Industrial Management Journal
Print ISSN: 2008-5885
Online ISSN: 2423-5369

Designing and Explaining a Redundancy Resource and Buffer allocation Model for Project Reliability Improvement with Time and Cost Uncertainty (The Case of Oil and Gas Industry Projects)

Iman Doost Mohamadi*
*Corresponding Author, Ph.D. Candidate in Production and Operations Management, Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: i_doostmohamadi@sbu.ac.ir

Akbar Alem Tabriz
Prof., Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: a-tabriz@sbu.ac.ir

Abbas Raad
Assistant Prof., Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: a-raad@sbu.ac.ir

Mostafa Zandieh
Prof., Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: m_zandieh@sbu.ac.ir

Abstract

Objective: Achieving the time and cost objectives of projects in the real world is difficult because of unforeseen and uncertain issues. Time and cost estimates at the beginning of the project are usually optimistic and do not take into account the uncertainties that lead to deviations from the objectives. The purpose of this study is to provide a combined method of allocating redundancy resource and buffer to improve the achievement of time and cost objectives (project reliability).
Methods: In this method, by allocating a precautionary time reserve at the end of each activity and the end of the project and allocating redundancy resource, the reliability of the project is improved so that time and cost are not sacrificed and the most desirable cost and time for the project will be achieved. For this purpose, the mathematical model of optimal allocation of buffer and redundancy resource to improve time and cost stability has been presented and its application in one of the real projects of the country's oil and gas industry has been studied and validated.
Results: The research findings indicate a 37 percent improvement in time reliability and a 28 percent improvement in project cost reliability using the proposed method.
Conclusion: The results of the study indicate an improvement in the attention span in achieving the time and cost objectives of the project using the proposed method and considering the real conditions of projects, including uncertainties and special conditions such as sanctions.

Keywords: Project reliability, Uncertainty, Redundancy resource, Buffer.

Citation: Doost Mohamadi, Iman; Alem Tabriz, Akbar; Raad, Abbas & Zandieh, Mostafa (2020). Designing and Explaining a Redundancy Resource and Buffer allocation Model for Project Reliability Improvement with Time and Cost Uncertainty (The Case of Oil and Gas Industry Projects). *Industrial Management Journal*, 12(4), 521-544. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2020, Vol. 12, No.4, pp. 521-544
DOI: 10.22059/IMJ.2021.303889.1007745
Received: June16, 2020; Acceped: January26, 2021
Article Type: Research-based
© Faculty of Management, University of Tehran

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مدیریت صنعتی
شاپا چاپی: ۵۸۸۵-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۵۳۶۹-۲۴۲۳

طراحی و تبیین مدل تخصیص منبع افزونه و بافر برای بهبود پایایی پروژه‌ها در شرایط عدم قطعیت زمان و هزینه (مورد مطالعه: صنعت نفت و گاز)

ایمان دوست‌محمدی*

* نویسنده مسئول، دانشجوی دکترای مدیریت تولید و عملیات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
رایانامه: i_doostmohamadi@sbu.ac.ir

اکبر عالم تبریز

استاد، گروه مدیریت صنایع، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. **رایانامه:** a-tabriz@sbu.ac.ir

عباس راد

استادیار، گروه مدیریت صنایع، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. **رایانامه:** a-raad@sbu.ac.ir

مصطفی زندیه

استاد، گروه مدیریت صنایع، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: m_zandieh@sbu.ac.ir

چکیده

هدف: دستیابی به اهداف زمانی و هزینه‌ای پروژه‌ها در دنیای واقعی به دلیل مسائل پیش‌بینی نشده و غیرقطعی، با دشواری روبروست. تخمین‌های زمانی و هزینه‌ای در ابتدای پروژه معمولاً خوش‌بینانه بوده و عدم قطعیت‌هایی را که منجر به انحراف از اهداف تعیین‌شده می‌گردند، در نظر نمی‌گیرد. هدف این پژوهش ارائه روش ترکیبی تخصیص منبع افزونه و بافر جهت بهبود دستیابی به اهداف زمانی و هزینه‌ای (پایایی پروژه) است.

روش: در این پژوهش با استفاده از تخصیص یک ذخیره زمانی احتیاط در پایان هر فعالیت و در پایان پروژه و تخصیص منابع افزونه، پایایی پروژه به‌گونه‌ای بهبود یافته است که زمان و هزینه، هر یک فدای دیگری نگردیده و مطلوب‌ترین میزان هزینه و زمان برای پروژه دستیابی گردد. برای این منظور مدل ریاضی تخصیص بهینه بافر و منبع افزونه جهت بهبود پایایی زمانی و هزینه‌ای، ارائه گردیده و کاربردی بودن آن در یکی از پروژه‌های واقعی صنعت نفت و گاز کشور مورد بررسی و روایی‌سنجی قرار گرفته است.

یافته‌ها: یافته‌های پژوهش بیانگر ایجاد بهبود ۳۷ درصدی در پایایی زمانی و بهبود ۲۸ درصدی در پایایی هزینه‌ای پروژه با به‌کارگیری روش ارائه‌شده می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش حاکی از بهبود قابل توجه در دستیابی به اهداف زمانی و هزینه‌ای پروژه با استفاده از روش ارائه‌شده و با در نظر گرفتن شرایط واقعی پروژه‌ها شامل عدم قطعیت‌ها و شرایط ویژه مانند تحریم‌ها می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: پایایی پروژه، عدم قطعیت، منبع افزونه، بافر

استناد: دوست‌محمدی، ایمان؛ عالم تبریز، اکبر؛ راد، عباس و زندیه، مصطفی (۱۳۹۹). طراحی و تبیین مدل تخصیص منبع افزونه و بافر برای بهبود پایایی پروژه‌ها در شرایط عدم قطعیت زمان و هزینه (مورد مطالعه: صنعت نفت و گاز). *مدیریت صنعتی*، ۱۲(۴)، ۵۲۱- ۵۴۴.

مدیریت صنعتی، ۱۳۹۹، دوره ۱۲، شماره ۴، صص. ۵۲۱ – ۵۴۴
DOI: 10.22059/IMJ.2021.303889.1007745
دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۷، پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۷
نوع مقاله: علمی پژوهشی
© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

مقدمه

مفهوم پایایی از دیرباز در صنایع مختلف مورد توجه پژوهشگران بوده و نیاز به وجود سیستم بهره‌ور و ایمن جهت رقابت، منجر به افزایش اهمیت طراحی یک سیستم پایا گردیده است. این مفهوم در سالیان اخیر در مدیریت پروژه نیز ورود پیدا کرده است. عموماً پروژه‌ها در دنیای واقعی به دلایل مختلف، با مسأله عدم قطعیت مواجه هستند و تحلیل پایایی پروژه و بررسی احتمال دستیابی پروژه به اهداف زمانی و هزینه‌ای خود، با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت، موضوع چندی از پژوهش‌ها در سالیان اخیر بوده است.

در زمانبندی سنتی، شیوه معمول این است که فرض شود محیطی که در آن زمانبندی پروژه یا تولید رخ می‌دهد، قطعی یا ایستا است، لذا کلیه مقادیر پارامترها، از پیش مشخص بوده و در طول اجرای برنامه، تغییری نمی‌کند (لمبرشتس، دیمولیمیستر و هروئلن، ۲۰۰۷). لیکن در دنیای واقعی به‌دلیل عواملی همچون دسترسی منابع، شکست در تخصیص تجهیزات به فعالیت، پذیرش مشتریان و سرپیچی در فازهای مختلف پروژه، عملاً مقادیر پارامترها، غیرقطعی خواهد بود (روحانی‌نژاد، توکلی‌مقدم و واحدی نوری، ۲۰۱۵).

جهت بهبود پایایی و مدیریت عدم قطعیت پروژه‌ها، باید از روش‌های پیش‌کنشگری استفاده نمود. برنامه‌ریزی پیش‌کنشگرانه، بر ایجاد برنامه‌های زمانبندی پیشبین که از دانش آماری عدم قطعیت با هدف افزایش استواری زمانبندی استفاده می‌کند، تمرکز دارد. برنامه استوار برنامه‌ای است که بتواند اختلالات پیش‌بینی‌شده را بدون تأثیر روی فعالیت‌های برنامه‌ریزی‌شده جذب نموده و عملکرد بالایی را نیز به‌وجود آورد (ادونوان، ازسوی و مک‌کی، ۱۹۹۹). استواری با تخصیص ظرفیت منبع افزونه و یا زمان اجرایی مازاد به هر فعالیت، به‌گونه‌ای که عدم قطعیت اجرای آن فعالیت بدون نیاز به زمانبندی مجدد قابل جبران باشد، بدست می‌آید (لمبرشتس، دیمولیمیستر و هروئلن، ۲۰۰۷).

منبع افزونه، می‌تواند به صورت فعال (هر دو جزء اولیه و ثانویه در معرض فشار عملیاتی قرار می‌گیرند) و یا جانشین (در زمان تشخیص خرابی جزء اولیه، جزء ثانویه به‌کار گرفته خواهد شد) تخصیص داده شود (کیم و کیم، ۲۰۱۷).
زمان مازاد یا بافر نیز مدت زمانی است که به عنوان رزرو در پایان فعالیت‌ها و پروژه در نظر گرفته می‌شود و میزان آن جهت جلوگیری از بروز سندرم دانشجویی (تأخیر انداختن در فعالیت‌ها تا زمان احساس فشار جهت تاریخ اتمام)، فقط برای مدیر پروژه و تصمیم‌گیرندگان سطوح بالاتر مشخص است و به اطلاع تیم پروژه رسانده نخواهد شد (کوشتا، ۲۰۱۴).

پروژه‌های صنعت نفت و گاز ایران نیز در حال حاضر به طور ملموسی با مشکل تأخیر قابل ملاحظه و عدم تخمین درست هزینه و در نتیجه عدول از هزینه پیش بینی شده روبرو هستند. ارائه قیمت غیر واقعی، تخصیص نامناسب نفرات و پیمانکاران در جبهه‌های مختلف کاری، تأخیر در تأمین کالاها و تأخیر در تأیید نقشه‌ها و مدارک فنی مهندسی از سمت مشاورین و کارفرمایان، از مهم ترین مشکلات پروژه‌های EPC در صنعت نفت و گاز کشور است. (بیوسه، مومنی و حمیدی‌زاده، ۱۳۹۰)

از طرف دیگر، برای تلاش در جهت موفقیت بیشتر پروژه‌ها، می‌بایست به هر دو بعد زمانی و هزینه‌ای توجه کرد و یکی را فدای دیگری ننمود. بیشتر پژوهش‌های موجود در ادبیات، صرفاً بر بعد زمانی پروژه تمرکز نموده و اثرات

روش‌های ارائه‌شده روی هزینه را بررسی ننموده‌اند. لذا انجام پژوهشی جهت ارائه روش بهبود پایایی پروژه، به معنی افزایش احتمال دستیابی پروژه به اهداف، از هر دو بعد زمانی و هزینه‌ای، امری ضروری است.

مجموع موارد گفته‌شده، ما را بر آن داشت تا روشی را جهت بهبود پایایی پروژه از هر دو بعد زمانی و هزینه‌ای، در شرایط عدم قطعیت مورد پژوهش قرار دهیم. برای بهبود پایایی پروژه از روش ترکیبی تخصیص منبع افزونه و بافر استفاده گردیده است. همچنین جهت درک بهتر موضوع، پیاده سازی روش گفته شده در یک پروژه واقعی از صنعت نفت و گاز و در شرایط عدم قطعیت انجام گرفته است.

در این راستا در پژوهش حاضر قصد داریم به پرسش‌های زیر پاسخ گوییم:

۱. سازه‌ها و متغیرهای مدل محاسبه پایایی پروژه‌ها در شرایط عدم قطعیت هزینه و زمان کدامند؟

۲. ساختار مدل بهبود پایایی پروژه از طریق تخصیص افزونگی و بافر در شرایط عدم قطعیت هزینه و زمان چگونه است؟

۳. میزان بهبود پایایی پروژه با مدل تخصیص افزونگی و بافر زمانی در شرایط عدم قطعیت هزینه و زمان چگونه خواهد بود؟

پیشینه پژوهش

پایایی، عموماً "احتمال عملکرد موفق تحت شرایط ویژه زمان و کاربرد" تعریف شده است. پایایی یکی از ویژگی‌های مهمی است که مناسب بودن محصول بر اساس آن، ارزیابی می‌گردد. هرچه پیچیدگی سیستم افزایش می‌یابد، نه تنها تعریف پایایی آن به عنوان یک پارامتر طراحی، دشوارتر می‌گردد، بلکه کنترل پایایی و تضمین آن به عنوان یک ویژگی مهم عملیاتی تحت شرایط کاربرد مورد نظر، نیز سخت‌تر می‌شود (ریاست مرکز سلاح‌های دریایی، ۲۰۱۶، ص. ۱–۱).

پروژه، تلاشی موقت جهت ایجاد یک محصول، خدمت یا نتیجه منحصر بفرد (موسسه مدیریت پروژه، ۲۰۱۷، ص. ۴) تعریف شده است.

ساپوترا و لاتیفیانتی پایایی پروژه را به معنی احتمال دستیابی پروژه به اهداف زمانی و هزینه‌ای خود با در نظر گرفتن عدم قطعیت تعریف نموده‌اند (ساپوترا و لاتیفیانتی، ۲۰۱۵). هانگ، هانگ و لین (۲۰۲۰) نیز پایایی پروژه را احتمال تکمیل پروژه با لحاظ محدودیت‌های زمانی و بودجه‌ای تعریف نموده‌اند.

در زمانبندی سنتی، شیوه معمول این است که فرض شود محیطی که در آن زمانبندی پروژه یا تولید رخ می‌دهد، قطعی یا ایستا است، لذا کلیه مقادیر پارامترها، از پیش مشخص است و در طول اجرای برنامه، تغییری نمی‌کند (لمبرشتس، دیمولیمیستر و هروئلن، ۲۰۰۷). لیکن در دنیای واقعی هیچ‌یک از این شرایط به‌سادگی به‌وقوع نمی‌پیوندد. در دنیای واقعی، یک مدیر پروژه با یک محیط برنامه‌ریزی غیرقطعی و پویا سر و کار دارد. لمبرشتس، دیمولیمیستر و هروئلن، ۲۰۰۷، پروژه‌های ساختمانی را به‌عنوان نمونه ذکر می‌کنند که به‌دلایل مختلفی همچون اختلالات ناشی از تصادفات، شکست منابع، شرایط بد آب و هوایی، تحویل‌های غیرقابل اطمینان و پیمانکاران جزء غیر قابل اطمینان، به‌شرایط فوق دچار می‌گردند.

جهت مدیریت عدم قطعیت در پروژه‌ها، از روش‌هایی چون توزیع احتمال و مدل‌های فازی استفاده می‌شود. توزیع‌های احتمال غیرقطعی ورودی‌ها، یکنواخت، نرمال، لاگ نرمال و مثلثی تعریف می‌شوند (هرچند سایر توزیع‌ها نیز می‌توانند باشند). زمانی که یک فعالیت، به‌دلیل شکست پیش‌بینی نشده منبع یا افزایش زمان یکی از پیش‌نیازها، به‌عنوان مثال، دچار تأخیر می‌شود، برنامه اولیه غیرموجه می‌شود. سپس یک رویه واکنشی باید جهت ترمیم برنامه استفاده شود (لمبرشتس، دیمولیمیستر و هروئلن، ۲۰۰۷).

برنامه ریزی عدم قطعیت پروژه‌ها، به عنوان نوعی از برنامه ریزی ریاضی شامل متغیرهای غیر قطعی، برای نخستین بار توسط لیو (۲۰۰۹) ارائه گردید. وی مسأله زمانبندی پروژه با زمان‌های غیر قطعی را به عنوان نمونه ارائه نمود و یک مدل غیر قطعی زمانبندی پروژه را که می‌بایست تحت شرایط محدودیت زمان تکمیل و هزینه کلی کمینه گردد، معرفی نمود.

هروئلن و لئوس (۲۰۰۴) به ارائه رویکردهای مختلفی جهت ساخت برنامه مبنای پایدار که در اثر اختلال در زمان‌های اجرای فعالیت‌ها، دچار کمترین انحراف گردد، پرداخته‌اند. این رویکردها، با هدف‌هایی همچون کمینه‌سازی مجموع انحراف از زمان شروع فعالیت‌ها و یا بیشینه‌سازی مجموع شناوری‌های جفتی، مدل‌سازی و حل گردیده است.

همچنین جی و یائو (۲۰۱۴) به مطالعه عمیق تر مسأله زمانبندی پروژه پرداخته و یک مدل چند هدفه زمانبندی غیر قطعی پروژه را ساخته‌اند که اهداف آن کمینه سازی هزینه کلی و اضافه کاری تحت محدودیت بازرسی میان دوره و بازه زمانی است.

حال باید دید در شرایط مواجهه یک پروژه با عدم قطعیت، چه راهکارهایی را می‌توان به کار گرفت. هروئلن و لئوس (۲۰۰۵) پنج رویکرد زمانبندی در شرایط عدم قطعیت را به شرح زیرطبقه‌بندی نموده‌اند:

رویکرد پیش‌کنشگرانه، رویکرد غیر قطعی، رویکرد فازی، رویکرد پیش فعال، و رویکرد مبتنی بر تحلیل حساسیت. همچنین لمبرشتس، دیمولیمیستر و هروئلن (۲۰۰۸) زمانبندی واکنشی پیش‌واکنشگرانه را به شرح زیر تعریف می‌نمایند: ترکیبی از راهبرد پیش‌واکنشگرانه جهت ایجاد زمانبندی مبنای محافظت‌شده و راهبرد واکنشی برای حل ناموجه بودن زمانبندی، ناشی از اختلالات به‌وجود آمده در طول اجرای برنامه.

هروئلن و لئوس (۲۰۰۵) به مرور رویکردهای اساسی برنامه‌ریزی در شرایط عدم قطعیت، شامل: زمانبندی واکنشی، زمانبندی غیرقطعی پروژه، زمانبندی فازی پروژه، زمانبندی استوار (پیش‌واکنشگر) پروژه، و تحلیل حساسیت، پرداخته و پتانسیل هر یک از این رویکردها را برای برنامه‌ریزی پروژه در شرایط عدم قطعیت با ساختار تکامل شبکه قطعی، مورد بحث قرار داده‌اند.

فو، لو و واراکانتام (۲۰۱۵) رویکردهای حل مسایل عدم قطعیت در مسایل زمانبندی پروژه را به دو دسته تقسیم می‌نمایند: رویکرد نخست، فرض می‌نماید که عدم قطعیت توسط متغیرهای تصادفی با توابع توزیع شناخته‌شده مشخص گردیده است. رویکرد دوم، اصولاً با گسترش رویه‌های برنامه‌ریزی پیش واکنشگر و واکنشی سر و کار دارد. برنامه‌ریزی

پیش واکنشگر به‌دنبال تهیه برنامه مبنایی است که در برابر اختلالات ممکن، محافظت ایجاد نماید، در حالی‌که برنامه‌ریزی واکنشی، می‌تواند در طول اجرای پروژه، جهت ترمیم برنامه مبنا با کمینه انحراف از برنامه اصلی به کار رود.

وانگ، ژانگ، ژای و کیو (۲۰۱۷) با معرفی نظریه عدم قطعیت، سنجه غیرقطعی‌ای را جهت ارزیابی پایایی ساختارها برای احتمال ذهنی یا متغیرهای فازی، به‌جای سنجه‌های احتمالی به‌کار گرفته‌اند. در این مقاله، نویسندگان، متغیرهای غیرقطعی را به‌گونه‌ای که نشان‌دهنده پارامترهای فازی و تصادفی ذهنی است توسعه داده‌اند که بر اساس آن، پایایی ساختارها با توزیع‌های غیرقطعی قابل تحلیل باشد.

شهرخی (۱۳۹۷) به ارائه یک روش نوین برای مواجهه با عدم قطعیت در محاسبه قابلیت اطمینان قطعات از طریق بیان آهنگ خرابی قطعات به‌صورت عدد مثلثی فازی و به‌کارگیری محاسبات فازی برای تبدیل آن به عدد قابلیت اطمینان فازی می‌پردازد.

فاروقی، پاینده، عبدی (۱۳۹۸) به ارائه مدل و حل مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع با اهداف چندگانه قابلیت اطمینان، ریسک، زمان و هزینه پروژه در حالت گسسته، با لحاظ کردن قابلیت فشرده‌سازی چندگانه و همچنین حالتهای اجرای یکسان زیرمجموعه فعالیتها پرداخته‌اند.

ما، دیمولیمیستر، هه و وانگ (۲۰۱۹) با ارائه یک مسأله زمانبندی پروژه پیش‌واکنشگر با محدودیت منابع، جستجوی سنجه‌های بهتر استواری جانشین را برای مدیران پروژه مورد هدف قرار داده‌اند. در پژوهش ایشان، زمان فعالیت‌ها و دسترس‌پذیری منابع به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده و راهبردهای مختلف تخصیص بافر در این دو محیط مورد بررسی قرار گرفته است و راهبرد تخصیص بافر مناسب برای محیط دارای عدم قطعیت در دسترس‌پذیری منابع را توزیع یکنواخت بافر دانسته‌اند، و برای محیط دارای عدم قطعیت در زمان فعالیت‌ها، عکس این موضوع را صادق دانسته‌اند.

هانگ، هانگ و لین (۲۰۲۰) نیز در پژوهش خود، یک روش تجزیه جهت محاسبه دقیق پایایی معرفی نموده‌اند که با توجه به اینکه سایر پژوهش‌ها، عمدتاً پایایی را به صورت تخمینی محاسبه می‌نمودند، یک روش نوآورانه به حساب می‌آید. هرچند روشی برای بهبود پایایی در ابعاد زمانی و هزینه‌ای در آن پژوهش ارائه نگردیده است.

در پژوهش پیش رو، زمانبندی استوار مبتنی بر افزودن بافر و منبع افزونه، با رویکرد احتمالی جهت زمان‌های اولیه فعالیت‌ها در نظر گرفته شده است. روش‌های بهبود پایایی پروژه‌ها که در ادبیات ارائه گردیده قابل بخش‌بندی به ۴ روش می‌باشد:

الف) بهبود پایایی اجزا: مانند پژوهش ژائو و هائو (۲۰۱۱) پیرامون به کار گیری مدل سری – موازی برای کنترل ریسک‌های پروژه‌های مترو و محاسبه و بهبود پایایی هر جزء سیستم، و همچنین پژوهش تائو و تام (۲۰۱۲) پیرامون پیاده‌سازی روش بهینه‌سازی پایایی سیستم در بهبود کیفیت عملکرد پروژه‌های ساخت

ب) تخصیص بافر: در این زمینه پژوهش‌های لمبرشتس، دیمولیمیستر و هروئلن (۲۰۱۱)، کوشتا (۲۰۱۴)، ایزمایلو، کرنوا و خوزمیاکین (۲۰۱۶) و پوشدار و همکاران (۲۰۱۸)، در ادبیات موجود است و به عنوان جدیدترین پژوهش این حوزه نیز می‌توان به پژوهش شی، چن و هال (۲۰۲۰) اشاره نمود که یک روش تجزیه شبکه را جهت تعیین اندازه بافر معرفی نموده است.

ج) تخصیص افزونگی: پژوهش‌هایی که از روش تخصیص افزونگی جهت بهبود پایایی پروژه‌ها استفاده نموده‌اند شامل پژوهش ریس، سرپا، کندیا- وجار و باردین (۲۰۱۱)، روحانی‌نژاد، توکلی‌مقدم و واحدی نوری (۲۰۱۵) و چانگ و کو (۲۰۱۸) می‌باشند.

د) تخصیص بافر و افزونگی: در این زمینه پژوهشی توسط باردت و کوزان (۲۰۱۵) انجام گردیده که با تخصیص بافر به‌همراه تعدادی منابع آزاد برای فعالیت‌های پروژه و لحاظ افق‌های چندهفته‌ای، برنامه‌ریزی بر اساس زمان ورود و موکول نمودن فعالیت به هفته بعد در صورت عدم وجود منابع آزاد، به حل مسأله پرداخته‌اند. همچنین امیری، تقوی‌فرد، عظیمی و آقایی (۱۳۹۸) به ارائه روش تخصیص بافر و افزونگی در سیستم تولیدی با هدف کمینه‌سازی هزینه، بیشینه‌سازی دسترس‌پذیری، و کمینه‌سازی ظرفیت بافر کل سیستم تولید پرداخته‌اند.

همانگونه که از مرور ادبیات موجود قابل استنتاج است، تا کنون پژوهشی در زمینه ارائه مدل تخصیص بافر و افزونگی در فضای پروژه جهت بهبود پایایی زمانی و هزینه‌ای، صورت نگرفته که در این پژوهش به دنبال آن هستیم که روش مذکور را با در نظر گرفتن شرایط تحریم به عنوان یکی از مسائل واقعی پروژه‌های کشور، ارائه و ارزیابی نماییم.

جدول ۱ شامل مرور پژوهش‌های مشابه موجود در ادبیات و مقایسه آن با پژوهش حاضر می‌باشد.

جدول ۱: مرور پژوهش‌های موجود در ادبیات و مقایسه با پژوهش پیش رو

پژوهش	ابعاد سنجش پایایی	روش بهبود ارائه‌شده	شرایط مسأله	مورد مطالعه	روش حل مورد استفاده
ریس و همکاران (۲۰۱۱)	هزینه‌ای	–	قطعیت	–	الگوریتم فرا ابتکاری (ژنتیک)
لمبرشتس و همکاران (۲۰۱۱)	زمانی	بافر	عدم قطعیت	–	الگوریتم ابتکاری مبتنی بر شبیه سازی و الگوریتم جستجوی ممنوع
فو و همکاران (۲۰۱۵)	زمانی	–	عدم قطعیت	–	الگوریتم ابتکاری
ساپوترا و لاتیفیانتی (۲۰۱۵)	زمانی، هزینه‌ای	–	عدم قطعیت	پروژه فرضی	شبیه سازی مونت کارلو
باردت و کوزان (۲۰۱۵)	زمانی	بافر، افزونگی	عدم قطعیت	–	راهبرد ترکیبی تخصیص بافر و منابع آزاد جهت استوارسازی زمانبندی پروژه
روحانی نژاد و همکاران (۲۰۱۵)	زمانی	افزونگی	عدم قطعیت	پروژه فرضی	تئوری بازی‌ها و برنامه‌ریزی ریاضی
دیوید ا. وود (۲۰۱۷)	زمانی، هزینه‌ای	–	عدم قطعیت	پروژه گازی	مدل سازی فازی و حل با الگوریتم ابتکاری
پوشدار و همکاران (۲۰۱۸)	زمانی، هزینه‌ای	بافر	عدم قطعیت	پروژه‌های ساختمانی	تخصیص بافر احتمالی چندهدفه مبتنی بر بهینه‌سازی جستجوی هدف

چانگ و کو (۲۰۱۸)	هزینه‌ای	افزونگی	عدم قطعیت	–	ارائه مدلی مبتنی بر شبیه‌سازی– بهینه‌سازی، جهت حل مسأله پایایی با تخصیص افزونگی
هنگ، هانگ و لین (۲۰۲۰)	زمانی، هزینه‌ای	–	عدم قطعیت	پروژه ساخت خطوط تولید جدید	تجزیه شبکه پروژه چند مرحله‌ای
شی، چن و هال (۲۰۲۰)	زمانی	بافر	عدم قطعیت	پروژه فرضی	تجزیه شبکه
فاروقی، پاینده، عبدی (۱۳۹۸)	زمانی، هزینه‌ای	فشرده‌سازی چندگانه	قطعیت	مسأله نمونه	مدل‌سازی ریاضی و حل با الگوریتم‌های فرا ابتکاری
امیری، تقوی‌فرد، عظیمی و آقایی (۱۳۹۸)	زمانی، هزینه‌ای	بافر، افزونگی	قطعیت	سیستم تولیدی فرضی	رویکرد ترکیبی شبیه‌سازی، طراحی آزمایشها و شبکه عصبی
پژوهش پیش رو	زمانی، هزینه‌ای	بافر، افزونگی	عدم قطعیت	پروژه واقعی صنعت نفت و گاز	مدل‌سازی ریاضی – شبیه‌سازی

روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش، پس از مرور گسترده ادبیات موضوع، ابتدا مدل بهبود پایایی در پروژه‌ها با هدف بهینه‌سازی همزمان هزینه و زمان اجرای پروژه در شرایط عدم قطعیت هزینه و زمان، به‌همراه محدودیت‌های مرتبط با بافر و افزونگی ارائه گردیده است. همچنین اجرای این مدل در یک پروژه نمونه از صنعت نفت و گاز (پروژه ایستگاه تزریق گاز شوریجه مشهد) مورد بررسی قرار گرفته است. گام‌های اجرایی جهت پیاده‌سازی مدل در پروژه مورد مطالعه به شرح زیر می‌باشد:

گام ۱. مشخص نمودن اهداف زمانی و هزینه‌ای پروژه

گام ۲. جمع‌آوری داده‌های مربوط به توزیع احتمالی هزینه و زمان فعالیت‌ها: از آن‌جا که پروژه در شرایط عدم قطعیت مد نظر پژوهش حاضر بوده است، داده‌های مرتبط با هزینه و زمان فعالیت‌های پروژه، غیرقطعی بوده و بر اساس داده‌های تاریخی و قضاوت خبرگان بدست می‌آیند.

گام ۳. حل مدل ارائه‌شده پژوهش در نرم‌افزار برای پروژه مورد مطالعه جهت دستیابی به جواب بهینه

گام ۴. سنجش روایی روش ارائه شده: برای این منظور، پایایی پروژه از بعد زمانی و هزینه‌ای، در هر دو حالت، یعنی پیش از اجرای مدل و پس از اجرای مدل، با انجام شبیه‌سازی محاسبه می‌گردد و بهبود آن مورد سنجش واقع می‌شود.

جهت مدل نمودن عدم قطعیت، زمان و هزینه فعالیت‌های پروژه به صورت توزیع‌های احتمالی در نظر گرفته می‌شود. نوع توزیع و میزان متغیرهای آن از روش استفاده از داده‌های تاریخی و سوابق گذشته فعالیت‌ها قابل دستیابی است. منابع موجود جهت گردآوری داده‌های مذکور شامل تجارب قبلی شرکت‌های مجری در هر یک از فعالیت‌های پروژه می‌باشد.

قلمرو مکانی پژوهش، کلیه پروژه‌ها در کلیه حوزه‌ها اعم از نفت و گاز، ساختمانی، صنعتی، فناوری اطلاعات، خدماتی، پژوهشی و ... می‌باشد. واحد تحلیل، پروژه ایستگاه تزریق گاز شوریجه مشهد تحت شرایط عدم قطعیت هزینه و زمان است که مدل ارائه شده در تحقیق، در این پروژه پیاده‌سازی می‌گردد. روش تحلیل در این پژوهش مدل‌سازی

ریاضی می‌باشد. ابزار عمده گرد آوری داده‌ها در این تحقیق از طریق مستندات پروژه و داده‌های واقعی پروژه می باشد و در کنار آن از ابزار های مصاحبه و مشاهده نیز جهت تکمیل گردآوری داده‌ها و صحه گذاری بر مستندات استفاده گردیده است.

یافته‌های پژوهش

متغیرها و پارامترهای مدل به شرح زیر گردآوری شده است.

اندیس‌ها

i,j فعالیت‌های پروژه

r منابع پروژه

پارامترها

M_i جریمه هر واحد انحراف زمان فعالیت i ام از زمان نرمال

f_i زودترین زمان لازم برای انجام فعالیت i ام

pd_i مدت زمان پیش‌بینی‌شده فعالیت i ام

pfc_i هزینه ثابت فعالیت i ام

pdc_i هزینه روزانه فعالیت i ام

n تعداد فعالیت ها

TD مدت زمان هدف‌گذاری‌شده پروژه

M' جریمه هر واحد انحراف زمان اتمام پروژه از زمان در نظر گرفته شده برای اتمام پروژه

C_r ظرفیت افزونگی منبع r

pc'_i میزان افزایش هزینه پیش‌بینی‌شده فعالیت i ام پس از تخصیص افزونگی

pd'_i میزان کاهش مدت زمان پیش‌بینی‌شده فعالیت i ام پس از تخصیص افزونگی

z_{ri} میزان افزایش هزینه به‌ازای هر یک واحد منبع افزونه r برای فعالیت i ام

u_{ri} میزان کاهش زمان به‌ازای هر یک واحد منبع افزونه r برای فعالیت i ام

متغیرها

x_i زمان واقعی مورد نیاز برای انجام فعالیت i ام

b_i زمان بافر برای انجام فعالیت i ام

sf_i زودترین زمان واقعی پایان فعالیت i ام

PB زمان بافر کل پروژه

SD زمان واقعی مورد انتظار اتمام پروژه

R_{ri} میزان منبع افزونه r تخصیص‌یافته به فعالیت i

pf_i زودترین زمان پیش‌بینی‌شده پایان فعالیت i ام

شرایط تحریم

با توجه به اینکه مسأله تحریم، دارای تأثیرات اجتناب ناپذیری در صنایع و پروژه‌های حوزه‌های مختلف، و به طور ویژه در حوزه نفت و گاز می‌باشد، در مدل ارائه‌شده بنا بر آن گذاشته شده که تغییراتی در محدودیت‌های مدل بر اساس شرایط تحریم جهت واقعی‌تر شدن فضای پروژه در مسأله لحاظ گردد. جهت لحاظ شرایط تحریم در مدل ارائه‌شده، با فرض اینکه پروژه مورد مطالعه در شرایط تحریم قرار است اجرا گردد، سه حالت را برای امکان‌پذیری تأثیر تحریم بر فعالیت‌های پروژه متصور شده‌ایم:

حالت نخست: تأثیرپذیری کم (حالت خوش‌بینانه) که شامل برداشته‌شدن تحریم‌ها به صورت بخشی یا کلی و یا کمتر شدن شدت آن است.

حالت دوم: تأثیرپذیری شدید (حالت بدبینانه) که شامل شدیدتر شدن تحریم‌ها در زمان اجرای پروژه خواهد بود.

حالت سوم: تأثیرپذیری متوسط (حالت محتمل) که عبارت خواهد بود از ادامه شرایط فعلی تحریم با شدتی مشابه.

همچنین میزان امکان‌پذیری هر یک از حالات مذکور، با توجه به اینکه مقدار دقیقی را نمی‌توان برای آن در نظر گرفت، در این پژوهش با قضاوت خبرگان تعیین گردیده است. گام بعدی ارائه تابع هدف و محدودیت‌های جدید با لحاظ شرایط تحریم می‌باشد. برای این منظور، نمادهای زیر جهت استفاده در محدودیت‌ها و تابع هدف مدل ارائه‌شده، معرفی می‌گردند.

$pd(opt)_i$	مدت زمان پیش‌بینی‌شده فعالیت i ام با امکان تأثیرپذیری خوش‌بینانه از شرایط تحریم
$pd(pess)_i$	مدت زمان پیش‌بینی‌شده فعالیت i ام با امکان تأثیرپذیری بدبینانه از شرایط تحریم
$pd(ml)_i$	مدت زمان پیش‌بینی‌شده فعالیت i ام با امکان تأثیرپذیری محتمل از شرایط تحریم
$pdc(opt)_i$	هزینه روزانه پیش‌بینی‌شده فعالیت i ام با امکان تأثیرپذیری خوش‌بینانه از شرایط تحریم
$pdc(pess)_i$	هزینه روزانه پیش‌بینی‌شده فعالیت i ام با امکان تأثیرپذیری بدبینانه از شرایط تحریم
$pdc(ml)_i$	هزینه روزانه پیش‌بینی‌شده فعالیت i ام با امکان تأثیرپذیری محتمل از شرایط تحریم
$p_s(opt)_i$	امکان تأثیرپذیری خوش‌بینانه از شرایط تحریم
$p_s(pess)_i$	امکان تأثیرپذیری بدبینانه از شرایط تحریم
$p_s(ml)_i$	امکان تأثیرپذیری محتمل از شرایط تحریم

بر اساس پارامترها و متغیرهای تعریف‌شده، مدل تخصیص بافر و افزونگی جهت بهبود پایایی پروژه به صورت زیر خواهد بود:

تابع هدف مدل

$$\min z = M_i(b_i) + M1(SD - TD) + \sum_{\mathrm{i}} (p_s(opt)_i * (pdc(opt)_i * (x_i + b_i)) + (p_s(ml)_i * (pdc(ml)_i * (x_i + b_i)) + (p_s(pess)_i * (pdc(pess)_i * (x_i + b_i)) + pc_i')))$$

محدودیت‌های مدل

محدودیت ۱ و ۲: بیانگر این است که زودترین زمان اتمام واقعی هر فعالیت، از مجموع زمان اتمام فعالیت پیش‌نیاز و زمان واقعی اعلامی به تیم پروژه نبایست کمتر باشد:

1) $sf_i \geq x_i$ $\forall i \in NP$

2) $sf_j \geq sf_i + x_j$ $\forall (i,j) \in P$

محدودیت ۳ و ٤: زمان پایان پیش‌بینی شده هر فعالیت، از مجموع زمان پایان پیش‌بینی شده فعالیت پیش‌نیاز و مدت زمان انجام پیش‌بینی شده آن فعالیت، با کسر میزان کاهش زمان پس از تخصیص افزونگی، نبایست کمتر باشد:

3) $pf_i \geq ((p_s(opt)_i * pd(opt)_i) + (p_s(ml)_i * pd(ml)_i) + (p_s(pess)_i * pd(pess)_i) - pd_i'$ $\forall i \in NP$

4) $pf_j \geq pf_i + ((p_s(opt)_i * pd(opt)_i) + (p_s(ml)_i * pd(ml)_i) + (p_s(pess)_i * pd(pess)_i) - pd_i'$ $\forall (i,j) \in P$

محدودیت ۵ و ٦: مدت زمان واقعی اعلامی به تیم پروژه جهت انجام هر فعالیت، از زمان بدبینانه آن فعالیت بیشتر و از زمان پیش‌بینی شده آن فعالیت با کسر میزان کاهش زمان پس از تخصیص افزونگی، کمتر خواهد بود:

5) $x_i \geq f_i$ $\forall i \in I$

6) $x_i \leq ((1 - ps_i) * pd_i + ps_i * pds_i) - pd_i'$ $\forall i \in I$

محدودیت ۷: زودترین زمان پایان فعالیت n ام، از مدت زمان واقعی مورد انتظار پروژه کمتر خواهد بود:

7) $sf_n \leq SD$

محدودیت ۸: بافر هر فعالیت، حاصل تفاضل مدت زمان پیش‌بینی شده آن فعالیت، با کسر میزان کاهش زمان پس از تخصیص افزونگی، و مدت زمان واقعی اعلامی به تیم پروژه می‌باشد. در واقع فاصله زمانی میان زمان اعلامی به تیم پروژه تا زمان پیش‌بینی شده، با کسر میزان کاهش زمان پس از تخصیص افزونگی، بافر هر فعالیت خواهد بود:

8) $((p_s(opt)_i * pd(opt)_i) + (p_s(ml)_i * pd(ml)_i) + (p_s(pess)_i * pd(pess)_i) - pd_i' - x_i = b_i$ $\forall i$

محدودیت ۹: بافر پروژه، حاصل تفاضل پایان پیش‌بینی شده فعالیت n ام و مدت زمان واقعی مورد انتظار پروژه می‌باشد:

9) $PB = pf_n - SD$

محدودیت ۱۰: مدت زمان واقعی مورد انتظار پروژه از مدت زمان هدف‌گذاری شده پروژه کمتر خواهد بود:

10) SD

محدودیت ۱۱: میزان کاهش زمان پس از تخصیص افزونگی برای هر فعالیت، عبارت است از حاصلضرب تعداد منبع افزونه r تخصیص‌یافته به آن فعالیت در میزان کاهش زمان به‌ازای هر یک واحد منبع افزونه r :

11) $pd_i' = \sum_r R_{ri} \times u_{ri}$ $\forall r$ $\forall i$

محدودیت ۱۲: میزان افزایش هزینه پس از تخصیص افزونگی برای هر فعالیت، عبارت است از حاصلضرب تعداد منبع افزونه r تخصیص‌یافته به آن فعالیت در میزان افزایش هزینه به‌ازای هر یک واحد منبع افزونه r :

$$12)\ pc_i' = \sum_r R_{ri} \times z_{ri} \qquad \forall r \quad \forall i$$

محدودیت ۱۳: مجموع تعداد منبع افزونه تخصیص‌یافته به فعالیت‌ها، از ظرفیت افزونگی آن منبع نبایست تجاوز نماید:

$$13)\ \sum_r R_{ri} \le C_r \qquad \forall r \quad \forall i$$

محدودیت ١٤: میزان کاهش زمان پس از تخصیص افزونگی برای هر فعالیت، نباید از پیش‌بینی مدت زمان آن فعالیت تجاوز نماید:

$$14)\ ((p_s(opt)_i * pd(opt)_i) + (p_s(ml)_i * pd(ml)_i) + (p_s(pess)_i * pd(pess)_i) \ge pd_i' \quad \forall i \in I$$

محدودیت ۱۵: هزینه پروژه پس از تخصیص منبع افزونه و بافر، نباید از هزینه اولیه پروژه تجاوز نماید.

$$15)\sum_i (p_s(opt)_i * (pdc(opt)_i * (x_i + b_i)) + (p_s(ml)_i * (pdc(ml)_i * (x_i + b_i) + pfc(ml)_i)) + (p_s(pess)_i * (pdc(pess)_i * (x_i + b_i)) + pc_i' \le \sum_i (p_s(opt)_i * (pdc(opt)_i * (pd(opt)_i)) + (p_s(pess)_i * (pdc(pess)_i * (pd(pess)_i) \quad \forall i \in I$$

مفروضات مدل

روابط پیش‌نیازی در فعالیت‌های پروژه از نوع Finish to Start است.

نرخ افزایش هزینه و کاهش زمان در صورت تخصیص منبع افزونه، به صورت خطی است.

اجرای مدل

پس از ارائه مدل ریاضی تخصیص بافر و افزونگی جهت بهبود پایایی پروژه‌ها، به کاربرد این مدل در یک پروژه واقعی از صنعت نفت و گاز پرداخته شده است. پروژه احداث یک ایستگاه ذخیره‌سازی گاز در شوریجه مشهد، شامل فعالیت‌های تأمین تجهیزات و عملیات اجرایی مندرج در جدول شماره ۳ به‌عنوان مورد مطالعه در این پژوهش انتخاب گردیده است. در ابتدا فهرست فعالیت‌ها و روابط پیش‌نیازی و منابع پروژه به همراه زمان و هزینه هدف برای پروژه نمونه تهیه گردیده است. در مرحله بعد، به جمع‌آوری داده‌های مربوط به توزیع احتمالی هزینه و زمان فعالیت‌ها پرداخته شده است. بر اساس این داده‌ها، توزیع احتمال هزینه و زمان فعالیت‌ها مشخص گردیده و مدل ارائه‌شده پژوهش برای این پروژه حل گردیده و پس از حصول جواب بهینه، پایایی جدید پروژه پیش و پس از اجرای مدل، با شبیه‌سازی محاسبه گشته و بهبود آن مورد سنجش واقع شده است.

در جدول ۴، حداکثر ظرفیت منابع پروژه جهت تخصیص افزونگی و قراردادن در محدودیت شماره ۱۳، آورده شده است. جنس منابع از نوع نیروی انسانی، ماشین آلات و تجهیزات می‌باشد. نحوه تخصیص منابع به فعالیت‌های پروژه به همراه مقادیر پارامترهای z و u در جدول شماره ۵ نمایش داده شده است.

از آن‌جا که پروژه در شرایط عدم قطعیت مد نظر پژوهش حاضر بوده است، داده‌های مرتبط با هزینه و زمان فعالیت‌های پروژه، غیرقطعی بوده و بر اساس داده‌های تاریخی و قضاوت خبرگان بدست آمده است. بر اساس مقاله وود (David A. Wood, 2017) برای آن دسته از عدم قطعیت‌ها که تخصیص توزیع احتمال به آن‌ها یا تخمین گستره آن‌ها با سطوح اطمینان معنی‌دار، مشکل است، از روش‌های فازی استفاده می‌شود و هر چقدر صحت تخمین‌های زمان، هزینه و کار در طول برنامه‌ریزی تفصیلی و مراحل اجرا، بهبود یابد، عدم قطعیت‌هایی که توسط توزیع‌های احتمال تصادفی معنی‌دار تر خواهند بود، بیشتر می‌شود. لذا در این پژوهش برای زمان و هزینه فعالیت‌ها (pdc_i ،pfc_i ،pd_i)، با توجه به داشتن داده‌های تاریخی کافی در پروژه‌های مشابه، از توزیع احتمال مثلثی استفاده شده است، اما برای میزان احتمال ورود به شرایط تحریم (ps_i) میزان افزایش هزینه به‌ازای هر یک واحد منبع افزونه (z_{ri}) و میزان کاهش زمان به ازای هر یک واحد منبع افزونه (u_{ri}) به دلیل نبود تخمین دقیق و داده تاریخی قابل اتکا، به قضاوت خبرگان پروژه مراجعه گردید و لذا از روش فازی مثلثی برای مقادیر این داده استفاده گردید که مقدار فازی زدایی شده آن در جداول ۵ و ۷ قابل مشاهده است. همچنین برای فازی زدایی نظرات خبرگان از فرمول زیر استفاده گردیده است:

$$x = \frac{L + 4M + U}{6}$$

x : مقدار فازی زدایی‌شده

L : کمترین میزان متغیر بر اساس قضاوت خبرگان

M : محتمل‌ترین میزان متغیر بر اساس قضاوت خبرگان

U : بیشترین میزان متغیر بر اساس قضاوت خبرگان

زمان و هزینه هدف

بر اساس اقتضائات پروژه و نیاز کافرما و شرایط مجری پروژه، زمان و هزینه هدف‌گذاری شده برای اتمام این پروژه به شرح زیر تعیین گردیده است:

زمان هدف:

TD = 1800

هزینه هدف:

TC = 5,000,000

همان گونه که در تابع هدف و متغیرهای مدل مشخص است، داشتن زمان هدف (TD) جهت اجرای مدل ضروری است، اما از هزینه هدف، در زمان روایی‌سنجی استفاده خواهد شد.

جدول ۳: نام فعالیت‌ها و روابط پیش‌نیازی پروژه

شماره فعالیت	عنوان فعالیت	شماره فعالیت پیش‌نیاز	شماره فعالیت	عنوان فعالیت	شماره فعالیت پیش‌نیاز
۱	MECHANICAL Procurement	-	۳۹	CABLING & WIRING	۵, ۱۹
۲	SAFETY&FIRE FIGHTING Procurement	-	۴۰	CCTV SYSTEM	۳۹
۳	HVAC Procurement	-	۴۱	RADIO SYSTEM	۴۰
۴	PIPING Procurement	-	۴۲	MV & LV Switchgear	۴۱
۵	ELECTRICAL & TELECOMMUNICATION Procurement	-	۴۳	UPS SYSTEM	۴۲

۴۳	NEUTRAL GROUNDING RESISTOR	۴۴	-	INSTRUMENT Procurement	۶
۴۴	JUNCTION BOX	۴۵	۴	Above Ground Piping	۷
۴۵	SMALL POWER LIGHTING	۴۶	۷	Pipe Supports	۸
۴۶	EARTHING SYSTEM	۴۷	۷	Sandblast & Painting	۹
۴۷	Capacitor Bank	۴۸	۹, ۸	Insite U/G	۱۰
۶, ۴۶	INSTRUMENT PREPARATION	۴۹	۱۰	Pipeline	۱۱
۴۹	ANALYZERS	۵۰	۱, ۸, ۹, ۱۱	SC-401/501/601	۱۲
۴۹	METERING SYSTEM	۵۱	۱۲	LP Flare K. O. Drum(D-801)	۱۳
۴۹	PRESSURE GAUGE	۵۲	۱۳	HP Flare K. O. Drum(D-802)	۱۴
۴۹	PRESSURE CONTROL VALVE	۵۳	۱۴	DIESEL STORAGE TANK(D-650)	۱۵
۴۹	INSTRUMENT JUNCTION BOX	۵۴	۱۵	Waste Water Degasser(SP-600)	۱۶
۴۹	Instrument Cable	۵۵	۱۶	Condensate Stabilizer(TW-400)	۱۷
۴۹	PIPE AND PIPE FITTING	۵۶	۱۷	Raw water Tank(TK-700)	۱۸
۲, ۵۶, ۵۵, ۵۴, ۵۳, ۵۲, ۵۱, ۵۰	FIRE WATER EQ.	۵۷	۱۸	Hot Regen Gas Filter(F-202)	۱۹
۲, ۵۶, ۵۵, ۵۴, ۵۳, ۵۲, ۵۱, ۵۰	MONITOR	۵۸	۱۹	Regen Gas Heat Exchanger(E-200)	۲۰
۲, ۵۶, ۵۵, ۵۴, ۵۳, ۵۲, ۵۱, ۵۰	PORTABLE DRY POWDER EXTINGUSHERS	۵۹	۲۰	Regen Gas Heat Exchanger(E-300)	۲۱
۲, ۵۶, ۵۵, ۵۴, ۵۳, ۵۲, ۵۱, ۵۰	SAFETY EQUIPMENT	۶۰	۲۱	Regen Gas Heater(H-200)	۲۲
۶۰, ۵۹, ۵۸, ۵۷	Installation Safety Equipment	۶۱	۲۲	Regen Gas Heater(H-300)	۲۳
۷،۸،۹،۱۰،۱۱،۱۲،۱۳،۱۴،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹،۲۰،۲۱،۲۲،۲۳،۲۴،۲۵،۲۶،۲۷،۲۸،۲۹،۳۰،۳۱،۳۲، ۳۳،۳۴،۳۵،۳۶،۳۷،۳۸،۳۹،۴۰،۴۱،۴۲، ۴۳،۴۴،۴۵،۴۶،۴۷،۴۸،۴۹،۵۰،۵۱،۵۲، ۵۳،۵۴،۵۵،۵۶،۵۷،۵۸،۵۹،۶۰	INSPECTION & TEST	۶۲	۲۳	Inlet Gas Cooler(AC-200)	۲۴
			۲۴	Regen Recycle Gas Cooler(AC-201)	۲۵
۶۲	PRIMINARY OPERATION	۶۳	۲۵	Disassembling & Assembling Compressor Unit 10	۲۶
۶۳	ELECTRICAL	۶۴	۲۶	Regen Gas Recycle Compressor(C-200 A/B)	۲۷
۶۳	HVAC	۶۵	۲۷	Regen Gas Recycle Compressor(C-300 A/B)	۲۸
۶۳	INSTRUMENT & CONTROL SYSTEM	۶۶	۲۸	Condensate Loading Pumps(P-401 A/B)	۲۹
۶۳	MECHANICAL-FIX	۶۷	۲۹	Firefighting Pump(P-700 A/B/C)	۳۰
۶۳	MECHANICAL-ROTARY	۶۸	۳۰	Potable Water Filling Pumps(P-705)	۳۱
۶۳	PIPING	۶۹	۳۱	GTG	۳۲
۶۳	SAFETY & FIRE FIGHTING	۷۰	۳, ۳۲	HVAC SYSTEM	۳۳

۳۴	Dehydration Package	۳۳	۷۱	MACHINERY DISCHARG	۷۰, ۶۹, ۶۸, ۶۷, ۶۶, ۶۵, ۶۴
۳۵	Hot Oil Package	۳۴	۷۲	CAMP DISCHARGE	۷۰, ۶۹, ۶۸, ۶۷, ۶۶, ۶۵, ۶۴
۳۶	Instrument Air Package(PK-500)	۳۵	۷۳	SITE CLEANING	۷۰, ۶۹, ۶۸, ۶۷, ۶۶, ۶۵, ۶۴
۳۷	Open Drain System Package	۳۶	۷۴	Finish Project	۶۱,۷۳,۷۲,۷۱
۳۸	Crane	۳۷			

جدول ۴: ظرفیت افزونگی منابع

شماره منبع	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11
بیشینه ظرفیت(C_r)	۱۰ واحد	۸ واحد	۱۱ واحد	۶ واحد	۱۶ واحد	۴ واحد	۵ واحد	۹ واحد	۲۰ واحد	۱۰ واحد	۱۰ واحد

جدول ۵: نحوه تخصیص منابع و مقادیر متغیرهای z و u

شماره فعالیت	منبع افزونه	z_{ri}	u_{ri}	شماره فعالیت	منبع افزونه	z_{ri}	u_{ri}
۱	-	-	-	۳۸	R10,R11	۱۴۸۷, ۱۴۷۰	۳, ۲
۲	-	-	-	۳۹	R9	۲۱۶۵	۴
۳	-	-	-	۴۰	R8	۱۶۷۵	۲
۴	-	-	-	۴۱	R4	۱۶۸۳	۵
۵	-	-	-	۴۲	R2	۱۳۳۶	۳
۶	-	-	-	۴۳	R7	۲۰۷۵	۲
۷	R1	۱۷۲۸	۴	۴۴	R5	۱۰۰۱	۶
۸	R2	۱۰۲۹	۶	۴۵	R6	۱۶۰۹	۱
۹	R3	۲۱۱۳	۳	۴۶	R1, R8, R9	, ۱۲۳۷, ۱۱۳۴ ۱۴۹۴	۱, ۱, ۱
۱۰	R4	۲۴۶۲	۴	۴۷	R1, R3, R6	, ۱۴۸۷, ۱۵۶۱ ۱۲۱۷	۱, ۳, ۲
۱۱	R5	۱۶۰۸	۳	۴۸	R1, R3, R5, R11	, ۱۳۲۲, ۱۶۲۲ ۱۱۸۲, ۱۱۲۳	۵, ۶, ۶, ۱
۱۲	R2	۱۹۱۶	۱	۴۹	R8, R9, R11	, ۱۶۷۳, ۱۵۹۸ ۲۴۱۶	۲, ۳, ۵
۱۳	R3	۲۰۷۷	۲	۵۰	R5, R9	۱۶۹۴, ۱۸۳۳	۲, ۲
۱۴	R4	۱۵۹۵	۲	۵۱	R5	۱۹۲۷	۵
۱۵	R5	۱۱۰۵	۴	۵۲	R8	۱۲۱۷	۵
۱۶	R6	۱۵۱۱	۱	۵۳	R11	۲۲۵۵	۲
۱۷	R7	۱۸۹۱	۳	۵۴	R1	۱۷۲۱	۳
۱۸	R9	۱۹۰۸	۵	۵۵	R3	۲۱۱۱	۲
۱۹	R8	۱۳۲۶	۲	۵۶	R5	۲۳۳۰	۴
۲۰	R10	۲۰۰۶	۲	۵۷	R6	۲۱۳۱	۵
۲۱	R11	۲۰۱۷	۱	۵۸	R7	۲۴۲۶	۴
۲۲	R7	۲۳۲۳	۳	۵۹	R10	۲۱۸۶	۱
۲۳	R1	۱۰۵۷	۶	۶۰	R8, R7, R6, R11, R5, R1, R9	, ۱۰۵۲, ۱۸۷۲ , ۱۲۸۸, ۱۹۸۳ , ۲۳۵۱, ۲۴۹۵ ۱۳۸۳	, ۴, ۲, ۵, ۳, ۵ ۳, ۵

۲۴	R2	۲۴۵۰	۶	۶۱	R1,R4,R5	۱۲۱۳, ۲۳۴۹ , ۱۹۲۵	۲, ۶, ۱
۲۵	R3	۱۶۸۶	۶	۶۲	R1	۲۳۱۲	۳
۲۶	R1, R2	۱۲۱۲, ۱۴۷۳	۵, ۲	۶۳	R2	۱۴۰۳	۴
۲۷	R2, R3	۲۳۱۸, ۱۰۷۴	۴, ۴	۶۴	R8	۱۱۹۴	۲
۲۸	R3, R11	۲۰۶۰, ۱۲۵۶	۴, ۴	۶۵	R5	۱۴۶۷	۵
۲۹	R4, R6, R7	۱۱۵۴, ۱۱۱۲ , ۱۴۴۵	۳, ۳, ۳	۶۶	R4	۱۵۰۱	۲
۳۰	R8, R5, R6, R9	۲۴۸۰, ۲۲۳۳ , ۱۹۰۴, ۱۲۱۹	۴, ۶, ۴, ۱	۶۷	R6	۱۵۰۳	۱
۳۱	R10,R11, R9,R5,R3 ,R2	۱۱۷۴, ۲۰۸۲ , ۲۱۳۷, ۲۳۵۰ , ۲۲۱۴, ۱۸۵۴	۴, ۴, ۳, ۴, ۵, ۴	۶۸	R10	۱۱۲۳	۲
۳۲	R1,R2	۱۴۵۹, ۱۴۲۴	۲, ۱	۶۹	R11	۱۵۳۷	۳
۳۳	R10,R6	۱۰۳۹, ۱۵۴۷	۱, ۲	۷۰	R9	۱۴۳۱	۶
۳۴	R5,R10	۲۱۵۳, ۲۲۴۹	۴, ۲	۷۱	R8	۱۵۰۸	۳
۳۵	R2,R3,R8	۱۶۵۰, ۱۵۲۴ , ۱۱۶۵	۲, ۳, ۲	۷۲	R2,R9,R8	۱۶۱۱, ۲۲۴۷ , ۱۳۳۶	۴, ۳, ۶
۳۶	R8,R9,R1 0,R2	۱۸۳۶, ۱۷۳۲ , ۱۱۷۶, ۱۸۱۳	۵, ۲, ۲, ۲	۷۳	R2,R9	۱۲۴۲, ۱۷۷۳	۴, ۲
۳۷	R10	۱۲۰۷	۴	۷۴	-	-	-

برای پیاده‌سازی شرایط تحریم در پروژه حاضر، به جمع‌آوری داده‌های احتمالی زمان و هزینه در مورد فعالیت‌هایی پرداخته شده که از شرایط تحریم تأثیر می‌پذیرند. با توجه به ماهیت پروژه‌های نفت و گازی و پروژه مورد مطالعه این پژوهش، فعالیت‌های حوزه ساخت و اجرا از آن جهت که توسط نیروی انسانی داخلی انجام می‌گردد، عمدتاً از شرایط تحریم کمتر تأثیر می‌پذیرد، اما عمده تأثیر تحریم‌ها در این پروژه‌ها، روی فعالیت‌های حوزه تأمین و تدارکات می‌باشد که شرایط تحریم، بر به درازا کشیدن زمان و افزایش هزینه این فعالیت‌ها تأثیرگذار خواهد بود. لذا برای فعالیت‌های این بخش که شامل شش فعالیت نخست جدول ۴ می‌باشد، احتمال ورود به شرایط تحریم و توزیع احتمال زمان و هزینه در شرایط تحریم با استفاده از نظرات خبرگان و سوابق قبلی پروژه‌های مشابه استخراج گردیده و در جدول ۸ نمایش داده شده است.

جدول ۶: مقادیر توزیع احتمال زمان و هزینه روزانه و ثابت فعالیت‌های پروژه

شماره فعالیت	pd_i	pdc_i	pfc_i	شماره فعالیت	pd_i	pdc_i	pfc_i
۱	۶۵،۱۰۵،۱۷۶	۷۵۵،۱۲۲۳،۲۰۳۸	۲۰۶۱۰۱،۳۳۳۸۸۴،۵۵۶۴۷۴	۳۸	۱۳،۲۵،۴۰	۰،۰،۰	۰،۰،۰
۲	۵۷،۸۹،۱۵۳	۱۸۰،۲۸۴،۴۸۶	۳۵۷۰۶،۵۶۲۳۷،۹۶۴۰۶	۳۹	۶۷،۱۰۸،۱۸۰	۱۰۵،۱۷۰،۲۸۳	۲۹۳۲۷،۴۷۵۱۰،۷۹۱۸۳
۳	۳۰،۴۱،۷۷	۴۹۱،۶۸۸،۱۲۷۸	۶۷۶۵۶،۹۴۷۱۸،۱۷۵۹۰۶	۴۰	۵،۸،۱۲	۱۸،۲۷،۳۹	۴۱۷،۶۳۳،۹۱۰
۴	۵۵،۱۱۰،۱۷۶	۱۰۲۱،۲۰۴۲،۳۲۶۷	۲۰۹۶۴۱،۴۱۹۲۸۳،۶۷۰۸۵۲	۴۱	۷،۱۱،۱۸	۲۳،۳۶،۶۱	۵۲۸،۸۳۱،۱۴۲۵

۵	۶۲،۶۴۰،۱۳۶	۵۳۶،۸۱۴،۱۱۷۰	۴۲	۱۴۷۴۶۱،۲۲۴۱۴۰،۳۲۲۰۱	۶۳،۹۶۰،۱۳۸	۱۲،۱۸،۲۶	۳۳۳۴،۵۰۶۷،۷۲۸۴
۶	۵۹،۸۳۰،۱۵۳	۱۰۷۹،۱۶۴۰،۲۳۵۷	۴۳	۳۵۲۶۸۵،۷۰۵۳۷۱،۱۱۲۸۵۹۳	۲۸،۴۵،۷۵	۷۲،۱۱۶،۱۹۳	۸۳۵۸،۱۳۵۴۰،۲۲۵۶۷
۷	۱۱۹،۱۹۴،۳۲۳	۱۶۶،۲۶۸،۴۴۷	۴۴	۸۳۱۴۲،۱۳۴۶۹۰،۲۲۴۴۸۳	۲۱،۳۲،۴۶	۱۸،۲۷،۳۹	۱۶۶۷،۲۵۳۴،۳۶۴۳
۸	۱۴۰،۲۲۱،۳۷۸	۳۴،۵۳،۹۲	۴۵	۱۶۶۲۸،۲۶۱۹۰،۴۴۸۹۶	۱۳،۲۵،۴۰	۶۴،۱۲۷،۲۰۴	۲۹۷۰،۵۹۴۰،۹۵۰۳
۹	۱۰۸،۱۵۱،۲۸۰	۲۵،۳۵،۶۵	۴۶	۱۲۴۷۱،۱۷۴۶۰،۳۲۴۲۵	۳۳،۵۴،۹۰	۱۳،۲۰،۳۴	۱۷۶۰،۲۸۵۱،۴۷۵۱
۱۰	۷۵،۱۰۵،۱۹۵	۶۷،۹۴۰،۱۷۵	۴۷	۲۳۵۱۷،۳۲۹۲۴،۶۱۱۴۵	۳۲،۴۸،۶۹	۱۲،۱۸،۲۶	۱۶۶۷،۲۵۳۴،۳۶۴۳
۱۱	۱۲۰،۱۸۹،۳۲۴	۱۷۴،۲۷۴،۴۷۰	۴۸	۷۳۱۶۴،۱۱۵۲۳۴،۱۹۷۵۴۴	۱۷،۲۷،۴۵	۵۰،۸۱،۱۳۶	۳۵۱۹،۵۷۰۱،۹۵۰۱
۱۲	۶۷،۱۰۸،۱۸۰	۱،۱،۲	۴۹	۲۵۶،۴۱۴،۶۹۰	۳۳،۵۳،۹۰	۱۵۱،۲۳۸،۴۰۷	۱۷۵۹۶،۲۷۷۱۴،۴۷۵۱۰
۱۳	۲۸،۴۵،۷۵	۲،۴،۷	۵۰	۲۸۲،۴۵۷،۷۶۲	۱۱،۱۸،۳۰	۲۴،۳۸،۶۴	۱۱۰۰،۱۷۸۲،۲۹۶۹
۱۴	۳۱،۶۳،۱۰۰	۳،۵،۹	۵۱	۳۱۹،۶۳۷،۱۰۱۹	۱۱،۱۶،۲۳	۱۸،۲۷،۳۹	۸۳۳،۱۲۶۷،۱۸۲۱
۱۵	۳۳،۵۳،۹۰	۳،۵،۸	۵۲	۳۳۹،۵۳۴،۹۱۵	۲۶،۴۰،۵۸	۵۸،۱۲	۶۲۵،۹۵۰،۱۳۶۶
۱۶	۱،۱،۲	۱۳۶،۲۷۲،۴۳۶	۵۳	۲۵۴،۳۵۶،۶۶۱	۲۰،۳۲،۵۴	۱۵،۲۴،۴۱	۱۰۵۶،۱۶۶۳،۲۸۵۰
۱۷	۲۰،۳۲،۵۴	۷۵،۱۱۹،۲۰۴	۵۴	۵۲۷۹،۸۳۱۴،۱۴۲۵۳	۴۰۶۳،۱۰۸	۴۶،۱۰	۵۲۸،۸۳۱،۱۴۲۵
۱۸	۳۹،۶۳،۱۰۵	۱۴،۲۳،۳۸	۵۵	۲۳۱۰،۳۷۴۲،۶۲۳۶	۱۹،۳۸،۶۰	۳۲،۶۴،۱۰۲	۲۲۲۷،۴۴۵۴،۷۱۲۶
۱۹	۲۰،۲۸،۵۲	۷،۱۰،۱۸	۵۶	۶۳۴،۸۸۷،۱۶۴۷	۱۶،۲۴،۳۵	۹،۱۴،۲۰	۶۲۵،۹۵۰،۱۳۶۶
۲۰	۲۲،۳۶،۶۰	۱۶،۲۵،۴۲	۵۷	۱۴۶۷،۲۳۷۶،۳۹۶۰	۱۱،۱۶،۲۳	۰،۰،۰	۰،۰،۰
۲۱	۲۵،۵۰،۸۰	۱۸،۳۵،۵۷	۵۸	۱۶۵۰،۳۳۰۰،۵۲۷۹	۱۳،۲۱،۳۶	۰،۰،۰	۰،۰،۰
۲۲	۱۳،۱۸،۳۳	۲۴،۳۳،۶۲	۵۹	۱۳۸۶،۱۹۴۰،۳۶۰۳	۱۱،۱۶،۲۳	۰،۰،۰	۰،۰،۰
۲۳	۱۷،۲۶،۴۵	۳۲،۵۰،۸۶	۶۰	۱۸۴۸،۲۹۱۰،۴۹۸۸	۱۰،۱۴،۲۶	۰،۰،۰	۰،۰،۰
۲۴	۲۸،۴۵،۷۵	۵،۸،۱۳	۶۱	۵۵۰،۸۹۱،۱۴۵۸	۶۹،۱۳۸،۲۲۰	۹۶،۱۹۳،۳۰۹	۲۴۷۴۵،۴۹۴۸۹،۷۹۱۸۳
۲۵	۲۵،۳۵،۶۵	۴،۶،۱۱	۶۲	۴۹۵،۶۹۳،۱۲۸۷	۵،۷،۱۳	۱۴۱،۱۹۸،۳۶۸	۳۲۹۹،۴۶۱۹،۸۵۷۸
۲۶	۱۸۸،۳۷۵،۶۰۰	۰،۰،۰	۶۳	۰،۰،۰	۵،۷،۱۳	۱۶۲،۲۲۶،۴۲۰	۳۷۷۱،۵۲۷۹،۹۸۰۳
۲۷	۱،۱،۲	۸۱۷،۱۳۲۴،۲۲۰۶	۶۴	۱۹۰۶،۳۰۸۸،۵۱۴۷	۱۶،۲۴،۳۵	۳۲،۴۹،۷۱	۲۲۶۸،۳۴۴۷،۴۹۵۶
۲۸	۱،۱،۲	۹۸۰،۱۵۴۴،۲۶۴۷	۶۵	۲۲۸۷،۳۶۰۲،۶۱۷۵	۲۰،۳۲،۵۴	۴۱،۶۵،۱۱۱	۲۸۷۳،۴۵۲۵،۷۷۵۷
۲۹	۲۲،۳۶،۶۰	۳،۴،۷	۶۶	۲۴۶،۳۹۹،۶۶۵	۱۹،۳۸،۶۰	۳۸،۷۷،۱۲۳	۲۶۹۳،۵۳۸۷،۸۶۱۸
۳۰	۱۳،۲۵،۴۰	۲۱،۴۲،۶۸	۶۷	۹۹۱،۱۹۸۱،۳۱۷۰	۱۶،۲۴،۳۵	۳۲،۴۹،۷۱	۲۲۶۸،۳۴۴۷،۴۹۵۶
۳۱	۲۵،۴۲،۷۲	۸،۱۲،۲۰	۶۸	۷۰۴،۱۱۰۸،۱۹۰۰	۱۷،۲۷،۴۵	۳۴،۵۵،۹۲	۲۳۹۴،۳۸۷۸،۶۴۶۴
۳۲	۱۷،۲۷،۴۵	۸۴،۱۳۶،۲۲۶	۶۹	۵۸۶۵،۹۵۰۲،۱۵۸۳۶	۱۵،۲۱،۳۹	۳۱،۴۳،۸۰	۲۱۵۵،۳۰۱۶،۵۶۰۲
۳۳	۳۵،۴۹،۹۱	۳۲،۴۵،۸۴	۷۰	۵۲۷۹،۷۳۹۰،۱۳۷۲۵	۱۵،۲۱،۳۹	۳۱،۴۳،۸۰	۲۱۵۵،۳۰۱۶،۵۶۰۲
۳۴	۲۱،۳۲،۴۶	۱۲،۱۸،۲۶	۷۱	۱۱۲۵،۱۷۱۰،۲۴۵۸	۶،۱۳،۲۰	۱۲۹،۲۵۹،۴۱۴	۳۰۱۷،۶۰۳۳،۹۶۵۳
۳۵	۳۳،۵۴،۹۰	۱۶،۲۷،۴۴	۷۲	۲۲۹۶،۳۷۲۰،۶۲۰۰	۷،۱۱،۱۸	۱۳۸،۲۱۷،۳۷۲	۳۲۱۸،۵۰۶۸،۸۶۸۸
۳۶	۳۷،۵۶،۸۱	۲،۲،۴	۷۳	۲۶۳،۳۹۹،۵۷۴	۵،۸،۱۲	۵۴،۸۳،۱۱۹	۱۲۷۰،۱۹۳۰،۲۷۷۵
۳۷	۱۷،۲۶،۴۵	۱۰۶،۱۶۶،۲۸۵	۷۴	۶۱۵۹،۹۷۰۱،۱۶۶۲۹	۰	۰	۰

جدول ۷: احتمال ورود و مقادیر احتمالی زمان و هزینه فعالیت‌های تأمین و تدارکات در شرایط تحریم

شماره فعالیت	ps_i	pds_i	$pdcs_i$	$pfcs_i$
۱	٪۲۵	۹۸،۱۵۸،۲۶۳	۱۱۳۲،۱۸۳۵،۳۰۵۸	۳۰۹۱۵۲،۵۰۰۸۲۶،۸۳۴۷۱۱
۲	٪۷۰	۱۰۲،۱۶۱،۲۷۵	۳۲۴،۵۱۰،۸۷۵	۶۴۲۷۱،۱۰۱۲۲۷،۱۷۳۵۳۱

۳	٪۵۰	۳۸،۵۴،۱۰۰	۶۳۹،۸۹۴،۱۶۶۱	۸۷۹۵۳،۱۲۳۱۳۴،۲۲۸۶۷۷
۴	٪۸۰	۱۱۰،۲۲۰،۳۵۲	۲۰۴۲،۴۰۸۴۶۵۳۴	۴۱۹۲۸۳،۸۳۸۵۶۵،۱۳۴۱۷۰۴
۵	٪۳۰	۷۱،۱۰۹،۱۵۶	۶۱۶،۹۳۶،۱۳۴۶	۱۶۹۵۸۰،۲۵۷۷۶۱،۳۷۰۵۳۱
۶	٪۴۰	۷۷،۱۰۷،۱۹۹	۱۲۴۰،۱۸۸۶،۲۷۱۰	۷۰۵۳۷۱،۱۴۱۰۷۴۲،۲۲۵۷۱۸۶

جدول ۸: مقادیر جرایم

فعالیت	جریمه	فعالیت	جریمه	فعالیت	جریمه	فعالیت	جریمه	فعالیت	جریمه	فعالیت	جریمه	فعالیت	جریمه	فعالیت	جریمه
1	1000	11	3000	21	1000	31	3000	41	1000	51	3000	61	1000	71	4000
2	2000	12	4000	22	2000	32	4000	42	2000	52	4000	62	2000	72	1000
3	3000	13	1000	23	3000	33	1000	43	3000	53	1000	63	3000	73	2000
4	4000	14	2000	24	4000	34	2000	44	4000	54	2000	64	4000	74	3000
6	2000	16	4000	26	2000	36	4000	46	2000	56	4000	66	2000		
7	3000	17	1000	27	3000	37	1000	47	3000	57	1000	67	3000		
8	4000	18	2000	28	4000	38	2000	48	4000	58	2000	68	4000		
9	1000	19	3000	29	1000	39	3000	49	1000	59	3000	69	2000		
10	2000	20	4000	30	2000	40	4000	50	2000	60	4000	70	3000		

همچنین میزان جریمه M1، ۵۵۰۰ واحد در نظر گرفته شده است.

نتایج اجرای مدل

پس از حل مدل در نرم‌افزار AMS نسخه ۲۵،۱،۲ منتشرشده در آگست ۲۰۱۸، نتایج به شرح جدول ۸ بدست آمد. مطابق نتایج بدست‌آمده، با تخصیص بافر در فعالیت‌های مندرج در جدول ۸ و به میزان مندرج در این جدول، و همچنین با تخصیص منبع افزونه به فعالیت‌های مشخص‌شده در جدول ۹ و به میزان مندرج در این جدول، زمان و هزینه پروژه بهینه خواهد گردید.

جدول ۸: نمایش پاسخ بهینه مسأله

میزان بهینه تابع هدف
z = 6,791,887.949
میزان بهینه زمان واقعی مورد انتظار انجام فعالیت‌ها (x_i جهت ارائه به تیم پروژه):
I1: 65.000, I2:I3 151.682, I4: 62.282, I5: 55.000, 79.553:
I6:I7 110.475, I8: 152.160, I9: 256.716, I10: 130.279, 75.000:
I11:I12 316.800, I13: 113.456, I14: 28.000, I15: 31.000, 33.206:
I16: 1.400, I17 I18: 20.000, I19: 39.000, I20: 22.054, 35.307:
I21:I22 25.000, I23: 13.000, I24: 22.756, I25: 38.951, 25.000:
I26:I27 247.534, I28: 1.000, I29: 1.422, I30: 22.000, 13.000:
I31:I32 29.396, I33: 29.163, I34: 35.000, I35: 21.000, 33.814:

I37:I36 38.458, I38: 38.458, I39: 17.000, I40: 14.403, 8.125: 125.004,
I45: 23.473 I44: 24.578, I43: 43.845, I42: 80.067, I41: 11.279,
I50: 17.294 I49: 67.974, I48: 30.121, I47: 52.409, I46: 47.764,
I55: 27.205 I54: 61.070, I53: 37.307, I52: 46.141, I51: 17.665,
I60: 19.686 I59: 12.375, I58: 23.475, I57: 17.510, I56: 19.947,
I65: 27.775 I64: 27.775, I63: 8.228, I62: 5.000, I61: 96.535,
I70: 15.000 I69: 15.000, I68: 17.000, I67: 25.688, I66: 24.157,
I73: 5.000 I72: 7.000, I71: 6.000,
میزان بهینه بافر کل پروژه:
$\boldsymbol{PB}$ = 440.778
میزان و مکان بهینه تخصیص بافر (B_i):
I14 44.363 I13 43.464, I10 22.531, I4 124.449, I1 61.722,
I25 5.795 I22 0.051, I21 22.239, I18 4.903, I17 8.067,
I33 7.206 I30 1.919, I29 2.703, I27 0.123, I26 227.261,
I68 14.183 I65 0.750, I62 1.676, I37 1.303, I34 0.319,
I73 1.655 I72 3.293, I71 4.880, I70 7.356, I69 7.758,

بر اساس نتایج اجرای مدل در جدول فوق، ابتدا میزان x_i یا همان زمان قابل ارائه به تیم پروژه جهت اجرای فعالیت‌های مختلف پروژه تعیین گردیده و سپس بافر بهینه کل پروژه و میزان و مکان بهینه تخصیص بافر نیز تعیین گردیده است. بر اساس نتایج دریافتی، میزان بهینه انحراف از زمان و هزینه هدف، در صورت تخصیص بافر به ۲۵ فعالیت با شماره‌های مندرج در جدول ۸، و تخصیص افزونگی به ۲۱ فعالیت مندرج در جدول ۹ و به میزان مندرج در این جدول برای هر منبع، بدست خواهد آمد.

جدول ۹: تخصیص بهینه منابع افزونه به فعالیت‌های پروژه

	I7	I8	I10	I12	I15	I17	I18	I19	I20	I22	I23	I25	I29	I30	I31	I33	I34	I35	I36	I38	I63
R1	۱۰																				
R2		۸																			
R3				۴								۲						۵			
R4			۶																		
R5					۳												۱				
R6													۴								
R7										۲			۳								۱
R8								۷										۱	۱		
R9							۳							۲					۶		
R10									۱							۲	۴				
R11															۱					۵	

سنجش روایی مدل

جهت سنجش روایی مدل باید بررسی شود که آیا اعمال نتایج مدل حاضر منجر به بهبود پایایی زمانی و هزینه‌ای پروژه خواهد شد یا خیر؟ برای این منظور می‌بایست به محاسبه پایایی پیش و پس از اعمال نتایج مدل در پروژه مورد مطالعه

پرداخت. جهت محاسبه پایایی زمانی و هزینه‌ای پروژه از شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Risk@، نسخه 7.6.1، منتشرشده در سال ۲۰۱۸، استفاده شده است. این نرم‌افزار که توسط شرکت امریکایی Palisade توسعه داده شده، ابزاری برای شبیه‌سازی مونت کارلو و تحلیل ریسک می‌باشد. جهت شبیه‌سازی در این نرم‌افزار ابتدا ساختار شکست و فعالیت‌های پروژه مطابق جدول ۳ به‌همراه روابط پیش‌نیازی و زمان‌های هدف اولیه، در نرم افزار Microsoft Project وارد شده و از طریق پیوند موجود میان نرم افزار Risk@ و نرم افزار Microsoft Project، پروژه Import می‌گردد. سپس در محیط Risk@، توزیع احتمال و مقادیر احتمال زمان و هزینه، که در این پژوهش از نوع مثلثی در نظر گرفته شده است، به هریک از فعالیت‌ها تخصیص می‌یابد. فعالیت‌های پروژه برای ۱۰۰ تکرار شبیه‌سازی گردیده و نتایج زمانی و هزینه‌ای آن مورد تحلیل قرار گرفته است.

شکل ۱ و ۲ نمایانگر نتایج شبیه‌سازی جهت محاسبه پایایی اولیه پروژه (پیش از اعمال نتایج مدل بهبود) می‌باشد. در مرحله بعد، داده‌های حاصل از شبیه‌سازی را با مقادیر هدف زمان و هزینه مقایسه نموده و از طریق فرمول ساپوترا و لاتیفیانتی (۲۰۱۵)، میزان پایایی زمانی و هزینه‌ای پروژه محاسبه می‌گردد:

$$Pr=\frac{\sum_{i=1}^{n} A_i}{n}$$

در این رابطه، Pr میزان پایایی، n تعداد دفعات شبیه‌سازی، و Ai یک متغیر صفر و یک می‌باشد که برای دفعاتی که میزان شبیه‌سازی‌شده کمتر از میزان هدف است، یک و در غیر این صورت صفر در نظر گرفته می‌شود. مقادیر بدست آمده برای پایایی زمانی و هزینه‌ای پس از اعمال شبیه‌سازی، به ترتیب ۶۳ و ۴۴ درصد بدست آمده است.

در مرحله بعدی، می‌بایست پایایی پروژه پس از اعمال نتایج حاصل از اجرای مدل مورد سنجش قرار گیرد. برای این منظور، مجدداً پروژه را از نرم افزار Microsoft Project به نرم افزار Risk@، وارد نموده و این بار به جای توزیع احتمال مثلثی برای زمان اجرای فعالیت‌ها، از یک توزیع یکنواخت با کمینه **X** و بیشینه **X+B** استفاده می‌گردد. همچنین مقدار $\boldsymbol{pc'_i}$ نیز به هزینه هر فعالیت افزوده گردیده و شبیه‌سازی مجدداً بر اساس مقادیر جدید صورت می‌گیرد. با انجام ۱۰۰ بار شبیه‌سازی، که نتایج آن در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده، مقادیر پایایی زمانی و هزینه‌ای پروژه پس از اعمال نتایج حاصل از مدل، به ترتیب ۱۰۰ و ۷۲ بدست آمد. لذا نتایج بدست‌آمده بیانگر بهبود به ترتیب ۳۷ و ۲۸ درصدی در پایایی زمانی و هزینه‌ای پروژه است.

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، مدل تخصیص بافر و افزونگی در شرایط عدم قطعیت جهت بهبود پایایی زمانی و هزینه‌ای پروژه ارائه گردید و با حل این مدل در یک نمونه واقعی از پروژه‌های صنعت نفت و گاز ایران و سنجش روایی مدل، روایی آن مورد سنجش قرار گرفت. نتایج بیانگر بهبود قابل توجه در پایایی زمانی و هزینهای پروژه نمونه بود. پاسخ پرسش‌های ۱ و ۲ پژوهش، یعنی ساختار و سازه‌ها و متغیرهای مدل، در بخش ۴ این پژوهش به تفصیل بیان گردید. همچنین در پاسخ به

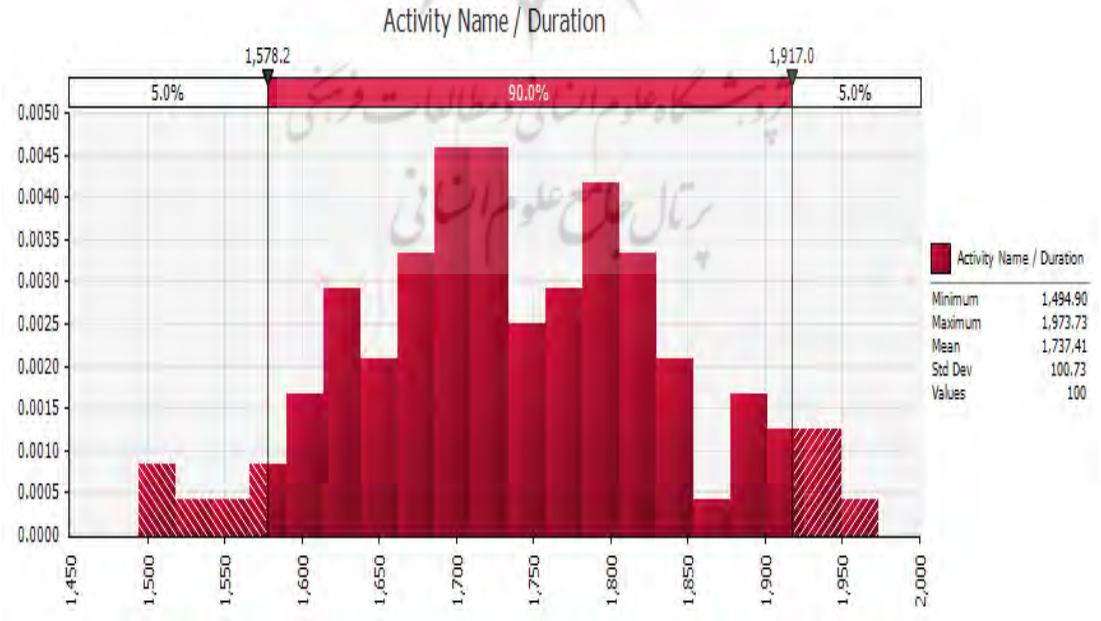
پرسش ۳، در بخش ۴، قسمت سنجش روایی، مشخص گردید که میزان پایایی زمانی و هزینه‌ای پروژه نمونه به ترتیب ۳۷ و ۲۸ درصد بهبود یافته است. از دستاوردهای این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- بهبود کنترل و پایش زمان و هزینه پروژه با در نظر گرفتن شرایط واقعی پروژه‌ها شامل عدم قطعیت‌ها و شرایط ویژه مانند تحریم‌ها
- تخصیص بهینه منابع به گونه‌ای که استفاده از منابع افزونه، سودآوری و صرفه‌جویی در هزینه‌های پروژه را فدای کاهش زمان ننماید.
- تخصیص بهینه زمان به فعالیت‌های پروژه به گونه‌ای که خارج از توان تیم پروژه نباشد و همچنین با قرار دادن حاشیه اطمینانی به نام بافر، اثر تأخیرات پیش‌بینی‌نشده تا حد امکان کاهش یابد.
- سودآوری بیشتر پروژه و رضایت بیشتر مشتریان و کارفرمایان پروژه از طریق دقیق‌تر شدن تخمین‌های زمانی و هزینه‌ای پروژه و کاهش جرایم و تأخیرات غیرمجاز و انطباق بیشتر هزینه‌های واقعی با برنامه‌ای
- قابلیت تعمیم مدل فوق به پروژه‌های سایر بخش‌ها و حوزه‌ها، در مقیاس‌های بزرگ و کوچک

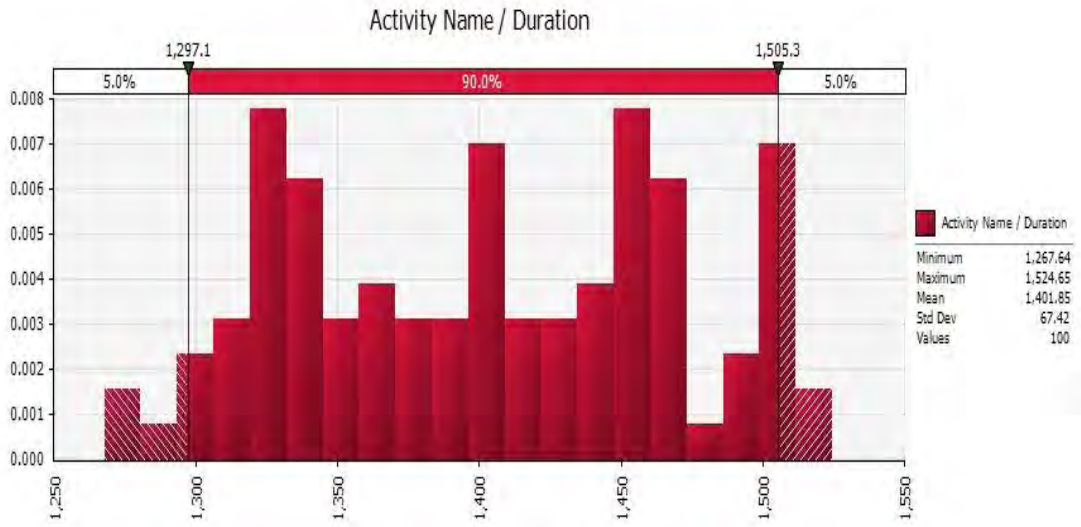
محدودیت اصلی این پژوهش را می‌توان عدم دسترسی به داده‌های مربوط به شکست منابع دانست که در نتیجه آن، امکان شکست منابع مورد بررسی قرار نگرفته و فرض بر این بوده که منابع در طول پروژه دسترس‌پذیر خواهند بود.

موضوعات زیر در ارتباط با پژوهش حاضر برای پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌گردد:

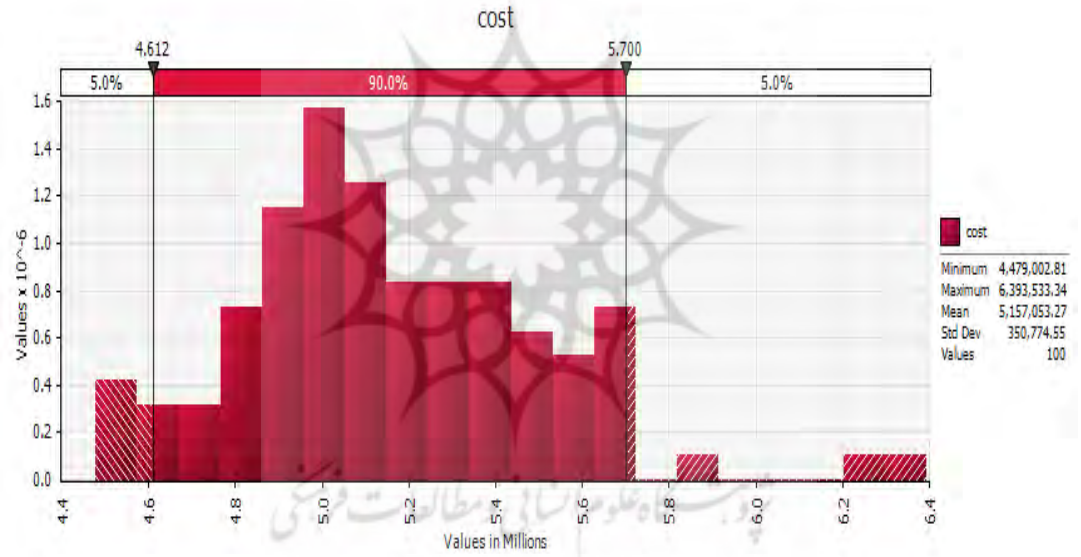
- ارائه روش تخصیص بافر و افزونگی جهت بهبود پایایی پروژه‌ها با در نظر گرفتن امکان شکست منابع
- ارائه روش ترکیبی تخصیص بافر هزینه و افزونگی و مقایسه با روش پژوهش حاضر



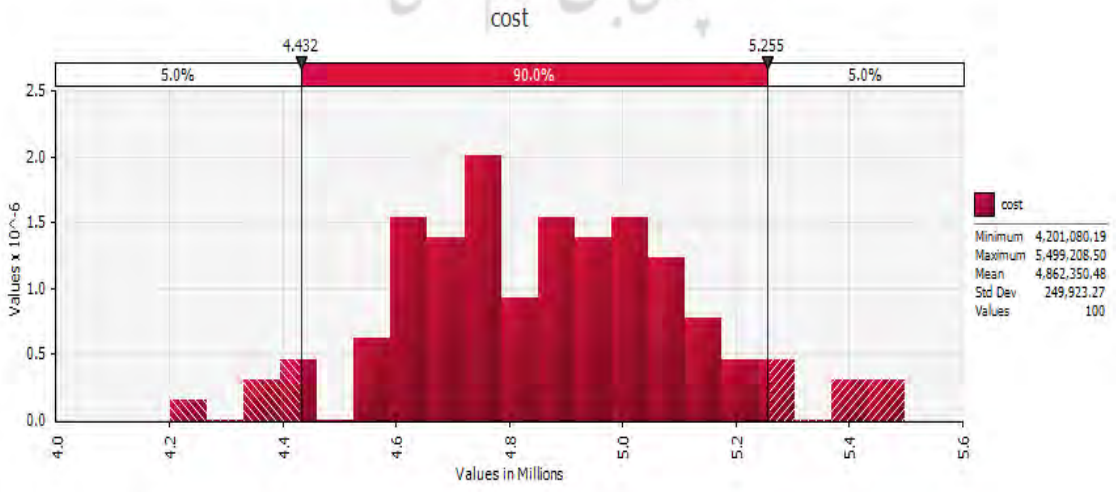
شکل ۱: نتایج شبیه‌سازی جهت محاسبه پایایی زمانی پیش از اجرای مدل



شکل ۲: نتایج شبیه‌سازی جهت محاسبه پایایی زمانی پس از اجرای مدل



شکل ۳: نتایج شبیه‌سازی جهت محاسبه پایایی هزینه‌ای پیش از اجرای مدل



شکل ۴: نتایج شبیه‌سازی جهت محاسبه پایایی هزینه‌ای پس از اجرای مدل

منابع

امیری، مقصود؛ تقوی فرد، محمد تقی؛ عظیمی، پرهام؛ آقایی، مجتبی (۱۳۹۸). مدل چندهدفه تعیین اندازه بهینه بافر و تخصیص افزونگی ـ دسترسپذیری بهصورت همزمان در سیستمهای تولیدی. مدیریت صنعتی، ۱۱(۳)، ۴۲۷-۴۶۰.

بیوسه، رضا؛ مؤمنی، منصور؛ حمیدی زاده، محمدرضا (۱۳۹۰). شناسایی نقاط ضعف و مشکلات شرکت های داخلی در اجرای پروژه های EPC صنایع نفت و گاز با استفاده از روش AHP . *سومین همایش ملی ارتقای توان داخلی با رویکرد رفع موانع تولید در شرایط تحریم، تهران، مرکز مطالعات تکنولوژی دانشگاه صنعتی شریف*، ۱۳۹۰.

شهرخی، محمود (۱۳۹۷) . ارائه رویکردی برای محاسبه قابلیت اطمینان فازی بر پایه آهنگ خرابی فازی. فصلنامه مدیریت صنعتی، ۱۰(۲)، ۱۸۳ - ۲۰۰.

فاروقی، هیوا؛ پاینده، سعدی؛ عبدی، فریده (۱۳۹۸). زمانبندی چندهدفه پروژه با قابلیت فشرده‌سازی چندگانه فعالیتهای چندحالته و محدودیت منابع و حالت اجرای یکسان فعالیتهای همگروه. مدیریت صنعتی، ۱۱(۲)، ۳۵۱ -۳۷۹.

References

Amiri, M., Taghavifard, M.T., Azimi, P., & Aghaei, M. (2019). Multi-Objective Model for determining Optimal Buffer Size and Redundancy-Availability Allocation Simultaneously in Manufacturing Systems. *Industrial Management Journal*, 11(3), 427-460. (*in Persian*)

Biuseh, Reza, & Momeni, Mansour, & Hamidizadeh, Mohamad Reza. (2012). Identifying weaknesses and problems of domestic companies in EPC projects og the oil and gas industry using AHP method. *3rd national conference on Improving Domestic Power with an Approach to Remove Production Barriers in condition of Sanctions.* Tehran, Center for Technology Studies, 2012. (In Persian)

Burdett, R., L., & Kozen, E. (2015). Techniques to effectively buffer schedules in the face of uncertainties. *Computers & Industrial Engineering*, 87, 16–29.

Chang, Kuo-Hao, & Kuo, Po-Yi (2018). An Efficient Simulation Optimization Method for the Generalized Redundancy Allocation Problem. *European Journal of Operational Research*, 265 (3), 1094-1101.

Chief of the Bureau of Naval Weapons (2016). *HANDBOOK RELIABILITY ENGINEERING*.

Farughi, H., Payandeh, S., & Abdi, F. (2019). Multi-objective Project Scheduling Considering Discrete Resource Constraints Problem with Multiple Crashable Modes and Modeidentity Capabilities. Industrial Management Journal, 11(2), 351- 379. (in Persian)

Fu, Na, & Lau, Hoong Chuin, & Varakantham, Pradip (2015). Robust execution strategies for project scheduling with unreliable resources and stochastic durations. *J Sched*, DOI 10.1007/s10951-015-0425-1.

Herroelen, Willy, & Leus, Roel (2004). The construction of stable project baseline schedules. *European journal of operational research*, 156(2004), 550-565.

Herroelen, Willy, & Leus, Roel (2005). Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials. *European journal of operational research*, 165(2) , 289-306.

Huang, Ding-Hsiang, & Huang, Cheng-Fu, & Lin, Yi-Kuei (2020). Exact project reliability for a multi-state project network subject to time and budget constraints. *Reliability Engineering and System Safety*, 195(2020) 106744.

Izmailov, Azar, & Korneva, Diana, & Kozhemiakin, Artem (2016). Project management using the buffers of time and resources. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 235(2016), 189 – 197.

Kim, Heungseob, & Kim, Pansoo (2017). Reliability–redundancy allocation problem considering optimal redundancy strategy using parallel genetic algorithm. *Reliability Engineering & System Safety*, 159(2017), 153-160.

Kuchta, Dorota (2014). A new concept of project robust schedule – use of buffers. *Procedia Computer Science*, 31(2014) , 957 – 965.

Lambrechts, Olivier, & Demeulemeester, Erik, & Herroelen, Willy (2008). Proactive and reactive strategies for resource-constrained project scheduling with uncertain resource availabilities. *J Sched*, 11(2008), 121–136.

Lambrechts, Olivier, & Demeulemeester, Erik, & Herroelen, Willy (2011). Time slack-based techniques for robust project scheduling subject to resource uncertainty. *Annals of Operations Research*, 186(2011), 443–464.

Lambrechts, Olivier, & Demeulemeester, Erik, & Herroelen, Willy (2007). Exact and suboptimal reactive strategies for resource-constrained project scheduling with uncertain resource availabilities. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=1094654 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1094654.

Ma, Zhigiang, & Demeulemeester, Erik, & He, Zhengwen, Wang, Nengmin (2019). A computational experiment to explore better robustness measures for project scheduling under two types of uncertain environments. *Computers & Industrial Engineering*, 131(2019), 382-390.

O'Donovan, Ronan, & Uzsoy, Reha, & McKay, Kenneth (1999). Predictable scheduling of a single machine with breakdowns and sensitive jobs. *International Journal of Production Research*, 37(18), 4217–4233.

Poshdar, Mani, & gonzález, Vicente A., & Raftery, Gary M., & Orozco, Francisco, & Guillermo, G. Cabrera-Guerrero (2018). A multi-objective probabilistic-based method to determine optimum allocation of time buffer in construction schedules. *Automation in Construction*, 92(2018), 46-58.

Project Management Institute (2017). *Project management body of knowledge, PMBOK Guide. 6th edition.* Pennsylvania: Project Management Institute.

Rohaninejad, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R., & Vahedi-Nouri, B. (2015). Redundancy resource allocation for reliable project scheduling: A game-theoretical approach. *Procedia Computer Science*, 64(2015), 265 – 273.

Reyes, Francisco, & Cerpa, Narciso, & Candia-Véjar, Alfredo, Bardeen, Matthew (2011). The optimization of success probability for software projects using genetic algorithms. *The Journal of Systems and Software*, 84(2011), 775–785.

Saputra, Yudha Andrian, & Latiffianti, Effi (2015). Project Reliability Model Considering Time–Cost–Resource Relationship under Uncertainty. *Procedia Computer Science*, 72(2015), 561 – 568.

Shahrokhi, M. (2018). Developing an Approach to Calculate Fuzzy Reliability Based on Fuzzy Failure Rate. Industrial Management Journal, 10(2), 183-200. (in Persian)

She, Bingling, & Chen, Bo, & G. Hall, Nicholas (2020). Buffer Sizing in Critical Chain Project Management by Netwrok Decomposition. *Omega* (2020), doi: https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102382.

Tao, Ran, & Tam, Chi-Ming (2012). System reliability optimization model for construction projects via system reliability theory. *Automation in Construction*, 22(2012), 340–347.

Wang, Pidong, & Zhang, Jianguo, & Zhai, Hao, & Qiu, Jiwei (2017). A new structural reliability index based on uncertainty theory. *Chinese Journal of Aeronautics*, 30(4), 1451–1458.

Zhao, Ping, & Hao, Fengtian (2011). Risk Study on Subway Construction based on Reliability Theory. *Applied Mechanics and Materials*, 44-47, 1872-1877.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی