"Research Article"

10.30495/QJOPM.2022.1937137.3200

Project Efficiency Estimation Based on Dynamic Simulation Model of Earned Value Management

Mojtaba Bakhshandeh[1], *Yahya Zare Mehrjerdi(Ph.D.)*[*2]

(Receipt: 2021.07.28- Acceptance:2022.03.02)

Abstract

Earned Value Management (EVM) is known as an efficient and well-known tool for project management. Examining various sources, it was observed that although the EVM analytical model has introduced good indicators for measuring project progress, it is weak in estimating the final cost of the project and does not predict the process of cost change and project efficiency. On the other hand, nothing has been done so far to use system dynamics in EVM.Therefore, considering the capacity of system dynamics in modeling complex systems and setting parameters dynamically based on model variables, the main problem of modeling research is the value model obtained by simulating system dynamics. The dynamic hypothesis of the research was that there are dynamics between the main indicators of EVM. Identifying these dynamics and the way they affect each other can lead to estimating the process of changing costs and project efficiency by the end of the project.Through presenting the causal loop diagram and the stack flow diagram of the proposed model, the variables were determined and after simulation, the model was validated by performing various tests and different policy scenarios were presented.The comparison of the results of the research simulation model with the results of the EVM analytical model revealed that there is a slight difference between the results and the efficiency. The main contribution of the research is the creation of a simulation model based on system dynamics as the core of the simulation to estimate the trend and the final amount of efficiency and cost of the project, which can be part of a more comprehensive simulation model. This can be used to determine the impact of various project management functions on improving project efficiency, which is the main suggestion for further research.

Key Words: system dynamics, Earned Value Management, project efficiency, simulation model

1. Ph.D. candidate, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Yazd University,Iran
2. Professor,Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Yazd University, Iran.
*.Corresponding Author: yzare@ yazd.ac.ir

10.30495/QJOPM.2022.1937137.3200

((مقاله پژوهشی))

تخمین میزان کارآیی پروژه مبتنی بر مدل شبیه‌سازی پویای مدیریت ارزش کسب‌شده

مجتبی بخشنده [۱]، یحیی زارع مهرجردی [۲*]

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۶–پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۱۲/۱۱)

چکیده

مدیریت ارزش کسب‌شده (EVM[۳]) به عنوان ابزاری کارآمد و شناخته‌شده برای مدیریت پروژه شناخته می‌شود. با بررسی منابع مختلف مشاهده شد که هرچند مدل تحلیلی EVM شاخص‌های خوبی برای اندازه‌گیری پیشرفت پروژه معرفی نموده، اما در تخمین هزینه نهایی پروژه ضعف داشته و روند تغییر هزینه و کارایی پروژه را پیش‌بینی نمی‌کند. از طرف دیگر، در زمینه بکارگیری پویایی سیستم در مدیریت ارزش کسب‌شده تاکنون کاری انجام نشده است. لذا با توجه به توانایی پویایی سیستم در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده و توانایی تنظیم پارامترها به‌صورت پویا بر اساس متغیرهای مدل، مسأله اصلی تحقیق مدل‌سازی مدل ارزش کسب‌شده با شبیه‌سازی پویایی سیستم است. فرضیه پویای تحقیق این است که بین شاخص‌های اصلی EVM، پویایی‌هایی وجود دارد. شناسایی این پویایی‌ها و چگونگی تأثیر آنها بر یکدیگر می‌تواند منجر به تخمین روند تغییر هزینه‌ها و کارایی تا پایان پروژه شود. با ارائه نمودارهای حلقه علی و انباشت جریان مدل پیشنهادی، متغیرها تعیین و پس از شبیه‌سازی، با انجام آزمون‌های مختلف مدل اعتبارسنجی شده، سپس سناریوهای مختلف سیاست‌گذاری ارائه گردیده است. با توجه به مقایسه نتایج مدل شبیه‌سازی تحقیق با نتایج مدل تحلیلی EVM، اختلاف نتایج با میزان کارایی به میزان کمتری است. نوآوری اصلی تحقیق، ایجاد یک مدل شبیه‌ساز مبتنی بر پویایی سیستم به‌عنوان هسته اصلی شبیه‌سازی جهت تخمین روند و میزان نهایی کارایی و هزینه پروژه که می‌تواند به‌عنوان جزئی از یک مدل جامع‌تر شبیه‌سازی، جهت تعیین تأثیر کارکردهای مختلف مدیریت پروژه بر ارتقای کارایی پروژه بکار برده شده که این پیشنهاد اصلی ادامه تحقیق است.

واژه های کلیدی: مدیریت ارزش کسب‌شده، کارایی پروژه، پویایی سیستم، مدل شبیه‌سازی

۱. دانشجوی دکترای گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، ایران
۲. استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه یزد، ایران .
*. نویسنده مسؤول: yzare@ yazd.ac.ir

3.Earened-Value Management

مقدمه

انجمن مدیریت پروژه، مدیریت ارزش کسب‌شده (EVM) را به‌عنوان یک متدولوژی ترکیب محدوده، زمان‌بندی و اندازه‌گیری منابع به‌منظور ارزیابی عملکرد و پیشرفت پروژه تعریف کرده است (موسسه مدیریت پروژه[1]، ۲۰۱۷). مشهورترین متدولوژی مدیریتی مورداستفاده در مدیریت پروژه، مدیریت ارزش کسب شده است. موضوع EVM به‌عنوان یک روش ارزیابی عملکرد پروژه بر اساس یکپارچه‌سازی سه عنصر زمان‌بندی، محدوده و هزینه جهت پروژه‌های ساختمانی مورد تأکید قرار گرفته است (پریو[2]، ۲۰۲۱). این تکنیک به مدیران پروژه این امکان را می‌دهد تا پیشرفت پروژه را اندازه‌گیری و تأیید کرده و انحراف از مرحله برنامه‌ریزی پروژه را تشخیص دهند تا اقدامات اصلاحی اولیه انجام شود (آسیبس و همکاران[3]، ۲۰۱۲). هدف اصلی کنترل پروژه اندازه‌گیری پیشرفت واقعی پروژه به گونه‌ای است که انحرافات از طرح شناسایی شده و اقدامات اصلاحی برای برگرداندن پروژه به مسیر اصلی انجام شود. با بکارگیری EVM در کنار تحلیل ریسک، جهت کنترل پروژه و تعیین اقدامات اصلاحی استفاده شده است (سونگ و همکاران[4]، ۲۰۲۱). با توجه به افزایش هزینه‌ای و زمانی اغلب پروژه‌های ساختمانی در بنگلادش به دلیل اجرای سیستم معمول پایش پروژه‌ها، مشخص شد که بکارگیری EVM می‌تواند زمینه ارزیابی دقیق موقعیت پروژه‌ها و مدیریت و کاهش زمان و هزینه آنها را فراهم سازد (حسن و همکاران[5]، ۲۰۲۱). بکارگیری EVM در پروژه‌های نفت و گاز به‌منظور اجرای کنترل عملکرد پروژه مورد تأکید قرار گرفته است (بهاتیا و ناگار[6]، ۲۰۲۱). استراتژی‌های مختلف بهبود و مدیریت عملکرد پروژه‌های ساختمانی توسط وارشنی[7] (۲۰۲۰)، در حوزه‌های زمان و هزینه، مورد ارزیابی قرار گرفته است و EVM به‌عنوان یکی از بهترین استراتژی‌ها مورد تأکید قرار گرفته است. نتو و همکاران[8] (۲۰۲۰)، اذعان نمودند که EVM منجر به تعریف محدوده، ارتقای تعاملات عملکرد پروژه و تحقق اهداف زمان‌بندی و هزینه‌ای پروژه و نهایتاً بررسی و حل مسائل پروژه می‌گردد. اما اجرای آن نیازمند بلوغ سازمانی، حمایت مدیریت ارشد، آموزش EVM و بکارگیری نرم‌افزارهای مدیریت پروژه است.

1.Project Management Institute (PMI)
2. Priyo
3. Acebes et al.
4. Song et al.
5. Hasan et al.
6. Bhatia and Nagare
7. Varshney
8. Netto et al.

پیش‌بینی هزینه نهایی پروژه‌ها مسأله بسیار مهمی در مدیریت پروژه است. بالستروس-پرز و همکاران[1] (۲۰۱۹)، علی‌رغم قابلیت‌های بسیار EVM جهت استفاده به‌منظور کنترل عملکرد پروژه، یکی از ضعف‌های EVM در پیش‌بینی وضعیت نهایی پروژه در هزینه بوده است و به‌خصوص در پروژه‌های ساختمانی شاهد هزینه بیش‌ازحد و بالاتر از مقادیر پیش‌بینی EVM در پایان آن بوده است. لذا از شبکه عصبی مصنوعی (ANN[2]) به‌منظور حداقل‌سازی ضعف‌های EVM در پیش‌بینی هزینه نهایی پروژه استفاده شده است. (بالالی و همکاران[3]، ۲۰۲۰). (ظهرا و توماس[4]، ۲۰۲۰)، با بکارگیری شبیه‌سازی مونت‌کارلو به بررسی افزایش بیش‌ازحد هزینه‌های پروژه بر اساس شاخص‌های تکنیک EVM پرداخته‌اند. جهت بررسی تأثیرات تغییرات محدوده بر برنامه و عملکرد پروژه از شبیه‌سازی مونت‌کارلو بر روی شاخص‌های EVM استفاده شده است (تاریک و همکاران[5]، ۲۰۲۰). مدل ارتقا یافته EVM به نام (E-EVM[6]) جهت مدیریت پروژه‌های بزرگ که شامل مجموعه‌ای از پروژه‌ها ایجاد و استفاده شده است (پاسکوال و همکاران[7]، ۲۰۲۱). با توجه به وجود عدم قطعیت در پروژه، از مدل فازی EVM تحت عنوان ZEVM به‌منظور انجام محاسبات مختلف فازی شاخص‌های مختلف استفاده شده است (هندیانی و همکاران[8]، ۲۰۲۰). ژائو و زی[9] (۲۰۲۱)، اذعان نموده که نمی‌شود بر EVM جهت پیش‌بینی هزینه نهایی پروژه با توجه به امکان عدم مشابهت مرحله بعدی پروژه با مرحله فعلی تکیه کرد. بکارگیری و مدل‌سازی سری‌های زمانی به‌منظور تخمین زمان نهایی تکمیل پروژه (DEAC[10]) بر اساس منطق EVM مورد تحقیق قرار گرفته است (ساکی[11]، ۲۰۲۰). باتسلیر و ونهوکه[12] (۲۰۱۷)، در تحقیق خود، ادغام رویکرد پیش‌بینی هموار کننده نمایی با EVM، برای پیش‌بینی زمان و هزینه آینده پروژه‌ها مورد استفاده قرار داده‌اند.

پویایی سیستم[13] یک رویکرد مبتنی بر کامپیوتر برای مطالعه از طریق مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم‌های دینامیکی است و برای افزایش یادگیری در مورد سیستم‌های پیچیده استفاده می‌شود

1.Ballesteros-Pérez et al.
2.Artificial Neural Network
3.Balali et al.
4.Zuhra and Thomas
5.Tariq et al.
6.Enhanced-Earned Value Management
7.Pascual et al.
8.Hendiani et al.
9.Zhao and Zi
10. Duration Estimate At Completion
11. Sackey
12. Batselier and Vanhoucke
13. System Dynamics (SD)

(مرادی پور[1]، ۲۰۱۲). شبیه‌سازی پویایی سیستم یک رویکرد مناسب برای هر سیستم پویایی است که با وابستگی متقابل، تعامل متقابل، بازخورد اطلاعات و علیت دایره‌ای مشخص می‌شود (هاینز و مالون[2]، ۲۰۱۱).

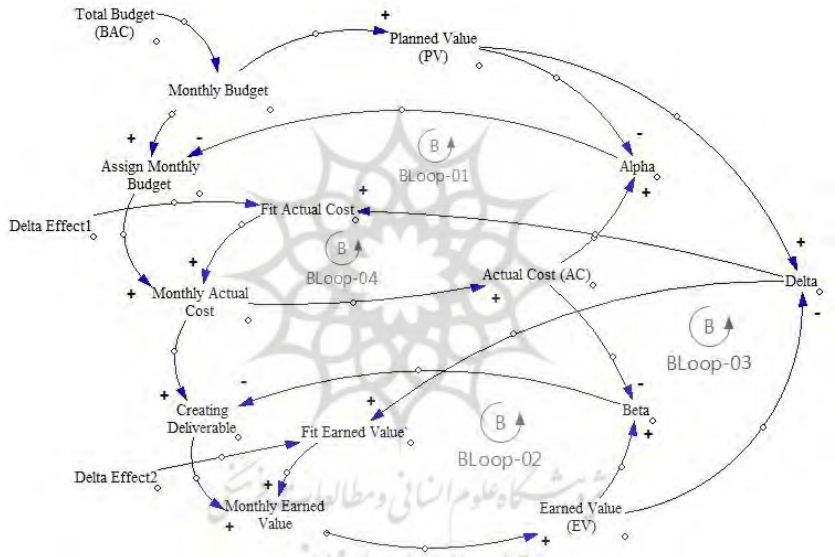
بر اساس منابع مطالعه شده مشخص گردید که یکی از ضعف‌های مدل EVM، در پیش‌بینی و تخمین هزینه نهایی پروژه است. لذا مشاهده شد که از تکنیک‌ها و ابزارهای مختلفی به‌منظور حل این موضوع استفاده شده که شامل هموارسازی نمایی، شبکه عصبی مصنوعی و فازی است. یک ویژگی مشترک مابین تمامی تکنیک‌های ارائه‌شده جهت رفع ضعف‌های EVM توانایی تنظیم پارامترها منطبق با شرایط مسأله و به‌عبارتی یادگیری ارتباطات موجود مابین متغیرهای مسأله است. لذا با توجه به توانایی پویایی سیستم در مدل‌سازی پویای سیستم‌های پیچیده و شناسایی ارتباط متقابل مابین متغیرها، انتظار می‌رود که پیچیدگی و روابط مابین متغیرهای مدل ارزش کسب‌شده را کاملاً درک کرده و بر مبنای آن پارامترهای خود را تنظیم نماید. در این تحقیق، ما به دنبال بکارگیری مدل پویایی سیستم، به‌عنوان یک ابزار مناسب در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده هستیم. این ابزار به‌نوعی شبیه مدل هموارسازی نمایی و البته در قالب مدل شبیه‌سازی و به‌صورت محاسبه همزمان متغیرهای مختلف عمل کرده و خروجی را ایجاد می‌نماید. البته ما در این تحقیق، به دنبال این نیستیم که بگوییم که مدل پویایی سیستم ارزش کسب‌شده به‌عنوان بهترین مدل جهت حل مشکل مدل تحلیلی ارزش کسب شده است. بلکه می‌خواهیم بیان کنیم که این مدل می‌تواند به‌عنوان راه‌حل مناسبی جهت مشکل مطرح شده باشد.

با توجه به اینکه در این تحقیق همزمان با تخمین هزینه نهایی پروژه، کارایی نهایی پروژه پیش‌بینی می‌شود. به بررسی تعریف کارایی می‌پردازیم. کارایی، به اجرای درست کارها در سازمان مربوط می‌شود. یعنی تصمیماتی که با هدف کاهش هزینه‌ها، افزایش مقدار تولید و بهبود کیفیت محصول اتخاذ می‌شوند. کارایی نسبت بازدهی استاندارد است (طاهری، ۱۳۷۸). مدیریت پروژه بر اجرای پروژه‌ها در راه درست تأکید دارد (موسسه مدیریت پروژه[3]، ۲۰۱۷). لذا با توجه به تعریف کارایی پروژه، می‌توان به این نتیجه رسید که راه درست همان کارایی است و درنتیجه مدیریت پروژه بر کارایی پروژه تأکید دارد.

بر اساس نتایج مطالعات انجام‌شده، مسأله تحقیق این است که مدل‌های تحلیلی هزینه یا کارایی پروژه و همچنین روند تغییر آنها را در طول اجرای پروژه، به‌صورت مناسب تخمین نمی‌زنند.

1. Moradipour
2. Hines and Malone
3. Project Management Institute (PMI)

بنابراین، ضرورت اصلی تحقیق در ارائه مدلی مبتنی بر مدل شبیه‌سازی پویایی سیستم به دلیل توانمندی آن در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده برای مدل‌سازی مدل ارزش کسب شده جهت تخمین هزینه و کارایی پروژه بر مبنای مدل شبیه‌سازی است. بر اساس مسأله تحقیق، فرضیه پویا این است که مابین شاخص‌های مدل EVM شامل مقدار برنامه‌ریزی‌شده(PV^1) ، مقدار هزینه واقعی (AC^2) و مقدار ارزش به‌دست‌آمده (EV^3) پویایی‌هایی وجود دارد که با شناسایی آن در طول اجرای پروژه می‌توان میزان هزینه و کارایی نهایی پروژه را تخمین زد. به‌منظور مدل‌سازی مسأله، با استفاده از نمودار حلقه علی، ارتباط عوامل علی تأثیرگذار بر یکدیگر شامل مقدار برنامه‌ریزی‌شده، هزینه واقعی و ارزش کسب شده بررسی شده که در شکل (شماره ۱) ارائه شده است.



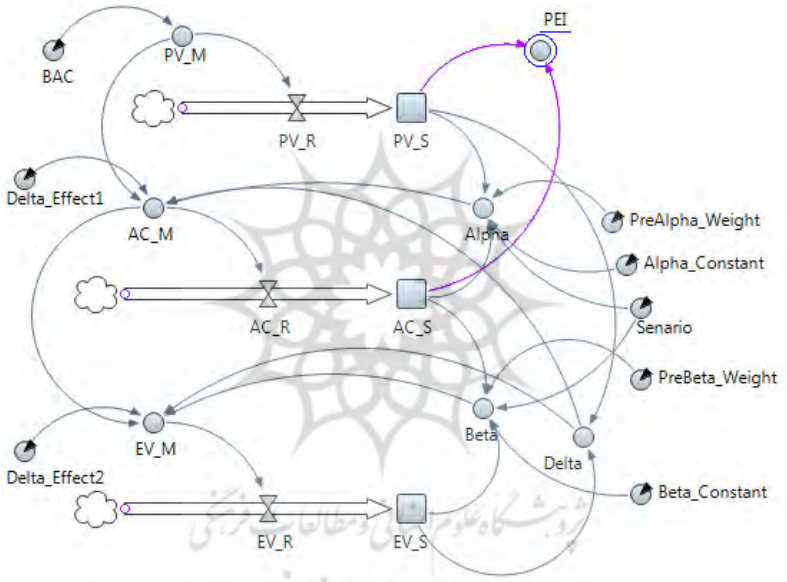
شکل شماره ۱: نمودار حلقه علی مدل

Figure 1: Causal Loop Diagram of Model

طبق نمودار بالا، چهار حلقه تعادل وجود دارد. در حلقه تعادل اول، افزایش مقدار هزینه واقعی با تفاوت با مقدار بودجه برنامه‌ریزی‌شده منجر به کاهش تخصیص مقدار بودجه برنامه‌ریزی‌شده می‌شود. در حلقه تعادل دوم، تفاوت ارزش کسب شده و هزینه واقعی، منجر به کاهش ارزش کسب

1. Planned Value
2. Actual Cost
3. Earned Value

شده می‌گردد. در حلقه تعادل سوم، خواهیم دید که اختلاف ارزش کسب شده و بودجه برنامه‌ریزی شده، منجر به تأثیرگذاری بر هزینه واقعی در افزایش ارزش کسب شده می‌شود. در حلقه تعادل چهارم، خواهیم دید که اختلاف ارزش کسب شده و بودجه برنامه‌ریزی‌شده، در افزایش هزینه واقعی پروژه تأثیرگذار است. دومین نمودار مورد استفاده در روش پویایی سیستم، نمودار انباشت جریان است. به‌عبارت‌دیگر، نمودار حلقه علی به یک نمودار انباشت جریان تبدیل می‌شود که برای شبیه‌سازی و مدل‌سازی کمی در میان متغیرهای مربوط به سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل انباشت جریان تحقیق به‌صورت شکل (شماره ۲) است.



شکل شماره ۲: نمودار انباشت جریان مدل

Figure 2: Stack Flow Diagram of Model

با توجه به فرضیه پویای تحقیق، مابین پارامترهای مدل ارزش کسب شده ارتباطی وجود دارد. در این مقاله، بر ارائه یک مدل شبیه‌سازی مبتنی بر پویایی سیستم جهت پیش‌بینی هزینه نهایی و کارایی پروژه تمرکز شده است. مقایسه‌ای بین مدل شبیه‌سازی و مدل تحلیلی از نظر برآورد هزینه کل پروژه ارائه گردیده است.

ابزار و روش

این تحقیق، از نظر هدف کاربردی و از نظر روش پیمایشی است. روش جمع‌آوری اطلاعات به‌طورکلی کتابخانه‌ای بوده است. لذا نوع رابطه بین متغیرها با استفاده از معادلات مورد استفاده در مدل ارزش کسب شده است. روش‌ها و ابزارها مورد استفاده در این تحقیق شامل روش پویایی‌شناسی سیستم و روش مدیریت ارزش کسب شده و ابزارهای مورد استفاده در آنها است که در ادامه به معرفی مختصر آنها پرداخته شده است.

پویایی‌شناسی سیستم

یکی از بهترین رویکردها در بررسی و تحلیل روابط متغیرها و مقولات تأثیرگذار بر رفتار پدیده‌ها، به‌ویژه در مدیریت، پویایی‌شناسی سیستم است که می‌تواند در شبیه‌سازی رفتار پدیده‌ها خصوصاً در هنگام پیچیده بودن آنها مورد استفاده قرار گیرد. این رویکرد برای اولین بار در کتاب پویایی‌های صنعتی توسط فارستر[1] (۱۹۵۸) مطرح گردید و سپس در سایر زمینه‌ها به‌ویژه علوم اجتماعی و اقتصاد مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل مبتنی بر تفکر سیستمی و به‌منظور مدل‌سازی، شبیه‌سازی و بررسی سیستم‌های پیچیده و پویا است. تأکید اصلی روش بر ساختاری است که بر اساس روابط تعاملی میان عوامل شکل می‌گیرد، چنین ساختاری منجر به رفتاری پویا در سیستم می‌شود. در این روش، از ابزارهای مختلفی مانند نمودار حلقه علی (CLD[2]) و نمودار انباشت جریان (SFD[3]). برای مدل‌سازی سیستم استفاده می‌شود. پویایی سیستم برای انجام پیاده‌سازی از دو روش تشکیل شده است. اولین نمودار CLD، به‌عنوان یک روش کیفی و دوم نمودار SFD، به‌عنوان یک روش کمی است (فارس‌تر[4]، ۱۹۹۸).

گام‌های ایجاد مدل مبتنی بر پویایی‌شناسی سیستم در شکل (شماره ۳) آمده است.

شکل شماره ۳: گام‌های ایجاد مدل مبتنی بر پویایی‌شناسی سیستم (استرمن، ۲۰۰۰)
Figure 3: Steps of Creating Model based on System Dynamics (Sterman, 2000)

1.Forrester
2.Causal Loop Diagram
3.Stack Floaw Diagram
4.Forrester

با توجه به گام‌های ایجاد مدل در شکل فوق، موارد بیان مسأله، فرضیه پویا و تدوین مدل شبیه‌سازی در مقدمه ارائه و موارد گام‌های بعدی مدل، در ادامه آورده شده است.

مدیریت ارزش کسب شده

مدیریت ارزش کسب شده (EVM)، یک تکنیک مدیریتی برای نظارت بر عملکرد پروژه است. EVM، کنترل محدوده، هزینه و زمان‌بندی را در یک چارچوب مشابه یکپارچه می‌کند. سیستم مدیریت اطلاعات پروژه (PMIS[1])، اغلب به‌منظور پایش سه بعد EVM شامل PV، EV و AC به‌منظور نمایش روند گرافیکی و پیش‌بینی یک محدوده نتایج پایانی پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد. همزمان با پیشرفت پروژه، تیم پروژه ممکن است یک تخمین برای هزینه اتمام پروژه (EAC[2]) حساب کند که با بودجه اولیه پروژه (BAC[3]) متفاوت باشد. در این‌صورت شاخص عملکردی هزینه پروژه یا به‌عبارتی کارایی پروژه را می‌توان در طول پروژه بر اساس تقسیم PV بر AC و در پایان پروژه بر اساس تقسیم BAC بر EAC محاسبه نمود (موسسه مدیریت پروژه، ۲۰۱۷). EVM به مدیران پروژه این امکان را می‌دهد که بدانند پروژه بیش‌ازحد هزینه دارد (هزینه‌های بیش‌ازحد و/یا تأخیر)، اما مدیران پروژه نمی‌دانند چه زمانی انحراف از مقادیر برنامه‌ریزی‌شده آن‌قدر مهم است که اقدامات اصلاحی باید انجام شود یا در صورت عملکرد خوب، منابع بهبود را می‌توان تشخیص داد (آسیبس و همکاران[4]، ۲۰۱۲).

متغیرها و روابط مدل شبیه‌سازی

به‌منظور فرموله کردن مدل انباشت به نمایندگی از یک سری متغیر استفاده شده که در جدول (شماره ۱) ارائه شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1.Project Management Information System
2.Estimated At Complete
3.Budget At Complete
4.Acebes et al.

جدول شماره ۱: متغیرهای شبیه‌سازی مدل

Table 1: Variables of Simulation Model

ردیف No	نام متغیر Variable Name	عنوان متغیر Variable Title	نوع متغیر Variable Type
1	PV_S	انباشت مقدار برنامه‌ریزی‌شده Planned Value Stock	انباشت Stock
2	EV_S	انباشت ارزش کسب شده Earned Value Stock	انباشت Stock
3	AC_S	انباشت هزینه واقعی Actual Cost Stock	انباشت Stock
4	Alpha	آلفا Alpha	متغیر کمکی Auxiliary variable
5	Beta	بتا Beta	متغیر کمکی Auxiliary variable
6	Delta	دلتا Delta	متغیر کمکی Auxiliary variable
7	PV_M	ماهیانه مقدار برنامه‌ریزی‌شده Planned Value Monthly	متغیر کمکی Auxiliary variable
8	EV_M	ماهیانه ارزش کسب شده Earned Value Monthly	متغیر کمکی Auxiliary variable
9	AC_M	ماهیانه هزینه واقعی Actual Cost Monthly	متغیر کمکی Auxiliary variable
10	PV_R	نرخ مقدار برنامه‌ریزی‌شده Planned Value Rate	نرخ Rate
11	EV_R	نرخ ارزش کسب شده Earned Value Rate	نرخ Rate
12	AC_R	نرخ هزینه واقعی Actual Cost Rate	نرخ Rate
13	BAC	مقدار کامل بودجه Budget At Complete Value	پارامتر Parameter
14	PEI	شاخص کارایی پروژه Project Efficiency Index	متغیر کمکی Auxiliary variable

ارتباط مابین متغیرهای تعریف‌شده جدول بالا به‌صورت زیر است:

$$Alpha(i) = \frac{AC_S(i) - AC_S(i-1)}{PV_S(i) - PV_S(i-1)} = \frac{\Delta AC(i)}{\Delta PV(i)}$$ رابطه ۱)

$$\Delta AC(i) = Alpha(i) * \Delta PV(i)$$ رابطه ۲)

$$AC_S(i) = AC_S(i-1) + Alpha(i) * \Delta PV(i)$$ رابطه ۳)

$$AC_S(i) = AC_S(i-1) + Alpha(i) * (PV_S(i) - PV_S(i-1))$$
رابطه ۴)

$$Beta(i) = \frac{EV_S(i) - EV_S(i-1)}{AC_S(i) - AC_S(i-1)} = \frac{\Delta EV(i)}{\Delta AC(i)}$$ رابطه ۵)

$$\Delta EV(i) = Beta(i) * \Delta AC(i)$$ رابطه ۶)

$$EV_S(i) = EV_S(i-1) + Beta(i) * \Delta AC(i)$$ رابطه ۷

$$EV_S(i) = EV_S(i-1) + Beta(i) * (AC_S(i) - AC_S(i-1))$$
رابطه ۸)

در اینجا از یک متغیر کمکی دلتا به‌منظور بهینه‌سازی مقدار AC استفاده گردیده است. بدین‌صورت که داریم.

$$Delta(i) = (PV_S(i) - EV_S(i))$$ رابطه ۹)

در نتیجه فرمول‌های نهایی عبارتند از:

رابطه ۱۰)

$$AC_S(i) = AC_S(i-1) + Alpha(i) * (PV_S(i) - PV_S(i-1)) + Delta(i) * Delta_Effect1$$

رابطه ۱۱)

$$EV_S(i) = EV_S(i-1) + Beta(i) * (AC_S(i) - AC_S(i-1)) + Delta(i) * Delta_Effect2$$

مقادیر ۲ پارامتر Delta_Effect1 و Delta_Effect2 جهت کالیبره نمودن مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. درنهایت شاخص کارایی پروژه به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

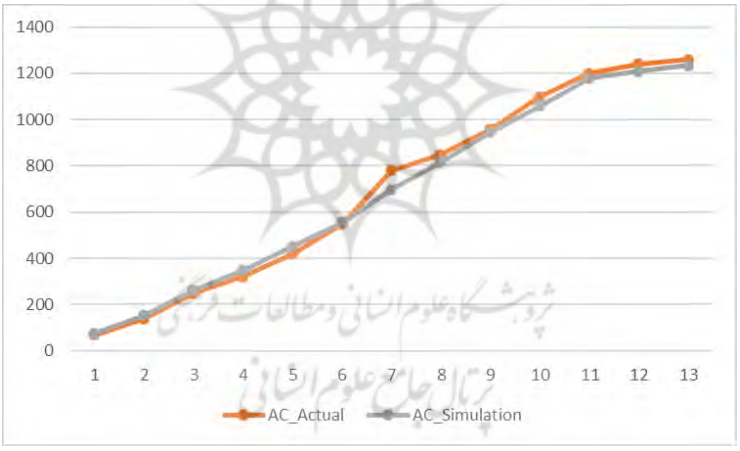
$$PEI = \frac{PV_S(i)}{AC_S(i)}$$ رابطه ۱۲)

یافته‌ها

پس از توسعه مدل و قبل از سناریوسازی و تحلیل نتایج، می‌بایست از اعتبار و صحت مدل تحت شرایط مختلف اطمینان حاصل گردد که این کار از طریق برخی از آزمون‌های اعتبارسنجی روی مدل انجام می‌شود. برای اعتبارسنجی مدل، آزمون‌های متعددی نظیر آزمون رفتار مجدد، آزمون محاسبه میزان خطا و آزمون مقایسه نتایج مدل شبیه‌سازی با مدل تحلیلی EVM انجام شده است. برای مدل‌سازی و اجرای مدل شبیه‌سازی و انجام آزمون‌ها و سناریوسازی از نرم‌افزار شبیه‌سازیانی لاجیک[1] استفاده شده است.

آزمون رفتار مجدد

هدف از انجام این آزمون، مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌شده با داده‌های واقعی به‌منظور برقراری اطمینان از صحت عملکرد رفتار مدل است. همان‌طور که در نمودار (شماره ۴) ملاحظه می‌گردد، داده‌های واقعی و نتایج شبیه‌سازی متغیر هزینه واقعی کل پروژه ارائه شده است.



شکل شماره ٤: نمودار آزمون رفتار مجدد در مقایسه داده واقعی و نتایج شبیه‌سازی

Figure 4: Rebahaviour Test Chart on Compare Actual Data and Simulation Results

1.Anylogic

آزمون محاسبه میزان خطا

در این آزمون، خطای متغیرهای اصلی، مطابق با روش ارائه شده حداقل خطای مجذورات (RMSPE[1]) محاسبه می‌گردد. بر اساس این شاخص، هر چه میزان اختلاف میان داده‌های واقعی و شبیه‌سازی‌شده کمتر باشد، نتایج شبیه‌سازی از قابلیت اطمینان بیشتری برخوردار است. میزان خطا در این روش بر اساس رابطه (شماره ۱۳) محاسبه می‌گردد.

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{\theta}\left(\frac{y_{T+i}^{s}-y_{T+i}^{a}}{y_{T+i}^{a}}\right)^{2}} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

در این فرمول، نتایج شبیه‌سازی متغیر الگو y_{T+i}^{s}، داده‌های واقعی y_{T+i}^{a} و θ ، نشان‌دهنده تعداد مشاهدات می‌باشند. هر چه میزان RMSPE به صفر نزدیک‌تر باشد به مفهوم خطای کمتر و نزدیک بودن به یک نیز بیان‌گر خطای بالا است. در این تحقیق، میزان خطا برابر ۰,۰۶ است که بیانگر خطای پایین در شبیه‌سازی است.

شبیه‌سازی سناریوهای سیاست‌گذاری

پس از اعتبارسنجی، با تغییر متغیرها در محیط شبیه‌سازی‌شده و بررسی اثرات آنها، سیاست‌های مختلف و واکنش سیستم به آنها مورد آزمایش قرار گرفته است (فارس‌تر، ۱۹۹۸). لازم به توضیح است که سناریوها درباره مدیریت ارزش کسب شده بر اساس تغییر در متغیرهای شبیه‌سازی معرفی‌شده، انجام می‌گردد. در اینجا با بکارگیری نرم‌افزارانی لاجیک به شبیه‌سازی مثال مربوطه پرداخته شده که بر اساس پارامترهای شکل (شماره ۵) به شبیه‌سازی انجام شده است.

1.Root Mean Squares Percentage Error

شکل ۵- پارامترهای مدل شبیه‌سازی ارزش کسب شده

Figure 5: Parameters of the EVM Simulation Model

محدوده پارامترها بر اساس آزمایش‌های مختلف، طوری تعیین شده که حتی‌المقدور نتایج همگرا باشند. بدین‌منظور، مقادیر ثابت آلفا و بتا که در حالت شبیه‌سازی با مقدار ثابت بکار می‌روند باید در محدوده صفر و یک باشد. پارامتر ضرایب مقادیر قبلی آلفا و بتا هم باید در محدوده صفر و یک باشد. مقادیر دلتا ۱ و ۲، هرچند در محدوده صفر و یک تعیین شده، در زمان شبیه‌سازی جهت همگرایی تنظیم می‌گردد. به‌منظور اجرای مدل شبیه‌سازی، داده‌های یک پروژه عمرانی جمع‌آوری که در جدول زیر آورده شده است.

جدول شماره ۲: گزارش عملکرد یک پروژه عمرانی

Table 2: Performance Report of A Civil Project

هزینه واقعی Actual Cost (AC)	ارزش کسب شده Earned Value (EV)	ارزش برنامه‌ریزی‌شده Planned Value (PV)	درصد پیشرفت واقعی Actual Progress Percent	درصد پیشرفت برنامه‌ای Planned Progress Percent	ماه Month
70	40	50	4%	5%	1
140	100	120	10%	12%	2
250	150	200	15%	20%	3
320	180	260	18%	26%	4
420	250	350	25%	35%	5
550	350	450	35%	45%	6
780	550	600	55%	60%	7
850	650	700	65%	70%	8
960	750	800	75%	80%	9
1000	800	880	80%	88%	10
1100	900	1000	90%	100%	11
1170	950	1000	95%	100%	12
1250	1000	1000	100%	100%	13

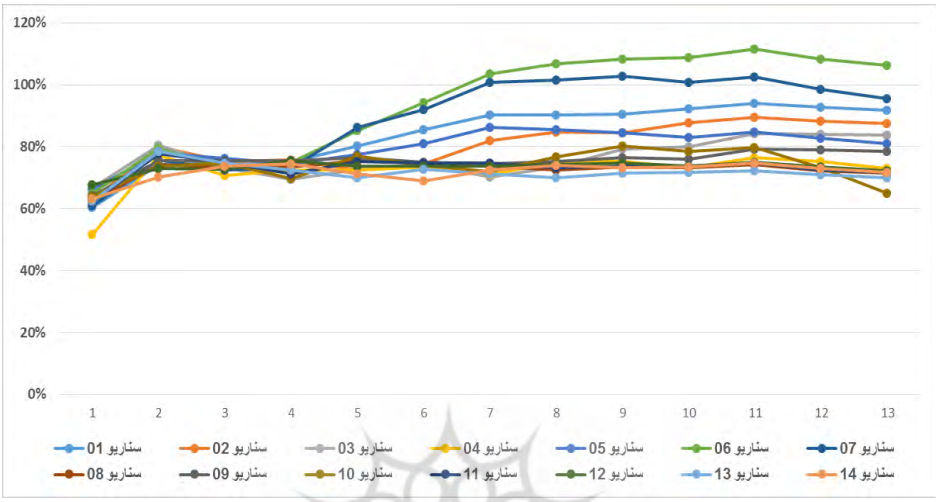
در پروژه بالا، زمان انجام آن ۱۰ ماهه بوده، ولی در عمل ۱۳ به طول انجامیده است که میزان کارایی نهایی پروژه طبق رابطه (شماره ۱۲)، به میزان ۸۰٪ است. در ادامه به‌منظور ارزیابی مدل شبیه‌سازی، سناریوهای مختلف سیاست‌ها در جدول (شماره ۳) ارائه شده است.

جدول شماره ۳: جدول گروه‌ها و سناریوهای سیاست‌ها

Table 3: Table of Groups and Policy Senarios

عنوان گروه سناریو Senario Group Title	شماره سناریو Senario No	عنوان سناریو Senario Title
سناریوهای با مقدار آلفا و بتای ثابت و زمان شبیه‌سازی متغیر Scenarios with fixed alpha and beta values and variable simulation time	01	آلفا و بتای ثابت و با مقدار 0.8 و زمان شبیه‌سازی در ماه سوم Fixed alpha and beta are 0.8 and simulation month in the third month
	02 .	آلفا و بتای ثابت و با مقدار 0.8 و زمان شبیه‌سازی در ماه پنجم Fixed alpha and beta are 0.8 and simulation time in the fifth month
	03	آلفا و بتای ثابت و با مقدار 0.8 و زمان شبیه‌سازی در ماه هفتم Fixed alpha and beta are 0.8 and simulation time in the seventh month
	04	آلفا و بتای ثابت و با مقدار 0.8 و زمان شبیه‌سازی در ماه نهم Fixed alpha and beta are 0.8 and simulation time in the ninth month
سناریوهای با تغییر مقدار آلفا و بتا با زمان شبیه‌سازی ثابت Scenarios with changing alpha and beta values with constant simulation time	05	آلفا = 0.8 و بتا = 0.8 و زمان شبیه‌سازی در ماه سوم Alpha = 0.8, beta = 0.8 and simulation time in the third month
	06	آلفا = 0.8 و بتا = 0.4 و زمان شبیه‌سازی در ماه سوم Alpha = 0.8, beta = 0.4 and simulation time in the third month
	07	آلفا = 0.4 و بتا = 0.8 و زمان شبیه‌سازی در ماه سوم Alpha = 0.4, beta = 0.8 and simulation time in the third month
	08	آلفا = 0.4 و بتا = 0.4 و زمان شبیه‌سازی در ماه سوم Alpha = 0.4, beta = 0.4 and simulation time in the third month
سناریوهای با آلفا و بتا براساس مقادیر قبلی و زمان شبیه‌سازی متغیر Alpha and beta scenarios based on previous values and variable simulation time	09	آلفا و بتا براساس مقادیر قبلی و زمان شبیه‌سازی در ماه سوم Alpha and beta based on previous values and Simulation time in the third month
	10	آلفا و بتا براساس مقادیر قبلی و زمان شبیه‌سازی در ماه پنجم Alpha and beta based on previous values and Simulation time in the fifth month
	11	آلفا و بتا براساس مقادیر قبلی و زمان شبیه‌سازی در ماه هفتم Alpha and beta based on previous values and Simulation time in the seventh month
سناریوهای با تغییر آلفا و بتا براساس مقدار وزنی ضرایب قبلی و زمان شبیه‌سازی ثابت Scenarios with alpha and beta change based on the weight coefficients of previous values and fixed simulation time	12	ضریب آلفا و بتای مرحله قبل = 0.8 و مرحله قبل‌تر = 0.2 The alpha and beta coefficient of the previous stage = 0.8 and the before previous stage = 0.2
	13	ضریب آلفای مراحل قبل و قبل‌تر= 0.8 و 0.2 و ضریب بتای مرحله قبل و قبل‌تر= 0.4 و 0.6 Previous and before previous stages alpha coefficient = 0.8, 0.2 and previous and before previous stages beta coefficient = 0.4, 0.6
	14	ضریب آلفای مرحله قبل و قبل‌تر= 0.4 و 0.6 و ضریب بتای مرحله قبل و قبل‌تر= 0.8 و 0.2 Previous and before previous stage alpha coefficient = 0.4, 0.6 and previous and before previous stage beta coefficient = 0.8, 0.2

نتایج سناریوهای مختلف، از لحاظ روند تخمین میزان کارایی پروژه به همراه داشت که در اینجا خلاصه جمع‌بندی شده آنها در نمودار شکل (شماره ۶) ارائه شده است.



شکل شماره ٦: مقایسه سناریوها از لحاظ تخمین روند کارایی پروژه

Figure 6: Comparing Senarios based on Project Efficiency Estimation

با توجه به سناریوهای ۱ تا ۴، با ثابت بودن آلفا و بتا و تغییر زمان شبیه‌سازی، با افزایش زمان شبیه‌سازی مقدار کارایی کاهش و به سمت مقدار واقعی تغییر می‌یابد. براساس سناریوهای ۵ تا ۷، مشاهده می‌شود اگر آلفا کاهش یابد، میزان کارایی افزایش و اگر افزایش یابد، کارایی کاهش می‌یابد. به‌عبارتی، مقدار آلفا باعث افزایش مقدار هزینه واقعی به نسبت هزینه برنامه‌ریزی‌شده گردیده و درنتیجه کارایی کاهش می‌یابد. طبق سناریوهای ۸ تا ۱۰ و سناریوهای ۱۱ تا ۱۴، درصورتی‌که مقدار آلفا و بتا همان مقادیر قبلی و یا براساس ضرایب وزنی مراحل قبل باشد، مشاهده می‌شود که روند نمودارهای کارایی در یک روند ثابت قرار می‌گیرد.

اعتبارسنجی نهایی مدل شبیه‌سازی EVM

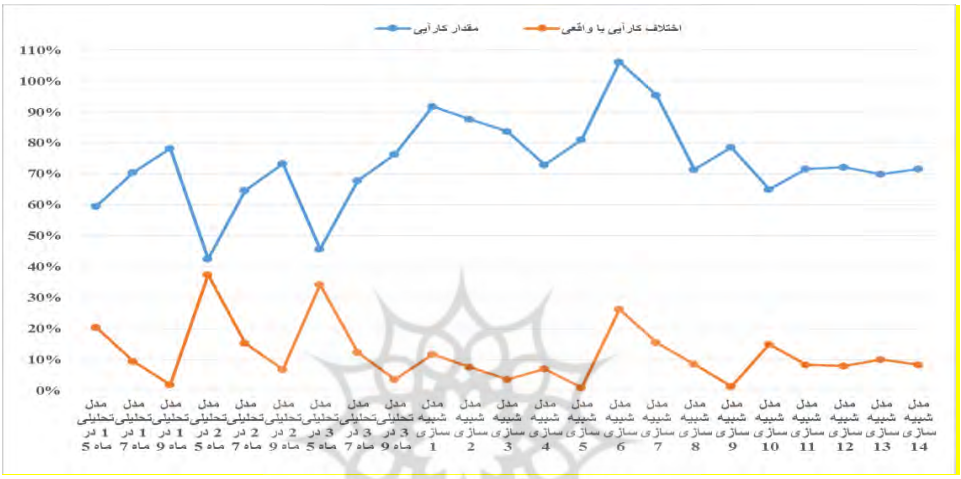
به‌منظور اعتبارسنجی نهایی مدل شبیه‌سازی با توجه به اجرای سیاست‌های مختلف ارائه شده در جدول (شماره ۳) نتایج آنها با نتایج ۳ مدل تحلیلی مطرح EVM مقایسه شده است. روابط مدل‌های تحلیل ۱، ۲ و ۳ به ترتیب به‌صورت زیر است.

$$EAC = AC + \frac{BAC-EV}{CPI}$$ رابطه ۱۴)

$$EAC = AC + BAC - EV$$ رابطه ۱۵

$$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI * SPI}$$ رابطه ۱۶

در نمودار شکل (شماره ۷)، مقادیر شاخص کارایی پروژه جهت ۹ مدل تحلیلی و ۱۱ مدل شبیه‌سازی مقایسه شده است.



شکل ۷- مقایسه تخمین کارایی پروژه مدل‌های شبیه‌سازی و تحلیلی

Figure 7: Comparing Efficency Estimation of Simulation and Analytical Models

بر اساس نمودار فوق، همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان محدوده اختلاف کارایی با میزان واقعی در ۹ مدل تحلیلی گروه‌های ۱، ۲ و ۳ بر اساس زمان شبیه‌سازی‌های ۳، ۵ و ۷ دارای نوسان زیادی بوده و محدوده نوسان، بین ۰ تا ۴۰ درصد است. در صورتی‌که که طبق ۱۴ مدل شبیه‌سازی ارائه شده این محدوده به‌غیراز یک مورد، مابین ۰ تا ۲۰ درصد است. لذا براساس اشکال (شماره ۶ و ۷)، می‌شود به این جمع‌بندی رسید که مدل شبیه‌سازی تحقیق نه‌تنها روند کارایی پروژه را تعیین می‌نماید، بلکه میزان نهایی آن را هم نسبت به مدل‌های تحلیلی بهتر تقریب می‌زند.

بحث و نتیجه‌گیری

همان‌طور که مشاهده شد یک مدل شبیه‌سازی از مدل ارزش کسب شده ارائه شد و دو پارامتر اصلی آلفا و بتا به‌عنوان ضرایب افزایش هزینه واقعی پروژه و ارزش کسب شده، طرح شد. در ادامه سناریوهای مختلفی در خصوص در نظر گرفتن پارامترهای آلفا و بتا به‌صورت ثابت، براساس مقادیر

آلفا و بتای قبلی و نهایتاً به‌کارگیری ضرایب وزنی از مقادیر قبلی آلفا و بتا ارائه گردید. سپس با انجام آزمون‌های مختلف اعتبارسازی مدل شبیه‌سازی، به انجام رسید. نوآوری اولیه تحقیق این است که با توجه به ارائه ۱۴ سناریو مختلف شبیه‌سازی و مقایسه نتایج نهایی با نتایج ۳ مدل تحلیلی EVM که در ۹ حالت زمان‌های اجرای پروژه محاسبه شد، مشخص شد که میزان اختلاف میزان کارایی با میزان واقعی جهت پروژه عمرانی در مدل شبیه‌سازی نسبت به مدل تحلیلی کمتر بوده است. نوآوری اصلی تحقیق ارائه مدل شبیه‌سازی از پویایی‌های شاخص‌های اصلی مدیریت ارزش کسب شده پروژه است که در آن شاخص‌های آلفا و بتای مدل شبیه‌سازی به‌نوعی تنظیم کننده روابط مابین متغیرهای اصلی مدل مدیریت ارزش کسب شده است که براساس مدل‌های حلقه‌ای شبیه‌سازی پویایی سیستم و نیز بکارگیری پارامترهای دیگری نظیر دلتا ۱ و ۲، قابلیت تنظیم مطابق با روند اجرای پروژه را دارد. پیشنهاد اصلی تحقیق، در بکارگیری مدل مطرح شده تحقیق در یک مدل جامع‌تر شبیه‌سازی خواهد بود که به بررسی تأثیرات کارکردهای مختلف مدیریت پروژه نظیر مدیریت محدوده، هزینه، زمان، کیفیت، ریسک، منابع انسانی، ذینفعان و غیره در افزایش کارایی پروژه است. موضوعی که به اذعان انجمن مدیریت پروژه به‌طور به‌عنوان مبنای اصلی بکارگیری مدیریت پروژه در سازمان‌ها بوده ولی به دلیل عدم اثبات از طریق مدل‌های نظیر شبیه‌سازی، بعضاً از سوی مدیران پروژه‌ها و شرکت‌ها به‌طور مناسب کارکردهای مدیریت پروژه به اجرا قرار نگرفته است. پیشنهاد دیگر تحقیق، در توسعه مدل پارامترهای معرفی‌شده در جهت تخمین دقیق‌تر کارایی پروژه و نیز تعیین میزان تأثیر کارکردهای مدیریت پروژه است.

تعارض منابع:

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافع ندارند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

References

Acebes, F., Pajares, J., Galán, J. M., and López-Paredes, A. (2012), Beyond earned value management: a graphical framework for integrated cost, schedule and risk monitoring. 26th IPMA World Congress, Crete, Greece, 74, 181-189.

Balali, A., Valipour, A., Antucheviciene, J., and Šaparauskas, J. (2020), Improving the results of the earned value management technique using artificial neural networks in construction projects. Symmetry Journal, 12(10), 1745.

Ballesteros-Pérez, P., Sanz-Ablanedo, E., Daniel Mora-Melià, M.C., González-Cruz, Fuentes-Bargues, J.L., and Pellicer, E. (2019), Earned schedule min-max: two new EVM metrics for monitoring and controlling projects. Automation in Construction, 103, 279–290.

Batselier, J. and Vanhoucke, M. (2017), Improving project forecast accuracy by integrating earned value management with exponential smoothing and reference class forecasting. International Journal of Project Management, 35(1), 28–43.

Bhatia, S. M., and Nagare, M. R. (2021), Earned Value Management (EVM) technique in oil and gas construction project: a critical analysis. International Journal of Research Publication and Reviews, 1098-1102.

Forrester, J. W. (1998), Designing the future. At University Seville, Spain, December, 15, 1998.

Forrester, J.W. (1958), Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers. Harvard. Bus. Rev. 36, 37-66.

Hasan, R., Chowdhury, Sh. A., and Akter, J. (2021), Construction project monitoring: the cost and schedule control by Earned Value Method (EVM). Journal of Technology Management and Business, 8, 1, 1-9.

Hendiani, S., Bagherpour, M., Mahmoudi, A., and Liao, H. (2020), Z-number based earned value management (ZEVM): A novel pragmatic contribution

towards a possibilistic cost-duration assessment. Computers and Industrial Engineering, 143.

Hines, J., Malone, T., Gonçalves, P., Herman, G., Quimby, J., Murphy-Hoye, M., and Ishii, H. (2011), Construction by replacement: a new approach to simulation modeling. System Dynamics Review, 27(1), 64-90.

Moradipour, T. (2012), Acquisition policy design; an application of system dynamics for a heavy equipment dealer in Southeast Asia. Master Thesis, The University of Bergen, 1-96.

Netto, J. T., Fernandes, N. L., Aleluia, A. P., and Santos, J. A. (2020), Critical factors and benefits in the use of earned value management in construction. Brazilian Journal of Operations & Production Management, 17(1), 1-10.

Pascual, J. L., Rodríguez, J. C., and Rambaud, S. C. (2021), The Enhanced-Earned Value Management (E-EVM) Model: a proposal for the aerospace industry. Symmetry journal, 13(2), 232.

Priyo, M. (2021), Earned value management system in Indonesian construction projects. International Journal of Integrated Engineering, 13, 3, 37-45.

Project Management Institute, (2017), A guide to the project management body of knowledge. 6th Edition, PA: Author.

Sackey, S. (2020), Duration Estimate at Completion: Improving earned value management forecasting accuracy. KSCE Journal of Civil Engineering (2020), 24(3), 693-702.

Sterman, J.D. (2000), Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world. Vol: 19, Irwin/McGraw-Hill, Boston, 1-1008.

Song, J., Martens, A., and Vanhoucke, M. (2021), Using earned value management and schedule risk analysis with resource constraints for project control. European Journal of Operational Research, 297(2), 451-466.

Taheri, Sh. (1999), Productivity and analysis in organization (total prodictivity management). Tehran, Hastan pld (In Persian).

Tariq, S., Ahmad, N., Ashraf, M. U., Alghamdi, A. M., and Alfakeeh, A. S. (2020), Measuring the impact of scope changes on project plan using EVM. IEEE Access, 8, 154589 – 154613.

Varshney, K. (2020), Performance management & improvement strategies for construction projects. International Journal of Architectural Design and Management, 3, 1.

Zhao, M., and Zi, X. (2021), Using earned value management with exponential smoothing technique to forecast project cost. Journal of Physics: Conference Series, 1-5.

Zuhra, F., and Thomas D. (2020), Analysis of factors affecting cost overrun and reducing cost and rsk of highway construction projects using monte carlo simulation methods earned value management techniques. International Research Journal of Engineering and Technology, 7, 6, 6151-6154.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی