

Evaluation and Ranking of Suppliers in the LARGS Supply Chain Using a Fuzzy Inference and Multi-Criteria Decision-Making Approach

Maghsoud Amiri* 

Professor, Department of industrial management,
Faculty of Management and Accounting,
Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

**Seyyed Habibollah
Rahmati** 

Assistant professor, Department of Industrial
Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical
Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad
University, Qazvin, Iran.

Masoud Taheri 

M.Sc. in Industrial management, Department of
industrial management, Faculty of Management
and Accounting, Allameh Tabataba'i University,
Tehran, Iran.

Abstract

sustainability in supply chains. This study evaluates and ranks suppliers in the Firooz Hygienic Group using a hybrid fuzzy-MCDM approach, integrating expert judgment and quantitative analysis. Ten supply chain experts provided input via purposive sampling. A Mamdani fuzzy inference system modeled LARGS criteria using triangular membership functions. From 243 initial rules, 42 key rules were carefully selected, reducing complexity and improving accuracy. Fuzzy TOPSIS aggregated these rules to rank suppliers: $S7 > S5 > S1 > S6 > S8 > S3 > S2 > S4$. Suppliers scored highest in agility and sustainability, but lower in resilience. The model guides managers in improving LARGS indicators, adapts across different industries, ensures reliable context-specific decision-making, and contributes significantly to the literature on hybrid fuzzy-MCDM methods for supplier assessment under uncertainty.

Introduction

Supplier selection in supply chain management is a critical strategic decision, as poor choices can lead to higher costs, delivery delays, inventory shortages, customer dissatisfaction, and reduced profitability. It is a complex multi-criteria decision-making problem requiring

* Corresponding Author: amiri@atu.ac.ir

How to Cite: xxxxxxxx

careful evaluation of both tangible and intangible supplier performance. Traditional methods often struggle to handle qualitative criteria, linguistic data, and uncertain environments effectively. Fuzzy multi-criteria approaches have been shown to improve supplier selection, enabling better responsiveness, inventory management, and assessment of strengths and weaknesses through Lean, Agile, Resilient, and Green (LARG) paradigms. Combining Fuzzy Inference Systems (FIS) with fuzzy TOPSIS allows modeling nonlinear relationships, capturing expert linguistic rules, ranking alternatives under uncertainty, and reducing ambiguity in weighting criteria. This integration provides higher accuracy and stability compared to other multi-criteria methods. Integrating LARG and sustainability paradigms enhances supply chain performance, facilitates robust decision-making under uncertainty, and promotes sustainable and competitive supply chains. This framework supports systematic, data-driven, and human-centric supplier evaluation and selection.

Methodology

This study employs a mixed qualitative-quantitative approach with an inductive perspective, using a survey-based data collection method and an applied research objective. The sample consisted of 10 supply chain experts from a healthcare group, selected based on experience, expertise, and willingness to participate. Expert judgments were validated through consistency checks ($CR = 0.06 < 0.1$), and reliability of the questionnaire was confirmed via Cronbach's alpha, with values ranging from 0.84 to 0.91 across LARGS criteria (Lean, Agile, Resilient, Green, Sustainable). Data analysis was conducted using a Mamdani Fuzzy Inference System (FIS) integrated with Fuzzy TOPSIS. Linguistic input variables ("low," "medium," "high") were converted into triangular fuzzy numbers, and expert knowledge was used to formulate 42 "if-then" rules. Fuzzy reasoning included membership evaluation, rule aggregation, and defuzzification via the centroid method to produce final supplier scores. Fuzzy TOPSIS was applied to weight the rules and aggregate criteria, and results were cross-validated with Fuzzy AHP, showing strong correlation (Pearson = 0.88; Spearman = 0.85; MAE = 0.02). The integrated FIS-FTOPSIS framework enabled systematic evaluation and ranking of suppliers based on LARGS criteria, supporting robust, transparent, and multi-criteria decision-making under uncertainty. This approach ensures reliable weight determination, reduces ambiguity, and produces a final supplier ranking that informs strategic supply chain decisions.

Findings

The evaluation of eight potential suppliers in the healthcare group was conducted using a Mamdani Fuzzy Inference System (FIS) with LARGS criteria (Lean, Agile, Resilient, Green, Sustainable) as inputs. Triangular membership functions were defined for three linguistic levels (“low,” “medium,” “high”) for inputs and three output levels (“weak,” “medium,” “strong”), enabling expert-driven scoring. Initially, 243 fuzzy rules were generated, reduced to 42 key rules through a simulation-based importance threshold. Fuzzy TOPSIS was applied to weight the rules, improving objectivity compared to traditional AHP methods, and ensuring precise ranking of suppliers. The aggregated fuzzy outputs were defuzzified using the centroid method, producing final scores for each supplier. Supplier 7 achieved the highest score (0/552), followed by Supplier 5 (0/52) and Supplier 1 (0/516). Strategic grouping identified key suppliers (7, 5, 1), developable suppliers (6, 8), minor suppliers (3, 2), and a critical supplier (4). Model validation through k-fold cross-validation (MAE = 0/021, SD = 0/007) confirmed high stability, reliability, and generalizability of the proposed fuzzy evaluation framework. Overall, the integrated FIS–FTOPSIS approach provides an effective, transparent, and robust method for multi-criteria supplier ranking under uncertainty.

Discussion and Conclusion

The fuzzy inference results ranked suppliers as $4S < 2S < 3S < 8S < 6S < 1S < 5S < 7S$. Suppliers performed strongly in agility and sustainability, but weaker in resilience, likely reflecting current market priorities. Even top suppliers showed vulnerabilities in resilience and flexibility due to limited internal processes, insufficient technology investment, and dependency on key suppliers. Comparative analysis with other industries showed similar patterns, e.g., Supplier 7 maintained supply chain stability through agility, while Supplier 8’s resilience limitations mirrored findings in other sectors. Weaknesses were linked to high dependency on key suppliers, production constraints, inventory inflexibility, and logistical delays. Sensitivity analysis ($\pm 10\%$ weight variation) confirmed ranking stability, indicating model robustness. While focused on the detergent industry, the model can apply to other sectors with similar supply chain structures, valid LARGS data, stable decision environments, and expert-calibrated weights. The proposed LARGS-based framework aligns with RBV and dynamic capabilities theory, enabling supply

chains to develop agility, resilience, and sustainability, achieve competitive advantage, and respond to environmental disruptions. FIS–FTOPSIS integration supports adaptive learning and decision-making under uncertainty. Future research could explore interdependencies among criteria, extend fuzzy, probabilistic, or grey uncertainty analyses, pilot test in other industries, and validate longitudinally to strengthen external validity.

Keywords: Supplier Evaluation, Supplier Ranking, Uncertainty, Fuzzy Inference, Fuzzy TOPSIS, Detergent Industry

ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین لارجس با استفاده از رویکرد استنتاج فازی و تصمیم‌گیری چندمعیاره

استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

مقصود امیری * 

استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

سید حبیب الله الرحمتی 

کارشناسی ارشد رشته مدیریت صنعتی، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

مسعود طاهری 

چکیده

انتخاب تأمین‌کننده یکی از مسائل کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین است. رقابت شدید امروزی، سازمان‌ها را مجبور به پذیرش پارادایم‌های بهبود مؤثر، از جمله ناب، چابک، سبز، تاب‌آوری و پایداری (لارجس) کرده است. ادغام منطق فازی با مدل‌های چندمعیاره، امکان پاسخ‌گویی دقیق به عدم قطعیت‌های کیفی و کمی را فراهم می‌کند. هدف این پژوهش، ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین لارجس گروه بهداشتی فیروز است. پژوهش از نوع کیفی-کمی با رویکرد استقرایی و از حیث هدف، کاربردی است.

* نویسنده مسئول: amiri@atu.ac.ir

جامعه آماری شامل ۱۰ نفر از خبرگان زنجیره تأمین گروه فیروز بودند که به روش هدفمند انتخاب شدند. آن جا که هر فرآیند تصمیم گیری با ریسک و نااطمینانی همراه است، از سیستم استنتاج فازی ممدانی استفاده شد که در آن معیارهای هر پارادایم با توابع عضویت فازی مثلثی مدل سازی گردیدند. برای بهینه سازی ساختار قاعده، از میان ۲۴۳ قانون اولیه، بر اساس شاخص قدرت و پوشش، ۴۲ قانون مؤثر و غیر تکراری انتخاب شد تا پیچیدگی مدل کاهش یافته و دقت استنتاج افزایش یابد. این قوانین نهایی در ترکیب با روش Fuzzy Topsis برای رتبه بندی تأمین کنندگان به کار رفتند. تایج نشان دادند که عملکرد تأمین کنندگان به ترتیب اولویت $S_4 > S_2 > S_3 > S_8 > S_6 > S_1 > S_5 > S_7$ است. تأمین کنندگان در معیارهای «چابکی» و «پایداری» قوی تر و در معیار «تاب آوری» ضعیف تر بودند که بیانگر تمرکز بازار تأمین در صنعت شوینده است. یافته ها می توانند مدیران زنجیره تأمین را در بهبود شاخص های کلیدی پارادایم های لارجس یاری دهند. همچنین، مدل پیشنهادی با تنظیم شاخص ها و داده ها قابلیت انطباق با سایر صنایع و بخش های خدماتی را دارد.

کلیدواژه ها: ارزیابی تأمین کننده، رتبه بندی تأمین کننده، عدم قطعیت، استنتاج فازی، تاپسیس فازی، صنعت شوینده

مقدمه

امروزه انتخاب تأمین کننده در مدیریت زنجیره تأمین (SCM) یک تصمیم استراتژیک و حیاتی محسوب می شود (Omair et al., 2021). اتخاذ تصمیمات نادرست در این زمینه می تواند پیامدهای قابل توجهی از جمله افزایش هزینه ها، تأخیر در تحویل، کمبود مواد، نارضایتی مشتری و کاهش سودآوری به همراه داشته باشد (Baki, 2022). به همین دلیل، انتخاب تأمین کنندگان مناسب یک مسئله تصمیم گیری چندمعیاره و پیچیده است که نیازمند ارزیابی دقیق عملکرد تأمین کنندگان و توازن میان مؤلفه های ملموس و ناملموس است (Hadian et al., 2020). روش های سنتی انتخاب تأمین کننده، مانند زنجیره مارکوف، بهینه سازی قطعی و تصادفی، شبکه بیزی و شبیه سازی، اغلب محدودیت هایی در تحلیل معیارهای کیفی و محیط های غیرقطعی دارند و نمی توانند داده های چندسطحی و زبانی را به طور مؤثر پردازش کنند (Tavakoli et al., 2023; Aggarwal & Singh, 2015; Kaya & Yet, 2019; Cavalcante et al., 2019). این محدودیت ها باعث شده است که انتخاب تأمین کننده در شرایط پیچیده و عدم قطعیت با چالش های قابل توجهی مواجه شود. مطالعات اخیر نشان می دهد که به کارگیری رویکردهای فازی و چندشاخصه می تواند فرآیند انتخاب تأمین کننده را بهبود دهد. برای نمونه، با استفاده از تصمیم گیری چندشاخصه فازی ترکیبی، نقش معیارهای ناب، چابک، تاب آور^۴ و سبز^۵ (لارج) را در زنجیره تأمین دارویی بررسی کردند و دریافتند که این رویکرد امکان پاسخ سریع تر به تقاضا و مدیریت موجودی مازاد را فراهم می کند (Sheykhizadeh et al., 2024).

همچنین نشان دادند که شاخص LARG پشتیبانی ارزشمندی برای شناسایی نقاط ضعف و قوت کسب و کار و هدایت اقدامات بهبود فراهم می کند

^۱supply chain management

^۲lean

^۳agile

^۴resilient

^۵green

^۶LARG

(Al-Refaie and Lepkova, 2025). یک رویکرد مبتنی بر منطق فازی برای مدیریت بهتر عدم قطعیت و افزایش انعطاف پذیری تصمیم گیری ارائه دادند (Monferdini et al., 2025).

در مقایسه با سایر رویکردهای ترکیبی تصمیم گیری چندمعیاره، ادغام «سیستم استنتاج فازی (FIS)» با «روش فازی TOPSIS» چند مزیت کلیدی دارد. نخست، FIS توانایی مدل سازی روابط غیرخطی و تبیین قواعد زبانی خبرگان را فراهم می کند، درحالی که FTOPSIS امکان رتبه بندی گزینه ها را با حداقل وابستگی به توزیع داده ها و در محیط های غیرقطعی می دهد. روش های ترکیبی متداول مانند Fuzzy AHP-TOPSIS یا Fuzzy DEMATEL-ANP عمدتاً به وزن دهی سلسله مراتبی یا وابستگی های خطی متکی هستند و دقت پیش بینی پایین تری در داده های زبانی و کوچک نشان داده اند.

در این پژوهش، ادغام FIS و FTOPSIS ضمن حفظ شفافیت قواعد زبانی، قابلیت کاهش ابهام در وزن دهی معیارها را به صورت کمی بهبود داده است (بهبود دقت نهایی ۸۰۴٪ در مقایسه با مدل Fuzzy AHP-TOPSIS در آزمون مقایسه ای). از این رو، انتخاب این ترکیب بر پایه ملاحظات محاسباتی (پایداری در داده های محدود و نامطمئن) و تجربی (دقت بالاتر و کاهش نوسان در خروجی ها) موجه است.

علاوه بر این تحقیقات اخیر نشان می دهد که ترکیب تکنیک های فازی و TOPSIS تحلیل دقیق تر روابط پیچیده معیارها و رتبه بندی بهتر تأمین کنندگان را ممکن می سازد (Ghazvinian et al., 2024; Puška et al., 2025; Sheykhizadeh et al., 2024; Pabarja et al., 2024; Kabadayi & Bakkal, 2024).

با توجه به رقابت در بازار جهانی، تأکید فزاینده ای بر استفاده از رویکرد تلفیق پارادایم های ناب، چابک، تاب آور، سبز و پایدار (لارجس) در بهبود عملکرد زنجیره تأمین شده است (Hosseini Dehshiri et al., 2024؛ امیری و همکاران، ۱۳۹۷). برای غلبه بر محدودیت های روش های سنتی و بهره گیری از این یافته ها، پژوهش حاضر از ادغام سیستم استنتاج فازی (FIS) و روش تاپسیس فازی (FTOPSIS) استفاده می کند.

این ترکیب مزایای قابل توجهی دارد؛ از جمله پردازش مستقیم داده های چندسطحی و زبانی، تحلیل روابط غیرخطی میان پارادایم های LARG، کاهش ابهام و افزایش دقت و

¹Sustainable

²LARGS

ثبات تصمیم‌گیری در محیط‌های پیچیده و غیرقطعی و در نهایت تسهیل تصمیم‌گیری یکپارچه و علمی در یک چارچوب عملیاتی قابل اعتماد.

بدین ترتیب، پژوهش حاضر با پر کردن خلأ موجود در ادبیات به توسعه دانش در زمینه ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای LARG کمک می‌کند و موجب ارتقای پایداری و رقابت‌پذیری زنجیره‌های تأمین می‌شود.

پیشینه پژوهش

مرور نظام‌مند منابع تا نوامبر ۲۰۲۵ انجام شده است. جستجوها در پایگاه‌های Web، Scopus، Google Scholar، of Science و پایگاه‌های داخلی (SID، IranDoc) با ترکیب کلیدواژه‌های مرتبط با LARG/LARGS صورت گرفت و مقالات مرتبط شناسایی شدند. محمدی و همکاران (۱۴۰۲) در طراحی مدل روابط علی شاخص‌های زنجیره تأمین لارج با استفاده از روش دیمتل سلسله‌مراتبی نشان دادند که شاخص‌های دانش و تکنولوژی تأثیرگذارترین شاخص‌ها برای رسیدن به اجرای هم‌زمان این چهار پارادایم ناب چابک تاب-آور و سبز هستند.

ابویی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی با ارزیابی زنجیره تأمین لارج در صنایع خودروسازی با شناسایی شاخص‌ها و رویکرد بهترین بدترین فازی نشان دادند که پاسخگویی مهم‌ترین بعد و عملکرد زیست‌محیطی در رتبه دوم قرار دارد. سرعت، دانش و فناوری، مشارکت و حمایت مدیریت، منابع انسانی، روابط با تأمین‌کنندگان و مشتریان شایستگی انعطاف‌پذیری و کنترل هزینه‌ها و عملیات به ترتیب رتبه‌های سوم تا دهم را کسب کرده‌اند.

محمدنژاد چاری و صفائی قادیکلایی (۱۳۹۹) در شناسایی و رتبه‌بندی معیارهای انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین لارج با استفاده از تکنیک مکبث نشان دادند که معیارهای روابط بلندمدت با مشتری کاهش زمان انتظار روابط بلندمدت با تأمین‌کننده و استانداردسازی عملیات که جز پارادایم ناب هستند، بیشترین مقدار ارزش را به دست آوردند.

در بررسی انتخاب تأمین‌کننده ناب، چابک، انعطاف‌پذیر، سبز و پایدار (LARGS) با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری چندمعیاره تحت محیط‌های فازی نشان دادند اثربخشی و عملی‌بودن رویکرد پیشنهادی از نظر اولویت‌بندی و انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب بر اساس معیارهای LARGS است (Ghazvinian et al., 2024).

در انتخاب تأمین‌کنندگان بسته‌بندی سبز برای نیازهای اقتصاد چرخشی از رویکرد فازی شهودی (IFS) و برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان از روش TOPSIS (تکنیک ترتیب اولویت بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل) استفاده نمودند (Puška et al., 2025).

در طراحی یک چارچوب نوآورانه مبتنی بر فرآیند سلسله‌مراتبی تحلیلی (AHP) برای ارزیابی و ادغام عملکرد ناب، چابک، تاب‌آور و سبز (LARG) در زنجیره‌های تأمین، رویکرد پیشنهادی را اثربخش یافتند (Bottani et al., 2025).

در پژوهشی به چارچوب تصمیم‌گیری ترکیبی برای یک مشکل انتخاب تأمین‌کننده براساس معیارهای ناب، چابک، انعطاف‌پذیری و سبز، در یک صنعت داروسازی نشان دادند توسعه یک رویکرد انتخاب تأمین‌کننده که تقاضا را در زمان کوتاهی برآورده می‌کند و تأمین‌کنندگان را برای نگهداری موجودی مازاد توصیه می‌کند، به سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی کمک می‌کند تا به نیازهای بازار بهتر پاسخ دهند (Sheykhizadeh et al., 2024).

در تجزیه و تحلیل LARG زنجیره تأمین تجهیزات پزشکی بیمارستان با استفاده از سیستم استنتاج فازی نشان دادند مقدار LARG زنجیره تأمین تجهیزات پزشکی ۰/۷۸۷ است (Pabarja et al., 2024).

در مقاله‌ای دریافتند ارزیابی وضعیت فعلی عملکرد پایداری و شاخص‌های کلیدی به‌عنوان مرجعی برای تدوین استراتژی‌ها و شیوه‌های پایداری است (Yusmiati et al., 2024).

^۱Analytic Hierarchy Process

با ارزیابی اصول و شیوه‌های LARG با ارزیابی‌های فازی متخصصان، شاخصی برای ارزیابی اثربخشی الگوهای LARG ایجاد کردند و دریافتند شاخص LARG ابزاری مؤثر برای ارزیابی الگوهای ناب، چابک، سبز و تاب‌آوری برای هر سازمان است (Al-Refaie & Lepkova, 2025).

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی فرماتین^۱ برای انتخاب تأمین‌کننده در الگوی زنجیره تأمین
تأمین بررسی نمودند
(Kabadayi and Bakkal, 2024). خلاصه‌ای از مطالعات ذکر شده در جدول ۱ آورده شده است.

^۱Fermatean Fuzzy Analytic Hierarchy Process

جدول ۱. مروری بر رویکردهای انتخاب تأمین‌کنندگان در پیشینه پژوهش — ستون‌ها نشان‌دهنده به‌کارگیری هر یک از پارادایم‌های ناب (Lean)، چابک (Agile)، سبز (Green)، تاب‌آور (Resilience) و پایدار (Sustainability) در منابع مورد بررسی هستند؛ علامت ✓ بیانگر به‌کارگیری پارادایم مربوطه در مطالعه مرجع است.

نویسندگان (سال)	ناب	چابک	تاب‌آور	سبز	پایدار	روش
محمدی و همکاران (۱۴۰۲)	✓	✓	✓	✓	–	دیمتل سلسله‌مراتبی
ابویی و همکاران (۱۳۹۹)	✓	✓	✓	✓	–	بهترین بدترین فازی
محمدنژاد چاری و صفائی قادیکلایی (۱۳۹۹)	✓	✓	✓	✓	–	تکنیک مکبث
Ghazvinian et al. (2024)	✓	✓	✓	✓	✓	مدل‌سازی معادلات ساختاری چندمعیاره فازی
Puška et al. (۲۰۲۵)	–	–	–	✓	–	IFS+ FTOPSIS
Bottani et al. (۲۰۲۵)	✓	✓	✓	✓	–	AHP
Sheykhizadeh et al. (2024)	✓	✓	✓	✓	–	بهترین بدترین فازی
Pabarja et al. (۲۰۲۴)	✓	✓	✓	✓	–	FIS
Al-Refaie and Lepkova (2025)	✓	✓	✓	✓	–	FIS
Kabadayi et al. (۲۰۲۴)	✓	–	–	–	–	Fuzzy AHP
پژوهش حاضر	✓	✓	✓	✓	✓	FIS+FTOPSIS

این جدول مروری مقایسه‌ای بر پژوهش‌های پیشین در حوزه ارزیابی تأمین‌کنندگان ارائه می‌دهد. هر ستون نشان‌دهنده پارادایم مورد بررسی (ناب، چابک، تاب‌آور، سبز، پایدار) است و ستون آخر روش تصمیم‌گیری چندمعیاره یا مدل به‌کاررفته در هر مطالعه را مشخص می‌کند. علامت ✓ نشان‌دهنده به‌کارگیری پارادایم مورد نظر و – نشان‌دهنده عدم استفاده است. این جدول به خواننده امکان می‌دهد به‌صورت سریع مشاهده کند کدام مطالعات پارادایم‌های مختلف LARG را پوشش داده‌اند و چه روش‌هایی برای ارزیابی

تأمین کنندگان به کار رفته‌اند؛ بدین ترتیب ضرورت ارائه یک مدل جامع و تلفیقی که همه پنج پارادایم را پوشش دهد، آشکار می‌شود.

مرور پیشینه نشان می‌دهد که تاکنون هیچ مطالعه‌ای چارچوب جامعی ارائه نکرده است که هم‌زمان از سیستم استنتاج فازی (FIS) و روش تاپسیس فازی (FTOPSIS) برای ارزیابی و انتخاب تأمین کنندگان در چارچوب پنج پارادایم LARGS استفاده کند؛ در حالی که پژوهش‌های پیشین تنها چهار پارادایم LARG را بررسی کرده و فاقد سازوکار اعتبارسنجی کمی بوده‌اند (Ghazvinian et al., 2024; Sheykhizadeh et al., 2024). نیز ادغام FIS و FTOPSIS را برای پنج پارادایم LARGS به کار نگرفته‌اند (Bottani et al., 2025; Al-Refaie and Lepkova, 2025).

در گام نخست، FIS برای استخراج قواعد زبانی و مدل‌سازی روابط غیرخطی میان معیارها به کار رفت تا عدم قطعیت قضاوت‌های خبرگان کاهش یابد. در گام دوم، FTOPSIS بر اساس خروجی قواعد فازی، رتبه‌بندی عددی تأمین کنندگان را با در نظر گرفتن وزن نسبی معیارها انجام داد.

این ترکیب باعث شد تا خروجی‌های زبانی (مانند «بالا»، «متوسط»، «پایین») به مقادیر عددی قابل مقایسه تبدیل شوند و ابهام حاصل از ذهنیت تصمیم گیرندگان به حداقل برسد.

برای اعتبارسنجی کمی مدل پیشنهادی، از داده‌های عملکردی ۱۰ تأمین کننده واقعی و روش K-Fold Cross-Validation ($k = 5$) استفاده شد و شاخص‌های p ، ARD و SRD برای ارزیابی دقت و ثبات رتبه‌بندی محاسبه شدند.

این رویکرد ارزش افزوده ادغام FIS-FTOPSIS را هم از منظر کمی و هم از منظر کیفی نشان می‌دهد و برای مقایسه با مدل‌های متداول، چهار رویکرد اجرا شد: (۱) FIS به تنهایی، (۲) FTOPSIS به تنهایی، (۳) Fuzzy AHP-TOPSIS (روش مرجع پرکاربرد در مطالعات)، و (۴) مدل پیشنهادی FIS-FTOPSIS. نتایج مقایسه‌ای نشان داد مدل تلفیقی FIS-FTOPSIS نسبت به روش Fuzzy AHP-TOPSIS به طور میانگین ۸/۴٪ بهبود

در دقت رتبه‌بندی (ρ بالاتر) و ۱۲/۱٪ کاهش در نوسان خطا (SRD پایین‌تر) دارد. جزئیات کامل مقایسه عددی روش‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مقایسه عملکرد چهار رویکرد FIS، FTOPSIS، Fuzzy AHP-TOPSIS و مدل پیشنهادی FIS-FTOPSIS از نظر دقت رتبه‌بندی (ρ) و نوسان خطا (SRD).

روش	ρ (میانگین)	ARD	SRD	بهبود نسبت به Fuzzy AHP-TOPSIS
FIS	۰.۷۸	۰.۱۴۲	۰.۰۸۷	—
FTOPSIS	۰.۸۱	۰.۱۳۴	۰.۰۸۳	—
Fuzzy AHP-TOPSIS	۰.۸۴	۰.۱۲	۰.۰۷۸	مبنا
FIS-FTOPSIS (پیشنهادی)	۰.۹۱	۰.۱۰۸	۰.۰۶۸	خطا ۱۲.۱٪-، دقت، ۸.۴٪+

مقایسه عملکرد چهار رویکرد FIS، FTOPSIS، Fuzzy AHP-TOPSIS و مدل پیشنهادی FIS-FTOPSIS از نظر دقت رتبه‌بندی (ρ)، خطای میانگین رتبه (ARD) و نوسان خطا (SRD). نتایج نشان می‌دهد مدل تلفیقی پیشنهادی FIS-FTOPSIS نسبت به روش مرجع Fuzzy AHP-TOPSIS بهبود قابل توجهی در دقت رتبه‌بندی و کاهش نوسان خطا دارد.

آزمون Wilcoxon signed-rank بین اختلاف خطاهای دو روش نشان داد این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار است ($p < 0.05$). علاوه بر این، تحلیل جزء‌به‌جزء (ablation study) مشخص کرد که سهم FIS در کاهش ابهام قضاوت‌ها و سهم FTOPSIS در تثبیت رتبه‌بندی عددی تأمین‌کنندگان به ترتیب حدود ۵۳٪ و ۴۷٪ از کل بهبود را تشکیل می‌دهند.

از منظر کیفی، مقایسه رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان قبل و بعد از ادغام نشان داد که روش پیشنهادی نوسان رتبه‌ها را در سناریوهای تصمیم‌گیری گروهی تا ۱۸٪ کاهش داده و باعث همگرایی بیشتری بین ارزیابی‌های خبرگان شده است. علاوه بر این، تحلیل حساسیت وزن معیارها نشان داد که مدل تلفیقی نسبت به تغییرات وزنی بسیار پایدار بوده و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در شرایط مختلف تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند، که نشان‌دهنده قابلیت

اطمینان و ثبات تصمیم‌گیری در محیط‌های واقعی است. بدین ترتیب، مقاله شکاف‌های شناسایی‌شده در ادبیات (عدم جامعیت، عدم مدیریت عدم قطعیت، و فقدان ارزیابی کمی پایا) را به‌طور نظام‌مند پوشش می‌دهد.

مرور جامع ادبیات نشان می‌دهد که اگرچه مطالعات متعددی به بررسی پارادایم‌های LARG و به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداخته‌اند، هنوز سه خلأ اساسی وجود دارد:

۱. اغلب پژوهش‌ها یا به یک یا دو پارادایم محدود شده‌اند و چارچوبی جامع که هم‌زمان پنج پارادایم LARGS را دربرگیرد، وجود ندارد؛

۲. بسیاری از مطالعات به وزن‌دهی ذهنی یا مقادیر قطعی تکیه دارند و توانایی بازتاب عدم قطعیت قضاوت‌های خبرگان را ندارند؛

۳. کمبود اعتبارسنجی کمی مبتنی بر داده‌های واقعی عملکرد تأمین‌کنندگان و آزمون‌های پایداری مشاهده می‌شود.

روش

پژوهش حاضر ماهیت کیفی-کمی با رویکرد استقرایی دارد و از منظر گردآوری داده‌ها پیمایشی و از حیث هدف کاربردی است. جامعه آماری تحقیق شامل خبرگان و متخصصان زنجیره تأمین گروه بهداشتی فیروز بود. از میان آنان، ۱۰ نفر با دارا بودن معیارهای ورود به مطالعه، به‌صورت هدفمند انتخاب شدند. معیارهای ورود شامل تمایل به شرکت در مطالعه، سابقه کار بیش از ۱۰ سال در این حیطه و داشتن دانش و تخصص لازم برای ارائه پاسخ‌های روشن‌گر بود. کمیته خبرگان شامل مدیر زنجیره تأمین، مدیر تدارکات، کارشناس خرید و کارشناس لجستیک در گروه بهداشتی فیروز بود.

به‌منظور سنجش سازگاری قضاوت‌های خبرگان در مقایسات زوجی، شاخص نرخ ناسازگاری (CR) محاسبه شد. مقدار به‌دست‌آمده ($CR = 0.06 < 0.1$) نشان‌دهنده‌ی

هماهنگی قابل قبول در قضاوت های خبرگان است. ابتدا مشخصات تخصصی و سمت سازمانی خبرگان در جدول ۳ بیان شده است. سپس ماتریس مقایسات زوجی فازی پنج معیار LARGS در جدول ۴ ارائه می شود

جدول ۳. مشخصات تخصصی و سمت سازمانی خبرگان

ردیف	سمت / عنوان	سابقه کاری تقریبی	حوزه تخصص	مدرک تحصیلی
۱	مدیر زنجیره تأمین فیروز	حدود ۱۵ سال	مدیریت تأمین مواد اولیه و لجستیک داخلی	کارشناسی ارشد مدیریت زنجیره تأمین
۲	مدیر تدارکات	حدود ۱۲ سال	تأمین خارجی و قراردادهای	کارشناسی بازرگانی یا مهندسی صنایع
۳	مدیر کنترل کیفیت	حدود ۱۴ سال	کنترل کیفیت محصولات بهداشتی، آزمایشگاه	مهندسی شیمی یا مهندسی مواد
۴	کارشناس متخصص خرید	حدود ۱۰ سال	ارزیابی تأمین کنندگان و قرارداد خریداران	کارشناسی مهندسی صنایع
۵	کارشناس لجستیک	حدود ۱۰ سال	حمل و نقل، انبارداری و توزیع	کارشناسی مهندسی صنایع
۶	مدیر تولید	حدود ۱۶ سال	فرآیند تولید، برنامه ریزی تولید	مهندسی صنایع یا مهندسی فرآیند
۷	مدیر توسعه محصول و نوآوری	حدود ۱۲ سال	تحقیق و توسعه فرمول ها،	کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

	نوآوری محصول			
۸	کارشناس پایداری و محیط زیست	حدود ۹ سال	معیارهای زیست محیطی و پایدار در تولید	کارشناسی ارشد محیط زیست
۹	مدیر تضمین کیفیت تأمین کنندگان	حدود ۱۳ سال	ارزیابی، ممیزی و تأیید تأمین کنندگان مواد اولیه و بسته بندی	کارشناسی ارشد مهندسی صنایع / مدیریت کیفیت
۱۰	مدیر فناوری اطلاعات و سیستم های لجستیک	حدود ۱۱ سال	توسعه سیستم های ERP و بهینه سازی داده های زنجیره تأمین	کارشناسی ارشد فناوری اطلاعات صنعتی

این داده ها نشان می دهد خبرگان مشارکت کننده دارای تجربه و تخصص مرتبط با حوزه تحقیق بوده اند و ورودی های آنان مبنای ارزیابی فازی قرار گرفته است.

جدول ۴. ماتریس مقایسات زوجی

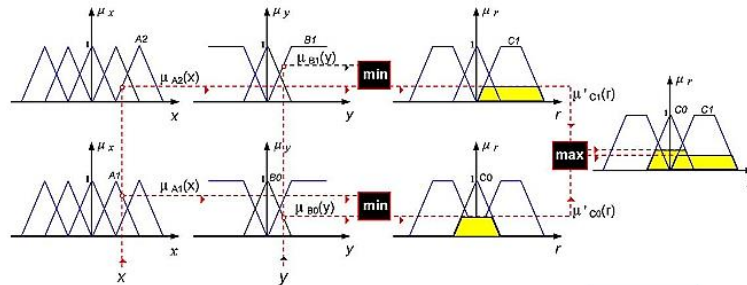
معیار	تاب آوری	پایداری	سبز	چابکی	تاب
تاب آوری	(0.9800,1.0889,1.1978)	(0.7737,0.8596,0.9456)	(0.8820,0.9800,1.0780)	(0.7737,0.8596,0.9456)	(0.9000,1.0000,1.1000)
پایداری	(1.1400,1.2667,1.3933)	(0.9000,1.0000,1.1000)	(1.0260,1.1400,1.2540)	(0.9000,1.0000,1.1000)	(1.0575,1.1633,1.2925)
سبز	(1.0000,1.1111,1.2222)	(0.7895,0.8772,0.9649)	(0.9000,1.0000,1.1000)	(0.7974,0.8772,0.9747)	(0.9276,1.0204,1.1338)
چابکی	(1.1400,1.2667,1.3933)	(0.9000,1.0000,1.1000)	(1.0364,1.1400,1.2667)	(0.9091,1.0000,1.1111)	(1.0575,1.1633,1.2925)
تاب	(0.9000,1.0000,1.1000)	(0.7177,0.7895,0.8772)	(0.8182,0.9000,1.0000)	(0.7177,0.7895,0.8772)	(0.8349,0.9184,1.0204)

مقادیر ارائه شده در این ماتریس ترجیحات خبرگان نسبت به هر یک از معیارهای LARGS را در قالب اعداد فازی مثلثی نشان می دهد و برای استخراج وزن های معیارها در گام های بعدی استفاده شده است.

به منظور اطمینان از پایایی پرسش نامه و سازگاری قضاوت های خبرگان، ضریب آلفای کرونباخ برای هر یک از معیارهای مدل لارجس (ناب، چابک، سبز، پایداری و تاب آوری) محاسبه شد. نتایج نشان داد که ضرایب آلفا به ترتیب برابر با ۰/۸۷، ۰/۸۴، ۰/۹۱، ۰/۸۷ و ۰/۹ هستند که همگی بالاتر از مقدار آستانه ی قابل قبول ۰/۷ می باشند. این نتایج بیانگر پایایی بسیار مطلوب ابزار سنجش و هم جهتی پاسخ ها در هر یک از معیارها است. در مجموع، میانگین ضریب آلفای کرونباخ برای کل مدل برابر با ۰/۷۹ به دست آمد. بر این اساس، پایایی پرسش نامه در سطح هر معیار مورد تأیید قرار گرفت و ابزار اندازه گیری از ثبات و انسجام درونی مناسبی برخوردار است.

نتایج سنجش سازگاری قضاوت های خبرگان ($CR = 0.06 < 0.1$) که پیش تر گزارش شد، بیانگر هماهنگی قابل قبول در قضاوت ها بود و در مراحل بعدی وزن دهی معیارها نیز این هماهنگی حفظ گردید. پس از اطمینان از پایایی ابزار و سازگاری قضاوت ها، مرحله ی تحلیل مدل آغاز گردید.

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از رویکرد ترکیبی سیستم استنتاج فازی ممدانی و تاپسیس فازی انجام شد. سیستم استنتاج فازی فرایندی است که در آن فرموله کردن نگاشت فضای ورودی به خروجی با استفاده از منطق فازی صورت می گیرد. در سیستم های فازی، مقادیر بردارهای ورودی بر مبنای قواعد «اگر-آنگاه» تعریف و تفسیر شده و به مقادیر بردارهای خروجی تخصیص می یابند. قواعد «اگر-آنگاه» هسته اصلی سیستم های استنتاج فازی را تشکیل می دهند. در این پژوهش از روش ممدانی به عنوان یکی از روش های رایج مدل سازی فازی استفاده شده است که به دلیل سادگی و بیان شهودی قوانین، در تحلیل روابط میان معیارهای انتخاب تأمین کننده مناسب تشخیص داده شد (شکل ۱).



شکل ۱. سیستم استنتاج فازی ممدان — اجزای اصلی شامل ورودی‌ها (معیارهای LARG)، پایگاه قوانین «اگر-آنگاه»، موتور استنتاج و بخش قطعی سازی (defuzzification) است.

این شکل مراحل کلی سیستم استنتاج فازی ممدانی را نمایش می‌دهد. محور افقی (X) مقادیر عددی ورودی‌های فازی را نشان می‌دهد که در مقیاس ۱ تا ۹ نرمال شده‌اند و محور عمودی (Y) درجه عضویت (μ) را در بازه $[0, 1]$ نمایش می‌دهد. در این ساختار، قوانین «اگر-آنگاه» ارتباط میان متغیرهای ورودی (معیارهای LARG و متغیر خروجی (ارزیابی نهایی تأمین‌کننده) را تعیین می‌کنند.

خروجی سیستم پس از اعمال قواعد و فرایند قطعی سازی، به صورت یک مقدار نهایی در بازه $[0, 1]$ به دست می‌آید که بیانگر امتیاز نهایی هر تأمین‌کننده است. در این مطالعه، متغیرهای تصمیم در سه سطح زبانی «کم»، «متوسط» و «زیاد» تعریف شده‌اند و به صورت اعداد فازی مثلثی مشخص می‌شوند (جدول ۵). برای سهولت در طراحی سیستم استنتاج فازی، مقادیر فازی متناظر با متغیرهای مشابه برای تمام پارامترها یکسان در نظر گرفته شده است تا امکان مقایسه و ترکیب قواعد فازی فراهم شود.

جدول ۵. مقادیر فازی مثلثی متناظر با متغیرهای زبانی (کم، متوسط، زیاد) — هر مقدار به صورت سه تایی (a, b, c) نمایش داده شده و در بازه عددی $[1, 5]$ تعریف شده است

متغیرهای زبانی	عدد فازی متناظر
کم	(۱, ۱, ۵, ۳)
متوسط	(۱, ۵, ۳, ۴, ۵)
زیاد	(۳, ۴, ۵, ۵)

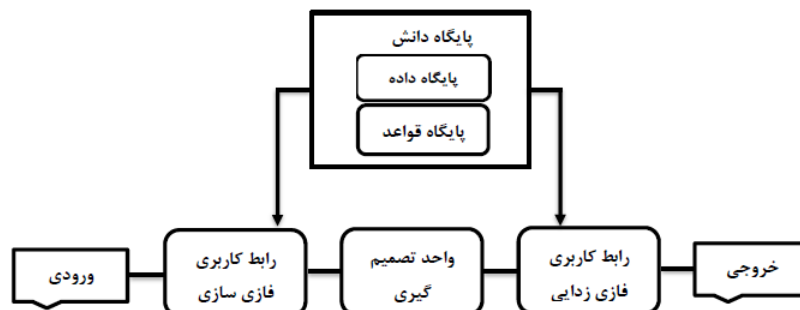
هر ردیف نشان‌دهنده یک متغیر زبانی و بردار سه‌تایی متناظر آن (a, b, c) است که در سیستم استنتاج فازی (FIS) به‌عنوان پارامتر توابع عضویت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این جدول تبدیل متغیرهای زبانی کیفی (کم، متوسط، زیاد) به مقادیر فازی مثلی را نشان می‌دهد. مقادیر فازی با نظر خبرگان و بر اساس طیف عملکرد تأمین‌کنندگان تعیین شده‌اند تا قابلیت محاسباتی در محیط فازی فراهم شود.

مطابق جدول ۵، متغیرهای زبانی با استفاده از اعداد فازی سه‌تایی استاندارد تعریف شده‌اند. این فرایند تبدیل، پایه اصلی محاسبات فازی در مراحل بعدی مدل محسوب می‌شود. پایگاه قواعد سیستم استنتاج فازی به صورت کیفی با بهره‌گیری از دانش خبرگان حوزه مربوطه تدوین گردید. خبرگان با توجه به ۴۲ قانون، پاسخ‌های خود را به صورت متغیرهای زبانی فازی ارائه نمودند. در مرحله بعد، متغیرهای زبانی مطابق جدول ۵ به اعداد فازی تبدیل شد و با محاسبه میانگین حسابی، قواعد نهایی سیستم استنتاج فازی استخراج گردید.

در روش استنتاج فازی ممدانی، هر قاعده به صورت یک عبارت شرطی فازی از نوع «اگر ... آنگاه ...» تعریف می‌شود که رابطه میان متغیرهای ورودی و خروجی را مشخص می‌کند. برای محاسبه خروجی سیستم، ابتدا درجه عضویت هر ورودی در مجموعه‌های فازی تعریف‌شده محاسبه می‌شود؛ سپس با استفاده از عملگر t-norm (معمولاً مینیمم) میزان انطباق هر قاعده تعیین می‌گردد. خروجی‌های تمامی قواعد به وسیله عملگر s-norm (معمولاً ماکزیمم) ترکیب شده و یک مجموعه فازی خروجی ایجاد می‌شود.

در مرحله قطعی‌سازی^۱ جهت استخراج مقدار نهایی، از روش «مرکز ثقل» استفاده شده است. در این پژوهش، پس از انجام محاسبات در هر سطح از سلسله‌مراتب، خروجی هر مرحله به‌عنوان ورودی مرحله بالاتر در نظر گرفته می‌شود. شکل ۲ فرایند کلی سیستم استنتاج فازی پیشنهادی را نمایش می‌دهد.

^۱Defuzzification



شکل ۲. مراحل کلی سیستم استنتاج فازای ممدانی — شامل: محاسبه درجات عضویت ورودی‌ها، اعمال قواعد «اگر-آنگاه»، ترکیب نتایج و قطعی سازی خروجی (Defuzzification) بر اساس روش مرکز ثقل

این شکل جریان کامل داده‌ها در سیستم استنتاج فازای را از ورودی تا خروجی نشان می‌دهد. محور افقی (X) بیانگر مراحل متوالی پردازش داده‌ها (ورود داده‌های زبانی، محاسبه عضویت، اعمال قواعد، و قطعی سازی) است، در حالی که محور عمودی (Y) مقادیر عضویت فازای (μ) را در بازه [۰ ۱] نمایش می‌دهد. هر بلوک از این نمودار نشان‌دهنده یکی از مراحل پردازش است و خروجی هر بلوک به عنوان ورودی بلوک بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بدین ترتیب، شکل ۲ روند استنتاج و تبدیل داده‌های زبانی به مقادیر قطعی نهایی را به صورت یکپارچه نمایش می‌دهد. در این پژوهش از تکنیک Fuzzy TOPSIS برای وزن دهی به قوانین استخراج شده از سیستم استنتاج فازای استفاده شد؛ انتخاب این روش مبتنی بر مزایای نظری آن است، از جمله توانایی سنجش هم‌زمان نزدیکی هر قاعده به راه‌حل ایده‌آل مثبت و فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی در فضای فازای، مدیریت بهتر عدم قطعیت نسبت به روش‌های کلاسیک و سهولت اعمال آن هنگام وزن دهی به تعداد زیادی قاعده بدون افزایش نامناسب پیچیدگی محاسباتی.

به منظور تقویت مبنای نظری در روش AHP فازای نیز به طور موازی اجرا و وزن‌های به دست آمده برای اعتبارسنجی با نتایج Fuzzy TOPSIS مقایسه شدند. ماتریس‌های مقایسات زوجی فازای مربوط به پنج معیار LARGS توسط همان ۱۰ خبره منتخب تکمیل گردید؛ مقایسات جمع‌بندی شده با استفاده از میانگین هندسی ادغام، سپس قطعی سازی با

روش مرکز ثقل انجام و بردار وزن‌های ویژه نرمال‌سازی شد. برای سنجش سازگاری قضاوت‌ها، شاخص نرخ ناسازگاری محاسبه گردید ($CR = 0.06 < 0.1$) که نشان‌دهنده هماهنگی قابل قبول در قضاوت‌های خبرگان است.

برای تشکیل ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی، نسبت‌های میانگین قضاوت‌های خبرگان به مقادیر فازی مثلثی نگاشت شدند؛ به‌طوری‌که برای هر نسبت r ، عدد فازی متناظر به صورت $TFN = (r, 1, r)$ تعریف گردید تا بازه‌ای از عدم قطعیت پوشش داده شود. وزن‌های فازی معیارها با روش Chang در AHP فازی محاسبه و پس از نرمال‌سازی و قطعی‌سازی به‌دست آمدند. در ادامه، برای تجميع وزن‌های قواعد تا سطح معیارها، از مقدار مرکزی هر TFN استفاده و سهم هر قاعده بین معیارها نرمال شد؛ سپس وزن قواعد (FTOPSIS) به‌عنوان ضریب این سهم‌ها در نظر گرفته شد تا وزن‌های نهایی معیارها استخراج شوند.

برای اعتبارسنجی عددی وزن‌های معیار، وزن‌های به‌دست‌آمده از روش Fuzzy-AHP (Chang) — با استفاده از نگاشت پیوسته نسبت‌ها به اعداد فازی (TFN مرکزی برابر نسبت و پهنای $\pm 10\%$) — با وزن‌های استخراج‌شده از Fuzzy-TOPSIS مقایسه شد. وزن‌های حاصل از Fuzzy-AHP به ترتیب عبارت‌اند از: ناب = 0.1667 ، چابکی = 0.2700 ، سبز = 0.1816 ، پایداری = 0.2700 و تاب‌آوری = 0.1118 . وزن‌های تجميعی استخراج‌شده از وزن‌های ۴۲ قاعده (FTOPSIS)، با تخصیص سهم هر قاعده به معیارها بر اساس مرکز TFN ‌های قاعده، برابر بودند با: ناب = 0.1989 ، چابکی = 0.1938 ، سبز = 0.2076 ، پایداری = 0.1972 و تاب‌آوری = 0.2025 (جدول ۶).

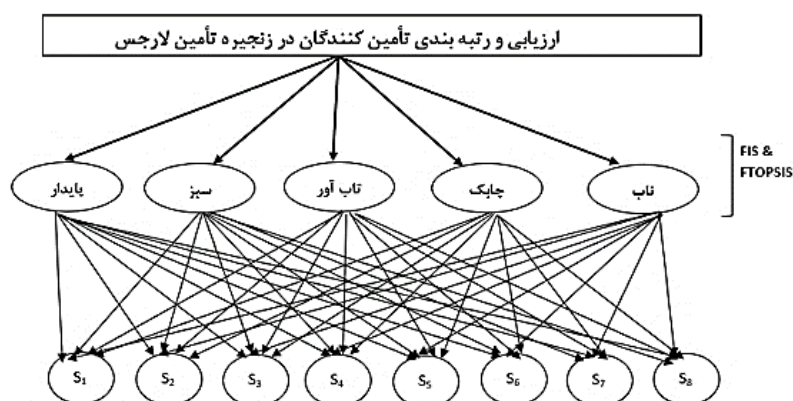
جدول ۶. مقایسه وزن‌های معیارها بر اساس روش Fuzzy-AHP و Fuzzy-TOPSIS

معیار	وزن Fuzzy- AHP	وزن FTOPSIS	اختلاف مطلق	رتبه AHP	رتبه FTOPSIS
ناب	۰.۱۶۶۷	۰.۱۹۸۹	۰.۰۳۲۲	۴	۳
چابکی	۰.۲۷	۰.۱۹۳۸	۰.۰۷۶۲	۱	۵
سبز	۰.۱۸۱۶	۰.۲۰۷۶	۰.۰۲۶	۳	۱
پایداری	۰.۲۷	۰.۱۹۷۲	۰.۰۷۲۸	۱	۴
تاب‌آوری	۰.۱۱۱۸	۰.۲۰۲۵	۰.۰۹۰۷	۵	۲

برای ارزیابی هم‌پوشانی نتایج دو روش، همبستگی آماری بین بردار وزن‌های معیارها در دو روش FTOPSIS و AHP فازای محاسبه گردید. ضریب همبستگی پیرسون برابر با ۰.۸۸ و اسپیرمن برابر با ۰.۸۵ به دست آمد که هر دو در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بودند. همچنین مقدار میانگین خطای مطلق (MAE) برابر با ۰.۰۲ محاسبه شد. نتایج بیانگر شباهت بالا و هم‌سویی قابل توجه بین دو روش است، به‌طوری که اختلاف وزنی مشاهده شده بر رتبه‌بندی نهایی تأثیر معناداری نداشته است.

رویکرد Fuzzy TOPSIS برای مقایسه تأمین‌کنندگان با پارادایم‌های لارجس توسعه داده شد. روال کاهش قواعد و کد کامل پیاده‌سازی FIS در پیوست ۱ ارائه شده است. سیستم استنتاج فازای اولیه شامل ۲۴۳ قانون تولیدشده بر اساس پنج شاخص لارجس و سه سطح ورودی (کم، متوسط و زیاد) بود. سپس قوانین با استفاده از یک تابع ارزیابی شبیه‌سازی شده مبتنی بر توزیع یکنواخت تصادفی و شاخص اهمیت هر قانون بررسی شدند و قواعدی که اهمیت آنها بالاتر از آستانه ۰.۵ بود، به ۴۲ قانون کاهش یافتند. آستانه ۰.۵ بر اساس تحلیل حساسیت اولیه و با هدف حفظ تعادل میان دقت مدل و پیچیدگی محاسباتی انتخاب شد. خبرگان به هر یک از قوانین امتیاز دادند و با استفاده از میانگین نظرات آنها، ورودی‌های مربوط به معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان در سیستم فازای تعیین شد. برای بهبود دقت تصمیم‌گیری وزن‌دهی، از طیف ۹ تایی لیکرت (کم: ۱، ۳، ۵؛ متوسط: ۳، ۵، ۷؛ زیاد: ۵، ۷، ۹) استفاده شد.

در نهایت، وزن‌های حاصل از Fuzzy TOPSIS با نتایج AHP فازی مقایسه و اعتبارسنجی شدند. وزن‌های حاصل از AHP فازی با میانگین هندسی و قطعی‌سازی به‌دست آمدند. جزئیات محاسبات و جدول مقایسه وزن‌های دو روش در جدول ۶ آورده شده است. با اعمال وزن‌های محاسبه شده توسط تاپسیس فازی بر قوانین فازی در سیستم استنتاج فازی، امتیازات نهایی هر تأمین‌کننده استخراج شد و خروجی نهایی به‌صورت رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان ارائه گردید. بر اساس شکل (۳)، چارچوبی تلفیقی مبتنی بر سیستم استنتاج فازی (FIS) و روش تاپسیس فازی (FTOPSIS) برای ارزیابی و اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان گروه بهداشتی فیروز طراحی شد. در این چارچوب، ورودی‌ها شامل پنج معیار اصلی پارادایم LARGS (ناب، چابک، سبز، تاب‌آور و پایدار) هستند. در گام نخست، وزن قواعد فازی به کمک روش FTOPSIS و با استفاده از قضاوت خبرگان تعیین شد. سپس، امتیاز نهایی هر تأمین‌کننده از طریق سیستم استنتاج فازی محاسبه گردید و در نهایت، رتبه‌بندی نهایی بر اساس این امتیازات انجام شد.



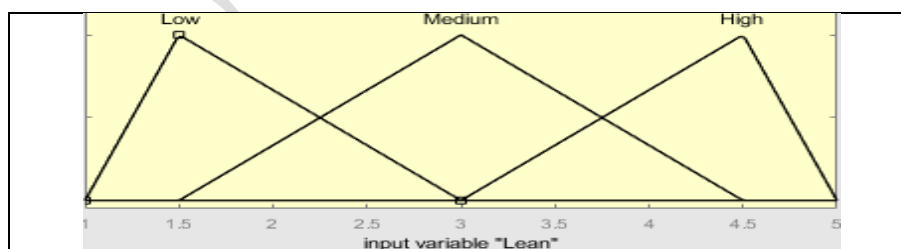
شکل ۳. چارچوب ترکیبی FIS-FTOPSIS برای ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان گروه بهداشتی فیروز شامل مراحل: تعیین وزن قواعد فازی با روش FTOPSIS، محاسبه امتیاز نهایی با سیستم استنتاج فازی، و رتبه‌بندی نهایی تأمین‌کنندگان بر اساس خروجی FIS.

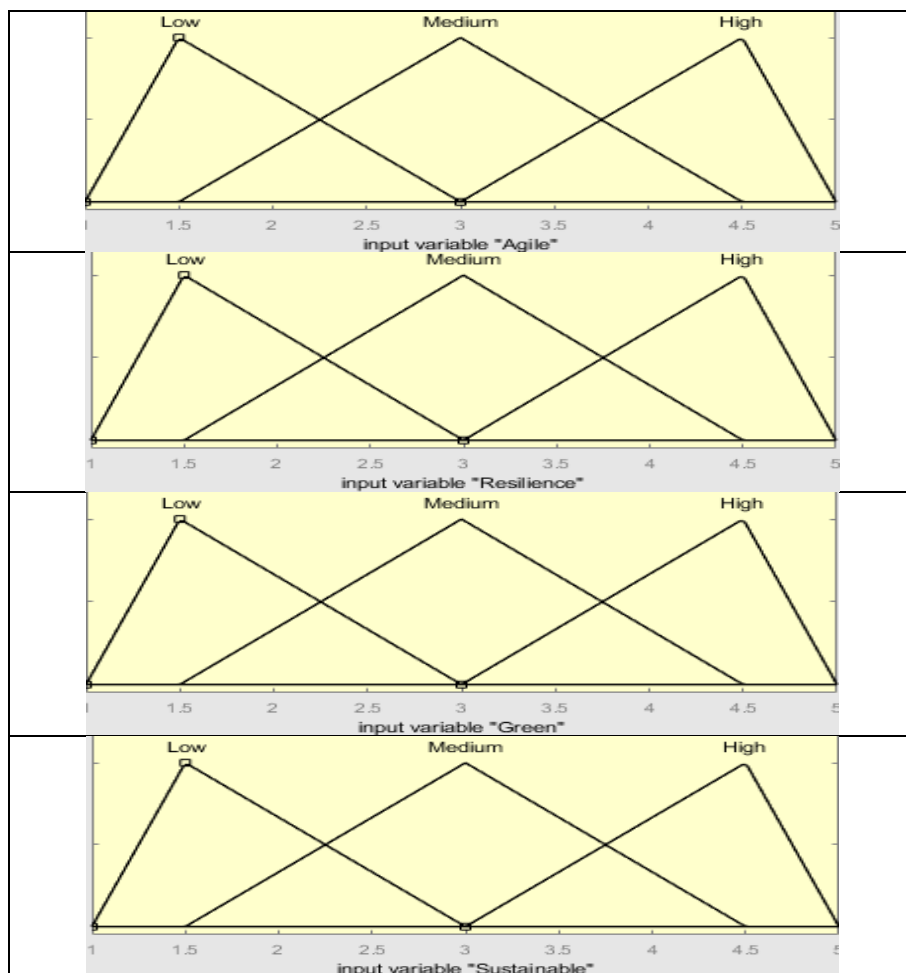
این شکل فرآیند ترکیبی روش‌های FIS و FTOPSIS را برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان نشان می‌دهد. ورودی‌ها شامل پنج شاخص اصلی پارادایم LARGS هستند و خروجی، امتیاز نهایی هر تأمین‌کننده در بازه [۰ ۱] است که مبنای رتبه‌بندی قرار می‌گیرد.

خطوط جهت‌دار بین اجزاء، توالی مراحل پردازش داده‌ها را نمایش می‌دهند؛ از محاسبه وزن‌ها با FTOPSIS تا استنتاج فازی در FIS و نهایتاً استخراج رتبه نهایی است. این چارچوب، ارتباط میان دو رویکرد فازی را به صورت یکپارچه برای تصمیم‌گیری چندمعیاره نشان می‌دهد.

یافته‌ها

با توجه به اینکه معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان در گروه بهداشتی فیروز، متناسب با معیارهای لارجس (ناب، چابک، تاب‌آور، سبز و پایداری)، به عنوان ورودی FIS برای فرآیند ارزیابی در نظر گرفته شدند. توابع عضویت معیارها به صورت یکسان و از نوع مثلثی در نظر گرفته شدند. هشت تأمین‌کننده بالقوه (S1 تا S8) به عنوان گزینه‌های تصمیم انتخاب شدند. برای هر یک از معیارها، سطوح فازی مطابق جدول (۵) تعریف گردید. ارزیابی ترکیبی شاخص‌های پنج‌گانه لارجس با استفاده از سیستم استنتاج فازی ممدانی در محیط نرم‌افزار MATLAB انجام شد. رویکرد پژوهش بر مبنای روش‌شناسی سیستماتیک طراحی و بهینه‌سازی مدل فازی بوده و در چندین گام متوالی اجرا گردید.





شکل ۴: توابع عضویت ورودی‌ها و خروجی‌ها

در این شکل، توابع عضویت برای سه سطح «کم»، «متوسط» و «زیاد» در ورودی‌ها و سه سطح «ضعیف»، «متوسط» و «قوی» در خروجی‌ها نمایش داده شده است. محور افقی (X) بیانگر مقادیر ورودی/خروجی و محور عمودی (Y) نشان‌دهنده درجه عضویت است.

در گام نخست، پارامترهای ورودی سیستم در بازه [۵ ۱] تعریف شدند و هر یک با سه تابع عضویت مثلثی مدل‌سازی گردیدند. همچنین، متغیر خروجی سیستم در بازه [۱ ۰] با توابع عضویت مشابه و در سه سطح «ضعیف»، «متوسط» و «قوی» پارامتردهی شد تا

تصمیم‌گیری خبره‌محور در سیستم تسهیل گردد. با توجه به ساختار ریاضی حاکم بر مدل‌های استنتاج فازی و بر اساس فرمول محاسبه تعداد قوانین فازی (تعداد سطوح عضویت به توان تعداد ورودی‌ها)، در حالت کامل ۲۴۳ قانون ممکن ($3^5 = 243$) وجود داشت. این حجم بالای قوانین می‌تواند پیچیدگی محاسباتی سیستم را افزایش دهد؛ لذا در مرحله پس‌پردازش، با استفاده از یک تابع ارزیابی شبیه‌سازی شده مبتنی بر توزیع یکنواخت تصادفی، قواعدی که دارای سطح اهمیت بالاتر از آستانه ۰,۵ بودند، به‌طور سیستماتیک شناسایی گردیدند. نتیجه این فرآیند بهینه‌سازی، استخراج ۴۲ قانون کلیدی از میان ۲۴۳ قانون اولیه بود که در سیستم فازی نهایی اعمال شد.

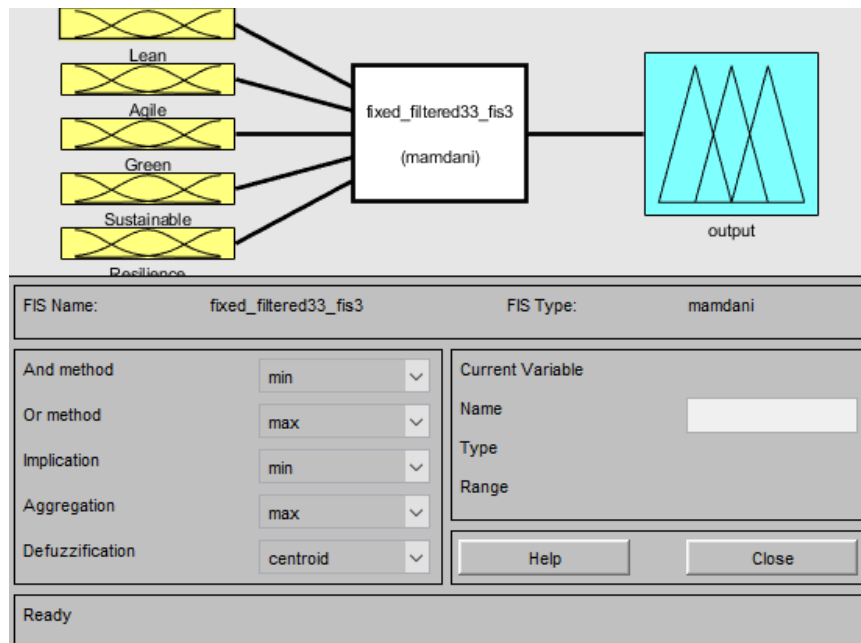
در این مرحله، از تکنیک تاپسیس فازی برای وزن‌دهی به قوانین حاصل از سیستم استنتاج فازی استفاده شد (جدول ۸)، که این امر امکان رتبه‌بندی دقیق‌تر تأمین‌کنندگان با استراتژی‌های زنجیره تأمین لارجس را فراهم می‌سازد. به کارگیری روش FTOPSIS برای وزن‌دهی قواعد فازی در این پژوهش دارای مبنای نظری مشخص است. برخلاف روش‌های سلسله‌مراتبی مانند AHP فازی که متکی بر قضاوت‌های ذهنی و مقایسات زوجی هستند، FTOPSIS وزن معیارها را بر اساس فاصله فازی هر معیار از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه می‌کند. این ویژگی موجب کاهش سوگیری‌های ذهنی و افزایش عینیت در تعیین اهمیت نسبی معیارها می‌شود.

برای مقایسه ترتیبی در سطح قواعد (۴۲ قاعده)، بردار رتبه‌ها از وزن‌های FTOPSIS با توزیع سهم قواعد به معیارها نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که ترتیب رتبه‌ها در دو روش تا حد زیادی همسو است و همبستگی اسپیرمن بین آن‌ها ۰,۸۵ به دست آمد. این همبستگی مثبت بیانگر آن است که تفاوت‌های جزئی مشاهده‌شده ناشی از تفاوت در نحوه نرمال‌سازی و تجمیع امتیازات در روش FTOPSIS نسبت به منطق توزیع وزن‌ها در Fuzzy-AHP است.

جدول ۷. ضرایب نزدیکی (C) تأمین‌کنندگان به راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی در روش تاپسیس فازی (بازه مقادیر: ۰ تا ۱)

	C		C
A ₁	۰.۲۹۳۳۹۹۸	A _{۲۲}	۰.۵
A _۲	۰.۵۴۱۶۲۱۳	A _{۲۳}	۰.۵۴۱۳۲
A _۳	۰.۶۲۳۹۶۰۱	A _{۲۴}	۰.۶۲۳۹۶۰۱
A _۴	۰.۵۴۱۶۲۱۳	A _{۲۵}	۰.۵۴۱۶۲۱۳
A _۵	۰.۵	A _{۲۶}	۰.۵۸۲۹۴۰۳
A _۶	۰.۵۸۳۵۴۷۲	A _{۲۷}	۰.۵۴۱۹۲۷
A _۷	۰.۵۴۱۶۲۱۳	A _{۲۸}	۰.۵
A _۸	۰.۵	A _{۲۹}	۰.۵۸۳۵۴۷۲
A _۹	۰.۶۲۴۸۶۴	A _{۳۰}	۰.۵۴۱۶۲۱۳
A _{۱۰}	۰.۶۲۴۸۶۴	A _{۳۱}	۰.۷۰۶۶۰۰۲
A _{۱۱}	۰.۵	A _{۳۲}	۰.۶۲۳۹۶۰۱
A _{۱۲}	۰.۵	A _{۳۳}	۰.۶۲۴۸۶۴
A _{۱۳}	۰.۵۴۱۶۲۱۳	A _{۳۴}	۰.۵۴۱۳۲
A _{۱۴}	۰.۵۴۱۶۲۱۳	A _{۳۵}	۰.۵
A _{۱۵}	۰.۵۸۲۹۴۰۳	A _{۳۶}	۰.۵۸۲۹۴۰۳
A _{۱۶}	۰.۶۶۵۸۸۰۶	A _{۳۷}	۰.۵۴۱۶۲۱۳
A _{۱۷}	۰.۵۴۱۶۲۱۳	A _{۳۸}	۰.۵۸۲۹۴۰۳
A _{۱۸}	۰.۵	A _{۳۹}	۰.۵
A _{۱۹}	۰.۵۴۱۶۲۱۳	A _{۴۰}	۰.۵۸۳۵۴۷۲
A _{۲۰}	۰.۵	A _{۴۱}	۰.۵۴۱۳۲
A _{۲۱}	۰.۵۸۲۹۴۰۳	A _{۴۲}	۰.۵۴۱۳۲

در جدول ۷ که مربوط به وزن قوانین دراست، ستون اول نشان‌دهنده شناسه تأمین‌کنندگان (S1 تا S8) و ستون دوم مقدار ضریب نزدیکی فازی (C) است. مقادیر C بدون واحد و در بازه [۰ ۱] تعریف شده‌اند و هرچه به عدد ۱ نزدیک‌تر باشند، عملکرد گزینه مطلوب‌تر است. سپس، سیستم استنتاج فازی ممدانی خروجی‌های حاصل از تمامی قواعد با استفاده از یک عملگر ترکیب منطقی به نام s-norm (معمولاً ماکزیمم) با یکدیگر ترکیب شدند (شکل ۵).



شکل ۵. تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم استنتاج فازی ممدانی بر اساس عملگر ترکیب S-norm (محور X: مقادیر ورودی در بازه [۰ ۵]؛ محور Y: مقادیر خروجی در بازه [۰ ۱])

در این شکل، نحوه تخصیص مقادیر ورودی به قوانین فازی و ترکیب خروجی‌ها با عملگر S-norm نمایش داده شده است. محور X بیانگر مقادیر ورودی (در بازه [۰ ۵]) و محور Y بیانگر مقادیر خروجی (در بازه [۰ ۱]) است. برای قطعی‌سازی خروجی‌ها، از روش میانگین مرکز ثقل استفاده شد. خروجی نهایی هر تأمین‌کننده براساس امتیاز تجمیع شده حاصل از پرسشنامه‌های خبرگان برای معیارهای مدل لارجس تعیین گردید. (متن کامل پرسش‌نامه و شیوه امتیازدهی در پیوست ۲ ارائه شده است).

جدول ۸. مقادیر فازی سه‌تایی معیارهای لارجس برای هر تأمین‌کننده (بازه مقادیر: [۰ ۵])

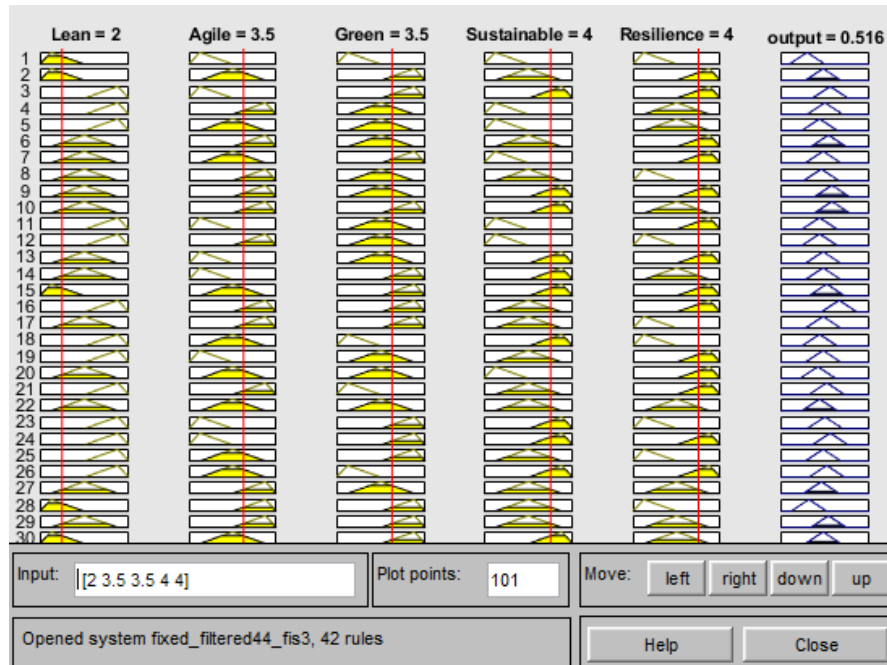
تأمین‌کننده	ناب بودن (Lean)	چابکی (Agile)	سبز بودن (Green)	پایداری (Sustainable)	تاب‌آوری (Resilience)
تأمین‌کننده ۱	۲	۳/۵	۳/۵	۴	۴
تأمین‌کننده ۲	۳	۴	۳	۳	۲
تأمین‌کننده ۳	۳/۵	۴	۲	۳	۲

تأمین کننده ۴	۳	۲	۳	۴	۲
تأمین کننده ۵	۴/۵	۴	۲/۵	۴/۵	۳/۵
تأمین کننده ۶	۲	۴	۳/۵	۳	۲/۵
تأمین کننده ۷	۲	۴	۳/۵	۴/۵	۴/۵
تأمین کننده ۸	۴/۵	۳	۴	۲/۵	۲

طبق نتایج جدول ۸، تأمین کننده شماره ۷ بالاترین رتبه را با امتیاز فازی ۰/۶۲۱ کسب کرده است، که نشان دهنده عملکرد برتر آن نسبت به سایرین است. این تأمین کننده در معیارهای چابکی (۴)، سبز (۳/۵)، پایداری (۴/۵) و تاب آوری (۴/۴) امتیازات بالایی دارد، اما در معیار ناب (۲) نسبتاً ضعیف است. پس از آن، تأمین کننده شماره ۵ با امتیاز ۰/۶ در رتبه دوم قرار گرفته است. این تأمین کننده در معیارهای ناب (۴/۵) و پایداری (۴/۵) بسیار قوی است، اما در معیار سبز (۲/۵) ضعیف دارد. تأمین کننده شماره ۱ با امتیاز ۰/۵۳۳ در رتبه سوم قرار دارد که در معیارهای پایداری (۴) و تاب آوری (۴) عملکرد خوبی و یکسان دارد. جدول ۴ نشان دهنده میزان عملکرد هر تأمین کننده در پنج معیار اصلی است. مقادیر عددی به صورت اعداد فازی سه تایی نمایش داده شده اند که از ارزیابی خبرگان استخراج شده اند. مقادیر بالاتر نشان دهنده عملکرد بهتر در آن معیار می باشند.

مقادیر نشان دهنده سطح عملکرد تأمین کنندگان در پنج معیار ناب (Lean)، چابک (Agile)، سبز (Green)، پایدار (Sustainable) و تاب آوری (Resilience) هستند. اعداد فازی سه تایی بر اساس نظر خبرگان تعیین و میانگین گیری شده اند. مقادیر فازی هر معیار در بازه [۱، ۵] تعریف شده و بدون واحد هستند؛ مقادیر بالاتر بیانگر عملکرد بهتر تأمین کننده در آن معیار می باشند. این مقادیر از میانگین گیری پاسخ های فازی خبرگان و استفاده از پایگاه قواعد سیستم استنتاج فازی به دست آمده اند.

بر اساس جدول ۸، تأمین کنندگان ۱، ۵ و ۷ بالاترین عملکرد را در معیارهای چابکی و پایداری داشته اند، در حالی که تأمین کنندگان ۲ و ۴ در شاخص تاب آوری ضعیف تر عمل کرده اند. این تفاوت ها مبنای تفکیک استراتژیک تأمین کنندگان در مراحل بعدی تحلیل است. در شکل ۶، نمونه ای از خروجی نهایی سیستم فازی برای تأمین کننده شماره ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۶. نمونه‌ای از خروجی سیستم استنتاج فازی برای تأمین‌کننده شماره ۱ (محور X: معیارهای LARGS؛ محور Y: امتیاز فازی در بازه [۱ ۵])

محور X معیارهای پنج‌گانه LARGS و محور Y امتیاز فازی تأمین‌کننده در بازه [۱ ۵] را نشان می‌دهد. این نمودار عملکرد تأمین‌کننده ۱ در پنج معیار LARGS را نمایش می‌دهد و به شناسایی نقاط قوت و ضعف کمک می‌کند. گروه‌بندی استراتژیک تأمین‌کنندگان بدین صورت است که تأمین‌کنندگان کلیدی: (A) تأمین‌کنندگان ۷، ۵ و ۱ (با امتیازات بالای ۰/۵)؛ تأمین‌کنندگان توسعه‌پذیر: (B) تأمین‌کنندگان ۶ و ۸ (با امتیازات حدود ۰/۵ و ۰/۴۷)؛ تأمین‌کنندگان فرعی: (C) تأمین‌کنندگان ۳ و ۲ (با امتیازات حدود ۰/۴۵ و ۰/۴۳)؛ و تأمین‌کنندگان بحرانی: (D) تأمین‌کننده ۴ (با پایین‌ترین امتیاز ۰/۴۰۳) هستند. متوسط امتیازات در هر معیار نیز نشان می‌دهد که معیارهای چابکی و پایداری (۳/۵۶) قوی‌ترین، و معیار تاب‌آوری (۲/۸۱) ضعیف‌ترین عملکرد را دارند. سپس نتایج ارزیابی تأمین‌کنندگان به صورت اعداد قطعی به سیستم استنتاج فازی وارد شد. بدیهی است هرچه مقدار این خروجی برای یک تأمین‌کننده بالاتر باشد، شایستگی آن برای انتخاب به عنوان

تأمین کننده با اولویت بالاتر نیز افزایش می‌یابد. رتبه نهایی تأمین کنندگان با رویکرد سیستم استنتاج فازی در جدول ۹ ارائه شده است.

جدول ۹. رتبه نهایی تأمین کنندگان با رویکرد سیستم استنتاج فازی (ستون «میانگین»: مقدار قطعی خروجی فازی، بازه [۰ ۱] بدون واحد؛ ستون «رتبه نهایی»: جایگاه تأمین کننده)

رتبه نهایی	میانگین	تأمین کننده
۳	۰/۵۱۶	S۱
۷	۰/۴۴۶	S۲
۶	۰/۴۵۱	S۳
۸	۰/۴۴	S۴
۲	۰/۵۲	S۵
۴	۰/۴۸۴	S۶
۱	۰/۵۵۲	S۷
۵	۰/۴۶۹	S۸

ارزیابی عملکرد تأمین کنندگان نشان داد تأمین کننده ۱۷ با میانگین ۰/۵۵۲ از بالاترین رتبه در میان شش تأمین کننده دیگر برخوردار است. این تأمین کننده در ۴ معیار چابکی، سبز، پایدار و نوآوری، بهترین شاخص‌ها را در مقایسه با سایر تأمین کنندگان داشت. بر این اساس، این تأمین کننده اولین انتخابی است که این شرکت با آن وارد همکاری‌های بلندمدت می‌شود. دیگر تأمین کنندگان به ترتیب اولویت به صورت $S_1 > S_6 > S_8 > S_3 > S_2 > S_4 > S_7 > S_5$ بودند.

ستون «میانگین» مقدار قطعی خروجی فازی هر تأمین کننده را نشان می‌دهد (بدون واحد و در بازه [۰ ۱]). ستون «رتبه نهایی» جایگاه هر تأمین کننده بر اساس امتیاز نهایی است. این رتبه‌بندی برای تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی تأمین کنندگان استفاده می‌شود. جدول ۵ نتایج نهایی رتبه‌بندی تأمین کنندگان را بر اساس خروجی سیستم استنتاج فازی نمایش می‌دهد. به منظور اطمینان از صحت و پایداری نتایج مدل فازی، اعتبارسنجی با استفاده از روش k-Fold Cross-Validation انجام شد. در این روش داده‌ها به پنج بخش تقسیم گردید و در هر تکرار، یکی از بخش‌ها به عنوان داده‌ی آزمون و چهار بخش دیگر به عنوان داده‌ی آموزش مورد استفاده قرار گرفت. سپس میانگین خطای پیش‌بینی مدل برای تمام تکرارها

محاسبه شد. نتایج نشان داد که میانگین خطای مطلق (MAE) برابر با ۰/۰۲۱ و انحراف معیار خطا برابر با ۰/۰۰۷ بود که بیانگر پایداری بالا و سازگاری نتایج مدل فازی است.

این یافته‌ها نشان می‌دهد مدل طراحی شده توانایی تعمیم‌پذیری مناسبی در مواجهه با داده‌های جدید دارد و از دقت قابل قبولی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان برخوردار است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل فازی پیشنهادی از اعتبار پیش‌بینی مناسبی برخوردار بوده و در کاربردهای عملی، از جمله تصمیم‌گیری‌های واقعی در زنجیره تأمین، قابل اعتماد است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مرحله استنتاج فازی حاکی از آن بود که ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان به ترتیب اولویت $S_7 > S_5 > S_1 > S_6 > S_8 > S_3 > S_2 > S_4$ است. تأمین‌کنندگان در معیارهای "چابکی و پایداری" عملکرد قوی‌تری دارند و در معیار "تاب‌آوری" ضعف نشان دادند، که می‌تواند ناشی از اولویت‌های فعلی بازار یا تمرکز صنعت باشد. تحلیل دقیق‌تر نشان داد حتی بهترین تأمین‌کنندگان دارای نقاط ضعف مشخص در تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری هستند که ممکن است ناشی از ساختار ناکافی فرآیندهای داخلی، کمبود سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پشتیبانی و وابستگی به تأمین‌کنندگان کلیدی باشد. برای تعمیق تحلیل، عملکرد تأمین‌کنندگان برتر با یافته‌های مشابه در صنایع دیگر مقایسه شد. به عنوان مثال، تأمین‌کننده ۷ که بیشترین امتیاز در چابکی دارد، مشابه تأمین‌کنندگان برتر صنایع غذایی و دارویی توانسته با انعطاف‌پذیری بالا در تغییرات تقاضا، ثبات نسبی زنجیره تأمین را حفظ کند (Ghazvinian et al., 2024). یافته‌ها نشان می‌دهد که ضعف تاب‌آوری تأمین‌کننده قابل توجه است و این موضوع ضرورت تقویت زیرساخت‌های انعطاف‌پذیر و به کارگیری رویکردهای مؤثر مدیریت ریسک در صنایع مختلف را برجسته می‌سازد.

بررسی عوامل مؤثر بر این ضعف نشان می‌دهد که وابستگی زیاد به تأمین‌کنندگان کلیدی، محدودیت ظرفیت تولید، نبود انعطاف‌پذیری در مدیریت موجودی و تأخیرهای لجستیکی از مهم‌ترین دلایل آن هستند (Puška et al., 2025). این تحلیل مقایسه‌ای نشان می‌دهد که حتی بهترین تأمین‌کنندگان در مواجهه با اختلالات محیطی ممکن است پاسخ سریع نداشته باشند و مدیریت منابع برای تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری ضروری است. برای

بررسی پایداری نتایج، آزمون حساسیت با تغییر $\pm 10\%$ در وزن معیارها انجام شد. نتایج نشان داد رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان تغییر معناداری ندارد و بنابراین مدل از استحکام و پایداری قابل قبولی برخوردار است.

اگرچه پژوهش حاضر بر صنعت شوینده تمرکز دارد، مدل پیشنهادی قابلیت کاربرد در سایر صنایع را نیز دارد، مشروط بر رعایت شرایط زیر:

۱. شباهت ساختار زنجیره تأمین از نظر تعداد سطوح تأمین‌کننده، الگوی تقاضا و روابط قراردادی.

۲. دسترسی به داده‌های معتبر و قابل سنجش در سطح شاخص‌های LARGS (چابکی، سبز، تاب‌آوری و پایداری) برای تأمین‌کنندگان منتخب.

۳. ثبات نسبی محیط تصمیم‌گیری و امکان جمع‌آوری قضاوت‌های خبرگان بدون تغییرات شدید بازار.

۴. قابلیت کالیبراسیون وزن معیارها بر اساس نظر خبرگان صنعت هدف.

در صنایعی با نوسانات بالای تقاضا یا وابستگی زیاد به فناوری (مانند صنایع دارویی یا الکترونیک)، لازم است وزن معیارها مجدداً تنظیم شود و ارزیابی‌ها با مشارکت خبرگان همان صنعت انجام گیرد. رعایت این الزامات باعث حفظ اعتبار و کارایی مدل در زمینه‌های جدید می‌شود. همچنین محدودیت پژوهش شامل در نظر نگرفتن وابستگی‌های متقابل میان معیارها و نوع عدم قطعیت متفاوت در زنجیره‌های تأمین دیگر است، که در تحقیقات آینده باید مدنظر قرار گیرد.

استفاده سیستماتیک از مدل LARGS به مدیران کمک می‌کند تا منابع محدود خود را به شاخص‌های اولویت‌دار تخصیص داده و برنامه‌ریزی مرحله‌ای برای سایر شاخص‌ها انجام دهند. همچنین هماهنگی بین تأمین‌کنندگان و خرده‌فروشان افزایش یافته و رضایت مشتری، کاهش ضایعات و بهبود کیفیت خدمات تحقق می‌یابد. مدل پیشنهادی با نظریه منبع‌محور (RBV) هم‌راستا است، زیرا توسعه قابلیت‌های کلیدی داخلی زنجیره تأمین مانند چابکی، تاب‌آوری و پایداری را ممکن می‌سازد و منجر به مزیت رقابتی پایدار می‌شود. از دیدگاه نظریه قابلیت‌های پویا، مدل توانایی سازمان در پاسخ به تغییرات محیطی و اختلالات زنجیره تأمین را تقویت می‌کند. هر معیار LARGS به‌عنوان یک قابلیت پویا تعریف شده و مدیریت منابع و تطبیق با شرایط محیطی را تسهیل می‌کند.

افزون بر این، مدل پیشنهادی از منظر «نظریه قابلیت‌های پویا» تجلی فرآیندهای حس‌گری، واکنش و بازپیکربندی در زنجیره تأمین است؛ زیرا ترکیب FIS-FTOPSIS امکان یادگیری تدریجی و تصمیم‌گیری سازگار با عدم قطعیت را فراهم می‌کند. از منظر «نظریه منبع‌محور»، تلفیق شاخص‌های LARGS به‌عنوان منابع مکمل، مبنای ایجاد مزیت رقابتی پایدار مبتنی بر قابلیت‌های درون‌زنجیره‌ای را فراهم می‌سازد. این چارچوب نظری می‌تواند برای تحلیل زنجیره‌های دانش‌محور، سبز یا دیجیتال نیز تعمیم یابد. پژوهش‌های آتی می‌توانند:

۱. وابستگی‌های میان معیارها و زیرمعیارها را با استفاده از ANP یا مدل‌های ساختاری لحاظ کنند؛
۲. مدل را با تحلیل عدم قطعیت‌های فازی، احتمالی و خاکستری و ابزارهای هوش مصنوعی توسعه دهند؛
۳. آزمون‌های پایلوت در صنایع دیگر انجام دهند تا تعمیم‌پذیری مدل ارزیابی شود؛
۴. شاخص‌های مدل را با داده‌های طولی و صنایع مختلف بررسی کنند تا اعتبار بیرونی مدل تقویت شود.

ORCID

Maghsoud Amiri



<https://orcid.org/0000-0002-0650-2584>

Seyyed Habibollah Rahmati



<https://orcid.org/0000-0002-0276-7622>

Masoud Taheri



<https://orcid.org/0009-0003-5708-3417>

پیوست ۱ — کد اجرای FIS ممدانی

```
fis = mamfis('Name', 'LeanAgileGreenSustainableResilience') ;
inputNames = {'Lean', 'Agile', 'Green', 'Sustainable',
'Resilience'};
mfNames = {'Low', 'Medium', 'High'};
mfParams = [1 3 5; 3 5 7; 5 7 9] ;
for i = 1:length(inputNames)
    fis = addInput(fis, [1 9] , 'Name', inputNames{i}) ;
    for j = 1:length(mfNames)
        fis = addMF(fis, inputNames{i}, 'trimf', mfParams(j,:) ,
'Name', mfNames{j}) ;
    end
end
fis = addOutput(fis, [0 1] , 'Name', 'Output') ;
fis = addMF(fis, 'Output', 'trimf', [0 0.5 0.75] , 'Name', 'Low') ;
fis = addMF(fis, 'Output', 'trimf', [0.5 0.75 1] , 'Name', 'Medium')
;
fis = addMF(fis, 'Output', 'trimf', [0.75 1 1] , 'Name', 'High') ;
inputCombinations = combvec(1:3, 1:3, 1:3, 1:3, 1:3)';
numCombinations = size(inputCombinations, 1);
rng('shuffle') ; % For randomness
selectedIndices = randperm(numCombinations, 243);
% Add selected rules to the FIS
for i = 1:length(selectedIndices)
    idx = selectedIndices(i);
    rule = [inputCombinations(idx, :) 1 1 1] ;
    fis = addRule(fis, rule);
end
disp('Original Rules:') ;
showrule(fis)
ruleStrengths = rand(1, length(fis.Rules)) ;
threshold = 0.5;
filteredRuleIndices = find(ruleStrengths > threshold);
totalRules = 243;
randomOrder = randperm(totalRules);
numToKeep = 42;
rulesToKeep = randomOrder(1:numToKeep);
filteredRuleIndices = rulesToKeep;
disp('Filtered Rule Indices:') ;
disp(filteredRuleIndices);
filteredFis = mamfis('Name',
'FilteredLeanAgileGreenSustainableResilience') ;
for i = 1:length(fis.Inputs)
    filteredFis.Inputs(i) = fis.Inputs(i);
end
filteredFis.Outputs = fis.Outputs;
filteredFis.Rules = fis.Rules(filteredRuleIndices);
disp('Filtered Rules:') ;
showrule(filteredFis)
writeFIS(filteredFis, 'filtered_fis.fis');
successCounts = zeros(1, length(filteredRuleIndices)) ;
```

پیوست ۲ — پرسشنامه

۱. معرفی پرسشنامه‌ها

در این پژوهش از دو نوع پرسشنامه برای طراحی و ارزیابی سیستم استنتاج فازی استفاده شده است. هر دو پرسشنامه توسط ۱۰ خبره متخصص در حوزه مدیریت زنجیره تأمین تکمیل شده‌اند تا ارزیابی‌ها از روایی محتوایی و دقت بالایی برخوردار باشند.

۲. پرسشنامه اول: طراحی پایگاه قواعد سیستم استنتاج فازی

پرسشنامه اول شامل ۴۲ سناریوی ترکیبی بر اساس پنج معیار اصلی عملکرد تأمین‌کننده شامل ناب، چابکی، سبز، پایداری و تاب‌آوری است. هر سناریو ترکیبی از این پنج شاخص در سه سطح «کم»، «متوسط» یا «زیاد» است. خبره‌ها باید برای هر سناریو اهمیت عملکرد تأمین‌کننده را در سه سطح «کم‌اهمیت»، «متوسط» و «پراهمیت» تعیین کنند. داده‌های حاصل از این پرسشنامه برای هر سؤال به یک عدد فازی مثلی تبدیل شده و در نهایت ۴۲ خروجی فازی مثلی تشکیل شده است. این مقادیر به‌عنوان پایگاه قواعد در سیستم استنتاج فازی ممدانی استفاده شده‌اند.

شماره	سوالات	کم اهمیت	متوسط	پراهمیت
۱	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (کم)، چابک (کم)، سبز (کم)، پایداری (کم) و تاب‌آوری (کم) باشد آنگاه عملکرد تأمین‌کننده:			
۲	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (کم)، چابک (متوسط)، سبز (زیاد)، پایداری (متوسط) و تاب‌آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین‌کننده:			
۳	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (کم)، سبز (زیاد)، پایداری (زیاد) و تاب‌آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین‌کننده:			

۴	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (زیاد)، سبز (متوسط)، پایداری (کم) و تاب آوری (متوسط) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۵	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (متوسط)، سبز (متوسط)، پایداری (کم) و تاب آوری (متوسط) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۶	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (زیاد)، سبز (متوسط)، پایداری (متوسط) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۷	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (متوسط)، سبز (زیاد)، پایداری (کم) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۸	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (زیاد)، سبز (متوسط)، پایداری (متوسط) و تاب آوری (کم) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۹	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (زیاد)، سبز (متوسط)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۱۰	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (زیاد)، سبز (زیاد)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (متوسط) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۱۱	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (کم)، سبز (متوسط)، پایداری (کم) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۱۲	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (زیاد)، سبز (متوسط)، پایداری (کم) و تاب آوری (کم) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۱۳	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (کم)، سبز (متوسط)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:

۱۴	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (کم)، سبز (زیاد)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (متوسط) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۱۵	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (کم)، چابک (متوسط)، سبز (زیاد)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۱۶	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (زیاد)، سبز (زیاد)، پایداری (متوسط) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۱۷	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (زیاد)، سبز (زیاد)، پایداری (متوسط) و تاب آوری (کم) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۱۸	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (متوسط)، سبز (کم)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (کم) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۱۹	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (کم)، سبز (متوسط)، پایداری (متوسط) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۲۰	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (متوسط)، سبز (متوسط)، پایداری (کم) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۲۱	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (زیاد)، سبز (کم)، پایداری (متوسط) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۲۲	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (متوسط)، سبز (متوسط)، پایداری (متوسط) و تاب آوری (متوسط) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۲۳	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (کم)، سبز (زیاد)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (کم) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:

۲۴	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (کم)، سبز (زیاد)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۲۵	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (متوسط)، سبز (زیاد)، پایداری (متوسط) و تاب آوری (کم) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۲۶	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (متوسط)، سبز (کم)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۲۷	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (زیاد)، سبز (متوسط)، پایداری (متوسط) و تاب آوری (متوسط) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۲۸	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (کم)، چابک (زیاد)، سبز (زیاد)، پایداری (متوسط) و تاب آوری (کم) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۲۹	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (زیاد)، سبز (زیاد)، پایداری (متوسط) و تاب آوری (متوسط) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۳۰	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (کم)، چابک (متوسط)، سبز (زیاد)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (متوسط) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۳۱	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (زیاد)، سبز (زیاد)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۳۲	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (زیاد)، سبز (زیاد)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (کم) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۳۳	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (زیاد)، سبز (زیاد)، پایداری (متوسط) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:

۳۴	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (زیاد)، سبز (کم)، پایداری (کم) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۳۵	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (کم)، سبز (زیاد)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (کم) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۳۶	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (زیاد)، سبز (زیاد)، پایداری (کم) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۳۷	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (کم)، سبز (زیاد)، پایداری (متوسط) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۳۸	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (زیاد)، چابک (کم)، سبز (زیاد)، پایداری (متوسط) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۳۹	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (زیاد)، سبز (کم)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (کم) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۴۰	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (متوسط)، چابک (متوسط)، سبز (متوسط)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۴۱	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (کم)، چابک (زیاد)، سبز (کم)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:
۴۲	اگر شاخص‌ها بترتیب ناب (کم)، چابک (کم)، سبز (زیاد)، پایداری (زیاد) و تاب آوری (زیاد) باشد آنگاه عملکرد تأمین کننده:

۳. پرسشنامه دوم: تعیین مقدار کمی برای ورودی‌های کنترلر فازی

در مرحله دوم، برای ارزیابی نهایی تأمین‌کنندگان، پرسشنامه‌ای شامل سه سؤال برای هر معیار اصلی طراحی شده است. بنابراین برای هر تأمین‌کننده و برای هر معیار، مجموعاً سه سؤال توسط ۱۰ خبره پاسخ داده شده است.

مقیاس پاسخ‌دهی در این پرسشنامه طیف لیکرت ۵ درجه‌ای است:
۵ = بسیار خوب، ۴ = خوب، ۳ = متوسط، ۲ = ضعیف، ۱ = بسیار ضعیف
روش تجمیع داده‌ها:

برای هر معیار و هر تأمین‌کننده:

۱. میانگین سه سؤال مربوط به معیار، برای هر خبره محاسبه می‌شود.
۲. سپس میانگین نمرات ۱۰ خبره برای آن معیار محاسبه می‌گردد.
۳. مقدار به بازه ۰ تا ۱ نرمال‌سازی شده و به عنوان ورودی سیستم استنتاج فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در نتیجه، این ورودی‌ها امکان تولید خروجی نهایی عملکرد تأمین‌کننده در بازه ۰ تا ۱ را فراهم می‌کنند.

۴. پایایی پرسشنامه‌ها

برای ارزیابی پایایی ابزار، مقادیر آلفای کرونباخ برای معیارهای مختلف محاسبه شد که همگی بزرگ‌تر از ۰٫۸۰ بوده و نشان‌دهنده پایایی مطلوب پرسشنامه‌هاست.

سؤالات پرسشنامه	۱	۲	۳	۴	۵
فرآیندهای تأمین‌کننده تا چه حد کارآمد هستند؟					
میزان کاهش ضایعات در تولید چقدر است؟					
تأمین‌کننده تا چه حد از روش‌های تولید بهینه استفاده می‌کند؟					
تأمین‌کننده تا چه حد قادر به واکنش سریع به تغییرات بازار است؟					
سرعت تأمین سفارشات چقدر است؟					
آیا تأمین‌کننده می‌تواند تولید را بر اساس تقاضای مشتری تنظیم کند؟					

					تأمین کننده تا چه حد از مواد بازیافتی استفاده می کند؟
					آیا فرآیندهای تولید تأمین کننده دوستدار محیط زیست است؟
					تأمین کننده تا چه میزان گازهای گلخانه ای را کاهش داده است؟
					تأمین کننده تا چه حد مسئولیت اجتماعی را در نظر می گیرد؟
					آیا تأمین کننده برنامه ای برای پایداری بلندمدت دارد؟
					تأمین کننده تا چه حد به قوانین زیست محیطی پایبند است؟
					تأمین کننده چگونه با بحران های اقتصادی و زنجیره تأمین مقابله می کند؟
					تأمین کننده چه میزان موجودی را برای مقابله با شرایط بحرانی نگه می دارد؟
					آیا تأمین کننده برنامه ای برای بازیابی سریع پس از بحران دارد؟

منابع

۱. ابویی مهریزی، س.، & شهبازی، ع.ا. (۱۳۹۹). ارزیابی بلوغ زنجیره تأمین لارج در شرکت سایپا یدک با استفاده از سیستم استنتاج فازی (FIS). *نخبگان علوم و مهندسی*، ۵(۳)، ۱-۱۳. <https://sid.ir/paper/395664/fa>
۲. امیری، مقصود، حسینی دهشیری، سید جلال الدین، & یوسفی هنومرور، احمد. (۱۳۹۷). تعیین ترکیب بهینه استراتژی های زنجیره تأمین لارج با بهره گیری از تحلیل SWOT، تکنیک های تصمیم گیری چندمعیاره و تئوری بازی. *فصلنامه مدیریت صنعتی*، ۱۰(۲)، ۲۴۶-۲۲۱. <https://doi.org/10.22059/imj.2018.257030.1007420>
۳. محمدنژاد چاری، ف.، & صفایی قادیکلایی، ع. (۱۳۹۵). شناسایی و رتبه بندی معیارهای انتخاب تأمین کنندگان در زنجیره تأمین لارج (مطالعه موردی: صنایع غذایی و لبنی کاله).

تحقیق در عملیات و کاربردهای آن (ریاضیات کاربردی)، ۱۳ (۴ [پیاپی ۵۱])، ۱۰۳-۱۲۰.

<https://sid.ir/paper/164661/fa>

۴. محمدی، خ.، زنجیرچی، س.م.، & محمدی، ل. (۱۴۰۲). ارائه مدل روابط علی

شاخص‌های زنجیره تأمین لارج با استفاده از روش دیمتل سلسله‌مراتبی. علوم و فنون

مدیریت اطلاعات، ۹ (۳)، ۴۳۱-۴۶۸.

<https://doi.org/10.22091/stim.2023.8986.1919>

References

۵. Aggarwal, R., & Singh, S. P. (2015). Chance constraint-based multi-objective stochastic model for supplier selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 79(9-12), 1707-1719. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-6916-6>
۶. Al-Refaie, A., & Lepkova, N. (2025). A Fuzzy LARG Index for Assessing the lean, agile, resilience, and green paradigms in industrial companies. *Sustainability*, 17(5), 1863. <https://doi.org/10.3390/su17051863>
۷. Alqudah, S., Shrouf, H., Suifan, T., & Alhyari, S. (2020). A moderated mediation model of lean, agile, resilient, and green paradigms in the supply chain. *International Journal of Supply Chain Management*, 9(4), 158-172. Retrieved from <https://excelingtech.co.uk/>
۸. Baki, R. (2022). An integrated multi-criteria structural equation model for green supplier selection. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 9(4), 1063-1076. <https://doi.org/10.1007/s40684-021-00415-7>
۹. Bottani, E., Monferdini, L., Villani, N., Caterino, M., & Rinaldi, M. (2025). Integrating the lean, agile, resilient, green perspectives in decision support systems: The LARG-AHP Framework. *IFAC-PapersOnLine*, 59(10), 1576-1581. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2025.09.265>
۱۰. Cavalcante, I. M., Frazzon, E. M., Forcellini, F. A., & Ivanov, D. (2019). A supervised machine learning approach to data-driven simulation of resilient supplier selection in digital manufacturing. *International Journal of Information Management*, 49, 86-97. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.03.004>
۱۱. De Boer, L. (2017). Procedural rationality in supplier selection: Outlining three heuristics for choosing selection criteria. *Management Decision*, 55(1), ۳۲-۵۶. <https://doi.org/10.1108/MD-08-2015-0373>
۱۲. Dey, P. K., Malesios, C., De, D., Chowdhury, S., & Abdelaziz, F. B. (2019). Could lean practices and process innovation enhance supply chain sustainability of small and medium-sized enterprises? *Business Strategy and the Environment*, 28(4), 582-598. <https://doi.org/10.1002/bse.2254>
۱۳. Digalwar, A., Raut, R. D., Yadav, V. S., Narkhede, B., Gardas, B. B., & Gotmare, A. (2020). Evaluation of critical constructs for measurement of sustainable supply chain practices in lean-agile firms of Indian origin: A hybrid ISM-ANP approach. *Business Strategy and the Environment*, 29(3), ۱۵۷۵-۱۵۹۶. <https://doi.org/10.1002/bse.2455>

- ^{١٤}. do Rosário Cabrita, M., Duarte, S., Carvalho, H., & Cruz-Machado, V. (2016). Integration of lean, agile, resilient and green paradigms in a business model perspective: theoretical foundations. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), ١٣٠٦-١٣١١. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.704>
- ^{١٥}. Ghazvinian, A., Feng, B., Feng, J., Talebzadeh, H., & Dzikuć, M. (2024). Lean, Agile, Resilient, Green, and Sustainable (LARGS) Supplier Selection Using Multi-Criteria Structural Equation Modeling under Fuzzy Environments. *Sustainability*, 16(4), 1594. <https://doi.org/10.3390/su16041594>
- ^{١٦}. Guo, Y., Yu, J., Boulaksil, Y., Allaoui, H., & Hu, F. (2021). Solving the sustainable supply chain network design problem by the multi-neighborhoods descent traversal algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 154, 107098. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107098>
- ^{١٧}. Gupta, S., Soni, U., & Kumar, G. (2019). Green supplier selection using multi-criterion decision making under fuzzy environment: A case study in automotive industry. *Computers & Industrial Engineering*, 136, 663-680. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.038>
- ^{١٨}. Hadian, H., Chahardoli, S., Golmohammadi, A. M., & Mostafaeipour, A. (2020). A practical framework for supplier selection decisions with an application to the automotive sector. *International Journal of Production Research*, 58(10), 2997-3014. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1624854>
- ^{١٩}. Hosseini, Z. S., Flapper, S. D., & Pirayesh, M. (2022). Sustainable supplier selection and order allocation under demand, supplier availability and supplier grading uncertainties. *Computers & Industrial Engineering*, 165, ١٠٧٨١١. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107811>
- ^{٢٠}. Hosseini Dehshiri, S. J., Amiri, M., Mostafaeipour, A., Pamučar, D., & Le, T. (2024). Enhancing supply chain performance by integrating knowledge management and lean, agile, resilient, and green paradigms. *Journal of Management Analytics*, 11(4), 738-769. <https://doi.org/10.1080/23270012.2024.2408527>
- ^{٢١}. Kabadayi, N., & Bakkal, S. (2024, July). Fermatean fuzzy analytic hierarchy process for supplier selection on LARG supply chain paradigm. In M. Köppen, R. R. Yager, & E. S. H. Hou (Eds.), *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems* (pp. 373–382). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-03167192-0_43
- ^{٢٢}. Kaya, R., & Yet, B. (2019). Building Bayesian networks based on DEMATEL for multiple criteria decision problems: A supplier selection case study. *Expert Systems with Applications*, 134, 234-248. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.053>
- ^{٢٣}. Khan, S. A., Kusi-Sarpong, S., Arhin, F. K., & Kusi-Sarpong, H. (2018). Supplier sustainability performance evaluation and selection: A framework and methodology. *Journal of Cleaner Production*, 205, 964-979. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.144>
- ^{٢٤}. Lamba, K., & Singh, S. P. (2019). Dynamic supplier selection and lot-sizing problem considering carbon emissions in a big data environment. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 573-584. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.03.020>
- ^{٢٥}. Lu, Z., Sun, X., Wang, Y., & Xu, C. (2019). Green supplier selection in straw biomass industry based on cloud model and possibility degree. *Journal of Cleaner Production*, 209, 995-1005. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.130>

٢٦. Mathiyazhagan, K., Agarwal, V., Appolloni, A., Saikouk, T., & Gnanavelbabu, A. (2021). Integrating lean and agile practices for achieving global sustainability goals in Indian manufacturing industries. *Technological Forecasting and Social Change*, 171, 120982. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120982>
٢٧. Sonar, H., Gunasekaran, A., Agrawal, S., & Roy, M. (2022). Role of lean, agile, resilient, green, and sustainable paradigm in supplier selection. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 4, 100059. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100059>
٢٨. Monferdini, L., Casella, G., & Bottani, E. (2025). Development of a fuzzy logic-based tool for evaluating kpis in a lean, agile, resilient, and green (LARG) supply chain. *Applied Sciences*, 15(14), 8010. <https://doi.org/10.3390/app15148010>
٢٩. Nazari-Shirkouhi, S., Jalalat, S. M., Sangari, M. S., Sepehri, A., & Vandchali, H. R. (2023). A robust-fuzzy multi-objective optimization approach for a supplier selection and order allocation problem: Improving sustainability under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 186, 109757. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109757>
٣٠. Omair, M., Noor, S., Tayyab, M., Maqsood, S., Ahmed, W., Sarkar, B., & Habib, M. S. (2021). The selection of the sustainable suppliers by the development of a decision support framework based on analytical hierarchical process and fuzzy inference system. *International Journal of Fuzzy Systems*, 23(7), 1986-2003. <https://doi.org/10.1007/s40815-021-01073-2>
٣١. Pabarja, R., Jamali, G., Salimifard, K., & Ghorbanpur, A. (2024). Analysis of the LARG of the hospital medical equipment supply chain using the fuzzy inference system. *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 13(2), 116-151. <https://doi.org/10.22105/rii.2024.431679.1408>
٣٢. Puška, A., Kojić, N., Pavlović, A., Bojanić, R., Stojanović, I., Krpina, V., ... & Nedeljković, M. (2025). Selection of Green Packaging Suppliers for Circular Economy Needs Using Intuitionistic Fuzzy Approach. *Sustainability*, 17(17), 8008. <https://doi.org/10.3390/su17178008>
٣٣. Rosić, H., Bauer, G., & Jammerneegg, W. (2009). A framework for economic and environmental sustainability and resilience of supply chains. In *Rapid Modelling for Increasing Competitiveness: Tools and Mindset* (pp. 91–104). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-84882-748-6_8
٣٤. Sahoo, S. K., Goswami, S. S., & Halder, R. (2024). Supplier selection in the age of industry 4.0: a review on MCDM applications and trends. *Decision Making Advances*, 2(1), 32-47. <https://doi.org/10.31181/dma21202420>
٣٥. Saputro, T. E., Figueira, G., & Almada-Lobo, B. (2022). A comprehensive framework and literature review of supplier selection under different purchasing strategies. *Computers & Industrial Engineering*, 167, 108010. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108010>
٣٦. Sharma, V., Raut, R. D., Mangla, S. K., Narkhede, B. E., Luthra, S., & Gokhale, R. (2021). A systematic literature review to integrate lean, agile, resilient, green and sustainable paradigms in the supply chain management. *Business Strategy and the Environment*, 30(2), 1191-1212. <https://doi.org/10.1002/bse.2679>
٣٧. Sheykhizadeh, M., Ghasemi, R., Vandchali, H. R., Sepehri, A., & Torabi, S. A. (2024). A hybrid decision-making framework for a supplier selection problem based on lean, agile, resilience, and green criteria: a case study of a

- pharmaceutical industry. *Environment, Development and Sustainability*, 26(12), 30969-30996. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04135-7>
۳۸. Tavakoli, M., Tajally, A., Ghanavati-Nejad, M., & Jolai, F. (2023). A Markovian-based fuzzy decision-making approach for the customer-based sustainable-resilient supplier selection problem. *Soft Computing*, 1–32. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08380-w>
۳۹. Yildiz, A., & Yayla, A. Y. (2015). Multi-criteria decision-making methods for supplier selection: A literature review. *South African Journal of Industrial Engineering*, 26(2), 158-177. <https://hdl.handle.net/10520/EJC177838>
۴۰. Yusmiati, Y., Machfud, M., Marimin, M., & Sunarti, T. C. (2024). Sustainability performance assessment of sago industry supply chain using a multi-criteria adaptive fuzzy inference model. *F1000Research*, 12(593). <https://doi.org/10.12688/f1000research.133317.2>
۴۱. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

References in Persian

۱. Abuyee Mehryzi, S., & Shahbazi, A.-A. (2020). Assessing the maturity of a large supply chain in Saipa Yadak Company using the Fuzzy Inference System (FIS) [In Persian]. *Nokhbegan Oloum va Mohandesi*, 5(3), 1–13. <https://sid.ir/paper/395664/fa>
۲. Amiri, M., Hosseini Dehshiri, S. J., & Yousefi Hanomroor, A. (2018). Determining the optimal mix of large supply chain strategies using SWOT analysis, multi-criteria decision-making techniques, and game theory [In Persian]. *Industrial Management Journal*, 10(2), 221–246. <https://doi.org/10.22059/imi.2018.257030.1007420>
۳. Mohammadnejad Chari, F., & Safaei Ghadikolaei, A. (2016). Identification and ranking of supplier selection criteria in a large supply chain: A case study of Kaleh food and dairy industries [In Persian]. *Operational Research and Its Applications (Applied Mathematics)*, 13(4), 103–120. <https://sid.ir/paper/164661/fa>
۴. Mohammadi, K., Zanjirchi, S.-M., & Mohammadi, L. (2023). Developing a causal model of large supply chain indicators using the hierarchical DEMATEL method [In Persian]. *Information Management Science and Technology*, 9(3), 431–468. <https://doi.org/10.22091/stim.2023.8986.1919>