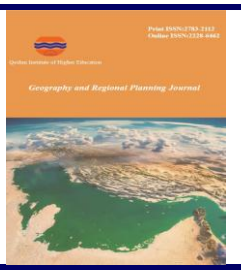
Iranian Association of Geopolitical

Geography and Regional Planning

ISSN (Print): 2783-2112 - ISSN (Online): 2228-6462

Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/



Modeling the Impact of Climatic and Regional Conditions on Construction Project Duration Using a Data-Driven Approach and a Two-Component Overhead Coefficient Model

Alireza Rezaei [1], Behnod Barmayehvar ✉ [2], Alireza Lark [3]

1. Department of Civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran. Email: alireza.rezaei2448@iau.ac.ir
2. PhD, Associate Professor, Department of Architectural Technology (Project and Construction Management), Faculty of Architecture and Urban Planning, Art University of Tehran, Tehran, Iran. Email: b.barmayehvar@art.ac.ir
3. Department of Civil Engineering, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran. Email: lork@iau.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history:
Received: September 20, 2026
Revised: October 27, 2026
Accepted: November 12, 2026
Published online: November 15, 2026

Keywords:
Time List
Mathematical Model
Artificial Neural Network

Abstract

Determining the duration of construction projects is one of the important issues in project management and is a key factor affecting resource planning, contractual commitments, execution costs, and the timely commissioning of projects. In many projects, the contract duration is determined based on expert experience, similar projects, and professional judgment, which may result in discrepancies between the estimated and actual project durations. The present study aims to determine and model a time overhead factor for adjusting the baseline duration of construction projects. To this end, data from 57 construction projects implemented within the framework of the country's technical and executive system were collected, and the baseline duration of each project was determined based on the method proposed in a previous study. Subsequently, the time overhead factor for the studied projects was calculated using the ratio of the actual project duration to the baseline duration, and the factors affecting variations in this factor were investigated. In the next stage, data-driven methods and the algorithms employed in the study were used to model the relationship between the influencing factors and the time overhead factor, and the performance of the model was evaluated using statistical indicators.

How to cite: Rezaei, A., Barmayehvar, B. & Lark, A. (2026). Modeling the Impact of Climatic and Regional Conditions on Construction Project Duration Using a Data-Driven Approach and a Two-Component Overhead Coefficient Model. Geography and Regional Planning, 16(4), 350-363. https://doi.org/10.22034/jgeoq.2026.603562.4556

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights

DOI: https://doi.org/10.22034/jgeoq.2026.603562.4556

Publisher: Qeshm Institute of Higher Education

Introduction

Accurate estimation of construction project duration is essential for resource planning, contractual commitments, cost control, and timely project delivery. In practice, however, contract periods are often determined through expert experience, comparison with similar projects, and professional judgment. Consequently, the planned duration may differ considerably from the time required under actual execution conditions. A project's base duration, calculated from activity durations and their logical relationships, represents the time needed under defined baseline conditions; it does not necessarily reflect site constraints, resource availability, regional and climatic conditions, coordination problems, interruptions, or unforeseen changes. The difference between base and actual duration highlights the need for a systematic adjustment mechanism. This study focuses on the time overhead factor, a project-level coefficient used to convert the base duration into an estimate closer to expected execution time. Rather than treating this factor as a fixed value, the research examines its relationship with project-specific characteristics and general delay factors, using historical construction-project data to develop a quantitative model for building projects.

Methodology

This applied study employed a quantitative, data-driven modeling approach. Data were collected from records of 57 construction projects implemented within Iran's Technical and Executive System. The base duration of each project was calculated using the Time List method, and actual-to-base duration ratios were examined. Project-specific and general delay factors were identified, while expert opinions from 12 construction specialists were gathered through a semi-structured Delphi process to assess climatic effects.

Results and Discussion

The findings indicate that construction project duration is influenced by project-specific characteristics and general delay factors. The project-specific component incorporates climatic conditions, access to resources and regional circumstances, and the number of floors. Expert assessments obtained through the Delphi process showed that climate-related delays differ across regions, averaging 13.6% in northern areas, 10.8% in central areas, and 6.4% in southern areas. These results demonstrate the importance of accounting for geographical conditions when adjusting base project duration. The general component represents factors that may affect projects independently of their physical characteristics, including payment delays, design changes, contractors' cash-flow problems, legal and administrative obstacles, permit delays, changes in technical specifications, and holidays or strikes. To estimate this general time-increase factor, four metaheuristic optimization algorithms—Genetic Algorithm (GA), Grey Wolf Optimizer (GWO), Differential Evolution (DE), and Ant Colony Optimization (ACO)—were implemented in MATLAB. The dataset was divided into training (75%), validation (15%), and testing (10%) subsets. All four algorithms yielded a general factor of 1.4226, while the coefficient of determination for the test dataset was 0.568. The findings support a two-component adjustment framework for estimating construction project duration.

Conclusion

The findings of this study demonstrate that estimating construction project duration solely on the basis of baseline schedules cannot adequately represent the conditions affecting actual implementation. Analysis of 57 projects implemented within Iran's Technical and Executive System showed the importance of distinguishing between project-specific conditions and general factors that cause delays. Accordingly, the proposed model represents the time overhead factor through two components: an adjustment associated with the characteristics of each project and a general time-increase factor reflecting broader implementation constraints. Project-specific considerations include climatic conditions, access to resources, regional circumstances, and the number of floors. Expert assessments obtained from 12 specialists through the Delphi process indicated that climate-related delays differ across regions, averaging 13.6 percent in the north, 10.8 percent in central regions, and 6.4 percent in the south. The general component

incorporates factors such as delayed payments, design modifications, contractors' cash-flow difficulties, administrative and legal obstacles, permit delays, changes in technical specifications, and unexpected holidays or strikes. Four optimization algorithms—genetic algorithm (GA), grey wolf optimizer (GWO), differential evolution (DE), and ant colony optimization (ACO)—were applied using MATLAB. The dataset was divided into training, validation, and testing subsets, comprising 75, 15, and 10 percent, respectively. All four algorithms produced the same estimated general time-increase factor of 1.4226. The model's coefficient of determination on the test data was approximately 0.568, indicating that it explains about 56.8 percent of the observed variation. These results support the usefulness of a two-component framework for adjusting baseline construction durations while also indicating that other variables may account for a substantial share of execution-time differences. The findings therefore provide a quantitative basis for more realistic duration estimation and highlight the need to consider both project conditions and recurring external constraints when preparing construction schedules.

Ethical considerations

Following the principles of research ethics

The authors have observed the principles of ethics in conducting and publishing this scientific research, and this is confirmed by all of them.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

First author: Preparation of samples, conducting experiments and collecting data, performing calculations, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, preparing a draft of the article

Second author: Preparation of samples, conducting experiments and collecting data, performing calculations, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, preparing a draft of the article

Third author: Preparation of samples, conducting experiments and collecting data, performing calculations, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, preparing a draft of the article

Ethical Considerations

The authors affirm that they have adhered to ethical research practices, avoiding plagiarism, misconduct, data fabrication or falsification, and have provided their consent for this article's publication.

Funding

This research was conducted without any financial support from Payam Noor University.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest



فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی منطقه ای

شاپا چاپی: ۶۴۶۲- ۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۲۱۱۲ -۲۷۸۳

Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/

انجمن ژئوپلیتیک ایران

مدل‌سازی اثرپذیری مدت اجرای پروژه‌های ساختمانی از شرایط اقلیمی و منطقه‌ای با رویکرد داده‌محور و مدل‌سازی دومؤلفه‌ای ضریب بالاسری

علیرضا رضائی[۱]، بهنود برمایه ور✉[۲]، علیرضا لرک[۳]

۱ گروه مهندسی عمران، واحد رودهن دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران. رایانامه:alireza.rezaei2448@iau.ac.ir

۲ نویسنده مسئول. دکتری، دانشیار، گروه فناوری معماری (مدیریت پروژه و ساخت)، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران. رایانامه:b.barmayehvar@art.ac.ir

۳ گروه مهندسی عمران، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. رایانامه:lork@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۶/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۸/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۸/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۲۴

کلیدواژه ها:

فهرست زمان

مدل ریاضی

شبکه عصبی مصنوعی

چکیده

تعیین مدت اجرای پروژه‌های ساختمانی یکی از مسائل مهم در مدیریت پروژه و از عوامل مؤثر بر برنامه‌ریزی منابع، تعهدات قراردادی، هزینه‌های اجرا و بهره‌برداری به‌موقع از پروژه است. در بسیاری از پروژه‌ها، مدت قرارداد بر اساس تجربه کارشناسی، پروژه‌های مشابه و قضاوت حرفه‌ای تعیین می‌شود و در نتیجه، میان مدت پیش‌بینی‌شده و مدت واقعی اجرای پروژه اختلاف ایجاد می‌شود. پژوهش حاضر با هدف تعیین و مدل‌سازی ضریب بالاسری زمان برای تعدیل زمان پایه پروژه‌های ساختمانی انجام شده است. برای این منظور، اطلاعات ۵۷ پروژه ساختمانی اجراشده در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور گردآوری و زمان پایه هر پروژه بر اساس روش ارائه‌شده در پژوهش پیشین تعیین شده است. سپس با استفاده از نسبت مدت واقعی اجرای پروژه به زمان پایه، ضریب بالاسری زمان پروژه‌های مورد مطالعه محاسبه و عوامل مؤثر بر تغییرات این ضریب بررسی شده‌اند. در ادامه، با استفاده از روش‌های داده‌محور و الگوریتم‌های مورد استفاده در پژوهش، رابطه میان عوامل مؤثر و ضریب بالاسری زمان مدل‌سازی و عملکرد مدل با استفاده از شاخص‌های آماری ارزیابی شده است.نوآوری اصلی پژوهش، ارائه چارچوبی برای تبدیل زمان پایه حاصل از فهرست‌زمان به زمان نهایی قابل انتظار پروژه از طریق یک ضریب بالاسری زمان مبتنی بر داده‌های واقعی پروژه‌ها است. در این چارچوب، رابطه کلی پیش‌بینی مدت پروژه به صورت (T_{final}=T_{base}*(K_t)) در نظر گرفته می‌شود که در آن (T_{base}) زمان پایه حاصل از فهرست‌زمان و (K_t) ضریب بالاسری زمان است.

استناد: رضائی، علیرضا، برمایه ور، بهنود و لرک، علیرضا. (۱۴۰۵). مدل‌سازی اثرپذیری مدت اجرای پروژه‌های ساختمانی از شرایط اقلیمی و منطقه‌ای با رویکرد داده‌محور و مدل‌سازی دومؤلفه‌ای ضریب بالاسری. جغرافیا و برنامه ریزی منطقه‌ای، ۱۶(۴)، ۳۵۰-۳۶۳. DOI: 10.22034/jgeoq.2026.603562.4556

© نویسندگان.

ناشر: موسسه آموزش عالی قشم

مقدمه

یکی از مسائل مهم در مدیریت پروژه و از عوامل مؤثر بر موفقیت پروژه‌های عمرانی، تعیین منطقی مدت اجرای پروژه است. مدت قرارداد، در کنار موضوع و مبلغ قرارداد، یکی از ارکان اصلی تعهدات قراردادی محسوب می‌شود و نقش مهمی در برنامه‌ریزی منابع، تنظیم تعهدات طرفین، کنترل عملکرد پروژه و ارزیابی اقتصادی طرح دارد. با این حال، تعیین مدت اجرای پروژه در بسیاری از موارد بر پایه تجربه کارشناسی، مقایسه با پروژه‌های مشابه و قضاوت حرفه‌ای انجام می‌شود و این موضوع می‌تواند موجب تفاوت میان مدت پیش‌بینی‌شده و مدت واقعی اجرای پروژه شود.در پژوهش پیشین نویسندگان، با توجه به نبود یک روش نظام‌مند برای تعیین زمان اجرای آیتم‌های کاری، مفهوم «فهرست‌زمان» مشابه فهرست‌بهای پایه پیشنهاد و روشی برای تعیین زمان پایه اجرای فعالیت‌ها بر مبنای تجزیه بهای آیتم‌های کاری ارائه شد. در آن پژوهش، زمان اجرای آیتم‌ها با استفاده از عوامل مؤثر بر اجرای فعالیت تعیین، سپس با استفاده از احجام کاری، بسته‌های کاری و روش مسیر بحرانی، زمان پایه اجرای پروژه محاسبه شد. نتایج مطالعه موردی نیز نشان داد که استفاده از فهرست‌زمان می‌تواند نسبت به برآورد مبتنی بر نظر خبرگان، زمان محاسبه‌شده را کاهش دهد.با وجود تعیین زمان پایه پروژه، این مقدار به‌تنهایی برای بیان مدت مورد انتظار اجرای پروژه در شرایط واقعی کافی نیست. شرایط واقعی اجرای پروژه تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد که می‌توانند موجب افزایش مدت نسبت به زمان پایه شوند. این عوامل شامل شرایط اقلیمی، موقعیت و شرایط محیط اجرای پروژه، محدودیت دسترسی به منابع، تأمین مالی، تغییرات و ابلاغ‌های کارفرما، تأخیر در تصمیم‌گیری و تأمین اطلاعات، محدودیت‌های اجرایی و سایر عوامل مؤثر بر روند اجرای پروژه است. از این‌رو، فاصله میان زمان پایه محاسبه‌شده و زمان واقعی اجرای پروژه را می‌توان به‌عنوان نتیجه اثر مجموعه‌ای از عوامل تعدیل‌کننده زمان مورد بررسی قرار داد.در مقاله اول پیشنهاد شد که برای تبدیل زمان حاصل از فهرست‌زمان به مدت اجرای پروژه در شرایط واقعی، اثر عوامل مؤثر بر افزایش مدت در قالب یک «ضریب بالاسری زمان» لحاظ شود. این ضریب به‌صورت عددی بزرگ‌تر از یک تعریف شده است که در زمان اجرای فعالیت‌های واقع در مسیر بحرانی اعمال می‌شود و زمان نهایی پروژه را به دست می‌دهد. همچنین در همان پژوهش تصریح شد که روش تعیین این ضریب در مقاله‌ای مستقل ارائه خواهد شد. (Rezaei, Barmayehvar, Lork, 2024).بنابراین، مسئله اصلی در پژوهش حاضر، پیش‌بینی مستقیم مدت اجرای پروژه نیست؛ بلکه تعیین کمی ضریب بالاسری زمان برای تعدیل زمان پایه حاصل از فهرست‌زمان است. در این چارچوب، زمان پایه حاصل از روش ارائه‌شده در مقاله اول به‌عنوان مقدار مبنا در نظر گرفته شده و اختلاف میان این زمان و مدت واقعی اجرای پروژه، مبنای استخراج ضریب بالاسری زمان قرار می‌گیرد.برای این منظور، داده‌های تاریخی پروژه‌های ساختمانی اجراشده گردآوری و نسبت میان مدت واقعی پروژه و زمان پایه محاسبه‌شده با روش فهرست‌زمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس با شناسایی عوامل مؤثر بر افزایش مدت و تحلیل کمی روابط میان این عوامل و ضریب حاصل، تلاش می‌شود مدلی برای تعیین ضریب بالاسری زمان توسعه داده شود. در صورت تأیید تجربی، این مدل می‌تواند ضریب بالاسری را متناسب با ویژگی‌ها و شرایط پروژه تعیین کند، به‌جای آنکه یک ضریب ثابت برای تمامی پروژه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش، اطلاعات ۵۷ پروژه ساختمانی اجراشده در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور مورد استفاده قرار گرفته است و متغیرهای مؤثر بر افزایش مدت اجرای پروژه بررسی می‌شوند. سپس با استفاده از روش‌های داده‌محور و الگوریتم‌های مورد استفاده در پژوهش، رابطه میان عوامل مؤثر و ضریب بالاسری زمان مدل‌سازی و عملکرد مدل با استفاده از شاخص‌های آماری ارزیابی می‌شود .(Fan, Yeh, Chi, 2021)

نوآوری اصلی این پژوهش، تبدیل اختلاف میان زمان پایه حاصل از فهرست‌زمان و مدت واقعی اجرای پروژه به یک ضریب کمی و قابل استفاده برای تعدیل زمان پروژه است. در این چارچوب، فهرست‌زمان وظیفه تعیین زمان پایه را بر عهده دارد و پژوهش حاضر وظیفه تعیین ضریب بالاسری زمان را دنبال می‌کند. بدین‌ترتیب، دو مرحله مکمل برای تعیین مدت اجرای پروژه شکل می‌گیرد:

T_{final}=T_{base}*K_t[times]

که در آن (T_{base}) زمان پایه حاصل از فهرست‌زمان و (K_t) ضریب بالاسری زمان تعیین‌شده بر اساس داده‌های تاریخی و شرایط پروژه است.این چارچوب می‌تواند گامی در جهت توسعه یک نظام نظام‌مند برای تعیین مدت اجرای پروژه‌های ساختمانی باشد؛ نظامی که در آن، مشابه ساختار فهرست‌بهای پایه در حوزه هزینه، ابتدا زمان پایه فعالیت‌ها و پروژه تعیین و سپس اثر شرایط و عوامل مؤثر بر افزایش مدت با استفاده از ضریب بالاسری زمان در آن لحاظ شود.در قراردادهای پروژه‌های عمرانی، سه مؤلفه اصلی شامل موضوع، مبلغ و زمان اجرای پروژه، چارچوب اصلی تعهدات طرفین قرارداد را تشکیل می‌دهند. موضوع قرارداد محدوده و مشخصات کار مورد انتظار را تعیین می‌کند، مبلغ قرارداد منابع مالی لازم برای اجرای موضوع را مشخص می‌سازد و مدت قرارداد نیز بازه زمانی مجاز برای تکمیل و تحویل پروژه را تعیین می‌کند. از این‌رو، تعیین منطقی مدت قرارداد یکی از الزامات اساسی در برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه است.[۱] یکی از مشکلات اساسی در تعیین مدت پروژه آن است که مدت واقعی اجرای پروژه معمولاً با زمان اولیه تعیین‌شده تفاوت دارد. بخشی از این اختلاف ناشی از آن است که حتی در صورت تعیین صحیح زمان مورد نیاز برای اجرای فعالیت‌های اصلی پروژه، شرایط واقعی اجرا می‌تواند موجب افزایش مدت پروژه شود. بنابراین، لازم است بین زمان پایه اجرای پروژه و زمان نهایی اجرای پروژه تحت شرایط واقعی تمایز قائل شد .(Fan, Yeh, Chi, 2021) مسئله اصلی پژوهش حاضر آن است که چگونه می‌توان اثر این عوامل را با استفاده از داده‌های واقعی پروژه‌ها به یک مقدار کمی تبدیل کرد تا زمان پایه حاصل از فهرست‌زمان به مدت نهایی قابل انتظار پروژه تعدیل شود. به بیان دیگر، اگر زمان پایه پروژه با استفاده از روش ارائه‌شده در مقاله اول برابر (T_{base}) باشد، چگونه می‌توان ضریب مناسبی را تعیین کرد که رابطه زیر را برقرار سازد؟

T_{final}=T_{base}*K_t[times]

در این رابطه، (T_{final})مدت نهایی یا مدت مورد انتظار اجرای پروژه، (T_{base})زمان پایه حاصل از فهرست‌زمان و (K_t)ضریب بالاسری زمان است.ضریب (K_t) باید به گونه‌ای تعیین شود که از یک‌سو بیانگر افزایش مدت ناشی از شرایط واقعی پروژه باشد و از سوی دیگر، امکان تعمیم و استفاده از آن برای پروژه‌های جدید را فراهم کند. بنابراین، صرف محاسبه متوسط افزایش مدت پروژه‌های گذشته نمی‌تواند به‌تنهایی پاسخگوی مسئله باشد؛ بلکه لازم است بررسی شود که آیا مقدار ضریب در پروژه‌های مختلف ثابت است یا اینکه به ویژگی‌ها و عوامل مؤثر پروژه وابسته است.بر این اساس، پژوهش حاضر به دنبال شناسایی عوامل مؤثر بر ضریب بالاسری زمان و توسعه یک رابطه کمی برای تعیین این ضریب بر اساس داده‌های تاریخی پروژه‌ها است. هدف آن است که با استفاده از اطلاعات پروژه‌های اجراشده، نسبت میان زمان واقعی و زمان پایه محاسبه و سپس عوامل مؤثر بر تغییرات این نسبت شناسایی و مدل‌سازی شوند.

تعاریف و مفاهیم

مفهوم مدت اجرای پروژه و زمان پایه

مدت اجرای پروژه یکی از متغیرهای اصلی در برنامه‌ریزی و کنترل پروژه است و در روش‌های متداول زمان‌بندی، مدت پروژه بر اساس مدت فعالیت‌ها، روابط پیش‌نیازی و منابع مورد نیاز تعیین می‌شود. در روش مسیر بحرانی، مدت پروژه از توالی فعالیت‌هایی که در مسیر بحرانی قرار دارند به دست می‌آید و هرگونه افزایش در مدت فعالیت‌های بحرانی می‌تواند موجب افزایش مدت کل پروژه شود. در مقاله اول، برای کاهش وابستگی تعیین مدت فعالیت‌ها به قضاوت کارشناسی، مفهوم «فهرست‌زمان» معرفی شد و زمان اجرای آیتم‌های کاری بر اساس اطلاعات حاصل از تجزیه بهای آنها تعیین گردید. سپس با استفاده از احجام کاری، بسته‌های کاری و شبکه زمان‌بندی، زمان اجرای پروژه در شرایط پایه محاسبه شد. در این چارچوب، زمان پایه را می‌توان مدت مورد نیاز برای اجرای پروژه تحت شرایط مبنا دانست؛ یعنی مدت زمانی که از ترکیب زمان اجرای فعالیت‌ها و روابط منطقی آنها به دست می‌آید، بدون آنکه اثر عوامل خارج از شرایط پایه که می‌توانند موجب افزایش مدت شوند، به صورت جداگانه در آن لحاظ شده

[۱] سازمان برنامه وبودجه کشور، ۱۳۷۸، نشریه شماره ۴۳۱۱ موافقتنامه و شرایط عمومی و شرایط خصوصی پیمانها و مقررات آنها، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور

باشد. بنابراین، زمان پایه نقطه شروعی برای برآورد مدت نهایی پروژه محسوب می‌شود و نه لزوماً مدت واقعی پروژه در شرایط اجرایی واقعی میباشد.

مفهوم تأخیر در پروژه‌های ساختمانی

در ادبیات مدیریت پروژه، تأخیر را می‌توان به‌طور کلی به افزایش مدت اجرای یک فعالیت یا پروژه نسبت به مدت برنامه‌ریزی‌شده یا مورد انتظار مرتبط دانست. در پروژه‌های ساختمانی، وقوع تأخیر می‌تواند ناشی از عوامل متعددی باشد که بخشی از آنها به شرایط پروژه و بخشی به نحوه مدیریت و اجرای پروژه مربوط می‌شوند .(Assaf, Al-Hejji, 2006)صرف استفاده از زمان آیتم‌های کاری برای تعیین مدت واقعی پروژه کافی نیست، زیرا عواملی وجود دارند که به صورت غیرمستقیم و اجتناب‌ناپذیر می‌توانند مدت اجرای فعالیت‌ها را افزایش دهند. از این دیدگاه، میان زمان حاصل از محاسبات پایه و زمان واقعی اجرای پروژه یک فاصله زمانی ایجاد می‌شود که باید علل و میزان آن مورد بررسی قرار گیرد (Sambasivan, Soon, 2007) بنابراین، در پژوهش حاضر تأخیر صرفاً به‌عنوان یک رویداد منفرد در نظر گرفته نمی‌شود، بلکه افزایش مدت نسبت به زمان پایه به‌عنوان حاصل اثر مجموعه‌ای از عوامل مؤثر بر روند اجرای پروژه مورد توجه قرار می‌گیرد.مدت اجرای فعالیت‌های ساختمانی ذاتاً با عدم‌قطعیت همراه است. حتی در شرایطی که حجم کار، روش اجرا و منابع مورد نیاز مشخص باشند، زمان واقعی فعالیت می‌تواند تحت تأثیر شرایط محیطی، بهره‌وری نیروی انسانی، دسترسی به منابع، شرایط اجرایی و سایر عوامل تغییر کند. به همین دلیل، مدت فعالیت را نمی‌توان همواره به‌عنوان یک مقدار کاملاً قطعی در نظر گرفت.(Herroelen, Leus, 2005) تفاوت میان مدت پایه و مدت واقعی را می‌توان تا حدی ناشی از عدم‌قطعیت‌هایی دانست که در زمان تعیین مدت پایه به‌طور کامل قابل پیش‌بینی نیستند.

مفهوم ذخیره زمانی

ذخیره زمانی یا زمان اطمینان، مفهومی است که در بسیاری از رویکردهای برنامه‌ریزی زمان برای مقابله با عدم‌قطعیت و رویدادهای پیش‌بینی‌نشده مورد استفاده قرار می‌گیرد. متخصصان ممکن است هنگام برآورد مدت فعالیت، بخشی از زمان را به‌عنوان حاشیه اطمینان در نظر بگیرند تا خود را در برابر شرایط غیرقابل پیش‌بینی محافظت کنند. این زمان میان مدت محتمل فعالیت و مدت برآوردشده قابل تصور است (Goldartt,1997). با این حال، ذخیره زمانی با ضریب بالاسری زمان موضوع این پژوهش یکسان نیست. ذخیره زمانی عموماً در سطح فعالیت یا برنامه زمانی برای مقابله با عدم‌قطعیت در نظر گرفته می‌شود، در حالی که ضریب بالاسری زمان در این پژوهش به‌عنوان یک ضریب تعدیل‌کننده در سطح پروژه تعریف می‌شود که برای تبدیل زمان پایه به زمان مورد انتظار اجرای پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد.با توجه به مطالب فوق، زمان پایه پروژه را نمی‌توان در همه شرایط معادل مدت واقعی پروژه دانست. حتی اگر زمان فعالیت‌ها با روشی نظام‌مند و بر اساس اطلاعات فنی تعیین شده باشد، عوامل مختلفی می‌توانند موجب افزایش مدت پروژه شوند. مقاله اول نیز با همین منطق پیشنهاد می‌کند که زمان حاصل از فهرست‌زمان برای رسیدن به زمان اجرای واقعی، با ضریبی تعدیل شود که اثر عوامل ایجادکننده افزایش مدت را در خود منعکس کند. در نتیجه، می‌توان رابطه مفهومی زیر را برای بیان ارتباط میان زمان پایه و زمان نهایی در نظر گرفت:

T_{final}=T_{base}*K_t[times]

که در آن (T_{base}) زمان پایه حاصل از روش فهرست‌زمان، (K_t)ضریب بالاسری زمان و (T_{final}) مدت نهایی یا مورد انتظار اجرای پروژه است.

مفهوم ضریب بالاسری زمان

ضریب بالاسری زمان در این پژوهش به‌عنوان ضریبی بزرگ‌تر از یک تعریف می‌شود که اثر مجموعه عوامل مؤثر بر افزایش مدت پروژه را در زمان پایه لحاظ می‌کند. در مقاله اول نیز این ضریب به همین صورت معرفی شده و تصریح شده است که زمان به‌دست‌آمده از فعالیت‌های واقع در مسیر بحرانی باید برای دستیابی به زمان اجرای واقعی با این ضریب تعدیل شود. همچنین مقاله اول تعیین روش محاسبه این ضریب را به پژوهش بعدی واگذار کرده است.بر این اساس، ضریب بالاسری زمان نباید صرفاً یک ضریب ثابت و قراردادی تلقی شود، بلکه باید بر اساس شواهد تجربی و داده‌های واقعی پروژه‌ها تعیین شود. چنین رویکردی این امکان را فراهم می‌کند که تفاوت میان پروژه‌ها و شرایط متفاوت اجرای آنها در مقدار ضریب لحاظ شود.از این منظر، مسئله اصلی

مقاله حاضر از بحث نظری «وجود تأخیر» فراتر رفته و به تعیین کمی ضریب بالاسری زمان و شناسایی عوامل مؤثر بر مقدار آن می‌پردازد. به عبارت دیگر، اگر (T_{base}) در مقاله اول به‌صورت نظام‌مند تعیین شده باشد، پژوهش حاضر در پی آن است که مقدار مناسب (K_t) را با استفاده از داده‌های واقعی پروژه‌ها استخراج و اعتبارسنجی کند.

تعریف ضریب بالاسری زمان

در برآورد مدت اجرای پروژه، زمان پایه هر فعالیت بیانگر مدت مورد انتظار برای اجرای آن تحت شرایط مرجع و با فرض فراهم بودن شرایط متعارف اجرایی است. با این حال، مدت واقعی اجرای پروژه در عمل تنها به زمان خالص موردنیاز برای انجام فعالیت‌ها محدود نمی‌شود و تحت تأثیر عواملی نظیر شرایط کارگاه، محدودیت‌های اجرایی، هماهنگی بین عوامل پروژه، تأمین منابع، شرایط محیطی، تغییرات و وقفه‌های پیش‌بینی‌نشده قرار می‌گیرد. ازاین‌رو، میان «زمان پایه» و «زمان واقعی» پروژه معمولاً تفاوت وجود دارد.برای لحاظ کردن این تفاوت، در این پژوهش مفهوم ضریب بالاسری زمان تعریف می‌شود. این ضریب مشابهت مفهومی با ضریب بالاسری در برآورد هزینه دارد؛ با این تفاوت که به‌جای جبران هزینه‌های غیرمستقیم، وظیفه آن انعکاس بخشی از افزایش مدت اجرای پروژه ناشی از عوامل غیرمستقیم، عدم‌قطعیت‌ها و شرایط واقعی اجرای کار است. ضریب بالاسری زمان به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$K_t=T_{final}/T_{base}$$

که در آن (K_t) ضریب بالاسری زمان، (T_{final})مدت واقعی اجرای پروژه یا فعالیت و (T_{base}) زمان پایه متناظر با همان پروژه یا فعالیت است. بنابراین، زمان تعدیل‌شده یا زمان پیش‌بینی‌شده را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$T_{final}=T_{base} *K_t [times]$$

در این چارچوب، مقدار (K_t) بزرگ‌تر از یک نشان‌دهنده افزایش مدت واقعی نسبت به زمان پایه است. برای مثال، اگر زمان پایه یک فعالیت ۱۰۰ روز و ضریب بالاسری زمان ۱.۱۵ باشد، زمان تعدیل‌شده برابر با ۱۱۵ روز خواهد بود.نکته مهم آن است که ضریب بالاسری زمان نباید به‌عنوان یک ضریب ثابت و مستقل از شرایط پروژه در نظر گرفته شود. این ضریب می‌تواند تابعی از مجموعه عوامل مؤثر بر زمان، از جمله شرایط منطقه‌ای، اقلیمی، پیچیدگی پروژه، محدودیت منابع، شرایط کارگاهی و ریسک‌های اجرایی باشد. بنابراین، هدف از تعریف آن، ایجاد یک سازوکار کمی برای انتقال از زمان پایه و استاندارد به زمان مورد انتظار در شرایط واقعی پروژه است.در ادامه، تعیین مقدار این ضریب بر اساس داده‌های واقعی پروژه‌های اجراشده و با استفاده از روش‌های آماری و تحلیل داده انجام خواهد شد تا ضریب حاصل از پشتوانه تجربی برخوردار بوده و قابلیت استفاده در مدل پیش‌بینی زمان پروژه‌های ساختمانی را داشته باشد.

شناسایی عوامل مؤثر بر ضریب

ضریب بالاسری زمان، همانند هر پارامتر تعدیل‌کننده، تحت تأثیر یک عامل منفرد قرار ندارد، بلکه حاصل برهم‌کنش مجموعه‌ای از عوامل مؤثر بر عملکرد زمانی پروژه است. از این رو، برای تعیین مقدار واقعی و قابل اتکای این ضریب، ابتدا لازم است عوامل مؤثر بر افزایش یا کاهش مدت اجرای پروژه شناسایی و طبقه‌بندی شوند. (Fallahnejad, 2013)در این پژوهش، عوامل مؤثر بر ضریب بالاسری زمان را می‌توان در چهار گروه اصلی عوامل اختصاصی پروژه، عوامل محیطی و منطقه‌ای، عوامل مرتبط با منابع و اجرای پروژه و دیگر عوامل از جمله ریسک طبقه‌بندی کرد. این تفکیک، امکان بررسی مستقل و همچنین ترکیبی اثر هر یک از عوامل بر مدت واقعی اجرای پروژه را فراهم می‌کند. ویژگی‌های ذاتی پروژه از جمله تعداد طبقات، نوع سازه، حجم و پیچیدگی عملیات، نوع کاربری، روش اجرای پروژه و سایر مشخصات فنی می‌توانند بر بهره‌وری و مدت اجرای فعالیت‌ها اثرگذار باشند. این دسته از عوامل بیانگر ویژگی‌هایی هستند که از پروژه‌ای به پروژه دیگر تغییر می‌کنند و باید در مدل پیش‌بینی زمان لحاظ شوند.محل اجرای پروژه و شرایط محیطی آن می‌تواند بر سرعت اجرای عملیات اثرگذار باشد. دسترسی به منابع و مصالح، شرایط اقلیمی، محدودیت‌های حمل‌ونقل، شرایط جغرافیایی و ویژگی‌های محیط کارگاه از جمله عواملی هستند که ممکن است موجب افزایش مدت اجرای پروژه شوند. بنابراین، اثر این عوامل می‌تواند در قالب ضرایب منطقه‌ای و اقلیمی در مدل لحاظ شود.پروژه‌های ساختمانی ذاتاً با عدم‌قطعیت‌های مختلفی مواجه هستند. تغییرات طراحی، تأخیر در تصمیم‌گیری و ابلاغ‌ها، تغییرات مقادیر کار، وقایع پیش‌بینی‌نشده و سایر ریسک‌های اجرایی می‌توانند فاصله میان زمان پایه و زمان واقعی را افزایش دهند. شناسایی

و اندازه‌گیری این عوامل، یکی از مبانی اصلی تعیین ضریب بالاسری زمان خواهد بود (Chen, Lu, Han, 2023). میزان و نحوه تأمین نیروی انسانی، ماشین‌آلات، مصالح و سایر منابع موردنیاز، همچنین بهره‌وری عوامل اجرایی و شرایط مدیریت و هماهنگی در کارگاه، از عوامل مهم مؤثر بر زمان واقعی اجرای پروژه هستند. کمبود یا عدم تأمین به‌موقع منابع می‌تواند موجب کاهش بهره‌وری و افزایش مدت اجرای فعالیت‌ها شود.بر این اساس، ضریب بالاسری زمان در این پژوهش به‌عنوان یک ضریب مرکب و قابل برآورد از داده‌های واقعی پروژه‌ها در نظر گرفته می‌شود و هدف از شناسایی عوامل فوق، تعیین سهم و میزان اثرگذاری هر عامل بر اختلاف میان زمان پایه و زمان واقعی است. در گام بعد، با استفاده از داده‌های تاریخی و روش‌های آماری مناسب، ارتباط میان این عوامل و ضریب بالاسری زمان بررسی شده و ضرایب متناظر برای استفاده در مدل پیش‌بینی زمان استخراج خواهد شد.

جمع‌آوری داده‌های واقعی پروژه‌ها

پس از تعیین جامعه آماری و معیارهای انتخاب نمونه، مرحله جمع‌آوری داده‌های واقعی پروژه‌ها با هدف دستیابی به اطلاعات معتبر و قابل اتکا از زمان برنامه‌ریزی‌شده، زمان واقعی اجرا و عوامل مؤثر بر افزایش مدت پروژه انجام شد. در این مرحله، تلاش گردید اطلاعات موردنیاز مستقیماً از اسناد رسمی و گزارش‌های مستند پروژه‌ها استخراج شود تا از اتکا به داده‌های برآوردی یا خوداظهاری جلوگیری شود.داده‌های موردنیاز هر پروژه در چند گروه اصلی شامل مشخصات عمومی و فنی پروژه، اطلاعات زمان‌بندی، اطلاعات پیشرفت، اطلاعات منابع و عوامل مؤثر بر تأخیر جمع‌آوری شد. در بخش مشخصات عمومی، اطلاعاتی نظیر نوع کاربری، تعداد طبقات، محل اجرای پروژه، مقیاس و ویژگی‌های اصلی پروژه ثبت گردید. در بخش زمان‌بندی، مدت قراردادی یا برنامه‌ریزی‌شده، تاریخ شروع و پایان برنامه‌ای و تاریخ‌های واقعی شروع و پایان پروژه مورد استخراج قرار گرفت.همچنین، برای تحلیل تفاوت میان زمان برنامه‌ریزی‌شده و زمان واقعی، گزارش‌های پیشرفت و صورت‌وضعیت‌های دوره‌ای مورد بررسی قرار گرفت. از این اسناد، میزان پیشرفت واقعی، روند اجرای عملیات و در موارد قابل دسترس، زمان اجرای فعالیت‌های اصلی استخراج شد. این اطلاعات امکان محاسبه شاخص‌هایی نظیر افزایش مدت پروژه، نسبت زمان واقعی به زمان پایه و ضریب بالاسری زمان را فراهم می‌کند.در کنار اطلاعات زمانی، عوامل مؤثر بر تغییر مدت پروژه نیز از طریق بررسی اسناد و گزارش‌های رسمی شناسایی و ثبت شدند. این عوامل شامل مواردی نظیر شرایط اقلیمی، محدودیت‌های منطقه‌ای، تغییرات طراحی، مشکلات تأمین منابع، وقفه‌های اجرایی، تغییر مقادیر کار، دستورکارهای جدید و سایر عوامل مؤثر بر روند اجرای پروژه بود. در مواردی که تعیین شدت اثر یک عامل صرفاً از طریق اسناد امکان‌پذیر نبود، از نظر کارشناسی و مستندات موجود برای تکمیل داده‌ها استفاده شد.به‌منظور افزایش قابلیت مقایسه میان پروژه‌های مختلف، کلیه اطلاعات استخراج‌شده پس از جمع‌آوری اولیه، در یک ساختار داده‌ای یکسان ثبت و کدگذاری شدند. مدت زمان پروژه‌ها به واحد مشترک تبدیل شده و متغیرهای کیفی نیز تا حد امکان به متغیرهای قابل تحلیل کمی تبدیل شدند. همچنین، برای هر پروژه ارتباط میان زمان پایه، زمان واقعی و عوامل تعدیل‌کننده زمان برقرار گردید تا داده نهایی برای تحلیل آماری و استخراج ضریب بالاسری زمان آماده باشد.در نهایت، داده‌های جمع‌آوری‌شده پس از کنترل اولیه، بررسی ناسازگاری‌ها و رفع موارد ناقص یا نامعتبر، در قالب یک پایگاه داده پروژه‌ای ساختاریافته سازمان‌دهی شدند. این پایگاه داده، مبنای تحلیل‌های آماری پژوهش و تعیین رابطه میان ویژگی‌های پروژه، عوامل مؤثر بر زمان و ضریب بالاسری زمان قرار گرفت و در مراحل بعدی برای توسعه و اعتبارسنجی مدل پیش‌بینی مدت اجرای پروژه مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

روش نمونه‌گیری

با توجه به گستردگی جامعه آماری پژوهش و دشواری دسترسی به اطلاعات کامل، دقیق و قابل اتکای تمامی پروژه‌های ساختمانی، در این پژوهش از روش نمونه‌گیری هدفمند استفاده شده است. در این روش، پروژه‌ها بر اساس معیارهای از پیش تعیین‌شده و متناسب با اهداف پژوهش انتخاب شده‌اند تا داده‌های حاصل، قابلیت لازم برای تحلیل عوامل مؤثر بر مدت زمان اجرای پروژه و توسعه مدل پیش‌بینی زمان را داشته باشند.پروژه انتخاب‌شده باید دارای اطلاعات معتبر درخصوص مدت زمان برنامه‌ریزی‌شده و مدت زمان واقعی اجرا و همچنین تاریخ‌های شروع و پایان برنامه‌ای و پایان واقعی باشد. این اطلاعات امکان تعیین میزان انحراف مدت زمان واقعی از مدت زمان برنامه‌ریزی‌شده را فراهم می‌کند. در پایگاه داده پژوهش، این متغیرها برای تمامی پروژه‌های انتخاب‌شده ثبت شده‌اند.پروژه‌ها باید دارای اطلاعات کافی برای تعیین مدت زمان مراحل اصلی اجرای ساختمان باشند. در این

پژوهش، زمان مربوط به بسته‌عای کاری شامل، تجهیز کارگاه، خاکبرداری و پی‌کنی، اجرای فونداسیون و بتن‌ریزی، اجرای اسکلت و سقف‌ها، سفت‌کاری و بخش نخست تأسیسات، نازک‌کاری، نما و محوطه‌سازی، نصبیات و تحویل کارگاه و رفع نقص ثبت شده است. به‌منظور پوشش شرایط مختلف اجرای پروژه‌های ساختمانی، نمونه‌ها از نظر نوع کاربری، زیربنا، تعداد طبقات و نوع اسکلت دارای تنوع هستند. در مجموعه داده، پروژه‌های با کاربری‌های مسکونی، اداری، تجاری و عمومی و همچنین سازه‌های بتنی و فلزی وجود دارد.با توجه به نقش شرایط محیطی و قراردادی در مدت اجرای پروژه، اطلاعات مربوط به اقلیم، نوع قرارداد و عوامل اصلی تأخیر نیز در پایگاه داده ثبت شده است. اقلیم پروژه‌ها در سه گروه سردسیر، معتدل و گرمسیری و نوع قراردادها در قالب‌های مختلف از جمله مترمربع به صورت مقطوع، مبلغ بر اساس فهرست‌بها و پیمان مدیریت ثبت شده‌اند. همچنین دلایل اصلی تأخیر، از جمله مشکلات اقلیمی، کمبود نقدینگی، تأخیر در مجوزها، ناهماهنگی پیمانکار، تغییر نقشه و کمبود مصالح، در داده‌ها لحاظ شده است.پروژه‌هایی وارد نمونه شده‌اند که اطلاعات لازم برای محاسبه و تحلیل متغیرهای اصلی پژوهش را در اختیار داشته باشند. علاوه بر مدت زمان برنامه‌ای و واقعی، متغیرهایی نظیر زمان پایه کل، ضرایب اقلیم، ریسک و منطقه‌ای، ضریب کلی تعدیل زمان و زمان کل تعدیل‌شده نیز در پایگاه داده ثبت شده‌اندبر اساس معیارهای فوق، در مجموع ۵۷ پروژه ساختمانی در پایگاه داده نهایی پژوهش قرار گرفته است. این پروژه‌ها از نظر ویژگی‌های فنی، فیزیکی، قراردادی و محیطی دارای تنوع بوده و اطلاعات مربوط به مدت زمان برنامه‌ریزی‌شده، مدت زمان واقعی و زمان اجرای مراحل اصلی پروژه برای آنها گردآوری شده است.انتخاب هدفمند نمونه‌ها با هدف دستیابی به مجموعه‌ای از پروژه‌های دارای اطلاعات کافی و قابل تحلیل انجام شده است؛ بنابراین، معیار انتخاب صرفاً تعداد پروژه‌ها نبوده، بلکه کامل‌بودن اطلاعات زمانی و اجرایی، قابلیت استخراج متغیرهای پژوهش و تنوع ویژگی‌های پروژه‌ها نیز در فرآیند نمونه‌گیری مورد توجه قرار گرفته است.با توجه به اینکه هدف پژوهش، توسعه و ارزیابی یک مدل پیش‌بینی مدت زمان اجرای پروژه است، تعداد ۵۷ پروژه به‌عنوان پایگاه داده تجربی پژوهش در نظر گرفته شده و کفایت این حجم داده برای مدل‌سازی، با استفاده از روش مناسب تقسیم داده‌ها و اعتبارسنجی آماری در مرحله مدل‌سازی بررسی خواهد شد. از این‌رو، درباره کفایت تعداد نمونه برای یک الگوریتم خاص، پیش از انجام تحلیل و اعتبارسنجی مدل، ادعای قطعی صورت نمی‌گیرد.

تعیین ضریب افزایشی زمان(Delay Factor)

پس از تعیین مدت زمان پایه اجرای پروژه بر اساس فهرست‌زمان پایه، به‌منظور تبدیل زمان پایه به مدت زمان مورد انتظار اجرای پروژه در شرایط واقعی، لازم است اثر عوامل مؤثر بر افزایش مدت زمان اجرا در قالب یک ضریب افزایشی زمان لحاظ شود. این مفهوم از نظر ساختاری مشابه استفاده از ضرایب بالاسری در فهرست‌بهای پایه است؛ با این تفاوت که در فهرست‌زمان، ضریب مورد نظر با هدف انعکاس آثار عوامل مؤثر بر مدت اجرای پروژه تعریف می‌شود.بر این اساس، مدت زمان تعدیل‌شده پروژه به‌صورت کلی از رابطه زیر قابل بیان است:

T_{final}=(T_{base})(1+k_{project})*k_{general}

که در آن:

۱. :(T_{base})زمان پایه اجرای پروژه حاصل از فهرست‌زمان؛
۲. :(T_{ final })زمان کل اجرای پروژه پس از اعمال عوامل مؤثر بر افزایش زمان؛
۳. :(k_{project})ضریب اختصاصی پروژه؛
٤. :(k_{general})ضریب عمومی افزایش زمان.

در این پژوهش، ضریب افزایشی زمان در دو سطح اصلی تعریف می‌شود .سطح نخست، عوامل اختصاصی و وابسته به ویژگی‌های پروژه را شامل می‌شود و سطح دوم، عوامل عمومی و ریسک‌های قابل وقوع در فرآیند اجرای پروژه را دربرمی‌گیرد.ضریب اختصاصی پروژه بیانگر اثر ویژگی‌هایی است که به شرایط فیزیکی، محیطی و مکانی هر پروژه وابسته بوده و می‌توانند موجب تفاوت مدت اجرای پروژه‌های مختلف شوند. با توجه به ساختار داده‌های پژوهش و اطلاعات موجود در پایگاه داده، سه عامل اصلی برای این بخش در نظر گرفته شده است:

۱. ضریب اقلیم $\alpha_{climate}$
۲. ضریب دسترسی به منابع و شرایط منطقه‌ای $\alpha_{resource}$

۳. ضریب طبقات α_{floor}

این ضرایب با هدف انعکاس تفاوت شرایط اجرای پروژه‌ها و تعدیل زمان پایه تعیین می‌شوند.شرایط اقلیمی یکی از عوامل مؤثر بر بهره‌وری فعالیت‌های ساختمانی و در نتیجه مدت اجرای پروژه است. بارش، دمای بسیار پایین یا بالا و محدودیت‌های ناشی از شرایط جوی می‌توانند موجب کاهش ساعات قابل‌کار، کاهش بهره‌وری نیروی انسانی و ماشین‌آلات و در برخی موارد توقف موقت فعالیت‌های اجرایی شوند.به‌منظور تعیین ضریب اقلیم، در این پژوهش از روش دلفی نیمه‌ساختاریافته استفاده شده است. بدین منظور، نظر ۱۲ نفر از خبرگان حوزه اجرای پروژه‌های عمرانی شامل ۵ مدیر پروژه، ۴ کارشناس دفتر فنی و ۳ پیمانکار ارشد با حداقل پنج سال سابقه فعالیت در پروژه‌های عمرانی دریافت شد.در پرسشنامه، (پیوست ۲) از خبرگان خواسته شد میزان تأثیر شرایط اقلیمی بر افزایش مدت اجرای پروژه را به‌صورت درصدی ارزیابی کنند. ارزیابی‌ها برای سه محدوده اقلیمی شمال، مرکز و جنوب انجام شد.پس از جمع‌آوری پاسخ‌ها، میانگین درصد تأخیر برآوردشده توسط خبرگان برای هر منطقه محاسبه شد. تبدیل مقدار درصدی به ضریب به‌صورت زیر انجام گرفت:

$$\alpha_{climate}=bar\{x\}/100$$

که در آن $bar\{x\}$ میانگین درصد تأخیر ناشی از شرایط اقلیمی است.

نتایج حاصل از پرسشنامه ها به شرح زیر است.

جدول ۱. نتایج ضریب اقلیم (درصد تأخیر میانگین)

منطقه	میانگین درصد تأخیر	انحراف معیار
شمال	13.6	4.2
مرکز	10.8	3.5
جنوب	6.4	2.8

بر این اساس، مقادیر اولیه ضریب اقلیم برای سه محدوده به‌ترتیب برابر با ۰.۱۳۶، ۰.۱۰۸ و ۰.۰۶۴ خواهد بود. در مرحله نهایی، ضریب مورد استفاده هر پروژه بر اساس موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی متناظر با آن تعیین می‌شود.

ضریب دسترسی به منابع و شرایط منطقه‌ای

ضریب دسترسی به منابع نظیر پروژه درون‌شهری یا بیرون شهر است و یا پروژه در منطقه‌ای دورافتاده اجرا می‌شود که تأمین مصالح و لجستیک نیازمند زمان بیشتری است. $\alpha_{resource}$ می‌تواند شبیه ضریب منطقه ای باشد که با استفاده از بخشنامه ۹۴/۶۹۴۱۶ مورخ ۱۳۹۴/۰۴/۳۰ سازمان برنامه و بودجه کشور تعیین می‌شود. که معادل ضریب وزنی بر اساس برآورد مبلغ بخش ابنیه، تاسیسات مکانیکی، تاسیسات برقی همانند رابطه زیر تعیین می شود و عدد ۱ از آن کم می‌شود. ضریب منطقه بخش ابنیه + مبلغ برآورد تاسیسات برقی * ضریب منطقه تاسیسات برقی)] = $\alpha_{resource}$

1- [مبلغ برآورد پروژه / (مبلغ برآورد تاسیسات مکانیکی * ضریب منطقه تاسیسات مکانیکی+ مبلغ برآورد ابنیه *

ضریب طبقات: (α_{floor})

کار در طبقه همکف و طبقه زیر همکف به جهت عدم وجود ارتفاع و عدم نیاز به انتقال مصالح ساده‌تر از کار در طبقات بالای همکف و یا طبقات پایین تر از زیر همکف است. در فهرست‌بها نحوه محاسبه تاثیر طبقات به عنوان ضریب طبقات تعیین شده است که قابل استفاده برای تعیین زمان اجرای واقعی پروژه است.در این پژوهش، به‌منظور کمی‌سازی اثر تعداد طبقات، از ضریب طبقات موجود در نظام فهرست‌بهای پایه به‌عنوان یک شاخص مرتبط با افزایش پیچیدگی و شرایط اجرای عملیات استفاده شده است. استفاده از این ضریب به این معنا نیست که ضریب طبقات فهرست‌بها مستقیماً یک ضریب زمانی است؛ بلکه از آن به‌عنوان شاخصی برای سنجش اثر افزایش تعداد طبقات بر شرایط اجرای پروژه استفاده می‌شود. لازم به توضیح است که ضریب طبقات بدون عدد ثابت ۱ در نظر گرفته شده است (Rezaei, Barmayehvar, Lork, 2024). بر این اساس، ضریب طبقات هر پروژه متناسب با تعداد طبقات آن تعیین و در ساختار ضریب اختصاصی پروژه لحاظ می‌شود.

ساختار نهایی ضریب اختصاصی پروژه

با ترکیب سه عامل فوق، ضریب اختصاصی پروژه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$k_\{project\} = 1 + \alpha_{floor} + \boldsymbol{\alpha_{resource}} + \alpha_{climate}$$

این ضریب بیانگر اثر عوامل وابسته به ویژگی‌های پروژه بر افزایش زمان پایه است. پس از تعیین مقدار آن برای هر پروژه، اثر عوامل عمومی افزایش زمان نیز در مرحله بعد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ضریب عمومی افزایش زمان

علاوه بر عوامل اختصاصی پروژه، بخشی از افزایش مدت زمان اجرای پروژه ناشی از عواملی است که مستقل از ویژگی‌های فیزیکی پروژه بوده و ممکن است در پروژه‌های مختلف رخ دهند. در این پژوهش این دسته از عوامل تحت عنوان ضریب عمومی افزایش $k_\{general\}$ یا $\alpha_{general}$ تعریف می‌شود.

مهم‌ترین عوامل مورد توجه در این بخش عبارت‌اند از:

۱. تأخیر در پرداخت صورت‌وضعیت‌ها؛
۲. تغییرات ناگهانی در طراحی؛
۳. کمبود نقدینگی پیمانکار؛
٤. مشکلات حقوقی و اداری؛
٥. تأخیر در تأمین مجوزها؛
٦. تغییر در مشخصات فنی مصالح یا تجهیزات؛
۷. تعطیلات غیرمترقبه و اعتصابات کارگری.(Fallahnejad, 2013)

در پایگاه داده پژوهش نیز «دلیل اصلی تأخیر» برای پروژه‌ها ثبت شده است و عواملی مانند مشکلات اقلیمی، کمبود نقدینگی، تأخیر در مجوزها، ناهماهنگی پیمانکار، تغییر نقشه و کمبود مصالح در میان علل ثبت‌شده مشاهده می‌شوند.در مرحله بعد، با استفاده از اطلاعات ۵۷ پروژه، میزان اثر این عوامل بر اختلاف میان مدت زمان برنامه‌ریزی‌شده و مدت زمان واقعی بررسی شده و ضریب عمومی افزایش زمان بر مبنای نتایج تحلیل داده‌ها تعیین خواهد شد.در نهایت، ساختار کلی مدل پیشنهادی برای تبدیل زمان پایه به زمان تعدیل‌شده به صورت زیر خواهد بود:

$$T_\{final\} = T_\{base\}\left(\alpha_{floor} + \boldsymbol{\alpha_{resource}} + \alpha_{climate} + 1\right) * \left(\boldsymbol{\alpha_{general}}\right)$$

این ساختار امکان آن را فراهم می‌کند که زمان پایه حاصل از فهرست‌زمان ابتدا بر اساس ویژگی‌های اختصاصی هر پروژه و سپس بر اساس عوامل عمومی مؤثر بر تأخیر تعدیل شود و در نهایت مدت زمان تعدیل‌شده پروژه به دست آید.

تعیین مقدار ضریب عمومی:

برای بدست آوردن کمترین ضریب عمومی با توجه به اطلاعات پیوست ۱ از الگوریتم‌های فراابتکار در نرم افراز متلب استفاده شده است ابتدا اطلاعات به سه بخش 75% اطلاعات برای آموزش، ۱۵٪ اطلاعات برای اعتبارسنجی و ۱۰٪ اطلاعات برای تست تقسیم می شود. ضریب بدست آمده از چهار الگوریتم بهینه سازی، الگوریتم‌های ژنتیک(GA) ، گرگ خاکستری(GWO) ، تکامل تفاضلی (DE) و کلونی مورچگان (ACO) قرار گرفته. از تمام این الگوریتم ها عدد یکسان ۱/۴۲۲۶ بدست می آید. که میزان R^2 برابر مجموعه اطلاعات تست ۵۶/۸٪ می باشد..(Mirjalili, Mirjalili, Lewis, 2014).

- الگوریتم‌های مورد استفادهGA ،. GWO ،DE وACO
- نرم‌افزار و محیط اجرا MATLAB :
- نحوه تقسیم داده‌ها: ۷۵٪ آموزش، ۱۵٪ اعتبارسنجی، ۱۰٪ آزمون
- متغیرهای ورودی: ستون زمان تعدیل شده که عبارت است، زمان حاصل از فهرست زمان در ضریب ویژگی ضرب شده
- متغیر خروجی: زمان واقعی هر پروژه
- تعداد تکرارها: در الگوریتم‌های چهارگانه مختلف است

- نتیجه هر چهار الگوریتم عدد ۱/۴۲۲۶
- شاخص‌های ارزیابی، از جمله R^2=۰/۵۶۸

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، می‌توان مدت واقعی اجرای پروژه‌های عمرانی را با استفاده از یک فرآیند محاسباتی مرحله‌ای و مبتنی بر داده‌های واقعی پروژه‌ها برآورد کرد. چارچوب پیشنهادی پژوهش به‌صورت زیر است:

۱-تعیین زمان پایه پروژه:

زمان پایه اجرای پروژه با استفاده از زمان اجرای فعالیت‌های موجود در مسیر بحرانی و بر اساس زمان‌های پایه آیتم‌های اجرایی و منابع در اختیار تیم مجری تعیین می‌شود. بدین ترتیب، مدت اولیه پروژه بدون در نظر گرفتن عوامل افزایش‌دهنده زمان محاسبه می‌گردد.

۲-اعمال ضرایب مؤثر بر زمان اجرا:

پس از تعیین زمان پایه، میزان افزایش مدت ناشی از عوامل مؤثر از جمله اقلیم، تعداد طبقات و شرایط دسترسی به منابع تعیین شده و مجموع این افزایش‌ها به‌همراه عدد یک، ضریب تعدیل اولیه زمان را تشکیل می‌دهد.

۳-اعمال ضریب بالاسری زمان:

بر اساس نتایج حاصل از تحلیل داده‌های پروژه‌های مورد مطالعه و بهینه‌سازی انجام‌شده، مقدار ۱/۴۲۲۶به‌عنوان ضریب عمومی افزایش زمان اثرگذاری عوامل عمومی بر زمان اجرا به دست آمد. این ضریب در ضریب حاصل از مرحله قبل ضرب و سپس در زمان پایه پروژه اعمال می‌شود. بنابراین، رابطه کلی محاسبه زمان نهایی به صورت زیر خواهد بود:

$$T_\{final\} = T_\{base\} (\alpha_{floor} + \boldsymbol{\alpha_{resource}} + \alpha_{climate} + 1) * (۱/۴۲۲۶)$$

که در آن $(T_\{final\})$ زمان نهایی پیش‌بینی‌شده، $(T_\{base\})$زمان پایه پروژه و ضرایب بیانگر میزان افزایش زمان ناشی از عوامل اختصاصی پروژه هستند.چارچوب پیشنهادی را می‌توان در قالب یک فایل اکسل، سامانه کنترل پروژه یا نرم‌افزار مدیریت پروژه پیاده‌سازی کرد. در این صورت، فرآیند پیش‌بینی مدت اجرا از یک برآورد صرفاً تجربی به یک فرآیند محاسباتی، داده‌محور و قابل تکرار تبدیل می‌شود که امکان کنترل، ارزیابی و دفاع فنی از نتایج آن در فرآیندهای برنامه‌ریزی و مدیریت قرارداد را فراهم می‌کند.در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که ترکیب زمان پایه فعالیت‌های مسیر بحرانی، مشخصات اختصاصی پروژه می توان ضریب بالاسری زمان را برای آن پروژه استخراج نمود. ضریب عمومی استخراج شده از داده‌های واقعی می‌تواند چارچوبی منسجم برای پیش‌بینی مدت واقعی اجرای پروژه‌های عمرانی فراهم آورد. این چارچوب ضمن کاهش وابستگی برآورد مدت پروژه به قضاوت صرفاً تجربی، قابلیت استفاده به‌عنوان مبنایی برای توسعه ابزارهای استاندارد پیش‌بینی و کنترل زمان پروژه را نیز داراست.

منابع

سازمان برنامه و بودجه کشور (۱۴۰۳) *فهرست‌بهای ابنیه* .سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

سازمان برنامه و بودجه کشور. (۱۳۷۸) *موافقت‌نامه و شرایط عمومی و شرایط خصوصی پیمان‌ها و مقررات آن‌ها* (نشریه شماره ۴۳۱۱). سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

References

Plan and Budget Organization of Iran. (2024). *Building Works Price List*. Management and Planning Organization of Iran. [In Persian]

Plan and Budget Organization of Iran. (1999). *Agreement, General Conditions, Special Conditions of Contracts, and Related Regulations* (Publication No. 4311). Management and Planning Organization of Iran. [In Persian]

Rezaei, A. R., Barmayehvar, B., & Lork, A. (2024). Determining time for completion construction projects using time list. *JES Journal of Electrical Systems, 20*, 5387–5396.

Goldratt, E. M. (1997). *Critical chain*. North River Press.

Assaf, S. A., & Al-Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects. *International Journal of Project Management, 24*(4), 349–357. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.11.010

Sambasivan, M., & Soon, Y. W. (2007). Causes and effects of delays in Malaysian construction industry. *International Journal of Project Management, 25*(5), 517–526.

Fallahnejad, M. H. (2013). Delay causes in Iran gas pipeline projects. *International Journal of Project Management, 31*(1), 136–146. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.06.003

Herroelen, W., & Leus, R. (2005). Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials. *European Journal of Operational Research, 165*(2), 289–306. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.002

Chen, L., Lu, Q., & Han, D. (2023). A Bayesian-driven Monte Carlo approach for managing construction schedule risks of infrastructures under uncertainty. *Expert Systems with Applications, 212*, 118810. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118810

Leach, L. P. (1999). Critical chain project management improves project performance. *Project Management Journal, 30*(2).

Fan, S.-L., Yeh, I.-C., & Chi, W.-S. (2021). Improvement in estimating durations for building projects using artificial neural network and sensitivity analysis. *Journal of Construction Engineering and Management, 147*(7). https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002036

Al-Attar, H., Sweis, G., Tarawneh, B., Abu-Khader, W., Haddad, L., & Sweis, R. (2025). Enhanced construction project duration estimation using artificial neural networks: Initial design and planning stages. *Construction Economics and Building, 25*(2), 168–191. https://doi.org/10.5130/AJCEB.v25i2.9253

A generalized artificial neural network (ANN) model for predicting construction project durations based on cost and geolocation data. (2026). *Engineering, Construction and Architectural Management*. https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2025-1227

A machine learning-based framework for predicting project duration during the planning phase of highway construction projects. (n.d.).

Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey wolf optimizer. *Advances in Engineering Software, 69*, 46–61. https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007

Storn, R., & Price, K. (1997). Differential evolution—A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization, 11*, 341–359. https://doi.org/10.1023/A:1008202821328

Dorigo, M., Maniezzo, V., & Colorni, A. (1996). Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part B: Cybernetics, 26*(1), 29–41. https://doi.org/10.1109/3477.484436

Holland, J. H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems*. University of Michigan Press.