مجله علوم مطالعات پژوهشی در علوم کامپیوتر آینده، 1403، دوره ۱، شماره ۱، ص ص ۱-۱۲

مجله علمی مطالعات پژوهشی

در علوم کامپیوتر آینده

www.journalhi.com/com/

ارائه ی مدل یکپارچه ی استوار سفارش دهی مواد و زمان بندی پروژه با منابع محدود در شرایط عدم قطعیت

سیامک مرشد [۱]

۱- دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال،تهران، ایران

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۲۷ اسفند ۱۴۰۱

پذیرش: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۲

ارائه در سایت: ۱۲ خرداد ۱۴۰۲

کلید واژگان:

مدل استوار

سفارش دهی مواد

زمان بندی فعالیت ها

عدم قطعیت

تخفیف

فسادپذیری

چکیده

امروزه با پیچیده شدن شرایط اقتصادی و رقابتی شدن شرایط حاکم بر دریافت و اجرای پروژه ها، اهمیت برنامه ریزی دقیق برای دستیابی به اهداف در سازمان های پروژه محور به خوبی نمایان شده است. یکی از مهم ترین این برنامه ریزی ها، زمانبندی پروژه می باشد که با توجه به اهمیت آن، زمینه تحقیقاتی جذابی برای استفاده از روش های بهینه سازی در میان محققین در علم تحقیق در عملیات می باشد. در تحقیق حاضر مساله یکپارچه ی استوار سفارش دهی مواد و زمان بندی پروژه در شرایط محدودیت منابع، عدم قطعیت و وقفه های تقویمی مورد بررسی قرار گرفت. در نظر گرفتن هم زمان مباحث تخفیف، تجدیدناپذیری، فسادپذیری، عدم قطعیت و سناریوهای مختلف اجرای پروژه موجب نزدیک تر شدن مدل به شرایط دنیای واقعی و در نتیجه کاربردی تر شدن نتایج حاصل از آن شد. لذا مدلی سناریو محور با تابع هدف کمینه سازی مجموع هزینه ها (شامل سفارش دهی، نگهداری، خرید و جریمه تاخیر منهای پاداش تعجیل در تحویل پروژه) طراحی شد و سپس با رویکرد امکانی، استوارسازی مدل انجام شد. پس از ارائه ی مدل، نسبت به طراحی و حل مسائل عددی در ابعاد مختلف با بهره گیری از نرم افزار GAMS اقدام شد و نتایج مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

Providing a robust integrated model of material ordering and project scheduling with limited resources under uncertainty

Siamak Morshedi[1]

1- Ph.D., Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran.

Article Information

Original Research Paper
Received 18 March 2023
Accepted 02 October 2023
Available Online 04 October 2023

Keywords:
Stable model
Ordering materials
Timing of activities
uncertainty
Discount
corruption

Abstract

Today, with the complexity of the economic conditions and the competitive conditions governing the receipt and implementation of projects, the importance of detailed planning to achieve goals in project-oriented organizations has been well demonstrated. One of the most important of these plans is the project schedule, which, due to its importance, is an attractive research field for the use of optimization methods among researchers in the science of operations research. In the present research, the integrated problem of material ordering and project scheduling in the conditions of resource limitations, uncertainty and calendar interruptions was examined. Simultaneous consideration of discount issues, non-renewability, corruption, uncertainty and different scenarios of project implementation made the model closer to the real world conditions and as a result the results obtained from it became more practical. Therefore, a scenario-based model was designed with the objective function of minimizing the total costs (including ordering, maintenance, purchase and delay penalty minus the bonus for speeding up the project delivery) and then the stabilization of the model was done with a feasibility approach. After presenting the model, numerical problems were designed and solved in different dimensions using GAMS software and the results were discussed.

۱- مقدمه

با گذشت زمان و بزرگ شدن حجم پروژه ها و همچنین متنوع شدن ابزارهای مورد استفاده به منظور تکمیل یک پروژه، لزوم تغییر شیوه های برنامه ریزی پروژه از سنتی به علمی به خوبی محسوس است، به نحوی که از منابع محدود و با ارزش موجود نهایت بهره برداری گردد تا اهداف پروژه که در سه ضلع مثلث پروژه یعنی زمان، هزینه و کیفیت نهفته است محقق شود (مبارک، ۲۰۱۵). در رویکردهای کلاسیک نظیر زنجیره ی بحرانی فرض بر این است که منابع پروژه به صورت نامحدود در دسترس می باشند. با وجود این، فرض فوق در غالب پروژه ها منطقی به نظر نمی رسد. پس از آن، فرض محدودیت این منابع هم به مدل اضافه شده است که این گونه مسائل در دسته ی برنامه ریزی پروژه با محدودیت منابع یا RCPSP می گویند (لیو و همکاران، ۲۰۱۷).

مباحث مدیریت پروژه نظیر زمان بندی و تامین مواد تصمیمات به هم پیوسته و مرتبطی می باشند و نگاه جداگانه و جزیره ای به این مباحث می تواند موجب کاسته شدن از دقت و کاربردی بودن مدل شود. بهترین زمان بندی ها هم اگر در کار سفارش و تامین منابع مورد نیاز اخلال ایجاد شود نمی تواند برای پروژه چندان مفید و مثمر ثمر باشد (قادری و تبریزی، ۲۰۱۶). از این روی، طراحی مدلی که تصمیمات مربوط به زمان بندی و تامین منابع را در قالب یک مدل یکپارچه و همزمان ارائه نماید، حائز اهمیت و ضرورت بالایی می باشد. به همین دلیل هم هست که مدل های یکپارچه ی مربوط به زمان بندی و سفارش مواد در سال های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است (آرتیگوس و همکاران، ۲۰۱۳).

ادغام مسئله ی زمان بندی پروژه هم زمان با سفارش منابع نخستین بار توط آکوئیلانو و اسمیت (۱۹۸۰) معرفی شد. آنان یک مدل ادغامی شامل برنامه ریزی نیازمندی های مواد مانند لیست مواد، زمان انتظار مواد در راه، زمان بندی سطوح موجودی و روش مسیر بحرانی را توسعه دادند. پس از آن، تحقیقات متعددی در این زمینه انجام شد که در ادامه به بخشی از جدیدترین آن ها پرداخته می شود. که و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل غیرقطعی برای مسئله ی زمان بندی پروژه با محدودیت منابع ارائه و با رویکرد استوار آن را مدل کردند. آن ها در این تحقیق، زمان انجام فعالیت ها در تدارکات پروژه را همراه با عدم قطعیت در نظر گرفتند. تبریزی و قادری (۲۰۱۶) در همین زمینه، مدلی با در نظر گرفتن تخفیف قیمتی ارائه و اهداف حداکثرسازی استواری مدل و کمینه سازی هزینه های پروژه را در مدل خود مدنظر قرار دادند. زورقی و همکاران (۲۰۱۷) همین مسئله را با سه هدف کمینه سازی زمان اتمام پروژه، بیشینه سازی استواری پروژه و کمینه سازی زمان اتمام فعالیت ها مدل سازی کردند. تبریزی (۲۰۱۸) مدل های قبلی را با در نظر گرفتن محدودیت های زیست محیطی ارتقا بخشید و آن را به عنوان یکی از توابع هدف مسئله لحاظ نمود. یکی از آخرین تلاش ها در این زمینه توسط حبیبی و همکاران (۲۰۱۹) با ارائه ی مدلی برای زمان بندی پروژه و سفارش موارد با فرض تخفیف و شاخص های پایداری انجام شد. مدل دارای سه هدف بیشینه سازی ارزش خالص فعلی جریانات نقدی پروژه، بیشینه سازی امتیاز پروژه از نظر شاخص های اجتماعی و بیشینه سازی امتیازات پروژه از نظر شاخص های زیست محیطی است.

در شرایط واقعی محدودیت ها و واقعیاتی وجود دارند که نادیده انگاشتن آن ها در مدل سازی می تواند از کاربردی بودن مدل ارائه شده بکاهد. بنابراین در این تحقیق در نظر داریم تا چند مبحث مهم را در مدل سازی لحاظ کنیم. این مباحث شامل تجدید ناپذیری مواد، فسادپذیر بودن و همچنین فرض تخفیف در منابع پروژه و عدم قطعیت، وقفه های تقویمی و اختلال در تجهیزات مورد استفاده است. در ادامه به منظور آشنایی بیشتر با این مفاهیم توضیحات مختصری از این مفاهیم ذکر می گردد.

در اغلب تحقیقات فرض می شود که فعالیت ها در یک شرایط ایده آل انجام می شود و زمان بندی ارائه شده می تواند به طور دقیق مطابق با برنامه اجرا شود (مبارک، ۲۰۱۵). در عمل، وجود عوامل غیرقابل کنترل نظیر نبود دسترسی به منابع، اضافه شدن فعالیت های پیش بینی نشده به پروژه و شرایط بد آب و هوایی منجر به عدم تحقق اهداف پروژه در مدت زمان مورد نظر می شود که این امر می تواند هزینه های قابل توجهی را به پروژه وارد نماید (آرتیگوس و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین، وجود عوامل غیرقابل کنترل را می توان یکی از مشکلات اصلی پروژه های عمرانی دانست. از این روی، چنان چه در برنامه ریزی های انجام شده برای پروژه، سناریوهای مختلفی پیش بینی شود و برنامه ریزی ها بر مبنای این سناریوها انجام پذیرد، می توان تا حد زیادی از تاثیر این عوامل غیرقابل کنترل بر روی پروژه کاست (که و همکاران، ۲۰۱۳). رویکرد جدیدی که در سال های اخیر برای مقابله با عدم قطعیت داده ها در سناریوهای مختلف پیشنهاد می شود رویکرد بهینه سازی استوار است. در این رویکرد، جواب هایی نزدیک به بهینه مدنظر می باشند که با احتمال بالایی موجه بوده و در مقابل تغییرات مقاوم باشند. به عبارتی دیگر، با کمی صرف نظر نمودن از مقدار تابع هدف، موجه بودن جواب به دست آمده در سناریوهای مختلف تضمین شود (بن تال و همکاران، ۲۰۰۹). از این روی، در این تحقیق از یک رویکرد بهینه سازی استوار به منظور مواجهه با تغییرات در سناریوهای مختلف استفاده می شود تا تاثیر حالت های مختلف وقوع وقایع در پروژه بر روی صحت برنامه ریزی های انجام شده به حداقل برسد.

در مباحث زمان بندی و کنترل پروژه، انواع مختلفی از منابع وجود دارند. دو دسته ی اصلی این منابع را می توان منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر نامید (دمولمستر و هرولین، ۲۰۰۶). مواد تجدیدناپذیر آن دسته از منابعی هستند که با اتمام یک فعالیت، مقدار منابع تخصیص داده شده به آن به اتمام می رسند و دیگر از آن مقدار مشخص، نمی توان استفاده ی مجدد نمود. گچ، سیمان و اقلام مصرفی در پروژه را می توان از جمله ی این دسته از منابع نام برد (کرزنر، ۲۰۱۷). یکی از منابع تجدیدناپذیر ، منابع فاسدشدنی می باشند. منابع فاسدشدنی منابعی هستند که بازه زمانی مشخصی برای مصرف دارند و چنان چه تا زمان مشخص شده به مصرف نرسند، یا غیرقابل مصرف شده و یا این که کیفیت آن ها به تدریج کاهش می یابد. به عنوان نمونه بتن مخلوط شده برای پروژه ی ساختمانی یک منبع فاسد شدنی است. منابع غیرفاسدشنی نیز منابعی هستند که تاریخ مصرف مشخصی نداشته و کیفیت آن ها با گذشت زمان، تغییری پیدا نمی کند (قادری و تبریزی، ۲۰۱۶).

یکی دیگر از واقعیات فعالیت های تجاری و کسب و کار، تخفیف است. برخی فروشندگان به ازای خرید در حجم معینی، به خریداران خود قیمت های پایین تری نسبت به قیمت استاندارد آن ارائه می دهند. به عنوان مثال چنانچه قیمت یک کالا p واحد پولی باشد، فروشنده به ازای خرید بیشتر از n عدد از این کالا، قیمت هر کالا را p-x) عددی مثبت) ارائه می نماید به این امید که فروش کالاها بیشتر و تمایل خریداران به خرید کالا بیشتر گردد (تبریزی و قادری، ۲۰۱۵). با توجه به این که برای اجرای پروژه های عمرانی غالبا" مقادیر فراوانی از مواد مصرفی مورد نیاز است، پیمانکاران و مدیران پروژه ها می توانند با برنامه ریزی مقادیر مناسب خرید مواد، پروژه را از

تخفیفات کلی یا نموی ارائه شده بهره مند نمایند. از این روی، در برنامه ریزی پروژه های با منابع محدود، یکی از تصمیمات مهمی که باید توسط مدیریت اتخاذ شود آن است که مواد را در چه بازه های زمانی و در چه بازه های مقداری خریداری نماید تا ضمن این که نیاز پروژه به منابع تامین می شود، پروژه از تخفیفاتی که تامین کنندگان ارائه می دهند بهره مند شود (تبریزی ، ۲۰۱۸).

یکی دیگر از مواردی که در مسائل دنیای واقعی وجود دارد بحث عدم قطعیت در پارامترهای مسئله است. در شرایط واقعی برخی پارامترهای مسئله دارای عدم قطعیت می باشند که در نظر نگرفتن این عدم قطعیت منجر به کاهش اعتبار مدل می گردد. عدم قطعیت در پروژه های عمرانی نیز نقش پررنگی داشته و بر روی برنامه ریزی های مدیران پروژه تاثیرگذار است (ما و همکاران، ۲۰۱۵). مواردی نظیر تغییرات قیمت مواد، تغییرات هزینه های پروژه، تغییر در زمان اجرای فعالیت ها نسبت به آن چه برنامه ریزی شده بود و مواردی از این دست را می توان از جمله مهم ترین جنبه های تاثیر عدم قطعیت در پروژه های عمرانی دانست (برونی و همکاران، ۲۰۱۷). رویکردهای سنتی مواجهه با عدم قطعیت به اطلاعات اضافی نظیر توزیع احتمال و تابع عضوی نیازمند می باشند و کار با این رویکردها به دلیل حجم بالای داده های مورد نیاز دشوار است. از این روی، به کارگیری سایر تئوری ها می تواند در این راه کمک کننده باشد (برتسیماس و همکاران، ۲۰۱۱).

وقفه های تقویمی نظیر تعطیلات رسمی و مناسبت ها که در آن پیمانکار ملزم به تعطیل نمودن پروژه است از جمله ی دیگر مسائلی است که لازم است در مدل سازی مسئله ی برنامه ریزی و زمان بندی پروژه در نظر گرفته شود تا برنامه ریزی ارائه شده بیشترین تطابق را با شرایط دنیای واقعی داشته باشد.

با توجه به مطالب بیان شده، در این تحقیق به دنبال ارائه ی مدلی یکپارچه و استوار برای زمان بندی پروژه با منابع محدود با در نظر گرفتن محدودیت های تامین مواد می باشیم. با در نظر گرفتن مباحث و واقعیاتی نظیر وقفه های تقویمی، عدم قطعیت، تخفیفات و سناریوهای مختلف پروژه در تحقیق، انتظار می رود مدل یکپارچه ی زمان بندی و تامین مواد ارائه شده هر چه بیشتر با واقعیات جهان واقع منطبق گردد و خروجی های مدل ارائه شده برای افرادی که با برنامه ریزی و زمان بندی پروژه ها سر و کار دارند مفید باشد.

ادامه ی تحقیق حاضر به این شکل برنامه ریزی شده است: در بخش دوم به ارائه ی مدل پرداخته می شود. بخش سوم به حل مسائل عددی تخصیص یافته و بخش چهارم نیز نتیجه گیری را انجام می دهد.

۲- مدل سازی

در این بخش به تشریح مدل برنامه ریزی ریاضی برای مسئله ی تحقیق پرداخته می شود. لذا ابتدا به تشریح مسئله ی تحقیق پرداخته و سپس اجزای مدل معرفی می گردند و در پایان نیز، نسبت به تشریح مدل و توضیح در خصوص اجزای آن اقدام می گردد.

۲-۱ تشریح مسئله

در این پروژه همزمان دو مسئله¬ی زمان¬بندی پروژه با منابع محدود و برنامه¬ریزی سفارش مواد مورد مطالعه قرار می¬گیرد. منابع موردنیاز در پروژه به دو دسته¬ی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم می¬شوند. منابع تجدیدپذیر مانند انواع ماشین¬آلات و نیروی انسانی در اجرای فعّالیّت¬ها صرفاً اشغال می¬شوند، بدین معنا که پس از انجام فعّالیّت آزاد شده و می¬توان از آن¬ها برای اجرای سایر فعّالیّت¬ها استفاده نمود. منابع تجدیدناپذیر مانند مصالح ساختمانی حین اجرای فعالیّت¬ها مصرف شده و دیگر قابل استفاده برای سایر فعّالیّت¬ها نیستند. به این دسته از منابع اصطلاح منابع مصرفی نیز اطلاق می¬شود و اصولاً دوره¬ی مصرف دارند بدین معنا که پس از آن دوره، فاسد شده و دیگر قابل استفاده نمی¬باشند.

برای پروژه¬ چند تأمین¬کننده¬ی منابع مصرفی وجود دارد. هر تأمین¬کننده توانایی تأمین هر قلم از این منابع را داشته و به¬ازای مقادیر متفاوت خرید، تخفیف¬هایی را به¬صورت تخفیف کلّی ارائه می¬کنند.

این مسئله در محیط نادقیق مورد مطالعه قرار می¬گیرد بدین معنا که علاوه بر قیمت¬های خرید مواد، هزینه¬¬های سفارش¬دهی و مدّت زمان اجرای هر کدام از فعّالیّت¬ها نیز به¬صورت پارامترهای نادقیق درنظر گرفته شده¬اند. برطبق تحقیق چاکرابورتی (۲۰۱۷)، به¬دلیل وجود موارد غیرقابل پیش¬بینی مانند وضعیّت آب¬وهوا و خرابی ماشین¬آلات زمان اجرای فعّالیّت¬ها به سناریو¬هایی مجزّا با احتمال وقوع مشخّص تفکیک می¬شود که در هر سناریو مدّت زمان اجرای هر فعّالیّت به¬طور قطعی مشخّص می¬باشد. هم¬چنین قیمت¬های خرید و هزینه¬ی سفارش¬دهی مواد توسّط اعداد نادقیق فازی ذوزنقه¬ای تعیین می¬گردد.

مفروضات در نظر گرفته شده در این مسئله برای مدل سازی به شرح ذیل می باشند:

- حد بالای زمان تکمیل پروژه مشخّص می¬باشد و هر گونه تأخیر (تعجیل) در تحویل پروژه مستوجب جریمه (پاداش) خواهد بود.
- بنا به دلایل غیرقابل پیش¬بینی مانند آب¬وهوا، اختلال در ماشین¬آلات برای زمان اجرای هر فعّالیّت چند سناریو با احتمال وقوع مشخّص درنظر گرفته شده است.
- قیمت خرید واحد هر کدام از مواد مصرفی در هر کدام از بازه¬های تخفیف، توسّط اعداد فازی ذوزنقه¬ای نشان داده می¬شود.
- هزینه¬ی سفارش¬دهی هر کدام از مواد مصرفی توسّط اعداد فازی ذوزنقه¬ای تعیین می¬گردد.
- مقدار موجود هر کدام از منابع تجدیدپذیر در هر دوره¬ی زمانی از حدّ بالایی فراتر نمی¬رود.
- هر فعّالیّت تنها زمانی اجازه¬ی شروع دارد که تمامی منابع (تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر) اجرای آن فراهم باشد.
- وقفه در اجرای هیچ کدام از فعّالیّت¬ها مجاز نیست.
- وقفه¬های تقویمی به¬عنوان فعّالیّت¬هایی با طول زمانی مشخّص و میزان نیازمندی به منابع برابر صفر در مدل لحاظ شده¬اند.
- برای هر فعّالیّت تنها یک¬بار سفارش مواد مصرفی آن فعّالیّت مجاز می¬باشد.
- خرید هر کدام از موادّ مصرفی از هر تأمین¬کننده دارای تابع تخفیف کلّی مخصوص به¬خود می¬باشد.
- موادّ مصرفی دارای دوره¬ی مصرف می¬باشند به¬نحوی که با گذشت تاریخ مصرف هر کدام، فاسد شده و دیگر قابل استفاده نمی¬باشد.
- وقفه های تقویمی را می توان به صورت فعّالیّت هایی با طول زمانی مشخّص و میزان نیاز به منابع برابر صفر در مدل لحاظ نمود.
- اختلالات در تسهیلات، شرایط جوّی و سایر عوامل محیطی را می¬توان به¬عنوان فاکتورهای سازنده¬ی سناریوهای عدم¬قطعیّت درنظر گرفت که درنهایت سناریوهایی با احتمال وقوع مشخّص را می¬سازند به-نحوی که در هر سناریو مدّت زمان اجرای هر فعّالیّت پروژه مشخّص می¬باشد.

۲-۲ مدل قطعی مسئله

مدل ریاضی مسئله در حالت قطعی به شرح روابط ۱- ۸ می¬باشد.

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

$$\sum_t X_{it} = 1 \ ; \forall i \quad (2)$$

$$\sum_t \left(d_i^m - t \right) X_{it} - \Delta_{ij}^m \le \sum_t t X_{jt} \ ; \forall j, m, \forall i \in \Pr(j) \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_t r_{il} X_{it} \le R_l^{\max} \quad ; \forall l \quad (4)$$

$$\gamma_{f(k-1)s} Y_{fkst} \le \sum_i u_{if} Z_{fksit} \le \gamma_{fks} Y_{fkst} \ ; \forall f, s, t, \forall k \le K_{fs} \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^{K_{fs}} Y_{fkst} \le 1 \quad ; \forall f, s, t \quad (6)$$

$$X_{it} \le \sum_{\tau=t-EX_f}^{t} \sum_s \sum_{k=1}^{K_{fs}} Z_{fksit} \quad ; \forall f, i, t \quad (7)$$

$$Y_{fkst}, Z_{fksit}, X_{it} \in \{0 \ or \ 1\} \ ; \forall i, f, k, s, t$$

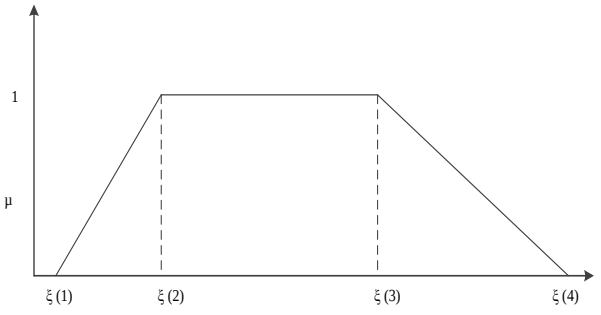
$$\Delta_{ij}^m \ge 0 \quad ; \forall i, j, m \quad (8)$$

رابطه¬ی ۱، تابع هدف مسئله را نشان می¬دهد و برابر مجموع هزینه¬ها (سفارش¬دهی، نگه¬داری، خرید و جریمه¬ی تأخیر در تحویل پروژه) منهای پاداش تعجیل در تحویل پروژه می¬باشد. رابطه¬ی ۲ اجرای تمامی فعّالیّت¬های پروژه را نشان می¬دهد. رابطه¬ی ۳ رعایت روابط پیش¬نیازی را تضمین می¬کند. رابطه¬ی ۴ رعایت سقف استفاده از منابع تجدیدپذیر را نشان می¬دهد. روابط ۵ و ۶ تضمین می¬کنند که تنها در یکی از سطوح تخفیف از هر منبع مصرفی سفارش صورت گیرد. رابطه¬ی ۷ اجرای هر فعّالیّت را منوط به تأمین منابع مصرفی آن فعّالیّت می¬داند. رابطه¬ی ۸ دامنه¬ی مقادیر متغیّرها را نشان می¬دهد.

۲-۳ استوارسازی مدل

با عنایت به روابط ۱- ۸ تنها رابطه¬ی دارای پارامترهای نادقیق رابطه¬ی ۱ می¬باشند که پارامترهای نادقیق فازی ذوزنقه¬ای را دارا می¬باشد. لذا برای استوارسازی تنها توجّه به این رابطه کفایت می¬کند. یکی از مهم ترین رویکردهای استوارسازی مدل های سناریویی مدل مولوی می باشد. رویکرد ملوی در زمانی کاربرد دارد که سناریوهای وقوع چندان اشتراکی با هم نداشته باشند امّا در این مورد ممکن است بیش از نیمی از فعّالیّت¬ها بین دو یا چند سناریو، زمان وقوع یکسان داشته باشند به¬عبارت بهتر تا لحظه¬ی اجرای آخرین فعّالیّت هر سناریو نتوان نوع سناریو را تعیین و در نتیجه برنامه¬ریزی مدوّنی ارائه نمود. به این دلیل نیز امکان استفاده از رویکرد ملوی در عمل معنا نخواهد داشت.

فرض کنید پارامتر نادقیقی مانند یک عدد فازی ذوزنقه¬ای باشد، تابع عضویّت امکانی ( ) این پارامتر در شکل ۱ نشان داده شده است (پیشوایی و همکاران، ۲۰۱۲). لازم به ذکر است که این تابع، امکان وقوع هر کدام از مقادیر پارامتر را نشان می¬دهد.



شکل ۱ تابع عضویت امکانی یک عدد فازی ذوزنقه¬ای

با توجه به پیشوایی و همکاران (۲۰۱۲) معادل استوار امکانی رابطه¬ی ۱ به¬شرح رابطه¬ی ۹ خواهد شد.

$$\begin{aligned} &Min\ TC = Avg + \gamma \left(TC^{\max} - TC^{\min} \right) \\ &Avg = \sum_f \sum_s \sum_t \sum_{k=1}^{K_{fs}} \left(\frac{A_{fs}^1 + A_{fs}^2 + A_{fs}^3 + A_{fs}^4}{4} \right) Y_{fkst} + \sum_t \sum_f \sum_i \left(\frac{H_f^1 + H_f^2 + H_f^3 + H_f^4}{4} \right) \left[\sum_{\tau=t-EX_f}^{t} \sum_s \sum_{k=1}^{K_{fs}} Z_{fksi\tau} - u_{if} \sum_{\tau=1}^{t} X_{i\tau} \right] \\ &+ \sum_t \sum_f \sum_s \sum_i \sum_{k=1}^{K_{fs}} \left(\frac{C_{fks}^1 + C_{fks}^2 + C_{fks}^3 + C_{fks}^4}{4} \right) u_{if} Z_{fksit} + \sum_{t=DT+1}^{T} P(t-DT) X_{(n+1)t} + UC \sum_m \sum_i \sum_j \text{Prob}(m) \Delta_{ij}^m - \sum_{t=1}^{DT-1} B(DT-t) X_{(n+1)t} \end{aligned} \quad (9)$$

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

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

در این رابطه پارامتر هزینه¬ی واحد اختلاف بین و می¬باشد.
بنابراین مدل استوار مسئله به شرح روابط ۲-۹ می¬باشد.

۳- یافته های عددی

در این بخش به تشریح یافته های عددی و نتایج حاصل از محاسبات عددی مدل پرداخته می شود. لذا ابتدا نحوه ی تهیه ی داده ها توضیح داده می شود و سپس نتایج حاصل از حل مسئل تشریح می شوند.

۳-۱ داده های مسئله

به منظور ارزیابی کارآیی رویکرد پیشنهادی، الگوریتم بر روی سه مسئله ی نمونه ای اجرا شده و نتایج مشخص شدند. کلیه ی مسائل با نرم¬افزار GAMS بر روی سیستمی با جنبه های فنی Intel Core i5 CPU و ۳.۴ GHz و ۸ GB RAM پیاده سازی شدند. ساختار کلی مسائل نمونه¬ای در جدول ۱ آورده شده است. لازم به ذکر است که مسائل ۱ و ۲ و ۳ دارای شبکه پیش نیازی (CPM) مشابه است. فعالیت¬های ابتدا و انتها در هر مسئله موهومی است و زمان و منابع مورد نیاز آن ها ۰ است.

این مسائل و صدها مسئله ی دیگر با نرم افزار زمان بندی پروژه ایجاد و در سایت گانت چارت (http:// www.ganttchart.com) موجود است. از میان مسائلی با سایزهای متنوع که در این سایت موجود است، تعدادی از آنان در اندازه های متنوع انتخاب و همراه با نمودار روابط پیش نیازی آن ها در این پژوهش استفاده شدند.

جدول ۱ ساختار مسائل عددی

شماره مسئله	تعداد فعالیت‌ها	تعداد منابع فسادپذیر لازم
۱	۲۲	۴
۲	۲۲	۶
۳	۲۲	۶

اطلاعات بیشتر در خصوص منابع و تابع سفارش گذاری (به ازای کلیه ی منابع برابر گرفته شد) در ادامه ذکر شده اند.
اطلاعات در خصوص منابع در جدول ۲ مشاهده می شود:

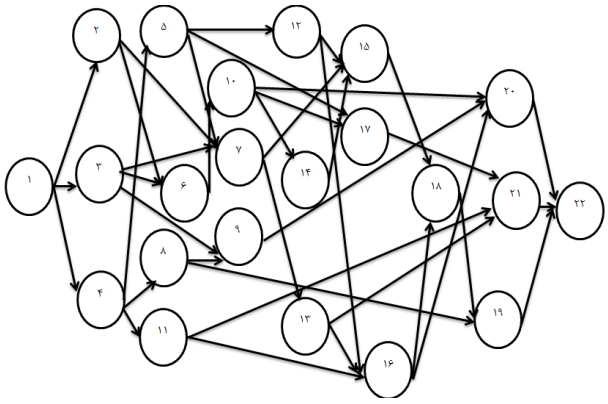
جدول ۲ اطلاعات در خصوص منابع

شماره منبع	طول عمر(روز)	هزینه سفارش	هزینه روزانه نگهداری هر موجودی
۱	۴	]۵۰ ،۵۴،۵۲[	]۷ ،۹،۸[
۲	۴	]۴۷ ،۵۱،۴۹[	]۶ ،۸،۷[
۳	۳	]۳۸ ،۴۲،۴۰[	]۶ ،۸،۷[
۴	۳	]۴۸ ،۵۲،۵۰[	]۴ ،۶،۵[
۵	۳	]۴۸ ،۵۲،۵۰[	]۵ ،۷،۶[
۶	۴	]۳۸ ،۴۲،۴۰[	]۶ ،۸،۷[
۷	۵	]۳۸ ،۴۲،۴۰[	]۵ ،۷،۶[
۸	۵	]۳۸ ،۴۲،۴۰[	]۵ ،۷،۶[

اطلاعات تابع تخفیف کلی تهیه ی مواد در جدول ۳ مشاهده می گردد:

جدول ۳ اطلاعات تابع تخفیف کلی خرید منابع مورد نیاز

مقدار خرید	قیمت خرید هر واحد
۵۰	۲۰
۱۰۰	۱۹
۲۰۰	۱۸
۴۰۰	۱۷
۱۰۰۰	۱۶
۲۰۰۰	۱۵
۴۰۰۰	۱۴
۶۰۰۰	۱۲



شکل ۲ شبکه ی روابط پیش نیازی برای مسائل ۱ – ۳

شکل ۲ شبکه وابستگی پیش نیازی مسائل یک تا چهار را به نمایش گذارده است. جداول ۴ تا ۷ جزئیات مربوط به زمان بندی برای هر یک از مسائل عددی سه گانه را به نمایش در آورده اند.

جدول ۴ اطلاعات مسئله ۱

R4	R3	R2	R1	پیش‌نیازها	LS	ES	زمان	فعالیت
۰	۰	۰	۰	***	۱	۱	۰	۱
۴	۰	۴	۸	۱	۳	۱	۷	۲
۱۰	۰	۸	۵	۱	۸	۱	۲	۳
۰	۷	۱۰	۱۰	۱	۲	۱	۳	۴
۰	۲	۸	۶	۴	۵	۴	۵	۵
۸	۰	۴	۷	۳و۲	۱۱	۸	۳	۶
۱۰	۰	۷	۸	۵و۳و۲	۱۰	۹	۷	۷
۰	۹	۸	۹	۴	۲۴	۲	۱	۸
۰	۳	۵	۲	۸و۳	۲۵	۵	۲	۹
۰	۷	۹	۱۰	۶	۱۴	۱۱	۲	۱۰
۹	۰	۹	۱۰	۴	۱۹	۴	۲	۱۱
۰	۸	۷	۶	۵	۱۶	۹	۲	۱۲
۷	۰	۹	۲	۷	۱۷	۱۶	۴	۱۳
۵	۰	۸	۱	۱۰	۱۶	۱۳	۲	۱۴
۷	۰	۴	۱۰	۱۴و۱۲و۷	۱۸	۱۵	۸	۱۵
۳	۰	۵	۱۰	۱۳و۱۲و۱۱	۲۱	۲۰	۶	۱۶
۴	۰	۵	۷	۱۰و۵	۲۲	۱۳	۴	۱۷
۰	۲	۶	۴	۱۶و۱۵	۲۶	۲۶	۳	۱۸
۵	۰	۶	۱۰	۱۸و۸	۲۹	۲۹	۱	۱۹
۶	۰	۲	۸	۱۶و۱۰و۹	۲۷	۲۶	۳	۲۰
۰	۸	۶	۳	۱۷و۱۳و۱۱	۲۶	۲۰	۴	۲۱
۰	۰	۰	۰	۲۱و۲۰و۱۹	۳۰	۳۰	۰	۲۲

جدول ۵ داده های مسئله ۲

R6	R5	R4	R3	R2	R1	پیش‌نیازها	LS	ES	زمان	فعالیت
۰	۰	۰	۰	۰	۰	***	۱	۱	۰	۱
۵	۲	۳	۰	۴	۸	۱	۱	۱	۹	۲
۶	۴	۰	۱۰	۵	۵	۱	۸	۱	۲	۳
۰	۵	۰	۷	۹	۸	۱	۹	۱	۴	۴
۳	۰	۹	۰	۷	۷	۴	۱۳	۵	۵	۵
۶	۵	۰	۳	۴	۷	۳و۲	۱۰	۱۰	۷	۶
۲	۷	۹	۰	۶	۳	۵و۳و۲	۱۸	۱۰	۱۰	۷
۴	۰	۷	۰	۶	۷	۴	۳۲	۵	۱	۸
۲	۶	۷	۰	۵	۱	۸و۳	۳۳	۶	۹	۹
۴	۰	۶	۰	۵	۶	۶	۱۷	۱۷	۸	۱۰
۰	۴	۷	۰	۸	۸	۴	۳۰	۵	۳	۱۱
۴	۶	۵	۰	۵	۳	۵	۲۶	۱۰	۵	۱۲
۸	۷	۵	۰	۹	۱	۷	۲۸	۲۰	۵	۱۳
۲	۵	۰	۷	۸	۱	۱۰	۲۵	۲۵	۶	۱۴
۰	۶	۵	۰	۴	۹	۱۴و۱۲و۷	۳۱	۳۱	۹	۱۵
۲	۴	۰	۶	۵	۷	۱۳و۱۲و۱۱	۳۳	۲۵	۷	۱۶

۴	۶	۰	۴	۵	۵	۱۰و۵	۳۶	۲۵	۵	۱۷
۷	۹	۹	۰	۶	۴	۱۵و۱۶	۴۰	۴۰	۳	۱۸
۴	۷	۰	۸	۵	۷	۸و۱۸	۴۳	۴۳	۳	۱۹
۶	۰	۰	۵	۲	۸	۹و۱۰و۱۶	۴۲	۳۲	۴	۲۰
۰	۱	۰	۷	۵	۲	۱۱و۱۳و۱۷	۴۱	۳۰	۵	۲۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۹و۲۰و۲۱	۴۶	۴۶	۰	۲۲

جدول ۶ داده های مسئله ۳

R6	R5	R4	R3	R2	R1	پیش‌نیازها	LS	ES	زمان	فعالیت
۰	۰	۰	۰	۰	۰	***	۱	۱	۰	۱
۵	۲	۳	۰	۴	۸	۱	۱	۱	۱۰	۲
۶	۴	۰	۱۰	۵	۵	۱	۸	۱	۳	۳
۰	۵	۰	۷	۹	۸	۱	۷	۱	۱۰	۴
۳	۰	۹	۰	۷	۷	۴	۱۷	۱۱	۶	۵
۶	۵	۰	۳	۴	۷	۲و۳	۱۱	۱۱	۱۰	۶
۲	۷	۹	۰	۶	۳	۲و۳و۵	۲۳	۱۱	۱۰	۷
۴	۰	۷	۰	۶	۷	۴	۳۶	۱۱	۶	۸
۲	۶	۷	۰	۵	۱	۳و۸	۴۲	۱۷	۱۰	۹
۴	۰	۶	۰	۵	۶	۶	۲۱	۲۱	۱۰	۱۰
۰	۴	۷	۰	۸	۸	۴	۳۲	۱۱	۵	۱۱
۴	۶	۵	۰	۵	۳	۵	۳۵	۱۷	۵	۱۲
۸	۷	۵	۰	۹	۱	۷	۳۳	۲۱	۸	۱۳
۲	۵	۰	۷	۸	۱	۱۰	۳۱	۳۱	۹	۱۴
۰	۶	۵	۰	۴	۹	۷و۱۲و۱۴	۴۰	۴۰	۱۰	۱۵
۲	۴	۰	۶	۵	۷	۱۱و۱۲و۱۳	۴۱	۲۹	۹	۱۶
۴	۶	۰	۴	۵	۵	۵و۱۰	۴۲	۳۱	۸	۱۷
۷	۹	۹	۰	۶	۴	۱۵و۱۶	۵۰	۵۰	۵	۱۸
۴	۷	۰	۸	۵	۷	۸و۱۸	۵۵	۵۵	۴	۱۹
۶	۰	۰	۵	۲	۸	۹و۱۰و۱۶	۵۲	۳۸	۷	۲۰
۰	۱	۰	۷	۵	۲	۱۱و۱۳و۱۷	۵۰	۳۹	۹	۲۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۹و۲۰و۲۱	۵۹	۵۹	۰	۲۲

۳-۲ نتایج عددی

مسائل عددی ارائه شده در بخش قبل با نرم افزار حل شده و نتایج مربوطه در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷ مدت زمان مورد نیاز برای حل و مقدار تابع هدف

شماره مسئله	مدت زمان اجرا(ثانیه)	مقدار هدف(۱۰^۵*)
۱	۱۷۴.۵۵	۴.۵۴۸۴۸
۲	۳۹۳.۲۶	۸.۳۶۹۵۶
۳	۵۱۳.۱۸	۱۱.۳۱۹۸۷

در ادامه یافته های مربوط به زمان بندی و سفارش دهی برای مسائل عددی مختلف ذکر می شوند.

۱-۲-۳ نتایج عددی برای مسئله ی شماره ی ۱

جدول ۸ برنامه زمانی بهینه ی آغاز فعالیت¬های مسئله ۱

شماره فعالیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
روز آغاز فعالیت	1	3	8	2	5	11	10	24	25	14	19	16	17	16	18	21	22	26	29	27	26	30

جدول ۹ سیاست بهینه سفارش¬دهی منابع در مسئله ۱

روز	میزان سفارش منبع ۱	میزان سفارش منبع ۲	میزان سفارش منبع ۳	میزان سفارش منبع ۴
۱	12	11	5	1
۲	21	22	11	3
۳	23	20	7	4
۴	25	21	9	5
۵	29	17	8	4
۶	29	37	11	8
۷	26	29	5	9
۸	22	30	10	14
۹	37	38	10	26
۱۰	56	36	15	14
۱۱	42	30	8	31
۱۲	58	66	8	33
۱۳	59	46	16	32
۱۴	50	44	29	53
۱۵	69	81	12	34
۱۶	85	65	19	45
۱۷	80	98	27	42
۱۸	79	57	27	77
۱۹	83	76	17	67
۲۰	126	96	12	49
۲۱	59	80	47	11
۲۲	105	73	14	115
۲۳	141	124	34	56
۲۴	34	156	45	87
۲۵	115	121	60	30
۲۶	41	123	37	104
۲۷	252	254	31	76
۲۸	97	42	59	53
۲۹	71	18	14	77
۳۰	42	34	21	24

۲-۲-۳ نتایج عددی برای مسئله ی ۲

جدول ۱۰ برنامه زمانی بهینه ی آغاز فعالیت های مسئله ۲

شماره فعالیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
روز آغاز فعالیت	1	1	8	9	13	10	18	32	33	17	30	26	28	25	31	33	36	40	43	42	41	46

جدول ۱۱ سیاست بهینه سفارش¬دهی منابع در مسئله ۲

روز	میزان سفارش منبع ۱	میزان سفارش منبع ۲	میزان سفارش منبع ۳	میزان سفارش منبع ۴	میزان سفارش منبع ۵	میزان سفارش منبع ۶
۱	16	10	0	6	4	10
۲	13	4	0	3	3	8
۳	8	4	0	2	2	6
۴	5	2	0	4	2	5
۵	9	4	0	4	2	4
۶	14	8	4	2	3	9
۷	25	8	14	1	6	13
۸	22	17	15	4	13	18
۹	30	33	8	4	12	14
۱۰	29	26	18	2	9	16
۱۱	23	21	30	9	29	20
۱۲	25	22	18	8	12	15
۱۳	42	29	16	14	17	25
۱۴	39	28	15	14	15	18
۱۵	43	27	22	15	11	12
۱۶	42	50	24	10	21	29
۱۷	35	34	28	25	29	30
۱۸	58	59	27	30	20	21
۱۹	34	41	5	27	18	30
۲۰	42	34	14	25	22	30
۲۱	33	23	27	31	28	28
۲۲	53	44	33	12	19	24
۲۳	51	43	15	36	25	19
۲۴	54	63	26	32	38	26
۲۵	48	41	30	16	36	55
۲۶	53	63	14	39	29	36
۲۷	61	86	30	34	36	24
۲۸	32	97	26	26	25	45
۲۹	76	66	31	56	51	28
۳۰	63	61	29	64	76	49
۳۱	27	58	10	39	49	74
۳۲	133	65	39	72	61	24
۳۳	64	90	36	68	40	40

۳۴	84	112	48	10	82	56
۳۵	86	117	38	111	34	55
۳۶	74	67	33	53	83	56
۳۷	90	90	28	62	74	73
۳۸	111	67	30	75	49	35
۳۹	96	104	43	53	115	46
۴۰	16	137	36	88	35	64
۴۱	83	65	92	52	92	84
۴۲	202	236	55	59	49	49
۴۳	112	63	33	102	114	32
۴۴	47	74	46	98	95	99
۴۵	79	55	39	19	67	26
۴۶	14	21	24	33	14	23

۳-۲-۳ نتایج عددی برای مسئله ی ۳

جدول ۱۲ برنامه زمانی بهینه ی آغاز فعالیت های مسئله ۳

شماره فعالیت	**۱**	**۲**	**۳**	**۴**	**۵**	**۶**	**۷**	**۸**	**۹**	**۱۰**	**۱۱**	**۱۲**	**۱۳**	**۱۴**	**۱۵**	**۱۶**	**۱۷**	**۱۸**	**۱۹**	**۲۰**	**۲۱**	**۲۲**
روز شروع فعالیت	1	1	8	7	17	11	23	36	42	21	32	35	33	31	40	41	42	50	55	52	50	59

جدول ۱۳ سیاست بهینه سفارش¬دهی منابع در مسئله ۳

روز	**میزان سفارش منبع ۱**	**میزان سفارش منبع ۲**	**میزان سفارش منبع ۳**	**میزان سفارش منبع ۴**	**میزان سفارش منبع ۵**	**میزان سفارش منبع ۶**
۱	14	9	0	5	4	12
۲	9	6	0	4	2	4
۳	13	3	0	2	1	4
۴	17	8	0	3	2	6
۵	6	9	3	3	3	7
۶	15	16	4	4	10	9
۷	16	12	24	2	8	10
۸	20	17	13	3	13	15
۹	29	39	11	4	21	14
۱۰	28	11	17	2	9	11
۱۱	34	18	25	4	9	15
۱۲	26	23	18	3	26	15
۱۳	25	21	29	2	8	18
۱۴	43	26	13	3	12	29
۱۵	20	24	24	7	16	8
۱۶	44	44	13	7	17	19

۱۷	19	21	19	20	23	20
۱۸	41	27	18	4	14	25
۱۹	43	38	20	8	12	16
۲۰	52	38	21	24	21	24
۲۱	29	13	23	27	16	29
۲۲	37	28	26	18	26	25
۲۳	35	50	10	29	12	21
۲۴	46	50	24	30	24	28
۲۵	41	47	24	15	30	18
۲۶	46	43	20	35	19	40
۲۷	41	23	24	42	28	26
۲۸	47	35	18	25	18	40
۲۹	47	66	17	12	29	15
۳۰	59	73	9	23	20	24
۳۱	35	49	28	39	34	41
۳۲	51	60	35	44	34	20
۳۳	64	67	28	46	62	41
۳۴	90	80	46	39	41	58
۳۵	58	67	13	56	40	33
۳۶	75	68	42	24	27	34
۳۷	37	76	18	50	54	56
۳۸	35	66	30	65	40	59
۳۹	82	94	15	51	57	29
۴۰	99	81	19	46	81	31
۴۱	61	108	73	51	23	50
۴۲	151	114	22	94	63	81
۴۳	60	89	31	75	55	49
۴۴	70	78	44	44	84	55
۴۵	93	47	25	39	66	51
۴۶	91	134	58	87	74	25
۴۷	84	120	22	93	90	63
۴۸	83	56	41	49	72	55
۴۹	96	70	42	66	38	75
۵۰	89	92	44	103	89	53
۵۱	146	219	52	48	57	71
۵۲	108	125	22	122	106	47
۵۳	46	57	49	19	79	68
۵۴	121	78	63	66	115	72
۵۵	78	77	108	118	25	74
۵۶	121	224	21	57	98	64
۵۷	146	80	34	23	109	60
۵۸	21	13	84	40	24	31
۵۹	12	36	1	49	48	19

۴- نتیجه گیری

هدف از این تحقیق ارائه ی مدل یکپارچه ی استوار سفارش دهی مواد و زمان بندی پروژه با منابع محدود در شرایط عدم قطعیت بود. در مدل پیشنهادی در تحقیق، مساله یکپارچه ی استوار سفارش دهی مواد و زمان بندی پروژه در شرایط محدودیت منابع، عدم قطعیت و وقفه های تقویمی مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق فرض شد که چند سناریو برای انجام پروژه مطرح می باشد و در هر سناریو زمان انجام کار با سناریوی دیگر تفاوت داشت. مدل ارائه شده در تحقیق حاضر به دنبال کمینه سازی هزینه های پروژه شامل هزینه های سفارش¬دهی، نگه-داری، خرید و جریمه¬ی تأخیر در تحویل پروژه منهای پاداش تعجیل در تحویل پروژه بود. پس از ارائه ی مدل، با رویکرد امکانی استوارسازی مدل انجام شد. سپس نسبت به طراحی و حل مسائل عددی در ابعاد مختلف با بهره گیری از نرم افزار GAMS اقدام و نتایج ارائه شدند.

از جمله نکات برجسته در مدل، در نظر گرفتن هم زمان مباحث تجدید ناپذیری مواد، فسادپذیر بودن و همچنین فرض تخفیف در منابع پروژه و عدم قطعیت، وقفه های تقویمی و سناریوهای مختلف زمانی پروژه بود. در نظر گرفتن همه ی این موارد در قالب مدل یکپارچه ی زمان بندی و سفارش دهی مواد می تواند منجر به کاربردی تر شدن مدل و نزدیک تر شدن آن به شرایط دنیای واقعی شود.

هر تحقیقی می تواند راهگشای تحقیقات و پژوهش های قوی تر و جامع تری باشد. این تحقیق نیز از این امر مستثنی نبوده و می تواند منشا پیدایش تحقیقات بهتر و قوی تری گردد. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق، مطالب زیر برای علاقه مندان می تواند زمینه ی مطالعات آتی را فراهم نماید:

- از رویکردهای فراابتکاری برای حل مسائل در ابعاد بزرگ (دنیای واقعی) استفاده شود.
- مدل ارائه شده بر روی یک پروژه ی واقعی به صورت نمونه پیاده سازی شده و نتایج ارزیابی شوند
- مسائل پایداری و محیط زیستی در مدل سازی مسئله در نظر گرفته شود.

مراجع

Aquilano, N. J., & Smith, D. E. (1980). A formal set of algorithms for project scheduling with critical path scheduling/material requirements planning. Journal of Operations Management, 1(2), 57-67.

Artigues, C., Demassey, S., & Neron, E. (Eds.). (2013). Resource-constrained project scheduling: models, algorithms, extensions and applications. John Wiley & Sons.

Ben-Tal, A., El Ghaoui, L., & Nemirovski, A. (2009). Robust optimization. Princeton university press.

Bertsimas, D., Brown, D. B., & Caramanis, C. (2011). Theory and applications of robust optimization. SIAM review, 53(3), 464-501.

Bruni, M. E., Pugliese, L. D. P., Beraldi, P., & Guerriero, F. (2018). An adjustable robust optimization model for the resource-constrained project scheduling problem with uncertain activity durations. Omega, 71, 66-84.

Chakrabortty, R. (2017). Managing uncertainties and disruptions in resource constrained project scheduling (Doctoral dissertation, The University of New South Wales, Canberra, Australia).

Demeulemeester, E. L., & Herroelen, W. S. (2006). Project scheduling: a research handbook (Vol. 49). Springer Science & Business Media.

Habibi, F., Barzinpour, F., & Sadjadi, S. J. (2019). A mathematical model for project scheduling and material ordering problem with sustainability considerations: A case study in Iran. Computers & Industrial Engineering, 128, 690-710.

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

Tabrizi, B. H., & Ghaderi, S. F. (2016). A robust bi-objective model for concurrent planning of project scheduling and material procurement. Computers & industrial engineering, 98, 11-29.

Ke, H., Wang, L., & Huang, H. (2015). An uncertain model for RCPSP with solution robustness focusing on logistics project schedule. International Journal of e-Navigation and Maritime Economy, 3, 71-83.

Liu, Z., Yang, L., Deng, R., & Tian, J. (2017). An effective approach with feasible space decomposition to solve resource-constrained project scheduling problems. Automation in Construction, 75, 1-9.

Ma, G., Gu, L., & Li, N. (2015). Scenario-based proactive robust optimization for critical-chain project scheduling. Journal of Construction Engineering and Management, 141(10), 04015030.

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

Pishvaee, M. S., Razmi, J., & Torabi, S. A. (2012). Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach. Fuzzy sets and systems, 206, 1-20.

Tabrizi, B. H. (2018). Integrated planning of project scheduling and material procurement considering the environmental impacts. Computers & Industrial Engineering, 120, 103-115.

Zoraghi, N., Shahsavar, A., Abbasi, B., & Van Peteghem, V. (2017). Multi-mode resource-constrained project scheduling problem with material ordering under bonus–penalty policies. Top, 25(1), 49-79.