. زمان‌بر بودن فرایند پیاده‌سازی SPSS بیش از حد مورد انتظار	
ژنگ و همکاران (۲۰۱۹)	۱۳. ایجاد تعامل با کیفیت بین کاربران و PSS هوشمند	چالش‌های طراحی
ژنگ و همکاران (۲۰۱۹)	۱۴. مدیریت ذی‌نفعان	
ژنگ و همکاران (۲۰۱۹)	۱۵. ارتباط شفاف بین اهداف طراحی	
خبرگان	۱۶. غیر رقابتی بودن بازار	چالش‌های بازار و دولت
خبرگان	۱۷. نیاز مصرف‌کنندگان به خدمات پس از فروش محصولات جدید هوشمند و تردید آن‌ها به ارائه این خدمات	
خبرگان	۱۸. سیاست حمایتی دولت از برخی صنایع	
خبرگان	۱۹. عدم دسترسی به زیرساخت‌های لازم	چالش‌های زیرساختی
خبرگان	۲۰. دسترسی به انرژی ارزان در کشور	

برای تعیین مهم‌ترین (Best) و کم‌اهمیت‌ترین (Worst) چالش و تکمیل جدول‌های مقایسه‌های زوجی، مهم‌ترین چالش نسبت به سایر چالش‌ها و سایر چالش‌ها نسبت به کم‌اهمیت‌ترین چالش به کار رفته در روش بهترین بدترین راف - فازی، از ۵ کارشناس به‌عنوان تصمیم‌گیرنده (DM) نظرخواهی شد که به‌ترتیب با نماد DM1 تا DM5 نام‌گذاری شدند. تصمیم‌گیرندگان در یک شرکت بزرگ تولید لوازم خانگی کار می‌کنند که سابقه کار و سمت هر یک بدین صورت است: یک کارشناس ارشد مهندسی صنایع در سمت مدیر کارخانه با ۲۵ سال سابقه کار در این صنعت، یک کارشناس ارشد مهندسی صنایع در سمت مدیر تولید با ۷ سال سابقه کار، یک کارشناس مهندسی صنایع در سمت کارشناس برنامه‌ریزی تولید با ۱۰ سال سابقه کار، یک کارشناس ارشد مدیریت با ۵ سال سابقه کار در واحد تأمین و نفر کارشناس مدیریت بازرگانی با سابقه ۸ سال کار در سمت کارشناس فروش.

در اینجا اولویت‌بندی چالش‌های اصلی کارکنان، امنیت اطلاعات، فناوری، مالی و فرایندی، طراحی، زیرساخت و بازار دولت، به‌ترتیب با نماد  $CH_1$  تا  $CH_7$ ، به‌روش پیشنهادی نشان داده شده است. در جلسه‌ای با حضور تمام تصمیم‌گیرندگان، چالش‌های مالی و فرایندی ( $CH_4$ ) و چالش امنیت اطلاعات ( $CH_2$ ) به‌ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین چالش انتخاب شدند. برای مثال، در جدول ۶ درجه اهمیت مهم‌ترین چالش نسبت به سایر چالش‌ها (BO) و سایر چالش‌ها نسبت به کم‌اهمیت‌ترین چالش (OW) برای گروه اصلی چالش‌ها مشاهده می‌شود. با اعمال روش بهترین بدترین راف - فازی و حل مدل برنامه‌ریزی خطی به‌دست‌آمده از نرم‌افزار لینگو، وزن راف - فازی محاسبه شد، در ادامه با اعمال عملیات دی‌رافی و دی‌فازی، وزن نهایی هر یک از چالش‌ها محاسبه و رتبه‌بندی شد. نتایج در جدول ۷ مشخص شده است. شایان ذکر است که سازگاری ماتریس‌های تصمیم نیز بررسی و تأیید شد. مقدار بهینه  $\delta^*$ ،  $0/70$  و نرخ سازگاری برابر با  $0/19$  است که نشان‌دهنده قابلیت اعتماد به نتایج است.

جدول ۶. مقایسات زوجی گروه اصلی چالش‌ها

CH7	CH6	CH5	CH4	CH3	CH2	CH1	BO
۵	۶	۳	۱	۵	۹	۸	DM1
۷	۹	۵	۱	۳	۶	۴	DM2
۹	۷	۵	۱	۴	۶	۲	DM3
۷	۷	۴	۱	۵	۹	۳	DM4
۶	۷	۳	۱	۴	۹	۹	DM5
OW							
۳	۷	۶	۸	۴	۱	۵	DM1
۷	۳	۵	۶	۸	۱	۲	DM2
۷	۶	۳	۸	۴	۱	۵	DM3
۷	۶	۲	۹	۴	۱	۳	DM4
۶	۹	۳	۸	۴	۱	۵	DM5

همان طور که مشاهده می‌شود اولویت چالش‌ها به صورت زیر است.

$$CH4(0/37) > CH3(0/257) > CH1(0/178) > CH5(0/12) > CH6(0/1) > CH7(0/08) > CH2(0/03)$$

چالش‌های مالی و فرایندی در رده اول اهمیت شناسایی شده است. از آنجایی که اجرا و پیاده‌سازی سیستم‌های خدمات - محصول هوشمند، به بودجه سنگینی نیاز دارد و اغلب زود بازده نیستند، در کارخانه‌هایی که ذی‌نفعان از مزایای این سیستم‌ها مطمئن نیستند، تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری به دشواری صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه در PSS هوشمند به فناوری پیشرفته دیگری روی آورده می‌شود، تجزیه و تحلیل مالی این تغییرات فناوری و بررسی ضررهای احتمالی حین این ارتقا، ابهام‌ها در زمینه بازگشت سرمایه را ایجاد می‌کند. همچنین برای موفقیت در چنین پروژه‌هایی، باید منابع زیادی در بازه طولانی اختصاص داد که مشکلاتی در برنامه‌ریزی به وجود می‌آورد. در کل، فرایندهای تولید به همان روش موجود برای مدت طولانی اجرا می‌شوند و به‌عنوان روال سنتی در آن گنجانده شده‌اند و تغییر این فرهنگ ممکن است دشوار باشد.

جدول ۷. وزن‌های محاسبه شده چالش‌های اصلی و زیرگروه‌های آن‌ها

چالش‌های اصلی	وزن راف - فازی	وزن فازی	وزن قطعی
CH1	((0/121, 0/296))، (0/107, 0/261)	((0/931, 0/212))	0/178
CH2	((0/381, 0/381))، (0/381, 0/381)	((0/298, 0/310))	0/03
CH3	((0/255, 0/316))، (0/255, 0/255)	((0/173, 0/255))	0/257
CH4	((0/327, 0/111))، (0/319, 0/564)	((0/319, 0/401))	0/37
CH5	((0/469, 0/700))، (0/469, 0/541)	((0/418, 0/482))	0/12
CH6	((0/933, 0/141))، (0/916, 0/123)	((0/799, 0/936))	0/1
CH7	((0/101, 0/148))، (0/857, 0/123)	((0/780, 0/114))	0/08

اولویت بعدی با چالش فناوری است، تلفیق تجهیزات فناوری جدید با تجهیزات موجود، نگرانی عمده کارشناسان شناسایی شده است. سازگاری دستگاه‌های موجود با دستگاه‌های جدید، مشکلات مختلفی را در اجرای فناوری‌های PSS هوشمند ایجاد می‌کند. ماشین‌آلات قدیمی که توسط برخی پروتکل‌های ارتباطی کنترل می‌شوند، ممکن است منسوخ شده باشند و دستگاه‌های جدید ممکن است قوانین و رویه‌های دیگری داشته باشند. همچنین، همگام شدن با روند متغیر تولید و عرضه محصولات و خدمات هوشمند، به سرعت تغییر تکنولوژی وابسته است، اگر سازوکارها و زیربنای تغییرات سریع تکنولوژی فراهم نباشد، شانس موفقیت در پیاده‌سازی PSS هوشمند بسیار ضعیف است.

از آنجایی که کارمندان و کارگران کارخانه، اغلب از اجرای سیستم خدمات - محصول هوشمند دیدگاه مشترک و درک درستی ندارند و با استفاده از زبان‌های متنوع درباره تحول ایجاد شده در کارخانه ارتباط برقرار می‌کنند، کارگران و مدیران اجرایی همواره تمایل به تولید سنتی مرسوم و عدم تغییر در روند تولید دارند. همچنین پیاده‌سازی سیستم‌های خدمات - محصول هوشمند، از ابتدا تا انتها نیازمند دامنه وسیعی از مهارت‌ها شامل طراحی سیستم‌ها، اجرای برنامه‌های نرم‌افزاری، آنالیز داده‌ها، امنیت طراحی و اطلاعات است. در حال حاضر کارخانه‌ها در زمینه مهارت‌های مذکور محدودیت دارند. از این رو چالش کارکنان، سومین چالش مهم شناسایی شده است.

چالش چهارم طراحی است. از آنجا که طراحی PSS هوشمند چندرشته‌ای است، ذی‌نفعان چندگانه را هم شامل می‌شود که هر یک درباره اینکه قرار است سیستم چه کاری انجام دهد، دیدگاه متفاوتی دارد و برای حل مشکلات نقطه نظرهای متفاوتی ارائه می‌دهد. بنابراین هماهنگی اهداف طراحی در میان ذی‌نفعان مختلف کار دشواری است. عناصر چندگانه تشکیل‌دهنده سیستم، مثل محصولات و خدمات الکترونیکی نیز PSS هوشمند را پیچیده می‌کنند. برای مثال، برخی PSS‌های هوشمند در زمینه‌های مختلف با محصولات و خدمات مختلف در زمینه‌های مختلف کار می‌کنند که این موضوع، تعامل مؤثر میان ذی‌نفعان را کند می‌کند و در نتیجه، باعث عدم شفافیت اهداف در مرحله طراحی می‌شود.

تا زمانی که عرضه از تقاضا کمتر است و در واقع بازار رقابتی وجود نداشته باشد، تولیدکنندگان به تولید محصولات ساده و قدیمی بدون توجه به نیازهای مصرف‌کنندگان ادامه خواهند داد و مصرف‌کنندگان نیز مجبور به خرید محصولات تولید شده در بازار خواهند بود. ارائه محصولات - خدمات هوشمند، مستلزم ارزیابی نیازهای مصرف‌کنندگان و سعی در پیشی گرفتن در تأمین این نیازها در بین تولیدکنندگان رقیب است. درباره نسل جدید محصولات - خدمات هوشمند که هنوز جایگاه خود را تثبیت نکرده‌اند، تردید از خدمات پس از فروش این محصولات در میان مشتریان دیده می‌شود. همچنین حمایت یا عدم حمایت دولت از برخی صنایع دلیل مهمی در پیشرفت آن صنعت است، این عوامل باعث شده است که چالش بازار و دولت چالش مهم بعدی شناخته شوند.

چالش ششم موضوع امنیت اطلاعات است. از آنجایی که PSS هوشمند به اتصال شبکه احتیاج دارد و به‌خصوص از طریق اینترنت تنظیم می‌شود و اشتراک اطلاعات از طریق اینترنت نیاز به امنیت داده‌ها و اطلاعات در سراسر سیستم دارد، هر بخش از شبکه باید در برابر حملات خارجی و سواستفاده از داده‌ها محافظت شود. نکته‌ای که هنگام طراحی سیستم‌های شبکه‌ای مانند سیستم‌های خدمات - محصول هوشمند مورد توجه قرار می‌گیرد، اطمینان از امنیت سیستم و روند کلی آن است. درضمن، در دنیای کنونی، افراد نگران بر ملا شدن اطلاعات شخصی خود از طریق وسایل و خدمات هوشمند هستند.

انرژی، منابع مالی و نیروی کار، از جمله زیرساخت‌های اساسی در پیاده‌سازی سیستم‌های محصولات - خدمات هوشمند در صنعت یک کشور محسوب می‌شوند که زیرساخت به‌عنوان آخرین چالش تعیین شده است. نتیجه رتبه‌بندی اهمیت چالش‌های اصلی و زیرگروه‌های آن‌ها به‌طور خلاصه در جدول ۸ آمده است.

جدول ۸. نتایج نهایی رتبه بندی چالش‌های پیاده‌سازی سیستم‌های خدمات - محصول هوشمند

اولویت	چالش‌های فرعی به ترتیب اولویت	چالش اصلی به ترتیب اولویت
۱	نیاز به بودجه و سرمایه هنگفت	چالش‌های مالی و فرایندی
۲	تغییر و تحول‌های اساسی در فرایندهای تولید و دشواری تغییر در فرهنگ سنتی موجود در تولید	
۳	ابهام در بازگشت سرمایه و مشکلات برنامه‌ریزی مالی در دراز مدت	
۴	زمان‌بر بودن فرایند پیاده‌سازی SPSS	
۱	سرعت تغییر تکنولوژی	چالش‌های مربوط به فناوری
۲	یکپارچه‌سازی سیستم و پیچیدگی فناوری	
۱	عدم وجود دیدگاه مشترک و درک درست از اجرای سیستم SPSS در بین کارمندان	چالش‌های مربوط به کارکنان
۲	عدم همکاری و درک مزایای بالقوه SPSS در بین تیم‌های پیاده‌سازی	
۳	مقاومت کارکنان و مدیران در مقابل تغییر	
۴	عدم وجود مهارت‌های لازم در کارخانه	
۱	ایجاد تعامل با کیفیت بین کاربران و SPSS	چالش‌های مربوط به طراحی
۲	مدیریت ذی‌نفعان	
۳	ارتباط شفاف بین اهداف طراحی	
۱	نیاز مصرف‌کنندگان و تردید مصرف‌کنندگان از خدمات پس از فروش محصولات جدید هوشمند	چالش‌های مربوط به بازار و دولت
۲	سیاست حمایتی دولت از برخی صنایع	
۳	غیر رقابتی بودن بازار	
۱	دسترسی به انرژی ارزان در کشور	چالش‌های مربوط به زیرساخت
۲	عدم دسترسی به زیرساخت‌های لازم	
۱	مسائل امنیت اطلاعات	چالش‌های مربوط به امنیت اطلاعات
۲	نگرانی مصرف‌کنندگان از حریم خصوصی آن‌ها	

### بحث در مورد نتایج

به‌منظور نشان دادن امکان‌سنجی و اثربخشی روش پیشنهادی، مقایسهٔ اولویت‌بندی چالش‌های گروه اصلی را با سه روش بهترین بدترین قطعی، بهترین بدترین فازی و بهترین بدترین رافی انجام داده‌ایم. برای هر کدام از روش‌های فوق به‌ترتیب مدل برنامه‌ریزی خطی قطعی (CLMP)<sup>۱</sup>، فازی (FLMP)<sup>۲</sup> و رافی (RLMP)<sup>۳</sup> نوشته شد (رضایی، ۲۰۱۶؛ گوا

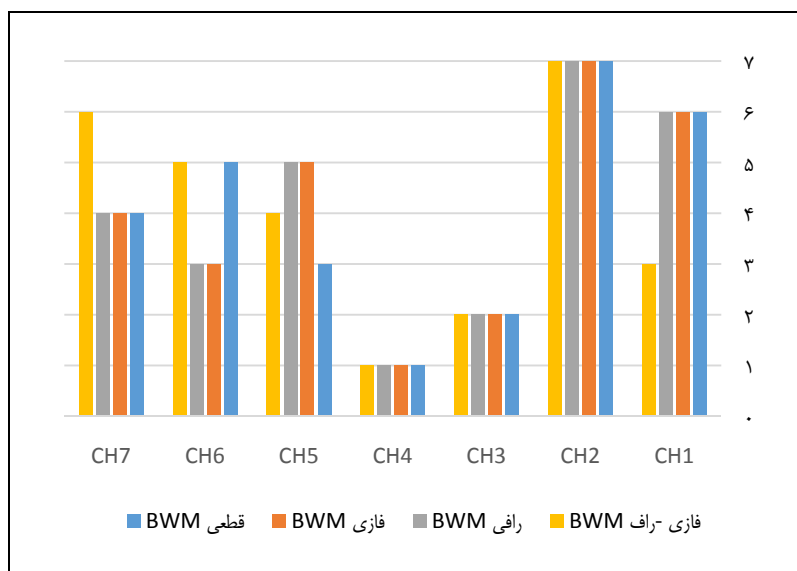
1. Linear programming model
2. Fuzzy linear program method
3. Rough linear program method

و ژاو<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷؛ استویچ و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۷). با حل این مدل‌ها در نرم‌افزار لینگو، به‌صورت جداگانه وزن‌های BWM قطعی، فازی و رافی محاسبه شدند. نتایج در جدول ۹ آمده است.

جدول ۹. بردارهای وزن روش‌های بهترین بدترین قطعی، فازی، رافی و راف فازی

چالش‌ها	وزن قطعی	وزن فازی	وزن رافی	وزن راف-فازی
CH <sub>1</sub>	۰/۰۶۳۱	(۰/۰۶۳۲، ۰/۰۷۰۲، ۰/۰۸۷۲)	(۰/۰۶۱۴، ۰/۰۹۸۵)	((۰/۰۹۳۱، ۰/۲۱۲)، (۰/۱۰۷، ۰/۲۶۱)، (۰/۱۲۱، ۰/۲۹۶))
CH <sub>2</sub>	۰/۰۲۸۵	(۰/۰۵۱۱، ۰/۰۵۳۰، ۰/۰۵۳۷)	(۰/۰۴۹۴، ۰/۰۵۳۴)	((۰/۲۹۸، ۰/۳۱۰)، (۰/۳۸۱، ۰/۳۸۱)، (۰/۳۸۱، ۰/۳۸۱))
CH <sub>3</sub>	۰/۲۳۴	(۰/۰۶۹۲، ۰/۲۲۲، ۰/۴۲۳)	(۰/۰۶۷۳، ۰/۰۴۰۴)	((۰/۱۷۳، ۰/۲۵۵)، (۰/۲۵۵، ۰/۲۵۵)، (۰/۲۵۵، ۰/۳۱۶))
CH <sub>4</sub>	۰/۳۰۲	(۰/۴۹۳، ۰/۵۹۰، ۰/۵۹۰)	(۰/۵۲۷، ۰/۵۵۷)	((۰/۰۳۱۹، ۰/۰۴۰۱)، (۰/۰۳۱۹، ۰/۰۵۶۴)، (۰/۰۳۲۷، ۰/۱۱۱))
CH <sub>5</sub>	۰/۲۰۵	(۰/۰۷۰۸، ۰/۰۸۱۶، ۰/۰۹۰۲)	(۰/۰۶۹۰، ۰/۰۸۶۷)	((۰/۰۴۱۸، ۰/۰۴۸۲)، (۰/۰۴۶۹، ۰/۰۵۴۱)، (۰/۰۴۶۹، ۰/۷۰۰))
CH <sub>6</sub>	۰/۰۷۹۸	(۰/۱۲۱، ۰/۱۵۳، ۰/۲۹۴)	(۰/۱۱۳، ۰/۲۷۳)	((۰/۰۷۹۹، ۰/۰۹۳۶)، (۰/۰۹۱۶، ۰/۱۲۳)، (۰/۰۹۳۲، ۰/۱۴۱))
CH <sub>7</sub>	۰/۰۸۶۲	(۰/۱۳۱، ۰/۱۴۳، ۰/۱۹۲)	(۰/۱۱۱، ۰/۱۹۳)	((۰/۰۷۸۰، ۰/۱۱۴)، (۰/۰۸۵۷، ۰/۱۲۳)، (۰/۱۰۱، ۰/۱۴۸))

با مقایسه نتایج حاصل از سه روش، می‌توان دید که اولویت چالش‌ها در چهار روش متفاوت است. برای مثال، چالش پنجم (CH<sub>5</sub>) با استفاده از روش بهترین بدترین قطعی در رده سوم اولویت، با روش فازی در رده پنجم، با روش رافی در رده پنجم و با روش راف-فازی در رده چهارم قرار دارد. تفاوت‌های مورد توجه در نتایج به دست آمده از این سه روش، از سازوکار مقایسه از نظر عدم قطعیت درون فردی (ابهام‌های کلامی فردی) و عدم قطعیت بین فردی (ترجیحات گروهی متفاوت) نشئت می‌گیرد.



شکل ۱. اولویت چالش‌ها



شکل ۱ اولویت‌های به‌دست‌آمده از روش‌های قطعی، فازی، رافی و راف فازی پیشنهادی در این پژوهش را نشان می‌دهد. روش بهترین بدترین راف - فازی نتایج ارزیابی واقعی‌تر و دقیق‌تری را در مقایسه با روش‌های بهترین بدترین قطعی، فازی و رافی ارائه می‌دهد. دلیل این امر این است که هم‌زمان هر دو عدم قطعیت درون فردی و بین فردی را ادغام می‌کند. از سوی دیگر، رویکرد پیشنهادی برای تبدیل قضاوت کلامی به عدد فازی مثلثی، از مجموعه فازی مثلثی استفاده می‌کند و تئوری مجموعه‌های راف را برای تبدیل اعداد فازی مثلثی گروهی به عدد بازه‌ای راف - فازی اعمال می‌کند. این عملیات قدرت مجموعه فازی را در مدیریت ابهام‌های کلامی فردی و شایستگی تئوری مجموعه راف در بررسی تنوع اولویت‌های گروهی ادغام می‌کند و مدل RF-LPM، عملکرد خوبی برای یافتن وزن‌های راف فازی و بهینه چالش‌ها در محیط‌های شامل عدم اطمینان درون فردی و بین فردی دارد (چن و همکاران، ۲۰۲۰).

به‌منظور نشان دادن تفاوت بین سازوکار قضاوت‌های کلامی گروهی در چهار روش از نظر عدم اطمینان درون فردی و بین فردی، مقایسه بین بازه برآوردی گروه چالش‌های اصلی با چهار روش انجام شده است. گفتنی است که برای تبدیل امتیازهای جدول‌های مقایسات زوجی به اعداد فازی مثلثی، کافی است معادل فازی امتیازی استخراج شود که هر تصمیم‌گیرنده برای تعیین اهمیت مهم‌ترین چالش ( $CH_B$ ) نسبت به سایر چالش‌ها ( $CH_j$ ) تعیین کرده است، بدون اینکه امتیازهایی که سایر تصمیم‌گیرندگان تعیین کرده‌اند، در نظر گرفته شود. پس اگر تصمیم‌گیرنده‌ای کمترین امتیاز را به چالشی داده باشد، بدون در نظر گرفتن امتیازهای بالاتری که سایر تصمیم‌گیرندگان برای آن چالش اتخاذ کرده‌اند، به عدد فازی مثلثی تبدیل می‌شود. در تبدیل امتیازها به عدد بازه‌ای رافی، طبق عملیات حسابی اعداد رافی، امتیازهای سایر تصمیم‌گیرندگان نیز تأثیر مستقیم دارد. بنابراین اگر تصمیم‌گیرنده‌ای کمترین امتیاز را به چالش اختصاص دهد، عدد بازه‌ای رافی معادل آن، تحت تأثیر امتیازهای بالاتر سایر تصمیم‌گیرندگان قرار خواهد گرفت. این درحالی است که برای به‌دست‌آوردن عدد بازه‌ای راف فازی، ابتدا امتیاز مربوطه به عدد فازی مثلثی و در مرحله دوم به عدد بازه‌ای راف فازی تبدیل می‌شود؛ یعنی هم به نظرهای شخصی تصمیم‌گیرندگان در مرحله اول توجه دارد و هم در مرحله دوم تحت تأثیر امتیازات سایرین قرار می‌گیرد. درجه اولویت بهترین (مهم‌ترین) چالش  $CH_4$  نسبت به  $CH_1$  برابر  $\{۸, ۴, ۲, ۳, ۹\}$  است که برای مثال در اینجا نشان داده می‌شود. معادل فازی این اعداد برابر  $\{(۷, ۹), (۳, ۵), (۱, ۳), (۲, ۴), (۸, ۹)\}$ ، معادل رافی برابر  $\{(۴/۲۵, ۸/۵), (۳, ۷), (۲, ۵/۲), (۲, ۵/۶), (۲/۵, ۹), (۵/۲, ۹)\}$  و معادل راف - فازی برابر  $\{(۴/۵, ۸/۳۳), (۳/۳, ۶/۸۶)\}$  است.

برای نمونه، از متغیرهای کلامی تصمیم‌گیرنده‌های سوم DM3 و پنجم DM5 که به ترتیب کمترین (۲) و بیشترین (۹) امتیاز را انتخاب کرده‌اند، برای نشان دادن تفاوت سازوکار عدم اطمینان‌های درون فردی و بین فردی استفاده می‌کنیم. در رابطه با کمترین امتیاز (۲) که توسط DM3 اتخاذ شده است، مشاهده می‌شود که بازه فازی معادل (۳, ۱) است و حد پایین آن (۱) کمتر از حد پایین معادل بازه راف - فازی (۲, ۵/۱۳) یعنی (۲) است؛ زیرا رویکرد فازی فقط عدم اطمینان درون فردی (ابهامات فردی کلامی) را شامل می‌شود و تأثیر امتیازهای بالاتر سایر تصمیم‌گیرندگان در قضاوت‌های گروهی را در نظر نمی‌گیرد. به همین صورت، به دلیل نادیده گرفتن تأثیر امتیازهای بالاتر سایر تصمیم‌گیرندگان، حد بالای بازه فازی (۳) آن هم کمتر از حد بالای بازه راف - فازی (۵/۱۳) است. بازه رافی معادل این امتیاز (۲, ۵/۲) است

که حد بالای آن (۵/۲) بزرگ‌تر از معادل راف - فازی آن (۵/۱۳) است؛ زیرا از امتیازهای بالاتری که سایر تصمیم‌گیرندگان اتخاذ کرده‌اند، تأثیر می‌پذیرد و شامل عدم اطمینان بین‌فردی (تنوع ترجیحات گروهی) بدون در نظر گرفتن ابهام‌های کلامی فردی است. لذا بازه راف فازی معادل این امتیاز مابین بازه فازی و رافی قرار می‌گیرد.

همچنین برای DM5 که بیشترین امتیاز را اتخاذ کرده است، حدهای پایین و بالای بازه راف - فازی کمتر از معادل آن‌ها در بازه فازی و رافی است؛ زیرا ابهام در ترجیحات (عدم اطمینان فردی) و تأثیر امتیازها، کمتر سایر تصمیم‌گیرندگان (تنوع گروهی) هر دو، در رویکرد راف - فازی در نظر گرفته می‌شود.

مقدار میانگین کلی و بازه متوسط برای امتیازهای قطعی، فواصل فازی، رافی و راف - فازی به ترتیب (۴/۲، ۶)، (۳/۳۹، ۷/۱۴) و (۳/۴۸۶، ۷/۰۴۶) است که نشان می‌دهد حدهای بالا و پایین بازه راف - فازی بین فازی و رافی قرار گرفته است؛ زیرا عدم اطمینان درون‌فردی و بین‌فردی هر دو، در رویکرد راف - فازی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین ادغام مجموعه رافی و مجموعه فازی، امکان ارائه وضعیت واقعی‌تر در تصمیم‌گیری‌های گروهی را فراهم می‌کند.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر با هدف اولویت‌بندی چالش‌های پیاده‌سازی سیستم‌های خدمات محصول هوشمند انجام شده است. به همین منظور، ابتدا با مرور ادبیات و همچنین، دریافت نظر کارشناسان، چالش‌ها شناسایی و با استفاده از روش دلفی فازی، تعداد ۲۰ چالش در ۷ گروه اصلی نهایی و دسته‌بندی شدند. در ادامه با برای تعیین مهم‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین چالش و تکمیل ماتریس‌های مقایسات زوجی، از نظرهای ۵ کارشناس (تصمیم‌گیرنده) استفاده شد و در نهایت با روش بهترین بدترین راف - فازی، چالش‌های شناسایی شده ارزیابی و اولویت‌بندی شدند. اولویت و اهمیت چالش‌های اصلی، به ترتیب عبارتند از: مالی و فرایندی، فناوری، کارکنان، طراحی، بازار و دولت، زیرساخت و امنیت اطلاعات. به همین ترتیب، رتبه همه چالش‌ها مشخص و نتایج بررسی شد. به منظور نشان دادن امکان‌سنجی و اثربخشی روش پیشنهادی، اولویت‌بندی چالش‌های گروه اصلی با سه روش بهترین بدترین قطعی، بهترین بدترین فازی و بهترین بدترین رافی مقایسه شد و نتایج نشان‌دهنده این بود که چون روش پیشنهادی در این پژوهش هم‌زمان هر دو عدم قطعیت درون‌فردی و بین‌فردی را ادغام می‌کند و از ویژگی‌های مجموعه فازی در مدیریت ابهام‌های کلامی فردی و برتری‌های تئوری مجموعه راف در بررسی تنوع اولویت‌های گروهی بهره می‌گیرد، مدل RF-LPM برای یافتن وزن‌های راف فازی و بهینه چالش‌ها در محیطی شامل عدم اطمینان درون‌فردی و بین‌فردی، عملکرد خوبی دارد.

پیشنهاد می‌شود که برنامه‌های عملیاتی و تغییرات لازم در تنظیمات سازمانی متناسب با مهم‌ترین چالش‌ها برای رفع موانع و تسهیل طراحی و راه‌اندازی موفقیت‌آمیز PSS هوشمند شناسایی شود. همچنین برای بررسی دقیق‌تر سازوکارهای مدیریت عدم قطعیت‌ها در روش بهترین بدترین، پیشنهاد می‌شود که تحقیقات بیشتری در خصوص ادغام سایر تئوری‌های مجموعه‌های فازی (برای مثال مجموعه فازی شهودی بازه‌ای) و نظریه مجموعه‌های رافی انجام شود. همچنین، برای افزایش اعتبار نتایج، پیشنهاد می‌شود از روش پیشنهادی لیانگ، برونلی و رضایی<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) برای محاسبه

نرخ سازگاری استفاده شود و همچنین می‌توان نرخ سازگاری در نسخه‌های خطی، غیرخطی، فازی و بیزین را محاسبه و بررسی کرد.

## References

- Chang, B., Chang, C. W., & Wu, C. H. (2011). Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria. *Expert systems with Applications*, 38(3), 1850-1858.
- Chen, S., Xiao, Y., Ren, T., Chen, J., & Huang, C. (2020, August). The Design Research of Smart Product-Service System Oriented to User Experience. In *2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)* (pp. 300-304). IEEE.
- Chen, Z., Lu, M., Ming, X., Zhang, X., & Zhou, T. (2020). Explore and evaluate innovative value propositions for smart product service system: A novel graphics-based rough-fuzzy DEMATEL method. *Journal of Cleaner Production*, 243, 118672.
- Chen, Z., Ming, X., Zhang, X., Yin, D., & Sun, Z. (2019). A rough-fuzzy DEMATEL-ANP method for evaluating sustainable value requirement of product service system. *Journal of Cleaner Production*, 228, 485-508.
- Chen, Z., Ming, X., Zhou, T., Chang, Y., & Sun, Z. (2020). A hybrid framework integrating rough-fuzzy best-worst method to identify and evaluate user activity-oriented service requirement for smart product service system. *Journal of cleaner production*, 253, 119954.
- Chowdhury, S., Haftor, D., & Pashkevich, N. (2018). Smart product-service systems (Smart PSS) in industrial firms: a literature review. *Procedia Cirp*, 73, 26-31.
- Guo, S., & Zhao, H. (2017). Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Knowledge-Based Systems*, 121, 23-31.
- Liang, F., Brunelli, M., & Rezaei, J. (2020). Consistency issues in the best worst method: Measurements and thresholds. *Omega*, 96, 102175.
- Mont, O. K. (2002). Clarifying the concept of product-service system. *Journal of cleaner production*, 10(3), 237-245.
- Phuyal, S., Bista, D., & Bista, R. (2020). Challenges, opportunities and future directions of smart manufacturing: a state of art review. *Sustainable Futures*, 2, 100023.
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57.
- Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126-130.
- Sjödin, D. R., Parida, V., Leksell, M., & Petrovic, A. (2018). Smart Factory Implementation and Process Innovation: A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing Moving to smart factories presents specific challenges that can be addressed through a structured approach focused on people, processes, and technologies. *Research-Technology Management*, 61(5), 22-31.

- Song, W., & Cao, J. (2017). A rough DEMATEL-based approach for evaluating interaction between requirements of product-service system. *Computers & Industrial Engineering*, 110, 353-363.
- Stević, Ž., Pamučar, D., Kazimieras Zavadskas, E., Čirović, G., & Prentkivskis, O. (2017). The selection of wagons for the internal transport of a logistics company: A novel approach based on rough BWM and rough SAW methods. *Symmetry*, 9(11), 264.
- Valencia Cardona, A. M., Mugge, R., Schoormans, J. P., & Schifferstein, H. N. (2014). Challenges in the design of smart product-service systems (PSSs): Experiences from practitioners. In *Proceedings of the 19th DMI: Academic Design Management Conference. Design Management in an Era of Disruption, London, UK, September 2-4, 2014*. Design Management Institute.
- Valencia, A., Mugge, R., Schoormans, J., Schifferstein, H. (2015). The design of smart product-service systems (PSSs): An exploration of design characteristics. *International Journal of Design*, 9(1).
- Vazquez-Martinez, G. A., Gonzalez-Compean, J. L., Sosa-Sosa, V. J., Morales-Sandoval, M., & Perez, J. C. (2018). CloudChain: A novel distribution model for digital products based on supply chain principles. *International Journal of Information Management*, 39, 90-103.
- Zhai, L. Y., Khoo, L. P., & Zhong, Z. W. (2008). A rough set enhanced fuzzy approach to quality function deployment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37(5-6), 613-624.
- Zhang, F., Jiang, P., Zhu, Q., & Cao, W. (2012). Modeling and analyzing of an enterprise collaboration network supported by service-oriented manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 226(9), 1579-1593.
- Zhang, J. (2017). Evaluating regional low-carbon tourism strategies using the fuzzy Delphi-analytic network process approach. *Journal of Cleaner Production*, 141, 409-419.
- Zheng, P., Wang, Z., Chen, C. H., & Khoo, L. P. (2019). A survey of smart product-service systems: Key aspects, challenges and future perspectives. *Advanced engineering informatics*, 42, 100973.