

Analyzing Delay Factors in Deylam Transmission Line Project: A Conflict-Oriented Fuzzy Cognitive Mapping Approach

Niloofer Hedayatifard¹, Hamed Salmanzadeh²*

¹ Ph.D. Student, Faculty of Industrial Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Faculty of Industrial Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

HIGHLIGHTS

- Introducing a novel method for simultaneous integration of task and relational conflicts in expert opinion aggregation within fuzzy cognitive maps.
- Improving accuracy and differentiation of final node values in causal analysis of delay factors via structured conflict resolution.
- Identifying shifts in key delay factor priorities, highlighting organizational significance and adjusting economic factor roles.

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 5 July 2025

Revised: 27 August 2025

Accepted: 17 September 2026

Available online: 17 September 2025

*Correspondence:

h.salmanzadeh@kntu.ac.ir

How to cite this article:

Hedayatifard, N., Salmanzadeh, H. (2026). Analyzing delay factors in Deylam transmission line project: a conflict-oriented fuzzy cognitive mapping approach. *System Engineering and Productivity*, 6 (1), 273-301.

Keywords:

Delay factors

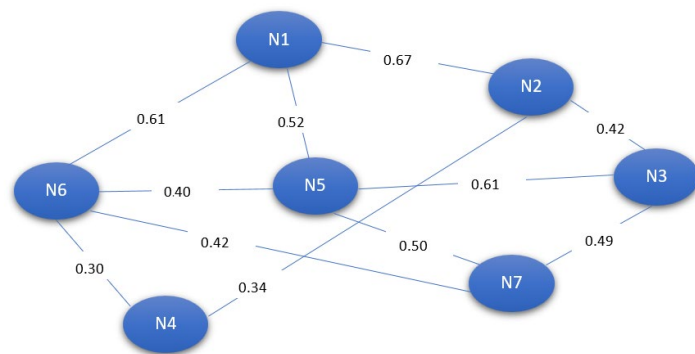
Power transmission projects

Fuzzy Cognitive Map (FCM)

Task and relational conflicts

Expert opinion aggregation

GRAPHICAL ABSTRACT



ABSTRACT

In infrastructure projects, delay factors are often interlinked through complex causal relationships, making the accurate identification of the most critical causes dependent on comprehensive analytical methods. Fuzzy Cognitive Maps (FCMs) are widely regarded as effective tools for modeling such complexities. However, most existing studies rely on simple or weighted averaging to aggregate expert opinions, often neglecting the cognitive and relational dynamics between experts. This oversight can undermine the validity of results and ignore minority perspectives. This study proposes a novel approach that simultaneously incorporates both task conflict (differences in expert assessments) and relational conflict (variations in mutual trust) into the aggregation process. The method was applied to evaluate delay factors in a 230 kV transmission line project located in the Deylam Special Economic Zone. The findings revealed that using simple averaging resulted in final node values falling within a narrow range (0.77–0.82), offering limited differentiation in factor prioritization. In contrast, the conflict-resolution-based approach significantly expanded this range (0.64–0.95) and altered the distribution of factor importance. For instance, the weight of “lack of coordination among local entities” increased from 0.77 to 0.95, while the influence of “sudden increase in metal prices” dropped from 0.82 to 0.64. These results underscore the value of explicitly addressing conflicts during expert aggregation, demonstrating how such structured consideration can improve the validity and explanatory power of FCM outcomes—ultimately providing a more robust tool for decision-making in complex project environments.

1. Introduction

Delays in infrastructure projects remain one of the most significant challenges for project managers, as they often stem from a complex web of interrelated technical, financial, managerial, and environmental factors. Power transmission projects, in particular, involve numerous stakeholders and dynamic operational conditions, making the timely identification of root causes crucial for ensuring cost efficiency and reliability (Abdollahi et al., 2025; Khodayari et al., 2024). Fuzzy Cognitive Maps (FCMs) have been widely adopted as an analytical tool for modeling complex causal relationships among delay factors, owing to their ability to integrate expert knowledge and capture feedback loops inherent in real-world systems (Kosko, 1986; Saraswathi et al., 2024).

Despite their popularity, most FCM-based studies aggregate expert judgments using simple or weighted averaging, implicitly assuming that opinions are fully compatible (Papageorgiou et al., 2019; Papageorgiou & Salmeron, 2012). This oversimplification overlooks two key issues: task conflicts, which arise from differences in the assessment of causal relationships, and relational conflicts, which stem from varying levels of mutual trust among experts (De Dreu & Weingart, 2003; Gaba & Joseph, 2023; Gershon & Fridman, 2023). Ignoring these dimensions can reduce the accuracy of final node values and obscure minority perspectives, ultimately limiting the explanatory power of causal models.

Recent research in group decision-making has proposed approaches for managing disagreements and quantifying trust within expert networks, yet their integration into FCM frameworks remains limited (Engin et al., 2024; Malyshev et al., 2023). Existing methods rarely distinguish between constructive task-related disagreements and disruptive relational disputes, nor do they provide systematic mechanisms for adjusting inconsistent opinions before causal modeling (Pei et al., 2024; Chu et al., 2022; Sarmiento et al., 2024; Schuerkamp et al., 2023; Schuerkamp et al., 2025; Sha et al., 2024; Sun et al., 2023; Toufighi et al., 2025).

To address these gaps, this study introduces a conflict-oriented fuzzy cognitive mapping approach for analyzing delay factors in power transmission projects. The proposed method explicitly incorporates both task and relational conflicts into the aggregation of expert opinions, using a trust-based network and iterative conflict resolution prior to solving the FCM. This framework is applied to a 230 kV transmission line project in the Deylam Special Economic Zone. By refining expert inputs and emphasizing the dynamic interplay between factors, the approach enhances the differentiation and validity of causal weights, offering a more reliable basis for prioritizing interventions and improving project management in complex environments.

2. Methodology

This study employed a mixed computational–expert approach to analyze delay factors in a 230 kV transmission line project located in the Deylam Special Economic Zone. The research followed three main stages:

1. **Expert data collection and trust network construction:** Opinions regarding the causes of project delays were obtained from five senior experts representing the technical, managerial, financial, and legal units of the client organization. A pairwise trust matrix was compiled to quantify the degree of confidence among experts (Pei et al., 2024). This matrix was modeled as a fuzzy cognitive map (FCM) to derive dynamic weights for each expert, reflecting relational dependencies within the decision group.
2. **Conflict detection and adjustment:** Before aggregating expert assessments, two types of conflicts were identified:
 - Relational conflicts were addressed using the trust-based FCM to calculate expert weights.
 - Task conflicts were detected through a threshold mechanism (0.15) that compared the dispersion of opinions on each causal link. When deviations exceeded the threshold, an iterative adjustment based on formulas (1)–(4) aligned outlying judgments while preserving valuable minority information (Pei et al., 2024; De Dreu & Weingart, 2003).

$$TCD_{ij}^{hk} = |p_{ij}^h - p_{ij}^k| \quad (1)$$

$$HD_{ij}^{hk} = 1 - TCD_{ij}^{hk} \quad (2)$$

$$S_{ij}^{t,hk} = \begin{cases} \pi^h & \text{if } h = k \\ \frac{(1-\pi^h)HD_{ij}^{hk}}{\sum_{k=1, k \neq h}^m HD_{ij}^{hk}} & \text{if } h \neq k \end{cases} \quad (3)$$

$$p_{ij}^{h,t+1} = \sum_{k=1}^m S_{ij}^{t,hk} \cdot p_{ij}^{k,t} \quad (4)$$

3. **Fuzzy Cognitive Mapping and analysis:** Cleaned and weighted inputs were used to construct the causal network of delay factors, defined by seven nodes (e.g., sanctions, access to imported equipment, route difficulty, weather conditions, local opposition, price fluctuations, and permit delays). The adjacency matrix was solved using the classical FCM update equation

(Kosko, 1986) until steady state ($\epsilon = 0.05$) was reached. Comparative simulations were conducted: one with simple averaging of opinions and another using the conflict-oriented procedure. Outputs included the final activation levels of each node and a visual representation of causal links.

All computations were performed in Python, enabling reproducibility of the network calculations, conflict-resolution algorithm, and visualization of expert weights and causal graphs.

3. Results and Discussion

The application of the proposed conflict-oriented fuzzy cognitive mapping approach yielded clear improvements in the analysis of delay factors compared to conventional aggregation methods.

When expert judgments were combined using simple averaging, the final activation levels of the seven delay nodes converged to a narrow band (0.77–0.82), limiting differentiation among causal factors. In contrast, the conflict-resolution procedure expanded the range of node values to 0.64–0.95, enabling sharper prioritization of the most critical delays. The resulting causal graph highlighted the central role of sanctions and delayed supply of imported equipment (N1), lack of coordination among local entities (N7), and sudden increases in metal prices (N5). These nodes formed feedback loops with permit delays and route difficulties, indicating reinforcing mechanisms that may intensify schedule overruns. After resolving conflicts, the weight of “lack of coordination among local entities” increased from 0.77 to 0.95, whereas the influence of “price escalation of metals” decreased from 0.82 to 0.64. It was further illustrated how the algorithm moderated extreme inputs from low-weight experts, producing balanced estimates of causal link strengths.

The FCM networks obtained with and without conflict management were compared and, it was showed that the structure of causal relations remained stable while link intensities were refined. These findings align with previous research emphasizing the importance of considering expert heterogeneity and trust in group decision-making (Papageorgiou et al., 2019; Engin et al., 2024; Pei et al., 2024; Giordano et al., 2005). By explicitly modeling both task and relational conflicts, the method improves the validity and explanatory power of FCM outputs. In the context of power transmission projects, the results suggest that addressing organizational coordination issues and supply-chain vulnerabilities—particularly under sanctions—should be prioritized to mitigate delays. Overall, the study demonstrates that integrating conflict resolution into FCM-based analyses offers a more robust and transparent tool for identifying and ranking delay factors, supporting evidence-based decisions in complex project environments.

4. Conclusions

This study presented a conflict-oriented fuzzy cognitive mapping framework to identify and prioritize delay factors in power transmission projects. By integrating task and relational conflicts into the aggregation of expert opinions, the approach improved the clarity and reliability of causal weights compared to conventional averaging. Applied to a 230 kV transmission line project in the Deylam Special Economic Zone, the method revealed that sanctions and delays in importing equipment, lack of coordination among local authorities, and fluctuations in metal prices were the most influential sources of schedule overruns. The procedure expanded the range of final activation values, allowing for a more precise ranking of critical issues while preserving minority perspectives. The findings confirm that managing expert disagreements before solving an FCM enhances the robustness of causal analyses and supports evidence-based decision-making in complex environments. The proposed framework can guide project managers in focusing on organizational coordination, supply-chain resilience, and regulatory efficiency to mitigate delays. Future research may extend this approach to other infrastructure domains or integrate real-time data to dynamically update causal networks.

Funding

This research received no external funding.

Author contributions

Nilofar Hedayatifard: Conceptual research model, literature review and theoretical background, data analysis, statistical analysis draft; drafting the manuscript, preliminary review of the report, research methodology development, text revision; **Hamed Salmanzadeh:** Supervision, text revision.

Conflicts of interest

There are no conflicts of interest associated with this research.

Acknowledgments

We are grateful to all colleagues who provided insights and expertise that greatly assisted this research. We also thank the anonymous reviewers for their valuable suggestions to improve the paper.

References

- Abdollahi, M., Ahmadvand, A. M., & Mirshahvelayati, F. (2025). Analysis of key trends in Iran's steel production chain: A systematic exploration of emerging trends. *System Engineering and Productivity*, 5(3), 155-177 (In Persian). <https://doi.org/10.22034/sep.2025.2063146.1332>
- Chu, X., Sun, B., Chu, X., Zhang, Y., Weng, H., & Huang, Q. (2022). The optimal treatment alternatives

- selection of integrated TCM and Western medicine based on dynamic conflict group decision-making models. *Knowledge-Based Systems*, 236, 107674. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.107674>
- De Dreu, C. K. W., & Weingart, L. R. (2003). Task versus relationship conflict, team performance, and team member satisfaction: A meta-analysis. *Journal of Applied Psychology*, 88(4), 741. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.4.741>
- Engin, A., Franco, L. A., & Rouwette, E. A. J. A. (2024). How groups manage conflict when using model-driven decision support: An epistemic motivation lens. *Omega*, 125, Article 102986. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2024.102986>
- Gaba, V., & Joseph, J. (2023). Content and process: Organizational conflict and decision making. *Frontiers in Psychology*, 14, 1227966. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1227966>
- Gershon, R., & Fridman, A. (2022). Individuals prefer to harm their own group rather than help an opposing group. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(49), e2215633119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2215633119>
- Giordano, R., Passarella, G., Uricchio, V. F., & Vurro, M. (2005). Fuzzy cognitive maps for issue identification in a water resources conflict resolution system. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30(6-7), 463-469. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2005.06.012>
- Khodayari, R., Yazdani, M., Pourghader Chobar, A., & Salehan, S. T. (2024). Risk management of outsourcing projects in automotive parts manufacturing companies using failure mode analysis and decision-making technique. *System Engineering and Productivity*, 4(3), 31-48 (In Persian). <https://doi.org/10.22034/msb.2024.2031280.1212>
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24(1), 65-75. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(86)80040-2)
- Malyshev, V. A., Mitrofanov, D. V., & Sidelev, M. N. (2023). A mathematical model of the decision-making process by a command group in the case of conflict interaction of the requirements for the efficiency and validity of the decision. *Scientific journal Modeling, Optimization and Information Technology*, 11(4), 1-11. <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.43.4.019>
- Papageorgiou, E. I., & Salmeron, J. L. (2012). A review of fuzzy cognitive maps research during the last decade. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 21(1), 66-79. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2012.2201727>
- Papageorgiou, K., Singh, P. K., Papageorgiou, E., Chudasama, H., Bochtis, D., & Stamoulis, G. (2019). Fuzzy cognitive map-based sustainable socio-economic development planning for rural communities. *Sustainability*, 12(1), 305. <https://doi.org/10.3390/su12010305>
- Pei, F., Gao, Y., Yan, A., Zhou, M., & Wu, J. (2024). Conflict elimination based on opinion dynamics in fuzzy group decision-making. *Expert Systems with Applications*, 254, 124308. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124308>
- Pei, F., He, Y.-W., Yan, A., Zhou, M., Chen, Y.-W., & Wu, J. (2020). A consensus model for intuitionistic fuzzy group decision-making problems based on the construction and propagation of trust/distrust relationships in social networks. *International Journal of Fuzzy Systems*, 22(8), 2664-2679. <https://doi.org/10.1007/s40815-020-00980-0>
- Saraswathi, A., Edalatpanah, S. A., & Hami Hassan Kiyadeh, S. (2024). A study on fuzzy cognitive maps using fuzzy inference system. *Big Data and Computing Visions*, 4(4), 257-271. <https://doi.org/10.22105/bdvcv.2024.482326.1212>
- Sarmiento, I., Cockcroft, A., Dion, A., Belaid, L., Silver, H., Pizarro, K., ... & Andersson, N. (2024). Fuzzy cognitive mapping in participatory research and decision making: A practice review. *Archives of Public Health*, 82(1), 76. <https://doi.org/10.1186/s13690-024-01303-7>
- Schuerkamp, R., Ahlstrom, H., & Giabbanelli, P. J. (2025). Automatically resolving conflicts between expert systems: An experimental approach using large language models and fuzzy cognitive maps from participatory modeling studies. *Knowledge-Based Systems*, 313, 113151. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2025.113151>
- Schuerkamp, R., Giabbanelli, P. J., Grandi, U., & Doutre, S. (2023). How to combine models? Principles and mechanisms to aggregate fuzzy cognitive maps. In *2023 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 2518-2529). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WSC60868.2023.10408326>
- Sha, L., Shao, Y., & Li, Y. (2024). A framework of Fermatean fuzzy cognitive map and its extension based on Hamacher operation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 136, 108676. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108676>
- Sun, T. (2023, November). Research on Dynamic Emergency Decision-Making of Emergencies Considering Group Members Conflicts and Social Network Big Data. In *Proceedings of the 2023 3rd International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Risk Management* (pp.

1017-1030).

<https://doi.org/10.1145/3656766.3656935>

Toufighi, S. P., Norouzzadeh, A. M., Vang, J., & Sabzikaran, E. (2025). An intuitionistic fuzzy cognitive mapping approach for blockchain-driven decision support in sustainable construction supply chains. *Decision Analytics Journal*, 100615. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2025.100615>

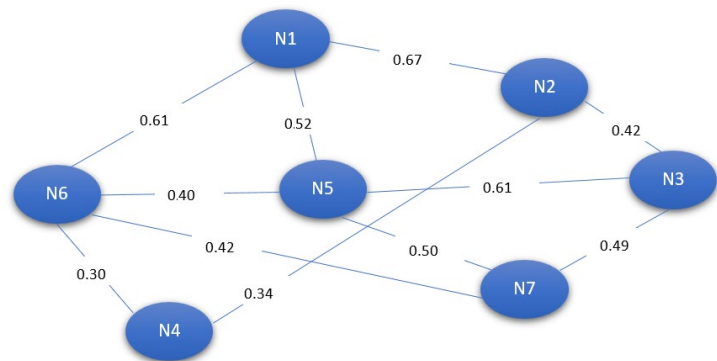
تحلیل عوامل تأخیر در پروژه خط انتقال دیلم: رویکرد نقشه شناخت فازی مبتنی بر تعارض

نیلوفر هدایتی فرد^۱، حامد سلمانزاده^{۲*}، [id](#)

^۱ دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

^۲ استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

چکیده گرافیکی



برجسته‌ها

- معرفی یک روش نوین برای ادغام هم‌زمان تعارضات وظیفه‌ای و رابطه‌ای در تجمیع نظرات خبرگان در نقشه‌های شناختی فازی
- بهبود دقت و تفکیک‌پذیری مقادیر نهایی گره‌ها در تحلیل علی عوامل تأخیر با حل ساختاریافته تعارضات
- شناسایی تغییرات در اولویت‌بندی عوامل تأخیر کلیدی با تأکید بر اهمیت سازمانی و تعدیل نقش عوامل اقتصادی

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۴

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۶

ارائه برخط: ۱۴۰۴/۰۶/۲۶

*نویسنده مسئول:

h.salmanzadeh@kntu.ac.ir

کلیدواژه‌ها:

عوامل تأخیر
پروژه‌های انتقال برق
نقشه شناخت فازی
تعارضات وظیفه‌ای و رابطه‌ای
تجمیع نظرات خبرگان

چکیده

در پروژه‌های زیرساختی، علل تأخیر به‌صورت شبکه‌ای از روابط علی و معلولی به یکدیگر وابسته‌اند و شناسایی دقیق مهم‌ترین عوامل مستلزم رویکردهای تحلیلی جامع است. نقشه شناخت فازی به‌عنوان ابزاری توانمند برای مدل‌سازی این شبکه‌های پیچیده شناخته می‌شود. با این حال، در اغلب مطالعات، نظرات خبرگان صرفاً از طریق میانگین‌گیری ساده یا وزنی ادغام می‌شود و تعاملات شناختی و رابطه‌ای میان آنان لحاظ نمی‌شود. چنین رویه‌ای می‌تواند موجب تضعیف اعتبار نتایج و حذف دیدگاه‌های اقلیت گردد. پژوهش حاضر رویکردی را معرفی می‌کند که امکان در نظر گرفتن هم‌زمان تعارض وظیفه‌ای (تفاوت برداشت‌های کارشناسی) و تعارض رابطه‌ای (اختلاف سطح اعتماد متقابل) را در فرآیند تجمیع نظرات فراهم می‌سازد. این روش در تحلیل عوامل تأخیر پروژه خط انتقال ۲۳۰ کیلوولت منطقه ویژه اقتصادی دیلم به کار گرفته شده است. یافته‌ها نشان دادند که در حالت میانگین‌گیری ساده، مقادیر نهایی گره‌ها در محدوده محدود ۰/۷۷ تا ۰/۸۲ قرار گرفت و تمایز میان اولویت عوامل ناچیز بود. در مقابل، استفاده از الگوریتم رفع تعارض موجب افزایش دامنه مقادیر (۰/۶۴ تا ۰/۹۵) و باز توزیع اهمیت عوامل شد؛ به‌گونه‌ای که وزن گره «عدم هماهنگی میان نهادهای محلی» از ۰/۷۷ به ۰/۹۵ افزایش یافت و اثر «افزایش ناگهانی قیمت فلزات» از ۰/۸۲ به ۰/۶۴ کاهش پیدا کرد. میانگین قدر مطلق اختلاف مقادیر حدود ۰/۱۰ برآورد شد که بیانگر تأثیر معنادار تعارضات بر خروجی مدل است. این نتایج تأکید می‌کند که در پروژه‌های دارای وابستگی‌های علی پیچیده، لحاظ ساختاریافته تعارضات می‌تواند اعتبار و تبیین‌پذیری نتایج نقشه شناخت فازی را به‌طور ملموسی ارتقا دهد و ابزار کارآمدتری برای تصمیم‌گیری مدیریت پروژه فراهم کند.

۱- مقدمه

تعاملات اثربخش‌اند، در یک چارچوب ادغام می‌شوند (Chu et al., 2022). این امر منجر به ساخت FCM‌هایی می‌شود که گرچه از نظر عددی به اجماع رسیده‌اند، اما از نظر شناختی بازتاب‌دهنده واقعیت دینامیک گروه نیستند (Pei et al., 2024). در پژوهش‌های نوین، تلاش‌هایی برای ادغام مکانیسم‌های تشخیص و مدیریت تعارض در مدل‌های تصمیم‌گیری فازی صورت گرفته است (Engin et al., 2024). به‌طور خاص، مدل‌هایی مانند شاخص کل تعارض^۴ که توسط پی و همکاران (Pei et al., 2024) ارائه شده‌اند، نشان می‌دهند که می‌توان با بهره‌گیری از شاخص‌های کمی و ترکیب داده‌های شبکه اجتماعی و پویایی دیدگاه، سطح تعارضات را اندازه‌گیری و در فرآیند مدل‌سازی لحاظ کرد. با این حال، این رویکردها هنوز به‌صورت صریح در چارچوب FCM پیاده‌سازی نشده‌اند و شکاف نظری و کاربردی در این زمینه باقی است.

بنابراین، توجه به مقوله تعارض در فرآیند تصمیم‌گیری گروهی نه تنها در سطح تعاملات رفتاری، بلکه در سطح طراحی و توسعه مدل‌های شناختی همچون نقشه‌های شناخت فازی (FCM) از اهمیت بسزایی برخوردار است (Salmeron & Arévalo, 2025). مدل‌هایی که بدون تفکیک و شناسایی دقیق میان تعارضات سازنده و مخرب ایجاد می‌شوند، هرچند ممکن است از منظر ریاضی ساختاری منسجم داشته باشند، اما در عمل و هنگام تفسیر شناختی نتایج، کارایی و اعتبار محدودی خواهند داشت. به‌منظور رفع این کاستی، این پژوهش در گام نخست با تمرکز بر حل تعارضات رابطه‌ای، از ماتریس اعتماد متقابل میان خبرگان بهره می‌گیرد تا شبکه اعتماد آن‌ها را ترسیم نموده و از طریق حل نقشه شناخت فازی (که گره‌های آن معرف خبرگان هستند) وزن هر خبره را استخراج کند. از آنجاکه در اغلب تصمیم‌گیری‌های گروهی، وزن‌دهی به خبرگان معمولاً با رویکردهای برون‌زا و روش‌های سوم شخص انجام می‌شود، محاسبه وزن خبرگان با استفاده از ماتریس اعتماد و نقشه شناخت فازی که به‌طور مستقیم دیدگاه تمامی خبرگان را لحاظ می‌کند، از نوآوری‌های این مطالعه محسوب می‌شود.

در گام دوم، دیدگاه‌های خبرگان طی تکرارهای متوالی به‌طور تطبیقی با یکدیگر مقایسه شده و تعارضات وظیفه‌ای

در محیط‌های تصمیم‌گیری گروهی، وجود دیدگاه‌های متنوع و گاه متعارض، امری اجتناب‌ناپذیر است. این تعارضات می‌توانند از اختلاف در اهداف، ارزش‌ها، اطلاعات و حتی روابط شخصی ناشی شوند (Akram & Zahid, 2023). ادبیات تصمیم‌گیری گروهی طی دهه‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای به بررسی انواع تعارضات پرداخته است و به‌ویژه تمایز میان تعارض وظیفه‌ای^۱ و تعارض رابطه‌ای^۲ به‌عنوان یک محور مهم مورد توجه قرار گرفته است (De Dreu & Weingart, 2003). یافته‌ها نشان می‌دهد که درحالی‌که تعارضات وظیفه‌ای در برخی شرایط می‌توانند سازنده و محرک نوآوری باشند، تعارضات رابطه‌ای اغلب تأثیر منفی بر رضایت و عملکرد گروهی دارند (Gershon & Fridman, 2022; Gaba & Joseph, 2023).

با توسعه ابزارهای تحلیل شناختی همچون نقشه‌های شناخت فازی^۳ (FCM)، امکان مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده و بازنمایی روابط علی میان مفاهیم فراهم شده است (Sarawathi et al., 2024). نقشه‌های شناخت فازی با ساختار گرافی ساده ولی قدرتمند خود، بستری را فراهم می‌کنند که تصمیم‌گیرندگان بتوانند باورها، تعاملات و تأثیرات متقابل عوامل را ترسیم کنند (Kosko, 1986).

با این حال، یک چالش اساسی در به‌کارگیری FCM در محیط‌های گروهی، نادیده گرفتن ماهیت تعارضات میان اعضا است. اغلب مطالعات، فرض را بر این می‌گذارند که دیدگاه‌های خبرگان همگرا یا قابل ترکیب ساده هستند، درحالی‌که شواهد نشان می‌دهد بسیاری از شکست‌های تصمیم‌گیری ریشه در نادیده‌گیری ماهیت تعارضات دارد (Gershon & Fridman, 2022). مروری بر ادبیات نشان می‌دهد که بیشتر مدل‌های مبتنی بر FCM برای ادغام دیدگاه‌ها، از روش‌هایی همچون میانگین‌گیری، وزن‌دهی یا عملگرهای OWA استفاده کرده‌اند (Papageorgiou et al., 2019). این روش‌ها گرچه از نظر ریاضی کارآمدند، اما فاقد مکانیسمی برای تمایز میان تعارضات مفهومی سازنده و مخرب هستند. به‌بیان دیگر، تعارضات وظیفه‌ای که می‌توانند به شناخت‌های جدید منجر شوند، اغلب به همراه تعارضات رابطه‌ای که مانع

³ Fuzzy Cognitive Map

⁴ Total Conflict Index

¹ Task Conflict

² Relationship conflict

با رشد شبکه‌های اجتماعی و داده‌کاوی رفتاری، تمرکز بر تحلیل روابط بین اعضای گروه و تأثیر ساختار اجتماعی بر تصمیم‌گیری افزایش یافت. لیانگ و همکاران (Liang et al., 2017) از یک رویکرد مبتنی بر روابط اجتماعی برای تکمیل ترجیحات ناقص^۳ بهره گرفتند و گوپتا (Gupta, 2017) نیز الگوریتمی تطبیقی برای ساخت اجماع طراحی کرد که به تعاملات بین اعضا توجه داشت.

دانگ و همکاران (۲۰۱۷) و دانگ و همکاران (۲۰۱۸) مطالعاتی در زمینه پویایی دیدگاه‌ها، نقش رهبری و ساختار شبکه‌های اجتماعی در رسیدن به اجماع انجام دادند. آن‌ها نشان دادند که می‌توان از الگوهای نفوذ هدفمند در شبکه‌ها برای همگرایی نظرات بهره برد (Dong et al., 2017؛ Dong et al., 2018). لیو و همکاران (Liu et al., 2018) از تحلیل اعتماد در شبکه اجتماعی برای شناسایی تعارضات و حذف آن‌ها استفاده کردند. رودریگز و همکاران (۲۰۱۸) نیز به مدیریت تردیدهای اعضای گروه پرداختند (Rodríguez et al., 2018). کامیس و همکاران (Kamis et al., 2019) سیستم بازخورد مبتنی بر تأثیر^۴ را معرفی کردند که با استفاده از خوشه‌بندی بر مبنای شباهت ترجیحات، فرآیند اجماع را بهبود می‌بخشد. همچنین، دینگ و همکاران (Ding et al., 2019) به بررسی روابط تعارض با استفاده از تحلیل شبکه‌های اجتماعی پرداختند و فرآیندی را برای اندازه‌گیری و کاهش تعارضات در گروه‌های بزرگ پیشنهاد دادند.

تحقیقات جدیدتر در این حوزه، همچون پژوهش‌های تنگ و همکاران، بر روی شناسایی و رفع تعارضات میان زیرگروه‌های تصمیم‌گیرنده با استفاده از خوشه‌بندی تطبیقی متمرکز شده‌اند. آل سالم و آواستی (Al Salem & Awasthi, 2021) نیز معیار جدیدی برای اجماع بر اساس ضریب همبستگی اسپیرمن معرفی کردند. در سال‌های اخیر، مطالعاتی همچون لی و همکاران (۲۰۲۱)، مندال و همکاران (۲۰۲۲) و منگ و همکاران (۲۰۲۳) به توسعه مدل‌هایی برای تصمیم‌گیری در مقیاس بزرگ با مدیریت رفتارهای غیرهمکاری، شبیه‌سازی دیدگاه‌ها و طراحی مکانیسم‌های بازی‌های تعاونی پرداخته‌اند (Mandal et al., 2022؛ Li et al., 2021).

با در نظر گرفتن یک حد آستانه مشخص شناسایی و به‌تدریج تعدیل می‌شود. برای ترسیم و تحلیل نقشه‌های شناخت فازی در هر دو مرحله، از محیط برنامه‌نویسی پایتون به‌عنوان بستر پیاده‌سازی استفاده شده است.

در نهایت، به‌منظور ارزیابی کارایی رویکرد پیشنهادی، یک مطالعه موردی واقعی در صنعت برق انجام گرفته است که به تحلیل شبکه علل تأخیر در پروژه انتقال خط ۲۳۰ کیلوولت منطقه ویژه اقتصادی دیلم می‌پردازد. در این مطالعه، نتایج حاصل از مدل‌سازی سنتی FCM مبتنی بر میانگین‌گیری ساده با دستاوردهای رویکرد پیشنهادی این مقاله در زمینه تعدیل تعارض مقایسه شده است.

۲- مرور ادبیات

۲-۱- مرور مقالات

در دهه‌های گذشته، حوزه تصمیم‌گیری گروهی فازی و روش‌های رفع تعارض، تحولات چشمگیری را تجربه کرده است. در ابتدا، تمرکز پژوهش‌ها بر ایجاد چارچوب‌های نظری برای سنجش سازگاری در ترجیحات فازی قرار داشت (Kacprzyk & Fedrizzi, 1988). برای نمونه، کاپرشیک و فدربیزی (۱۹۸۸) با ارائه مفهوم «اندازه‌گیری نرم اجماع»^۱ امکان تحلیل میزان توافق در شرایطی را فراهم کردند که ترجیحات اعضای گروه ناقص یا نامشخص بود. این نقطه آغاز توسعه روش‌هایی شد که به‌صورت انعطاف‌پذیر به اختلاف دیدگاه‌ها در محیط‌های تصمیم‌گیری می‌پرداختند. در ادامه، هرا-ویدما و همکاران (۲۰۰۵) مدل سیستم پشتیبان اجماع را بر اساس روابط ترجیحی زبانی چنددانه‌ای^۲ ارائه دادند که امکان جمع‌نظرات کارشناسان با درجات مختلف دقت را فراهم می‌کرد و بدین ترتیب مسیر رسیدن به اجماع تسهیل می‌شد (Herrera-Viedma et al., 2005).

در سال ۲۰۰۳، درو و وینگارت با انجام یک فراتحلیل، تفکیکی مفهومی میان تعارض وظیفه‌ای و تعارض رابطه‌ای قائل شدند و نشان دادند که تعارض وظیفه‌ای می‌تواند در برخی شرایط کارکرد مثبتی داشته باشد، حال آن‌که تعارض رابطه‌ای اغلب به تضعیف عملکرد گروه منجر می‌شود (De Dreu & Weingart, 2003). از دهه ۲۰۱۰ به بعد

³ Incomplete preference relations

⁴ Influence-driven feedback system

¹ Soft measure of consensus

² Multi-granular linguistic preference

مطالعه دیگری از شورکمپ و همکاران (Schuerkamp et al., 2023) با بهره‌گیری از نظریه انتخاب اجتماعی، سه رویکرد «اتحاد»، «اکثریت» و «اشتراک» را در تجمیع FCMها ارزیابی شد. این روش‌ها بر اساس نه معیار، از جمله اجماع، ناشناس بودن و ویژگی‌های گرافی مانند تراگذری و وجود چرخه، مورد بررسی قرار گرفتند.

در سوی دیگر، پرز-تروئل و همکاران (۲۰۱۵) الگوریتمی پنج‌مرحله‌ای با تمرکز صرف بر تعارضات وظیفه‌ای ارائه کردند که تفاوت وزن میان خبرگان را نادیده می‌گرفت (Pérez-Teruel et al., 2015). همچنین، در مدل پیشنهادی اسپینوزا (Espinosa, 2023)، تنها مفاهیم پرتکرار در چندین نقشه حفظ شده و تجمیع بر اساس میانگین وزنی ماتریس‌ها و با در نظر گرفتن اعتبار نسبی هر نقشه صورت گرفت. در همین راستا، مازوتو و همکاران (Mazzuto et al., 2018) نیز با تمرکز بر تعارضات رابطه‌ای، وزن‌دهی خبرگان را بر اساس سطح تخصص و دسته‌بندی موضوعی مفاهیم پیشنهاد دادند.

ساریمنتو و همکاران (Sarmiento et al., 2024) در مطالعه خود وزن‌دهی به خبرگان را بر اساس فراوانی هم‌سویی دیدگاه‌ها انجام دادند؛ هرچند این روش به تفاوت‌های فردی و تعاملات میان خبرگان بی‌توجه است. جیا و همکاران (Jiya et al., 2022) برای رفع وابستگی به قضاوت‌های ذهنی، روشی مستقل از خبرگان معرفی کردند که وزن‌ها را بر اساس مقادیر فعال‌سازی گره‌ها استخراج می‌کند، اما در پروژه‌های واقعی به دلیل کمبود داده با محدودیت مواجه است.

چن و چو (Chen & Chiu, 2021) وزن بیشتری به خبرگانی اختصاص دادند که نظراتشان به میانگین نزدیک‌تر است و نظرات دور از میانگین را حذف کردند؛ رویکردی که منجر به نادیده گرفتن دیدگاه‌های اقلیت می‌شود. لیو و همکاران در سال ۲۰۲۵ و ادباوازه و همکاران در سال ۲۰۲۴ وزن خبرگان را برابر و در نتیجه بی‌تأثیر در نظر گرفتند، با این تفاوت که دومی از نظریه Z-number برای لحاظ عدم قطعیت و میزان اعتماد خبرگان استفاده کرد (Liu et al., 2025؛ Adabavazeh et al., 2024). شا و همکاران (Sha et al., 2024) وزن‌دهی را بر مبنای شباهت دیدگاه‌ها محاسبه و از عملگرهای تجمیع فازی برای ادغام نهایی استفاده نمودند.

در نهایت مقاله پی و همکاران (Pei et al., 2024) نیز یک الگوی نوین برای ترکیب تعارض وظیفه‌ای و رابطه‌ای در شاخصی جامع به نام شاخص تعارض کل ارائه داده و از طریق ترکیب شبکه‌های اعتماد و پویایی دیدگاه، تعارضات را به صورت خودکار کاهش می‌دهد.

تعارض در نقشه‌های شناخت فازی (FCM)، ناشی از تفاوت در دیدگاه‌ها، تجربیات و سطح دانش خبرگان نسبت به روابط علی میان مفاهیم است. این تفاوت‌ها منجر به ناسازگاری در وزن‌دهی یال‌ها شده و در صورت عدم مدیریت، می‌تواند دقت مدل را کاهش داده و نتایجی نامطمئن یا ناپایدار به همراه داشته باشد (Gao et al., 2025). در مراحل اولیه توسعه FCM، روش‌هایی نظیر میانگین‌گیری ساده برای ادغام دیدگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفتند که قابلیت محدودی در شناسایی و حل تعارضات جدی داشتند. در ادامه، پژوهش‌هایی نظیر پاپاجورجیا و همکاران (۲۰۱۹) با بهره‌گیری از اپراتورهای OWA، انعطاف‌پذیری بیشتری در ترکیب نظرات خبرگان فراهم کردند (Papageorgiou et al., 2019)؛ با این حال، یکی از محدودیت‌های مهم این روش، امکان انتشار خطای یک خبره بود (Schuerkamp et al., 2023).

در واکنش به این کاستی‌ها، مطالعات نوینی رویکردهای ترکیبی و الگوریتم‌های اصلاح ساختار ارائه کرده‌اند. برای مثال، شورکمپ و همکاران (۲۰۲۵) با تکیه بر مدل‌های زبانی بزرگ، الگوریتمی جهت اصلاح ساختار FCM و حل تعارضات وظیفه‌ای معرفی نمودند (Schuerkamp et al., 2025). ناکس و همکاران (Knox et al., 2023) نیز در تحلیل سیستم غذایی شهر فلینت، دو رویکرد مبتنی بر «تنوع هویتی» و «تنوع شناختی» را به کار گرفتند. در رویکرد نخست، دسته‌بندی افراد بر اساس ویژگی‌هایی نظیر محل زندگی و تخصص صورت گرفت و از قاعده حداکثر برای تجمیع استفاده شد؛ در حالی که رویکرد دوم، با بهره‌گیری از ابزارهایی مانند PCA، خوشه‌بندی شناختی نقشه‌ها را هدف قرار داد. نتایج این پژوهش نشان دادند که تنوع شناختی گرچه ساختاری پیچیده‌تر دارد، اما در حفظ دقت مدل مؤثرتر عمل می‌کند. با این حال، در این تحقیق دو نوع تعارض مذکور به صورت مستقل بررسی شدند؛ در حالی که در عمل، این تعارضات اغلب به صورت هم‌زمان و درهم‌تنیده در FCM بروز می‌یابند.

ضروری به نظر می‌رسد. با این وجود، همان‌طور که از پیشینه پژوهش‌ها برمی‌آید، اغلب مطالعات پیشین در حوزه FCM برای تلفیق دیدگاه‌ها از روش‌های ساده‌ای نظیر میانگین‌گیری ساده یا میانگین‌گیری وزنی استفاده کرده‌اند. این روش‌ها اگرچه از سادگی محاسباتی برخوردارند، اما در عمل منجر به حذف دیدگاه‌های اقلیت یا متمایز شده و نمی‌توانند پیچیدگی‌های واقعی روابط میان خبرگان را به درستی بازتاب دهند. از این رو، پژوهش حاضر با هدف بهره‌مندی از مزایای روش ارائه‌شده توسط پی و همکاران (Pei et al., 2024)، در صدد تلفیق این رویکرد با الگوریتم نقشه شناخت فازی است تا به مدلی کارآمدتر در تحلیل و ترکیب دیدگاه‌های خبرگان دست یابد.

از سوی دیگر، در محیط‌های عملیاتی و به‌ویژه در پروژه‌های پیچیده صنعتی، تنوع سوابق و تخصص‌های خبرگان معمولاً منجر به پدیده تعارض رابطه‌ای می‌شود که به صورت کاهش سطح اعتماد متقابل نسبت به نظرات تخصصی اعضای تیم ظاهر می‌گردد. در حالی که بیشتر مطالعات گذشته به صورت منفک و با تمرکز بر رویکردهای برون‌زا (نظیر AHP، داده‌های عملکردی، یا الگوریتم‌های شبکه اعتماد) به وزن‌دهی و حل تعارضات رابطه‌ای پرداخته‌اند، پژوهش حاضر با اتخاذ رویکردی نوآورانه، به صورت درون‌زا و مبتنی بر ساختار FCM این مسئله را حل کرده است. بر اساس مطالعات انجام‌شده، کاربرد نقشه شناخت فازی خبرگان، به‌منظور برآورد وزن آن‌ها برای پیاده‌سازی در الگوریتم نقشه شناخت فازی، پیشینه‌چندانی در مقالات علمی ندارد. این در حالی است که با توجه به ماهیت مسئله موردبررسی و همچنین شناخت مستقیم و یک‌به‌یک خبرگان از یکدیگر در پروژه ۲۳۰ کیلوولت منطقه ویژه اقتصادی دیلم، استفاده از این روش واقعی‌تر به نظر می‌رسد. می‌توان چنین استدلال کرد که در این مطالعه، برای رفع تعارضات رابطه‌ای، از یک نقشه شناخت فازی مجزا استفاده‌شده است که در آن گره‌ها نمایانگر خبرگان پروژه و یال‌ها بیانگر میزان اعتماد متقابل آن‌ها به یکدیگر هستند. با اجرای الگوریتم تا رسیدن به پایداری شبکه، میزان نهایی اعتماد و وزن خبرگان به صورت پویا محاسبه می‌شود. این رویکرد، هم‌راستا با ماهیت سیستمی پروژه و تعاملات واقعی میان خبرگان بوده و از حذف دیدگاه‌های متفاوت جلوگیری می‌کند.

در نهایت، توفیقی و همکاران (Toufighi et al., 2025) بررسی نقش بلاک‌چین در زنجیره تأمین ساخت‌وساز نیز وزن خبرگان را یکسان در نظر گرفته و با تبدیل مقادیر زبانی به اعداد فازی شهودی، نظرات آنان را از طریق میانگین‌گیری تجمیع کردند.

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در حوزه نقشه‌های شناخت فازی، به‌ندرت به ملاحظه هم‌زمان تعارضات رابطه‌ای و وظیفه‌ای پرداخته شده است. با توجه به اینکه این نقشه‌ها بر پایه نظرات خبرگان بنا می‌شوند، بروز چنین تعارضاتی امری اجتناب‌ناپذیر است. از این رو، تلفیق رویکردهای حل تعارض در تصمیم‌گیری گروهی فازی با چارچوب‌های انعطاف‌پذیر نقشه شناخت فازی می‌تواند افق‌های جدیدی را در دستیابی به اجماعی معنادار در شرایط پیچیده و چندوجهی بگشاید. رویکردهایی که توانایی لحاظ هم‌زمان تفاوت‌های شناختی، تجربی و اجتماعی خبرگان در کنار روابط علی را داشته باشند، از منظر نظری و کاربردی ارزش بالایی خواهند داشت (Kocabay Giftci, 2025). چنین ترکیبی زمینه‌ای قدرتمند برای مدیریت تعارض و ارتقای دقت مدل‌های شناختی فراهم می‌آورد.

در ادامه، شکاف‌های پژوهشی موجود مرور و نوآوری‌های اصلی تحقیق حاضر تبیین خواهد شد.

۲-۲- شکاف پژوهشی

مرور ادبیات نشان می‌دهد که مسئله تعارض در تصمیم‌گیری‌های گروهی از سال‌ها پیش موردتوجه پژوهشگران قرار داشته است. با این حال، پی و همکاران (Pei et al., 2024) در یکی از جدیدترین مطالعات، رویکردی نوین برای حل تعارضات در تصمیم‌گیری‌های گروهی معرفی کرده‌اند که مبتنی بر «درجه هماهنگی» و «آستانه تعارض» است. مزیت این رویکرد در آن است که به صورت هم‌زمان به تعدیل تعارضات رابطه‌ای و وظیفه‌ای می‌پردازد و با حفظ تنوع دیدگاه‌ها، از حذف داده‌های ارزشمند جلوگیری کرده و مسیر رسیدن به اجماع معنادار را هموار می‌سازد.

از آنجا که نقشه شناخت فازی (FCM) نیز یکی از ابزارهای پرکاربرد در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده مبتنی بر دانش خبرگان است، اتخاذ رویکردی مناسب برای شناسایی و مدیریت تعارضات میان خبرگان در فرایند تجمیع داده‌ها،

$$A_i^{(k+1)} = f \left(A_i^{(k)} + \sum_{j=1, j \neq i}^N W_{ij} \cdot A_j^{(k)} \right) \quad (1)$$

در این رابطه، مقدار جدید هر مفهوم بر اساس مقادیر مفاهیم مرتبط در گام قبلی و وزن ارتباطات آنها محاسبه می‌شود.

تعیین وزن‌های اولیه می‌تواند به صورت دستی و با استفاده از نظر خبرگان انجام شود. در کاربردهای داده‌محور، از الگوریتم‌های یادگیری خودکار برای استخراج این وزن‌ها بهره گرفته می‌شود. از جمله این روش‌ها می‌توان به یادگیری هببیا، الگوریتم‌های تکاملی مانند الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات PSO، روش‌های ترکیبی و یادگیری نظارتی اشاره کرد (Karatzinis & Boutalis, 2025). این ابزارها باعث شده‌اند FCM به مدلی قدرتمند، انعطاف‌پذیر و شفاف برای تحلیل و شبیه‌سازی مسائل در حوزه‌های مختلف تبدیل شود.

۳-۲- مفهوم تعارضات در تصمیم‌گیری گروهی

در فرایند تصمیم‌گیری گروهی، به‌ویژه در محیط‌های پیچیده و چندمعیاره، اختلاف دیدگاه میان خبرگان امری اجتناب‌ناپذیر است. این اختلاف‌ها که به صورت تعارض بروز می‌یابند، می‌توانند از نوع شناختی (تفاوت در ارزیابی گزینه‌ها) یا رابطه‌ای (عدم اعتماد متقابل میان خبرگان) باشند. در چنین شرایطی، سطح تعارض میان افراد بر روند رسیدن به اجماع تأثیر منفی گذاشته و ممکن است موجب انحراف در نتایج نهایی شود.

برای سنجش و کنترل تعارض، از مدل‌سازی روابط مبتنی بر «دینامیک دیدگاه» بهره گرفته می‌شود. در این چارچوب، درجه تعارض وظیفه‌ای بین دو خبره h (e_h) و خبره k (e_k) در زمینه ارتباط بین دو نود i و j به صورت رابطه (۲) تعریف می‌گردد (De Dreu & Weingart, 2003).

$$TCD_{ij}^{hk} = |p_{ij}^h - p_{ij}^k| \quad (2)$$

که p_{ij} مقدار ارتباط بین دو نود i و j و TCD_{ij}^{hk} درجه تعارض کل بین دو خبره h و k در رابطه با میزان ارتباط بین دو نود i و j می‌باشد.

هرچه مقدار فوق بیشتر باشد، میزان تعارض بین دو خبره نیز بیشتر خواهد بود. مفهوم متقابل این تعارض، درجه هماهنگی نامیده می‌شود که با متغیر HD_{ij}^{hk} معرفی شده به صورت زیر تعریف شده است (Ding et al., 2019):

از دیگر جنبه‌های نوآورانه این پژوهش، اجرای عملیاتی روش پیشنهادی در یک پروژه واقعی خطوط انتقال برق است. مطالعه موردی این تحقیق، پروژه خط انتقال ۲۳۰ کیلوولت در منطقه ویژه اقتصادی دیلم را در برمی‌گیرد که در مقایسه با اکثر پژوهش‌های داخلی - که عموماً بر پروژه‌های عمرانی و راه‌سازی متمرکز بوده‌اند - در حوزه تخصصی صنعت برق و با محوریت تحلیل نظام‌مند تأخیرات در قالب شبکه تعاملی اثرگذاری و اثرپذیری بین عوامل اجرا شده است. در این تحقیق، با به‌کارگیری نقشه شناخت فازی و مدنظر قرار دادن روابط علی میان عوامل تأخیر، مسئله به شکلی دقیق مدل‌سازی شده و سهم هر عامل در ایجاد تأخیر از طریق خروجی‌های الگوریتم کمی‌سازی گردیده است. این در حالی است که در معدود مطالعاتی که به بررسی علل تأخیر در پروژه‌های انتقال برق ایران پرداخته‌اند، معمولاً تعاملات پیچیده بین عوامل و شبکه روابط علی میان آنها نادیده گرفته شده است.

۳- مبانی پژوهش

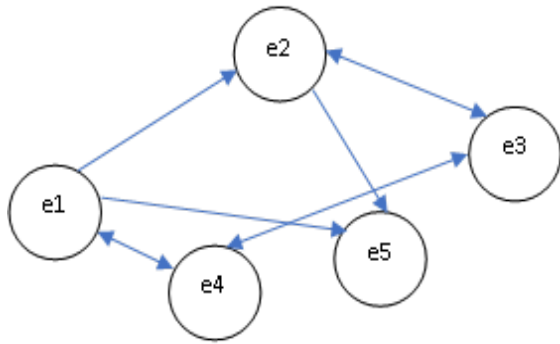
۳-۱- نقشه شناخت فازی

نقشه شناخت فازی مدلی گراف‌محور و مبتنی بر منطق فازی است که برای مدل‌سازی و تحلیل سیستم‌های پیچیده و دارای روابط علی طراحی شده است (Kosko, 1986). ساختار این مدل شامل مجموعه‌ای از گره‌ها (نمایانگر مفاهیم یا عوامل) و یال‌های وزن‌دار و جهت‌دار است که روابط علی میان مفاهیم را بازنمایی می‌کنند (Salmeron & Arévalo, 2025).

آرگومان‌های اصلی در ساخت یک FCM عبارت‌اند از:

- مجموعه مفاهیم (گره‌ها) $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$
- ماتریس وزن‌ها، شامل ضرایب تأثیر از گره i به j $W = [w_{ij}]$
- بردار فعال‌سازی مفاهیم $A(t) = [A_1(t), \dots, A_n(t)]$ در گام زمانی t
- تابع آستانه، معمولاً یک تابع سیگموئید برای نرمال‌سازی خروجی

پویایی سیستم بر پایه به‌روزرسانی تکراری مقادیر فعال‌سازی مفاهیم انجام می‌شود. این فرآیند با استفاده از رابطه بازگشتی (۱) تعریف می‌شود:



شکل ۱. نمونه‌ای از شبکه اعتماد میان خبرگان.

Figure 1. An example of a trust network among experts.

بر مبنای این ساختار شبکه‌ای، پنج خبره با اندیس‌های e1 تا e5 تعریف شده‌اند که گره‌های شبکه را تشکیل می‌دهند. روابط بین این گره‌ها می‌تواند جهت‌دار (یک‌طرفه) یا دوطرفه باشد؛ ارتباط دوطرفه معرف وجود شناخت و تعامل هم‌زمان و متقابل میان دو خبره است، درحالی‌که ارتباط یک‌طرفه بیانگر شناخت نامتقارن یا فقدان ارزیابی متقابل از سوی یکی از طرفین است. برای نمونه، رابطه بین گره‌های e1 و e4 دوطرفه است، اما ارتباط بین e2 و e5 تنها از یک جهت برقرار می‌باشد. علاوه بر این، ساختار شبکه امکان برقراری ارتباطات غیرمستقیم را نیز فراهم می‌آورد، به‌گونه‌ای که خبره e5 از طریق واسطه خبره e3 با خبره e2 در تعامل قرار دارد که این امر نشان‌دهنده وجود مسیرهای ارتباطی چندمرحله‌ای در شبکه اعتماد میان خبرگان است.

۴-۲- رویکرد حل تعارضات وظیفه‌ای در چارچوب نقشه‌های شناخت فازی

دومین منبع تعارض، مطابق با مطالعه پی و همکاران (Pei et al., 2024)، مربوط به تعارض وظیفه‌ای است که ناشی از اختلاف‌نظر بین دو خبره درباره یک موضوع خاص می‌باشد. در این نوع تعارض، ممکن است دو خبره نسبت به یکدیگر اعتماد بالای ۸۰٪ داشته باشند، اما در خصوص موضوع موردنظر دیدگاه‌های آن‌ها با یکدیگر ناسازگار باشد. بر اساس یافته‌های پی و همکاران (Pei et al., 2024)، این تعارض در قالب یک فرایند تکرارشونده کاهش یافته و نهایتاً به اجماعی مشترک منتهی می‌شود. روابط ارائه‌شده در معادلات (۲) تا (۵) مراحل الگوریتم پیشنهادی برای شناسایی و رفع این نوع تعارض را تشریح می‌کند.

$$HD_{ij}^{hk} = 1 - TCD_{ij}^{hk} \quad (۳)$$

بر اساس معادلات و اطلاعات فوق پارامتر $s_{ij}^{t,hk}$ به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود تا نظرات خبرگان بر اساس تعارضات تعدیل‌شده و از لحاظ تعارض وظیفه‌ای نیز به اجماع برسد (Pei et al., 2024):

$$s_{ij}^{t,hk} = \begin{cases} \pi^h & \text{if } h = k \\ \frac{(1 - \pi^h)HD_{ij}^{hk}}{\sum_{k=1, k \neq h}^m HD_{ij}^{hk}} & \text{if } h \neq k \end{cases} \quad (۴)$$

بنابراین، نظر خبره h در صورتی که از حد آستانه تجاوز کند به صورت پویا با استفاده از رابطه زیر تعدیل می‌گردد تا به یک مقدار اجماع یابد که از حد آستانه تجاوز نکند.

$$p_{ij}^{h,t+1} = \sum_{k=1}^m s_{ij}^{t,hk} \cdot p_{ij}^{k,t} \quad (۵)$$

این مقاله از روابط (۲) الی (۵) به جهت رفع تعارضات وظیفه‌ای پیش از شروع الگوریتم نقشه شناخت فازی جهت کنترل تعارضات بهره می‌برد.

۴-۱- رویکرد پیشنهادی

۴-۱- رویکرد حل تعارضات رابطه‌ای در چارچوب نقشه‌های شناخت فازی

نظرات خبرگان در موضوعات مشابه، معمولاً با توجه به تفاوت در تجربه، دانش و سطح تحصیلات آن‌ها متنوع و گاه متعارض است (Sun, 2023). از این رو، میزان اعتماد و اتکایی که هر خبره نسبت به دیگر خبرگان در ارزیابی عوامل مختلف دارد، متفاوت خواهد بود. در مرورهای ادبیات موجود، معمولاً برای وزن‌دهی به نظرات خبرگان از روش‌های غیرمستقیم مانند میانگین‌گیری استفاده می‌شود که در این روش‌ها، روابط و تعاملات مستقیم میان نظرات خبرگان نادیده گرفته می‌شود؛ بنابراین، در این پژوهش به منظور رفع این کاستی، ابتدا از نقشه شناخت فازی بهره گرفته شده است که جهت‌گیری و تعامل مستقیم میان خبرگان را مدنظر قرار می‌دهد تا وزن هر خبره در شبکه تخصصی، بر اساس ماتریس اعتماد متقابل بین آن‌ها تعیین گردد.

شکل ۱ نمونه‌ای از شبکه خبرگان را نمایش می‌دهد که در آن هر نود نمایانگر یک خبره بوده و ارتباطات بین نودها میزان اعتماد متقابل میان خبرگان را نشان می‌دهد.

مکانیسمی خاص برای در نظرگیری تعارضات است (Murray et al., 1985).

بنابراین، با توجه به اینکه ورودی‌های نقشه شناخت فازی (شامل مقادیر بردارهای اولیه و عناصر ماتریس ارتباطی میان گره‌ها) باید مقادیر تجمیع‌شده و عاری از تعارض باشند، چنانچه اختلاف‌نظر میان دو خبره از حد آستانه تعیین‌شده فراتر رود، به‌منظور رفع تعارضات وظیفه‌ای، ابتدا از الگوریتم حل تعارضات و روابط (۲) تا (۵) استفاده می‌شود تا مقدار اولیه هماهنگ به دست آید. پس‌از آن، این مقادیر با توجه به اوزان مشخص‌شده، طبق رابطه (۸) به‌صورت وزنی ترکیب می‌شوند (Pei et al., 2024).

درنهایت، داده‌های حاصل از این مراحل به معادله (۱) وارد می‌شوند تا فرایند اجرای نقشه شناخت فازی آغاز شود و مقادیر مفاهیم تا رسیدن به حالت پایدار به‌روزرسانی شوند:

$$p_{ij}^t = \sum_{h=1}^m p_{ij}^{h,t} \cdot \pi^h \quad (۸)$$

که در معادله فوق t اندیس دوره و i و j از اندیس نودهاست. پارامتر π^h وزن خبره h است که از شبکه خبرگان در گام قبل و توسط نقشه شناخت فازی به دست می‌آید.

۳-۴- فلوچارت و مراحل اجرای الگوریتم پیشنهادی

با توجه به توضیحات ارائه‌شده، در شکل ۲ فلوچارت مراحل پیشنهادی این پژوهش برای رفع تعارضات رابطه‌ای و وظیفه‌ای نمایش داده‌شده است. همان‌طور که در فلوچارت مشخص است، بخش سمت چپ نمودار به فرایند شناسایی و حل تعارضات رابطه‌ای اختصاص دارد و بخش سمت راست، مراحل رفع تعارضات وظیفه‌ای را تشریح می‌کند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، الگوریتم پیشنهادی پیش از ورود به فرآیند اصلی نقشه شناخت فازی، هر دو نوع تعارض را به‌صورت نظام‌مند تشخیص داده و تعدیل می‌نماید. بدین ترتیب، الگوریتم بدون حذف یا نادیده گرفتن جهت‌گیری‌های متنوع خبرگان آغاز می‌شود و فرایند تجمیع و مدل‌سازی را با در نظر گرفتن این تفاوت‌های شناختی ادامه می‌دهد.

به‌منظور تبیین دقیق فرآیند اجرای الگوریتم، یک مطالعه موردی واقعی مرتبط با شناسایی عوامل تأخیر در پروژه خط انتقال ۲۳۰ کیلوولت منطقه ویژه اقتصادی دیلم (برق منطقه‌ای فارس) طراحی و پیاده‌سازی شده است. در این

شایان‌ذکر است که در پژوهش‌های پیشین، برای گردآوری و ترکیب نظرات خبرگان از اپراتورهای تجمیع فازی نظیر OWA و روش‌های میانگین‌گیری ساده استفاده‌شده است (Papageorgiou & Papageorgiou et al., 2019). این رویکردها صرفاً بر مبنای وزن‌دهی به خبرگان عمل می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که در فرایند استفاده از اپراتور OWA، نخست آن‌که وزن‌های مربوط به خبرگان به‌طور مستقیم استخراج نمی‌شوند و مبتنی بر محاسبات غیرمستقیم یا پیش‌فرض هستند و دوم آن‌که الگوریتم بدون هیچ‌گونه تعدیل یا اصلاحی در خصوص تعارضات احتمالی میان دیدگاه‌ها، فرآیند میانگین‌گیری وزنی را آغاز می‌کند. این امر می‌تواند موجب تضعیف دقت در بازتاب اختلاف‌نظرها و کاهش کیفیت اجماع نهایی گردد.

به گفته پریشس و مکنیس (Perusich & McNeese, 2006) و پاپاجورجیا و سالمرون (Papageorgiou & Salmeron, 2012)، ساده‌ترین روش برای حل تعارض میان دیدگاه‌های خبرگان در نقشه شناخت فازی، استفاده از میانگین‌گیری حسابی است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$w_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k w_{ij}^k \quad (۶)$$

که k اندیس خبره و w_{ij} نشان‌دهنده ارتباط بین دو مفهوم i و j است. این روش علی‌رغم سادگی و شفافیتی که دارد در صورتی که تعارضات زیاد باشد می‌تواند گمراه‌کننده باشد. روش دوم، روش تجمیع فازی است که در مقاله سالمرون (۲۰۱۰) به آن پرداخته‌شده است.

اگر نظرات خبرگان به‌صورت اعداد فازی مثلثی یا ذوزنقه‌ای بیان شود از روش‌های ترکیب فازی مانند میانگین فازی و انتگرال چوکت استفاده می‌شود. در این صورت اگر عدد فازی $\tilde{w}_{ij}^k = (a_{ij}^k, b_{ij}^k, c_{ij}^k)$ باشد، ترکیب به‌صورت رابطه (۷) خواهد بود.

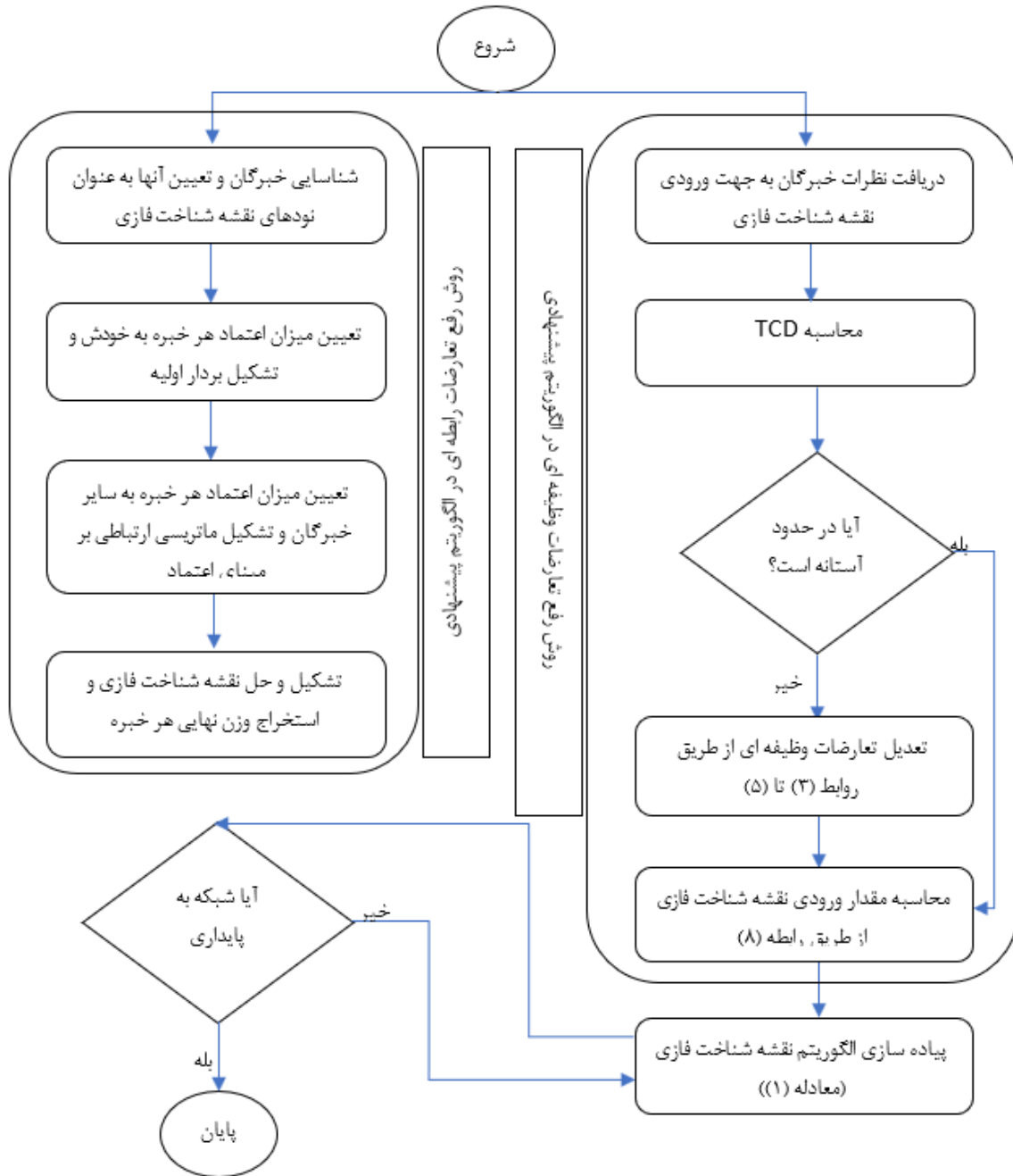
$$w_{ij} = \left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k a_{ij}^k, \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k b_{ij}^k, \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k c_{ij}^k \right) \quad (۷)$$

روش سومی که در مرور ادبیات برای اصلاح تعارضات مطرح است، روش دلفی فازی است که در این روش، نظرات خبرگان در چند دور جمع‌آوری و اصلاح می‌شود تا به اجماع برسد و معمولاً از میانگین هندسی یا میانه برای کاهش اثر نظرات پرت استفاده می‌شود که مکانیسم کلیه این روش‌ها بر پایه جمع‌بندی نظرات و بدون وجود

۵- مطالعه موردی

پروژه خط انتقال ۲۳۰ کیلوولت منطقه ویژه اقتصادی دیلم، از جمله طرح‌های زیربنایی راهبردی در توسعه زیرساخت برق جنوب کشور به شمار می‌رود که توسط شرکت برق منطقه‌ای فارس اجرا شده است.

مطالعه، مسئله مذکور با بهره‌گیری از نرم‌افزار پایتون در دو حالت مورد تحلیل قرار گرفته است: حالت نخست، استفاده از روش تجمیع مبتنی بر میانگین‌گیری ساده و حالت دوم، به‌کارگیری رویکرد پیشنهادی این پژوهش. پس از ترسیم و حل نقشه‌های شناخت فازی متناظر، نتایج حاصل استخراج و به‌صورت مقایسه‌ای مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته‌اند.



شکل ۲. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی.

Figure 2. Flowchart of the proposed algorithm.

شناسایی دقیق‌تر گلوگاه‌های بحرانی، سنجش میزان اثرگذاری هر عامل و تدوین راهکارهای مؤثر در مدیریت بهینه زمان اجرای پروژه کمک شایانی کند.

۵-۱- حل تعارضات رابطه‌ای با استفاده از نقشه شناخت فازی

به‌منظور رفع تعارضات رابطه‌ای میان خبرگان، از شبکه اعتماد میان خبرگان استفاده شده است. این شبکه به‌صورت یک نقشه شناخت فازی ترسیم می‌شود که در آن، هر گره نماینده یکی از خبرگان سازمان است و مقدار اولیه هر گره بیانگر میزان اعتماد آن خبره به خود بوده که بر اساس پژوهش پی و همکاران (Pei et al., 2024)، حداکثر مقدار آن $0/8$ در نظر گرفته می‌شود (در این مطالعه، به تشخیص خبرگان، مقادیری در بازه $0/5$ تا $0/7$ لحاظ شده است). در این پژوهش از دیدگاه‌های پنج خبره با سطوح و مسئولیت‌های سازمانی متفاوت بهره‌گیری شده است. هر یک از این خبرگان در بخش‌های مختلف پروژه خط انتقال دیلم مشارکت داشته و از شناخت عمیق و کافی نسبت به ابعاد مسئله برخوردار بوده‌اند. با استفاده از نرم‌افزار پایتون، نقشه شناخت فازی مرتبط با شبکه اعتماد میان خبرگان ترسیم و وزن نهایی خبرگان مشخص شد که خروجی آن در شکل ۳ و شکل ۴ آمده است. در صورتی که این اوزان به‌صورت نرمال‌سازی شده گزارش شوند، مقادیر وزن هر خبره به شرح جدول ۱ خواهد بود.

جدول تخصیص وزن خبرگان (جدول ۱) نشان‌دهنده ترکیب متوازن و هدفمند اعضای تصمیم‌گیر در فرآیند مدل‌سازی نقشه شناخت فازی است. در این ترکیب، معاون برنامه‌ریزی و تحقیقات با وزن $0/3030$ بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است که این امر با توجه به جایگاه کلیدی این مقام در طراحی راهبردی و ارزیابی پیشرفت پروژه‌های زیرساختی، کاملاً منطقی و مبتنی بر تخصص اوست. مسئول دفتر فنی انتقال در معاونت بهره‌برداری با وزن $0/2317$ در رتبه دوم قرار گرفته و نقش مهمی در بازتاب چالش‌های اجرایی و عملیاتی ایفا می‌کند. معاون طرح و توسعه نیز با وزن $0/1906$ سهم قابل‌توجهی در این فرآیند دارد و به دلیل وظایف تلفیقی میان برنامه‌ریزی توسعه و هماهنگی واحدهای مختلف، نقش میانی مهمی را بر عهده دارد. در مقابل، معاون پشتیبانی و مالی با وزن

این پروژه باهدف تأمین برق پایدار برای صنایع مستقر در منطقه ویژه اقتصادی شمال استان بوشهر و ارتقاء قابلیت اطمینان شبکه برق منطقه‌ای طراحی شده و شامل احداث یک خط انتقال دو مداره به طول تقریبی 70 کیلومتر و یک پست $66/230$ کیلوولت با ظرفیت 160×2 مگا ولت‌آمپر است که ایستگاه‌های گناوه، بینک و دیلم را به یکدیگر متصل می‌کند (<https://www.farsedc.ir>).

باوجود اهمیت راهبردی این طرح، اجرای آن با تأخیرهایی مواجه شده که ناشی از مجموعه‌ای از عوامل فنی، اجرایی، حقوقی، مالی و محیطی بوده‌اند. بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که دلایل تأخیر به‌صورت مستقل و مجزا قابل تحلیل نیستند، بلکه در قالب یک «شبکه تأخیرات» با ساختاری پیچیده و متعامل عمل می‌کنند. برای مثال، ضعف در مدیریت کارفرما می‌تواند به تأخیر در تحویل نقشه‌ها و اطلاعات منجر شود و این مسئله به‌نوبه خود فرآیندهای مشاور و پیمانکار را دچار اختلال کند. همچنین معارضات محلی، تأخیر در تخصیص منابع مالی و شرایط جوی نامساعد نیز ممکن است به‌صورت هم‌زمان یا متقابل اثرات تشدیدکننده‌ای بر زمان‌بندی پروژه داشته باشند؛ بنابراین، شناخت دقیق این تعاملات نیازمند استفاده از مدلی است که بتواند روابط علی و چندلایه میان عوامل را بازنمایی کند. از سوی دیگر، در جلسات کارشناسی و تصمیم‌گیری مرتبط با این پروژه که با مشارکت خبرگان فنی، اجرایی و مدیریتی برگزار شده، دیدگاه‌های متفاوت و بعضاً متعارضی درباره علل تأخیر و نحوه اثرگذاری آن‌ها مطرح شده است. به‌عنوان نمونه، برخی از کارشناسان، تأخیرات کارفرما و تغییرات متعدد مدیریتی را عامل اصلی می‌دانند، درحالی‌که گروهی دیگر تأکید بیشتری بر ناهماهنگی بین مشاور و پیمانکار، یا محدودیت‌های ناشی از تحریم‌ها و مشکلات تأمین تجهیزات دارند. این تفاوت در نظرات که برخاسته از تنوع تجربه و زاویه دید خبرگان است، ضرورت بهره‌گیری از ابزارهایی را که بتوانند دانش فازی و روابط متقابل را در یک چارچوب پویا و ساختاریافته جمع‌بندی کنند، دوچندان می‌سازد. در این راستا، از تلفیق رویکردهای مبتنی بر شناسایی تعارض و رفع آن ضمن استفاده از نقشه شناخت فازی به‌عنوان رویکردی ترکیبی که هم از دانش کیفی خبرگان بهره می‌برد و هم‌توان مدل‌سازی روابط پیچیده علی را دارد، برای تحلیل تأخیرات پروژه خط انتقال دیلم استفاده کند. به‌کارگیری این رویکرد می‌تواند به

جنبه‌های فنی، توسعه‌ای، مالی و حقوقی، به‌طور ویژه دیدگاه‌های تخصصی‌تر و کلیدی‌تر را در اولویت قرار دهد و در فرآیند رفع تعارض، اثر دیدگاه‌های اقلیت را به‌طور معقول کنترل کند.

۰/۱۴۱۲ و رئیس دفتر حقوقی و رسیدگی به شکایات با وزن ۰/۱۳۳۶ در مراتب پایین‌تر اهمیت قرار گرفته‌اند که این موضوع ناشی از ماهیت پشتیبانی و غیرمستقیم تأثیر این حوزه‌ها بر جنبه‌های فنی و اجرایی پروژه است. این توزیع وزنی امکان می‌دهد تا مدل نهایی، ضمن پوشش جامع

جدول ۱. وزن نرمال شده خبرگان بر اساس خروجی نقشه شناخت فازی (FCM)

Table 1. Normalized weight of experts based on the output of the fuzzy recognition map (FCM)

شماره خبره	پست سازمانی	وزن خبره
گره شماره ۱	مسئول دفتر فنی انتقال (در معاونت بهره‌برداری)	۰/۲۳۱۷
گره شماره ۲	معاون طرح و توسعه	۰/۱۹۰۶
گره شماره ۳	معاون برنامه‌ریزی و تحقیقات	۰/۳۰۳۰
گره شماره ۴	معاون پشتیبانی و مالی	۰/۱۴۱۲
گره شماره ۵	رئیس دفتر حقوقی و رسیدگی به شکایات	۰/۱۳۳۶

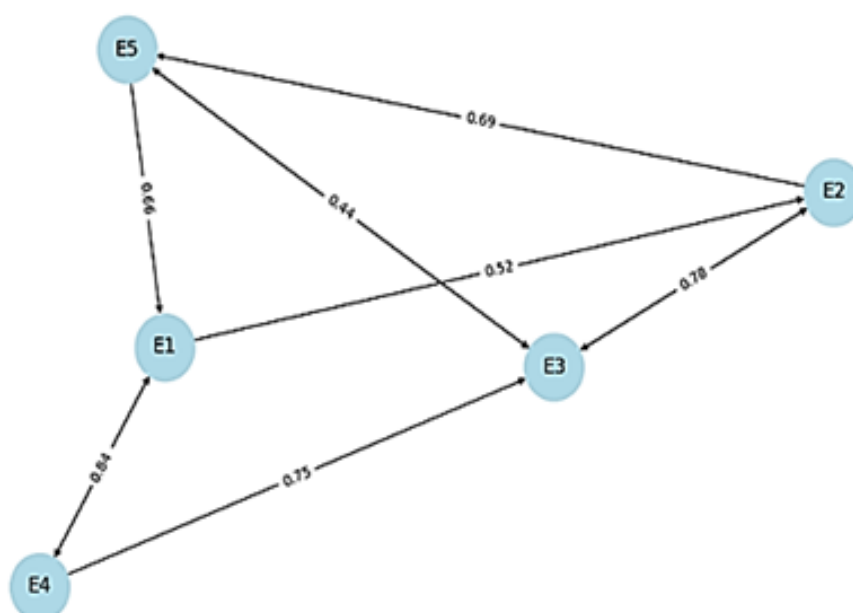
```

IDLE Shell 3.13.0
File Edit Shell Debug Options Window Help
Python 3.13.0 (tags/v3.13.0:60403a5, Oct 7 2024, 09:38:07) [MSC v.1941 64 bit (AMD64)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>>
----- RESTART: C:\Users\karnoo\Desktop\36921.py -----
نقدار نهایی گره‌ها پس از همگرایی:
1 گره شماره : 0.5449
2 گره شماره : 0.4432
3 گره شماره : 0.7125
4 گره شماره : 0.3321
5 گره شماره : 0.3142
>>>

```

شکل ۳. خروجی نرم‌افزار پایتون پس از حل نقشه شناخت فازی مربوط به خبرگان و تعیین وزن هر یک از آن‌ها.

Figure 3. Output of Python software after solving the fuzzy recognition map related to experts and determining the weight of each of them.



شکل ۴. خروجی نرم‌افزار پایتون مربوط به ترسیم نقشه شناخت فازی خبرگان.

Figure 4. Python software output related to drawing fuzzy expert recognition maps.

۵-۲- معرفی نودها و عوامل تأخیر در پروژه خط انتقال ۲۳۰ کیلوولت منطقه ویژه اقتصادی دیلم

در جدول ۲، عوامل تأخیر در پروژه خط انتقال ۲۳۰ کیلوولت منطقه ویژه اقتصادی دیلم که زیرمجموعه شرکت برق منطقه‌ای فارس است، به‌عنوان گره‌های قابل استفاده در نقشه شناخت فازی (FCM) شناسایی و تنظیم شده‌اند (Eghbali et al., 2023; Khodayari et al., 2024).

در پروژه خط انتقال ۲۳۰ کیلوولت منطقه ویژه اقتصادی دیلم، عوامل متعددی به‌صورت هم‌زمان و در تعامل با یکدیگر منجر به شکل‌گیری تأخیرات شده‌اند. از جمله این عوامل، تحریم‌های بین‌المللی است که باعث تأخیر در تأمین تجهیزات وارداتی کلیدی مانند ترانس، مقره و سیم‌های خاص فشارقوی شده و درعین حال با افزایش هزینه تمام‌شده تجهیزات فلزی نیز همراه بوده است (Abdollahi et al., 2025). این وضعیت نه‌تنها موجب کند شدن روند اجرا شد، بلکه برنامه‌ریزی مالی پروژه را نیز با اختلال مواجه کرد. از سوی دیگر، سختی مسیر در برخی نواحی باعث شد که اجرای عملیات ساخت خطوط با پیچیدگی‌های جدی مواجه شود؛ مسیرهای سخت‌گذر اغلب نیازمند تجهیزات خاص، زمان اجرای طولانی‌تر و

جدول ۲. معرفی گره‌ها (عوامل تأخیر) در پروژه انتقال برق دیلم

Table 2. Introduction of nodes (delay factors) in the Deylam power transmission project

شماره نود	عنوان نود مناسب برای FCM	توضیح مربوط به پروژه خط انتقال ۲۳۰ کیلوولت دیلم
N1	تحریم و تأخیر در تأمین تجهیزات وارداتی	به‌دلیل تحریم‌ها، تأمین تجهیزات تخصصی نظیر ترانس و مقره‌های فشار قوی با تأخیر مواجه شد و برخی اقلام از طریق واسطه‌ها تأمین گردید.
N2	صعوبت مسیر در مناطق کوهستانی	مسیر عبوری پروژه از نواحی صعب‌العبور در بخش‌هایی از کوار و مناطق مرزی شمالی با استان بوشهر موجب کندی در حمل تجهیزات و نصب پایه‌ها شد.
N3	شرایط جوی نامساعد حین اجرا	در فصل اجرا، وقوع طوفان شن در جنوب و بارندگی شدید در نواحی مرتفع باعث توقف‌های مکرر کارگاهی و تأخیر در بتن‌ریزی فونداسیون‌ها شد.
N4	تداخل با اراضی کشاورزی و منابع طبیعی (معارض)	عبور خط از زمین‌های زراعی و اراضی منابع طبیعی منجر به اختلافات حقوقی و تأخیر در تملک مسیر و اجرای پایه‌های میانی پروژه گردید.
N5	افزایش ناگهانی قیمت فلزات صنعتی	افزایش قیمت جهانی مس و فولاد در زمان اجرای پروژه هزینه تهیه دکل‌ها و سیم‌ها را بالا برد و باعث تجدیدنظر در سفارشات گردید.
N6	تأخیر در مجوز عبور از زیرساخت‌های ملی	مسیر پروژه از روی بزرگراه و خطوط لوله عبور می‌کرد که مجوزهای لازم با تأخیر از سوی نهادهایی مانند راه‌آهن و وزارت نفت صادر شد.
N7	عدم هماهنگی بین نهادهای محلی و منطقه‌ای	عدم هم‌افزایی فرمانداری‌ها، بخشداری‌ها و برخی شرکت‌های خدمات‌رسان در آزادسازی مسیر موجب وقفه در تحویل جبهه‌های کاری به پیمانکار شد.

وابستگی بیشتر به شرایط اقلیمی هستند. همین موضوع باعث شده شرایط جوی نامساعد (نظیر وزش بادهای شدید یا بارندگی فصلی) تأثیر بیشتری بر توقف یا کند شدن پروژه داشته باشد. تداخل مسیر خط با اراضی کشاورزی یا منابع طبیعی نیز به بروز معارضین محلی انجامید. در این شرایط، تأخیر در هماهنگی با نهادهای ذی‌ربط مانند منابع طبیعی، فرمانداری یا شرکت‌های خدمات‌رسان باعث افزایش زمان موردنیاز برای رفع موانع قانونی و حقوقی شد. چنین شرایطی نیازمند همکاری میان‌بخشی منسجم بود، اما عدم هماهنگی میان نهادهای محلی یکی از موانع پنهان ولی تأثیرگذار در اجرای پروژه به‌موقع به‌شمار آمد. با توجه به اینکه این عوامل نه به‌صورت مستقل، بلکه در قالب یک شبکه علی‌پایه عمل می‌کنند (Niksirat et al., 2023) و همچنین با در نظر گرفتن این نکته که در ارزیابی کارشناسان و خبرگان درباره شدت و جهت روابط میان این عوامل، گاه دیدگاه‌های متناقضی وجود دارد، بهره‌گیری از روش‌هایی همچون نقشه شناخت فازی (FCM) که قابلیت مدل‌سازی هم‌زمان روابط و شدت اثر متقابل عوامل را دارد، برای تحلیل واقع‌بینانه تأخیرات این پروژه ضروری به نظر می‌رسد.

۵-۳- حل تعارضات وظیفه‌ای با استفاده رویکرد

پیشنهادی

در این بخش، به پیاده‌سازی رویکرد رفع تعارض وظیفه‌ای در چارچوب الگوریتم نقشه شناخت فازی پرداخته می‌شود. در ابتدا لازم به ذکر است که آستانه تعارض در این مطالعه، مشابه پژوهش پی و همکاران در سال ۲۰۲۴ (Pei et al., 2024)، برابر با ۰/۱۵ در نظر گرفته شده است. به این معنا که چنانچه اختلاف دیدگاه‌های هر خبره با سایر خبرگان از این مقدار تجاوز کند، لازم است با بهره‌گیری از معادلات (۲) تا (۵) که در محیط برنامه‌نویسی پایتون پیاده‌سازی شده‌اند، فرآیند تعدیل و رفع تعارض بر روی آن‌ها اجرا شود. در مقابل، نظراتی که میزان اختلاف آن‌ها کمتر یا مساوی آستانه تعیین شده باشد، بدون نیاز به اصلاح، وارد مراحل بعدی الگوریتم نقشه شناخت فازی خواهند شد. در جدول ۳، مقادیر اولیه روابط بین نودها پیش و پس از اجرای فرآیند رفع تعارض به روش پیشنهادی این پژوهش ارائه شده است.

همان‌طور که نتایج حاصل از اجرای الگوریتم رفع تعارض نشان می‌دهد، مقادیر ارتباط میان نودها در این رویکرد تفاوت معناداری با مقادیر به‌دست‌آمده از روش تجمیع مبتنی بر میانگین‌گیری ساده دارد. به‌عنوان مثال، در رابطه (۱) جدول ۳، مقدار ارتباط در حالت میانگین‌گیری ساده برابر با ۰/۶۱ بوده است؛ درحالی‌که با به‌کارگیری روش پیشنهادی رفع تعارض، این مقدار به ۰/۵۲ کاهش یافته است. این تفاوت از نظر منطقی قابل تبیین است؛ چراکه بیشترین وزن به خبرگان شماره ۱ و ۳ تعلق داشته که هر دو مقادیر نزدیک به ۰/۵۲ را ارائه کرده‌اند. در مقابل، خبرگان شماره ۴ و ۵ که تأثیر کمتری در فرآیند تصمیم‌گیری داشته‌اند، مقادیری بیش از ۰/۸ پیشنهاد کرده بودند که با اجرای الگوریتم رفع تعارض این مقادیر تعدیل شده و با دیدگاه سایر خبرگان هم‌راستا گردیده‌اند. این الگو در سایر روابط نیز مشاهده می‌شود. به‌عنوان مثال، در ارتباط شماره (۲) اگرچه خبره ۴ مقدار ۰/۹۸ را به این ارتباط اختصاص داده است، ولی بر اساس الگوریتم پیشنهادی، مقدار تجمعی نهایی به ۰/۴۹ کاهش یافته است. این کاهش نشان‌دهنده عملکرد صحیح الگوریتم است، زیرا خبره ۴ در شبکه خبرگان دارای وزن کمتری است و اختلاف بیش‌ازحد (بیشتر از ۰/۱۵) با سایر خبرگان

دارد که نیازمند تعدیل بوده و این کار به‌درستی انجام شده است. همچنین در رابطه (۱۲)، باوجود اینکه خبره ۱ که دارای وزن نسبتاً بالایی است، مقدار حدود ۰/۶ را پیشنهاد داده، اما با توجه به نظرات چهار خبره دیگر، مقدار تجمعی نهایی به ۰/۱۸ کاهش یافته و به اجماع رسیده است. این امر نشان‌دهنده رویکرد واقع‌گرایانه و متعادل الگوریتم نسبت به مسئله است.

۶- یافته‌ها

۶-۱- مقایسه خروجی نقشه شناخت فازی با

میانگین‌گیری ساده و الگوریتم رفع تعارض

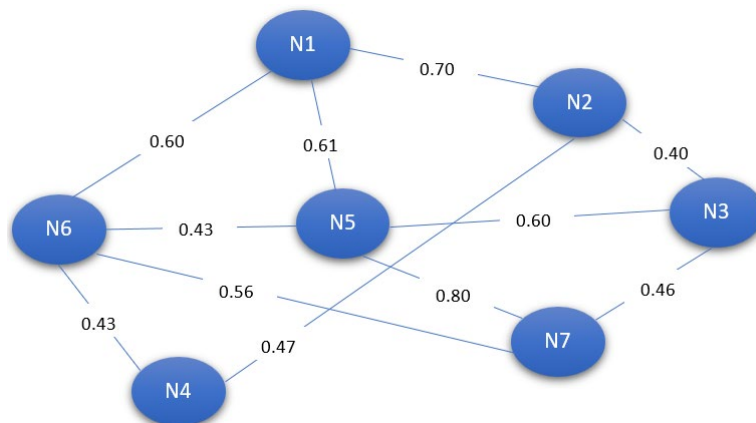
در ادامه، در این بخش به ترسیم و تحلیل نقشه شناخت فازی پرداخته می‌شود؛ به‌گونه‌ای که هم الگوریتم پیشنهادی رفع تعارض و هم رویکرد میانگین‌گیری ساده مورد مقایسه قرار می‌گیرند. بر اساس نقشه شناخت فازی ترسیم‌شده شکل ۵، گره‌های «تحریم»، «تأخیر در تأمین تجهیزات وارداتی» و «افزایش ناگهانی قیمت فلزات صنعتی» دارای نقش محوری هستند؛ چراکه از طریق چندین ارتباط ورودی و خروجی اثرگذار با سایر گره‌ها در تعامل قرار دارند. این امر نشان می‌دهد که تحریم‌ها و نوسان قیمت فلزات، کانون اصلی بروز مشکلات و تأخیرهای پروژه محسوب می‌شوند.

نود عدم هماهنگی بین نهادهای محلی نیز در نقش واسطه بین سایر عوامل دیده می‌شود و می‌تواند گلوگاه در مدیریت پروژه باشد. روابطی مثل $N5 \rightarrow N7$ و $N1 \rightarrow N5$ نشان‌دهنده وجود چرخه‌های بازخوردی است که می‌تواند باعث تشدید اثرات تأخیر شود. این چرخه‌ها معمولاً پایداری پروژه را کاهش می‌دهند و پیچیدگی مدیریت را بیشتر می‌کنند. به‌عنوان مثال وقتی قیمت فلزات به‌شدت افزایش پیدا می‌کند، تأمین منابع مالی و مواد اولیه پروژه دچار تنگنا می‌شود. این شرایط باعث می‌شود نهادهای مختلف (کارفرما، پیمانکار، تأمین‌کنندگان، مراجع قانونی و...) نتوانند هماهنگی لازم را حفظ کنند. اختلاف‌نظرها بر سر بودجه‌بندی، اولویت‌بندی خرید و زمان‌بندی تحویل تجهیزات بیشتر می‌شود. این تنش‌ها باعث کاهش هماهنگی میان تیم‌ها و دستگاه‌ها می‌شود. عدم هماهنگی منجر به تأخیر در انجام مراحل اجرایی، ارسال مستندات، پیگیری مجوزها و هماهنگی با نهادهای نظارتی می‌شود.

جدول ۳. مقایسه تجمیع نظرات خبرگان در حالت میانگین گیری ساده و با استفاده از الگوریتم رفع تعارض

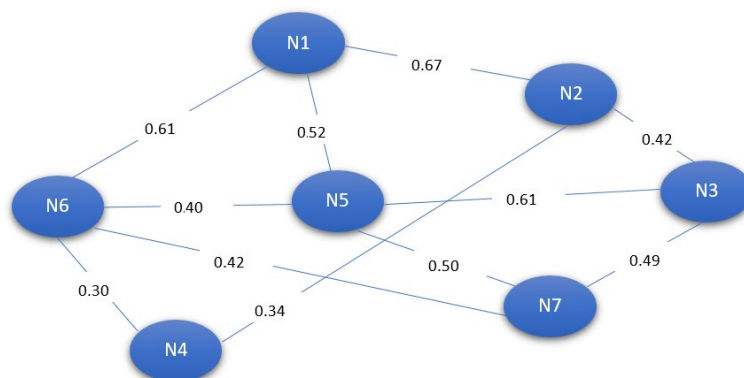
Table 3. Comparison of expert opinion aggregation in simple averaging mode and using the conflict resolution algorithm

شماره رابطه	عامل مبدأ	عامل مقصد	نوعیه رابطه	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۳	بازه ۴	بازه ۵	تجمیع با میانگین	تجمیع با روش حل تعارض
۱	تحریم‌ها و تأخیر واردات	افزایش قیمت فلزات	محدودیت دسترسی به مواد اولیه به دلیل تحریم‌ها، قیمت‌ها را افزایش می‌دهد.	۰/۴۴	۰/۳۷	۰/۵۳	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۶۱	۰/۵۲
۲	ناهماهنگی مقامات محلی	تأخیر در صدور مجوزها	بوروکراسی اداری و عدم هماهنگی بین سازمان‌ها باعث تأخیر در پروسه صدور مجوز می‌شود.	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۶	۰/۹۸	۰/۸۲	۰/۵۶	۰/۴۹
۳	بافت نامناسب زمین	تعارضات کاربری زمین	شرایط سخت زمین‌شناسی (مثل کوهستانی) باعث واریانت و اختلاف با مالکین محلی می‌شود.	۰/۰۹	۰/۲۴	۰/۲۹	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۴۷	۰/۳۹
۴	آب‌وهوای نامساعد	بافت نامناسب زمین	بارش‌های شدید باعث فرسایش خاک و تشدید مشکلات زمین‌شناسی می‌شود.	۰/۴۲	۰/۱۳	۰/۶۳	۰/۳۱	۰/۴۹	۰/۴۰	۰/۴۲
۵	تأخیر در صدور مجوزها	تعارضات کاربری زمین	طولانی شدن فرآیند مجوزدهی موجب تصرف غیرقانونی زمین می‌شود.	۰/۱۳	۰/۹۴	۰/۱۱	۰/۷۵	۰/۲۲	۰/۴۳	۰/۳۸
۶	آب‌وهوای نامساعد	افزایش قیمت فلزات	اختلال در زنجیره تأمین به دلیل سیل/طوفان، قیمت مواد را افزایش می‌دهد.	۰/۵۴	۰/۶۶	۰/۷۰	۰/۳۹	۰/۶۹	۰/۶۰	۰/۶۱
۷	افزایش قیمت فلزات	تأخیر در صدور مجوزها	افزایش هزینه‌ها موجب بازنگری در بودجه و تأخیر مجوزها می‌شود.	۰/۶۸	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۹۹	۰/۰۵	۰/۴۳	۰/۴۰
۸	بافت نامناسب زمین	تحریم‌ها و تأخیر واردات	نیاز به تجهیزات ویژه وارداتی که تحت تحریم با تأخیر مواجه می‌شوند.	۰/۶۵	۰/۸۵	۰/۴۶	۰/۹۶	۰/۵۷	۰/۷۰	۰/۶۷
۹	تحریم‌ها و تأخیر واردات	تأخیر در صدور مجوزها	عدم ارائه مدارک فنی کامل توسط تأمین‌کنندگان خارجی به دلیل تحریم‌ها.	۰/۲۹	۰/۷۶	۰/۸۰	۰/۲۳	۰/۹۲	۰/۶۰	۰/۶۱
۱۰	ناهماهنگی مقامات محلی	آب‌وهوای نامساعد	مدیریت ضعیف بحران (مثل تخلیه آب باران)، اثرات آب‌وهوایی را تشدید می‌کند.	۰/۰۱	۰/۲۱	۰/۹۸	۰/۶۴	۰/۴۳	۰/۴۶	۰/۴۹
۱۱	افزایش قیمت فلزات	ناهماهنگی مقامات محلی	اختلاف نظر بر سر تخصیص بودجه به دلیل افزایش هزینه‌ها.	۰/۶۰	۰/۶۳	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۸۱	۰/۸۰	۰/۸۰
۱۲	تعارضات کاربری زمین	تأخیر در صدور مجوزها	اعتراضات محلی به دلیل تصرف زمین، پروسه صدور مجوز را متوقف می‌کند.	۰/۶۶	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۲۳	۰/۱۸



شکل ۵. ترسیم نقشه شناخت فازی نهایی با استفاده از میانگین ساده (حاصل از خروجی پایتون).

Figure 5. Drawing the final fuzzy recognition map using simple averaging (from Python output).



شکل ۶. ترسیم نقشه شناخت فازی نهایی با استفاده از الگوریتم رفع تعارض (حاصل از خروجی پایتون).

Figure 6. Drawing the final fuzzy recognition map using the conflict resolution algorithm (derived from Python output).

می‌دهد که این موضوع می‌تواند به‌عنوان یک عامل واسط میان مشکلات حقوقی و اجرایی عمل کند. در صورتی که نقشه شناخت فازی با بهره‌گیری از الگوریتم رفع تعارض ترسیم و حل شود، ساختار نهایی آن به شکل ۵ خواهد بود که روابط بین نودها با میانگین‌گیری ساده به‌دست آمده است. شکل ۶، نقشه شناخت فازی ترسیم شده در نرم‌افزار پایتون بر اساس الگوریتم رفع تعارض را نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، ساختار علیت شبکه حفظ شده است. با این حال، در مقادیر روابط بین نودها نسبت به حالت قبل، تغییراتی مشاهده می‌شود که ناشی از اجرای الگوریتم رفع تعارض است. این تغییرات محدود به شدت اثر روابط بوده و ساختار علیتی شبکه بدون تغییر باقی‌مانده است؛ بنابراین، می‌توان گفت که رویکرد جدید با اعمال اصلاحاتی مبتنی بر وزن خبرگان در روابط، دیدگاهی محافظه‌کارانه‌تر نسبت به نقشه شناخت فازی قبلی ارائه می‌دهد. روابط قوی پیشین، مانند تأثیر تحریم‌ها بر افزایش

همچنین ممکن است به ضعف در واکنش به تحریم‌ها منجر شود؛ یعنی هر دستگامی به‌تنهایی و بدون همکاری کامل عمل کند که فرصت‌های رفع یا دور زدن تحریم‌ها را کاهش می‌دهد. در نتیجه پروژه با تأخیرات بیشتری مواجه می‌شود و مشکلات تحریمی عمق می‌یابد. تحریم‌ها باعث محدود شدن واردات تجهیزات و مواد اولیه می‌شوند. این محدودیت‌ها باعث کمبود عرضه و افزایش تقاضا می‌شود که قیمت فلزات و تجهیزات صنعتی را باز هم بالا می‌برد. برخی از نودها، مانند تأخیر در صدور مجوزها و شرایط جوی نامساعد، دارای چندین ارتباط ورودی و خروجی هستند که نشان‌دهنده نقش کلیدی آن‌ها به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در بخش‌های مختلف پروژه می‌باشد. برای مثال، شرایط جوی نامساعد نه تنها بر تأخیر در صدور مجوزها اثرگذار است، بلکه بر افزایش قیمت فلزات و دشواری مسیر نیز تأثیر می‌گذارد. عامل «تعارضات کاربری زمین» با داشتن ارتباطاتی به «عدم هماهنگی» و «تأخیر مجوز» نشان

است. این ارقام نشان‌دهنده تقویت نقش مفاهیم کلیدی پس از رفع تعارض است، چراکه وزن نظرات خبرگان معتبرتر و هماهنگ‌تر نسبت به اقلیت‌های متضاد، در مدل افزایش یافته و خروجی به سمت ارزش‌های واقعی‌تر متمایل شده است. برعکس، برای برخی مفاهیم مثل «افزایش ناگهانی قیمت فلزات صنعتی»، مقدار نهایی از ۰/۸۱۹۰ به ۰/۶۴۷۸ کاهش پیدا کرده است. این نشان می‌دهد نظرات افراطی بالا که موجب تورم مصنوعی مقدار شده بودند، پس از الگوریتم رفع تعارض تضعیف شده‌اند و اثر آن‌ها منطقی‌تر شده است. این دو جهت‌گیری (افزایش اثر مفاهیم مهم و کاهش اثر مفاهیم کم‌اهمیت یا متأثر از اقلیت‌های متضاد) مؤید درستی کارکرد الگوریتم است. در پایین خروجی، مقادیر آماری اختلاف دو حالت آمده‌اند. میانگین قدر مطلق تفاوت مقادیر برابر ۰/۱۰۳۹ است که رقم قابل توجهی محسوب می‌شود و نشان‌دهنده حساسیت مدل به شیوه تلفیق نظرات است. انحراف معیار تفاوت‌ها حدود ۰/۰۵۸۷ است که به‌وضوح نشان می‌دهد همه مفاهیم به یک اندازه از الگوریتم تأثیر نگرفته‌اند. بیشترین تفاوت مربوط به عامل «ناهماهنگی مقامات محلی» ۰/۱۷۴۲ و کمترین تفاوت متعلق به «شرایط آب‌وهوایی» (۰/۰۱۴۹) است.

بر اساس این اعداد، اگر تعارضات لحاظ نشوند، عوامل «افزایش ناگهانی قیمت‌ها»، «تأخیر در صدور مجوزها» و «شرایط جوی نامساعد» به‌عنوان مهم‌ترین علل تأخیر ظاهر می‌شوند؛ اما در صورت لحاظ کردن تعارضات، اولویت عوامل تغییر کرده و «عدم هماهنگی میان نهادهای محلی»، «تعارضات کاربری زمین» و «تأخیر در اخذ مجوزها» به‌عنوان اصلی‌ترین دلایل تأخیرهای برون‌سازمانی مشخص می‌شوند. این تغییر جایگاه عوامل، اهمیت روش‌شناختی به‌کارگیری رویکرد رفع تعارض را نشان می‌دهد. به‌ندرت دیگر، در نظر گرفتن توأمان تعارضات از نوع تعارضات وظیفه‌ای (تفاوت برداشت کارشناسان از شدت اثرات) و تعارضات رابطه‌ای (تفاوت ناشی از مواضع و روابط سازمانی) می‌تواند بر خروجی نهایی و طراحی استراتژی‌های مدیریت پروژه اثرگذار باشد. در شکل ۸ مقدار نهایی عوامل تأخیر (گره‌های نقشه شناخت فازی) در هر دو حالت آمده است. مقادیر نموداری اختلاف در دو حالت نیز در نمودار شکل ۹ ارائه شده است.

قیمت فلزات، همچنان از قوت بالایی برخوردارند؛ چراکه خبرگان تأثیرگذار شماره ۱ و ۳ این روابط را مستحکم می‌دانستند و الگوریتم رفع تعارض نیز این مقادیر را حفظ کرده است. برخی از روابط با شدت متوسط در نقشه قبلی در نمودار جدید از میزان تأثیر کمتری برخوردارند و ممکن است در تحلیل نهایی، مانند محاسبه انتشار اثر، اهمیت نسبی کمتری داشته باشند. طبق نمودار ترسیم‌شده، منشأ اصلی اثرگذاری‌ها چهار گره به شماره‌های N1 (تحریم‌ها)، N7 (ناهماهنگی مقامات) و N2 (زمین‌شناسی) هستند و گره‌های میانی یا واسط شامل N6 (تأخیر در صدور مجوزها)، N5 (افزایش قیمت‌ها) و N4 (تعارضات زمین) می‌باشند.

در بخش بعدی، به بررسی خروجی نهایی نرم‌افزار پایتون پرداخته می‌شود که شامل مقادیر پایانی گره‌ها به‌عنوان نمایانگر علل تأخیر پروژه است. در ادامه، این نتایج تحلیل شده و مهم‌ترین عوامل مؤثر بر بروز تأخیر شناسایی و معرفی خواهند شد.

۶-۲- نتایج حاصل از اجرای نرم‌افزار پایتون و مقادیر نهایی گره‌ها

بر اساس نتایج حاصل از اجرای نرم‌افزار، مقادیر نهایی گره‌ها در دو حالت به‌کارگیری الگوریتم رفع تعارضات و عدم استفاده از این الگوریتم، مطابق با شکل ۷ ارائه شده‌اند. این خروجی به‌طور واضح اثر الگوریتم رفع تعارض را در مقادیر نهایی مفاهیم نقشه شناخت فازی نشان می‌دهد. در قسمت بالای تصویر خروجی، مقادیر مفاهیم در حالت «بدون رفع تعارض» درج شده‌اند. این مقادیر بین حدود ۰/۷۷ تا ۰/۸۲ در نوسان هستند. این موضوع نشان می‌دهد که مدل در غیاب پالایش اختلاف‌نظرها، به سمت یک حالت میانی و نسبتاً یکنواخت‌همگرا شده و تأثیر نظرات متعارض (چه بالا و چه پایین) به‌طور مساوی در میانگین‌گیری لحاظ شده است. در بخش بعدی خروجی، مقادیر همان مفاهیم پس از اجرای الگوریتم رفع تعارض آمده است. این مقادیر تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای دارند و بازه آن‌ها گسترده‌تر شده است. برای مثال، مقدار نهایی «عدم هماهنگی میان نهادهای محلی» از ۰/۷۷۷ به ۰/۹۵۱۲ افزایش یافته است. همچنین مقدار «تأخیر در اخذ مجوز» از حدود ۰/۸۱۵ به ۰/۹۲۸۴ رسیده

```

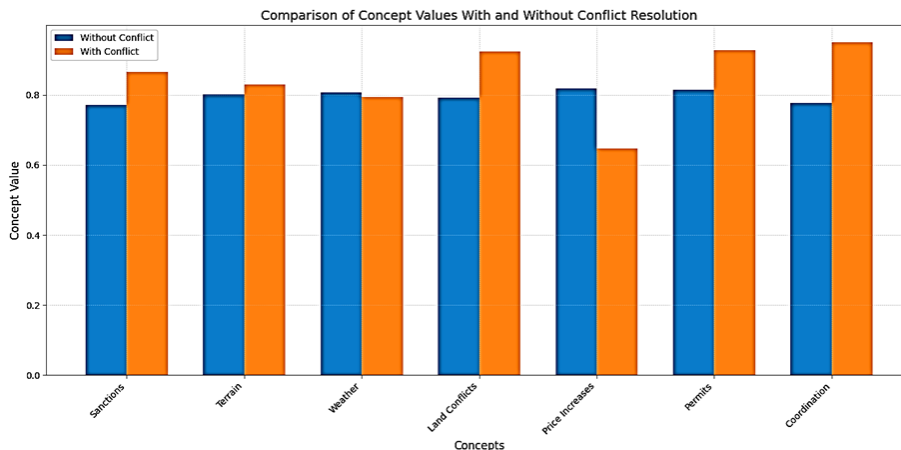
IDLE Shell 3.13.0
File Edit Shell Debug Options Window Help
Python 3.13.0 (tags/v3.13.0:60403a5, Oct 7 2024, 09:38:07) [MSC v.1941 64 bit (AMD64)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>>
===== RESTART: C:/Users/karnoo/Desktop/36987.py =====
Final Concept Values - Without Conflict Resolution:
International Sanctions and Delays in Importing Equipment: 0.771
Difficult Terrain in Mountainous Areas: 0.801
Adverse Weather Conditions During Execution: 0.808
Land Conflicts with Natural Resources or Agriculture: 0.792
Sudden Price Increases of Industrial Metals: 0.819
Delays in Obtaining Permits for Crossing Infrastructure: 0.815
Lack of Coordination Among Local Authorities: 0.777

Final Concept Values - With Conflict Resolution:
International Sanctions and Delays in Importing Eq: 0.8647
Difficult Terrain in Mountainous Areas: 0.8289
Adverse Weather Conditions During Execution: 0.7931
Land Conflicts with Natural Resources or Agricultu: 0.924
Sudden Price Increases of Industrial Metals: 0.6478
Delays in Obtaining Permits for Crossing Infrastru: 0.9284
Lack of Coordination Among Local Authorities: 0.9512

Statistical Measures of Differences:
Mean Absolute Difference: 0.1039
Standard Deviation of Differences: 0.0587
Maximum Difference: 0.1742 (Coordination)
Minimum Difference: 0.0149 (Weather)
>>>
    
```

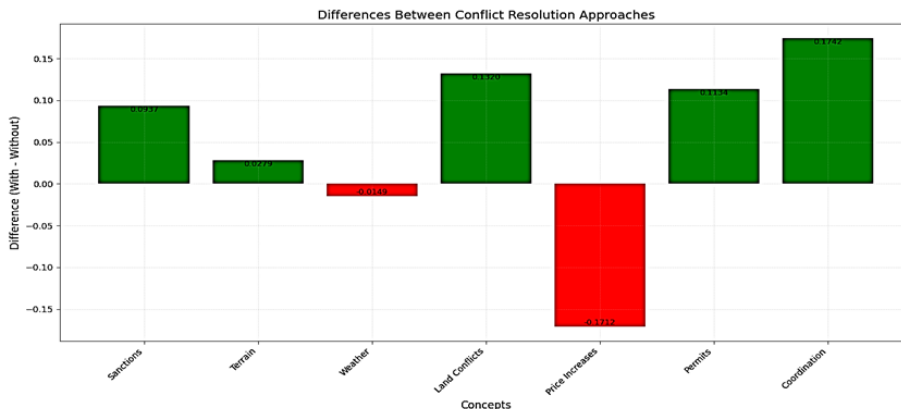
شکل ۷. مقایسه مقدار نهایی عوامل تأخیر در حالت در نظرگیری و عدم در نظرگیری تعارضات.

Figure 7. Comparison of the final value of delay factors in the case of considering and not considering conflicts.



شکل ۸. مقایسه مقادیر عوامل تأخیر در حالت در نظرگیری و عدم در نظرگیری تعارضات.

Figure 8. Comparison of delay factor values in the case of considering and not considering conflicts.



شکل ۹. نمودار تفاوت بین مقادیر نهایی گره‌ها در دو حالت.

Figure 9. Diagram of the difference between the final values of the nodes in the two cases.

همگرایی مقادیر مفاهیم در نقشه شناخت فازی را نشان می‌دهد.

در محور افقی تعداد تکرارها و در محور عمودی مقدار نهایی هر مفهوم (مقدار بین صفر تا یک) ترسیم شده است. هر منحنی نشان‌دهنده یک گره از مفاهیم کلیدی پروژه‌های زیرساختی و انتقال نیرو خط انتقال دیلم است که طی فرآیند شبیه‌سازی به تدریج به سطح پایداری می‌رسد. مشاهده می‌شود که اغلب گره‌ها از مقدار اولیه نسبتاً متوسط (حدود ۰/۵ تا ۰/۷) حرکت خود را آغاز می‌کنند و پس از حدود ۳۵ تکرار به مقادیر تقریباً ثابت همگرا می‌شوند. این موضوع نشان‌دهنده ثبات دینامیکی سیستم است و تأیید می‌کند که ساختار روابط بین گره‌ها فاقد حلقه‌های بازخوردی نوسانی غیرقابل کنترل بوده و مدل در نهایت به تعادل می‌رسد. در این میان، دو گره یعنی «عدم هماهنگی میان نهادهای محلی» و «تأخیر در اخذ مجوز عبور از زیرساخت‌ها» بیشترین مقادیر پایداری را کسب کرده‌اند و مقدار آن‌ها به حدود ۰/۹۵ و ۰/۹۲ رسیده است. این موضوع نشان می‌دهد که از منظر تحلیل علی-شناختی، این دو عامل بیشترین تأثیر را بر سایر مفاهیم و بر شدت کلی مشکلات پروژه دارند. پس از آن‌ها «تعارضات کاربری زمین» و «تحریم‌ها و تأخیرهای وارداتی» در رتبه‌های بعدی قرار دارند که مقادیر همگرایی آن‌ها به حدود ۰/۸۸ و ۰/۸۵ رسیده است. سایر مفاهیم مانند «شرایط آب و هوایی نامساعد»، «صعوبت مسیر» و «افزایش ناگهانی قیمت فلزات صنعتی» تأثیر متوسط یا نسبتاً کمتری داشته‌اند و مقادیر نهایی آن‌ها پایین‌تر باقی‌مانده است. به‌ویژه افزایش قیمت فلزات صنعتی در مقایسه با بقیه عوامل، ضعیف‌ترین اثر را داشته و سطح همگرایی آن در حدود ۰/۶۵ تثبیت شده است. روند تغییرات نشان می‌دهد که در ۱۰ تکرار اول بخش زیادی از رشد مفاهیم رخ داده و منحنی‌ها با شیب تند افزایش یافته‌اند. بین تکرارهای ۱۰ تا ۳۰ سرعت تغییر به تدریج کاهش یافته و پس از تکرار ۳۵ مقادیر کاملاً تثبیت شده‌اند. این الگو حاکی از وجود روابط مثبت و تقویتی بین گره‌هاست که باعث شتاب اولیه در انتشار اثرات می‌شود، اما در نهایت سیستم به حالت تعادل می‌رسد. مقایسه روندها نشان می‌دهد گره‌هایی که به ناهماهنگی نهادی و تأخیر در مجوز مرتبط هستند بیشترین حساسیت را دارند و در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی باید اولویت مداخله و برنامه‌ریزی باشند. در مقابل، عواملی مانند قیمت فلزات

مقایسه بین دو سناریوی با و بدون حل تعارض نشان‌دهنده مزایای روش رفع تعارض است. در سناریوی بدون حل تعارض، مقادیر نهایی نودها در محدوده نسبتاً محدود ۰/۷۷ تا ۰/۸۲ قرار داشتند که بیانگر نوعی همسطح‌سازی یکنواخت و کم‌عمق میان تمام عوامل بود. در این حالت تفاوت بین مفاهیم محدود بود و تصویر روشنی از نقش متمایز هر عامل ارائه نمی‌کرد. در مقابل، در سناریوی با حل تعارض دامنه مقادیر به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت و به حدود ۰/۶۴ تا ۰/۹۵ رسید. این تغییرات نشان می‌دهد مدل پس از رفع تعارض قادر به تفکیک اهمیت نسبی عوامل شده است. به‌طور خاص، نود «عدم هماهنگی میان نهادهای محلی» از ۰/۷۷ به ۰/۹۵ افزایش یافت و به مهم‌ترین عامل سیستم تبدیل شد. همین‌طور نود «تأخیر در صدور مجوز» از حدود ۰/۸۱ به ۰/۹۲ رسید که نشان‌دهنده تأکید بر نقش تعیین‌کننده فرآیندهای مجوزدهی و هماهنگی سازمانی است. هم‌زمان، نود «افزایش ناگهانی قیمت فلزات صنعتی» از ۰/۸۲ به ۰/۶۴ کاهش یافت که نشان می‌دهد اثر این عامل در حالت میانگین‌گیری ساده بیش‌برآورد شده بود. این تعدیل‌ها بر اساس اختلافات آماری نیز قابل‌تأیید است. میانگین قدر مطلق تفاوت مقادیر حدود ۰/۱۰ بوده و انحراف معیار این تفاوت‌ها ۰/۰۵۷۸ محاسبه شد که نشان می‌دهد هر نود به‌طور متفاوت از الگوریتم تأثیر گرفته است. بیشترین تفاوت مثبت مربوط به نود ناهماهنگی نهادی با ۰/۱۷ و کمترین تفاوت مربوط به شرایط آب‌وهوایی با ۰/۱۵ بوده است. این ارقام بیانگر آن است که روش حل تعارض باعث شفاف‌سازی نقش عوامل کلیدی، تعدیل تأثیر نظرات اقلیت و تثبیت ساختار علی شبکه شده است. در سطح مدیریتی، این نتایج نشان می‌دهد که بدون رفع تعارض، اهمیت واقعی برخی عوامل مانند هماهنگی نهادی پنهان می‌ماند و در مقابل برخی عوامل اقتصادی بیش‌ازحد بزرگنمایی می‌شوند. این یافته‌ها بر ضرورت کاربرد رویکرد حل تعارض به‌عنوان یک راهکار عملی در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده تأکید می‌کنند.

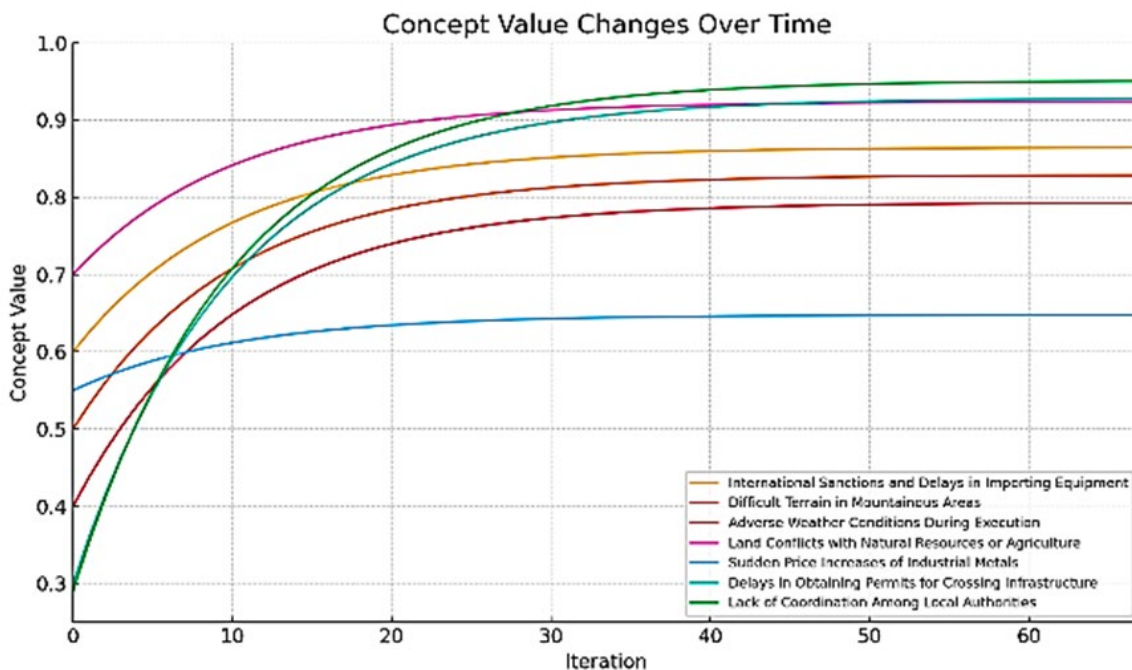
۳-۶- بررسی همگرایی و پایداری سیستم

در این بخش، روند همگرایی الگوریتم نقشه شناخت فازی با استفاده از نمودار همگرایی ترسیم‌شده در نرم‌افزار پایتون مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۱۰ روند پایداری و

۴-۶- تحلیل حساسیت آستانه تعارض

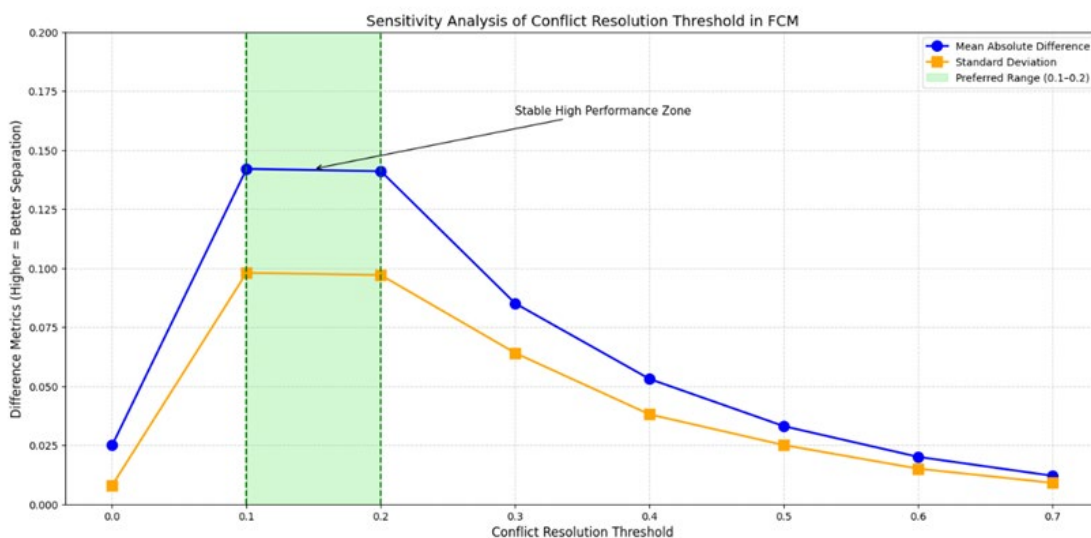
تحلیل حساسیت نسبت به آستانه تعارض در فرآیند حل تعارضات میان خبرگان، نقش تعیین کننده‌ای در اثربخشی مدل نهایی FCM ایفا می‌کند. نمودار شکل ۱۱ دو شاخص «میانگین قدر مطلق تفاوت خروجی گره‌ها» و «انحراف معیار تفاوت‌ها» را در برابر مقادیر مختلف آستانه تعارض ترسیم می‌کند.

یا شرایط آب‌وهوایی تأثیر کوتاه‌مدت و کمتر پایداری داشته‌اند. این تحلیل همچنین بیانگر این است که ساختار مدل به‌خوبی طراحی شده و قابلیت بازتولید رفتار واقعی پروژه‌های بزرگ‌مقیاس را دارد. به‌طور خلاصه، این نمودار یک تصویر شفاف از پویایی همگرایی مفاهیم در نقشه شناخت فازی ارائه کرده و مشخص می‌کند که چه عواملی در اولویت راهبردی هستند و باید مورد تمرکز مدیریتی قرار بگیرند.



شکل ۱۰. تغییرات مقادیر نودها در تکرارهای مختلف الگوریتم (برای الگوریتم پیشنهادی).

Figure 10. Changes in node values in different iterations of the algorithm (for the proposed algorithm).



شکل ۱۱. تحلیل حساسیت پارامتر آستانه تعارض (خروجی پایتون).

Figure 11. Sensitivity analysis of the conflict threshold parameter (Python output).

یافته‌ها نشان می‌دهد که بازه بین ۰/۱ تا ۰/۲ به‌عنوان محدوده بهینه تعادل میان تنوع و پایداری شناختی عمل می‌کند. در این بازه، شاخص میانگین تفاوت به مقادیر نسبتاً بالایی می‌رسد (۰/۱۴۱ تا ۰/۱۴۸) که نشان‌دهنده بازتوزیع معنادار وزن یال‌ها پس از اعمال حل تعارض است؛ امری که اهمیت نهفته در دیدگاه‌های اقلیت و تضادهای شناختی را در خروجی مدل منعکس می‌سازد. درعین حال، انحراف معیار نیز در این بازه افزایش محدودی دارد (۰/۰۹۲ تا ۰/۰۹۵) که بیانگر ثبات نسبی مدل علی‌رغم افزایش تنوع شناختی است. به‌عبارت‌دیگر، این بازه تعادل مناسبی میان «شفاف‌سازی تفاوت‌ها» و «پایداری خروجی» فراهم می‌سازد. در مقابل، آستانه‌های کمتر از ۰/۱ منجر به مدل‌های محافظه‌کارانه با تفاوت‌های ناچیز و شناسایی ضعیف تعارض می‌شوند. از سوی دیگر، آستانه‌های فراتر از ۰/۲ با کاهش پیوسته هر دو شاخص همراه هستند که نشان‌دهنده نادیده‌گیری تدریجی تعارضات شناختی و بازگشت مدل به شرایط مشابه میانگین‌گیری کلاسیک است. با توجه به این تحلیل، می‌توان نتیجه گرفت که بازه ۰/۱ تا ۰/۲ به‌طور خاص دارای ویژگی‌های ایده‌آل برای تنظیم آستانه تعارض در الگوریتم پیشنهادی است. انتخاب مقدار آستانه در این بازه موجب تقویت نمایندگی دیدگاه‌های متنوع، افزایش واقع‌گرایی مدل و حفظ انسجام خروجی می‌شود.

مشارکت‌های نویسندگان

نیلوفر هدایتی فرد: تهیه پیش‌نویس خطی، بازنگری اولیه گزارش و روش‌شناسی پژوهش، مدل مفهومی پژوهش، بررسی ادبیات نظری و پیشینه مرتبط، تجزیه و تحلیل داده‌ها، پیش‌نویس تحلیل آماری و بازبینی متن؛ **حامد سلمانزاده:** راهنمایی، بازبینی متن.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافع مرتبط با تحقیق حاضر ندارند و نتایج به‌صورت بی‌طرفانه و بدون دخالت منافع شخصی یا حرفه‌ای به‌دست‌آمده است.

قدردانی

نویسندگان از عوامل اجرایی نشریه مهندسی سیستم و بهره‌وری و همچنین داوران محترم که کیفیت این مقاله را افزایش دادند و همچنین کارکنان برق منطقه‌ای فارس که در این پژوهش همکاری نموده، قدردانی می‌نمایند.

مراجع

Abdollahi, M., Ahmadvand, A. M., & Mirshahvelayati, F. (2025). Analysis of key trends in Iran's steel production chain: A

یافته‌ها نشان می‌دهد که بازه بین ۰/۱ تا ۰/۲ به‌عنوان محدوده بهینه تعادل میان تنوع و پایداری شناختی عمل می‌کند. در این بازه، شاخص میانگین تفاوت به مقادیر نسبتاً بالایی می‌رسد (۰/۱۴۱ تا ۰/۱۴۸) که نشان‌دهنده بازتوزیع معنادار وزن یال‌ها پس از اعمال حل تعارض است؛ امری که اهمیت نهفته در دیدگاه‌های اقلیت و تضادهای شناختی را در خروجی مدل منعکس می‌سازد. درعین حال، انحراف معیار نیز در این بازه افزایش محدودی دارد (۰/۰۹۲ تا ۰/۰۹۵) که بیانگر ثبات نسبی مدل علی‌رغم افزایش تنوع شناختی است. به‌عبارت‌دیگر، این بازه تعادل مناسبی میان «شفاف‌سازی تفاوت‌ها» و «پایداری خروجی» فراهم می‌سازد. در مقابل، آستانه‌های کمتر از ۰/۱ منجر به مدل‌های محافظه‌کارانه با تفاوت‌های ناچیز و شناسایی ضعیف تعارض می‌شوند. از سوی دیگر، آستانه‌های فراتر از ۰/۲ با کاهش پیوسته هر دو شاخص همراه هستند که نشان‌دهنده نادیده‌گیری تدریجی تعارضات شناختی و بازگشت مدل به شرایط مشابه میانگین‌گیری کلاسیک است. با توجه به این تحلیل، می‌توان نتیجه گرفت که بازه ۰/۱ تا ۰/۲ به‌طور خاص دارای ویژگی‌های ایده‌آل برای تنظیم آستانه تعارض در الگوریتم پیشنهادی است. انتخاب مقدار آستانه در این بازه موجب تقویت نمایندگی دیدگاه‌های متنوع، افزایش واقع‌گرایی مدل و حفظ انسجام خروجی می‌شود.

۷- نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان دادند که در محیط‌های پروژه‌ای دارای وابستگی‌های علی و معلولی گسترده، به‌کارگیری نقشه‌های شناخت فازی می‌تواند ابزار مؤثری برای شناسایی و اولویت‌بندی عوامل کلیدی تأخیر فراهم آورد. با این حال، نتایج به‌طور روشن بیانگر آن بود که روش‌های رایج میانگین‌گیری ساده یا وزنی بدون در نظر گرفتن تعاملات شناختی و تعارضات رابطه‌ای میان خبرگان، به یک‌دست‌سازی نادرست داده‌ها منجر می‌شود و دیدگاه‌های متنوع و گاه مکمل خبرگان را نادیده می‌گیرد. در مقابل، الگوریتم پیشنهادی این پژوهش که امکان ادغام هم‌زمان تعارض وظیفه‌ای و رابطه‌ای را فراهم می‌کند، توانست دامنه و تفکیک‌پذیری مقادیر نهایی گره‌ها را به‌طور محسوسی افزایش دهد و سهم نسبی هر عامل را با دقت

- and team member satisfaction: A meta-analysis. *Journal of Applied Psychology*, 88(4), 741. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.4.741>
- der Landwehr, M. A., Trott, M., von Bülow, K., & von Viebahn, C. (2023). Pyrrhic victory? Towards a decision support system for simulation projects in industrial practice based on fuzzy cognitive mapping. *Computers & Industrial Engineering*, 186, 109706. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109706>
- Ding, R. X., Wang, X., Shang, K., & Herrera, F. (2019). Social network analysis-based conflict relationship investigation and conflict degree-based consensus reaching process for large scale decision making using sparse representation. *Information Fusion*, 50, 251-272. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.02.004>
- Dong, Y.-C., Ding, Z.-G., Martínez, L., & Herrera, F. (2017). Managing consensus based on leadership in opinion dynamics. *Information Sciences*, 397, 187-205. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.02.052>
- Dong, Y.-C., Zha, Q.-B., Zhang, H.-J., Kou, G., Fujita, H., Chiclana, F., & Herrera-Viedma, E. (2018). Consensus reaching in social network group decision making: Research paradigms and challenges. *Knowledge-Based Systems*, 162, 3-13. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.06.036>
- Dong, Y., Zhan, M., Kou, G., Ding, Z., & Liang, H. (2018). A survey on the fusion process in opinion dynamics. *Information Fusion*, 43, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2017.11.009>
- Eghbali, M. A., Eghbali, H., & Eghbali, V. (2023). Identification and ranking of factors affecting the increased duration of rural water supply projects in South Khorasan. *System Engineering and Productivity*, 3(2), 127-153 (In Persian). <https://doi.org/10.22034/msb.2023.709557>
- Engin, A., Franco, L. A., & Rouwette, E. A. J. A. (2024). How groups manage conflict when using model-driven decision support: An epistemic motivation lens. *Omega*, 125, Article 102986. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2024.102986>
- Ershadi, M. J., Kianmehr, N., Nabatchian, M., & Dinmohammadi, L. (2024). Designing a productivity assessment model to identify and prioritize influential factors and examine obstacles facing Iranian research organizations. *System Engineering and Productivity*, 4(2), 31-46 (In Persian). <https://doi.org/10.22034/msb.2024.2019692.1171>
- Espinosa, M. L. (2023). Aggregating procedure for fuzzy cognitive maps. In *The International FLAIRS Conference Proceedings* (Vol. 36). <https://doi.org/10.32473/flairs.36.133082>
- Gaba, V., & Joseph, J. (2023). Content and process: Organizational conflict and decision making. *Frontiers in Psychology*, 14, 1227966. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1227966>
- systematic exploration of emerging trends. *System Engineering and Productivity*, 5(3), 155-177 (In Persian). <https://doi.org/10.22034/sep.2025.2063146.1332>
- Adabavazeh, N., Nikbakht, M., Amindoust, A., & Hassanzadeh-Tabrizi, S. A. (2024). The identification and analysis of pivotal factors influencing the corrosion of natural gas pipelines using fuzzy cognitive map. *Engineering Failure Analysis*, 166, 108806. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108806>
- Akram, M., & Zahid, S. (2023). Group decision-making method with Pythagorean fuzzy rough number for the evaluation of best design concept. *Granular Computing*, 8(6), 1121-1148. <https://doi.org/10.1007/s41066-023-00391-0>
- Al Salem, A. A., & Awasthi, A. (2021). New consensus measure for group decision making based on Spearman's correlation coefficient of reciprocal fuzzy preference relations. *International Journal of Modelling and Simulation*, 41(3), 163-175. <https://doi.org/10.1080/02286203.2019.1700346>
- Apostolopoulos, I. D., Papandrianos, N. I., Papathanasiou, N. D., & Papageorgiou, E. I. (2024). Fuzzy cognitive map applications in medicine over the last two decades: A review study. *Bioengineering*, 11(2), 139. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11020132>
- Bakhtavar, E., & Shirvand, Y. (2019). Designing a fuzzy cognitive map to evaluate drilling and blasting problems of the tunneling projects in Iran. *Engineering with Computers*, 35(1), 35-45. <https://doi.org/10.1007/s00366-018-0581-y>
- Case, D. M., Blackburn, T., & Stylios, C. (2018). Modelling construction management problems with fuzzy cognitive maps. In A. R. Fayek (Ed.), *Fuzzy hybrid computing in construction engineering and management* (pp. 413-449). Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/978-1-78743-868-220181012>
- Chen, C.-T., & Chiu, Y.-T. (2021). A study of dynamic fuzzy cognitive map model with group consensus based on linguistic variables. *Technological Forecasting and Social Change*, 171, 120948. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120948>
- Chu, X., Sun, B., Chu, X., Zhang, Y., Weng, H., & Huang, Q. (2022). The optimal treatment alternatives selection of integrated TCM and Western medicine based on dynamic conflict group decision-making models. *Knowledge-Based Systems*, 236, 107674. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.107674>
- De Dreu, C. K. W., & Weingart, L. R. (2003). Task versus relationship conflict, team performance,

- Khodayari, R., Yazdani, M., Pourghader Chobar, A., & Salehan, S. T. (2024). Risk management of outsourcing projects in automotive parts manufacturing companies using failure mode analysis and decision-making technique. *System Engineering and Productivity*, 4(3), 31–48 (In Persian).
<https://doi.org/10.22034/msb.2024.2031280.12.12>
- Knox, C. B., Gray, S., Zareei, M., Wentworth, C., Aminpour, P., Wallace, R. V., ... & Brugnone, N. (2023). Modeling complex problems by harnessing the collective intelligence of local experts: New approaches in fuzzy cognitive mapping. *Collective Intelligence*, 2(4), 26339137231203582.
<https://doi.org/10.1177/26339137231203582>
- Kocabey Ciftci, P. (2025). Mapping the way to a dark green enterprise: Fuzzy cognitive map-based analysis of factors affecting environmental performance for sustainable development. *Business Process Management Journal*, 31(1), 74–94. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-12-2023-0976>
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24(1), 65–75.
[https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(86)80040-2)
- Li, Y., Kou, G., Li, G., & Wang, H. (2021). Multi-attribute group decision making with opinion dynamics based on social trust network. *Information Fusion*, 75, 102–115.
<https://doi.org/10.1016/j.inffus.2021.04.010>
- Liang, Q., Liao, X., & Liu, J. (2017). A social ties-based approach for group decision-making problems with incomplete additive preference relations. *Knowledge-Based Systems*, 119, 68–86.
<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2016.12.001>
- Liu, B., Zhou, Q., Ding, R. X., Palomares, I., & Herrera, F. (2019). Large-scale group decision making model based on social network analysis: Trust relationship-based conflict detection and elimination. *European Journal of Operational Research*, 275(2), 737–754.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.11.075>
- Liu, P., Dong, X., & Wang, P. (2025). An enhanced fuzzy cognitive map for human risk assessment in maritime transportation: Integrating causal mining and expert elicitation. *Advanced Engineering Informatics*, 68, 103624.
<https://doi.org/10.1016/j.aei.2025.103624>
- Malyshev, V. A., Mitrofanov, D. V., & Sidelev, M. N. (2023). A mathematical model of the decision-making process by a command group in the case of conflict interaction of the requirements for the efficiency and validity of the decision. *Scientific journal Modeling, Optimization and Information Technology*, 11(4), 1–11.
<https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.43.4.019>
- Gao, L., Zhang, X., Deng, X., Zhang, N., & Lu, Y. (2025). Using fuzzy cognitive maps to explore the dynamic impact on management team resilience in international construction projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 32(6), 3998–4028.
<https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2023-0828>
- Gershon, R., & Fridman, A. (2022). Individuals prefer to harm their own group rather than help an opposing group. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(49), e2215633119.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2215633119>
- Giordano, R., & Vurro, M. (2010). Fuzzy cognitive map to support conflict analysis in drought management. In *Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications* (pp. 403–425). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-03220-2_17
- Giordano, R., Passarella, G., Uricchio, V. F., & Vurro, M. (2005). Fuzzy cognitive maps for issue identification in a water resources conflict resolution system. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30(6–7), 463–469.
<https://doi.org/10.1016/j.pce.2005.06.012>
- Gupta, M. (2017). Consensus building process in group decision making: An adaptive procedure based on group dynamics. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 26(4), 1923–1933.
<https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2017.2755581>
- Herrera-Viedma, E., Martínez, L., Mata, F., & Chiclana, F. (2005). A consensus support system model for group decision-making problems with multigranular linguistic preference relations. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 13(5), 644–658.
<https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2005.856581>
- Jiya, E. A., Bakpo, F. S., & Agozie, E. (2022). Expert-Independent Initial Weights Assignment Technique for Learning Fuzzy Cognitive Map With Hebbian Learning Algorithms. Available at SSRN 4341157.
<https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4341157>
- Kacprzyk, J., & Fedrizzi, M. (1988). A 'soft' measure of consensus in the setting of partial (fuzzy) preferences. *European Journal of Operational Research*, 34(3), 316–325.
[https://doi.org/10.1016/0377-2217\(88\)90152-X](https://doi.org/10.1016/0377-2217(88)90152-X)
- Kamis, N. H., Chiclana, F., & Levesley, J. (2019). An influence-driven feedback system for preference similarity network clustering-based consensus group decision making model. *Information Fusion*, 52, 257–267.
<https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.03.004>
- Karatzinis, G. D., & Boutalis, Y. S. (2025). A review study of fuzzy cognitive maps in engineering: Applications, insights, and future directions. *Eng*, 6(2), 37.
<https://doi.org/10.3390/eng6020037>

- Perusich, K., & McNeese, M. D. (2006). Using fuzzy cognitive maps for knowledge management in a conflict environment. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 36(6), 810–821. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2005.855509>
- Rodríguez, R. M., Labella, Á., Tré, G. D., & Martínez, L. (2018). A large-scale consensus reaching process managing group hesitation. *Knowledge-Based Systems*, 159, 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.06.009>
- Salmeron, J. L. (2010). Modelling grey uncertainty with fuzzy grey cognitive maps. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7581–7588. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.04.085>
- Salmeron, J. L., & Arévalo, I. (2025). Concurrent vertical and horizontal federated learning with fuzzy cognitive maps. *Future Generation Computer Systems*, 162, 107482. <https://doi.org/10.1016/j.future.2024.107482>
- Samanta, S., Dubey, V. K., & Das, K. (2022). Coopetition bunch graphs: Competition and cooperation on COVID-19 research. *Information Sciences*, 589, 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.12.025>
- Saraswathi, A., Edalatpanah, S. A., & Hami Hassan Kiyadeh, S. (2024). A study on fuzzy cognitive maps using fuzzy inference system. *Big Data and Computing Visions*, 4(4), 257–271. <https://doi.org/10.22105/bdcv.2024.482326.1212>
- Sarmiento, I., Cockcroft, A., Dion, A., Belaid, L., Silver, H., Pizarro, K., ... & Andersson, N. (2024). Fuzzy cognitive mapping in participatory research and decision making: A practice review. *Archives of Public Health*, 82(1), 76. <https://doi.org/10.1186/s13690-024-01303-7>
- Schuerkamp, R., Ahlstrom, H., & Giabbanelli, P. J. (2025). Automatically resolving conflicts between expert systems: An experimental approach using large language models and fuzzy cognitive maps from participatory modeling studies. *Knowledge-Based Systems*, 313, 113151. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2025.113151>
- Schuerkamp, R., Giabbanelli, P. J., Grandi, U., & Doutre, S. (2023). How to combine models? Principles and mechanisms to aggregate fuzzy cognitive maps. In *2023 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 2518-2529). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WSC60868.2023.10408326>
- Sha, L., Shao, Y., & Li, Y. (2024). A framework of Fermatean fuzzy cognitive map and its extension based on Hamacher operation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 136, 108676. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108676>
- Mandal, P., Samanta, S., & Pal, M. (2023). Large-scale alternative processing group decision-making under Pythagorean linguistic preference environment. *Soft Computing*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-09012-z>
- Mandal, P., Samanta, S., Pal, M., & Ranadive, A. S. (2022). Three-way decision model under a large-scale group decision-making environment with detecting and managing non-cooperative behaviors in consensus reaching process. *Artificial Intelligence Review*, 55(7), 5517–5542. <https://doi.org/10.1007/s10462-021-10133-w>
- Mazzuto, G., Bevilacqua, M., Stylios, C., & Georgopoulos, V. C. (2018). Aggregate experts knowledge in fuzzy cognitive maps. In *2018 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)* (pp. 1–6). IEEE.
- Murray, T. J., Pipino, L. L., & van Gigch, J. P. (1985). A pilot study of fuzzy set modification of Delphi. *Human Systems Management*, 5(1), 76–80. <https://doi.org/10.3233/HSM-1985-5111>
- Niksirat, M., Tayebi, S. M., & Izadkhah, M. (2023). A comprehensive systematic review to extract the factors affecting students' academic achievement. *System Engineering and Productivity*, 3(3), 112–134. <https://doi.org/10.22034/msb.2023.711492> (In Persian)
- Papageorgiou, E. I., & Salmeron, J. L. (2012). A review of fuzzy cognitive maps research during the last decade. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 21(1), 66–79. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2012.2201727>
- Papageorgiou, K., Singh, P. K., Papageorgiou, E., Chudasama, H., Bochtis, D., & Stamoulis, G. (2019). Fuzzy cognitive map-based sustainable socio-economic development planning for rural communities. *Sustainability*, 12(1), 305. <https://doi.org/10.3390/su12010305>
- Pei, F., Gao, Y., Yan, A., Zhou, M., & Wu, J. (2024). Conflict elimination based on opinion dynamics in fuzzy group decision-making. *Expert Systems with Applications*, 254, 124308. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124308>
- Pei, F., He, Y.-W., Yan, A., Zhou, M., Chen, Y.-W., & Wu, J. (2020). A consensus model for intuitionistic fuzzy group decision-making problems based on the construction and propagation of trust/distrust relationships in social networks. *International Journal of Fuzzy Systems*, 22(8), 2664–2679. <https://doi.org/10.1007/s40815-020-00980-0>
- Pérez-Teruel, K., Leyva-Vázquez, M., & Estrada-Sentí, V. (2015). Mental models consensus process using fuzzy cognitive maps and computing with words. *Ingeniería y Universidad*, 19(1), 173–188. <https://doi.org/10.11144/javeriana.iyu19-1.mmpc>

- Sun, T. (2023, November). Research on Dynamic Emergency Decision-Making of Emergencies Considering Group Members Conflicts and Social Network Big Data. In *Proceedings of the 2023 3rd International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Risk Management* (pp. 1017-1030).
<https://doi.org/10.1145/3656766.3656935>
- Toufighi, S. P., Norouzzadeh, A. M., Vang, J., & Sabzikaran, E. (2025). An intuitionistic fuzzy cognitive mapping approach for blockchain-driven decision support in sustainable construction supply chains. *Decision Analytics Journal*, 100615.
<https://doi.org/10.1016/j.dajour.2025.100615>