Amirkabir Journal of Civil Engineering

Amirkabir J. Civil Eng., 58(1) (2026) 95-118
DOI: 10.22060/ceej.2026.23578.8209

A Framework for Determining Contractor's Cash Outflow Based on Building Information Modeling (BIM)

Mohammad Hossein Salimi, Vahid Shahhosseini *

Department of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

ABSTRACT: Accurate determination of project cash flow is vital for contractors in construction projects. Among cash flows, the contractor's cash outflow is particularly important, and neglecting it can lead to liquidity shortages during the project. With the advancement of modern computational tools, especially Building Information Modeling (BIM) in the construction industry, the contractor's cash outflow can be calculated at any moment of the project easily and within minutes. This paper presents a framework based on contractors' payment models for labor, equipment, and materials, which was implemented in a real construction project. The model is designed with an emphasis on the time lag between resource utilization and cost payment, and the actual cash flow is compared with the total cost curve. The results indicate that the primary source of discrepancy between the total cost curve and the outflow cash flow is the time difference between recording costs and actual payments. This delay creates liquidity peaks in capital-intensive and discrete costs such as materials, while continuous costs, such as labor, only cause minor temporal variations. Using the total cost curve to estimate profitability introduces a limited error of approximately 0.3 to 2.1%. However, the contractor's actual cash requirement due to delays in material payments can be overestimated by up to 64%, whereas labor payments mainly cause only minor shifts in cash flow. Therefore, active management of material payments and negotiation with suppliers can reduce liquidity risk and improve financial decision-making.

Review History:

Received: Dec. 13, 2024
Revised: Feb. 28, 2026
Accepted: May, 08, 2026
Available Online: May, 24, 2026

Keywords:

BIM
Contractor's Cash Outflow
Project Resources Cost
Payment Models
Profitability

1- Introduction

Cash flow is critically important for construction companies, as it indicates future financial needs and allows time to find solutions before liquidity problems arise [1]. Cash outflow, which represents payments for labor, machinery, and materials, is particularly important for contractors; however, it is generally calculated manually, making the process time-consuming and prone to errors.

Previous research has attempted to predict cash flow using various methods. Mohagheghi et al. [2] proposed a type-2 fuzzy model for cash flow prediction, while Tabei et al. [3] used fuzzy methods to determine upper and lower bounds of cash flow considering project risks. Kuchta and Zabor [4] developed a reliable model using the full spectrum of fuzzy computations. With the advancement of Building Information Modeling (BIM), 5D BIM has become prevalent due to its ability to integrate time and cost [5]. Kim and Grobler [6] presented an initial framework for generating cash flow diagrams using BIM. More recently, Tavakolan and Nikoukar [7] proposed a BIM and simulation-based method for financial scheduling.

However, most existing models are static and, critically, do not adequately incorporate the "time lag" between resource usage and actual payment. Therefore, this research develops a BIM-based model that emphasizes time lags between resource utilization and cost payment to determine contractor cash outflow.

2- Methodology

This section presents a BIM-based model for estimating contractor cash outflows. A BIM model with a minimum LOD 300 is employed, as it delivers precise location, geometry, and physical attributes (length, width, height, area, volume, and materials), offering adequate reliability for financial computations. BIM tools are utilized to derive accurate quantities and volumes based on standard unit prices. Once component quantities are established, resources are allocated to determine the required machinery, labor, and materials for each activity.

Integrating BIM-extracted quantities with the project schedule database enables determination of resource demands over time. Linking these with unit cost data for labor, machinery, materials, and overhead then reveals temporal trends in direct and indirect costs.

*Corresponding author's email: shahhosseini@aut.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.

Table 1. General Specifications of the Case Study Project.

Parameter	Value
Project duration	343 days
Total project cost	44,929,506,188 IRR
Discount rate	18%
Floor coefficient	1.02
Overhead coefficient	1.30
Insurance deductions	5% of each progress payment
Retention	10% of each progress payment

Table 2. Comparison of Payment Scenarios.

Scenario	Profitability Error	Liquidity Error
First (Material - Full Credit)	0.31%	63.65%
Second (Material - 50% Advance)	0.71%	31.83%
Third (Labor - Periodic)	0.99%	3.08%
Fourth (Labor - Delayed)	2.09%	5.96%

However, this integrated model only displays daily costs without considering time lags, because contractors do not pay for resources at the same time they are used. Therefore, payment models must be specified:

Machinery & Equipment: cash outflow from machinery used in each activity is calculated based on required quantities and unit price. The payment time equals the end time of usage plus a specified lag.

Labor: The number of payments is calculated by dividing the duration of labor usage in an activity by the payment interval. For each payment, the contractor's cash outflow is based on the work completed by that labor during the specific payment period, and the payment time is calculated as the start time of usage plus the payment interval multiplied by the payment number.

Materials: At the time of order, the contractor pays a percentage of the material cost. The remaining balance is paid after a specified lag. There is typically a lag between order and delivery, and between delivery and usage. Payment times are calculated accordingly.

Finally, after determining daily cash outflow from machinery, labor, materials, and overhead, the discounted cumulative cash outflow is calculated using the discount rate.

3- Results and Discussion

The proposed framework was implemented in a real 4-story office building project with steel structure and approximately 5000 sq.m. floor area (project duration: 343 days, total cost: 44,929,506,188 IRR, see Table 1).

3- 1- Comparison of Cash Outflow and Total Cost

As expected, the total cost curve cannot accurately display real contractor costs at the time they occur. Although this curve estimates project profitability only about 0.9% less than the real amount, it estimates the contractor's required liquidity about 41% more than the real value. This significant overestimation may lead the contractor to secure financing beyond actual needs.

3- 2- Scenarios Related to Material Cost Payment

Two scenarios were analyzed. In the first scenario, all material amounts are paid one month after use with no advance payment (fully credit-based). In the second scenario, 50% of material costs are paid at order and 50% one month after use. With fixed cash inflow, profitability using real cash outflow is about 0.3% and 0.7% higher than using the total cost curve for the first and second scenarios, respectively. However, not considering real payment models causes the maximum contractor liquidity to be overestimated by about 64% for the first scenario and 32% for the second scenario. The difference between cash outflow and total cost curves is negative for 93% and 92% of project duration for the first and second scenarios, indicating daily cost overestimation by the total cost curve.

3- 3- Scenarios Related to Labor Cost Payment

To examine the effect of changing labor payment methods, third and fourth scenarios were analyzed. From a profitability perspective, the difference between total cost and cash outflow in the third and fourth scenarios is about 1% and 2.1%, respectively. From a liquidity perspective, this difference increases to about 3% and 6% in the third and fourth scenarios. However, these values still indicate limited temporal shifts in cash outflow and do not suggest a structural or significant change in project liquidity needs. In other words, changing labor payment methods mainly leads to minor temporal shifts in the cash outflow diagram.

3- 4- Causal Analysis and Discussion

The fundamental cause of the divergence between the total cost curve and actual cash outflow lies in the delay between incurring a cost and settling the corresponding payment. The total cost curve presumes that financial obligations occur simultaneously with resource usage, whereas real-world cash disbursements adhere to contractually defined payment terms. This temporal mismatch leads the total cost curve to persistently overstate the contractor's liquidity requirements over the majority of the project duration.

As reported in Table 2, non-continuous, capital-heavy expenditures—such as construction materials—tend to concentrate within brief time windows, thereby creating

sharp liquidity spikes. By contrast, recurring costs like labor, which are dispersed evenly across time and feature shorter settlement periods, produce only modest temporal displacements. Accordingly, revisions to material payment schedules affect the project's liquidity profile far more significantly than do equivalent revisions to labor payment schedules. Hence, proactive negotiation and management of material supply agreements represent a powerful strategy for mitigating liquidity risk, whereas adjustments to labor payment mechanisms serve only a subordinate and constrained function.

4- Conclusion

This research developed a dynamic BIM-based model for determining contractor's real-time cash outflow by incorporating time lags between resource consumption and payment. Using the total cost curve, although having less than 2.1% error in profitability, can overestimate contractor liquidity needs by 32-64%, especially for material costs. Changing labor payment methods causes only 3-6% shifts.

References

[1] M.O. Kim, H.K. Park, The algorithm of cash flow forecasting in planning stage for construction project, in: 2012 IEEE International Conference on Management of Innovation & Technology (ICMIT), IEEE, 2012, pp. 674-677.

[2] V. Mohagheghi, S.M. Mousavi, B. Vahdani, Analyzing project cash flow by a new interval type-2 fuzzy model with an application to construction industry, Neural Computing and Applications, 28(11) (2017) 3393-3411.

[3] S.M.A. Tabei, M. Bagherpour, A. Mahmoudi, Application of fuzzy modelling to predict construction projects cash flow, Periodica Polytechnica Civil Engineering, 63(2) (2019) 647-659.

[4] D. Kuchta, A. Zabor, Fuzzy modelling and control of project cash flows, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 42(1) (2022) 155-168.

[5] R. Stanley, D. Thurnell, The benefits of, and barriers to, implementation of 5D BIM for quantity surveying in New Zealand, (2014).

[6] H. Kim, F. Grobler, Preparing a construction cash flow analysis using building information modeling (BIM) technology, Journal of Construction Engineering and Project Management, 3(1) (2013) 1-9.

[7] M. Tavakolan, S. Nikoukar, A BIM and simulation-based finance scheduling method for the steel structure construction project, KSCE Journal of Civil Engineering, 29(5) (2025) 100124.

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۸، شماره ۱، سال ۱۴۰۵، صفحات ۹۵ تا ۱۱۸
DOI: 10.22060/ceej.2026.23578.8209

تدوین چهارچوبی برای تعیین جریان نقدینگی خروجی پیمانکاردر بستر مدل اطلاعاتی ساخت (BIM)

محمدحسین سلیمی، وحید شاه حسینی*

دانشکده مهندسی عمران و محیطزیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

خلاصه: تعیین دقیق جریان نقدینگی پروژه امری حیاتی برای پیمانکاران پروژه‌های عمرانی است. در این میان جریان نقدینگی خروجی پیمانکار از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و عدم توجه به آن می‌تواند موجب بروز چالش کمبود نقدینگی در طول پروژه برای پیمانکار شود. با گسترش ابزارهای نوین رایانه‌ای به‌ویژه مدل‌سازی اطلاعات ساخت در صنعت ساخت‌وساز، می‌توان در هرلحظه از پروژه جریان نقدینگی خروجی پیمانکار را به‌راحتی و کمتر از چند دقیقه محاسبه نمود. در این مقاله، چهارچوبی مبتنی بر مدل‌های پرداختی پیمانکار برای نیروی انسانی، ماشین‌آلات و ابزار و مصالح ارائه و در یک پروژه ساختمانی واقعی پیاده‌سازی گردید. مدل با تأکید بر مفهوم فاصله زمانی میان استفاده از منابع و پرداخت هزینه آنها طراحی شده و جریان نقدینگی واقعی با نمودار هزینه کل مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد که منشأ اصلی تفاوت میان نمودار هزینه کل و جریان نقدینگی خروجی، اختلاف زمانی میان ثبت هزینه‌ها و پرداخت واقعی است. این تأخیر باعث ایجاد پیک‌های نقدینگی در هزینه‌های سرمایه‌بر و گسسته مانند مصالح می‌شود، در حالی که هزینه‌های پیوسته مانند نیروی انسانی تنها تغییرات جزئی زمانی ایجاد می‌کنند. استفاده از نمودار هزینه کل برای برآورد سودآوری، خطای محدودی حدود ۰/۳ تا ۲/۱ درصد دارد. با این حال، نیاز نقدینگی واقعی پیمانکار به دلیل تأخیر در پرداخت هزینه‌های مصالح می‌تواند تا ۶۴ درصد بیش‌برآورد شود، در حالی که پرداخت نیروی انسانی عمدتاً تنها باعث شیفت‌های زمانی جزئی در جریان نقدینگی می‌شود. بنابراین، مدیریت فعال پرداخت مصالح و چانه‌زنی با تأمین‌کنندگان ریسک کمبود نقدینگی را کاهش داده و تصمیم‌گیری مالی را بهبود می‌بخشد.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۳
بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۹
پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۸
ارائه آنلاین: ۱۴۰۵/۰۳/۰۳

کلمات کلیدی:
مدل‌سازی اطلاعات ساخت
جریان نقدینگی خروجی پیمانکار
هزینه‌های منابع پروژه
مدل‌های پرداختی
سودآوری

۱- مقدمه

جریان نقدینگی برای شرکت‌های ساخت‌وساز بسیار حائز اهمیت است، زیرا جریان نقدینگی نیازهای مالی آینده شرکت را نشان می‌دهد و قبل از این‌که شرکت دچار مشکل مالی و نقدینگی شود، فرصت برای تعیین راه‌حل‌ها فراهم می‌شود. به‌منظور مدیریت صحیح و بهنگام جریان نقدینگی پروژه ابتدا باید جریان نقدینگی پروژه را به‌صورت دقیق محاسبه نمود. جریان نقدینگی پروژه متشکل از جریان نقدینگی ورودی و خروجی است. با توجه به اینکه جریان نقدینگی خروجی بیانگر هزینه‌های پرداختی برای بکارگیری منابع مختلف از جمله نیروی انسانی، ماشین‌آلات، ابزار و مصالح است، توجه به آن برای پیمانکار اهمیت بسزایی دارد. چراکه پیمانکار می‌تواند با ایجاد تغییر در برنامه زمانبندی پروژه، تغییر در تکنولوژی ساخت، بهره‌مندی از شناوری فعالیت‌ها و به تعویق انداختن زمان پرداخت هزینه‌های نیروی انسانی، ماشین‌آلات و مصالح؛ جریان نقدینگی خروجی را در طول پروژه بهبود بخشیده و درنهایت سود بیش‌تری را دریافت نماید.

در حال حاضر جریان نقدینگی خروجی عموماً به‌صورت دستی محاسبه شده که علاوه‌بر زمان‌بر بودن، امکان بروز خطای انسانی در آن وجود دارد. همچنین اگر در طول روند پروژه تغییراتی از جانب کارفرما در کار رخ دهد به‌روزرسانی این مقادیر امری وقت‌گیر است. اگر فرآیندی برای محاسبه دقیق و بهنگام جریان نقدینگی خروجی پیمانکار تدوین شود، مشکلات ناشی از تعیین دستی جریان نقدینگی مرتفع شده و فرآیند مدیریت به‌موقع و زودهنگام آن تسهیل می‌گردد.

در این پژوهش با تأکید بر عامل فاصله زمانی میان بکارگیری منابع مختلف توسط پیمانکار در پروژه و زمان پرداخت هزینه‌های آن، مدلی به‌منظور تعیین جریان نقدینگی خروجی پیمانکار تدوین شده است. سپس با استفاده از مدل تدوین‌شده بستری برای محاسبه جریان نقدینگی خروجی

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: shahhosseini@aut.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.

تجمعی و ترسیم نمودار مربوط به آن بر مبنای ابزارهای مبتنی بر مدل اطلاعاتی ساخت[1] توسعه داده شده است. در انتها جریان نقدینگی خروجی و هزینه کل یک پروژه ساختمانی با استفاده از بستر ارائه‌شده، تعیین و با یکدیگر مقایسه می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

۲- ۱- هزینه‌های پروژه

جریان نقدینگی خروجی پروژه ناشی از هزینه‌های پیمانکار برای انجام فعالیت‌های موضوع پیمان در مدت‌زمان قرارداد است. به همین دلیل برای شناخت جریان نقدینگی خروجی یک پروژه ابتدا باید انواع هزینه‌های موجود در یک پروژه‌ی عمرانی را شناسایی کرد.

به‌طورکلی هزینه‌ی کل یک پروژه عمرانی شامل هزینه‌های مستقیم[2] و غیرمستقیم[3] فعالیت‌های مرتبط با آن است [۱].

الف) هزینه‌های مستقیم:

مجموع هزینه‌های مربوط به تمامی نیروهای انسانی، ماشین‌آلات، تجهیزات و مواد و مصالحی که مستقیماً برای انجام فعالیت‌های پروژه موردنیاز هستند را هزینه‌ی مستقیم می‌نامند. این هزینه‌ها بخش عمده‌ای از هزینه‌های یک پروژه را دربر می‌گیرد و تقریباً حدود ۹۰ الی ۹۵ درصد هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد [۱].

ب) هزینه‌های غیرمستقیم:

هزینه‌های غیرمستقیم هزینه‌هایی هستند که به فعالیت‌های پروژه مستقیماً ارتباطی نداشته و با صرف این هزینه‌ها فعالیت خاصی در پروژه انجام نمی‌شود اما این هزینه‌ها برای پیشبرد فعالیت‌های پروژه لازم هستند [۲, ۳].

براساس پیوست شماره ۳ فهرست بها، هزینه های غیرمستقیم (بالاسری) به طور کلی به هزینه بالاسری عمومی و هزینه بالاسری کار تقسیم بندی می شود. هزینه بالاسری عمومی از نوع هزینه‌هایی است که نمی‌توان آن‌ها را به کار مشخصی مربوط کرد مانند هزینه‌های دستمزد نیروی انسانی دفتر مرکزی، هزینه بیمه‌های عمومی و حق بیمه کارکنان دفتر مرکزی، هزینه نگهداری دفتر مرکزی. این درحالی است که هزینه بالاسری کار از نوع هزینه‌هایی است که می‌توان آن را به کار مشخصی مربوط کرد مانند هزینه‌های سرمایه‌گذاری شامل تنخواه درگردش پیمانکار یا هزینه ضمانت‌نامه‌ها شامل هزینه ضمانت‌نامه انجام تعهدات، پیش‌پرداخت، وجوه حسن اجرای کار، هزینه مالیات و سود پیمانکار. همچنین لازم به ذکر است که ضریب بالاسری طرح‌های عمرانی برای کارهایی که به صورت مناقصه و یا عدم الزام به برگزاری مناقصه ناشی از انحصار فرآیند مناقصه واگذار می‌شوند، برابر با ۱/۳۰ و برای کارهایی که به صورت ترک تشریفات مناقصه و یا عدم الزام به برگزاری مناقصه به استثنای انحصار ناشی از فرآیند مناقصه واگذار می‌شوند برابر ۱/۲۰ می‌باشد. ضریب بالاسری طرح های غیرعمرانی برای کارهایی که به صورت مناقصه و یا عدم الزام به برگزاری مناقصه ناشی از انحصار فرآیند مناقصه واگذار می‌شوند، برابر ۱/۴۱ و برای کارهایی که به صورت ترک تشریفات مناقصه و یا عدم الزام به برگزاری مناقصه به استثنای انحصار ناشی از فرآیند مناقصه واگذار می‌شوند، برابر ۱/۳ می باشد [۴].

۲- ۲- هزینه‌ی کل

جمع هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم تمامی فعالیت‌های پروژه، هزینه‌ی کل پروژه را تشکیل می‌دهد. همچنین یک آهنگ خاصی در نمودارهای هزینه کل درصورتی‌که صحیح ترسیم شده باشند، وجود دارد. مطابق منحنی S (گرده‌ماهی)، با گذشت ۲۵ درصد زمان اجرای پروژه حدود ۱۵ درصد ریالی عملیات، با گذشت ۵۰ درصد زمان، ۵۰ درصد ریالی و پس از سپری شدن ۷۵ درصد زمان اجرا، حدود ۸۵ درصد ریالی پروژه به اتمام می‌رسد. در انتها نیز با گذشت ۱۰۰ درصد زمان، کل هزینه عملیات خاتمه پیدا می‌کند [۵].

۲- ۳- تفاوت جریان نقدینگی خروجی با هزینه کل

شاید به‌اشتباه نمودار هزینه کل پروژه در طول زمان با نمودار جریان نقدینگی خروجی یکسان درنظر گرفته شود اما همان‌طور که ذکر شد منشأ جریان نقدینگی خروجی، هزینه‌های پروژه است و نه خود آن. تفاوت بین این دو مفهوم را می‌توان در موضوعی به نام "اختلاف‌زمان[4]" یافت. منظور از اختلاف‌زمان، فاصله‌ی زمانی بین بکارگیری منابع مختلف در پروژه تا پرداخت هزینه آن توسط پیمانکار است. تأخیر در پرداخت هزینه‌ها توسط پیمانکار موضوعی حائز اهمیت در جریان نقدینگی خروجی است. هرکدام از گروه‌های هزینه‌ای که شامل هزینه‌های نیروی انسانی، مواد و مصالح، پیمانکاران جزء، تجهیزات و ماشین‌آلات می‌شود می‌تواند یک اختلاف‌زمان مختص به خود را داشته باشد. به‌عنوان‌مثال هزینه کارگران به‌صورت ماهانه، پیمانکاران جزء به‌صورت درصد پیشرفت کار و تأمین‌کنندگان مصالح و ماشین‌آلات بر اساس قرارداد بین پیمانکار و تأمین‌کننده پرداخت شود [۶].

1. Building Information Modeling (BIM)
2. Direct Cost
3. Indirect Cost
4. Time lag

۲- ۴- بهره‌مندی از مدل‌های رایانه‌ای برای تعیین جریان نقدینگی

در سال ۲۰۱۲، هاناوکا و پالاپوس[1] [۷] اقدام به بررسی میزان تأثیر ریسک عوامل مختلف بر روی جریان نقدینگی پروژه‌های راهسازی با استفاده از شبیه‌سازی مونته کارلو[2] و تئوری بازی[3] کردند. آن‌ها از مطالعه موردی دو شرکت راهسازی BOT[4] در فیلیپین برای نشان دادن قابلیت کاربرد روش پیشنهادی خود استفاده کردند.

در سال ۲۰۱۷، محققی و همکاران [۸] مدلی برای پیش‌بینی جریان نقدینگی پروژه‌ها با استفاده از روش فازی نوع دو[5] پیشنهاد کردند. مدل آن‌ها بر روی یک پروژه ساخت‌وساز اعمال شد و بر اساس نتایج، این مدل توانایی بالایی برای درنظرگرفتن عدم قطعیت بر روی جریان نقدینگی پروژه داشت.

در سال ۲۰۱۹، طبایی و همکاران [۹] با استفاده از روش فازی اقدام به تعیین حد بالا و پایین جریان نقدینگی ورودی و خروجی با درنظرگرفتن ریسک موجود در پنج عامل زمان شروع پروژه، مدت‌زمان فعالیت‌ها، هزینه منابع انسانی و مواد و مصالح، مبلغ قرارداد و زمان دریافتی‌های پیمانکار کردند.

در سال ۲۰۲۲، کوچتا و زابور[6] [۱۰] با بررسی پیشینه تحقیق دریافتند که مدل‌های فازی مطرح‌شده برای تعیین و کنترل جریان نقدینگی تنها با استفاده از رویکردهای پایه برگرفته از نظریه فازی تنظیم شده‌اند که ممکن است اعتبار مدل را مخدوش کنند. بنابراین آنها تلاش کردند که با بهره‌مندی از کل طیف محاسبات فازی اقدام به تهیه یک مدل قابل‌اطمینان نمایند.

با پیشرفت استفاده از مدل‌های کامپیوتری به‌خصوص مدل اطلاعاتی ساخت، استفاده از مدل ۵ بعدی اطلاعات ساخت به دلیل توانایی درنظرگرفتن زمان و هزینه، بهبود بخشیدن به جزئیات ساخت‌وساز، شناسایی ریسک‌ها پیش از وقوع آن‌ها و مهم‌تر از همه توانایی به‌روزرسانی خودکار و سریع جزئیات مختلف پروژه ازجمله نماها، پلان‌ها، برنامه زمانبندی و هزینه پروژه، رواج یافت [۱۱]. به همین دلیل پژوهش‌های گوناگونی درباره استفاده از مدل ۵ بعدی اطلاعات ساخت در زمینه‌هایی نظیر برآورد مقادیر کار و احجام، برآورد هزینه‌ها، بودجه‌ریزی پروژه‌ها و کنترل هزینه‌ها انجام شده است.

در سال ۲۰۱۴، ایبینو و ونکاتش[7] [۱۲] با بررسی ۴۰ شرکت مشاوره در استرالیا دریافتند که استفاده از مدل پنج بعدی اطلاعات ساخت می‌تواند فرآیند برآورد احجام را سریع‌تر و دقیق‌تر نماید. این در حالی است که هنوز از مدل پنج بعدی اطلاعات ساخت در استرالیا استفاده چندانی نمی‌شود.

در سال ۲۰۱۵، پلیبانکویچ و همکاران[8] [۱۳] با توسعه یک نرم‌افزار لهستانی به نام BIMestiMate اقدام به برآورد احجام و مقادیر کار و سپس برآورد هزینه آن‌ها بر پایه مدل‌سازی اطلاعات ساخت کردند.

در سال ۲۰۱۷، کهیلی[9] [۱۴] روشی بر مبنای مدل پنج بعدی اطلاعات ساخت برای تعیین هزینه‌های چرخه حیات یک پروژه مطرح کرد. روش پیشنهادی او می‌تواند هزینه‌های چرخه حیات پروژه را با دقت بالا محاسبه کرده و در صورت نیاز به‌آسانی به‌روز شود و هزینه‌های به‌روز شده را نمایش دهد.

در سال ۲۰۱۸، مارزوک و همکاران[10] [۱۵] چهارچوبی برای بهینه‌سازی هزینه‌های چرخه حیات پروژه با استفاده از شبیه‌سازی مونته کارلو و مدل پنج بعدی اطلاعات ساخت ارائه کردند. آن‌ها با بررسی میزان تأثیر مصالح مختلف بر روی هزینه‌های چرخه حیات پروژه اقدام به بهینه‌سازی آن نمودند.

لا و همکاران[11] [۱۶] نیز در سال ۲۰۱۸ با تأکید بر لزوم استفاده از اطلاعات هزینه‌ای ذخیره شده در مدل اطلاعاتی ساختمان در فاز بهره برداری پروژه اقدام به تهیه نرم افزاری بر مبنای مدل رویت کردند. نرم افزار ارائه شده توسط آن‌ها توانایی استخراج داده‌های هزینه‌ای تجهیزات مختلف پروژه از مدل رویت به منظور اجرای فرآیند تصمیم گیری در فاز بهره برداری پروژه را دارا بود.

در سال ۲۰۲۳، عبدالحمید و عبدالحلیم[12] [۱۷] به‌منظور اثبات این ادعا که استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساخت می‌تواند از افزایش هزینه‌ها و تأخیر در برنامه زمانبندی پروژه‌ها جلوگیری کند، اقدام به پیاده‌سازی مدل پنج بعدی اطلاعات ساخت در یک پروژه واقعی نمودند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که اختلاف میان هزینه‌های برنامه‌ریزی‌شده و واقعی از دوازده درصد به پنج درصد در حالتی که از مدل پنج بعدی اطلاعات ساخت به‌جای روش‌های سنتی استفاده می‌شود، تقلیل می‌یابد.

در سال ۲۰۲۴، یلماز و همکاران[13] [۱۸] به بررسی کاربرد روش‌های مدیریت هزینه PMBOK و کاربردهای مدل‌سازی اطلاعات ساخت در این زمینه پرداخته و چهارچوبی جامع برای مدیریت هزینه مبتنی بر BIM

1. Hanaoka and Palapus
2. Monte Carlo simulation
3. Game theory
4. Build-Operate-Transfer (BOT)
5. Fuzzy Type-2
6. Kuchta and Zabor
7. Aibinu and Venkatesh
8. Plebankiewicz et al.
9. Kehily
10. Marzouk et al.
11. Lau et al.
12. Abdel-Hamid and Abdelhaleem
13. Yilmaz et al.

به‌منظور عملیاتی کردن این هم‌افزایی شامل مراحل برنامه‌ریزی، برآورد، بودجه، نظارت و کنترل معرفی کردند. همچنین کارایی این چهارچوب از طریق بکارگیری آن در یک مرکز صنعتی مورد ارزیابی قرار گرفت.

علی‌رغم اینکه بیشتر تحقیقات انجام‌شده در بستر فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به‌ویژه مدل پنج بعدی اطلاعات ساختمان بر روی تعیین هزینه‌های چرخه حیات پروژه تمرکز دارد، اما مطالعاتی نیز در زمینه تعیین جریان نقدینگی پروژه با استفاده از این فناوری انجام شده است.

در سال ۲۰۱۳، کیم و گرابلر[1] [۱۹] با تأکید بر این موضوع که مدل اطلاعاتی ساخت می‌تواند فرآیند یکپارچه‌سازی زمان و هزینه را بهبود بخشد اقدام به ارائه یک چهارچوب اولیه برای ارتباط بین زمان و هزینه پروژه و درنهایت رسم جریان نقدینگی یک پروژه نمونه کردند.

در سال ۲۰۲۳، لی و کانگ[2] [۲۰] یک سیستم یکپارچه مبتنی بر مدل اطلاعاتی ساخت برای برآورد جریان نقدینگی پروژه‌های ساختمانی که با هدف رفع محدودیت‌های روش‌های سنتی توسعه یافته بود، ارائه دادند. سیستم با ترکیب مدل سه‌بعدی اطلاعات ساخت (با سطح توسعه مدل[3] ۴۰۰)، برآورد هزینه با نرم‌افزار F1 (نرم افزاری برای انجام فرآیند متره و برآورد)، زمانبندی پروژه با Microsoft Project و مدیریت داده‌ها با Excel امکان محاسبه دقیق جریان نقدینگی را در مراحل اولیه چرخه حیات پروژه فراهم می‌کرد. نتایج مطالعه موردی حاکی از آن بود که این رویکرد با خودکارسازی متره، کاهش خطا و بهبود مدیریت داده‌ها دقت و کارایی محاسبات را نسبت به روش‌های سنتی افزایش می‌دهد. همچنین، این روش دارای محدودیت‌هایی از قبیل تمرکز بر سیستم‌های سازه‌ای و معماری، وابستگی به نرم‌افزارهای مشخص و نیاز به به‌روزرسانی منظم داده‌های دستی در F1، بود.

در سال ۲۰۲۴، محبوب و همکاران[4] [۲۱] به مطالعه نقش مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در بهبود پیش‌بینی جریان نقدینگی در شرکت‌های کوچک و متوسط ساختمانی عربستان سعودی پرداختند. آنها از طریق پرسشنامه، چالش‌های اصلی پیش‌بینی جریان نقدینگی شامل تغییرات محدوده و تأخیرات پروژه، ضعف برنامه‌ریزی، اختلال پرداخت‌ها، کمبود تخصص و نبود اطلاعات یکپارچه را شناسایی کردند. نتایج نشان داد که مدل اطلاعاتی ساخت با یکپارچه‌سازی اطلاعات هزینه، ایجاد محیط داده مشترک[5] و بهبود همکاری میان ذینفعان، دقت پیش‌بینی جریان نقدینگی را افزایش می‌دهد.

آبما و همکاران[6] [۲۲] نیز با تمرکز بر مفهوم تحلیل برنامه‌ریزی جریان نقدینگی بر اساس مدل اطلاعاتی ساخت رویکردی را برای توسعه استفاده از BIM در برنامه‌ریزی جریان نقدینگی پروژه به‌منظور مدل‌سازی و محاسبه صحیح آن ارائه نمودند. نتایج این پژوهش پس از ارزیابی مدل مطرح شده در یکی از پروژه‌های ساختمانی اندونزی حاکی از آن بود که استفاده از BIM در این حوزه می‌تواند فرآیندهای بودجه‌ریزی و ارائه برنامه زمانبندی مناسب برای پروژه را بهبود بخشد.

فیلی[7] [۲۳] نیز در سال ۲۰۲۴ با اشاره به اهمیت مدل‌سازی اطلاعات ساخت در ویتنام به‌ویژه پس از انتشار نقشه راه مدل‌سازی اطلاعات ساخت در سال ۲۰۲۳ در این کشور اقدام به تهیه چهارچوبی برای محاسبه جریان نقدینگی پروژه‌های مقیاس بزرگ با ادغام مدل‌سازی اطلاعات ساخت، ماژول تخمین هزینه، سیستم زمانبندی پروژه و یک سیستم مبتنی بر صفحه گسترده اکسل نمود. نتیجه مورد انتظار این تحقیق افزایش قابلیت اطمینان در محاسبه جریان نقدی پروژه از طریق یک رویکرد ساده‌تر و دقیق‌تر مبتنی بر BIM است.

در سال ۲۰۲۵، توکلان و نیکوکار [۲۴] شیوه‌ای به نام "مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و زمانبندی مالی مبتنی بر شبیه‌سازی[8]" برای پروژه‌های فولادی ارائه دادند که با ترکیب مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و شبیه‌سازی رویداد گسسته[9]، زمانبندی مالی واقعی و قابل اجرا ایجاد می‌کند و امکان محاسبه دقیق جریانات نقدینگی و بهینه‌سازی هزینه تأمین مالی را فراهم می‌کند. نتایج نشان داد BSFS دقت و واقع‌گرایی بالاتری نسبت به روش‌های سنتی داشته و مدیریت منابع و زمانبندی را تسهیل می‌کند. با این حال، پیاده‌سازی BSFS به محیط شبیه‌سازی دقیق با BIM و DES و نرم‌افزارهایی مانند Simphony.Net نیاز دارد و بدون دسترسی به این ابزارها یا دانش کافی در استفاده از آن‌ها، اجرای سیستم محدود می‌شود. همچنین دقت سیستم وابسته به داده‌های واقعی پروژه مانند ویژگی‌های سایت و تأمین‌کنندگان است و نبود داده کامل یا به‌روز می‌تواند اعتبار نتایج را کاهش دهد.

با جمع‌بندی مطالعات پیشین می‌توان دریافت که اگرچه رویکردهای

1. Kim and Grobler
2. Le and Cong
3. Level of Development (LOD)
4. Mahboob et al.
5. Common Data Environment (CDE)
6. Abma et al.
7. Hang Thu Thi Le
8. BIM and Simulation-Based Finance Scheduling (BSFS)
9. Discrete Event Simulation (DES)

متنوعی از جمله شبیه‌سازی، نظریه فازی و فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساخت برای تحلیل و پیش‌بینی جریان نقدینگی پروژه‌ها ارائه شده‌اند، اما اغلب این مدل‌ها با محدودیت‌های اساسی مواجه هستند. نخست آنکه بخش قابل‌توجهی از مدل‌های موجود ماهیتی ایستا داشته و قادر به بازتاب پویایی‌های واقعی پروژه در طول اجرا نیستند. به‌گونه‌ای که در صورت بروز تغییرات در برنامه زمانبندی، مقادیر کار یا شرایط قراردادی، امکان بروزرسانی آنی و خودکار جریان نقدینگی در آن‌ها وجود ندارد. این در حالی است که پروژه‌های ساختمانی ذاتاً با تغییرات مکرر و تصمیمات لحظه‌ای همراه‌اند و نبود یک چارچوب پویا می‌تواند دقت پیش‌بینی‌ها را به‌شدت کاهش دهد. دوم آنکه علی‌رغم تأکید پژوهش‌های مبتنی بر مدل‌سازی اطلاعات ساخت بر یکپارچه‌سازی زمان و هزینه، در عمل این یکپارچه‌سازی غالباً به‌صورت دستی یا نیمه‌خودکار انجام شده است. سوم و مهمتر از همه آنکه جریان نقدینگی خروجی بدون در نظر گرفتن مفهوم «اختلاف زمان» بین استفاده از منابع و پرداخت هزینه‌های مربوطه تعیین شده است. به عبارت دیگر، در عمل به جای تعیین جریان نقدینگی خروجی واقعی، صرفاً برآورد هزینه‌ها ارائه شده است. بر این اساس، خلأ اصلی پژوهش حاضر را می‌توان در نبود یک مدل پویا، جامع و مبتنی بر داده‌های واقعی پروژه برای تعیین جریان نقدینگی خروجی پیمانکار دانست. مدلی که بتواند ضمن درنظرگرفتن عوامل اثرگذار و اختلافات زمانی میان مصرف منابع و پرداخت هزینه‌ها، امکان بروزرسانی سریع و دقیق را در طول اجرای پروژه فراهم آورد.

۳- روش پژوهش

در این بخش مدل تعیین جریان نقدینگی خروجی پیمانکار بر مبنای مدل اطلاعاتی ساخت تدوین شده است. در ابتدا مدل مفهومی پژوهش بیان شده و براساس این مدل و با بهره‌مندی از مدل اطلاعاتی ساخت، مقادیر دقیق کار و احجام هریک از منابع فعالیت‌های پروژه مشخص می‌شود. سپس با متصل سازی برنامه زمانبندی و هزینه هریک از منابع فعالیت‌های پروژه به مقادیر برآورد شده و با درنظرگرفتن مدل پرداختی پیمانکار، جریان نقدینگی خروجی وی محاسبه می‌گردد.

۳- ۱- مدل مفهومی پژوهش

فرآیند کاری مدل تدوین‌شده به‌منظور تعیین جریان نقدینگی خروجی پیمانکار از چهار بخش اصلی تعیین دقیق مقادیر کار و احجام، یکپارچه‌سازی مقادیر کار و احجام با برنامه زمانبندی، یکپارچه‌سازی مقادیر کار و احجام و برنامه زمانبندی با هزینه و درنهایت محاسبات جریان نقدینگی خروجی، تشکیل شده است. بخش‌های بیان‌شده مدل مفهومی پژوهش در شکل ۱ آورده شده است.

۳- ۲- مدل اطلاعاتی ساخت

مدل اطلاعاتی ساخت، یک مدل مجازی حاوی تمامی اطلاعات و ویژگی‌های هندسی و عملکردی المان‌های مختلف در طول چرخه حیات پروژه است. این اطلاعات پایه‌ای برای محاسبه مقادیر کار و احجام اجزاء مختلف پروژه هستند. به همین دلیل دقت محاسبات جریان نقدینگی پروژه بستگی به سطح توسعه مدل و دقت آن دارد. با توجه به اینکه در مدل اطلاعاتی ساخت با سطح توسعه LOD 300 محل دقیق اجزای پروژه و مشخصات هندسی و فیزیکی آن‌ها از قبیل طول، عرض، ارتفاع، مساحت، حجم و مصالح تشکیل‌دهنده مشخص است، داده‌های استخراج‌شده از این سطح، از دقت و قابلیت اتکای قابل قبولی برای محاسبات مالی و تحلیل جریان نقدینگی خروجی برخوردارند، در حالی‌که در سطوح پایین‌تر از آن، چنین دقتی حاصل نمی‌شود. بنابراین، حداقل سطح توسعه مدل اطلاعاتی ساختمان برای انجام فرآیند متره مقادیر کار و احجام به‌منظور محاسبه جریان نقدینگی پروژه، برابر با LOD 300 در نظر گرفته شده است.

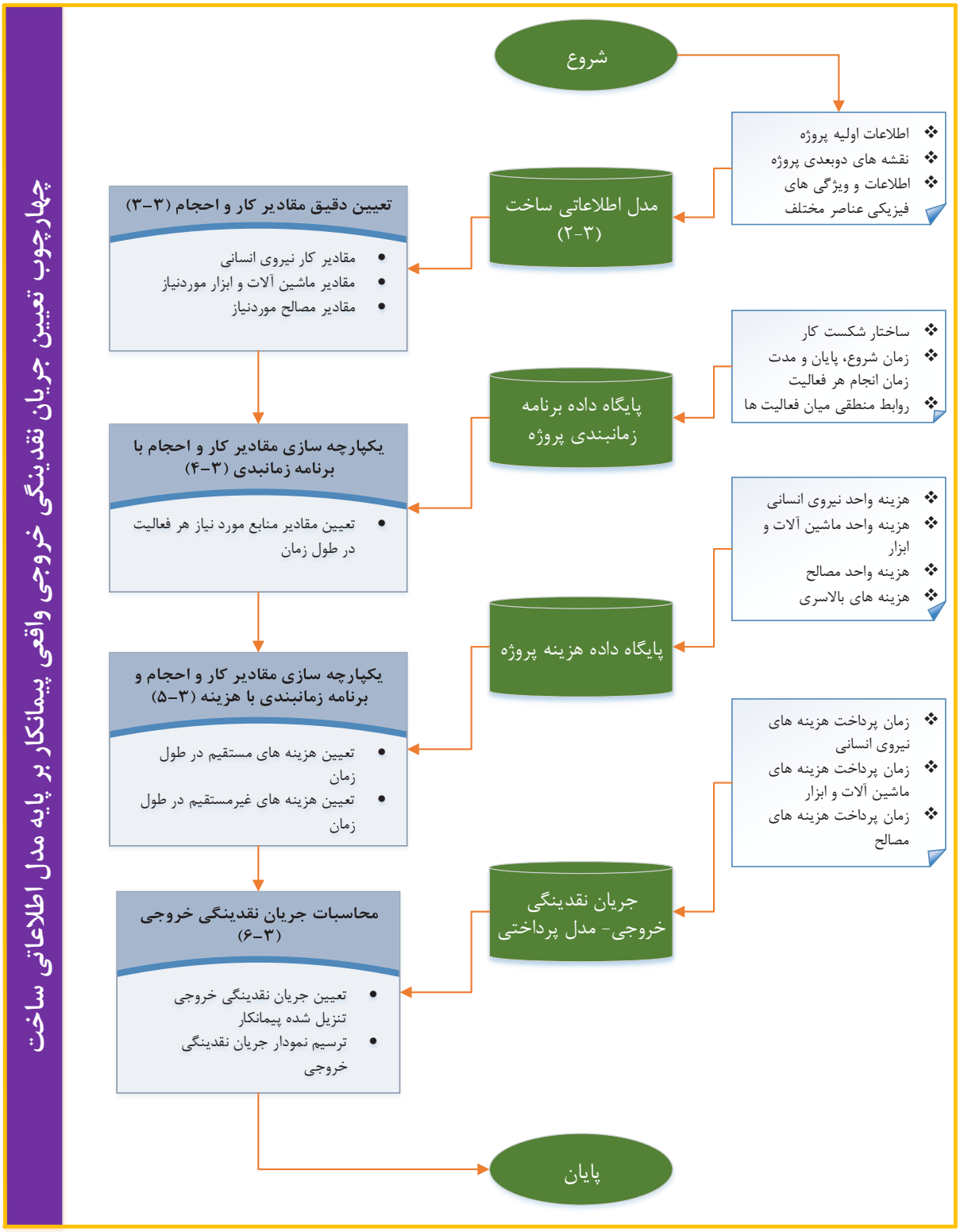
۳- ۳- متره دقیق مقادیر کار و احجام

با بهره‌مندی از ابزارهای مبتنی بر فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساخت می‌توان مقادیر کار و احجام اجزاء مختلف پروژه را محاسبه نمود. این مقادیر می‌بایست براساس واحدهای مناسب خود شمارش شوند که درواقع همان واحدهایی هستند که در فهرست‌بهای منتشرشده توسط سازمان برنامه‌وبودجه ذکر شده است.

پس از تعیین مقادیر کار و احجام هرکدام از اجزاء پروژه، با اختصاص منابع به آن‌ها می‌توان مقادیر ماشین‌آلات و ابزار، نیروی انسانی و مصالح مصرفی برای انجام هرکدام از این فعالیت‌ها را محاسبه نمود.

۳- ۴- یکپارچه‌سازی مقادیر کار و احجام با برنامه زمانبندی

با متصل سازی مقادیر کار و احجام برآورد شده از مدل اطلاعاتی ساخت با پایگاه داده برنامه زمانبندی پروژه، می‌توان مقادیر کار و احجام کاری هریک از منابع پروژه را در طول زمان تعیین نمود. به‌عبارت‌دیگر در این مرحله پیمانکار می‌تواند میزان منابع انسانی، ماشین‌آلات و ابزار و مصالح موردنیاز برای پیشبرد فعالیت‌های پروژه را براساس برنامه زمانبندی و در طول زمان مشاهده نماید.



شکل ۱. مدل مفهومی پژوهش.

Fig. 1. Conceptual model of the research.

۳- ۵- یکپارچه‌سازی مقادیر کار و احجام و برنامه زمانبندی با هزینه

با متصل سازی مقادیر کار و احجام و برنامه زمانبندی با پایگاه داده هزینه پروژه که حاوی اطلاعات هزینه واحد نیروی انسانی، ماشین‌آلات و ابزار، مصالح مصرفی و هزینه‌های بالاسری پروژه است، می‌توان هزینه‌های مستقیم (هزینه منابع انسانی، ماشین‌آلات و ابزار و مصالح) و غیرمستقیم پروژه را در طول زمان مشاهده نمود.

۳- ۶- محاسبات جریان نقدینگی خروجی

مدل یکپارچه مقادیر کار و احجام و برنامه زمانبندی با هزینه، تنها توانایی نمایش هزینه‌های روزانه نیروی انسانی، مواد و مصالح، ماشین‌آلات و ابزار موردنیاز در پروژه بدون در نظرگرفتن مفهوم اختلاف‌زمان را داشته و قادر به محاسبه جریان نقدینگی خروجی پیمانکار نیست. چراکه پیمانکاران هزینه‌های مربوط به منابع مصرفی در پروژه را در همان زمان استفاده از آن‌ها پرداخت نمی‌کنند و معمولاً یک فاصله‌ی زمانی بین زمان بکارگیری یک منبع در پروژه با زمان پرداخت هزینه‌های آن وجود دارد. بنابراین برای رسم دقیق جریان نقدینگی خروجی پیمانکار بایستی مدل‌های پرداختی پیمانکار برای نیروی انسانی، مواد و مصالح، ماشین‌آلات و تجهیزات مشخص شود.

۳- ۶- ۱- مدل پرداختی ماشین‌آلات و ابزار

پیمانکاران ماشین‌آلات و ابزار مصرفی در یک پروژه را از یک یا چند شرکت تأمین‌کننده، فراهم می‌کنند. هرکدام از این ماشین‌آلات و ابزار چه از یک شرکت یا چند شرکت تأمین شوند، مدل پرداختی مختص به خود را دارند. جریان نقدینگی خروجی پیمانکار ناشی از پرداخت هزینه‌های ماشین‌آلات و ابزار i بکارگرفته شده در فعالیت j از رابطه‌ی و فاصله زمانی بین شروع زمان بکارگیری ماشین‌آلات و ابزار i در فعالیت j و زمان پرداخت هزینه آن از رابطه‌ی محاسبه می‌شود.

$$CO_{j,MA_i} = MK_{j,MA_i} \times GV_{MA_i} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق:

CO_{j,MA_i}: جریان نقدینگی خروجی پیمانکار ناشی از پرداخت هزینه‌های ماشین‌آلات و ابزار i بکارگرفته شده در فعالیت j

MK_{j,MA_i}: مقادیر موردنیاز ماشین‌آلات و ابزار i به‌منظور بکارگیری در فعالیت j

GV_{MA_i}: قیمت واحد ماشین‌آلات و ابزار i

$$t^{CO}_{j,MA_i} = t^{\text{شروع}}_{j,MA_i} + T^{\text{پرداخت}}_{MA_i} \qquad (۲)$$

در رابطه فوق:

t^{CO}_{j,MA_i}: زمان پرداخت هزینه ماشین‌آلات و ابزار i بکار گرفته شده در فعالیت j

$t^{\text{پایان}}_{j,MA_i}$: زمان پایان بکارگیری ماشین‌آلات و ابزار i در فعالیت j

$T^{\text{پرداختی}}_{MA_i}$: فاصله زمانی بین زمان شروع بکارگیری ماشین‌آلات و ابزار i و زمان پرداخت هزینه آن

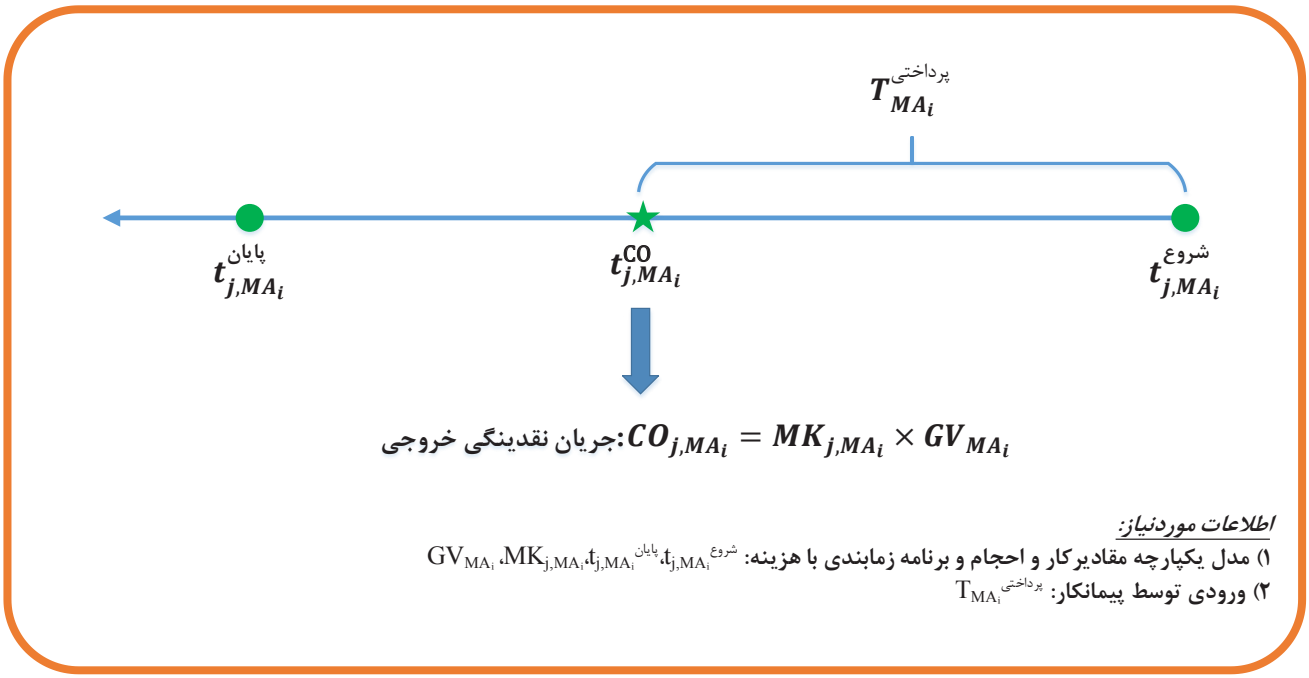
مدل پرداختی و جریان نقدینگی خروجی ماشین‌آلات و ابزار مصرفی در پروژه در شکل ۲ نشان داده شده است.

۳- ۶- ۲- مدل پرداختی نیروی انسانی

حق‌الزحمه نیروی انسانی بکارگرفته شده در پروژه براساس حجم کار انجام شده در هر بازه زمانی پرداختی مشخص، پرداخت می‌شود. به‌عنوان‌مثال حق‌الزحمه‌ی گروه بتن‌ریزی براساس مترمکعب بتن‌ریزی انجام شده توسط این گروه در بازه‌ی زمانی مشخص، پرداخت می‌شود.

مطابق شکل ۳، نیروی انسانی i (NE_i) کار خود را در زمان $t^{\text{شروع}}_{j,NE_i}$ برای انجام فعالیت j آغاز کرده و پس از سپری شدن مدت‌زمان بکارگیری او در این فعالیت $(T^{\text{زمان}}_{j,NE_i})$ در زمان $t^{\text{پایان}}_{j,NE_i}$، کار خود را در این فعالیت به اتمام می‌رساند. پس از گذشت هر بازه زمانی پرداختی به نیروی انسانی $(T^{\text{پرداختی}}_{NE_i})$، پیمانکار براساس حجم کاری که نیروی انسانی i در این دوره‌ی پرداختی انجام داده است، حق‌الزحمه‌ی او را می‌پردازد. تعداد پرداختی‌های انجام شده $(N_{j,i})$ به نیروی انسانی i از تقسیم مدت‌زمان بکارگیری او در فعالیت j به مدت‌زمان هر بازه پرداختی به او محاسبه می‌گردد (رابطه). جریان نقدینگی خروجی پیمانکار ناشی از پرداخت حق‌الزحمه نیروی انسانی i در فعالیت j در هر بازه زمانی پرداختی (CO^n_{j,NE_i}) و زمان هرکدام از این پرداخت‌ها $(t^{CO^n}_{j,NE_i})$ به ترتیب طبق روابط (۳) و (۴) محاسبه می‌شود.

$$CO^n_{j,NE_i} = MK^n_{j,NE_i} \times GV_{NE_i} \qquad (۳)$$



شکل ۲. مدل پرداختی و جریان نقدینگی خروجی ماشین‌آلات و ابزار.

Fig. 2. The payment model and cash outflow of equipment.

$$t^{CO^n_{j,NE_i}} = t^{\text{شروع}}_{j,NE_i} + n \times T^{\text{پرداخت}}_{NE_i} \quad (۴)$$

$$N_{j,i} = \left\lceil \frac{T^{\text{زمان}}_{j,NE_i}}{T^{\text{پرداخت}}_{NE_i}} \right\rceil \quad (۵)$$

در روابط فوق:

CO^n_{j,NE_i}: جریان نقدینگی خروجی پیمانکار ناشی از پرداخت حق‌الزحمه‌ی نیروی انسانی i در فعالیت j و در زمان n امین پرداخت

MK^n_{j,NE_i}: مقادیر کار انجام شده توسط نیروی انسانی i در فعالیت j و در زمان n امین پرداخت

GV_{NE_i}: قیمت واحد نیروی انسانی i

$t^{CO^n}_{j,NE_i}$: زمان پرداخت مبالغ کار انجام شده توسط نیروی انسانی i در فعالیت j و در زمان n امین پرداخت

$t^{\text{شروع}}_{j,NE_i}$: زمان شروع بکارگیری نیروی انسانی i در فعالیت j

$T^{\text{پرداختی}}_{NE_i}$: فاصله بین هر بازه زمانی پرداختی به نیروی انسانی i

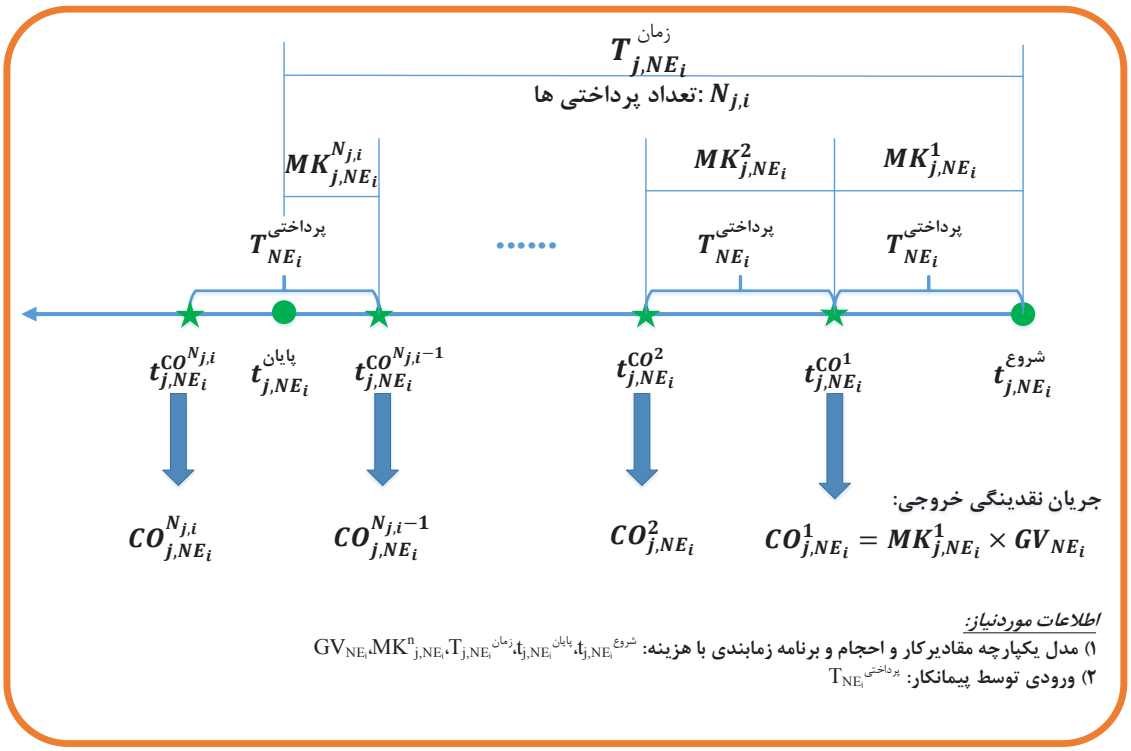
$N_{j,i}$: تعداد کل پرداختی‌های انجام شده به نیروی انسانی i در فعالیت j

$T^{\text{زمان فعالیت}}_{j,NE_i}$: مدت‌زمان بکارگیری نیروی انسانی i در فعالیت j

۳- ۷- مدل پرداختی مصالح مصرفی

در زمان سفارش مصالح، پیمانکار درصدی از مبلغ مصالح خریداری‌شده را به شرکت تأمین‌کننده پرداخت کرده و مبلغ باقی‌مانده را براساس توافق صورت گرفته با شرکت تأمین‌کننده مصالح در زمان مقرر پرداخت می‌کند. عموماً یک فاصله زمانی بین زمان سفارش مصالح تا ورود مصالح به کارگاه و همچنین فاصله زمانی بین زمان ورود مصالح به کارگاه تا زمان استفاده از آن در پروژه وجود دارد.

با توجه به شکل ۴ که نشان‌دهنده مدل پرداختی و جریان نقدینگی خروجی مصالح مصرفی در پروژه است، پیمانکار سفارش خود را برای تهیه مصالح i موردنیاز در فعالیت j در زمان $t^{\text{سفارش}}_{j,MS_i}$ ثبت کرده و در این تاریخ مبلغی از هزینه مصالح (CO^1_{j,MS_i}) را به شرکت تأمین‌کننده پرداخت می‌کند. پس از سپری شدن مدت‌زمان $T^{\text{تحویل}}_{MS_i}$ از زمان ثبت سفارش پیمانکار، مصالح وارد کارگاه شده و بعد از گذشت مدت‌زمان $T^{\text{شروع}}_{MS_i}$ مصالح



شکل ۳. مدل پرداختی و جریان نقدینگی خروجی نیروی انسانی.

Fig. 3. The payment model and cash outflow of human resources.

موردنیاز در فعالیت j به کار گرفته می‌شود. در انتها پس از سپری شدن زمان $T^{پرداخت}_{MS_i}$ از زمان ورود مصالح به کارگاه، پیمانکار در تاریخ $t^{پرداخت}_{j,MS_i}$ مبلغ باقی‌مانده هزینه مصالح دریافت شده (CO^{2}_{j,MS_i}) را تسویه می‌کند. جریان نقدینگی خروجی پیمانکار ناشی از پرداخت هزینه مصالح i در فعالیت j $(CO^{1}_{j,MS_i}$ و $CO^{2}_{j,MS_i})$ و دیگر روابط حاکم بین زمان‌های شروع و پایان فعالیت و زمان‌های پرداختی به شرکت تأمین‌کننده در روابط (۶) الی (۱۰) آورده شده است.

$$CO^{1}_{j,MS_i} = MK_{j,MS_i} \times GV_{MS_i} \times PP\% \quad (۶)$$

$$CO^{2}_{j,MS_i} = MK_{j,MS_i} \times GV_{MS_i} \times (1 - PP_i\%) \quad (۷)$$

$$t^{ل}_{j,MS_i}{}^{تحویل} = t^{ش}_{j,MS_i}{}^{سفارش} + T^{ل}_{MS_i}{}^{تحویل} \quad (۸)$$

$$t^{ع}_{j,MS_i}{}^{شروع} = t^{ش}_{j,MS_i}{}^{سفارش} + T^{ل}_{MS_i}{}^{تحویل} + T^{ع}_{MS_i}{}^{شروع} \quad (۹)$$

$$t^{ت}_{j,MS_i}{}^{پرداخت} = t^{ع}_{j,MS_i}{}^{شروع} + T^{ت}_{MS_i}{}^{پرداخت} \quad (۱۰)$$

در روابط فوق:

CO^{1}_{j,MS_i}: جریان نقدینگی خروجی پیمانکار ناشی از پرداخت درصدی از هزینه مصالح i موردنیاز برای فعالیت j در زمان ثبت سفارش

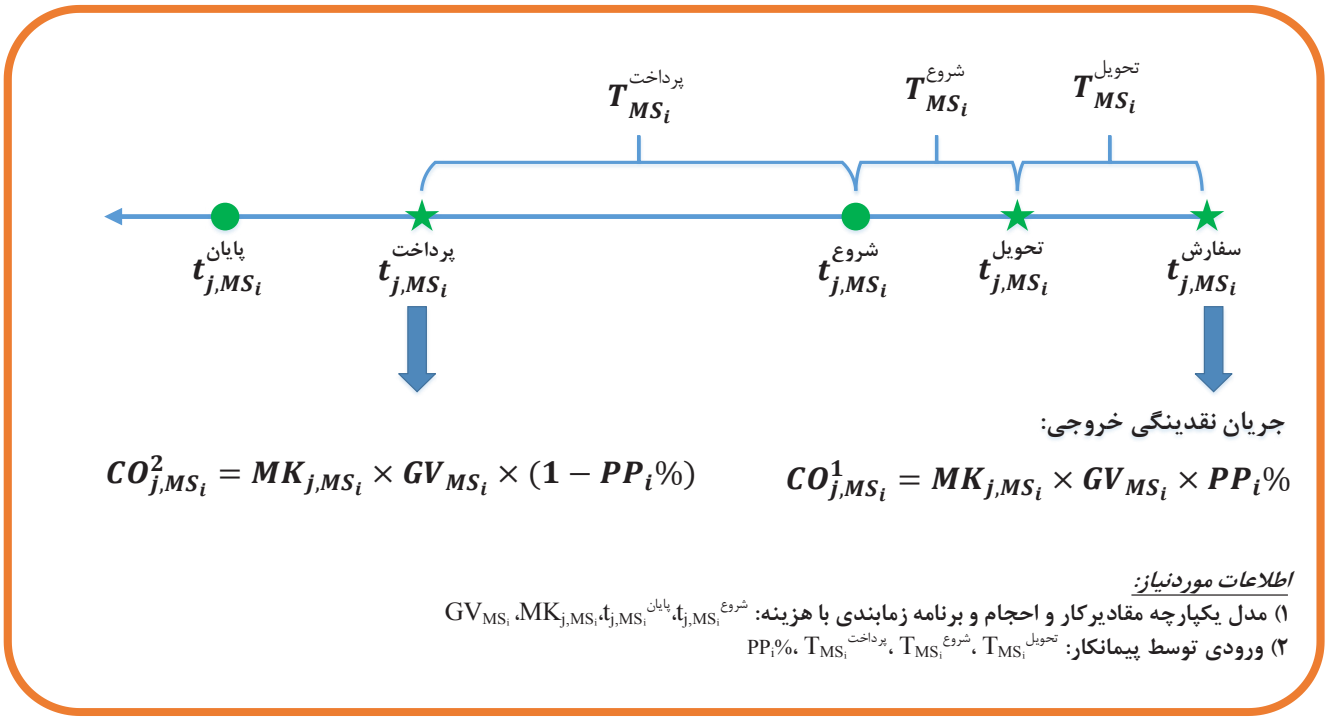
MK_{j,MS_i}: مقادیر مصالح موردنیاز i به‌منظور بکارگیری در فعالیت j

GV_{MS_i}: قیمت واحد مصالح i

$PP_i\%$: درصدی از قیمت مصالح خریداری‌شده i که در هنگام ثبت سفارش پرداخت می‌شود

$t^{تحویل}_{j,MS_i}$: زمان ورود مصالح i بکارگرفته شده در فعالیت j به کارگاه

$t^{سفارش}_{j,MS_i}$: زمان ثبت سفارش مصالح i بکارگرفته شده در فعالیت j



شکل ۴. مدل پرداختی و جریان نقدینگی خروجی مصالح مصرفی.

Fig. 4. The payment model and cash outflow of materials.

$T_{MS_i}^{تحویل}$: فاصله زمانی بین ثبت سفارش پیمانکار و زمان ورود مصالح i به کارگاه

$t_{j,MS_i}^{شروع}$: زمان شروع اجرای فعالیت j که در آن مصالح i بکارگرفته شده است

$T_{MS_i}^{شروع}$: فاصله زمانی بین ورود مصالح i به کارگاه و زمان استفاده از آن

$t_{j,MS_i}^{پرداخت}$: زمان پرداخت مبلغ باقی‌مانده هزینه مصالح i بکارگرفته شده در فعالیت j

$T_{MS_i}^{پرداخت}$: فاصله زمانی بین زمان شروع فعالیت j و زمان پرداخت مبلغ باقی‌مانده هزینه مصالح i

۳- ۷- ۱- تعیین جریان نقدینگی خروجی تنزیل شده

پس از تعیین جریان نقدینگی خروجی ماشین‌آلات و ابزار، نیروی انسانی و مصالح مصرفی در پروژه می‌توان جریان نقدینگی خروجی روزانه و جریان نقدینگی خروجی تنزیل شده را براساس روابط (۱۱) الی (۱۳) به دست آورد.

$$CO^t = CO^t_{MA} + CO^t_{NE} + CO^t_{MS} + CO^t_{BA} \quad (۱۱)$$

$$Cash\,outflow = \frac{CO^t}{(1+i)^t} \quad (۱۲)$$

$$Cumulative\,Cash\,outflow = \sum_{t=1}^{T} \frac{CO^t}{(1+i)^t} \quad (۱۳)$$

در روابط فوق:

CO^t_{MA}: جریان نقدینگی خروجی پیمانکار ناشی از پرداخت هزینه‌های ماشین‌آلات و تجهیزات در روز t

CO^t_{NE}: جریان نقدینگی خروجی پیمانکار ناشی از پرداخت هزینه‌های نیروی انسانی در روز t

CO^t_{MS}: جریان نقدینگی خروجی پیمانکار ناشی از پرداخت هزینه‌های

مصالح در روز t

CO^t_{BA}: جریان نقدینگی خروجی پیمانکار ناشی از پرداخت هزینه‌های بالاسری در روز t

CO^t: جریان نقدینگی خروجی پیمانکار در روز t

i: نرخ بازگشت سرمایه

۴- پیاده‌سازی و تحلیل نتایج

در این بخش، ابتدا بستری برای تعیین جریان نقدینگی خروجی پیمانکار و ترسیم نمودارهای مربوط به آن در محیط مدل‌سازی اطلاعات ساخت توسعه داده می‌شود. سپس به منظور تبیین توانمندی‌های بستر ارائه شده، تمایز آن با رویکردهای متداول برنامه‌ریزی و تعیین هزینه پروژه نظیر ابزارهایی مانند Microsoft Project نشان داده می‌شود. در نهایت، جریان نقدینگی خروجی پیمانکار در یک پروژه نمونه محاسبه شده و تأثیر درنظرگرفتن نمودار هزینه کل به‌جای نمودار جریان نقدینگی خروجی واقعی پیمانکار بر میزان نقدینگی پیمانکار در طول پروژه و مقدار سود وی بررسی می‌شود.

۴- ۱- پیاده‌سازی بستر تعیین جریان نقدینگی خروجی پیمانکار

به‌منظور پیاده‌سازی مدل مطرح‌شده در بخش گذشته برای محاسبه جریان نقدینگی خروجی پیمانکار، بستری که برپایه اطلاعات جمع‌آوری‌شده از مدل اطلاعاتی ساخت و دیگر منابع از قبیل پایگاه داده برنامه زمانبندی پروژه و بهای فعالیت‌های پروژه است، توسعه داده شده است. بر اساس فرآیند کاری نشان‌داده شده در شکل ۵، پیاده‌سازی مدل شامل دو بخش اصلی است: تعیین دقیق مقادیر کار و احجام مبتنی بر مدل اطلاعاتی ساخت و فرآیند تعیین جریان نقدینگی خروجی پیمانکار.

یکی از قابلیت‌های مدل‌سازی اطلاعات ساخت، برآورد دقیق مقادیر کار و احجام فعالیت‌های پروژه است. برای این منظور از نرم‌افزار Autodesk Navisworks که با Revit (نرم‌افزاری محبوب در زمینه ساخت مدل سه‌بعدی اطلاعات ساخت) سازگار است؛ بهره گرفته شد.

در طرف مقابل به‌منظور محاسبه جریان نقدینگی خروجی پروژه و ترسیم نمودار مربوط به آن ابتدا اطلاعات اولیه پروژه از قبیل نام پروژه، کارفرما، مشاور، پیمانکار و نرخ بازگشت سرمایه و فایل‌های موردنیاز پروژه همچون اطلاعات مربوط به فایل برنامه زمانبندی پروژه و محل فایل‌های منابع پروژه به برنامه داده می‌شود.

پس از واردکردن اطلاعات کلی پروژه با توجه به ساختارشکست منابع تهیه‌شده توسط برنامه، اطلاعات مربوط به جریان نقدینگی خروجی هریک از منابع نیروی انسانی ($T_{NE_i}^{\text{پرداختی}}$)، ماشین‌آلات و ابزار ($T_{MA_i}^{\text{پرداختی}}$) و مصالح ($T_{MS_i}^{\text{تحویل}}$، $T_{MS_i}^{\text{شروع}}$، $T_{MS_i}^{\text{پرداخت}}$ و $\%PP_i$) وارد بستر توسعه داده شده می‌شود. علاوه براین؛ هزینه بالاسری (غیرمستقیم) ماهانه پیمانکار نیز در این قسمت از برنامه توسط پیمانکار وارد می‌شود. نمای این قسمت از برنامه به‌صورت شکل ۶ است.

در پایان براساس اطلاعات دریافتی از قسمت اطلاعات کلی پروژه و اطلاعات جریان نقدینگی خروجی پروژه، هزینه‌های روزانه منابع نیروی انسانی، ماشین‌آلات و مصالح و به‌تبع آن هزینه‌های مستقیم روزانه پیمانکار محاسبه می‌شود. سپس با توجه به هزینه‌های غیرمستقیم روزانه، جریان نقدینگی خروجی روزانه و تجمعی تنزیل شده پیمانکار تعیین می‌شود.

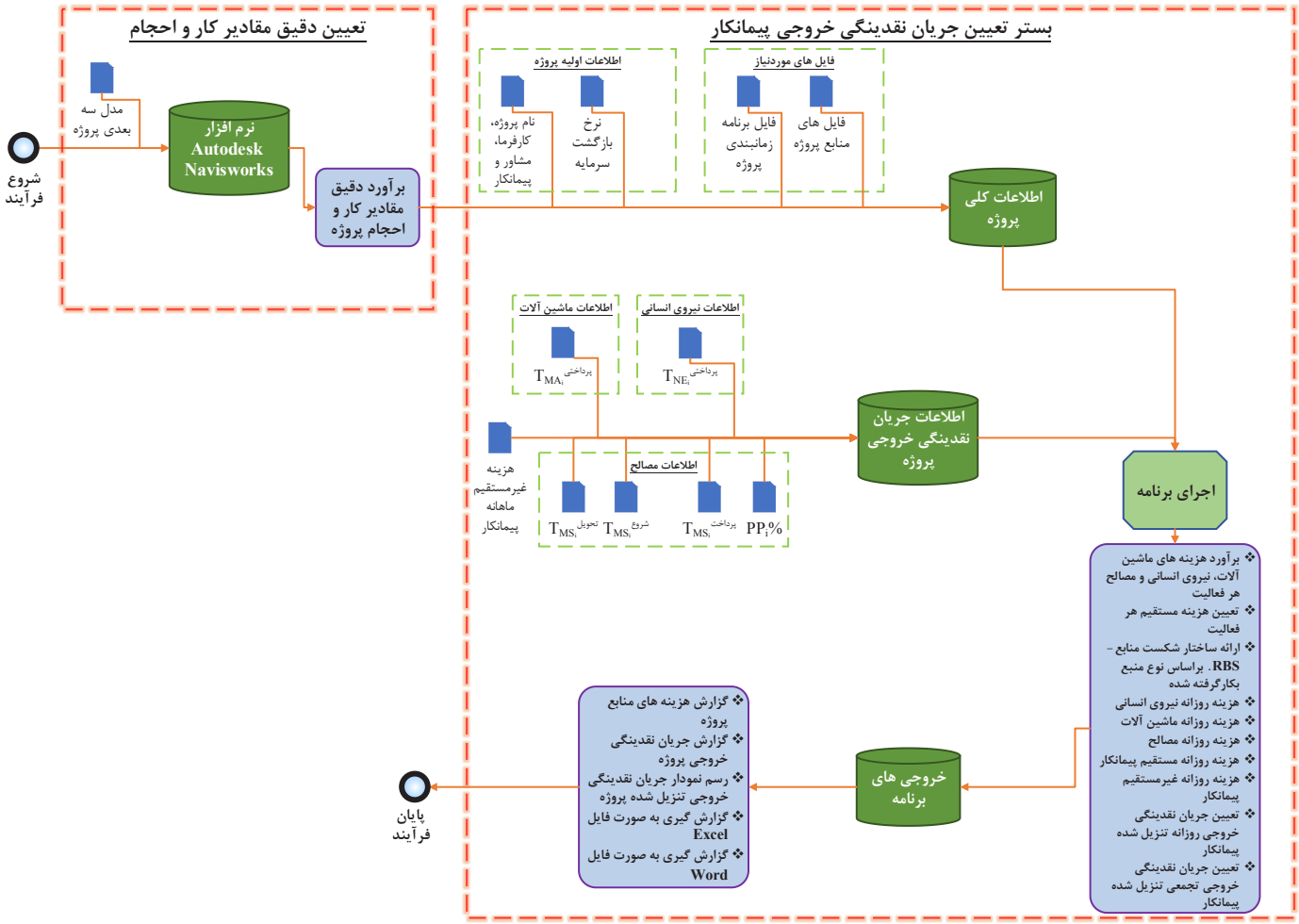
تمامی محاسبات انجام شده و اطلاعات ذخیره‌شده در بستر تدوین‌شده به‌عنوان خروجی‌های برنامه که عبارتند از: گزارش هزینه‌های منابع پروژه، گزارش جریان نقدینگی خروجی پروژه و ترسیم نمودار جریان نقدینگی خروجی پروژه با فرمت‌های اکسل[1] و ورد[2] قابل مشاهده است.

۴- ۲- مقایسه الگوهای شناسایی هزینه در Microsoft Project با جریان نقدینگی خروجی واقعی

در نرم‌افزار Microsoft Project، برای منابع تنها سه الگوی اصلی شناسایی هزینه در نظر گرفته می‌شود: تخصیص هزینه در ابتدای فعالیت، توزیع یکنواخت هزینه در طول مدت فعالیت و یا ثبت هزینه در زمان اتمام آن. بر این اساس، امکان ترسیم نمودار تغییرات هزینه منابع در طول زمان فراهم می‌شود. با این حال، این خروجی‌ها بیانگر زمان واقعی خروج وجه نقد از سوی پیمانکار نیستند. جریان نقدینگی خروجی در ذات خود متضمن فاصله زمانی میان وقوع هزینه و زمان پرداخت آن است و مدل‌سازی آن مستلزم لحاظ‌کردن نوع منبع و رویه‌های واقعی پرداخت در پروژه می‌باشد. برای مثال، پرداخت دستمزد نیروی انسانی در بسیاری از پروژه‌ها به‌صورت دوره‌ای (معمولاً در پایان هر ماه) انجام می‌شود و هزینه مصالح نیز غالباً به‌صورت اعتباری، با تأخیر زمانی مشخص یا به‌شکل ترکیبی از پرداخت نقدی و اعتباری تسویه می‌گردد. این الگوهای پرداخت در مدل مبتنی بر نرم افزار MSP[3] قابل نمایش نیستند.

به‌منظور تبیین این محدودیت، سه نمودار حاصل از الگوهای شناسایی هزینه در Microsoft Project شامل تخصیص هزینه در ابتدای فعالیت،

1. Microsoft Excel
2. Microsoft Word
3. Microsoft Project (MSP)



شکل ۵. روند کاری پیاده‌سازی مدل مطرح‌شده.

Fig. 5. Workflow of implementing the proposed model.

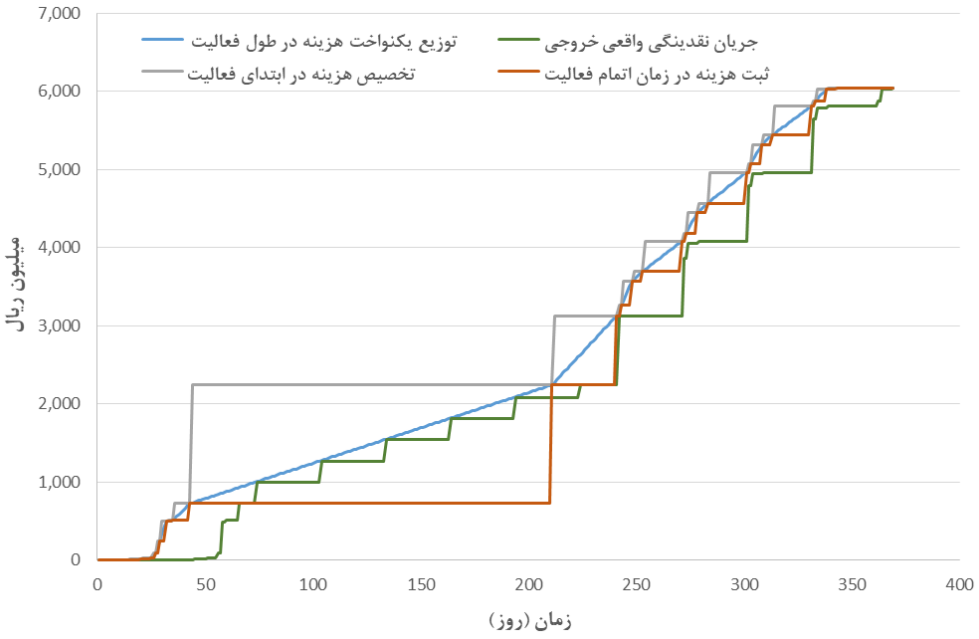
توزیع یکنواخت در طول فعالیت و ثبت هزینه در زمان اتمام فعالیت برای منابع انسانی پروژه رسم و با نمودار جریان نقدینگی خروجی واقعی مقایسه می‌شود. از آنجا که سازوکار شناسایی هزینه در MSP برای سایر انواع منابع نیز به همین سه الگو محدود است، نمونه ارائه‌شده برای نیروی انسانی نمایانگر رفتار این نرم‌افزار در قبال سایر منابع نیز خواهد بود.

شکل ۷ مقایسه جریان نقدینگی خروجی واقعی پیمانکار با سه حالت شناسایی هزینه در MSP را نشان می‌دهد. مقایسه این نمودارها حاکی از آن است که:

- تخصیص هزینه در ابتدای فعالیت باعث ایجاد پیک‌های غیرواقعی شده و ممکن است نیاز نقدینگی پیمانکار را بیش از حد برآورد کند، زیرا هزینه‌ها زودتر از واقعیت در نمودار ظاهر می‌شوند.
- شاید بتوان گفت، توزیع یکنواخت هزینه نزدیک‌ترین الگو به جریان واقعی است، اما همچنان پراکندگی پرداخت‌ها و اثرات زمانی واقعی را منعکس نمی‌کند و نمی‌تواند اختلاف میان زمان وقوع هزینه و زمان پرداخت واقعی را نشان دهد.
- ثبت هزینه در پایان فعالیت باعث ایجاد فاصله زمانی با جریان نقدینگی واقعی شده و ممکن است برنامه‌ریزی تأمین مالی پیمانکار را به تأخیر بیندازد. زیرا نمودار MSP به اشتباه نشان می‌دهد که پرداخت‌ها دیرتر انجام می‌شوند، در حالی که در واقع بخشی از هزینه‌ها پیش از اتمام

شکل ۶. صفحه اطلاعات جریان نقدینگی خروجی پروژه در نرم‌افزار.

Fig. 6. Project cash outflow information page in the software.



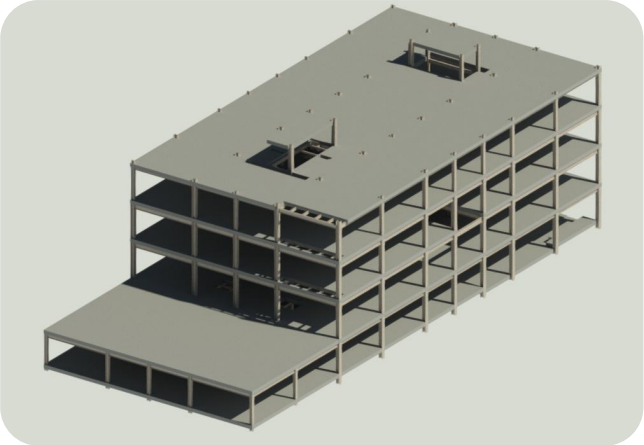
شکل ۷. مقایسه میان جریان نقدینگی خروجی واقعی با مدل های شناسایی هزینه در MSP.

Fig. 7. Comparison between actual cash outflow and cost identification models in MSP.

جدول ۱. مشخصات کلی پروژه موردمطالعه.

Table 1. General specifications of the case study project.

مشخصه	مقدار
مدت زمان پروژه	۳۴۳ روز
هزینه کل پروژه	۴۴،۹۲۹،۵۰۶،۱۸۸ ریال
نرخ تنزیل	۱۸ درصد
ضریب طبقات	۱/۰۲
ضریب بالاسری	۱/۳
کسورات حق بیمه	۵ درصد از مبلغ هر صورت‌وضعیت
تضمین حسن انجام کار	۱۰ درصد از مبلغ هر صورت‌وضعیت



شکل ۸. مدل سه‌بعدی پروژه موردمطالعه.

Fig. 8. Three-dimensional model of the case study project.

فعالیت پرداخت شده است.

این مقایسه به‌وضوح محدودیت‌های MSP در بازنمایی جریان نقدینگی واقعی را نشان می‌دهد و ضرورت مدل و بستر پیشنهاد شده برای تعیین دقیق و مدیریت بهنگام نیاز نقدینگی پیمانکار را برجسته می‌کند.

۴- ۳- مطالعه موردی و تعیین جریان نقدینگی خروجی

به‌منظور پیاده‌سازی مدل مطرح‌شده و تعیین جریان نقدینگی خروجی پیمانکار با استفاده از بستر توسعه داده‌شده، پروژه‌ای عملی درنظر گرفته شده است. پروژه مذکور، انجام عملیات گودبرداری و سفت‌کاری ساختمان ۴ طبقه اسکلت فلزی اداری با زیربنای تقریبی ۵۰۰۰ مترمربع است. مشخصات کلی و نمایی از مدل سه‌بعدی پروژه به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۸ آورده شده است.

با توجه به اطلاعات دریافتی از پروژه بستر تعیین جریان نقدینگی خروجی پیمانکار اجرا شده و گزارش هزینه‌های منابع پروژه و گزارش جریان نقدینگی خروجی پروژه با فرمت‌های اکسل و ورد و تهیه شده و به‌صورت اشکال ۹ و ۱۰ است.

۴- ۴- مقایسه جریان نقدینگی خروجی و هزینه کل پروژه

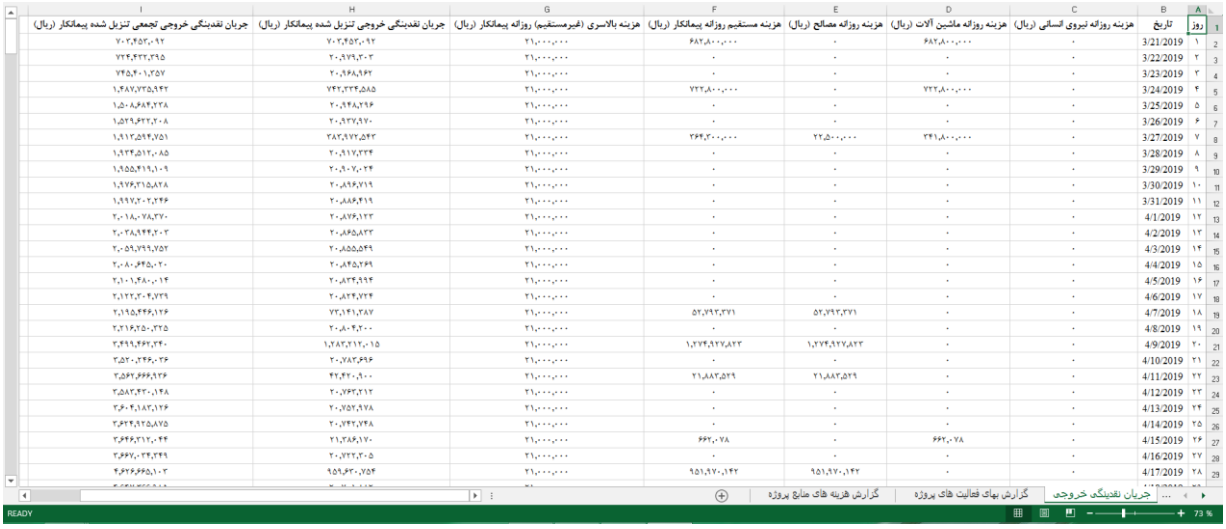
به‌منظور شناسایی تمایز میان هزینه کل و جریان نقدینگی خروجی و بررسی میزان تأثیر درنظرگرفتن یا نگرفتن مدل‌های واقعی پرداختی پیمانکار در میزان نقدینگی و سود حاصله؛ ابتدا جریان نقدینگی واقعی خروجی پیمانکار در پروژه مورد مطالعه با هزینه کل مقایسه می‌شود، سپس با درنظرگرفتن چند سناریو توانمندی مدل مطرح شده به ویژه در زمینه درنظرگرفتن مدل واقعی پرداخت بابت مصالح و نیروی انسانی مطرح می‌گردد. در نهایت سناریوهای مطروحه بایکدیگر از منظر سودآوری و نقدینگی مقایسه می‌شوند.

۴- ۴- ۱- بررسی تمایز میان جریان نقدینگی خروجی پروژه و هزینه کل

در شکل ۱۱ نمودارهای مربوط به هزینه کل پروژه و جریان نقدینگی خروجی واقعی پیمانکار به انضمام تفاضل میان این دو نمودار آورده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، نمودار هزینه کل قادر به نمایش دقیق هزینه‌های واقعی پیمانکار در زمان وقوع آن‌ها نیست. اگرچه این نمودار سودآوری پروژه را تنها حدود ۰/۹ درصد کمتر از میزان واقعی خود برآورد می‌کند، اما میزان نقدینگی موردنیاز پیمانکار را حدود ۴۱ درصد بیش از مقدار واقعی نشان می‌دهد. این بیش‌برآورد قابل‌توجه می‌تواند پیمانکار را به اتخاذ تدابیر تأمین مالی بیش از نیاز واقعی سوق دهد.

۴- ۴- ۲- سناریوهای مرتبط با پرداخت هزینه مصالح

در این قسمت دو سناریو مرتبط با پرداخت هزینه‌های مواد و مصالح مصرفی مطرح می‌گردد. در سناریو اول کل مبالغ مربوط به مصالح یک ماه پس از استفاده در هریک از فعالیت‌های پروژه به تأمین کنندگان پرداخت



روز	تاریخ	هزینه روزانه نیروی انسانی (ریال)	هزینه روزانه ماشین آلات (ریال)	هزینه روزانه مصالح (ریال)	هزینه مستقیم روزانه پیمانکار (ریال)	هزینه بالاسری (غیرمستقیم) روزانه پیمانکار (ریال)	جریان نقدینگی خروجی تنزیل شده پیمانکار (ریال)	جریان نقدینگی خروجی تجمعی تنزیل شده پیمانکار (ریال)
۱	3/21/2019	۰	۶۸۲,۸۰۰,۰۰۰	۰	۶۸۲,۸۰۰,۰۰۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۷۰۳,۴۵۲,۰۹۲	۷۰۳,۴۵۲,۰۹۲
۲	3/22/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۶۷۹,۳۰۳	۷۲۴,۴۳۲,۳۹۵
۳	3/23/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۶۸۹,۱۶۲	۷۴۵,۴۰۱,۲۵۷
۴	3/24/2019	۰	۷۲۲,۸۰۰,۰۰۰	۰	۷۲۲,۸۰۰,۰۰۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۷۴۲,۳۳۴,۵۸۵	۱,۴۸۷,۷۳۵,۹۴۲
۵	3/25/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۹۴۸,۲۹۶	۱,۵۰۸,۸۴۴,۲۳۸
۶	3/26/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۹۳۷,۹۷۰	۱,۵۲۹,۴۲۲,۲۰۸
۷	3/27/2019	۰	۳۴۱,۸۰۰,۰۰۰	۲۲,۵۰۰,۰۰۰	۳۶۴,۳۰۰,۰۰۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۳۸۳,۹۷۲,۵۴۳	۱,۹۱۲,۵۹۴,۷۵۱
۸	3/28/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۹۱۲,۳۳۴	۱,۹۳۴,۵۱۲,۰۸۵
۹	3/29/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۹۰۷,۰۲۴	۱,۹۵۵,۴۱۹,۱۰۹
۱۰	3/30/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۸۹۶,۷۱۹	۱,۹۷۶,۲۱۵,۸۲۸
۱۱	3/31/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۸۸۶,۴۱۹	۱,۹۹۷,۰۲۰,۲۴۶
۱۲	4/1/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۸۷۶,۱۲۳	۲,۰۱۸,۰۷۸,۳۷۰
۱۳	4/2/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۸۶۵,۸۳۳	۲,۰۳۸,۹۴۴,۲۰۳
۱۴	4/3/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۸۵۵,۵۴۹	۲,۰۵۹,۷۹۹,۷۵۲
۱۵	4/4/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۸۴۵,۶۹۱	۲,۰۸۰,۶۴۵,۰۲۰
۱۶	4/5/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۸۳۴,۹۹۴	۲,۱۰۱,۴۸۰,۰۱۴
۱۷	4/6/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۸۲۴,۷۲۴	۲,۱۲۲,۳۰۴,۷۳۹
۱۸	4/7/2019	۰	۰	۵۲,۲۹۳,۳۷۱	۵۲,۲۹۳,۳۷۱	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۷۳,۱۴۱,۳۸۷	۲,۱۹۵,۴۴۶,۱۲۶
۱۹	4/8/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۸۰۴,۲۰۰	۲,۲۱۶,۲۵۰,۳۲۵
۲۰	4/9/2019	۰	۰	۱,۲۷۴,۹۲۷,۸۲۳	۱,۲۷۴,۹۲۷,۸۲۳	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۱,۲۸۲,۱۲۰,۰۱۵	۳,۴۹۹,۴۶۲,۳۴۰
۲۱	4/10/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۷۸۳,۶۹۶	۳,۵۲۰,۲۴۶,۰۲۶
۲۲	4/11/2019	۰	۰	۲۱,۸۸۳,۵۲۹	۲۱,۸۸۳,۵۲۹	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۴۷,۴۲۰,۹۰۰	۳,۵۶۷,۶۶۶,۹۲۶
۲۳	4/12/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۷۶۳,۲۱۲	۳,۵۸۳,۴۳۰,۱۴۸
۲۴	4/13/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۷۵۲,۹۷۸	۳,۶۰۴,۱۸۳,۱۲۶
۲۵	4/14/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۷۴۲,۷۴۸	۳,۶۲۴,۹۲۵,۸۷۵
۲۶	4/15/2019	۰	۶۶۲,۰۷۸	۰	۶۶۲,۰۷۸	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۱,۳۸۶,۱۷۰	۳,۶۴۶,۳۱۲,۰۴۴
۲۷	4/16/2019	۰	۰	۰	۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۲۰,۷۲۲,۳۰۵	۳,۶۶۷,۰۳۴,۲۴۹
۲۸	4/17/2019	۰	۰	۹۵۱,۹۷۰,۱۴۲	۹۵۱,۹۷۰,۱۴۲	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۹۵۹,۶۳۰,۷۵۴	۴,۶۲۶,۶۶۵,۱۰۳

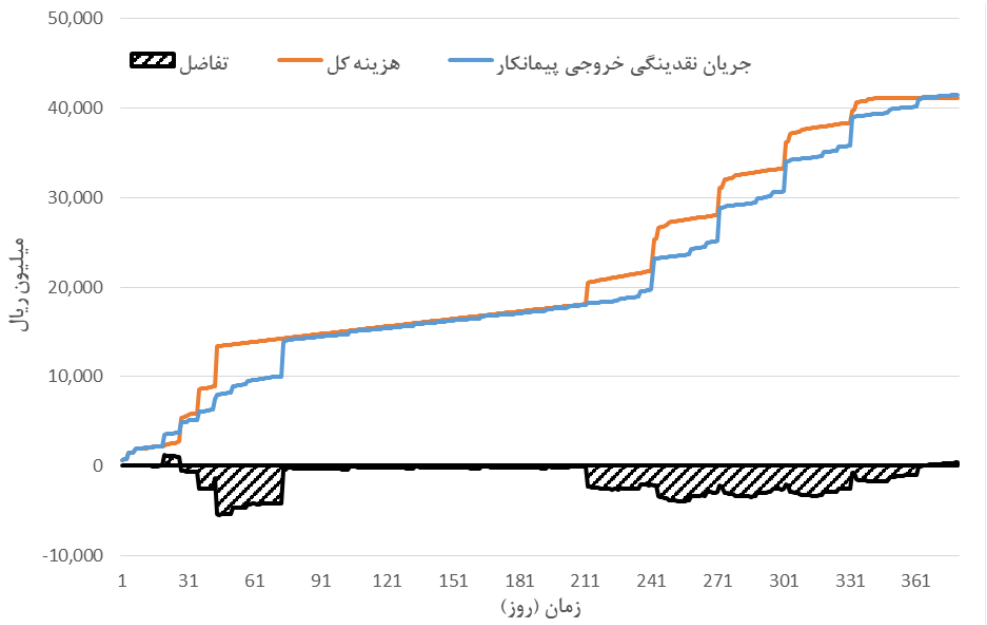
شکل ۹. گزارش جریان نقدینگی خروجی پروژه در فرمت اکسل.

Fig. 9. Project cash outflow report in Excel format.

03.1	مصالح موردنیاز برای تامین شبکه آبرسانی	6 days	04/04/2019	04/09/2019	1.00	-	مصالح	15,000,000	15,000,000
1.8	تامین برق کارگاه	6 days	04/04/2019	04/09/2019	1.00	-			60,000,000
01.2	نیروی انسانی موردنیاز برای تامین شبکه برق	6 days	04/04/2019	04/09/2019	1.00	-	نیروی انسانی	12,000,000	12,000,000
02.7	تجهیزات موردنیاز برای تامین شبکه برق	6 days	04/04/2019	04/09/2019	1.00	-	ماشین آلات و ابزار	18,000,000	18,000,000
03.2	مصالح موردنیاز برای تامین شبکه برق	6 days	04/04/2019	04/09/2019	1.00	-	مصالح	30,000,000	30,000,000
2.1	گودبرداری و پی کنی	5 days	04/10/2019	04/14/2019	7,611.35	m^3			171,028,982
01.3	سرکارگر	5 days	04/10/2019	04/14/2019	38.82	نفرساعت	نیروی انسانی	81,273	3,154,846
01.4	کارگر ساده	5 days	04/10/2019	04/14/2019	115.69	نفرساعت	نیروی انسانی	70,696	8,178,999
02.8	بولدوزر به قدرت حدود ۲۰۰ اسب بخار پارانده	5 days	04/10/2019	04/14/2019	180.39	دستگاه‌ساعت	ماشین آلات و ابزار	737,735	159,693,337
2.2	اجرای بتن مگر	2 days	04/15/2019	04/16/2019	152.84	m^3			184,371,055
01.5	متصدی ماشینهای بتن ساز (بتونیرچی)	2 days	04/15/2019	04/16/2019	84.04	نفرساعت	نیروی انسانی	94,086	6,325,337
01.4	کارگر ساده	2 days	04/15/2019	04/16/2019	694.72	نفرساعت	نیروی انسانی	70,696	39,291,177
01.6	استاد کار کارهای بتنی	2 days	04/15/2019	04/16/2019	28.01	نفرساعت	نیروی انسانی	122,060	2,735,337
01.7	بنای بتن کار	2 days	04/15/2019	04/16/2019	84.04	نفرساعت	نیروی انسانی	94,759	6,370,583

شکل ۱۰. گزارش جریان نقدینگی خروجی پروژه در فرمت ورد..

Fig. 10. Project cash outflow report in Word format.



شکل ۱۱. مقایسه جریان نقدینگی خروجی پیمانکار با هزینه کل.

Fig. 11. Comparison of contractor's cash outflow with total cost.

شده و مبلغی به عنوان پیش پرداخت در زمان سفارش پرداخت نمی‌شود (خرید کاملاً اعتباری). این درحالی است که در سناریو دوم، پنجاه درصد هزینه‌های مربوط به مصالح در زمان سفارش و پنجاه درصد مبلغ آن یک ماه پس از استفاده در هر فعالیت پرداخت می‌گردد. لازم به ذکر است شیوه پرداختی بابت نیروی انسانی و ماشین آلات و ابزار در هر دو سناریو یکسان درنظر گرفته شده است.

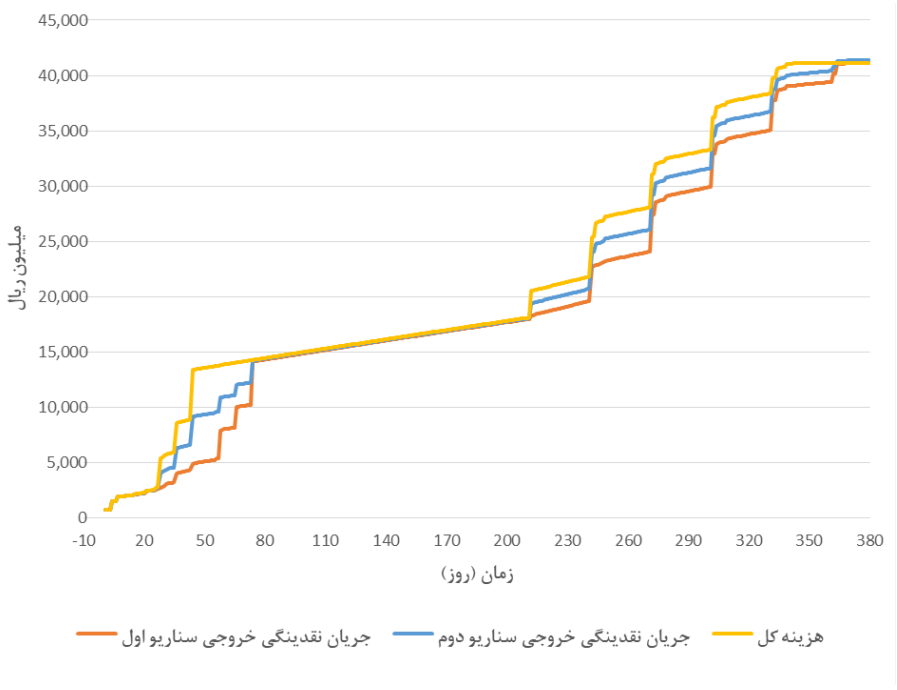
نمودارهای مربوط به هزینه کل و جریان نقدینگی خروجی پروژه در دو سناریو مطرح شده در شکل ۱۲ ترسیم شده است.

در صورت ثابت درنظرگرفتن نمودار جریان نقدینگی ورودی پروژه در هر دو حالت مربوط به نمودار هزینه کل و نمودار جریان نقدینگی خروجی پیمانکار برای هر دو سناریو، میزان سودآوری پروژه با درنظرگرفتن نمودار جریان نقدینگی خروجی واقعی پیمانکار حدود ۰/۳، ۰/۷ درصد به ترتیب برای سناریوهای اول و دوم بیشتر از این مقدار با درنظرگرفتن نمودار هزینه کل است. بنابراین می‌توان گفت که از منظر تعیین میزان سودآوری پیمانکار نمودار هزینه کل نسبت به نمودار جریان نقدینگی خروجی واقعی پیمانکار خطای بسیار کمی دارد و موضوع ارزش زمانی پول که موجب بروز این تغییر شده، بر پروژه موردمطالعه تأثیر چندانی ندارد.

باوجود درصد خطای پایین نمودار هزینه کل در تعیین سودآوری پروژه، عدم درنظرگرفتن مدل‌های واقعی پرداختی برای مصالح، موجب می‌شود تا بیشترین میزان نقدینگی پیمانکار در طول پروژه به‌اشتباه حدود ۶۴ درصد برای سناریو اول و ۳۲ درصد برای سناریو دوم بیش‌تر از میزان واقعی خود درنظر گرفته شود. این موضوع می‌تواند پیمانکار را برای تأمین این میزان نقدینگی که نیازی به آن نیست وارد چالش کند. همچنین همان‌طور که مشاهده می‌شود تفاضل میان نمودارهای جریان نقدینگی خروجی پیمانکار و هزینه کل پروژه در طول مدت‌زمان اجرای پروژه برای هر دو سناریو در اکثر زمان‌ها (۹۳ و ۹۲ درصد کل زمان پروژه به ترتیب برای سناریوهای اول و دوم) منفی بوده که این موضوع حاکی از برآورد بیش‌ازحد هزینه‌های روزمره توسط نمودار هزینه کل نسبت به نمودار جریان نقدینگی خروجی است. برآورد اشتباهی که پیمانکار را وارد چالشی برای تأمین مالی موردنیاز می‌کند که اصلاً نیازی به آن نیست.

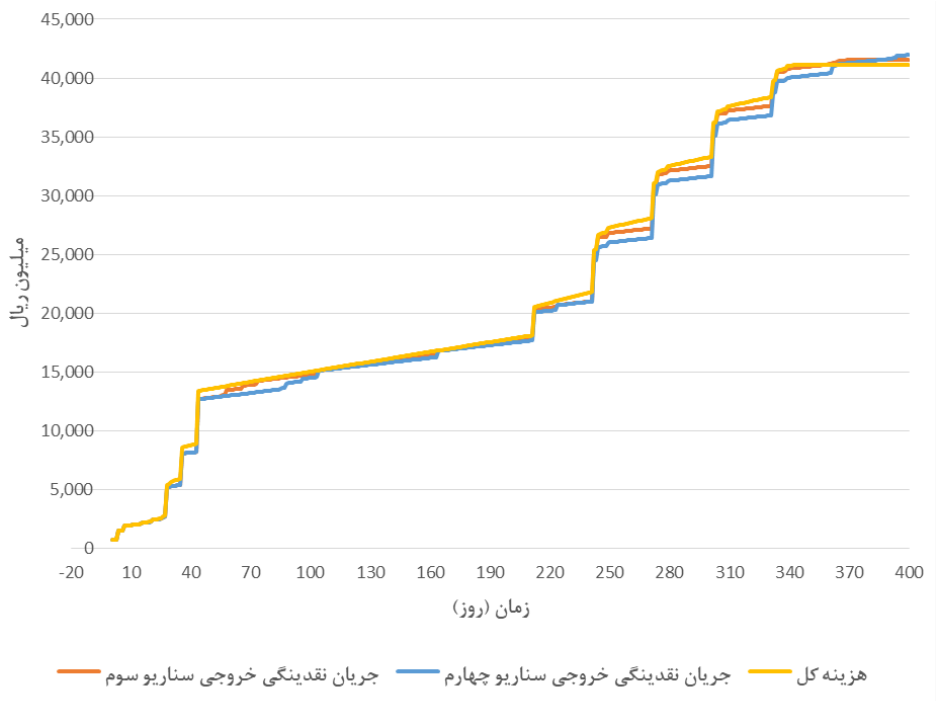
۴- ۴- ۳- سناریوهای مرتبط با پرداخت هزینه نیروی انسانی

به‌منظور بررسی اثر تغییر در شیوه پرداخت به نیروی انسانی پروژه، سناریوهای سوم و چهارم مورد تحلیل قرار گرفته‌اند که نتایج آن‌ها در شکل ۱۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که از منظر سودآوری، اختلاف میان هزینه کل و جریان نقدینگی خروجی در سناریوهای سوم و چهارم به‌ترتیب



شکل ۱۲. نمودار جریان نقدینگی خروجی و هزینه کل پروژه برای سناریوهای اول و دوم.

Fig. 12. Cash outflow and total project cost diagram for the first and second scenarios.



شکل ۱۳. نمودار جریان نقدینگی خروجی و هزینه کل پروژه برای سناریوهای سوم و چهارم.

Fig. 13. Cash outflow and total project cost diagram for the third and fourth scenarios.

جدول ۲. مقایسه سناریوهای پرداخت مصالح و نیروی انسانی از منظر سودآوری و نیاز نقدینگی پیمانکار.

Table 2. Comparison of payment scenarios for materials and human resources from the perspective of profitability and contractor's liquidity needs.

سناریو	سودآوری (درصد خطا نسبت به نمودار هزینه کل)	نقدینگی (درصد خطا نسبت به نمودار هزینه کل)
اول	۰/۳۱	۶۳/۶۵
دوم	۰/۷۱	۳۱/۸۳
سوم	۰/۹۹	۳/۰۸
چهارم	۲/۰۹	۵/۹۶

حدود ۱ و ۲/۱ درصد است که بیانگر حساسیت نسبتاً محدود شاخص‌های سودآوری به تغییر زمان پرداخت دستمزد نیروی انسانی است.

همچنین از منظر نقدینگی، اگرچه این اختلاف افزایش یافته و به حدود ۳ و ۶ درصد در سناریوهای سوم و چهارم می‌رسد، اما این مقادیر همچنان نشان‌دهنده جابه‌جایی محدود در زمان وقوع خروج جریان‌های نقدی بوده و حاکی از تغییر ساختاری یا معنادار در نیاز نقدینگی پروژه نیست. به عبارت دیگر، تغییر شیوه پرداخت نیروی انسانی عمدتاً منجر به شیفت زمانی جزئی در نمودار جریان نقدینگی خروجی می‌شود.

۴- ۴- ۴- مقایسه اثر سناریوهای پرداخت مصالح و نیروی انسانی بر سودآوری و نقدینگی

مقایسه نتایج حاصل از سناریوهای مرتبط با پرداخت هزینه مصالح و نیروی انسانی (مطابق جدول ۲) نشان می‌دهد که ماهیت هزینه‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان اثرگذاری بر رفتار مالی پروژه دارد. در هر دو گروه سناریو، استفاده از نمودار هزینه کل به‌عنوان جانشین جریان نقدینگی خروجی، منجر به خطای ناچیزی در برآورد سودآوری نهایی پروژه می‌شود؛ به‌گونه‌ای که اختلاف‌های مشاهده‌شده همواره در بازه‌ای محدود قرار دارند. این یافته بیانگر آن است که از منظر سود نهایی، ارزش زمانی پول و جابه‌جایی زمانی پرداخت‌ها در پروژه مورد مطالعه اثر تعیین‌کننده‌ای ندارد.

با این حال، تفاوت اصلی سناریوها در بعد نقدینگی و برآورد نیاز مالی کوتاه‌مدت پیمانکار نمایان می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که تغییر در شیوه پرداخت هزینه مصالح، در مقایسه با نیروی انسانی، تأثیر به‌مراتب بیشتری بر پروفایل نقدینگی پروژه دارد. چراکه تغییر در شرایط پرداخت هزینه‌های پیوسته مانند نیروی انسانی، عمدتاً منجر به جابه‌جایی‌های جزئی زمانی در منحنی جریان نقدینگی خروجی می‌شود، در حالی که تغییر شرایط پرداخت هزینه‌های گسسته و سرمایه‌بر مانند مصالح، به دلیل ایجاد یا حذف پیک‌های نقدینگی، اثر ساختاری و قابل‌توجهی بر وضعیت نقدینگی پروژه دارد.

در سناریوهای مرتبط با مصالح، عدم لحاظ مدل واقعی پرداخت می‌تواند به بیش‌برآورد قابل‌توجه نیاز نقدینگی منجر شود، به‌طوری که این بیش‌برآورد در سناریوی خرید کاملاً اعتباری به بیشترین مقدار خود می‌رسد. در مقابل، تغییر شیوه پرداخت نیروی انسانی عمدتاً موجب جابه‌جایی زمانی محدود در خروج جریان‌های نقدی شده و اثر آن بر میزان حداکثر نقدینگی موردنیاز پروژه ناچیز است.

از منظر مقایسه میان سناریوها، می‌توان گفت سناریوی دوم پرداخت مصالح (پرداخت ترکیبی نقدی–اعتباری) نسبت به سناریوی خرید کاملاً اعتباری، تصویر واقع‌بینانه‌تری از نیاز نقدینگی پروژه ارائه می‌دهد و ریسک بیش‌برآورد منابع مالی را به‌طور محسوسی کاهش می‌دهد. در مقابل، در سناریوهای نیروی انسانی، هیچ‌یک از روش‌های پرداخت منجر به تغییر معنادار در رفتار مالی پروژه نمی‌شود و انتخاب میان آن‌ها بیشتر به ملاحظات اجرایی و قراردادی وابسته است تا ملاحظات مالی.

در مجموع، این نتایج نشان می‌دهد که مدیریت فعال قراردادهای تأمین مصالح و چانه‌زنی در خصوص شرایط پرداخت می‌تواند به‌عنوان یکی از مؤثرترین اهرم‌های کاهش ریسک نقدینگی پروژه مطرح شود، در حالی که تغییر در سازوکار پرداخت نیروی انسانی، در پروژه مورد مطالعه، نقش ثانویه و محدودتری در بهبود وضعیت مالی پیمانکار ایفا می‌کند.

۴- ۴- ۵- جمع بندی و تحلیل علت اختلاف میان هزینه کل و جریان نقدینگی خروجی

تحلیل علّی اختلاف مشاهده‌شده نشان می‌دهد که منشأ اصلی فاصله قابل‌توجه میان نمودار هزینه کل و جریان نقدینگی خروجی را باید در «اختلاف زمانی» میان ثبت هزینه و زمان واقعی پرداخت جستجو کرد. نمودار هزینه کل هزینه‌ها را در زمان مصرف منابع منعکس می‌کند و به‌طور ضمنی فرض می‌کند بار مالی فعالیت‌ها همزمان با اجرای آن‌ها بر پیمانکار تحمیل می‌شود. در حالی که در واقعیت، خروج وجه نقد تابع شرایط قراردادی پرداخت، دوره‌های تسویه با تأمین‌کنندگان و زمانبندی پرداخت دستمزد است و معمولاً با تأخیر نسبت به زمان وقوع هزینه تحقق می‌یابد. این اختلاف زمانی موجب می‌شود منحنی هزینه کل در اکثر مقاطع نیاز نقدینگی پیمانکار را بیش از مقدار واقعی خود برآورد کند.

بررسی نتایج همچنین نشان می‌دهد که ارتباط این اختلاف با پیک‌های نقدینگی به ماهیت هزینه‌ها وابسته است. هزینه‌های سرمایه‌بر و گسسته مانند مصالح، به دلیل وابستگی به نقاط تحویل مشخص و شرایط پرداخت عمده، مستعد تمرکز در بازه‌های زمانی محدود هستند. این تمرکز زمانی پرداخت‌ها باعث شکل‌گیری پیک‌های نقدینگی می‌شود؛ پدیده‌ای که بیانگر افزایش ناگهانی فشار مالی بر پیمانکار در مقاطع خاص پروژه است. ازاین‌رو، خطا در پیش‌بینی زمان وقوع این پرداخت‌ها، حتی در صورت برآورد صحیح مجموع هزینه‌ها، می‌تواند به بروز پیک‌های نقدینگی پیش‌بینی‌نشده یا جابه‌جایی زمانی آن‌ها منجر شده و موجب شود پیمانکار در مقاطع بحرانی واقعی با کمبود منابع مالی مواجه گردد. در مقابل، هزینه‌های پیوسته‌ای مانند نیروی انسانی به دلیل توزیع یکنواخت در طول زمان و دوره‌های پرداخت کوتاه‌تر، عمدتاً موجب جابه‌جایی‌های زمانی محدود در جریان نقدینگی شده و کمتر به ایجاد پیک‌های شدید منجر می‌شوند.

از منظر تحلیل مالی پروژه، نتایج نشان می‌دهد که سودآوری شاخصی نسبتاً کم‌حساسیت به زمانبندی پرداخت‌ها است. در حالی که نیاز نقدینگی ماهیتی پویا دارد و به‌شدت به زمانبندی پرداخت‌های پروژه وابسته است. بنابراین، اختلاف میان نمودار هزینه کل و جریان نقدینگی خروجی نه ناشی از افزایش واقعی هزینه‌ها، بلکه حاصل اثرات زمانی، تمرکز پرداخت‌ها و شکل‌گیری پیک‌های نقدینگی در طول اجرای پروژه است. در چنین شرایطی، استفاده از نمودار هزینه کل به‌عنوان جانشین جریان نقدینگی خروجی می‌تواند به برآورد نادرست نیاز مالی کوتاه‌مدت و اتخاذ تصمیم‌های تأمین مالی بیش از نیاز واقعی منجر شود؛ موردی که در مطالعه توکلان و نیکوکار [۲۴] نیز مورد تأکید قرار گرفته است.

۵- محدودیت‌های پژوهش و توسعه‌های آتی

با وجود دستاوردهای ارائه‌شده، پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی همراه است که در تعمیم نتایج باید مورد توجه قرار گیرند.

نخست، در مدل پیشنهادی فرض شده است که پرداخت‌های مربوط به نیروی انسانی تابع احجام کاری انجام‌شده است. این در حالی است که در شماری از پروژه‌ها، پرداخت‌ها بر اساس حقوق ثابت ماهانه یا قراردادهای زمانی صورت می‌گیرد. ازاین‌رو، کاربرد مدل در پروژه‌هایی با این ساختار، نیازمند اصلاحاتی در مدل پرداختی نیروی انسانی است. دوم، اگرچه مدل ارائه‌شده ماهیتی پویا دارد و امکان بروزرسانی آن در طول پروژه از طریق تغییر مدل اطلاعاتی ساخت و اصلاح احجام کاری، برنامه زمانبندی، قیمت منابع و سایر پارامترهای مؤثر فراهم است، اما در توسعه اولیه، عدم‌قطعیت‌های رایج مانند تأخیر در پرداخت‌ها، نوسانات قیمت منابع و تغییرات برنامه زمانبندی لحاظ نشده‌اند. بنابراین، نتایج پژوهش عمدتاً در چارچوب مفروضات قطعی و شرایط با ثبات نسبی قابل اتکا هستند.

در راستای گسترش دامنه کاربرد مدل ارائه‌شده، پژوهش‌های آتی می‌توانند بر بهینه‌سازی جریان نقدینگی خروجی پیمانکاران با بهره‌گیری از مدل مطرح‌شده تمرکز کنند و همچنین مدل را برای شناسایی و ارزیابی ریسک‌های نقدینگی با استفاده از شاخص‌های عملکرد مالی و سناریوهای احتمالاتی گسترش دهند. علاوه بر این، تعمیم مدل به پروژه‌های بزرگ‌مقیاس همچون مترو، سدسازی و راهسازی و ارزیابی عملکرد آن در مقایسه با پروژه‌های ساختمانی می‌تواند بینش‌های عملی و کاربردی بیشتری برای تعیین و مدیریت جریان نقدینگی خروجی ارائه نماید.

۶- نتیجه‌گیری

تعیین دقیق و درلحظه جریان نقدینگی پیمانکار در طول پروژه، پیشنیاز مدیریت مؤثر مالی و کاهش ریسک مشکلات نقدینگی است. بررسی روزانه جریان نقدینگی به پیمانکار این امکان را می‌دهد که قبل از بروز مشکلات نقدینگی، راهکارهای مناسب برای مدیریت آن اتخاذ کند؛ راهکاری که با حفظ یا کاهش حداقلی سود مورد انتظار، موجب بهبود نقدینگی در طول پروژه شود. فرآیند سنتی محاسبه جریان نقدینگی دستی و زمانبر است و احتمال خطای انسانی بالایی دارد، در حالی که ترکیب فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساخت با مدل‌های دریافتی و پرداختی امکان محاسبه و مدیریت جریان نقدینگی با دقت بالا را فراهم می‌کند.

در این پژوهش، با درنظر گرفتن فاصله زمانی میان مصرف منابع و

پرداخت هزینه‌ها، مدلی پویا برای تعیین جریان نقدینگی خروجی پیمانکار ارائه شد و بستری مبتنی بر مدل‌سازی اطلاعات ساخت توسعه یافت. نتایج نشان داد استفاده از نمودار هزینه کل، اگرچه خطای سودآوری کمتر از ۲/۱ درصد دارد، می‌تواند نیاز نقدینگی پیمانکار را تا ۳۲ الی ۶۴ درصد بیش از مقدار واقعی برآورد کند، به‌ویژه در هزینه‌های سرمایه‌بر و گسسته مانند خرید مصالح. در حالی که تغییر شیوه پرداخت نیروی انسانی تنها موجب جابه‌جایی‌های ۳ الی ۶ درصدی شد. نتایج حاکی از آن بود که هزینه‌های سرمایه‌بر و گسسته بیشترین اثر را بر پیک‌های نقدینگی دارند، در حالی که هزینه‌های پیوسته مانند نیروی انسانی تأثیر محدودی دارند. در طرف دیگر اما سود نهایی نسبتاً کم‌حساسیت به زمانبندی پرداخت‌ها است. علاوه براین، استفاده از نمودار هزینه کل به‌عنوان جانشین نمودار جریان نقدینگی واقعی خروجی پیمانکار می‌تواند منجر به برآورد نادرست نیاز مالی کوتاه‌مدت و تصمیم‌های تأمین مالی بیش از حد واقعی شود.

نوآوری اصلی پژوهش در ارائه مدلی پویا، جامع و مبتنی بر داده‌های واقعی پروژه است که ضمن مدلسازی عوامل اثرگذار و اختلافات زمانی میان مصرف منابع و پرداخت‌ها، امکان بروزرسانی سریع و مدیریت لحظه‌ای جریان نقدینگی خروجی پیمانکار را فراهم می‌کند. برخلاف مدل‌های پیشین که ایستا، ساده‌سازی‌شده یا نیمه‌خودکار هستند و به اثر زمانبندی و مصرف واقعی منابع توجه کافی ندارند، این مدل با یکپارچه‌سازی خودکار داده‌های زمانی و هزینه‌ای، دقت پیش‌بینی و کارایی مدیریت مالی عملیاتی را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. این قابلیت به پیمانکار امکان می‌دهد تصمیمات عملیاتی نظیر برنامه‌ریزی خرید مصالح عمده و تنظیم پرداخت‌های منابع را بر اساس نیاز واقعی نقدینگی اتخاذ کند و از تأمین مالی بیش از حد یا دیرهنگام جلوگیری نماید.

با وجود این، مدل فرض کرده است که پرداخت نیروی انسانی تابع احجام کاری است و عدم‌قطعیت‌هایی نظیر تأخیر در پرداخت، نوسانات قیمت منابع و تغییرات برنامه زمانبندی در آن لحاظ نشده است. بنابراین، نتایج پژوهش عمدتاً در چارچوب مفروضات قطعی و شرایط با ثبات نسبی قابل اتکا هستند. پژوهش‌های آینده می‌توانند بر بهینه‌سازی جریان نقدینگی خروجی پیمانکار، شناسایی و ارزیابی ریسک‌های نقدینگی با شاخص‌های مالی و سناریوهای احتمالاتی و تعمیم مدل به پروژه‌های بزرگ‌مقیاس مانند مترو، سدسازی و راه‌سازی تمرکز کنند تا کاربرد عملی و جامعیت مدل افزایش یابد.

منابع

[1] M. Aliparast, Predicting and optimizing construction projects cash flow, Pazhohandegan rah danesh Publising, Ahvaz, Iran, 2016 (in persian).

[2] A. Etehad, Knowledge of contracting profession, Behineh Publishing, Tehran, Iran, 2005 (in persian).

[3] M. Aliparast, J. Salahshoor, M. Aliparast, Optimizing construction projects cash flow using linear programming techniques, in: The National Conference On Civil Engineering And Substainable Development, Estahban, Iran, 2011 (in persian).

[4] I.R.o.I. National Budget and Planning Organization, Base Unit Price List for Buildings, Year 1404, National Budget and Planning Organization, 2025 (in persian).

[5] M. Ravanshadniya, B. Esmaeili, M.t. Banki, Predicting construction projects cash flow, in: National Conference on the Development of the Executive System of Civil, Industrial and Urban Projects, Tehran, Iran, 2007 (in persian).

[6] M.O. Kim, H.K. Park, The algorithm of cash flow forecasting in planning stage for construction project, in: 2012 IEEE International Conference on Management of Innovation & Technology (ICMIT), IEEE, 2012, pp. 674-677.

[7] S. Hanaoka, H.P. Palapus, Reasonable concession period for build-operate-transfer road projects in the Philippines, International Journal of Project Management, 30(8) (2012) 938-949.

[8] V. Mohagheghi, S.M. Mousavi, B. Vahdani, Analyzing project cash flow by a new interval type-2 fuzzy model with an application to construction industry, Neural Computing and Applications, 28(11) (2017) 3393-3411.

[9] S.M.A. Tabei, M. Bagherpour, A. Mahmoudi, Application of fuzzy modelling to predict construction projects cash flow, Periodica Polytechnica Civil Engineering, 63(2) (2019) 647-659.

[10] D. Kuchta, A. Zabor, Fuzzy modelling and control of project cash flows, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 42(1) (2022) 155-168.

[11] R. Stanley, D. Thurnell, The benefits of, and barriers to, implementation of 5D BIM for quantity surveying in New Zealand, (2014).

[12] A. Aibinu, S. Venkatesh, Status of BIM adoption and the BIM experience of cost consultants in Australia, Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, 140(3) (2014) 04013021.

[13] E. Plebankiewicz, K. Zima, M. Skibniewski, Analysis of the first Polish BIM-Based cost estimation application, Procedia Engineering, 123 (2015) 405-414.

[14] D. Kehily, Embedding life cycle costing in 5D BIM, (2017).

[15] M. Marzouk, S. Azab, M. Metawie, BIM-based approach for optimizing life cycle costs of sustainable buildings, Journal of cleaner production, 188 (2018) 217-226.

[16] C. Lau, M.-x. Yang, L. Allan, C.J. Ku, Cost analysis of equipment in a building using BIM-based Methods, in: ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction, IAARC Publications, 2018, pp. 1-5.

[17] M. Abdel-Hamid, H.M. Abdelhaleem, Project cost control using five dimensions building information modelling, International Journal of Construction Management, 23(3) (2023) 405-409.

[18] S. Yilmaz, D. Kumar, S. Hada, S. Demirkesen, C. Zhang, H. Li, A PMBOK-based construction cost management framework for BIM integration in construction projects, International Journal of Construction Management, (2024) 1-15.

[19] H. Kim, F. Grobler, Preparing a construction cash flow analysis using building information modeling (BIM) technology, Journal of Construction Engineering and Project Management, 3(1) (2013) 1-9.

[20] H.T.T. Le, T.D. Cong, Bim-integrated system: a successful alternative for estimating cash flow in building projects, ASEAN Engineering Journal, 13(4) (2023) 103-112.

[21] A. Mahboob, A. Rathnasinghe, A. Ekanayake, P. Tennakoon, Evaluating BIM's Role in Transforming Cash Flow Forecasting Among Construction SMEs: A Saudi Arabian Narrative, Sustainability, 16(23) (2024) 10221.

[22] V. Abma, A. Farhana, S. Rachmawati, Cash flow simulation planning based on building information modeling for construction projects, in: AIP Conference Proceedings, AIP Publishing, 2024.

[23] H.T.T. Le, BIM-Integrated System: A Successful Alternative for Calculating Cash Flow in Large-Scale Projects, in: International Conference series on Geotechnics, Civil Engineering and Structures, Springer, 2024, pp. 201-209.

[24] M. Tavakolan, S. Nikoukar, A BIM and simulation-based finance scheduling method for the steel structure construction project, KSCE Journal of Civil Engineering, 29(5) (2025) 100124.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M. H. Salimi, V. Shahhosseini, A Framework for Determining Contractor's Cash Outflow Based on Building Information Modeling (BIM) , Amirkabir J. Civil Eng., 58(1) (2026) 95-118.

DOI: 10.22060/ceej.2026.23578.8209