Industrial Management Perspective

Print ISSN: 2251-9874, Online ISSN: 2645-4165
Volume 12, Serial Number 46, Summer 2022, Pages 65-88 (Original Article)
DOI: 10.52547/JIMP.12.2.65

A Robust Model for Optimal Utilization of Resource in Outsourcable Projects with Uncertain Budget in Government Organization

Jafar Qeydar Khaljani*, Sasan Taslimi**

Abstract

In public organizations, depending on the economic climate of the country, such as recession or economic prosperity, the allocated budget varies. In such conditions, these organizations face the problem of defining the types of development projects outsourcing and determining the appropriate method of payment to contractors is critical. because the lack of proper management in the amount and time of budget expenditures can impose costs on the organization beyond expectations. In this study, recession, equilibrium and economic prosperity, is considered an effective factor in budget allocation. Therefore, for cost minimization and risk coverage, we present a robust scenario-based optimization model that incorporates the completion times, expediting costs, delay penalties and budget uncertainties to evaluate internal resources and available contractors for conducting the project and to determine the optimal solution and payment scheduling that minimizes the total cost. The slight difference between the maximum and minimum response stability under different management attitudes indicates the effectiveness of the proposed approach. Our results demonstrate that when the project completion time is promoted and there are no considerations for quality and technical knowledge, it is necessary to issue outsourcing allowance and the activities should be designed in a manner that they can be outsourced.

Keywords: Utilization of Resource, Cost Minimization, Budget Uncertainty, Robust Scenario-Based Optimization, Outsourcing.

Received: Mar. 17, 2021; Accepted: Oct. 26, 2021.
* Associate Professor, Malek Ashtar University of Technology (Corresponding Author).
Email: Kheljani@mut.ac.ir
** M.Sc., Farabi Campus, University of Tehran.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵

سال دوازدهم، شماره ۴۶، تابستان ۱۴۰۱، ص‌ص ۶۵ – ۸۸ (**نوع مقاله: پژوهشی**)

DOI: 10.52547/JIMP.12.2.65

ارائه مدلی استوار برای به‌کارگیری بهینه منابع در پروژه‌های قابل‌برون‌سپاری با بودجه غیرقطعی در سازمان‌های دولتی

جعفر قیدر خلجانی*، ساسان تسلیمی**

چکیده

در سازمان‌های دولتی با توجه به وضعیت اقتصادی کشور، میزان بودجه تخصیصی متفاوت است. در چنین شرایطی این سازمان‌ها با مسئله تعریف انواع پروژه‌های توسعه‌ای، شیوه برون‌سپاری آن‌ها و تعیین روش پرداخت مناسب به پیمانکاران روبه‌رو هستند؛ چراکه عدم مدیریت صحیح در مقدار و زمان هزینه‌کرد بودجه می‌تواند باعث تحمیل هزینه‌هایی فراتر از پیش‌بینی‌ها به سازمان شود. در این پژوهش رخ‌دادن هر یک از شرایط رکود، تعادل و رونق اقتصادی، عامل مؤثر بر تخصیص بودجه و دردسترس‌بودن آن در نظر گرفته می‌شود. با توجه به ماهیت گسسته و سناریومحور هر یک از این شرایط، به‌منظور پوشش ریسک تصمیم‌گیری در شرایط عدم‌قطعیت، با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها از رویکرد بهینه‌سازی استوار سناریومحور برای مدل‌سازی مسئله استفاده شده است. مدل پیشنهادی بر اساس ماهیت پروژه، دیدگاه‌های تصمیم‌گیرندگان درباره رعایت محدودیت‌ها و ثبات پاسخ‌ها و احتمال وقوع هر یک از سناریوهای وضعیت اقتصادی از طریق برقراری موازنه بین هزینه‌های تأخیر و تسریع پروژه، تصمیم بهینه‌ای درباره چگونگی استفاده از ظرفیت‌های درون‌سازمانی، پیمانکاران در دسترس و مقدار و زمان پرداخت‌های مالی ارائه می‌دهد؛ همچنین اختلاف ناچیز بین بیشترین و کمترین استواری پاسخ تحت انواع نگرش‌های مدیریتی، کارآمدی رویکرد پیشنهادی را به‌ویژه در مواردی با قابلیت انعطاف‌پذیری اندک در تغییر تصمیمات نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: به‌کارگیری منابع؛ کمینه‌سازی هزینه؛ عدم‌قطعیت بودجه؛ بهینه‌سازی استوار سناریومحور؛ برون‌سپاری.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۲۷، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۰۴.

* دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر (نویسنده مسئول).

Email: Kheljani@mut.ac.ir

** دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، پردیس فارابی دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

اغلب سازمان‌های دولتی به‌منظور انجام مأموریت‌های محوله، بر اساس بودجه برنامه‌ریزی‌شده پروژه‌هایی را تعریف می‌کنند و معمولاً بخش‌هایی را که از نظر حفظ دانش فنی، مباحث کیفی و دلایل امنیتی حساسیت چندانی ندارند، به پیمانکارانی که برای انجام آن‌ها مزیت زیادی دارند، برون‌سپاری می‌کنند. به‌طورکلی برون‌سپاری زمانی رخ می‌دهد که یک بنگاه برای فراهم‌کردن خدمات و فعالیت‌هایی که خود قادر به انجام آن است، با بنگاهی دیگر قرارداد منعقد کند. برون‌سپاری فعالیت‌های غیراصلی، بنگاه را از فعالیت‌های باارزش افزوده پایین رها می‌کند و درنتیجه تمرکز بیشتری بر فعالیت‌های راهبردی فراهم می‌آورد [۲۱]. در سال‌های اخیر عوامل زیادی ازجمله جهانی‌شدن محدوده پروژه‌ها و همکاری‌های بین‌المللی، افزایش رقابت میان پیمانکاران، پیشرفت‌های چشمگیر در زمینه فناوری اطلاعات و ارتباطات و نیز مطرح‌شدن مباحث نوین پیرامون مدیریت ریسک سبب شده است تا برون‌سپاری در پروژه‌ها رواج یابد [۲۱، ۱۰]. اگرچه برون‌سپاری چالش‌های جدیدی را پیش روی مدیران پروژه‌ها قرار داده، ولی مزایای متعدد آن توانسته است افراد را نسبت به درنظرگرفتن هرچه‌بیشتر این گزینه برای پیشبرد اهداف پروژه ترغیب کند. اجرای صحیح برون‌سپاری می‌تواند موجب افزایش کارایی، دسترسی بهتر به نیروی کار ماهر و متخصصان انجام فعالیت‌های گوناگون، کاهش چشمگیر هزینه‌ها، کاهش ریسک‌های بالقوه و تسریع روند تکمیل پروژه شود [۱۳، ۱۹]. فعالیت‌هایی همچون طراحی نرم‌افزارها و فناوری اطلاعات، حمل‌ونقل و لجستیک، طراحی و ساخت قطعات و دستگاه‌ها، ساخت‌وسازهای ساختمانی و حتی برنامه‌ریزی و کنترل پروژه نمونه‌های موفق برون‌سپاری در پروژه‌ها هستند [۲۱، ۱۳]؛ بنابراین در مواقع نیاز به اتمام هر چه سریع‌تر پروژه‌های چندوجهی که با توجه به حساسیت‌های موجود در سازمان منعی برای برون‌سپاری ندارند، بهره‌مندی از این گزینه پس از ارزیابی منافع و هزینه‌های مازاد حاصل از تسریع پروژه، بسیار راهگشا است؛ همچنین به خاطر ایجاد ضرورت‌های جهانی‌شدن، شرایط رقابتی‌تری در سازمان‌های دولتی فراهم شده است. پروژه‌های بزرگ صنعتی، عمرانی و توسعه‌ای باید با هزینه کمتر و به‌موقع انجام شوند تا سازمان‌ها بتوانند در عرصه رقابتی امروز به فعالیت‌های خود ادامه دهند [۱۲]. از طرفی سازمان‌های دولتی به‌دلیل لزوم پاسخگویی به نهادهای نظارتی باید حداکثر بازدهی ممکن را از امکانات و منابع خود داشته باشند؛ بنابراین باید بر زمان‌بندی مناسب پرداخت مالی و بهره‌مندی درست از ظرفیت‌های موجود برای پیشرفت پروژه به‌عنوان عوامل اصلی سودآوری تمرکز ویژه‌ای داشته باشند؛ زیرا اختصاص پیش از موعد اعتبارات و منابع به هر پروژه در بیشتر موارد سبب کمبود بودجه و امکانات در دیگر گزینه‌های سرمایه‌گذاری می‌شود و هزینه فرصت تحمیل می‌کند. در این میان اغلب در مبانی نظری زمان‌بندی پروژه بر کمینه‌سازی زمان تکمیل پروژه از طریق تعیین توالی فعالیت‌ها تمرکز شده است؛ درحالی‌که این هدف ممکن است برای

پروژه‌های فناوری اطلاعات و ساخت‌وسازهای پرسرمایه که مقادیر زیادی پول در مدت‌زمان طولانی سرمایه‌گذاری می‌شود، مناسب نباشد. در چنین محیط‌هایی، هماهنگی معقول بین جریان نقدی ورودی و خروجی بر سودآوری یک پروژه تأثیر مهمی می‌گذارد [۲۵]. مسئله زمان‌بندی پرداخت بودجه به پروژه، مواردی همچون نحوه زمان‌بندی مؤثر در پرداخت مالی متناسب با پیشرفت پروژه ازجمله میزان، زمان یا مایلستون‌ها (یعنی فعالیت‌های کلیدی یا رویدادهای مرتبط با پرداخت‌ها) و دیگر عوامل پرداخت‌های مالی پروژه را دربرمی‌گیرد؛ به‌گونه‌ای که سود پیمانکار یا (و) مشتری بیشینه شود [۳]. سه حوزه اصلی تصمیم‌گیری پژوهش‌های این حوزه عبارت‌اند از: ۱. زمان‌بندی پرداخت مالی که در آن اندازه جریان‌های نقدی را می‌توان از قبل تعیین کرد؛ اما زمان پرداخت مالی به پیشرفت واقعی پروژه بستگی دارد؛ درنتیجه زمان پرداخت توسط پیمانکار و مقدار پرداخت توسط کارفرما تعیین می‌شود؛ ۲. میزان پرداخت مالی که در آن، زمان واریز وجوه از قبل، اما مقدار پرداخت‌ها فقط بر اساس پیشرفت برنامه تعیین می‌شود؛ بنابراین پیمانکار می‌تواند بر اندازه وجوه نقدی تأثیر بگذارد، اما نه زمان وقوع آن‌ها؛ ۳. زمان‌بندی و میزان پرداخت مالی که در آن زمان‌بندی و اندازه پرداخت مالی هر دو به برنامه‌ی زمانی پروژه بستگی دارند. در این حالت، پیمانکار می‌تواند هر دو مورد را تعیین کند [۱۳]. رعایت چنین مواردی برای سازمان‌های دولتی که چندین پروژه در حال اجرا دارند و متناسب با شرایط اقتصادی بودجه محدودی دریافت می‌کنند، بسیار ضروری است؛ زیرا گاهی به دلیل عدم‌دریافت بهنگام منابع مالی و یا انتخاب روش‌های نامناسب انجام فعالیت‌ها، پروژه‌ها با تأخیر و هزینه‌هایی بالاتر از حد استاندارد به بهره‌برداری می‌رسند. این در شرایطی است که یکی از معضلات اساسی این سازمان‌ها نداشتن اطمینان از میزان دریافت اعتبارات به‌دلیل نبود ثبات اقتصادی است که سبب افزایش اهمیت تصمیم‌گیری صحیح در مورد شیوه تخصیص منابع و بودجه‌ریزی می‌شود؛ بنابراین به‌منظور پاسخگویی به پرسش‌هایی از قبیل اینکه بهترین روش انجام هر فعالیت با حداقل هزینه و زمان چیست؟ چگونه می‌توان از منابع موجود حداکثر استفاده را داشت؟ در صورت نیاز به تسریع یا تأخیر در پروژه‌ها چه مقدار هزینه به سازمان تحمیل می‌شود؟ چه زمانی و به چه میزانی باید برای پیشبرد پروژه به آن بودجه تخصیص داد؟ هنگام مواجه‌شدن با عدم‌قطعیت در تخصیص بودجه موردنیاز یک پروژه، چگونه تصمیم‌گیری شود؟ با فرض وجود محدودیت و عدم‌قطعیت در بودجه سازمان، یک مدل بهینه‌سازی استوار سناریومحور ارائه شده است که با درنظرگرفتن انواع هزینه‌ها، محدودیت‌ها و روش‌های تکمیل پروژه، بهترین شیوه به‌کارگیری منابع را برمی‌گزیند و مقدار و زمان‌بندی مناسب پرداخت مالی را تعیین می‌کند تا پروژه در زمان مطلوب و با حداقل هزینه برای سازمان اجراکننده پروژه به‌عنوان کارفرما پایان یابد.

از نظر ساختار مقاله، در بخش دوم یعنی مبانی نظری و پیشینه پژوهش مهم‌ترین پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه مرور و بیان مسئله انجام می‌شود. در بخش سوم روش‌شناسی پژوهش خواهد شد که در آن مدل بهینه‌سازی استوار پیشنهادی معرفی می‌شود. در بخش چهارم به حل مسئله و تجزیه‌وتحلیل نتایج مربوطه اختصاص دارد و در انتها نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای توسعه این پژوهش ارائه می‌شود. ازجمله نوآوری‌های ارائه‌شده عبارت‌اند از: ۱. نامعین درنظرگرفتن سرمایه دردسترس متناسب با شرایط اقتصادی سازمان که در این خصوص سه سناریوی رکود، تعادل و رونق اقتصادی در نظر گرفته شده است؛ ۲. به‌کارگیری رویکرد بهینه‌سازی استوار سناریومحور برای مقابله با عدم‌قطعیت درنظرگرفته‌شده برای بودجه دردسترس و تحلیل حساسیت دیدگاه‌های گوناگون تصمیم‌گیرندگان نسبت به ثبات در پاسخ و یا استواری مدل؛ ۳. تعریف فعالیت‌های قابل‌برون‌سپاری برای تکمیل بخش ماژولار در هر فاز پروژه، از طریق ایجاد موازنه بین میزان افزایش هزینه‌ها و سرعت‌بخشی به پروژه و بررسی مزایای صدور مجوز برون‌سپاری؛ ۴. تعریف هزینه فرصت ناشی از تسریع در پرداخت بودجه به پروژه متناسب با میزان ایجاد اختلال در سایر پروژه‌ها و فرصت‌های سرمایه‌گذاری، به‌جای اینکه صرفاً ارزش زمانی پول وابسته به نرخ بهره‌ای ثابت هنگام سرمایه‌گذاری موردنظر باشد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پژوهش‌های تعیین هم‌زمان مقدار و زمان پرداخت مالی به پروژه که با عنوان «زمان‌بندی پرداخت‌های مالی[1]» (PSP) شناخته می‌شوند، اغلب ارزش زمانی پول را بر اساس نرخ بهره‌ای معین به هنگام تخصیص مبالغ پرداختی در نظر می‌گیرند و دارای سه رویکرد بهینه‌سازی از دیدگاه کارفرما، بهینه‌سازی از دیدگاه پیمانکار و نیز بهینه‌سازی منصفانه منافع کارفرما و پیمانکار هستند و پرداخت مالی به فعالیت‌ها نیز متناسب با پیشرفت فعالیت‌ها سه حالت دارد: ۱. پیش از آغاز فعالیت‌ها؛ ۲. هم‌زمان با انجام فعالیت‌ها و ۳. پس از اتمام هر فعالیت. این قبیل مسائل با درنظرگرفتن انواع محدودیت‌های بودجه‌ای و عدم‌قطعیت‌های گوناگون توسعه یافتند و اغلب از رویکردهای ابتکاری یا فراابتکاری برای رسیدن به پاسخ استفاده شده است. به‌عنوان نخستین تلاش دانشگاهی این حوزه راسل[2] (۱۹۷۰)، جریان نقدینگی را برای به‌حداکثررساندن ارزش خالص کنونی[3] (NPV) در شبکه‌ای از فعالیت‌ها با تابعی غیرخطی و مفروضات مختلف بررسی کرد [۲۰]. اخیراً در زمینه مسائل تعیین زمان و مبلغ پرداخت‌های مالی با رویکرد منصفانه بین پیمانکار و کارفرما، دایانند و پدمن[4] (۱۹۹۷)، به مسئله تعیین مقدار، مکان و زمان پرداخت بر

1. Payment Scheduling Problem
2. Russell
3. Net Present Value
4. Dayanand & Padman

اساس پیشرفت برای پروژه‌های با مفروضات مختلف پرداختند و مدلی برای مدیریت جریان نقدی، تنظیم مایلستون‌ها و پارامترهای مهم قرارداد بین پیمانکار و کارفرما ارائه دادند [۲]. آن‌ها در پژوهش بعدی خود از رویکردهای فراابتکاری برای حل این مسئله بهره گرفتند [۴]؛ سپس در تازه‌ترین پژوهش خود با افزودن مبحث بهینه‌سازی زمان‌بندی فعالیت‌ها و تعیین مبالغ پرداخت مالی، رویکردی ابتکاری بر مبنای الگوریتم حرارت‌دهی شبیه‌سازی‌شده برای بهبود NPV پروژه پیشنهاد کردند [۳]. اولسوی و شبلی[1] (۲۰۰۰)، با افزودن فرض وجود محدودیت منابع و به‌منظور رسیدن به درصد مساوی اختلاف از حالت ایده‌آل، زمان‌بندی پرداخت‌های مالی بین کارفرما و پیمانکار، پژوهش‌های موجود در این زمینه را توسعه دادند [۲۳]. هه و ژو[2] (۲۰۰۸)، ساختار جریمه و پاداشی بر اساس مهلت زمانی پروژه و یک روش حل مبتنی بر شبیه‌سازی ارائه کردند که منافع هر دو طرف قرارداد، یعنی کارفرما و پیمانکار را بهبود می‌بخشد [۹]. شزمرکوفسکی[3] (۲۰۰۵)، با توجه به اینکه زمان‌بندی فعالیت‌ها عموماً توسط پیمانکار و زمان‌بندی پرداخت‌های مالی توسط کارفرما تعیین می‌شود، مدلی پیچیده از نظر حل و بسیار خوب برای پروژه‌های کوچک ارائه داد که در آن هر یک از دو طرف سعی در به‌حداکثررساندن NPV خود دارد و حتی پیمانکار می‌تواند درصورتی‌که حداقل NPV موردانتظار وی محق نشود، پروژه را نپذیرد. وی نشان داد که نگهداری کمتر پول و تعداد دفعات بیشتر پرداخت، سبب کاهش مزایای حاصل از پروژه برای کارفرما می‌شود [۲۲]. بهرامی و مصلحی[4] (۲۰۱۳)، با هدف دستیابی به راهکاری منصفانه برای کمینه‌سازی هزینه‌ها از طریق تعیین مبلغ، زمان و مکان پرداخت مالی مبتنی بر پیشرفت بین کارفرما و پیمانکار، از یک روش فراابتکاری تلفیقی الگوریتم ژنتیک و حرارت‌دهی شبیه‌سازی استفاده کردند [۱]. هه و همکاران[5] (۲۰۱۴)، بر اساس توزیع هزینه‌های مالی مورد–تعهد پیمانکار و کارفرما، مسئله زمان‌بندی پرداخت‌های مالی بیشینه‌کننده درآمد پیمانکار و کارفرما به پروژه را از دیدگاه مشترک دو طرف بررسی کردند و هزینه تأمین مالی پروژه را به‌عنوان هزینه افزایش سرمایه از خارج یا هزینه فرصت سرمایه اختصاص‌داده‌شده به پروژه در نظر گرفتند و با به‌کارگیری دو الگوریتم فراابتکاری نوآورانه ضمن رسیدن به پاسخ‌های نزدیک به بهینه، تحلیل حساسیت برخی پارامترهای کلیدی همچون نرخ بهره و تأثیر آن بر معیارهایی همچون سود کارفرما و پیمانکار را انجام دادند [۶]. ژانگ و همکاران[6] (۲۰۲۰)، به مسئله مذاکره زمان‌بندی پرداخت مالی برای دستیابی به راه‌حل برد ـ برد پرداختند و در این راستا مسئله را به شکل یک مسئله بهینه‌سازی دوهدفه مدل‌سازی کردند و برای حل آن از تلفیق یک استراتژی

1. Ulusoy & Cebelli
2. He & Xu
3. Szmerekovsky
4. Bahrami & Moslehi
5. He, et al.
6. Zhang, et al.

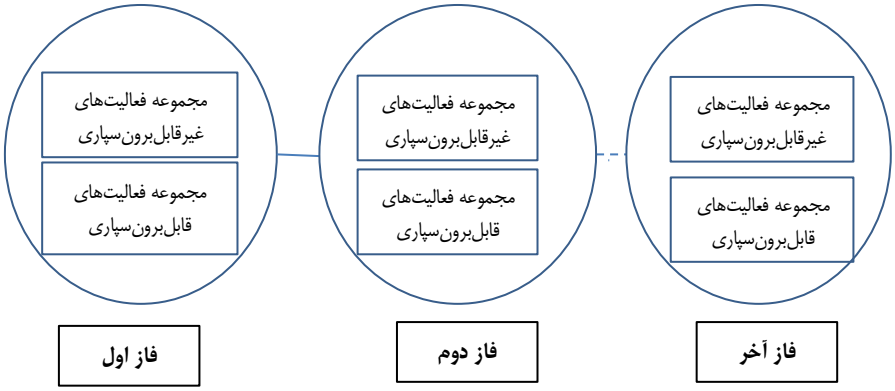
علاقه منطقه‌ای چندسطحی و الگوریتم فراابتکاری رتبه‌بندی نامغلوب بهره گرفتند [۲۸]. برخی از پژوهش‌های این حوزه رویکردی یک‌سویه داشته‌اند و بهینه‌سازی را تنها از دیدگاه کارفرما و یا پیمانکار دنبال کرده‌اند. برای مثال، هه و همکاران (۲۰۰۹)، برای مسئله بهینه‌سازی زمان‌بندی پرداخت مالی از دیدگاه کارفرما در یک پروژه دارای چندین حالت مختلف انجام فعالیت‌ها، نتیجه گرفتند که با افزایش دفعات پرداخت، بالارفتن نرخ بهره در هر دوره، افزایش حاشیه سود پیمانکار و نسبت پرداخت، NPV پروژه برای کارفرما کاهش می‌یابد [۸]. در همین راستا هه و همکاران (۲۰۰۹)، ضمن ارائه چهار مدل بهینه‌سازی مبتنی بر سناریو تحت محدودیت سرمایه با استفاده از الگوریتم‌های حرارت‌دهی شبیه‌سازی‌شده و جست‌وجوی ممنوعه برای حل آن‌ها دریافتند که با ارتقای سرمایه دردسترس پیمانکار در ابتدای دوره و نیز افزایش دفعات پرداخت و نسبت پرداخت مالی، NPV کارفرما رشد می‌کند [۷]. در زمینه بیشینه‌سازی NPV پیمانکار، گشنیانی و همکاران[1] (۲۰۲۰)، با لحاظ‌کردن محدودیت منابع با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری، مدلی مناسب برای الگوهای پرداخت مالی و کاهش زمان اتمام پروژه به‌منظور بیشینه‌سازی NPV پیمانکار ارائه کردند [۵]. وحدانی و شمس[2] (۲۰۲۰)، برای بیشینه‌سازی سود پیمانکار در پروژه‌ای دارای چندین حالت انجام فعالیت‌ها تحت محدودیت سرمایه، ساختار جریمه ـ پاداش مبتنی بر مهلت انجام فعالیت‌ها را در نظر گرفته و از روش جست‌وجوی ممنوعه برای انتخاب روش انجام فعالیت‌ها و زمان‌بندی پرداخت بهره گرفتند [۲۴]. از دیگر مباحث مرتبط، زمان‌بندی و تعیین توالی فعالیت‌ها برای بیشینه‌سازیNPV است که در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های لیمن و ونهوک[3] (۲۰۱۷)، ژنگ و همکاران[4] (۲۰۱۸) و نیز لیانگ و همکاران[5] (۲۰۱۹)، با مفروضاتی همچون نامعین درنظرگرفتن مدت‌زمان فعالیت‌ها و محدودیت منابع اشاره کرد [۱۴، ۲۷، ۱۵]؛ اما در زمینه استفاده از برون‌سپاری برای تکمیل پروژه تنها پژوهش‌هایی به‌صورت توصیفی در مورد مزایا و علل نیاز به برون‌سپاری انجام شده است و پژوهشگران در این حوزه به مدل‌سازی نپرداخته‌اند. در زمینه به‌کارگیری رویکرد بهینه‌سازی استوار سناریومحور برای حل مسئله نیز می‌توان به پژوهش‌های منوچهری و همکاران (۲۰۱۹)، جوکار و همکاران (۲۰۲۰) و مختاری و بختیاری (۲۰۲۰)، اشاره کرد [۱۶، ۱۱، ۱۷]. با بررسی مبانی نظری موجود می‌توان دریافت که یک شاهراه بزرگ برای بررسی بیشتر، تغییر جنبه‌های مختلف مسائل همچون ظرفیت منابع، میزان هزینه‌ها، نرخ تنزیل و دیگر پارامترها از حالت قطعی به عدم‌قطعیت است؛ ضمن اینکه تاکنون در پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه، اغلب فقط از رویکردهای احتمالی استفاده شده

1. Geshniani, et al.
2. Vahdani & Shams
3. Leyman & Vanhoucke
4. Zheng, et al.
5. Liang, et al.

است و به‌کارگیری رویکردهای فازی و استوار نیز می‌تواند گامی در جهت ارتقای کارهای موجود باشد؛ همچنین افزودن مباحث اختلال و ریسک در حین پیشرفت پروژه و درنظرگرفتن مسائل با توجه به ماهیت پروژه‌ها که می‌تواند توابع هزینه و درآمد متفاوتی برای هرکدام متصور شود نیز از فعالیت‌هایی است که می‌توان به‌عنوان خلأ پژوهشی نام برد. مثلاً در پروژه‌هایی همچون توسعه تجهیزات ارتباطات و اطلاعات و یا پروژه‌های مربوط به ماهواره‌های فضایی، تابع درآمد صعودی است. برای پروژه‌هایی همچون استخراج برخی منابع با ظرفیت و مقادیر مشخص و کم‌نوسان، تابع درآمد ثابت است. در رابطه با برخی موارد مانند مخازن نفتی مشترک که رو به نزول هستند و یا فناوری‌هایی که در حال منسوخ‌شدن هستند و باعث کاهش ارزش خروجی‌های پروژه می‌شوند، تابع درآمد کاهشی در نظر گرفته می‌شود. همچنین درنظرگرفتن امکان برون‌سپاری و مزایای تسریع تکمیل پروژه، همچون آزادسازی سرمایه و یا پاداش‌های انگیزشی کارفرما به‌عنوان عاملی در توازن هزینه/ درآمد و زمان تکمیل پروژه، دیگر جنبه مهم توسعه پژوهش‌های این حوزه است. در پژوهش کنونی ضمن لحاظ محدودیت زمان، سرمایه و منابع و افزودن هزینه تأخیر و هزینه فرصت ازدست‌رفته به همراه امکان برون‌سپاری، هزینه‌های پروژه برای سازمان‌های دولتی با بودجه محدود و نامعین کمینه‌سازی شده و برای حل مسئله رویکرد بهینه‌سازی استوار سناریومحور استفاده شده است.

بیان مسئله. در این پژوهش، پروژه‌ای متشکل از چند فاز متوالی در نظر گرفته می‌شود که هر فاز پروژه دارای مجموعه‌ای از فعالیت‌های قابل‌برون‌سپاری بوده و آغاز آن در گروی تکمیل فاز قبلی و نیز تأمین مالی بودجه‌ی متعهدشده در ابتدای آن فاز است (شکل ۱)؛ همچنین اتمام یک فاز پس از مهلت مقرر، متناسب با میزان تأخیر سبب تحمیل هزینه می‌شود؛ ضمن اینکه سازمان اجراکننده پروژه چندین پروژه و گزینه سرمایه‌گذاری در حال انجام دارد که برای پیشبرد آن‌ها بودجه‌ای محدود دریافت می‌کند که متأثر از وضعیت اقتصادی سازمان است. به همین منظور سناریوهای رکود، تعادل و رونق تعریف شده است که بر اثر رخدادن هر یک از آن‌ها، سقف بودجه دردسترس هر فاز به ترتیب از کم به متوسط و زیاد تغییر می‌یابد. پرداخت بودجه هر فاز پیش از زودترین زمان برنامه‌ریزی‌شده، به‌دلیل دسترسی پیش از موعد و ایجاد اختلال در دیگر فرصت‌های سرمایه‌گذاری، هزینه فرصت به سازمان تحمیل می‌کند؛ همچنین به‌منظور شتاب‌دهی در انجام هر یک از فازهای پروژه، می‌توان از اضافه‌کاری توسط نیروهای داخلی و بهره‌برداری بیشتر از دیگر منابع سازمان تا حد معینی استفاده کرد. چنانچه از نظر حفظ دانش و تضمین کیفیت و دیگر ملاحظات مشکلی وجود نداشته باشد، امکان برون‌سپاری با هزینه و مدت‌زمان متفاوت به یکی از پیمانکاران وجود دارد؛ به‌طوری‌که در زمانی پیش از مشخص شدن میزان دقیق بودجه یک فاز، باید قرارداد آن با پیمانکار منعقد شود. به‌این‌ترتیب می‌توان توازن

مناسبی بین صرف هزینه‌های بیشتر به‌دلیل شتاب‌دهی پروژه از طریق به‌کارگیری گزینه‌های دردسترس و کاهش هزینه‌های تأخیر برقرار کرد؛ بنابراین با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها، مدلی ایجاد خواهد شد که ضمن به‌کارگیری رویکرد بهینه‌سازی استوار سناریومحور برای مقابله با بودجه محدود و نامعین، با انتخاب شیوه بهینه استفاده از منابع درون و برون‌سازمانی، زمان‌بندی و مبلغ تخصیص منابع مالی را به بهترین شکل تعیین کند.



شکل ۱. شماتیک فازهای مختلف تشکیل دهنده‌ی پروژه به همراه مجموعه فعالیت‌های درون هر فاز

۳. روش‌شناسی پژوهش

با توجه به ماهیت گسسته و متکی به سه سناریوی محتمل وضعیت‌های رکود، تعادل و رونق اقتصادی و نبود اطلاعات کامل از تابع توزیع احتمال و یا تابع عضویت پارامترهای نامعین، به‌جای رویکردهای فازی و احتمالی به‌منظور پوشش ریسک تصمیم‌گیری، از رویکرد بهینه‌سازی استوار سناریومحور ارائه‌شده توسط مالوی و همکاران[1] (۱۹۹۵)، استفاده می‌شود [۱۸]. آن‌ها بهینه‌سازی استوار را با درنظرگرفتن تحلیل هزینه و فایده بین استواری راه‌حل و استواری مدل بر اساس میزان اهمیت تعیین‌شده توسط کارشناسان ارائه دادند؛ به‌گونه‌ای که غیرموجه‌بودن مدل به‌وسیله تابع جریمه اندازه‌گیری می‌شود؛ بنابراین می‌توان بدون حذف عوامل نامعین‌کننده و با لحاظ‌کردن مقادیر محتمل پارامترهای نامعین، تخمین مناسبی از مجموعه دارای عدم‌قطعیت بر اساس داده‌های گذشته و تجارب خبرگان به‌دست آورد که در مقایسه با رویکردهای مشابه سبب فهم بهتر تصمیم‌گیرندگان می‌شود؛ همچنین با ایجاد پاسخ‌هایی نزدیک به بهینه با رعایت هر چه بیشتر موجه‌بودن نسبت به تحقق هر سناریو، حداقل نوسان را نسبت به تغییرات دارد و در محیط واقعی امکان اجرای مؤثر و کاربردی می‌یابد. شکل کلی و نمادهای مدل بهینه‌سازی استوار سناریومحور به شرح زیر است:

1. Mulvey, et al.

رابطه (۱)

$$\begin{aligned} &\text{Min } Z = c^T x + d^T y \\ &\text{Subject to} \\ &Ax = b \\ &Bx + Cy = e \\ &x, y \geq 0 \end{aligned}$$

در مدل بالا، x بردار متغیرهای طراحی و y بردار متغیرهای کنترل، A، B و C ضرایب پارامترها و b و e بردارهای مقادیر سمت راست هستند. A و b مقادیر معین و B، C و e دارای عدم‌قطعیت هستند. در مدل استوار تصادفی سناریومحور، یک فهم خاص از پارامتر عدم‌قطعیت را «سناریو» می‌نامند که به آن نماد s اختصاص می‌یابد و احتمال آن با P_s مشخص می‌شود. ضرایب عدم‌قطعیت به شکل C_s، B_s و e_s و به‌ازای رخ‌دادن هر سناریو $s \in S$ به پارامترها اختصاص می‌یابد؛ همچنین متغیر کنترل y چون بعد از فهم سناریو تعدیل می‌شود، نماد y_s برای سناریوی s به آن تخصیص می‌یابد. متغیر δ_s میزان غیرموجه‌بودن مدل ناشی از عدم‌قطعیت پارامترها را تحت هر سناریو نشان می‌دهد.

رابطه (۲)

$$\begin{aligned} &\text{Min } Z = \sigma(x, y_1, y_2, \dots y_s) + \\ &\rho(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s) \\ &\text{Subject to} \\ &Ax = b \\ &B_s x + C_s y_s + \delta_s = e_s \qquad \forall s \in S \\ &x \geq 0, y_s \geq 0, \ \delta_s \geq 0 \qquad \forall s \in S \end{aligned}$$

بخش نخست تابع هدف بالا، استواری راه‌حل و بخش دوم استواری مدل را نشان می‌دهد که اهمیت آن به‌وسیله‌ی ω نشان داده می‌شود؛ یعنی ضریب ω، وزن تعریف‌شده برای غیرموجه‌بودن است و تحلیل هزینه منفعت بین استواری مدل و استواری راه‌حل را نشان می‌دهد و طبق مفاهیم تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه و بر اساس ریسک‌پذیری تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود. برای نشان‌دادن تابع f(x,y)، یعنی بخش مرتبط با استواری راه‌حل که یک تابع هزینه و فایده است، از نماد ψ استفاده می‌شود؛ بنابراین برای هر سناریو: $\psi_s = f(x, y_s)$. واریانس بالا برای ψ نشان می‌دهد که تصمیم دارای ریسک بالایی است؛ یعنی تغییری کوچک در پارامترهای دارای عدم‌قطعیت می‌تواند سبب تغییرات بزرگ در ارزش تابع هدف شود. مالوی و همکاران (۱۹۹۵) از عبارت ۳، برای نشان‌دادن استواری راه‌حل استفاده کردند که در آن λ وزن اختصاص‌یافته برای واریانس راه‌حل است [۱۸].

رابطه (۳)

$$\sigma(0) = \lambda \sum_s p_s \, (\psi_s - \sum_{s'} p_{s'} \, \psi_{s'})^2$$

یو و لی[1] (۲۰۰۰)، برای کاهش محاسبات، عبارت قدر مطلق انحراف را جایگزین عبارت درجه دو بالا کردند که در آن θ^{+s} و θ^{-s} دو متغیر مثبت هستند [۲۶].

رابطه (۴)

$$\theta^{+s} - \theta^{-s} = \left| \psi_s - \sum_{s'} p_{s'} \psi_{s'} \right|$$
$$\theta^{+s}, \theta^{-s} \geq 0 \quad \forall s \in S$$

برای ساده‌کردن حل مسئله از طریق خطی‌سازی تابع هدف، محدودیت زیر به مدل افزوده می‌شود:

رابطه (۵)

$$\psi_s - \sum_{s'} p_{s'} \psi_{s'} = \theta^{+s} - \theta^{-s} \quad \forall s \in S$$

سرانجام پس از اعمال بهبودهای بیان‌شده فرم کلی زیر حاصل می‌شود:

رابطه (۶)

$$Min \ Z = \sum_{s} p_s \psi_s + \lambda \sum_{s} p_s (\theta^{+s} - \theta^{-s}) + \omega \sum_{s} P_s \delta_s$$
$$Subject\ to$$
$$Ax = b$$
$$B_s x + C_s y_s + \delta_s = e_s \qquad \forall s \in S$$
$$\psi_s - \sum_{s'} p_{s'} \psi_{s'} = \theta^{+s} - \theta^{-s} \qquad \forall s \in S$$
$$x \geq 0, y_s \geq 0, \ \delta_s, \theta^{+s}, \theta^{-s} \geq 0 \qquad \forall s \in S$$

مدل بهینه‌سازی استوار. در این بخش ابتدا نمادهای موردنیاز برای مدل‌سازی مسئله، شامل اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم در جدول ۱، معرفی شده و بر این اساس مسئله تعریف‌شده به شکل مدلی استوار فرموله می‌شود.

1. Yu & Li

جدول ۱. معرفی نمادهای مدل‌سازی استوار

مجموعه اندیس‌ها	
I	تعداد فازهای هر پروژه
J	انواع روش‌های برون‌سپاری فعالیت‌های پروژه
s و $\acute{s}$	سناریوهای وضعیت مالی سازمان در هر فاز پروژه
پارامترهای زمان و طول دوره	
At_i	حداکثر زمان تکمیل قابل‌قبول هر فاز پروژه
Et_i	زودترین زمان درنظرگرفته‌شده به‌منظور پرداخت بودجه در هر فاز پروژه
Rt_i	مدت‌زمان تکمیل هر فاز پروژه بدون برون‌سپاری و یا شتاب‌دهی توسط منابع درون سازمان
Ov_i	حداکثر مدت‌زمان تسریع در انجام هر فاز پروژه از طریق شتاب‌دهی توسط منابع درون سازمان
Os_{ij}	مدت‌زمان تسریع در فاز i با روش برون‌سپاری j
پارامترهای هزینه	
Cr_i	هزینه عادی انجام هر فاز پروژه توسط نیروهای داخلی
Cv_i	حداکثر هزینه ممکن برای شتاب‌دهی انجام هر فاز پروژه توسط نیروهای داخلی
CL_i	هزینه جریمه‌ها و سود ازدست‌رفته ناشی از تأخیر در تکمیل هر فاز پروژه
CA_i	هزینه تسریع دسترسی به منابع، ناشی از فرصت ازدست‌رفته در دیگر سرمایه‌گذاری‌ها در هر فاز پروژه
Cs_{ij}	هزینه برون‌سپاری انجام ماژول قابل برون‌سپاری هر فاز پروژه با روش برون‌سپاری j
پارامترهای برقرارکننده توازن استواری مدل و استواری پاسخ	
Λ	ثابت اهمیت (وزن) درنظرگرفته‌شده برای واریانس راه‌حل
W	ثابت اهمیت (وزن) درنظرگرفته‌شده برای ناموجه‌بودن مدل
پارامترهای منابع درونی و برون‌سپاری در هر فاز پروژه	
Po_i	پارامتر تعیین‌کننده امکان و یا عدم‌امکان برون‌سپاری در هر فاز پروژه بر اساس تصمیم مدیران است که در صورت مجازبودن برون‌سپاری مقدار آن یک وگرنه صفر در نظر گرفته می‌شود.
P_i^s	احتمال رخدادن سناریوی s در فاز i
F_i^s	بودجه برنامه‌ریزی‌شده برای پرداخت به‌منظور پیشبرد فعالیت‌های فاز i پروژه تحت سناریوی s
متغیرهای تصمیم	
Bt_i^s	زمان آغاز هر فاز پروژه تحت سناریوی s
Ct_i^s	زمان تکمیل و بهره‌برداری هر فاز پروژه تحت سناریوی s
TL_i^s	مدت‌زمان تأخیر در اجرای هر فاز پروژه تحت سناریوی s
TA_i^s	مدت تسریع در پرداخت بودجه به هر فاز پروژه تحت سناریوی s
L_i^s	متغیر تصمیم مدت‌زمان تأخیر در پرداخت مالی به هر فاز پروژه پس از تکمیل فاز قبلی آن تحت سناریوی s
qy_i^s	نسبتی از حداکثر میزان شتاب‌دهی تعدیل‌شده با به‌کارگیری منابع داخلی سازمان در هر فاز پس از رخدادن سناریوی s
qx_{oij}	متغیر کنترل صفر و یک برون‌سپاری در هر فاز پیش از رخدادن هرکدام از سناریوها به روش j
θi^{+s}	میزان انحراف مثبت سناریوی s از متوسط مقدار بهینه دیگر سناریوها
θi^{-s}	میزان انحراف منفی سناریوی s از متوسط مقدار بهینه دیگر سناریوها
δ_i^s	میزان غیرموجه‌بودن محدودیت بودجه سازمان در فاز i تحت سناریوی s
d_i^s	مدت‌زمان انجام هر فاز پروژه با توجه به نوع تخصیص سرمایه به منابع و به‌کارگیری آن‌ها تحت سناریوی s

Bt_i^s	زمان آغاز هر فاز پروژه تحت سناریوی s
Ct_i^s	زمان تکمیل و بهره‌برداری هر فاز پروژه تحت سناریوی s
TL_i^s	مدت‌زمان تأخیر در اجرای هر فاز پروژه تحت سناریوی s
TA_i^s	مدت تسریع در پرداخت بودجه به هر فاز پروژه تحت سناریوی s
L_i^s	متغیر تصمیم مدت‌زمان تأخیر در پرداخت مالی به هر فاز پروژه پس از تکمیل فاز قبلی آن تحت سناریوی s
qy_i^s	نسبتی از حداکثر میزان شتاب‌دهی تعدیل‌شده با به‌کارگیری منابع داخلی سازمان در هر فاز پس از رخدادن سناریوی s
qx_{oij}	متغیر کنترل صفر و یک برون‌سپاری در هر فاز پیش از رخدادن هرکدام از سناریوها به روش j
θi^{+s}	میزان انحراف مثبت سناریوی s از متوسط مقدار بهینه دیگر سناریوها
θi^{-s}	میزان انحراف منفی سناریوی s از متوسط مقدار بهینه دیگر سناریوها
δ_i^s	میزان غیرموجه‌بودن محدودیت بودجه سازمان در فاز i تحت سناریوی s
d_i^s	مدت‌زمان انجام هر فاز پروژه با توجه به نوع تخصیص سرمایه به منابع و به‌کارگیری آن‌ها تحت سناریوی s

تابع هدف و محدودیت‌ها. پس از معرفی نمادها به مدل‌سازی مسئله پرداخته می‌شود که بر این اساس یک تابع هدف از نوع کمینه‌سازی هزینه‌ها به همراه قیود مربوطه ارائه شده است.

$$ZR = \sum_{i=1}^{n} \sum_s P_i^s \left[Cr_i + C\,v_i \times qy_i^s + \left(\sum_{j=1}^{m} C\,s_{ij} \times qxo_{ij}\right) + (Cl_i \times TL_i^s) + (CA_i \times TA_i^s) \right] + \lambda \sum_i^n \sum_s P_i^s (\theta_i^{+s} + \theta_i^{-s}) + w \sum_{i=1}^{n} \sum_s P_i^s \times \delta_i^s \qquad \text{رابطه (۷)}$$

بخش نخست تابع هدف متوسط مجموع هزینه‌های پروژه تحت سناریوهای مختلف است که به ترتیب عبارت‌اند از: ۱. هزینه‌های مرتبط با به‌کارگیری منابع داخل سازمان؛ یعنی هزینه‌های حقوق ثابت و اضافه‌کاری کارکنان به همراه بهره‌برداری عادی و اضافی از دیگر منابع؛ ۲. هزینه برون‌سپاری بخش‌هایی از پروژه؛ ۳. هزینه‌ی تأخیر در تکمیل هر فاز؛ ۴. هزینه تسریع در پرداخت بودجه به هرکدام از فازهای پروژه. بخش دوم حاصل‌ضرب استواری پاسخ، یعنی میانگین مقدار انحراف پاسخ بهینه هر سناریو از متوسط مقدار پاسخ بهینه‌ی پاسخ دیگر سناریوها و ضریب اهمیت آن را نشان می‌دهد. آخرین بخش نیز حاصل‌ضرب استواری مدل، یعنی متوسط مقادیر نقض محدودیت‌های بودجه‌ای هر یک از سناریوهای فازهای مختلف پروژه و اهمیت رعایت محدودیت‌ها است.

$$\sum_{j=1}^{n} qxo_{ij} \le Po_i \qquad \forall i = 1,2,\ldots,n \qquad \text{رابطه (۸)}$$

رابطه ۸، مجازبودن و یا عدم‌مجوز برون‌سپاری در هر فاز پروژه را تعیین و هم‌زمان تضمین می‌کند که در صورت امکان برون‌سپاری، تنها یکی از گزینه‌ها انتخاب شود.

$$qy_i^s \leq 1 \qquad \forall i,s \qquad \text{رابطه (۹)}$$

رابطه ۹، حداکثر میزان شتاب‌دهی درنظرگرفته‌شده توسط منابع داخلی سازمان در یک فاز به‌ازای رخ‌دادن هر سناریو را مشخص می‌کند.

$$Cr_i + C\,v_i \times qy_i^s + \sum_{j=1}^{n} Cs_{ij} \times qxo_{ij} - \delta_i^s \leq F_i^s \qquad \forall i,s \qquad \text{رابطه (۱۰)}$$

رابطه ۱۰، هزینه‌های ناشی از استفاده از منابع، تجهیزات و نیز هرگونه هزینه به‌منظور پیشبرد عادی و یا همراه با شتاب‌دهی پروژه توسط نیروها و منابع درون سازمان را در کنار هزینه‌های پرداختی به تأمین‌کنندگان به‌منظور برون‌سپاری فعالیت‌های هر فاز و انحراف مجموع آن‌ها از سقف بودجه در نظر گرفته‌شده در هر یک از سناریوها نشان می‌دهند.

$$d_i^s = Rt_i - Ov_i \times qy_i^s - \sum_{j=1}^{n} Os_{ij} \times qxo_{ij} \qquad \forall i,s \qquad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$L_1^s = Bt_1^s \qquad i = 1\ ,\forall s \qquad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$Ct_{i-1}^s + L_i^s = Bt_i^s \qquad \forall i,s \qquad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$Bt_i^s + d_i^s = Ct_i^s \qquad \forall i,s \qquad \text{رابطه (۱۴)}$$

تساوی‌های بالا، مدت‌زمان تکمیل فعالیت‌های هر فاز پروژه را به همراه زمان آغاز و پایان فازهای هر فاز پروژه را بر اساس زمان آغاز و مدت‌زمان تکمیل آن تحت هر سناریو تعیین می‌کنند.

$$Ct_i^s - At_i \leq TL_i^s \qquad \forall i,s \qquad \text{رابطه (۱۵)}$$

روابط ۱۱ تا ۱۵، مدت‌زمان تأخیر در اجرای هر فاز پروژه ناشی از اختلاف بین زمان پایان‌یافتن هر فاز و حداکثر زمان قابل‌قبول آن فاز را در صورت وقوع هر کدام از سناریوها نشان می‌دهند.

$$Bt_i^s - Et_i \leq TA_i^s \qquad \forall i,s \qquad \text{رابطه (۱۶)}$$

رابطه ۱۶، مدت‌زمان تسریع در پرداخت بودجه به هر فاز پروژه نسبت به زودترین زمان برنامه‌ریزی‌شده برای آن فاز را در صورت وقوع هر کدام از سناریوها نشان می‌دهند.

$$Cr_i + C\,v_i \times qy_i^s + \left(\sum_{j=1}^{m} C\,s_{ij} \times qxo_{ij}\right) + (Cl_i \times TL_i^s) + (CA_i \times TA_i^s) - \sum_{i=1}^{m}\sum_{s'} P_i^{s'}\left[Cr_i + C\,v_i \times qy_i^{s'} + \left(\sum_{j=1}^{m} C\,s_{ij} \times qxo_{ij}\right) + \left(Cl_i \times TL_i^{s'}\right) + \left(CA_i \times TA_i^{s'}\right)\right] = \theta_i^{+s} - \theta_i^{-s} \quad \forall i, s \qquad \text{رابطه (۱۶)}$$

رابطه ۱۶، تعیین‌کننده مجموع میزان انحراف مثبت و منفی هر پاسخ از متوسط مقدار بهینه دیگر سناریوها در کل فازهای پروژه است.

$$0 \le \mathrm{TL_{is}}, \mathrm{TA_{is}}, \mathrm{Ct_{is}}, \mathrm{Bt_{is}}, \mathrm{qy_i^s}, \mathrm{d_i^s}, \mathrm{L_i^s}, \theta_i^{+s}, \theta_i^{-s}, \delta_i^s, \eta_i^s \qquad \forall i, s \qquad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$\mathrm{qxo_{ij}}, \mathrm{qyo_{ig}^s} \in \{0, 1\} \qquad \forall i, s \qquad \text{رابطه (۱۸)}$$

دو رابطه آخر محدودیت‌ها نوع متغیرهای تصمیم مدل استوار را نشان می‌دهد.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

برای اعتبارسنجی و ارزیابی چگونگی کارکرد مدل هنگام تغییر میزان اهمیت هر یک از مفاهیم استواری مدل و استواری پاسخ از دیدگاه تصمیم‌گیرندگان، از طریق تغییرات ضرایب λ و w، تحلیل حساسیت مدل انجام شد. در همین راستا مسائل نمونه‌ای ایجاد می‌شود که در آن‌ها برون‌سپاری مجاز و احتمال وقوع هر سناریو بر اساس نظرهای کارشناسان بوده و مقادیر پارامترها نیز به‌طور تصادفی تولید و در جدول ۲، نشان داده شده است. ضرایب λ و w نیز مطابق آنچه در ادامه شرح داده خواهد شد، در هر یک از این مسائل تغییر می‌یابند؛ هرچند ازآنجاکه دیدگاه‌های خبرگان بر اساس ویژگی‌های شخصیتی، سطح دانش و اطلاعات متفاوت است، به‌منظور تخمین بهتر هر یک از پارامترها می‌توان از انواع روش‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه همچون فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[1] (AHP)، فرآیند تحلیل شبکه‌ای[2] (ANP) و روش‌های مشابه برای تلفیق نظرهای آن‌ها استفاده کرد که البته چنین مواردی خارج از محدوده این پژوهش است. در پایان نیز اثر صدور مجوز برون‌سپاری بررسی و تحلیل می‌شود. برای دستیابی به پاسخ بهینه، این مسائل به‌وسیله نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS با روش حل دقیق شاخه و برش توسط حل‌کننده CPLEX بر روی یک دستگاه رایانه شخصی با مشخصات Intel

1. Analytical Hierarchy process
2. Analytical Network process

Core i5 CPU 2.4 و دارای 4 GB RAM به روش دقیق حل شد؛ چراکه مسئله تعیین مقدار و زمان‌بندی تخصیص منابع در هر فاز با درنظرگرفتن محدودیت‌ها، وقوع هر یک از سناریوهای اقتصادی و سایر مفروضات باهدف کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های پروژه، تصمیمی در سطح تاکتیکی و دارای اثرات میان‌مدت است؛ بنابراین دقت در رسیدن به پاسخ مناسب با استفاده از ابزار و امکانات متداول حتی در صورت افزایش مدت‌زمان حل مسئله بیش از سرعت رسیدن به پاسخ اهمیت دارد و به‌کارگیری رویکردهای حل دقیق نسبت به روش‌های ابتکاری و فراابتکاری ارجحیت دارد.

جدول ۲. مقادیر پارامترهای مشترک مثال‌های نمونه

پارامتر		مقدار پارامتر در هر فاز		
		i=1	i=2	i=3
At_i		۳۵۰	۵۵۰	۸۰۰
Et_i		۰	۴۰۰	۷۵۰
Rt_i		۴۰۰	۵۱۰	۲۹۵
Ov_i		۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
Os_{ij}	j=1	۵۵	۶۵	۴۰
	j=2	۸۵	۷۵	۶۵
	j=3	۱۰۵	۸۰	۸۰
Cr_i		۴۰۰۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰
Cv_i		۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰
CL_i		۴۰	۴۰	۸۰
CA_i		۲۵	۲۵	۲۵
Cs_{ij}	j=1	۸۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
	j=2	۱۵۰۰	۳۵۰۰	۴۵۰۰
	j=3	۲۰۰۰	۵۰۰۰	۶۵۰۰
F_i^s	S=1 (رکود)	۴۶۰۰	۶۰۰۰	۴۲۰۰
	S=2 (تعادل)	۵۴۰۰	۷۲۰۰	۵۰۰۰
	S=3 (رونق)	۶۰۰۰	۹۰۰۰	۵۸۰۰
P_i^s	S=1 (رکود)	۰.۵	۰.۵	۰.۵
	S=2 (تعادل)	۰.۳	۰.۳	۰.۳
	S=3 (رونق)	۰.۲	۰.۲	۰.۲

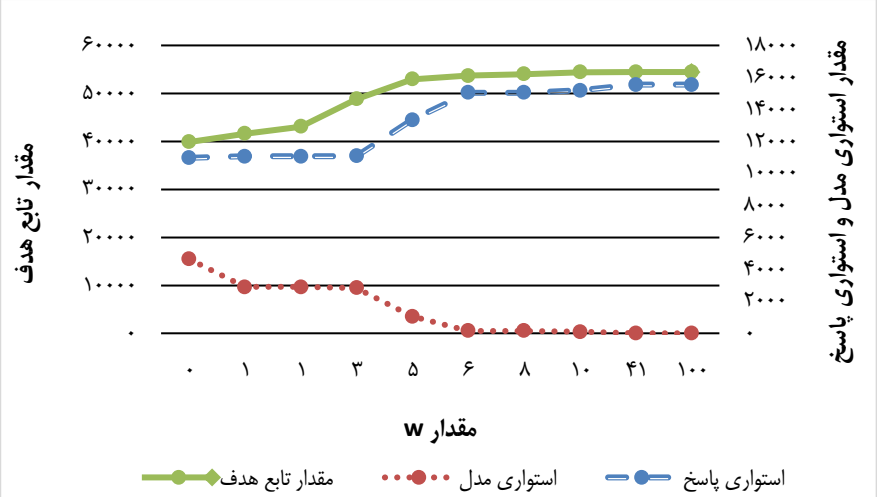
سنجش اهمیت استواری پاسخ و استواری مدل. در ابتدا برای تحلیل اثرات تغییر میزان اهمیت استواری پاسخ، ۱۰ مثال نمونه از P1 تا P10 ایجاد شد که در تمامی آن‌ها ۱=λ و دیگر پارامترهای آن‌ها نیز برابر با مقادیر جدول ۳ است؛ اما مقدار w در هر یک از آن‌ها مطابق آنچه در جدول ۳ مشاهده می‌شود، تغییر می‌کند.

جدول ۳. نتایج حل مسائل نمونه بر اثر تغییرات مقدار w

مثال نمونه	λ	w	استواری مدل		استواری پاسخ		مقدار تابع هدف	
			مقدار بهینه	درصد کاهش	مقدار بهینه	درصد افزایش	مقدار بهینه	درصد افزایش
P1	۱	۰	۴۶۴۰	_	۱۰۹۷۲/۵	-	۳۹۸۴۷/۵	-
P2	۱	۰/۵	۲۹۰۰	۳۷/۵	۱۱۰۵۸	۰/۷۷	۴۱۶۰۸	۴/۲
P3	۱	۱	۲۹۰۰	۰	۱۱۰۵۸	۰	۴۳۰۵۸	۳/۳
P4	۱	۳	۲۸۴۰	۲	۱۱۰۵۸	۰/۲۴	۴۸۸۴۰	۱۱/۸
P5	۱	۵	۱۰۶۰	۶۲/۵	۱۳۳۴۲	۱۶/۹	۵۲۹۵۲	۷/۷
P6	۱	۶	۱۶۰	۸۴.۹	۱۵۰۴۲	۱۱/۳	۵۳۷۱۲	۱/۴
P7	۱	۸	۱۶۰	۰	۱۵۰۴۲	۰	۵۴۰۳۲	۰/۵۹
P8	۱	۱۰/۵	۱۰۰	۳۷/۵	۱۵۱۸۱/۵	۰/۹۱	۵۴۴۰۶/۵	۰/۶۸
P9	۱	۱۱	۰	۱۰۰	۱۵۵۵۱/۷۵	۲/۳	۵۴۴۴۹/۲۵	۰/۰۷
P10	۱	۱۰۰	۰	۰	۱۵۵۵۱/۷۵	۰	۵۴۴۴۹/۲۵	۰

با حل مثال‌های نمونه P1 تا P10 مشخص شد که هر گاه w=0 باشد، استواری پاسخ و تابع هدف کمترین میزان و استواری مدل بیشترین مقدار را دارد؛ چراکه w=0 به‌معنای عدم‌اهمیت رعایت محدودیت‌ها است و درنتیجه بالاترین میزان نقض محدودیت‌ها رخ می‌دهد که به‌طور مسلم چنین طراحی مدلی در محیط واقعی انتخاب مناسبی نیست. با افزایش مقدار w از صفر تا ۱۱ که درواقع به‌معنای افزایش میزان اهمیت رعایت محدودیت‌ها از دید تصمیم‌گیرندگان است، محدودیت‌ها کمتر نقض می‌شود و استواری مدل به‌مرور کاهش می‌یابد تا جایی که به کمترین مقدار ممکن یعنی صفر می‌رسد؛ از سوی دیگر با بیشترشدن تفاوت بین پاسخ‌های بهینه تحت سناریوهای مختلف، استواری پاسخ از ۱۰۹۷۲/۵ به مقدار بیشینه خود، یعنی ۱۵۵۵۱/۷۵۰، افزایش می‌یابد و پس از رسیدن مقدار w به ۱۱ و مقادیر بالاتر، همچنان استواری مدل صفر و استواری پاسخ نیز در بیشترین مقدار خود ثابت می‌ماند؛ بنابراین چنانچه نسبت w به λ برابر با ۱۱ و یا بزرگ‌تر از آن شود، عدم‌تجاوز از قیود مسئله نسبت به ثبات در پاسخ‌ها اولویت مطلق دارد که بر اثر آن، تمام محدودیت‌ها به‌طور کامل رعایت شده است و درنتیجه همه پاسخ‌های به‌دست‌آمده در صورت وقوع هر یک از سناریوها امکان‌پذیر هستند؛ اما تغییرات در پاسخ بهینه به‌ازای رخدادن

سناریوهای مختلف، در بالاترین حد خود قرار می‌گیرد؛ بنابراین برای مواردی که تصمیم‌گیرندگان ریسک‌گریز هستند و یا متناسب با حساسیت‌های سازمان رویکردی محافظه‌کارانه دارند، چنین حالتی مناسب است. مقدار تابع هدف نیز از ۳۹۸۴۷/۵ روند صعودی خود را آغاز می‌کند و سرانجام با رسیدن w به ۱۱ به بیشترین مقدار خود، یعنی ۵۴۴۴۹/۲۵، می‌رسد و پس‌ازآن بدون تغییر می‌ماند؛ چراکه با افزایش w و رعایت هر چه بیشتر محدودیت‌ها امکان رسیدن به پاسخ بهتر و کاهش هزینه‌ها وجود ندارد و از طرفی اگرچه استواری مدل کمتر شده است، اما هم‌زمان اندازه w بیشتر و درنتیجه حاصل‌ضرب این دو تغییر چندانی ندارد. ضمن اینکه به‌دلیل روند صعودی استواری پاسخ، میزان حاصل‌ضرب آن در λ نیز افزایش می‌یابد. این روند تا جایی ادامه می‌یابد که استواری صفر می‌شود و حاصل‌ضرب آن در w تأثیری بر تابع هدف نمی‌گذارد؛ همچنین استواری پاسخ نیز در مقدار بیشینه خود ثابت مانده و به‌دلیل ثابت‌بودن λ، حاصل‌ضرب این دو نیز بدون تغییر می‌ماند؛ درنتیجه مقدار تابع هدف نیز تغییر نمی‌کند.



شکل ۲. روند تغییرات استواری مدل، استواری پاسخ و تابع هدف هم‌زمان با تغییر اهمیت استواری مدل

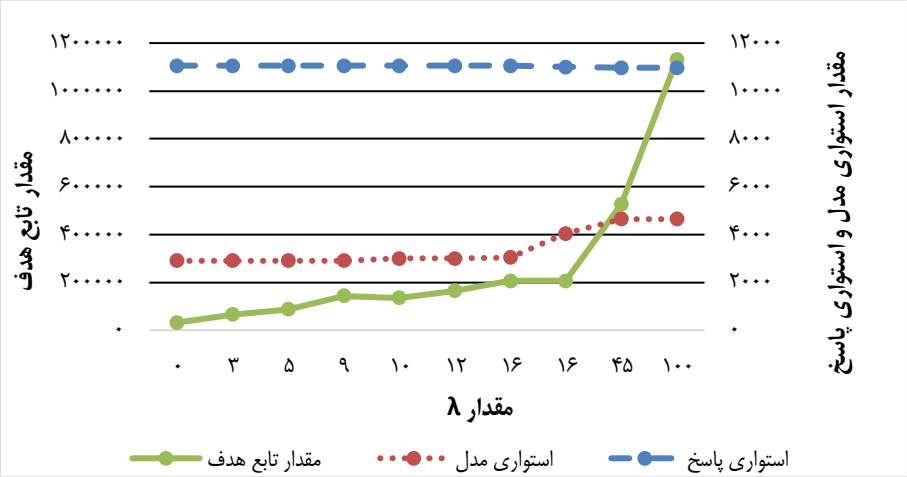
در گام بعدی، تغییرات میزان اهمیت استواری مدل و اثرات ناشی از آن بررسی خواهد شد. به همین منظور فرآیند قبل به‌طور معکوس اجرا می‌شود. به این ترتیب برای مثال‌های نمونه P11 تا P20 که در جدول ۴ دیده می‌شوند، مقادیر پارامترهای مشترک برابر است با آنچه در جدول ۳ ذکر شده و این بار w=۱ و پارامتر λ در هر مثال تغییر می‌کند؛ به‌طوری‌که کمترین میزان آن در مسئله‌ی P11 صفر است و به‌تدریج در نمونه مسائل بعدی افزایش می‌یابد تا بیشینه آن در مسئله P20 به ۱۰۰ می‌رسد؛ سپس هر یک از این مثال‌های نمونه حل می‌شود و نتایج برای مقدار تابع هدف، استواری پاسخ و استواری مدل تجزیه‌وتحلیل می‌شود.

جدول ۴. نتایج حل مسائل نمونه بر اثر تغییرات مقدار λ

مثال نمونه	w	λ	استواری مدل		استواری پاسخ		مقدار تابع هدف	
			مقدار بهینه	درصد افزایش	مقدار بهینه	درصد کاهش	مقدار بهینه	درصد افزایش
P11	۱	۰	۲۹۰۰	_	۱۱۰۵۸	-	۳۲۰۰۰	-
P12	۱	۳	۲۹۰۰	۰	۱۱۰۵۸	۰	۶۵۱۷۴	۵۰/۹
P13	۱	۵	۲۹۰۰	۰	۱۱۰۵۸	۰	۸۷۲۹۰	۲۵/۳
P14	۱	۹/۲۸	۲۹۰۰	۰	۱۱۰۵۸	۰	۱۳۴۶۱۸/۲۴	۳۵/۱
P15	۱	۱۰	۳۰۰۰	۳/۳	۱۱۰۵۱	۰/۰۶	۱۴۲۵۷۵	۵/۵
P16	۱	۱۲	۳۰۰۰	۰	۱۱۰۵۱	۰	۱۶۴۶۷۷	۱۳/۴
P17	۱	۱۵/۷۷	۳۰۴۰	۱/۳	۱۱۰۴۹	۰/۰۱۸	۲۰۶۳۳۷/۷۳	۲۰/۱
P18	۱	۱۵/۷۸	۴۰۴۰	۲۴/۷	۱۰۹۹۲/۷۵	۰/۵	۲۰۶۴۴۸/۰۹۵	۰/۰۵
P19	۱	۴۵	۴۶۴۰	۱۲/۹	۱۰۹۷۲/۵	۰/۱۸	۵۲۷۲۷۷/۵	۶۰/۸
P20	۱	۱۰۰	۴۶۴۰	۰	۱۰۹۷۲/۵	۰	۱۱۳۰۷۶۵	۵۳/۳

پس از حل مسائل P11 تا P20، مطابق انتظار مشاهده می‌شود که چنانچه مقدار λ برابر با صفر باشد، نتایج دقیقاً برخلاف هنگامی است که w=0 باشد؛ زیرا در این شرایط استواری پاسخ کاملاً بی‌اهمیت فرض می‌شود و درنتیجه تفاوت در پاسخ‌های بهینه تحت سناریوهای مختلف در سقف ارزش خود جای می‌گیرد. از سوی دیگر به‌دلیل کمینه‌سازی‌بودن ماهیت مسئله، استواری مدل در کمترین مقدار خود قرار می‌گیرد. این شرایط تا رسیدن λ به ۹/۲۸ همچنان برقرار است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در شرایطی که w=1 است تا زمانی که نسبت λ به w برابر و یا کوچک‌تر از ۹/۲۸ باشد، همچنان رعایت ثبات در پاسخ تحت سناریوهای مختلف کمترین اهمیت را داشته و تأثیری نسبت به رعایت محدودیت‌ها ندارد؛ سپس با افزایش تدریجی λ که به‌معنای مهم‌ترشدن ثبات در پاسخ‌ها است، استواری مدل بیشتر می‌شود تا جایی که با رسیدن λ به ۴۵، استواری پاسخ، آخرین کاهش و استواری مدل، آخرین افزایش را تجربه می‌کند و پس‌ازآن به ازای تمام مقادیر λ≥۴۵ ارزش استواری مدل و پاسخ ثابت می‌ماند که نمایانگر حداکثر ثبات در تصمیمات و بدون تغییر باقی‌ماندن آن‌ها تحت هر یک از سناریوها است. به‌طورکلی اختلاف بین بیشترین و کمترین میزان استواری پاسخ در تمام مسائل نمونه کمتر از یک درصد است و نشان می‌دهد در مواردی که امکان انعطاف‌پذیری در تصمیمات اتخاذشده چندان فراهم نیست، مدل پیشنهادی بسیار کاربردی است. مقدار تابع هدف نیز هم‌زمان با افزایش λ روندی صعودی در پیش می‌گیرد (شکل ۳)؛ زیرا از طرفی مقدار w ثابت بوده، اما استواری مدل افزایش می‌یابد و از

سوی دیگر، هرچند با افزایش λ استواری پاسخ کمتر می‌شود، اما نسبت کاهش استواری پاسخ بسیار کمتر از نسبت افزایش λ است. اگرچه با بزرگ‌ترشدن λ، استواری مدل نیز صعودی بوده است، چون درصد افزایش استواری مدل قابل‌ملاحظه نیست، می‌توان نتیجه گرفت که متوسط هزینه‌های موردانتظار نیز کاهش زیادی نداشته‌اند و درمجموع مقدار تابع هدف همچون مقدار λ صعودی است.



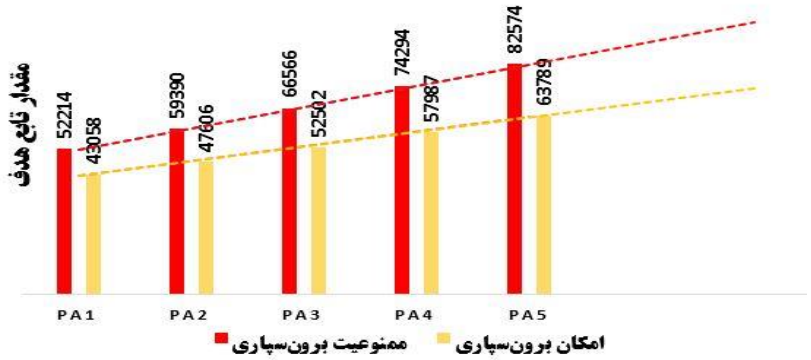
شکل ۳. روند تغییرات استواری مدل، استواری پاسخ و تابع هدف هم‌زمان با تغییر اهمیت استواری پاسخ

تأثیر برون‌سپاری. در این قسمت به‌منظور بررسی میزان کارآمدی بهره‌مندی از ظرفیت‌های برون‌سازمانی هنگام نیاز به تسریع پروژه بر مقدار تابع هدف، با درنظرگرفتن λ=۱ و w=۱، پنج مسئله نمونه، درحالی‌که پارامترهای مشترک آن‌ها همانند جدول ۳ است و تنها زمان تکمیل قابل‌قبول هر یک از فازهای آن‌ها طبق جدول ۵ از مثال PA1 تا PA5 به‌طور پلکانی کاهش یافته است، یک‌بار با فرض صدور مجوز برون‌سپاری و بار دیگر با فرض ممنوعیت آن حل می‌شود.

جدول ۵. نتایج حل مسائل نمونه با انواع حالات برون‌سپاری هنگام فشرده‌سازی موعد تکمیل

نمونه مثال	موعد تکمیل پروژه			مقدار تابع هدف با ممنوعیت برون‌سپاری	میزان تفاوت در تابع هدف	مقدار تابع هدف با امکان برون‌سپاری	درصد اختلاف
	i=1	i=2	i=3				
PA1	۳۵۰	۵۵۰	۸۰۰	۵۲۲۱۴	۹۱۵۶	۴۳۰۵۸	۱۷/۵
PA2	۳۳۰	۵۲۰	۷۵۰	۵۹۳۹۰	۱۱۷۸۴	۴۷۶۰۶	۱۹/۸
PA3	۳۱۰	۴۹۰	۷۰۰	۶۶۵۶۶	۱۴۰۶۴	۵۲۵۰۲	۲۱/۱
PA4	۲۹۰	۴۶۰	۶۵۰	۷۴۲۹۴	۱۶۳۰۷	۵۷۹۸۷	۲۱/۹
PA5	۲۷۰	۴۳۰	۶۰۰	۸۲۵۷۴	۱۸۸۷۵	۶۳۷۸۹	۲۲/۷

با حل مثال‌های نمونه ملاحظه می‌شود که هر چه موعد تحویل پروژه زودتر باشد، مقدار تابع هدف به‌دلیل تحمیل هزینه‌های تسریع در تکمیل پروژه در هر دو حالت امکان و عدم‌امکان برون‌سپاری رشد می‌کند که روند آن در شرایط ممنوعیت برون‌سپاری شیب بیشتری دارد؛ همچنین درصد اختلاف تابع هدف بین این دو حالت نیز افزایش می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که این تفاوت در ابتدا از ۱۷/۵ درصد آغاز می‌شود و در آخرین مسئله به ۲۲/۷ درصد می‌رسد و با توجه به خط روند ترسیم‌شده در شکل ۴، پیش‌بینی می‌شود که این روند ادامه یافته و درنتیجه بهره‌گیری از امکان برون‌سپاری، به‌دلیل کاهش بیشتر مقدار تابع هدف، بیش‌ازپیش اهمیت می‌یابد. صدور مجوز برون‌سپاری نیز همواره سبب کاهش مقدار تابع هدف شده است؛ بنابراین چنانچه ریسک افشای اطلاعات محرمانه یا ازدست‌رفتن کیفیت وجود نداشته باشد تا حد امکان باید از قابلیت برون‌سپاری بهره برد و تا حد امکان فعالیت‌های پروژه قابل‌برون‌سپاری طراحی شوند.



شکل ۴. بررسی تأثیر برون‌سپاری بر مقدار تابع هدف هم‌زمان با فشرده‌سازی

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در اغلب سازمان‌های دولتی که چندین پروژه در حال اجرا دارند و بودجه محدودی دریافت می‌کنند، تخصیص منابع باید به‌گونه‌ای باشد که تا حد امکان ضمن عدم‌ایجاد اختلال در پیشرفت پروژه، سبب کمبود اعتبار برای دیگر پروژه‌ها و گزینه‌های سرمایه‌گذاری نشود؛ اما گاهی هنگام برنامه‌ریزی و تخصیص اعتبار به‌دلیل آگاهی از محدودیت‌های مالی موجود در بودجه و نیاز هم‌زمان چندین پروژه، سازمان ناگزیر به ارجحیت‌دادن به برخی از آن‌ها خواهد بود؛ چراکه می‌توان با پرداخت هزینه بیشتر و در زمانی پیش از موعد مقرر، از مزایای بهره‌برداری برخوردار شد و یا از پرداخت هزینه‌های سنگین‌تر ناشی از تأخیر اجتناب کرد و برعکس گاهی با توجه به فرصت زیاد نسبت به ضرب‌الاجل تکمیل پروژه، می‌توان در صورت صلاحدید، پرداخت منابع را به تأخیر انداخت؛ بنابراین باید از انواع راهکارهای تکمیل پروژه به همراه بهای تمام‌شده

هر یک از آن‌ها اطلاع درستی داشت تا پس از سبک‌سنگین‌کردن گزینه‌های موجود در هر موقعیتی، بهترین تصمیم ممکن اتخاذ شود. علاوه بر این، محدودیت‌های بودجه‌ای در سازمان‌های دولتی به شرایط اقتصادی سازمان بستگی دارد؛ بنابراین در پژوهش کنونی مدل استواری ارائه شده است که برای سازمان‌های دولتی دارای پروژه‌های چندوجهی و امکان برون‌سپاری، ضمن تعیین مبلغ و زمان‌بندی مناسب تخصیص اعتبارات مالی به هر یک از فازهای پروژه به‌عنوان چالشی تازه، بین بهره‌گیری از منابع درون‌سازمانی و برون‌سپاری، متناسب با موعد تکمیل و نیز محدودیت‌های بودجه‌ای موازنه‌ای بهینه برقرار می‌کند تا مجموع هزینه‌ها کمینه شود. در این راستا علاوه بر هزینه‌های اتمام دیرهنگام، هزینه فرصت ازدست‌رفته در دیگر فرصت‌های سرمایه‌گذاری بر اثر پرداخت زودتر از موعد مقرر بودجه به این پروژه لحاظ شده است. به‌عنوان دیگر جنبه توسعه پژوهش، برای نزدیک‌کردن مدل با واقعیت‌های موجود، سه وضعیت رکود، تعادل و رونق اقتصادی با احتمال وقوع مختلف به‌عنوان عامل نامعینی سرمایه در دسترس سازمان در نظر گرفته شده و برای مواجهه با این عدم‌قطعیت نیز از رویکرد بهینه‌سازی استوار سناریو محور بهره‌گیری شد که در آن هم‌زمان با کمینه‌سازی میانگین هزینه‌ها، برقراری موازنه بین رعایت محدودیت‌ها و ثبات در پاسخ‌ها دنبال می‌شود. برای حل مدل پیشنهادی نیز نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS با به‌کارگیری روش CPLEX مورداستفاده قرار گرفت و اثرات انواع دیدگاه‌ها نسبت به رعایت محدودیت‌های بودجه‌ای و نیز ثبات پاسخ‌ها بررسی و کارآمدی مدل نشان داده شد؛ به‌گونه‌ای که می‌توان متناسب با شرایط سازمان و حساسیت‌های موجود ضرایب λ و w را تعیین کرد. چنانچه اشخاص تصمیم‌گیرنده از نظر شخصیتی ریسک‌گریز باشند و یا با توجه به ماهیت پروژه و شرایط سازمان، رویکردی محتاطانه را دنبال کنند، تمامی محدودیت‌ها به‌طور کامل رعایت شده و ریسک تصمیم‌گیری کاملاً پوشش داده می‌شود. در مواردی که ثبات در تصمیم‌گیری اولویت مطلق داشته باشد، رخ‌دادن سناریوهای مختلف هیچ‌گونه تأثیری بر پاسخ‌های مسئله نخواهد داشت و استواری پاسخ کمتر از ۱ درصد تغییر می‌کند که این مهم به‌خوبی نمایانگر مزیت به‌کارگیری رویکرد بهینه‌سازی استوار و پوشش هر چه بیشتر نگرش‌های گوناگون تصمیم‌گیرندگان هنگام محاسبه پاسخ بهینه است. در پایان نیز مزیت بهره‌مندی از برون‌سپاری به‌ویژه هنگام جلو افتادن موعدهای تکمیل پروژه نشان داده شد؛ بنابراین شایسته است تا حد ممکن فعالیت‌های پروژه به‌گونه‌ای طراحی شوند که قابلیت برون‌سپاری هر چه بیشتری داشته باشند و تصمیم‌گیرندگان نیز هر چه بیشتر نسبت به صدور مجوز برون‌سپاری همکاری کنند. یافته‌های چنین پژوهش‌هایی، به‌ویژه برای سازمان‌های دولتی پروژه‌محوری که هم‌زمان چندین پروژه‌ی دردست‌اجرا با منابع و بودجه محدود و نامعین در اختیار دارند، بسیار ارزنده است. راهکارهای توسعه این پژوهش را می‌توان در دو دسته مدل‌سازی مفروضات جدید در مسئله و تغییر رویکردهای حل مسئله طبقه‌بندی کرد که مواردی همچون

وجود چند ماژول قابل‌برون‌سپاری، امکان انتخاب پیمانکار، طراحی قراردادهای منصفانه بین کارفرما و پیمانکاران با هدف بیشینه‌سازی سود هر دو طرف، تعریف درآمد تکمیل هر یک از فازهای پروژه به‌عنوان تابعی از زمان، نامعین‌فرض‌کردن پارامترهایی همچون هزینه و مدت‌زمان هر یک از فازها، به‌کارگیری رویکردهای فازی یا احتمالی برای مواجهه با عدم‌قطعیت، درنظرگرفتن پاداش در صورت هزینه‌کرد کمتر از بودجه تعیین‌شده و یا امکان انتقال مبلغ باقی‌مانده از بودجه در هر فاز پروژه به فاز بعدی، زمان‌بندی شبکه فعالیت‌ها، بالابردن سرعت انجام کار از طریق افزایش ظرفیت داخلی، درنظرگرفتن تابع چندهدفه با افزودن اهدافی همچون کاهش مدت‌زمان پروژه و کاهش مصرف بودجه تخصیص‌یافته از مهم‌ترین پیشنهادهای پژوهش در این زمینه هستند.

منابع

1. Bahrami, F., & Moslehi, G. (2013). Study of payment scheduling problem to achieve client–contractor agreement. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 64(1-4),* 497-511.
2. Dayanand, N., & Padman, R. (1997). On modelling payments in projects. *Journal of the Operational Research Society, 48(9),* 906-918.
3. Dayanand, N., & Padman, R. (2001). A two stage search heuristic for scheduling payments in projects. *Annals of Operations Research, 102(1-4),* 197-220.
4. Dayanand, N., & Padman, R. (2001). Project contracts and payment schedules: The client's problem. *Management Science, 47(12),* 1654-1667.
5. Geshniani, Y. V., Kamranrad, R., & Emami, I. (2020). A multi-objective scheduling payment pattern for project cash flow by considering resource constraints (a case study in power transfer system). *International Journal of Industrial and Systems Engineering, 35(3),* 299-313.
6. He, Z., Wang, N., & Li, P. (2014). Simulated annealing for financing cost distribution based project payment scheduling from a joint perspective. *Annals of Operations Research, 213(1),* 203-220.
7. He, Z., Wang, N., Jia, T., & Xu, Y. (2009). Simulated annealing and tabu search for multi-mode project payment scheduling. *European Journal of Operational Research, 198(3*), 688-696.
8. HE, Z. W., LIU, R. J., HU, X. B., & Yu, X. U. (2009). Client perspective based multimode project payment scheduling problem and its heuristic algorithm. *Systems Engineering-Theory & Practice, 29(2),* 70-77.
9. He, Z., & Xu, Y. (2008). Multi-mode project payment scheduling problems with bonus–penalty structure. *European Journal of Operational Research, 189(3),* 1191-1207.
10. Hou, C., Lu, M., Deng, T., & Shen, Z. J. M. (2020). Coordinating Project Outsourcing Through Bilateral Contract Negotiations. *Manufacturing & Service Operations Management.*
11. Jokar, M., Mozafari, M., Akbari, A., (2020). Weighted robust two-stage optimization model for selecting suppliers and assigning orders in uncertainty. *Journal of Industrial Management Perspective. 10(2),* 111-135. (In Persian)
12. Kargar shuraki, H., (2007). Project Management in the Iranian Public Sector: Features, Challenges and Solutions. *Third International Project Management Conference,* Tehran. (In Persian)
13. Lacity, M. C., & Rottman, J. W. (2008). The impact of outsourcing on client project managers. *Computer, 41(1),* 100-102.
14. Leyman, P., & Vanhoucke, M. (2017). Capital-and resource-constrained project scheduling with net present value optimization. *European Journal of Operational Research, 256(3),* 757-776.
15. Liang, Y., Cui, N., Wang, T., & Demeulemeester, E. (2019). Robust resource-constrained max-NPV project scheduling with stochastic activity duration. *OR Spectrum, 41(1*), 219-254.
16. Manuchehri, S., Tajeden, A., Shirazi, B. (2019). Integrated robust optimization for closed-loop green supply chain. *Journal of Industrial Management Perspective. 9(3),* 55-85. (In Persian)

17. Mokhtari, Gh., & Bakhtiari, F. (2020). Robust optimization for supplier selection and multi-product lot sizing with stochastic and multi-class demand. *Journal of Industrial Management Perspective. 10(4),* 193-225. (In Persian)
18. Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., & Zenios, S. A. (1995). Robust optimization of large-scale systems. Operations research, 43(2), 264-281.
19. Prasad Sharma, D. (2020). Cloud-Based Outsourcing Framework for Efficient IT Project Management Practices. IJACSA) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 11(9*), 153-164.
20. Russell, A. H. (1970). Cash flows in networks. *Management Science, 16(5),* 357-373.
21. Sandhu, M. A., Shamsuzzoha, A., & Helo, P. (2018). Does outsourcing always work? A critical evaluation for project business success. *Benchmarking: An International Journal. 25(7),* 7-25.
22. Szmerekovsky, J. G. (2005). The impact of contractor behavior on the client's payment-scheduling problem. *Management Science, 51(4),* 629-640.
23. Ulusoy, G., & Cebelli, S. (2000). An equitable approach to the payment scheduling problem in project management. *European Journal of Operational Research, 127(2),* 262-278.
24. Vahdani, H., & Shams, A. (2020). Multi-mode capital-constrained project payment scheduling model considering bonus-penalty structure. *International Journal of Management Science and Engineering Management, 15(1),* 17-25.
25. Wiesemann, W., Kuhn, D., & Rustem, B. (2010). Maximizing the net present value of a project under uncertainty. *European Journal of Operational Research, 202(2),* 356-367.
26. Yu, C. S., & Li, H. L. (2000). A robust optimization model for stochastic logistic problems. *International journal of production economics, 64(1-3),* 385-397.
27. Zheng, W., He, Z., Wang, N., & Jia, T. (2018). Proactive and reactive resource-constrained max-NPV project scheduling with random activity duration. *Journal of the Operational Research Society, 69(1),* 115-126.
28. Zhang, Z. X., Chen, W. N., Jin, H., & Zhang, J. (2020). A Preference Biobjective Evolutionary Algorithm for the Payment Scheduling Negotiation Problem. *IEEE transactions on cybernetics.*