



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)



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_dooostmohamadi@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 روپرور است. 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 به گونه‌ای 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.

مقدمه

مفهوم پایایی از دیرباز در صنایع مختلف مورد توجه پژوهشگران بوده و نیاز به وجود سیستم بهرهور و اینمن 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 مسئله عدم قطعیت موافقه 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 (لمبرشت، دیمولیمیستر و هروئلن، ۲۰۰۷). لیکن در دنیای واقعی به دلیل عواملی همچون دسترسی منابع، شکست در تخصیص تجهیزات به فعالیت، پذیرش مشتریان و سریچی در فازهای مختلف پروژه، عملأً مقادیر پارامترها، غیرقطعی خواهد بود (روحانی‌نژاد، توکلی‌مقدم و واحدی‌نوری، 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 پیش‌بینی شده را بدون تأثیر روی فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده جذب نموده و عملکرد بالایی را نیز به وجود آورد (ادونوان، ازوی 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 (لمبرشت، 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 به کار 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 سندروم دانشجویی (تأخر 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 پیش‌بینی شده روبرو هستند. ارائه قیمت غیر واقعی، تخصیص نامناسب نفرات و پیمانکاران در جبهه‌های مختلف کاری، تأخیر در تأمین کالاهای 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 پژوهه، به معنی افزایش احتمال دستیابی پژوهه 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 پژوهه از هر دو بعد زمانی و هزینه‌ای، در شرایط عدم قطعیت مورد پژوهش قرار دهیم. برای بهبود پایایی پژوهه از روش ترکیبی تخصیص منبع افزونه و بافر استفاده گردیده است. همچنین جهت درک بهتر موضوع، پیاده سازی روش گفته شده در یک پژوهه 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 پژوهه‌ها در شرایط عدم قطعیت هزینه و زمان کدامند؟
۲. ساختار مدل بهبود پایایی پژوهه از طریق تخصیص افزونگی و بافر در شرایط عدم قطعیت هزینه و زمان چگونه است؟
۳. میزان بهبود پایایی پژوهه با مدل تخصیص افزونگی و بافر زمانی در شرایط عدم قطعیت هزینه و زمان چگونه خواهد بود؟

پیشنهاد 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 (رباست مرکز سلاح‌های دریایی، ۲۰۱۶، ص. ۱-۱).

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

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

در زمانبندی سنتی، شیوه معمول این است که فرض شود محیطی که در آن زمانبندی پژوهه یا تولید رخ می‌دهد، قطعی یا ایستا است، لذا کلیه مقادیر پارامترها، از پیش مشخص است و در طول اجرای برنامه، تغییری نمی‌کند (لمبرشتیس، دیمولیمیستر و هروئلن، ۲۰۰۷). لیکن در دنیای واقعی هیچ‌یک از این شرایط بهسادگی بهوقوع نمی‌پیوندد. در دنیای واقعی، یک مدیر پژوهه با یک محیط برنامه‌ریزی غیرقطعی و پویا سر و کار دارد. لمبرشتیس، دیمولیمیستر و هروئلن، ۲۰۰۷، پژوهه‌های ساختمانی را به عنوان نمونه ذکر می‌کنند که به دلایل مختلفی همچون اختلالات ناشی از تصادفات، شکست منابع، شرایط بد آب و هوایی، تحويلهای غیرقابل اطمینان و پیمانکاران جزء غیر قابل اطمینان، به شرایط 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، لاغ 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، به عنوان 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 زیر طبقه‌بندی نموده‌اند:

رویکرد پیش‌کنسردانه، رویکرد غیر قطعی، رویکرد فازی، رویکرد پیش‌فعال، 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 به وجود 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 پیش‌واکنشگر و واکنشی سر و کار دارد. برنامه‌ریزی

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

وانگ، ڙانگ، ڙای و کیو (۲۰۱۷) با معرفی نظریه عدم قطعیت، سنجه غیرقطعی ای را جهت ارزیابی پایایی ساختارها برای احتمال ذهنی یا متغیرهای فازی، به جای سنجه‌های احتمالی به کار گرفته‌اند. در این مقاله، نویسنده‌گان، متغیرهای غیرقطعی را به گونه‌ای 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 به صورت عدد مثبتی فازی و به کارگیری 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 گسته، با لحاظ کردن قابلیت فشرده‌سازی چندگانه و همچنین حالت‌های اجرای یکسان زیرمجموعه فعالیتها پرداخته‌اند.

ما، دیمولیمیستر، هه و وانگ (۲۰۱۹) با ارائه یک مسئله 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 پژوهش‌های، عمدهاً پایایی را به صورت تخمینی محاسبه می‌نمودند، یک روش نوآورانه به حساب می‌آید. هر چند 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 ڙائو 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 پایابی پروژه‌ها استفاده نموده‌اند شامل پژوهش ریس، سرپا، کنده‌یا- وجار و باردین (۲۰۱۱)، روحانی‌نژاد، توکلی‌مقدم و واحدی نوری (۲۰۱۵) و چانگ و کو (۲۰۱۸) می‌باشد.

د) تخصیص بافر و افزونگی: در این زمینه پژوهشی توسط باردت و کوزان (۲۰۱۵) انجام گردیده که با تخصیص بافر به همراه 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 مسئله پرداخته‌اند. همچنین امیری، تقی‌فرد، 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 پایابی 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 پایابی	روش بهبود ارائه‌شده	شرایط مسئله	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 منوع
فو و همکاران (۲۰۱۵)	زمانی	-	عدم قطعیت	-	الگوریتم ابتکاری
سایپوترا 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	ثوری 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 ساختمنی	تخصیص بافر احتمالی چندهدفه مبتنی بر بهینه‌سازی جستجوی هدف

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

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، به همراه 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 سوریجه 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 تجارت قبلي 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 سوریجه 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 عمدۀ گرد آوری داده‌ها در این تحقیق از طریق مستندات پروژه و داده‌های واقعی پروژه می‌باشد و در کنار آن از ابزارهای 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	جريمه هر واحد انحراف زمان فعالیت i ام از زمان نرمال
f_i	زودترین زمان لازم برای انجام فعالیت i ام
pd_i	مدت زمان پیش‌بینی شده فعالیت i ام
pcf_i	هزینه ثابت فعالیت i ام
pdc_i	هزینه روزانه فعالیت i ام
n	تعداد فعالیت‌ها
TD	مدت زمان هدف‌گذاری شده پروژه
M'	جريمه 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 پیش‌بینی شده فعالیت i ام پس از تخصیص افزونگی
pd''_i	میزان کاهش مدت زمان پیش‌بینی شده 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 تخصیص یافته به فعالیت i
pf_i	زودترین زمان پیش‌بینی شده پایان فعالیت i ام

شرایط تحریم

با توجه به اینکه مسئله تحریم، دارای تأثیرات اجتناب ناپذیری در صنایع و پروژه‌های حوزه‌های مختلف، و به طور ویژه در حوزه نفت و گاز می‌باشد، در مدل ارائه شده بنا بر آن گذاشته شده که تغییراتی در محدودیت‌های مدل بر اساس شرایط تحریم جهت واقعی‌تر شدن فضای پروژه در مسئله لحاظ گردد. جهت لحاظ شرایط تحریم در مدل ارائه شده، 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:

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

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

حال سوم: تأثیرپذیری متوسط (حال 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 ارائه شده، معرفی می‌گرددند.

مدت زمان پیش‌بینی شده فعالیت ۱ ام با امکان تأثیرپذیری خوش‌بینانه از شرایط تحریم	$pd(opt)_i$
مدت زمان پیش‌بینی شده فعالیت ۱ ام با امکان تأثیرپذیری بدیبانه از شرایط تحریم	$pd(pess)_i$
مدت زمان پیش‌بینی شده فعالیت ۱ ام با امکان تأثیرپذیری محتمل از شرایط تحریم	$pd(ml)_i$
هزینه روزانه پیش‌بینی شده فعالیت ۱ ام با امکان تأثیرپذیری خوش‌بینانه از شرایط تحریم	$pdc(opt)_i$
هزینه روزانه پیش‌بینی شده فعالیت ۱ ام با امکان تأثیرپذیری بدیبانه از شرایط تحریم	$pdc(pess)_i$
هزینه روزانه پیش‌بینی شده فعالیت ۱ ام با امکان تأثیرپذیری محتمل از شرایط تحریم	$pdc(ml)_i$
امکان تأثیرپذیری خوش‌بینانه از شرایط تحریم	$p_s(opt)_i$
امکان تأثیرپذیری بدیبانه از شرایط تحریم	$p_s(pess)_i$
امکان تأثیرپذیری محتمل از شرایط تحریم	$p_s(ml)_i$

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

تابع هدف مدل

$$\begin{aligned} \min z = & M_i(b_i) + M1(SD - TD) \\ & + \sum_i (p_s(opt)_i * (pdc(opt)_i * (x_i + b_i)) + (p_s(ml)_i * (pdc(ml)_i * (x_i + b_i))) \\ & + (p_s(pess)_i * (pdc(pess)_i * (x_i + b_i)) + pc'_i))) \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} 1) sf_i &\geq x_i & \forall i \in NP \\ 2) sf_j &\geq sf_i + x_j & \forall (i, j) \in P \end{aligned}$$

محدودیت ۳ و ۴: 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:

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

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

محدودیت ۵ و ۶: مدت زمان واقعی اعلامی به تیم پروژه جهت انجام هر فعالیت، از زمان بدینانه آن فعالیت بیشتر و از زمان پیش‌بینی شده آن فعالیت با کسر میزان کاهش زمان پس از تخصیص افزونگی، کمتر خواهد بود:

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

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

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:

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

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 تخصیص یافته به آن فعالیت در میزان کاهش زمان بهازای هر یک واحد منبع افزونه i :

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

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

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

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

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

محدودیت ۱۴: میزان کاهش زمان پس از تخصیص افزونگی برای هر فعالیت، نباید از پیش‌بینی مدت زمان آن فعالیت تجاوز نماید:

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

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

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

مفروضات مدل

روابط پیش‌نیازی در فعالیتها 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 سوریجه مشهد، شامل فعالیتها تأمین تجهیزات و عملیات اجرایی مندرج در جدول شماره ۳ به عنوان 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 ارائه شده 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 فعالیتها 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، بمبود 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 , $pdfc_i$, 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 به ازای هر یک واحد منبع افزونه (Zri) و میزان کاهش زمان به ازای هر یک واحد منبع افزونه (Uri) به دلیل نبود تخمین دقیق و داده تاریخی قابل اتکا، به قضاوت خبرگان پروژه مراجعه گردید و لذا از روش فازی مذکور 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 زدایی شده

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 اقتضایات 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 روایی‌سنگی استفاده خواهد شد.

جدول ۳: نام فعالیت‌ها و روابط پیش‌نیازی پروژه

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

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, ۱, 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, ۵۵, ۵۵, ۵۴, ۵۳, ۵۲, ۵۱, ۵۰	FIRE WATER EQ.	۵۷	۱۸	Hot Regen Gas Filter(F-202)	۱۹
۲, ۵۵, ۵۵, ۵۴, ۵۳, ۵۲, ۵۱, ۵۰	MONITOR	۵۸	۱۹	Regen Gas Heat Exchanger(E-200)	۲۰
۲, ۵۵, ۵۵, ۵۴, ۵۳, ۵۲, ۵۱, ۵۰	PORTABLE DRY POWDER EXTINGUISHERS	۵۹	۲۰	Regen Gas Heat Exchanger(E-300)	۲۱
۲, ۵۵, 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, ۱-۱, 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
۶۴	HVAC	۶۵	۲۷	Regen Gas Recycle Compressor(C-300 A/B)	۲۸
۶۴	INSTRUMENT & CONTROL SYSTEM	۶۶	۲۸	Condensate Loading Pumps(P-401 A/B)	۲۹
۶۴	MECHANICAL-FIX	۶۷	۲۹	Firefighting Pump(P-700 A/B/C)	۳۰
۶۴	MECHANICAL-ROTARY	۶۸	۳۰	Potable Water Filling Pumps(P-705)	۳۱
۶۴	PIPING	۶۹	۳۱	GTG	۳۲
۶۴	SAFETY & FIRE FIGHTING	۷۰	۳, ۳۲	HVAC SYSTEM	۳۳

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

جدول ۴: ظرفیت افزونگی منابع

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

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

u_{ri}	Z_{ri}	منبع افزونه	شماره فعالیت	u_{ri}	Z_{ri}	منبع افزونه	شماره فعالیت
۳, ۲	۱۴۸۷, ۱۴۷۰	R10, R11	۳۸	-	-	-	۱
۴	۲۱۶۵	R9	۳۹	-	-	-	۲
۲	۱۶۷۵	R8	۴۰	-	-	-	۳
۵	۱۶۸۳	R4	۴۱	-	-	-	۴
۳	۱۳۳۶	R2	۴۲	-	-	-	۵
۲	۲۰۷۵	R7	۴۳	-	-	-	۶
۶	۱۰۰۱	R5	۴۴	۴	۱۷۲۸	R1	۷
۱	۱۶۰۹	R6	۴۵	۶	۱۰۲۹	R2	۸
۱, ۱, ۱	, ۱۲۳۷, ۱۱۳۴ ۱۴۹۴	R1, R8, R9	۴۶	۳	۲۱۱۳	R3	۹
۱, ۳, ۲	, ۱۴۸۷, ۱۵۶۱ ۱۲۱۷	R1, R3, R6	۴۷	۴	۲۴۶۲	R4	۱۰
۵, ۶, ۶, ۱	, ۱۳۲۲, ۱۶۲۲ ۱۱۸۲, ۱۱۲۳	R1, R3, R5, R11	۴۸	۳	۱۶۰۸	R5	۱۱
۲, ۳, ۵	, ۱۶۷۳, ۱۵۹۸ ۲۴۱۶	R8, R9, R11	۴۹	۱	۱۹۱۶	R2	۱۲
۲, ۲	۱۶۹۴, ۱۸۳۳	R5, R9	۵۰	۲	۲۰۷۷	R3	۱۳
۵	۱۹۲۷	R5	۵۱	۲	۱۵۹۵	R4	۱۴
۵	۱۲۱۷	R8	۵۲	۴	۱۱۰۵	R5	۱۵
۲	۲۲۵۵	R11	۵۳	۱	۱۵۱۱	R6	۱۶
۳	۱۷۲۱	R1	۵۴	۳	۱۸۹۱	R7	۱۷
۲	۲۱۱۱	R3	۵۵	۵	۱۹۰۸	R9	۱۸
۴	۲۲۳۰	R5	۵۶	۲	۱۳۲۶	R8	۱۹
۵	۲۱۳۱	R6	۵۷	۲	۲۰۰۶	R10	۲۰
۴	۲۴۲۶	R7	۵۸	۱	۲۰۱۷	R11	۲۱
۱	۲۱۸۶	R10	۵۹	۳	۲۳۲۳	R7	۲۲
۴, ۲, ۵, ۳, ۵ ۳, ۵	, ۱۰۵۲, ۱۸۷۲ , ۱۲۸۸, ۱۹۸۲ , ۲۳۵۱, ۲۴۹۵ ۱۳۸۳	R8, R7, R6, R11, R5, R1, R9	۶۰	۶	۱۰۵۷	R1	۲۳

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

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 عمدۀ 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

pfc_i	pdc_i	pd_i	شماره فعالیت	pfc_i	pdc_i	pd_i	شماره فعالیت
۰۰۰۰	۰۰۰۰	۱۳,۲۵,۴۰	۳۸	۲۰۶۱۰,۱۳۳۳۸۴۵۵۶ ۴۷۴	۷۵۵,۱۲۲۳,۲۰ ۳۸	۶۵,۱۰۵,۱۷۶	۱
۲۹۳۲۷,۴۷۵۱۰,۷۹۱۸ ۳	۱۰۵,۱۷۰,۲۸۳	۶۷,۱۰۸,۱۸۰	۳۹	۳۵۷۰۶,۵۶۲۳۷,۹۶۴۰۶	۱۸۰,۲۸۴,۴۸۶	۵۷,۸۹,۱۵۳	۲
۴۱۷,۶۳۳,۹۱۰	۱۸,۲۷,۳۹	۵۸,۱۲	۴۰	۶۷۶۵۶,۹۴۷۱۸,۱۷۵۹۰ ۶	۴۹۱۵۸۸,۱۲۷ ۸	۳۰,۴۱,۷۷	۳
۵۲۸,۸۳۱,۱۴۲۵	۲۳,۳۶,۶۱	۷,۱۱,۱۸	۴۱	۲۰۹۶۴۱,۴۱۹۲۸۳,۶۷۰ ۸۵۲	۱۰۲۱,۲۰۴۲,۳ ۲۶۷	۵۵,۱۱۰,۱۷۶	۴

۳۳۳۴۵.۶۷۷۲۸۴	۱۲.۰۸.۲۶	۶۳.۹۶.۱۳۸	۴۲	۱۴۷۴۶۱.۲۲۴۱۴.۰۳۲۲ ۲۰۱	۵۳۶.۸۱۴.۱۱۷ .	۶۲۶۴.۱۳۶	۵
۸۳۵۸.۱۳۵۴۰.۲۲۵۶۷	۷۲.۰۱۶.۱۹۳	۲۸.۰۴۵.۷۵	۴۳	۳۵۲۶۸۵۷.۰۵۳۷۱.۱۱۲ ۸۵۹۳	۱۰.۷۹.۱۶۴۰.۲ ۳۵۷	۵۹.۸۳.۱۵۳	۶
۱۶۶۷.۲۵۳۴.۳۶۴۳	۱۸.۰۷.۰۹	۲۱.۰۲.۰۶	۴۴	۱۸۳۱۴۲.۱۳۴۶۹.۰۲۲۴۴ ۸۳	۱۶۶.۰۷.۰۴۴۷	۱۱۹.۰۹۴.۰۲۳	۷
۲۹۷۰.۰۹۴۰.۹۵۰۳	۶۴.۰۱۷.۰۴	۱۳.۰۲۵.۰۴	۴۵	۱۶۶۲۸.۲۶۱۹۰.۰۴۴۸۹۶	۳۴.۰۵.۰۹۲	۱۴.۰۲۱.۰۷۸	۸
۱۷۶۰.۲۸۵۱.۴۷۵۱	۱۳.۰۲.۰۴	۳۳.۰۴.۹۰	۴۶	۱۲۴۷۱.۱۷۶۵۰.۰۲۲۴۲۵	۲۵.۰۳.۶۵	۱۰.۰.۱۵۱.۰۸۰	۹
۱۶۶۷.۲۵۳۴.۳۶۴۳	۱۲.۰۸.۰۶	۳۲.۰۴.۸۶۹	۴۷	۲۳۵۱۷.۰۲۹۷۴.۰۱۱۴۵	۶۷.۰۴.۰۱۷۵	۷۵.۰.۱۰.۰۹۵	۱۰
۳۵۱۹.۰۵۷۰.۱۹۵۰۱	۵۰.۰۱.۰۱۶	۱۷.۰۷.۰۴۵	۴۸	۷۳۱۶۴.۱۱۵۲۳۴.۰۱۹۷۵ ۴۴	۱۷۴.۰۷.۰۴۷۰	۱۲۰.۰۱۸۹.۰۲۴	۱۱
۱۷۵۹۶.۰۷۷۷۱۴.۴۷۵۱	۱۵۱.۰۲۳۸.۰۴۷	۳۳.۰۵.۰۹۰	۴۹	۲۵۶.۰۴۱۴۵۹۰	۱۰.۰.۲	۶۷.۰.۱۰.۰۱۸۰	۱۲
۱۱۰۰.۰۱۷۸۲.۰۲۹۶۹	۲۴.۰۳.۸۶۴	۱۱.۰۱۸.۰۳۰	۵۰	۲۸۲.۰۴۵۰.۰۷۶۲	۲۴.۰.۷	۲۸.۰۴۵.۰۷۵	۱۳
۸۳۳.۰۱۲۷۶.۰۱۸۲۱	۱۸.۰۲۷.۰۳۹	۱۱.۰۱۶.۰۲۳	۵۱	۳۱۹.۰۳۷.۰۱۰۱۹	۳۰.۰.۹	۳۱.۰۵۳.۰۱۰	۱۴
۶۲۵.۰۹۵۰.۰۱۳۶۶	۵۸.۰.۱۲	۲۶.۰۰.۰۵۸	۵۲	۳۳۹.۰۵۳.۰۹۱۵	۳۰.۰.۸	۳۳.۰۵۳.۰۰	۱۵
۱۰.۰۵.۰۱۶۶۳.۰۲۸۵۰	۱۵.۰۴.۴۱	۲۰.۰۲.۰۵۴	۵۳	۲۵۴.۰۳۵.۰۵۶۱	۱۳۶.۰۷۲۲.۰۴۳۶	۱۰.۰.۲	۱۶
۵۲۸.۰۸۳۱.۰۱۴۲۵	۴۶.۰.۱۰	۴۰.۰۳.۰۱۸	۵۴	۵۲۷۹.۰۸۳۱۴.۰۱۴۲۵۳	۷۵.۰.۱۱۹.۰۰۴	۲۰.۰۳.۰۵۴	۱۷
۲۲۲۷.۰۴۴۵۰.۰۱۲۶	۳۲.۰۴.۰۱۰۲	۱۹.۰۳.۰۶۰	۵۵	۲۳۱.۰.۰۷۴۲.۰۶۲۳۶	۱۴.۰۲.۰۳۸	۳۹.۰۵۳.۰۱۰۵	۱۸
۶۲۵.۰۹۵۰.۰۱۳۶۶	۹.۰۱.۰۲۰	۱۶.۰۲.۰۳۵	۵۶	۶۳۴.۰۸۷.۰۵۴۷	۷.۰.۰.۰۱۸	۲۰.۰۲.۰۵۲	۱۹
۰.۰.۰.۰	۰.۰.۰.۰	۱۱.۰۱۶.۰۲۳	۵۷	۱۴۶۷.۰۲۷۶.۰۳۹۶۰	۱۶.۰۲.۰۴۲	۲۲.۰۳.۶۵۰	۲۰
۰.۰.۰.۰	۰.۰.۰.۰	۱۳.۰۲.۰۳۶	۵۸	۱۶۵.۰.۳۳۰.۰۵۲۷۹	۱۸.۰.۳۵.۰۵۷	۲۵.۰.۰.۰۱۰	۲۱
۰.۰.۰.۰	۰.۰.۰.۰	۱۱.۰۱۶.۰۲۳	۵۹	۱۳۸.۰.۱۹۰.۰۳۶.۰۳	۲۴.۰.۳۳.۰۵۲	۱۳.۰۱.۸.۰۳۳	۲۲
۰.۰.۰.۰	۰.۰.۰.۰	۱۰.۰۱.۰۴۲۶	۶۰	۱۸۴.۰.۲۹۱.۰۴۹۸۸	۳۲.۰.۰.۰۸۶	۱۷.۰.۲۶.۰۴۵	۲۳
۲۴۷۴۵.۰۹۴۱۸.۰۷۹۱۸	۹۶.۰.۱۹۳.۰۹	۶۹.۰.۱۳۸.۰۲۰	۶۱	۵۵.۰.۰۹۱.۰۱۴۵۸	۵۰.۰.۱۳	۲۸.۰۴۵.۰۷۵	۲۴
۳۲۹۹.۰۶۱۹.۰۸۵۷۸	۱۴۱.۰۹۸.۰۳۶۸	۵۰.۰.۱۳	۶۲	۴۹۰.۰۶۹۳.۰۱۲۸۷	۴۶.۰.۱۱	۲۵.۰.۳۵.۶۵	۲۵
۳۷۷۱.۰۵۲۷۹.۰۸۰۳	۱۶۲.۰.۲۲۶.۰۴۲۰	۵۰.۰.۷.۰۳	۶۳	۰.۰.۰.۰	۰.۰.۰.۰	۱۸۸.۰.۳۷۵.۶۰۰	۲۶
۲۲۶۸.۰۳۴۴۷.۰۹۰۵۶	۳۲.۰.۴۹.۰۷۱	۱۶.۰.۲۴.۰۳۵	۶۴	۱۹.۰.۶.۰.۰۸۰.۰۱۴۷	۸۱۷.۰.۱۳۲۴.۰۲۲ .۶	۱۰.۰.۲	۲۷
۲۸۷۳.۰۴۵۰.۰۷۷۵۷	۴۱.۰.۶.۰۱۱	۲۰.۰.۲۲.۰۵۴	۶۵	۲۲۸۷.۰۳۶.۰۲۶۱۷۵	۹۸.۰.۰.۱۵۴۰.۰۲۶ ۴۷	۱۰.۰.۲	۲۸
۲۶۹۳.۰۵۲۸۷.۰۶۱۸	۳۸.۰.۷۷.۰۱۲۳	۱۹.۰.۳.۰۸۰	۶۶	۲۴۶.۰.۳۹۹.۰۵۶۵	۳۰.۰.۷	۲۲.۰.۳۶.۰	۲۹
۲۲۶۸.۰۳۴۴۷.۰۹۰۵۶	۳۲.۰.۴۹.۰۷۱	۱۶.۰.۲۴.۰۳۵	۶۷	۹۹۱.۰.۱۹۸.۰.۳۱۷۰	۲۱.۰.۴۲.۶۸	۱۳.۰.۲۵.۰	۳۰
۲۳۹۴.۰۳۸۷۸.۰۶۴۶۴	۳۴.۰.۵۰.۹۲	۱۷.۰.۲۷.۰۴۵	۶۸	۷۰.۰.۱۱.۰.۱۰۰	۸.۰.۱۰.۰.۲۰	۲۵.۰.۴۲.۰.۷۲	۳۱
۲۱۵۵.۰.۰۱۶۵۶.۰۲	۳۱.۰.۴۳.۰۸۰	۱۵.۰.۲۱.۰۳۹	۶۹	۵۸۶۵.۰.۹۵.۰.۲.۰۱۵۸۳۶	۸۴.۰.۱۳۶.۰.۲۲۶	۱۷.۰.۲۷.۰.۴۵	۳۲
۲۱۵۵.۰.۰۱۶۵۶.۰۲	۳۱.۰.۴۳.۰۸۰	۱۵.۰.۲۱.۰۳۹	۷۰	۵۲۷۹.۰.۷۳۹.۰.۰۱۳۷۲۵	۳۲.۰.۴۵.۰۸۴	۳۵.۰.۴۹.۰.۹۱	۳۳
۳۰.۰.۱۷.۶.۰.۳۳.۰.۹۶۵۳	۱۲۹.۰.۲۵۹.۰.۴۱۴	۶.۰.۱۳.۰.۰	۷۱	۱۱۲۵.۰.۱۷۱.۰.۲۴۵۸	۱۰.۰.۱۸.۰.۲۶	۲۱.۰.۳۲.۰.۴۶	۳۴
۳۲۱۸.۰.۰.۶۸.۰.۸۶۸۸	۱۳۸.۰.۲۱۷.۰.۳۷۲	۷.۰.۱۱.۰.۱۸	۷۲	۲۲۹۶.۰.۳۷۲.۰.۰۵۲۰	۱۶.۰.۲۷.۰.۴۴	۳۳.۰.۵۶.۰.۹۰	۳۵
۱۲۷۰.۰.۱۹۰.۰.۲۷۷۵	۵۴.۰.۸۲.۰.۱۱۹	۵۰.۰.۸.۰.۱۲	۷۳	۲۶۳.۰.۳۹۹.۰.۰۵۷۴	۲.۰.۰.۴	۳۷.۰.۵۶.۰.۸۱	۳۶
۰.۰.۰.۰	۰.۰.۰.۰	۰.۰.۰.۰	۷۴	۶۱۵۹.۰.۹۷.۰.۱.۰۱۶۲۹	۱۰.۰.۱۶۶.۰.۲۸۵	۱۷.۰.۲۶.۰.۴۵	۳۷

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

<i>pfc<i>_</i>s_i</i>	<i>pdc<i>_</i>s_i</i>	<i>pds<i>_</i>s_i</i>	<i>ps<i>_</i>s_i</i>	شماره فعالیت
۳۰.۹۱۵۲.۰.۰۰۸۲۶۸۰۳۴۷۱۱	۱۱۳۲.۰.۱۸۳۵.۰.۰۵۸	۹۸.۰.۱۵۸.۰.۲۶۳	% ۲۵	۱
۶۴۲۷۱.۰.۰۱۲۴۷.۰۱۷۳۵۳۱	۲۲۴.۰.۵۱.۰.۰۷۵	۱۰.۰.۱۶۱.۰.۲۷۵	% ۷۰	۲

۸۷۹۵۳، ۱۲۳۱۳۴، ۲۲۸۶۷۷	۶۳۹، ۸۹۴، ۱۶۶۱	۳۸، ۵۴، ۱۰۰	%۵۰	۳
۴۱۹۲۸۳، ۰۸۳۸۵۶۵، ۱۳۴۱۷۰۴	۲۰۴۲، ۴۰۸۴۶۵۳۴	۱۱۰، ۲۲۰، ۳۵۲	%۸۰	۴
۱۶۹۵۸۰، ۰۲۵۷۷۶۱، ۳۷۰، ۰۳۱	۶۱۶، ۹۳۶، ۱۳۴۶	۷۱، ۱۰۹، ۱۵۶	%۳۰	۵
۷۰۵۳۷۱، ۱۴۱۰، ۷۴۲، ۰۲۵۷۱۸۶	۱۲۴۰، ۱۸۸۶، ۲۷۱۰	۷۷، ۱۰۷، ۱۹۹	%۴۰	۶

جدول ۸: مقادیر جرایم

جریمه	فعالیت														
400 0	71	100 0	61	300 0	51	100 0	41	300 0	31	100 0	21	300 0	11	100 0	1
100 0	72	200 0	62	400 0	52	200 0	42	400 0	32	200 0	22	400 0	12	200 0	2
200 0	73	300 0	63	100 0	53	300 0	43	100 0	33	300 0	23	100 0	13	300 0	3
300 0	74	400 0	64	200 0	54	400 0	44	200 0	34	400 0	24	200 0	14	400 0	4
		200 0	66	400 0	56	200 0	46	400 0	36	200 0	26	400 0	16	200 0	6
		300 0	67	100 0	57	300 0	47	100 0	37	300 0	27	100 0	17	300 0	7
		400 0	68	200 0	58	400 0	48	200 0	38	400 0	28	200 0	18	400 0	8
		200 0	69	300 0	59	100 0	49	300 0	39	100 0	29	300 0	19	100 0	9
		300 0	70	400 0	60	200 0	50	400 0	40	200 0	30	400 0	20	200 0	10

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

نتایج اجرای مدل

پس از حل مدل در نرم افزار AMS نسخه ۲۵, ۱, ۲ منتشرشده در آگوست ۲۰۱۸، نتایج به شرح جدول ۸ بدست آمد. مطابق نتایج بدست آمده، با تخصیص بافر در فعالیت‌های مندرج در جدول ۸ و به میزان مندرج در این جدول، و همچنین با تخصیص منبع افزونه به فعالیت‌های مشخص شده در جدول ۹ و به میزان مندرج در این جدول، زمان و هزینه پروژه بهینه خواهد گردید.

جدول ۹: 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):
79.553: 55.000, I15: 62.282, I14: 151.682, I13:I2 65.000, I1: 75.000: 130.279, I10: 256.716, I9: 152.160, I8: 110.475, I7:I6 33.206: 31.000, I15: 28.000, I14: 113.456, I13: 316.800, I12:I11 35.307: 22.054, I20: 39.000, I19: 20.000, I18: I17 1.400, I16 25.000: 38.951, I25: 22.756, I24: 13.000, I23: 25.000, I22:I21 13.000: 22.000, I30: 1.422, I29: 1.000, I28: 247.534, I27:I26 33.814: 21.000, I35: 35.000, I34: 29.163, I33: 29.396, I32:I31

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

بر اساس نتایج اجرای مدل در جدول فوق، ابتدا میزان χ_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	1	.																			
R2		8																			
R3			4									2							5		
R4			6																		
R5				3														1			
R6												4									
R7									2			3								1	
R8							7											1	1		
R9						3						2							6		
R10								1									2	4			
R11															1					5	

سنجدش 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 می‌باشد 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 ۷.۶.۱ 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 بهمراه روابط پیش‌نیازی و زمان‌های هدف اولیه، در نرم‌افزار Microsoft Project وارد شده و از طریق پیوند موجود میان نرم‌افزار Risk@ و نرم‌افزار 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 ساپوشا 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 A_i یک متغیر صفر و یک می‌باشد که برای دفعاتی که میزان شبیه‌سازی شده 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 نرم‌افزار Microsoft Project به نرم‌افزار 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

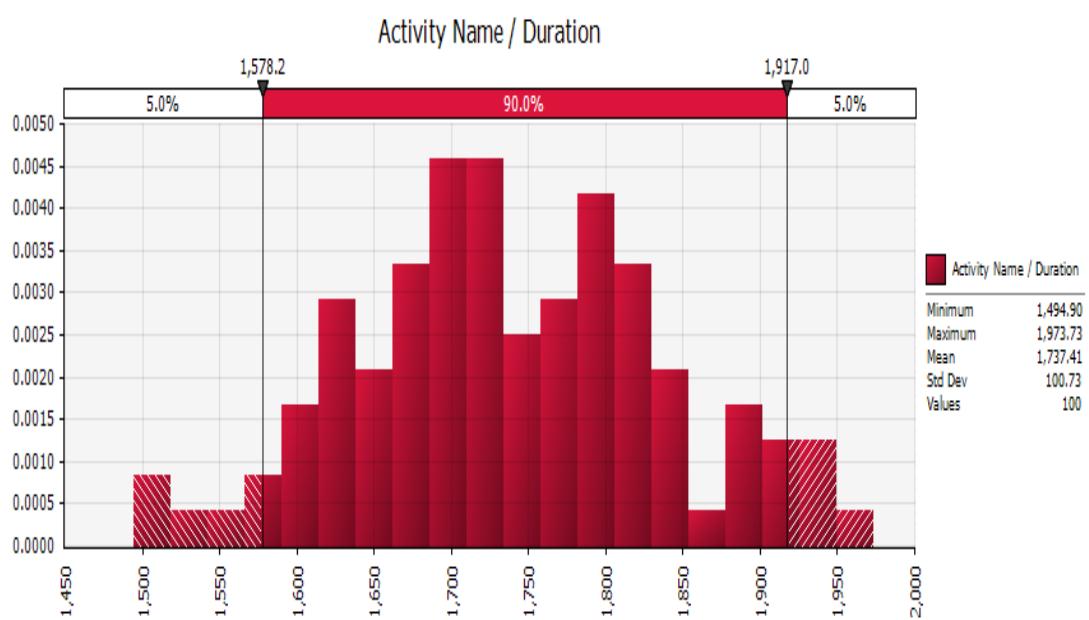
pc'_i نیز به هزینه هر فعالیت افزوده گردیده و شبیه‌سازی مجدداً بر اساس مقادیر جدید صورت می‌گیرد. با انجام ۱۰۰ بار شبیه‌سازی، که نتایج آن در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده، مقادیر پایایی زمانی و هزینه‌ای پروژه پس از اعمال نتایج حاصل از مدل، به ترتیب ۱۰۰ و ۷۲ بدست آمد. لذا نتایج بدست آمده بیانگر بهبود به ترتیب ۳۷ و ۲۸ درصدی در پایایی زمانی و هزینه‌ای پروژه است.

بحث و نتیجه‌گیری

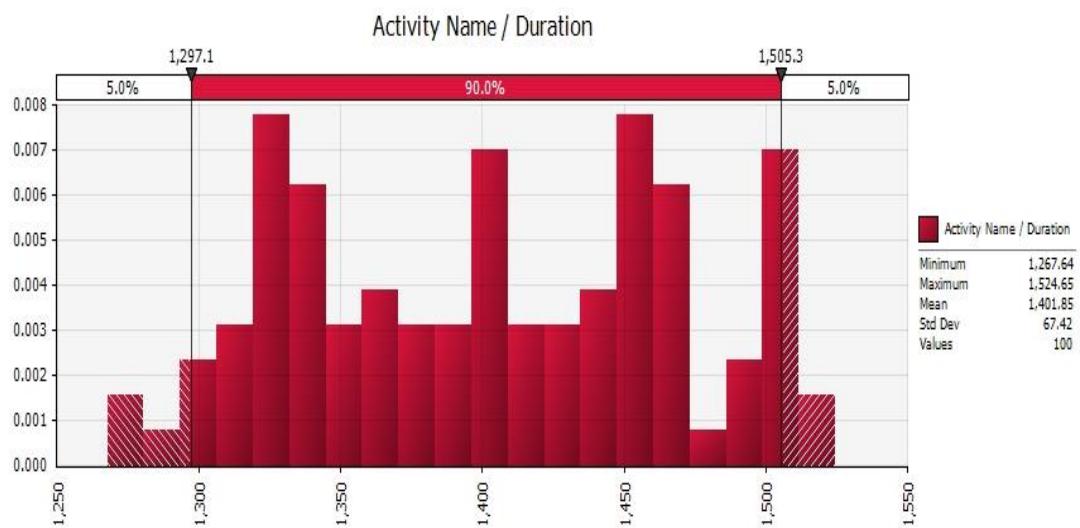
در پژوهش حاضر، مدل تخصیص بافر و افزونگی در شرایط عدم قطعیت جهت بهبود پایایی زمانی و هزینه‌ای پروژه ارائه گردید و با حل این مدل در یک نمونه واقعی از پروژه‌های صنعت نفت و گاز ایران و سنجش روایی مدل، روایی آن مورد سنجش قرار گرفت. نتایج بیانگر بهبود قابل توجه در پایایی زمانی و هزینه‌ای پروژه نمونه بود. پاسخ 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:

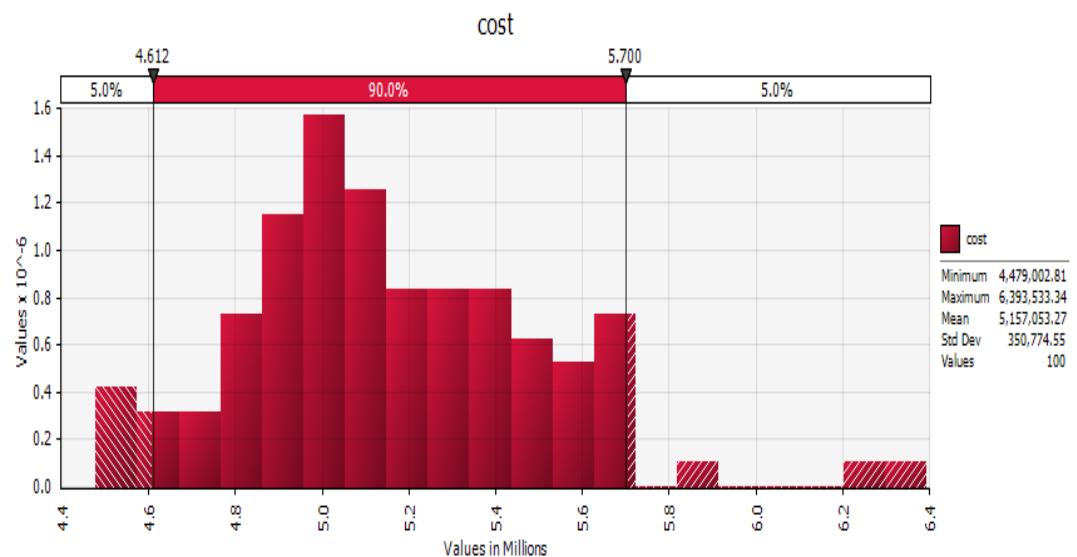
- بهبود کنترل و پایش زمان و هزینه پروژه با در نظر گرفتن شرایط واقعی پروژه‌ها شامل عدم قطعیت‌ها و شرایط ویژه مانند تحریم‌ها
- تخصیص بهینه منابع به گونه‌ای که استفاده از منابع افزونه، سودآوری و صرفه‌جویی در هزینه‌های پروژه را فدای کاهش زمان ننماید.
- تخصیص بهینه زمان به فعالیت‌های پروژه به گونه‌ای که خارج 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 تعیین 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 دسترسی پذیر 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



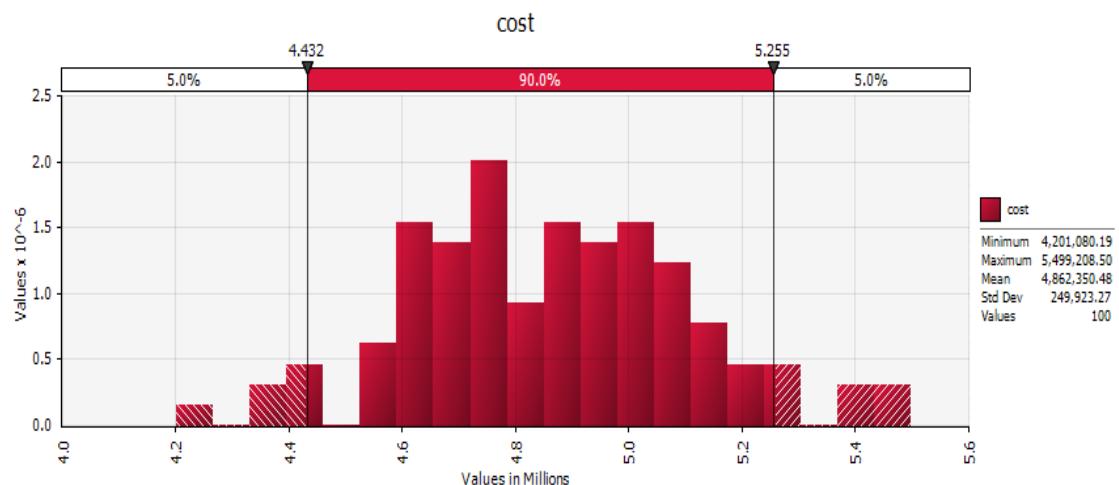
شکل ۱: نتایج شبیه‌سازی جهت محاسبه پایایی زمانی پیش از اجرای مدل



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



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



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

منابع

- امیری، مقصود؛ تقی فرد، محمد تقی؛ عظیمی، پرهاشم، آقایی، مجتبی (۱۳۹۸). مدل چندهدفه تعیین اندازه بھینه بافر و تخصیص افزونگی - 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 شرکت‌های 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 خوابی فازی. فصلنامه مدیریت صنعتی، ۱۰(۲)، ۱۸۳-۲۰۰.
- فاروقی، هیوا؛ پاینده، سعدی؛ عبدالی، 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, Zhigang, & 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.