



Civil and Project Journal

<http://www.cpjournals.com/>

Determining the Performance Coefficient of Construction Projects and Improving Earned Value Management Indices (Case Study: Shiraz Municipality Headquarters)

Seyed AliAsghar Mousavi^{1*}, Alireza Valipour²

*1- Department of Civil Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

2- Department of Civil Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Received: 27 March 2024; Revised: 05 May 2024; Accepted: 06 May 2024; Published: 22 August 2024

Abstract

Earned value management (EVM) is one of the most frequently applied methods in project management for the investigation of the performance and controlling of the temporal and cost progress of the project. Using its temporal and cost control indices, this method is capable of predicting the future status of the project in terms of time and cost. But, this approach falls short of taking the risk analysis and project's variability into account. according to the fact that EVM indices play an important role in managing temporal schedule and costs of the projects, there is always a need for more precise calculation of the indices with lower diversions and, considering the shortfalls of the present method of EVM and its falling short of taking the future conditions and contingent risks into consideration, one method for overcoming this problem in line with improving the projects' time and cost prediction is the subjective and conceptual blending of risk management with earned value management. The primary goal of the present study is the conceptual and subjective combining of risk management and EVM and investigation of the effect of risk occurrence on the project's objectives using the EVM indices. To collect the information on the theoretical foundations and study literature and study background, use has been made herein of the Persian and Latin books, articles, dissertations and information databases and questionnaire and interview have been the methods of choice for gathering the information pertinent to the scales and indices. Moreover, in order to identify and prioritize the risks, the perspectives of the sophisticated experts and managers in civil activities have been inquired and ANP and Super Decision Software have been the instruments of interest for information analysis. After analyzing and evaluating and prioritizing the risk, the risk management process has been applied along with challenging the dimensions and factors influencing the project's prospective performance to offer the risk coefficient that was subsequently combined with the current EVM indices for increasing the accuracy and precision of the project goals' estimation. A civil reconstruction project (central building project of Shiraz's municipality) in progress was evaluated for applying and comparing this method.

Keywords: Project management, risk management, earned value management, risk impact factor, Analytic Network Process (ANP)

Cite this article as Mousavi, S A A and Valipour, A . (2024). Determining the Performance Coefficient of the Civil Construction Projects and Improving the Earned Value Management Indices (Case Study: Central Building of Shiraz's Municipality). (e195589). Civil and Project journal, 6(6), e195589 doi:<https://doi.org/10.22034/cpj.2024.454582.1279> 2676-511X / Copyright: © 2024 by the authors. Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations

*Corresponding author E-mail address: saam1055@gmail.com



نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

تعیین ضریب عملکرد پروژه‌های عمرانی و بهبود شاخص‌های مدیریت ارزش کسب شده (مطالعه موردی: ساختمان مرکزی شهرداری شیراز)

سید علی اصغر موسوی^{۱*}، علیرضا والی‌پور^۲

۱- گروه عمران، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

۲- گروه عمران، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۰۸ فروردین ۱۴۰۳؛ تاریخ بازنگری: ۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۳؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ شهریور ۱۴۰۳

چکیده

روش مدیریت ارزش کسب شده (EVM) یکی از روش‌های پرکاربرد در مدیریت پروژه جهت بررسی عملکرد و کنترل پیشرفت زمانی و هزینه‌ای پروژه می‌باشد که با استفاده از شاخص‌های کنترل زمانی و هزینه‌ای خود، توانایی پیش‌بینی وضعیت آینده پروژه از لحاظ زمان و هزینه را دارد اما این رویکرد، تحلیل ریسک و تغییر پذیری پروژه را در نظر نمی‌گیرد. با توجه به اینکه شاخص‌های مدیریت ارزش کسب شده نقش مهمی را در مدیریت زمان و هزینه پروژه‌ها ایفا می‌کنند، همواره نیاز به محاسبه شاخص‌های دقیق‌تر با انحرافات کمتر احساس شده است و با توجه به اشکالات موجود در روش فعلی مدیریت ارزش کسب شده و عدم در نظرگیری شرایط آینده و ریسک‌های احتمالی، یکی از راه‌های غلبه بر این مشکلات به منظور بهبود بخشیدن به پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه‌ها، تلفیق موضوعی و مفهومی مدیریت ریسک با مدیریت ارزش کسب شده می‌باشد. هدف اصلی از انجام این تحقیق، تلفیق مفهومی و موضوعی مدیریت ریسک و مدیریت ارزش کسب شده و بررسی تاثیر وقوع ریسک بر اهداف پروژه با استفاده از شاخص‌های مدیریت ارزش کسب شده می‌باشد. در این پژوهش به منظور جمع‌آوری اطلاعات در زمینه مبانی نظری و ادبیات تحقیق و پیشینه آن از کتاب‌های فارسی و لاتین، مقالات، پایان‌نامه‌ها و پایگاه‌های اطلاعاتی و برای گردآوری اطلاعات مربوط به معیارها و شاخص‌ها از پرسشنامه و مصاحبه استفاده شده است. همچنین به منظور شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌ها از دیدگاه کارشناسان و مدیران مجرب در فعالیتهای عمرانی و برای تحلیل اطلاعات از روش ANP نرم افزار Super Decision استفاده شده است. پس از تحلیل و ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌ها، با استفاده از فرآیند مدیریت ریسک و با به چالش کشیدن ابعاد و عوامل تاثیرگذار بر عملکرد آینده پروژه، ضریب ریسکی ارائه و با شاخص‌های کنونی مدیریت ارزش کسب شده به منظور صحت و دقت بیشتر در تخمین اهداف پروژه ترکیب گردید و برای کاربرد و مقایسه این روش یک پروژه عمرانی در حال اجرا (پروژه ساختمان مرکزی شهرداری شیراز)، مورد ارزیابی قرار گرفت.

واژگان کلیدی: مدیریت پروژه، مدیریت ریسک، مدیریت ارزش کسب شده، ضریب تاثیر ریسک، فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

۱-مقدمه و بیان مساله

مدیریت پروژه یکی از مهم‌ترین و پراستفاده‌ترین شاخه‌های مدیریت طی چند دهه اخیر است. با بزرگ، پیچیده و حساس شدن پروژه‌ها، متخصصان مدیریت پروژه نیز همواره در پی یافتن ابزار و راه‌حل‌های بهتر و موثرتری برای مدیریت پروژه‌ها بوده‌اند. به همین دلیل تاکنون ابزارها و روش‌های متنوعی برای مدیریت پروژه‌ها به وجود آمده است که هر یک به نحوی، کمک به تسهیل و تسریع مراحل فرآیند مدیریت پروژه داشته است. از وظایف اصلی مدیریت پروژه در مراحل آغازین و قبل از شروع عملیات اجرایی پروژه‌ها، مطالعات امکان‌سنجی و برنامه‌ریزی‌ها برای اجرا خواهد بود. برنامه‌ریزی‌ها با توجه به ابعاد زمانی، سطح منابع لازم، امکانات فنی و فن‌آوری قابل دسترس و بسیاری از عوامل دیگر که همگی بر موفقیت یا عدم موفقیت پروژه تاثیرگذار خواهند بود صورت می‌گیرند. بدیهی است که علیرغم مطالعات امکان‌سنجی و برنامه‌ریزی‌ها، در مراحل اجرا، شرایط می‌تواند به دلایل مختلف با آنچه پیش‌بینی شده است متفاوت باشد. پیش‌بینی‌ها همواره با عامل احتمال همراه هستند (حاج‌شیرمحمدی، ۱۳۹۵).

یکی از روش‌های پرکاربرد در مدیریت پروژه جهت بررسی عملکرد و کنترل پیشرفت زمانی و هزینه‌ای پروژه، روش مدیریت ارزش کسب شده می‌باشد. موسسه مدیریت پروژه، مدیریت ارزش کسب شده را به این صورت تعریف می‌کند: روشی برای برقراری انسجام بین سه عامل دامنه، برنامه زمان‌بندی و منابع پروژه (PMI, 2008) که هدف آن اندازه‌گیری اجرای حوزه و اهداف پروژه و پیش‌بینی دستاوردهای آن در زمان تکمیل با استفاده از معیارهایی است که در قالب نظام ارزشیابی پروژه قرار دارند (کیم و همکاران، ۲۰۱۲). از کاربردهای دیگر مدیریت ارزش کسب شده می‌توان به توانایی پیش‌بینی وضعیت آتی پروژه از لحاظ زمان و هزینه اشاره کرد که توسط شاخص‌هایی که به تفصیل بیان می‌گردند صورت می‌پذیرد. با گذشت سال‌ها از به کارگیری معیارهای مدیریت ارزش کسب شده، استفاده کنندگان از آن همگی بر این باورند که استفاده از این روش، عملکرد هزینه، برنامه زمان‌بندی و همچنین عملکرد فنی پروژه هایشان را بهبود داده است. این روش ابتدا در پروژه‌های بزرگ دولتی اجرا می‌شد، اما تحقیقات نشان داده است که صرف نظر از اندازه پروژه، مدیریت ارزش کسب شده برای انواع پروژه‌های بخش خصوصی و دولتی قابلیت کاربرد دارد (انباری، ۲۰۰۳).

بنابراین مدیریت ریسک و مدیریت ارزش کسب شده، ابزارهایی هستند که در جهت تحقق اهداف پروژه می‌توان از آن‌ها استفاده نمود و تلفیق شاخص‌های ریسک با شاخص‌های مدیریت ارزش کسب شده که در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد، توانایی مدیران را در درک بهتر از وضعیت آینده پروژه افزایش می‌دهد و با ترکیب این دو تکنیک و هم‌افزایی موجود در آن‌ها می‌توان برنامه‌ریزی، نظارت و کنترل پروژه را بهبود بخشید. سیستم مدیریت ارزش کسب شده این اطلاعات اساسی و مهم را فراهم می‌کند و مدیران پروژه را قادر می‌سازد تا تنها پس از تکمیل ۱۵ درصد از کار پروژه پیش‌بینی‌های آماری مناسبی از نتایج پایانی پروژه داشته باشند (فلمنینگ و کوپلمن، ۲۰۰۰). در واقع با استفاده از سیستم مدیریت ارزش کسب شده، برای شناسایی مشکلات و وضعیت آینده پروژه به پیشرفت زمانی پروژه تا حدود ۹۰ درصد نیازی نخواهد بود. زمانی که پروژه تا این حد پیشرفت داشته باشد، با درک مشکلات و روبرو شدن با آن‌ها نمی‌توان کاری از پیش برده و راه‌حل مناسب یافت. لذا سیستم مدیریت ارزش کسب شده ابزاری برای هشدار سریع به مدیران پروژه ارائه می‌دهد تا با اقدامات اصلاحی و فعالیت‌های مضاعف به موقع به نتایج نهایی مطلوب دست یابند. اما ضریب عملکرد در نظر گرفته شده در مدیریت ارزش کسب شده برای تخمین نتایج پایانی پروژه، با استفاده از ضرایب عملکرد گذشته پروژه در زمان، هزینه یا ترکیبی از آن‌ها تعیین می‌شود و به تحولاتی که ممکن است در اثر تغییر شرایط پروژه در آینده روی دهد توجهی ندارد. این خود باعث می‌شود تا صحت و دقت تخمین‌های صورت گرفته به دلیل

عدم در نظر گرفتن امکان تأثیر عوامل مختلف و تغییر و تحولات آتی در روند پیشرفت پروژه زیر سؤال قرار گیرد (گلابچی و همکاران، ۲۰۱۳).

فرآیند مدیریت ریسک با بررسی ابعاد و عوامل تأثیرگذار بر عملکرد آینده پروژه از جنبه‌های گوناگون و به چالش کشیدن این موضوعات، می‌تواند ضریب بسیار مناسبی را در ترکیب با ضرایب کنونی سیستم مدیریت ارزش کسب شده برای صحت و دقت بیشتر تخمین نتایج پایانی یا به عبارتی پیش‌بینی اوضاع آتی پروژه ارائه کند. این ضریب، دامنه‌ای از رویدادهای ممکن را از طریق تجزیه و تحلیل اثر ترکیبی ریسک‌های شناخته شده و یا عدم قطعیت‌ها بر روی باقیمانده پروژه پیش‌بینی می‌کند. در واقع، ماحصل یک ارزیابی کامل نسبت به شرایط متغیر آتی پروژه، منجر به ایجاد ضریبی خواهد شد که براساس پیش‌بینی فرصت‌ها و تهدیدهای پیش‌روی پروژه، جهت‌گیری عملکرد پروژه را در هریک از ابعاد هزینه‌ای، زمانی، کیفی یا منابع در دسترس مشخص خواهد نمود (گلابچی و همکاران، ۲۰۱۳).

یکی از مفاهیم و تکنیک‌هایی که امروزه در سطح جهانی برای مدیریت و کنترل هزینه پروژه‌ها مورد توجه و استفاده قرار می‌گیرد، مفهوم ارزش حاصله و مدیریت ارزش حاصله (EVM) است. در واقع این روش جامع‌ترین تکنیک برای تجزیه و تحلیل روند داده‌ها است. با استفاده از این رویکرد، برنامه پروژه، کار واقعی انجام شده و ارزش کار تکمیل شده، کنترل، و از این طریق اطمینان حاصل می‌گردد که آیا پروژه به خوبی در حال اجرا و پیگیری است یا خیر. با به کارگیری این مفهوم تیم مدیریت پروژه می‌تواند در مقاطع زمانی مشخص در چرخه عمر پروژه، رفتار پروژه را سنجیده و ضمن ارزیابی وضعیت عملکرد هزینه و زمان‌بندی، هزینه تکمیل پروژه و انحرافات به‌وجود آمده از تخمین‌های اولیه را ارائه کند.

پایه محاسبات روش ارزش کسب شده بر مبنای اطلاعات تاریخی گذشته پروژه، تصمیمات و نظرات مدیران باتجربه است. به دلیل در نظر نگرفتن شرایط آینده و ریسک‌های احتمالی در این روش نمی‌توان پیش‌بینی نسبتاً مناسبی با این روش انجام داد. ضمن این‌که با گذشت زمان و اجرای پروژه، شاخص‌های این روش انحرافات را در مراحل پایانی پروژه نشان نمی‌دهند. این در حالی است که مدیران پروژه می‌خواهند با کمترین خطای ممکن بدانند که در آینده برای پروژه چه اتفاقی خواهد افتاد و زمان و هزینه نهایی چقدر خواهد بود. روش‌های فراوانی برای رفع این محدودیت ارائه شده است ولی تقریباً هیچ‌کدام از این روش‌ها شرایط آینده و عدم قطعیت‌ها را به طور کامل در نظر نگرفته‌اند. با استفاده از مدیریت ریسک می‌توان ضعف این روش را به نقطه قوت تبدیل کرد و پیش‌بینی‌های زمان و هزینه را بهبود بخشید.

در این زمینه مطالعات بسیاری انجام شده است. گلابچی و همکارانش در سال ۱۳۹۱ در مقاله‌ای با عنوان "تعیین ضریب عملکرد پروژه در مدیریت ارزش کسب شده با استفاده از مدیریت ریسک به منظور تخمین نتایج پایانی کار پیمانکاران" با استفاده از فرآیند مدیریت ریسک و با به چالش کشیدن ابعاد و عوامل تأثیرگذار بر عملکرد آینده پروژه از جنبه‌های گوناگون ضریب ریسکی در ترکیب با ضرایب کنونی سیستم مدیریت ارزش کسب شده برای صحت و دقت بیشتر در تخمین نتایج پایانی پروژه ارائه نمودند (گلابچی و همکاران، ۲۰۱۳).

عالم تبریز و همکارانش در سال ۱۳۹۵ در مقاله‌ای با عنوان "پیش‌بینی زمان پروژه از طریق طول زمان کسب شده و مدیریت ریسک" پس از بررسی و شناسایی ریسک‌های پروژه و رتبه‌بندی آن‌ها و مشخص کردن حدود کنترلی شاخص‌های عملکردی پروژه و شبیه‌سازی پروژه تحت شرایط بحرانی‌ترین ریسک، زمان پایان پروژه را مجدداً اندازه‌گیری کردند. آن‌ها برای تعیین حدود کنترلی شاخص‌های عملکردی پروژه از شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده کردند (عالم‌تبریز و همکاران، ۲۰۱۶).

مانقاساریان و همکارش در سال ۱۳۹۵ در مقاله‌ای با عنوان "بررسی و تحلیل BIM و ارزیابی و اولویت‌بندی عوامل عدم تحقق آن در صنعت ساختمان ایران" به بررسی و تحلیل عوامل شکست در اجرای سیستم BIM در ایران پرداختند و وزن، اهمیت و اولویت‌بندی این عوامل را با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) انجام دادند (مانقاساریان و نکویی، ۲۰۱۶).

ظهوری و همکاران در سال ۲۰۱۹ در مقاله‌ای با عنوان "نظارت بر زمان تولید و عملکرد هزینه با ترکیب تحلیل ارزش کسب شده و کنترل فازی تطبیقی" روش جدیدی را برای اندازه‌گیری و بهبود زمان تولید و عملکرد هزینه با استفاده از مفاهیم و روش‌های مدیریت پروژه ارائه نمودند (ظهوری و همکاران، ۲۰۱۹).

باسلر و همکارش در سال ۲۰۱۷ در مقاله‌ای تحت عنوان "بهبود دقت پیش‌بینی پروژه به‌وسیله ادغام مدیریت ارزش کسب شده با هموارسازی نمایی و پیش‌بینی کلاس مرجع" که در نشریه بین‌المللی مدیریت پروژه به چاپ رسیده است روش مدیریت ارزش کسب شده را با رویکرد هموارسازی نمایی تلفیق کرده است که منتج به توسعه روابط پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه در مدیریت ارزش کسب شده و زمان حاصله شده است (باسلر و ونهوک، ۲۰۱۷).

کرخوف و همکارش در سال ۲۰۱۷ در مقاله‌ای با عنوان "توسعه مدیریت ارزش کسب شده: استفاده از معیار تشویقی برای بهبود کیفیت سیگنال" که در نشریه بین‌المللی مدیریت پروژه به چاپ رسیده است معیارهای کنترلی جدیدی را برای پروژه‌هایی معرفی می‌کند که از محرک‌های هزینه و یا زمان استفاده می‌کنند. روش پیشنهادی، روش مدیریت ارزش کسب شده سنتی را برای کنترل پروژه توسعه می‌دهد (کرخوف و ونهوک، ۲۰۱۷).

با توجه به اینکه شاخص‌های مدیریت ارزش کسب شده نقش مهمی را در مدیریت زمان و هزینه پروژه‌ها ایفا می‌کنند، همواره نیاز به محاسبه شاخص‌های دقیق‌تر با انحرافات کمتر احساس شده است و با توجه به اشکالات موجود در روش فعلی مدیریت ارزش کسب شده و عدم در نظرگیری شرایط آینده و ریسک‌های احتمالی، یکی از راه‌های غلبه بر این مشکلات به منظور بهبود بخشیدن به پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه‌ها، تلفیق موضوعی و مفهومی مدیریت ریسک با مدیریت ارزش کسب شده می‌باشد. این روش به مدیران پروژه کمک می‌کند تا در صورت انحراف زمان و هزینه پروژه‌ها، سریع‌تر و با دقت بیشتری برای اقدامات اصلاحی برنامه‌ریزی به عمل آورند، تا در نهایت پروژه با زمان و هزینه کمتری به پایان برسد.

۲- روش تحقیق

تاثیر ریسک بر اهداف پروژه

در جهت به‌دست آوردن تاثیر ریسک بر اهداف پروژه با استفاده از شاخص‌های مدیریت ارزش کسب شده، ابتدا ضریب ریسک پروژه (REI) را به‌دست آورده و در رابطه ضریب عملکرد پروژه (PF) تلفیق می‌کنیم. سپس اقدام به محاسبه ETC و EAC نموده و در نهایت جهت ملموس شدن تاثیر این روابط بر اهداف پروژه به مقایسه EAC جدید با شاخص‌های ارزش کسب شده مطالعه موردی که ساختمان جدید شهرداری شیراز است می‌پردازیم.

بنابراین با استفاده از جداول راهنمای تعیین احتمال وقوع و شدت اثر (گلابچی ۲۰۱۳) مجموعه‌ای از ریسک‌های تاثیرگذار بر عملکرد آینده پروژه شناسایی می‌شوند که هر یک می‌توانند مقادیری را در بازه (۱، ۲۵) اخذ نمایند. بر این اساس هر پروژه پس از محاسبه جمع جبری ارزش ریسک‌های محتمل خود که بیانگر فرصت‌ها و یا تهدیدهای مؤثر بر عملکرد آینده پروژه می‌باشند،

می‌تواند با توجه به ساختار نمونه ارائه شده مجموع ارزش ریسکی در بازه (۱۰، ۱۰۰۰) داشته باشد. (با فرض شناسایی ۴۰ ریسک مهم)

مجموع ارزش ریسک بدست آمده با این روش، نشان‌دهنده پیش‌بینی عوامل مؤثر بر عملکرد آینده پروژه بوده و در کنار عوامل گذشته نگر عملکرد در مدیریت ارزش کسب شده نظیر ضریب عملکرد هزینه و زمان و ضرایب ترکیبی دیگر، می‌تواند واقع‌بینانه‌ترین نتایج پایانی پروژه را پیش‌بینی نماید. حال جهت تعیین ضریب وزنی ارزش ریسک‌های مؤثر بر عملکرد آینده پروژه متناسب با ضرایب عملکرد مدیریت ارزش کسب شده، لازم است تا میزان ریسک را منطبق با بازه ضرایب عملکرد روش ارزش کسب شده نموده و آن را براساس مقادیر حداکثر و حداقل خود بیان نمود

$$REI=1\pm\frac{\sum J}{\sum I} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن: $\sum J$ = مجموع امتیاز ریسک‌ها

$$\sum I = \text{حداکثر مجموع امتیاز ریسک‌ها}$$

در یک حالت مجموع ارزش ریسک‌های پروژه منفی می‌باشد. این حالت به معنی پیش‌بینی وقوع تهدیدهایی برای عملکرد آینده پروژه در مقایسه با گذشته بوده و ضریب عملکرد گذشته پروژه را که از روش مدیریت ارزش کسب شده بدست می‌آید، با کاهش همراه می‌نماید. در این حالت ضریب ریسک پروژه دارای مقداری منفی بوده و به صورت کسری از مقدار حداکثر خود به علاوه یک بیان می‌شود. با توجه به فرمول ارائه شده برای بدست آوردن ضریب ریسک پروژه، این ضریب همواره مقداری در بازه (۲، +۲) خواهد داشت. لازم به توضیح است که در این پژوهش با توجه به این که فقط جنبه تهدیدی ریسک‌ها در نظر گرفته شده است مجموع ارزش ریسک‌های پروژه منفی می‌باشد که در محاسبات در نظر گرفته می‌شود.

تعیین ضریب عملکرد پروژه با استفاده از ضریب ریسک پروژه

با استفاده از ضریب ریسک تعریف شده در این پژوهش، می‌توان ضریب مناسبی را بر اساس پیش‌بینی تغییر عملکرد آینده پروژه محاسبه نمود و آن را در ترکیب با ضرایب عملکرد موجود در مدیریت ارزش کسب شده به کار برد.

در این پژوهش ضریب عملکرد پروژه با استفاده از حاصلضرب ضریب عملکرد زمان و هزینه مدیریت ارزش کسب شده در ضریب ریسک پروژه محاسبه می‌شود. در نتیجه پیش‌بینی نتایج پایانی پروژه بر اساس ارزیابی عملکرد گذشته پروژه همراه با نگاهی به آینده آن و ارزیابی شرایط محتمل آتی، صورت می‌گیرد. بر این اساس بر مبنای روش مدیریت ارزش کسب شده، پس از محاسبه بودجه پایان برنامه‌ریزی شده (BAC)، ارزش کسب شده و هزینه‌های واقعی آن تا تاریخ مورد بررسی (BCWP) و ضرایب عملکرد هزینه و زمان پروژه (SPI و CPI)، تخمین هزینه پایانی پروژه با استفاده از رابطه بدست می‌آید:

$$EAC=BCWR/PF= (BAC-BCWP)/(CPI*SPI) \quad \text{رابطه ۲}$$

تخمین هزینه پایانی پروژه مطابق با ضریب عملکرد پیشنهادی ارائه شده با استفاده از رابطه به‌دست می‌آید: (گلابچی و همکاران، ۲۰۱۳)

$$EAC=BCWR/PF= (BAC-BCWP)/(CPI*SPI*REI) \quad \text{رابطه ۳}$$

جهت تخمین زمان پایانی پروژه نیز در رابطه ۴ ضریب ریسک به دست آمده را تلفیق می‌کنیم تا تخمین زمان پایانی پروژه مطابق با ضریب عملکرد پیشنهادی ارائه شده با استفاده از رابطه به دست آید:

$$EAC_T = (1/SPI) * TAC \quad \text{رابطه ۴}$$

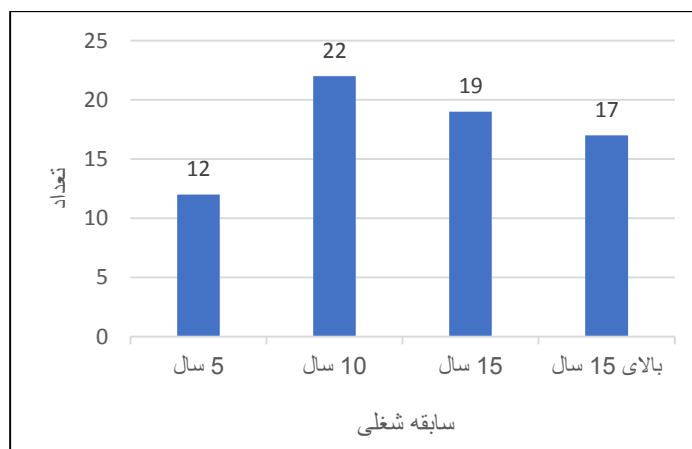
$$EAC_T = 1/(SPI*REI)*TAC \quad \text{رابطه ۵}$$

جمعیت و نمونه آماری در این تحقیق محدود به دست‌اندرکاران، عاملان و ذینفعان پروژه‌های عملیات عمرانی می‌باشد. این افراد شامل پیمانکاران، مجریان، کارفرمایان، شهرسازان، متولیان پروژه‌ها و سازمان نظام مهندسی و شهرداری‌ها، می‌باشند. حجم نمونه آماری برابر با ۹۶ به دست آمد. و ۹۶ پرسشنامه (الف) بین پاسخ دهندگان توزیع گردید. در مجموع ۷۰ عدد پرسشنامه از بین پرسشنامه‌های توزیع شده پاسخ داده شدند که نرخ بازگشت پرسشنامه‌ها برابر با ۷۳ درصد می‌باشد که این نرخ بازگشت قابل قبول برای استناد و نتایج تحقیق می‌باشد.

$$SS = \frac{z^2 * p * (1-p)}{c^2} = \frac{1.96^2 * 0.5 * (1-0.5)}{0.1^2} = 96 \quad \text{رابطه ۶}$$

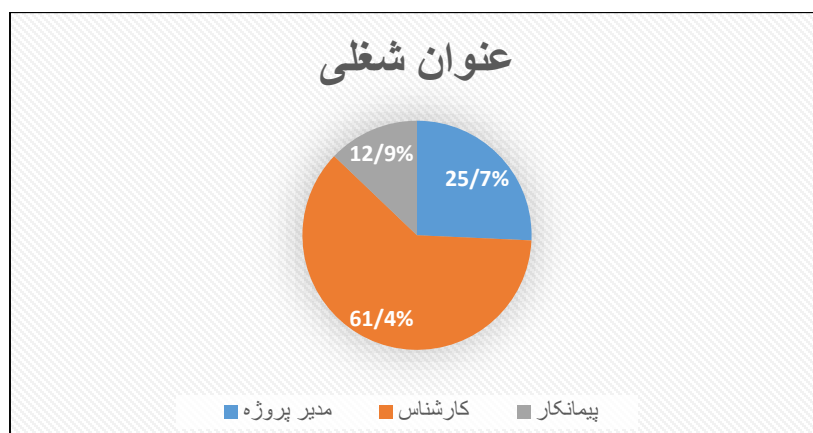
$$\pi = \frac{70}{96} = 0.73 \quad \text{نرخ پاسخ}$$

شکل ۱ وضعیت پاسخ‌دهندگان را از نظر سابقه شغلی نشان می‌دهد. همان‌طور که نشان داده شده است، ۱۲ نفر (۱۷,۱ درصد) با سابقه شغلی ۵ سال، ۲۲ نفر (۳۱,۴ درصد) با سابقه شغلی ۱۰ سال، ۱۹ نفر (۲۷,۱ درصد) با سابقه شغلی ۱۵ سال و ۱۷ نفر (۲۴,۳ درصد) دارای سابقه شغلی بالای ۱۵ سال هستند.



شکل ۱ توزیع فراوانی پاسخگویان بر اساس سابقه شغلی

شکل وضعیت پاسخ‌دهندگان را از نظر عنوان شغلی نشان می‌دهد که بر اساس آن ۱۸ نفر (۲۵,۷ درصد) مدیر پروژه، ۴۳ نفر (۶۱,۴ درصد) کارشناس و ۹ نفر (۱۲,۹ درصد) پیمانکار بودند.



شکل ۲ توزیع فراوانی پاسخگویان بر اساس عنوان شغلی

روش جمع‌آوری داده‌ها در این پژوهش در دو مرحله انجام شده است. در مرحله اول با بررسی ادبیات موضوع و انجام مطالعات کتابخانه‌ای و با استفاده از نظرات کارشناسان، ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی، شناسایی شد و سپس پرسشنامه حاوی ۱۲ ریسک انتخاب شده، طراحی و بین ده نفر از خبرگان به منظور مقایسه زوجی میان ریسک‌ها بر مبنای طیف نه نقطه‌ای ساعتی توزیع گردید.

در جدول زیر به مهمترین ریسک های پروژه های عمرانی اشاره شده است.

جدول ۱ مهمترین ریسک های پروژه های عمرانی

ردیف	عوامل ریسک‌زا	ریسک‌ها
۱	کارفرمایان	۱- تاخیر در پرداخت صورت وضعیت‌ها، تعدیل‌ها و سایر هزینه‌ها به پیمانکار ۲- انتخاب روش اجرای پروژه (سه عاملی، طرح و ساخت، مدیریت اجرا) ۳- دخالت‌های کارفرما ۴- تعلل در تصمیم‌گیری توسط کارفرما ۵- روش مناقصه‌گذاری و انتخاب پیمانکار (کمترین قیمت) ۶- پیش‌بینی مدت زمان اجرای نامناسب برای اجرای پروژه ۷- بوروکراسی اداری موجود در سازمان کارفرمایی ۸- تغییر در محدوده کارها (تغییر مقادیر و روش اجرا)
۲	پیمانکاران	۱- استفاده از پیمانکاران جزء ۲- عدم کفایت و تجربه پیمانکار ۳- ضعف مدیریت کارگاه ۴- روش‌های اجرای مورد استفاده ۵- برنامه‌ریزی نامناسب ۶- توان مالی پیمانکار ۷- خطاهای حین اجرا
۳	مشاوران	۱- عدم اشراف مشاور بر شرایط و مقررات پیمان ۲- تعلل در تصویب نقشه‌های اجرایی ۳- کنترل / تضمین کیفیت ۴- انتظارات جهت تایید نتایج آزمایشات و تحقیقات ۵- اشکالات طراحی ۶- برآورد ناکافی هزینه اجرای پروژه
۴	نیروی انسانی	۱- تامین نیروی انسانی ۲- بازدهی نیروی انسانی ۳- تخصص و مهارت نیروی انسانی
۵	مصارف	۱- کیفیت مصالح ۲- کمبود مصالح ۳- تاخیر در تامین مصالح ۴- تغییر در نوع یا مشخصات مصالح حین ساخت
۶	ماشین آلات	۱- عدم دسترسی به تجهیزات و ماشین آلات یا مشکلات تهیه قطعات یدکی ۲- خرابی ماشین آلات و تکنولوژی ماشین آلات ۳- وضعیت و بازدهی ماشین آلات موجود
۷	امور قراردادی	۱- مذاکرات و مشاجرات بزرگ ۲- سازمان و روابط نامناسب بین گروه‌های درگیر در پروژه ۳- ایرادات و ابهامات در قرارداد
۸	عوامل خارجی	۱- وضعیت جوی ۲- تورم اقتصادی و افزایش قیمت‌ها ۳- تغییرات در قوانین و یا استانداردها ۴- مشکلات با همسایگان و اهالی منطقه ۵- مسایل سیاسی ۶- وضعیت اجتماعی و فرهنگی منطقه

۲-۱ مطالعه موردی

پروژه انتخابی ساختمان مرکزی شهرداری شیراز می‌باشد که در حال اجرا است. کارفرمای پروژه، شهرداری شیراز و مشاور فاز یک پروژه، شرکت امکو ایران و مشاور فاز دو پروژه، شرکت مهندسی فریوم شهر پارس و پیمانکار پروژه، شرکت سد و عمران پارس گستر می‌باشد. پروژه احداث فاز دو ساختمان مرکزی شهرداری شیراز در محدوده منطقه ۳ شهرداری شیراز، کنار رودخانه خشک و با فاصله اندکی از بافت سنتی شیراز قرار دارد.

ساختمان در قالب ۵ بلوک و هر بلوک حداکثر ۱۱ طبقه با زیربنای ۵۶۰۰۰ مترمربع احداث می‌گردد که بلوک ۱ و ۲ و ۵ در مرحله تاسیسات و معماری و بلوک ۳ در مرحله اسکلت می‌باشد.

هدف از اجرای پروژه، تمرکز محل استقرار معاونت‌های مختلف شهرداری، صرفه‌جویی در زمان تردد و کاهش نیروی انسانی و ساخت یک ساختمان شاخص به عنوان نماد شهرداری شیراز می‌باشد.



شکل ۱- ساختمان مرکزی شهرداری شیراز (www.shiraz1400.ir/?p=18885)

۳- نتایج و یافته ها

در این پژوهش و با توجه به میزان ریسک‌های بدست آمده، مجموع ارزش ریسک‌های شناسایی شده برای پروژه برابر ۴۲۹/۶ می‌باشد. بنابراین مقدار ضریب ریسک پروژه عبارت است از:

$$REI = 1 + [(429.6) / (1000)] = 1.43$$

رابطه ۷

واضح است که جمع کردن ضریب حاصل شده از جدول با عدد یک به دلیل ضریب عملکرد یک پروژه در حالت ارزش ریسک برابر صفر می‌باشد. ضریب ریسک ۱,۴۳ به معنی پیش‌بینی وقوع تهدیدهایی برای عملکرد آینده پروژه در مقایسه با گذشته بوده و ضریب عملکرد گذشته پروژه را که از روش مدیریت ارزش کسب شده بدست می‌آید، با کاهش همراه می‌نماید.

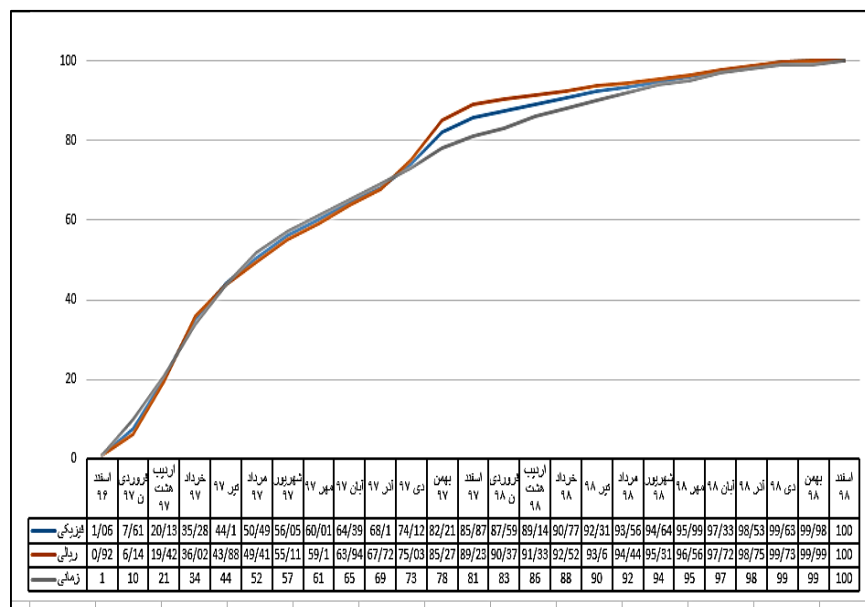
تعیین ضریب عملکرد پروژه با استفاده از ضریب ریسک پروژه

در این پژوهش با استفاده از ضریب ریسک بدست آمده در مرحله قبل و تاثیر آن بر اهداف پروژه با استفاده از شاخص‌های مدیریت ارزش کسب شده به تعیین ضریب عملکرد پروژه پرداخته شد.

در این تحقیق از اطلاعات برنامه‌ای و هزینه‌ای پروژه در حال اجرای ساختمان مرکزی شهرداری شیراز استفاده گردید.

پروژه با ۱۲۸۶ فعالیت و با هزینه‌ای در حدود ۵۵۹/۰۰۳/۵۳۳/۹۸۸ ریال در مدت زمان ۷۱۲ روز تخمین زده شده است

همچنین در شکل ۲ نمودارهای S curve پیشرفت فیزیکی، زمانی و هزینه‌ای پروژه نمایش داده شده است.



شکل ۲ منحنی‌های S curve فیزیکی، مالی و زمانی

جهت محاسبه پارامترها و شاخص‌های مدیریت ارزش کسب شده، بایستی برنامه زمان‌بندی به‌روز شده و واقعی پروژه را تا تاریخ مورد نظر (۱۳۹۸/۱/۳۱) در اختیار داشته باشیم که به وسیله آن پیشرفت برنامه‌ای و واقعی پروژه را از حیث زمان و هزینه بسنجیم.

به دلیل اینکه در این پروژه هزینه‌های منابع و هزینه‌های واقعی به صورت دستی وارد نرم افزار گردیده است، محاسبات مربوط به تعیین پارامترها و شاخص‌های مدیریت ارزش کسب شده را به صورت دستی انجام می‌دهیم:

در گام اول پارامترهای PV، EV و AC را محاسبه می‌نماییم:

۱- ارزش برنامه‌ای یا هزینه برنامه‌ای کار برنامه‌ریزی شده که PV یا BCWS نامیده می‌شود و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$PV = BAC * Plan \% Complete = 559,003,533,988 * 0.89 = 497,513,145,249$$

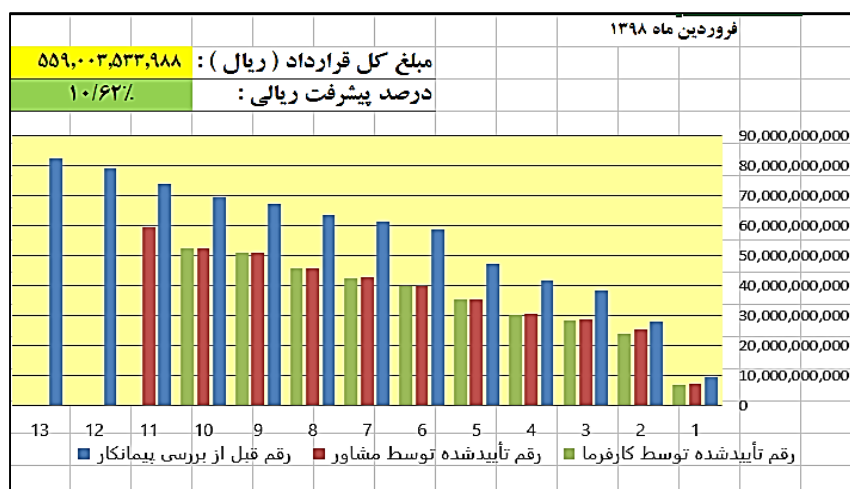
BAC: هزینه برنامه‌ای یا مبنای پروژه می‌باشد که برابر ۵۵۹/۰۰۳/۵۳۳/۹۸۸ ریال است.

۲- ارزش کسب شده یا هزینه برنامه‌ای کار واقعی که EV یا BCWP نامیده می‌شود و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$EV = BAC * Actual \% Complete = 559,003,533,988 * 0.24 = 134,160,848,157$$

۳- هزینه واقعی یا هزینه انجام شده جهت کار واقعی که AC یا ACWP نامیده می‌شود و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$AC = \text{Cost} * \text{Actual} \% \text{Complete}$$

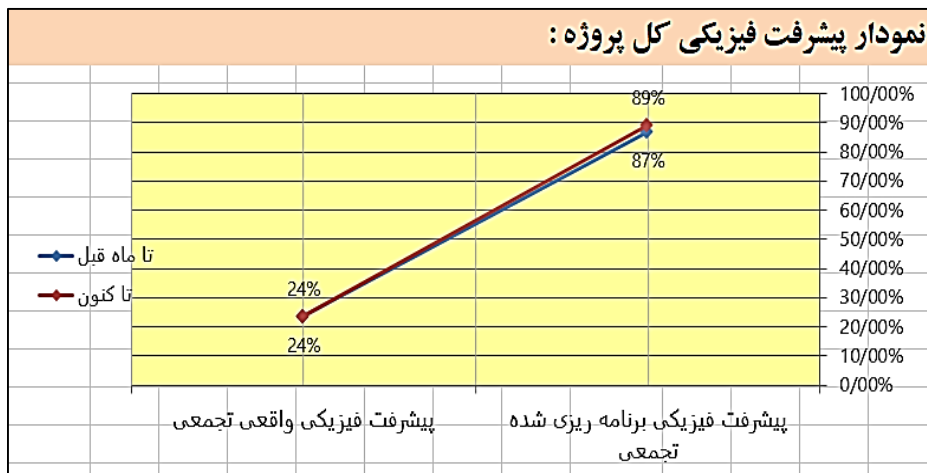


شکل ۸ درصد پیشرفت ریالی پروژه

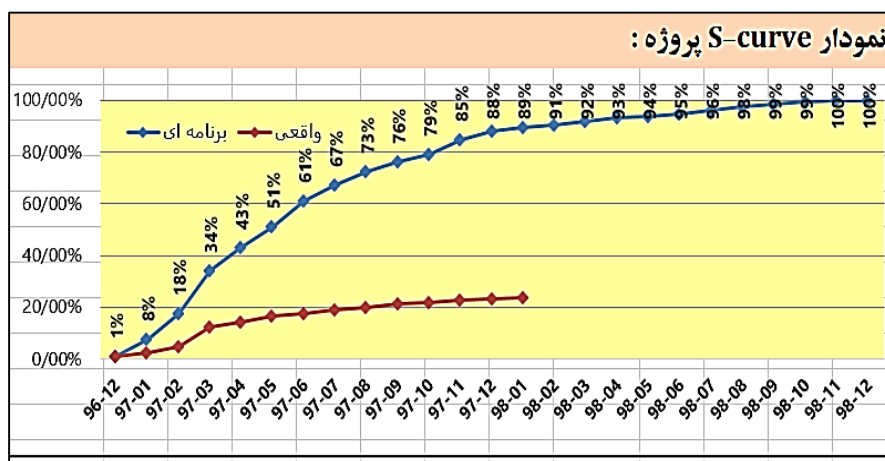
شماره صورت وضعیت	دوره کارکرد		رقم قبل از بررسی پیمانکار	رقم تأییدشده توسط مشاور	رقم تأییدشده توسط کارفرما
	از	تا			
۱	۹۷/۰۱/۰۱	۹۷/۰۱/۳۱	۹,۶۷۸,۴۲۳,۶۲۵	۷,۲۴۴,۲۵۸,۵۲۷	۷,۰۲۶,۹۳۰,۷۸۱
۲	۹۷/۰۲/۰۱	۹۷/۰۲/۳۱	۲۸,۱۲۸,۲۷۰,۸۵۳	۲۵,۳۰۴,۱۲۸,۲۱۷	۲۴,۰۱۹,۰۲۴,۱۵۳
۳	۹۷/۰۳/۰۱	۹۷/۰۳/۳۱	۳۸,۴۶۸,۹۱۶,۷۲۴	۲۸,۹۵۷,۲۶۹,۱۰۹	۲۸,۵۱۹,۳۴۱,۶۷۴
۴	۹۷/۰۴/۰۱	۹۷/۰۴/۳۱	۴۱,۵۸۵,۸۴۸,۲۷۰	۳۰,۶۰۹,۳۴۴,۷۷۶	۳۰,۳۷۲,۷۰۹,۱۶۳
۵	۹۷/۰۵/۰۱	۹۷/۰۵/۳۱	۴۷,۳۸۱,۸۰۴,۶۴۶	۳۵,۲۸۴,۷۰۷,۰۲۳	۳۵,۴۹۸,۲۴۸,۶۸۳
۶	۹۷/۰۶/۰۱	۹۷/۰۶/۳۱	۵۸,۵۶۵,۷۲۹,۹۸۷	۳۹,۸۲۶,۱۰۴,۴۲۹	۳۹,۷۶۶,۴۳۱,۷۲۴
۷	۹۷/۰۷/۰۱	۹۷/۰۷/۳۱	۶۱,۴۴۰,۴۲۰,۱۹۸	۴۲,۸۱۴,۵۰۴,۴۸۱	۴۲,۳۸۶,۳۵۹,۲۳۸
۸	۹۷/۰۸/۰۱	۹۷/۰۸/۳۱	۶۳,۴۷۰,۵۶۴,۷۷۲	۴۵,۶۵۶,۰۸۷,۴۵۲	۴۵,۶۴۹,۳۱۲,۸۴۸
۹	۹۷/۰۹/۰۱	۹۷/۰۹/۳۰	۶۷,۳۲۴,۷۵۵,۵۳۱	۵۰,۸۷۱,۸۳۵,۹۴۷	۵۰,۸۷۱,۸۳۵,۹۴۸
۱۰	۹۷/۱۰/۰۱	۹۷/۱۰/۳۰	۶۹,۵۹۱,۳۳۹,۹۹۴	۵۲,۵۸۲,۰۷۹,۶۵۱	۵۲,۵۸۲,۰۷۹,۶۵۱
۱۱	۹۷/۱۱/۰۱	۹۷/۱۱/۳۰	۷۳,۹۶۲,۴۲۶,۴۲۳	۵۹,۳۵۵,۳۰۵,۱۰۰	
۱۲	۹۷/۱۲/۰۱	۹۷/۱۲/۲۹	۷۹,۲۳۰,۳۵۶,۵۸۸		
۱۳	۹۸/۰۱/۰۱	۹۸/۰۱/۳۱	۸۲,۳۷۶,۱۶۶,۴۷۷		

شکل ۹ عملکرد مالی پروژه

همانگونه که مشخص است هزینه واقعی تا تاریخ مورد نظر برابر $AC = 82/376/166/477$ ریال می‌باشد. همچنین در شکل و شکل ۱۰ پیشرفت فیزیکی کل پروژه تا تاریخ مورد بررسی پیشرفت فیزیکی کل و S-curve پروژه تا تاریخ مورد بررسی نشان داده شده است.



شکل ۱۰ پیشرفت فیزیکی کل پروژه تا تاریخ مورد بررسی



شکل ۱۱ S-curve پروژه تا تاریخ مورد بررسی

بررسی و تحلیل شاخص‌های کنترلی:

در گام بعدی به محاسبه و بررسی شاخص‌های کنترلی مدیریت ارزش کسب شده می‌پردازیم:

- انحراف از برنامه (SV)^۱

$$SV = BCWP - BCWS = 134,160,848,157 - 497,513,145,249 = -363,352,297,092$$

$SV < 0$ می‌باشد و این بدان معناست که پیشرفت واقعی کمتر از برنامه است.

^۱Schedule variance

- انحراف از هزینه (CV)^۲

$$CV=BCWP-ACWP=134,160,848,157 - 82,376,166,477= 51,784,681,680$$

$CV>0$ می‌باشد و این بدان معناست که هزینه واقعی از برنامه کمتر است.

- شاخص عملکرد برنامه (SPI)^۳

$$SPI=BCWP/BCWS=EV/PV=134,160,848,157 / 497,513,145,249= 0.27$$

$SPI<1$ نشان‌دهنده یک شرایط عقب‌افتادگی از برنامه است زیرا منحنی BCWP در آن نقطه زیر منحنی BCWS افتاده است.

- شاخص عملکرد هزینه (CPI)^۴

$$CPI=BCWP/ACWP=EV/AC=134,160,848,157 / 82,376,166,477= 1.63$$

$CPI > 1$ لزوماً به معنای عملکرد مناسب در مورد هزینه‌ها نیست، بلکه می‌تواند به معنی اشتباه در برآورد هزینه، کاهش کیفیت کار انجام شده باشد و در این پروژه خاص می‌تواند به علت عدم ارائه صورت وضعیت برخی کارهای انجام شده تا تاریخ مورد بررسی توسط پیمانکار باشد.

- تخمین هزینه جهت مقدار باقیمانده از پروژه (ETC)^۵

$$ETC=BCWR/P.F^{\frac{6}{6}}=(BAC-BCWP)/(CPI*SPI)= 424,842,685,831 / (1.63*0.27)= 965,332,165,033$$

- تخمین هزینه پایانی پروژه (EAC_c)

با توجه به عملکرد فعلی که معمولاً کارها عقب‌تر از برنامه اجرا شده، پیش‌بینی می‌گردد که هزینه واقعی پایان پروژه بیشتر از برآورد اولیه باشد.

$$EAC_c=AC + ETC= 82,376,166,477 + 965,332,165,033= 1,047,708,331,510$$

یعنی اگر عملکرد آینده ما شبیه به گذشته و حال (نسبت به پایان روز تاریخ مورد بررسی) باشد، تکمیل پروژه با هزینه‌ای حدود $EAC= 1,047,708,331,510$ ریال امکان‌پذیر خواهد بود.

- تخمین زمان پایانی پروژه (EAC_T)

با توجه به عملکرد فعلی که معمولاً کارها عقب‌تر از برنامه اجرا شده، پیش‌بینی می‌گردد که زمان واقعی پایان پروژه بیشتر از برآورد اولیه باشد.

^۲Cost variance

^۳Schedule performance index

^۴Cost performance index

^۵Estimate to complete

^۶Project factor

^۷Estimate at completion of cost

^۸Estimate at completion of time

$$EAC_T = (1/SPI) * TAC = (1/0.27) * 712 = 2637$$

^۹TAC: زمان پیش‌بینی شده در هنگام تکمیل پروژه می‌باشد که برابر ۷۱۲ روز است.

یعنی اگر پروژه با همین نرخ یا شاخص عملکرد برنامه که بیانگر عقب‌افتادگی است پیش رود، زمان آن حدود ۲۶۳۷ روز به طول خواهد انجامید.

حال در این مرحله ضریب ریسک (REI) بدست آمده در بخش قبل را با ضریب عملکرد پروژه (P.F) تلفیق می‌کنیم تا تاثیر ریسک بر اهداف پروژه ملموس گردد. بر اساس روش ارائه شده در این پژوهش ضریب عملکرد پروژه در رابطه ETC، با استفاده از حاصلضرب شاخص‌های عملکرد زمان و هزینه مدیریت ارزش کسب شده در ضریب ریسک پروژه محاسبه می‌گردد. در نتیجه نتایج پایانی پروژه بر اساس عملکرد گذشته آن همراه با تاثیر وقوع ریسک و ارزیابی شرایط محتمل آتی، صورت می‌گیرد.

$$ETC = (BAC - BCWP) / (CPI * SPI * REI) = 424,842,685,831 / (1.63 * 0.27 * 1.43) = 675,057,458,065$$

$$EAC_c = AC + ETC = 82,376,166,477 + 675,057,458,065 = \underline{757,433,624,542}$$

حال اگر همین روش ارائه شده را در رابطه EAC_T بکار ببریم و ضریب ریسک را در این رابطه اثر دهیم نتیجه زیر حاصل می‌شود:

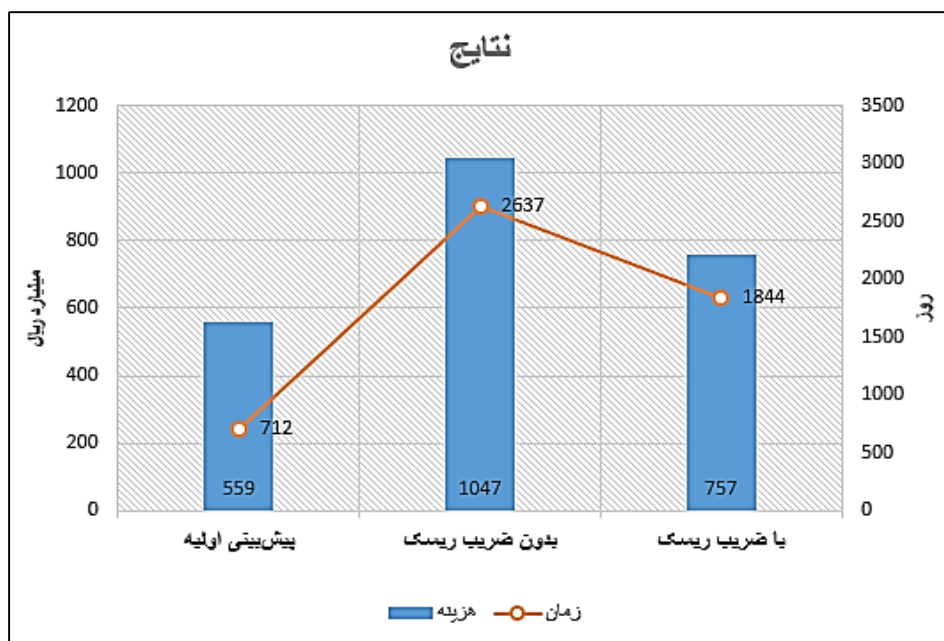
$$EAC_T = 1/(SPI * REI) * TAC = 1/(0.27 * 1.43) * 712 = \underline{1844}$$

نتایج بالا نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن ضریب ریسک پروژه، تخمین هزینه پایانی پروژه از حدود ۱۰۴۷ میلیارد ریال به ۷۵۷ میلیارد ریال، و تخمین زمان پایانی پروژه از ۲۶۳۷ روز به ۱۸۴۴ روز کاهش پیدا کرده است که در نمودار شکل قابل مشاهده می‌باشد.

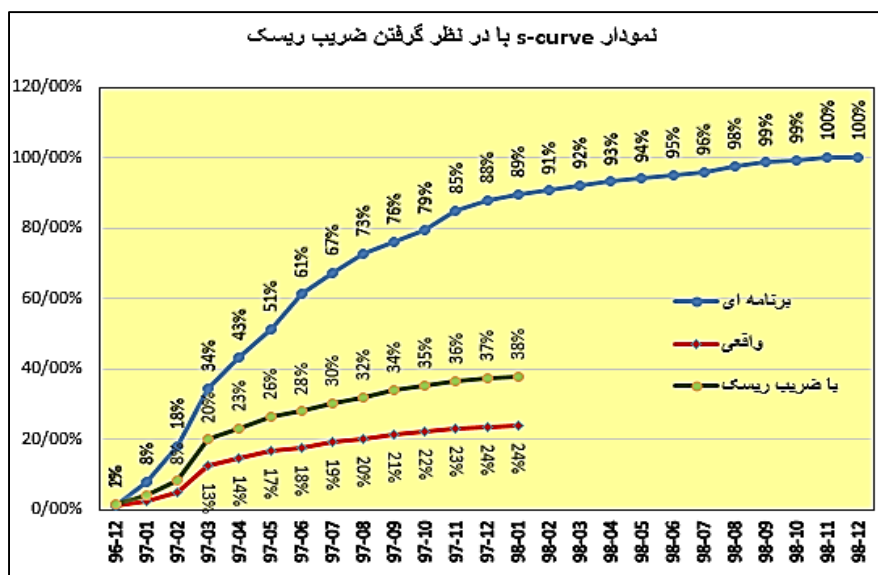
همچنین با تلفیق ضریب عملکرد پروژه (PF) در پیشرفت واقعی پروژه، منحنی S-curve به صورت نمودار شکل حاصل می‌شود که همان‌گونه که مشاهده می‌گردد انحراف نمودار پیشرفت واقعی از پیشرفت برنامه‌ای به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

$$PF = SPI * CPI * REI = 0.27 * 1.63 * 1.43 = 0.63$$

^۹Time at completion



شکل ۱۲ نتایج نهایی پروژه با تاثیر ضریب ریسک



شکل ۱۳ نمودار s-curve با تاثیر ضریب ریسک

همان گونه که ملاحظه می شود با استفاده از ضریب ریسک پروژه، اهداف و نتایج پایانی پروژه دستخوش تغییراتی می گردد که این تغییرات می تواند به مدیریت پروژه در پیش بینی آینده پروژه و ادامه مسیر کمک نماید که در این پروژه خاص انحراف از هزینه و زمان پایانی پروژه با کاهش قابل ملاحظه ای همراه است.

منابع

۱. حاج شیرمحمدی، ع. (۱۳۹۵). مدیریت و کنترل پروژه. اصفهان: انتشارات ارکان دانش.
۲. گلابچی، م.، سبط، م. و نقاش طوسی، ح. (۲۰۱۳). تعیین ضریب عملکرد پروژه در مدیریت ارزش کسب شده با استفاده از مدیریت ریسک به منظور تخمین نتایج پایانی کار پیمانکاران. ژورنال الگوریتم‌ها و محاسبات، ۴۱ (۶)، ۷۸۷-۷۹۶.
۳. عالم تبریز، ا.، خالدیان، ف. و مهدی پور، م. (۲۰۱۶). پیش‌بینی زمان پروژه از طریق طول زمان کسب‌شده و مدیریت ریسک. نشریه مدیریت صنعتی، ۸ (۲)، ۲۴۰-۲۱۷.
۴. مانقاساریان، ا. و نکوئی، م. (۲۰۱۶). بررسی و تحلیل سیستم مدل سازی اطلاعات ساختمان و ارزیابی و اولویت بندی عوامل عدم تحقق آن در صنعت ساختمان ایران. فصلنامه علمی تخصصی مهندسی و مدیریت ساخت، ۱ (شماره ۱)، ۶-۱۱.

5. PMI. (2008). A Guide to the Project Management of Body Knowledge. usa: project management institute.
6. Kim, e, Wells, w., & Duffey, m. (2012). A model for effective implementation of earned value management methodology. International journal of project management, 375-382.
7. Anbari, F. (2003). Earned value method and extensions. project management journal.
8. Fleming, Q. W., & koppelman, J. M. (2000). Earned value project management (2nd Edition ed.). Pennsylvania, USA: Project Management Institute.
9. Zohoori, B., Verbraeck, A., Bagherpour, M., & Khakdaman, M. (2019). Monitoring production time and cost performance by combining earned value analysis and adaptive fuzzy control. Computers & Industrial Engineering, 127,805-821.
10. Batselier, J., & Vanhoucke, M. (2017). Improving project forecast accuracy by integrating earned value management with exponential smoothing and reference class forecasting. International Journal of Project Management, 28-43.
11. Kerkhove, L., & Vanhoucke, M. (2017). Extensions of earned value management: Using the earned incentive metric to improve signal quality. International Journal of Project Management, 148-168.