J. Strateg. Manag. Stud. Vol. 15, No. 57, Spring 2024, PP: 257-278 ISSN (Print):2228-6853, (Online):2676-6744

Journal of Strategic Management Studies

Homepage: https://www.smsjournal.ir/?lang=en

Original Research Article **10.22034/SMSJ.2023.352587.1705**

Designing a strategic planning model for project management in uncertainty situations

Alireza Shahraki*, Associate Professor, Department of Industrial Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Seyyed Siamak Morshed, Ph.D. student, Industrial Engineering Department, North Tehran branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Vahid Baradaran, Associate Professor, Industrial Engineering Department, North Tehran branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History
Received: 22 July 2022
Revised: 4 February 2023
Accepted: 8 April 2023

Keywords
Strategic planning,
Project scheduling problem,
Uncertainty,
Discount,
Hybrid Genetic algorithm

Corresponding Author Email:
Shahrakiar@ hamoon.usb.ac.ir

ABSTRACT

By key role of reservoir capacity in increasing and sustaining crude oil production and preventing daily fluctuations due to production operational problems, as well as maintaining storage capacity in oil export, minimizing all costs and putting this into service Reservoirs are the crucial strategy of the Ministry of Oil. The problem of project scheduling with limited resources is one of the most important challenges in the field of strategic management in projects, which has been highly studied by researchers in recent years. This research used a robust planning model for the integrated problem of material ordering and project scheduling in the presence of uncertainty, calendar breaks, non-renewability, corruption and different project implementation scenarios to present on the real example of repairing a crude oil floating roof tank. Simultaneous consideration of the factors by this method will lead to the model being closer to the real-world conditions, making the results more practical and improving the quality of the results. The functional model aimed to minimize all costs, including ordering, maintenance, purchase and delay fines, minus the bonus for early delivery of the project, and it was done with a possible approach to model stabilization. After presenting the model, a combined solution method of genetic algorithm and GAMS software was designed to solve numerical problems of different sizes. In addition, the case studies of the oil floating roof tank repair project were numerically designed and solved with the desired approach. The results indicated a significant reduction in the solution time using the combined approach of this research.

How to cite this article:
Shahraki, A., Morshed, S.S., & Baradaran, V. (2024). Designing a strategic planning model for project management in uncertainty situations. *Journal of Strategic Management Studies*, 57(15), 257-278. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/SMSJ.2023.352587.1705

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s)and the source.

J. Strateg. Manag. Stud., Vol. 15, No. 57, Spring 2024
Web**:** http://smsjournal.ir
Doi: **10.22034/SMSJ.2023.352587.1705**

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

By passing time and the increase in the volume of projects, as well as the diversification of the tools used to complete a project, the need to change project planning methods from traditional to novel one is well felt. In big projects or in the term mega projects such as construction of refinery, airport, spaceship, satellite, subway construction and the like, it is necessary to create a suitable plan and schedule in such a way that limited and valuable resources are fully utilized to achieve the goals of the project according to three sides. The triangle of the project means time, cost and quality to be realized. In classical approaches such as the critical chain, it is assumed that project resources are available indefinitely. After that, the assumption of the limitation of these resources was added to the model, and such issues are in the category of project planning with limited resources. Considering the key role of storage tank capacity in increasing and sustainability of oil production and preventing daily fluctuations due to production-related operational problems as well as maintaining storage capacity in oil exports, minimizing all costs and being included in the service of tanks is the main strategy at the Ministry of Petroleum. The resource-constrained project scheduling problem is one of the most important techniques in the field of project management that has attracted a lot of researchers in recent years.

Methodology

Classical approaches such as the critical chain assume that project resources are unlimited. However, this assumption does not make sense in most projects. Subsequently, the resource constraint assumption was added to the model. Such problems are called resource-constrained project scheduling problems. Most studies assume that activities are performed in an ideal setting and that the proposed schedule can be executed exactly according to plan. The existence of uncontrollable factors such as lack of access to resources, the addition of unforeseen activities to the project, and bad weather conditions practically lead to the failure to achieve the project objectives in the desired time. This can bring significant costs to the project. Therefore, one of the main challenges facing construction projects is the existence of uncontrollable factors. The effect of these factors on the project can be greatly reduced if different scenarios are predicted in the planning done for the project and the planning is done based on these scenarios. A robust optimization is a new approach that has been proposed in recent years to deal with data uncertainty in various scenarios. In this approach, near-optimal solutions are considered that are highly feasible and resistant to change. In other words, the feasibility of the solution obtained in different scenarios is guaranteed by slightly deviating from the value of the objective function.

Results and Discussion

Accordingly, in this study, a robust optimization approach is used to deal with changes in different scenarios to minimize the effect of different modes of events in the project on the accuracy of the plans made. In real conditions, ignoring some limitations and realities in modeling can reduce the applicability of the proposed model. Therefore, in this study, several important issues in modeling are considered. These issues include non-renewability, perishability, discounts on project resources, uncertainty, and lag times. The following is a brief description of these concepts for more familiarity with them. In this study, a robust planning model for the problem of robust integrated project scheduling and material ordering under uncertainty, lag times, non-renewability, perishability, and various project implementation scenarios was provided. Simultaneous consideration of the above in the model brought the model closer to real-world conditions, made the results more practical, and improved the quality of results. The model had the objective function to minimize the total cost, including ordering, maintenance, purchasing, and penalties for delay minus the bonus for hastening the project delivery.

J. Strateg. Manag. Stud., Vol. 15, No. 57, Spring 2024
Web**:** http://smsjournal.ir
Doi: **10.22034/SMSJ.2023.352587.1705**

Conclusion

Model robustification perform with a possibilistic approach. After providing the model, numerical problems of different sizes were solved using a hybrid solution method of genetic algorithm and GAMS software. Moreover, a sample problem concerning an oil resource repair project and several numerical problems were designed and solved using the desired approach. Also, the case studies of the oil floating roof tank repair project were numerically designed and solved with the desired approach. The results indicated a significant reduction in the solution time using the combined approach of this research.

Keywords: Strategic planning, Project scheduling problem, Uncertainty, Discount, Hybrid Genetic algorithm.

مطالعات مدیریت راهبردی، دوره ۱۵، شماره ۵۷، بهار ۱۴۰۳، صفحه: ۲۵۷ تا ۲۷۸ شاپای چاپی: ۶۸۵۳-۲۲۲۸ شاپای الکترونیکی: ۶۷۴۴-۲۶۷۶

مطالعات مدیریت راهبردی

Homepage: https://www.smsjournal.ir

مقاله پژوهشی 10.22034/SMSJ.2023.352587.1705 OPEN ACCESS

طراحی الگوی برنامه‌ریزی راهبردی مدیریت پروژه در شرایط نااطمینانی

علیرضا شهرکی*، دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
سید سیامک مرشد، دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
وحید برادران، دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

سابقه مقاله
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۳۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۹

واژه‌های کلیدی
برنامه‌ریزی راهبردی،
زمان‌بندی پروژه،
عدم قطعیت،
تخفیف،
الگوریتم ژنتیک ترکیبی

ایمیل نویسنده مسئول
Shahrakiar@hamoon.usb.ac.ir

چکیده

با توجه به نقش کلیدی ظرفیت مخازن در افزایش و پایداری تولید نفت خام و جلوگیری از نوسانات روزمره ناشی از مشکلات عملیاتی تولید و همچنین حفظ ظرفیت ذخیره‌سازی در صادرات نفت، حداقل-سازی کلیه هزینه‌ها و در سرویس قرار گرفتن این مخازن، راهبرد اساسی وزارت نفت می‌باشد. مسئله زمان‌بندی پروژه با منابع محدود، از مهم‌ترین دسته مسائل در زمینه‌ی موضوعات مدیریت راهبردی در پروژه‌ها می‌باشد که در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این تحقیق، مدل برنامه‌ریزی استوار برای مسئله یکپارچه سفارش‌دهی مواد و زمان‌بندی پروژه در شرایط وجود عدم قطعیت، وقفه‌های تقویمی، تجدیدناپذیری، فسادپذیری و سناریوهای مختلف اجرای پروژه بر نمونه واقعی تعمیر مخزن سقف شناور نفت خام ارائه می‌شود. مدنظر قرار دادن همزمان عوامل در قالب این مدل منجر به نزدیک‌تر شدن مدل به شرایط دنیای واقعی، کاربردی‌تر شدن نتایج و بهبود کیفیت نتایج خواهد شد. مدل تابع هدف حداقل‌سازی کلیه هزینه‌ها شامل هزینه‌های سفارش‌دهی، نگهداری، خرید و جریمه تأخیر منهای پاداش بابت زودتر تحویل دادن پروژه بود و با رویکرد امکانی نسبت به استوارسازی مدل اقدام شد. پس از ارائه مدل، یک روش حلّ ترکیبی از الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزار GAMS برای حل مسائل عددی در اندازه‌های مختلف طراحی شد. همچنین، موردپژوهی‌های پروژه تعمیرات مخزن سقف شناور نفت به صورت عددی طراحی و با رویکرد موردنظر حل شد. نتایج حکایت از کاهش قابل‌ملاحظه زمان حل با استفاده از رویکرد ترکیبی این تحقیق داشت.

استناد به این مقاله: شهرکی، علیرضا؛ مرشد، سید سیامک؛ برادران، وحید (۱۴۰۳). طراحی الگوی برنامه‌ریزی راهبردی مدیریت پروژه در شرایط نااطمینانی. مطالعات مدیریت راهبردی، ۵۷(۱۵)، ۲۵۷-۲۷۸.

۱. مقدمه

با توجه به نقش کلیدی برنامه‌های تعمیراتی در حفظ ظرفیت مخازن، حداقل‌سازی هزینه‌های تعمیرات مخازن همچون کاهش زمان تعمیرات مخزن در تثبیت استمرار تولید نفت‌خام و جلوگیری از نوسانات روزمره ناشی از مشکلات عملیاتی تولید و همچنین حفظ ظرفیت ذخیره‌سازی در صادرات نفت خام، نقش راهبردی دارد. در گذشته شیوه برنامه‌ریزی پروژه بیشتر مبتنی بر دیدگاه و مهارت‌های مدیریت پروژه بوده و به اصطلاح با رویکردهای ابتکاری و سرانگشتی این امر صورت می‌گرفته است [۱۲].

در اغلب تحقیقات فرض می‌شود که فعالیت‌ها در یک شرایط ایده‌آل انجام می‌شود و زمان‌بندی می‌تواند به‌طور دقیق مطابق با برنامه، اجرا شود [۲۰]. در عمل، وجود عوامل غیرقابل‌کنترل نظیر نبود دسترسی به منابع، اضافه شدن فعالیت‌های پیش‌بینی‌نشده به پروژه و شرایط بد آب و هوایی منجر به عدم تحقق اهداف پروژه در مدت‌زمان موردنظر می‌شود که این امر می‌تواند هزینه‌های قابل‌توجهی را به پروژه وارد نماید [۲]. ازاین‌روی، اگر در برنامه‌ریزی‌های پروژه، سناریوها پیش‌بینی شود و برنامه‌ریزی‌ها بر مبنای این سناریوها، انجام پذیرد، می‌توان تا حد از تأثیر عوامل غیرقابل‌کنترل بر پروژه کاست [۱۳]. رویکرد جدید، رویکرد بهینه‌سازی استوار است. در این رویکرد، جواب‌هایی نزدیک به بهینه با احتمال بالایی مدنظر می‌باشند که در مقابل تغییرات مقاوم می‌باشند. در واقع، با اندکی صرف‌نظر از مقدار تابع هدف، موجه بودن جواب حاصل از سناریوها تضمین می‌شود [۲۷]. ازاین‌روی، در این تحقیق از رویکرد بهینه‌سازی استوار به‌منظور مواجهه با تغییرات در سناریوها استفاده می‌شود تا تأثیر حالات وقوع وقایع در پروژه با صحت برنامه‌ریزی‌ها به حداقل برسد.

در شرایط واقعی برخی پارامترهای مسئله عدم قطعیت دارند که در نظر نگرفتن این عدم قطعیت منجر به کاهش اعتبار مدل می‌گردد. عدم قطعیت در پروژه‌های عمرانی نیز نقش پررنگی داشته و بر روی برنامه‌ریزی‌های مدیران پروژه تأثیرگذار است [۱۷]. مواردی نظیر تغییرات قیمت مواد، تغییرات هزینه‌های پروژه، تغییر در زمان اجرای فعالیت‌ها نسبت به آنچه برنامه‌ریزی‌شده بود و مواردی از این‌دست را می‌توان ازجمله مهم‌ترین جنبه‌های تأثیر عدم قطعیت در پروژه‌های عمرانی دانست [۶].

وقفه‌های تقویمی نظیر تعطیلات رسمی و مناسبت‌ها که در آن پیمانکار ملزم به تعطیل نمودن پروژه است از دیگر مسائلی است که لازم است در مدل‌سازی مسئله‌ی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه در نظر گرفته شود تا برنامه‌ریزی بیشترین تطابق را با شرایط دنیای واقعی داشته باشد. بحث سناریوهای هزینه و زمان که می‌تواند در پروژه‌های عمرانی اتفاق بیفتد نیز یکی از نکاتی است که در پیشینه موضوع مورد غفلت واقع شده است. تحقیق حاضر با درنظر گرفتن سناریوهای وقوع هزینه و زمان در پروژه، رویکرد استوار به منظور حداقل نمودن تاثیرات این سناریوها بر روی جواب‌های مدل برنامه‌ریزی ریاضی مقاوم شوند. بنابراین، با تمرکز بر روی تعمیرات اساسی مخازن نفت خام و شرایط واقعی این تعمیرات به ارائه مدل یکپارچه و استوار برای زمان‌بندی پروژه با منابع محدود با در نظر گرفتن محدودیت‌های تأمین مواد جهت حداقل نمودن هزینه‌ها پرداخته می‌شود.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

با گذشت زمان و بزرگ شدن حجم پروژه‌ها و همچنین متنوع شدن ابزارهای مورد استفاده به منظور تکمیل یک پروژه، لزوم تغییر شیوه‌های برنامه‌ریزی پروژه از سنتی به علمی به‌خوبی محسوس است. در پروژه‌های عظیم یا در اصطلاح مگا پروژه‌هایی نظیر ساخت پالایشگاه، فرودگاه، سفینه‌ی فضایی، ماهواره، ساخت مترو و نظایر آن، لزوم ایجاد طرح و برنامه‌ی زمان‌بندی مناسب به‌نحوی که از منابع محدود و با ارزش موجود نهایت بهره‌برداری شود تا اهداف پروژه مطابق سه ضلع مثلث پروژه یعنی زمان، هزینه و کیفیت تحقق یابد [۲۰].

در رویکردهای کلاسیک نظیر زنجیره بحرانی فرض بر این است که منابع پروژه به‌صورت نامحدود در دسترس می‌باشند. پس از آن، فرض محدودیت این منابع هم به مدل اضافه شدکه این‌گونه مسائل در دسته برنامه‌ریزی پروژه با محدودیت منابع قرار دارد [۱۶].

در شرایط واقعی محدودیت‌ها و واقعیاتی وجود دارند که نادیده انگاشتن آن‌ها در مدل‌سازی می‌تواند از کاربردی بودن مدل بکاهد. بنابراین در این تحقیق با بررسی و انتقال تجربیاتی که از اجرای پروژه‌های تعمیرات مخازن سقف شناور حاصل‌شده‌اند، چند مبحث جدید و مهم را وارد حوزه موضوع می‌شود. این مباحث شامل تجدیدناپذیری مواد، فسادپذیر بودن و همچنین فرض تخفیف در منابع پروژه، عدم قطعیت و وقفه‌های تقویمی است.

در مباحث زمان‌بندی و کنترل پروژه، انواع مختلفی از منابع وجود دارند. مواد تجدیدناپذیر آن دسته از منابعی هستند که با اتمام یک فعالیت، مقدار منابع تخصیص داده‌شده به آن به اتمام می‌رسند و دیگر از آن مقدار مشخص، نمی‌توان استفاده مجدد نمود [۲۱]. گچ،

سیمان و اقلام مصرفی در پروژه را می‌توان از جمله این دسته از منابع نام برد. یکی از منابع تجدیدناپذیر، منابع فاسدشدنی می‌باشند [۱۴]. منابع فاسدشدنی آن دسته از اقلامی می‌باشند که پس از طی مدتی کوتاه دچار فساد شده و دیگر قابل‌استفاده نیستند. برای مثال بتن مخلوط شده برای پروژه‌ی ساختمانی یک منبع فاسدشدنی است [۹].

یکی دیگر از واقعیات فعالیت‌های تجاری و کسب‌وکار، تخفیف است. بسیاری از فروشندگان به ازای خرید در حجم معینی، به خریداران خود قیمت‌های پایین‌تری نسبت به قیمت استاندارد آن ارائه می‌دهند. ازاین‌روی، در برنامه‌ریزی پروژه‌های با منابع محدود، یکی از تصمیمات مهمی که باید توسط مدیریت اتخاذ شود آن است که مواد را در چه بازه‌های زمانی و در چه بازه‌های مقداری خریداری نماید تا ضمن این که نیاز پروژه به منابع تأمین می‌شود، پروژه از تخفیفاتی که تأمین‌کنندگان ارائه می‌دهند بهره‌مند شود [۲۳].

زمان‌بندی پروژه به‌صورت وسیع و با موضوعات مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است و انجام مطالعات در این زمینه رشد فراوانی دارد. همین امر موجب شده است تا مطالعاتی به دسته‌بندی این مسائل بپردازد. به‌طورکلی مطالعات در زمینه زمان‌بندی پروژه را براساس خصوصیات آن به سه دسته عمده: براساس خصوصیات منابع، براساس خصوصیات فعالیت‌ها، براساس معیار عملکرد و هدف مسئله تقسیم‌بندی می‌کنند [۱۰]. به همین منظور خصوصیات یک زمان‌بندی را با یک عبارت شامل سه پارامتر $\alpha|\beta|\gamma$ نشان می‌دهند که به ترتیب α برای خصوصیات منابع، β برای خصوصیات فعالیت‌ها و γ به‌منظور نشان دادن معیار بهینگی مسئله می‌باشند [۲۰].

ادغام مسئله زمان‌بندی پروژه هم‌زمان با سفارش منابع، در مدل ادغامی شامل برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد مانند لیست مواد، زمان انتظار مواد در راه، زمان‌بندی سطوح موجودی و روش مسیر بحرانی توسعه داده شد[۱].

برونی و همکاران و برتسیماس و سیم در ارائه رویکرد استوار برای بهینه‌سازی مسئله زمان‌بندی پروژه با منابع محدود با در نظر گرفتن عدم قطعیت در زمان فعالیت‌های پروژه پرداختند [۳] . آن‌ها در این تحقیق تمرکز خود را روی زمان‌بندی تدارکات پروژه قرار داده و زمان انجام فعالیت‌ها در تدارکات پروژه با عدم قطعیت لحاظ شده است. لاسزکیک (۲۰۱۹) در مدلی برنامه‌ریزی زمان انجام فعالیت‌ها در پروژه با منابع محدود و منابع چند قابلیتی ارائه کرد [۱۵]. حبیبی و همکاران مدلی برای زمان‌بندی پروژه و سفارش‌دهی مواد با در نظر گرفتن فرض تخفیف، تجدیدپذیری مواد و شاخص‌های پایداری ارائه کردند [۱۰]. تبریزی در تحقیقی به مسئله یکپارچه زمان‌بندی پروژه و تأمین مواد با در نظر گرفتن تخفیف، تجدیدپذیر بودن منابع و محدودیت‌های زیست‌محیطی پرداخت [۲۳]. تریشلر و همکاران در تحقیقی به ارائه رویکرد فراابتکاری ترکیبی برای حل مسئله‌ی زمان‌بندی پروژه در شرایط وجود محدودیت در منابع و با در نظر گرفتن انعطاف موجود در منابع پروژه پرداختند [۲۴]. تبریزی و قادری در تحقیقی به ارائه مدل دو هدفه برای برنامه‌ریزی هم‌زمان و تأمین مواد در پروژه‌های با منابع محدود در شرایط تخفیف قیمت کلی مواد و وجود منابع تجدیدپذیر پرداختند [۲۱].

تابع هدف مدل بیرجندی، موسوی و تبریزی و قادری، حداقل‌سازی کل هزینه‌های موردنیاز برای تکمیل پروژه یک هدفه بود [۲۱] و [۵]. تروجت و همکاران مدلی با هدف حداقل کردن زمان اتمام پروژه موردبررسی قرار دادند. برخی مدل‌ها دارای دو هدف بودند [۲۶]. لاسزکیک حداقل کردن زمان اتمام فعالیت‌ها و همچنین حداقل نمودن هزینه‌های پروژه را اهدافی متضاد در مدل‌سازی مسئله مدنظر قرار داد [۱۵]. مدل‌های سه هدفه را می‌توان دسته دیگری از مدل‌ها دانست. حبیبی و همکاران سه هدف را اهداف مدل برنامه‌ریزی ریاضی خود در نظر گرفتند: هدف اول حداکثر نمودن ارزش خالص فعلی جریانات نقدی در پروژه، هدف دوم حداکثرسازی امتیاز پروژه از منظر شاخص‌های زیست‌محیطی و هدف سوم نیز حداکثرسازی امتیاز پروژه از منظر شاخص‌های اجتماعی بود[۱۰]. مدل زورقی و همکاران نیز دارای سه هدف بود که شامل: حداقل کردن زمان اتمام پروژه، حداکثر نمودن استواری پروژه از طریق حداکثر کردن زمان‌های شناوری موجود در شبکه و همچنین حداقل کردن زمان اتمام فعالیت‌ها می‌باشد [۲۸] .

برخی تحقیقات از رویکرد ابتکاری برای حل مسئله استفاده کردند که از این جمله می‌توان به بیرجندی و موسوی اشاره نمود که رویکردی ابتکاری دومرحله‌ای را برای حل مسائل عددی پیشنهاد کردند [۶]. رویکردهای فراابتکاری ازجمله دیگر رویکردهای مورداستفاده در پیشینه موضوع است. در این راستا، لاسزکیک و تبریزی از رویکرد فراابتکاری ژنتیک چندهدفه‌ی نامغلوب یا NSGA II بهره گرفت [۲۲] و [۱۵]. حبیبی و همکاران از رویکردهای بهینه‌سازی ازدحام ذرات PSO و ژنتیک چندهدفه NSGA II استفاده کرد [۱۰]. زورقی و همکاران رویکردهای فراابتکاری ژنتیک چندهدفه NSGA II، بهینه‌سازی ازدحام ذرات MOPSO، الگوریتم تکاملی پارتوی تقویت‌شده SPEA II و الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه MOEAD را مورداستفاده نمودند [۲۸]. معدودی از تحقیقات

نیز از رویکرد دقیق برای حل مسئله استفاده کردند که رویکرد تجزیه محدودیت‌ها [۷ ؛ ۱۶] و رویکرد محدودیت اپسیلون [۲۱] از آن جمله می‌باشند.

درنهایت، یکی دیگر از دسته‌بندی‌های تحقیقات گذشته را می‌توان در عوامل در نظر گرفته‌شده با آنان معرفی نمود که این دسته‌بندی در جدول ۱ قابل‌مشاهده می‌باشد.

جدول ۱. خلاصه تحقیقات گذشته از منظر عوامل

نویسنده اصلی	استوار	تأمین مواد	وقفه تقویمی	عدم قطعیت	تخفیف	فاسدشدنی بودن مواد
بیرجندی (۲۰۱۹)				✓		✓
آرخینپوف (۲۰۱۹)						
مرادی و همکاران (۲۰۱۹)	✓			✓		
بالوکا و کوهن (۲۰۱۹)	✓			✓		✓
لاسزکیک (۲۰۱۹)		✓				✓
حبیبی و همکاران (۲۰۱۹)		✓			✓	
برونی (۲۰۱۸)	✓			✓		
جوزف جیگر (۲۰۱۸)				✓		
تبریزی (۲۰۱۸)		✓			✓	✓
زورقی و همکاران (۲۰۱۷)		✓		✓		✓
لیو و همکاران (۲۰۱۷)				✓		
برونی و همکاران (۲۰۱۷)	✓			✓		
تبریزی و قادری (۲۰۱۶)		✓			✓	
آستا و همکاران (۲۰۱۶)				✓		
که و همکاران (۲۰۱۵)	✓	✓		✓		✓
چالشتاری و شادرخ (۲۰۱۱)		✓				✓
تحقیق حاضر	✓	✓	✓	✓	✓	✓

۳. روش‌شناسی

در این بخش به تشریح مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای مسئله تحقیق پرداخته می‌شود. لذا ابتدا به تشریح مسئله تحقیق پرداخته و سپس اجزای مدل معرفی می‌گردند و در پایان نیز، نسبت به تشریح مدل و توضیح در خصوص اجزای آن اقدام می‌شود.

تشریح مسئله. در این پروژه هم‌زمان دو مسئله‌ی زمان‌بندی پروژه با منابع محدود و برنامه‌ریزی سفارش مواد موردمطالعه قرار می‌گیرد. در تعمیرات اساسی مخازن نفت و نیز سایر پروژه‌ها و در یک دسته‌بندی کلی، منابع موردنیاز در پروژه به دو دسته‌ی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم می‌شوند. منابع تجدیدپذیر مانند انواع ماشین‌آلات و نیروی انسانی فقط در اجرای فعّالیّت‌ها، قرار می‌گیرند؛ بدین معنا که پس از انجام فعّالیّت، آزاد شده و می‌توان از آن‌ها برای اجرای سایر فعّالیّت‌ها استفاده نمود. در پروژه موردمطالعه تعمیرات مخازن، ماشین‌آلاتی مانند جرثقیل، دیزل ژنراتور و کمپرسور و نیروهای انسانی مانند جوشکار، برشکار و تیم مهندسی از جمله منابع تجدیدپذیر پروژه در نظر گرفته شده‌اند. منابع تجدیدناپذیر مانند مصالح ساختمانی حین اجرای فعالیّت‌ها مصرف شده و دیگر قابل استفاده برای سایر فعّالیّت‌ها نیستند. به این دسته از منابع، اصطلاح منابع مصرفی نیز اطلاق می‌شود و اصولاً دوره‌ی مصرف دارند؛ بدین معنا که پس از آن دوره، فاسد شده و دیگر قابل‌استفاده نمی‌باشند. در نمونه موردمطالعه، سیمان، چسب و مواد شیمیایی، رنگ و سایر پوشش‌های مورداستفاده همچنین مواد غذایی موردنیاز کارکنان از جمله مواردی هستند که در دسته‌بندی منابع فاسدشدنی هستند که عدم توجه به برنامه زمانی در خصوص استفاده از آنها می‌تواند موجب ضرر و زیان‌های جبران‌ناپذیری مالی و زمانی گردد.

در نمونه واقعی که موردمطالعه قرار گرفت برای هر پروژه چند تأمین‌کننده‌ی منابع مصرفی وجود دارد. هر تأمین‌کننده توانایی تأمین هر قلم از این منابع را داشته و به ازای مقادیر متفاوت خرید، تخفیف‌هایی را به‌صورت تخفیف کلّی ارائه می‌کنند.

این مسئله در محیط نادقیق موردمطالعه قرار می‌گیرد؛ بدین معنا که علاوه بر قیمت‌های خرید مواد، هزینه‌های سفارش‌دهی و مدّت زمان اجرای هرکدام از فعّالیّت‌ها نیز به‌صورت پارامترهای نادقیق در نظر گرفته شده‌اند. بر طبق تحقیق چاکرابورتی ، به‌دلیل وجود موارد غیرقابل‌پیش‌بینی مانند وضعیّت آب و هوا و خرابی ماشین‌آلات، زمان اجرای فعّالیّت‌ها به سناریوهایی مجزّا با احتمال وقوع مشخّص تفکیک می‌شود که در هر سناریو مدّت زمان اجرای هر فعّالیّت به‌طور قطعی مشخّص می‌باشد [۷]. همچنین قیمت‌های خرید و هزینه‌ی سفارش‌دهی مواد توسّط اعداد نادقیق فازی ذوزنقه‌ای تعیین می‌گردد.

مفروضات در نظر گرفته‌شده در این مسئله برای مدل‌سازی به شرح ذیل می‌باشند:

- حد بالای زمان تکمیل پروژه مشخّص می‌باشد و هرگونه تأخیر (تعجیل) در تحویل پروژه، مستوجب جریمه (پاداش) خواهد بود.
- بنا به دلایل غیرقابل‌پیش‌بینی مانند شرایط نامساعد آب و هوا، شرایط عملیاتی صادرات نفت خام و اختلال در ماشین‌آلات، برای زمان اجرای هر فعّالیّت چند سناریو با احتمال وقوع مشخّص درنظر گرفته شده است.
- قیمت خرید واحد هرکدام از مواد مصرفی در هرکدام از بازه‌های تخفیف، با اعداد فازی ذوزنقه‌ای نشان داده می‌شود.
- هزینه سفارش‌دهی هرکدام از مواد مصرفی با اعداد فازی ذوزنقه‌ای تعیین می‌شود.
- مقدار موجود هرکدام از منابع تجدیدپذیر در هر دوره‌ی زمانی از حدّ بالایی فراتر نمی‌رود.
- هر فعّالیّت تنها زمانی اجازه‌ی شروع دارد که اجرای تمامی منابع (تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر) فراهم باشد.
- وقفه در اجرای هیچ‌کدام از فعّالیّت‌ها مجاز نیست.
- وقفه‌های تقویمی، فعّالیّت‌هایی با طول زمانی مشخّص و میزان نیازمندی به منابع برابر صفر در مدل لحاظ شده‌اند.
- برای هر فعّالیّت تنها یک‌بار سفارش مواد مصرفی آن فعّالیّت مجاز می‌باشد.
- خرید هرکدام از موادّ مصرفی از هر تأمین‌کننده دارای تابع تخفیف کلّی مخصوص به خود می‌باشد.
- موادّ مصرفی دارای دوره‌ی مصرف می‌باشند به‌نحوی که با گذشت تاریخ‌مصرف هرکدام، فاسد شده و دیگر قابل‌استفاده نمی‌باشد.
- اختلالات در تسهیلات، شرایط جوّی و سایر عوامل محیطی را می‌توان، فاکتورهای سازنده‌ی سناریوهای عدم قطعیّت در نظر گرفت که درنهایت سناریوهایی با احتمال وقوع مشخّص را می‌سازند به‌نحوی که در هر سناریو، مدّت زمان اجرای هر فعّالیّت پروژه مشخّص می‌باشد.

اجزای مدل

نمادها: در این قسمت نمادهای مسئله معرّفی می‌شوند.

$i, j \in \{0,1,2,...,n+1\}$: فعّالیّت‌های پروژه (0 و $n+1$ معرّف شروع و ختم پروژه می‌باشند)

$l \in \{1,2,3,...,L\}$: منابع تجدیدپذیر

$f \in \{1,2,3,...,\mathrm{F}\}$: منابع تجدیدناپذیر (موادّ مصرفی)

$t, \tau \in \{1,2,3,...,\mathrm{T}\}$: دوره‌های زمانی اجرای پروژه (نماد T با درنظرگرفتن زمان اجرای فعّالیّت‌های مسیر بحرانی برابر ماکزیمم زمان اجرا حاصل می‌شود)

$\mathrm{s} \in \{1,2,3,...,S\}$: تأمین‌کنندگان موادّ مصرفی

$m \in \{1,2,3,...,M\}$: سناریوهای زمان اجرای فعّالیّت‌ها

پارامترها: در این قسمت پارامترهای به‌کاررفته در مدل ارائه می‌شوند.

K_{fs} : تعداد سطوح تخفیف ارائه‌شده توسّط تأمین‌کننده‌ی s برای ماده‌ی مصرفی f .

$pr(i)$: پیش‌نیازهای فعّالیّت i.

DT : زمان تحویل پروژه.

d_i^m : مدّت زمان اجرای فعّالیّت i در صورت وقوع سناریوی m.

r_{il} : مقدار منبع تجدیدپذیر l موردنیاز فعّالیّت i به‌ازای هر دوره‌ی زمانی اجرای فعّالیّت.

u_{if} : مقدار منبع مصرفی f موردنیاز اجرای فعّالیّت i.

$R_l^{\max}$: حدّاکثر مقدار منبع تجدیدپذیر l موجود در هر دوره‌ی زمانی.

$\tilde{A}_{fs}$: هزینه‌ی سفارش‌دهی منبع مصرفی f از تأمین‌کننده‌ی s.

$\tilde{H}_f$: هزینه‌ی نگه‌داری واحد منبع مصرفی f به ازای یک دوره‌ی زمانی.

P : جریمه‌ی دیرکرد تحویل پروژه به‌ازای یک دوره‌ی زمانی.

UC : جریمه‌ی نقض محدودیّت پیش‌نیازی به میزان یک واحد زمانی.

B : پاداش زودکرد تحویل پروژه به‌ازای یک دوره‌ی زمانی.

$\tilde{C}_{fks}$: هزینه‌ی خرید یک واحد منبع مصرفی f در سطح تخفیف kام از تأمین‌کننده‌ی s.

γ_{fks} : حدّ بالای مقدار سفارش منبع مصرفی f در سطح تخفیف kام از تأمین‌کننده‌ی s.

EX_f : دوره‌ی مصرف منبع مصرفی f.

$\Pr ob(m)$: احتمال وقوع هرکدام از سناریوهای معرّف زمان اجرای فعّالیّت‌ها.

متغیّرها: در این قسمت متغیّرهای مدل ارائه می‌شوند.

TC : هزینه‌ی کل اجرای پروژه

Δ_{ij}^m : متغیّر نامنفی معرّف میزان نقض رابطه‌ی پیش‌نیازی بین جفت فعّالیّت i و j وقتی مدّت زمان اجرای فعّالیّت i برابر سناریوی mام می‌شود.

Y_{fkst} : متغیّر باینری، وقتی از منبع مصرفی f در سطح تخفیف kام از تأمین‌کننده‌ی s در دوره‌ی زمانی t سفارش داده شود برابر یک می‌شود.

Z_{fksit} : متغیّر باینری، وقتی از منبع مصرفی f در سطح تخفیف kام از تأمین‌کننده‌ی s در دوره‌ی زمانی t و برای فعّالیّت i سفارش داده شود برابر یک می‌شود.

X_{it} : متغیّر باینری، وقتی فعّالیّت i در دوره‌ی زمانی t شروع شود برابر یک می‌شود.

مدل قطعی مسئله. مدل ریاضی مسئله در حالت قطعی به شرح روابط ۱ – ۸ می‌باشد.

$$Min\ TC = \sum_f\sum_s\sum_t\sum_{k=1}^{K_{fs}}\tilde{A}_{fs}Y_{fkst} + \sum_t\sum_f\sum_i\tilde{H}_f\left[\sum_{\tau=t-EX_f}^{t}\sum_s\sum_{k=1}^{K_{fs}}Z_{fksi\tau} - u_{if}\sum_{\tau=1}^{t}X_{i\tau}\right] + \sum_t\sum_f\sum_s\sum_i\sum_{k=1}^{K_{fs}}\tilde{C}_{fks}u_{if}Z_{fksit}$$
$$+\sum_{t=DT+1}^{T}P\left(t-DT\right)X_{(n+1)t} + UC\sum_m\sum_i\sum_j\Pr ob(m)\Delta_{ij}^m - \sum_{t=1}^{DT-1}B\left(DT-t\right)X_{(n+1)t} \quad (۱)$$

$$\sum_t X_{it} = 1\ ;\forall i \quad (۲)$$

$$\sum_t\left(d_i^m - t\right)X_{it} - \Delta_{ij}^m \le \sum_t tX_{jt}\ ;\forall j,m,\forall i\in \Pr(j) \quad (۳)$$

$$\sum_i\sum_t r_{il}X_{it} \le R_l^{\max}\ ;\forall l \quad (۴)$$

$$\gamma_{f(k-1)s}Y_{fkst} \le \sum_i u_{if}Z_{fksit} \le \gamma_{fks}Y_{fkst}\ ;\forall f,s,t,\forall k\le K_{fs} \quad (۵)$$

$$\sum_{k=1}^{K_{fs}}Y_{fkst} \le 1\ ;\forall f,s,t \quad (۶)$$

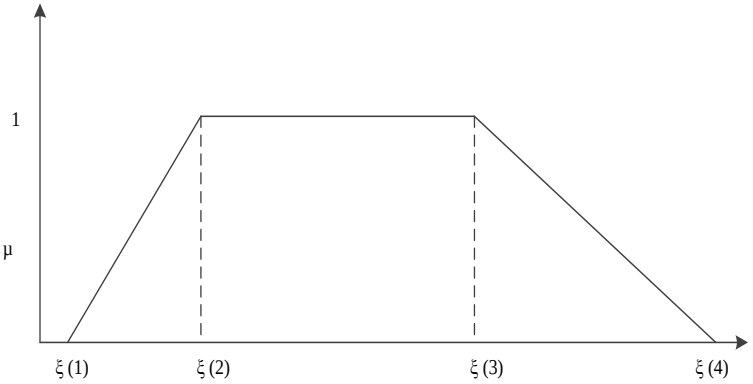
$$X_{it} \le \sum_{\tau=t-EX_f}^{t}\sum_s\sum_{k=1}^{K_{fs}}Z_{fksit}\ ;\forall f,i,t \quad (۷)$$

$$Y_{fkst}, Z_{fksit}, X_{it} \in \{0\ or\ 1\}\ ;\forall i, f, k, s, t$$
$$\Delta_{ij}^m \ge 0\ ;\forall i, j, m \quad (۸)$$

رابطه ۱، تابع هدف مسئله را نشان می‌دهد و برابر مجموع هزینه‌ها (سفارش‌دهی، نگه‌داری، خرید و جریمه‌ی تأخیر در تحویل پروژه) منهای پاداش تعجیل در تحویل پروژه می‌باشد. رابطه‌ی ۲ اجرای تمامی فعّالیّت‌های پروژه را نشان می‌دهد. رابطه‌ی ۳ رعایت روابط پیش‌نیازی را تضمین می‌کند. رابطه‌ی ۴ رعایت سقف استفاده از منابع تجدیدپذیر را نشان می‌دهد. روابط ۵ و ۶ تضمین می‌کنند که تنها در یکی از سطوح تخفیف از هر منبع مصرفی سفارش صورت گیرد. رابطه‌ی ۷ اجرای هر فعّالیّت را منوط به تأمین منابع مصرفی آن فعّالیّت می‌داند. رابطه‌ی ۸ دامنه‌ی مقادیر متغیّرها را نشان می‌دهد.

استوارسازی مدل. با عنایت به روابط ۱– ۸ تنها رابطه‌ی دارای پارامترهای نادقیق، رابطه‌ی ۱ می‌باشد که پارامترهای نادقیق فازی ذوزنقه‌ای را دارا می‌باشد. لذا برای استوارسازی، تنها توجّه به این رابطه کفایت می‌کند. از مهم‌ترین رویکردهای استوارسازی، مدل‌های سناریویی مدل مالوی می‌باشد. رویکرد مالوی زمانی کاربرد دارد که سناریوهای وقوع، چندان اشتراکی با هم نداشته باشند امّا در این مورد ممکن است بیش از نیمی از فعّالیّت‌ها بین دو یا چند سناریو، زمان وقوع یکسان داشته باشند؛ لذا تا لحظه اجرای آخرین فعّالیّت هر سناریو نمی‌توان نوع سناریو را تعیین و برنامه‌ریزی مدوّنی ارائه نمود. به این دلیل نیز امکان استفاده از رویکرد مالوی در عمل معنا نخواهد داشت.

فرض کنید پارامتر نادقیقی مانند $\tilde{\xi}=(\xi(1),\xi(2),\xi(3),\xi(4))$ یک عدد فازی ذوزنقه‌ای باشد، تابع عضویّت امکانی ($\mu(\tilde{\xi})$) این پارامتر مطابق شکل ۱ است [21]. این تابع، امکان وقوع هرکدام از مقادیر پارامتر را نشان می‌دهد.



شکل ۱. تابع عضویت امکانی یک عدد فازی ذوزنقه‌ای

با توجه به فرض فوق ، معادل استوار امکانی رابطه‌ی ۱ به‌شرح رابطه‌ی ۹ خواهد شد[۲۱].

$$Min\ TC = Avg + \gamma\left(TC^{\max} - TC^{\min}\right)$$

$$Avg = \sum_f\sum_s\sum_t\sum_{k=1}^{K_{fs}}\left(\frac{A^1_{fs}+A^2_{fs}+A^3_{fs}+A^4_{fs}}{4}\right)Y_{fkst} + \sum_t\sum_f\sum_i\left(\frac{H^1_f+H^2_f+H^3_f+H^4_f}{4}\right)\left[\sum_{\tau=t-EX_f}^{t}\sum_s\sum_{k=1}^{K_{fs}}Z_{fksi\tau} - u_{if}\sum_{\tau=1}^{t}X_{i\tau}\right]$$
$$+\sum_t\sum_f\sum_s\sum_i\sum_{k=1}^{K_{fs}}\left(\frac{C^1_{fks}+C^2_{fks}+C^3_{fks}+C^4_{fks}}{4}\right)u_{if}Z_{fksit} + \sum_{t=DT+1}^{T}P(t-DT)X_{(n+1)t} + UC\sum_m\sum_i\sum_j \mathrm{Prob}(m)\Delta^m_{ij} - \sum_{t=1}^{DT-1}B(DT-t)X_{(n+1)t} \qquad (۹)$$

$$TC^{\max} = \sum_f\sum_s\sum_t\sum_{k=1}^{K_{fs}}A^4_{fs}Y_{fkst} + \sum_t\sum_f\sum_i H^4_f\left[\sum_{\tau=t-EX_f}^{t}\sum_s\sum_{k=1}^{K_{fs}}Z_{fksi\tau} - u_{if}\sum_{\tau=1}^{t}X_{i\tau}\right] + \sum_t\sum_f\sum_s\sum_i\sum_{k=1}^{K_{fs}}C^4_{fks}u_{if}Z_{fksit}$$

$$TC^{\min} = \sum_f\sum_s\sum_t\sum_{k=1}^{K_{fs}}A^1_{fs}Y_{fkst} + \sum_t\sum_f\sum_i H^1_f\left[\sum_{\tau=t-EX_f}^{t}\sum_s\sum_{k=1}^{K_{fs}}Z_{fksi\tau} - u_{if}\sum_{\tau=1}^{t}X_{i\tau}\right] + \sum_t\sum_f\sum_s\sum_i\sum_{k=1}^{K_{fs}}C^1_{fks}u_{if}Z_{fksit}$$

در این رابطه پارامتر γ، هزینه‌ی واحد اختلاف بین $TC^{\max}$ و $TC^{\min}$ می‌باشد.

بنابراین مدل استوار مسئله به شرح روابط ۲–۹ می‌باشد.

رویکرد حل. مسائل زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع در دسته مسائل بهینه‌سازی NP-hard قرار می‌گیرند که در عمل یکی از سخت‌ترین مسائل کلاسیک تحقیق در عملیات و مدیریت پروژه‌هاست [۲]. لذا با توجه به این‌که مدل تحقیق حاضر نسبت به مدل‌های

کلاسیک زمان‌بندی پروژه با منابع محدود دارای متغیرها و محدودیت‌های بیشتری است، دارای پیچیدگی زمانی بیشتری بوده و لذا این مدل نیز در دسته مسائل بهینه‌سازی NP-hard قرار می‌گیرد. حل این مدل‌ها برای مسائل عددی در اندازه‌های بزرگ و نزدیک به شرایط دنیای واقعی بسیار زمان‌بر بوده و در برخی موارد حل آن‌ها با نرم‌افزارهای تجاری غیرممکن می‌باشد [۲]. ازاین‌روی، به‌منظور حل این مدل در این تحقیق از رویکرد فراابتکاری برای کاهش زمان حل استفاده می‌شود. روش‌های حل شامل استفاده از سالور سیپلکس و الگوریتم ژنتیک ترکیب با سالور سیپلکس می‌باشد. به‌عبارت ساده‌تر در روش پیشنهادی دوّم زمان‌بندی پروژه با کمک الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی سفارش مواد با توجّه به برنامه‌ی زمانی تولیدی هر جواب از الگوریتم ژنتیک، توسّط سالور سیپلکس صورت می‌گیرد.

الگوریتم ژنتیک. این الگوریتم، تکنیک جستجو در علم رایانه برای یافتن راه‌حل تقریبی برای بهینه‌سازی مدل، ریاضی و مسائل جست‌وجو است. الگوریتم ژنتیک نوع خاصی از الگوریتم‌های تکاملی است که از تکنیک‌های زیست‌شناسی فرگشتی مانند وراثت، جهش زیست‌شناسی و اصول انتخابی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌شود [۱۸]. الگوریتم‌های ژنتیک اغلب گزینه خوبی برای تکنیک‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون هستند. مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک یک تکنیک برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی الگوی حل مسئله استفاده می‌کند [۲۵]. مسئله‌ای که باید حل شود ورودی‌هایی دارد که طی فرایند الگوبرداری شده از تکامل ژنتیکی به راه‌حل‌ها تبدیل می‌شود سپس راه‌حل‌ها به مثابع کاندیداها باتابع برازش یا تابع برازندگی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و چنانچه شرط خروج مسئله فراهم شده باشد، الگوریتم خاتمه می‌یابد. به‌طورکلی یک الگوریتم مبتنی بر تکرار است که اغلب بخش‌های آن به‌صورت فرایندهای تصادفی انتخاب می‌شوند که این الگوریتم‌ها از بخش‌های تابع برازش، نمایش، انتخاب و تغییر تشکیل می‌شوند.

الگوریتم‌های ژنتیک یکی از الگوریتم‌های جست‌وجوی تصادفی است که ایده آن برگرفته از طبیعت می‌باشد. الگوریتم‌های ژنتیک برای روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی در حل مسائل خطی، محدب و برخی مشکلات مشابه بسیار موفق بوده‌اند ولی الگوریتم‌های ژنتیک برای حل مسائل گسسته و غیرخطی بسیار کاراتر می‌باشند. برای مثال می‌توان به مسئله فروشنده دوره‌گرد اشاره کرد. در طبیعت از ترکیب کروموزوم‌های بهتر، نسل‌های بهتری پدید می‌آیند. دراین بین گاهی اوقات جهش‌هایی نیز در کروموزوم‌ها روی می‌دهد که ممکن است باعث بهتر شدن نسل بعدی شوند. الگوریتم ژنتیک نیز با استفاده از این ایده اقدام به حل مسائل می‌کند.

گام‌های این الگوریتم به‌صورت ذیل می‌باشد [۹].

۱. ایجاد جمعیت تصادفی و ارزیابی آن‌ها.
۲. انتخاب والدین و ترکیب آن‌ها و ایجاد جمعیت فرزندان نوع یک با استفاده از عملگر تقاطع.
۳. انتخاب اعضای جمعیت و اعمال جهش روی آن‌ها و ایجاد جمعیت جهش‌یافتگان (فرزندان نوع دو) با استفاده از عملگر جهش.
۴. ادغام جمعیت اصلی، فرزندان و جهش‌یافتگان، مرتب‌سازی جمعیت شکل‌گرفته برحسب هزینه اعضا و به‌صورت صعودی و انتخاب جمعیت اصلی جدید (به تعداد اعضای جمعیت اولیه فرد اول از جمعیت مرتب‌شده).
۵. تکرار فرآیند از مرحله دوم درصورتی‌که شرایط توقف حاصل نشده باشد.
۶. پایان.

دلیل بهره‌گیری از این الگوریتم در این تحقیق، خواصی است که الگوریتم ژنتیک در حل مسائل دارد که برخی از آن‌ها به شرح ذیل هستند [۱۸]:

- یافته‌های محاسباتی و نظری در ادبیات موضوع تحقیق حکایت از آن دارد که الگوریتم ژنتیک در حل مسائل عددی که متغیرهای عددی صحیح باینری زیادی دارند، عملکرد بسیار مناسب‌تری از سایر رویکردها داشته است.
- این الگوریتم رویکرد جست‌وجوی ساده‌ای داشته و زمان پردازش نسبتاً مناسبی در غالب مسائل از خود نشان می‌دهد.
- انعطاف بالایی دارد و با هر نوعی از تابع هدف و محدودیت در فضای جست‌وجو فعالیت می‌کند.
- صرفاً از مقادیر تابع هدف به‌منظور اجرای بهینه‌سازی استفاده نموده و به همین دلیل حافظه‌ی کمتری را اشغال می‌نماید.

در ادامه، نحوه‌ی آماده‌سازی الگوریتم برای حل مسئله‌ی تحقیق تشریح می‌گردد.

نحوه آماده‌سازی الگوریتم

ایجاد جمعیت تصادفی: یکی از پارامترهای ورودی الگوریتم، تعداد افراد جمعیت جواب می‌باشد که این پارامتر با n_{pop} نشان داده می‌شود که در حقیقت به تعداد این پارامتر جواب اولیه تولید می‌شود.

ساختار جواب در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی: چون هدف این بخش از روش حل، تعیین زمان شروع اجرای هرکدام از فعّالیّت‌ها می‌باشد؛ ساختار جواب درواقع برداری سطری با تعداد درایه‌های برابر تعداد فعّالیّت‌های غیر موهومی (به‌جز فعّالیّت‌های شروع و پایان پروژه) بوده که هر درایه زمان شروع آن فعّالیّت را نشان می‌دهد. برای مثال پروژه‌ای با پنج فعّالیّت و زمان کلّ اجرا برابر ده روز را در نظر بگیرید؛ یک رشته جواب برای زمان‌بندی این پروژه به‌صورت شکل ۲ می‌باشد.

2	4	8	9	10

شکل ۲. یک رشته جواب برای پروژه‌ای با ۵ فعّالیّت و زمان اجرای ۱۰ روز

ارزیابی جواب‌ها: پس از تعیین برنامه‌ی زمان‌بندی پروژه، نوبت به برنامه‌ریزی سفارش منابع می‌رسد که این مورد با داشتن ستون زمان‌های شروع اجرای فعّالیّت‌ها توسّط نرم‌افزار GAMS انجام می‌پذیرد. بدین ترتیب خروجی سالور سیپلکس درواقع هزینه‌ی کلّ برنامه‌ی زمانی (TC) و متغیّر زمان سفارش از هر منبع برای هر فعّالیّت (z_{fi}^{t}) خواهد بود.

انتخاب اعضا: انتخاب اعضا در هر دو مرحله ۲ و ۳ از الگوریتم با استفاده از چرخه رولت انجام می‌گیرد. فرایند انتخاب با این شیوه به این صورت است که برحسب هزینه هرکدام از اعضای جمعیت یک احتمال انتخاب برای آن عضو محاسبه نموده و احتمال‌های تجمعی را محاسبه می‌نماییم. سپس یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه صفر تا یک تولید می‌کنیم. اولین عضو جمعیت که احتمال تجمعی انتخاب آن بزرگ‌تر از عدد تصادفی ایجادشده باشد انتخاب می‌گردد. لازم به توضیح است؛ در فاز دوم که عمل تقاطع انجام می‌گیرد نظر به اینکه دو عضو از جمعیت به‌عنوان والد انتخاب شوند، هر والد به‌طور جداگانه با مکانیزم چرخه رولت از بین تمامی اعضا انتخاب می‌شود و در هر بار استفاده از این مکانیزم یک عدد تصادفی منحصربه‌فرد ایجاد می‌شود. در این پژوهش احتمال انتخاب اعضا با روش بولتزمان به شرح رابطه‌ی ۱۰ محاسبه می‌شود:

C_i : هزینه‌ی عضو iام جمعیّت مرتّب شده به‌صورت صعودی هزینه‌ها.

P_i : احتمال انتخاب عضو iام جمعیّت مرتّب شده به‌صورت صعودی هزینه‌ها.

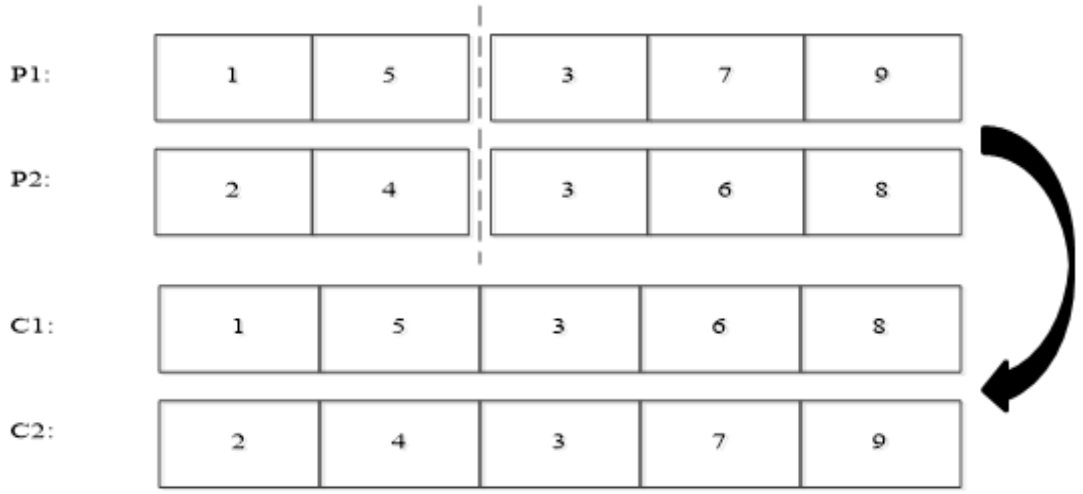
n : تعداد کلّ اعضای جمعیّت.

β : پارامتر فشار انتخاب، این پارامتر در بازه‌ی صفر و یک بوده و هر چه بزرگ‌تر باشد احتمال انتخاب افراد با هزینه‌ی کمتر بیشتر و هر چه کوچک‌تر باشد احتمال انتخاب افراد به سمت برابری با هم سوق پیدا می‌کند.

$$P_i = \frac{e^{-\beta C_i}}{\sum_{j=1}^{n} e^{-\beta C_j}} \qquad (۱۰)$$

عملگر تقاطع[1]: در این پژوهش از عملگر معروف تک نقطه‌ای استفاده کرده‌ایم. بدین معنا که یک نقطه به‌تصادف از بازه‌ی $[1,n]$ (n معرّف تعداد فعّالیّت‌های پروژه می‌باشد) انتخاب نموده و از آنجا دو رشته جواب والد را برش می‌زنیم. قسمت سمت چپ رشته‌ی والد اوّل با قسمت سمت راست رشته‌ی والد دوّم، رشته جواب فرزند اوّل و قسمت سمت چپ رشته‌ی والد دوّم با قسمت سمت راست رشته‌ی والد اوّل، رشته جواب فرزند دوّم را تشکیل می‌دهند. برای درک بهتر موضوع به شکل ۳ مراجعه بفرمایید.

[1] Crossover



شکل ۳. عملگر تقاطع تک نقطه‌ای

عملگر جهش[1]**:** عمل جهش روی یک عضو جمعیت اعمال شده و تنها یک فرزند نیز نتیجه می‌دهد. همانند انتخاب اعضا در عمل تقاطع انتخاب عضو برای اعمال این عملگر نیز با استفاده از چرخه رولت صورت می‌گیرد. این عملگر تنها یک پارامتر با نام μ دارد که نشان‌دهنده درصدی از درایه‌های قابل‌تغییر جواب انتخاب‌شده است که طی فرآیند جهش دچار تغییر می‌شوند. عمل جهش مورداستفاده در این پژوهش به ترتیب طی گام‌های زیر انجام می‌گیرد.

۱. تعیین تعداد درایه‌های قابل‌تغییر در موجود در بردار رشته جواب (n_μ)، این مورد طبق رابطه‌ی ۱۰ محاسبه می‌شود. در این رابطه n تعداد درایه‌های رشته جواب بوده و تابع $ceil(\ )$ حاصل‌ضرب را به بالا رند می‌کند.

$$n_\mu = ceil(\mu * n) \quad (۱۰)$$

۲. تعیین درایه‌های قابل‌تغییر از رشته جواب (SE)، این مورد نیز طبق رابطه‌ی ۱۱ محاسبه خواهد شد. در این رابطه تابع $randsample(\ )$ به‌صورت تصادفی از درایه‌های رشته جواب به تعداد n_μ درایه را انتخاب می‌کند.

$$SE = randsample(n, n_\mu) \quad (۱۱)$$

۳. تغییر مقدار درایه‌های انتخاب‌شده در این گام رخ می‌دهد. به‌عبارت ساده‌تر در این مرحله مقدار هر درایه‌ی انتخابی با یک عدد تصادفی در بازه‌ی $[1,800]$ جایگزین می‌شود.

تنظیم پارامترها. نوع عملکرد الگوریتم‌های متاهیوریستیک، وابستگی زیادی به مقدار مؤلفه‌های الگوریتم دارد. در همین راستا، رویکردهای متعددی به‌منظور تنظیم پارامترهای الگوریتم‌های متاهیوریستیک به‌منظور داشتن یک رویکرد حل قدرتمند وجود دارد. در این بخش از رویکرد تاگوچی به دلیل ویژگی‌های متمایزی مثل کاهش قابل‌توجه تعداد آزمایش‌ها و همچنین حفظ اطلاعات موردنیاز استفاده می‌شود. در این رویکرد، داشتن مؤلفه‌های متعامد بر یکدیگر، آن را قادر می‌سازد تا متغیرهای تصمیم متعددی را با استفاده از تعداد کمی از آزمایش‌ها درنظر بگیرد. حاجی پور در پژوهش خود به این نتیجه رسید که رویکرد تاگوچی موجب تنظیم بهینه‌ی سطوح پترتمترهای الگوریتم بر مبنای تحلیل‌های آماری و تحلیل حساسیت‌ها می‌شود. نتایج یافته شده برای هر یک از مجموعه پارامترها به شکل مقدار متوسط و واریانس ارکان الگوریتم ارائه می‌گردد. مقادیر متوسط و واریانس در پایان یکپارچه و معیاری واحد به اسم نرخ سیگنال نسبت به نویز و یا S/N[2] ارائه می‌شود[۱۱]. در این جا، سیگنال و نویز نشان‌دهنده‌ی مقادیر مناسب (متغیرهای پاسخ) و نامناسب (انحراف استاندارد) می‌باشند.

با حفظ چارچوب‌های اصل روش، یک نسخه‌ی تاگوچی چندهدفه در رابطه‌ی شماره ۱۲ در راستای محاسبه‌ی مقدار هدف y که متغیر کیفیت نام دارد ارائه شده به‌نحوی که y_i و n نشان‌دهنده‌ی ارزش پاسخ i امین تست و تعداد آرایه‌های متعامد هستند. علاوه بر این،

[1] Mutation
[2] Signal to Noise

مقادیر جواب‌های آزمایش‌ها توسط رابطه‌ی ۱۳ حساب می‌شوند. مهم‌ترین مزیت بهره‌گیری از این رابطه آن است که این معیار به‌طور هم‌زمان، واگرایی و همگرایی را در بطن خود در نظر می‌گیرد.

$$S/N = - 10 \log \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} y_i^2}{n}\right] \quad (۱۲)$$

$$y_i = \frac{MID}{DM};\ i = 1, 2, \ldots, n \quad (۱۳)$$

به‌منظور داشتن الگوریتمی قدرتمندتر و تخصصی‌تر، تنظیم پارامترها بر مبنای اندازه‌ی مسئله انجام پذیرفت. در این راستا، مسائل در سه گروه شامل مسائل کوچک، متوسط و بزرگ طبقه‌بندی شدند. مسائلی با داشتن ۲۰ فعالیت به‌عنوان مسائلی در ابعاد کوچک، مسائلی با حداکثر ۵۰ فعالیت به‌عنوان مسائلی در ابعاد متوسط و مسائلی با بیشتر از ۵۰ فعالیت به‌عنوان مسائلی در ابعاد بزرگ دسته‌بندی می‌شود. جدول ۲ آرایه‌های طراحی‌شده برای الگوریتم NSGA II است. هر آرایه پنج بار برای محاسبه‌ی نرخ S/N تکرار شده است.

عوامل جمعیت اولیه، تعداد تکرار، نرخ تقاطع، نرخ جهش و نرخ بازتولید پارامترهای اصلی در الگوریتم موردنظر بوده‌اند. در جدول ۲، A نشان‌گر اندازه جمعیت، B نشان‌دهنده تعداد تکرار، C نماد نرخ تقاطع، D نرخ بازتولید و همچنین E نشان‌گر نرخ جهش است.

جدول ۲. آرایه‌های الگوریتم NSGA II

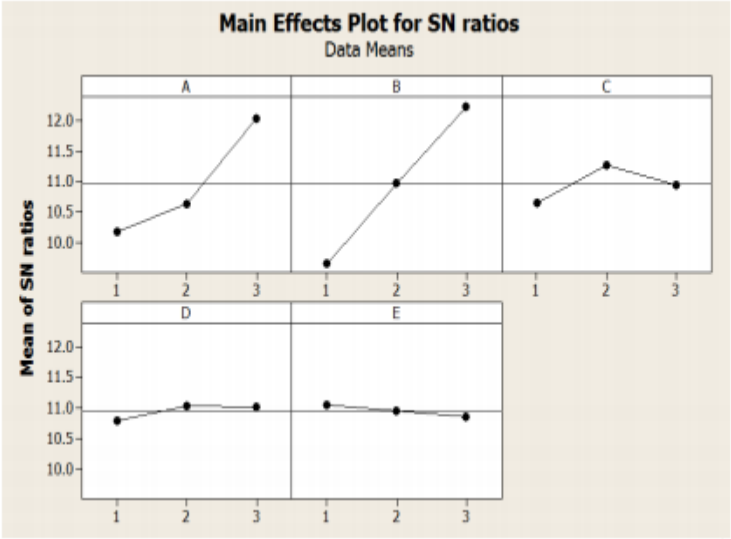
آزمایش	A	B	C	D	E
۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۱	۱	۱	۲
۳	۱	۱	۱	۱	۳
۴	۱	۲	۲	۲	۱
۵	۱	۲	۲	۲	۲
۶	۱	۲	۲	۲	۲
۷	۱	۳	۳	۲	۱
۸	۱	۳	۲	۳	۱
۹	۱	۳	۳	۳	۳
۱۰	۲	۱	۲	۳	۱
۱۱	۲	۱	۳	۳	۲
۱۲	۱	۲	۱	۳	۳
۱۳	۲	۲	۳	۱	۱
۱۴	۲	۲	۳	۱	۲
۱۵	۱	۲	۳	۱	۲
۱۶	۲	۳	۱	۲	۱
۱۷	۲	۳	۱	۲	۲
۱۸	۲	۳	۱	۱	۳
۱۹	۲	۱	۳	۲	۱
۲۰	۳	۱	۳	۲	۲
۲۱	۲	۱	۳	۱	۳
۲۲	۳	۲	۱	۳	۲
۲۳	۲	۱	۱	۳	۲
۲۴	۳	۲	۱	۲	۳
۲۵	۳	۳	۲	۲	۳
۲۶	۳	۲	۲	۱	۲
۲۷	۳	۲	۲	۲	۱

پارامترهای الگوریتم و سطوح بهینه‌ی آن در جدول ۳ اشاره شده است. همچنین، شاخص سیگنال به نویز و مقادیر بهینه‌ی پارامترها در شکل ۴ نشان داده شده است. چنان‌که در جدول ۳ قابل‌مشاهده است؛ اندازه‌ی جمعیت بهینه برای مسائل عددی کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب برابر با ۱۱۰، ۱۳۰ و ۱۴۵ است. همچنین تعداد تکرار بهینه برای مسائل فوق به ترتیب ۱۴۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ است.

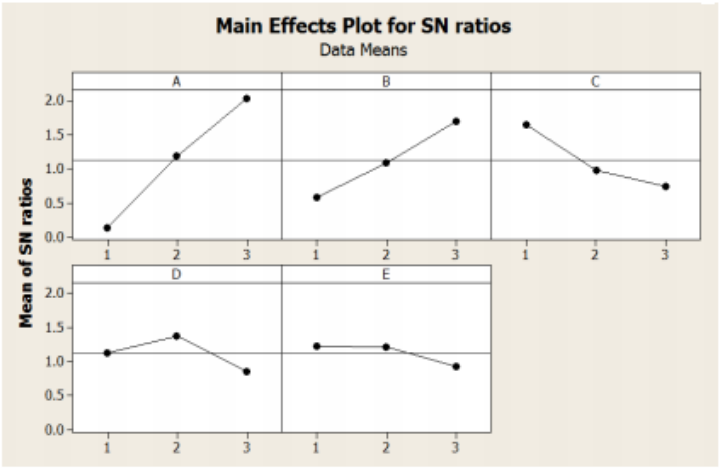
جدول ۳. پارامترها و مقادیر بهینه‌ی آن‌ها در NSGA II

فاکتور	نماد	مسائل کوچک	مسائل متوسط	مسائل بزرگ
اندازه‌ی جمعیت	A	۱۱۰	۱۳۰	۱۴۵
تعداد تکرار	B	۱۴۰	۱۴۰	۱۷۰
نرخ تقاطع	C	۷۵٪	۶۵٪	۶۵٪
نرخ بازتولید	D	۴٪	۶٪	۸٪
نرخ جهش	E	۴۹٪	۴۹٪	۵۴٪

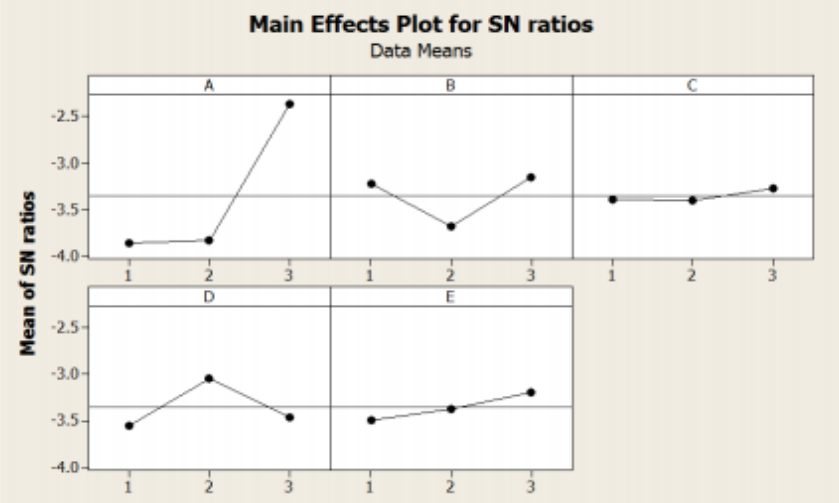
شکل ۴ نشانگر سطوح بهینه‌ی پارامترهای الگوریتم برای مسائل عددی در اندازه‌های متنوع است. برای مثال، شکل ۴ (الف) بیان می‌دارد که برای مسائل کوچک، شاخص اندازه جمعیت (A) در سطح ۳ مقدار بهینه دارد؛ زیرا شاخص سیگنال به نویز بیشتری نسبت به سطوح شماره ۱ و ۲ دارد. برای پارامتر تعداد تکرار (B) هم‌سطح ۳ مقدار بهینه را از نظر شاخص سیگنال به نویز ایجاد می‌کند.



شکل ۴ (الف) مسائل کوچک



شکل ۴ (ب) مسائل متوسط



شکل ۴ (ج) مسائل بزرگ

شکل ۴. نمودار نرخ سیگنال به نویز برای الگوریتم NSGA II

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌ها

در این بخش به تشریح یافته‌های عددی بر اساس داده‌های پروژه تعمیرات اساسی مخزن سقف شناور نفت خام و نتایج حاصل از محاسبات عددی مدل پرداخته می‌شود. لذا ابتدا نحوه‌ی تهیه‌ی داده‌ها توضیح داده می‌شود و سپس نتایج حاصل از حل مسائل تشریح می‌شوند.

داده‌های مسئله. به‌منظور ارزیابی کارآیی رویکرد پیشنهادی، الگوریتم بر روی سه مسئله‌ی نمونه‌ای اجرا شده و نتایج مشخص شدند. کلیه‌ی مسائل با نرم‌افزار GAMS بر روی سیستمی با جنبه‌های فنی Intel Core i5 CPU و 3.4 GHz و 8 GB RAM پیاده‌سازی شدند. ساختار کلی مسائل نمونه‌ای در جدول ۱ آورده شده است. لازم به ذکر است که مسائل ۱ و ۲ و ۳ دارای شبکه پیش‌نیازی (CPM) مشابه است. فعالیت‌های ابتدا و انتها در هر مسئله موهومی است و زمان و منابع موردنیاز آن‌ها ۰ است.

این مسائل و صدها مسئله‌ی دیگر با نرم‌افزار زمان‌بندی پروژه[1] ایجاد و در سایت گانت چارت (http:// www.ganttchart.com) موجود است. از میان مسائلی با سایزهای متنوع که در این سایت موجود است، تعدادی از آنان در اندازه‌های متنوع انتخاب و همراه با نمودار روابط پیش‌نیازی آن‌ها در این پژوهش استفاده شدند. جدول ۴ داده‌های مربوط به مسائل عددی را نشان می‌دهد.

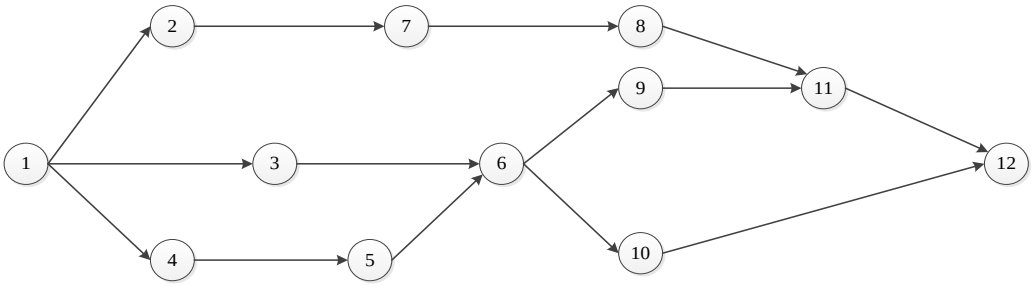
جدول ۴. داده‌های مسائل عددی

شماره مسئله	کد	n	L	F	T	S	M	K
۱	model1	۱۰	۳	۵	۲۰۰	۳	۳	۳
۲	model2	۲۰	۳	۵	۴۰۰	۳	۳	۳
۳	model3	۳۰	۴	۵	۶۰۰	۴	۴	۳
۴	model4	۳۰	۵	۶	۸۰۰	۴	۴	۴

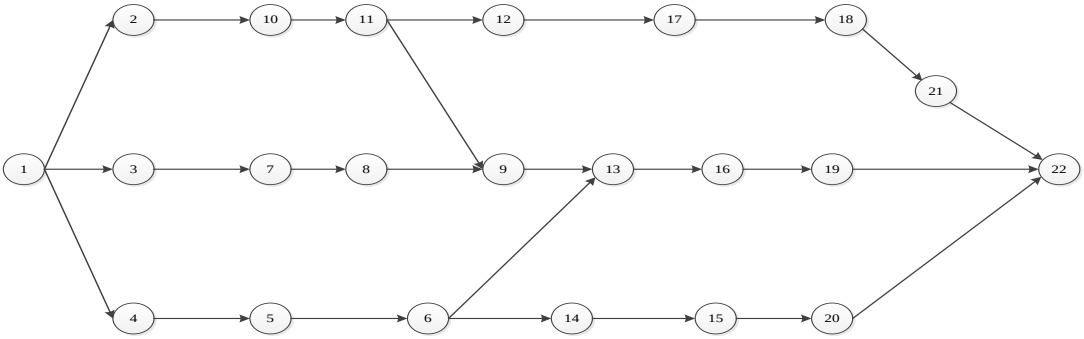
در این جدول، نمادهای K, M, S, T, F, L, n به ترتیب تعداد فعّالیّت‌ها، تعداد منابع تجدیدپذیر، تعداد منابع تجدیدناپذیر، تعداد دوره‌های زمانی، تعداد تأمین‌کنندگان، سناریوهای زمان اجرای فعّالیّت‌ها و بازه‌های تخفیف در خرید منابع تجدیدناپذیر را نشان می‌دهند.

شبکه AON مسائل نمونه‌ای اوّل (model1)، دوّم (model2)، سوم و چهارم (model3,4) به ترتیب در اشکال ۵-۷ قابل‌مشاهده است.

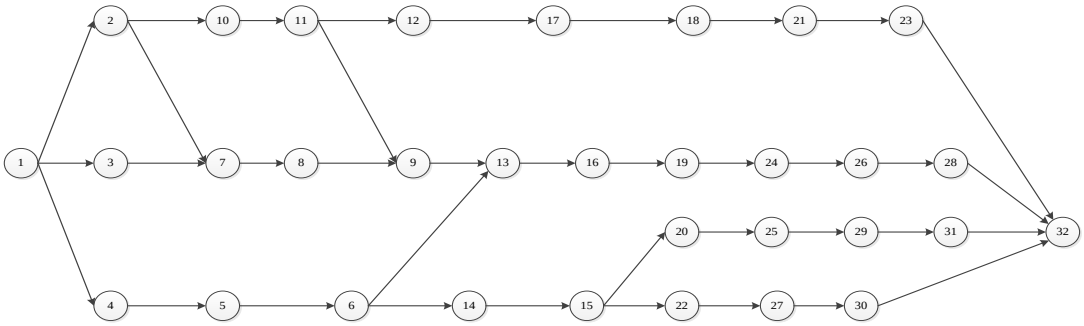
[1] Project scheduling



شکل ۵. شبکه‌ی AON مسئله‌ی نمونه‌ای شماره‌ی یک



شکل ۶. شبکه‌ی AON مسئله‌ی نمونه‌ای شماره‌ی دو



شکل ۷. شبکه‌ی AON مسئله‌ی نمونه‌ای شماره‌ی سه

نتایج حل مسائل. جدول ۵، نتایج حاصل از حل مسائل عددی را نشان می‌دهد.

جدول ۵. نتایج حل مسائل عددی

کد مسئله	نرم‌افزار GAMS		روش حلّ پیشنهادی	
	TC^*	زمان حل (ثانیه)	TC	زمان حل(ثانیه)
model1	−۱۰۲۵۲۱۷.۵	۱۰۰	−۱۰۳۷۷۴۱.۵	۴۲
model2	−۳۸۰۲۷۹۳.۵	۳۰۰	−۳۸۰۹۶۲۳	۱۸۲
model3	−۷۹۹۲۸۴۵.۵	۹۰۰	−۸۰۰۳۹۴۲.۵	۵۷۸
model4	−۱۰۷۸۶۳۵۲.۵	۱۸۰۰	−۱۰۷۸۷۴۳۴.۵	۱۳۲۰

برای نمونه، جداول ۶ و ۷ اطلاعات برنامه زمانی بهینه و همچنین زمان‌بندی مسئله نمونه‌ای شماره ۲ را به نمایش می‌گذارند.

جدول ۶. برنامه زمانی بهینه آغاز فعالیت‌های مسئله ۲

شماره فعالیت	**۱**	**۲**	**۳**	**٤**	**٥**	**٦**	**۷**	**۸**	**۹**	**۱۰**	**۱۱**	**۱۲**	**۱۳**	**۱٤**	**۱٥**	**۱٦**	**۱۷**	**۱۸**	**۱۹**	**۲۰**	**۲۱**	**۲۲**
روز آغاز فعالیت	۱	۳	۸	۲	۵	۱۱	۱۰	۲۴	۲۵	۱۴	۱۹	۱۶	۱۷	۱۶	۱۸	۲۱	۲۲	۲۶	۲۹	۲۷	۲۶	۳۰

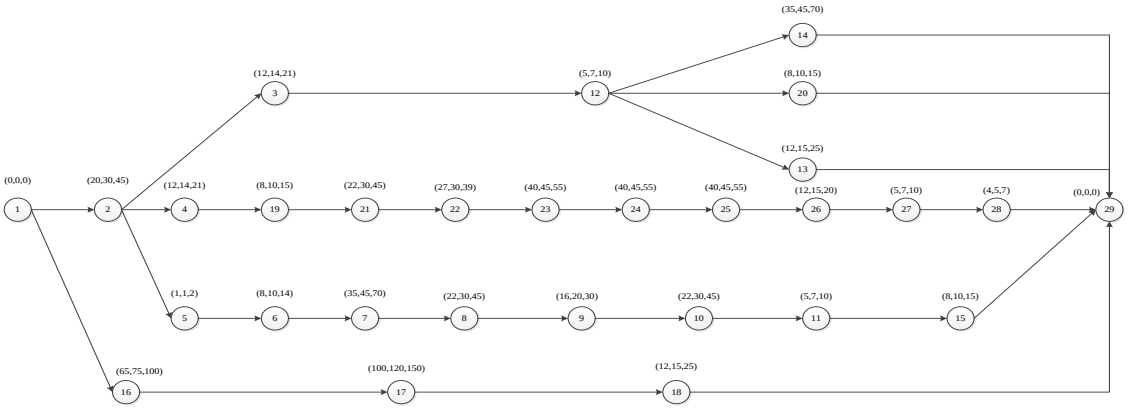
جدول ۷. سیاست بهینه سفارش‌دهی منابع در مسئله ۲

روز	میزان سفارش منبع ۱	میزان سفارش منبع ۲	میزان سفارش منبع ۳	میزان سفارش منبع ٤
۱	۱۲	۱۱	۵	۱
۲	۲۱	۲۲	۱۱	۳
۳	۲۳	۲۰	۷	۴
۴	۲۵	۲۱	۹	۵
۵	۲۹	۱۷	۸	۴
۶	۲۹	۳۷	۱۱	۸
۷	۲۶	۲۹	۵	۹
۸	۲۲	۳۰	۱۰	۱۴
۹	۳۷	۳۸	۱۰	۲۶
۱۰	۵۶	۳۶	۱۵	۱۴
۱۱	۴۲	۳۰	۸	۳۱
۱۲	۵۸	۶۶	۸	۳۳
۱۳	۵۹	۴۶	۱۶	۳۲
۱۴	۵۰	۴۴	۲۹	۵۳
۱۵	۶۹	۸۱	۱۲	۳۴
۱۶	۸۵	۶۵	۱۹	۴۵
۱۷	۸۰	۹۸	۲۷	۴۲
۱۸	۷۹	۵۷	۲۷	۷۷
۱۹	۸۳	۷۶	۱۷	۶۷
۲۰	۱۲۶	۹۶	۱۲	۴۹
۲۱	۵۹	۸۰	۴۷	۱۱
۲۲	۱۰۵	۷۳	۱۴	۱۱۵
۲۳	۱۴۱	۱۲۴	۳۴	۵۶
۲۴	۳۴	۱۵۶	۴۵	۸۷
۲۵	۱۱۵	۱۲۱	۶۰	۳۰
۲۶	۴۱	۱۲۳	۳۷	۱۰۴
۲۷	۲۵۲	۲۵۴	۳۱	۷۶
۲۸	۹۷	۴۲	۵۹	۵۳
۲۹	۷۱	۱۸	۱۴	۷۷
۳۰	۴۲	۳۴	۲۱	۲۴

مطابق جدول ۵، الگوریتم ترکیبی ارائه‌شده توانسته است مدت‌زمان موردنیاز برای حل مسائل عددی را به‌شدت کاهش دهد و این کاهش قابل‌توجه زمان حل در کنار فاصله‌ی بسیار کم نسبت به حل دقیق، نشان‌دهنده‌ی عملکرد بسیار مناسب الگوریتم ترکیبی پیشنهادی از منظر روش حل و نزدیکی به جواب بهینه می‌باشد.

نمونه موردی. به‌منظور سنجش عملکرد الگوریتم در حل مسائل عددی در ابعاد واقعی، داده‌های مربوط به نمونه‌ی موردی در خصوص پروژه تعمیر مخزن نفت جمع‌آوری شد و در این قسمت نسبت به پیاده‌سازی مدل روی این نمونه موردی اقدام می‌شود. پروژه مربوط به تعمیر مخزن نفت یک‌میلیون بشکه‌ای می‌باشد. شبکه AON مطالعه موردی در شکل ۸ نشان داده شده است.

در این شکل اعداد داخل پرانتز به ترتیب از چپ به راست طول مدّت خوش‌بینانه، محتمل و بدبینانه زمان اجرای هر فعّالیّت را نشان می‌دهند. همان‌گونه که از شکل برمی‌آید فعّالیّت‌های شماره‌ی ۱ و ۲۹ به ترتیب فعّالیّت‌های موهومی معرّف زمان شروع و ختم پروژه با مدّت زمان قطعی صفر را نشان می‌دهند. همان‌گونه که از شکل ۸ برمی‌آید این پروژه به‌ازای هر سه سناریو یک مسیر بحرانی یکسان دارد؛ این مسیر در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۸. شبکه‌ی AON نمونه‌ی موردی

شکل ۹. مسیر بحرانی نمونه‌ی موردی

همان‌گونه که شکل ۹ نشان می‌دهد مدّت زمان اجرای پروژه به‌ازای سه سناریوی خوش‌بینانه، محتمل و بدبینانه به ترتیب برابر ۲۳۰، ۲۷۶ و ۳۶۷ روز می‌باشد. ضمن مشورت با متخصّصین امر هزینه‌ی نقض محدودیّت پیش‌نیازی تنها برای فعّالیّت‌های موجود در مسیر بحرانی در نظر گرفته شده و این میزان به‌ازای واحد زمانی برابر ۲۱۰۰۰۰ واحد پولی درنظر گرفته می‌شود.

مدل مطالعه موردی در نرم‌افزار گمز پیاده‌سازی شد، با طیّ یک ساعت اجرای مدل به جواب بسیار نزدیک به بهینه با مقدار هزینه کل برابر ۳۹۷۷۳۴۹۱۱۰۰۰۰ و درصد گپ ناچیز ۰.۰۶۲ رسید. زمان شروع اجرای فعّالیّت‌های پروژه در جدول ۸ نشان داده شده‌اند.

جدول ۸. زمان شروع اجرای فعّالیّت‌های مطالعه‌ی موردی

شماره فعّالیّت	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	١٤	١٥	١٦	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	٢٤	٢٥	٢٦	۲۷	۲۸	۲۹
زمان شروع	۱	۷۳۷	۲۸۶	۵۲۵	۴۸۳	۱۱۱	۷۲۸	۶۳۱	۵۶۵	۷۸۹	۴	۹۲	۷۷۵	۵۸۵	۷۵۴	۷۷۲	۷۷۴	۷۸۷	۷۷۸	۷۲۷	۷۷۷	۸۵	۴۷۶	۶۴۵	۶۹۰	۶۱۴	۹۴	۵۹۲	۸۰۰

در نظر گرفتن همه‌ی این موارد در قالب مدل یکپارچه‌ی زمان‌بندی و سفارش‌دهی منجر به کاربردی‌تر شدن مدل و نزدیک‌تر شدن آن به شرایط دنیای واقعی شد و برای مدل پیشنهادی یک روش ترکیبی از الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزار گمز طرّاحی شد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در این پژوهش مدل بهینه‌سازی استوار امکان برای مسئله زمان‌بندی پروژه با منابع محدود همراه با برنامه‌ریزی سفارش مواد جهت کاهش هزینه‌های انجام تعمیرات مخازن نفت خام ارائه شد. در این تحقیق فرض شد که چند سناریو برای انجام پروژه مطرح می‌باشد و در هر سناریو زمان انجام کار با سناریوی دیگر تفاوت داشت. هدف مدل تحقیق، کمینه‌سازی هزینه‌های پروژه شامل هزینه‌های سفارش‌دهی، نگه‌داری، خرید و جریمه‌ی تأخیر در تحویل پروژه منهای پاداش تعجیل در تحویل پروژه بود. پس از ارائه مدل، با رویکرد امکانی استوارسازی مدل حل شد. از جمله نکات برجسته در مدل، در نظر گرفتن هم‌زمان مباحث تجدید ناپذیری مواد، فسادپذیر بودن و همچنین فرض تخفیف در منابع پروژه و عدم قطعیت، وقفه‌های تقویمی و سناریوهای مختلف زمانی پروژه بود. ورود فرض عدم قطعیت، موجب واقعی‌تر شدن بررسی‌ها می‌شود به‌نحوی‌که نتایج آن با شرایط واقعی اجرای پروژه از جمله تعمیرات مخازن نفت‌خام هرچه بیشتر نزدیک شود. درواقع می‌توان این‌گونه بیان نمود که فرض‌های پیش‌گفته همگی از مواردی هستند که در شرایط واقعی اجرای پروژه تجربه شده‌اند و تمرکز و مطالعه پروژه‌های اجرا شده تعمیرات مخازن در به‌کارگیری مفروضات فوق نقش بسزایی داشته است. همچنین در نظر گرفتن همه این موارد در قالب مدل یکپارچه زمان‌بندی و سفارش‌دهی مواد می‌تواند منجر به کاربردی‌تر شدن مدل و نزدیک‌تر شدن آن به شرایط دنیای واقعی شود. به‌نحوی که با سفارش دهی بموقع می‌توان هزینه‌های انجام پروژه را به حداقل رساند تا مخزن نیز زودتر در سرویس عملیاتی قرار گیرد. مدل پیشنهادی با روش ترکیبی از الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزار گمز طرّاحی شد. نرم‌افزار گمز نسبت به روش ترکیبی پیشنهادی نتایج بهتر ولی با زمان حلّ بیشتر ارائه نمود. رویکرد توانست در عین کاهش قابل‌ملاحظه زمان حل، جواب‌هایی نزدیک به جواب‌های بهینه ارائه نماید و لذا کارکرد مناسب رویکرد حل ارائه‌شده برای حل مسائل عددی در اندازه‌های مختلف به تأیید رسید.

از نوآوری‌های تحقیق می‌توان به در نظر گرفتن همزمان تخفیف، تجدیدناپذیری و فاسدشدنی بودن مواد مورد استفاده در پروژه اشاره کرد. در نظر گرفتن همزمان این موارد موجب می‌شود تا برنامه‌ریزی تدارکات منابع پروژه نزدیکی بیشتری با شرایط دنیای واقعی داشته باشد و تصمیم‌گیرندگان پروژه را در اتخاذ تصمیمات مناسب در خصوص برنامه‌ریزی تدارکات پروژه یاری رساند.

این تحقیق که مستخرج از رساله دکترا و با حمایت شرکت پایانه های نفتی ایران است برای حداقل‌سازی کلیه هزینه‌ها شامل هزینه‌های سفارش‌دهی، نگه‌داری، خرید و جریمه‌ی تأخیر منهای پاداش بابت زودتر تحویل دادن پروژه ،روش ترکیبی از الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزار گمز مدنظر قرار داد و به‌منظور پیشنهادهای جهت بهبود تحقیق کنونی می‌توان داده‌های مخازن با ظرفیت‌های مختلف علاوه بر یک میلیون بشکه– ای که در این تحقیق استفاده شده است را جمع‌آوری و استفاده از اعداد نادقیق فازی در تعیین زمان اجرای هر فعّالیّت را درنظر گرفت و از مفاهیم بدیعی مانند تاب‌آوری در مدل‌سازی بهره برد. همچنین می‌توان در پژوهش‌های آتی از تحقیق ساختاری و سایرالگوریتم‌های فراابتکاری جهت حلّ مسئله استفاده نمود.

منابع

1. Aquilano, N. J., & Smith, D. E. (1980). A formal set of algorithms for project scheduling with critical path scheduling/material requirements planning. *Journal of Operations Management*, 1(2), 57-67. https://doi.org/10.1016/0272-6963(80)90013-3

2. Artigues, C., Demassey, S., & Neron, E. (Eds.). (2013). Resource-constrained project scheduling: models, algorithms, extensions and applications. DOI:10.1002/9780470611227

3. Bertsimas, D., & Sim, M. (2004). The price of robustness. *Operations Research*, 52(1), 35-53. http://dx.doi.org/10.1287/opre.1030.0065

4. Bertsimas, D., Brown, D. B., & Caramanis, C. (2011). Theory and applications of robust optimization. *SIAM Review*, 53(3), 464-501. https://doi.org/10.48550/arXiv.1010.5445

5. Birjandi, A., Mousavi, S. M., Hajirezaie, M., & Vahdani, B. (2019). A new weighted mixed integer nonlinear model and FPND solution algorithm for RCPSP with multi-route work packages under fuzzy uncertainty. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 37(1), 737-751. DOI:10.24200/sci.2019.50778.1860

6. Bruni, M. E., Pugliese, L. D. P., Beraldi, P., & Guerriero, F. (2018). An adjustable robust optimization model for the resource-constrained project scheduling problem with uncertain activity durations. *Omega*, 71, 66-84. https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.09.009

7. Chakrabortty, R. (2017). *Managing uncertainties and disruptions in resource constrained project scheduling (Doctoral dissertation,* The University of New South Wales, Canberra, Australia). DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3063766

8. Chaleshtarti, A. S., & Shadrokh, S. (2011, November). Branch and bound algorithms for resource constrained project scheduling problem subject to cumulative resources. *In 2011 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, 1, 147-152. IEEE. http://dx.doi.org/10.1155/2014/634649

9. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., and Meyarivan, T. 2002. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm:NSGA-II. IEEE Trans Evolutionary. *Computing, Indian*. 6(2), 182-197. https://doi.org/10.1109/4235.996017

10. Habibi, F., Barzinpour, F., & Sadjadi, S. (2018). Resource-constrained project scheduling problem: review of past and recent developments. *Journal of Project Management*, 3(2), 55-88. http://dx.doi.org/10.5267/j.jpm.2018.1.005

11. Hajipour, V., Rahmati, S. H. A., Pasandideh, S. H. R., & Niaki, S. T. A. (2014). A multi-objective harmony search algorithm to optimize multi-server location–allocation problem in congested systems. *Computers & Industrial Engineering*, 72, 187-197. https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.03.018

12. Joy, J., Rajeev, S., & Abraham, E. C. (2021). Particle swarm optimization for multi resource constrained project scheduling problem with varying resource levels. *Materials Today*: Proceedings. https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.185

13. Ke, H., Wang, L., & Huang, H. (2015). An uncertain model for RCPSP with solution robustness focusing on logistics project schedule. *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, 3, 71-83. https://doi.org/10.1016/j.enavi.2015.12.007

14. Kerzner, H. (2017). *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. John Wiley & Sons.

15. Laszczyk, M., & Myszkowski, P. B. (2019). Improved selection in evolutionary multi–objective optimization of Multi–Skill Resource–Constrained project scheduling problem. *Information Sciences*, 481, 412-431. https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.002

16. Liu, Z., Yang, L., Deng, R., & Tian, J. (2017). An effective approach with feasible space decomposition to solve resource-constrained project scheduling problems. *Automation in Construction*, 75, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.11.012

17. Ma, G., Gu, L., & Li, N. (2015). Scenario-based proactive robust optimization for critical-chain project scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(10), 04015030. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001003

18. Mirjalili, S., & Mirjalili, S. (2019). Genetic algorithm. Evolutionary Algorithms and Neural Networks: Theory and Applications, 43-55. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93025-1

19. Moradi, M., Hafezalkotob, A., & Ghezavati, V. (2019). Robust resource-constrained project scheduling problem of the project's subcontractors in a cooperative environment under uncertainty: Social complex construction case study. *Computers & Industrial Engineering*, 133, 19-28. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.04.046

20. Mubarak, S. A. (2015). Construction project scheduling and control. John Wiley & Sons.

21.Pishvaee, M. S., Razmi, J., & Torabi, S. A. (2012). Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 206, 1–20. https://doi.org/10.1016/j.fss.2012.04.010

22. Tabrizi, B. H., & Ghaderi, S. F. (2016). A robust bi-objective model for concurrent planning of project scheduling and material procurement. *Computers & industrial engineering*, 98, 11-29. https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.05.017

23. Tabrizi, B. H. (2018). Integrated planning of project scheduling and material procurement considering the environmental impacts. *Computers & Industrial Engineering*, 120, 103-115. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.04.031

24. Tritschler, M., Naber, A., & Kolisch, R. (2017). A hybrid metaheuristic for resource-constrained project scheduling with flexible resource profiles. *European Journal of Operational Research*, 262(1), 262-273. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.03.006

25. Trojet, M., H'Mida, F., & Lopez, P. (2011). Project scheduling under resource constraints: Application of the cumulative global constraint in a decision support framework. *Computers and Industrial Engineering*, 61(2), 357-363. https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.08.014

26. Whitley, D. (1994). A genetic algorithm tutorial. *Statistics and Computing*, 4(2), 65-85.

27. John Wiley & Sons. Ben-Tal, A., El Ghaoui, L., & Nemirovski, A. (2009). *Robust optimization*. Princeton University Press

28. Zoraghi, N., Shahsavar, A., Abbasi, B., & Van Peteghem, V. (2017). Multi-mode resource-constrained project scheduling problem with material ordering under bonus–penalty policies. *Top*, 25(1), 49-79. DOI: 10.1007/s11750-016-0415-2