Journal of Modeling in Engineering 21 (2023) 191-206
This is an Open Access paper licensed under the Creative Commons License CC BY 4.0 license.

Semnan University

Journal of Modeling in Engineering

Journal homepage: https://modelling.semnan.ac.ir/

Research Article

Proposing an Integrated Time-Cost Management Model based on Building Information Modeling (BIM) and Blockchain Technology (BCT) Smart contract Development Approach in the Construction Industry

Amir Faraji[1], Shima Homayoon Arya[2,*]

1. Assistant Professor Of Project Management Department, Architecture Faculty, Khatam University. Researcher, School Of Engineering And Building Design, Western Sydney University, Sydney, Australia.
2. Ph.D. Student, Architecture Faculty, Khatam University.

*Corresponding Author: sh.homayoon@khatam.ac.ir

PAPER INFO

Paper history:
Received: 17 August 2022
Revised: 21 February 2023
Accepted: 10 June 2023

Keywords:
Blockchain (BCT),
Building Information Modeling (BIM),
smart contract,
Time-cost model,
construction industry.

ABSTRACT

The construction industry is one of the most important sectors of the economy all over the world which does not have considerable contribution in the development and use of emerging technologies to improve the productivity of construction projects. The fourth industrial revolution (Industry 4.0) paves the way for promoting the use of emerging information-based technologies such as building information modeling or blockchain technology (BCT) and smart contracts in the construction industry. These types of technologies support cooperation between the parties and balance the influence of stakeholders in the project implementation process. In this study, a decentralized and automatic model and framework based on BCT is proposed for intelligence of the project's time-cost processes by using building information modeling technology. To achieve the goals of the research, BCT and BIM technologies have been studied and the desired model has been developed by creating a relationship between the 3D model, the work breakdown structure and the time and cost areas of the project. Therefore, in this research, the relationship between BCT and Building Information Modeling (BIM) has been investigated and the ability of the proposed model to manage the process of updating the schedule and project costs has been evaluated and confirmed through the preparation of preliminary plans. The present study is one of the first attempts to provide a real-reliable process using the integrated BCT-BIM system for the automation of time-cost domains

© 2023 Published by Semnan University Press.

DOI: https://doi.org/10.22075/jme.2023.27994.2313

How to cite this article:
Faraji, A., & Homayoun Arya, S. (2023). Proposing an Integrated Time-Cost Management Model based on Building Information Modeling (BIM) and Blockchain Technology (BCT) Smart contract Development Approach in the Construction Industry. Journal of Modeling in Engineering, 21(74), 191-206. doi: 10.22075/jme.2023.27994.2313

پیشنهاد مدل یکپارچه مدیریت زمان–هزینه مبتنی بر فناوری‌های مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و بلاکچین (BCT) با رویکرد توسعه قرارداد هوشمند در صنعت ساختمان

امیر فرجی[۱]، شیما همایون‌آریا[۲*]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی
دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۲۶
بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۰۲
پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۲۰

واژگان کلیدی:
بلاکچین (BCT)،
مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)،
قرارداد هوشمند،
مدل زمان-هزینه،
صنعت ساختمان.

چکیده

اگرچه صنعت ساختمان یکی از بخش‌های مهم اقتصاد هر کشور محسوب می‌گردد، اما سهم قابل توجهی در توسعه و بهره‌برداری از فناوری‌های نوظهور برای ارتقای بهره‌وری پروژه‌های ساختمانی ندارد. انقلاب صنعتی چهارم (Industry 4.0) راه را برای ارتقای کاربرد فناوری‌های نوظهور مبتنی بر اطلاعات مانند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و یا فناوری بلاکچین (BCT) و قراردادهای هوشمند در صنعت ساخت و ساز هموار می‌کند. این نوع فناوری‌ها از همکاری بین طرفین حمایت کرده و قدرت تاثیر ذینفعان را در فرآیند اجرای پروژه متعادل می کنند. در مطالعه حاضر مدل و چارچوب غیرمتمرکز و خودکار مبتنی بر BCT برای هوشمندسازی فرایندهای مدیت زمان- هزینه پروژه با بهره‌گیری از فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان پیشنهاد شده است. برای نیل به اهداف پژوهش، فناوری‌های BCT و BIM مورد مطالعه قرار گرفته و از طریق ایجاد ارتباط میان مدل سه‌بعدی، ساختار شکست کار و حوزه‌های زمان و هزینه پروژه، مدل مورد نظر توسعه یافته است. بنابراین در این پژوهش، رابطه بین BCT و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) مورد بررسی قرار گرفته و توانایی مدل پیشنهادی برای اداره فرآیند به‌روزرسانی زمان‌بندی و هزینه‌های پروژه و کاهش اختلافات از طریق تهیه برنامه‌های اولیه مورد ارزیابی و تایید قرار گرفته است. مطالعه حاضر یکی از اولین تلاش‌ها برای ارائه یک فرآیند واقعی-قابل اعتماد با استفاده از سیستم یکپارچه BCT-BIM برای خودکارسازی حوزه های زمان-هزینه محسوب می‌گردد.

۱- مقدمه

صنعت ساختمان و پروژه‌های عمرانی، از لحاظ سرمایه و حجم نیروی انسانی درگیر، وسیع‌ترین صنعت در کشور می‌باشد. رشد سریع جمعیت و افزایش تقاضا، نیاز به کاهش زمان تحویل پروژه‌های عمرانی و کاهش زمان برگشت سرمایه‌ی سرمایه‌گذاران موجب شده است تا ضرورت ایجاد تغییر در شیوه‌های سنتی صنعت ساختمان روزبه‌روز بیشتر شود. در سال‌های اخیر با توجه به توسعه سریع انقلاب صنعتی چهارم و بسترهای جدید فناوری اطلاعات، سیستم های هوشمند در بسیاری از صنایع مورد توجه گسترده قرار گرفته و منجر به ارتقای کارایی صنعت ساختمان شده‌اند. پیچیدگی ساخت و ساز منجر به تکامل صنعتی آهسته آن شده است، بنابراین در برخی از کشورهای در حال توسعه، صنعت ساخت‌وساز همچنان از شیوه‌های سنتی پیروی می کند [۱]. برخی از کسب و کارها هنوز مابین نظم قدیمی و فرآیندهای دستی با سیستم‌های کامپیوتر محور عصر دیجیتال گیر کرده‌اند. در حالی که ساخت وساز می‌تواند از طریق پذیرش ایده‌ها و

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sh.homayoon@khatam.ac.ir
۱.استادیار گروه مدیریت پروژه، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه خاتم.
پژوهشگر دانشکده مهندسی و طراحی ساختمان، دانشگاه وسترن سیدنی، سیدنی، استرالیا.
۲. دانشجوی دکترای معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه خاتم.

فناوری‌های نوین به یک صنعت مبتنی بر فناوری تبدیل شود [۲]. بحث روز دنیا به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی منفی از ساختمان‌ها و بهبود شرایط زندگی و نیز کاهش هزینه‌ها می‌باشد که این امر، با توجه به گسترش فناوری در سطوح و گرایشات مختلف از جمله صنعت ساختمان‌سازی صورت می‌پذیرد. با گسترش تحولات در صنعت ساخت‌وساز و به منظور به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی و افزایش بهره‌وری در استفاده از مواد و انرژی و با توجه به اینکه کاهش انرژی از مسائل مهم در فضاهای ساختمانی می باشد، از این رو توجه هر چه بیشتر به فناوری‌های نوین نظیر بلاکچین در امر ساخت و ساز الزامی است. تحولات اجتماعی، اقتصادی و محیطی نیز جدای این سیر متحول‌کننده نخواهد بود. امروزه تنها به مدد این سیستم‌ها می‌توان کلیه ملاحظات اجرایی نظیر ایمنی و پارامترهای چون دما و شرایط محیطی، نورپردازی ساختمان‌ها و... را کنترل نمود [۳]. آن دسته از اهدافی که فناوری‌هایی مانند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و بلاکچین در نظر دارد تا با ورود به ساخت‌وساز به آن دست یابد عبارتند از: افزایش دوام و عمر مفید ساختمان، صرفه جویی در مصرف انرژی و مصالح، اصلاح فرهنگ همکاری، عدم تخریب محیط زیست و مهم‌ترین عامل استفاده از این فناوری، کاهش میزان مصرف انرژی و در نتیجه حفظ محیط زیست است.

هدف از ساخت دیجیتال، افزایش همکاری میان سهامداران در یک پروژه است. این نوع ساخت، همه ذینفعان پروژه‌ها را در یک محیط جمع‌آوری می‌کند و به کار گروهی کمک می‌کند. علاوه بر این، نقص هماهنگی با ویژگی شبیه‌سازی کاهش می‌یابد. با توجه به این که معامله در سیستم بلاکچین نیازمند اقدام مشترک است، به طور خودکار نیازمند همکاری بین طرفین است. بنابراین اختلافات احتمالی که ممکن است در بین سهامداران در پروژه رخ دهد نیز کاهش می یابد [۴]. باید نتیجه گرفت که فن‌آوری اطلاعات، یک فن‌آوری مناسب و بالغ است تا در فرآیند تدارکات کارهای ساخت‌وساز مستقر شود. به ویژه در حوزه قراردادهای هوشمند، مدیریت قرارداد و ارزش‌گذاری کار و پرداخت‌های موقت. با این حال، سطح آمادگی در فن‌آوری، سیاست و آگاهی چالش ایجاد شده در صنعت را مطرح می‌کند. بنابراین، آماده‌سازی در حوزه کاربرد صحیح (فن‌آوری)، مقررات قانونی (مقررات) و آگاهی (اجتماعی) لازم است [۵]. مطالعه حال حاضر، دارای چهار بخش در جهت تحقق اهداف مطرح شده است.

۲- ادبیات موضوع

در عصر انقلاب صنعتی چهارم، سیستم‌های تولید به شکل سیستم های فیزیکی سایبری می‌توانند تصمیمات هوشمندانه‌ای را از طریق ارتباط بلادرنگ و همکاری بین «تولید اشیا» اتخاذ کنند [۶]. اتصال، اتوماسیون، دیجیتالی‌سازی و غیرمتمرکز کردن ویژگی‌های کلیدی انقلاب صنعتی چهارم هستند که سیستم‌های تولید متعارف را به سیستم‌های تولید خود بهینه‌سازی و منطبق با محیط تبدیل می‌کنند [۷]. یک سایت ساخت وساز هوشمند، فناوری‌های مختلفی مانند هواپیماهای بدون سرنشین، اینترنت اشیا، ماشین های خودکار و بلاکچین را ترکیب می‌کند که می توانند بدون دخالت انسان عمل کنند و مطابق با محیط عمل کنند [۸]. همچنین، امروزه صنعت، پتانسیل نیاز به یک تغییر پارادایم مدیریتی را دارد، زیرا تغییرات فناوری و نوآوری را تجربه می‌کند و همه انواع عملیات تجاری دستی را با کامپیوتری دیجیتال جایگزین می‌کند [۹]. چالش‌هایی که افراد در صنعت مهندسی و ساخت و ساز با آن ها مواجه هستند، با توجه به فناوری‌های مختلفی که بر اساس آن‌ها ساخته شده‌اند، نسبتاً نزدیک به تجربه سایر صنایع است. تغییرات در صنعت ساخت‌وساز تا حد زیادی توسط نوآوری‌ها و فناوری با کمک Enterprise Resource Planning (ERP)، Building Information Modeling (BIM)، AutoCAD راه‌حل های ابری، تجزیه وتحلیل، هواپیماهای بدون سرنشین تسریع شد [۱۰]. در راستای دستیابی به اهداف تحقیق، در پژوهش حاضر به بحث پیرامون ادغام دو فناوری نوین (مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و بلاکچین) پرداخته شده است.

۲-۱- مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)

طی سال‌های اخیر، صنعت ساخت‌وساز در ایران، با مشکلات زیادی از قبیل هزینه‌های بالای اجرا، خطاهای طراحی و دوباره‌کاری‌ها رو به رو است. بهره‌گیری از روش‌ها و فناوری-های نوین جهت کاهش هزینه و زمان و افزایش بهره‌وری و کیفیت ساخت همواره مورد توجه مهندسان و طراحان در این صنعت بوده است. مدلسازی اطلاعات ساختمان یکی از فناوری‌هایی است که با پذیرش و رواج آن در طراحی و اجرای ساختمان، می‌توان شاهد تغییرات بسزایی در بخش

ساخت‌وساز بود. این فناوری، از طریق به اشتراک‌گذاری و تبادل اطلاعات در مراحل اولیه پروژه، فرصت لازم برای تصمیم‌گیری‌های مهم را در اختیار ذینفعان قرار می‌دهد. اجرایی شدن مدلسازی اطلاعات ساختمان، علاوه بر ایجاد یک پایگاه داده ارتباطی بین عوامل مختلف پروژه به منظور انجام به موقع پروژه، می‌تواند با کنترل آسیب‌های زیست محیطی به تحقق توسعه پایدار نیز کمک کند [۱۱]. این بستر، یکی از بهترین کاربردهای تکنولوژی در برنامه‌ریزی، طراحی تا بهره‌برداری و نگهداری است که می‌تواند به عنوان سیستمی نوین جهت اصلاح فرایند روش سنتی و ایجاد ساخت‌وساز ناب و ایمن در پروژه‌های عمرانی استفاده گردد [۱۲]. BIM، به دلیل منافعی که برای کارفرمایان، پیمانکاران و مشاوران دارد، قابلیت پیاده‌سازی در تمامی چرخه حیات پروژه را خواهد داشت [۱۳]. پیاده‌سازی BIM در پروژه‌های ساخت شامل سه مرحلهٔ آمادگی سازمان برای پذیرش، توانمندی در اجرا و به دست آوردن بلوغ عملکردی خواهد بود [۱۴].

با فناوری BIM، یک یا چند مدل مجازی دقیق از یک ساختمان به صورت دیجیتالی ساخته می شود. آنها از تمام مراحل طراحی پشتیبانی می کنند و امکان تجزیه و تحلیل و کنترل بهتر را نسبت به فرآیندهای دستی فراهم می کنند. پس از تکمیل، این مدل‌های کامپیوتری حاوی هندسه و داده‌های دقیق مورد نیاز برای پشتیبانی از ساخت‌وساز، ساخت و فعالیت‌های تدارکاتی هستند که از طریق آن ساختمان تحقق، بهره‌برداری و نگهداری می‌شود. BIM همچنین بسیاری از عملکردهای مورد نیاز برای مدل سازی چرخه عمر یک ساختمان را در بر می گیرد و زمینه را برای طراحی و قابلیت های ساخت و ساز جدید و تغییرات در نقش ها و روابط بین یک تیم پروژه فراهم می کند. هنگامی که BIM به خوبی اتخاذ شود، طراحی یکپارچه‌تر و فرآیند ساخت و ساز را تسهیل می‌کند که منجر به ساختمان‌های با کیفیت بهتر با هزینه کمتر و کاهش مدت زمان پروژه می‌شود. BIM همچنین می‌تواند از بهبود مدیریت تسهیلات (FM) و تغییرات آتی در ساختمان پشتیبانی کند [۱۵].

پروژه‌های ساختمانی شامل سهامداران مختلفی است که تعداد زیادی از اطلاعات را به اشتراک می‌گذارند. راه حل های سنتی فناوری اطلاعات، زمینه همکاری لازم را برای اطمینان از همکاری نزدیک تیمی شرکت کنندگان فراهم نمی‌کند [۱۶]. نیاز به یک راه حل مشترک IT، عامل اصلی رشد فناوری همکاری ساخت و ساز آنلاین بوده است. نرم افزار، همکاری جریان اسناد، ارتباطات و گردش کار را ساده می‌کند. به کاربران در مکان‌های مختلف اجازه می‌دهد نسخه مشترکی از اسناد، نقشه‌ها، فرم‌ها و داده‌ها را در یک مکان به اشتراک بگذارند. کاربران می‌توانند بدون نیاز به نرم افزار بومی، پرونده‌ها را به صورت آنلاین مشاهده و علامت-گذاری کنند. این نرم افزار اختلافات را به حداقل می‌رساند و خطر را کاهش می‌دهد. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) از مدل‌های سه بعدی ساختمان دیجیتال با اطلاعات پارامتری خود استفاده می‌کند تا با افزایش تجسم، سهولت به اشتراک‌گذاری داده‌ها و استفاده مجدد توسط اعضای مختلف تیم ساختمان، ادغام را امکان‌پذیر کند. در مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، امکان ادغام و اشتراک اطلاعات آزاد است [۱۷]. منبع دانش مشارکتی برای کسب اطلاعات مبدأ، مبنایی برای اتخاذ تصمیمات در طول چرخه حیات پروژه از مرحله مفهومی یا مطالعه اولیه تا مرحله تخریب محسوب می‌شود [۱۸]. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان یک پلتفرم مجازی است که در آن داده‌های گرافیکی و غیر گرافیکی تولید، تجسم، پردازش، تجزیه و تحلیل و تبادل در صنعت، مهندسی و ساخت‌وساز (AEC) تولید و نگهداری می‌شوند. بدین ترتیب، مشکلات را می‌توان پیش‌بینی و شبیه‌سازی قبل از مرحله اجرا انجام داد. مدل-سازی اطلاعات ساختمان نه تنها یک پلتفرم نرم‌افزاری است که برای مدل‌سازی سازه استفاده می‌شود، بلکه یک فرآیند و رویکرد است که به ما اجازه می‌دهد تا طرح پروژه و چرخه حیات ساختار در یک محیط مجازی را به روش جامع از ابتدای مفهوم دنبال کنیم. روشی که BIM بر آن استوار است برمبنای "دوقلوی دیجیتال" است [۱۹].

دوقلوی دیجیتال یک کپی مجازی از یک دارایی فیزیکی است. مفهوم دوقلوهای دیجیتال نیاز به سه بخش دارد: محصول فیزیکی، کپی مجازی و پیوند بین آن‌ها [۲۰]. با استفاده از BIM می توان جریان اطلاعات را تجسم کرد و تجسم می‌تواند نقش بسیار مهمی در افزایش سطح درک تصمیم گیرندگان داشته باشد [۲۱]. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، به عنوان یک مدل دیجیتالی یکپارچه از پروژه، کلیه اطلاعات پروژه‌ها را با جزئیات ذخیره می‌کند. بازیابی اطلاعات مورد نیاز برای موضوعات مورد اختلاف را می‌توان به راحتی از مدل به دست آورد. این مدل تمام اطلاعات را

در هر زمان و فاز خاص ذخیره می‌کند، اختلافات را می‌توان سریع و دقیق نتیجه گرفت. این مدل فراتر از ادراک سه‌بعدی سنتی می‌رود [۲۲-۲۴]. پروژه به طور کامل بر روی یک سکوی دیجیتال طراحی شده است. تمام عناصر تشکیل‌دهنده یک پروژه در یک مدل درون آن تعبیه شده‌اند. این کار با ترکیب معماری، سازه، تأسیسات مکانیکی، لوله‌کشی و تهویه مطبوع تحت یک مدل واحد از طریق نرم‌افزار خاص و تحت یک پلتفرم مناسب انجام می‌شود. علاوه بر این، کل اطلاعات، هزینه، زمان‌بندی، منابع، پیشرفت کار و چیزهای بیشتری را می‌توان به این مدل اضافه کرد. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به عنوان مدل اطلاعات غنی تعریف شده است. اطلاعات می‌تواند شامل قراردادها، مشخصات، کارکنان، زمان‌بندی، مقادیر هزینه و داده‌های طراحی باشد. ادغام تمام طرفین در این پروژه یک روش مهم برای اجتناب از مناقشه است. مدل-سازی اطلاعات ساختمان، نه تنها صرفه‌جویی در هزینه و مدیریت زمان مؤثر را امکان‌پذیر می‌کند، بلکه اختلافات را نیز به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. در حین ساخت، مدل آماده شده به صورت دیجیتالی می‌تواند برای فرآیند تولید عناصر ساختاری و مونتاژ استفاده شود. تمام اطلاعات ذخیره شده را می‌توان به راحتی بازیابی و در طول مدیریت تسهیلات مورد استفاده قرار داد [۲۵]. این بستر، از جریان کار اطلاعات جدید پشتیبانی می‌کند و آن‌ها را با شبیه‌سازی موجود و ابزارهای تجزیه و تحلیل استفاده شده توسط مشاوران و پیمانکاران ادغام می‌کند. از آنجا که اغلب فرآیندهای BIM خودکار هستند و دخالت منابع انسانی به حداقل می‌رسد و ادعا می‌شود که با استفاده از آن کارایی، کنترل و مدیریت در چرخه حیات پروژه‌های ساخت‌وساز به طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد [۲۶]. مدلسازی اطلاعات ساختمان، یک مدل ساخت‌وساز مجازی است که شامل فناوری‌های هوشمند است که تمام عناصر کار ساخت‌وساز را در یک فایل سرور واحد جمع‌آوری می‌کند که می‌تواند به منظور افزایش سطح ارتباط و همکاری میان اعضای تیم پروژه به اشتراک گذاشته شود. اغلب مالکان از BIM برای توانایی خود در بهبود ارتباط، هماهنگی بهتر و مدیریت اطلاعات بین صاحبان و تیم پروژه در سراسر فرآیند طراحی و ساخت‌وساز نیاز دارند [۲۷].

معماران نیز این فرصت را خواهند داشت که مدل را به طور مؤثر به تصویر بکشند. این ابزار، فرآیندهای مربوط به شبیه‌سازی و مدل مجازی هستند که می‌تواند به چندین دسته اصلی تقسیم شود که مالک هدف پروژه را روشن می‌کنند و تیم پروژه را قادر می‌سازد تا طراحی، توسعه، تحلیل و همچنین مدیریت عملیات و ساخت پروژه را برنامه‌ریزی کنند [۲۸]. BIM، به طور چشمگیری طرز برخورد معماران و مهندسان را تغییر داده است و استفاده از آن مزایای گسترده‌تری در هماهنگی ساخت‌وساز و حتی عملیات ساختمان دارد [۲۹و ۳۰]. همکاری بهبود یافته‌ای که BIM ارائه می‌دهد، مربوط به یکپارچه‌سازی رشته‌های مختلف درگیر در یک پروژه است. در نتیجه، مزایای مهمی را ارایه می‌دهد، از قبیل اجازه تشخیص اولیه مسایل (به عنوان مثال اشتباهات در طراحی، تخمین، انتقال متناقض اطلاعات در بین ذینفعان پروژه، و خطرات سلامتی و ایمنی) که می‌توانند در ابتدا عمل کنند. با این حال، به دلیل تشخیص اولیه خطاها و جریان بهتر اطلاعات، انتظار می‌رود که با اجرای BIM در طول ساخت‌وساز، بازبینی‌های نسبتاً کمتری وجود داشته باشد [۳۱]. بنابراین، این کار بر پیامدهای مثبت بیشتر مانند اطمینان از قطعیت هزینه و پروژه اولیه پروژه تاثیر می‌گذارد. این موارد از نگرانی‌های اصلی در مورد پروژه‌های ساخت‌وساز هستند. اجتناب از اختلافات در طول ساخت و کاهش هزینه در پروژه‌های ساخت‌وساز و دستیابی به پس‌انداز هزینه‌ها در صورت امکان می‌تواند برای اقتصاد کشور بسیار مفید باشد [۳۲و ۳۳].

به طور کلی، مزایای استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان را به چهار دسته تقسیم کردند: منافع ساختمانی (مفهوم و امکان‌پذیری)، طراحی (تجسم‌سازی خودکار تغییرات، ساخت خودکار، تولید خودکار، برآورد کمیت و غیره) و مزایای پس از ساخت‌وساز (مدیریت و عملیات ساختمان) [۳۴]. عوامل موفقیت در مدل‌سازی اطلاعات ساختمان عبارتند از:

- ابزارهایی برای پشتیبانی از هم‌کاری پروژه
- رضایت مشتری در پروژه‌های ساختمانی
- مسئولیت مشترک بین شرکت کنندگان پروژه
- معیارهای ارزیابی کمی اثربخشی پروژه BIM
- استفاده از پیمانکاران فرعی و شرکای با تجربه [۳۵].

۲-۲. فناوری بلاکچین (BCT)

معاملات، اساس انواع ارتباطات در جهان است. معامله‌ای امن و مطمئن، ضرورت بشر در حال حاضر است. معاملات

شخص ثالث بهترین روش ممکن بود که قبلاً استفاده شده بود، اما ناامن بودن آن‌ها اثبات شد. دفتر توزیع شده برای کاهش وابستگی به اشخاص ثالث و از بین بردن موضوعات مرتبط است. در حقیقت، بلاکچین، هماهنگی و همکاری در فرایند تصمیم‌گیری در یک بستر مشترک جهت به اشتراک‌گذاری اطلاعات است برای افرادی که به یکدیگر اعتماد ندارند [۳۶]. فناوری بلاکچین یا دفتر توزیع شده (Distributed Ledger Technology) یک پروتکل فناوری است که امکان تبادل داده را مستقیماً بین احزاب مختلف شرکت کننده در یک شبکه و بدون نیاز به واسطه ها یا اشخاص ثالث فراهم می‌کند. همچنین می‌توان آن را به عنوان دفتری آشکار توصیف کرد که در آن دستکاری با استفاده از توابع هش رمزنگاری حاصل می‌شود. بلاکچین تراکنش را در یک ساختار ثابت به نام "بلوک" ثبت می‌کند. هر بلوک با استفاده از توابع هش امن و پیوند داده می‌شود [۳۷و ۳۸]. فناوری بلاکچین تراکنش‌ها را بسیار شفاف‌تر از معاملات ارائه شده توسط سیستم‌های متمرکز انجام می-دهد. معاملات بدون اتکا به اعتماد صریح (شخص ثالث) و بر اساس اعتماد مبتنی بر شبکه (به عنوان مثال، سایر کاربران بلاکچین) صورت می‌پذیرد [۳۹]. استفاده از بلاکچین در ساخت‌وساز محدود شده است. برخی از آن برای ذخیره داده‌های سنسور از ساختمان‌ها به یک روش قابل‌اعتماد و توزیعی استفاده می‌کنند. همچنین، استفاده از بلاکچین در پروژه‌های مسکن پیشنهاد شده است زیرا می‌تواند " ابزاری مفید برای مدیریت و ثبت تغییرات در مدل BIM در طول مراحل طراحی و ساخت‌وساز با استفاده از قراردادهای هوشمند برای مذاکره با امتیازات ویرایش و ذخیره یک پرونده عمومی تغییر ناپذیر تمامی اصلاحات در مدل " باشد [۴۰-۴۲].

بلاکچین، نوع جدیدی از پایگاه داده است که طرفین قرارداد را قادر می‌سازد پایگاه داده را به اشتراک بگذارند و بتوانند آن را اصلاح کنند. همچنین، بلاکچین برای دستیابی به توافق سازگار و قابل اعتماد درباره ثبت وقایع (به عنوان مثال "چه کسی مالک چه چیزی است") بین شرکت کنندگان مستقلی است که شاید انگیزه‌ها و اهداف مختلفی داشته باشند. این فناوری، مناسب و بالغ است که در فرآیند تدارکات کارهای ساختمانی به کار گرفته می‌شود مانند اعطای قرارداد، مدیریت قرارداد، ارزیابی کار و پرداخت‌های موقت. با این حال، سطح آمادگی در فناوری، سیاست و آگاهی استفاده از آن را در صنعت به چالش میکشد. بنابراین، آماده‌سازی در زمینه کاربرد صحیح (فناوری)، مقررات قانونی (مقررات) و آگاهی / دانش (اجتماعی) لازم است [۴۴-۴۳و ۵]. فناوری بلاکچین یک سیستم توزیع شده است که باعث تمرکززدایی، شفافیت و یکپارچگی داده‌ها می شود. هر بلوک شامل مجموعه‌ای از سوابق تراکنش با مقدار هش منحصر به فرد است و بلوک ها به ترتیب پیوند داده می‌شوند. هویت هر بلوک با مقدار هش خود و بلوک قبلی مشخص می‌شود، که تخریب آن در مقایسه با سیستم پایگاه داده متمرکز بسیار دشوارتر است. عمده مزایای استفاده از فناوری بلاکچین شامل کاهش هزینه‌های معامله، جلوگیری از جعل و تغییر داده‌ها و انعطاف‌پذیری بیشتر است. مشخصه اصلی فناوری بلاکچین سیستم عامل غیرمتمرکز و توزیع شده است. فناوری بلاکچین، یک پلتفرم دیجیتالی توزیع شده است که به همه شرکت کنندگان شبکه اجازه می‌دهد تا به طور مشترک اطلاعات معاملات را ذخیره و تأیید کنند در حالی که تنها یک کنترل کننده، داده‌ها را در یک پایگاه داده متمرکز مدیریت می‌کند [۴۵]. بلاکچین به طور کلی دارای پنج جزء به شرح جدول ۱ است [۴۶].

جدول ۱. اجزای بلاکچین

مفهوم	شرح
Cryptography	استفاده از انواع تکنیک‌های رمزنگاری شامل توابع درهم ساز رمزنگاری
شبکه P2P	شبکه برای کشف و به اشتراک گذاری داده‌ها در یک روش همتا به همتا
مکانیزمConsensus	الگوریتم که نظم و ترتیب معاملات در یک محیط خصمانه را تعیین می‌کند.
Ledger	فهرست تراکنش‌هایی که به بلوک‌های cryptographically متصل شده‌اند
قوانین	مجموعه‌ای مشترک از قوانین شبکه

به طور خلاصه بلاکچین دارای مشخصات اصلی زیر است[۴۷]:

تمرکززدایی: در سیستم‌های معاملات متمرکز متداول، هر معامله باید از طریق سیستم معتبر مرکزی (به عنوان مثال بانک مرکزی) تأیید شود که ناگزیر منجر به هزینه و تنگناهای عملکرد در سرورهای مرکزی می‌شود. در مقابل حالت متمرکز، شخص ثالث دیگر در زنجیره بلوک مورد نیاز نیست. الگوریتم‌های اجماع در بلاکچین برای حفظ سازگاری داده‌ها در شبکه توزیع شده استفاده می‌شود.

پایداری: معاملات را می‌توان به سرعت تأیید کرد و معاملات نامعتبر پذیرفته نمی‌شود. حذف یا بازگرداندن معاملات تقریباً غیرممکن است که در بلاکچین گنجانده شوند. بلاک‌هایی که شامل معاملات نامعتبر هستند می‌توانند بلافاصله کشف شوند.

ناشناس بودن: هر کاربر می‌تواند با یک آدرس تولید شده با زنجیره بلوک ارتباط برقرار کند، که هویت واقعی کاربر را نشان نمی‌دهد. توجه داشته باشید که بلاکچین به دلیل محدودیت ذاتی نمی‌تواند حفظ کامل حریم خصوصی را تضمین کند.

قابلیت رسیدگی: هر معامله‌ای باید به برخی از معاملات قبلی که خرج نشده مراجعه کند. هنگامی که معامله فعلی در بلاکچین ثبت شد، وضعیت کسانی که معاملات مصرف نشده ارجاع شده را از هزینه نشده به خرج شده تبدیل می کنند. بنابراین معاملات به راحتی تأیید و ردیابی می‌شوند.

۲-۳- BIM و BCT در صنعت ساختمان

همگرایی موفقیت‌آمیز فناوری بلاکچین با صنعت ساخت-وساز می‌تواند با افزایش کارایی قراردادها و معاملات و ایجاد مدل‌های جدید تجاری، تغییرات ابتکاری را به همراه داشته باشد [۴۵]. صنعت ساختمان اجازه می‌دهد تا بسیاری از مشاغل با هم کار کنند. بنابراین، داده‌های عملکرد، هویت و قابلیت اطمینان پیمانکاران درگیر در پروژه باید تأیید شود. این امر برای ادامه پروژه طبق برنامه‌ریزی خصوصاً در یک پروژه خاص و پیچیده بسیار مهم است. ذینفعان درگیر در یک پروژه برای دسترسی به سیستم بلاکچین باید هویت خود را تأیید کنند، در غیر این صورت نمی‌توانند به داده-های پروژه دسترسی پیدا کنند. تمام معاملات انجام شده در سیستم بلاکچین به صورت زنجیره‌ای در شبکه ثبت می‌شوند. ردیابی و تجزیه و تحلیل عملکرد پروژه توسط این ویژگی به راحتی انجام می‌شود. علاوه بر این، داده‌هایی مانند ساعت کار، استراحت و دستمزد کارگران را می‌توان محاسبه کرد و پرداخت‌ها را می‌توان به طور خودکار بر اساس آن انجام داد [۴].

ساعات کار، استراحت و دستمزد کارگران را می‌توان تحت کنترل قانونی قرار داد و به عنوان مدرک در اختلافات احتمالی کارگران و کارفرمایان استفاده کرد. به علاوه، معاملات انجام شده در پروژه نیاز به تأیید اکثر ذینفعان سیستم دارد . لذا این اجازه را می‌دهد تا کار مشارکتی در میان ذینفعان افزایش یابد و در کاهش اختلافات احتمالی نقش داشته باشد [۴۸]. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم بلاکچین ویژگی رمزنگاری است. این یک رمزگذاری یک طرفه است که به امنیت و حریم خصوصی سیستم می‌افزاید. سیستم بلاکچین تمام معاملات انجام شده در سیستم را رمزگذاری می‌کند. بنابراین، تغییر یا دستکاری داده‌های موجود در زنجیره تقریباً غیرممکن است. هر معامله انجام شده به صورت خطی در زمان واقعی به این شبکه اضافه می‌شود و این شبکه بسته به پیشرفت پروژه به طور مداوم گسترش می‌یابد. هزینه، مدت و کیفیت از عناصر اساسی در صنعت ساختمان است. هدف، دستیابی به حداکثر کیفیت با حداقل هزینه و مدت زمان است. این واقعیت که بلاکچین پروژه را قابل ردیابی و شفاف‌سازی می‌کند، به افزایش کیفیت کمک می‌کند. همچنین تهیه مواد با کارایی بیشتر برای فناوری بلاکچین این فرصت را فراهم می‌کند تا ضمن از بین بردن مدارکی مانند کاغذ، فاکتور، اسناد، واسطه‌ها را با قراردادهای هوشمند حذف کنید. در نتیجه، تأثیر مثبتی بر هزینه و مدت زمان پروژه دارد [۴۹].

از دیدگاه کلی، بلاکچین یک پروتکل حفاظت از ارتباط است که داده‌ها را از دستکاری در احزاب غیرمجاز محافظت می‌کند. با این حال، پیاده‌سازی این سیستم می‌تواند اشکال مختلفی را مطابق با نوع داده و منبع به دست آورد. به عنوان مثال، اجرای بلاکچین برای داده‌های طراحی معماری متفاوت از اجرای آن برای فرآیند پرداخت ساخت‌وساز است. ترک و کلینک اظهار داشتند که بلاکچین در ساخت‌وساز با سه ویژگی متفاوت است: (۱) تعداد معاملات؛ (۲) تعداد شرکت کنندگان؛ (۳) اندازه داده تبادل شده [۵۰]. به منظور شناسایی مناطقی که می‌توان از بلاکچین به طور مؤثر استفاده کرد، چرخه عمر ساختمان مد نظر است. چرخه عمر ساخت، مراحل تولید یک پروژه ساختمانی، شامل برنامه‌ریزی، طراحی، تملک زمین، تهیه، ساخت و نگهداری. در هر مرحله وظایف مختلفی وجود دارد و سطح

تلاش‌ها ممکن است پروژه به پروژه متفاوت باشد. در مرحله برنامه‌ریزی، قراردادهای هوشمند برجسته‌ترین حرکات یکپارچه‌سازی بلاکچین در یک پروژه ساخت‌وساز هستند. یک قرارداد هوشمند به عنوان یکی از مؤثرترین موارد شناخته شده است. این فناوری نه تنها می‌تواند در مرحله برنامه‌ریزی بلکه در تمام مراحل چرخه عمر پروژه ساختو ساز پس از توسعه موفق مورد استفاده قرار گیرد. در رابطه با مرحله طراحی، تلاش‌های اکتشافی مانند BIM مبتنی بر بلاکچین، سیستم عامل‌های مدیریت CAD و غیره در حال انجام است. هدف BIM مبتنی بر بلاکچین بهبود مسائل قابل اطمینان مدل دیجیتال BIM است و برخی از آن‌ها مانند BIM COIN و BIM CHAIN در حال توسعه هستند. انتظار می‌رود که بستر مدیریت CAD به طور عمده مدیریت مواد را بهبود بخشد. تدارکات از برنامه های تلفیقی شناخته شده فناوری‌های نوظهور از جمله بلاکچین هستند و تلاش‌های زیادی در مرحله ساخت و بهره برداری / نگهداری (O&M) قابل مشاهده است. پروژه‌های آزمایشی به طور فعال از اینترنت اشیا برای جمع-آوری و مدیریت مؤثر داده‌های ساخت‌وساز استفاده کرده‌اند و انتظار می‌رود اشکال مختلف فناوری بلاکچین در ساخت و نگهداری شهرهای هوشمند گنجانده شود. با این حال، بیشترین کاربردهای موجود در صنعت ساخت و ساز در مرحله ساخت اولیه یا اجرای آزمایشی است [۴۵].

بلاکچین دارای ویژگی‌هایی است که در صنعت ساختمان امروز مورد نیاز است، مانند (۱) تمرکززدایی. (۲) خودمختاری؛ (۳) رابطه نظیر به نظیر؛ (۴) تغییر ناپذیری؛ (۵) مهرزنی. از این ویژگی‌ها می‌توان در پنج عمل مربوط به ساخت‌وساز استفاده کرد: (۱) مدیریت قرارداد؛ (۲) مدیریت اسناد الکترونیکی (EDM)؛ (۳) BIM؛ (۴) مدیریت املاک؛ (۵) مدیریت زنجیره تأمین. در نتیجه، روند کار پروژه‌های ساختمانی، استفاده از زمان و هزینه، شفافیت و اعتماد بین شرکت‌کنندگان در پروژه، امنیت داده‌های پروژه‌های ساختمانی، همکاری در ساخت‌وساز بین‌المللی را بهبود می‌بخشد [۵۰]. مسئله اعتماد بین ذینفعان یا عدم وجود آن، مسئله اصلی مورد بحث است که بلاکچین ادعا می‌کند که نیاز به اعتماد به یک شخص یا نهاد را به یک پروتکل تبادل داده شفاف تغییر می‌دهد. نویسندگان ادعا می‌کنند که بلاکچین پتانسیل تسهیل‌سازی وظایف تکراری و کاهش دوباره‌کاری و اقلام را دارد که انتظار می‌رود منجر به کاهش کلی هزینه در پروژه‌های ساخت‌وساز شود. البته چالش‌های قابل‌توجهی برای اتخاذ بلاکچین در صنعت ساخت‌وساز وجود دارد. این چالش‌ها شامل موانع فنی مانند توسعه سخت‌افزار و نرم‌افزار هستند که به شرکت‌ها نیاز دارد تا در زیرساخت فن‌آوری خود سرمایه‌گذاری کنند در حالی که عدم قطعیت در مورد این سیستم هنوز قابل‌توجه است [۵۱].

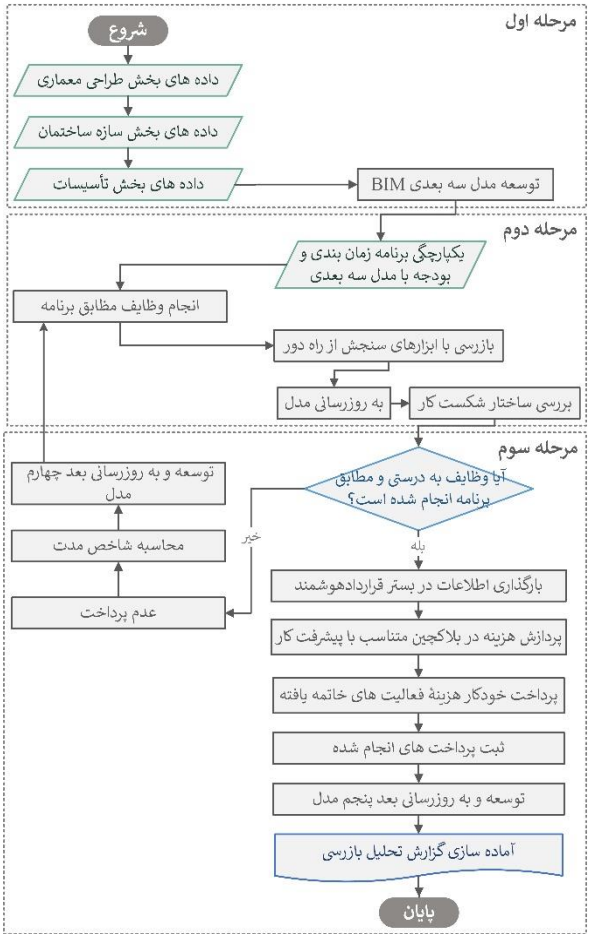
۳- روش تحقیق

در راستای دستیابی به اهداف پژوهش، روش تحقیق مطالعه حاضر در شکل (۱) به نمایش درآمده است. مطابق الگوریتم ترسیم شده، طی سه مرحله و از طریق ادغام دو فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و بلاکچین، پرداخت خودکار هزینه متناسب با روند پیشرفت کار به منظور ایجاد اعتماد، جلوگیری از اختلافات و کاهش دعاوی صورت می‌گیرد. در مرحلهٔ اول، به هماهنگ‌سازی بین نقشه‌های معماری، سازه و تأسیسات پرداخته می‌شود. از این رو، پس از آماده‌سازی هر یک از نقشه‌ها توسط ذینفعان مربوطه، نیاز به بستری برای بارگذاری طرح‌ها جهت اطمینان از همخوانی نقشه های مختلف و کاستن از دوباره‌کاری‌ها در فاز اجرا است. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، فرایندی است که تحقق این امر را ممکن می‌سازد، به این صورت که تمامی طرح‌ها و نقشه‌های اجرایی پروژه که به صورت دو بعدی در CAD یا سه بعدی در Revit ترسیم شده‌اند و قبل از اجرا در محیط واقعی، توسط ابزارهایی نظیر Naviswork در محیط دیجیتال ایجاد شده و توسعه می‌یابند.

در مرحلهٔ دوم، پس از آن که نقشه‌ها در مدل BIM بارگذاری و بررسی شد، بر اساس مدل دیجیتالی طراحی شده، پروژه وارد فاز اجرا خواهد شد. در این مرحله نیز، پس از افزودن برنامه‌ی زمانی (4D) و برنامه بودجه‌بندی(5D) به مدل BIM، باید کنترل دقیقی از اجرای طرح‌ها در محیط واقعی پروژه به عمل آید تا از اجرای صحیح نقشه‌ها مطابق با مدل دیجیتالی به منظور کاهش خطاهای انسانی، خطاهای طراحی، دوباره‌کاری‌ها و ... اطمینان حاصل شود. انجام این فرایند به وسیله بهره‌گیری از ابزارهای سنجش از راه دور امکان‌پذیر خواهد بود. این ابزارها به دو روش می توانند به کنترل خودکار فاز اجرا کمک کنند. روش اول از طریق سنجش محیط داخلی پروژه توسط LiDAR و روش دوم از طریق سنجش محیط خارجی پروژه توسط UAV است.

در آخرین مرحله، پس از اجرای پروژه مطابق با نقشه‌های طراحی شده، در یک بستر خودکار که با استفاده از تکنولوژی غیرمتمرکز بلاکچین است، دستمزد نیروی انسانی و صورت حساب‌های روزانه رسیدگی می‌شود. اگر اجرا دقیق و درست پیش رود، به طور خودکار و طبق برنامه‌ی بودجه‌بندی دستمزدها پرداخت و تسویه می‌گردد. در غیر این صورت پرداختی انجام نمی‌شود و مجدد مراحل گذشته باید تکرار شوند تا اجرا مطابق با نقشه‌ها صورت پذیرد. اگر ساخت پروژه مطابق برنامه صورت گرفته باشد، آنگاه برای پرداخت هزینهٔ فعالیت‌های انجام شده از بلاکچین استفاده گشته و در این راستا پنج گام مؤثر طی خواهد شد. در گام اول، کلیهٔ خروجی‌های مرحلهٔ دوم، باید در بستر قرداد هوشمند بارگذاری شود. در گام دوم، باید هزینه‌ها متناسب با انجام وظایف و فعالیت‌های تعیین شده در ساختار شکست‌کار و برنامهٔ پروژه پردازش و محاسبه گردد. در گام سوم، پس از مشخص شدن مقدار دقیق هزینه‌ها و دستمزدهای قابل پرداخت و با توجه به تعریف ذینفعان در بستر خودکار بلاکچین در ابتدای پروژه، مبالغ محاسبه شده پرداخت می‌شود. گام بعدی، ثبت همهٔ پرداخت‌ها و کسر شدن از بودجهٔ اصلی پروژه می‌باشد. در گام آخر نیز، با توجه به تغییرات ایجاد شده در بودجه‌بندی پروژه، نیاز به توسعه و به‌روزرسانی آن در بعد پنجم مدل سازی اطلاعات ساختمان خواهد بود. شکل (۳) نیز نشان می‌دهد که خروجی‌های بلاکچین در این مدل چگونه در BIM ذخیره شده و به چه صورت آثار تغییرات ایجاد شده در برنامه‌های بودجه‌بندی و زمان‌بندی این مدل ثبت می گردد.

استفاده از بلاکچین در صنعت ساخت‌وساز و در بخش پرداخت‌های خودکار از این منظر حائز اهمیت خواهد بود که با توجه به تعدد ذینفعان و هزینه‌های گوناگونی که بخش‌های مختلف این صنعت با آن مواجه است، می‌توان با تعریف هر ذی‌نفع و ثبت تراکنش‌های غیرقابل تغییر در بستر امن و غیرمتمرکز بلاکچین بسیاری از مشکلات ساختمانی و هزینه‌های اضافی تحمیل شده ناشی از عدم اعتماد طرفین نظیر حل و فصل دعاوی تا حد زیادی کاهش داده و به درستی مدیریت نمود. با توجه به گستردگی بخش‌های هزینه‌بر ساختمان و به منظور پیاده‌سازی مدل طراحی شده، به عنوان نمونه، مدیریت هزینه در بخش حل و رسیدگی به اختلافات مطابق شکل (۴) در مقاله کدنویسی شده و در بستر اتریوم اجرا گشت.



شکل ۱. مدل پیشنهادی.

۴. مدل‌سازی در قرارداد هوشمند

اجرای اعتماد، توزیع قدرت در میان احزاب مختلف (گره‌ها) و ماهیت رمزنگاری آن، فن‌آوری بلاکچین را به یک پلتفرم امیدوار کننده برای قراردادهای هوشمند در حوزه معماری، مهندسی، و ساخت (AEC) تبدیل کرده است [۵۲]. قراردادهای هوشمند به صورت کدهای کامپیوتری تعریف می‌شوند که یک قرارداد را تا حدودی یا به طور کامل اجرا می‌کنند و در پلتفرم بلاکچین ذخیره می‌شوند. زبان‌های برنامه‌نویسی در شکل‌گیری قراردادهای هوشمند به کار می‌روند. این کدها به اجرای توافقنامه میان سهامداران و تحقق پرداخت‌ها کمک می‌کنند. آن‌ها در هر نود در سیستم بلاکچین تکرار و بایگانی می‌شوند و این کدها را نمی‌توان تغییر داد. هر گره اضافه‌شده به شبکه بلاکچین به این معنی است که فعالیت مشخص‌شده در پروژه انجام شده‌است. این کار با شروع یک معامله در شبکه بلاکچین توسط سهامداران پروژه انجام می‌شود و نیازمند اجماع بین آن‌ها

است. اگر فعالیت مشخص‌شده در پروژه صورت نگیرد، کد پیشرفت نخواهد کرد [۴].

همانطور که قبلا ذکر شد، BCT از الگوریتم‌های اجماع برای حذف واسطه‌های قابل اعتماد درگیر در تراکنش‌های آنلاین و اطمینان از یکپارچگی داده‌ها در شبکه‌های توزیع شده استفاده می‌کند. این فناوری یک پایگاه داده توزیع شده است که بین تمام اعضای شبکه به اشتراک گذاشته شده است. کاربران در یک پلتفرم BCT می‌توانند تراکنش های مرتبط خود را در هر زمان مشاهده کنند، اما تراکنش ها پس از تأیید و اضافه شدن به شبکه همتا به همتا و توزیع شده غیرقابل تغییر BCT قابل تغییر نیستند. قراردادهای هوشمند پلتفرم هایی هستند که توسط آن‌ها می‌توان قوانین سفارشی برای مالکیت، فرم‌های تراکنش و عملکردهای انتقال دولتی ایجاد کرد. و می‌تواند مجموعه ای از قوانین را در زبان برنامه‌نویسی خود اجرا کند. بنابراین، قرارداد هوشمند به زبان غیر استاندارد یا یک دامنه خاص مانند solidity نوشته می‌شود تا بین همه کاربران به اجماع برسد تا به‌طور خودکار و مستقل توسط هر کاربر در شبکه اجرا شود [۵۳].

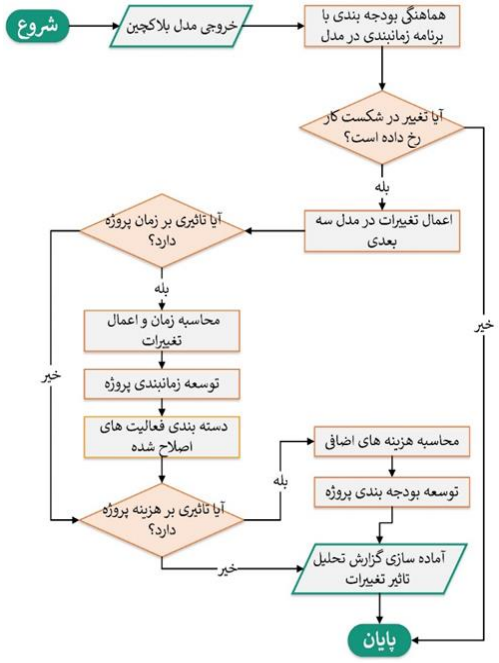
همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است: ۱- برای ایجاد قراردادهای هوشمند، طرف‌های مختلف باید در مورد تعهدات مذاکره کنند. حقوق و مسئولیت‌ها پس از دستیابی به توافق، مهندسان نرم‌افزار رویه‌های منعقد شده را که به زبان‌های متداول نوشته شده‌اند، به یک زبان رایانه‌ای قرارداد هوشمند، از جمله قاعده مبتنی بر اعلان و منطق، ترجمه می‌کنند. مشابه توسعه نرم‌افزار کامپیوتری، روش تبدیل قرارداد هوشمند شامل پیاده‌سازی و اعتبارسنجی است. ۲- برای ایجاد قرارداد هوشمند، پس از نوشتن قرارداد هوشمند معتبر، آن را که بر روی یک بلاکچین غیرقابل تغییر ذخیره می‌شود، می‌توان به سیستم عامل‌ها ارسال کرد. بنابراین، اکنون پس از قرار دادن قرارداد هوشمند در بلاکچین، همه طرفین می‌توانند به طور مستقل به قراردادها دسترسی داشته باشند. ۳- برای اجرای قرارداد هوشمند، پس از استقرار آن، بندهای قرارداد در قالب تعدادی اظهارنامه با اتصالات منطقی، پایش شده و مراحل یا عملکردهای قرارداد به صورت خودکار انجام می‌شود. ۴- برای بررسی قراردادهای هوشمند، بر این اساس، تراکنش‌ها در هنگام اجرای قراردادهای هوشمند و همچنین حالت‌های به روز شده در سیستم ذخیره می‌شوند. در طول ایجاد، اجرا و تکمیل یک قرارداد هوشمند، توالی تراکنش باید رعایت و در زنجیره بلوکی ذخیره شود. بنابراین، هر سه مرحله باید داده ها را همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است به سیستم ارسال کنند [۴۶].

شکل ۲. چهار مرحله از کل چرخه عمر قرارداد هوشمند [۴۶].

۴-۱-چارچوب مفهومی BCT-BIM

یکی از مؤثرترین راه‌حل‌ها برای مشکل اعتماد در سیستم های ساختمانی استفاده از BCT و ادغام آن با BIM است. با استفاده از BCT هر زمان که شرایط قرارداد محقق شود، قرارداد هوشمند به طور خودکار اجرا و تکمیل می‌شود. با توجه به آنچه تاکنون به دست آمده، ادعای مطرح شده در سیستم هوشمند BDM تسویه حساب شده است و باید پیامدهای آن بر جنبه‌های مختلف پروژه مشخص شود. بنابراین، در این مرحله، رویه مرحله قبل با تعیین روش حل و فصل که در یکی از اشکال تصمیم گیری اولیه، میانجی‌گری یا داوری بیان می‌شود، خاتمه یافته است و در نتیجه ممکن است منجر به تغییراتی در ابعاد مختلف پروژه از جمله محدوده، زمان و هزینه شود. از این رو، نیاز به بستری برای محاسبه، ثبت و به‌روزرسانی طرح جاری بر اساس این تغییرات و همچنین بررسی اثرات ادعا بر پارامترهای مختلف پروژه وجود دارد. از آنجایی که BIM یک محیط دیجیتال برای تجسم تمام جنبه‌های یک پروژه از جمله بدنه ساختمان (بعد سوم)، جدول زمانی (بعد چهارم) و برنامه بودجه (بعد پنجم) است، بهترین ابزار برای ارزیابی و ثبت است. آثار ادعاها در مرحله بعد با افزودن و آپلود کدها و برنامه های هوشمند قرارداد با استفاده از BIM، محدوده کار، زمان و هزینه‌ها با توجه به تغییرات

احتمالی با ادغام با WBS، زمان‌بندی و بودجه پروژه به روز می‌شود. در صورتی که نتیجه تغییرات احتمالی منجر به تغییر در WBS و در نتیجه در بعد زمانی پروژه شود، تمدیدات محاسبه شده، اثرات آن بر کل زمان ارزیابی و در قالب گزارش تغییرات ذخیره می‌شود. زمانی که فرآیند حل و فصل منجر به تغییر در بودجه پروژه می‌شود، باید از همین الگوریتم پیروی کرد. بدین ترتیب، تمدیدهای زمانی و مقدار هزینه‌ها به عنوان بعد چهارم و پنجم مدل BIM بارگذاری می‌شود. شکل (۳)، طریقه نحوه ثبت خروجی‌های بلاکچین و اثرات تغییرات احتمالی در BIM را نشان می‌دهد. بر این اساس، در صورتی که تغییرات احتمالی منجر به اثراتی بر WBS شود، مدل سه بعدی پروژه باید به روز شود و لازم است این تغییرات در دو بعد زمانی و هزینه‌ای بررسی شود. با این حال، زمانی که ادعا تغییر می‌کند برنامه زمان‌بندی پروژه، ابتدا می‌توان تأخیرهای زمانی را محاسبه کرد و سپس برنامه را بر اساس آن به عنوان بعد چهارم BIM به روز کرد و متعاقباً تغییرات هزینه را نیز باید به عنوان بعد پنجم BIM ارزیابی کرد.



شکل ۳. الگوریتم گسترش مدل توسعه یافته به BIM.

۴-۲- مطالعه موردی و اعتبارسنجی مدل

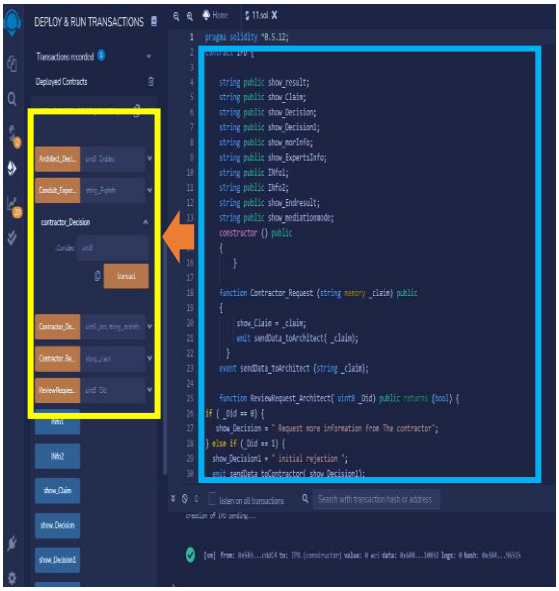
نظر به اینکه برنامه‌هایی نظیر بودجه‌بندی و زمانبندی ساختمانی در بستر بلاکچین تعیین و محاسبه می‌گردد و از آنجا که بخشی از مدیریت این برنامه‌ها در قالب حل مشکلات و ادعاهای مطرح شده توسط افراد مختلف در پروژه است، مطابق با روند طراحی شده در شکل (۱)، کدنویسی مدل به صورت زیر (شکل ۴) و به زبان Solidity نوشته شده که در آن هر یک از ذینفعان تعریف شده در بلاکچین، با شناسهٔ مخصوص به خود می‌تواند شرح درخواست مورد نظرش را ثبت نموده و پس از بررسی توسط شخص ثالث، قبول یا رد آن ادعا به اطلاع ارکان پروژه خواهد رسید که در صورت پذیرش ادعاها و ایجاد تغییرات در هزینه‌ها، لازم به محاسبه، پرداخت و ثبت آثار ادعا مطرح شده در برنامهٔ بودجه‌بندی است و در ادامه، در پلتفرم اتریوم بارگذاری و به صورت آزمایشی اجرا شده است تا میزان کارایی و تحقق اهداف مدل مورد ارزیابی قرار گیرد.

```
pragma solidity ^0.5.12;
contract IPD {

    string public show_result;
    string public show_Claim;
    string public show_Decision;
    string public show_Decision1;
    string public show_morInfo;
    string public show_ExpertsInfo;
    string public INfo1;
    string public INfo2;
    string public show_Endresult;
    string public show_mediationmode;
    constructor () public
    {
        }

    function Contractor_Request (string memory _claim) public
    {
        show_Claim = _claim;
        emit sendData_toArchitect( _claim);
    }
    event sendData_toArchitect (string _claim);

    function ReviewRequest_Architect( uint8 _Did) public returns (bool) {
if ( _Did == 0) {
  show_Decision = " Request more information from The contractor";
} else if (_Did == 1) {
  show_Decision1 = " initial rejection ";
  emit sendData_toContractor( show_Decision1);
  return false ;
} else if (_Did == 2) {
    show_Decision1 = " initial approval";
    emit sendData_toContractor( show_Decision1);
    return true ;
} else {
    show_Decision = " consult with experts ";
    emit sendData_toExperts( show_Decision);
}

    }
event sendData_toContractor (string show_Decision1);
event sendData_toExperts (string show_Decision);

    function Contractor_Decision  (uint8 _des , string memory _morInfo) public returns ( string memory) {
        if ( _des == 0) {

        show_morInfo = _morInfo;
        return show_morInfo;
        emit sendmorInfo_toArchitect( show_morInfo);
        } else {
              show_morInfo = "Do not send more information";
              return show_morInfo;
        }
    }
     event sendmorInfo_toArchitect (string show_morInfo);

    function Conduit_Experts  ( string memory _ExpInfo) public returns ( string memory) {

        show_ExpertsInfo = _ExpInfo;
        return show_ExpertsInfo;
        emit sendInfo_fromExperts( show_ExpertsInfo);
    }
     event sendInfo_fromExperts(string show_ExpertsInfo);

    function Architect_Decision  (uint8 _Enddes) public returns ( string memory) {
      // INfo1 = Conduit_Experts (_ExpInfo);
      // INfo2 = Contractor_Decision (0 ,_morInfo);

        if (_Enddes == 0)
        { show_Endresult = 'rejection' ;
        } else {
              show_Endresult = "approval";
        }
              show_Endresult = "approval decision";
        }
             return show_Endresult;
    }
    event Mediationmode (string show_mediationmode);
}
             return show_Endresult;
        }
function Contractor_Decision  (uint8 _Contdes) public returns ( string memory) {

        if (_Contdes == 0)
        { show_Endresult = 'rejection decision' ;
        show_mediationmode = "Transfer to Mediation mode";
        emit Mediationmode (show_mediationmode);

        } else {
```

شکل ۴. نمونه‌ای از کدنویسی.

برای ارزیابی مدل پیشنهادی، پس از بارگذاری کد برنامه در سایت ریمیکس و اتصال برنامه به سایت با تأیید گزینه کامپایل، برنامه به صورت عملی اجرا شده و اجازه ورود اطلاعات به ذینفعان پروژه داده می‌شود و پس از تشریح درخواست، با تصمیم تصمیم گیرنده، نتایج در پایین صفحه نمایش داده می شود (شکل ۵). پس از برنامه نویسی و ایجاد مدل، کارایی آن باید بررسی شود. برای این منظور، برنامه‌ریزی شد تا با استفاده از مدل طراحی شده، ادعاهای

واقعی ساخت و ساز قبلی مورد سنجش قرار گیرد و زمان و هزینه مورد نیاز به عنوان شاخص‌های هدف مقایسه شود. لازم به ذکر است که فرضیه در اینجا رضایت کامل و توافق متقابل طرفین بر خروجی است، زیرا بدیهی است که پذیرش نهایی شرایط به شدت به عوامل متعدد دیگری وابسته است.



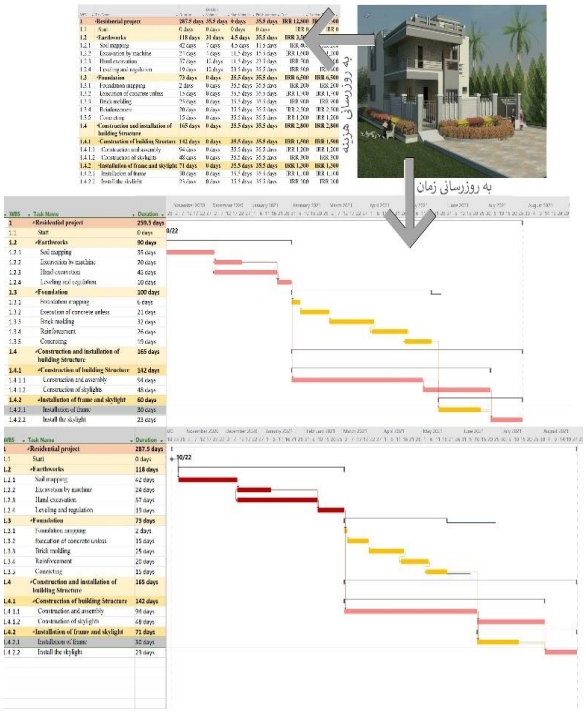
شکل ۵. پیاده‌سازی مدل در اتریوم.

بنابراین، برای آزمایش مدل، چهار تغییر احتمالی با استفاده از داده‌های ارزشمندی که از وزارت مسکن و شهرسازی اقتباس شده است، صورت پذیرفته است. داده‌های موجود شامل شرح تغییرات، نتیجه و زمان صرف شده برای حل تغییرات احتمالی است. بر این اساس، چهار مورد تغییر احتمالی به صورت تصادفی انتخاب و مورد بررسی واقع گردید.

بر اساس تحلیل محتوای قضاوت کارشناسان از مدل توسعه‌یافته، مزایای اصلی مدل توسعه‌یافته را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱. انتقال و تنظیم برخی از قسمت‌های قرارداد ساخت‌وساز به صورت هوشمند.
۲. همه ذینفعان داخلی و خارجی می‌توانند به صورت آنلاین به قرارداد بپردازند.
۳. زنجیره تامین پروژه می‌تواند با آگاهی از فرآیندهای حل قرارداد، زودتر به مسئولیت‌ها متعهد شود.
۴. رسیدن به بالاترین کیفیت اسناد که برای مدیریت قرارداد حیاتی است.
۵. کاهش هزینه‌های سوءتفاهم و تفسیر نادرست از بندهای قرارداد توسط ذینفعان مختلف.
۶. با استفاده از این سیستم، پیگیری جریان رسیدگی به تغییرات احتمالی در تمامی مراحل آسان‌تر است.
۷. با ایجاد بستر ارتباطی برای بخش‌های اساسی صنعت، یعنی مهندسی، تدارکات و ساخت‌وساز، از مفاهیم همکاری در پشت سیستم بیشتر پشتیبانی می‌کند.
۸. این سیستم با ارائه رویه‌های دقیق بررسی تغییرات احتمالی، اطمینان بالایی را برای نهادهای تأمین مالی و سایر طرف‌های مشترک ایجاد می‌کند.

با توجه به توضیحات عنوان شده در رابطه با اتصال مدل هوشمند به BIM، در مرحله نهایی، نتایج یکی از سناریوهای بررسی شده به عنوان ورودی برای به‌روزرسانی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در نظر گرفته شده است. اطلاعات این ورودی منجر به تغییر در سه عامل طرح پروژه شد: مدل سه بعدی، برنامه های زمانی و محاسبات هزینه (شکل ۶). به همین جهت، مدل توسعه یافته از ساختمان در Navisworks در نظر گرفته شد. متعاقباً با ارزیابی WBS پروژه مشخص شد که رای نهایی تا چه اندازه باعث تغییر در محدوده کاری پروژه شده است. تغییراتی که در WBS رخ می‌دهد و به دلیل تغییرات در ویژگی‌های فعالیت‌ها یا وظایف دوباره‌کاری است، می‌تواند به سادگی توسط سیستم بر اساس کدهای WBS شناسایی شود. در نمونه مورد بررسی، WBS همچنین تغییراتی را در زمان و هزینه کل پروژه به دلیل دوباره‌کاری بخش عملیات زیرزمینی و مسیر بحرانی لحاظ کرده است. پس از انجام تنظیمات لازم در WBS، زمان مورد نیاز برای تکرار فعالیت‌ها در بخش عملیات زیرزمینی محاسبه شده است. بر این اساس، نقشه‌برداری خاک، حفاری با ماشین، حفاری دستی و تسطیح به ترتیب به ۷ روز، ۴ روز، ۱۲ روز و ۱۲ روز بیشتر نیاز دارد. این تنظیم تاریخ اتمام پروژه نمودار گانت را تغییر می دهد و مسیر بحرانی کلی پروژه را به روز می‌کند. از سوی دیگر، تمدید زمان و تغییرات وظایف به معنای افزایش تخصیص منابع و در نتیجه تحمیل هزینه-های بیشتر به پروژه است. بنابراین در قسمت بعدی هزینه‌ها محاسبه می‌شود که حاصل آن مقایسه هزینه‌های اولیه و هزینه‌های تحمیل شده بر پروژه در نتیجه ادعا است که در دو ستون آمده است.



شکل ۶. به روز رسانی و WBS متعاقباً به روز رسانی زمان و هزینه پروژه.

۵. نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، به ادغام زنجیرهٔ بلوکی (بلاکچین) با سیستم‌های مدل‌سازی اطلاعات ساختمان پرداخته شده است و مدلی مبتنی بر اجرای قراردادهای هوشمند در بستر اتریوم ارائه شده است. از آنجایی که بلاکچین، یک دفتر کل است که در شبکه‌ای غیرمتمرکز متشکل از مجموعه‌ای از گره‌ها یا اعضاء، لیستی از داده‌ها را در خود حفظ می‌کند. عدم تمرکز در بلاکچین باعث می‌شود تا تمامی اعضاء از شبکه به یک نسبت بهره ببرند و قدرت واحد وجود ندارد. این خصوصیت در برنامه اجرای قراردادهای ساختمان به متخصصان کمک می‌کند تا تمامی اعضا به یک اندازه از شبکه استفاده کنند.

در مدل توسعه داده شده، سعی شده است تا با استفاده از ویژگی‌های فناوری بلاکچین، مشکلات و چالش‌های موجود در مدیریت هزینه‌های صنعت ساختمان برطرف شود. بلاکچین، فناوری نوینی است که با ویژگی‌های مخصوص به خود، در سال‌های گذشته، در بسیاری از زمینه‌های صنعت ساختمان وارد شده و سبب انقلاب جدیدی در این حوزه گردیده است. با استفاده از بلاکچین در حل چالش‌های پرداخت در صنعت ساختمان، بسیاری از مزیت‌های بلاکچین و قرارداد هوشمند، باعث تاثیرات بسزایی در اجرای قراردادهای ساختمانی خواهد شد. با بهره‌گیری از قراردادهای هوشمند که مجموعه‌ای از قواعد و شروط است و کدهای آن بر روی بلاکچین به صورت خودکار اجرا می‌شوند، می‌توان قراردادهای ساختمانی را به صورت برنامه‌ای نیمه‌خودکار بر روی بستر بلاکچین اجرا نمود و بسیاری از مشکلات قراردادهای سنتی نظیر تاخیرها، سلسله مراتب و بروکراسی، ارتباطات ضعیف، هزینه‌های زیاد و دیگر مشکلات را با این روش برطرف کرد. این مطالعه، از اولین پژوهش‌های دانشگاهی برای ایجاد یک مدل مبتنی بر BCT است که مدیریت هزینه و زمان پروژه را هدف قرار می‌دهد. تعاملات بالقوه با سیستم‌های اطلاعاتی پروژه برای به‌روزرسانی پارامترهای حیاتی شامل محدوده، زمان‌بندی و هزینه که ممکن است با توجه به شرایط و خروجی‌های فرآیند مدیریت هزینه تغییر کند، در این مدل بررسی شده است. پلتفرم ارائه‌شده با جایگزینی فرآیندهای سنتی با رابط‌های مجازی مبتنی بر فناوری، انتقال و ثبت داده ها و اطلاعات را بین ذینفعان کلیدی تیم پروژه تسهیل می‌کند. با ادامه این روند و هوشمندسازی سایر بعدهای مدیریتی و پیوند شبکه‌های BCT در بستر BIM، می‌توان بر محدودیت‌های پیوندهای داده نیمه خودکار نیز غلبه کرد. با این حال، از آنجایی که جنبه‌های نرم مهارت‌های مدیریت پروژه مانند مدیریت قرارداد، بسیار از فناوری‌های جدید دور مانده است، به نظر می‌رسد که چنین تحقیقاتی می‌تواند دیدگاه سنتی سفت و سخت را نسبت به این جنبه‌های مدیریت پروژه تعدیل کند.

مراجع

[1] Z. You and L. Feng, “Integration of industry 4.0 related technologies in construction industry: a framework of cyber-physical system,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 122908–122922, 2020.

[2] W. S. Alaloul, M. S. Liew, N. A. W. A. Zawawi, and I. B. Kennedy, “Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders,” *Ain shams Eng. J.*, vol. 11, no. 1, pp. 225–230, 2020.

[3] A. Faraji, “Smart Contract Based Conceptual Model for Optimizing Risk Distribution in Construction Industry,” 2019.

[4] H. Altay and I. Motawa, “An investigation on the applicability of smart contracts in the construction industry,” *ARCOM Dr. Work.*, no. March 25, 2020, pp. 12–16, 2020.

[5] M. van Staveren, “The construction industry – challenges and opportunities,” *Uncertain. Gr. Cond.*, no. March, pp. 19–35, 2020.

[6] Y. Lu, X. Xu, and L. Wang, “Smart manufacturing process and system automation – A critical review of the standards and envisioned scenarios,” *J. Manuf. Syst.*, vol. 56, no. June, pp. 312–325, 2020.

[7] F. Gu, J. Guo, P. Hall, and X. Gu, “An integrated architecture for implementing extended producer responsibility in the context of Industry 4.0,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 57, no. 5, pp. 1458–1477, 2019.

[8] E. Oztemel and S. Gursev, “Literature review of Industry 4.0 and related technologies,” *J. Intell. Manuf.*, vol. 31, no. 1, pp. 127–182, 2020.

[9] R. Maskuriy, A. Selamat, P. Maresova, O. Krejcar, and O. O. David, “Industry 4.0 for the construction industry: Review of management perspective,” *Economies*, vol. 7, no. 3, pp. 1–14, 2019.

[10] P. Maresova *et al.*, “Consequences of industry 4.0 in business and economics,” *Economies*, vol. 6, no. 3, p. 46, 2018.

[۱۱] مهدی باستان، معصومه زارعی و علی محمد احمدوند، "مدل پذیرش مدل سازی اطلاعات ساختمان در ایران"، نشریه چشم‌انداز مدیریت صنعتی، دوره ۱۰، شماره ۳۷، بهار ۱۳۹۹، ص-ص ۹-۳۹.

[۱۲] علی پروری و سودابه والی‌زاده، "بررسی ساختمان های با اهمیت زیاد با بهره گیری از مدلسازی اطلاعات ساختمان"، نشریه مهندسی و مدیریت ساخت، دوره ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص-ص ۳۹-۴۹.

[۱۳] نیلوفر روحانی و سید یاسر بنی‌هاشمی، "الویت بندی موانع پیاده سازی مدلسازی اطلاعات ساختمان در صنعت ساخت ایران"، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۴، شماره ۲، سال ۱۴۰۱، ص-ص ۷۷۵-۷۹۲.

[۱۴] سحر طاهریپور، مجتبی عزیزی و احسان‌اله اشتهاردیان، "تبیین اثر مؤلفه های فرهنگ ملی در پذیرش فناوری مدلسازی اطلاعات ساختمان در شرکت های ساختمانی استان تهران"، نشریه مهندسی عمران شریف، دوره ۲، شماره ۲، بهار ۱۴۰۱، ص-ص ۱۱۹-۱۲۹.

[۱۵] رافائل ساکس، چارلز ایستمن، جانگ لی و پاول نیچولز، "هندبوک BIM راهنمای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان برای صاحبان، طراحان، مهندسین، پیمانکاران و مدیران اجرایی صنعت ساخت و ساز"، ۱۴۰۰.

[16] A. Faraji, M. Rashidi, M. R. Tezangi, and S. Perera, “Multihybrid Dispute Resolution Framework for Projects of Downstream Sector of Petroleum Industry,” *J. Leg. Aff. Disput. Resolut. Eng. Constr.*, vol. 13, no. 4, p. 4521026, 2021.

[17] A. De Marco, A. Karzouna, A. De Marco, and A. Karzouna, “ScienceDirect ScienceDirect Assessing the Benefits of the Integrated Project Delivery Method : Assessing the Benefits of the Integrated Project Delivery Method : A Survey of Expert Opinions A Survey of Expert Opinions CENTERIS - International Conference o,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 138, pp. 823–828, 2018.

[18] J. Eynon, *Construction manager’s BIM handbook*. John Wiley & Sons, 2016.

[19] C. I. De Gaetani, M. Mert, and F. Migliaccio, “applied sciences Interoperability Analyses of BIM Platforms for Construction Management,” 2020.

[20] J. J. Hunhevicz, M. Motie, and D. M. Hall, “Digital building twins and blockchain for performance-based

(smart) contracts," *Autom. Constr.*, vol. 133, p. 103981, 2022.

[21] Z. Soltani, S. Anderson, and J. Kang, "The Challenges of Using BIM in Construction Dispute Resolution Process," *53rd ASC Annu. Int. Conf. Proc.*, pp. 771–776, 2017.

[22] A. Faraji, M. Rashidi, P. Khadir, and S. Perera, "A Risk Analysis-Best Worst Method Based Model for Selection of the Most Appropriate Contract Strategy for Onshore Drilling Projects in the Iranian Petroleum Industry," *Buildings*, vol. 11, no. 3, p. 97, 2021.

[23] A. Faraji, M. Rashidi, and E. Sorooshnia, "An Integrated Organizational System for Project Source Selection in the Major Iranian Construction Companies," *Buildings*, vol. 10, no. 12, 2020.

[24] M. Golabchi and A. Faraji, *Project strategic management*. 2010.

[25] S. Koc and S. SKAIK, "Disputes Resolution: Can Bim Help Overcome Barriers?," *CIB 2014 Proc. 2014 Int. Conf. Constr. a Chang. World*, pp. 1–15, 2014.

[26] K. Mostafa, S. Moslem, and B. Saeed, "BIM Applications Toward Key Performance Indicators of Construction Projects BIM applications toward key performance indicators of construction projects in Iran Mostafa Khanzadi , Moslem Sheikhkhoshkar & Saeed Banihashemi," *Int. J. Constr. Manag.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–16, 2018.

[27] A. Faraji, "Neuro-fuzzy system based model for prediction of project performance in downstream sector of petroleum industry in Iran," *J. Eng. Des. Technol.*, Jan. 2021.

[28] Salleh et al, "Built Environment & Sustainability," vol. 2, no. 2009, pp. 83–90, 2019.

[29] A. Faraji, M. Rashidi, S. Perera, and B. Samali, "Applicability-Compatibility Analysis of PMBOK Seventh Edition from the Perspective of the Construction Industry Distinctive Peculiarities," *Buildings* , vol. 12, no. 2. 2022.

[30] B. Franz, M. Asce, K. R. Molenaar, M. Asce, and B. A. M. Roberts, "Revisiting Project Delivery System Performance from 1998 to 2018," vol. 146, no. 9, pp. 1–11, 2020.

[31] A. Tezel, M. Taggart, L. Koskela, P. Tzortzopoulos, J. Hanahoe, and M. Kelly, "Lean construction and BIM in small and medium-sized enterprises (SMEs) in construction : a systematic literature," vol. 201, no. March 2019, pp. 186–201, 2020.

[32] V. et al Adam, "Building Information Modelling (BIM) Readiness of Construction Professionals : The Context of the Seychelles Construction Industry Professionals : The Context of the Seychelles Construction Industry," 2021.

[33] A. Faraji, M. Rashidi, F. Rezaei, and E. Sorooshnia, "Determining Appropriate Thermal Comfort Period based on PET and PMV Using the RayMan Model: A case study in the subtropical city of Sari," *Iran Univ. Sci. Technol.*

[34] B. D. Ilozor and D. J. Kelly, " Building Information Modeling and Integrated Project Delivery in the Commercial Construction Industry: A Conceptual Study," *J. Eng. Proj. Prod. Manag.*, vol. 2, no. 1, pp. 23–36, 2012.

[35] V. Nývlt and R. Novotný, "Critical factors affecting a successful BIM integrated design solution," vol. 01004, 2019.

[۳۶] پریسا موسوی، علیرضا صالحان و رضا یوسفی‌زنوز، "شناسایی و بررسی حوزه ها و روندهای پژوهشی فناوری بلاکچین"، نشریه مطالعات مدیریت کسب و کار هوشمند، دوره ۱۰، شماره ۳۹، بهار ۱۴۰۱، ص-ص ۱۶۳-۱۹۵.

[37] A. Faraji, M. Rashidi, N. A. Eftekhari, S. Perera, and S. Mani, "A Bid/Mark-Up Decision Support Model in Contractor's Tender Strategy Development Phase Based on Project Complexity Measurement in the Downstream Sector of Petroleum Industry," *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.*, vol. 8, no. 1, p. 33, 2022.

[38] P. S. Sajana M; Sethumadhavan, M, "On Blockchain Applications: Hyperledger Fabric And Ethereum," *Int. J. Pure Appl. Math.*, vol. 118, no. 18, pp. 2965–2970, 2018.

[39] K. Francisco and D. Swanson, "The Supply Chain Has No Clothes: Technology Adoption of Blockchain for Supply Chain Transparency," *Logistics*, vol. 2, no. 1, p. 2, 2018.

[40] A. Faraji, M. Rashidi, and S. Perera, "Text Mining Risk Assessment–Based Model to Conduct Uncertainty Analysis of the General Conditions of Contract in Housing Construction Projects: Case Study of the NSW GC21," *J. Archit. Eng.*, vol. 27, no. 3, p. 4021025, 2021.

[41] M. Golabchi and A. Faraji, “Pre-Project Neuro-Fuzzy Decision Support Model for Oil Industry Projects,” *Ind. Manag. J.*, vol. 7, no. 4, pp. 837–860, 2015.

[42] Ž. Turk and R. Klinc, “Potentials of Blockchain Technology for Construction Management,” *Procedia Eng.*, vol. 196, no. June, pp. 638–645, 2017.

[43] A. Faraji, M. Rashidi, T. Meydani Haji Agha, P. Rahnamayiezekavat, and B. Samali, “Quality Management Framework for Housing Construction in a Design-Build Project Delivery System: A BIM-UAV Approach,” *Buildings*, vol. 12, no. 5, p. 554, 2022.

[44] M. Soltaninejad, A. Faraji, and E. Noorzai, “Recognizing the effective factors in managing fire incidents to reduce the collateral damages and casualties,” *Facilities*, 2021.

[45] K. Kim, G. Lee, and S. Kim, “A Study on the Application of Blockchain Technology in the Construction Industry,” *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 24, no. 9, pp. 2561–2571, 2020.

[46] H. N. Dai, Z. Zheng, and Y. Zhang, “Blockchain for Internet of Things: A Survey,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 5, pp. 8076–8094, 2019.

[47] Z. Zheng, S. Xie, H. Dai, X. Chen, and H. Wang, “An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends,” *Proc. - 2017 IEEE 6th Int. Congr. Big Data, BigData Congr. 2017*, no. October, pp. 557–564, 2017.

[48] A. Brydon Wang, “Addressing financial fragility in the construction industry through the blockchain and smart construction contracts,” *Aust. Constr. Law Bull.*, vol. 30, no. 1&2, pp. 116–123, 2018.

[49] S. Ahmadjee, C. Mera-Gómez, and R. Bahsoon, “Assessing Smart Contracts Security Technical Debts,” 2021.

[50] M. Darabseh and J. P. Martins, “Risks and Opportunities for Reforming Construction with Blockchain: Bibliometric Study,” *Civ. Eng. J.*, vol. 6, no. 6, pp. 1204–1217, 2020.

[51] K. C. Goh1, “MALAYSIAN CONSTRUCTION RESEARCH,” 2019.

[52] A. Shojaei, I. Flood, H. I. Moud, M. Hatami, and X. Zhang, “An Implementation of Smart Contracts by Integrating BIM and Blockchain,” *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 1070, no. October, pp. 519–527, 2020.

[53] F. Idelberger, G. Governatori, R. Riveret, and G. Sartor, “Evaluation of logic-based smart contracts for blockchain systems,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 9718, pp. 167–183, 2016.