Amirkabir Journal of Civil Engineering

Amirkabir J. Civil Eng., 54(10) (2023) 807-810
DOI: 10.22060/ceej.2022.20514.7449

Contractor Ranking Model with Approach to Reduce Construction Project Delays and Optimization of Coefficients by Genetic Algorithm

A.Khayyambashi, A.Monirabbasi*

Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

ABSTRACT: In Iran, the Management and Planning Organization is responsible for classifying and determining the qualifications of contractors and uses criteria to assess the ability and competence of contractors. One of the factors evaluating the productivity of a project is time and the impact of the contractor's performance on this index is undeniable. Therefore, in this study, a model for ranking contractors with the approach of reduction in delays in construction projects is presented. In this model, in addition to the criteria of the Regulations for Competence of Contractors of the Plan and Budget Organization, according to extensive research in previous studies and the opinion of relevant experts, using the FMEA method, four other criteria are identified as effective criteria for delay and severity to select a contractor. Eight criteria were modeled through genetic algorithm method so that the existing documents of contracting companies in the Isfahan Municipality Deputy for Urban Development were collected and considered as model input data. After analyzing them with the model and comparing the qualification score with the existing score of the Company, the final model was extracted. The average variable of the percentage of unauthorized delays for the contract period showed a correlation intensity of 0.712 with the relationship of the proposed qualification score. Finally, by calculating the qualification score and ranking in the proposed model, the relocation of a number of companies and the decline from the previous position was seen due to unauthorized delays, so that sometimes it even led to a change in the company's rating. Comparing the qualification score of the two models, a change in slope from 1.3% to 8.9% was also seen, which indicated the effect of the proposed criteria on the qualification score.

Review History:

Received: Sep. 07, 2021
Revised: Apr. 20, 2022
Accepted: Jun. 23, 2022
Available Online: Jul. 06, 2022

Keywords:

Contractor ranking
Reduction in delays
Modeling
Planning and Budget Organization
Genetic Algorithm

1- Introduction

The construction industry plays a role in the growth and development of countries. One of the factors of economic growth and development of any society is the success in the implementation of its construction projects. In the construction industry, completion in accordance with the time and cost considered is one of the common performance indicators [1]. Given that the bulk of the construction budget is allocated to executive operations and the key stage for any construction project is its implementation, the implementation of each project and its success requires the presence of a suitable contractor. Choosing the most suitable contractor can be very effective in the success of project implementation and completion [2]. Therefore, one of the most important reasons for delays in projects is the inability of the contractor as the executive arm of the employer [3]. Even in some cases, the contractor can have the highest impact on the delay [4]. Due to the fact that special criteria are considered to determine the qualifications and ratings of contractors in this study, the factors and parameters affecting the ranking of contractors with a focus on reducing delays and finally using mathematical modeling method through the genetic algorithm, the mathematical model of extracting contractors' qualification points has been implemented. In this regard, as an innovation, in addition to using a new formula to calculate the qualification score of contractors, four criteria with the approach of reducing delays in construction projects were added to the criteria of contractor qualification used in the formula of contractors' qualification regulations. Having this mathematical formula in applications such as Excel will be able to use this model.

2- Methodology

In this article, first, by reviewing the literature and research background, the factors affecting the ranking and selection of contractors have been identified and by considering these factors and their importance in causing the delay, the factors affecting the delay caused by the contractor in previous studies have been considered. In this regard, with extensive studies in the history of valid national and international research, out of 52 criteria that were used as criteria for ranking contractors, 23 criteria were identified as effective on delay, and among

*Corresponding author's email: monirabbasi@pnu.ac.ir

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.

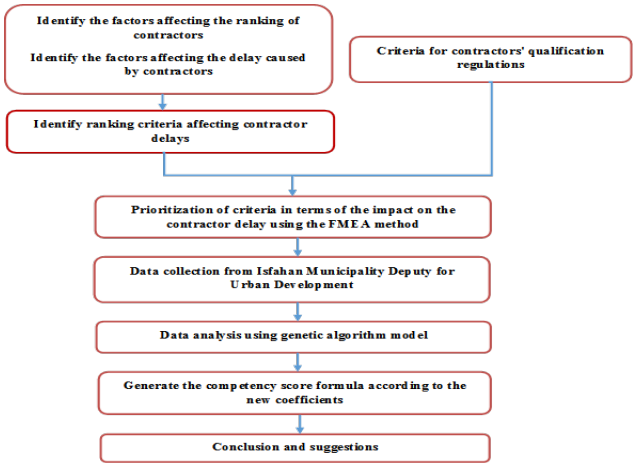


Fig. 1. Research framework

them, ten criteria according to local conditions. As more effective criteria, it was provided to experts and experts in the field of contracts and the selection of contractors for the Telecommunication Company and the Electricity Distribution Office of Isfahan Province. The executive framework of the research is shown in Figure 1.

These criteria are presented to relevant and competent experts in the form of FMEA worksheets and after calculating the RPN, the severity of the delay effect, the probability of delay and the probability of detecting each of these criteria, finally, four factors of project management expertise, history of delays, quality of completed projects and experience of management personnel were identified as important and influential factors in the occurrence of delay and its severity. In MATLAB software, the logic of the genetic algorithm was implemented in such a way that these criteria combined with the criteria of the contractor qualification regulations create a mathematical model, then the existing documents of 115 contracting companies were collected in Isfahan Municipal Civil Deputy Organization and used as input for this model, after Analysis, the qualification score obtained is compared with the existing score for each company and after verification, the final model is extracted.

3- Results and Discussion

First, before performing statistical analyzes by software, the criterion of delays of the studied companies in relation to their rank was compared. Companies were seen that had high delays despite having a high ranking, or companies with a ranking of 5 did not have much delay. In statistical analysis, due to the abnormality of the data, the Friedman test was used to evaluate the rank of the model verification criteria. This test showed that the new criteria are more important than the 4 criteria in the contractors' qualification regulations. The Spearman correlation coefficient was used to examine the correlation between the data. The results showed that all variables had a significant effect on the output of the model, the qualification score of contracting companies.

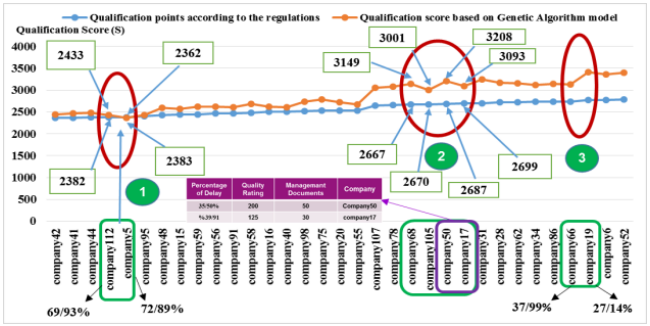


Fig. 2. Comparison of the qualification score of some companies with a ranking of 5

3- 1- Presenting a mathematical model for ranking contractors with a delay reduction approach

In the method used in the qualification regulations, a linear equation is used to calculate the number S (qualification score). But in this study, in order to achieve a more accurate qualification score, the quadratic equation "ax2 + bx + c" was used for each of the criteria. In this equation, x is the symbol of the criteria and the coefficients a, b and c are the coefficients generated and optimized by the model in the genetic algorithm

$$\min f = \left(\sum_{i=1}^{t} \left(a_i x_i^2 + b_i x_i + c_i \right) \right) - v, \quad t=1,2,...,8 \qquad (1)$$

The condition for optimal response is that the objective function in formula (1) is minimal. The values of the variable v were the previous ranks of the contractors.

3- 2- Evaluating the results of the model

Figure 2 compares the qualification scores of several companies with a rank of 5 determined by the method of regulations, with the qualification scores of the same companies resulting from the developed model of genetic algorithm.

There are ups and downs in the qualification curve of the proposed model. For example, in the area marked with the number 1, the qualification score of company 112 and company5 is increasing according to the regulations, but according to the proposed model, it is decreasing. Also in area 2, the points of the companies specified in Figure2 are in ascending order. While the qualification score of the mentioned companies varies according to the proposed model. These ups and downs are due to the use of new criteria in the proposed model. In the area marked with the number 3, mutations are seen. These jumps indicate that some companies, such as company19, have been more successful in scoring out of the four proposed new criteria. It was also found that companies that climbed their position due to higher scores in the proposed model, had a lower percentage of delays.

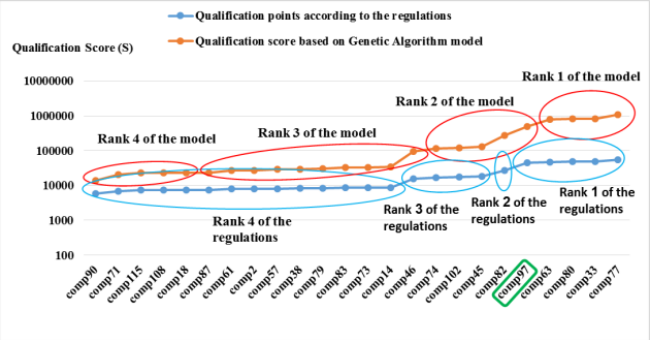


Fig. 3. Comparison of the qualification score of ranked companies 1,2,3,4

In Figure 3, the qualification scores of companies with a rank of one to four are compared by the rules method and the proposed model method. Some companies have changed their position and eventually changed their ranking. On the other hand, company97, which has a rank of 1 in the regulation method, has been reduced to a rank of 2. 4 years of tenure of the board of directors, a quality score of 30 out of 200, the score of management documents is zero and more importantly, the average percentage of unauthorized delays of this company is 117.54%.

4- Conclusions

In this study, first, the criteria for determining the competence affecting the delay were identified. With these criteria and the existing criteria of the regulation, 115 companies that had a contract with the Isfahan Municipality Deputy Civil Engineering Organization were re-ranked. The ranking was modeled using a genetic algorithm. Statistical analysis showed that the proposed criteria are more important than the other criteria and there was a significant relationship with delays. Model analysis showed that the decrease in the new competency score was due to the increase in the latency of companies, while this was not the case in the previous ranking. Also, the promotion or downgrading of some companies was seen, which indicated the exact effect of the proposed criteria on the qualification score and, consequently, the impact on the ranking and optimization of the previous ranking system.

References

[1] M. Reenu, R. Kumar, S. Babu, Construction project performance model using artificial neural network, International Journal of Recent Trends in Engineering and Research (IJRTER), 3(5) (2017) 77-86.

[2] N. Ibadov, Contractor selection for construction project, with the use of fuzzy preference relation, Procedia Engineering, 111 (2015) 317-323.

[3] M. Sambasivan, Y.W. Soon, Causes and effects of delays in Malaysian construction industry, International Journal of project management, 25(5) (2007) 517-526.

[4] R.F. Aziz, Ranking of delay factors in construction projects after Egyptian revolution, Alexandria Engineering Journal, 52(3) (2013) 387-406.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

A. Khayambashi, A. Monirabbasi, Contractor Ranking Model with Approach to Reduce Construction Project Delays and Optimization of Coefficients by Genetic Algorithm, Amirkabir J. Civil Eng., 54(10) (2023) 807-810.

DOI: 10.22060/ceej.2022.20514.7449

This page intentionally left blank

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۴، شماره ۱۰، سال ۱۴۰۱، صفحات ۳۹۸۹ تا ۴۰۰۶
DOI: 10.22060/ceej.2022.20514.7449

مدل رتبه‌بندی پیمانکاران با رویکرد کاهش تاخیرات پروژه‌های عمرانی و بهینه‌سازی ضرایب توسط الگوریتم ژنتیک

آزیتا خیام باشی، آرمین منیرعباسی*

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران .

خلاصه: در ایران سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور رسالت طبقه‌بندی و تشخیص صلاحیت پیمانکاران را بر عهده داشته و از معیارهایی برای ارزیابی توانایی و شایستگی پیمانکاران استفاده می‌نماید. از جمله عوامل ارزیابی بهره‌وری یک پروژه، زمان بوده و تاثیر عملکرد پیمانکار بر این شاخص غیرقابل انکار است. بنابراین در این پژوهش مدلی برای رتبه‌بندی پیمانکاران با رویکرد کاهش تاخیرات پروژه‌های عمرانی ارائه شده است. در این مدل علاوه بر معیارهای آیین‌نامه تشخیص صلاحیت پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه، با توجه به تحقیقات گسترده در مطالعات پیشین و نظر کارشناسان ذی‌ربط، با استفاده از روش FMEA چهار معیار دیگر به عنوان معیارهای موثر در رخداد تاخیر و شدت آن جهت انتخاب پیمانکار شناسایی شد. هشت معیار از طریق روش الگوریتم ژنتیک مدل‌سازی شد به طوری که مستندات موجود شرکت‌های پیمانکاری در سازمان معاونت عمران شهری شهرداری اصفهان جمع‌آوری و به عنوان داده‌های ورودی مدل در نظر گرفته شد و پس از تحلیل آن‌ها با مدل و مقایسه امتیاز صلاحیت به دست آمده با امتیاز موجود هر شرکت، مدل نهایی استخراج گردید. متغیر متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد شدت همبستگی ۰/۷۱۲ با رابطه امتیاز صلاحیت پیشنهادی نشان داد. در نهایت با محاسبه امتیاز صلاحیت و رتبه‌بندی در مدل پیشنهادی، جابه‌جایی تعدادی از شرکت‌ها و افت از موقعیت قبلی به دلیل داشتن تاخیرات غیرمجاز دیده شد به طوری که گاهی حتی به تغییر رتبه شرکت نیز منجر می‌گردید. در مقایسه امتیاز صلاحیت دو مدل، تغییر شیب از ۱/۳ درصد به ۸/۹ درصد هم دیده شد که حاکی از تاثیر معیارهای پیشنهادی بر امتیاز صلاحیت بود.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۶
بازنگری: ۱۴۰۱/۰۱/۳۱
پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۲
ارائه آنلاین: ۱۴۰۱/۰۴/۱۵

کلمات کلیدی:
رتبه‌بندی پیمانکاران
کاهش تاخیرات
مدل‌سازی
سازمان برنامه و بودجه
الگوریتم ژنتیک

۱- مقدمه

صنعت ساخت‌وساز در رشد و توسعه کشورها از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. یکی از عوامل رشد و توسعه اقتصادی هر جامعه، موفقیت در اجرای پروژه‌های عمرانی آن محسوب می‌شود. در صنعت ساختمان، تکمیل مطابق با زمان و هزینه‌ی در نظر گرفته شده از شاخص‌های اجرایی متداول می‌باشد [۱]. از آن‌جا که سازندگی در کشور ما به عملکرد سه عامل کارفرما، مشاور و پیمانکار متکی می‌باشد، تاثیر متقابل عوامل مذکور بر یکدیگر و نقش آن‌ها در پیشگیری از اتلاف منابع مالی و تاخیر در اجرا، موثر بوده و به انجام مطلوب پروژه‌ها منجر خواهد شد. هر ساله بخش عمده‌ای از درآمدهای کشور صرف سرمایه‌گذاری پروژه‌های عمرانی و امور زیربنایی می‌گردد. کندی و عدم پیشرفت در اجرای پروژه‌های عمرانی، بازسازی و توسعه کشور را به طور جدی در معرض تهدید قرار می‌دهد به طوری که از آن می‌توان به عنوان بحران پروژه‌های عمرانی نام برد [۲].

این در حالی است که اکثر پروژه‌های عمرانی کشور با تاخیرات در اجرای پروژه روبرو هستند و این تاخیرات به یکی از چالش‌های جدی در عرصه اقتصادی مبدل شده چرا که تاخیرات به چند برابر شدن هزینه‌های پروژه، نارضایتی و بی‌اعتمادی ذی‌نفعان، مقرون به صرفه نبودن طرح به دلیل تأخیر زیاد و گاهی از دست دادن هدف پروژه به دلیل به بهره‌برداری نرسیدن در زمان مناسب می‌انجامد [۳]. با توجه به اینکه قسمت عمده بودجه عمرانی به عملیات اجرایی اختصاص می‌یابد و مرحله کلیدی برای هر پروژه عمرانی اجرای آن است، اجرای هر پروژه و موفقیت آن نیازمند وجود یک پیمانکار مناسب است. انتخاب شایسته‌ترین پیمانکار بر موفقیت اجرا و تکمیل پروژه می‌تواند بسیار موثر باشد [۴]. این موضوع نقش مهم و حیاتی در تحقق و پیشبرد اهداف پروژه ایفا می‌نماید [۵]. بنابراین یکی از مهم‌ترین دلایل تاخیرات در پروژه‌ها، عدم توانایی پیمانکار به عنوان بازوی اجرایی کارفرما است [۶]. حتی در بعضی مواقع پیمانکار می‌تواند بالاترین تأثیر در تأخیر را داشته باشد [۷].

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: monirabbasi@pnu.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

با توجه به اینکه برای تشخیص صلاحیت و رتبه‌بندی پیمانکاران، معیارهای ویژه‌ای در نظر گرفته می‌شود در این پژوهش ضرورت بهینه‌سازی معیارها در تعیین صلاحیت یک پیمانکار مطرح هستند و عوامل و پارامترهای تاثیرگذار بر رتبه‌بندی پیمانکاران با محوریت کاهش تاخیرات مورد توجه قرار گرفته و در نهایت با استفاده از روش مدل‌سازی ریاضی از طریق الگوریتم ژنتیک، مدل ریاضی استخراج امتیاز صلاحیت پیمانکاران پیاده‌سازی گردیده است. در همین راستا به عنوان نوآوری علاوه بر اینکه از یک رابطه جدید جهت محاسبه امتیاز صلاحیت پیمانکاران استفاده شده است، چهار معیار با رویکرد کاهش تاخیرات پروژه‌های عمرانی به معیارهای صلاحیت پیمانکار که در رابطه آیین‌نامه تشخیص صلاحیت پیمانکاران استفاده شده است اضافه گردید. به طور مثال در روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و SVM[1] فرمول یا رابطه بر اساس تنظیمات موجود در نرم‌افزار متلب انجام می‌شود اما در این پژوهش به کمک الگوریتم ژنتیک رابطه تعریف شده و بهینه‌سازی آن و ضرایب مدل انجام شده است و در واقع به عبارتی ساده‌سازی صورت گرفته است. بنابراین به تبع آن رابطه‌ی ارزیابی شده، کاربردی‌تر خواهد شد و کارشناسان این حیطه با داشتن این رابطه در نرم‌افزارهای کاربردی مانند Excel قادر خواهند بود از این مدل استفاده نمایند.

۲- پیشینه پژوهش

مطالعات گسترده‌ای در سراسر جهان جهت شناسایی و رتبه‌بندی معیارهای تشخیص صلاحیت پیمانکاران توسط متخصصان فعال در صنعت ساخت‌وساز انجام گرفته است. به طوری که شامل توسعه و بررسی گسترده‌ای از معیارهای تصمیم‌گیری لازم و کافی برای مناسب بودن ارزیابی قابلیت‌های پیمانکاران می‌باشد. عوامل بسیاری وجود دارد که می‌تواند عملکرد پیمانکاران را تحت تاثیر قرار دهد. از جمله مدت زمان اجرا و اتمام پروژه طبق زمان‌بندی مشخص شده از شاخص‌های عملکردی پیمانکار می‌باشند. انتخاب نامناسب پیمانکار، احتمال وقوع تاخیر و به تبع آن بالا رفتن هزینه و مشکلات عمده‌ای را باعث می‌شود. با توجه به اثرات سوء تاخیر و پیامدهای ناشی از آن، در دنیا تحقیقات وسیعی در رابطه با شناسایی عوامل تاخیر از جمله عواملی که پیمانکار باعث بروز آن‌ها بوده است، صورت گرفته است. با بررسی عوامل بروز تاخیر ناشی از پیمانکار، اهمیت شناسایی معیارهای تعیین صلاحیت پیمانکار و اولویت‌بندی آن‌ها بیش از پیش مشخص می‌شود. بر اساس این مطالعات مهم‌ترین عواملی که باعث بروز تاخیر در پروژه‌های ساخت‌وساز و متاثر از عملکرد پیمانکار می‌باشد عبارتند از: عدم تامین مالی پروژه توسط پیمانکار [۱۰–۸ و ۶]، مدیریت و نظارت ضعیف کارگاه [۱۱–۶]، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی نامناسب پروژه [۱۱–۶]، کنترل مالی ضعیف محل کار [۸ و ۷]، دوباره‌کاری با توجه به خطاها در طی ساخت‌وساز [۱۱–۶]، روش‌های نادرست ساخت و اجرا [۱۲ و ۱۰ و ۸–۶]، تجربه ناکافی پیمانکار [۱۲ و ۱۱ و ۹–۶]، صلاحیت ضعیف کارکنان فنی [۱۲ و ۱۰–۷]، تاخیر ناشی از پیمانکاران جزء [۱۲ و ۱۱ و ۸–۶]، تغییر مکرر پیمانکاران جزء [۱۲ و ۷]، فقدان ارتباط مناسب با بخش‌های مختلف [۸–۶]، تاخیر در آماده‌سازی محل کار [۱۲ و ۱۱ و ۸].

از طرفی ارزیابی درست معیارهای تشخیص صلاحیت پیمانکاران و اولویت‌بندی اهمیت آن‌ها در ایجاد رتبه‌بندی صحیح بسیار موثر می‌باشد. بنابراین با شناسایی معیارهای تشخیص صلاحیت موثر بر تاخیر و درجه‌بندی اهمیت آن‌ها می‌توان افزایش مدت اجرای پروژه ناشی از پیمانکار را کاهش داد که این امر، مسیر رسیدن به اهداف پروژه را هموار می‌نماید. مطالعات قابل توجهی در زمینه شناسایی معیارهای پیش‌صلاحیت پیمانکاران با درجات اهمیت متفاوت و مدل‌سازی جهت رتبه‌بندی آن معیارها انجام شده است که در ادامه به مطالعات انجام شده در داخل و خارج از کشور با توجه به موضوع این پژوهش اشاره گردیده است.

نصراللهی [۱۳] مدل پرومته فازی[2] را برای ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکاران پروژه‌های عمرانی مطرح نمود. این مدل بر پایه شش شاخص کلیدی در چارچوبی مفهومی ارائه شده است. شاخص‌های ارزیابی عبارتند از: حسن سابقه، توان تجهیزاتی، توانمندی مدیریت و نیروی انسانی متخصص، توانمندی اقتصادی و مالی، تجربه و توانمندی‌های فنی. شاخص‌های مذکور از مطالعات پیشین استخراج شدند. وزن شاخص‌ها با روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از پرکاربردترین ابزارهای تصمیم‌گیری چند شاخصه[3] تعیین شد. آن‌ها بر اساس مطالعات خود به این نتیجه رسیدند اغلب اوقات، در روش‌های تصمیم‌گیری، داده‌ها بر اساس نظرات تصمیم گیرندگان به صورت کیفی بیان می‌شوند که در صورت تبدیل نظرات به ارقام، احتمال بروز خطا بسیار زیاد است. برای همین به دلیل ابهام برخی از ابعاد ارزیابی و عدم امکان اندازه‌گیری آن‌ها با شاخص‌های کمّی از روش پرومته فازی که ترکیبی از روش پرومته و اعداد فازی می‌باشد، استفاده نمودند. عقیده آن‌ها بر این بود استفاده از این روش نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. هدف آن‌ها معرفی روشی

1 Support Vector Machine

2 PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)

3 Multiple Criteria Decision Making (MCDM)

برای ارزیابی پیمانکاران پروژه‌های عمرانی با در نظر گرفتن تمام ابعاد موثر در توانمندی آن‌ها برای اجرای پروژه بود.

طهماسبی و همکاران [۱۴] با ارائه مدل تلفیقی حاصل از دو روش تحلیل سلسله مراتبی بازه‌ای[1] و تحلیل پوششی داده‌ها[2] به ارزیابی پیمانکاران صنایع ساخت‌وساز پرداختند. در این مدل به جای استفاده از روش‌های آماری از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شده است. ارزیابی معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی انجام گرفته است. از آن‌جایی که یکی از مشکلات این روش، زمانی است که شاخص‌ها و گزینه‌های تصمیم‌گیری زیاد باشد که به تبع آن رویه استخراج ماتریس مقایسات زوجی طولانی بوده و احتمال وجود قضاوت‌های ذهنی تصمیم گیرندگان می‌باشد، به همین سبب از روش تحلیل سلسله مراتبی بازه‌ای استفاده شده است. بازه وزنی معیارها به دو روش مجموع سطری و میانگین هندسی مشخص شده است. نتایج، نشان از قدرت تفکیک‌پذیری زیاد مدل پیشنهادی به خصوص با به کارگیری محدودیت‌های حاصل از ترکیب وزنی معیارها به روش میانگین هندسی داشت.

آین و همکاران [۱۵] علاوه بر شناسایی شاخص‌های مؤثر بر انتخاب پیمانکار، میزان اهمیت و اولویت‌بندی شاخص‌های مزبور را با استفاده از مدل‌های TOPSIS[3]، TOPSIS فازی، AHP[4] و AHP فازی در انتخاب پیمانکاران پروژه‌های راه‌سازی اداره کل راه و شهرسازی استان اردبیل، مورد مطالعه قرار دادند و نتایج نشان دادند که رتبه‌بندی حاصل بر اساس بخش‌نامه برگزاری مناقصات در اغلب موارد با رتبه‌بندی مدل‌های تحقیق حاضر، مغایر بوده و نتایج آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن نیز این نتیجه‌گیری را تأیید کرد.

جمالی و والی‌پور [۱۶] به شناسایی و رتبه‌بندی معیارهای موثر در انتخاب پیمانکاران عمرانی در شرکت نفت و گاز زاگرس جنوبی پرداختند. در این پژوهش با استفاده از معیارهای موجود، مطالعه پیشینه تحقیق، مصاحبه و پرسش‌نامه، معیارهای مورد استفاده در شرکت زاگرس جنوبی شناسایی و با استفاده از روش دلفی و اجماع نظر خبرگان ۳۱ معیار مورد تحقیق قرار گرفت. به منظور تعیین میزان اهمیت معیارها از پرسش‌نامه و روش سوارا[5] جهت رتبه‌بندی استفاده شد و مشاهده گردید که معیارهای انجام پروژه‌های مشابه، تیم اجرایی، سابقه کاری کارکنان کلیدی، قیمت پیشنهادی و اعتبار بانکی بالاترین اوزان را به خود اختصاص داده‌اند که این مهم نشان از اهمیت بالای تجربه کاری و پرسنل دخیل در اجرا دارد. پس از آن قیمت پیشنهادی به عنوان یکی از محدوده‌های پروژه بوده که نشان از اهمیت بالای مسائل مالی در انجام پروژه‌ها دارد و پس از آن اعتبار بانکی از نظر خبرگان پنجمین اولویت و وزن را به خود اختصاص داده است.

لام[6] و همکاران [۱۷] در پژوهشی جهت پیش صلاحیت پیمانکاران از مدل ماشین بردار پشتیبان[7] استفاده نمودند. در این مطالعه یک مرور کلی از قابلیت بالقوه روش ماشین بردار پشتیبان برای انجام مذاکرات پیش صلاحیت پیمانکار در پروژه‌های ساخت‌وساز ارائه داده‌اند. علاوه بر این عملکرد ماشین بردار پشتیبان با نتایج شبکه‌های عصبی مصنوعی مقایسه شده است. نتایج حاصل، نشان از توانمندی مطلوب مدل ماشین بردار پشتیبان در مسائل تدارکاتی مانند پیش‌صلاحیت و انتخاب پیمانکار است. از این رو چارچوب پشتیبانی تصمیمی مبتنی بر ماشین بردار پشتیبان پیشنهاد شده است.

العباسی[8] و همکاران [۱۸] مدلی با ترکیب فرایند تحلیل شبکه‌ای[9] و شبیه‌سازی مونت کارلو[10] جهت انتخاب پیمانکاران پروژه‌های بزرگراه‌ها ارائه دادند. این مدل رویکرد جدیدی از فرایند انتخاب پیمانکار با در نظر گرفتن وابستگی متقابل میان معیارها و زیرمعیارها معرفی نمود. عقیده آن‌ها بر این امر بود که در روش تحلیل سلسله مراتبی وابستگی‌های متقابل بین معیارها و زیرمعیارها در نظر گرفته نمی‌شود، بنابراین پس از شناسایی معیارهای موثر در فرایند انتخاب پیمانکاران با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای به اولویت‌بندی معیارها پرداخته و سپس جهت توسعه مدل و نمایش عدم قطعیت‌ها از تکنیک شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده کردند. در بسیاری موارد فرایند انتخاب نهایی پیمانکار، بسیار سخت و پیچیده می‌باشد به همین دلیل توصیه این پژوهشگران استفاده از این مدل در مرحله پیش‌صلاحیت فرایند انتخاب پیمانکار بود.

حسنین[11] و همکاران [۱۹] به انتخاب پیمانکاران بر اساس معیارهای ارزشی در پروژه‌های ساخت‌وساز جاده‌ای با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و فرایند تحلیل شبکه‌ای پرداختند. آن‌ها معتقدند اکثر پروژه‌های ساخت‌وساز با رویکرد کمترین قیمت انجام شده است. این پژوهشگران بر

1 IAHP
2 DEA
3 Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
4 Analytical Hierarchy Process
5 Swara
6 Lam
7 Support Vector Machine (SVM)
8 El-Abbasy
9 Analytical Network Process (ANP)
10 Monte Carlo Simulation (MSC)
11 Hasnain

استفاده از عوامل ارزش‌گذاری کیفیت، بهداشت و ایمنی و تاثیرات محیطی در کنار کمترین قیمت تاکید دارند به طوری که اذعان دارند به این موارد کمتر توجه شده است. بنابراین با استفاده از تلفیق تکنیک روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و فرایند تحلیل شبکه‌ای، نتایج انتخاب پیمانکار بیشتر تایید شد زیرا تصمیم گیرندگان را قادر ساخت تا عوامل کمی و کیفی در انتخاب مناسب‌ترین پیمانکار به دور از محدودیت‌های تحلیلی به کار رود.

الخالق[1] و همکاران [۲۰] به منظور پیش‌صلاحیت پیمانکاران فرعی معیارهای مهم و تاثیرگذار بر موفقیت پروژه‌ها را شناسایی نمودند. آن‌ها ۵۵ معیار را تحت ۷ گروه هزینه، کیفیت، قابلیت‌های فنی، توانایی مدیریت، سلامتی و ایمنی، شهرت و زمان طبقه‌بندی نمودند. آن‌ها معتقدند اگر چه قیمت مناقصه معمولا توسط کارفرمایان به عنوان معیار مهم در انتخاب پیمانکار شناخته شده است اما طبق نتایج تحقیق، زمان، عدم انجام قرارداد به دلیل مشکلات مالی و اعتبار مهم‌ترین معیارهایی هستند که بر روند انتخاب تاثیر می‌گذارند.

با توجه به مطالعات پیشین و پژوهش‌های گذشته در خصوص معیارهایی که جهت انتخاب و رتبه‌بندی پیمانکار، دارای اهمیت هستند، تحقیقات زیادی صورت گرفته است. شایان ذکر است اگر چه معیارها با توجه به پروژه‌های مختلف و مکان اجرای آن‌ها می‌توانند متفاوت باشند لیکن با تلفیق و دسته‌بندی آن‌ها می‌توان یک چارچوب کلی در نظر گرفت. از طرفی با بررسی پژوهش‌هایی که در رابطه با تاخیر و عوامل ایجاد آن‌ها از جمله پیمانکار انجام گرفته بود، اهمیت و نقش قابل توجه معیارهای انتخابی صلاحیت پیمانکار بیشتر محرز گردید. چرا که کاستی در این معیارها باعث تقویت وقوع عوامل تاخیر ناشی از پیمانکار و تشدید آن‌ها در پروژه‌های ساخت‌وساز می‌شوند. بنابراین چنانچه این معیارها در صلاحیت و رتبه‌بندی پیمانکاران به درستی لحاظ شوند و در بازه‌های زمانی مشخص به صورت متناوب مجددا بررسی و بروز شوند، همواره پیمانکاران شایسته و متعهد انتخاب شده و موفقیت پروژه‌ها و نیل به اهداف نهایی پروژه‌ها در زمان مورد نظر تضمین خواهد شد. با بررسی عوامل ایجاد تاخیر ناشی از پیمانکار، این‌گونه استنباط می‌گردد که ضعف هر یک از مولفه‌های صلاحیتی پیمانکار بر علل تاخیر ناشی از وی تاثیر بسزایی دارد. بنابراین بایستی توجه خاص و ویژه‌ای در رتبه‌بندی پیمانکاران به معیارهای تشخیص صلاحیت در راستای کاهش تاخیرات اختصاص یابد.

۳- گام‌های اجرایی پژوهش

در این مقاله ابتدا با مرور ادبیات و پیشینه تحقیق، عوامل موثر بر رتبه‌بندی و انتخاب پیمانکاران شناسایی و با در نظر گرفتن این عوامل و اهمیت آن‌ها در بروز تاخیر، عوامل موثر بر تاخیر ناشی از پیمانکار در مطالعات پیشین هم در نظر گرفته شده است. در این راستا با بررسی‌های وسیع در پیشینه پژوهش‌های داخلی و خارجی معتبر، از تعداد ۵۲ معیار که برای رتبه‌بندی پیمانکاران ملاک عمل قرار گرفته بود، تعداد ۲۳ معیار موثر بر تاخیر شناسایی گردید و از بین آن‌ها با توجه به شرایط بومی کشور تعداد ده معیار به عنوان معیارهای موثرتر در اختیار کارشناسان و خبرگان حوزه قراردادها و انتخاب پیمانکاران شرکت مخابرات و اداره توزیع برق استان اصفهان قرار گرفت.

چارچوب اجرایی پژوهش در شکل ۱ آمده است.

معیارها شامل عدم تخصص مدیریت پروژه که صرفا تحصیلات مدیریتی فقط برای اعضای هیات مدیره مدنظر است، سابقه تاخیر پروژه‌های قبلی، کیفیت ضعیف پروژه‌های قبلی، ضعف تجربه پرسنل مدیریتی (مدت تصدی سمت‌های مدیریتی اعضای هیات مدیره)، عدم شرکت در دوره‌های آموزشی تخصصی و عضویت در انجمن‌های تخصصی و فقدان گواهی‌نامه‌ها، کمبود دارایی‌های ثابت (دارایی‌هایی مانند زمین، ساختمان، تجهیزات و ماشین آلات)، عدم شایستگی در عملکرد گذشته شامل تقدیرنامه‌ها و جوایز از کارفرمایان پروژه‌های قبل، فقدان گواهی‌نامه مدیریت ایمنی، فقدان گواهی‌نامه مدیریت کنترل کیفیت و حوادث پروژه‌های قبلی می‌باشند. این معیارها در قالب کاربرگ‌های FMEA به کارشناسان ذی‌ربط و ذی‌صلاح ارائه و پس از محاسبه RPN، شدت اثر تاخیر، احتمال وقوع تاخیر و احتمال کشف یا تعیین درجه امکان کنترل‌پذیری رخداد هر یک از این معیارها در نهایت چهار عامل تخصص مدیریت پروژه، سابقه تاخیر، کیفیت پروژه‌های انجام شده و تجربه پرسنل مدیریتی به عنوان عوامل مهم و تاثیرگذار در رخداد تاخیر و شدت آن شناسایی شد. در نرم‌افزار متلب، منطق الگوریتم ژنتیک به گونه‌ای پیاده‌سازی شد که این معیارها در تجمیع با معیارهای آیین‌نامه تشخیص صلاحیت پیمانکاران مدلی ریاضی ایجاد نماید سپس مستندات موجود شرکت‌های پیمانکاری در سازمان معاونت عمران شهری شهرداری اصفهان جمع‌آوری شده و به عنوان ورودی این مدل استفاده گردید، پس از تحلیل، امتیاز صلاحیت به دست آمده با امتیاز موجود برای هر شرکت مقایسه شده و بعد از راستی‌آزمایی، مدل نهایی استخراج می‌گردد. ورودی‌ها عبارتند از: توان مالی، سابقه اجرایی، سابقه تداوم فعالیت شرکت،

1 El-khalek

شکل ۱. چارچوب اجرایی پژوهش

Fig. 1. Research framework

عملکرد مدیران و کارکنان، سابقه تصدی هیات مدیره، کیفیت، مدارک مدیریتی و متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد.

۳- ۱- اولویت‌بندی معیارها به لحاظ تاثیر بر تاخیر پیمانکار با استفاده از روش FMEA[1]

روش FMEA یا به عبارتی روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن روشی سیستماتیک برای رویارویی با مشکلات، چالش‌ها، خطاها و شکست‌ها به منظور یافتن راه‌هایی برای بهبود این موارد است و رویکردی گام به گام برای شناسایی حالات بالقوه، خرابی و شکست در فرایند طراحی و تولید یک کالا یا ارائه یک خدمت با هدف پیشگیری از وقوع این خرابی‌ها و حالات شکست است. همچنین روشی ساختار یافته برای کمّی کردن اثرات بالقوه بروز خطا است که امکان اولویت‌بندی اقداماتی را برای کاهش یا حذف این حالات شکست به وجود آورده است [۲۱]. پس از شناسایی معیارهای انتخابی صلاحیت پیمانکار و سپس عوامل به وجود آورنده تاخیرات توسط پیمانکار به اولویت‌بندی معیارها به لحاظ تاثیر بر تاخیر پیمانکار با استفاده از روش FMEA پرداخته شد. جهت اولویت‌بندی، اثر معیارها بر شدت تاخیر، احتمال وقوع تاخیر و قابلیت کنترل معیار یا رخداد طی بازدیدهای میدانی و مصاحبه با کارشناسان اهل فن و زبده جمع‌آوری و در فرم‌های کاربرگ FMEA ثبت شده و بر اساس آن‌ها مقادیر عدد اولویت تعیین گردیده است تا معیارهای با درجه اهمیت و اثر بالاتر انتخاب شوند در این پژوهش، روش

1 Failure Mode and Effects Analysis

انجام کار برای محاسبه مقادیر عدد اولویت هر معیار در روش FMEA به شرح زیر خواهد بود: [۲۲ و ۲۱]

- جمع‌آوری اطلاعات مربوط به فرایند از قبیل معیارهای انتخاب و صلاحیت پیمانکاران، عوامل به وجود آورنده تاخیرات ناشی از پیمانکار
- تعیین معیارهای موثر بر تاخیر
- تجزیه و تحلیل معیارها از طریق به دست آوردن اثر رخداد بر احتمال وقوع تاخیر[1](O)، شدت تاخیر[2](S) و امکان کنترل‌پذیری رخداد[3](D)
- محاسبه عدد اولویت[4](RPN)

برای محاسبه عدد اولویت، بایستی مقادیر سه عدد را در هم ضرب نمود. رابطه (۱) چگونگی محاسبه عدد اولویت را نشان داده است.

(۱) عدد اولویت = احتمال وقوع × شدت × امکان کنترل‌پذیری رخداد

مقادیر عدد اولویت می‌تواند بین ۱ تا ۲۱۶ متفاوت باشد و معیارها یا رخدادها با توجه به مقدار محاسبه شده عدد اولویت آن‌ها، اولویت‌بندی می‌شوند. در واقع رخدادهایی که مقادیر عدد اولویت بالاتری دارند، دارای برتری اولویتی بالاتری از لحاظ تجزیه و تحلیلی بوده و بنابراین بایستی روی این رخدادها یا به عبارتی معیارها تمرکز شود. عدد اولویت، معیارهایی را که تاثیر بیشتری روی تاخیر ناشی از پیمانکار دارند از بقیه معیارها متمایز می‌نماید. در این پژوهش با توجه به بررسی‌های انجام شده، عدد اولویت در سه سطح (کم= ۱ تا ۲۵)، (متوسط= ۲۶ تا ۵۰) و (زیاد= ۵۱ تا ۲۱۶) تعیین شده و جهت رتبه‌بندی اثر رخداد بر احتمال وقوع، شدت تاخیر و امکان کنترل‌پذیری رخداد از یک مقیاس ۶ رتبه‌ای استفاده شده است.

۳- ۲- رتبه بندی[5] پیمانکاران در ایران

در خصوص روش‌های اجرایی موجود برای ارزیابی و انتخاب پیمانکاران این مبحث یکی از موارد تصمیم‌گیری است که آیین‌نامه و روش‌های فراوانی برای آن وجود دارد. در ایران سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور وظیفه تشخیص صلاحیت پیمانکاران را بر عهده دارد و در این راستا آیین‌نامه طبقه‌بندی و تشخیص صلاحیت پیمانکاران را تدوین کرده است. در آیین‌نامه به معیارهای تخصص و تجربه شامل زیرمعیارهای امتیاز مدیران و کارکنان، امتیاز کارهای انجام شده و امتیاز تداوم فعالیت پیمانکار و توان مالی شامل زیرمعیارهای گردش مالی، توان مالی جاری و توان مالی بلند مدت اشاره شده است. امتیاز صلاحیت (S) بر اساس رابطهٔ (۲) محاسبه و تعیین شده است:

$$S = C_e\left(0.3E + 0.5P\right) \quad (۲)$$

که در آن C_e برابر با ضریب ارزشیابی، E برابر با امتیاز تخصص و تجربه و P برابر با امتیاز توان مالی است. ضریب ارزشیابی (C_e) عددی است که بر اساس رویه‌ها و ضوابط دستورالعمل ارزشیابی تعیین می‌گردد. در نخستین دوره تشخیص صلاحیت و نیز تا زمانی که دستورالعمل ابلاغ نشده است، ضریب ارزشیابی برابر یک منظور می‌شود. امتیاز تخصص و تجربه (E) بر اساس رابطه (۳) محاسبه و تعیین شده است:

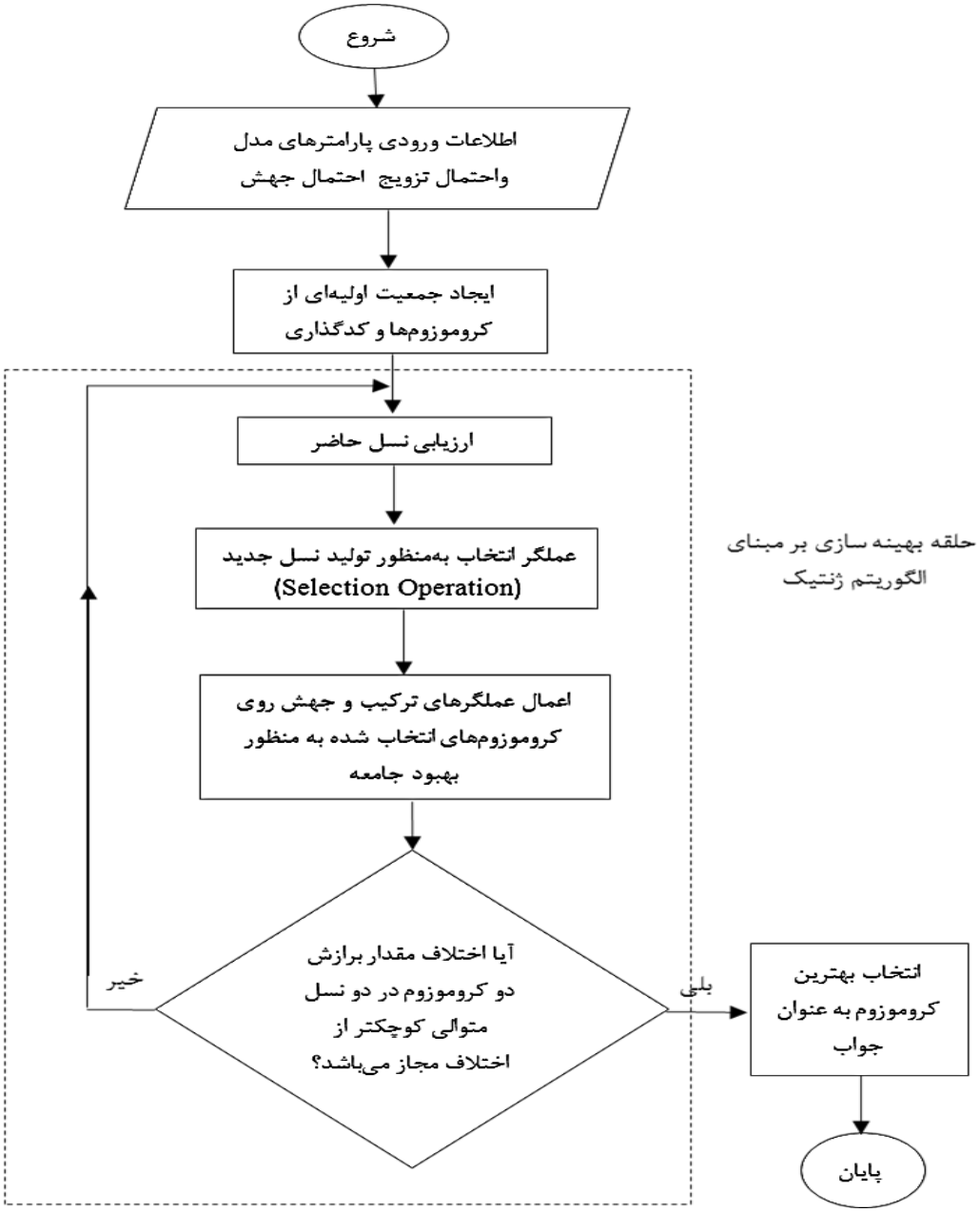
$$E = E_P + E_W + E_C \quad (۳)$$

که در آن E_p، امتیاز مدیران و کارکنان؛ E_w، امتیاز کارهای انجام شده و E_c امتیاز تداوم فعالیت پیمانکار است [۲۳].

۳- ۳- مدل الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از الگوریتم‌های تکاملی متداول و شناخته شده برای بهینه‌سازی است که بیشتر برای بهینه‌سازی مسائل بسیار پیچیده و غیرخطی به کار می‌رود. از آن‌جایی که اساس این روش بر مبنای فرایند تکامل است، مشابه سیر تکامل بیولوژیکی نیز دارای یک سیر تکاملی است. به عبارت ساده‌تر این روش با تولید نسل‌ها یا مجموعه جواب‌های متعدد از جواب‌های امکان‌پذیر، سعی می‌کند به سوی جواب بهینه عمومی حرکت کند. در الگوریتم ژنتیک یک جمعیت اولیه از جواب‌ها به عبارتی کروموزوم‌ها به طور تصادفی انتخاب می‌شوند. ارزیابی هر یک از کروموزوم‌ها بر اساس تابع هدف و محدودیت‌ها انجام می‌گیرد. از جامعه تولید شده اولیه تعدادی از جواب‌ها یا کروموزوم‌های برتر که مقدار تابع هدف یا برازش[6] آن‌ها در مسائل حداکثرسازی بیشتر و در مسائل حداقل‌سازی کمتر است، به عنوان

1 Occurrence
2 Severity
3 Detection
4 Risk Priority Number
5 Ranking
6 Fitness function



شکل ۲. فلوچارت بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک

Fig. 2. Algorithm optimization flowchart

کروموزوم‌های والد[1] برای تولید نسل بعد انتخاب می‌شوند. پس از اعمال عملگرهای ژنتیک مانند ترکیب[2] و جهش[3]، نسل فرزندان را به وجود آورده و به صورت تصادفی در دسته‌های دوتایی قرار گرفته، نسل بعد را تولید می‌نمایند. شکل ۲ سیر محاسبات در الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد. با تکرار مراحل نسل‌های جدید جایگزین نسل‌های قبلی خود شده و محاسبات تا آن‌جا ادامه می‌یابد که با تکرار بیشتر، بهبودی در جواب نهایی (کروموزوم برتر نسل آخر) مشاهده نشود. عمومی بودن جواب نهایی معمولا با تکرار روش با مقادیر مختلف احتمال ترکیب و جهش کنترل می‌گردد [۲۴].

1 Parents
2 Crossover
3 Mutation

لازم به توضیح است در الگوریتمی که با استفاده از نرم‌افزار متلب برنامه‌نویسی شد، تعداد ۵۰۰۰ جمعیت در نظر گرفته شد. تعداد نسل‌ها برابر با ۱۰۰ و به منظور تولید فرزندان یا جمعیت از هر دو عملگرهای ترکیب و جهش جهت پاسخ بهینه استفاده شده است. برای انتخاب کروموزوم‌های والد امکان استفاده از سه روش چرخ گردان، مسابقه و تصادفی در نظر گرفته شد. بیشتر روش‌های انتخاب از مکانیسم چرخ گردان[1] استفاده می‌کنند. روش مسابقه[2] نیز یکی از روش‌های ساده ولی پرکاربرد انتخاب کروموزوم‌های والد است. در طی فرایند انتخاب احتمال اینکه بهترین کروموزوم وارد دسته تولید مثل شود بسیار زیاد است. با این حال با استفاده از نخبه‌گرایی می‌توان احتمال هر نوع از دست دادن بهترین کروموزوم‌ها را طی فرایند جهش از بین برد. بدین منظور اولین یا تعداد کمی از بهترین کروموزوم‌های جمعیت فعلی مستقیما در جمعیت جدید قرار می‌گیرند و باقی‌مانده کروموزوم‌ها نیز با روش‌های متداول انتخاب می‌شوند. در الگوریتم مدل پیشنهادی جمعیت به طور صعودی مرتب شده و اولین جمعیت به دلیل اینکه هدف حداقل‌سازی تابع برازندگی می‌باشد، بهترین انتخاب بوده و به عنوان کروموزوم والد به نسل جدید منتقل می‌شود. پس از اجرای برنامه توسط هر یک از سه روش به صورت مجزا نمودار تابع هدف مقادیر مختلفی از خود نشان داد که با مقایسه آن‌ها، روش چرخ گردان شامل بهترین جواب بود. میزان جهش برابر با ۰/۰۲، احتمال جهش ۰/۳ و احتمال ترکیب ۰/۸ در نظر گرفته شد. تابع هدف یا برازندگی، بهینه‌سازی اختلاف جواب مدل پیشنهادی با جواب مدل آیین‌نامه و طبق رابطه (۴) در نظر گرفته شده است.

$$F = f\left(c,x\right) - v \qquad (۴)$$

در این رابطه $f\left(c,x\right)$ تابعی از c، ضرایب چند جمله‌ای یا به بیان دیگر متغیرهای تصمیم مدل است. تعداد این متغیرها ۲۴ عدد است. این تابع با رتبه‌های قبلی حاصل از امتیاز صلاحیت پیمانکاران مقایسه و بهینه‌سازی آن توسط مدل پیشنهادی انجام شده است. متغیر F به جهت همسویی با مدل آیین‌نامه زمانی بهینه است که نزدیک صفر باشد. با اعمال محدودیت در ابتدای الگوریتم مدل، حد بالای ۵ و حد پایین ۵- برای متغیرهای ۲۴ گانه یعنی خروجی مدل در نظر گرفته شد تا میزان تخطی به صفر میل نماید.

1 Roulette Wheel Selection
2 Tournament Selection

۴- نتایج، بحث و بررسی

۴- ۱- بررسی و مقایسه میزان تاخیرات شرکت‌های پیمانکاری مورد مطالعه

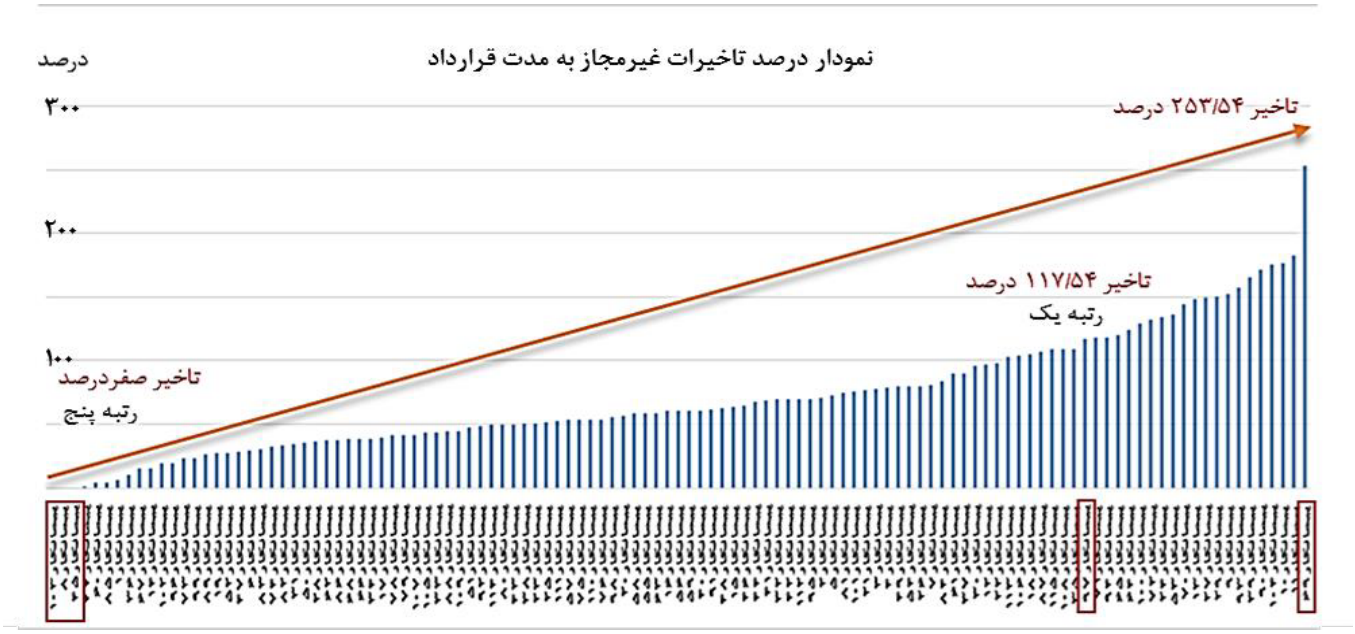
با توجه به مطالعات انجام شده و دسترسی به مستندات موجود شرکت‌های پیمانکاری در سازمان معاونت عمران شهری شهرداری اصفهان علاوه بر شاخص‌های توان مالی، سابقه اجرایی، سابقه تداوم شرکت، عملکرد مدیران و کارکنان، چهار معیار پیشنهادی سابقه تصدی هیات مدیره، کیفیت، مدارک مدیریتی و متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد به عنوان معیارهای موثر در رتبه‌بندی پیمانکاران در نظر گرفته شد. ابتدا قبل از انجام تحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزار، به مقایسه و بررسی معیار میزان تاخیرات شرکت‌های مورد مطالعه نسبت به رتبه آن‌ها پرداخته شد. در نمودار شکل ۳ شرکت‌ها بر اساس "درصد تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد" به صورت صعودی از چپ به راست مرتب شده‌اند. در شکل ۳، میزان تاخیرات غیرمجاز با امتیاز صلاحیت شرکت‌های پیمانکاری همسو نبوده بنابراین معیارهای به کار گرفته شده در آیین‌نامه برای تشخیص صلاحیت پیمانکاران، نتوانسته است بیانگر نقطه ضعف یا قوت پیمانکاران در خصوص تاخیرات باشد. در این نمودار، پیمانکار ۶۹، بالاترین متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز و پیمانکار ۸، پیمانکار ۱۰۳ و پیمانکار ۴۵ کمترین متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز را داشته‌اند. نکته قابل توجه این است که پراکندگی رتبه‌ها به هیچ عنوان از میزان تاخیرات تبعیت نداشته به طوری که پیمانکار ۱۰۳ و پیمانکار ۸ با داشتن رتبه ۵ دارای کمترین تاخیر بوده‌اند، این در حالی است که پیمانکار ۹۷ با رتبه یک، دارای تاخیر ۱۱۷/۵۴ درصد، یعنی بیش از صد در صد مدت قرارداد بوده است.

۴- ۲- نتایج تحلیل‌های آماری عوامل موثر بر رتبه‌بندی پیمانکاران

پس از ارائه و بررسی اطلاعات شرکت‌های پیمانکاری، در این بخش جهت ارزیابی و تحلیل عوامل تشدید کننده در روند رتبه‌بندی پیمانکاران از تحلیل‌های آماری شامل آزمون‌های کولموگروف – اسمیرنوف و فریدمن استفاده شده است که نتایج آن‌ها در ادامه ارائه و تحلیل شده است.

۴- ۲- ۱- نتایج آزمون کولموگروف – اسمیرنوف

به منظور انتخاب آزمون مناسب برای سنجش اطلاعات، ابتدا باید از توزیع آماری داده‌ها اطمینان حاصل شود. در این پژوهش برای بررسی نرمال بودن داده‌ها، از آزمون کولموگروف – اسمیرنوف، یکی از مهم‌ترین



شکل ۳. مقایسه شرکت‌ها بر اساس درصد تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد

Fig. 3. Comparing companies based on unauthorized delays

جدول ۱. نتایج آزمون کولموگروف – اسمیرنوف

Table 1. Kolmogorov-Smirnov test results

متغیرها	مقدار معناداری	متغیرها	مقدار معناداری
توان مالی (P)	۰/۰۰۰	سابقه تصدی هیات مدیره	۰/۰۰۰
امتیاز کارهای انجام شده (Ew)	۰/۰۰۰	کیفیت	۰/۰۰۰
امتیاز تداوم فعالیت (Ec)	۰/۰۰۰	مدارک مدیریتی	۰/۰۰۰
امتیاز عملکرد مدیران و کارکنان (Ep)	۰/۰۰۰	متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد	۰/۰۰۰

آزمون‌های آماری در نرم‌افزار SPSS، استفاده شده است. اگر داده‌ها دارای توزیع نرمال باشند، امکان استفاده از آزمون پارامتریک وجود دارد و در غیر این صورت بایستی از آزمون ناپارامتریک استفاده شود. با توجه به نتایج جدول ۱، سطح معناداری برای تمامی متغیرهای مستقل از ۰/۰۵ کوچک‌تر بوده است، در نتیجه این متغیرها از توزیع نرمال برخوردار نیستند و بایستی از آزمون‌های ناپارامتریک برای تحلیل نتایج در ادامه استفاده شود.

۴- ۲- ۲- نتایج آزمون فریدمن

در این مطالعه از آزمون ناپارامتریک فریدمن جهت ارزیابی برابری رتبه‌ای سطوح متغیرها استفاده شده است. در جدول ۲ به ترتیب تعداد داده‌های هر متغیر، مقدار آماره کای دو، درجه آزادی و سطح معنی‌داری را نشان داده است. چنانچه سطح معنی‌داری آماره آزمون از ۵ درصد کمتر باشد، فرض صفر تحقیق (H_0) پذیرفته نیست. Sig کمتر از ۵ درصد است بنابراین H_0 رد شده و ادعای یکسان بودن رتبه (اولویت) این ۸ عامل پذیرفته نیست و

جدول ۲. نتایج آماری آزمون فریدمن

Table 2. Friedman test results

تعداد داده	کای دو محاسبه شده	درجه آزادی	سطح معناداری
۱۱۵	۷۲۴/۵۵	۷	۰/۰۰

جدول ۳. میانگین رتبه‌ای آزمون فریدمن

Table 3. Mean rank of Friedman's test

متغیر مستقل	میانگین	رتبه	متغیر مستقل	میانگین	رتبه
سابقه تصدی هیات مدیره	۱/۵۴	۱	امتیاز تداوم فعالیت (E_C)	۴/۴۰	۵
مدارک مدیریتی	۱/۸۸	۲	امتیاز عملکرد مدیران و کارکنان (E_P)	۵/۹۱	۶
متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد	۳/۵۷	۳	امتیاز کارهای انجام شده (E_W)	۷/۰۰	۷
کیفیت	۳/۷۱	۴	توان مالی (P)	۸/۰۰	۸

فرض یک تحقیق (H_1) که مبتنی بر وجود تفاوت بین رتبه‌های این ۸ عامل است مورد تایید است. جدول ۳ نیز بیانگر میانگین رتبه‌های هر متغیر است. هر چقدر میانگین رتبه‌ها کوچک‌تر باشد، اهمیت آن متغیر بیشتر است. نتایج حاصل از آزمون در جدول ۳ نشان داد معیارهای جدیدی که با بهره‌گیری از تحقیقات پیشین و تجزیه و تحلیل فرم‌های FMEA به معیارهای قبلی آیین‌نامه اضافه شده است، از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین مهم‌ترین متغیرهای تاثیرگذار، به ترتیب سابقه تصدی هیات مدیره، مدارک مدیریتی، متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد و کیفیت بوده‌اند.

۴- ۳- نتایج مدل ژنتیک رتبه‌بندی شرکت‌های پیمانکاری

پس از ارائه اطلاعات مربوط به شرکت‌های پیمانکاری و بررسی داده‌ها با استفاده از تحلیل‌های آماری، در این بخش تلاش شده است با استفاده از نرم‌افزار متلب، مدل نهایی رتبه‌بندی شرکت‌های پیمانکاری تعیین شود. بر همین اساس داده‌ها از طریق مستندات موجود ۱۱۵ شرکت پیمانکاری طرف قرارداد با سازمان معاونت عمران شهری شهرداری اصفهان در دوره چهار ساله بین سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ جمع‌آوری و به عنوان ورودی این مدل استفاده گردید. سپس با استفاده از تحلیل آزمون آماری در نرم‌افزار SPSS، میزان همبستگی متغیرها و اهمیت هر شاخص تعیین شده است که نتایج حاکی از تاثیرگذاری معنی‌دار همه متغیرها بر خروجی نهایی مدل یعنی امتیاز صلاحیت شرکت‌های پیمانکاری بود.

۴- ۳- ۱- ارائه مدل ریاضی جهت رتبه‌بندی پیمانکاران با رویکرد کاهش تاخیر

در این قسمت از پژوهش در نظر است علاوه بر معیارهای آیین‌نامه تشخیص صلاحیت پیمانکاران (توان مالی، سابقه اجرایی، سابقه تداوم شرکت، عملکرد مدیران و کارکنان)، شاخص‌های سابقه تصدی هیات مدیره، کیفیت، مدارک مدیریتی و متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد نیز به عنوان معیارهای موثر از طریق روش الگوریتم ژنتیک مدل‌سازی شود.

در روش به کار رفته در آیین‌نامه تشخیص صلاحیت، برای هر یک از این معیارها ضریبی در نظر گرفته شده که جمع جبری حاصل ضرب معیارها در ضرایب مربوطه، منجر به رابطه‌ای جهت محاسبه عدد S (امتیاز صلاحیت) گردیده است و با استفاده از آن رتبه پیمانکار تعیین شده است. این رابطه از نوع درجه یک یا خطی است. اما در این پژوهش جهت نیل به امتیاز صلاحیت دقیق‌تر، از معادله درجه دو ax^2+bx+c برای هر یک از معیارها استفاده گردید. در این معادله، x، نماد معیارها و ضرایب a، b و c ضرایبی هستند که توسط مدل در الگوریتم ژنتیک تولید و بهینه شده‌اند. بنابراین به

جدول ۴. ضرایب مدل توسعه یافته با استفاده از الگوریتم ژنتیک

Table 4. Coefficients of the developed model using genetic algorithm

i	شاخص	ضریب $x_i^2 (a_i)$	ضریب $x_i (b_i)$	عدد ثابت (c_i)
۱	سابقه تصدی هیات مدیره	-۰/۰۴۳۸	۰/۱۱۳۸	۰/۶۴۵۹
۲	کیفیت	-۰/۰۲۴۷	۰/۰۳۵۶	۱/۰۵۷۷
۳	مدارک مدیریتی	۰/۰۷۸۳	-۰/۰۶۳۹	۰/۵۰۶۷
۴	عملکرد مدیران و کارکنان	-۲/۶۰۰۸	-۱/۸۸۱۵	۰/۴۸۳۶
۵	تداوم فعالیت پیمانکار	۲/۳۵۶۲	-۱/۸۹۰۲	۰/۴۲۳۵
۶	توان مالی	-۲/۱۲۹۶	-۲/۸۵۵۶	۰/۷۵۸۰
۷	سابقه اجرایی	۰/۵۸۲۶	-۲/۱۸۰۴	۰/۵۳۵۴
۸	متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد	۰/۰۳۲۱	-۰/۴۵۴۱	۰/۸۴۵۷

ازای هشت معیار اشاره شده، هشت معادله درجه دو وجود داشته است. جمع جبری این هشت معادله، عدد امتیاز صلاحیت جدید را تولید کرده است. این عدد مبنای رتبه‌بندی پیمانکاران است. اختلاف رتبه‌بندی حاصل از رابطه اخیر، نسبت به رتبه‌بندی آیین‌نامه تشخیص صلاحیت برای هر پیمانکار، به جهت همسویی با آیین‌نامه باید به کمترین میزان میل نماید این عملیات با استفاده از رابطه (۵) محاسبه گردیده است. به عبارتی شرط بهینه بودن پاسخ، کمینه بودن تابع هدف است.

$$\min f = \left(\sum_{i=1}^{t} \left(a_i x_i^2 + b_i x_i + c_i \right) \right) - v, \qquad t = 1, 2, \ldots, 8 \quad (۵)$$

در رابطه (۵) مقادیر متغیر V، رتبه‌های قبلی مربوط به شرکت‌های پیمانکاری بوده است. همان‌گونه که اشاره شد در الگوریتم برنامه، جامعه‌ای که تابع هدف کمتر تولید کند به معنی پاسخ بهتر است. بنابراین از ضرائب به دست آمده به روش چرخ گردان، در مدل استفاده شد و تعداد آن‌ها ۲۴ ضریب، در نظر گرفته شده است. به این ترتیب که توسط ۱۱۰ شرکت از میان کل ۱۱۵ شرکت، ضرایب بهینه را به دست آورده و با بهره‌گیری از مدل نهایی، با ضرایب بهینه شده، برای ۵ شرکت باقی‌مانده، کنترل انجام شد و نتیجه مطلوب بود.

همانطور که اشاره شد برای تعیین مدل نهایی، از یک معادله درجه دوم چند جمله‌ای، مطابق با رابطه ۶ استفاده شده است که ضرایب این مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک و کدنویسی در نرم‌افزار متلب محاسبه گردیده است. ضرایب مدل توسعه یافته با استفاده از الگوریتم ژنتیک در جدول ۴ نمایش داده شده است.

$$S = \frac{1}{10000} \begin{pmatrix} a_1 x_1^2 + b_1 x_1 + c_1 + a_2 x_2^2 + b_2 x_2 + c_2 + a_3 x_3^2 + b_3 x_3 + c_3 + \\ a_4 x_4^2 + b_4 x_4 + c_4 + a_5 x_5^2 + b_5 x_5 + c_5 + a_6 x_6^2 + b_6 x_6 + c_6 + \\ a_7 x_7^2 + b_7 x_7 + c_7 + a_8 x_8^2 + b_8 x_8 + c_8 \end{pmatrix} \quad (۶)$$

متغیرهای موجود در این رابطه به شرح زیر است:

S برابر با امتیاز اولویت رتبه‌بندی شرکت‌های پیمانکاری، x_1 برابر با سابقه تصدی هیات مدیره، x_2 برابر با کیفیت، x_3 برابر با مدارک مدیریتی، x_4 برابر با عملکرد مدیران و کارکنان، x_5 برابر با تداوم فعالیت پیمانکار، x_6 برابر با توان مالی، x_7 برابر با سابقه اجرایی، x_8 برابر با متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد، a، b و c به عنوان ضرایب ثابت مدل هستند که با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین شده‌اند.

پس از تعیین ضرایب معیارها در مدل رتبه‌بندی پیمانکاران، با توجه به مقادیر متغیرهای ورودی مربوط به معیارهای هر شرکت پیمانکاری، امتیاز صلاحیت پیمانکاران با استفاده از مدل پیشنهادی محاسبه و مطابق جدول ۵ رتبه متناظر با امتیاز صلاحیت برای هر شرکت تعیین شده است.

جدول ۵. رتبه‌بندی متناظر با امتیاز صلاحیت طبق مدل پیشنهادی

Table 5. Ranking with competency points according to the proposed model

امتیاز صلاحیت اخذ شده در مدل پیشنهادی	رتبه متناظر با امتیاز
۵۰۰ الی ۴۹۹۹	۵
۵۰۰۰ الی ۲۴۹۹۹	۴
۲۵۰۰۰ الی ۹۹۹۹۹	۳
۱۰۰۰۰۰ الی ۴۹۹۹۹۹	۲
۵۰۰۰۰۰ الی ۱۱۰۰۰۰۰	۱

۴- ۳- ۲- بررسی همبستگی متغیرهای موثر و ارتباط آن‌ها با شاخص رتبه‌بندی محاسبه شده

به منظور تعیین و بررسی میزان ارتباط هر معیار با شاخص رتبه‌بندی پیمانکاران از ماتریس همبستگی متغیرها استفاده شده است. در صورتی که تعداد داده‌ها کم یا توزیع نرمال بین آن‌ها برقرار نباشد، جهت بررسی همبستگی بین داده‌ها استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن[1] ضروری است. با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۶، از دو شاخص ضریب همبستگی و پارامتر Sig استفاده شده است. بر اساس شاخص Sig در صورتی که مقدار این پارامتر از ۰/۰۵ کوچک‌تر باشد، متغیرها در سطح معناداری ۹۵ درصد با یکدیگر همبستگی قابل توجهی دارند. همچنین، ضریب همبستگی نشان دهنده مقدار همبستگی بین دو متغیر است، هر چه این عدد بزرگ‌تر باشد، بیانگر ارتباط بیشتر و همبستگی بالاتر متغیرها است. با توجه به نتایج، تمامی متغیرهای سابقه تصدی هیات مدیره، کیفیت، مدارک مدیریتی و متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد و شاخص‌های امتیاز مدیران و کارکنان (E_p)، امتیاز تداوم فعالیت (E_c)، توان مالی (P) و امتیاز کارهای انجام شده (E_w) با شاخص رتبه‌بندی پیمانکاران در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد ارتباط دارند. مطابق این جدول بین متغیرهای مدارک مدیریتی، امتیاز مدیران و کارکنان (E_p)، توان مالی (P) و امتیاز کارهای انجام شده (E_w) با متغیر درصد تاخیرات غیرمجاز، همبستگی بالا، ولی در جهت عکس وجود دارد به طوری که افزایش این متغیرها، کاهش درصد تاخیرات غیرمجاز را در پی خواهد داشت. همچنین، با بررسی علامت ضرایب همبستگی مشخص شد، متغیرهای سابقه تصدی هیات مدیره، کیفیت، مدارک مدیریتی و شاخص‌های امتیاز مدیران و کارکنان (E_p)، امتیاز تداوم فعالیت (E_c)، توان مالی (P) و امتیاز کارهای انجام شده (E_w) با داشتن علامت مثبت دارای رابطه مستقیم با امتیاز صلاحیت پیمانکاران حاصل از مدل هستند. همچنین متغیر متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد با ضریب همبستگی با شدت نسبتا بالای معادل ۰/۷۱۲-، دارای رابطه غیرمستقیم با امتیاز صلاحیت پیمانکاران است. بنابراین هر چه میزان تاخیرات غیرمجاز کمتر باشد، امتیاز صلاحیت پیمانکاران در رتبه‌بندی افزایشی است.

۴- ۳- ۳- ارزیابی نتایج ارائه شده مدل

از میان ۱۱۵ شرکت طرف قرارداد با سازمان معاونت عمران، تعداد ۹۲ شرکت طبق آیین‌نامه تشخیص صلاحیت دارای رتبه ۵ بودند.

در شکل ۴ امتیاز صلاحیت تعدادی شرکت‌های رتبه ۵ تعیین صلاحیت شده به روش آیین‌نامه، با امتیاز صلاحیت همان شرکت‌ها حاصل از مدل توسعه یافته الگوریتم ژنتیک مقایسه شده است. در این نمودار، امتیاز شرکت‌ها، در منحنی امتیاز صلاحیت بر اساس آیین‌نامه، از چپ به راست به طور متوالی صعودی است. در منحنی امتیاز صلاحیت شرکت‌ها بر اساس مدل پیشنهادی، فراز و فرودهایی وجود دارد. این پدیده بیانگر تحلیل بهتر و دقیق‌تر شرکت‌های پیمانکاری یا به عبارت ساده‌تر پیمانکاران است. به طور مثال در ناحیه‌ای که با عدد ۱ مشخص شده امتیاز صلاحیت پیمانکار ۱۱۲ و پیمانکار ۵ بر اساس آیین‌نامه، به ترتیب ۲۳۸۲، ۲۳۸۳ و صعودی است لیکن بر اساس مدل پیشنهادی، به ترتیب ۲۴۳۳، ۲۳۶۲ و نزولی است. همچنین در ناحیه ۲، امتیاز پیمانکار ۶۸، پیمانکار ۱۰۵، پیمانکار ۵۰ و پیمانکار ۱۷ بر اساس آیین‌نامه، به ترتیب ۲۶۶۷، ۲۶۷۰، ۲۶۸۷ و ۲۶۹۹ و صعودی است. در حالی

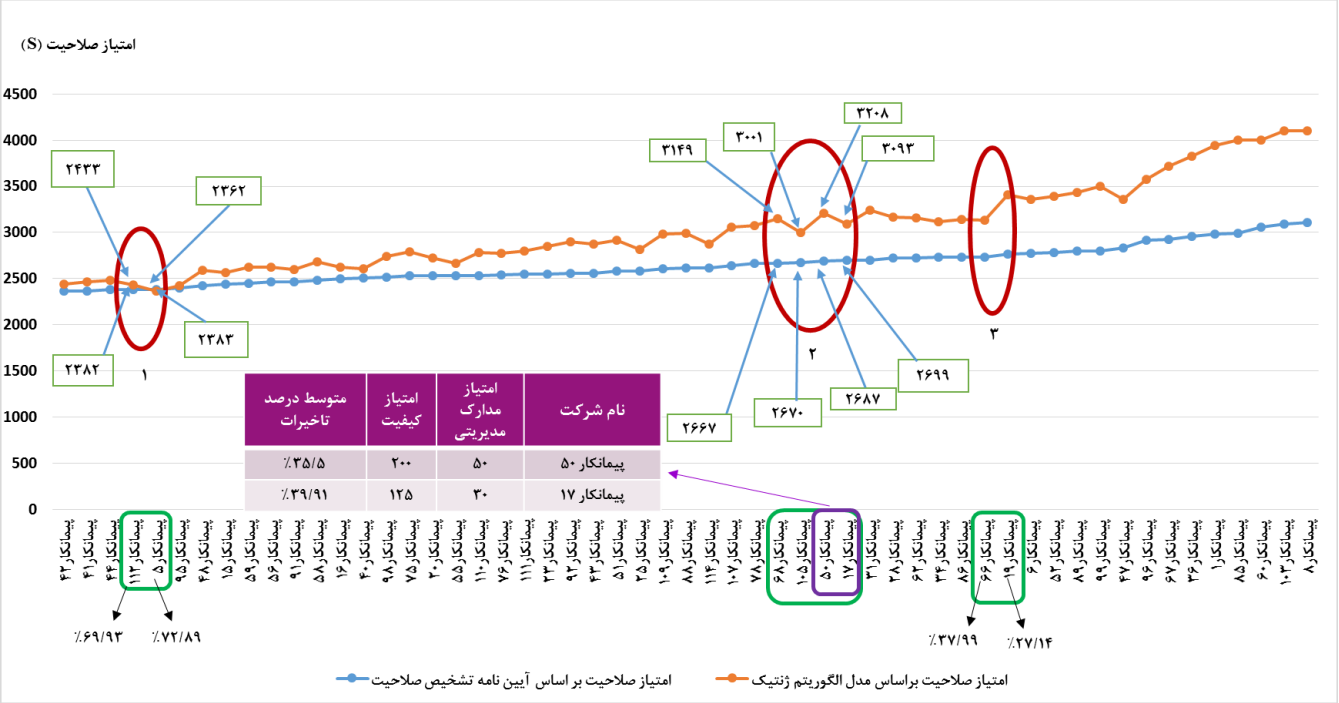
1 Spearman Correlation Coefficient

جدول ۶. ماتریس همبستگی متغیرهای موثر بر امتیاز صلاحیت شرکت های پیمانکاری

Table 6. Correlation matrix of variables affecting the qualification score of contracting companies

		سابقه تصدی هیات مدیره	کیفیت	مدارک مدیریتی	(E_P) امتیاز مدیران و کارکنان	(Ec) امتیاز تداوم فعالیت	(P) توان مالی	(E_w) امتیاز کارهای انجام شده	تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد	امتیاز صلاحیت
سابقه تصدی هیات مدیره	Correlation Coefficient	۱/۰۰۰	۰/۰۳۹	۰/۳۷۴	۰/۴۵۸	۰/۷۴۲	۰/۴۵۸	۰/۴۵۵	-۰/۴۸۵	۰/۴۵۵
	Sig. (2-tailed)		۰/۶۷۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
کیفیت	Correlation Coefficient		۱/۰۰۰	۰/۳۱۸	۰/۲۵۰	-۰/۰۷۶	۰/۲۵۳	۰/۲۵۲	-۰/۵۵۹	۰/۲۵۲
	Sig. (2-tailed)			۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۴۱۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۷
مدارک مدیریتی	Correlation Coefficient			۱/۰۰۰	۰/۴۹۱	۰/۲۸۰	۰/۴۹۱	۰/۴۸۸	-۰/۶۶۷	۰/۴۹۱
	Sig. (2-tailed)				۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
E_p	Correlation Coefficient				۱/۰۰۰	۰/۷۰۲	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	-۰/۷۱۱	۱/۰۰۰
	Sig. (2-tailed)					۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
E_c	Correlation Coefficient					۱/۰۰۰	۰/۷۰۲	۰/۷۰۲	-۰/۳۵۱	۰/۷۰۰
	Sig. (2-tailed)						۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
P	Correlation Coefficient						۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	-۰/۷۱۲	۱/۰۰۰
	Sig. (2-tailed)							۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
E_w	Correlation Coefficient							۱/۰۰۰	-۰/۷۱۰	۱/۰۰۰
	Sig. (2-tailed)								۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
تاخیرات غیرمجاز	Correlation Coefficient								۱/۰۰۰	-۰/۷۱۲
	Sig. (2-tailed)									۰/۰۰۰
امتیاز صلاحیت	Correlation Coefficient									۱/۰۰۰
	Sig. (2-tailed)									

که امتیاز صلاحیت شرکت‌های یاد شده بر اساس مدل پیشنهادی، به ترتیب ۳۱۴۹، ۳۰۰۱، ۳۲۰۸ و ۳۰۹۳ بوده است. این فراز و فرودها به دلیل استفاده از معیارهای جدید در مدل پیشنهادی است به طوری که برای پیمانکار ۵۰ و پیمانکار ۱۷ امتیاز کیفیت به ترتیب ۲۰۰ و ۱۲۵، امتیاز مدارک مدیریتی به ترتیب ۵۰ و ۳۰ و متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد به ترتیب ۳۵/۵۰ درصد و ۳۹/۹۱ درصد است و این نشان دهنده عملکرد بهتر پیمانکار ۵۰ نسبت به پیمانکار ۱۷ است. این امر در امتیاز صلاحیت کسب شده توسط مدل پیشنهادی کاملا مشهود است. موضوع جالب توجه دیگر تغییر در شیب منحنی‌ها است. شیب منحنی امتیاز صلاحیت بر اساس آیین‌نامه تقریبا یکنواخت و شیب منحنی امتیاز صلاحیت بر اساس مدل پیشنهادی در نقاط مختلف دارای جهش‌های موضعی است. به عنوان مثال در ناحیه‌ای که با عدد ۳ مشخص شده است، شیب امتیاز پیمانکار ۱۹ نسبت به پیمانکار ۶۶ در منحنی آیین‌نامه، ۱/۳ درصد و شیب منحنی مدل پیشنهادی، ۸/۹ درصد است. این جهش‌ها بیانگر آن است که بعضی شرکت‌ها مانند پیمانکار ۱۹ در کسب امتیاز از چهار معیار جدید پیشنهادی دارای موفقیت بیشتری بوده‌اند. نکته حائز اهمیت دیگر اینکه با تحلیل اطلاعات مشخص شد، شرکت‌هایی که جایگاهشان به دلیل کسب امتیاز بالاتر در مدل پیشنهادی تغییر یافته و یک یا چند پله نسبت به امتیازبندی آیین‌نامه صعود کرده‌اند، دارای درصد تاخیرات کمتری بوده‌اند.

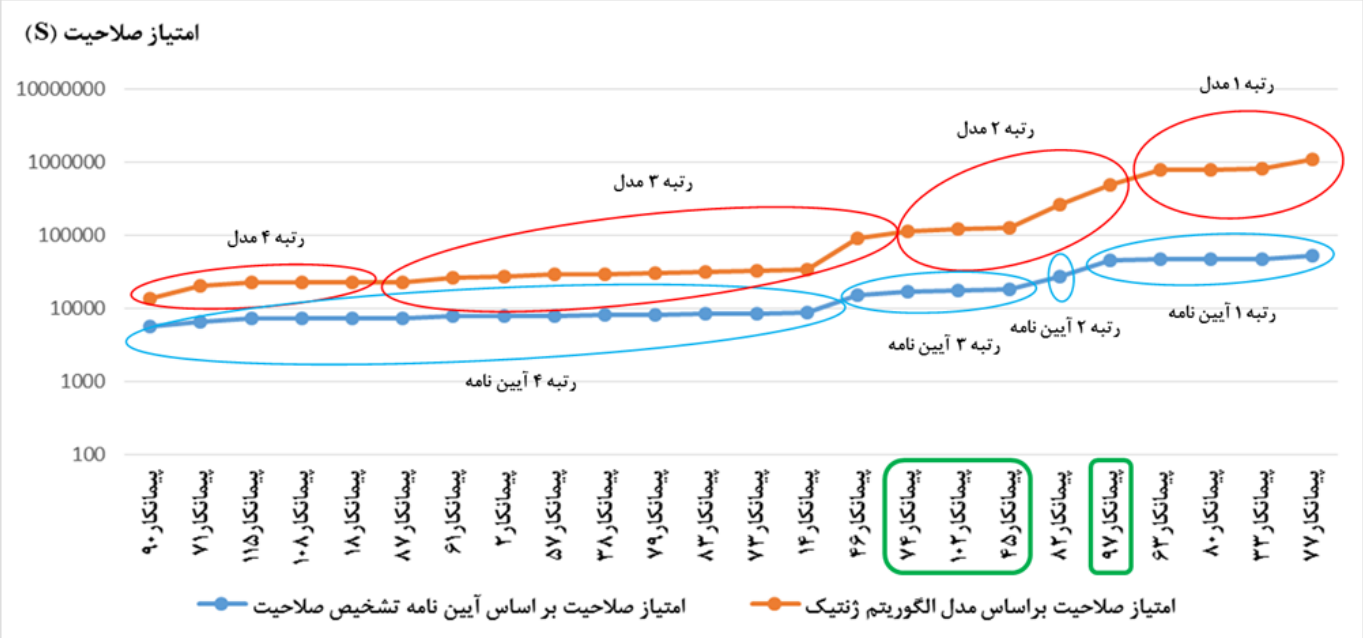


شکل ۴. مقایسه امتیاز صلاحیت تعدادی شرکت‌های رتبه ۵ آیین‌نامه با مدل پیشنهادی

Fig. 4. Comparison of the qualification score of some companies with a ranking of 5

در شکل ۵ نمودار امتیاز صلاحیت شرکت‌های دارای رتبه ۴، ۳، ۲ و ۱ به روش آیین‌نامه و روش مدل پیشنهادی مقایسه شده‌اند. در این شکل هم مشابه شکل قبلی شرکت‌های پیمانکاری بر اساس امتیاز صلاحیت محاسبه شده طبق آیین‌نامه از چپ به راست به صورت صعودی مرتب شده‌اند. در نمودار بعضی شرکت‌های پیمانکاری به دلیل به کارگیری چهار معیار جدید در مدل پیشنهادی دچار تغییر جایگاه و در نهایت تغییر رتبه گردیده‌اند. به طور مثال پیمانکار ۷۴، پیمانکار ۱۰۲ و پیمانکار ۴۵ که دارای رتبه ۳ آیین‌نامه هستند در مدل پیشنهادی به رتبه ۲ ارتقا نموده‌اند. از طرفی پیمانکار ۹۷ که در روش آیین‌نامه دارای رتبه ۱ است در روش مدل پیشنهادی از رتبه ۱ به رتبه ۲ تنزل نموده است. با بررسی سایر اطلاعات این شرکت مشاهده شد سابقه تصدی هیات مدیره ۴ سال، امتیاز کیفیت ۳۰ از ۲۰۰، امتیاز مدارک مدیریتی صفر و مهم‌تر اینکه درصد متوسط تاخیرات غیرمجاز این شرکت ۱۱۷/۵۴ درصد است.

جهت تحلیل دقیق‌تر و نتیجه‌گیری بهتر، به بررسی و مقایسه عدد رتبه و امتیاز صلاحیت شرکت‌ها یکی بر اساس روش آیین‌نامه تشخیص صلاحیت و دیگری بر اساس مدل توسعه یافته با الگوریتم ژنتیک پرداخته گردید. در این مقایسه تعدادی شرکت‌ها همان‌طوری که در شکل بالا هم ملاحظه گردید جابه‌جایی رتبه داشتند. در جدول ۷ بین ۱۱۵ شرکت مورد تحقیق به بررسی تعدادی شرکت‌های رتبه ۵ پرداخته شده است. این شرکت‌ها که بر اساس امتیاز صلاحیت به روش مدل پیشنهادی به صورت نزولی مرتب شده‌اند، جابه‌جایی رتبه نداشتند اما در ستون امتیاز صلاحیت به روش آیین‌نامه به هم ریختگی توالی امتیاز وجود دارد به طور مثال در ردیف ۷۳ پیمانکار ۱۱۵ با امتیاز ۲۴۴۲ باید بالاتر از پیمانکار ۴۸ با امتیاز ۲۴۲۶ باشد لیکن به دلیل امتیازبندی در مدل پیشنهادی، پیمانکار ۱۱۵ به ردیف پایین‌تر از پیمانکار ۴۸ تنزل نموده است. نکته قابل توجه اینکه متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد پیمانکار ۱۱۵ برابر با ۶۳/۵۸ درصد و بیشتر از متوسط درصد تاخیرات پیمانکار ۴۸ با مقدار ۶۲/۵۵ درصد است. همچنین در ردیف‌های ۷۴ الی ۷۹ به هم ریختگی امتیازات بین پیمانکار ۴۴، پیمانکار ۴۱، پیمانکار ۳۲، پیمانکار ۴۲، پیمانکار ۱۱۲ و پیمانکار ۹۵ کاملا مشهود است به طوری که در میان این پیمانکاران طبق امتیازات آیین‌نامه، پیمانکار ۹۵ باید در بالاترین ردیف و پیمانکار ۳۲ در پایین‌ترین ردیف قرار داشته باشند. در اینجا نیز روند افزایش تاخیر، هماهنگ با کاهش امتیاز صلاحیت بر اساس مدل پیشنهادی



شکل ۵. مقایسه امتیاز صلاحیت شرکت‌های رتبه ۴، ۳، ۲ و ۱ آیین نامه با مدل پیشنهادی

Fig. 5. Comparison of the qualification score of ranked companies 1,2,3,4

جدول ۷. مقایسه رتبه‌بندی تعدادی شرکت‌ها بر اساس مدل‌های آیین‌نامه و توسعه یافته با الگوریتم ژنتیک

Table 7. Comparison of the ranking of some companies based on the proposed models and regulations

ردیف	رتبه بر اساس مدل	امتیاز صلاحیت بر اساس مدل	نام شرکت	میزان تاخیرات	امتیاز صلاحیت بر اساس آیین‌نامه	رتبه بر اساس آیین‌نامه
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۲	۵	۲۵۹۳	پیمانکار ۴۸	٪۶۲/۵۵	۲۴۲۶	۵
۷۳	۵	۲۵۶۷	پیمانکار ۱۱۵	٪۶۳/۵۸	۲۴۴۲	۵
۷۴	۵	۲۴۷۸	پیمانکار ۴۴	٪۶۷/۹۲	۲۳۸۱	۵
۷۵	۵	۲۴۶۹	پیمانکار ۴۱	٪۶۸/۳۷	۲۳۶۸	۵
۷۶	۵	۲۴۴۴	پیمانکار ۳۲	٪۶۹/۵۳	۲۳۶۵	۵
۷۷	۵	۲۴۴۱	پیمانکار ۴۲	٪۶۹/۶۶	۲۳۶۸	۵
۷۸	۵	۲۴۳۳	پیمانکار ۱۱۲	٪۶۹/۹۳	۲۳۸۲	۵
۷۹	۵	۲۴۲۴	پیمانکار ۹۵	٪۷۰/۱۵	۲۳۹۷	۵
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

بوده است. نکته قابل توجه دیگر در خصوص پیمانکار ۴۱ در ردیف ۷۵ و پیمانکار ۴۲ در ردیف ۷۷ است. با اینکه هر دو دارای امتیاز برابر با ۲۳۶۸ بر اساس آیین‌نامه تشخیص صلاحیت هستند، در ردیف ۷۶ پیمانکار ۳۲ با امتیاز ۲۳۶۵ بین دو پیمانکار مذکور قرار گرفته است و این حاکی از تاثیر معیار متوسط درصد تاخیرات بر امتیاز صلاحیت در مدل پیشنهادی است. چرا که متوسط درصد تاخیرات پیمانکار ۳۲ برابر با ۶۹/۵۳ درصد و این معیار برای پیمانکار ۴۱ و پیمانکار ۴۲ به ترتیب برابر با ۶۸/۳۷ درصد و ۶۹/۶۶ درصد است و بنابراین کاهش امتیاز صلاحیت به روش مدل هماهنگ با افزایش تاخیرات است.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با شناسایی معیارهای تشخیص صلاحیت موثر بر تاخیر پیمانکار و با استفاده از الگوریتم ژنتیک مدل‌سازی انجام شد. ابتدا پس از تجزیه و تحلیل و اولویت‌بندی معیارهای حاصل از تحقیقات گسترده با استفاده از روش FMEA چهار عامل سابقه تصدی هیات مدیره، سابقه تاخیر غیرمجاز، کیفیت پروژه‌های انجام شده و مدارک مدیریتی به عنوان عوامل تاثیرگذار در رخداد تاخیر و شدت آن شناسایی شدند. پس از آن به جمع‌آوری اطلاعات پروژه‌های ۱۱۵ شرکت رتبه‌بندی شده توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی که با سازمان معاونت عمران شهرداری اصفهان طرف قرارداد بودند، پرداخته شد. سپس با استفاده از روش مدل‌سازی ریاضی از طریق الگوریتم ژنتیک به ایجاد یک مدل ریاضی استخراج امتیاز صلاحیت پیمانکاران بر اساس چهار معیار اصلی رتبه‌بندی آیین‌نامه تشخیص صلاحیت سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی شامل توان مالی، سابقه اجرایی، سابقه تداوم شرکت و سابقه عملکرد مدیران و کارکنان و چهار معیار اضافه شده جدید اقدام گردید. نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری به صورت زیر ارائه می‌گردد:

۱-معیارهای پیشنهادی نسبت به بقیه معیارها از اهمیت بالاتری برخوردار هستند و علاوه بر چهار معیار اصلی آیین‌نامه تشخیص صلاحیت، معیارهای پیشنهادی تاخیرات غیرمجاز به مدت قرارداد، مدارک مدیریتی، سابقه تصدی هیات مدیره و کیفیت نیز بر امتیاز تشخیص صلاحیت تاثیرگذار هستند.

۲-کلیه معیارها با معیار تاخیرات ارتباط معنی‌دار داشتند. به طوری که معیارهای پیشنهادی مدارک مدیریتی و امتیاز مدیران و کارکنان با معیار درصد تاخیرات غیرمجاز ارتباط معکوس و همبستگی نسبتا بالایی را نشان داده بود. همچنین متغیر متوسط درصد تاخیرات غیرمجاز با شدت نسبتا بالای معادل ۰/۷۱۲ دارای رابطه معکوس با امتیاز صلاحیت پیمانکاران بود.

در ادامه پس از محاسبه امتیاز صلاحیت شرکت‌های پیمانکاری و رتبه‌بندی آن‌ها توسط مدل توسعه یافته با الگوریتم ژنتیک، به تحلیل مدل و مقایسه امتیازات صلاحیت حاصل از مدل با امتیازات آیین‌نامه پرداخته شد. نتایج مقایسه دو مدل نشان داد:

۳-در رتبه‌بندی به روش آیین‌نامه، امتیاز صلاحیت و رتبه پیمانکاران از میزان تاخیرات آن‌ها تبعیت نمی‌کرد. به طور مثال شرکتی با رتبه یک دارای تاخیر بالای صد در صد بود در حالی که شرکت‌هایی با رتبه پنج هم وجود داشتند که هیچ تاخیری نداشتند. اما در مدل پیشنهادی، کاهش امتیاز صلاحیت هماهنگ با افزایش میزان تاخیر غیرمجاز بود و بدین ترتیب تاثیر معیار میزان تاخیرات بر امتیاز صلاحیت مدل پیشنهادی کاملا محرز بود.

۴-در نمودار مقایسه، شیب منحنی امتیاز صلاحیت آیین‌نامه دو پیمانکار ۱/۳ درصد بود در حالی که این شیب در منحنی مدل پیشنهادی ۸/۹ درصد بود و یا شرکتی که طبق روش آیین‌نامه دارای رتبه یک بود در مدل پیشنهادی به رتبه دو تنزل نموده بود که این تغییرات بیانگر تاثیر معیارهای پیشنهادی بر امتیاز صلاحیت و به تبع آن تاثیر بر رتبه است.

۵-معیارهای پیشنهادی به طور صد در صد کنترل کننده تاخیرات نیستند لیکن لحاظ نمودن آن‌ها در مدل رتبه‌بندی پیمانکاران باعث پالایش بهتر شرکت‌ها با رویکرد کاهش تاخیرات می‌باشند و باعث همسویی بیشتر رتبه‌بندی و کاهش تاخیرات غیرمجاز است.

از آنجایی‌که طبق آیین‌نامه تشخیص صلاحیت، رابطه مربوط به محاسبه امتیاز صلاحیت از نوع درجه اول و خطی می‌باشد و رتبه‌بندی پیمانکاران بر اساس این امتیازبندی است در این پژوهش به دلیل بالا بردن دقت آن به جای رگرسیون خطی از رابطه درجه دوم و غیرخطی استفاده شد. با توجه به قابلیت بالای مباحث هوش مصنوعی در مدل‌سازی مسائل پیچیده و همچنین مشکلات استفاده از روش‌های سنتی آماری خطی به خصوص در مسائل پیچیده غیرخطی، روش الگوریتم ژنتیک که گزینه بسیار مناسبی به جای تکنیک‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون خطی می‌باشد، به کار گرفته شد. نتایج حاصل از مدل گویای دقت بالاتر امتیازبندی صلاحیت پیمانکاران به این روش می‌باشد. برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود تحقیقاتی به صورت گسترده‌تر و با جامعه آماری بزرگ‌تر انجام گیرد تا انحرافات مدل رتبه‌بندی پیمانکاران به سمت صفر میل نموده و کارآمدترین مدل جهت رتبه‌بندی پیمانکاران با رویکرد کاهش تاخیرات به دست آید.

منابع

[1] M. Reenu, R. Kumar, S. Babu, Construction project performance model using artificial neural network, International Journal of Recent Trends in Engineering and Research (IJRTER), 3(5) (2017) 77-86.

[2] M. Khodadad Saryazdi, F. Ghasemi, V. Joiban, Methods of reviewing the causes of delay in construction projects, in: 2th National Congress of Construction Engineering and Evaluation of Civil Projects, Semnan, 2015.) in Persian)

[3] H. Karimipour, H. Zoghi, Assessing why construction projects are delayed using a mathematical model: A case study of the comprehensive water supply plan for villages in guilan province, in: The Second National Conference on Modern Urban Architecture and Development, Urmia, 2015.(in Persion)

[4] N. Ibadov, Contractor selection for construction project, with the use of fuzzy preference relation, Procedia Engineering, 111 (2015) 317-323.

[5] J. Bochenek, The contractor selection criteria in open and restricted procedures in public sector in selected EU countries, Procedia Engineering, 85 (2014) 69-74.

[6] M. Sambasivan, Y.W. Soon, Causes and effects of delays in Malaysian construction industry, International Journal of project management, 25(5) (2007) 517-526.

[7] R.F. Aziz, Ranking of delay factors in construction projects after Egyptian revolution, Alexandria Engineering Journal, 52(3) (2013) 387-406.

[8] A. Al-Kharashi, M. Skitmore, Causes of delays in Saudi Arabian public sector construction projects, Construction Management and Economics, 27(1) (2009) 3-23.

[9] B. Greenhalgh, Introduction to construction contract management, Routledge, 2016.

[10] T. Nyoni, W.G. Bonga, Towards factors affecting delays in construction projects: A case of Zimbabwe, Dynamic Research Journals' Journal of Economics and Finance (DRJ-JEF), 2(1) (2017) 12-28.

[11] M.M. Marzouk, T.I. El-Rasas, Analyzing delay causes in Egyptian construction projects, Journal of advanced research, 5(1) (2014) 49-55.

[12] Z.K. Bangash, Analyzing the Causes of Delays in Construction Projects for Peshawar: Contractor Perception, Journal of Emerging Trends in Applied Engineering, 1(1) (2016) 13-18.

[13] M. Nasrollahi, Use F-PROMETHEE to evaluate and rank contractors civil projects, Journal of Industrial Management, 7(1) (2015) 175-188.)in Persian)

[14] H. Amin Tahmasebi, R. Tavakoli Moghadam, E. Najafi, Provide an integrated IAHP / DEA model to evaluate construction industry contractors despite inaccurate data, Production And Operations Management, 7(2) (2016) 199-216.)in Persian)

[15] V. Ayan, M. Forouzan, H. Dargahi, A. Mahdizade, M. Keyhaninezhad, Management Evaluation and prioritization of contractor selection based on TOPSIS, TOPSIS fuzzy, AHP and AHP fuzzy models, in: 2nd International Conference on Civil Engineering, Architecture and Crisis Management, Tehran, 2017.) in Persian)

[16] M. Jamali, A. Valipour, Identifying and ranking the effective criteria in selecting construction contractors in South Zagros Oil and Gas Company, in: 3rd International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Design, Tabriz, 2018.)in Persian)

[17] K. Lam, S.T. Ng, H. Tiesong, M. Skitmore, S. Cheung, Decision support system for contractor pre-qualification—artificial neural network model, Engineering Construction and Architectural Management, 7(3) (2000) 251-266.

[18] M.S. El-Abbasy, T. Zayed, M. Ahmed, H. Alzraiee, M. Abouhamad, Contractor selection model for highway projects using integrated simulation and analytic network process, Journal of Construction Engineering and Management, 139(7) (2013) 755-767.

[19] M. Hasnain, M.J. Thaheem, F. Ullah, Best value contractor selection in road construction projects: ANP-based decision support system, International Journal of Civil Engineering, 16(6) (2018) 695-714.

[20] H.A. El-khalek, R.F. Aziz, E.S. Morgan, Identification of construction subcontractor prequalification evaluation criteria and their impact on project success, Alexandria Engineering Journal, 58(1) (2019) 217-223.

[21] K. Najafi, J. Kazemi Rad, M. Ghanbari, R. Hejazi, M. Kashefiasl, Identification and Assessment of Occupational Risks in Mechanized Excavation of Metro Tunnel using the Failure Mode and Effects Analysis Technique (FMEA) Occupational Hygiene and Health Promotion Journal, 1(2) (2017) 129-142.)in Persian)

[22] M. Salmani, V. Mirchi, The role of risk management in preventing potential costs of a factory construction project, in: 6th International Project Management Conference, Tehran, 2010.)in Persian)

[23] T.C.o. Ministers, Qualification Regulations, Management and Planning Organization, 2002.) in Persian)

[24] M. Karamooz, A. Ahmadi, M. Fallahi, System Engineering, Fifth ed., Amirkabir University of Technology Publications, Tehran, 2015.)in Persian)

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

A. Khayambashi, A. Monirabbasi, Contractor Ranking Model with Approach to Reduce Construction Project Delays and Optimization of Coefficients by Genetic Algorithm, Amirkabir J. Civil Eng., 54(10) (2023) 3989-4006.

DOI: 10.22060/ceej.2022.20514.7449