Civil and Project Journal, 2022, 4(8), 11-29
https://doi.org/10.22034/CPJ.2022.376378.1164

Civil and Project Journal
http://www.cpjournals.com/

Research Article

Compression of the Schedule by Selecting the Optimal Activities in Terms of Cost, Time, Quality and Risk Using TOPSIS Method

Ali Ghorbani[1*], Amir Ghiasi[2]

1 -Assistant Professor, Construction Engineering and Management Department, Faculty of Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran
2- Master's Student of Engineering and Construction Management, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Danesh Alborz Qazvin University, Qazvin, Iran

Received: 26 September 2022; Revised: 21 October 2022; Accepted: 12 November 2022; Published: 12 November 2022

Abstract

This research aims to provide a model to compress the schedule by selecting the optimal activities in terms of cost, time, quality and risk using TOPSIS method. The current research is applied in terms of results and its results can be used in the direction of developing project management techniques and moving towards the application of engineering techniques in improving the performance of organizations implementing construction and investment projects. A library is divided. The library method was used to collect information related to the subject literature and the background of the research, and the field method was used to collect information to investigate the research objectives. In this research, the data collection tool is a questionnaire. The statistical population of the research for the questionnaire included 5 construction experts from the private sector, among whom the questionnaire was distributed. In an optimization problem with balancing time, cost, quality and risk, the appropriate implementation methods for performing a set of activities of a project from the beginning to the end should be chosen in such a way that the factors of time, cost, quality and risk of the whole project implementation are optimized. In this research, TOPSIS algorithm was used to solve the problem.

Keywords:

Schedule compression, Developing, Data collection tool, Optimization, TOPSIS algorithm.

Cite this article as: Ghorbani A, Ghiasi A. (2022) Compression of the Schedule by Selecting the Optimal Activities in terms of Cost, Time, Quality and Risk Using TOPSIS Method. Civ Proj J;4(8):11–29. https://doi.org/10.22034/cpj.2022.376378.1164

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2022 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: *ghorbani@pnu.ac.ir*

نشریه عمران و پروژه، ۱۴۰۱، ۴(۸)، ۱۱-۲۹
https://doi.org/10.22034/CPJ.2022.376378.1164

نشریه عمران و پروژه
http://www.cpjournals.com/

فشرده‌سازی برنامه زمان‌بندی با انتخاب فعالیت‌های بهینه از لحاظ هزینه، زمان، کیفیت و ریسک با استفاده از روش تاپسیس

علی قربانی*[۱]، امیر قیاسی[۲]

۱- استادیار، گروه مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه غیرانتفاعی دانش البرز، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۰۴ مهر ۱۴۰۱ ؛ تاریخ بازنگری: ۲۹ مهر ۱۴۰۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۲۱ آبان ۱۴۰۱ ؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۲۱ آبان ۱۴۰۱

چکیده

این تحقیق با هدف ارائه مدلی جهت فشرده‌سازی برنامه زمان‌بندی با انتخاب فعالیت‌های بهینه از لحاظ هزینه، زمان، کیفیت و ریسک با استفاده از روش تاپسیس صورت گرفته است. پژوهش حاضر از لحاظ نتایج، کاربردی است و نتایج آن در راستای توسعه تکنیک‌های مدیریت پروژه و حرکت به سمت بکارگیری تکنیک‌های مهندسی در بهبود عملکرد سازمان‌های مجری طرح‌های عمرانی و سرمایه‌گذاری قابل استفاده است. روش‌های گردآوری اطلاعات در این پژوهش به دو دسته میدانی و کتابخانه‌ای تقسیم می‌شود. از روش کتابخانه‌ای جهت جمع‌آوری اطلاعات مربوط به ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش و از روش میدانی جهت گردآوری اطلاعات برای بررسی اهداف پژوهش استفاده شده است. در این پژوهش ابزار جمع‌آوری داده ها ابزار پرسشنامه است. جامعه آماری تحقیق برای پرسشنامه تعداد ۵ نفر از خبرگان ساختمانی بخش خصوصی را شامل شده است که پرسشنامه خبرگان در میان آن‌ها پخش شد. در یک مسئله بهینه‌سازی با موازنه‌ی زمان، هزینه، کیفیت و ریسک، روش‌های اجرایی مناسب برای انجام مجموعه ی فعالیت‌های یک پروژه از ابتدا تا انتها باید به گونه‌ای انتخاب شود که عوامل زمان، هزینه، کیفیت و ریسک کل اجرای پروژه بهینه گردد. در این پژوهش برای حل مسئله از الگوریتم تاپسیس استفاده شده است.

کلمات کلیدی:

فشرده‌سازی برنامه زمانبندی، توسعه، ابزار جمع‌آوری داده‌ها، بهینه‌یابی، الگوریتم TOPSIS

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: *ghorbani@pnu.ac.ir*

۱. مقدمه

امروزه مدیریت پروژه به عنوان یک مهارت مهم در بسیاری از صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد. به همین دلیل، دانش پروژه‌ها و مدیریت آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. اصطلاح "پروژه" یک تلاش موقت را با یک نقطه شروع و یک محصول یا سرویس منحصر به فرد را به عنوان یک نقطه پایانی مشخص می‌کند. پروژه‌ها عمدتا با منحصر به فرد بودن و موقتی بودن مشخص می‌شوند. با توجه به بدنه دانش مدیریت پروژه، محدودیت‌های مختلفی در پروژه‌ها از جمله زمان، هزینه، دامنه، کیفیت، منابع و ریسک وجود دارد [۱].

یک بررسی آماری توسط SGI در سال ۲۰۰۳ نشان داد که تنها ۳۴ درصد از پروژه ها به موقع و با بودجه تایید شده تکمیل شده اند. درصد ذکر شده در بالا نسبت به سال ۱۹۹۴، زمانی که میزان موفقیت ۱۹ درصد گزارش شده بود، بهبود جزئی را نشان می‌دهد. میانگین مازاد هزینه‌ها نیز از ۱۸۰ درصد در سال ۱۹۹۴ به ۴۳ درصد در سال ۲۰۰۳ کاهش یافته است، که این مدیون تحقیقات و کارهای انجام شده در زمینه مدیریت پروژه است [۲]. مدیریت پروژه برنامه ریزی و هدایت پروژه ها در یک زمان، هزینه و کیفیت خاص به سمت ایجاد نتایج خاص است. هر پروژه و مدیر پروژه باید محدودیت ها را برای دستیابی به اهداف پروژه در نظر بگیرد. به همین دلیل یکی از مهم ترین مواردی که مدیر پروژه باید همواره در تصمیم گیری ها و ارزیابی‌های خود مد نظر داشته باشد محدودیت‌های زمانی، هزینه و کیفی پروژه است [۳].

در مهندسی عمران، یک پروژه یک تلاش منحصر به فرد و گذرا است که برای دستیابی به اهداف ساخت‌وساز استراتژیک انجام می‌شود، که می‌تواند به خوبی از نظر بازده، عواقب یا سود تعریف شود. یک پروژه معمولا به عنوان یک دستاورد در نظر گرفته می‌شود اگر اهداف را با توجه به استانداردهای پذیرش آن‌ها، در یک محدوده و بودجه مورد توافق انجام دهد [۴].

از آنجایی که اکثر پروژه ها دارای شرایط و فعالیت‌های منحصر به فردی هستند، می‌توان استانداردهای مشخص، از پیش تعیین شده و جامعی را برای برنامه ریزی کلیه پروژه ها ارائه کرد. بنابراین، مدیر پروژه به سختی می‌تواند در مثلث زمان-هزینه-کیفیت مشخص شده در استاندارد مدیریت پروژه در انجام فعالیت‌های پروژه باقی بماند [۵]. بنابراین در حالی که پیش از اجرای پروژه ها، زمان، هزینه و سطح کیفیت آن‌ها تعیین می‌شود، برخی از مطالعات نشان داده‌اند که بسیاری از پروژه ها هرگز زمان بندی شده، مقرون به صرفه و در سطح کیفی مورد انتظار به اتمام نرسیده اند. وجود ریسک و عدم قطعیت در پروژه باعث کاهش دقت در برآورد صحیح اهداف و کاهش کارایی پروژه ها می‌شود. بنابراین لزوم شناخت و مدیریت ریسک در پروژه کاملاً واضح است [۶].

در برخی از پروژه‌ها می‌توان با تخصیص بیشتر منابع آن‌ها در زمان درخواستی یک سری فعالیت‌ها را تکمیل کرد که به نوبه خود باعث افزایش هزینه پروژه در آن زمان می‌شود. در چنین شرایطی، مدیران پروژه به دنبال ترکیبی بهینه برای زمان، هزینه و کیفیت پروژه هستند. در حالی که اطلاعات در این زمینه ناکافی و محدود است. استفاده از روش تاپسیس می‌تواند راهنمایی برای مدیریت بهتر پروژه در چنین شرایطی باشد.

در محاسبات مسیر بحرانی (CPM) فرض می‌شود که تمام فعالیت‌ها می‌توانند در زمان مورد انتظار و عادی خود انجام شوند. در برخی موارد، لازم است پروژه حتی زودتر از زمان برنامه ریزی شده تکمیل شود. طبیعی است که برای دستیابی به زمان تکمیل زودتر باید زمان تعدادی از فعالیت‌ها را کاهش داد. این کاهش زمان با افزایش منابع کاری آن فعالیت ها و صرف هزینه همراه است. به آن انجام ضربتی یا فشرده سازی زمان فعالیت می‌گویند. از آنجایی که تاریخ اتمام پروژه در هر مرحله، مجموع زمان فعالیت‌های واقع در مسیر یا مسیرهای بحرانی است، هدف از مبادله هزینه و زمان برای دستیابی به زمان اتمام زودتر پروژه، انتخاب مجموعه‌ای از فعالیت‌ها است. فشرده‌سازی به طوری که هزینه تمام فعالیت ها به حداقل برسد، هدف تبادل هزینه و زمان

برای دستیابی به زمان تکمیل زودتر پروژه، انتخاب مجموعه‌ای از فعالیت‌ها برای فشرده سازی است بطوریکه هزینه کل انجام فعالیت‌ها کمینه شود [۷]. در این حالت عاملی که باید به حداقل برسد جمع هزینه‌های پروژه است. اگر پروژه را برای مدت طولانی انجام دهند، هزینه‌های مربوط به سرمایه دربند، جریمه تأخیر و بسیاری از هزینه‌های غیر مستقیم دیگر افزایش می‌یابد. در مقابل، اگر زمان پروژه خیلی کوتاه شود، هزینه‌های مستقیم کاهش زمان فعالیت‌ها بالا خواهد بود. بین این دو مقدار (زمان‌های بسیار کوتاه و بسیار طولانی) زمان بهینه‌ای برای تکمیل پروژه وجود خواهد داشت که در ازای آن، کل هزینه‌ها حداقل خواهد بود. به علاوه اینکه همواره با کاهش زمان هر فعالیت (عملیات فشرده سازی)، سطح کیفیت فعالیت‌ها نیز دستخوش تغییر است. در این مقاله، هدف تعیین زمان اقتصادی برای اجرای پروژه است که به ازای آن جمع هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم (ناشی از فشرده‌سازی) در حداقل ممکن بوده و مجموع کیفیت انجام فعالیت‌ها حداکثر و ریسک اجرای فعالیت ها حداقل شود.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

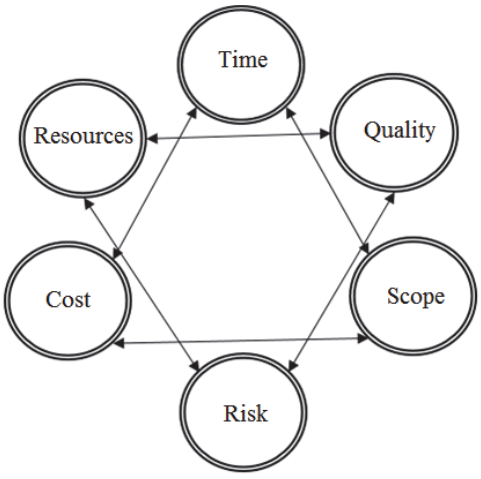
۲-۱- برنامه زمان‌بندی پروژه

پروژه‌های ساخت‌وساز بزرگ با پیچیدگی خود از نظر سازمان مشخص می‌شوند، زیرا آن‌ها شامل صدها فعالیت بوده و به منابع متعددی نیاز دارند. برای مدیریت موفق اهداف مهم پروژه، تلاش‌های زمانبندی باید اعمال شوند تا اطمینان حاصل شود که یک پروژه در الزامات قرارداد تکمیل شده‌است. زمان‌بندی مدیریت بر روی فرایندهایی تمرکز می‌کند که برای ارائه مناسب جنبه‌های بحرانی پروژه، مانند زمان، هزینه، منابع، و غیره ضروری هستند [۸].

برنامه زمانبندی پروژه یک برنامه دقیق ارائه می‌دهد که نشان می‌دهد پروژه چگونه و چه زمانی محصولات، خدمات و نتایج تعریف شده در محدوده پروژه را ارائه می‌دهد و به عنوان یک ابزار ارتباطی، مدیریت انتظارات ذینفعان و مبنایی برای گزارش عملکرد یه کار خواهد رفت. تیم مدیریت پروژه یک رویکرد زمان‌بندی بحرانی با رویکرد چابک را انتخاب می‌کند. سپس داده‌های خاص پروژه مانند فعالیت‌ها، تاریخ‌های زمان‌بندی شده، مدت زمان، منابع، وابستگی‌ها و محدودیت‌ها را در ابزار زمان‌بندی پروژه وارد کرده تا یک مدل زمان‌بندی پروژه به دست آید.

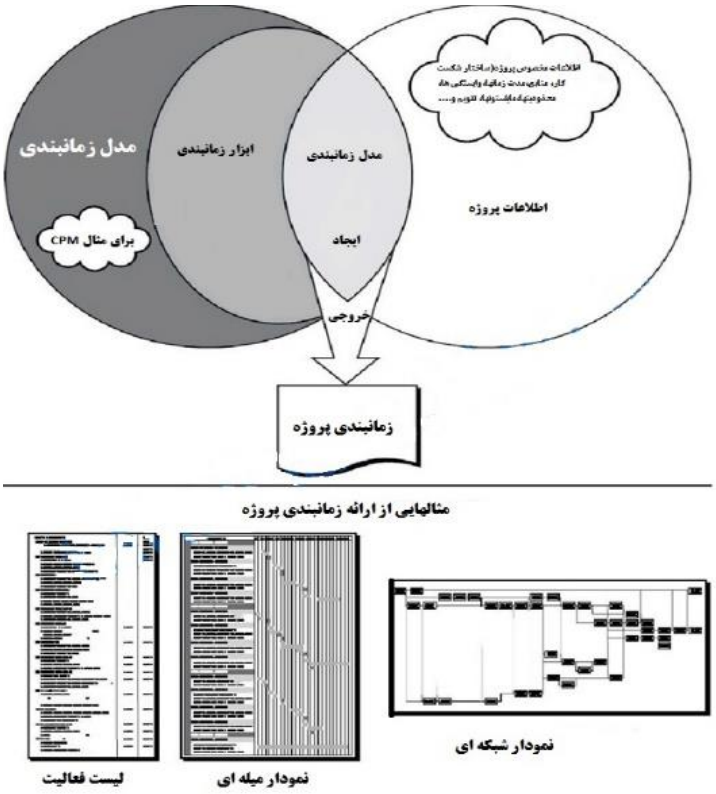
زمانبندی و کنترل پروژه وظایف اصلی در مدیریت پروژه ساخت‌وساز هستند. علاوه بر این، یک روش برنامه‌ریزی پروژه موثر برای اطمینان از موفقیت عملکرد پروژه بسیار مهم است [۹].

شکل ۱ نتیجه، زمان بندی پروژه است. یک نمای کلی از زمان‌بندی را نشان می‌دهد که چگونه روش‌های زمان‌بندی، ابزارهای زمان‌بندی و خروجی‌های فرآیند زمان‌بندی پروژه برای ایجاد یک مدل زمان‌بندی با هم تعامل دارند. برای پروژه‌های کوچک‌تر، تعریف فعالیت‌ها، توالی فعالیت‌ها، تخمین زمان فعالیت و توسعه یک مدل زمان‌بندی ارتباط تنگاتنگی با هم دارند، که همه آن‌ها را می‌توان به عنوان یک فرآیند واحد مشاهده کرد. توسط یک نفر در مدت زمان نسبتاً کوتاهی انجام شود. این فرآیندها در اینجا به عنوان عناصر جداگانه ارائه می‌شوند، زیرا ابزارها و تکنیک‌های هر فرآیند متفاوت است. برخی از این فرآیندها به طور کامل در استاندارد عملی زمان‌بندی گنجانده شده‌اند. در صورت امکان، زمان بندی دقیق پروژه باید در طول پروژه انعطاف‌پذیر باقی بماند تا بتوان آن را برای دانش به دست آمده، درک بیشتر ریسک‌ها و فعالیت‌های ارزش افزوده تنظیم کرد [۱۱].



شکل ۱: محدودیت‌های پروژه [۱۱]

شکل ۱ محدودیت‌های پروژه را نشان می‌دهد. در هر پروژه، یکی از این محدودیت‌ها می‌تواند در مقایسه با یک محدودیت دیگر بهتر باشد. توانایی مدیر پروژه باید شامل توازن محدودیت‌ها به گونه‌ای باشد که تمام اهداف پروژه محقق شوند. روش مسیر بحرانی (CPM) یک روش قابل‌اعتماد است که ابداع شده‌است و می‌تواند برای ایجاد یک برنامه زمان‌بندی در هر نوع پروژه به کار گرفته شود. در این روش، گام اول برآورد مدت‌زمان فعالیت است. گام بعدی اندازه‌گیری مدت‌زمان پروژه با تعیین فعالیت در شبکه Arrow (AOA) (موسسه مدیریت پروژه) است [۱۱].



شکل ۲: تعامل روش‌های زمان‌بندی، ابزارهای زمان‌بندی و خروجی‌های فرآیند زمان‌بندی

CPM یک تکنیک کمی اساسی است که برای مدیریت پروژه با فرض زمان چرخش قطعی توسعه‌یافته است. همچنین CPM حداقل زمان مورد نیاز برای تکمیل پروژه را تعیین می‌کند [۱۲].

۲-۲- فشرده سازی برنامه زمان‌بندی

تکنیک‌های فشرده‌سازی زمان‌بندی برای کوتاه کردن یا سرعت بخشیدن به زمان‌بندی بدون کاهش محدوده پروژه، برای برآورده کردن محدودیت‌های زمان‌بندی، تاریخ‌های مشخص شده با اهداف زمان‌بندی دیگر استفاده می‌شوند. تحلیل شناوری منفی یک تکنیک مفید است. مسیر بحرانی مسیری با کمترین شناوری است.

۲-۱-۱- خرد کردن

تکنیکی است که برای کوتاه کردن مدت زمان با کمترین افزایش هزینه با افزودن منابع استفاده می‌شود. نمونه‌هایی از خرد کردن شامل تأیید اضافه کاری، بودجه اضافی، یا پرداخت برای تحویل سریع‌تر فعالیت‌های بحرانی است. خرد کردن، برای تحویل سریع‌تر فعالیت‌ها در مسیر بحرانی، تنها برای فعالیت‌هایی در مسیر بحرانی که منابع بیشتر باعث کاهش مدت زمان فعالیت‌ها می‌شود، مناسب است. خرد کردن همیشه منجر به تولید یک گزینه مناسب نمی‌شود و ممکن است منجر به افزایش ریسک یا هزینه شود [۱۰].

یک روش رایج برای کاهش زمان پروژه، افزایش منابع است که باعث کاهش فشرده سازی و زمان فعالیت می‌شود. کاهش زمان با افزایش منابع را فشرده سازی (Crashing) نیز می‌گویند [۱۳].

افزایش منابع برای کاهش زمان پیچیدگی کمتر و قطعیت بیشتری نسبت به روش‌های دیگر دارد و اگرچه افزایش هزینه قابل توجهی می‌تواند داشته باشد اما ریسک‌های کمتر و شناخته شده‌ای دارد و یکی از معمول‌ترین روش‌هایی است که در عمل برای کاهش زمان بکار گرفته می‌شود. تکنیک افزایش منابع همان تبادل هزینه و زمان می‌باشد [۷ و ۱۴].

خرد کردن فعالیتی است که به انجام اقدامات خاص و پر هزینه برای کاهش مدت‌زمان آن اشاره دارد. یک فعالیت کم‌تر از ارزش معمول آن. این اقدامات خاص ممکن است شامل استفاده از اضافه‌کاری، برون سپاری، استفاده از منابع صرفه‌جویی در زمان خاص، دستیابی به تجهیزات خاص و غیره باشد. هدف از اجرای روش خرد کردن، کاهش زمان اجرای پروژه به میزان کم‌تر از مقدار معمول آن است [۱۵].

پس از اکتشاف تیم پروژه، معمولا زمان برآورد شده در شبکه CPM بیشتر از محدودیت زمانی پروژه است. براساس بدنه دانش مدیریت پروژه، شکست، یک تکنیک کلیدی برای کاهش مدت‌زمان پروژه است. تخریب تخصیص منابع اضافه‌شده به فعالیت‌های حیاتی پروژه برای کاهش مدت‌زمان فعالیت است. محدوده پروژه در استفاده از تکنیک شکست ثابت در نظر گرفته می‌شود و تلاش‌هایی برای تعادل هزینه و زمان انجام می‌شود [۱۶].

اساساً افزایش منابع باید بر روی فعالیت‌های واقع در مسیر بحرانی انجام می‌شود. با این حال، با انجام این کار، مسیر بحرانی ممکن است تغییر کند. در این صورت برای مسیرهای بحرانی جدید نیز باید منابع را افزایش دهند. همچنین افزایش منابع باید روی منابع بحرانی مربوط به یک فعالیت در مسیر بحرانی انجام شود، یعنی منابع افزایش یابد که با افزایش آن منابع، فعالیت مربوط به زمان داشته باشد. اگر افزایش منابع در فعالیت‌های مسیر بحرانی انجام نشود، اغلب باعث اتلاف منابع می‌شود، زیرا اولاً هزینه‌های مستقیم افزایش یافته است، ثانیاً در زمان کاهش نیافته و هزینه‌های غیرمستقیم (سربار) همچنان کاهش نیافته است. در جدول زیر مهم ترین روش‌های افزایش منابع و محدودیت‌های مرتبط ذکر شده است. میزان افزایش منابع محدود به میزان منابع در دسترس پروژه می‌باشد و با توجه به محدودیت منابع مختلف، میزان افزایش منابع نیز محدود خواهد شد.

در جدول ۱ روش‌های افزایش منابع و محدودیت‌های آن ها ذکر شده است [۱۷].

جدول ۱: محدودیت روش‌های افزایش منابع

روش های افزایش منابع (فشرده سازی فعالیت ها)	محدودیت ها
افزایش تعداد نیروی انسانی	کاهش بهره وری، افزایش هزینه ها، محدودیت تداخل نیروها
افزایش تعداد شیفت های کاری	افزایش هزینه ها، کاهش بهره وری
افزایش تعداد ساعت کاری(اضافه کاری)	کاهش کیفیت، افزایش هزینه ها
افزایش ماشین آلات، تجهیزات و مصالح	محدودیت فیزیکی، افزایش هزینه ها، محدودیت تدارک ماشین آلات و مصالح

۲-۳- سابقه و پیشینه تحقیقات انجام شده

در چند دهۀ اخیر روش‌های مختلفی جهت بهینه‌سازی توام زمان، هزینه و کیفیت ساخت در پروژهای عمرانی ارائه شده است. با توجه به اینکه در نظر گرفتن کیفیت به عنوان معیار بهینه‌سازی درانتخاب روش‌های اجرای پروژه اخیراً مورد توجه جدی قرار گرفته است، بیشتر تحقیقات علمی پیرامون موضوع بهینه‌سازی توام زمان و هزینۀ اجرا اختصاص یافته است. روش‌های ارائه شده در پژوهش‌های مربوط به بهینه‌سازی زمان، هزینه و کیفیت اجرای پروژه‌ها را می‌توان به طور کلی به سه دسته کاوشی، ریاضی و فراکاوشی تقسیم بندی نمود. از جمله روش‌های کاوشی می‌توان به روش‌های ارائه شده توسط فوندال، پراگر زیمنس اشاره کرد. همچنین از روش‌های ریاضی استفاده شده برای نمونه می‌توان به روش‌های برنامه‌ریزی خطی، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح، مدل برنامه‌ریزی پویا و همچنین مدل ترکیبی برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح اشاره کرد. موفقیت روش‌های کاوشی در رسیدن به جواب، عموماً به نوع مساله وابسته بوده و دست‌یابی به جواب بهینه را تضمین نمی‌کنند. اگرچه روش‌های ریاضی در صورتی که قادر به حل مساله‌ای باشند، بهینه بودن جواب تعیین شده را تضمین می‌نمایند ولی با افزایش تعداد متغیرهای طراحی و پیچیدگی آن کارایی خود را از دست می‌دهند؛ بنابراین با افزایش ابعاد و نیز پیچیده‌تر شدن مسایل، امکان حل آن‌ها با روش‌های ریاضی بهینه‌سازی وجود نخواهد داشت.

۲-۳-۱- مدل های مربوط به زمان های قطعی و مشخص

فالکرسون (۱۹۶۱)، طی تحقیقی، روشی را برای یافتن منحنی موازنه زمان-هزینه ارائه نمود که اساس آن یافتن زمان و هزینه بهینه با هدف کمینه سازی هزینه کل بوده است. همچنین میر و شافر در سال ۱۹۹۵ و تالبوت در ۱۹۸۲ بعضاً از تکنیک‌های هیوریستیک برای حل این دسته از مسائل استفاده نموده‌اند و محققینی نظیر زیمنس در سال ۱۹۷۱ و مصلحی در۱۹۹۳ برای این مسئله، مدل‌های ریاضی ارائه داده‌اند. چائو و همکارانش (۱۹۹۷) انجام شده و فنگ و برنز در سال ۱۹۹۷ از تکنیک‌های متاهیوریستیکی نظیر الگوریتم ژنتیک (GA) و تبرید شبیه‌سازی شده استفاده نمودند [۱۸].

۲-۳-۲- مدل های مربوط به زمان‌های غیر قطعی

این دسته از تحقیقات، خود به دو بخش عمده تقسیم می‌گردند: زمان‌های فازی و احتمالی. افرادی نظیر آنگ در ۱۹۷۵ و یانگ در ۲۰۰۵، زمان‌های احتمالی را برای این مسائل در نظر گرفته اند ولی قالب تحقیقات در خصوص مباحث فازی انجام گرفته‌اند. وانگ و همکاران در سال ۱۹۹۳ با لحاظ کردن اطلاعات فازی و هاپک و اسلونسکی در ۱۹۹۶ با در نظر گرفتن پارامترهای فازی به بررسی این مسائل پرداخته‌اند. در پژوهشی دیگر، لئو و همکارانش در سال ۱۹۹۹ نیز از مدل بهینه‌سازی فازی برای فرموله کردن فعالیت‌ها با زمان غیرقطعی پرداخته‌اند. در سال ۲۰۰۱، آریکان و گونگور یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی ارائه کرده و در سال ۲۰۰۵، چائو گوانگ و همکاران، طی تحقیق خود، رویکرد جدیدی بر اساس الگوریتم ژنتیک معرفی نموده‌اند. غضنفری و همکارانش در ۲۰۰۸، یک مدل احتمالی جدید برای بهینه‌سازی زمان هر فعالیت بصورت اعداد مثلثی فازی ارائه کرده‌اند و در ادامه تحقیقاتشان، از یک روش هیوریستیک برای حل مسائل زمان‌بندی پروژه‌ها با کمک تصمیم‌گیری فازی در محیط‌های فازی استفاده کرده‌اند [۱۹].

در نوع دیگری از تقسیم‌بندی این مسائل، در صورت وجود عوامل غیرقطعی، تحقیقات بیشتر معطوف به مدل‌های برنامه‌ریزی خطی فازی بوده است. مانند تحقیق تاناکا و همکارانش در سال ۲۰۰۰ و تحقیق بوکلی و همکارانش در سال ۲۰۰۱، که به ارائه یک رویکرد جدید برای حل مسئله برنامه ریزی چند هدفه با پارامترها و متغیرهایی به شکل اعداد فازی مثلثی پرداخته و پژوهش دیگری از غضنفری و همکاران که در سال ۲۰۰۷ انجام شده و یک رویکرد جدید برای دستیابی به توزیع احتمالی متغیرهای تصمیم فازی برای مسائل برنامه‌ریزی خطی احتمالی ارائه نمودند [۱۹].

برای مواردی که زمان فعالیت‌ها غیر قطعی باشد، مانند مقالات چارنز و کوپر (۱۹۶۲)؛ (ولمر)؛ گولنکو و گونیک (۱۹۹۷) و گوتجوهر (۲۰۰۰) از مدل‌های استوکستیک استفاده شده است. یانگ در یکی از مقالات خود یک مدل برنامه ریزی محدودیت‌های تصادفی (CCP) را برای تحلیل مسائل موازنه زمان هزینه ارائه کرده است. همچنین در مقاله‌ی کی و همکاران در سال ۲۰۰۹ دو مدل استوکستیک که بر اساس دو معیار تصمیم گیری (CCP و DCP) طراحی شده‌اند توسط یک الگوریتم ژنتیک حل شده‌اند [۲۰].

گونه‌ای دیگر از تحقیقات با مرکزیت و یا لحاظ نمودن ریسک در پروژه‌ها انجام شد [۲۱]. متدولوژی‌ای برای رتبه‌بندی پروژه‌ها حسب ریسک ارایه دادند که توسط اداره پیمانکاری و مدیریت خدمات استرالیا مورد پذیرش قرار گرفت. در این روش نمره ریسک با در نظر گرفتن بهای تمام شده پروژه، زمان و کیفیت محاسبه می‌گردد. این روش تبعات، اهداف و ویژگی‌های مختلف پروژه‌ها را در نظر گرفته و با یک رویکرد پیچیده، تاثیرات ریسک بر روی بهای تمام شده، زمان و کیفیت پروژه را محاسبه و سپس از آن‌ها برای نمره‌گذاری پروژه‌ها استفاده می‌کند. در سال ۲۰۱۱ تحقیق دیگری برای بهینه‌یابی سه عامل زمان، هزینه و ریسک توسط لاکشمینارایانان و همکاران با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان انجام شد. در این تحقیق نیز بدون محاسبه تابع هدف راه حل‌های بهینه ارائه شده است. البته به نظر می‌رسد که مقادیری که در این پژوهش به عنوان ریسک برای راه‌کارهای مختلف ارائه شده است، از انسجام کافی برخوردار نباشد زیرا فاصله بین مقادیر ریسک روش‌های مختلف اجرای یک مرحله دارای تفاوت زیادی با همدیگر هستند و بنابراین نیاز به اصلاحاتی در مقادیر استاندارد وجود دارد [۲۲].

۳- روش پژوهش

در پروژه‌های ساخت معمولا برای هر فعالیت، تعدادی گزینه و یا روش اجرایی وجود دارد که هریک از آن‌ها را می‌توان برای انجام آن فعالیت برگزید. به عنوان مثال برای حفر محل یک پی می‌توان از بیل مکانیکی و یا کارگر استفاده نمود. این کار می‌تواند در دوره کاری روز (شیفت روز) و یا در دوره اضافه کاری (شیفت شب) انجام شود. بدون تردید هر یک از این روش‌های اجرا به عنوان یک راه حل برای انجام فعالیت مدت زمان، هزینه، کیفیت و ریسک خاصی را خواهند داشت. در تولید بسیاری از محصولات دیگر نیز وضعیت‌های مشابهی وجود دارد. به عنوان نمونه در تولید یک خودرو می‌توان از قطعات متفاوتی که هر یک کیفیت و در نتیجه بهای متفاوتی دارند استفاده نمود و روش‌های تولید متفاوت نیز ضمن تفاوت در کیفیت محصول، دارای زمان متفاوتی نیز برای تحویل هستند. به هر حال در یک مسئله بهینه سازی با موازنه زمان، هزینه، کیفیت و ریسک، روش‌های اجرایی مناسب برای انجام مجموعه فعالیت‌های یک پروژه از ابتدا تا انتها باید به گونه‌ای انتخاب شود که یک تابع هدف تعریف شده مرکب از عوامل زمان، هزینه، کیفیت و ریسک کل اجرای پروژه کمینه گردد. به طور کلی و با توجه به نگاه واقع گرایانه به ماهیت پروژه‌ها، تبادل هزینه و زمان و انتخاب یک یا چند فعالیت از بین فعالیت‌های یک پروژه جهت فشرده‌سازی یک تصمیم گیری با چند شاخص می باشد که باید با در نظر گرفتن تمامی معیارها و شاخص‌ها بهترین فعالیت‌ها را جهت کوتاه نمودن انتخاب نمود. از این رو حل مساله با استفاده از متدهای تصمیم‌گیری چند معیاره به عنوان یک رویکرد مناسب به شمار می‌رود.

در این مقاله از نرم افزار Microsoft Project جهت تهیه برنامه زمان‌بندی و انتخاب فعالیت‌های مسیر بحرانی و همچنین از تکنیک تاپسیس به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری جهت انتخاب مناسب‌ترین فعالیت جهت فشرده‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

۳-۱- نرم‌افزار مایکروسافت پروژه (Microsoft Project)

نرم‌افزار مایکروسافت پروژه (Microsoft Project) برای مدیریت پروژه‌ها بر پایه علم مدیریت پروژه کاربرد دارد و جزو زیر مجموعه نرم‌افزار آفیس است.

نرم‌افزار مایکروسافت پروژه تصویر جامعی از پروژه را در اختیارتان قرار می‌دهد که می‌توانید تمامی جزئیاتی که برای رسیدن به هدف باید تکمیل شوند را در آن پر کرده و آن‌ها را سازماندهی نمائید.

نرم افزار مدیریت پروژه مایکروسافت پروژه به شما کمک می‌کند تا با روشی سازماندهی شده، ایده‌ها و افکارتان را ثبت و آن‌ها را به طرحی قابل اجرا تبدیل کنید.

با مایکروسافت پروژه، به سادگی می‌توانید زمان تکمیل هر فعالیت یا هر فاز از پروژه را تخمین بزنید و مطمئن شوید که می‌توانید پروژه را در موعد مورد مقرر به اتمام برسانید.

هنگامی که اجرای پروژه آغاز می‌گردد، می‌توانید برنامه‌ریزی را با توجه به تاریخ‌های واقعی شروع و پایان فعالیت‌ها به هنگام‌سازی کنید (مرحله کنترل پروژه)، در این حالت مایکروسافت پروژه، برنامه را مجدداً محاسبه نموده و نشان می‌دهد که فعالیت‌ها تا چه اندازه زودتر یا دیرتر به اتمام رسیده‌اند.

۳-۲- تکنیک و نرم افزار تاپسیس

۳-۲-۱- الگوریتم تکنیک تاپسیس

این تکنیک اولین بار توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ مطرح و برای رتبه بندی گزینه‌ها به کار گرفته شد. اساس این تکنیک، تعیین بهترین گزینه بر مبنای مفهوم راه حل ایده‌آل می باشد. بدین ترتیب که گزینه‌ای که بیشترین فاصله با ایده آل منفی و کمترین فاصله با ایده آل مثبت را دارا باشد، در اولویت بالاتری قرار می‌گیرد.

گام‌های تاپسیس به شرح زیر می باشد:

گام اول: بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم گیری

بدین منظور از بی مقیاس کردن اقلیدسی (رابطه۱) استفاده می‌گردد.

$$r_{ij}(x) = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^{\ 2}}},$$

$$i = 1,\ldots,m \qquad (۱)$$

$$j = 1,\ldots,n$$

از خصوصیات این روش بی مقیاس کردن این است که جهت شاخص ها پس از بی مقیاس سازی تغییر نمی کند.

گام دوم: محاسبه ماتریس بی مقیاس وزین

دومین گام در روش تاپسیس وزین کردن ماتریس بی مقیاس شده مقایسات زوجی است.

به منظور محاسبه این ماتریس، ماتریس بی مقیاس شده در ماتریس شاخص ها (رابطه 2) ضرب می‌شود.

$$V_{ij}(x) = w_j r_{ij}(x), \quad i = 1,\ldots,m \quad j = 1,\ldots,n \qquad (۲)$$

گام سوم: تعیین راه حل ایده آل مثبت و منفی

اساس روش تاپسیس، محاسبه میزان فاصله گزینه ها از ایده آل مثبت و منفی است. بنابراین، در این مرحله راه حل ایده آل مثبت و منفی تعیین می‌شوند. جهت تعیین این راه حل ها از رابطه 3 و 4 استفاده می‌شوند.

$$A^+ = \left\{(V_1^+(x), V_2^+(x), \ldots, V_n^+(x)\right\}$$
$$\left\{(\max v_{ij}(x) \mid j \in J_1)(\max v_{ij}(x) \mid j \in J_2) \mid i = 1\ldots m\right\} \qquad (۳)$$

$$A^- = \left\{(V_1^-(x), V_2^-(x), \ldots, V_n^-(x)\right\}$$
$$\left\{(\max v_{ij}(x) \mid j \in J_1)(\max v_{ij}(x) \mid j \in J_2) \mid i = 1\ldots m\right\} \qquad (۴)$$

J1, J2 به ترتیب مربوط به شاخص‌های مثبت و منفی می‌باشد.

مرحله چهارم: محاسبه میزان فاصله از راه حل‌های ایده آل مثبت و منفی

روش تاپسیس گزینه هارا بر مبنای میزان نزدیکی به ایده آل مثبت و دوری از ایده آل منفی رتبه بندی می‌کند، بنابر این در این مرحله محاسبه فاصله هر گزینه تا ایده آل مثبت و منفی با استفاده از رابطه ۵ و ۶ انجام می‌شود.

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left[V_{ij}(x) - V_j^+(x)\right]^2}, i = \ldots\ldots m \qquad (۵)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left[V_{ij}(x) - V_j^-(x)\right]^2}, i = \ldots\ldots m \qquad (۶)$$

مرحله پنجم: محاسبه میزان نزدیکی گزینه به ایده آل

در این گام، میزان نزدیکی هر گزینه به راه حل ایده آل از طریق رابطه 7 محاسبه می‌شود.

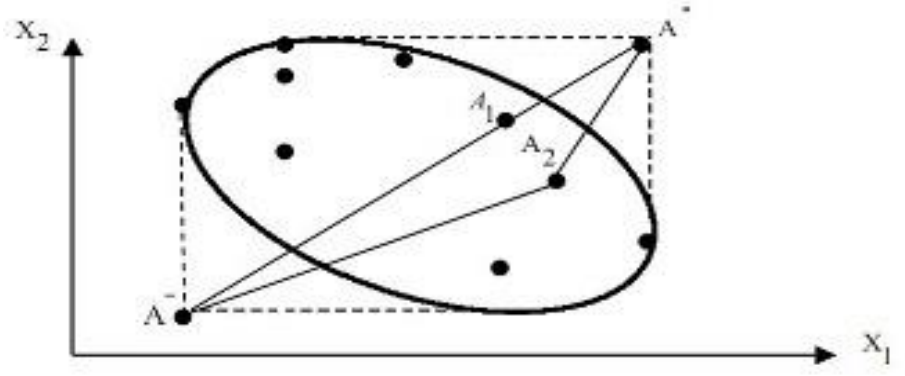
$$C_i^+ = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, i = 1\ldots m \qquad (۷)$$

در رابطه 7، هرچه C_i^* گزینه‌ای به یک نزدیک تر باشد، بیانگر این است که آن گزینه فاصله کمتری تا ایده آل مثبت و فاصله بیشتری تا ایده آل منفی دارد. بنابراین گزینه ها بر اساس ترتیب نزولی C_i^* رتبه بندی می‌شوند.

۳-۲-۲- معرفی نرم افزار تاپسیس

نرم افزار تاپسیس یکی از بهترین نرم افزارها برای حل روش تاپسیس است.

اساس کار این نرم افزار، تعیین بهترین گزینه بر مبنای مفهوم راه حل ایده آل است. بدین صورت که گزینه‌ای که بیشترین فاصله را با راه حل منفی و کمترین فاصله را از ایده آل مثبت دارا باشد، در اولویت بالاتری قرار می‌گیرد. (شکل ۲)



شکل ۲: مفهوم راه حل ایده آل روش تاپسیس

نرم افزار تاپسیس (BT Topsis Solver) به عنوان یکی از بهترین نرم‌افزارهای تاپسیس برای حل این روش به کار گرفته می‌شود.

اطلاعات دریافتی شامل معیار ها، وزن ها، گزینه ها و داده‌های ماتریس تصمیم‌گیری می‌باشد. این نرم افزار به صورت خودکار ۶ مرحله (۱- نرمالایز کردن ماتریس تصمیم ۲- وزن دهی به ماتریس نرمالایز شده ۳- تعیین راه حل ایده آل و راه حل ایده آل منفی ۴- به دست آوردن اندازه فاصله ها ۵- محاسبه نزدیکی نسبی به راه حل ایده آل ۶- رتبه بندی گزینه ها) برای حل روش تاپسیس را انجام می‌دهد.

از جمله ویژگی‌های نرم افزار تاپسیس سولور (BT TopSis SolVer):

- توانایی حل ماتریس بدون محدودیت در تعداد

- امکان ذخیره و انجام تغییرات در اکسل

- امکان باز کردن و انجام محاسبات از اکسل

- امکان پرینت مستقیم از داخل برنامه

- پشتیبانی از انتروپی شانون برای وزن دهی خودکار

- رسم انواع نمودار گرافیکی

- امکان افزایش و کاهش تعداد معیار و گزینه ها با یک کلید ساده

- قابل نصب روی همه انواع ویندوز از جمله Xp,7,8,server,vista و ویندوز ۱۰

- امکان اجرای آزمایشی قبل از فعال سازی نرم افزار

- امکان نصب مجدد با همان کد فعال سازی (فقط برای یک کامپیوتر)

- ذخیره در WORD به همراه مراحل محاسبه

- امکان جدید: کپی و Paste از اکسل به نرم افزار و برعکس

- امکان جدید: تعریف خبرگان

۳-۳- شاخص‌های تصمیم گیری

همانگونه که گفته شد شیب هزینه هر فعالیت به عنوان مهم‌ترین و تنها شاخص مورد استفاده در فشرده‌سازی مطرح بوده است.طبق تعریف داریم:

$$\triangle C = \frac{C_c - C_n}{T_c - T_n} \quad (۸)$$

که در رابطه فوق Cc هزینه انجام فعالیت در حالت فشرده سازی، Cn هزینه انجام فعالیت در حالت عادی، TC زمان انجام فعالیت در حالت انجام فشرده سازی و Tn زمان انجام فعالیت در حالت عادی می‌باشد.

از سوی دیگر شاخص کیفیت در واقع نماینگر لحاظ نمودن چگونگی انجام کار در یک فعالیت است. کیفیت انجام برخی فعالیت‌ها ممکن است در هنگام فشرده سازی افت نماید.مفهوم شیب کیفیت بصورت ذیل محاسبه می‌شود.

$$\triangle Q = \frac{Q_c - Q_n}{T_c - T_n} \quad (۹)$$

در رابطه فوق Qc کیفیت انجام فعالیت در حالت فشرده سازی، Qn کیفیت انجام فعالیت در حالت عادی، TC زمان انجام فعالیت در حالت انجام فشرده سازی و Tn زمان انجام فعالیت در حالت عادی می‌باشد.

شاخص سوم ریسک انجام هر فعالیت می‌باشد. بدیهی است که مدیر پروژه تمایل کمتری برای فشرده‌سازی فعالیت‌هایی با ریسک بالا خواهد داشت. ریسک فعالیت عبارت است از رویدادها یا وضعیت های ممکن‌الوقوع نامعلومی که در صورت وقوع بصورت پیامدهای منفی یا مثبت بر اهداف پروژه موثر خواهند بود. پیامدهای این رویدادها مستقیما در زمان، هزینه و کیفیت مصوب پروژه موثر می‌باشد. ریسک‌های هر پروژه بطور مستقیم با حاصل جمع ریسک‌های هر فعالیت رابطه مستقیم دارد، لذا درجه ریسک برای هر فعالیت می‌تواند شاخص مهمی برای فشرده‌سازی تلقی گرد زیرا فشرده سازی عموماً ریسک انجام فعالیت را افزایش می‌دهد [۲۳].

$$\triangle R = \frac{R_c - R_n}{T_c - T_n} \quad (۱۰)$$

در رابطه فوق Rc ریسک انجام فعالیت در حالت فشرده سازی، Rn ریسک انجام فعالیت در حالت عادی، TC زمان انجام فعالیت در حالت انجام فشرده سازی و Tn زمان انجام فعالیت در حالت عادی می باشد.

۳-۴- الگوریتم ارایه شده

قدم اول: شناسایی و لیست کردن تمامی فعالیت‌های بحرانی شبکه. (با توجه به پویا بودن مسیر بحرانی پروژه، پیشنهاد می‌گردد تمامی فعالیتهای پروژه مدنظر قرار گیرند.)

قدم دوم: محاسبه شیب هزینه، شیب ریسک و شیب کیفیت برای هر فعالیت.

قدم سوم: تعیین وزن هر معیار با استفاده از پرسشنامه نخبگان در نرم افزار تاپسیس.

قدم چهارم: فشرده سازی زمان فعالیت ها به ترتیب رتبه بندی تعیین شده توسط نرم‌افزار تاپسیس.

۴- تجزیه و تحلیل تحقیق (یک نمونه موردی)

برنامه زمانبندی پروژه زیر با مدت زمان قراردادی ۴ ماه را در نظر بگیرید. تاریخ شروع پروژه۲۰۲۰/۰۱/۰۱ و تاریخ پایان پروژه ۲۰۲۰/۰۴/۳۰ می‌باشد. مدت اولیه پیمان به اتمام رسیده است و ۴۵ درصد از عملیات موضوع پیمان باقیمانده است. پس از بررسی لایحه تاخیرات توسط مشاور و کارفرما، نهایتاً ۳۰ روز از تاخیرات غیر مجاز و ۴۳ روز مجاز محسوب گردیده است. با بروز رسانی برنامه زمان‌بندی پروژه در تاریخ ۲۰۲۰/۰۴/۳۰ اتمام پروژه با ۷۳ روز تاخیر نسبت به پایان مدت اولیه پیمان توسط نرم افزار در تاریخ ۲۰۲۰/۰۷/۱۲ تعیین می‌گردد. بنابراین باید فعالیت‌های باقیمانده پروژه به مدت ۳۰ روز فشرده گردند و اتمام پروژه در تاریخ ۲۰۲۰/۰۶/۱۲ برنامه‌ریزی گردد.

جدول ۲: لیست فعالیت‌های پروژه ساختمان اداری

ردیف	نام فعالیت	شرح	پیش نیاز	مدت زمان (روز)
۱	A	تجهیز کارگاه	-	۱۴
۲	B	حصار کشی موقت محوطه کارگاه	-	۷
۳	C	برش و ساخت قطعات اسکلت فلزی	A	۲۸
۴	D	ساخت قطعات آرماتور فونداسیون	A	۳۵
۵	E	پی کنی	B	۲۱
۶	F	نصب ماشین‌های بتن ساز	B	۱۰
۷	G	قرار دادن قطعات آرماتور فونداسیون در پی	D,E	۷
۸	H	رنگ آمیزی اسکلت فلزی	C	۷
۹	I	ریختن بتن فونداسیون	G,F	۷
۱۰	J	نصب اسکلت فلزی	I,H	۱۰
۱۱	K	احداث دیوار آجری	J	۳۵
۱۲	L	نصب ورق فلزی سقف	J	۱۵
۱۳	M	بندکشی دیوار آجری	K	۱۲
۱۴	N	برچیدن کارگاه	M	۷

جهت فشرده‌سازی برنامه زمان‌بندی پروژه از روش Crashing مطابق Pmbok استفاده می‌کنیم و فعالیت‌های مسیر بحرانی که تعیین کننده تاریخ پایان پروژه هستند را انتخاب می‌کنیم.

جهت فشرده‌سازی فعالیت‌های مسیر بحرانی، هر یک از این فعالیت ها به ازای کاهش یک واحد زمانی (یک روز) از مدت زمانشان متحمل افزایش هزینه، افزایش ریسک و کاهش کیفیت خواهند شد. بنابراین از بین فعالیت‌های مسیر بحرانی، فعالیت هایی را انتخاب می‌کنیم که بهینه ترین ترکیب هزینه، ریسک و کیفیت را داشته باشند. بر اساس پرسشنامه هایی که از طریق نخبگان تکمیل شده است مقادیر هزینه، کیفیت و ریسک ثانویه‌ای که از فشرده سازی فعالیت‌ها حاصل می‌شوند تعیین شده است. همچنین ضرایب اهمیت هر یک از این متغیرها نیز از طریق نخبگان اعلام شده است. با توجه به پویا بودن مسیر بحرانی، یا تغییر مدت زمان، یک فعالیت غیر بحرانی می‌تواند در مسیر بحرانی قرار بگیرد و به فعالیت بحرانی تبدیل شود بنابراین باید بهینه‌یابی را برای تمامی فعالیت‌های پروژه انجام داد.

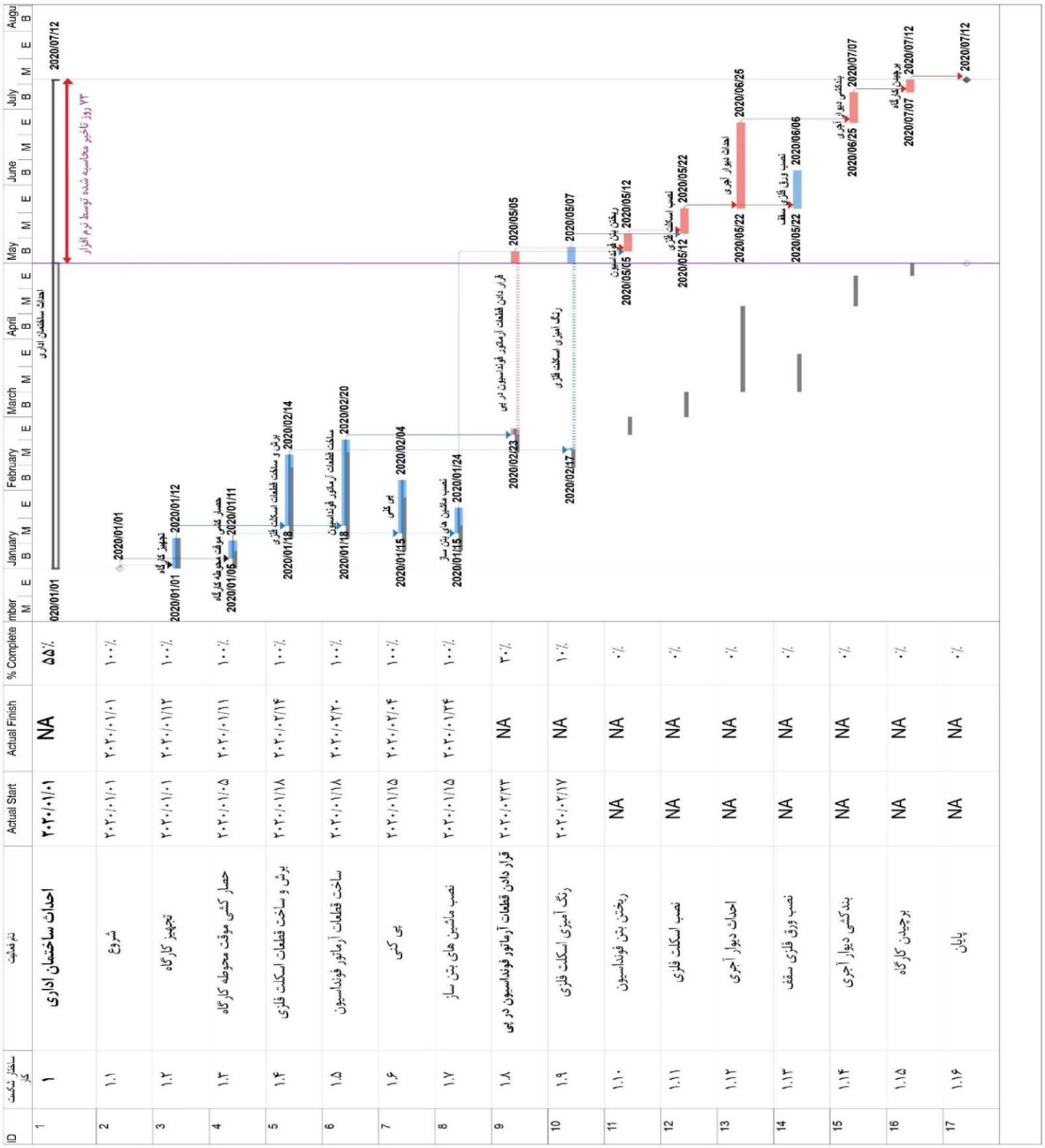
قدم اول: شناسایی و لیست کردن تمامی فعالیت‌های بحرانی شبکه. (با توجه به پویا بودن مسیر بحرانی پروژه، پیشنهاد می‌گردد تمامی فعالیت‌های پروژه را که بعد از تاریخ status date قرار میگیرند را مدنظر قرار می‌دهیم.)

قدم دوم: محاسبه شیب هزینه، شیب کیفیت و شیب ریسک ناشی از فشرده سازی هر فعالیت.

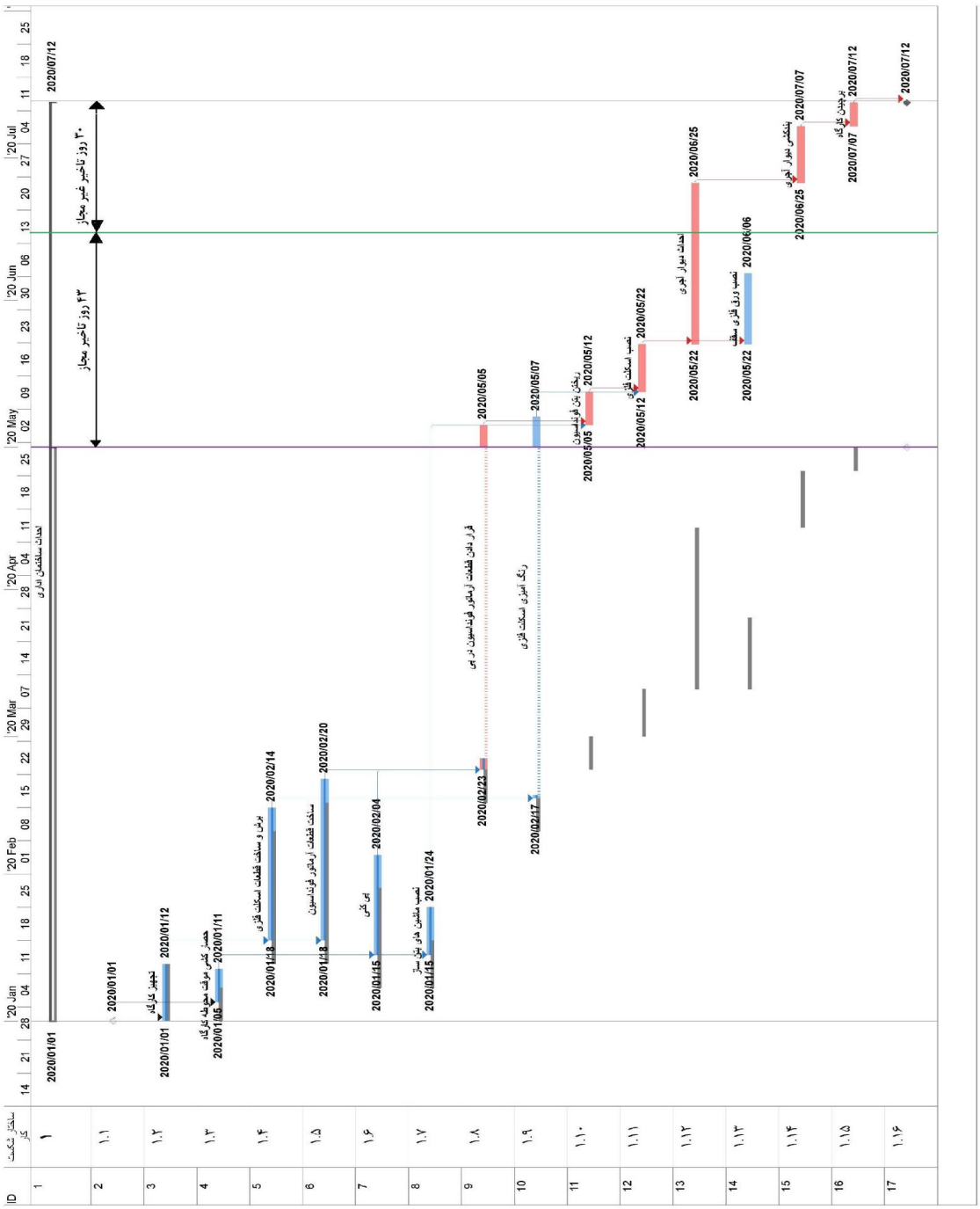
قدم سوم: تعیین و تعریف ایده آل‌های مثبت و ایده آل‌های منفی برای هر معیار در نرم افزار تاپسیس.

قدم چهارم: وزن‌های مشخص شده برای هر معیار که از پرسشنامه بدست آمده است در نرم افزار وارد می‌شود.

قدم پنجم: انتخاب فعالیت‌های تعیین شده جهت فشرده سازی که از نرم افزار تاپسیس بدست آمده است.



شکل ۳: بروزرسانی برنامه زمانبندی



شکل ۴: مدت مجاز و غیرمجاز تاخیرات

۴-۲-۱- گام اول: شناسایی و لیست کردن تمامی فعالیت‌های بحرانی شبکه

جهت کاهش مدت زمان پروژه تا رسیدن به تاریخ ۲۰۲۰/۰۶/۱۲ جهت اتمام پروژه، باید فعالیت‌های مسیر بحرانی را که بعد از تاریخ status date قرار می‌گیرند را انتخاب کنیم. با توجه به پویا بودن مسیر بحرانی پروژه، تمامی فعالیتهای پروژه را که بعد از تاریخ status date قرار می‌گیرند را مدنظر قرار دهیم.

فعالیت‌های شماره ۷،۹،۱۰،۱۱،۱۳،۱۴ فعالیت‌های بحرانی شبکه هستند که بعد از RESCHEDULE کردن برنامه زمان‌بندی در تاریخ ۲۰۲۰/۰۴/۳۰ توسط نرم افزار تعیین می‌شوند.

۴-۲-۲- گام دوم: محاسبه شیب هزینه، شیب ریسک و شیب کیفیت برای هر فعالیت

برای تمامی فعالیت هایی که بعد از تاریخ status date قرار می‌گیرند شیب‌های هزینه، ریسک و کیفیت را از محاسبه می‌کنیم.

۴-۲-۳- گام سوم: تعیین وزن هر معیار با استفاده از پرسشنامه نخبگان

با استفاده از پرسشنامه‌ای که از طریق نخبگان تکمیل شده است وزن هایی که برای معیارهای هزینه، ریسک و کیفیت در نظر گرفته شده است را در نرم افزار تاپسیس وارد می‌نماییم.

برای معیار هزینه ضریب ۰.۶، معیار کیفیت ضریب ۰.۲ و معیار ریسک ضریب ۰.۲ توسط پرسشنامه خبرگان بدست آمده است.

معیارها مثبت جنبه سود دارند یعنی هر چه بیشتر شوند بهتر است و معیارهای منفی جنبه هزینه دارند و هر چه کمتر باشند بهتر است. با توجه به معیارهای پژوهش، هر سه معیار منفی هستند. یعنی هرچه کمتر باشند بهتر هستند.

۴-۲-۴- گام چهارم: فشرده سازی زمان فعالیت ها به ترتیب رتبه بندی تعیین شده توسط نرم افزار تاپسیس

پس از طی گام‌های ۱ تا ۳ در گام چهارم ترتیب فعالیت ها جهت فشرده سازی زمان آن ها توسط نرم افزار تاپسیس تعیین می‌شود. در این گام فعالیت ها به ترتیب رتبه بندی تعیین شده، زمانشان تا حد امکان (ظرفیت فعالیت جهت کاهش زمان) و رسیدن پایان پروژه به تاریخ۲۰۲۰/۰۶/۱۲ فشرده می‌شوند.

جدول ۳: زمان و هزینه ثانویه فعالیت‌ها بعد از فشرده سازی

رتبه	نام	زمان معمولی	مدت زمان کاهش یافته	زمان ثانویه	هزینه اولیه	هزینه ثانویه
۱	برچیدن کارگاه	۵	۴	۱	۱۰۰۰	۱۹۶۰
۲	بندکشی دیوار آجری	۱۲	۹	۳	۳۰۰۰	۵۷۰۰
۳	رنگ آمیزی اسکلت فلزی	۱۰			۲۵۰۰	
۴	احداث دیوار آجری	۳۴	۱۷	۱۷	۱۴۰۰۰	۲۲۳۶۴
۵	نصب ورق فلزی سقف	۱۵			۹۵۰۰	
۶	قرار دادن قطعات آرماتور فونداسیون در پی	۷			۵۰۰۰	
۷	نصب اسکلت فلزی	۱۵			۱۰۰۰۰	
۸	ریختن بتن فونداسیون	۷			۹۰۰۰	

۵- نتیجه گیری

رساندن پروژه به اهداف آن با کمترین زمان ممکن،کمترین هزینه، کمترین سطح ریسک و بیشترین سطح کیفیت از وظایف اصلی مدیران پروژه می‌باشد. با توجه به اینکه تاریخ تکمیل پروژه حاصل مجموع زمان انجام فعالیت‌هایی است که در مسیر یا مسیرهای بحرانی واقع شده‌اند، مسئله مورد بررسی، ایجاد موازنه بین هزینه، کیفیت و ریسک با زمان به منظورکاهش زمان تکمیل پروژه می‌باشد، بطوری‌که هزینه و ریسک کمینه و کیفیت بیشینه گردد. با فرض اینکه پروژه بطور حتم باید در تاریخی زودتر از آنچه که در محاسبات معمولی شبکه نشان داده شده به اتمام برسد مدیر پروژه برای فشرده سازی برنامه زمان‌بندی باید معیارهای زمان، هزینه، کیفیت و ریسک را مد نظر قرار دهد و تصمیم‌گیری نماید.

در این مقاله از تکنیک تاپسیس به عنوان یک استراتژی اجماع و بهینه‌سازی چند معیاره برای انتخاب فعالیت‌های مناسب برای فشرده‌سازی زمان پروژه استفاده شد و با درنظر گرفتن ضرایب اهمیت هزینه، کیفیت و ریسک فعالیت‌ها اقدام به فشرده سازی

برنامه زمانبندی فعالیت‌ها شده است به گونه‌ای که از بین فعالیت‌های مسیر بحرانی، فعالیت‌هایی انتخاب شده اند که ترکیب هزینه،کیفیت و ریسک بهینه تری دارند.

۱- تمامی فعالیت‌های مسیر بحرانی مطابق جدول ۴ توسط نرم افزار Microsoft Project شناسایی و لیست شدند.

جدول ۴: فعالیت‌های مسیر بحرانی

کد WBS	Task name
۱.۸	قرار دادن قطعات آرماتور فونداسیون در پی
۱.۱۰	ریختن بتن فونداسیون
۱.۱۱	نصب اسکلت فلزی
۱.۱۲	احداث دیوار آجری
۱.۱۴	بندکشی دیوار آجری
۱.۱۵	برچیدن کارگاه

۲- کم هزینه ترین در جدول ۵ ، کم ریسک ترین در جدول ۶ و با کیفیت ترین (کمترین کاهش کیفیت) در جدول ۷ در ازای فشرده سازی یک روزه فعالیت‌های مسیر بحرانی محاسبه گردید.

جدول ۵: شیب هزینه

Task Name	شیب هزینه (از کمترین به بیشترین)
برچیدن کارگاه	۲۴۰
بندکشی دیوار آجری	۳۰۰
احداث دیوار آجری	۴۹۲
قرار دادن قطعات آرماتور فونداسیون در پی	۸۵۷
ریختن بتن فونداسیون	۱۵۴۳
نصب اسکلت فلزی	۱۶۰۰

جدول ۶: شیب ریسک

Task Name	شیب ریسک (از کمترین به بیشترین)
بندکشی دیوار آجری	۱
برچیدن کارگاه	۲
قرار دادن قطعات آرماتور فونداسیون در پی	۳
احداث دیوار آجری	۳
ریختن بتن فونداسیون	۵
نصب اسکلت فلزی	۹

جدول ۷: شیب کیفیت

Task Name	شیب کیفیت (از کمترین به بیشترین)
برچیدن کارگاه	۱
نصب اسکلت فلزی	۱
قرار دادن قطعات آرماتور فونداسیون در پی	۲
بندکشی دیوار آجری	۳
احداث دیوار آجری	۴
ریختن بتن فونداسیون	۹

۳- با توجه به ضریب اهمیت ۶۰ درصدی معیار شیب هزینه، ضریب ۲۰ درصدی شیب ریسک و شیب کیفیت، با استفاده از الگوریتم تاپسیس، رتبه‌بندی ارایه شده در جدول ۷ به گونه است که به صورت توأمان کم هزینه ترین،کم ریسک ترین و با کیفیت‌ترین فعالیت‌ها جهت فشرده‌سازی زمان آن‌ها تعیین شده‌اند.

جدول ۸: رتبه‌بندی فعالیت‌ها جهت فشرده سازی زمان

Task Name	بهینه ترین فعالیت ها
برچیدن کارگاه	۱
بندکشی دیوار آجری	۲
احداث دیوار آجری	۳
قرار دادن قطعات آرماتور فونداسیون در پی	۴
نصب اسکلت فلزی	۵
ریختن بتن فونداسیون	۶

الگوریتم پیشنهادی از ده حوزه راهنمای دانش گسترده مدیریت پروژه، هزینه زمان، کیفیت و ریسک را به عنوان معیار مد نظر گرفته و با استفاده از فعالیت‌های انتخابی پروژه‌ها را فشرده کرده است. استفاده از روش‌های تصمیم گیری چندگانه دیگر، افزودن زمینه‌های دیگر راهنمای گستره دانش مدیریت پروژه می‌تواند موضوعات مناسبی برای مطالعات آتی باشد.

منابع

1. Project Management Institute. (2013). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK ® Guide). Fifth Edition. Newtown Square, PA. (n.d.).

2. Ashtiani, B., & gholi Arianezhad, M. (1388). Preventive Methods - Response to Scheduling. Tehran: Iran University of Science and Technology.

3. Modeling trade off Time-Cost-Quality in an Activity Network using Fuzzy Logic and Genetic Algorithm TT. (2013). IUST, 24(3), 361–376. Retrieved from http://ijiepm.iust.ac.ir/article-1-601-fa.html

4. Walker, A. (2015). Project management in construction. John Wiley & Sons.

5. Kerzner, H. (2009). Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling. John Wiley & Sons.

6. Amiri, M. (n.d.). Provides a method for ranking the activities of the project using the CPM network and the TOPSIS method in fuzzy mode. Journal of Industrial.

7. Sabzeparvar, M. (1389). Educational and practical reference for project control by step-by-step method, 11th edition, Termeh Publications, Tehran, Iran.

8. Derbe, G., Li, Y., Wu, D., & Zhao, Q. (2020). Scientometric review of construction project schedule studies: Trends, gaps and potential research areas. Journal of Civil Engineering and Management, 26(4), 343–363. https://doi.org/10.3846/jcem.2020.12317

9. Madyatmadja, E. D., Liliana, L., Andry, J. F., & Tannady, H. (2020). Risk analysis of human resource information systems using COBIT 5. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 98(21), 3357–3367.

10. Fathollahzadeh, M. (1397). PMBOK project management knowledge configuration guide, 6th edition and agile practical guide, first edition, Dibagran Cultural and Artistic Institute, Tehran.

11. Project Management Institute. PRACTICEPractice standard for scheduling (PMBOK ® Guide) Second Edition. Newtown Square, PA. (2011).

12. Leach, L. P. (2005). Critical Chain Project Management 2nd Edition. Artech House. Norwood MA.

13. Ghoddosi, P. (1398). Planning and control of construction projects, third edition, Iran University of Science and Technology publications.

14. Gerk, J. E. V., & Qassim, R. Y. (2008). Project acceleration via activity crashing, overlapping, and substitution. IEEE Transactions on engineering management, 55(4), 590–601.

15. Hillier, F. S. (1967). Introduction to operations research.

16. Kiran, D. R. (2017). Total Quality Management: An Overview. Total Quality Management, 1–14.

17. Saminejad, J. (1390). Providing a framework to increase the potential of simultaneity in two-factor projects, Master's Thesis, Amir Kabir University, Faculty of Civil Engineering, Bahman.

18. E, N., S, S., & M., S. (1394). Designing and explaining the mathematical model of time compression in CPM networks considering the activities quality index. In 11th International Project Management Conference, Tehran.

19. A, J. N., M, S., & A, A. (1381). Time-Cost-Quality Optimization Using Adaptive Network Direct Search Algorithm. In 5th National Congress of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

20. S, E., V, A., & H., J. (1392). Balance of cost, time and quality criteria in a CPM network using fuzzy logic and genetic algorithm. In 24th Journal of Industrial Engineering and Production Management, Autumn (pp. 362–376).

21. Baccarini, D., & Archer, R. (2001). The risk ranking of projects: a methodology. International Journal of Project Management, 19(3), 139–145. https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00074-5

22. Lakshminarayanan, S., Gaurav, A., & Arun, C. (2010). Multiobjective optimization of time-cost-risk using ant colony optimization. International Journal of Project Planning and Finance, 1(1), 22–38.

23. H., A. (1380). Project Management Knowledge Standard. 6th Edition, Hami Publications.