

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.

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 در دسترس بودن آن در نظر گرفته می‌شود. با توجه به ماهیت گسسته و سناریومحور هر یک از این شرایط، به‌منظور پوشش ریسک تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت، با هدف کمیته‌سازی 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؛ کمیته‌سازی هزینه؛ عدم قطعیت 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 برنامه‌ریزی شده 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 فراهم کردن 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 در نتیجه تمرکز بیشتری بر فعالیت‌های راهبردی فراهم می‌آورد [۲۱]. در سال‌های اخیر عوامل زیادی از جمله 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 در نظر گرفتن هرچه بیشتر 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 رقابتی تری 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 پرمسرمایه 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 از جمله میزان، زمان یا مایلستون‌ها (یعنی فعالیت‌های کلیدی یا رویدادهای مرتبط با پرداخت‌ها) و دیگر عوامل پرداخت‌های مالی پروژه را دربرمی‌گیرد؛ به گونه‌ای 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؛ در نتیجه 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 به دلیل 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 مواجه شدن با عدم قطعیت در تخصیص بودجه موردنیاز یک پروژه، چگونه تصمیم‌گیری شود؟ با فرض وجود محدودیت و عدم قطعیت در بودجه سازمان، یک مدل بهینه‌سازی استوار سناریومحور ارائه شده است که با در نظر گرفتن 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 تجزیه و تحلیل نتایج مربوطه اختصاص دارد و در انتها نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای توسعه این پژوهش ارائه می‌شود. از جمله نوآوری‌های ارائه‌شده عبارت‌اند از: ۱. نامعین در نظر گرفتن سرمایه در دسترس متناسب با شرایط اقتصادی سازمان که در این خصوص سه سناریوی رکود، تعادل و رونق اقتصادی در نظر گرفته شده است؛ ۲. به کارگیری رویکرد بهینه‌سازی استوار سناریومحور برای مقابله با عدم قطعیت در نظر گرفته‌شده برای بودجه در دسترس 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 سرعت بخشی 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، به جای اینکه صرفاً ارزش زمانی پول وابسته به نرخ بهره‌ای ثابت هنگام سرمایه‌گذاری مورد نظر باشد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پژوهش‌های تعیین هم‌زمان مقدار و زمان پرداخت مالی به پروژه که با عنوان «زمان‌بندی پرداخت‌های مالی»^۱ (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 در نظر گرفتن انواع محدودیت‌های بودجه‌ای و عدم قطعیت‌های گوناگون توسعه یافتند و اغلب از رویکردهای ابتکاری یا فراابتکاری برای رسیدن به پاسخ استفاده شده است. به‌عنوان نخستین تلاش دانشگاهی این حوزه راسل^۲ (۱۹۷۰)، جریان نقدینگی را برای به حداکثر رساندن ارزش خالص کنونی^۳ (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^۴ (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 شبیه‌سازی شده برای بهبود NPV پروژه پیشنهاد کردند [۳]. اولسوی و شبلی^۱ (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^۲ (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^۳ (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 به حداکثر رساندن NPV خود دارد و حتی پیمانکار می‌تواند در صورتی که حداقل NPV موردانتظار وی محقق 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^۴ (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^۵ (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 اختصاص داده‌شده 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^۶ (۲۰۲۰)، به مسئله مذاکره زمان‌بندی پرداخت مالی برای دستیابی به راه‌حل برد-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.

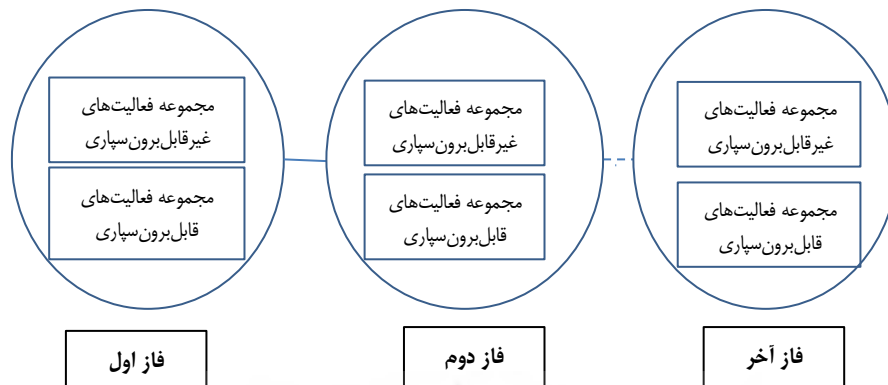
علاقه منطقه‌ای چندسطحی و الگوریتم فراابتکاری رتبه‌بندی نامغلوب بهره گرفتند [۲۸]. برخی از پژوهش‌های این حوزه رویکردی یک‌سویه داشته‌اند و بهینه‌سازی را تنها از دیدگاه کارفرما و یا پیمانکار دنبال کرده‌اند. برای مثال، هه و همکاران (۲۰۰۹)، برای مسئله بهینه‌سازی زمان‌بندی پرداخت مالی از دیدگاه کارفرما در یک پروژه دارای چندین حالت مختلف انجام فعالیت‌ها، نتیجه گرفتند که با افزایش دفعات پرداخت، بالا رفتن 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 شبیه‌سازی شده و جست‌وجوی ممنوعه برای حل آن‌ها دریافتند که با ارتقای سرمایه در دسترس پیمانکار در ابتدای دوره و نیز افزایش دفعات پرداخت و نسبت پرداخت مالی، NPV کارفرما رشد می‌کند [۷]. در زمینه بهینه‌سازی NPV پیمانکار، گشنیانی و همکاران^۱ (۲۰۲۰)، با لحاظ کردن محدودیت منابع با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری، مدلی مناسب برای الگوهای پرداخت مالی و کاهش زمان اتمام پروژه به منظور بهینه‌سازی NPV پیمانکار ارائه کردند [۵]. وحدانی و شمس^۲ (۲۰۲۰)، برای بهینه‌سازی سود پیمانکار در پروژه‌ای دارای چندین حالت انجام فعالیت‌ها تحت محدودیت سرمایه، ساختار جریمه - 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 بهینه‌سازی NPV است که در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های لیمن و ونهوک^۳ (۲۰۱۷)، ژنگ و همکاران^۴ (۲۰۱۸) و نیز لیانگ و همکاران^۵ (۲۰۱۹)، با مفروضاتی همچون نامعین در نظر گرفتن مدت‌زمان فعالیت‌ها و محدودیت منابع اشاره کرد [۱۴، ۲۷، ۱۵]؛ اما در زمینه استفاده از برون‌سپاری برای تکمیل پروژه تنها پژوهش‌هایی به صورت توصیفی در مورد مزایا و علل نیاز به برون‌سپاری انجام شده است و پژوهشگران در این حوزه به مدل‌سازی نپرداخته‌اند. در زمینه به کارگیری رویکرد بهینه‌سازی استوار سناریو محور 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 عدم قطعیت است؛ ضمن اینکه تاکنون در پژوهش‌های انجام شده 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 به کارگیری رویکردهای فازی و استوار نیز می‌تواند گامی در جهت ارتقای کارهای موجود باشد؛ همچنین افزودن مباحث اختلال و ریسک در حین پیشرفت پروژه و در نظر گرفتن مسائل با توجه به ماهیت پروژه‌ها که می‌تواند توابع هزینه و درآمد متفاوتی برای هر کدام 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 منسوخ شدن هستند و باعث کاهش ارزش خروجی‌های پروژه می‌شوند، تابع درآمد کاهشی در نظر گرفته می‌شود. همچنین در نظر گرفتن 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 از دست‌رفته به همراه امکان برون‌سپاری، هزینه‌های پروژه برای سازمان‌های دولتی با بودجه محدود و نامعین کمیته‌سازی 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 قابل برون‌سپاری 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 رخ دادن هر یک از آن‌ها، سقف بودجه در دسترس هر فاز به ترتیب از کم به متوسط و زیاد تغییر می‌یابد. پرداخت بودجه هر فاز پیش از زودترین زمان برنامه‌ریزی شده، به دلیل دسترسی پیش از موعد و ایجاد اختلال در دیگر فرصت‌های سرمایه‌گذاری، هزینه فرصت به سازمان تحمیل می‌کند؛ همچنین به منظور 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؛ به طوری که در زمانی پیش از مشخص شدن میزان دقیق بودجه یک فاز، باید قرارداد آن با پیمانکار منعقد شود. به این ترتیب می‌توان توازن

مناسبی بین صرف هزینه‌های بیشتر به دلیل شتاب‌دهی پروژه از طریق به‌کارگیری گزینه‌های در دسترس و کاهش هزینه‌های تأخیر برقرار کرد؛ بنابراین با هدف کمیته‌سازی 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 دهنده 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^۱ (۱۹۹۵)، استفاده می‌شود [۱۸]. آن‌ها بهینه‌سازی استوار را با در نظر گرفتن تحلیل هزینه و فایده بین استواری راه‌حل و استواری مدل بر اساس میزان اهمیت تعیین شده توسط کارشناسان ارائه دادند؛ به‌گونه‌ای که غیرموجه بودن مدل به‌وسیله تابع جریمه اندازه‌گیری می‌شود؛ بنابراین می‌توان بدون حذف عوامل نامعین‌کننده و با لحاظ کردن مقادیر محتمل پارامترهای نامعین، تخمین مناسبی از مجموعه دارای عدم قطعیت بر اساس داده‌های گذشته و تجارب خبرگان به‌دست آورد که در مقایسه با رویکردهای مشابه سبب فهم بهتر تصمیم‌گیرندگان می‌شود؛ همچنین با ایجاد پاسخی نزدیک به بهینه با رعایت هر چه بیشتر موجه بودن 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.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= c^T x + d^T y && \text{رابطه (۱)} \\ \text{Subject to} & && \\ Ax &= b && \\ Bx + Cy &= e && \\ x, y &\geq 0 && \end{aligned}$$

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 عدم قطعیت هستند. در مدل استوار تصادفی سناریومحور، یک فهم خاص از پارامتر عدم قطعیت را «سناریو» می‌نامند که به آن نماد s اختصاص می‌یابد و احتمال آن با P_s مشخص می‌شود. ضرایب عدم قطعیت به شکل C_s ، B_s و e_s و به‌ازای رخ دادن 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 غیرموجه بودن مدل ناشی از عدم قطعیت پارامترها را تحت هر سناریو نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_s) + \rho(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s) && \text{رابطه (۲)} \\ \text{Subject to} & && \\ Ax &= b && \\ B_s x + C_s y_s + \delta_s &= e_s && \forall s \in S \\ x \geq 0, y_s \geq 0, \delta_s \geq 0 & && \forall s \in S \end{aligned}$$

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 تعریف شده برای غیرموجه بودن 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 نشان دادن 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 عدم قطعیت می‌تواند سبب تغییرات بزرگ در ارزش تابع هدف شود. مالوی و همکاران (۱۹۹۵) از عبارت ۳، برای نشان دادن استواری راه‌حل استفاده کردند که در آن λ وزن اختصاص یافته برای واریانس راه‌حل است [۱۸].

$$\sigma(0) = \lambda \sum_s p_s (\psi_s - \sum_{s'} p_{s'} \psi_{s'})^2 \quad \text{رابطه (۳)}$$

یو و لی^۱ (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].

$$\theta^{+s} - \theta^{-s} = \left| \psi_s - \sum_{s'} p_{s'} \psi_{s'} \right| \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\theta^{+s}, \theta^{-s} \geq 0 \quad \forall s \in S$$

برای ساده کردن حل مسئله از طریق خطی سازی تابع هدف، محدودیت زیر به مدل افزوده می شود:

$$\psi_s - \sum_{s'} p_{s'} \psi_{s'} = \theta^{+s} - \theta^{-s} \quad \forall s \in S \quad \text{رابطه (۵)}$$

سرانجام پس از اعمال بهبودهای بیان شده فرم کلی زیر حاصل می شود:

$$\text{Min } Z = \sum_s p_s \psi_s + \lambda \sum_s p_s (\theta^{+s} - \theta^{-s}) + \omega \sum_s P_s \delta_s$$

Subject to

$$Ax = b$$

$$B_s x + C_s y_s + \delta_s = e_s \quad \forall s \in S \quad \text{رابطه (۶)}$$

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

$$x \geq 0, y_s \geq 0, \delta_s, \theta^{+s}, \theta^{-s} \geq 0 \quad \forall s \in S$$

مدل بهینه سازی استوار. در این بخش ابتدا نمادهای موردنیاز برای مدل سازی مسئله، شامل اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم در جدول ۱، معرفی شده و بر این اساس مسئله تعریف شده به شکل مدلی استوار فرموله می شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۱. معرفی نمادهای مدل سازی استوار

مجموعه اندیس‌ها	
I	تعداد فازهای هر پروژه
J	انواع روش‌های برون‌سپاری فعالیت‌های پروژه
S و S'	سناریوهای وضعیت مالی سازمان در هر فاز پروژه
پارامترهای زمان و طول دوره	
Ati	حداکثر زمان تکمیل قابل قبول هر فاز پروژه
Et _i	زودترین زمان در نظر گرفته شده به منظور پرداخت بودجه در هر فاز پروژه
Rt _i	مدت زمان تکمیل هر فاز پروژه بدون برون‌سپاری و یا شتاب‌دهی توسط منابع درون سازمان
Ov _i	حداکثر مدت زمان تسریع در انجام هر فاز پروژه از طریق شتاب‌دهی توسط منابع درون سازمان
Os _{ij}	مدت زمان 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) در نظر گرفته شده برای واریانس رامحل
W	ثابت اهمیت (وزن) در نظر گرفته شده برای ناموجه بودن مدل
پارامترهای منابع درونی و برون‌سپاری در هر فاز پروژه	
Po _i	پارامتر تعیین‌کننده امکان و یا عدم امکان برون‌سپاری در هر فاز پروژه بر اساس تصمیم مدیران است که در صورت مجاز بودن برون‌سپاری مقدار آن یک و گرنه صفر در نظر گرفته می‌شود.
P _i ^s	احتمال رخ دادن سناریوی S در فاز i
F _i ^s	بودجه برنامه‌ریزی شده برای پرداخت به منظور 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	مدت زمان 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 مدت زمان 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 تعدیل شده با به کارگیری منابع داخلی سازمان در هر فاز پس از رخ دادن سناریوی S
qx _{oij}	متغیر کنترل صفر و یک برون‌سپاری در هر فاز پس از رخ دادن هر کدام از سناریوها به روش j
θ _i ^{+s}	میزان انحراف مثبت سناریوی S از متوسط مقدار بهینه دیگر سناریوها
θ _i ^{-s}	میزان انحراف منفی سناریوی S از متوسط مقدار بهینه دیگر سناریوها
δ _i ^s	میزان غیرموجه بودن محدودیت بودجه سازمان در فاز i تحت سناریوی S
d _i ^s	مدت زمان انجام هر فاز پروژه با توجه به نوع تخصیص سرمایه به منابع و به کارگیری 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
Li^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 هر کدام از سناریوها به روش J
θ_i^{+s}	میزان انحراف مثبت سناریوی S از متوسط مقدار بهینه دیگر سناریوها
θ_i^{-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.

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

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. هزینه تأخیر در تکمیل هر فاز؛ ۴. هزینه تسریع در پرداخت بودجه به هر کدام از فازهای پروژه. بخش دوم حاصل ضرب 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 حاصل ضرب استواری مدل، یعنی متوسط مقادیر نقض محدودیت‌های بودجه‌ای هر یک از سناریوهای فازهای مختلف پروژه و اهمیت رعایت محدودیت‌ها است.

$$\sum_{j=1}^n qx_{oij} \leq P_{oi} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه (۸)}$$

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

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

رابطه ۹، حداکثر میزان شتابدهی در نظر گرفته شده توسط منابع داخلی سازمان در یک فاز به ازای رخ دادن هر سناریو را مشخص می کند.

$$Cr_i + Cv_i \times qy_i^s + \sum_{j=1}^n Cs_{ij} \times qx_{oij} - \delta_i^s \leq F_i^s \quad \forall i, s \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

رابطه ۱۰، هزینه های ناشی از استفاده از منابع، تجهیزات و نیز هرگونه هزینه به منظور پیشبرد عادی و یا همراه با شتابدهی پروژه توسط نیروها و منابع درون سازمان را در کنار هزینه های پرداختی به تأمین کنندگان به منظور برون سپاری فعالیت های هر فاز و انحراف مجموع آن ها از سقف بودجه در نظر گرفته شده در هر یک از سناریوها نشان می دهند.

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

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

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

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

تساوی های بالا، مدت زمان تکمیل فعالیت های هر فاز پروژه را به همراه زمان آغاز و پایان فازهای هر فاز پروژه را بر اساس زمان آغاز و مدت زمان تکمیل آن تحت هر سناریو تعیین می کنند.

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

روابط ۱۱ تا ۱۵، مدت زمان تأخیر در اجرای هر فاز پروژه ناشی از اختلاف بین زمان پایان یافتن هر فاز و حداکثر زمان قابل قبول آن فاز را در صورت وقوع هر کدام از سناریوها نشان می دهند.

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

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

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

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

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

$$qx_{o_{ij}}, qy_{o_{ig}}^s \in \{0, 1\} \quad \forall i, s \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

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 از آنجاکه 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 سلسله‌مراتبی^۱ (AHP)، فرآیند تحلیل شبکه‌ای^۲ (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 زمان بندی تخصیص منابع در هر فاز با در نظر گرفتن محدودیت ها، وقوع هر یک از سناریوهای اقتصادی و سایر مفروضات باهدف کمینه سازی مجموع هزینه های پروژه، تصمیمی در سطح تاکتیکی و دارای اثرات میان مدت است؛ بنابراین دقت در رسیدن به پاسخ مناسب با استفاده از ابزار و امکانات متداول حتی در صورت افزایش مدت زمان حل مسئله بیش از سرعت رسیدن به پاسخ اهمیت دارد و به کارگیری رویکردهای حل دقیق نسبت به روش های ابتکاری و فراابتکاری ارجحیت دارد.

جدول ۲. مقادیر پارامترهای مشترک مثال های نمونه

مقدار پارامتر در هر فاز			پارامتر	
i=3	i=2	i=1		
۸۰۰	۵۵۰	۳۵۰	A_{ti}	
۷۵۰	۴۰۰	۰	E_{ti}	
۲۹۵	۵۱۰	۴۰۰	R_{ti}	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	O_{vi}	
۴۰	۶۵	۵۵	j=1	O_{sij}
۶۵	۷۵	۸۵	j=2	
۸۰	۸۰	۱۰۵	j=3	
۴۰۰۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰	C_{ri}	
۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	C_{vi}	
۸۰	۴۰	۴۰	CL_i	
۲۵	۲۵	۲۵	CA_i	
۳۰۰۰	۲۵۰۰	۸۰۰	j=1	C_{sij}
۴۵۰۰	۳۵۰۰	۱۵۰۰	j=2	
۶۵۰۰	۵۰۰۰	۲۰۰۰	j=3	
۴۲۰۰	۶۰۰۰	۴۶۰۰	S=1 (رکود)	F_i^s
۵۰۰۰	۷۲۰۰	۵۴۰۰	S=2 (تعادل)	
۵۸۰۰	۹۰۰۰	۶۰۰۰	S=3 (رونق)	
۰.۵	۰.۵	۰.۵	S=1 (رکود)	P_i^s
۰.۳	۰.۳	۰.۳	S=2 (تعادل)	
۰.۲	۰.۲	۰.۲	S=3 (رونق)	

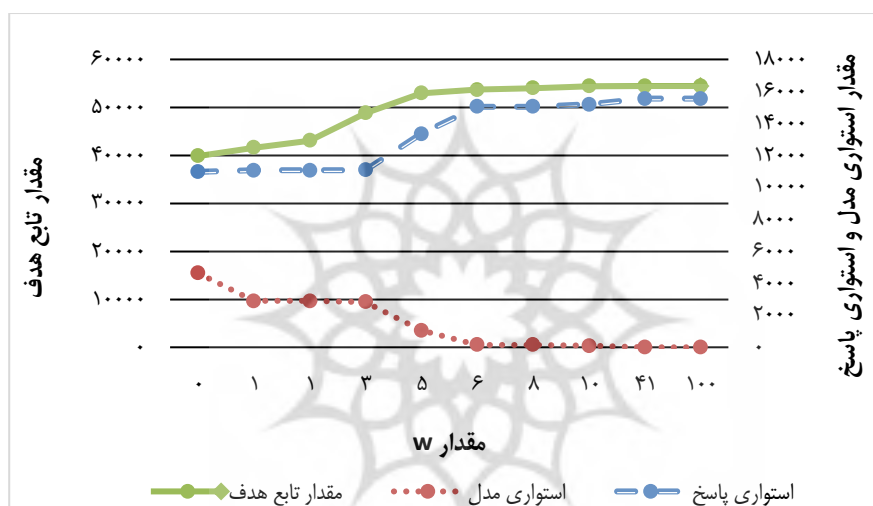
سنجش اهمیت استواری پاسخ و استواری مدل. در ابتدا برای تحلیل اثرات تغییر میزان اهمیت استواری پاسخ، ۱۰ مثال نمونه از P1 تا P10 ایجاد شد که در تمامی آن‌ها $\lambda=1$ و دیگر پارامترهای آن‌ها نیز برابر با مقادیر جدول ۳ است؛ اما مقدار w در هر یک از آن‌ها مطابق آنچه در جدول ۳ مشاهده می‌شود، تغییر می‌کند.

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

مثال نمونه	λ	w	استواری مدل		استواری پاسخ		مقدار تابع هدف	
			مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد
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 $w=0$ به معنای عدم اهمیت رعایت محدودیت‌ها است و در نتیجه بالاترین میزان نقض محدودیت‌ها رخ می‌دهد که به طور مسلم چنین طراحی مدلی در محیط واقعی انتخاب مناسبی نیست. با افزایش مقدار w از صفر تا ۱۱ که در واقع به معنای افزایش میزان اهمیت رعایت محدودیت‌ها از دید تصمیم‌گیرندگان است، محدودیت‌ها کمتر نقض می‌شود و استواری مدل به مرور کاهش می‌یابد تا جایی که به کمترین مقدار ممکن یعنی صفر می‌رسد؛ از سوی دیگر با بیشتر شدن تفاوت بین پاسخ‌های بهینه تحت سناریوهای مختلف، استواری پاسخ از $۱۰۹۷۲/۵$ به مقدار بیشینه خود، یعنی $۱۵۵۵۱/۷۵$ ، 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، عدم تجاوز از قیود مسئله نسبت به ثبات در پاسخ‌ها اولویت مطلق دارد که بر اثر آن، تمام محدودیت‌ها به طور کامل رعایت شده است و در نتیجه همه پاسخ‌های به دست آمده در صورت وقوع هر یک از سناریوها امکان‌پذیر هستند؛ اما تغییرات در پاسخ بهینه به‌ازای رخ دادن

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 $39847/5$ روند صعودی خود را آغاز می‌کند و سرانجام با رسیدن w به ۱۱ به بیشترین مقدار خود، یعنی $54449/25$ ، می‌رسد و پس از آن 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 در نتیجه حاصل ضرب این دو تغییر چندانی ندارد. ضمن اینکه به دلیل روند صعودی استواری پاسخ، میزان حاصل ضرب آن در λ نیز افزایش می‌یابد. این روند تا جایی ادامه می‌یابد که استواری صفر می‌شود و حاصل ضرب آن در w تأثیری بر تابع هدف نمی‌گذارد؛ همچنین استواری پاسخ نیز در مقدار بیشینه خود ثابت مانده و به دلیل ثابت بودن λ ، حاصل ضرب این دو نیز بدون تغییر می‌ماند؛ در نتیجه مقدار تابع هدف نیز تغییر نمی‌کند.



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

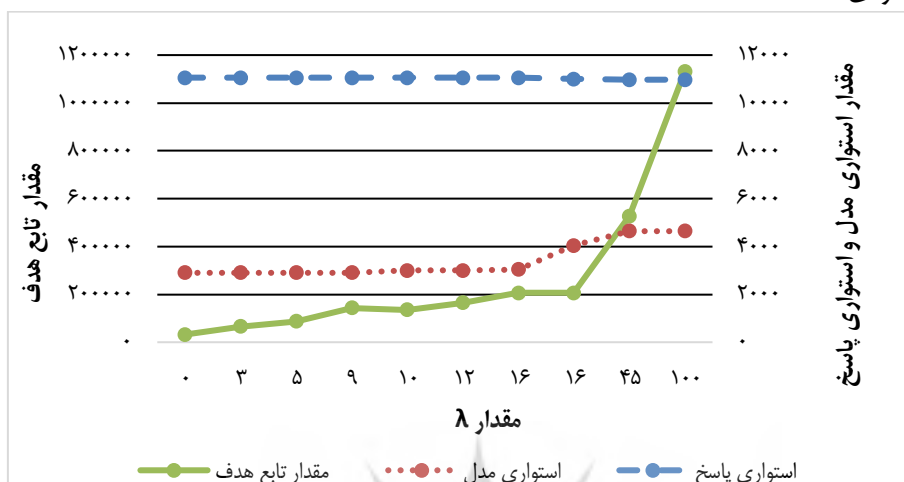
در گام بعدی، تغییرات میزان اهمیت استواری مدل و اثرات ناشی از آن بررسی خواهد شد. به همین منظور فرآیند قبل به‌طور معکوس اجرا می‌شود. به این ترتیب برای مثال‌های نمونه P11 تا P20 که در جدول ۴ دیده می‌شوند، مقادیر پارامترهای مشترک برابر است با آنچه در جدول ۳ ذکر شده و این بار $w=1$ و پارامتر λ در هر مثال تغییر می‌کند؛ به طوری که کمترین میزان آن در مسئله P11 صفر است و به تدریج 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 تجزیه و تحلیل می‌شود.

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

مثال نمونه	w	λ	استواری مدل		استواری پاسخ		مقدار تابع هدف	
			مقدار بهبینه	درصد افزایش	مقدار بهبینه	درصد کاهش	مقدار بهبینه	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 در نتیجه تفاوت در پاسخ‌های بهینه تحت سناریوهای مختلف در سقف ارزش خود جای می‌گیرد. از سوی دیگر به دلیل کمینه‌سازی بودن 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 به معنای مهم‌تر شدن 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 پس‌از آن به ازای تمام مقادیر $\lambda \geq ۴۵$ ارزش استواری مدل و پاسخ ثابت می‌ماند که نمایانگر حداکثر ثبات در تصمیمات و بدون تغییر باقی‌ماندن آن‌ها تحت هر یک از سناریوها است. به‌طور کلی 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 اتخاذ شده 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 بزرگ‌تر شدن 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 در مجموع 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 به منظور بررسی میزان کارآمدی بهره‌مندی از ظرفیت‌های برون‌سازمانی هنگام نیاز به تسریع پروژه بر مقدار تابع هدف، با در نظر گرفتن $\lambda=1$ و $w=1$ ، 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

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

با حل مثال‌های نمونه ملاحظه می‌شود که هر چه موعد تحویل پروژه زودتر باشد، مقدار تابع هدف به دلیل تحمیل هزینه‌های تسریع در تکمیل پروژه در هر دو حالت امکان و عدم امکان 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 در نتیجه بهره‌گیری از امکان برون‌سپاری، به دلیل 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 قابل برون‌سپاری 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 عدم ایجاد اختلال در پیشرفت پروژه، سبب کمبود اعتبار برای دیگر پروژه‌ها و گزینه‌های سرمایه‌گذاری نشود؛ اما گاهی هنگام برنامه‌ریزی و تخصیص اعتبار به دلیل 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 سبک‌سنگین کردن 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 دیرنگام، 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 عدم قطعیت 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 به کارگیری روش CPLEX مورد استفاده 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 به کارگیری 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 مواعید 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، نامعین فرض کردن پارامترهایی همچون هزینه و مدت‌زمان هر یک از فازها، به‌کارگیری رویکردهای فازی یا احتمالی برای مواجهه با عدم قطعیت، در نظر گرفتن 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، در نظر گرفتن 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*.