

Increasing the accuracy of predicting project time and cost by applying the effects of project risks and considering the interdependence of risks using the concept of stratification

Fatemeh Moazemi Goodarzi¹, Maryam Ashrafi², and Seyed Hasan Ghodsypour³

1. Master of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering and Management Systems, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran. Email: Fateme.good@aut.ac.ir
2. Corresponding Author, Assistant Professor of Industrial Engineering Department, Faculty of Industrial Engineering and Management Systems, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran. Email: Ashrafi.mm@aut.ac.ir
3. Professor of Industrial Engineering Department, Faculty of Industrial Engineering and Management Systems, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran. Email: Ghodsypo@aut.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received 5 November 2024 Received in revised form 20 April 2025 Accepted 4 August 2025 Published online 21 August 2025 Keywords: Risk management; Predicting time and cost; Interdependence of risks; Concept of stratification; Risk assessment and response.	Uncertainty in projects creates the possibility of creating different states of occurrence of risks, which reduces the accuracy of predicting project time and cost. In this article, a forecasting model is presented that improves this accuracy while considering risk management processes and risk dependency relationships using the concept of stratification. Using the concept of stratification, all the occurrences of risks are evaluated along with their effects on the time and cost of the project. The results of the implementation of the proposed model in a dam construction project showed a 44.73% increase in actual time compared to the predicted time and a 31.13% increase in the actual cost compared to the predicted cost if risks are not considered and a 9.66% decrease in the project time and decrease 15.14% shows the project cost if response strategies are implemented, and highlights the importance of applying risk management processes in predicting project time and cost. Carrying out the sensitivity analysis of the proposed model also confirms the necessity of evaluating all classes and occurrences of project risks using the concept of stratification in the risk assessment and response stages.
Cite this article: Moazemi Goodarzi, F. & et al, (2025)., Increasing the accuracy of predicting project time and cost by applying the effects of project risks and considering the interdependence of risks using the concept of stratification. <i>Engineering Management and Soft Computing</i>, 11 (1). 156-211. DOI: https://doi.org/10.22091/jemsc.2025.11594.1219	
	© The Author(s) DOI: 10.22091/jemsc.2025.11594.1219 Publisher: University of Qom

1) INTRODUCTION

Grounded in a systematic approach and enriched by the empirical wisdom of stakeholders, risk management enhances the precision of project time and cost predictions. This manuscript introduces a novel methodology that refines the accuracy of project time and cost forecasts by assimilating risk considerations, their interdependencies, response strategies, and the spectrum of risk manifestation scenarios through the lens of Conceptual Stratification Theory (CST). CST advocates for a stratified decision-making paradigm, wherein data layers vie within a structured environment [20]. It conceptualizes a system in flux, transitioning through discrete states toward an ultimate goal. Each state, delineated by its inputs and outputs, undergoes stratification relative to its proximity to the desired outcome [6]. Equipped with an incremental zooming mechanism, CST's unique adaptability to real-world challenges fortifies the system's resilience against potential perils, thereby refining estimations [7].

Despite the recognition of stratification's importance and applicability, research has predominantly focused on describing the concept rather than employing it in project time and cost forecasting and risk management. Notably, there is a dearth of studies that leverage stratification in conjunction with risk considerations and their interdependencies to predict project outcomes. A summary of the results of the studies is given in Table 1.

Table 2. Summary of studies conducted on project cost and time forecasting

Reference	Year	Predicting		Risk management			Dependency of risk	Concept of stratification
		Time	Cost	Identification	Assessment	Responsiveness		
[5]	2017							✓
[6]	2018							✓
[4]	2018							✓
[7]	2019	✓	✓	✓	✓			✓
[2]	2020			✓	✓			
[1]	2020	✓	✓	✓	✓			
[9]	2020			✓	✓		✓	
[10]	2021			✓	✓	✓	✓	
[15]	2021	✓			✓			
[8]	2021		✓					
[14]	2021			✓	✓		✓	
[18]	2021				✓	✓	✓	
[19]	2022	✓	✓					
[3]	2022		✓	✓	✓	✓		
[11]	2022			✓	✓			
[12]	2022	✓	✓	✓	✓	✓		
[21]	2022			✓	✓		✓	
[16]	2023		✓	✓	✓			
[13]	2023	✓	✓					
[17]	2023			✓	✓			
This article	2024	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

The present research addresses this gap by employing the stratification concept to account for all potential risk occurrences, including independent risks and the probability of risk transfer between related risks. This research's comparative advantage lies in its comprehensive consideration of risks and interdependencies, culminating in a more accurate and actionable project time and cost forecast.

2) Solution Method

In this section, we introduce a comprehensive model that forecasts the time and cost of a project achieved by integrating the influence of project-related risks, the interdependence relationships of these risks, and the impact of strategies deployed to mitigate these risks, all within a stratified framework.

Initially, preliminary estimations of the project's time (T) and cost (C) are procured from the project management cadre.

Potential project risks (R_i) are identified utilizing brainstorming techniques and a risk breakdown structure. Subsequently, a matrix of pairwise comparisons is constructed to ascertain potential

dependencies among the risks, culminating in the formulation of a risk interdependency network. This process involves the collective insights of brainstorming participants, the risk management ensemble, and domain-specific experts.

Each risk is characterized by an inherent probability (SP), presumed to be independent of the effect of the occurrence of other risks, thereby assuming a stance of mutual exclusivity. Moreover, the transition probability ($TP_{j,i}$)—the likelihood of risk j and leading to the occurrence of risk i —is quantified. In the absence of empirical data, these probabilities of risk (SP_i) and transition probability between related risks ($TP_{j,i}$) are appraised through historical analysis and expert judgment.

The probability of each risk's occurrence is deduced using probability theory, encapsulated by Equation (1). This formula integrates the interdependencies among risks, where the occurrence of one risk may precipitate another. Here, SP_i signifies the independent probability of risk i , while $TP_{j,i}$ denotes the conditional probability of risk j leading to risk i . The variable N represents the total number of identified risks.

$$COP_i = 1 - \left[(1 - SP_i) \times \prod_j (1 - TP_{j,i}) \right] \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$j = \{\text{Risks affecting the occurrence of risk } i\}$

This step involves quantifying the repercussions should a risk come to fruition. The prioritization of risks is done using the probability and effect matrix. First, two scoring tables for the probability of occurrence of risk and the severity of the effect of risk occurrence are designed, and based on them, each risk is assigned two numerical indicators, which are related to the level of probability of occurrence and the level of severity of the effect of the occurrence of that risk. Subsequently, risks are categorized within the predefined matrix based on these values, enabling the identification and focus on the most critical risks.

Following the assignment of severity indices, this stage leverages expert insights to precisely quantify the impact of the most significant risks on project time and cost. The projected increase in project duration due to each risk is denoted by (RI_u^T). The amount of project cost increase (RI_u^C) is estimated if any of the risks ($u = 1, 2, \dots, n$) occur.

The project is modeled as a system initially in state M_1 , with the potential to transition to state, M_h upon the manifestation of certain risk combinations. Each state M_h is assigned a relative weight W_h , indicating its significance in comparison to other states.

To mitigate computational complexity and disregard inconsequential states, each state is evaluated and assigned a score ranging from a to d , based on the numerical indicators of risk within that state. Consequently, weights from 4 to 1 are allocated to states with scores from a to d , respectively. Furthermore, the projected time and cost implications of the project, in the event of any risk scenario, are calculated using formulas (2) and (3). In the worst-case scenario, the total impact of risk occurrences is aggregated with the initial projected time and cost, providing a comprehensive projection of the project's potential trajectory.

$$T_k = T + \sum_l RI_l^T \quad (3)$$

$$C_k = C + \sum_l RI_l^C \quad (4)$$

$l = \{\text{The risks in state } k\}$

The estimated final time and cost of the project while considering the risks are obtained from formulas (4) and (5).

$$T_R = \frac{\sum_{k=1}^m W_k T_k}{\sum_{k=1}^m W_k} \quad (5)$$

$$C_R = \frac{\sum_{k=1}^m W_k C_k}{\sum_{k=1}^m W_k} \quad (6)$$

$l = \{\text{The risks in state } k\}$

We devise and select an array of potential response strategies, denoted as $(S_v, v = 1, 2, m, \dots, q)$. Expert judgment is solicited to estimate the temporal (SI_v^T) and financial (SI_v^C) requisites for the execution of each strategy. At this juncture, we consider the strategy implementation effects into the forecasting model. The anticipated project time and cost, factoring in the execution of strategies, are computed using Equations (6) and (7).

$$T_k = T + \sum_v SI_v^T + \sum_v \sum_x RI_x^T + \sum_y RI_y^T \quad (6)$$

$$C_k = C + \sum_v SI_v^C + \sum_v \sum_x RI_x^C + \sum_y RI_y^C \quad (7)$$

To summarize, the final projected time and cost for the project, considering the entirety of risks and strategies, are obtained using Equations (8) and (9), ensuring a holistic and data-driven forecast.

$$T_O = \frac{\sum_{k=1}^m W_k T_k}{\sum_{k=1}^m W_k} \quad (8)$$

$$C_O = \frac{\sum_{k=1}^m W_k C_k}{\sum_{k=1}^m W_k} \quad (9)$$

3) Conclusion

The research underscores the significance of acknowledging risk interdependencies. This recognition not only yields more precise calculations but also engenders more realistic project timelines and budget forecasts. It enhances the management of pivotal risks and curtails overall project duration and expenses. Also, by using the concept of classification, it is possible to cover different situations and conditions of the project and consider all possible situations of risk occurrence. In this research, the method of using the concept of classification in project time and cost estimation has been explained, and the findings show that using the concept of classification increases the accuracy of project time and cost prediction. The study also reveals that neglecting the risk assessment process can lead to substantial underestimations 44.73% in project duration and 31.13% in project costs. Conversely, the implementation of a risk response process can trim project time by 9.66% and costs by 15.14%, relative to just performing risk assessment.

REFERENCES

- Aarthipriya, V., Chitra, G., Poomozhi, J. S. (2020). Risk and its impacts on time and cost in construction projects. *Journal of Project Management*, 5(4), 245-254. <https://doi.org/10.5267/j.jpm.2020.6.002>.
- Al saffar, I. Q., Ezzat, A. W. (2020). Qualitative risk assessment of combined cycle power plant using hazards identification technique. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 43(2), 284-293.
- Alkhawaja, A. S., Varouqa, I. F. (2022). Risks management of infrastructure line services and their impact on the financial costs of road projects in Jordan. *Journal of Measurement: Sensors*, 25, 100647. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100647>.
- Asadabadi, M. R. (2018). The stratified multi-criteria decision-making method. *International Journal of Knowledge-Based Systems*, 162, 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.07.002>.

- Asadabadi, M. R., Saberi, M., Chang, E. (2017). Logistic informatics modelling using concept of stratification (CST). IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 1-7. <https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2017.8015510>.
- Asadabadi, M. R., Saberi, M., Chang, E. (2018). Letter: the concept of stratification and future applications. International Journal of Applied Soft Computing, 66, 292-296. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.02.035>.
- Asadabadi, M. R., Zwikael, O. (2019). Integrating risk into estimations of project activities' time and cost: a stratified approach. European Journal of Operational Research, 291(2), 482-490. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.11.018>.
- Chandanshive, V. B., Kambekar, A. R. (2021). Prediction of building construction project cost using support vector machine. Journal of Industrial Engineering and Strategic Management, 1(1), 31-42. <https://doi.org/10.22115/iesm.2021.297399.1015>.
- Guan, L., Abbasi, A., Ryan, M. J. (2020). Analyzing green building project risk interdependencies using interpretive structural modeling. International Journal of Cleaner Production, 256, 120372. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120372>.
- Guan, L., Abbasi, A., Ryan, M. J. (2021). A simulation-based risk interdependency network model for project risk assessment. International Journal of Decision Support Systems, 148, 113602. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2021.113602>.
- Hasheminejad, N., Zare, A., Farahbakhsh, S., Bamir, M., Zolala, F. (2022). Hazard identification and risk assessment of occupational activities in golgozar mining company, southeast iran (2021). Journal of Occupational Health and Epidemiology, 11(1), 32-40. <https://dx.doi.org/10.52547/johe.11.1.32>.
- Hosseini, S. A., Arjroody, A. R., Akhbari, M., Safa, E., Asadpour, J. (2022). Analyzing the effects of critical risk occurrence probability on time and cost of road construction projects using a schedule plan. International Journal of Transportation Engineering, 10(3), 1121-1137. <https://doi.org/10.22119/ijte.2021.312111.1598>.
- Kermanshachi, S., Pamidimukkala, A. (2023). Robustness analysis of total project cost and schedule delay and overrun indicators of heavy industrial projects. Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction, 15(2), 04523005. <https://dx.doi.org/10.1061/JLADAH.LADR-942>.
- Khalilzadeh, M., Shakeri, H., Zohrehvandi, S. (2021). Risk identification and assessment with the fuzzy DEMATEL-ANP method in oil and gas projects under uncertainty. International Journal of Procedia Computer Science, 181, 277-284. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.147>.
- Koulinas, G. K., Xanthopoulos, A. S., Sidas, K. A., Koulouriotis, D. E. (2021). Risks ranking in a desalination plant construction project with a hybrid AHP, risk matrix, and simulation-based approach. International Journal of Water Resources Management, 35(10), 3221-3233. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02886-4>.
- Leu, S., Liu, Y., Wu, P. (2023). Project cost overrun risk prediction using hidden markov chain analysis. International Journal of Buildings, 13(3), 667. <https://doi.org/10.3390/buildings13030667>.
- Maleki, M. H., Dalvand, H., Jahangirnia, H., Safa, M. (2023). Identifying and prioritizing investment risks in sports projects (case study: tourism industry). International Journal of Advances in Mathematical Finance and Applications, 8(1), 75-94. <https://doi.org/10.22034/amfa.2021.1918106.1536>.
- Mican, C., Fernandes, G., Araujo, M. (2021). A method for project portfolio risk assessment considering risk interdependencies – a network perspective. International Journal of Procedia Computer Science, 196, 948-955. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.096>.
- Thoengsal, J., Tumpu, M. (2022). Analysis of project cost and time performance control using earned value method analysis (EVM-A) (Case study of concrete road construction project). International Journal of Engineering Business and Social Science, 1(2), 80-85. <https://dx.doi.org/10.58451/ijebss.v1i02.15>.
- Zadeh, L. A. (2016). Stratification, target set reachability and incremental enlargement principle. International Journal of Information Sciences, 354, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.02.047>.
- Zhu, F., Hu, H., Xu, F. (2022). Risk assessment model for international construction projects considering risk interdependence using the DEMATEL method. Journal of Plos One, 17(5), e0265972. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265972>.

افزایش دقت پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه با اعمال اثرات مخاطرات پروژه و در نظر گرفتن وابستگی متقابل مخاطرات با استفاده از مفهوم طبقه‌بندی

فاطمه معظمی گودرزی^۱، مریم اشرفی^۲ و سید حسن قدسی پور^۳

۱. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، گرایش مدیریت پروژه، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران. رایانامه:

Fateme.good@aut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران. رایانامه:

Ashrafi.mm@aut.ac.ir

۳. استاد گروه مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران. رایانامه:

Ghodsygo@aut.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
عدم قطعیت در پروژه‌ها احتمال ایجاد حالت‌های مختلفی از وقوع مخاطرات را پدید می‌آورد که باعث کاهش دقت پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه می‌شود. در مقاله حاضر، یک الگوی پیش‌بینی ارائه شده که این دقت را ضمن در نظر گرفتن فرآیندهای مدیریت مخاطره و روابط وابستگی مخاطرات با استفاده از مفهوم طبقه‌بندی، بهبود می‌بخشد. در واقع با استفاده از مفهوم طبقه‌بندی، کلیه حالت‌های وقوع مخاطرات به همراه اثرات آنها بر زمان و هزینه پروژه ارزیابی می‌شود. نتایج پیاده‌سازی الگوی پیشنهادی در یک پروژه احداث سد، افزایش ۴۴.۷۳ درصدی زمان واقعی نسبت به زمان پیش‌بینی شده و افزایش ۳۱.۱۳ درصدی هزینه واقعی نسبت به هزینه پیش‌بینی شده را در صورت در نظر گرفتن مخاطرات و کاهش ۹.۶۶ درصدی زمان پروژه و کاهش ۱۵.۱۴ درصدی هزینه پروژه را در صورت اجرای راهبردهای پاسخگویی نشان می‌دهد و اهمیت اعمال فرآیندهای مدیریت مخاطره در پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه را برجسته می‌کند. انجام تحلیل حساسیت الگوی پیشنهادی نیز ضرورت ارزیابی کلیه طبقات و حالات وقوع مخاطرات پروژه را با استفاده از مفهوم طبقه‌بندی در مراحل ارزیابی و پاسخگویی مخاطرات تایید می‌کند.	نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۳ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۵/۳۰ کلیدواژه‌ها: ارزیابی و پاسخگویی مخاطره، پیش‌بینی زمان و هزینه، مدیریت مخاطره، مفهوم طبقه‌بندی، وابستگی متقابل مخاطرات

استناد: معظمی گودرزی، فاطمه و همکاران. (۱۴۰۴). «افزایش دقت پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه با اعمال اثرات مخاطرات پروژه و در نظر گرفتن وابستگی متقابل مخاطرات با استفاده از مفهوم طبقه‌بندی». مدیریت مهندسی و رایانش نرم، دوره ۱۱ (۱). صص: ۲۱۱-۱۵۶.

<https://doi.org/10.22091/jemsc.2025.11594.1219>



(۱) مقدمه

موفقیت همه سازمان‌ها به‌ویژه سازمان‌های پروژه‌محور، به همسویی پروژه‌های سازمان با برنامه‌ها و اهداف از پیش تعیین شده آن سازمان بستگی دارد و پیش‌بینی نادرست منجر به بروز موانع و چالش‌های جدی برای سازمان‌ها می‌شود. بنابراین جهت انجام پیش‌بینی درست و نزدیک به واقعیت، باید مخاطراتی که در پروژه‌ها وجود دارد را در نظر گرفت و در پیش‌بینی لحاظ کرد.

هدف مدیریت مخاطره جلوگیری یا به حداقل رساندن تأثیرات مخاطرات منفی (تهدیدها) و تحریک یا به حداکثر رساندن تأثیرات مخاطرات مثبت (فرصت‌ها) است (PMBOK® GUIDE, 2017). از آنجاییکه مدیریت مخاطره دارای روشی سیستماتیک است و براساس تجربیات مدیران، کارفرمایان و بطور کلی عوامل موثر بر پروژه مبنی بر احتمال وقوع و شدت پیامد وقوع مخاطرات و تدبیر اقدامات جایگزین به‌منظور جلوگیری از انحراف پروژه از اهداف موردنظر صورت می‌گیرد، بکارگیری صحیح آن موجب می‌شود تا پیش‌بینی دقیق‌تری از زمان و هزینه پروژه حاصل شود. در مقاله حاضر روشی جهت بهبود دقت پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه ضمن در نظر گرفتن مخاطرات، روابط وابستگی متقابل آنها و کلیه حالات ممکن وقوع مخاطرات با استفاده از مفهوم طبقه‌بندی ارائه می‌شود.

مفهوم طبقه‌بندی، یک رویکرد جهت حل مسئله و طبقه‌بندی محیط تصمیم‌گیری است، بصورتیکه لایه‌هایی از داده‌ها، در آن به رقابت می‌پردازند (Zadeh, 2016). این مفهوم، سیستمی را توصیف می‌کند که از طریق تعدادی از حالت‌ها انتقال می‌یابد تا به حالت هدف برسد. حالت‌های دارای ورودی و خروجی مرتبط، براساس فاصله آنها از مجموعه هدف، به‌صورت تدریجی طبقه‌بندی می‌شوند (Asadabadi et al., 2018).

مفهوم طبقه‌بندی مجهز به فرآیند بزرگنمایی افزایشی است که این ویژگی منحصر به فرد، انعطاف‌پذیری این مفهوم را برای رسیدگی به مسائل واقعی فراهم می‌کند و باعث می‌شود سیستم در مقابل خطرات احتمالی و مخاطرات، مطمئن‌تر طراحی شود و دقت تخمین‌ها افزایش پیدا کند (Asadabadi & Zwikael, 2019).

در این مقاله، طبق مفهوم طبقه‌بندی، پروژه به‌عنوان سیستمی در نظر گرفته می‌شود که در حالت‌ها با احتمالات معین عبور می‌کند؛ سیستمی که ورودی‌های آن، مخاطرات و خروجی آن، زمان و هزینه اصلاح شده پروژه می‌باشد. در این سیستم، طبقه اول شامل وضعیت فعلی است که در آن هیچ‌یک از مخاطرات رخ نمی‌دهد، طبقه دوم شامل حالاتی است که تنها یک مخاطره رخ می‌دهد و طبقات بعدی ترکیبی از رخ دادن مخاطرات را شامل می‌شود. با انتقال بین حالات، تمام حالات ممکن در نظر گرفته می‌شود. پس از حذف حالاتی با احتمال کم، خروجی سیستم با در نظر گرفتن حالات محتمل‌تر به دست می‌آید.

مزیت روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها این است که به دلیل در نظر گرفتن تمام حالات ممکن وقوع مخاطرات به همراه تمام احتمالات وقوع مستقل و وابسته، پیش‌بینی زمان و هزینه بسیار دقیق‌تر و واقعی‌تر ارائه می‌شود و پیش‌بینی زمان و هزینه پس از گام شناسایی، ارزیابی و پاسخگویی به مخاطرات ارائه می‌شود.

بنابراین نوآوری‌های الگوی پیشنهادی را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

- در نظر گرفتن روابط وابستگی متقابل مخاطرات در اعمال تأثیر وقوع مخاطرات بر پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه.

- استفاده از مفهوم طبقه‌بندی در مدیریت مخاطره پروژه، جهت ارزیابی احتمالات و حالات مختلف وقوع مخاطرات و محاسبه شدت اثر وقوع مخاطرات بر زمان و هزینه پروژه.
 - اعمال تاثیر راهبردهای پاسخگویی به مخاطره در همه حالت‌های طبقه‌بندی شده و در نتیجه در پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه.
- در ادامه در بخش ۲، تحقیقات صورت گرفته در زمینه افزایش دقت پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه، شناسایی، ارزیابی و پاسخگویی به مخاطرات، روابط وابستگی بین مخاطرات و مفهوم طبقه‌بندی ارائه می‌شود. در بخش ۳، چهارچوب و ساختار کلی روش پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه تشریح می‌گردد. در بخش ۴، یک مطالعه موردی جهت اجرای روش پیشنهادی به منظور اعتبارسنجی و ارزیابی کارایی آن ارائه می‌شود و در بخش ۵، حساسیت پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه در مرحله ارزیابی مخاطرات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در بخش ۶، نتایج کلی حاصل شده و پیشنهادهایی جهت توسعه تحقیقات آینده مطرح می‌گردد.

۲) پیشینه تحقیق

تحقیقات پیشین در زمینه‌های مربوط به موضوع مقاله حاضر به چهار دسته کلی قابل تقسیم هستند که به صورت جداگانه به تحقیقات مربوط به هریک از دسته‌ها پرداخته می‌شود.

۲-۱) افزایش دقت پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه

کولیناس و همکاران (۲۰۲۱) یک الگو ترکیبی مبتنی بر فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، ماتریس مخاطره و شبیه‌سازی مونت کارلو را پیشنهاد کردند که علاوه بر اولویت‌بندی مخاطرات، قابلیت پیش‌بینی‌های دقیق‌تر از زمان اتمام پروژه را نیز دارد. آنها نشان دادند که رویکرد پیشنهادی، مدت زمان پروژه را دقیق‌تر از روش PERT پیش‌بینی می‌کند و می‌تواند در شرایط عدم قطعیت، اطلاعات مفیدی را به مدیران مخاطره ارائه دهد.

چاندانشیو^۱ و کامبکار^۲ (۲۰۲۱) ضمن اشاره به اینکه برآورد هزینه یکی از حیاتی‌ترین جنبه‌های مدیریت پروژه‌های ساخت‌وساز و موثر در موفقیت پروژه است، به توسعه یک الگو پیش‌بینی هزینه با استفاده از تحلیل ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) پرداختند که بتواند هزینه‌های پروژه را بطور دقیق پیش‌بینی کند.

تونگسال^۳ و تومپو^۴ (۲۰۲۲) با استفاده از روش ارزش کسب‌شده، زمان و هزینه پروژه را برآورد می‌کنند و نشان می‌دهند که این روش می‌تواند در ارزیابی عملکرد پروژه کمک کند و میزان انحرافات رخ داده در زمان و هزینه پروژه را محاسبه کند تا قبل از بیشتر شدن انحرافات، اقدامات کنترلی لازم صورت گیرد.

لیو^۵ و همکاران (۲۰۲۳) یک الگو اولیه براساس زنجیره مارکوف پنهان برای پیش‌بینی میزان افزایش هزینه پروژه را معرفی کردند که می‌تواند یک هشدار زود هنگام از افزایش هزینه‌ها به مدیر پروژه ارائه دهد. آنها در این روش، مخاطرات را مستقل از یکدیگر فرض کرده‌اند و پیشنهاد می‌کنند در تحقیقات بعدی، روابط وابستگی مخاطرات در نظر گرفته شود.

¹ Chandanshive

² Kambekar

³ Thoengsal

⁴ Tumpu

⁵ Leu

کرمانشاهی^۶ و پامیدیموکالا^۷ (۲۰۲۳) با تعیین شاخص‌های زمان و هزینه پروژه و ارزیابی قابلیت اطمینان هریک از این شاخص‌ها، دقت پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه را افزایش می‌دهند و به تصمیم‌گیرندگان در تخصیص منابع کارآمدتر کمک می‌کنند. آنها برای تعیین استحکام شاخص‌ها از روش رگرسیون و روش تجزیه و تحلیل محدود استفاده کردند و یکی از شاخص‌های مهم و تاثیرگذار را تعداد اشخاصی که درگیر پروژه هستند، معرفی کردند.

طبق مطالعات صورت گرفته، برخی از تحقیقات انجام شده در زمینه پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه، مخاطرات را در نظر نگرفته‌اند که پس از اجرای پروژه، در صورت وقوع مخاطرات، پروژه با تاخیر زمانی و افزایش هزینه نسبت به آنچه پیش‌بینی و برنامه‌ریزی شده است، مواجه می‌شود. برخی دیگر نیز مخاطرات را مستقل در نظر گرفته‌اند و از تاثیرات متقابل وقوع مخاطرات بر روی همدیگر صرف‌نظر کرده‌اند که در این صورت دقت پیش‌بینی کم است زیرا در واقعیت، مخاطرات به همدیگر وابسته هستند و روی همدیگر تاثیر می‌گذارند.

۲-۲) شناسایی، ارزیابی و پاسخگویی به مخاطرات

الصفار و عزت (۲۰۲۰) با روش‌های HAZOP و ETA به شناسایی و ارزیابی مخاطرات نیروگاه سیکل ترکیبی پرداختند و نحوه پیش‌بینی احتمال وقوع و شدت اثر وقوع مخاطرات را شرح دادند و سپس مخاطرات را با توجه به شدت اثر وقوع آنها طبقه‌بندی کردند. آنها به منظور تاکید بر اهمیت ارزیابی مناسب مخاطرات، بیان کردند که ارزیابی مناسب مخاطره موجب درک درستی از سطح مخاطره می‌شود و تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازد تا در تعیین زمان و هزینه، مخاطره را به سطح رضایت‌بخشی کاهش دهند.

آرتیپریا^۸ و همکاران (۲۰۲۰) در یک مطالعه موردی مخاطرات و تاثیر آن بر زمان و هزینه را شناسایی و تجزیه و تحلیل کردند. آنها با استفاده از نرم‌افزار Primavera، نتایج پیش‌بینی زمان و هزینه را قبل و بعد از در نظر گرفتن مخاطرات ارائه دادند. همچنین در این مطالعه، مهمترین دلایل افزایش هزینه را نوسانات نرخ مواد، برنامه‌ریزی نامناسب، برآورد نادرست و غیره برشمردند. بنابراین نتیجه گرفتند که با راهبردهای کاهش مختلف می‌توان مخاطرات را مرتب کرده و از هدر رفتن زمان و هزینه جلوگیری کرد.

الخواجه^۹ و واروقا^{۱۰} (۲۰۲۲) برای اولین بار به چگونگی تاثیر راهبردهای مدیریت مخاطره بر مخاطرات عملیاتی در پروژه‌های زیرساختی پرداختند تا به شناسایی مخاطرات و تعیین مهمترین عناصر موثر بر افزایش هزینه‌ها کمک کنند. آنها نشان دادند که شناخت و رسیدگی به مخاطرات برای موفقیت پروژه‌های زیرساختی ضروری است.

هاشمی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۲) برای شناسایی و ارزیابی مخاطرات پروژه معدن گل‌گهر، از روش FMEA و نرم‌افزار SPSS استفاده کردند و نتیجه گرفتند که با شناسایی، کنترل به موقع و انجام منظم ارزیابی مخاطرات می‌توان از حوادث احتمالی معدن جلوگیری کرد.

حسینی و همکاران (۲۰۲۲) با نظرخواهی از کارشناسان، مخاطرات مربوط به پروژه‌های راه‌سازی را شناسایی و با

^۶ Kermanshachi

^۷ Pamidimukkala

^۸ Aarthipriya

^۹ Alkhawaja

^{۱۰} Varouqa

روش FMEA اولویت‌بندی کردند و با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو به تجزیه و تحلیل کمی اثرات آنها بر برنامه‌ریزی زمان و هزینه پروژه پرداختند. در نهایت، راهبردهای پاسخگویی را به منظور کاهش اثرات مخاطرات بر زمان و هزینه پروژه شناسایی کردند.

ملکی و همکاران (۲۰۲۳) به شناسایی مخاطرات سرمایه‌گذاری پروژه‌های ورزشی پرداختند سپس با استفاده از شیوه DEMATEL، مخاطرات را ارزیابی و مخاطرات باقیمانده را اولویت‌بندی کردند تا از نتایج آن بتوان برای مدیریت و کاهش مخاطرات سرمایه‌گذاری در پروژه‌های ورزشی استفاده کرد. آنها نتیجه گرفتند که قبل از شروع پروژه، مدیریت صحیح اولویت‌ها و تخصیص صحیح منابع به فعالیت‌ها نقش حیاتی در مدیریت مخاطره دارند. طبق مطالعات صورت گرفته، برخی از تحقیقات انجام شده در زمینه شناسایی، ارزیابی و پاسخگویی به مخاطرات، مخاطرات را مستقل در نظر گرفته‌اند که باعث کاهش دقت پیش‌بینی می‌شود.

۲-۳) وابستگی متقابل مخاطرات

گوان^{۱۱} و همکاران (۲۰۲۰) یک الگو ترکیبی تجزیه و تحلیل مخاطره برای به دست آوردن وابستگی متقابل مخاطرات و مخاطره بحرانی در پروژه‌های ساختمان سبز توسعه دادند که در آن یک ساختار شبکه سلسله‌مراتبی از روابط علت و معلولی بین مخاطرات ساخته می‌شود و مخاطرات بحرانی مشخص می‌شوند. آنها نشان دادند تجزیه و تحلیل روابط وابستگی متقابل بین مخاطرات نقش مهمی در دستیابی به نتایج دقیق شناسایی و ارزیابی مخاطرات در پروژه‌های ساختمان سبز دارد.

گوان و همکاران (۲۰۲۱) یک الگو شبکه وابستگی متقابل مخاطره مبتنی بر شبیه‌سازی مونت کارلو را برای ارزیابی بهتر مخاطرات و برنامه‌ریزی موثرتر پاسخگویی به مخاطره، معرفی کردند و دو مطالعه موردی برای نشان دادن کاربرد و اثربخشی الگو پیشنهادی ارائه دادند. آنها در پایان به ضرورت و اهمیت در نظر گرفتن وابستگی‌های متقابل مخاطرات در فرآیندهای مدیریت مخاطره اشاره کردند.

خلیل‌زاده و همکاران (۲۰۲۱) الگوی ترکیبی جهت شناسایی و ارزیابی مخاطرات معرفی کردند و به شناسایی مخاطرات و روابط متقابل آنها با استفاده از روش DEMATEL فازی پرداختند سپس وزن اهمیت مخاطرات را با فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) تعیین و مخاطرات را اولویت‌بندی کردند. آنها نشان دادند با در نظر گرفتن روابط متقابل مخاطرات، می‌توان مشخص کرد بهبود وضعیت هر مخاطره چقدر در بهبود وضعیت سایر مخاطرات موثر است.

میکان^{۱۲} و همکاران (۲۰۲۱) روشی را برای ارزیابی مخاطره سبد پروژه توسعه دادند که وابستگی متقابل بین مخاطرات را به عنوان یک شبکه در نظر می‌گیرد و نشان دادند که تحلیل وابستگی متقابل مخاطرات امکان تشخیص بهتر تاثیرات مستقیم و همچنین تاثیر بر سایر مخاطرات را فراهم می‌کند تا راهبردهای پاسخگویی برای مخاطرات موثرتر، تعریف شود.

زو^{۱۳} و همکاران (۲۰۲۲) یک الگو ارزیابی مخاطره برای پروژه‌های ساختمانی بین‌المللی پیشنهاد کردند که مشکلات وابستگی متقابل مخاطرات و رتبه‌بندی ذهنی را در الگوهای سنتی حل می‌کند. این رویکرد با استفاده از روش

¹¹ Guan

¹² Mican

¹³ Zhu

DEMATEL، وابستگی متقابل مخاطرات را تعیین می‌کند و چهارچوبی یکپارچه برای شناسایی، تجزیه و تحلیل و اولویت‌بندی مخاطرات در پروژه‌های ساختمانی بین‌المللی به منظور لحاظ کردن روابط وابستگی متقابل مخاطرات در فرآیند مدیریت مخاطره ارائه می‌دهد. آنها با اجرای الگو پیشنهادی خود در یک پروژه واقعی نشان می‌دهند که این الگو برای پروژه‌های ساختمانی بین‌المللی مفید و کاربردی است.

طبق مطالعات صورت گرفته، اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه وابستگی متقابل مخاطرات، به پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه پرداخته‌اند و همچنین از روش‌هایی استفاده کرده‌اند که برخی از آنها محاسبات زیادی دارند که زمان‌بر و احتمال خطا در آنها زیاد است و برخی دیگر قادر به تعیین احتمال انتقال بین مخاطرات وابسته نیستند.

۲-۴) مفهوم طبقه‌بندی (CST¹⁴)

اسدآبادی و همکاران (۲۰۱۷) کاربرد مفهوم طبقه‌بندی را در زمینه‌های انفورماتیک لجستیک و قرارداد نشان دادند و مفید و عملی بودن این مفهوم را در زمینه‌های مختلف ثابت کردند. علاوه بر این، آنها نسخه سه‌بعدی مفهوم طبقه‌بندی را معرفی کردند تا به فرآیند الگوسازی کمک کنند و انگیزه مطالعات بیشتر برای اعمال این مفهوم باشد.

اسدآبادی و همکاران (۲۰۱۸) به تشریح مفهوم طبقه‌بندی، مزایای آن و همچنین شباهت‌های این مفهوم با روش‌های دیگر پرداختند و بیان کردند مفهوم طبقه‌بندی دارای ویژگی‌های منحصر به فردی است که انعطاف‌پذیری این مفهوم را برای رسیدگی به مسائل واقعی فراهم می‌کند. آنها زمینه‌های کاربرد این مفهوم را نیز مورد بحث قرار دادند.

اسدآبادی (۲۰۱۸) به منظور بهبود کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، به نوسانات احتمالی در وزن‌دهی معیارها می‌پردازد و به همراه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از مفهوم طبقه‌بندی استفاده می‌کند. او نشان می‌دهد که این روش ترکیبی می‌تواند موقعیت‌های مختلفی را پوشش دهد که بر یک تصمیم‌تأثیرگذار هستند. به عبارت دیگر محیطی که در آن تصمیم‌گیری می‌شود، تحت شرایط مختلف با احتمالات مربوطه در نظر گرفته می‌شود تا شک و تردید در مورد بهترین تصمیم کاهش یابد.

اسدآبادی و زویکائیل^{۱۵} (۲۰۱۹) مفهوم طبقه‌بندی و اینکه چگونه می‌توان از مفهوم طبقه‌بندی برای محاسبه برآورد زمان و هزینه فعالیت‌های درگیر در یک پروژه استفاده کرد را توضیح می‌دهند و استدلال می‌کنند که قابلیت اطمینان برآورد زمان و هزینه فعالیت‌های پروژه را ضمن سطح بالای مخاطره و عدم اطمینان موجود در مراحل اولیه پروژه‌ها، می‌توان با استفاده از "مفهوم طبقه‌بندی" بهبود بخشید.

طبق مطالعات صورت گرفته، برخی از تحقیقات انجام شده در زمینه مفهوم طبقه‌بندی (CST) صرفاً این مفهوم، مزایا و کاربردهای آن را شرح داده‌اند و برخی دیگر نیز از آن در زمینه‌هایی بجز پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه و مدیریت مخاطره استفاده کرده‌اند. با وجود اهمیت و بسیار کاربردی بودن مفهوم طبقه‌بندی، تحقیقات که علاوه بر در نظر گرفتن مخاطرات و وابستگی متقابل آنها، به پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه با استفاده از این مفهوم پرداخته باشند، مشاهده نمی‌شود. خلاصه‌ای از نتایج مطالعات صورت گرفته در جدول ۱ آورده شده است.

¹⁴ Concept of Stratification

¹⁵ Zwikael

جدول ۱. خلاصه مطالعات صورت گرفته از تحقیقات پیشین

ردیف	نویسنده/نویسندگان	سال	پیش‌بینی		مدیریت مخاطره			وابستگی مخاطرات	مفهوم طبقه‌بندی
			زمان	هزینه	شناسایی	ارزیابی	پاسخگویی		
۱	Asadabadi et al.	۲۰۱۷							✓
۲	Asadabadi et al.	۲۰۱۸							✓
۳	Asadabadi	۲۰۱۸							✓
۴	Asadabadi & Zwikael	۲۰۱۹	✓	✓		✓			✓
۵	Al saffar & Ezzat	۲۰۲۰			✓	✓			
۶	Aarthipriya et al.	۲۰۲۰	✓	✓		✓			
۷	Guan et al.	۲۰۲۰			✓	✓		✓	
۸	Guan et al.	۲۰۲۱			✓	✓	✓	✓	
۹	Koulinas et al.	۲۰۲۱	✓			✓			
۱۰	Chandanshive & Kambekar	۲۰۲۱		✓					
۱۱	Khalilzadeh et al.	۲۰۲۱			✓	✓		✓	
۱۲	Mican et al.	۲۰۲۱				✓	✓	✓	
۱۳	Thoengsal & Tumpu	۲۰۲۲	✓	✓					
۱۴	Alkhawaja & Varouqa	۲۰۲۲		✓	✓	✓	✓		
۱۵	Hasheminejad et al.	۲۰۲۲			✓	✓			
۱۶	Hosseini et al.	۲۰۲۲	✓	✓	✓	✓	✓		
۱۷	Zhu et al.	۲۰۲۲			✓	✓		✓	
۱۸	Leu et al.	۲۰۲۳		✓	✓	✓			
۱۹	Kermanshachi & Pamidimukkala	۲۰۲۳	✓	✓					
۲۰	Maleki et al.	۲۰۲۳			✓	✓			
۲۱	This article	۲۰۲۴	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

۲-۵) شکاف‌های تحقیقات

با بررسی تحقیقات پیشین، می‌توان نتیجه گرفت دلیل اختلاف زمان و هزینه واقعی پروژه‌ها با زمان و هزینه برنامه‌ریزی شده که امروزه بسیار اتفاق می‌افتد، عدم وجود یک روش جامع و کامل جهت پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه است تا دربرگیرنده تمام مخاطرات، روابط وابستگی متقابل آنها و راهبردهای پاسخگویی باشد زیرا در نظر نگرفتن مخاطرات و تاثیری که وقوع هر مخاطره بر وقوع سایر مخاطرات می‌گذارد منجر به تغییر زمان و هزینه واقعی نسبت به آنچه پیش‌بینی شده است، می‌گردد. علاوه بر در نظر گرفتن مخاطرات، برنامه‌ریزی راهبردهای کاهش مخاطره منجر به کاهش اثر مخاطرات بر زمان و هزینه پروژه و در نتیجه صرفه‌جویی در زمان و هزینه می‌شود.

برای نمونه: روش FMEA یکی از معروف‌ترین روش‌هایی است که برای شناسایی و ارزیابی مخاطرات استفاده می‌شود و در اغلب تحقیقات پیشین که از این روش استفاده شده است، اهمیت نسبی میان فاکتورهای ارزیابی و تاثیر مخاطرات برهم در نظر گرفته نشده است و اینها از کاستی‌های این روش است (معمارپور غیاثی و قیدر خلخالی، ۱۴۰۲).

مقاله حاضر، به منظور رفع نواقص موجود و بهبود دقت پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه با استفاده از مفهوم طبقه‌بندی به در نظر گرفتن کلیه حالات ممکن وقوع مخاطرات با احتساب احتمالات وقوع مستقل مخاطرات و احتمالات انتقال بین مخاطرات مرتبط در یک الگوی پیش‌بینی می‌پردازد. مزیت این روش در مقایسه با تحقیقات قبلی این است که علاوه بر در نظر گرفتن همه موارد ذکر شده، پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه را پس از دو مرحله ارزیابی مخاطرات و پاسخگویی به مخاطرات محاسبه می‌کند تا ضمن افزایش دقت پیش‌بینی، قدرت تصمیم‌گیری برای اجرا یا عدم اجرای راهبردهای پاسخگویی نیز افزایش یابد.

بنابراین الگوی پیشنهادی در مقایسه با روش‌های قبلی کامل‌تر و دقیق‌تر است. برای نمونه در مدیریت مخاطره براساس استاندارد PMBOK، روابط بین مخاطرات و اثری که مخاطرات بر هم دارند اعمال نمی‌شود و در ضمن حالات مختلفی که ممکن است مخاطرات رخ بدهند و نتایج متفاوتی ایجاد کنند، در نظر گرفته نمی‌شود اما در الگوی پیشنهادی همه روابط و تاثیر مخاطرات بر وقوع یکدیگر و همچنین حالات مختلف ممکن از وقوع مخاطرات در نظر گرفته می‌شود تا دقیق‌ترین و کمترین زمان و هزینه پیش‌بینی شود. همچنین شبیه‌سازی مونت کارلو به دلیل استفاده از نمونه‌سازی آماری، پاسخ‌های تقریبی فراهم می‌کند و چون از فرضیات و اطلاعات قبلی استفاده می‌کند، ممکن است فرضیات غلط قبلی را گسترش دهد. اما در الگوی پیشنهادی از اطلاعات به‌روز و دقیق استفاده می‌شود و به دلیل رتبه‌بندی مخاطرات و حالات ممکن، این روش به پیچیدگی و سنگینی شبیه‌سازی مونت کارلو نمی‌شود.

مفهوم طبقه‌بندی در الگوی پیشنهادی نسبت به رویکردهای یادگیری ماشین، قابل درک‌تر است و تمام حالات ممکن را در نظر می‌گیرد. همچنین مفهوم طبقه‌بندی مجهز به فرآیند بزرگنمایی افزایشی است که این ویژگی منحصر به فرد، انعطاف پذیری این مفهوم را برای رسیدگی به مسائل واقعی فراهم می‌کند و باعث می‌شود سیستم در مقابل خطرات احتمالی و مخاطرات، مطمئن‌تر طراحی شود و دقت تخمین‌ها افزایش پیدا کند. روش‌های یادگیری ماشین می‌توانند با شناسایی الگوها و همبستگی‌ها در داده‌ها که ممکن است در روش‌های سنتی نادیده گرفته شوند، روند پیش‌بینی را بهبود بخشند (سعیدی مبارکه و عموزاده خلیلی، ۱۴۰۳) اما نیازمند داده‌های گسترده و جامعی است و نسبت به الگوی پیشنهادی بسیار زمان‌بر و مستعد خطا است.

(۳) روش تحقیق

الگوی ارائه‌شده در مقاله حاضر به پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه با در نظر گرفتن اثرات مخاطرات پروژه و روابط وابستگی متقابل بین مخاطرات با استفاده از مفهوم طبقه‌بندی می‌پردازد. این الگو از ۱۱ مرحله تشکیل شده است که روش و نحوه محاسبات هر مرحله در ادامه به تفکیک شرح داده شده است. با وارد کردن داده‌ها و فرمول‌های الگوی پیشنهادی در برنامه اکسل، روند محاسبات بسیار ساده‌تر و سریع‌تر می‌شود. به همین منظور و برای ساده‌تر کردن کاربرد این الگو، یک نسخه فایل اکسل به عنوان قالب الگوی پیشنهادی، فرمول‌نویسی و ضمیمه مقاله شده است و با وارد کردن داده‌های پروژه، محاسبات بطور خودکار انجام شده و زمان و هزینه پیش‌بینی شده نهایی پروژه را ضمن در نظر گرفتن مخاطرات، قبل و بعد

از اجرای راهبردهای پاسخگویی، ارائه می‌دهد. به عنوان مثال، داده‌های مربوط به مطالعه موردی مقاله در آن وارد شده است و نتایج نشان داده می‌شود.

پارامترها و شاخص‌های مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. شرح پارامترها و شاخص‌های بکار رفته در محاسبات الگوی مقاله حاضر

نماد	شرح
$i = 1, 2, \dots, N$	شاخص مربوط به شماره مخاطره
$j \subset i$	شاخص مربوط به شماره مخاطره تاثیرگذار بر وقوع مخاطره نام
$u = 1, 2, \dots, n$	شاخص مربوط به شماره مخاطره پُر اهمیت
$h = 1, 2, \dots, M$	شاخص مربوط به شماره حالت وقوع مخاطرات
$k = 1, 2, \dots, m$	شاخص مربوط به شماره حالت برگزیده وقوع مخاطرات
$l \subset u$	شاخص مربوط به شماره مخاطره موجود در حالت نام
$v = 1, 2, \dots, q$	شاخص مربوط به شماره راهبرد پاسخگویی
$x = n+1, n+2, \dots$	شاخص مربوط به شماره مخاطره ثانویه به وجود آمده بر اثر راهبرد نام
$y \subset l$	شاخص مربوط به شماره مخاطره باقیمانده در حالت نام
T	زمان پیش‌بینی شده اولیه پروژه
C	هزینه پیش‌بینی شده اولیه پروژه
R_i	مخاطره نام
SP_i	احتمال وقوع مستقل مخاطره نام
$TP_{j,i}$	احتمال رخ دادن مخاطره نام و منجر شدن آن به وقوع مخاطره نام
COP_i	احتمال وقوع کل مخاطره نام
RI_u^T	میزان پیامد وقوع مخاطره نام بر زمان پروژه
RI_u^C	میزان پیامد وقوع مخاطره نام بر هزینه پروژه
M_h	حالت نام وقوع مخاطرات
W_k	وزن حالت نام
T_k	زمان پروژه در حالت نام
C_k	هزینه پروژه در حالت نام
T_R	زمان پیش‌بینی شده پروژه با در نظر گرفتن مخاطرات
C_R	هزینه پیش‌بینی شده پروژه با در نظر گرفتن مخاطرات
S_v	راهبرد پاسخگویی نام
SI_v^T	زمان اجرای راهبرد نام
SI_v^C	هزینه اجرای راهبرد نام
T_O	زمان پیش‌بینی شده پروژه با اجرای راهبردها
C_O	هزینه پیش‌بینی شده پروژه با اجرای راهبردها

۳-۱) پیش‌بینی اولیه زمان و هزینه پروژه

در این گام، زمان (T) و هزینه (C) پیش‌بینی شده اولیه پروژه از گروه مدیریت پروژه دریافت می‌شود تا با شناسایی و ارزیابی مخاطرات، دقت پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه افزایش یابد.

۳-۲) شناسایی مخاطرات پروژه و وابستگی متقابل مخاطرات

ابتدا مخاطرات پروژه (R_i) با روش طوفان فکری و ساختار شکست مخاطره (RBS) تعیین می‌شوند سپس با تشکیل ماتریس مقایسات زوجی، وجود روابط وابستگی احتمالی بین مخاطرات بررسی می‌شود و شبکه وابستگی متقابل مخاطرات ترسیم می‌گردد. اعضای طوفان فکری، تیم مدیریت مخاطره، کارشناسان و متخصصین حوزه مربوطه هستند. در ماتریس مقایسات زوجی، خانه‌های بالای محور اصلی در نظر گرفته می‌شوند تا دوبه‌دو مخاطرات بررسی شوند که وقوع هریک بر وقوع دیگری تاثیر گذار است یا خیر. مزیت عمده بررسی دوبه‌دو، دقت بالای آن است که موجب می‌شود همه داده‌ها بررسی شوند (نظری فرخی و همکاران، ۱۴۰۲).

۳-۳) ارزیابی پارامترهای احتمال وقوع هر مخاطره

هر مخاطره یک احتمال وقوع مستقل (SP) دارد که این احتمال وقوع، مستقل از تاثیر وقوع سایر مخاطرات است زیرا با فرض مستقل بودن مخاطرات از همدیگر، ارزیابی می‌گردد. همچنین احتمال انتقال بین مخاطرات مرتبط ($TP_{j,i}$) برابر با احتمال رخ دادن مخاطره زام و منجر شدن آن به وقوع مخاطره زام است. یعنی مخاطره زام روی مخاطره زام تاثیر گذار است و با وقوع مخاطره زام با احتمال TP، مخاطره زام نیز رخ می‌دهد. با استفاده از داده‌های تاریخی و در صورت عدم وجود اطلاعات، با روش قضاوت خبرگان، احتمال وقوع مستقل هر مخاطره (SP_i) و احتمال انتقال بین مخاطرات مرتبط ($TP_{j,i}$) ارزیابی می‌شوند. منظور از خبرگان، تیم پروژه و کارشناسان دارای تجربه در پروژه‌های تکمیل شده مشابه اخیر است.

۳-۴) محاسبه احتمال وقوع کل هر مخاطره

احتمال وقوع کل هر مخاطره (COP^{16}) با توجه به نظریه احتمالات، با فرمول (۱) محاسبه می‌شود که در آن تاثیر وقوع سایر مخاطرات بر هر مخاطره نیز لحاظ می‌شود. درواقع COP هر مخاطره احتمال کلی وقوع آن مخاطره است که احتمال وقوع مخاطرات دیگر که بر این مخاطره تاثیر گذار هستند نیز در نظر گرفته شده‌است.

$$COP_i = 1 - \left[(1 - SP_i) \times \prod_j (1 - TP_{j,i}) \right] \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

$j = \{ \text{مخاطرات تاثیر گذار بر وقوع مخاطره زام} \}$

در فرمول (۱)، COP_i احتمال وقوع کل مخاطره زام، SP_i احتمال وقوع مستقل مخاطره زام، $TP_{j,i}$ احتمال رخ دادن مخاطره زام و منجر شدن آن به وقوع مخاطره زام و N تعداد کل مخاطرات شناسایی شده‌است.

¹⁶ Calculated Occurrence Probability

۳-۵) رتبه‌بندی سطوح اهمیت مخاطرات

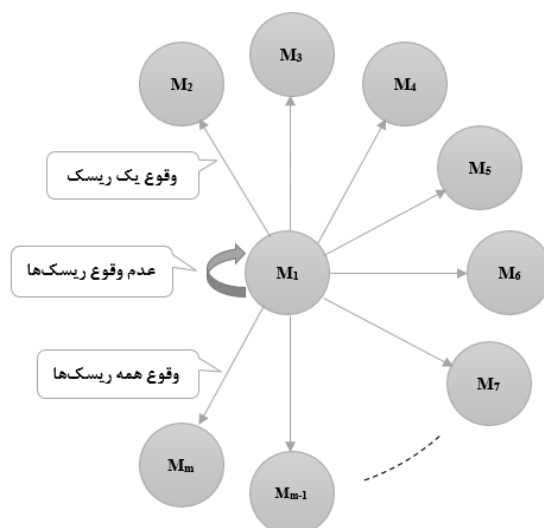
اولویت‌بندی مخاطرات با استفاده از ماتریس احتمال و اثر انجام می‌شود. ابتدا دو جدول امتیازدهی احتمال وقوع مخاطره و شدت اثر وقوع مخاطره طراحی می‌گردد و براساس آنها به هر مخاطره دو شاخص عددی تعلق می‌گیرد که مربوط به سطح احتمال وقوع و سطح شدت اثر وقوع آن مخاطره است. سپس با توجه به ماتریس احتمال و اثر مشخص شده، مخاطرات براساس ترکیب احتمال وقوع و شدت اثر وقوع، طبقه‌بندی شده و مخاطرات پُر اهمیت مشخص می‌شوند تا ادامه محاسبات بر روی مخاطرات پُر اهمیت انجام شود.

۳-۶) برآورد دقیق اثر هر مخاطره بر زمان و هزینه پروژه

در گام قبل، برای شدت اثر وقوع هر مخاطره، یک شاخص عددی به‌دست آمد که بطور تقریبی سطح پیامد آن مخاطره را تعیین می‌کند اما در این گام، با استفاده از نظرات خبرگان برای هر یک از مخاطرات پُر اهمیت، میزان دقیق تاثیر آن مخاطره بر زمان و هزینه پروژه محاسبه می‌شود. درواقع مقدار افزایش زمان پروژه (RI_u^T) و مقدار افزایش هزینه پروژه (RI_u^C) در صورت وقوع هر یک از مخاطرات ($u = 1, 2, \dots, n$) برآورد می‌گردد.

۳-۷) طبقه‌بندی حالات وقوع مخاطرات پُر اهمیت

در این گام، کلیه حالات ممکن وقوع مخاطرات پُر اهمیت ($M_h, h = 1, 2, \dots, M$) با روش مفهوم طبقه‌بندی به‌دست می‌آیند. ابتدا پروژه به‌عنوان سیستمی در نظر گرفته می‌شود که در حال حاضر در حالت M_1 قرار دارد و ممکن است در این حالت بماند و یا با وقوع ترکیبی از مخاطرات از حالت فعلی (M_1) به حالت M_h برود. وزن حالت M_h نسبت به سایر حالت‌ها برابر با W_h می‌باشد. مجموعه حالات این سیستم در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱. مجموعه حالات ممکن وقوع مخاطرات در یک سیستم

در این سیستم، طبقه اول شامل حالت فعلی است که در آن هیچ مخاطره‌ای رخ نمی‌دهد. با دریافت ورودی یعنی وقوع یک مخاطره، طبقه دوم ایجاد می‌شود. بنابراین طبقه دوم شامل حالاتی است که در آن تنها یک مخاطره رخ می‌دهد و

همینطور با وقوع مخاطرات، طبقات بعدی که شامل ترکیبی از مخاطرات هستند، ایجاد می‌شوند تا تمام n مخاطره پر اهمیت شناسایی شده، وارد سیستم شود. تعداد کل حالات ممکن یک سیستم که شامل n مخاطره می‌باشد، برابر با $M=2^n$ است که نشان می‌دهد در صورت زیاد بودن تعداد مخاطرات، تعداد حالات نیز بسیار زیاد خواهد شد. بنابراین به منظور کاهش پیچیدگی محاسبات و نادیده گرفتن حالاتی که تاثیر چندانی بر نتایج ندارند، با استفاده از شاخص‌های عددی مخاطرات موجود در هر حالت، یک امتیاز از a تا d برای آن حالت محاسبه می‌شود. بر این اساس، پس از تعیین حالات طبقات اول و دوم، حالاتی از طبقه دوم به طبقه سوم انتقال می‌یابند که حداقل امتیاز مشخص شده را داشته باشند و به همین صورت حالات طبقات بعدی نیز تعیین می‌گردند. حالات برگزیده ($k=1,2,\dots,m$) به صورت مستقل فرض می‌شوند.

بر اساس امتیاز هر حالت، یک وزن (Wh) به آن حالت اختصاص داده می‌شود و چون امتیاز هر حالت از شاخص‌های عددی احتمال وقوع و شدت اثر وقوع مخاطرات موجود در آن حالت به دست می‌آید، هرچه احتمال وقوع و شدت اثر وقوع مخاطرات موجود در یک حالت بیشتر باشد، شاخص‌های عددی مخاطرات بزرگتر و در نتیجه امتیاز آن حالت به a نزدیکتر و وزن بیشتری به آن تعلق می‌گیرد. بنابراین می‌توان به حالات با امتیاز a تا d ، به ترتیب وزن ۴ تا ۱ را اختصاص داد. همچنین زمان و هزینه پیش‌بینی شده پروژه در صورت وقوع هریک از حالات ضمن در نظر گرفتن اثرات مخاطرات به ترتیب با فرمول‌های (۲) و (۳) محاسبه می‌شوند.

$$T_k = T + \sum_l RI_l^T \quad (2)$$

$$C_k = C + \sum_l RI_l^C \quad (3)$$

$$l = \{\text{مخاطرات موجود در حالت } k\}$$

طبق فرمول‌های (۲) و (۳)، زمان/هزینه پیش‌بینی شده پروژه در صورت وقوع حالت k ام، با افزودن مجموع میزان پیامد وقوع مخاطرات موجود در آن حالت بر زمان/هزینه پروژه، به زمان/هزینه پیش‌بینی شده اولیه پروژه به دست می‌آید.

۳-۸ اعمال تاثیر مخاطرات در زمان و هزینه پروژه

زمان و هزینه پیش‌بینی شده نهایی پروژه با در نظر گرفتن مخاطرات از فرمول‌های (۴) و (۵) به دست می‌آید.

$$T_R = \frac{\sum_{k=1}^m W_k T_k}{\sum_{k=1}^m W_k} \quad (4)$$

$$C_R = \frac{\sum_{k=1}^m W_k C_k}{\sum_{k=1}^m W_k} \quad (5)$$

در فرمول‌های (۴) و (۵) مشاهده می‌شود که زمان/هزینه پیش‌بینی شده نهایی پروژه با میانگین وزنی گرفتن از زمان/هزینه پیش‌بینی شده پروژه در حالات ارزیابی شده، به دست می‌آید.

۳-۹) طراحی راهبردهای پاسخگویی ممکن

با روش طوفان فکری به طراحی و انتخاب اقدامات کاربردی برای کاهش تهدیدات و تقویت فرصت‌های مرتبط با اهداف پروژه پرداخته می‌شود. در انتخاب راهبردهای پاسخگویی، اثرات آنها بر اهداف پروژه، مخاطرات باقیمانده و مخاطرات ثانویه در نظر گرفته می‌شوند تا بهترین راهبردهای ممکن و موثر ($S_v, v = 1, 2, \dots, q$) انتخاب شوند. پس در این گام، مخاطرات تاثیرپذیر از اجرای هر راهبرد و مخاطرات ثانویه به وجود آمده بر اثر اجرای هر راهبرد (x) نیز تعیین می‌گردند.

۳-۱۰) برآورد اثر هر راهبرد بر اهداف پروژه

بر اساس راهبردهای طراحی و انتخاب شده برای پاسخگویی به مخاطرات، فعالیت‌ها و منابع لازم، پیش‌بینی و ارزیابی می‌شود و ضمن توجه به آنها، با استفاده از نظرات خبرگان و متخصصین این حوزه، زمان مورد نیاز برای اجرای هر راهبرد (SI_v^T) و هزینه لازم جهت اجرای هر راهبرد (SI_v^C) برآورد می‌گردد. همچنین احتمال وقوع جدید مخاطرات تاثیرپذیر، مقدار جدید افزایش زمان و هزینه پروژه در صورت وقوع مخاطرات تاثیرپذیر و احتمال وقوع و میزان پیامد وقوع مخاطرات ثانویه ارزیابی می‌شود.

۳-۱۱) اعمال تاثیر راهبردها در زمان و هزینه پروژه

در این گام، با در نظر گرفتن اجرای راهبردها، هر حالتی که در آن احتمال وقوع حداقل یک مخاطره، صفر شده است، حذف می‌شود زیرا در طبقات قبلی آن حالت، حالتی وجود دارد که شامل مخاطرات باقیمانده در آن حالت است. همچنین زمان و هزینه پیش‌بینی شده پروژه در صورت وقوع هریک از حالات ضمن در نظر گرفتن اجرای راهبردها به ترتیب با فرمول‌های (۶) و (۷) محاسبه می‌شوند.

$$T_k = T + \sum_v SI_v^T + \sum_v \sum_x RI_x^T + \sum_y RI_y^T \quad (6)$$

$$C_k = C + \sum_v SI_v^C + \sum_v \sum_x RI_x^C + \sum_y RI_y^C \quad (7)$$

طبق فرمول (۶)، زمان پیش‌بینی شده پروژه در صورت وقوع حالت alk ، با افزودن مجموع زمان اجرای راهبردها، مجموع میزان پیامد وقوع مخاطرات ثانویه بر زمان پروژه و مجموع میزان افزایش زمان پروژه بر اثر وقوع مخاطرات باقیمانده در آن حالت، به زمان پیش‌بینی شده اولیه پروژه به دست می‌آید و همچنین طبق فرمول (۷)، هزینه پیش‌بینی شده پروژه در صورت وقوع حالت alk ، با افزودن مجموع هزینه اجرای راهبردها، مجموع میزان پیامد وقوع مخاطرات ثانویه بر هزینه پروژه و مجموع میزان افزایش هزینه پروژه بر اثر وقوع مخاطرات باقیمانده در آن حالت، به هزینه پیش‌بینی شده اولیه پروژه به دست می‌آید.

در نهایت، زمان و هزینه پیش‌بینی شده نهایی پروژه با در نظر گرفتن کلیه مخاطرات و راهبردها از فرمول‌های (۸) و (۹) به دست می‌آید.

$$T_o = \frac{\sum_{k=1}^m W_k T_k}{\sum_{k=1}^m W_k} \quad (8)$$

$$C_o = \frac{\sum_{k=1}^m W_k C_k}{\sum_{k=1}^m W_k} \quad (9)$$

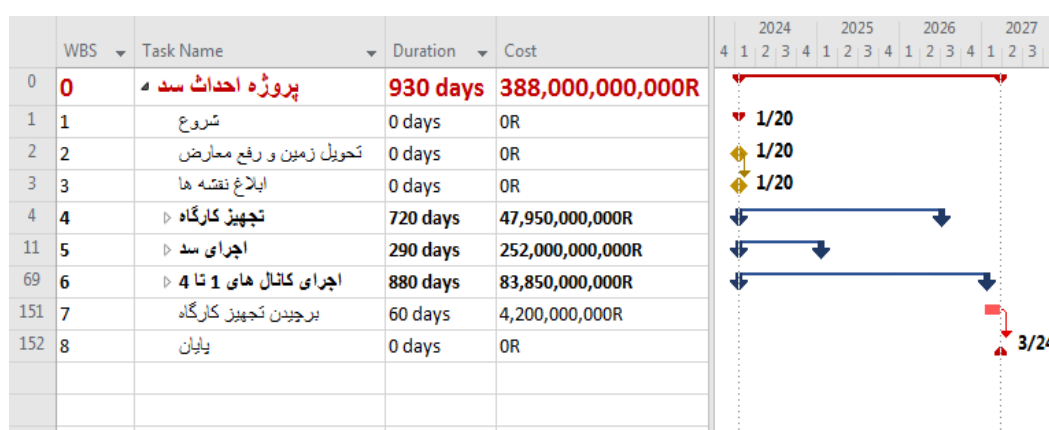
در فرمول‌های (۸) و (۹) مشاهده می‌شود که زمان/هزینه پیش‌بینی شده نهایی پروژه ضمن در نظر گرفتن مخاطرات و راهبردها، با میانگین وزنی گرفتن از زمان/هزینه پیش‌بینی شده پروژه در حالات ارزیابی شده، به دست می‌آید.

۴) پیاده‌سازی

در این بخش، گام‌های الگوی پیش‌بینی بر روی پروژه احداث سد واقع در شهر عسلویه استان بوشهر اجرا می‌شود. هدف پروژه و وظیفه سد، مهار سیلاب‌های ایجاد شده در حوضه‌های آبریز بالادست فازهای سایت اختر و هدایت جریان‌های سیلابی از طریق کانال‌ها به سمت پایین دست منطقه صنعتی و در نهایت به دریا می‌باشد.

۴-۱) پیش‌بینی اولیه زمان و هزینه پروژه

سطح اول فعالیت‌های پروژه احداث سد و زمان و هزینه آنها و همچنین زمان و هزینه کل پروژه در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲. فعالیت‌های سطح اول پروژه احداث سد و زمان و هزینه آنها

بنابراین زمان و هزینه پیش‌بینی شده اولیه پروژه احداث سد برابر است با:

$$T = 930 \text{ روز}$$

ریال $C = ۳۸۸.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰$

۴-۲) شناسایی مخاطرات پروژه و وابستگی متقابل مخاطرات

ساختار شکست مخاطره پروژه احداث سد در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. ساختار شکست مخاطره پروژه احداث سد

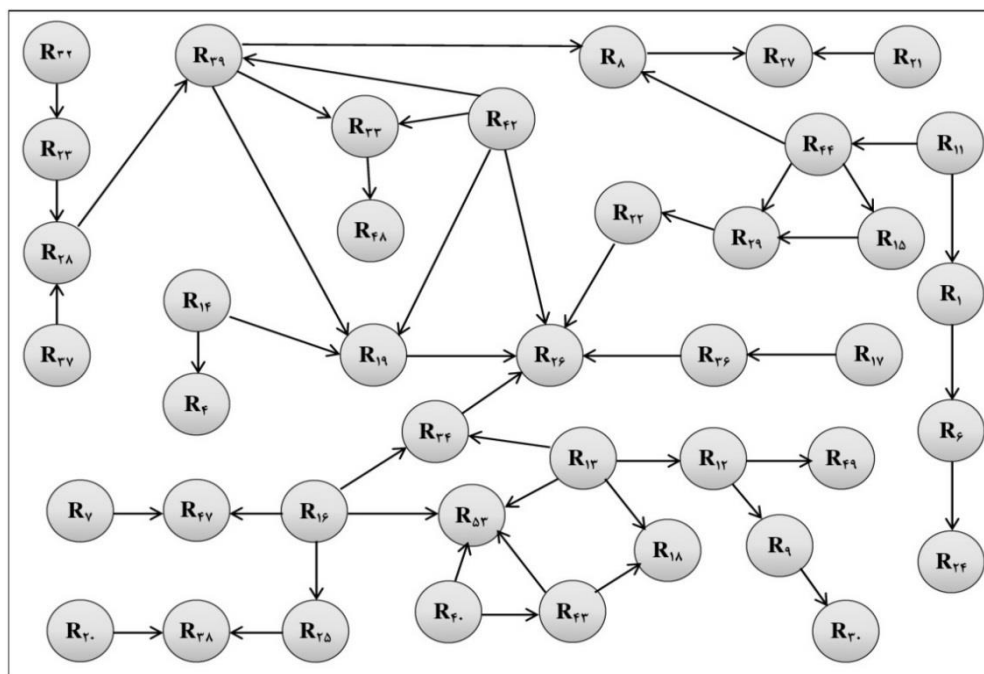
سطح صفر	سطح یک	سطح دو
مخاطرات پروژه احداث سد	سازمانی	عدم هماهنگی بین مدیریت و اجرا
		عدم دسترسی به مشاوران خارجی
		تناقض مدارک و اسناد
		عدم پرداخت به موقع مطالبات پیمانکار، مشاوران و ...
		تغییرات در قوانین و آئین‌نامه‌ها
		عدم ارتباط و یکپارچگی بین اعضای تیم اجرایی
		عدم جذب و بکارگیری نیروی انسانی مکفی
		عدم تأمین به موقع مصالح در تعهد پیمانکار
		عدم تملک به موقع اراضی
		مشکلات قراردادی و عدم کفایت قرارداد پیمانکار برای تکمیل باقیمانده عملیات اجرایی
	مدیریتی	عدم توجه کارفرما به روند اجرای کار
		عدم صدور مجوزهای لازم از سوی ارگان‌های درگیر در طرح
		عدم بررسی HSE در اجرا
		عدم تأمین به موقع و کافی منابع مالی پروژه
		عدم اشراف کامل مشاور بر شرایط و مقررات
		تجربه ناکافی نیروی انسانی
		ضعف مدیریت کارگاه
		مشکلات ناشی از عدم تأمین بیمه تمام خطر، امور حراستی و ...
		عدم تهیه و تأمین به موقع تجهیزات و ماشین‌آلات اجرایی و سوخت مصرفی
		عدم دقت در تطبیق نقشه و اجرا
	فنی	مشکلات حمل کالا، تجهیزات و مصالح
		عدم ارائه به موقع روش‌های اجرا
		وجود نقص در طراحی‌ها
		مشکلات ناشی از برچیدن کارگاه
		عدم دقت در درج مستندات فنی و اجرایی
		بروز مشکلات اجرایی و کمبود ماشین‌آلات
		عدم دسترسی به موقع به مصالح (شن، ماسه، میلگرد و ...)
		تغییر مقادیر و احجام کار نسبت به قرارداد اولیه
		عدم ارائه به موقع نقشه‌ها از جانب مشاور
		عدم تعیین جانمایی مناسب برای تجهیز کارگاه

سطح دو	سطح یک	سطح صفر
در نظر نگرفتن استاندارد مناسب برای تجهیزات	خارجی	
انتقال نادرست اطلاعات از طراحی پایه به طراحی تفصیلی		
غیر قابل قبول بودن کیفیت مصالح در دسترس		
خرابی تجهیزات و ماشین آلات		
عدم ارائه به موقع طرح های اختلاط بتن و شناسایی مصالح منابع قرضه		
تجهیزات نامناسب کارگاه		
بروز محدودیت های توپوگرافی و زیست محیطی		
موقعیت و شرایط نامناسب انبار		
عدم پوشش هزینه های ناشی از تغییر قیمت ها		
شرایط جوی نامناسب (گرمای شدید، رطوبت بالا و ...)		
زمین لرزه		
بروز تحریم ها		
وقوع سیل در محدوده اجرای پروژه		
تغییر پیمانکار، کارفرما و مشاور		
نشست		
ممانعت معارضین از انجام کار		
بروز خرابکاری در اقدامات انجام شده و در حال اجرا		
ریزش مقطعی سد		
عدم امکان تأمین آب و برق مورد نیاز پروژه		
آتش سوزی و انفجار		
فرسایش		
تغییر در روابط بین المللی		
وقوع حادثه برای نیروی انسانی یا تجهیزات		
مواجهه با مسائل ژئوتکنیکی غیر منتظره		

جهت تعیین روابط وابستگی احتمالی بین مخاطرات، یک ماتریس مقایسات زوجی تشکیل می شود و در آن، مخاطرات دوهو دو بررسی می شوند. به منظور کاهش بررسی، فقط خانه های بالای قطر اصلی در ماتریس، ارزیابی می شوند. بنابراین هنگام ارزیابی هر خانه، تاثیر متقابل هر دو مخاطره مربوط به آن خانه بر همدیگر بررسی می گردد یعنی هم تاثیر وقوع مخاطره ستون هر خانه روی وقوع مخاطره ردیف مربوط به آن خانه بررسی می گردد و هم بالعکس و در صورت وجود رابطه بین آن دو مخاطره، آن خانه برجسته می شود.

طبق ماتریس مقایسات زوجی، در پروژه احداث سد ۴۱ مخاطره مرتبط و ۴۸ رابطه وابستگی بین مخاطرات وجود دارد. شبکه وابستگی مخاطرات مرتبط مطابق شکل ۳ ترسیم می گردد. در شبکه وابستگی، در صورت وقوع مخاطره زام یعنی مخاطره مبدا هر بردار، با احتمال $TP_{j,i}$ ، مخاطره iam یعنی مخاطره مقصد آن بردار نیز رخ می دهد. برای نمونه طبق شبکه

وابستگی، در صورت وقوع مخاطره ۱۱م (عدم هماهنگی بین مدیریت و اجرا) احتمال رخ دادن مخاطره ۱۶م (عدم ارتباط و یکپارچگی بین اعضای تیم اجرایی) نیز وجود دارد.



شکل ۳. شبکه وابستگی متقابل مخاطرات پروژه احداث سد

۱-۱) ارزیابی پارامترهای احتمال وقوع هر مخاطره

احتمال وقوع مستقل مخاطرات و احتمال انتقال بین مخاطرات مرتبط پروژه احداث سد در جدول‌های ۴ و ۵ آورده شده‌است. برای نمونه، احتمال وقوع مستقل مخاطره ۱۱م برابر با ۰.۴۵ می‌باشد و احتمال انتقال از مخاطره ۱۱م به مخاطره ۱۱م برابر با ۰.۴۰ می‌باشد یعنی در صورت وقوع مخاطره ۱۱م، با احتمال ۰.۴۰، مخاطره ۱۱م نیز رخ می‌دهد.

جدول ۴. احتمال وقوع مستقل مخاطرات پروژه احداث سد

R_i	SP_i	R_i	SP_i	R_i	SP_i	R_i	SP_i	R_i	SP_i	R_i	SP_i
R_1	۰.۴۵	R_{11}	۰.۳۰	R_{19}	۰.۱۰	R_{28}	۰.۲۵	R_{37}	۰.۹۰	R_{46}	۰.۰۵
R_2	۰.۳۰	R_{11}	۰.۵۰	R_{21}	۰.۰۵	R_{29}	۰.۱۰	R_{38}	۰.۰۴	R_{47}	۰.۱۰
R_3	۰.۰۵	R_{12}	۰.۰۵	R_{21}	۰.۵۰	R_{31}	۰.۱۰	R_{39}	۰.۷۵	R_{48}	۰.۰۵
R_4	۰.۷۵	R_{13}	۰.۲۰	R_{22}	۰.۱۵	R_{31}	۰.۰۵	R_{41}	۰.۶۰	R_{49}	۰.۰۵
R_5	۰.۵۰	R_{14}	۰.۲۵	R_{23}	۰.۲۵	R_{32}	۰.۰۵	R_{41}	۰.۰۵	R_{51}	۰.۱۰
R_6	۰.۱۵	R_{15}	۰.۲۵	R_{24}	۰.۱۰	R_{33}	۰.۵۰	R_{42}	۰.۸۵	R_{51}	۰.۰۵
R_7	۰.۷۵	R_{16}	۰.۷۵	R_{25}	۰.۲۵	R_{34}	۰.۸۰	R_{43}	۰.۵۵	R_{52}	۰.۲۵
R_8	۰.۴۵	R_{17}	۰.۲۰	R_{26}	۰.۱۵	R_{35}	۰.۰۵	R_{44}	۰.۱۵	R_{53}	۰.۲۵
R_9	۰.۴۵	R_{18}	۰.۲۵	R_{27}	۰.۴۵	R_{36}	۰.۳۵	R_{45}	۰.۱۰	R_{54}	۰.۲۰

جدول ۵. احتمال انتقال بین مخاطرات مرتبط پروژه احداث سد

TP _{۱۴,۴}	۰.۵۰	TP _{۴۳,۱۸}	۰.۱۰	TP _{۱۹,۲۶}	۰.۱۰	TP _{۳۷,۲۸}	۰.۱۵	TP _{۱۷,۳۶}	۰.۰۵	TP _{۱۶,۴۷}	۰.۰۵
TP _{۱,۶}	۰.۰۵	TP _{۱۴,۱۹}	۰.۰۵	TP _{۲۲,۲۶}	۰.۰۵	TP _{۱۵,۲۹}	۰.۰۵	TP _{۲۰,۳۸}	۰.۰۳	TP _{۳۳,۴۸}	۰.۰۴
TP _{۳۹,۸}	۰.۱۰	TP _{۳۹,۱۹}	۰.۰۳	TP _{۳۴,۲۶}	۰.۱۰	TP _{۴۴,۲۹}	۰.۰۵	TP _{۲۵,۳۸}	۰.۰۲	TP _{۱۲,۴۹}	۰.۰۳
TP _{۴۴,۸}	۰.۲۰	TP _{۴۲,۱۹}	۰.۰۳	TP _{۳۶,۲۶}	۰.۰۳	TP _{۹,۳۰}	۰.۰۵	TP _{۲۸,۳۹}	۰.۶۰	TP _{۱۳,۵۳}	۰.۰۳
TP _{۱۲,۹}	۰.۱۰	TP _{۲۹,۲۲}	۰.۰۵	TP _{۴۲,۲۶}	۰.۰۵	TP _{۳۹,۳۳}	۰.۲۵	TP _{۴۲,۳۹}	۰.۲۵	TP _{۱۶,۵۳}	۰.۰۶
TP _{۱۳,۱۲}	۰.۰۴	TP _{۳۲,۲۳}	۰.۲۰	TP _{۸,۲۷}	۰.۳۰	TP _{۴۲,۳۳}	۰.۲۰	TP _{۴۰,۴۳}	۰.۳۰	TP _{۴۰,۵۳}	۰.۰۲
TP _{۴۴,۱۵}	۰.۱۵	TP _{۶,۲۴}	۰.۰۵	TP _{۲۱,۲۷}	۰.۱۰	TP _{۱۳,۳۴}	۰.۴۰	TP _{۱۱,۴۴}	۰.۰۵	TP _{۴۳,۵۳}	۰.۱۰

۴-۳) محاسبه احتمال وقوع کل هر مخاطره

احتمال وقوع کل هریک از مخاطرات پروژه احداث سد که با استفاده از فرمول (۱) محاسبه شده، در جدول ۶ آورده شده است. برای نمونه، احتمال وقوع مستقل مخاطره ۱۱م (مطابق جدول ۴) برابر با ۰.۴۵ و احتمال انتقال از مخاطره ۱۱م به مخاطره ۱۱م (مطابق جدول ۵) برابر با ۰.۴۰ می باشد. بنابراین احتمال وقوع کل مخاطره ۱۱م به صورت زیر محاسبه می شود:

$$COP_1 = 1 - [(1 - SP_1) \times (1 - TP_{11,1})] = 1 - [(1 - 0.45) \times (1 - 0.40)] = 0.67$$

جدول ۶. احتمال وقوع کل هریک از مخاطرات پروژه احداث سد

R _i	COP _i	R _i	COP _i	R _i	COP _i	R _i	COP _i	R _i	COP _i	R _i	COP _i
R _۱	۰.۶۷	R _{۱۰}	۰.۳۰	R _{۱۹}	۰.۲۰	R _{۲۸}	۰.۳۹	R _{۳۷}	۰.۹۰	R _{۴۶}	۰.۰۵
R _۲	۰.۳۰	R _{۱۱}	۰.۵۰	R _{۲۰}	۰.۰۵	R _{۲۹}	۰.۱۹	R _{۳۸}	۰.۰۹	R _{۴۷}	۰.۱۷
R _۳	۰.۰۵	R _{۱۲}	۰.۰۹	R _{۲۱}	۰.۵۰	R _{۳۰}	۰.۱۵	R _{۳۹}	۰.۹۳	R _{۴۸}	۰.۰۹
R _۴	۰.۸۸	R _{۱۳}	۰.۲۰	R _{۲۲}	۰.۱۹	R _{۳۱}	۰.۰۵	R _{۴۰}	۰.۶۰	R _{۴۹}	۰.۰۸
R _۵	۰.۵۰	R _{۱۴}	۰.۲۵	R _{۲۳}	۰.۴۰	R _{۳۲}	۰.۰۵	R _{۴۱}	۰.۰۵	R _{۵۰}	۰.۱۰
R _۶	۰.۱۹	R _{۱۵}	۰.۳۶	R _{۲۴}	۰.۱۵	R _{۳۳}	۰.۷۰	R _{۴۲}	۰.۸۵	R _{۵۱}	۰.۰۵
R _۷	۰.۷۵	R _{۱۶}	۰.۷۵	R _{۲۵}	۰.۳۶	R _{۳۴}	۰.۹۷	R _{۴۳}	۰.۶۹	R _{۵۲}	۰.۲۵
R _۸	۰.۶۰	R _{۱۷}	۰.۲۰	R _{۲۶}	۰.۴۰	R _{۳۵}	۰.۰۵	R _{۴۴}	۰.۱۹	R _{۵۳}	۰.۴۰
R _۹	۰.۵۱	R _{۱۸}	۰.۳۶	R _{۲۷}	۰.۶۵	R _{۳۶}	۰.۳۸	R _{۴۵}	۰.۱۰	R _{۵۴}	۰.۲۰

۴-۴) رتبه بندی سطوح اهمیت مخاطرات

به کمک اعضای تیم مدیریت مخاطره پروژه احداث سد، سطوح احتمال وقوع در جدول ۷ و سطوح شدت اثر وقوع در جدول ۸ دسته بندی شده اند.

جدول ۷. دسته بندی سطوح احتمال وقوع مخاطرات پروژه احداث سد

سطح	احتمال وقوع مخاطره (%)	شاخص عددی
بسیار بالا	> ۷۰	۵

سطح	احتمال وقوع مخاطره (%)	شاخص عددی
بالا	۷۰-۴۱	۴
متوسط	۴۰-۲۱	۳
پایین	۲۰-۱۰	۲
بسیار پایین	< ۱۰	۱

جدول ۸. دسته‌بندی سطوح شدت اثر وقوع مخاطرات پروژه احداث سد

شخص عددی	شدت اثر وقوع مخاطره		سطح
	زمان (روز)	هزینه (میلیون ریال)	
۵	> ۱۴۰	> ۴۰۰۰	بسیار بالا
۴	۹۱-۱۴۰	۱۰۰۰۱-۴۰۰۰	بالا
۳	۶۱-۹۰	۴۰۰۱-۱۰۰۰۰	متوسط
۲	۳۰-۶۰	۱۰۰۰-۴۰۰۰	پایین
۱	< ۳۰	< ۱۰۰۰	بسیار پایین

به هریک از مخاطرات پروژه، دو شاخص عددی برای شدت اثر وقوع تعلق می‌گیرد که شاخص بزرگتر به عنوان شاخص عددی برای شدت اثر آن مخاطره در نظر گرفته می‌شود. بنابراین هر مخاطره در یک خانه از ماتریس احتمال و اثر قرار می‌گیرد و میزان خطر و اهمیت آن مخاطره مشخص می‌شود. ماتریس احتمال و اثر و میزان اهمیت مخاطرات پروژه احداث سد در جدول ۹ مشخص شده است.

جدول ۹. ماتریس احتمال و اثر مخاطرات پروژه احداث سد

[illegible]

بنابراین از ۵۴ مخاطره شناسایی شده، ۱۳ مخاطره دسته متوسط و ۲۱ مخاطره دسته پرخطر از مخاطرات پُر اهمیت محسوب می‌شوند و در گام‌های بعدی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

۴-۵) برآورد دقیق اثر هر مخاطره بر زمان و هزینه پروژه

مقدار افزایش زمان (روز) و هزینه (میلیون ریال) پروژه احداث سد در صورت وقوع هریک از ۳۴ مخاطره بر اهمیت در جدول ۱۰ آورده شده است. برای نمونه، در صورت وقوع مخاطره ام، ۹۰ روز به زمان پروژه و ۱۰۰۰۰ میلیون ریال به هزینه پروژه اضافه می شود. (مخاطره R_{11} : ام، مخاطرات تاثیر گذار بر وقوع مخاطره R_{11} : ام)

جدول ۱۰. مقدار افزایش زمان و هزینه پروژه احداث سد بر اثر وقوع هر مخاطره

R_{11}^C	R_{11}^T	R_i	شاخص عددی شدت اثر وقوع	شاخص عددی احتمال وقوع	مخاطره	R_{11}
۱۰۰۰۰	۹۰	R_A	۳	۵	عدم پرداخت به موقع مطالبات پیمانکار، مشاوران و ...	R_1
۸۵۰۰	۸۰	-	۳	۵	عدم جذب و بکارگیری نیروی انسانی مکفی	R_2
۶۰۰۰	۷۵	R_{27}, R_{31}	۳	۴	عدم تأمین به موقع مصالح در تعهد پیمانکار	R_3
۴۵۰۰۰	۱۵۰	R_F	۵	۴	عدم تملک به موقع اراضی	R_4
۷۵۰۰	۸۰	-	۳	۴	عدم توجه کارفرما به روند اجرای کار	R_5
۵۳۰۰۰	۱۳۰	R_V	۵	۱	عدم صدور مجوزهای لازم از سوی ارگانهای درگیر در طرح	R_6
۱۵۰۰۰	۹۶	-	۴	۲	در اجرا HSE عدم بررسی	R_7
۵۰۰۰	۶۵	-	۳	۳	عدم تأمین به موقع و کافی منابع مالی پروژه	R_8
۳۰۰۰	۴۰	R_{31}	۲	۳	عدم اشراف کامل مشاور بر شرایط و مقررات	R_9
۵۰۰۰۰	۱۳۰	-	۵	۵	تجربه ناکافی نیروی انسانی	R_{10}
۴۳۰۰	۶۰	R_{V1}, R_{31}	۳	۳	مشکلات ناشی از عدم تأمین بیمه تمام خطر، امور حراستی و ...	R_{11}
۴۳۰۰۰	۹۰	R_{A1}, R_{27}, R_{29}	۵	۲	عدم تهیه و تأمین به موقع تجهیزات و ماشین آلات اجرایی و سوخت مصرفی	R_{12}
۵۰۰۰	۶۵	-	۳	۴	مشکلات حمل کالا، تجهیزات و مصالح	R_{13}
۳۸۰۰۰	۱۵۰	R_{21}	۵	۲	عدم ارائه به موقع روش های اجرا	R_{14}
۳۸۰۰۰	۱۴۵	R_{22}	۵	۳	وجود نقص در طراحی ها	R_{15}
۴۴۰۰۰	۱۶۰	R_{11}	۵	۳	عدم دقت در درج مستندات فنی و اجرایی	R_{16}
۵۲۰۰۰	۱۰۰	$R_{12}, R_{14}, R_{24}, R_{25}, R_{29}$	۵	۳	بروز مشکلات اجرایی و کمبود ماشین آلات	R_{17}
۳۵۰۰۰	۹۵	R_{31}, R_{13}	۴	۴	عدم دسترسی به موقع به مصالح (شن، ماسه، میلگرد و ...)	R_{18}
۲۲۰۰۰	۱۱۰	R_{15}, R_{26}	۴	۳	تغییر مقادیر و احجام کار نسبت به قرارداد اولیه	R_{19}
۱۲۰۰۰	۹۵	R_{9}, R_{31}	۴	۲	عدم ارائه به موقع نقشه ها از جانب مشاور	R_{20}
۳۸۰۰	۷۰	R_F	۳	۲	عدم تعیین جانمایی مناسب برای تجهیز کارگاه	R_{21}
۱۵۰۰۰	۹۰	-	۴	۱	انتقال نادرست اطلاعات از طراحی پایه به طراحی تفصیلی	R_{22}
۳۰۰۰۰	۱۳۰	R_{27}, R_{29}	۴	۴	غیرقابل قبول بودن کیفیت مصالح در دسترس	R_{23}

R_{II}	مخاطره	شاخص عددی احتمال وقوع	شاخص عددی شدت اثر وقوع	R_I	RI_u^T	RI_u^C
R_{24}	خرابی تجهیزات و ماشین‌آلات	۵	۴	R_{V1}, R_{11}	۱۲۰	۲۰۰۰۰
R_{25}	تجهیزات نامناسب کارگاه	۳	۴	–	۱۳۰	۳۵۰۰۰
R_{26}	بروز محدودیت‌های توپوگرافی و زیست‌محیطی	۵	۵	–	۱۷۰	۴۲۰۰۰
R_{27}	عدم پوشش هزینه‌های ناشی از تغییر قیمت‌ها	۵	۵	R_{19}, R_{29}	۱۴۰	۴۷۰۰۰
R_{28}	شرایط جوی نامناسب (گرمای شدید، رطوبت بالا و ...)	۴	۲	–	۴۵	۳۰۰۰
R_{29}	بروز تحریم‌ها	۵	۲	–	۵۰	۳۵۰۰
R_{30}	وقوع سیل در محدوده اجرای پروژه	۴	۵	R_{28}	۱۶۰	۵۰۰۰۰
R_{31}	تغییر پیمانکار، کارفرما و مشاور	۲	۳	R_5	۶۰	۷۰۰۰
R_{32}	بروز خرابکاری در اقدامات انجام‌شده و در حال اجرا	۲	۴	R_{27}, R_{11}	۱۲۰	۲۵۰۰۰
R_{33}	عدم امکان تامین آب و برق موردنیاز پروژه	۱	۵	R_6	۱۳۰	۵۰۰۰۰
R_{34}	وقوع حادثه برای نیروی انسانی یا تجهیزات	۳	۵	$R_V, R_{11}, R_{28}, R_{30}$	۱۶۰	۴۷۰۰۰

۴-۶) طبقه‌بندی حالات وقوع مخاطرات بر اهمیت

برای به‌دست آوردن کلیه حالات ممکن وقوع ۳۴ مخاطره بر اهمیت پروژه احداث سد با استفاده از مفهوم طبقه‌بندی، ابتدا پروژه به‌عنوان یک سیستم در نظر گرفته می‌شود که مجموعه‌ای از طبقات را تشکیل داده و هر طبقه نیز مجموعه‌ای از حالات ممکن از وقوع مخاطرات است. در این سیستم، در طبقه اول فقط حالت اول (فعلی) وجود دارد که در آن هیچ‌یک از مخاطرات رخ نمی‌دهد و در طبقه دوم ۳۴ حالت وجود دارد که در هر کدام از آنها به‌ترتیب یکی از ۳۴ مخاطره رخ می‌دهد. بنابراین حالت اول، حالتی است که هیچ مخاطره‌ای رخ نمی‌دهد. حالت دوم، حالتی است که فقط مخاطره اول رخ می‌دهد. حالت سوم، حالتی است که فقط مخاطره دوم رخ می‌دهد. به‌همین ترتیب تا حالت ۱۳۵ که حالتی است که فقط مخاطره ۳۴ رخ می‌دهد. با توجه به شاخص‌های عددی مخاطرات، مطابق جدول ۱۱، به هر مخاطره یک امتیاز (A, B, C یا D) تعلق می‌گیرد و امتیاز هر حالت در طبقه دوم برابر با امتیاز مخاطره موجود در آن حالت است.

جدول ۱۱. ماتریس امتیازدهی به مخاطرات بر اهمیت پروژه احداث سد

احتمال وقوع	۵	D	C	B	A
	۴		D	C	B
	۳			D	C
	۲				D
	۱				
شاخص عددی		۱	۲	۳	۴
		شدت اثر وقوع			

وزن هر حالت با توجه به امتیاز آن حالت مشخص می‌شود. همچنین زمان و هزینه پیش‌بینی شده پروژه در هر حالت به ترتیب با استفاده از فرمول‌های (۲) و (۳) ارزیابی می‌گردند.

حالات طبقات اول و دوم در پیوست الف-۱ آورده شده‌است. برای نمونه، ضمن توجه به شماره جدید مخاطرات و اطلاعاتشان (در جدول ۱۰)، امتیاز حالت ۴م برابر با C و در نتیجه وزن این حالت برابر با ۲ است. همچنین زمان و هزینه پروژه در صورت وقوع حالت ۴م به صورت زیر محاسبه می‌شوند: (حالت ۴م شامل مخاطره ۳م است).

$$T_4 = T + RI_3^T = 930 + 75 = 1005$$

$$C_4 = C + RI_3^C = 388000 + 6000 = 394000$$

حالاتی از طبقه دوم به طبقه سوم انتقال می‌یابند که دارای امتیاز A، B یا C باشند. بنابراین طبقه سوم شامل حالاتی است که دو مخاطره رخ می‌دهند و درواقع یک مخاطره به حالات طبقه دوم اضافه می‌شود.

در طبقه سوم، به هر حالت انتقال‌یافته، مخاطراتی وارد می‌شود که امتیاز A، B یا C داشته باشد. همچنین امتیاز هر حالت در طبقه سوم مطابق جدول ۱۲ ارزیابی می‌شود.

جدول ۱۲. ماتریس امتیازدهی به حالات طبقه سوم در پروژه احداث سد

مخاطره ورودی		b	b	a
	B	c	c	b
	C	c	c	c
امتیاز		c	b	a
		حالت انتقال یافته		

حالات طبقه سوم در پیوست الف-۲ آورده شده‌است. برای نمونه، امتیاز حالت ۴۰م برابر با b و در نتیجه وزن این حالت برابر با ۳ است. مخاطرات ۱۱م و ۱۰م، مخاطرات موجود در حالت ۴۰م هستند. بنابراین، زمان و هزینه پروژه در صورت وقوع حالت ۴۰م (با توجه به اطلاعات مخاطرات در جدول ۱۰) به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$T_{40} = T + \sum I RI_i^T = T + RI_1^T + RI_{10}^T = 930 + 90 + 130 = 1150$$

$$C_{40} = C + \sum I RI_i^C = C + RI_1^C + RI_{10}^C = 388000 + 10000 + 50000 = 448000$$

حالاتی از طبقه سوم به طبقه چهارم انتقال می‌یابند که دارای امتیاز a یا b باشند. از طبقه چهارم به بعد، در هر طبقه، به هر حالت انتقال‌یافته، مخاطراتی وارد می‌شود که ترکیب آن مخاطره با هریک از مخاطرات موجود در آن حالت، در حداقل یکی از حالات انتقال‌یافته دیگر باشد. برای نمونه، به حالت انتقال‌یافته ۳۸م که شامل مخاطرات ۱۱م و ۴م است، مخاطره ۱۰م می‌تواند وارد شود زیرا ترکیب مخاطرات ۱۱م و ۱۰م در حالت انتقال‌یافته ۴۰م وجود دارد و همچنین ترکیب مخاطرات ۴م و ۱۰م در حالت انتقال‌یافته ۹۷م قرار دارد اما مخاطره ۵م نمی‌تواند به حالت انتقال‌یافته ۳۸م وارد شود زیرا

ترکیب مخاطرات ۱۱م و ۱۵م در حالت ۱۳۹م قرار داشت که به طبقه چهارم انتقال پیدا نکرده است. امتیاز حالات طبقه چهارم و طبقات بعدی هم، مطابق جدول ۱۳ ارزیابی می‌شود.

جدول ۱۳. ماتریس امتیازدهی به حالات طبقه چهارم و طبقات بعدی در پروژه احداث سد

مخاطره ورودی		c	a
	B	c	b
امتیاز		b	a
		حالت انتقال یافته	

حالات طبقه چهارم در پیوست الف-۳ آورده شده است. حالاتی از طبقه چهارم به طبقه پنجم انتقال می‌یابند که دارای امتیاز a یا b باشند. بنابراین حالات طبقه پنجم در پیوست الف-۴ آورده شده است. همچنین از طبقه پنجم به بعد، حالاتی که دارای امتیاز a باشند، به طبقه بعد انتقال می‌یابند و انتقال به طبقات بعدی تا حد ممکن (وجود مخاطره دارای شرط ورود به حالات انتقال یافته) ادامه می‌یابد. بنابراین حالات طبقه ششم در پیوست الف-۵، حالات طبقه هفتم در پیوست الف-۶ و حالات طبقه هشتم در پیوست الف-۷ آورده شده است.

حالات طبقه هشتم امکان انتقال به طبقه بعد را ندارند زیرا مخاطره‌ی وجود ندارد که شرط ورود به این حالات را داشته باشد. بنابراین طی هشت طبقه، $m=620$ حالت برگزیده وقوع مخاطرات بر اهمیت پروژه احداث سد به دست آمد.

۴-۷) اعمال تاثیر مخاطرات در زمان و هزینه پروژه

زمان و هزینه پیش‌بینی شده نهایی پروژه احداث سد با در نظر گرفتن مخاطرات با استفاده از فرمول‌های (۴) و (۵) محاسبه می‌شود که برابر است با:

$$T_R = 1346 \text{ روز}$$

$$C_R = 508.777.000.000 \text{ ریال}$$

۴-۸) طراحی راهبردهای پاسخگویی ممکن

راهبردهای پاسخگویی طراحی شده با روش طوفان فکری، به همراه مخاطرات تاثیرپذیر از اجرای هر راهبرد و مخاطرات ثانویه به وجود آمده بر اثر اجرای هر راهبرد، در جدول ۱۴ آورده شده است.

جدول ۱۴. راهبردهای پاسخگویی به مخاطرات پروژه احداث سد و مخاطرات تاثیرپذیر و ثانویه

شماره راهبرد	راهبرد	اقدام پاسخگویی	شماره مخاطره تاثیرپذیر	مخاطره ثانویه	پیامد مخاطره ثانویه	شماره مخاطره ثانویه
۱	کاهش	تخصیص اعتبار به صندوق ذخیره	۱-۸-۲۷	-	-	-

شماره راهبرد	راهبرد	اقدام پاسخگویی	شماره مخاطره تأثیر پذیر	مخاطره ثانویه	پیامد مخاطره ثانویه	شماره مخاطره ثانویه
۲	اجتناب	بهره‌گیری از افراد متخصص با دیدگاه سیستمی جهت تنظیم اسناد پیمان و برآورد دقیق احجام کار	۲-۱۹	مدیریت نامناسب ارتباطات و رخ دادن تعارضات بین افراد متخصص	افزایش هزینه پروژه	۳۵
۳	کاهش	افزودن «لزوم» تایید صلاحیت پیمانکاران جزء» در قرارداد پیمانکاری	۳	-	-	-
۴	کاهش	تمرکز فعالیت‌های اجرایی در بخش‌های تملک‌شده	۴	-	-	-
۵	اجتناب	تسلط کارفرما روی یک پروژه و افزایش بازرسی و نظارت	۵	-	-	-
۶	اجتناب	بررسی و جاهت فنی و اقتصادی، تخصیص آب و تأثیرات زیست‌محیطی طرح قبل از اقدامات اولیه	۶	نامناسب بودن تکنولوژی بکار گرفته‌شده	افزایش زمان پروژه	۳۶
۷	اجتناب	اعمال قوانین HSE و آموزش ایمنی سد	۷-۳۴	-	-	-
۸	اجتناب	توجیه مشاور و پیمانکار از شرایط عمومی پیمان	۹	-	-	-
۹	اجتناب	اخذ تاییدیه‌های فنی پرسنل از مراجع ذی‌ربط و بهره‌گیری از پرسنل مجرب	۱۰-۱۶-۲۲-۳۲	-	-	-
۱۰	انتقال	کنترل و پیگیری جهت صدور بیمه‌نامه تمام خطر و اخذ تاییدیه‌های موردنیاز از حراست منطقه	۱۱-۳۰	-	-	-
۱۱	کاهش	واگذاری بخشی از کارها به پیمانکاران جزء	۱۲-۱۷	عدم پاسخگویی پیمانکاران جزء به کارگاه نسبت به تعهداتشون	ایجاد ناهماهنگی در اجرا	۳۷
۱۲	اجتناب	حضور نماینده مشاور، پیمانکار و طراح در منطقه	۱۳-۱۵-۲۰-۲۱	-	-	-
۱۳	کاهش	تهیه روش‌های اجرایی توسط مهندس مشاور	۱۴	-	-	-
۱۴	اجتناب	شناسایی منابع جایگزین جهت تامین مصالح و ذخیره‌سازی مواد اضطراری	۱۸	-	-	-
۱۵	اجتناب	خرید از منابع شناسایی شده مورد تایید	۲۳	-	-	-
۱۶	کاهش	تهیه تجهیزات و ماشین‌آلات استاندارد و بازرسی مداوم	۲۴-۲۵	-	-	-
۱۷	کاهش	مطالعات کافی امکان‌یابی پروژه و افزایش نظارت	۲۶	-	-	-
۱۸	پذیرش	اجرای کار با در نظر گرفتن شرایط جدید	۲۸-۳۱	-	-	-
۱۹	اجتناب	تهیه طرح‌های اصلاحی جایگزین از مشخصات تجهیزات جهت تامین از منابع داخلی یا منابع خارجی قابل دسترس	۲۹	پایین بودن قابلیت اطمینان طرح‌های اصلاحی	کاهش کیفیت	۳۸
۲۰	اجتناب	تعیین منابع آب و برق مصرفی پروژه در مراحل اولیه طرح	۳۳	-	-	-

۴-۹) برآورد اثر هر راهبرد بر اهداف پروژه

با استفاده از نظرات خبرگان، زمان (روز) و هزینه (میلیون ریال) مورد نیاز برای اجرای هر راهبرد پاسخگویی به مخاطرات پروژه احداث سد، برآورد شده و در جدول ۱۵ آورده شده است. (راهبرد پاسخگویی SI_v^T : SI_v^T ، زمان اجرای راهبرد SI_v^T : SI_v^T ، هزینه اجرای راهبرد SI_v^C : SI_v^C)

جدول ۱۵. زمان و هزینه اجرای راهبردهای پاسخگویی پروژه احداث سد

S_v	SI_v^T	SI_v^C
S_1	۴	۷۰۰۰
S_2	۷	۱۰۰
S_3	۰	۰
S_4	۸	۳۰۰
S_5	۶	۷۰
S_6	۱۶	۷۰۰
S_7	۲	۴۰۰
S_8	۱	۰
S_9	۴	۲۰
S_{10}	۵	۱۵۰
S_{11}	۳	۱۰۰۰
S_{12}	۱۰	۸۰
S_{13}	۱۲	۲۵۰
S_{14}	۹	۲۰۰۰
S_{15}	۴	۴۵۰
S_{16}	۱۱	۲۶۰۰
S_{17}	۸	۱۷۰
S_{18}	۰	۰
S_{19}	۵	۰
S_{20}	۷	۳۰

با در نظر گرفتن اجرای راهبردهای پاسخگویی به مخاطرات، احتمال وقوع مستقل هریک از مخاطرات تاثیرپذیر، مخاطرات مؤثر بر وقوع آنها و احتمال انتقال، احتمال وقوع کل مخاطرات تاثیرپذیر (با استفاده از فرمول (۱)) و مقدار افزایش زمان (روز) و هزینه (میلیون ریال) پروژه احداث سد در صورت وقوع هریک از مخاطرات تاثیرپذیر، ارزیابی شده و در جدول ۱۶ آورده شده است. مخاطراتی که احتمال وقوع آنها با اجرای راهبردها صفر شده است، از لیست مخاطرات مؤثر نیز حذف می‌شوند. برای نمونه، وقوع مخاطره u_6 بر وقوع مخاطره u_4 تاثیر گذار بود اما با اجرای راهبرد u_6 ، احتمال وقوع مخاطره u_6 صفر شده و از ستون مخاطرات تاثیر گذار نیز حذف می‌شود. (مخاطره u_6 : R_{u_6} ، احتمال وقوع مستقل مخاطره u_6 : SP_{u_6} ، مخاطرات تاثیر گذار بر وقوع مخاطره u_6 : R_j ، احتمال رخ دادن مخاطره u_6 و منجر شدن آن به وقوع

مخاطره u ام: $TP_{j,u}$ ، احتمال وقوع کل مخاطره u ام: COP_u ، میزان پیامد وقوع مخاطره u ام بر زمان پروژه: RI_u^T ، میزان پیامد وقوع مخاطره u ام بر هزینه پروژه: RI_u^C

جدول ۱۶. احتمال وقوع و پیامد وقوع مخاطرات تأثیرپذیر از اجرای راهبردهای پروژه احداث سد

R_u	SP_u	R_j	$TP_{j,u}$	COP_u	RI_u^T	RI_u^C
R_1	۰.۱۵	R_A	۰.۵۰	۰.۵۸	۷۰	۶۰۰۰
R_2	۰	-	-	۰	-	-
R_3	۰.۲۰	R_{TV}, R_{T1}	۰.۱۰, ۰.۲۰	۰.۴۲	۶۰	۵۰۰۰
R_4	۰.۴۰	-	-	۰.۴۰	۸۰	۴۳۰۰۰
R_5	۰	-	-	۰	-	-
R_6	۰	-	-	۰	-	-
R_7	۰	-	-	۰	-	-
R_8	۰.۱۰	-	-	۰.۱۰	۴۰	۲۰۰۰
R_9	۰	-	-	۰	-	-
R_{10}	۰	-	-	۰	-	-
R_{11}	۰.۰۵	R_F	۰.۱۰	۰.۱۵	۱۵	۵۰۰
R_{12}	۰.۰۵	R_A, R_{TV}	۰.۰۵, ۰.۰۳	۰.۱۳	۳۰	۲۵۰۰
R_{13}	۰	-	-	۰	-	-
R_{14}	۰.۱۰	-	-	۰.۱۰	۴۵	۳۰۰۰
R_{15}	۰	-	-	۰	-	-
R_{16}	۰	-	-	۰	-	-
R_{17}	۰.۰۵	$R_{12}, R_{14}, R_{24}, R_{25}$	۰.۱۰, ۰.۰۵, ۰.۱۰, ۰.۰۳	۰.۲۹	۴۰	۸۰۰
R_{18}	۰	-	-	۰	-	-
R_{19}	۰	-	-	۰	-	-
R_{20}	۰	-	-	۰	-	-
R_{21}	۰	-	-	۰	-	-
R_{22}	۰	-	-	۰	-	-
R_{23}	۰	-	-	۰	-	-
R_{24}	۰.۳۰	-	-	۰.۳۰	۵۰	۷۰۰۰
R_{25}	۰.۲۰	-	-	۰.۲۰	۶۵	۱۰۰۰۰
R_{26}	۰.۱۵	-	-	۰.۱۵	۳۰	۱۲۰۰۰
R_{27}	۰.۲۵	-	-	۰.۲۵	۱۵	۹۵۰۰
R_{28}	۰.۶۰	-	-	۰.۶۰	۴۵	۳۰۰۰
R_{29}	۰	-	-	۰	-	-
R_{30}	۰.۵۵	R_{28}	۰.۳۰	۰.۶۹	۷۵	۰
R_{31}	۰.۱۵	-	-	۰.۱۵	۶۰	۷۰۰۰

R_u	SP_u	R_j	$TP_{j,u}$	COP_u	RI_u^T	RI_u^C
$R_{۳۳}$	۰	-	-	۰	-	-
$R_{۳۳}$	۰	-	-	۰	-	-

همچنین احتمال وقوع هریک از مخاطرات ثانویه و مقدار افزایش زمان (روز) و هزینه (میلیون ریال) پروژه احداث سد در صورت وقوع هریک از مخاطرات ثانویه، ارزیابی شده و در جدول ۱۷ آورده شده‌است. (مخاطره x : R_x ، احتمال وقوع کل مخاطره x : COP_x ، میزان پیامد وقوع مخاطره x بر زمان پروژه: RI_x^T ، میزان پیامد وقوع مخاطره x بر هزینه پروژه: RI_x^C)

جدول ۱۷. احتمال وقوع و پیامد وقوع مخاطرات ثانویه ناشی از اجرای راهبردهای پروژه احداث سد

R_x	COP_x	RI_x^T	RI_x^C
$R_{۳۵}$	۰.۷۵	۷	۲۰۰۰
$R_{۳۶}$	۰.۶۰	۲۴	۲۵۰
$R_{۳۷}$	۰.۴۵	۸	۲۰۰
$R_{۳۸}$	۰.۵۵	۵	۲۷۰

۴-۱۰) اعمال تاثیر راهبردها در زمان و هزینه پروژه

با اجرای راهبردهای پاسخگویی، برخی از مخاطرات پروژه احداث سد حذف می‌شوند. بنابراین برخی از ۶۲۰ حالت برگزیده وقوع مخاطرات نیز حذف می‌گردند. زمان و هزینه پیش‌بینی شده پروژه در هر حالت به‌ترتیب با استفاده از فرمول‌های (۶) و (۷) ارزیابی می‌گردند. حالات پروژه احداث سد پس از اجرای راهبردها در پیوست ب آورده شده‌است. با اجرای راهبردها، از ۶۲۰ حالت برگزیده، احتمال وقوع ۴۸۸ حالت صفر می‌شود و ۱۳۲ حالت ممکن باقی می‌ماند. بنابراین زمان و هزینه پیش‌بینی شده نهایی پروژه احداث سد با در نظر گرفتن کلیه مخاطرات و راهبردها با استفاده از فرمول‌های (۸) و (۹) محاسبه می‌شود که برابر است با:

$$T_0 = ۱۲۱۶ \text{ روز}$$

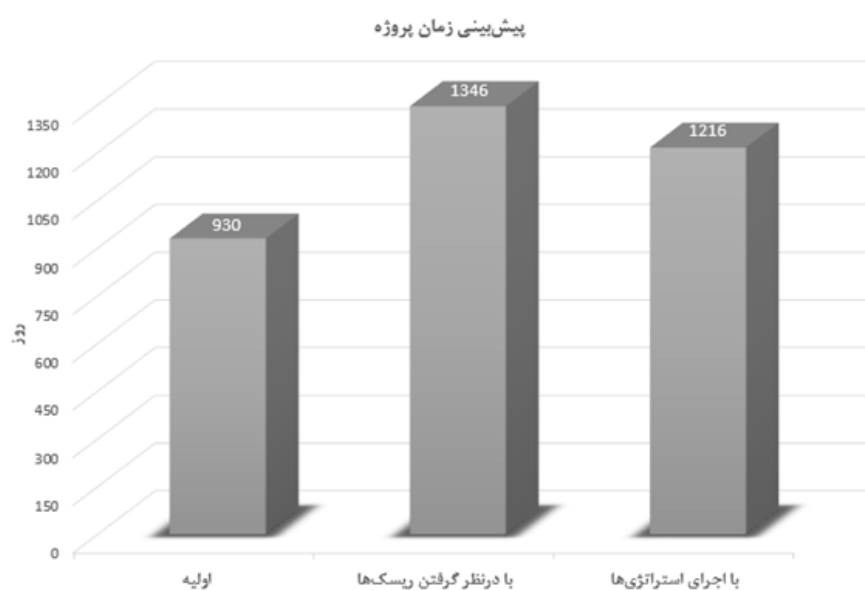
$$C_0 = ۴۳۱.۷۲۵.۰۰۰.۰۰۰ \text{ ریال}$$

۴-۱۱) تحلیل نتایج

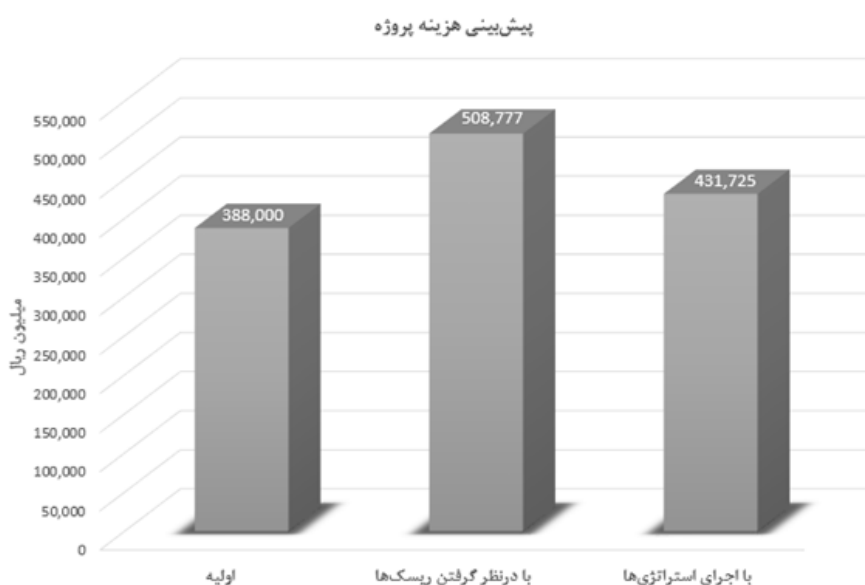
نتایج پیاده‌سازی و اجرای الگوی پیشنهادی در یک پروژه احداث سد نشان می‌دهد:

- پیش‌بینی زمان پروژه پس از اعمال تاثیر مخاطرات نسبت به پیش‌بینی اولیه زمان پروژه، ۴۱۶ روز افزایش داشته‌است. یعنی در صورت در نظر نگرفتن مخاطرات، زمان واقعی پروژه نسبت به زمان پیش‌بینی شده پروژه افزایش ۴۴.۷۳ درصدی خواهد داشت.
- پیش‌بینی هزینه پروژه پس از اعمال تاثیر مخاطرات نسبت به پیش‌بینی اولیه هزینه پروژه، ۱۲۰,۷۷۷,۰۰۰,۰۰۰ ریال افزایش داشته‌است. یعنی در صورت در نظر نگرفتن مخاطرات، هزینه واقعی پروژه نسبت به هزینه پیش‌بینی شده پروژه افزایش ۳۱.۱۳ درصدی خواهد داشت.

- پیش‌بینی زمان پروژه پس از اعمال تاثیر راهبردها نسبت به پیش‌بینی زمان پروژه با در نظر گرفتن مخاطرات، ۱۳۰ روز کاهش داشته‌است. این به معنای آن است که می‌توان با اجرای راهبردهای پاسخگویی مناسب، نسبت به مرحله ارزیابی، زمان پروژه را ۹.۶۶ درصد کاهش داد.
 - پیش‌بینی هزینه پروژه پس از اعمال تاثیر راهبردها نسبت به پیش‌بینی هزینه پروژه با در نظر گرفتن مخاطرات، ۷۷,۰۵۲,۰۰۰,۰۰۰ ریال کاهش داشته‌است. این به معنای آن است که می‌توان با اجرای راهبردهای پاسخگویی مناسب، نسبت به مرحله ارزیابی، هزینه پروژه را ۱۵.۱۴ درصد کاهش داد.
- نتایج حاصل بر روی نمودار شکل‌های ۴ و ۵ نمایش داده شده‌است.



شکل ۴. نمودار نتایج اجرای الگوی پیش‌بینی زمان پروژه احداث سد



شکل ۵. نمودار نتایج اجرای الگوی پیش‌بینی هزینه پروژه احداث سد

(۵) تحلیل حساسیت

به منظور نشان دادن تاثیر اقدامات مدیریت مخاطره و مفهوم طبقه‌بندی بر زمان و هزینه پیش‌بینی شده پروژه، در مرحله ارزیابی مخاطرات، زمان و هزینه پروژه احداث سد بعد از ارزیابی هر طبقه پیش‌بینی شده و در جدول ۱۸ آورده شده است.

جدول ۱۸. پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه احداث سد پس از ارزیابی هر طبقه در مرحله ارزیابی

مرحله ارزیابی	تعداد طبقات	زمان (روز)	هزینه (میلیون ریال)
عدم وقوع مخاطره	۱ طبقه	۹۳۰	۳۸۸,۰۰۰
وقوع ۱ مخاطره	۲ طبقه	۱۰۴۵	۴۱۸,۲۰۳
وقوع ۲ مخاطره	۳ طبقه	۱۱۵۶	۴۴۸,۰۰۶
وقوع ۳ مخاطره	۴ طبقه	۱۲۳۶	۴۷۳,۱۸۹
وقوع ۴ مخاطره	۵ طبقه	۱۲۸۲	۴۸۸,۶۹۲
وقوع ۵ مخاطره	۶ طبقه	۱۳۱۵	۴۹۹,۲۶۷
وقوع ۶ مخاطره	۷ طبقه	۱۳۳۹	۵۰۶,۶۴۸
وقوع ۷ مخاطره	۸ طبقه	۱۳۴۶	۵۰۸,۷۷۷

همانطور که در جدول ۱۸ مشاهده می‌شود، در طبقه اول؛ زمان و هزینه پروژه احداث سد برابر با همان زمان و هزینه پیش‌بینی شده اولیه در یافتی از تیم مدیریت پروژه است. با ارزیابی ۲ طبقه و اعمال تاثیر مخاطرات در زمان و هزینه پروژه، ۱۱۵ روز به زمان پروژه و ۳۰,۲۰۳ میلیون ریال به هزینه پروژه اضافه می‌شود. همچنین با ارزیابی ۳ طبقه و اعمال تاثیر آنها در زمان و هزینه پروژه، نسبت به ارزیابی ۲ طبقه، زمان پروژه ۱۱۱ روز و هزینه پروژه ۲۹,۸۰۳ میلیون ریال افزایش می‌یابد و همینطور با ارزیابی هر طبقه و افزودن تاثیر آنها به طبقات قبلی، به زمان و هزینه پیش‌بینی شده پروژه افزوده می‌شود زیرا در هر طبقه، حالات جدیدی در نظر گرفته می‌شوند که در آنها نسبت به حالات طبقه قبلی خود، یک مخاطره بیشتر رخ می‌دهد. در نتیجه ارزیابی تمام طبقات به دلیل در نظر گرفتن کلیه حالات احتمالی وقوع مخاطرات، امکان برآورد دقیق‌تری از زمان و هزینه پروژه را فراهم می‌کند.

همچنین در مرحله پاسخگویی به مخاطرات (بعد از اجرای راهبردهای پاسخگویی)، پس از ارزیابی حالات ممکن وقوع مخاطرات باقیمانده و ثانویه در هر طبقه، زمان و هزینه پروژه احداث سد، پیش‌بینی شده و در جدول ۱۹ آورده شده است.

جدول ۱۹. پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه احداث سد پس از ارزیابی هر طبقه در مرحله پاسخگویی

مرحله پاسخگویی	تعداد طبقات	زمان (روز)	هزینه (میلیون ریال)
عدم وقوع مخاطره	۱ طبقه	۱۰۹۶	۴۰۶,۰۴۰
وقوع ۱ مخاطره	۲ طبقه	۱۱۴۴	۴۱۵,۲۶۸
وقوع ۲ مخاطره	۳ طبقه	۱۱۸۶	۴۲۳,۰۲۴
وقوع ۳ مخاطره	۴ طبقه	۱۲۰۹	۴۲۹,۲۲۱
وقوع ۴ مخاطره	۵ طبقه	۱۲۱۴	۴۳۱,۱۹۳
وقوع ۵ مخاطره	۶ طبقه	۱۲۱۶	۴۳۱,۷۲۵

همانطور که در جدول ۱۹ مشاهده می شود در طبقه اول که شامل حالت فعلی است، زمان و هزینه پروژه احداث سد برابر با مجموع زمان و هزینه پیش بینی شده اولیه دریافتی از تیم مدیریت پروژه، زمان و هزینه اجرای راهبردها و پیامد وقوع مخاطرات ثانویه است. با ارزیابی ۲ طبقه و اعمال تاثیر مخاطرات باقیمانده و راهبردها در زمان و هزینه پروژه، ۴۸ روز به زمان پروژه و ۹,۲۲۸ میلیون ریال به هزینه پروژه اضافه می شود. همچنین با ارزیابی ۳ طبقه و اعمال تاثیر آنها در زمان و هزینه پروژه، نسبت به ارزیابی ۲ طبقه، زمان پروژه ۴۲ روز و هزینه پروژه ۷,۷۵۶ میلیون ریال افزایش می یابد و همینطور با ارزیابی هر طبقه و افزودن تاثیر آنها به طبقات قبلی، به زمان و هزینه پیش بینی شده پروژه افزوده می شود زیرا در هر طبقه، حالات جدیدی در نظر گرفته می شوند که در آنها نسبت به حالات طبقه قبلی خود، یک مخاطره بیشتر رخ می دهد.

۶) نتیجه گیری و پیشنهادها

یافته ها نشان می دهند که در نظر گرفتن روابط وابستگی بین مخاطرات علاوه بر اینکه باعث انجام محاسبات دقیق تر و برآورد زمان و هزینه واقعی تر برای پروژه می شود، موجب بهبود وضعیت مخاطرات تاثیرپذیر بر اثر پاسخگویی به مخاطرات تاثیرگذار و همچنین کاهش زمان و هزینه پروژه می شود و همانطور که در تحلیل حساسیت آورده شده است، با ارزیابی هر طبقه، زمان و هزینه پیش بینی شده افزایش می یابد زیرا در هر طبقه، موقعیت ها و حالات متفاوتی بررسی می گردند که احتمال وقوع و شدت اثر وقوع خاص خود را دارند. در نتیجه با ارزیابی تمام طبقات و کلیه حالات ممکن وقوع مخاطرات، دقت پیش بینی زمان و هزینه پروژه افزایش می یابد.

در مطالعه موردی مشاهده شد که عدم اجرای فرآیند ارزیابی مخاطره باعث می شود تا پیش بینی زمان پروژه، ۴۴.۷۳ درصد کمتر از زمان واقعی پروژه و همینطور پیش بینی هزینه پروژه، ۳۱.۱۳ درصد کمتر از هزینه واقعی پروژه باشد. همچنین یافته ها نشان می دهند که با اجرای فرآیند پاسخگویی به مخاطره نسبت به بعد از اجرای فرآیند ارزیابی مخاطرات، می توان زمان پروژه را ۹.۶۶ درصد و هزینه پروژه را ۱۵.۱۴ درصد کاهش داد. پس الگوی پیشنهادی با اجرای فرآیندهای مدیریت مخاطره ضمن کمک به دستیابی به زمان و هزینه واقعی و جلوگیری از خسارات ناشی از اختلاف پیش بینی زمان و هزینه با واقعیت موجب صرفه جویی در وقت و هزینه نیز می شود.

این یافته ها، ارزش عملی استفاده از رویکرد طبقه بندی در مدیریت مخاطره پروژه و پیاده سازی کلیه فرآیندهای مدیریت مخاطره پروژه را به ویژه در پروژه های زیرساختی پرخطر که در آنها افزایش زمان و هزینه واقعی نسبت به پیش بینی رایج است، برجسته می کند. این نتایج نشان دهنده تغییر از مدیریت مخاطره واکنشی به یک رویکرد پیشگیرانه و ساختار یافته است.

الگوی پیشنهادی فراتر از این مطالعه موردی خاص، کاربردهای گسترده تری در صنایع پرمخاطره از جمله بازار و سرمایه، حمل و نقل و بهداشت و درمان دارد. رویکرد طبقه بندی یک روش ساختاری برای تعیین کمیت اثرات مخاطره و راهبردهای پاسخگویی ارائه می کند و با در نظر گرفتن همه حالات ممکن پیشرفت یک پروژه، پیش بینی زمان و هزینه پروژه را دقیق تر و راحت تر می کند.

در ضمن برای توسعه تحقیقات آینده، موارد زیر پیشنهاد می شود:

- شناسایی مخاطرات مثبت همانند مخاطرات منفی و بهره‌برداری و تقویت فرصت‌های پیش رو؛
- در نظر گرفتن معیارهای دیگر (علاوه بر احتمال وقوع و شدت اثر وقوع) در رتبه‌بندی سطوح اهمیت مخاطرات مانند: «قابلیت تشخیص»؛
- ادغام رویکردهای هوش مصنوعی، داده‌کاوی و یادگیری ماشین برای بهبود قابلیت‌های پیش‌بینی الگوی پیشنهادی.
- پیاده‌سازی برخی از گام‌های الگوی پیشنهادی با نرم‌افزارهای مدیریت مخاطره مانند: Primavera Risk Analysis.
- استفاده از رویکردهای داده‌کاوی و یادگیری ماشین مانند: کلاس‌بندی، خوشه‌بندی، فرآیند تصمیم‌گیری مارکوف و ... و یا مقایسه نتایج حاصل با نتایج به‌دست آمده از الگوی پیشنهادی.
- استفاده از مفهوم طبقه‌بندی با منطق فازی.
- پیاده‌سازی الگوی پیشنهادی در سایر حوزه‌ها.

منابع

- Aarthipriya, V., Chitra, G., Poomozhi, J. S. (2020). Risk and its impacts on time and cost in construction projects. *Journal of Project Management*, 5(4), 245-254. <https://doi.org/10.5267/j.jpm.2020.6.002>.
- Al saffar, I. Q., Ezzat, A. W. (2020). Qualitative risk assessment of combined cycle power plant using hazards identification technique. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 43(2), 284-293.
- Alkhawaja, A. S., Varouqa, I. F. (2022). Risks management of infrastructure line services and their impact on the financial costs of road projects in Jordan. *Journal of Measurement: Sensors*, 25, 100647. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100647>.
- Asadabadi, M. R. (2018). The stratified multi-criteria decision-making method. *International Journal of Knowledge-Based Systems*, 162, 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.07.002>.
- Asadabadi, M. R., Saberi, M., Chang, E. (2017). Logistic informatics modelling using concept of stratification (CST). *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2017.8015510>.
- Asadabadi, M. R., Saberi, M., Chang, E. (2018). Letter: the concept of stratification and future applications. *International Journal of Applied Soft Computing*, 66, 292-296. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.02.035>.
- Asadabadi, M. R., Zwikael, O. (2019). Integrating risk into estimations of project activities' time and cost: a stratified approach. *European Journal of Operational Research*, 291(2), 482-490. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.11.018>.
- Chandanshive, V. B., Kambekar, A. R. (2021). Prediction of building construction project cost using support vector machine. *Journal of Industrial Engineering and Strategic Management*, 1(1), 31-42. <https://doi.org/10.22115/iesm.2021.297399.1015>.
- Fakhri Nazari, M. Fakhri Nazari, E., Bakhsh, N. (2023). Presenting a method to reduce the sensitivity of incremental clustering algorithms of XML documents based on collective intelligence algorithms. *Engineering Management and Soft Computing*, 9 (2). 177-187.
- Guan, L., Abbasi, A., Ryan, M. J. (2020). Analyzing green building project risk interdependencies using interpretive structural modeling. *International Journal of Cleaner Production*, 256, 120372. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120372>.
- Guan, L., Abbasi, A., Ryan, M. J. (2021). A simulation-based risk interdependency network model for project risk assessment. *International Journal of Decision Support Systems*, 148, 113602. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2021.113602>.
- Hasheminejad, N., Zare, A., Farahbakhsh, S., Bamir, M., Zolala, F. (2022). Hazard identification and risk assessment of occupational activities in golgozar mining company, southeast Iran (2021). *Journal of Occupational Health and Epidemiology*, 11(1), 32-40. <https://dx.doi.org/10.52547/johe.11.1.32>.
- Hosseini, S. A., Arjroody, A. R., Akhbari, M., Safa, E., Asadpour, J. (2022). Analyzing the effects of critical risk occurrence probability on time and cost of road construction projects using a schedule plan. *International Journal of Transportation Engineering*, 10(3), 1121-1137. <https://doi.org/10.22119/ijte.2021.312111.1598>.
- Kermanshachi, S., Pamidimukkala, A. (2023). Robustness analysis of total project cost and schedule delay and overrun indicators of heavy industrial projects. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, 15(2), 04523005. <https://dx.doi.org/10.1061/JLADAH.LADR-942>.
- Khalilzadeh, M., Shakeri, H., Zohrehvandi, S. (2021). Risk identification and assessment with the fuzzy DEMATEL-ANP method in oil and gas projects under uncertainty. *International Journal of Procedia Computer Science*, 181, 277-284. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.147>.

- Koulinas, G. K., Xanthopoulos, A. S., Sidas, K. A., Koulouriotis, D. E. (2021). Risks ranking in a desalination plant construction project with a hybrid AHP, risk matrix, and simulation-based approach. *International Journal of Water Resources Management*, 35(10), 3221-3233. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02886-4>.
- Leu, S., Liu, Y., Wu, P. (2023). Project cost overrun risk prediction using hidden markov chain analysis. *International Journal of Buildings*, 13(3), 667. <https://doi.org/10.3390/buildings13030667>.
- Maleki, M. H., Dalvand, H., Jahangirnia, H., Safa, M. (2023). Identifying and prioritizing investment risks in sports projects (case study: tourism industry). *International Journal of Advances in Mathematical Finance and Applications*, 8(1), 75-94. <https://doi.org/10.22034/amfa.2021.1918106.1536>.
- Memarpour Ghiaci, A., Gheidar-Kheljani, J. (2023). A hybrid model of extended FMEA model based on F-PIPRECIA and ZEDAS methods with Bow Tie to evaluate cybersecurity risks in Industry 4.0. *Engineering Management and Soft Computing*, 9 (2). 149-176.
- Mican, C., Fernandes, G., Araujo, M. (2021). A method for project portfolio risk assessment considering risk interdependencies – a network perspective. *International Journal of Procedia Computer Science*, 196, 948-955. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.096>.
- Project Management Institute. (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® GUIDE)*. 6th Edition, PMI.
- Saeidi-Mobarakeh, Z., Amoozad Khalili, H. (2024). Nonlinear Multi-Objective Optimization Model for Production Planning Based on Fuzzy Logic and Machine Learning. *Engineering Management and Soft Computing*, 10 (1). 155-189. <https://doi.org/10.22091/jemsc.2024.11186.1197>.
- Thoengsal, J., Tumpu, M. (2022). Analysis of project cost and time performance control using earned value method analysis (EVM-A) (Case study of concrete road construction project). *International Journal of Engineering Business and Social Science*, 1(2), 80-85. <https://dx.doi.org/10.58451/ijebss.v1i02.15>.
- Zadeh, L. A. (2016). Stratification, target set reachability and incremental enlargement principle. *International Journal of Information Sciences*, 354, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.02.047>.
- Zhu, F., Hu, H., Xu, F. (2022). Risk assessment model for international construction projects considering risk interdependence using the DEMATEL method. *Journal of Plos One*, 17(5), e0265972. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265972>.

پیوست الف) مجموعه حالات پروژه احداث سد در مرحله ارزیابی مخاطره

الف-۱) حالات طبقات اول و دوم (وقوع ۱۰ یا ۱ مخاطره)

امتیاز	C _k	T _k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت فعلی
-	۳۸۸,۰۰۰	۹۳۰	-	۱	-	۱
B	۳۹۸,۰۰۰	۱۰۲۰	۱	۲	۱	
B	۳۹۶,۵۰۰	۱۰۱۰	۲	۳	۲	
C	۳۹۴,۰۰۰	۱۰۰۵	۳	۴	۳	
A	۴۳۳,۰۰۰	۱۰۸۰	۴	۵	۴	
C	۳۹۵,۵۰۰	۱۰۱۰	۵	۶	۵	
D	۴۴۱,۰۰۰	۱۰۶۰	۶	۷	۶	
D	۴۰۳,۰۰۰	۱۰۲۶	۷	۸	۷	
D	۳۹۳,۰۰۰	۹۹۵	۸	۹	۸	
D	۳۹۱,۰۰۰	۹۷۰	۹	۱۰	۹	
A	۴۳۸,۰۰۰	۱۰۶۰	۱۰	۱۱	۱۰	
D	۳۹۲,۳۰۰	۹۹۰	۱۱	۱۲	۱۱	
C	۴۳۱,۰۰۰	۱۰۲۰	۱۲	۱۳	۱۲	
C	۳۹۳,۰۰۰	۹۹۵	۱۳	۱۴	۱۳	
C	۴۲۶,۰۰۰	۱۰۸۰	۱۴	۱۵	۱۴	
B	۴۲۶,۰۰۰	۱۰۷۵	۱۵	۱۶	۱۵	
B	۴۳۲,۰۰۰	۱۰۹۰	۱۶	۱۷	۱۶	
B	۴۴۰,۰۰۰	۱۰۳۰	۱۷	۱۸	۱۷	
B	۴۲۳,۰۰۰	۱۰۲۵	۱۸	۱۹	۱۸	
C	۴۱۰,۰۰۰	۱۰۴۰	۱۹	۲۰	۱۹	

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت فعلی
D	۴۰۰,۰۰۰	۱۰۲۵	۲۰	۲۱	۲۰	
D	۳۹۱,۸۰۰	۱۰۰۰	۲۱	۲۲	۲۱	
D	۴۰۳,۰۰۰	۱۰۲۰	۲۲	۲۳	۲۲	
B	۴۱۸,۰۰۰	۱۰۶۰	۲۳	۲۴	۲۳	
A	۴۰۸,۰۰۰	۱۰۵۰	۲۴	۲۵	۲۴	
C	۴۲۳,۰۰۰	۱۰۶۰	۲۵	۲۶	۲۵	
A	۴۳۰,۰۰۰	۱۱۰۰	۲۶	۲۷	۲۶	
A	۴۳۵,۰۰۰	۱۰۷۰	۲۷	۲۸	۲۷	
D	۳۹۱,۰۰۰	۹۷۵	۲۸	۲۹	۲۸	
C	۳۹۱,۵۰۰	۹۸۰	۲۹	۳۰	۲۹	
A	۴۳۸,۰۰۰	۱۰۹۰	۳۰	۳۱	۳۰	
D	۳۹۵,۰۰۰	۹۹۰	۳۱	۳۲	۳۱	
D	۴۱۳,۰۰۰	۱۰۵۰	۳۲	۳۳	۳۲	
D	۴۳۸,۰۰۰	۱۰۶۰	۳۳	۳۴	۳۳	
B	۴۳۵,۰۰۰	۱۰۹۰	۳۴	۳۵	۳۴	

الف-۲) حالات طبقه سوم (وقوع ۲ مخاطره)

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
c	۴۰۶,۵۰۰	۱۱۰۰	۱,۲	۳۶	۲	۲
c	۴۰۴,۰۰۰	۱۰۹۵	۱,۳	۳۷	۳	
b	۴۴۳,۰۰۰	۱۱۷۰	۱,۴	۳۸	۴	
c	۴۰۵,۵۰۰	۱۱۰۰	۱,۵	۳۹	۵	
b	۴۴۸,۰۰۰	۱۱۵۰	۱,۱۰	۴۰	۱۰	
c	۴۴۱,۰۰۰	۱۱۱۰	۱,۱۲	۴۱	۱۲	
c	۴۰۳,۰۰۰	۱۰۸۵	۱,۱۳	۴۲	۱۳	
c	۴۳۶,۰۰۰	۱۱۷۰	۱,۱۴	۴۳	۱۴	
c	۴۳۶,۰۰۰	۱۱۶۵	۱,۱۵	۴۴	۱۵	
c	۴۴۲,۰۰۰	۱۱۸۰	۱,۱۶	۴۵	۱۶	
c	۴۵۰,۰۰۰	۱۱۲۰	۱,۱۷	۴۶	۱۷	
c	۴۳۳,۰۰۰	۱۱۱۵	۱,۱۸	۴۷	۱۸	
c	۴۲۰,۰۰۰	۱۱۳۰	۱,۱۹	۴۸	۱۹	
c	۴۲۸,۰۰۰	۱۱۵۰	۱,۲۳	۴۹	۲۳	
b	۴۱۸,۰۰۰	۱۱۴۰	۱,۲۴	۵۰	۲۴	
c	۴۳۳,۰۰۰	۱۱۵۰	۱,۲۵	۵۱	۲۵	
b	۴۴۰,۰۰۰	۱۱۹۰	۱,۲۶	۵۲	۲۶	
b	۴۴۵,۰۰۰	۱۱۶۰	۱,۲۷	۵۳	۲۷	
c	۴۰۱,۵۰۰	۱۰۷۰	۱,۲۹	۵۴	۲۹	
b	۴۴۸,۰۰۰	۱۱۸۰	۱,۳۰	۵۵	۳۰	
c	۴۴۵,۰۰۰	۱۱۸۰	۱,۳۴	۵۶	۳۴	
c	۴۰۲,۵۰۰	۱۰۸۵	۲,۳	۵۷	۳	۳
b	۴۴۱,۵۰۰	۱۱۶۰	۲,۴	۵۸	۴	

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
c	۴۰۴,۰۰۰	۱۰۹۰	۲,۵	۵۹	۵	
b	۴۴۶,۵۰۰	۱۱۴۰	۲,۱۰	۶۰	۱۰	
c	۴۳۹,۵۰۰	۱۱۰۰	۲,۱۲	۶۱	۱۲	
c	۴۰۱,۵۰۰	۱۰۷۵	۲,۱۳	۶۲	۱۳	
c	۴۳۴,۵۰۰	۱۱۶۰	۲,۱۴	۶۳	۱۴	
c	۴۳۴,۵۰۰	۱۱۵۵	۲,۱۵	۶۴	۱۵	
c	۴۴۰,۵۰۰	۱۱۷۰	۲,۱۶	۶۵	۱۶	
c	۴۴۸,۵۰۰	۱۱۱۰	۲,۱۷	۶۶	۱۷	
c	۴۳۱,۵۰۰	۱۱۰۵	۲,۱۸	۶۷	۱۸	
c	۴۱۸,۵۰۰	۱۱۲۰	۲,۱۹	۶۸	۱۹	
c	۴۲۶,۵۰۰	۱۱۴۰	۲,۲۳	۶۹	۲۳	
b	۴۱۶,۵۰۰	۱۱۳۰	۲,۲۴	۷۰	۲۴	
c	۴۳۱,۵۰۰	۱۱۴۰	۲,۲۵	۷۱	۲۵	
b	۴۳۸,۵۰۰	۱۱۸۰	۲,۲۶	۷۲	۲۶	
b	۴۴۳,۵۰۰	۱۱۵۰	۲,۲۷	۷۳	۲۷	
c	۴۰۰,۰۰۰	۱۰۶۰	۲,۲۹	۷۴	۲۹	
b	۴۴۶,۵۰۰	۱۱۷۰	۲,۳۰	۷۵	۳۰	
c	۴۴۳,۵۰۰	۱۱۷۰	۲,۳۴	۷۶	۳۴	
b	۴۳۹,۰۰۰	۱۱۵۵	۳,۴	۷۷	۴	۴
c	۴۰۱,۵۰۰	۱۰۸۵	۳,۵	۷۸	۵	
b	۴۴۴,۰۰۰	۱۱۳۵	۳,۱۰	۷۹	۱۰	
c	۴۳۷,۰۰۰	۱۰۹۵	۳,۱۲	۸۰	۱۲	
c	۳۹۹,۰۰۰	۱۰۷۰	۳,۱۳	۸۱	۱۳	
c	۴۳۲,۰۰۰	۱۱۵۵	۳,۱۴	۸۲	۱۴	
c	۴۳۲,۰۰۰	۱۱۵۰	۳,۱۵	۸۳	۱۵	
c	۴۳۸,۰۰۰	۱۱۶۵	۳,۱۶	۸۴	۱۶	
c	۴۴۶,۰۰۰	۱۱۰۵	۳,۱۷	۸۵	۱۷	
c	۴۲۹,۰۰۰	۱۱۰۰	۳,۱۸	۸۶	۱۸	
c	۴۱۶,۰۰۰	۱۱۱۵	۳,۱۹	۸۷	۱۹	
c	۴۲۴,۰۰۰	۱۱۳۵	۳,۲۳	۸۸	۲۳	
b	۴۱۴,۰۰۰	۱۱۲۵	۳,۲۴	۸۹	۲۴	
c	۴۲۹,۰۰۰	۱۱۳۵	۳,۲۵	۹۰	۲۵	
b	۴۳۶,۰۰۰	۱۱۷۵	۳,۲۶	۹۱	۲۶	
b	۴۴۱,۰۰۰	۱۱۴۵	۳,۲۷	۹۲	۲۷	
c	۳۹۷,۵۰۰	۱۰۵۵	۳,۲۹	۹۳	۲۹	
b	۴۴۴,۰۰۰	۱۱۶۵	۳,۳۰	۹۴	۳۰	
c	۴۴۱,۰۰۰	۱۱۶۵	۳,۳۴	۹۵	۳۴	
c	۴۴۰,۵۰۰	۱۱۶۰	۴,۵	۹۶	۵	۵
a	۴۸۳,۰۰۰	۱۲۱۰	۴,۱۰	۹۷	۱۰	
c	۴۷۶,۰۰۰	۱۱۷۰	۴,۱۲	۹۸	۱۲	
c	۴۳۸,۰۰۰	۱۱۴۵	۴,۱۳	۹۹	۱۳	
c	۴۷۱,۰۰۰	۱۲۳۰	۴,۱۴	۱۰۰	۱۴	
b	۴۷۱,۰۰۰	۱۲۲۵	۴,۱۵	۱۰۱	۱۵	

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
b	۴۷۷,۰۰۰	۱۲۴۰	۴,۱۶	۱۰۲	۱۶	
b	۴۸۵,۰۰۰	۱۱۸۰	۴,۱۷	۱۰۳	۱۷	
b	۴۶۸,۰۰۰	۱۱۷۵	۴,۱۸	۱۰۴	۱۸	
c	۴۵۵,۰۰۰	۱۱۹۰	۴,۱۹	۱۰۵	۱۹	
b	۴۶۳,۰۰۰	۱۲۱۰	۴,۲۳	۱۰۶	۲۳	
a	۴۵۳,۰۰۰	۱۲۰۰	۴,۲۴	۱۰۷	۲۴	
c	۴۶۸,۰۰۰	۱۲۱۰	۴,۲۵	۱۰۸	۲۵	
a	۴۷۵,۰۰۰	۱۲۵۰	۴,۲۶	۱۰۹	۲۶	
a	۴۸۰,۰۰۰	۱۲۲۰	۴,۲۷	۱۱۰	۲۷	
c	۴۳۶,۵۰۰	۱۱۳۰	۴,۲۹	۱۱۱	۲۹	
a	۴۸۳,۰۰۰	۱۲۴۰	۴,۳۰	۱۱۲	۳۰	
b	۴۸۰,۰۰۰	۱۲۴۰	۴,۳۴	۱۱۳	۳۴	
b	۴۴۵,۵۰۰	۱۱۴۰	۵,۱۰	۱۱۴	۱۰	۶
c	۴۳۸,۵۰۰	۱۱۰۰	۵,۱۲	۱۱۵	۱۲	
c	۴۰۰,۵۰۰	۱۰۷۵	۵,۱۳	۱۱۶	۱۳	
c	۴۳۳,۵۰۰	۱۱۶۰	۵,۱۴	۱۱۷	۱۴	
c	۴۳۳,۵۰۰	۱۱۵۵	۵,۱۵	۱۱۸	۱۵	
c	۴۳۹,۵۰۰	۱۱۷۰	۵,۱۶	۱۱۹	۱۶	
c	۴۴۷,۵۰۰	۱۱۱۰	۵,۱۷	۱۲۰	۱۷	
c	۴۳۰,۵۰۰	۱۱۰۵	۵,۱۸	۱۲۱	۱۸	
c	۴۱۷,۵۰۰	۱۱۲۰	۵,۱۹	۱۲۲	۱۹	
c	۴۲۵,۵۰۰	۱۱۴۰	۵,۲۳	۱۲۳	۲۳	
b	۴۱۵,۵۰۰	۱۱۳۰	۵,۲۴	۱۲۴	۲۴	
c	۴۳۰,۵۰۰	۱۱۴۰	۵,۲۵	۱۲۵	۲۵	
b	۴۳۷,۵۰۰	۱۱۸۰	۵,۲۶	۱۲۶	۲۶	
b	۴۴۲,۵۰۰	۱۱۵۰	۵,۲۷	۱۲۷	۲۷	
c	۳۹۹,۰۰۰	۱۰۶۰	۵,۲۹	۱۲۸	۲۹	
b	۴۴۵,۵۰۰	۱۱۷۰	۵,۳۰	۱۲۹	۳۰	
c	۴۴۲,۵۰۰	۱۱۷۰	۵,۳۴	۱۳۰	۳۴	
c	۴۸۱,۰۰۰	۱۱۵۰	۱۰,۱۲	۱۳۱	۱۲	۱۱
c	۴۴۳,۰۰۰	۱۱۲۵	۱۰,۱۳	۱۳۲	۱۳	
c	۴۷۶,۰۰۰	۱۲۱۰	۱۰,۱۴	۱۳۳	۱۴	
b	۴۷۶,۰۰۰	۱۲۰۵	۱۰,۱۵	۱۳۴	۱۵	
b	۴۸۲,۰۰۰	۱۲۲۰	۱۰,۱۶	۱۳۵	۱۶	
b	۴۹۰,۰۰۰	۱۱۶۰	۱۰,۱۷	۱۳۶	۱۷	
b	۴۷۳,۰۰۰	۱۱۵۵	۱۰,۱۸	۱۳۷	۱۸	
c	۴۶۰,۰۰۰	۱۱۷۰	۱۰,۱۹	۱۳۸	۱۹	
b	۴۶۸,۰۰۰	۱۱۹۰	۱۰,۲۳	۱۳۹	۲۳	
a	۴۵۸,۰۰۰	۱۱۸۰	۱۰,۲۴	۱۴۰	۲۴	
c	۴۷۳,۰۰۰	۱۱۹۰	۱۰,۲۵	۱۴۱	۲۵	
a	۴۸۰,۰۰۰	۱۲۳۰	۱۰,۲۶	۱۴۲	۲۶	
a	۴۸۵,۰۰۰	۱۲۰۰	۱۰,۲۷	۱۴۳	۲۷	
c	۴۴۱,۵۰۰	۱۱۱۰	۱۰,۲۹	۱۴۴	۲۹	

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
a	۴۸۸,۰۰۰	۱۲۲۰	۱۰,۳۰	۱۴۵	۳۰	
b	۴۸۵,۰۰۰	۱۲۲۰	۱۰,۳۴	۱۴۶	۳۴	
c	۴۳۶,۰۰۰	۱۰۸۵	۱۲,۱۳	۱۴۷	۱۳	۱۳
c	۴۶۹,۰۰۰	۱۱۷۰	۱۲,۱۴	۱۴۸	۱۴	
c	۴۶۹,۰۰۰	۱۱۶۵	۱۲,۱۵	۱۴۹	۱۵	
c	۴۷۵,۰۰۰	۱۱۸۰	۱۲,۱۶	۱۵۰	۱۶	
c	۴۸۳,۰۰۰	۱۱۲۰	۱۲,۱۷	۱۵۱	۱۷	
c	۴۶۶,۰۰۰	۱۱۱۵	۱۲,۱۸	۱۵۲	۱۸	
c	۴۵۳,۰۰۰	۱۱۳۰	۱۲,۱۹	۱۵۳	۱۹	
c	۴۶۱,۰۰۰	۱۱۵۰	۱۲,۲۳	۱۵۴	۲۳	
b	۴۵۱,۰۰۰	۱۱۴۰	۱۲,۲۴	۱۵۵	۲۴	
c	۴۶۶,۰۰۰	۱۱۵۰	۱۲,۲۵	۱۵۶	۲۵	
b	۴۷۳,۰۰۰	۱۱۹۰	۱۲,۲۶	۱۵۷	۲۶	
b	۴۷۸,۰۰۰	۱۱۶۰	۱۲,۲۷	۱۵۸	۲۷	
c	۴۳۴,۵۰۰	۱۰۷۰	۱۲,۲۹	۱۵۹	۲۹	
b	۴۸۱,۰۰۰	۱۱۸۰	۱۲,۳۰	۱۶۰	۳۰	
c	۴۷۸,۰۰۰	۱۱۸۰	۱۲,۳۴	۱۶۱	۳۴	
c	۴۳۱,۰۰۰	۱۱۴۵	۱۳,۱۴	۱۶۲	۱۴	۱۴
c	۴۳۱,۰۰۰	۱۱۴۰	۱۳,۱۵	۱۶۳	۱۵	
c	۴۳۷,۰۰۰	۱۱۵۵	۱۳,۱۶	۱۶۴	۱۶	
c	۴۴۵,۰۰۰	۱۰۹۵	۱۳,۱۷	۱۶۵	۱۷	
c	۴۲۸,۰۰۰	۱۰۹۰	۱۳,۱۸	۱۶۶	۱۸	
c	۴۱۵,۰۰۰	۱۱۰۵	۱۳,۱۹	۱۶۷	۱۹	
c	۴۲۳,۰۰۰	۱۱۲۵	۱۳,۲۳	۱۶۸	۲۳	
b	۴۱۳,۰۰۰	۱۱۱۵	۱۳,۲۴	۱۶۹	۲۴	
c	۴۲۸,۰۰۰	۱۱۲۵	۱۳,۲۵	۱۷۰	۲۵	
b	۴۳۵,۰۰۰	۱۱۶۵	۱۳,۲۶	۱۷۱	۲۶	
b	۴۴۰,۰۰۰	۱۱۳۵	۱۳,۲۷	۱۷۲	۲۷	
c	۳۹۶,۵۰۰	۱۰۴۵	۱۳,۲۹	۱۷۳	۲۹	
b	۴۴۳,۰۰۰	۱۱۵۵	۱۳,۳۰	۱۷۴	۳۰	
c	۴۴۰,۰۰۰	۱۱۵۵	۱۳,۳۴	۱۷۵	۳۴	
c	۴۶۴,۰۰۰	۱۲۲۵	۱۴,۱۵	۱۷۶	۱۵	۱۵
c	۴۷۰,۰۰۰	۱۲۴۰	۱۴,۱۶	۱۷۷	۱۶	
c	۴۷۸,۰۰۰	۱۱۸۰	۱۴,۱۷	۱۷۸	۱۷	
c	۴۶۱,۰۰۰	۱۱۷۵	۱۴,۱۸	۱۷۹	۱۸	
c	۴۴۸,۰۰۰	۱۱۹۰	۱۴,۱۹	۱۸۰	۱۹	
c	۴۵۶,۰۰۰	۱۲۱۰	۱۴,۲۳	۱۸۱	۲۳	
b	۴۴۶,۰۰۰	۱۲۰۰	۱۴,۲۴	۱۸۲	۲۴	
c	۴۶۱,۰۰۰	۱۲۱۰	۱۴,۲۵	۱۸۳	۲۵	
b	۴۶۸,۰۰۰	۱۲۵۰	۱۴,۲۶	۱۸۴	۲۶	
b	۴۷۳,۰۰۰	۱۲۲۰	۱۴,۲۷	۱۸۵	۲۷	
c	۴۲۹,۵۰۰	۱۱۳۰	۱۴,۲۹	۱۸۶	۲۹	
b	۴۷۶,۰۰۰	۱۲۴۰	۱۴,۳۰	۱۸۷	۳۰	

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
c	۴۷۳,۰۰۰	۱۲۴۰	۱۴,۳۴	۱۸۸	۳۴	
c	۴۷۰,۰۰۰	۱۲۳۵	۱۵,۱۶	۱۸۹	۱۶	۱۶
c	۴۷۸,۰۰۰	۱۱۷۵	۱۵,۱۷	۱۹۰	۱۷	
c	۴۶۱,۰۰۰	۱۱۷۰	۱۵,۱۸	۱۹۱	۱۸	
c	۴۴۸,۰۰۰	۱۱۸۵	۱۵,۱۹	۱۹۲	۱۹	
c	۴۵۶,۰۰۰	۱۲۰۵	۱۵,۲۳	۱۹۳	۲۳	
b	۴۴۶,۰۰۰	۱۱۹۵	۱۵,۲۴	۱۹۴	۲۴	
c	۴۶۱,۰۰۰	۱۲۰۵	۱۵,۲۵	۱۹۵	۲۵	
b	۴۶۸,۰۰۰	۱۲۴۵	۱۵,۲۶	۱۹۶	۲۶	
b	۴۷۳,۰۰۰	۱۲۱۵	۱۵,۲۷	۱۹۷	۲۷	
c	۴۲۹,۵۰۰	۱۱۲۵	۱۵,۲۹	۱۹۸	۲۹	
b	۴۷۶,۰۰۰	۱۲۳۵	۱۵,۳۰	۱۹۹	۳۰	
c	۴۷۳,۰۰۰	۱۲۳۵	۱۵,۳۴	۲۰۰	۳۴	
c	۴۸۴,۰۰۰	۱۱۹۰	۱۶,۱۷	۲۰۱	۱۷	۱۷
c	۴۶۷,۰۰۰	۱۱۸۵	۱۶,۱۸	۲۰۲	۱۸	
c	۴۵۴,۰۰۰	۱۲۰۰	۱۶,۱۹	۲۰۳	۱۹	
c	۴۶۲,۰۰۰	۱۲۲۰	۱۶,۲۳	۲۰۴	۲۳	
b	۴۵۲,۰۰۰	۱۲۱۰	۱۶,۲۴	۲۰۵	۲۴	
c	۴۶۷,۰۰۰	۱۲۲۰	۱۶,۲۵	۲۰۶	۲۵	
b	۴۷۴,۰۰۰	۱۲۶۰	۱۶,۲۶	۲۰۷	۲۶	
b	۴۷۹,۰۰۰	۱۲۳۰	۱۶,۲۷	۲۰۸	۲۷	
c	۴۳۵,۵۰۰	۱۱۴۰	۱۶,۲۹	۲۰۹	۲۹	
b	۴۸۲,۰۰۰	۱۲۵۰	۱۶,۳۰	۲۱۰	۳۰	
c	۴۷۹,۰۰۰	۱۲۵۰	۱۶,۳۴	۲۱۱	۳۴	
c	۴۷۵,۰۰۰	۱۱۲۵	۱۷,۱۸	۲۱۲	۱۸	۱۸
c	۴۶۲,۰۰۰	۱۱۴۰	۱۷,۱۹	۲۱۳	۱۹	
c	۴۷۰,۰۰۰	۱۱۶۰	۱۷,۲۳	۲۱۴	۲۳	
b	۴۶۰,۰۰۰	۱۱۵۰	۱۷,۲۴	۲۱۵	۲۴	
c	۴۷۵,۰۰۰	۱۱۶۰	۱۷,۲۵	۲۱۶	۲۵	
b	۴۸۲,۰۰۰	۱۲۰۰	۱۷,۲۶	۲۱۷	۲۶	
b	۴۸۷,۰۰۰	۱۱۷۰	۱۷,۲۷	۲۱۸	۲۷	
c	۴۴۳,۵۰۰	۱۰۸۰	۱۷,۲۹	۲۱۹	۲۹	
b	۴۹۰,۰۰۰	۱۱۹۰	۱۷,۳۰	۲۲۰	۳۰	
c	۴۸۷,۰۰۰	۱۱۹۰	۱۷,۳۴	۲۲۱	۳۴	
c	۴۴۵,۰۰۰	۱۱۳۵	۱۸,۱۹	۲۲۲	۱۹	۱۹
c	۴۵۳,۰۰۰	۱۱۵۵	۱۸,۲۳	۲۲۳	۲۳	
b	۴۴۳,۰۰۰	۱۱۴۵	۱۸,۲۴	۲۲۴	۲۴	
c	۴۵۸,۰۰۰	۱۱۵۵	۱۸,۲۵	۲۲۵	۲۵	
b	۴۶۵,۰۰۰	۱۱۹۵	۱۸,۲۶	۲۲۶	۲۶	
b	۴۷۰,۰۰۰	۱۱۶۵	۱۸,۲۷	۲۲۷	۲۷	
c	۴۲۶,۵۰۰	۱۰۷۵	۱۸,۲۹	۲۲۸	۲۹	
b	۴۷۳,۰۰۰	۱۱۸۵	۱۸,۳۰	۲۲۹	۳۰	
c	۴۷۰,۰۰۰	۱۱۸۵	۱۸,۳۴	۲۳۰	۳۴	

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
c	۴۴۰,۰۰۰	۱۱۷۰	۱۹,۲۳	۲۳۱	۲۳	۲۰
b	۴۳۰,۰۰۰	۱۱۶۰	۱۹,۲۴	۲۳۲	۲۴	
c	۴۴۵,۰۰۰	۱۱۷۰	۱۹,۲۵	۲۳۳	۲۵	
b	۴۵۲,۰۰۰	۱۲۱۰	۱۹,۲۶	۲۳۴	۲۶	
b	۴۵۷,۰۰۰	۱۱۸۰	۱۹,۲۷	۲۳۵	۲۷	
c	۴۱۳,۵۰۰	۱۰۹۰	۱۹,۲۹	۲۳۶	۲۹	
b	۴۶۰,۰۰۰	۱۲۰۰	۱۹,۳۰	۲۳۷	۳۰	
c	۴۵۷,۰۰۰	۱۲۰۰	۱۹,۳۴	۲۳۸	۳۴	
b	۴۳۸,۰۰۰	۱۱۸۰	۲۳,۲۴	۲۳۹	۲۴	۲۴
c	۴۵۳,۰۰۰	۱۱۹۰	۲۳,۲۵	۲۴۰	۲۵	
b	۴۶۰,۰۰۰	۱۲۳۰	۲۳,۲۶	۲۴۱	۲۶	
b	۴۶۵,۰۰۰	۱۲۰۰	۲۳,۲۷	۲۴۲	۲۷	
c	۴۲۱,۵۰۰	۱۱۱۰	۲۳,۲۹	۲۴۳	۲۹	
b	۴۶۸,۰۰۰	۱۲۲۰	۲۳,۳۰	۲۴۴	۳۰	
c	۴۶۵,۰۰۰	۱۲۲۰	۲۳,۳۴	۲۴۵	۳۴	
c	۴۴۳,۰۰۰	۱۱۸۰	۲۴,۲۵	۲۴۶	۲۵	۲۵
a	۴۵۰,۰۰۰	۱۲۲۰	۲۴,۲۶	۲۴۷	۲۶	
a	۴۵۵,۰۰۰	۱۱۹۰	۲۴,۲۷	۲۴۸	۲۷	
c	۴۱۱,۵۰۰	۱۱۰۰	۲۴,۲۹	۲۴۹	۲۹	
a	۴۵۸,۰۰۰	۱۲۱۰	۲۴,۳۰	۲۵۰	۳۰	
b	۴۵۵,۰۰۰	۱۲۱۰	۲۴,۳۴	۲۵۱	۳۴	
b	۴۶۵,۰۰۰	۱۲۳۰	۲۵,۲۶	۲۵۲	۲۶	۲۶
b	۴۷۰,۰۰۰	۱۲۰۰	۲۵,۲۷	۲۵۳	۲۷	
c	۴۲۶,۵۰۰	۱۱۱۰	۲۵,۲۹	۲۵۴	۲۹	
b	۴۷۳,۰۰۰	۱۲۲۰	۲۵,۳۰	۲۵۵	۳۰	
c	۴۷۰,۰۰۰	۱۲۲۰	۲۵,۳۴	۲۵۶	۳۴	
a	۴۷۷,۰۰۰	۱۲۴۰	۲۶,۲۷	۲۵۷	۲۷	۲۷
c	۴۳۳,۵۰۰	۱۱۵۰	۲۶,۲۹	۲۵۸	۲۹	
a	۴۸۰,۰۰۰	۱۲۶۰	۲۶,۳۰	۲۵۹	۳۰	
b	۴۷۷,۰۰۰	۱۲۶۰	۲۶,۳۴	۲۶۰	۳۴	
c	۴۳۸,۵۰۰	۱۱۲۰	۲۷,۲۹	۲۶۱	۲۹	۲۸
a	۴۸۵,۰۰۰	۱۲۳۰	۲۷,۳۰	۲۶۲	۳۰	
b	۴۸۲,۰۰۰	۱۲۳۰	۲۷,۳۴	۲۶۳	۳۴	
b	۴۴۱,۵۰۰	۱۱۴۰	۲۹,۳۰	۲۶۴	۳۰	۳۰
c	۴۳۸,۵۰۰	۱۱۴۰	۲۹,۳۴	۲۶۵	۳۴	
b	۴۸۵,۰۰۰	۱۲۵۰	۳۰,۳۴	۲۶۶	۳۴	۳۱

۶-۱) حالات طبقه چهارم (وقوع ۳ مخاطره)

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
c	۴۹۳,۰۰۰	۱۳۰۰	۱,۴,۱۰	۲۶۷	۱۰	۳۸
c	۴۶۳,۰۰۰	۱۲۹۰	۱,۴,۲۴	۲۶۸	۲۴	

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
c	۴۸۵,۰۰۰	۱۳۴۰	۱,۴,۲۶	۲۶۹	۲۶	
c	۴۹۰,۰۰۰	۱۳۱۰	۱,۴,۲۷	۲۷۰	۲۷	
c	۴۹۳,۰۰۰	۱۳۳۰	۱,۴,۳۰	۲۷۱	۳۰	
c	۴۶۸,۰۰۰	۱۲۷۰	۱,۱۰,۲۴	۲۷۲	۲۴	۴۰
c	۴۹۰,۰۰۰	۱۳۲۰	۱,۱۰,۲۶	۲۷۳	۲۶	
c	۴۹۵,۰۰۰	۱۲۹۰	۱,۱۰,۲۷	۲۷۴	۲۷	
c	۴۹۸,۰۰۰	۱۳۱۰	۱,۱۰,۳۰	۲۷۵	۳۰	
c	۴۶۰,۰۰۰	۱۳۱۰	۱,۲۴,۲۶	۲۷۶	۲۶	۵۰
c	۴۶۵,۰۰۰	۱۲۸۰	۱,۲۴,۲۷	۲۷۷	۲۷	
c	۴۶۸,۰۰۰	۱۳۰۰	۱,۲۴,۳۰	۲۷۸	۳۰	
c	۴۸۷,۰۰۰	۱۳۳۰	۱,۲۶,۲۷	۲۷۹	۲۷	۵۲
c	۴۹۰,۰۰۰	۱۳۵۰	۱,۲۶,۳۰	۲۸۰	۳۰	
c	۴۹۵,۰۰۰	۱۳۲۰	۱,۲۷,۳۰	۲۸۱	۳۰	۵۳
c	۴۹۱,۵۰۰	۱۲۹۰	۲,۴,۱۰	۲۸۲	۱۰	۵۸
c	۴۶۱,۵۰۰	۱۲۸۰	۲,۴,۲۴	۲۸۳	۲۴	
c	۴۸۳,۵۰۰	۱۳۳۰	۲,۴,۲۶	۲۸۴	۲۶	
c	۴۸۸,۵۰۰	۱۳۰۰	۲,۴,۲۷	۲۸۵	۲۷	
c	۴۹۱,۵۰۰	۱۳۲۰	۲,۴,۳۰	۲۸۶	۳۰	
c	۴۶۶,۵۰۰	۱۲۶۰	۲,۱۰,۲۴	۲۸۷	۲۴	۶۰
c	۴۸۸,۵۰۰	۱۳۱۰	۲,۱۰,۲۶	۲۸۸	۲۶	
c	۴۹۳,۵۰۰	۱۲۸۰	۲,۱۰,۲۷	۲۸۹	۲۷	
c	۴۹۶,۵۰۰	۱۳۰۰	۲,۱۰,۳۰	۲۹۰	۳۰	
c	۴۵۸,۵۰۰	۱۳۰۰	۲,۲۴,۲۶	۲۹۱	۲۶	۷۰
c	۴۶۳,۵۰۰	۱۲۷۰	۲,۲۴,۲۷	۲۹۲	۲۷	
c	۴۶۶,۵۰۰	۱۲۹۰	۲,۲۴,۳۰	۲۹۳	۳۰	
c	۴۸۵,۵۰۰	۱۳۲۰	۲,۲۶,۲۷	۲۹۴	۲۷	۷۲
c	۴۸۸,۵۰۰	۱۳۴۰	۲,۲۶,۳۰	۲۹۵	۳۰	
c	۴۹۳,۵۰۰	۱۳۱۰	۲,۲۷,۳۰	۲۹۶	۳۰	۷۳
c	۴۸۹,۰۰۰	۱۲۸۵	۳,۴,۱۰	۲۹۷	۱۰	۷۷
c	۴۵۹,۰۰۰	۱۲۷۵	۳,۴,۲۴	۲۹۸	۲۴	
c	۴۸۱,۰۰۰	۱۳۲۵	۳,۴,۲۶	۲۹۹	۲۶	
c	۴۸۶,۰۰۰	۱۲۹۵	۳,۴,۲۷	۳۰۰	۲۷	
c	۴۸۹,۰۰۰	۱۳۱۵	۳,۴,۳۰	۳۰۱	۳۰	
c	۴۶۴,۰۰۰	۱۲۵۵	۳,۱۰,۲۴	۳۰۲	۲۴	۷۹
c	۴۸۶,۰۰۰	۱۳۰۵	۳,۱۰,۲۶	۳۰۳	۲۶	
c	۴۹۱,۰۰۰	۱۲۷۵	۳,۱۰,۲۷	۳۰۴	۲۷	
c	۴۹۴,۰۰۰	۱۲۹۵	۳,۱۰,۳۰	۳۰۵	۳۰	
c	۴۵۶,۰۰۰	۱۲۹۵	۳,۲۴,۲۶	۳۰۶	۲۶	۸۹
c	۴۶۱,۰۰۰	۱۲۶۵	۳,۲۴,۲۷	۳۰۷	۲۷	
c	۴۶۴,۰۰۰	۱۲۸۵	۳,۲۴,۳۰	۳۰۸	۳۰	
c	۴۸۳,۰۰۰	۱۳۱۵	۳,۲۶,۲۷	۳۰۹	۲۷	۹۱
c	۴۸۶,۰۰۰	۱۳۳۵	۳,۲۶,۳۰	۳۱۰	۳۰	
c	۴۹۱,۰۰۰	۱۳۰۵	۳,۲۷,۳۰	۳۱۱	۳۰	۹۲

امتیاز	C _k	T _k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
b	۵۲۱,۰۰۰	۱۳۵۵	۴,۱۰,۱۵	۳۱۲	۱۵	۹۷
b	۵۲۷,۰۰۰	۱۳۷۰	۴,۱۰,۱۶	۳۱۳	۱۶	
b	۵۳۵,۰۰۰	۱۳۱۰	۴,۱۰,۱۷	۳۱۴	۱۷	
b	۵۱۸,۰۰۰	۱۳۰۵	۴,۱۰,۱۸	۳۱۵	۱۸	
b	۵۱۳,۰۰۰	۱۳۴۰	۴,۱۰,۲۳	۳۱۶	۲۳	
a	۵۰۳,۰۰۰	۱۳۳۰	۴,۱۰,۲۴	۳۱۷	۲۴	
a	۵۲۵,۰۰۰	۱۳۸۰	۴,۱۰,۲۶	۳۱۸	۲۶	
a	۵۳۰,۰۰۰	۱۳۵۰	۴,۱۰,۲۷	۳۱۹	۲۷	
a	۵۳۳,۰۰۰	۱۳۷۰	۴,۱۰,۳۰	۳۲۰	۳۰	
b	۵۳۰,۰۰۰	۱۳۷۰	۴,۱۰,۳۴	۳۲۱	۳۴	
c	۵۱۵,۰۰۰	۱۳۸۵	۴,۱۵,۱۶	۳۲۲	۱۶	۱۰۱
c	۵۲۳,۰۰۰	۱۳۲۵	۴,۱۵,۱۷	۳۲۳	۱۷	
c	۵۰۶,۰۰۰	۱۳۲۰	۴,۱۵,۱۸	۳۲۴	۱۸	
c	۵۰۱,۰۰۰	۱۳۵۵	۴,۱۵,۲۳	۳۲۵	۲۳	
c	۴۹۱,۰۰۰	۱۳۴۵	۴,۱۵,۲۴	۳۲۶	۲۴	
c	۵۱۳,۰۰۰	۱۳۹۵	۴,۱۵,۲۶	۳۲۷	۲۶	
c	۵۱۸,۰۰۰	۱۳۶۵	۴,۱۵,۲۷	۳۲۸	۲۷	
c	۵۲۱,۰۰۰	۱۳۸۵	۴,۱۵,۳۰	۳۲۹	۳۰	
c	۵۱۸,۰۰۰	۱۳۸۵	۴,۱۵,۳۴	۳۳۰	۳۴	۱۰۲
c	۵۲۹,۰۰۰	۱۳۴۰	۴,۱۶,۱۷	۳۳۱	۱۷	
c	۵۱۲,۰۰۰	۱۳۳۵	۴,۱۶,۱۸	۳۳۲	۱۸	
c	۵۰۷,۰۰۰	۱۳۷۰	۴,۱۶,۲۳	۳۳۳	۲۳	
c	۴۹۷,۰۰۰	۱۳۶۰	۴,۱۶,۲۴	۳۳۴	۲۴	
c	۵۱۹,۰۰۰	۱۴۱۰	۴,۱۶,۲۶	۳۳۵	۲۶	
c	۵۲۴,۰۰۰	۱۳۸۰	۴,۱۶,۲۷	۳۳۶	۲۷	
c	۵۲۷,۰۰۰	۱۴۰۰	۴,۱۶,۳۰	۳۳۷	۳۰	
c	۵۲۴,۰۰۰	۱۴۰۰	۴,۱۶,۳۴	۳۳۸	۳۴	۱۰۳
c	۵۲۰,۰۰۰	۱۲۷۵	۴,۱۷,۱۸	۳۳۹	۱۸	
c	۵۱۵,۰۰۰	۱۳۱۰	۴,۱۷,۲۳	۳۴۰	۲۳	
c	۵۰۵,۰۰۰	۱۳۰۰	۴,۱۷,۲۴	۳۴۱	۲۴	
c	۵۲۷,۰۰۰	۱۳۵۰	۴,۱۷,۲۶	۳۴۲	۲۶	
c	۵۳۲,۰۰۰	۱۳۲۰	۴,۱۷,۲۷	۳۴۳	۲۷	
c	۵۳۵,۰۰۰	۱۳۴۰	۴,۱۷,۳۰	۳۴۴	۳۰	
c	۵۳۲,۰۰۰	۱۳۴۰	۴,۱۷,۳۴	۳۴۵	۳۴	۱۰۴
c	۴۹۸,۰۰۰	۱۳۰۵	۴,۱۸,۲۳	۳۴۶	۲۳	
c	۴۸۸,۰۰۰	۱۲۹۵	۴,۱۸,۲۴	۳۴۷	۲۴	
c	۵۱۰,۰۰۰	۱۳۴۵	۴,۱۸,۲۶	۳۴۸	۲۶	
c	۵۱۵,۰۰۰	۱۳۱۵	۴,۱۸,۲۷	۳۴۹	۲۷	
c	۵۱۸,۰۰۰	۱۳۳۵	۴,۱۸,۳۰	۳۵۰	۳۰	
c	۵۱۵,۰۰۰	۱۳۳۵	۴,۱۸,۳۴	۳۵۱	۳۴	۱۰۶
c	۴۸۳,۰۰۰	۱۳۳۰	۴,۲۳,۲۴	۳۵۲	۲۴	
c	۵۰۵,۰۰۰	۱۳۸۰	۴,۲۳,۲۶	۳۵۳	۲۶	
c	۵۱۰,۰۰۰	۱۳۵۰	۴,۲۳,۲۷	۳۵۴	۲۷	

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
c	۵۱۳,۰۰۰	۱۳۷۰	۴,۲۳,۳۰	۳۵۵	۳۰	
c	۵۱۰,۰۰۰	۱۳۷۰	۴,۲۳,۳۴	۳۵۶	۳۴	
a	۴۹۵,۰۰۰	۱۳۷۰	۴,۲۴,۲۶	۳۵۷	۲۶	۱۰۷
a	۵۰۰,۰۰۰	۱۳۴۰	۴,۲۴,۲۷	۳۵۸	۲۷	
a	۵۰۳,۰۰۰	۱۳۶۰	۴,۲۴,۳۰	۳۵۹	۳۰	
b	۵۰۰,۰۰۰	۱۳۶۰	۴,۲۴,۳۴	۳۶۰	۳۴	
a	۵۲۲,۰۰۰	۱۳۹۰	۴,۲۶,۲۷	۳۶۱	۲۷	۱۰۹
a	۵۲۵,۰۰۰	۱۴۱۰	۴,۲۶,۳۰	۳۶۲	۳۰	
b	۵۲۲,۰۰۰	۱۴۱۰	۴,۲۶,۳۴	۳۶۳	۳۴	
a	۵۳۰,۰۰۰	۱۳۸۰	۴,۲۷,۳۰	۳۶۴	۳۰	۱۱۰
b	۵۲۷,۰۰۰	۱۳۸۰	۴,۲۷,۳۴	۳۶۵	۳۴	
b	۵۳۰,۰۰۰	۱۴۰۰	۴,۳۰,۳۴	۳۶۶	۳۴	۱۱۲
c	۴۶۵,۵۰۰	۱۲۶۰	۵,۱۰,۲۴	۳۶۷	۲۴	۱۱۴
c	۴۸۷,۵۰۰	۱۳۱۰	۵,۱۰,۲۶	۳۶۸	۲۶	
c	۴۹۲,۵۰۰	۱۲۸۰	۵,۱۰,۲۷	۳۶۹	۲۷	
c	۴۹۵,۵۰۰	۱۳۰۰	۵,۱۰,۳۰	۳۷۰	۳۰	
c	۴۵۷,۵۰۰	۱۳۰۰	۵,۲۴,۲۶	۳۷۱	۲۶	۱۲۴
c	۴۶۲,۵۰۰	۱۲۷۰	۵,۲۴,۲۷	۳۷۲	۲۷	
c	۴۶۵,۵۰۰	۱۲۹۰	۵,۲۴,۳۰	۳۷۳	۳۰	
c	۴۸۴,۵۰۰	۱۳۲۰	۵,۲۶,۲۷	۳۷۴	۲۷	۱۲۶
c	۴۸۷,۵۰۰	۱۳۴۰	۵,۲۶,۳۰	۳۷۵	۳۰	
c	۴۹۲,۵۰۰	۱۳۱۰	۵,۲۷,۳۰	۳۷۶	۳۰	۱۲۷
c	۵۲۰,۰۰۰	۱۳۶۵	۱۰,۱۵,۱۶	۳۷۷	۱۶	۱۳۴
c	۵۲۸,۰۰۰	۱۳۰۵	۱۰,۱۵,۱۷	۳۷۸	۱۷	
c	۵۱۱,۰۰۰	۱۳۰۰	۱۰,۱۵,۱۸	۳۷۹	۱۸	
c	۵۰۶,۰۰۰	۱۳۳۵	۱۰,۱۵,۲۳	۳۸۰	۲۳	
c	۴۹۶,۰۰۰	۱۳۲۵	۱۰,۱۵,۲۴	۳۸۱	۲۴	
c	۵۱۸,۰۰۰	۱۳۷۵	۱۰,۱۵,۲۶	۳۸۲	۲۶	
c	۵۲۳,۰۰۰	۱۳۴۵	۱۰,۱۵,۲۷	۳۸۳	۲۷	
c	۵۲۶,۰۰۰	۱۳۶۵	۱۰,۱۵,۳۰	۳۸۴	۳۰	
c	۵۲۳,۰۰۰	۱۳۶۵	۱۰,۱۵,۳۴	۳۸۵	۳۴	
c	۵۳۴,۰۰۰	۱۳۲۰	۱۰,۱۶,۱۷	۳۸۶	۱۷	۱۳۵
c	۵۱۷,۰۰۰	۱۳۱۵	۱۰,۱۶,۱۸	۳۸۷	۱۸	
c	۵۱۲,۰۰۰	۱۳۵۰	۱۰,۱۶,۲۳	۳۸۸	۲۳	
c	۵۰۲,۰۰۰	۱۳۴۰	۱۰,۱۶,۲۴	۳۸۹	۲۴	
c	۵۲۴,۰۰۰	۱۳۹۰	۱۰,۱۶,۲۶	۳۹۰	۲۶	
c	۵۲۹,۰۰۰	۱۳۶۰	۱۰,۱۶,۲۷	۳۹۱	۲۷	
c	۵۳۲,۰۰۰	۱۳۸۰	۱۰,۱۶,۳۰	۳۹۲	۳۰	
c	۵۲۹,۰۰۰	۱۳۸۰	۱۰,۱۶,۳۴	۳۹۳	۳۴	
c	۵۲۵,۰۰۰	۱۲۵۵	۱۰,۱۷,۱۸	۳۹۴	۱۸	۱۳۶
c	۵۲۰,۰۰۰	۱۲۹۰	۱۰,۱۷,۲۳	۳۹۵	۲۳	
c	۵۱۰,۰۰۰	۱۲۸۰	۱۰,۱۷,۲۴	۳۹۶	۲۴	
c	۵۳۲,۰۰۰	۱۳۳۰	۱۰,۱۷,۲۶	۳۹۷	۲۶	

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
c	۵۳۷,۰۰۰	۱۳۰۰	۱۰,۱۷,۲۷	۳۹۸	۲۷	
c	۵۴۰,۰۰۰	۱۳۲۰	۱۰,۱۷,۳۰	۳۹۹	۳۰	
c	۵۳۷,۰۰۰	۱۳۲۰	۱۰,۱۷,۳۴	۴۰۰	۳۴	
c	۵۰۳,۰۰۰	۱۲۸۵	۱۰,۱۸,۲۳	۴۰۱	۲۳	۱۳۷
c	۴۹۳,۰۰۰	۱۲۷۵	۱۰,۱۸,۲۴	۴۰۲	۲۴	
c	۵۱۵,۰۰۰	۱۳۲۵	۱۰,۱۸,۲۶	۴۰۳	۲۶	
c	۵۲۰,۰۰۰	۱۲۹۵	۱۰,۱۸,۲۷	۴۰۴	۲۷	
c	۵۲۳,۰۰۰	۱۳۱۵	۱۰,۱۸,۳۰	۴۰۵	۳۰	
c	۵۲۰,۰۰۰	۱۳۱۵	۱۰,۱۸,۳۴	۴۰۶	۳۴	
c	۴۸۸,۰۰۰	۱۳۱۰	۱۰,۲۳,۲۴	۴۰۷	۲۴	۱۳۹
c	۵۱۰,۰۰۰	۱۳۶۰	۱۰,۲۳,۲۶	۴۰۸	۲۶	
c	۵۱۵,۰۰۰	۱۳۳۰	۱۰,۲۳,۲۷	۴۰۹	۲۷	
c	۵۱۸,۰۰۰	۱۳۵۰	۱۰,۲۳,۳۰	۴۱۰	۳۰	
c	۵۱۵,۰۰۰	۱۳۵۰	۱۰,۲۳,۳۴	۴۱۱	۳۴	
a	۵۰۰,۰۰۰	۱۳۵۰	۱۰,۲۴,۲۶	۴۱۲	۲۶	۱۴۰
a	۵۰۵,۰۰۰	۱۳۲۰	۱۰,۲۴,۲۷	۴۱۳	۲۷	
a	۵۰۸,۰۰۰	۱۳۴۰	۱۰,۲۴,۳۰	۴۱۴	۳۰	
b	۵۰۵,۰۰۰	۱۳۴۰	۱۰,۲۴,۳۴	۴۱۵	۳۴	
a	۵۲۷,۰۰۰	۱۳۷۰	۱۰,۲۶,۲۷	۴۱۶	۲۷	۱۴۲
a	۵۳۰,۰۰۰	۱۳۹۰	۱۰,۲۶,۳۰	۴۱۷	۳۰	
b	۵۲۷,۰۰۰	۱۳۹۰	۱۰,۲۶,۳۴	۴۱۸	۳۴	
a	۵۳۵,۰۰۰	۱۳۶۰	۱۰,۲۷,۳۰	۴۱۹	۳۰	۱۴۳
b	۵۳۲,۰۰۰	۱۳۶۰	۱۰,۲۷,۳۴	۴۲۰	۳۴	
b	۵۳۵,۰۰۰	۱۳۸۰	۱۰,۳۰,۳۴	۴۲۱	۳۴	۱۴۵
c	۴۹۳,۰۰۰	۱۳۱۰	۱۲,۲۴,۲۶	۴۲۲	۲۶	۱۵۵
c	۴۹۸,۰۰۰	۱۲۸۰	۱۲,۲۴,۲۷	۴۲۳	۲۷	
c	۵۰۱,۰۰۰	۱۳۰۰	۱۲,۲۴,۳۰	۴۲۴	۳۰	
c	۵۲۰,۰۰۰	۱۳۳۰	۱۲,۲۶,۲۷	۴۲۵	۲۷	۱۵۷
c	۵۲۳,۰۰۰	۱۳۵۰	۱۲,۲۶,۳۰	۴۲۶	۳۰	
c	۵۲۸,۰۰۰	۱۳۲۰	۱۲,۲۷,۳۰	۴۲۷	۳۰	۱۵۸
c	۴۵۵,۰۰۰	۱۲۸۵	۱۳,۲۴,۲۶	۴۲۸	۲۶	۱۶۹
c	۴۶۰,۰۰۰	۱۲۵۵	۱۳,۲۴,۲۷	۴۲۹	۲۷	
c	۴۶۳,۰۰۰	۱۲۷۵	۱۳,۲۴,۳۰	۴۳۰	۳۰	
c	۴۸۲,۰۰۰	۱۳۰۵	۱۳,۲۶,۲۷	۴۳۱	۲۷	۱۷۱
c	۴۸۵,۰۰۰	۱۳۲۵	۱۳,۲۶,۳۰	۴۳۲	۳۰	
c	۴۹۰,۰۰۰	۱۲۹۵	۱۳,۲۷,۳۰	۴۳۳	۳۰	۱۷۲
c	۴۸۸,۰۰۰	۱۳۷۰	۱۴,۲۴,۲۶	۴۳۴	۲۶	۱۸۲
c	۴۹۳,۰۰۰	۱۳۴۰	۱۴,۲۴,۲۷	۴۳۵	۲۷	
c	۴۹۶,۰۰۰	۱۳۶۰	۱۴,۲۴,۳۰	۴۳۶	۳۰	
c	۵۱۵,۰۰۰	۱۳۹۰	۱۴,۲۶,۲۷	۴۳۷	۲۷	۱۸۴
c	۵۱۸,۰۰۰	۱۴۱۰	۱۴,۲۶,۳۰	۴۳۸	۳۰	
c	۵۲۳,۰۰۰	۱۳۸۰	۱۴,۲۷,۳۰	۴۳۹	۳۰	۱۸۵
c	۴۸۸,۰۰۰	۱۳۶۵	۱۵,۲۴,۲۶	۴۴۰	۲۶	

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
c	۴۹۳,۰۰۰	۱۳۳۵	۱۵,۲۴,۲۷	۴۴۱	۲۷	۱۹۴
c	۴۹۶,۰۰۰	۱۳۵۵	۱۵,۲۴,۳۰	۴۴۲	۳۰	۱۹۴
c	۵۱۵,۰۰۰	۱۳۸۵	۱۵,۲۶,۲۷	۴۴۳	۲۷	۱۹۶
c	۵۱۸,۰۰۰	۱۴۰۵	۱۵,۲۶,۳۰	۴۴۴	۳۰	۱۹۶
c	۵۲۳,۰۰۰	۱۳۷۵	۱۵,۲۷,۳۰	۴۴۵	۳۰	۱۹۷
c	۴۹۴,۰۰۰	۱۳۸۰	۱۶,۲۴,۲۶	۴۴۶	۲۶	۲۰۵
c	۴۹۹,۰۰۰	۱۳۵۰	۱۶,۲۴,۲۷	۴۴۷	۲۷	۲۰۵
c	۵۰۲,۰۰۰	۱۳۷۰	۱۶,۲۴,۳۰	۴۴۸	۳۰	۲۰۵
c	۵۲۱,۰۰۰	۱۴۰۰	۱۶,۲۶,۲۷	۴۴۹	۲۷	۲۰۷
c	۵۲۴,۰۰۰	۱۴۲۰	۱۶,۲۶,۳۰	۴۵۰	۳۰	۲۰۷
c	۵۲۹,۰۰۰	۱۳۹۰	۱۶,۲۷,۳۰	۴۵۱	۳۰	۲۰۸
c	۵۰۲,۰۰۰	۱۳۲۰	۱۷,۲۴,۲۶	۴۵۲	۲۶	۲۱۵
c	۵۰۷,۰۰۰	۱۲۹۰	۱۷,۲۴,۲۷	۴۵۳	۲۷	۲۱۵
c	۵۱۰,۰۰۰	۱۳۱۰	۱۷,۲۴,۳۰	۴۵۴	۳۰	۲۱۵
c	۵۲۹,۰۰۰	۱۳۴۰	۱۷,۲۶,۲۷	۴۵۵	۲۷	۲۱۷
c	۵۳۲,۰۰۰	۱۳۶۰	۱۷,۲۶,۳۰	۴۵۶	۳۰	۲۱۷
c	۵۳۷,۰۰۰	۱۳۳۰	۱۷,۲۷,۳۰	۴۵۷	۳۰	۲۱۸
c	۴۸۵,۰۰۰	۱۳۱۵	۱۸,۲۴,۲۶	۴۵۸	۲۶	۲۲۴
c	۴۹۰,۰۰۰	۱۲۸۵	۱۸,۲۴,۲۷	۴۵۹	۲۷	۲۲۴
c	۴۹۳,۰۰۰	۱۳۰۵	۱۸,۲۴,۳۰	۴۶۰	۳۰	۲۲۴
c	۵۱۲,۰۰۰	۱۳۳۵	۱۸,۲۶,۲۷	۴۶۱	۲۷	۲۲۶
c	۵۱۵,۰۰۰	۱۳۵۵	۱۸,۲۶,۳۰	۴۶۲	۳۰	۲۲۶
c	۵۲۰,۰۰۰	۱۳۲۵	۱۸,۲۷,۳۰	۴۶۳	۳۰	۲۲۷
c	۴۷۲,۰۰۰	۱۳۳۰	۱۹,۲۴,۲۶	۴۶۴	۲۶	۲۳۲
c	۴۷۷,۰۰۰	۱۳۰۰	۱۹,۲۴,۲۷	۴۶۵	۲۷	۲۳۲
c	۴۸۰,۰۰۰	۱۳۲۰	۱۹,۲۴,۳۰	۴۶۶	۳۰	۲۳۲
c	۴۹۹,۰۰۰	۱۳۵۰	۱۹,۲۶,۲۷	۴۶۷	۲۷	۲۳۴
c	۵۰۲,۰۰۰	۱۳۷۰	۱۹,۲۶,۳۰	۴۶۸	۳۰	۲۳۴
c	۵۰۷,۰۰۰	۱۳۴۰	۱۹,۲۷,۳۰	۴۶۹	۳۰	۲۳۵
c	۴۸۰,۰۰۰	۱۳۵۰	۲۳,۲۴,۲۶	۴۷۰	۲۶	۲۳۹
c	۴۸۵,۰۰۰	۱۳۲۰	۲۳,۲۴,۲۷	۴۷۱	۲۷	۲۳۹
c	۴۸۸,۰۰۰	۱۳۴۰	۲۳,۲۴,۳۰	۴۷۲	۳۰	۲۳۹
c	۵۰۷,۰۰۰	۱۳۷۰	۲۳,۲۶,۲۷	۴۷۳	۲۷	۲۴۱
c	۵۱۰,۰۰۰	۱۳۹۰	۲۳,۲۶,۳۰	۴۷۴	۳۰	۲۴۱
c	۵۱۵,۰۰۰	۱۳۶۰	۲۳,۲۷,۳۰	۴۷۵	۳۰	۲۴۲
a	۴۹۷,۰۰۰	۱۳۶۰	۲۴,۲۶,۲۷	۴۷۶	۲۷	۲۴۷
a	۵۰۰,۰۰۰	۱۳۸۰	۲۴,۲۶,۳۰	۴۷۷	۳۰	۲۴۷
b	۴۹۷,۰۰۰	۱۳۸۰	۲۴,۲۶,۳۴	۴۷۸	۳۴	۲۴۷
a	۵۰۵,۰۰۰	۱۳۵۰	۲۴,۲۷,۳۰	۴۷۹	۳۰	۲۴۸
b	۵۰۲,۰۰۰	۱۳۵۰	۲۴,۲۷,۳۴	۴۸۰	۳۴	۲۴۸
b	۵۰۵,۰۰۰	۱۳۷۰	۲۴,۳۰,۳۴	۴۸۱	۳۴	۲۵۰
c	۵۱۲,۰۰۰	۱۳۷۰	۲۵,۲۶,۲۷	۴۸۲	۲۷	۲۵۲
c	۵۱۵,۰۰۰	۱۳۹۰	۲۵,۲۶,۳۰	۴۸۳	۳۰	۲۵۲

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
c	۵۲۰,۰۰۰	۱۳۶۰	۲۵,۲۷,۳۰	۴۸۴	۳۰	۲۵۳
a	۵۲۷,۰۰۰	۱۴۰۰	۲۶,۲۷,۳۰	۴۸۵	۳۰	۲۵۷
b	۵۲۴,۰۰۰	۱۴۰۰	۲۶,۲۷,۳۴	۴۸۶	۳۴	
b	۵۲۷,۰۰۰	۱۴۲۰	۲۶,۳۰,۳۴	۴۸۷	۳۴	۲۵۹
b	۵۳۲,۰۰۰	۱۳۹۰	۲۷,۳۰,۳۴	۴۸۸	۳۴	۲۶۲

الف-۴) حالات طبقه پنجم (وقوع ۴ مخاطره)

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
b	۵۶۵,۰۰۰	۱۵۱۵	۴,۱۰,۱۵,۱۶	۴۸۹	۱۶	۳۱۲
b	۵۷۳,۰۰۰	۱۴۵۵	۴,۱۰,۱۵,۱۷	۴۹۰	۱۷	
b	۵۵۶,۰۰۰	۱۴۵۰	۴,۱۰,۱۵,۱۸	۴۹۱	۱۸	
b	۵۵۱,۰۰۰	۱۴۸۵	۴,۱۰,۱۵,۲۳	۴۹۲	۲۳	
a	۵۴۱,۰۰۰	۱۴۷۵	۴,۱۰,۱۵,۲۴	۴۹۳	۲۴	
a	۵۶۳,۰۰۰	۱۵۲۵	۴,۱۰,۱۵,۲۶	۴۹۴	۲۶	
a	۵۶۸,۰۰۰	۱۴۹۵	۴,۱۰,۱۵,۲۷	۴۹۵	۲۷	
a	۵۷۱,۰۰۰	۱۵۱۵	۴,۱۰,۱۵,۳۰	۴۹۶	۳۰	
b	۵۶۸,۰۰۰	۱۵۱۵	۴,۱۰,۱۵,۳۴	۴۹۷	۳۴	
b	۵۷۹,۰۰۰	۱۴۷۰	۴,۱۰,۱۶,۱۷	۴۹۸	۱۷	۳۱۳
b	۵۶۲,۰۰۰	۱۴۶۵	۴,۱۰,۱۶,۱۸	۴۹۹	۱۸	
b	۵۵۷,۰۰۰	۱۵۰۰	۴,۱۰,۱۶,۲۳	۵۰۰	۲۳	
a	۵۴۷,۰۰۰	۱۴۹۰	۴,۱۰,۱۶,۲۴	۵۰۱	۲۴	
a	۵۶۹,۰۰۰	۱۵۴۰	۴,۱۰,۱۶,۲۶	۵۰۲	۲۶	
a	۵۷۴,۰۰۰	۱۵۱۰	۴,۱۰,۱۶,۲۷	۵۰۳	۲۷	
a	۵۷۷,۰۰۰	۱۵۳۰	۴,۱۰,۱۶,۳۰	۵۰۴	۳۰	
b	۵۷۴,۰۰۰	۱۵۳۰	۴,۱۰,۱۶,۳۴	۵۰۵	۳۴	
b	۵۷۰,۰۰۰	۱۴۰۵	۴,۱۰,۱۷,۱۸	۵۰۶	۱۸	۳۱۴
b	۵۶۵,۰۰۰	۱۴۴۰	۴,۱۰,۱۷,۲۳	۵۰۷	۲۳	
a	۵۵۵,۰۰۰	۱۴۳۰	۴,۱۰,۱۷,۲۴	۵۰۸	۲۴	
a	۵۷۷,۰۰۰	۱۴۸۰	۴,۱۰,۱۷,۲۶	۵۰۹	۲۶	
a	۵۸۲,۰۰۰	۱۴۵۰	۴,۱۰,۱۷,۲۷	۵۱۰	۲۷	
a	۵۸۵,۰۰۰	۱۴۷۰	۴,۱۰,۱۷,۳۰	۵۱۱	۳۰	
b	۵۸۲,۰۰۰	۱۴۷۰	۴,۱۰,۱۷,۳۴	۵۱۲	۳۴	
b	۵۴۸,۰۰۰	۱۴۳۵	۴,۱۰,۱۸,۲۳	۵۱۳	۲۳	۳۱۵
a	۵۳۸,۰۰۰	۱۴۲۵	۴,۱۰,۱۸,۲۴	۵۱۴	۲۴	
a	۵۶۰,۰۰۰	۱۴۷۵	۴,۱۰,۱۸,۲۶	۵۱۵	۲۶	
a	۵۶۵,۰۰۰	۱۴۴۵	۴,۱۰,۱۸,۲۷	۵۱۶	۲۷	
a	۵۶۸,۰۰۰	۱۴۶۵	۴,۱۰,۱۸,۳۰	۵۱۷	۳۰	
b	۵۶۵,۰۰۰	۱۴۶۵	۴,۱۰,۱۸,۳۴	۵۱۸	۳۴	
a	۵۳۳,۰۰۰	۱۴۶۰	۴,۱۰,۲۳,۲۴	۵۱۹	۲۴	۳۱۶
a	۵۵۵,۰۰۰	۱۵۱۰	۴,۱۰,۲۳,۲۶	۵۲۰	۲۶	
a	۵۶۰,۰۰۰	۱۴۸۰	۴,۱۰,۲۳,۲۷	۵۲۱	۲۷	

امتیاز	C _k	T _k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
a	۵۶۳,۰۰۰	۱۵۰۰	۴,۱۰,۲۳,۳۰	۵۲۲	۳۰	
b	۵۶۰,۰۰۰	۱۵۰۰	۴,۱۰,۲۳,۳۴	۵۲۳	۳۴	
a	۵۴۵,۰۰۰	۱۵۰۰	۴,۱۰,۲۴,۲۶	۵۲۴	۲۶	۳۱۷
a	۵۵۰,۰۰۰	۱۴۷۰	۴,۱۰,۲۴,۲۷	۵۲۵	۲۷	
a	۵۵۳,۰۰۰	۱۴۹۰	۴,۱۰,۲۴,۳۰	۵۲۶	۳۰	
b	۵۵۰,۰۰۰	۱۴۹۰	۴,۱۰,۲۴,۳۴	۵۲۷	۳۴	
a	۵۷۲,۰۰۰	۱۵۲۰	۴,۱۰,۲۶,۲۷	۵۲۸	۲۷	۳۱۸
a	۵۷۵,۰۰۰	۱۵۴۰	۴,۱۰,۲۶,۳۰	۵۲۹	۳۰	
b	۵۷۲,۰۰۰	۱۵۴۰	۴,۱۰,۲۶,۳۴	۵۳۰	۳۴	
a	۵۸۰,۰۰۰	۱۵۱۰	۴,۱۰,۲۷,۳۰	۵۳۱	۳۰	۳۱۹
b	۵۷۷,۰۰۰	۱۵۱۰	۴,۱۰,۲۷,۳۴	۵۳۲	۳۴	
b	۵۸۰,۰۰۰	۱۵۳۰	۴,۱۰,۳۰,۳۴	۵۳۳	۳۴	۳۲۰
a	۵۴۲,۰۰۰	۱۵۱۰	۴,۲۴,۲۶,۲۷	۵۳۴	۲۷	۳۵۷
a	۵۴۵,۰۰۰	۱۵۳۰	۴,۲۴,۲۶,۳۰	۵۳۵	۳۰	
b	۵۴۲,۰۰۰	۱۵۳۰	۴,۲۴,۲۶,۳۴	۵۳۶	۳۴	
a	۵۵۰,۰۰۰	۱۵۰۰	۴,۲۴,۲۷,۳۰	۵۳۷	۳۰	۳۵۸
b	۵۴۷,۰۰۰	۱۵۰۰	۴,۲۴,۲۷,۳۴	۵۳۸	۳۴	
b	۵۵۰,۰۰۰	۱۵۲۰	۴,۲۴,۳۰,۳۴	۵۳۹	۳۴	۳۵۹
a	۵۷۲,۰۰۰	۱۵۵۰	۴,۲۶,۲۷,۳۰	۵۴۰	۳۰	۳۶۱
b	۵۶۹,۰۰۰	۱۵۵۰	۴,۲۶,۲۷,۳۴	۵۴۱	۳۴	
b	۵۷۲,۰۰۰	۱۵۷۰	۴,۲۶,۳۰,۳۴	۵۴۲	۳۴	۳۶۲
b	۵۷۷,۰۰۰	۱۵۴۰	۴,۲۷,۳۰,۳۴	۵۴۳	۳۴	۳۶۴
a	۵۴۷,۰۰۰	۱۴۹۰	۱۰,۲۴,۲۶,۲۷	۵۴۴	۲۷	۴۱۲
a	۵۵۰,۰۰۰	۱۵۱۰	۱۰,۲۴,۲۶,۳۰	۵۴۵	۳۰	
b	۵۴۷,۰۰۰	۱۵۱۰	۱۰,۲۴,۲۶,۳۴	۵۴۶	۳۴	
a	۵۵۵,۰۰۰	۱۴۸۰	۱۰,۲۴,۲۷,۳۰	۵۴۷	۳۰	۴۱۳
b	۵۵۲,۰۰۰	۱۴۸۰	۱۰,۲۴,۲۷,۳۴	۵۴۸	۳۴	
b	۵۵۵,۰۰۰	۱۵۰۰	۱۰,۲۴,۳۰,۳۴	۵۴۹	۳۴	۴۱۴
a	۵۷۷,۰۰۰	۱۵۳۰	۱۰,۲۶,۲۷,۳۰	۵۵۰	۳۰	۴۱۶
b	۵۷۴,۰۰۰	۱۵۳۰	۱۰,۲۶,۲۷,۳۴	۵۵۱	۳۴	
b	۵۷۷,۰۰۰	۱۵۵۰	۱۰,۲۶,۳۰,۳۴	۵۵۲	۳۴	۴۱۷
b	۵۸۲,۰۰۰	۱۵۲۰	۱۰,۲۷,۳۰,۳۴	۵۵۳	۳۴	۴۱۹
a	۵۴۷,۰۰۰	۱۵۲۰	۲۴,۲۶,۲۷,۳۰	۵۵۴	۳۰	۴۷۶
b	۵۴۴,۰۰۰	۱۵۲۰	۲۴,۲۶,۲۷,۳۴	۵۵۵	۳۴	
b	۵۴۷,۰۰۰	۱۵۴۰	۲۴,۲۶,۳۰,۳۴	۵۵۶	۳۴	۴۷۷
b	۵۵۲,۰۰۰	۱۵۱۰	۲۴,۲۷,۳۰,۳۴	۵۵۷	۳۴	۴۷۹
b	۵۷۴,۰۰۰	۱۵۶۰	۲۶,۲۷,۳۰,۳۴	۵۵۸	۳۴	۴۸۵

الف-۵) حالات طبقه ششم (وقوع ۵ مخاطره)

امتیاز	C _k	T _k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
a	۵۸۳,۰۰۰	۱۶۴۵	۴,۱۰,۱۵,۲۴,۲۶	۵۵۹	۲۶	

امتیاز	C _k	T _k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
a	۵۸۸,۰۰۰	۱۶۱۵	۴,۱۰,۱۵,۲۴,۲۷	۵۶۰	۲۷	۴۹۳
a	۵۹۱,۰۰۰	۱۶۳۵	۴,۱۰,۱۵,۲۴,۳۰	۵۶۱	۳۰	۴۹۳
a	۶۱۰,۰۰۰	۱۶۶۵	۴,۱۰,۱۵,۲۴,۲۷	۵۶۲	۲۷	۴۹۴
a	۶۱۳,۰۰۰	۱۶۸۵	۴,۱۰,۱۵,۲۴,۳۰	۵۶۳	۳۰	۴۹۴
a	۶۱۸,۰۰۰	۱۶۵۵	۴,۱۰,۱۵,۲۷,۳۰	۵۶۴	۳۰	۴۹۵
a	۵۸۹,۰۰۰	۱۶۶۰	۴,۱۰,۱۶,۲۴,۲۶	۵۶۵	۲۶	۵۰۱
a	۵۹۴,۰۰۰	۱۶۳۰	۴,۱۰,۱۶,۲۴,۲۷	۵۶۶	۲۷	۵۰۱
a	۵۹۷,۰۰۰	۱۶۵۰	۴,۱۰,۱۶,۲۴,۳۰	۵۶۷	۳۰	۵۰۱
a	۶۱۶,۰۰۰	۱۶۸۰	۴,۱۰,۱۶,۲۴,۲۷	۵۶۸	۲۷	۵۰۲
a	۶۱۹,۰۰۰	۱۷۰۰	۴,۱۰,۱۶,۲۴,۳۰	۵۶۹	۳۰	۵۰۲
a	۶۲۴,۰۰۰	۱۶۷۰	۴,۱۰,۱۶,۲۷,۳۰	۵۷۰	۳۰	۵۰۳
a	۵۹۷,۰۰۰	۱۶۰۰	۴,۱۰,۱۷,۲۴,۲۶	۵۷۱	۲۶	۵۰۸
a	۶۰۲,۰۰۰	۱۵۷۰	۴,۱۰,۱۷,۲۴,۲۷	۵۷۲	۲۷	۵۰۸
a	۶۰۵,۰۰۰	۱۵۹۰	۴,۱۰,۱۷,۲۴,۳۰	۵۷۳	۳۰	۵۰۸
a	۶۲۴,۰۰۰	۱۶۲۰	۴,۱۰,۱۷,۲۴,۲۷	۵۷۴	۲۷	۵۰۹
a	۶۲۷,۰۰۰	۱۶۴۰	۴,۱۰,۱۷,۲۴,۳۰	۵۷۵	۳۰	۵۰۹
a	۶۳۲,۰۰۰	۱۶۱۰	۴,۱۰,۱۷,۲۷,۳۰	۵۷۶	۳۰	۵۱۰
a	۵۸۰,۰۰۰	۱۵۹۵	۴,۱۰,۱۸,۲۴,۲۶	۵۷۷	۲۶	۵۱۴
a	۵۸۵,۰۰۰	۱۵۶۵	۴,۱۰,۱۸,۲۴,۲۷	۵۷۸	۲۷	۵۱۴
a	۵۸۸,۰۰۰	۱۵۸۵	۴,۱۰,۱۸,۲۴,۳۰	۵۷۹	۳۰	۵۱۴
a	۶۰۷,۰۰۰	۱۶۱۵	۴,۱۰,۱۸,۲۴,۲۷	۵۸۰	۲۷	۵۱۵
a	۶۱۰,۰۰۰	۱۶۳۵	۴,۱۰,۱۸,۲۴,۳۰	۵۸۱	۳۰	۵۱۵
a	۶۱۵,۰۰۰	۱۶۰۵	۴,۱۰,۱۸,۲۷,۳۰	۵۸۲	۳۰	۵۱۶
a	۵۷۵,۰۰۰	۱۶۳۰	۴,۱۰,۲۳,۲۴,۲۶	۵۸۳	۲۶	۵۱۹
a	۵۸۰,۰۰۰	۱۶۰۰	۴,۱۰,۲۳,۲۴,۲۷	۵۸۴	۲۷	۵۱۹
a	۵۸۳,۰۰۰	۱۶۲۰	۴,۱۰,۲۳,۲۴,۳۰	۵۸۵	۳۰	۵۱۹
a	۶۰۲,۰۰۰	۱۶۵۰	۴,۱۰,۲۳,۲۴,۲۷	۵۸۶	۲۷	۵۲۰
a	۶۰۵,۰۰۰	۱۶۷۰	۴,۱۰,۲۳,۲۴,۳۰	۵۸۷	۳۰	۵۲۰
a	۶۱۰,۰۰۰	۱۶۴۰	۴,۱۰,۲۳,۲۷,۳۰	۵۸۸	۳۰	۵۲۱
a	۵۹۲,۰۰۰	۱۶۴۰	۴,۱۰,۲۴,۲۴,۲۷	۵۸۹	۲۷	۵۲۴
a	۵۹۵,۰۰۰	۱۶۶۰	۴,۱۰,۲۴,۲۴,۳۰	۵۹۰	۳۰	۵۲۴
a	۶۰۰,۰۰۰	۱۶۳۰	۴,۱۰,۲۴,۲۷,۳۰	۵۹۱	۳۰	۵۲۵
a	۶۲۲,۰۰۰	۱۶۸۰	۴,۱۰,۲۴,۲۷,۳۰	۵۹۲	۳۰	۵۲۸
a	۵۹۲,۰۰۰	۱۶۷۰	۴,۲۴,۲۴,۲۷,۳۰	۵۹۳	۳۰	۵۳۴
a	۵۹۷,۰۰۰	۱۶۵۰	۱۰,۲۴,۲۴,۲۷,۳۰	۵۹۴	۳۰	۵۴۴

الف-۶) حالات طبقه هفتم (وقوع ۶ مخاطره)

امتیاز	C _k	T _k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
a	۶۳۰,۰۰۰	۱۷۸۵	۴,۱۰,۱۵,۲۴,۲۴,۲۷	۵۹۵	۲۷	۵۵۹
a	۶۳۳,۰۰۰	۱۸۰۵	۴,۱۰,۱۵,۲۴,۲۴,۳۰	۵۹۶	۳۰	۵۵۹
a	۶۳۸,۰۰۰	۱۷۷۵	۴,۱۰,۱۵,۲۴,۲۷,۳۰	۵۹۷	۳۰	۵۶۰

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
a	۶۶۰,۰۰۰	۱۸۲۵	۴,۱۰,۱۵,۲۶,۲۷,۳۰	۵۹۸	۳۰	۵۶۲
a	۶۳۶,۰۰۰	۱۸۰۰	۴,۱۰,۱۶,۲۴,۲۶,۲۷	۵۹۹	۲۷	۵۶۵
a	۶۳۹,۰۰۰	۱۸۲۰	۴,۱۰,۱۶,۲۴,۲۶,۳۰	۶۰۰	۳۰	
a	۶۴۴,۰۰۰	۱۷۹۰	۴,۱۰,۱۶,۲۴,۲۷,۳۰	۶۰۱	۳۰	۵۶۶
a	۶۶۶,۰۰۰	۱۸۴۰	۴,۱۰,۱۶,۲۶,۲۷,۳۰	۶۰۲	۳۰	۵۶۸
a	۶۴۴,۰۰۰	۱۷۴۰	۴,۱۰,۱۷,۲۴,۲۶,۲۷	۶۰۳	۲۷	۵۷۱
a	۶۴۷,۰۰۰	۱۷۶۰	۴,۱۰,۱۷,۲۴,۲۶,۳۰	۶۰۴	۳۰	
a	۶۵۲,۰۰	۱۷۳۰	۴,۱۰,۱۷,۲۴,۲۷,۳۰	۶۰۵	۳۰	۵۷۲
a	۶۷۴,۰۰۰	۱۷۸۰	۴,۱۰,۱۷,۲۶,۲۷,۳۰	۶۰۶	۳۰	۵۷۴
a	۶۲۷,۰۰۰	۱۷۳۵	۴,۱۰,۱۸,۲۴,۲۶,۲۷	۶۰۷	۲۷	۵۷۷
a	۶۳۰,۰۰۰	۱۷۵۵	۴,۱۰,۱۸,۲۴,۲۶,۳۰	۶۰۸	۳۰	
a	۶۳۵,۰۰۰	۱۷۲۵	۴,۱۰,۱۸,۲۴,۲۷,۳۰	۶۰۹	۳۰	۵۷۸
a	۶۵۷,۰۰۰	۱۷۷۵	۴,۱۰,۱۸,۲۶,۲۷,۳۰	۶۱۰	۳۰	۵۸۰
a	۶۲۲,۰۰۰	۱۷۷۰	۴,۱۰,۲۳,۲۴,۲۶,۲۷	۶۱۱	۲۷	۵۸۳
a	۶۲۵,۰۰۰	۱۷۹۰	۴,۱۰,۲۳,۲۴,۲۶,۳۰	۶۱۲	۳۰	
a	۶۳۰,۰۰۰	۱۷۶۰	۴,۱۰,۲۳,۲۴,۲۷,۳۰	۶۱۳	۳۰	۵۸۴
a	۶۵۲,۰۰۰	۱۸۱۰	۴,۱۰,۲۳,۲۶,۲۷,۳۰	۶۱۴	۳۰	۵۸۶
a	۶۴۲,۰۰۰	۱۸۰۰	۴,۱۰,۲۴,۲۶,۲۷,۳۰	۶۱۵	۳۰	۵۸۹

الف-۷) حالات طبقه هشتم (وقوع ۷ مخاطره)

امتیاز	C_k	T_k	l	k	شماره مخاطره ورودی	شماره حالت انتقال یافته
a	۶۸۰,۰۰۰	۱۹۴۵	۴,۱۰,۱۵,۲۴,۲۶,۲۷,۳۰	۶۱۶	۳۰	۵۹۵
a	۶۸۶,۰۰۰	۱۹۶۰	۴,۱۰,۱۶,۲۴,۲۶,۲۷,۳۰	۶۱۷	۳۰	۵۹۹
a	۶۹۴,۰۰۰	۱۹۰۰	۴,۱۰,۱۷,۲۴,۲۶,۲۷,۳۰	۶۱۸	۳۰	۶۰۳
a	۶۷۷,۰۰۰	۱۸۹۵	۴,۱۰,۱۸,۲۴,۲۶,۲۷,۳۰	۶۱۹	۳۰	۶۰۷
a	۶۷۲,۰۰۰	۱۹۳۰	۴,۱۰,۲۳,۲۴,۲۶,۲۷,۳۰	۶۲۰	۳۰	۶۱۱

پیوست ب) مجموعه حالات پروژه احداث سد در مرحله پاسخگویی به مخاطره

k	l	T_k	C_k
۱	-	۱۰۹۶	۴۰۶,۰۴۰
۲	۱	۱۱۶۶	۴۱۲,۰۴۰
۴	۳	۱۱۵۶	۴۱۱,۰۴۰
۵	۴	۱۱۷۶	۴۴۹,۰۴۰
۹	۸	۱۱۳۶	۴۰۸,۰۴۰
۱۲	۱۱	۱۱۱۱	۴۰۶,۵۴۰
۱۳	۱۲	۱۱۲۶	۴۰۸,۵۴۰
۱۵	۱۴	۱۱۴۱	۴۰۹,۰۴۰
۱۸	۱۷	۱۱۳۶	۴۰۶,۸۴۰

k	l	T _k	C _k
۲۵	۲۴	۱۱۴۶	۴۱۳,۰۴۰
۲۶	۲۵	۱۱۶۱	۴۱۶,۰۴۰
۲۷	۲۶	۱۱۲۶	۴۱۸,۰۴۰
۲۸	۲۷	۱۱۱۱	۴۱۵,۵۴۰
۲۹	۲۸	۱۱۴۱	۴۰۹,۰۴۰
۳۱	۳۰	۱۱۷۱	۴۰۶,۰۴۰
۳۲	۳۱	۱۱۵۶	۴۱۳,۰۴۰
۳۷	۱,۳	۱۲۲۶	۴۱۷,۰۴۰
۳۸	۱,۴	۱۲۴۶	۴۵۵,۰۴۰
۴۱	۱,۱۲	۱۱۹۶	۴۱۴,۵۴۰
۴۳	۱,۱۴	۱۲۱۱	۴۱۵,۰۴۰
۴۶	۱,۱۷	۱۲۰۶	۴۱۲,۸۴۰
۵۰	۱,۲۴	۱۲۱۶	۴۱۹,۰۴۰
۵۱	۱,۲۵	۱۲۳۱	۴۲۲,۰۴۰
۵۲	۱,۲۶	۱۱۹۶	۴۲۴,۰۴۰
۵۳	۱,۲۷	۱۱۸۱	۴۲۱,۵۴۰
۵۵	۱,۳۰	۱۲۴۱	۴۱۲,۰۴۰
۷۷	۳,۴	۱۲۳۶	۴۵۴,۰۴۰
۸۰	۳,۱۲	۱۱۸۶	۴۱۳,۵۴۰
۸۲	۳,۱۴	۱۲۰۱	۴۱۴,۰۴۰
۸۵	۳,۱۷	۱۱۹۶	۴۱۱,۸۴۰
۸۹	۳,۲۴	۱۲۰۶	۴۱۸,۰۴۰
۹۰	۳,۲۵	۱۲۲۱	۴۲۱,۰۴۰
۹۱	۳,۲۶	۱۱۸۶	۴۲۳,۰۴۰
۹۲	۳,۲۷	۱۱۷۱	۴۲۰,۵۴۰
۹۴	۳,۳۰	۱۲۳۱	۴۱۱,۰۴۰
۹۸	۴,۱۲	۱۲۰۶	۴۵۱,۵۴۰
۱۰۰	۴,۱۴	۱۲۲۱	۴۵۲,۰۴۰
۱۰۳	۴,۱۷	۱۲۱۶	۴۴۹,۸۴۰
۱۰۷	۴,۲۴	۱۲۲۶	۴۵۶,۰۴۰
۱۰۸	۴,۲۵	۱۲۴۱	۴۵۹,۰۴۰
۱۰۹	۴,۲۶	۱۲۰۶	۴۶۱,۰۴۰
۱۱۰	۴,۲۷	۱۱۹۱	۴۵۸,۵۴۰
۱۱۲	۴,۳۰	۱۲۵۱	۴۴۹,۰۴۰
۱۴۸	۱۲,۱۴	۱۱۷۱	۴۱۱,۵۴۰
۱۵۱	۱۲,۱۷	۱۱۶۶	۴۰۹,۳۴۰

k	l	T _k	C _k
۱۵۵	۱۲,۲۴	۱۱۷۶	۴۱۵,۵۴۰
۱۵۶	۱۲,۲۵	۱۱۹۱	۴۱۸,۵۴۰
۱۵۷	۱۲,۲۶	۱۱۵۶	۴۲۰,۵۴۰
۱۵۸	۱۲,۲۷	۱۱۴۱	۴۱۸,۰۴۰
۱۶۰	۱۲,۳۰	۱۲۰۱	۴۰۸,۵۴۰
۱۷۸	۱۴,۱۷	۱۱۸۱	۴۰۹,۸۴۰
۱۸۲	۱۴,۲۴	۱۱۹۱	۴۱۶,۰۴۰
۱۸۳	۱۴,۲۵	۱۲۰۶	۴۱۹,۰۴۰
۱۸۴	۱۴,۲۶	۱۱۷۱	۴۲۱,۰۴۰
۱۸۵	۱۴,۲۷	۱۱۵۶	۴۱۸,۵۴۰
۱۸۷	۱۴,۳۰	۱۲۱۶	۴۰۹,۰۴۰
۲۱۵	۱۷,۲۴	۱۱۸۶	۴۱۳,۸۴۰
۲۱۶	۱۷,۲۵	۱۲۰۱	۴۱۶,۸۴۰
۲۱۷	۱۷,۲۶	۱۱۶۶	۴۱۸,۸۴۰
۲۱۸	۱۷,۲۷	۱۱۵۱	۴۱۶,۳۴۰
۲۲۰	۱۷,۳۰	۱۲۱۱	۴۰۶,۸۴۰
۲۴۶	۲۴,۲۵	۱۲۱۱	۴۲۳,۰۴۰
۲۴۷	۲۴,۲۶	۱۱۷۶	۴۲۵,۰۴۰
۲۴۸	۲۴,۲۷	۱۱۶۱	۴۲۲,۵۴۰
۲۵۰	۲۴,۳۰	۱۲۲۱	۴۱۳,۰۴۰
۲۵۲	۲۵,۲۶	۱۱۹۱	۴۲۸,۰۴۰
۲۵۳	۲۵,۲۷	۱۱۷۶	۴۲۵,۵۴۰
۲۵۵	۲۵,۳۰	۱۲۳۶	۴۱۶,۰۴۰
۲۵۷	۲۶,۲۷	۱۱۴۱	۴۲۷,۵۴۰
۲۵۹	۲۶,۳۰	۱۲۰۱	۴۱۸,۰۴۰
۲۶۲	۲۷,۳۰	۱۱۸۶	۴۱۵,۵۴۰
۲۶۸	۱,۴,۲۴	۱۲۹۶	۴۶۲,۰۴۰
۲۶۹	۱,۴,۲۶	۱۲۷۶	۴۶۷,۰۴۰
۲۷۰	۱,۴,۲۷	۱۲۶۱	۴۶۴,۵۴۰
۲۷۱	۱,۴,۳۰	۱۳۲۱	۴۵۵,۰۴۰
۲۷۶	۱,۲۴,۲۶	۱۲۴۶	۴۳۱,۰۴۰
۲۷۷	۱,۲۴,۲۷	۱۲۳۱	۴۲۸,۵۴۰
۲۷۸	۱,۲۴,۳۰	۱۲۹۱	۴۱۹,۰۴۰
۲۷۹	۱,۲۶,۲۷	۱۲۱۱	۴۳۳,۵۴۰
۲۸۰	۱,۲۶,۳۰	۱۲۷۱	۴۲۴,۰۴۰
۲۸۱	۱,۲۷,۳۰	۱۲۵۶	۴۲۱,۵۴۰

k	l	T _k	C _k
۲۹۸	۳,۴,۲۴	۱۲۸۶	۴۶۱,۰۴۰
۲۹۹	۳,۴,۲۶	۱۲۶۶	۴۶۶,۰۴۰
۳۰۰	۳,۴,۲۷	۱۲۵۱	۴۶۳,۵۴۰
۳۰۱	۳,۴,۳۰	۱۳۱۱	۴۵۴,۰۴۰
۳۰۶	۳,۲۴,۲۶	۱۲۳۶	۴۳۰,۰۴۰
۳۰۷	۳,۲۴,۲۷	۱۲۲۱	۴۲۷,۵۴۰
۳۰۸	۳,۲۴,۳۰	۱۲۸۱	۴۱۸,۰۴۰
۳۰۹	۳,۲۶,۲۷	۱۲۰۱	۴۳۲,۵۴۰
۳۱۰	۳,۲۶,۳۰	۱۲۶۱	۴۲۳,۰۴۰
۳۱۱	۳,۲۷,۳۰	۱۲۴۶	۴۲۰,۵۴۰
۳۴۱	۴,۱۷,۲۴	۱۲۶۶	۴۵۶,۸۴۰
۳۴۲	۴,۱۷,۲۶	۱۲۴۶	۴۶۱,۸۴۰
۳۴۳	۴,۱۷,۲۷	۱۲۳۱	۴۵۹,۳۴۰
۳۴۴	۴,۱۷,۳۰	۱۲۹۱	۴۴۹,۸۴۰
۳۵۷	۴,۲۴,۲۶	۱۲۵۶	۴۶۸,۰۴۰
۳۵۸	۴,۲۴,۲۷	۱۲۴۱	۴۶۵,۵۴۰
۳۵۹	۴,۲۴,۳۰	۱۳۰۱	۴۵۶,۰۴۰
۳۶۱	۴,۲۶,۲۷	۱۲۲۱	۴۷۰,۵۴۰
۳۶۲	۴,۲۶,۳۰	۱۲۸۱	۴۶۱,۰۴۰
۳۶۴	۴,۲۷,۳۰	۱۲۶۶	۴۵۸,۵۴۰
۴۲۲	۱۲,۲۴,۲۶	۱۲۰۶	۴۲۷,۵۴۰
۴۲۳	۱۲,۲۴,۲۷	۱۱۹۱	۴۲۵,۰۴۰
۴۲۴	۱۲,۲۴,۳۰	۱۲۵۱	۴۱۵,۵۴۰
۴۲۵	۱۲,۲۶,۲۷	۱۱۷۱	۴۳۰,۰۴۰
۴۲۶	۱۲,۲۶,۳۰	۱۲۳۱	۴۲۰,۵۴۰
۴۲۷	۱۲,۲۷,۳۰	۱۲۱۶	۴۱۸,۰۴۰
۴۳۴	۱۴,۲۴,۲۶	۱۲۲۱	۴۲۸,۰۴۰
۴۳۵	۱۴,۲۴,۲۷	۱۲۰۶	۴۲۵,۵۴۰
۴۳۶	۱۴,۲۴,۳۰	۱۲۶۶	۴۱۶,۰۴۰
۴۳۷	۱۴,۲۶,۲۷	۱۱۸۶	۴۳۰,۵۴۰
۴۳۸	۱۴,۲۶,۳۰	۱۲۴۶	۴۲۱,۰۴۰
۴۳۹	۱۴,۲۷,۳۰	۱۲۳۱	۴۱۸,۵۴۰
۴۵۲	۱۷,۲۴,۲۶	۱۲۱۶	۴۲۵,۸۴۰
۴۵۳	۱۷,۲۴,۲۷	۱۲۰۱	۴۲۳,۳۴۰
۴۵۴	۱۷,۲۴,۳۰	۱۲۶۱	۴۱۳,۸۴۰
۴۵۵	۱۷,۲۶,۲۷	۱۱۸۱	۴۲۸,۳۴۰

k	l	T _k	C _k
۴۵۶	۱۷,۲۶,۳۰	۱۲۴۱	۴۱۸,۸۴۰
۴۵۷	۱۷,۲۷,۳۰	۱۲۲۶	۴۱۶,۳۴۰
۴۷۶	۲۴,۲۶,۲۷	۱۱۹۱	۴۳۴,۵۴۰
۴۷۷	۲۴,۲۶,۳۰	۱۲۵۱	۴۲۵,۰۴۰
۴۷۹	۲۴,۲۷,۳۰	۱۲۳۶	۴۲۲,۵۴۰
۴۸۲	۲۵,۲۶,۲۷	۱۲۰۶	۴۳۷,۵۴۰
۴۸۳	۲۵,۲۶,۳۰	۱۲۶۶	۴۲۸,۰۴۰
۴۸۴	۲۵,۲۷,۳۰	۱۲۵۱	۴۲۵,۵۴۰
۴۸۵	۲۶,۲۷,۳۰	۱۲۱۶	۴۲۷,۵۴۰
۵۳۴	۴,۲۴,۲۶,۲۷	۱۲۷۱	۴۷۷,۵۴۰
۵۳۵	۴,۲۴,۲۶,۳۰	۱۳۳۱	۴۶۸,۰۴۰
۵۳۷	۴,۲۴,۲۷,۳۰	۱۳۱۶	۴۶۵,۵۴۰
۵۴۰	۴,۲۶,۲۷,۳۰	۱۲۹۶	۴۷۰,۵۴۰
۵۵۴	۲۴,۲۶,۲۷,۳۰	۱۲۶۶	۴۳۴,۵۴۰
۵۹۳	۴,۲۴,۲۶,۲۷,۳۰	۱۳۴۶	۴۷۷,۵۴۰