Archive of SID

ارائه مدلی استوار برای مسئله گسسته موازنه‌سازی زمان– هزینه– اثرات زیست محیطی پروژه با در نظر گرفتن عدم قطعیت در زمان و هزینه

الهه حیدرنژاد[۱]، علی سلماس‌نیا[۲،*] و رضا برادران کاظم‌زاده[۳]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۲۶
پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۱

واژگان کلیدی:
مدیریت پروژه،
موا ز نه ز مان- هزی نه- اثرات،
زیست محیطی پروژه،
بهینه‌سازی استوار،
برنامه‌ریزی چندهدفه.

چکیده

یکی از مباحث مهم در مدیریت پروژه انتخاب بهترین گزینه برای انجام هر فعالیت است، به طوری‌که پروژه با کمترین هزینه کل و زمان کل به اتمام برسد. در دنیای واقعی، منابع گوناگونی از عدم قطعیت وجود دارد که اغلب تاثیر منفی روی هزینه و زمان انجام فعالیت‌ها دارند. بنابراین، اهمیت توسعه رویکردهایی برای ایجاد زمانبندی پروژه استوار احساس می‌شود که نسبت به اختلال ایجاد شده توسط فاکتورهای غیرقابل کنترل کمتر آسیب‌پذیرتر باشند. از سویی دیگر همراه با صنعتی شدن جوامع، پروژه‌های ساخت مشکلات زیست محیطی اعم از مصرف بیش از حد منابع جهانی و از نظر عملیات ساخت و ساز، آلودگی محیط اطراف را منجر شده است. از این جهت، به موازات افزایش آگاهی‌های زیست محیطی، صاحبان صنایع و مدیران پروژه می‌بایست به ارزیابی نحوه تاثیر فعالیت‌هایشان بر محیط اطراف بپردازند. از این‌رو، دستیابی به این هدف نیز باید در اهداف چندگانه تکمیل پروژه و روابط آنها به طور همزمان در نظر گرفته شود. در این تحقیق، مدلی براساس بهینه‌سازی استوار برای مسئله موازنه‌ی زمان- هزینه- اثرات زیست محیطی گسسته ارائه می‌شود که شرایط عدم‌قطعیت برای زمان و هزینه فعالیت‌ها در نظر گرفته شده است. برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی، تحلیل محاساسباتی برای یکی از پروژه‌های ساخت و ساز بندر امیرآباد انجام شد که نتایج ارائه شده از حل مدل قطعی و استوار حاکی از قابلیت بسیار بالای مدل استوار نسبت به مدل قطعی در پاسخگویی به عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسئله و هم‌چنین مدیریت سطح ریسک‌پذیری تصمیم‌گیرنده است.

۱-مقدمه

امروزه، پیچیدگی در اجرای پروژه‌ها، فضای رقابتی کسب و کار لزوم به‌کارگیری مدیریت پروژه را در دستیابی به اهداف پروژه‌ها بیش از پیش مورد توجه قرار داده است. هزینه و زمان اغلب از مهم‌ترین جنبه‌ها در اجرای یک پروژه می‌باشند. به نحوی که قابلیت اجرای یک پروژه را در مرحله ابتدایی از چرخه‌ی پروژه را تعیین می‌کنند، و اثر قابل توجهی بر خروجی فازهای طراحی و برنامه‌ریزی دارند و موفقیت یا شکست پروژه را در فازهای بعدی پروژه تحت تاثیر قرار می‌دهد. مدیران پروژه اغلب جهت مقایسه جنبه‌های متفاوت پروژه در رابطه با انتخاب بهترین گزینه برای زمان تکمیل پروژه و هزینه کل پروژه در زمانبندی پروژه با چالش‌های مختلفی مواجه هستند. بنابراین لزوم استفاده آنها از تکنیک‌هایی به منظور هدایت و کنترل جنبه‌های مختلف پروژه احساس می‌شود، که این امر منجر به پیدایش مسئله موازنه‌ی زمان- هزینه به منظور روشی برای تعیین اقتصادی‌ترین زمان برای اجرای پروژه و بررسی میزان حساسیت تغییرات هزینه در مقابل تغییرات زمان می‌شود.

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: a.salmasnia@qom.ac.ir
۱. کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس
۲. استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه قم
۳. دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس

www.SID.ir

Archive of SID

روش مسیر بحرانی[1] (CPM) در سال ۱۹۵۰، به عنوان پایه‌ای برای زمانبندی پروژه[2] و محاسبه هزینه و زمان کل پروژه در نظر گرفته شد. اگرچه، CPM مدت زمان کل پروژه را به عنوان مجموع مدت زمان فعالیت‌های روی مسیر بحرانی محاسبه می‌کند، ولی محدودیت‌های زمانی پروژه را به طور صریح در نظر نمی‌گیرد. به منظور مقابله با این امر، مسئله موازنه‌ی زمان- هزینه (TCTP) به منظور انتخاب بهترین گزینه زمان و هزینه‌ی انجام فعالیت‌های پروژه و یکی از مهم‌ترین موضوعات در زمان‌بندی پروژه توسعه داده شد [۴-۲].

۱-۱-مسئله موازنه‌ی زمان- هزینه (TCTP)

به طور کلی، مسئله موازنه زمان- هزینه به طور گسترده توسط محققان زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. توالی و زمانبندی فعالیت‌های پروژه با منابع محدود یکی از مسائل مهم مربوط به حوزه کنترل پروژه می‌باشد که با مدیریت صحیح آن می‌توان هزینه‌های گزاف پروژه‌ها را کاهش داد [۱]. در ابتدا، این مسائل به عنوان مسائله بهینه‌سازی تک هدفه مورد بررسی قرار گرفتند، به طوری‌که حداقل‌سازی زمان تکمیل پروژه، حداقل‌سازی هزینه کل پروژه یا حداکثرسازی استفاده از منابع به طور عمده به عنوان هدف اصلی مسئله در نظر گرفته می‌شد [۵-۷].

بیش از ۵۰ سال پیش، مسئله موازنه زمان- هزینه اولین بار توسط کلی [۷] مدل‌سازی شد، وی اولین مدل برنامه‌ریزی خطی را برای فشرده‌سازی فعالیت‌های پروژه ارائه نمود که در آن هزینه رابطه خطی با مدت زمان اجرای فعالیت داشت. به دنبال این مطالعه، مطالعات زیادی برای توسعه این مسئله ارائه شد، به طور مثال، فالک[3] [۵] مدلی برای نمایش رابطه غیرخطی هزینه و زمان اجرای هر فعالیت مطرح نموده و روش حل ارائه داد. هاروی و پترسون[4][۶]، الگوریتم شمارشی برای این مسئله ارائه نمودند، آنها مدل برنامه‌ریزی صفر و یک را معرفی نموده و با حل چند مثال آن را اعتبارسنجی کردند. همچنین برنامه‌ریزی خطی مختلط توسط میر و شافر[5] [۴۳] در این زمینه مطرح شد، کرستون[6] [۴۴] الگوریتم شاخه و کران را برای برنامه‌ریزی خطی مختلط ارئه نمود. در پی این مطالعات، این مسائل به صورت مسائل چندهدفه تغییر پیدا کردند [۹ و ۱۰]، به‌طور عمده مسائل چند هدفه بر روی پیدا کردن جواب بهینه‌ای تمرکز داشتند که به طور همزمان هزینه کل و زمان تکمیل پروژه را به حداقل می‌رساندند. ارنگوک و همکاران [۱۱] الگوریتم دقیقی برای حل DTCTP با جریان‌های نقدی تنزیل شده ارائه کردند.

۱-۲-مسئله موازنه‌ی زمان- هزینه- اثرات زیست محیطی پروژه (TCETP)

امروزه، تعداد پروژه‌های ساخت و ساز در سطح جهانی به سرعت در حال توسعه است. اخیرا، صنعت ساخت و ساز به دلیل ایجاد مسائل زیست محیطی اعم از مصرف بیش از حد منابع جهانی هم از لحاظ ساخت و ساز و هم از لحاظ آلاینده‌های محیط اطراف متهم شده است. مدیران پروژه ساخت و ساز اغلب برای مقایسه بین جنبه‌های متناقض مختلف از یک پروژه با چالش مواجه می شوند [۱۳]. آلودگی محیط زیست یکی از آثار و پیامدهای بالقوه صنعتی شدن جوامع در حال توسعه است، لذا به موازات افزایش آگاهی‌های زیست محیطی، صاحبان صنایع و مشاغل باید به ارزیابی نحوه تاثیر فعالیت‌هایشان بر محیط زیست بپردازند. با این کار ضمن حفظ بهداشت محیط طرح، از آلودگی آب، خاک، هوا و به خطر افتادن سلامت انسانی جلوگیری نموده و علاوه بر بهینه نمودن بهداشت ساخت و ساز، در جهت حفظ محیط‌زیست و سلامت جامعه می‌توان گام مهم و اساسی برداشت. از این‌رو، مدیران پروژه به خصوص مدیران پروژه‌های ساخت و ساز به یک روش مدیریت پروژه برای هدایت و کنترل نه تنها مدت زمان کل پروژه و هزینه های پروژه، بلکه به روشی برای کنترل اثرات زیست محیطی به منظور دستیابی به اهداف ایده‌آل مدیریتی نیازمندند، که این امر منجر به توسعه مسئله موازنه سازی زمان- هزینه- محیط گسسته (DTCETP) به عنوان زیر مجموعه‌ای از DTCTP شده است.

مطالعات خیلی معدودی در زمینه‌ی مسئله DTCETP انجام شده است، که در ادامه به آنها اشاره خواهیم داشت. مارزوک و همکاران [۱۴]، اولین مطالعه در رابطه با DTCETP را انجام دادند. آنها مدل چند هدفه‌ای را برای زمانبندی پروژه با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه دادند، که علاوه بر کمینه‌سازی زمان و هزینه پروژه، آلاینده‌های

[1] Critical Path Method (CPM)
[2] Project Scheduling
[3] Falk
[4] Harvey and Patterson
[5] Meyer and Shaffer
[6] Crowston and Thompson

www.SID.ir

Archive of SID

ناشی از پروژه ساخت و ساز را کمینه می‌سازد. به منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، این مدل بر روی یک پروژه دنیای واقعی مورد بررسی قرار گرفته است. اُزجان و همکاران [۱۵]، چارچوبی براساس مفهوم کنترل بهینه‌ی عملیات اجرایی ساخت و ساز پیشنهاد کردند، به طوری‌که کمینه‌سازی زمان، هزینه و اثرات زیست محیطی پروژه را به عنوان اهداف پروژه در طول زمانبندی در نظر گرفتند، و از الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب سازی نامغلوب (NSGA-II) برای به‌دست آوردن جواب بهینه انتخاب شده است. در نهایت برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی، بر روی یک مطالعه‌ی موردی مدل تست شده است.

به دنبال این محققین، زو و همکاران [۱۳] ۲۰۱۲، کار مرتبط دیگری را ارائه دادند که مسئله موازنه‌سازی هزینه- زمان- محیط گسسته را برای پروژه‌ای با حالت‌های اجرایی چندگانه برای فعالیت‌ها ارائه می‌کنند. در مدل تصمیم‌گیری چند هدفه ایجاد شده مدت زمان کل پروژه تحت عدم-قطعیت فازی در نظر گرفته شده است. برای حل مسئله یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی- تطبیقی برمبنای تئوری فازی[1] ((f)a-hGA) توسعه داده شده است. در نهایت، پروژه‌ای واقعی برای نشان دادن عملکرد و کارایی مدل مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج و تحلیل حساسیت نشان دهنده‌ی عملکرد بالا و موثر آن را در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی از قبیل (f)GA[2]، (f)hGA[3] می‌باشد. لازم به ذکر است که این مطالعه، تنها مطالعه انجام شده تحت شرایط عدم قطعیت در زمینه مطالعات DTCETP است.

لیو و همکاران [۱۶]، با اشاره به این نکته که یکی از عوامل اصلی تولید گازهای گلخانه‌ای پروژه‌های صنعتی هستند، هدف از انجام این مطالعه را ارائه‌ی مدلی بر مبنای بهینه-سازی انبوه ذرات (PSO) چندهدفه به منظور کمک به تصمیم‌گیرنده برای تعیین راه‌حل بهینه‌ی موازنه‌سازی هزینه و آلاینده‌های CO_2 دانستند، و برای ارزیابی کارایی مدل ارائه شده، پروژه ساخت و ساز واقعی را در نظر گرفتند و نتایج حاصل کاملا حاکی از اعتبار و عملی بودن آن بوده است. چنگ و تران [۱۷]، نیز کار مرتبط دیگری در رابطه با TCETP چند هدفه بر مبنای الگوریتم‌های فراابتکاری ارائه دادند.

۱-۳- بهینه‌سازی استوار

اکثر مطالعات بهینه‌سازی زمانبندی پروژه با فرض اطلاعات کامل و شرایط قطعی انجام شده است. به طوری‌که در شرایط دنیای واقعی، پروژه‌ها اغلب با منابع متفاوتی از عدم قطعیت از قبیل شرایط آب و هوایی، تدارکات نامطلوب، تغییر در اهداف پروژه و امثال این مواجه هستند که منجر به دشواری برآورد زمان و هزینه فعالیت‌ها شده و در نتیجه اهداف پروژه را تهدید می‌کند. بنابراین، توسعه الگوریتم‌های زمانیندی کارایی لازم است که نسبت به این شرایط عدم-قطعیت کمتر حساس باشند. رویکردهای متفاوتی برای - مدل‌سازی مسائل تحت شرایط عدم‌قطعیت وجود دارد، یکی از این رویکردها بهینه‌سازی استوار است که امروزه مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. این رویکرد بدترین حالت‌هایی را که ممکن است برای پارامترهای غیرقطعی تحقق یابند، بهینه می‌کند. مجموعه‌های عدم قطعیت در واقع همان فضای تغییر پارامترهای غیرقطعی هستند که کلیه مقادیر ممکن برای پارامترهای غیرقطعی را شامل می‌شوند. رویکردهای بهینه‌سازی استوار اهمیت یکسانی را به کلیه مقادیر فضای پارامترهای غیرقطعی می-دهند و جواب‌هایی را تولید می‌کنند که با تحقق هر عضو متعلق به مجموعه‌های عدم قطعیت، بهینگی و شدنی بودن را حفظ نمایند. از نظر پیچیدگی مسائل، بهینه‌سازی استوار یک رویکرد متفاوت برای برخورد با عدم قطعیت داده‌ها ارئه می‌دهد. در طراحی چنین رویکردی دو معیار حائز اهمیت است:

۱- مهار شدن محاسبات همتاهای استوار مسائل غیرخطی: اگر مسئله اسمی در زمان چندجمله‌ای حل گردد، از نظر تئوری و عملی نیز مساله استوار قابلیت حل مسئله را حفظ می‌کند.

۲- ارائه‌ی مرزهای احتمالی: تا وقتی که پارامترهای احتمالی در مجموعه‌های عدم قطعیت تغییر می‌کنند، جواب‌های به‌دست آمده با احتمال مشخصی شدنی باقی می‌مانند.

این معیارها همیشه در همه‌ی رویکردهای بهینه‌سازی استوار برآورده نمی‌شود، اما برای اینکه یک جواب استوار هم از نظر تئوری و هم از نظر عملی مفید باشد، باید این معیارها را برقرار سازد [۱۸].

سویستر [۱۹] یک مدل بهینه‌سازی خطی ارائه کرد که

[1] Fuzzy-based adaptive hybrid genetic algorithm
[2] Fuzzy-based genetic algorithm
[3] Fuzzy-based hybrid genetic algorithm

www.SID.ir

Archive of SID

بهترین جواب موجه برای همه داده‌های ورودی ارائه می‌کند به‌طوری که هر داده ورودی می‌تواند هر مقداری را از یک بازه بگیرد. این رویکرد تمایل به یافتن جواب‌های بیش محافظه‌کارانه[1] دارد. به این معنی که برای اطمینان از استوار بودن جواب در این رویکرد به مقدار زیادی از بهینگی مسئله اسمی دور می‌شویم.

بنتال و نمیروفسکی [۲۲-۲۰] با فرض این‌که داده‌ها در مجموعه‌های بیضوی[2] دارای عدم قطعیت هستند الگوریتم-های کارایی برای حل مسائل بهینه‌سازی محدب تحت عدم‌قطعیت داده‌ها ارائه نموده‌اند. با توجه به این فرضیه فرموله‌بندی‌های استوار به‌دست آمده، از دسته مسائل درجه دو مخروطی[3] می‌باشند. بر همین اساس این روش‌ها نمی-توانند به طور مستقیم برای مسائل بهینه‌سازی گسسته مورد استفاده قرار گیرند. برتسیمس و سیم [۲۳] رویکرد متفاوتی را برای کنترل سطح محافظه‌کاری معرفی کرده‌اند. این رویکرد از این مزیت برخوردار است که منجر به یک مدل بهینه‌سازی خطی می‌گردد و بنابراین قابل اعمال بر روی مدل‌های بهینه‌سازی گسسته نیز است. مطالعات اندکی در رابطه با پیاده‌سازی بهینه‌سازی استوار برای زمانبندی پروژه انجام شده است، کوهن و همکاران [۲۴] ، طی مطالعه‌ای در زمینه‌ی زمانبندی پروژه استوار، عدم-قطعیت بازه‌ای و بیضوی را برای مسئله موازنه زمان- هزینه پیوسته مورد بررسی قرار دادند. آنها مسئله استوارشان را بر مبنای رویکرد همتای استوار تعدیل‌پذیر[4] (ARC) بنتال و نیمروفسکی [۲۵] مدل‌سازی کردند، به طوری‌که برخی از متغیرها قبل از تحقق پارامترهای عدم قطعیت (متغیرهای تعدیل ناپذیر) تعیین می‌شوند، در حالیکه دیگر متغیرها می‌توانند بعد از تحقق عدم قطعیت تعیین شوند (متغیرهای تعدیل پذیر).

هژیر[۲۶] ، مسئله موازنه زمان- هزینه گسسته با در نظر گرفتن عدم قطعیت بازه‌ای برای هزینه فعالیت‌ها مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه برای مقابله با عدم قطعیت موجود در ضرایب تابع هدف سه مدل بر مبنای بهینه‌سازی استوار برتسیمس و سیم [۲۳] توسعه داده شد، و برای حل این مدل‌ها الگوریتم دقیق و ابتکاری ارائه دادند. لازم به ذکر است که مطالعه مذکور تنها مطالعه انجام شده در زمینه موازنه‌سازی زمان- هزینه است، که بر مبنای رویکرد بهینه-سازی استوار برتسیمس و سیم [۲۳] انجام شده است، به طوری‌که تاثیر عدم قطعیت پارامترهای هزینه‌ای موجود در تابع هدف برای یک مدل تک هدفه را پیاده سازی کرده است.

جدول ۱ مرور و مقایسه کلی بین مطالعات انجام شده در زمینه‌ی بهینه‌سازی مسائل موازنه‌سازی را ارائه می‌کند.

در ادامه این مقاله، در بخش ۲، مفروضات و مدل‌سازی سازی مسئله چندهدفه DTCETP در حالت قطعیت شرح داده خواهد شد. در بخش ۳، همتای استوار برای مسئله DTCETP پیشنهادی ارائه می‌شود. بخش ۴ شامل مطالعه موردی و انجام تحلیل حساسیت برای یک پروژه ساخت و ساز در رابطه با DTCETP است. در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آتی در بخش ۵ ارائه می‌شود.

۲-مدل‌سازی مسئله موازنه هزینه- زمان- اثرات زیست محیطی پروژه گسسته (DTCETP)

پروژه منحصر به فردی با n+2 فعالیت توسط گراف معرف شبکه‌ی گره‌ای[5]، G(N, A) را در نظر بگیرید. برای هر فعالیت چند حالت اجرایی فرض شده است، هر یک از این حالت‌ها با سه پارامتر هزینه، زمان و اثرات زیست محیطی مربوط به فعالیت مشخص شده‌اند، فعالیت متناظر فقط در یکی از این حالت‌ها می‌تواند انجام شود. در این مسئله فرض براین است که تنها یک نوع از منبع تجدیدناپذیر (پول) وجود دارد و میزان استفاده از آن بیان کننده‌ی هزینه هر فعالیت در حین اجرایش است. زمان شروع هریک از فعالیت‌ها وابسته به روابط پیش‌نیازی متناظر با آن فعالیت است. روابط پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها در این پروژه از نوع پایان به شروع (شروع فعالیت در حالتی ممکن است که کلیه فعالیت‌های پیش‌نیازی آن پایان یافته باشند) فرض شده است. در مدل پیشنهادی برای مسئله سه فاکتور زمان، هزینه و اثرات زیست محیطی وابسته به انجام فعالیت‌ها به طور همزمان در نظر گرفته شده است.

محیط پروژه، در حالت کلی به محیطی در راستای جنبه-های فرهنگی، سازمانی، اجتماعی، و زیست محیطی پروژه اطلاق شده، و به دو دسته محیط داخلی و خارجی پروژه تقسیم می‌شود، و این در حالی که محیط فرهنگی و

[1] Over-conservative
[2] Ellipsoidal
[3] Conic Quadratic problems
[4] Adjustable Robust Counterpart
[5] Activity On Node (AON)

www.SID.ir

Archive of SID

سازمانی بخشی از محیط داخلی پروژه هستند (شکل ۱). مسئله این تحقیق بر محیط خارجی پروژه که شامل جنبه‌های زیست محیطی و اکولوژیکی پروژه تمرکز دارد که در حالت کلی شامل آب، هوا، خاک، صدا، آلودگی زباله‌ها، و تغییرات زیست محیطی هستند.

جدول۱- خلاصه‌ای از مطالعات موازنه‌سازی انجام شده تحت شرایط قطعیت و عدم قطعیت

	نویسندگان	نوع هدف		مدل‌سازی	برنامه‌ریزی تحت عدم قطعیت			پارامتر(های) عدم قطعیت
		چند هدفه	تک هدفه	تحت محیط قطعی	برنامه‌ریزی فازی	برنامه‌ریزی تصادفی	بهینه‌سازی استوار	
TCTP	[8]		✓	✓				-
	[27]		✓	✓				-
	[28]		✓	✓				-
	[29]		✓			✓		زمان
	[30]		✓		✓			زمان، هزینه
	[31]		✓			✓		هزینه
	[24]		✓				✓	زمان
	[32]	✓			✓			هزینه
	[13]		✓			✓		زمان
	[33]	✓			✓			زمان
	[34]		✓			✓		زمان
	[35]		✓	✓				-
	[39]		✓			✓		زمان
	[37]		✓		✓			زمان
	[40]		✓			✓		زمان
	[26]		✓				✓	هزینه
	[38]		✓			✓		زمان
	[36]		✓			✓		زمان
TCETP	[14]	✓		✓				-
	[15]	✓		✓				-
	[13]	✓			✓			زمان
	[16], [17], [42]	✓		✓				-
	[12], [41]	✓			✓			زمان
	مسئله این تحقیق	✓					✓	زمان، هزینه

www.SID.ir

Archive of SID

برآورد و کمی کردن اثرات زیست محیطی در سطح فعالیت و کل پروژه بسیار چالش برانگیزتر از پیش‌بینی تاثیر آن بر هزینه و مدت زمان پروژه است. و این مسئله را می توان به دو چالش عمده نسبت داد: ۱) دشواری اندازه‌گیری و کمی-کردن میزان تاثیر هر یک از حالت‌های اجرایی فعالیت‌ها بر محیط فعالیت در نظر گرفته شده، ۲) پیچیدگی تجمیع اثرات زیست محیطی در سطح فعالیت به منظور ارئه یک اثر زیست محیطی کلی در سطح پروژه.

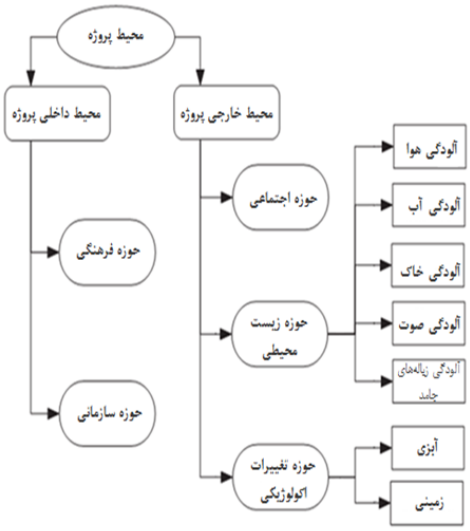
به منظور غلبه بر این دو چالش عمده، مدل مسئله حاضر شامل یک تابع هدف برای بهینه‌سازی اثرات زیست محیطی در نظر گرفته است. به منظور تسهیل در اندازه‌گیری و کمی‌کردن اثرات زیست محیطی، تابع هدف مورد نظر، شاخص های زیست محیطی قابل اندازه‌گیری برای هر فعالیت در پروژه را در نظر می‌گیرد. این شاخص‌ها در مطالعاتی با هدف توسعه سیستم‌های مبتنی بر محیط زیست مورد بررسی قرار گرفتند و مشخص شده‌اند [۱۵].

شاخص‌های زیست محیطی از عملکرد طولانی مدت هر یک از فعالیت‌ها در مدل های مبتنی بر عملکرد قابل استخراج هستند. شاخص‌های زیست محیطی باید طوری انتخاب شوند که اندازه‌گیری عینی و عملی عملکرد هر فعالیت قابل انجام باشد. در نهایت، این اطلاعات جمع آوری شده به منظور برآورد اثرات زیست محیطی تجزیه و تحلیل آماری می‌شوند. بنابراین، نیاز به یک سیستم اندازه‌گیری واحد و یکپارچه نیز احساس می‌شود که به طور مداوم بتواند به ارزیابی عملکرد شاخص‌های زیست محیطی مختلف بپردازد.

نتایج حاصل از آزمون‌های مختلف شاخص‌های محیط زیستی برای نشان دادن درجه‌ی شدت اثر عوامل محیط زیست در هر یک از فعالیت ها به رتبه ۱۰۰-۰ تبدیل می-شوند. تابع هدف زیست محیطی فرموله شده می‌تواند با تجمیع اثرات زیست محیطی برآورد شده برای تمامی فعالیت‌های در نظر گرفته شده، اثر زیست محیطی کلی را درسطح پروژه با استفاده از یک رویکرد وزن‌دهی ساده فراهم کند. برای هر فعالیت ارزیابی شده، برنامه‌ریزان نیازمند شناسایی دو نوع وزن هستند:

۱) وزن فعالیت **j** که نشان دهنده‌ی اهمیت نسبی اثرات زیست محیطی این فعالیت نسبت به تمامی فعالیت-های پروژه است. ۲) اهمیت نسبی مشخصه زیست محیطی kام در فعالیت **j** نسبت به سایر اثرات زیست محیطی است.

از این دو نوع وزن به منظور برآورد عوامل زیست محیطی در سطح پروژه استفاده می شود [۱۳].



شکل ۱- شاخصه‌های محیط پروژه [۱۳]

۲-۱-مفروضات مسئله

همانطور که بیان شد، مسئله پیشنهادی این تحقیق برمبنای مجموعه‌ای از فعالیت‌ها با حالت‌های اجرایی سه-گانه هستند که سه هدف هزینه کل، زمان تکمیل پروژه و اثرات زیست محیطی پروژه را به طور همزمان به حداقل می‌رساند. مفروضات اصلی مسئله به منظور شناخت هرچه بهتر جزئیات سیستم تحت بهینه‌سازی، به شرح زیر در نظر گرفته شده است:

- پروژه شامل مجموعه‌ای از n فعالیت است، فعالیت 0 و $n+1$ دو فعالیت مجازی متناظر با فعالیت آغازین و پایانی پروژه هستند، به طوری‌که $N = \{0,1,2,...,n+1\}$.
- هر فعالیت می‌تواند فقط در یکی از m حالت اجرایی انجام شود، $m=1,\ldots, M$.
- هر حالت اجرایی با یک هزینه، زمان و اثر زیست محیطی مشخص شده است.
- زمان شروع هر فعالیت به روابط پیش‌نیازی آن وابسته است.
- شکست بین فعالیت‌ها مجاز نیست.
- حداقل‌سازی زمان تکمیل، هزینه کل و اثرات زیست محیطی پروژه از اهداف مدیریتی هستند.

طبق مفروضات فوق، فرض می‌کنیم شبکه پروژه روی یک

www.SID.ir

Archive of SID

گراف گره‌ایی (AON[1]) نشان داده شده است، که به N مجموعه گره‌ها و $A \in N \times N$ به مجموعه یال‌های گراف اشاره دارد.

جدول ۲- نمادگذاری‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی مسئله

نماد	تعریف
j	اندیس فعالیت، به طوری که j=0,1,2,…,n+1
m	اندیس حالت اجرایی فعالیت، به طوری‌که m=0,1,2,…,M
k	اندیس اثرات زیست محیطی برای هر فعالیت، به طوری‌که k=0,1,2,…,K
A	مجموعه روابط پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها
p_{jm}	زمان پردازش فعالیت j در حالت m
c_{jm}	هزینه فعالیت j در حالت m
w_j	اهمیت نسبی فعالیت j در اثرات زیست محیطی در مقایسه با سایر فعالیت‌های پروژه
w_{jk}	اهمیت نسبی k امین مشخصه زیست محیطی در فعالیت j نسبت به سایر اثرات زیست محیطی
e_{jkm}	سطح k امین مشخصه زیست محیطی برای فعالیت j در حالت m
T_j	زمان تکمیل فعالیت j
x_{jm}	1 اگر فعالیت j در حالت m انجام شود 0 در غیر این صورت
Z_1	هزینه کل پروژه
Z_2	زمان تکمیل پروژه
Z_3	اثرات زیست محیطی کل پروژه

۲-۲-مدل‌سازی مسئله در حالت قطعیت

طبق موارد ذکر شده، مدل پیشنهادی چند هدفه با اهداف زمان تکمیل پروژه، هزینه کل و اثرات زیست محیطی پروژه با در نظر گرفتن نمادهای مطابق با جدول ۲ فرموله‌بندی شد.

با توجه به مفروضات فوق، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط[2] (MIP) برای مسئله چندهدفه DTCETP در حالت قطعیت می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$Z_1 = Min \sum_{j\epsilon N} \sum_{m\epsilon M_j} c_{jm}\, x_{jm} \qquad (۱ \text{ و } ۱)$$

$$Z_2 = Min\, T_{n+1} \qquad (۱ \text{ و } ۲)$$

$$Z_3 = Min\, E = Min \sum_{j\epsilon N} w_j * \sum_{m\epsilon M_j} \sum_k w_{j,k} * e_{jmk} * x_{jm} \qquad (۱ \text{ و } ۳)$$

Subject to

$$\sum_{m\epsilon M_j} x_{jm} = 1, \quad \forall_j \in N \qquad (۱ \text{ و } ۴)$$

$$T_j - T_i - \sum_{m\in M_j} p_{jm} x_{jm} \geq 0, \quad \forall (i,j) \in A \qquad (۱ \text{ و } ۵)$$

$$T_j \geq 0 \quad \forall j \in N \cup \{0, n+1\} \qquad (۱ \text{ و } ۶)$$

$$x_{jm} \in \{0,1\} \quad \forall m \in M_j, \forall j \in N \qquad (۱ \text{ و } ۷)$$

در این فرمول‌سازی، اهداف به ترتیب به حداقل‌رسانی هزینه کل پروژه (۱ و ۱)، حداقل‌رسانی مدت زمان تکمیل پروژه (تکمیل فعالیت نهایی) (۱ و۲)، حداقل‌رسانی اثرات زیست محیطی متناظر با پروژه (۱ و ۳)، که برابر مجموع وزنی اثرات زیست محیطی متناظر با هر یک از فعالیت‌های آن نسبت به سطح اثرات ناشی از هر فعالیت و نیز ترکیب وزنی مشخصه‌های آن فعالیت است. حالت منحصربه فردی باید به هر فعالیت اختصاص داده شود (۱ و ۴)، روابط پیش نیازی برای اجرای فعالیت‌ها باید رعایت شود (۱ و ۵)، T_j متغیر پیوسته نامنفی است که به زمان تکمیل فعالیت j اشاره دارد (۱ و ۶)، متغیر باینری x_{jm} به حالت‌های اجرایی فعالیت‌ها اختصاص می‌یابد و در صورتی ارزش ۱ دارد اگر حالت m برای فعالیت j انتخاب شود، در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد (۱ و ۷).

۲-۳-مدل‌سازی مسئله در حالت عدم قطعیت

اگر فرض بر این باشد که مقادیر هزینه و مدت زمان انجام فعالیت‌ها دارای عدم قطعیت باشد، در این صورت هزینه و مدت زمان هر فعالیت دارای مقادیر بازه‌ای به صورت زیر هستند، در این مسئله به منظور بهینه‌سازی با فرض عدم-قطعیت در هزینه و مدت زمان فعالیت‌ها از بهینه‌سازی استوار مورد استفاده قرار می‌گیرد که فرض عدم قطعیت را در بدترین حالت مورد بررسی قرار می‌دهد:

$$[c_{jm}, \bar{c}_{jm} = c_{jm} + d_{jm}],$$

$$[p_{jm}, \bar{p}_{jm} = p_{jm} + d'_{jm}] \; \forall j \in N, \forall m \in M_j$$

معیار min-max کلاسیک (استواری مطلق) بر روی بدترین حالت تمرکز دارد، به طوری که هزینه و مدت زمان p_{jm}, c_{jm} متناظر با سناریو برابر با بالاترین کران بازه‌ی

[1] activity-on-node

[2] Mixed-integer programming

www.SID.ir

Archive of SID

متناظر با آن‌ها یعنی $\overline{p}_{jm}, \overline{c}_{jm}$ فرض شده است. به بیان دیگر بهینه‌سازی با توجه به معیار استواری مطلق، $p_{jm} = \overline{p}_{jm}, c_{jm} = \overline{c}_{jm}$ صورت می‌گیرد. اما این رویکرد استواری بسیار بدبینانه و به نسبت غیر واقع بینانه است. از این رو، استفاده از مدل‌سازی عدم قطعیت برای زیر مجموعه‌ای از فضای سناریو، رویکرد واقع بینانه‌تری خواهد بود. یکی از کاربردهای اخیر این ایده، رویکرد بهینه‌سازی استوار پیشنهاد شده توسط برتسیمس و سیم [۲۳] است. آنها فرض کردند که تنها یک زیرمجموعه از پارامترهای دارای عدم قطعیت مجازند از مقادیر تخمین زده شده انحراف داشته باشند. به عبارت دیگر، تنها تعداد Γ پارامتر از پارامترهای دارای عدم قطعیت (از تعداد کل n فعالیت) دارای رفتار تصادفی هستند. اگر $\Gamma = 0$ باشد، آنگاه تاثیر انحرافات هزینه و مدت زمان فعالیت‌ها نادیده گرفته می‌شود و مسئله با مقادیر هزینه و زمانی اسمی حاصل می‌شود. در مقابل، اگر $\Gamma = n$ باشد، حداکثر انحرافات هزینه‌ای و زمانی در نظر گرفته می‌شود و مسئله به یک مسئله بهینه‌سازی min-max تبدیل می‌شود، و یا به عبارت دیگر مدل به مدل استواری سویستر تبدیل خواهد شد.

نقش پارامتر Γ در تابع هدف و محدودیت‌ها، تعدیل نمودن میزان استواری مدل ارائه شده در مقابل سطح محافظه‌کاری جواب است. فرض می‌کنیم که تعداد $0 \le \Gamma \le n$ فعالیت، هزینه و مدت زمانی در بالاترین حدشان داشته باشند و $n - \Gamma$ پارامتر باقیمانده ضرایبی قطعی (با مقادیر اسمی) هستند. مقادیر اسمی مقادیری هستند که توسط مدیر پروژه به هر فعالیت اختصاص می‌یابد و بین حد بالا و پایین مدت زمان هر فعالیت قرار می‌گیرد. همچنین حداکثر انحرافات از مقدار اسمی مدت زمان هر فعالیت به عنوان $d'_{jm} = \overline{p}_{jm} - p_{jm}$ و نیز حداکثر انحرافات هزینه‌ای هر فعالیت به صورت $d_{jm} = \overline{c}_{jm} - c_{jm}$ تعریف می‌شود، منظور از d'_{jm}, d_{jm} به ترتیب، حداکثر انحراف ممکن هزینه و زمان از مقادیر اسمی‌شان(p_{jm}, c_{jm}) است که مدیر پروژه می‌تواند برای فعالیت j در طول مرحله برنامه‌ریزی در نظر بگیرد. به منظور استوارسازی، برای هر فعالیت مقادیر هزینه در بازه $\mathscr{C}_{jm} \in [c_{jm} - d_{jm}, c_{jm} + d_{jm}]$، و نیز برای مدت زمان انجام هر فعالیت بازه $\mathscr{P}_{jm} \in [p_{jm} - d'_{jm}, p_{jm} + d'_{jm}]$ باید فرض شود، اما برای این مساله همواره جواب استوار به ازای حدود بالای بازه مربوطه به دست می‌آید، بنابراین دلیلی برای بررسی نیم بازه سمت چپ وجود ندارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در تابع هدف بازه نامتقارن $\mathscr{C}_{jm} \in [c_{jm}, c_{jm} + d_{jm}]$ ، به عنوان بازه مقادیر واقعی هزینه، و نیز در محدودیت بازه نامتقارن $\mathscr{P}_{jm} \in \left[p_{jm}, p_{jm} + d'_{jm} \right]$ به عنوان بازه مقادیر واقعی زمان هر فعالیت انتخاب شود.

مدل محدود به عدم قطعیت برای پارامترهای هزینه و زمان با الگو قرار دادن رویکرد برتسیمس و سیم (۲۰۰۴) [۲۳] به صورت فرمول‌بندی زیر تبدیل می‌شود:

$$Z_1 = Min \left(\sum_{j \in N} \sum_{m \in M_j} c_{jm} x_{jm} + Max_{S_0 \subset N, |S_0| \le \Gamma_0} \left(\sum_{j \in S_0} \sum_{m \in M_j} d_{jm} x_{jm} \right) \right) \quad (۲ و ۱)$$

$$Z_2 = Min\, T_{n+1} \quad (۲ و ۲)$$

$$Z_3 = Min\, E = Min \sum_{j \in N} w_j * \sum_{m \in M_j} \sum_k w_{j,k} * e_{jmk} * x_{jm} \quad (۲ و ۳)$$

Subject to

$$\sum_{m \in M_j} x_{jm} = 1, \quad \forall j \in N \quad T_j - T_i - \left\{ \sum_{m \in M_j} p_{jm} x_{jm} + Max_{j \in S_a, S_{a \subset N, |S_a \le \Gamma_a|}} \left\{ \sum_{m \in M_j} d_{jm} x_{jm} \right\} \right\} \ge 0 \quad (۲ و ۴)$$

$$\forall (i,j) \in A \quad (۲ و ۵)$$

$$T_j \ge 0, \ \forall j \in N \cup \{0, n+1\} \quad (۲ و ۶)$$

$$x_{jm} \in \{0, 1\} \quad \forall m \in Mj, \quad \forall j \in N \quad (۲ و ۷)$$

از آنجایی که احتمال این وجود دارد که تمامی پارامترهای زمان و هزینه فعالیت‌ها از مقدار اسمی‌شان به طور همزمان انحراف داشته باشند، در مدل پیشنهادی دو پارامتر Γ_0 و $\Gamma_a, (a \in A)$ که به ترتیب مقادیرشان را در بازه $[0, |J_0|]$ و $[0, |J_a|]$ اختیار می‌کنند، به‌طوری که $|J_0|$ و $|J_a|$ به ترتیب، تعداد پارامترهای غیرقطعی در سطح تابع هدف هزینه و α امین محدودیت پیش‌نیازی است. پارامتر Γ_a سطح محافظه‌کاری برای α امین محدودیت پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها را مشخص می‌کند. به بیان دیگر، مدل پیشنهادی فرض می‌کند که اگر مدت زمان تعداد Γ_a از فعالیت‌ها از مقدار اسمی‌شان در αامین محدودیت پیش‌نیازی انحراف داشته باشند، به طور یقین جواب حاصل شدنی است. علاوه براین، حتی اگر تعداد

www.SID.ir

Archive of SID

ضرایب غیرقطعی که تغییر می‌کند از Γ_a هم بیشتر باشد به صورت احتمالی (با حد احتمالی) تضمین می‌کند که جواب استوار حاصل با احتمال خیلی بالایی، شدنی باقی خواهد ماند. در این مدل، S_0 و S_α زیرمجموعه‌ای ازفعالیت‌ها هستند، به طوریکه عناصر آن‌ها مجموعه فعالیت‌هایی با مقادیر هزینه و زمان در بالاترین حدشان را هستند. کاردینال مجموعه S_0 برابر با Γ_0 می‌باشد به عبارت دیگر $|S_0| \le \Gamma_0$. به طور مشابه، کاردینال مجموعه S_α برابر با Γ_α می‌باشد به عبارت دیگر $|S_0| \le \Gamma_0$.

بنابراین، محدودیت (۲ و ۵) می‌تواند به صورت محدودیت (۲ و ۸) فرمول‌بندی غیرخطی شود:

$$T_j - T_i - \left\{\sum_{m\in M_j} p_{jm}x_{jm} + Max_{\{S_a\cup\{t\},S_a\subset N,|S_a|\le\Gamma_a\}} \sum_{m\in M_j}\sum_{j\in S_a} d_{jm}|x_{jm}| + (\Gamma_a - \lfloor\Gamma_a\rfloor d_{tm}|x_{tm}|)\right\} \ge 0, \forall (i,j)\in A$$

(۲ و ۸)

مشابه با Γ_0، اگر $\Gamma_a = 0$ فرض شود، آنگاه اثر عدم قطعیت و انحرافات مدت زمان فعالیت نادیده گرفته می‌شود و مسئله قطعی با مقادیر اسمی به‌دست می‌آید. در مقابل آن، اگر $\Gamma_a = |J_a|$ فرض شود، آنگاه حداکثر انحرافات برای مدت زمان فعالیت در نظر گرفته می‌شود و مسئله به مدل بیش محافظه‌کارانه سویستر [۱۹] تغییر پیدا می‌کند. اگر مجموعه ضرایبی که در معرض عدم قطعیت قرار دارند توسط مجموعه u تعیین شود، به بیان دیگر u شامل پارامترهای غیر قطعی از بین n فعالیت است که بیشترین میزان انحرافات هزینه و زمان را از بین تمامی فعالیت‌ها دارند و مقداری برابر با یک دارد اگر و فقط اگر زمان فعالیت متناظر با آن از مقدار اسمی‌اش بیشترین میزان انحراف داشته باشد. بنابراین باید برای هر d'_{jm}, d_{jm} یک متغیر u_{jm} به طور مجزا تعریف شود، بنابراین رابطه (۲ و ۸) این قابلیت را دارد که به‌صورت یک تابع هدف خطی، بر مبنای رویکرد برتسیمس و سیم [۲۳] به شکل زیر فرمول-بندی شود:

$$B_\alpha(x^*,\Gamma_\alpha) = Max\{\sum_{m\in M_j}\sum_{j\in S} d'_{jm}\left|x^*_{jm}\right| u_{jm}\}$$

$$\sum_{m\in M_j} u_{jm} \le \Gamma_\alpha \quad \forall j\in J_\alpha$$

$$0 \le u_{jm} \le 1 \quad \forall m\in M_j, \forall j\in J_\alpha$$

(۲ و ۹)

متغیر z_j را به عنوان متغیر دوگان متناظر با محدودیت اول در نظر می‌گیریم، از آنجایی که محدودیت دوم مدل فوق به ازای هر m و هر j نوشته شده است، متغیرهای دوگان متناظر با این محدودیت، w_{jm} تعریف می‌شود. از این‌رو دوگان مدل فوق به صورت زیر است:

$$B_a(x^*,\Gamma_a) = Max_{S_a\subset N,|S_a|\le\Gamma_a}\left\{\begin{matrix}\sum_{m\in M_j}\sum_{j\in J_a} d_{jm}\dot{|}x_{jm}|\,u_{jm}: \\ \sum_{j\in J_a}\sum_{m\in M_j} u_{jm} \le \Gamma_a, 0 \le \\ u_{jm}\le 1, \forall j\in J_a, \forall m\in M_j\end{matrix}\right\} =$$

$$Min\left\{\sum_{m\in M_j} w_{jm} + \Gamma_a z_j : z_j + w_{jm} \ge \sum_{m\in M_j} d_{jm}\dot{} x_{jm}, z_j \ge 0, w_{jm}\ge 0, \forall j\in J_a, \forall m\in M_j\right\}$$

(۲ و ۱۰)

به‌طور مشابه، رابطه (۲,۱) به صورت زیر می‌تواند به تابع هدف خطی تبدیل شود:

$$B_0(x^*,\Gamma_0) = Max_{S_0\subset N,|S_0|\le\Gamma_0}\left\{\begin{matrix}\sum_{j\in J_0}\sum_{m\in M_j} d_{jm}|x_{jm}|u_{jm}: \\ \sum_{j\in J_0}\sum_{m\in M_j} u_{jm} \le \Gamma_0, 0\le u_{jm}\le 1, \\ \forall j\in M_j\end{matrix}\right\}$$

$$= Min\left\{\sum_{j\in J_0} w_{jm} + \Gamma_0 z_0 : z_0 + w_{jm} \ge \sum_{m\in M_j} d_{jm}x_{jm}, z_0 \ge 0, w_{jm}\ge 0, \forall j\in J_0, \forall m\in M_j\right\}$$

(۲ و ۱۱)

حال همتای استوار خطی مسئله DTCETP به فرم زیر می‌تواند بیان شود:

$$Z_1 = Min\sum_{j\in N}\sum_{m\in M_j} c_{jm}x_{jm} + \Gamma_0 z_0 + \sum_{m\in M_j}\sum_{j\in N} w_{jn}$$

(۲ و ۱۲)

$$Z_2 = MinT_{n+1}$$

(۲ و ۱۳)

$$Z_3 = MinE = Min\sum_{m\in M_j} w_j \sum_{m\in M_j}\sum_k w_{j,k} * e_{jmk} * x_{jm}$$

(۲ و ۱۴)

Subject to

$$\sum_{m\in M_j} x_{jm} = 1, \ \forall j\in N$$

(۲ و ۱۵)

$$T_j - T_i - \sum_{m\in M_j} p_{jm}x_{jm} - \Gamma_a z_j - \sum_{m\in M_j} w_{jm} \ge 0, \ \forall i,j$$

(۲ و ۱۶)

$$z_j + w_{jm} \ge d_{jm}x_{jm} \quad \forall j\in J_a, \forall m\in M_j$$

(۲ و ۱۷)

$$Z_0 + w_{0,j} \ge d_{jm}x_{jm} \quad \forall j\in J_0, \forall m\in M_j$$

(۲ و ۱۸)

www.SID.ir

Archive of SID

$$w_{jm} \geq 0 \quad \forall j \in J_{a,0}, \forall m \in M_j \qquad (۲ و ۱۹)$$
$$z_j \geq 0 \quad \forall j \in J_a \qquad (۲ و ۲۰)$$
$$z_0 \geq 0 \quad \forall j \in J_0 \qquad (۲ و ۲۱)$$
$$T_j \geq 0 \quad \forall j \in N \cup \{0, n+1\} \qquad (۲ و ۲۲)$$
$$x_{jm} \in \{0\ ,1\} \quad \forall m \in M_j, \forall j \in N \qquad (۲ و ۲۳)$$

نکته قابل توجه در رابطه با حذف محدودیت $-y_{jm} \leq x_{jm} \leq y_{jm}$ نسبت به مدل اصلی برتسیمس و سیم است، از آنجایی که متغیر تصمیم x_{jm} متغیر باینری است محدودیت $-y_{jm} \leq x_{jm} \leq y_{jm}$ حذف می‌شود و زیرا متغیر y_{jm} زمانی مقدار می‌گیرد که x_{jm} مقدار بگیرد، به نوعی y_{jm} در چنین شرایطی نیز با متغیر باینری x_{jm} برابر می‌شود.

به منظور تجمیع توابع هدف مدل چند هدفه فوق، از روش مجموع وزنی استفاده شده است. بنابراین، وزن w_1 به تابع هدف اول، وزن w_2 به تابع هدف دوم، و نیز وزن w_3 به تابع هدف سوم توسط تصمیم‌گیرنده اختصاص داده شده است. لازم به ذکر است که هر یک از این وزن‌ها نشان‌دهنده اهمیت هر کدام از تابع هدف‌ها از نظر تصمیم‌گیرنده است. رابطه $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ نیز باید بین اوزان برقرار شود.

۳- مطالعه‌ی موردی و تجزیه و تحلیل نتایج

طرح‌های احداث و بهره‌برداری بنادر از جمله پروژه‌هایی می‌باشند که نیاز به استفاده از مدل‌سازی‌ها جهت اطمینان یافتن از اجرای مناسب و صحیح فعالیت‌ها در آنها احساس می‌شوند. از آنجایی که مسئله‌ی این تحقیق، موازنه‌سازی زمان- هزینه و عوامل زیست محیطی پروژه است، و طرح‌ها و پروژه‌های بنادر از جمله پروژه‌هایی می‌باشند که به دلیل فعالیت‌های مختلف اقتصادی، صنعتی و به‌کارگیری تکنولوژی‌های پیشرفته موجب به هم خوردن تعادل محیط زیست می‌شوند، مطالعه موردی این تحقیق یکی از پروژه-های ساخت بندر امیرآباد است. موجودیت بندر امیرآباد بهشهر در مرحله طراحی، اجرا و بهره‌برداری، توجهی به خواست جامعه محلی و حساسیت‌های زیست محیطی در اطراف خود نداشته و ندارد. مجموعه بندر امیرآباد بهشهر، همراه با تاسیسات صنعتی نیروگاه برق شهید سلیمی نکا، صنایع فلزی ایران صدرا و صنایع استخراج نفت در منطقه ساحلی بهشهر یکی از اصلی‌ترین عوامل تهدید کننده موجودیت پناهگاه حیات وحش میانکاله بهشهر و مجموعه تالاب‌های اطراف است. بنابراین، لزوم رعایت ایمنی و بهداشت محیط کار و اهمیت نهادن به مسئله مهم و انکار-ناپذیر محیط‌زیست منطقه‌ای و دریای خزر از چالش های عمده این بندر تلقی می‌گردد. مجموعه منطقه ویژه اقتصادی بندر امیرآباد بهشهر از نظر زمین‌شناسی بندری با توجیه ضعیفی است و در آینده با مشکلات بزرگی به واسطه رسوب‌گذاری جریان‌های طبیعی ماسه‌های غرب به شرق دریاچه خزر مواجه خواهد شد.

مقابله با افزایش آورد رسوب به مقابل دهانه‌ی خط ساحلی بندر امیرآباد در سال‌های آینده به خصوص پس از تعریض و تعمیق کانال‌ها یکی از موضوعات حائز اهمیت بندر است. مطالعات انجام شده در رابطه با مقایسه‌ی خط ساحلی سال-های مختلف نشان می‌دهد که در فاصله سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۳ خط ساحلی بندر به میزان ۲۵۰ متر پیشروی کرده است. در فاصله ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۸- طی ۵ سال بعدی- خط ساحلی بندر به میزان ۱۶۰ متر پیشروی کرده است، با این وجود پیش‌بینی شد که میزان پیشروی خط ساحلی در حدود ۲۵ سال تا ۳۰ متر در سال می‌رسد. پروژه ساخت دیوار حفاظت ساحلی اراضی پشتیبانی منطقه ویژه اقتصادی بندر امیرآباد به طول ۱/۸۶ کیلومتر در امتداد ساحل شرقی بخش تجاری بندر امیرآباد به منظور جلوگیری از فرسایش پیش رونده خط ساحلی به صورت سه فازی اجرایی، انجام می‌شود. به دلیل اهمیت اجرایی این پروژه به جهت جلوگیری از پیشروی خط ساحلی، پروژه ساخت دیوار حفاظت ساحلی شرقی بندر به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که عوامل زیست محیطی مد نظر برای مسئله مطالعه موردی، به عنوان آلاینده‌ها و پسماندهای مهم تولید شده طی فرآیند و عملیات هر یک از گزینه ها و فازهای طرح انتخابی، در سه سطح آلاینده‌های آب، آلاینده‌های هوا، و آلاینده‌های خاک انتخاب شده است.

از این‌رو، یکی از پروژه‌های بندر امیرآباد استان مازندران به عنوان مطالعه موردی جهت اعتبارسنجی و نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی این تحقیق انتخاب شده است. ابتدا معرفی مختصری از مطالعه موردی ارائه می‌شود. سپس مدل پیشنهادی بر روی پروژه انتخابی اجرا شده و در انتهای بخش نتایج حاصل مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۱- پیاده‌سازی مسئله‌ی مطالعه‌ی موردی

پروژه‌ی انتخابی دارای ۳۴ فعالیت اصلی است که دو فعالیت مجازی آغازین و پایانی برای سهولت مدل‌سازی مسئله در نظر گرفته شده است، روابط پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها نیز از نوع پایان به شروع (FS[1]) است، مقادیر اسمی پارامترهای مسئله به نام پارامترهای هزینه انجام هر فعالیت، زمان انجام هر فعالیت، و اثرات زیست محیطی انجام هر فعالیت در هر سه حالت اجرایی در نظر گرفته شده برای انجام فعالیت‌ها مشخص است.

پارامترهای استواری در مدل برتسیمس و سیم پارامترهایی هستند که با کنترل آن سطح محافظه‌کاری یا سطح حفاظت مورد نظر تصمیم‌گیرنده قابل تنظیم است. برای تعیین میزان سطح محافظه‌کاری در تابع هدف و محدودیت‌ها نخست باید تعداد پارامترهای غیرقطعی در تابع هدف و هر یک از محدودیت‌ها را به دست آورد، بر این اساس با توجه به این‌که تعداد فعالیت‌ها برابر ۳۴ است، تعداد کل داده‌های غیر قطعی برای تابع هدف در بالاترین حد خود (زمانی که تمامی فعالیت‌ها دارای هزینه غیرقطعی باشند) مقداری برابر با ۳۴ دارد، بنابراین مقادیر سطح حفاظت تابع هدف در بازه $[0,34]$ تغییر خواهد کرد، اگر این مقدار برابر صفر در نظر گرفته شود، به این معناست که هیچ‌گونه حفاظتی برای تابع هدف وجود ندارد، و اگر برابر ۳۴ در نظر گرفته شود، به این معناست که حفاظت صد-درصدی برای تابع هدف در نظر گرفته شده است. به همین ترتیب، برای تعیین سطح حفاظت محدودیت، با توجه به اینکه برای هر محدودیت یک پارامتر عدم قطعیت وجود دارد پس سطح محافظه‌کاری برای پارامترهای هر یک از محدودیت‌ها باید در بازه $[0,1]$ قرار گیرد، Γ_0 به طور لزوم باید عدد صحیح و Γ_j می‌تواند مقدار صحیح یا غیر صحیح داشته باشد، و به ازای هر بار تعریف سطح حفاظت، یک بار مدل حل می‌شود.

با توجه به هدف مسئله، بر اساس منطق ریاضیاتی مدل استوار برتسیمس و سیم (مبنی بر کاهش فضای حل موجود در حل که باعث کاهش تعداد نقض محدودیت‌های دارای پارامتر نامطمئن می‌شود)، استوار نمودن حد پایین پارامترهای نامطمئن با هدف در نظر گرفته در تناقض می-باشد، به همین دلیل پارامترهای حدود بالا در تمامی سطوح به عنوان پارامتر نامطمئن و پارامترهای حدود پایین به عنوان پارامترهای قطعی لحاظ می‌شوند. به منظور تعیین طول نیم‌بازه نوسان برای حدود بالای پارامترهای عدم قطعیت مطابق با نظر تصمیم‌گیرنده، سطح عدم قطعیت برابر با ۲۰٪ مقادیر اسمی برای تمامی پارامترها در نظر گرفته شده است.

تصمیم‌گیرنده پروژه انتخاب شده به عنوان مطالعه موردی، به بهترین ترکیب از زمان، هزینه و اثرات زیست محیطی انجام پروژه نیاز دارد، اما پروژه برای هزینه و زمان انجام فعالیت‌ها با شرایط عدم قطعیت مواجه است، به همین منظور مدل استوار و روش حل پیشنهادی برای کمک به تصمیم‌گیرنده، برای دستیابی به بهترین ترکیب اجرایی فعالیت‌ها استفاده می‌شود. بر مبنای ادعای تصمیم‌گیرنده در شرایط عادی هزینه کل پروژه برابر با ۹۲۵۵۶ میلیون ریال، زمان تکمیل پروژه نیز تحت شرایط عادی نباید بیشتر از ۷۳۲ روز شود. هم‌چنین تصمیم‌گیرنده انتظار دارد که در صورت انجام فعالیت‌های پروژه بیشتر از ۴۵٪ به محیط اطراف آسیب نرساند. جدول ۳ خلاصه ای از اطلاعات مربوط به داده های مسئله مدل را نمایش می‌دهد. با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده، مدل مورد نظر با استفاده از روش حل ارائه شده روی یک کامپیوتر شخصی با استفاده از نرم افزار GAMS 24.1، پیاده سازی شده است. به منظور بررسی نتایج حاصل از حل مدل استوار ارائه شده در بخش ۲، جواب‌ها در سه سطح شامل تغییر سطح حفاظت سطر تابع هدف، تغییر حفاظت محدودیت‌ها و تغییر همزمان سطر تابع هدف و محدودیت‌ها تحلیل و مقایسه می‌شوند.

همان‌گونه که ذکر شد به ازای هر بار تعریف سطح حفاظت، یک بار مدل استوار باید حل شود. مطابق با سطوح حفاظت ارائه شده در جدول ۴، ابتدا یک بار مدل استوار باید ۱۱ بار فقط به ازای سطوح حفاظت تابع هدف و ۱۱ بار فقط به ازای سطوح حفاظت محدودیت‌ها باید حل شود. سپس ۱۱ بار به ازای تغییرات همزمان سطوح حفاظت تابع هدف و محدودیت‌ها حل شود، به عبارت دیگر ۳۳ بار مدل استوار باید حل شود. که در ادامه جواب‌های حاصله از حل مدل در هر حالت ارائه می‌گردد.

[1] Finish to Start

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- اطلاعات پروژه مطالعه موردی

فعالیت	w_j	p_j	c_j	w_{j1}	e_{j1}	w_{j2}	e_{j2}	w_{j3}	e_{j3}
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۰	۳	۳۸۰	۳۵	۰	۳۵	۰	۳۰	۰
۳	۰/۴۲	۵۵	۳۸۱	۲۰	۳۵	۴۰	۴۴	۴۰	۳۸
۴	۰/۴۲	۵۵	۳۸۲	۲۰	۳۲	۴۰	۳۵	۴۰	۳۳
۵	۰/۴۲	۵۵	۳۸۵	۲۰	۳۴	۴۰	۳۶	۴۰	۳۷
۶	۰/۴۲	۵۵	۳۸۲	۲۰	۳۳	۴۰	۳۸	۴۰	۳۴
۷	۰/۴۲	۶۰	۳۷۳	۲۰	۳۸	۴۰	۳۹	۴۰	۴۱
۸	۰/۴	۵	۱۸۱	۶۰	۳۳	۱۰	۳۶	۳۰	۳۸
۹	۰/۲	۲	۱۸۱	۳۰	۲۸	۳۵	۴۷	۳۵	۲۸
۱۰	۰/۲	۲	۱۸۰	۲۵	۳۷	۳۵	۳۹	۴۰	۴۸
۱۱	۰/۲	۱	۱۷۳	۳۵	۲۴	۳۰	۳۳	۳۵	۳۹
۱۲	۰/۱۹	۱	۰	۳۰	۲۱	۳۵	۳۰	۳۵	۴۲
۱۳	۲/۱	۷۳	۱۹۳۳	۲۵	۲۵	۳۰	۰	۴۵	۱۰
۱۴	۰	۳	۰	۳۵	۰	۳۵	۰	۳۰	۰
۱۵	۰	۱	۱۵۰	۳۵	۰	۳۵	۴۷	۳۰	۴۰
۱۶	۶/۵۱	۵۵۵	۶۰۱۹	۱۰	۲۱	۴۵	۴۰	۴۵	۳۶
۱۷	۲/۱۸	۵۶۷	۲۰۱۷	۱۰	۲۰	۴۵	۴۰	۴۵	۴۲
۱۸	۲/۱۷	۴۵۰	۲۰۰۶	۱۰	۲۳	۴۵	۴۵	۴۵	۴۴
۱۹	۶/۶۹	۱۰	۶۱۸۸	۱۰	۲۵	۴۵	۴۳	۴۵	۴۹
۲۰	۱/۹	۵	۱۷۵۵	۱۰	۲۲	۴۵	۰	۴۵	۳۹
۲۱	۰	۲	۰	۳۵	۰	۳۵	۴۰	۳۰	۴۴
۲۲	۱۳/۴۴	۵۵۵	۳۸۷۵	۳۵	۳۹	۳۰	۴۲	۳۵	۵۰
۲۳	۴/۱۹	۵۶۷	۷۲۰۰	۲۵	۳۳	۳۵	۳۴	۴۰	۴۶
۲۴	۷/۷۸	۴۵۰	۲۷۲۸	۳۵	۳۶	۳۰	۴۱	۳۵	۴۱
۲۵	۱۶/۲۳	۴۵۰	۱۵۰۲۰	۳۵	۳۹	۳۰	۴۸	۳۵	۳۳
۲۶	۲/۹۵	۶	۰	۳۰	۲۸	۳۵	۰	۳۵	۲۹
۲۷	۰	۲	۰	۳۰	۰	۳۰	۳۱	۳۵	۳۶
۲۸	۲۰/۳۵	۷۲۵	۱۸۸۳۲	۷۵	۵۷	۱۰	۴۱	۱۵	۵۸
۲۹	۴/۱۹	۴۹۲	۳۸۷۵	۲۵	۳۳	۱۵	۱۵	۶۰	۲۰
۳۰	۲/۷۹	۶۰	۲۵۸۲	۷۰	۶۲	۱۵	۲۹	۱۵	۳۶
۳۱	۲/۶۳	۳۰۲	۲۴۳۰	۴۰	۵۰	۲۵	۰	۳۵	۴۸
۳۲	۰	۵	۰	۳۵	۰	۳۵	۳۹	۳۰	۴۲
۳۳	۰/۶۱	۳۰	۵۶۱	۳۵	۲۵	۳۰	۲۰	۳۵	۲۳
۳۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۴- سطوح حفاظت پارامترهای استواری تابع هدف و محدودیت مدل استوار

سطح حفاظت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
سطوح Γ_j	۰	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۱
سطوح Γ_0	۰	[۰/۱n]	[۰/۲n]	[۰/۳n]	[۰/۴n]	[۰/۵n]	[۰/۶n]	[۰/۷n]	[۰/۸n]	[۰/۹n]	n

www.SID.ir

Archive of SID

مطابق با جدول۴، $\Gamma_0 = 0$، بیان‌کننده‌ی عدم حفاظت برای تابع هدف و یا به عبارتی دیگر برابر با حل مدل در حالت قطعیت و $\Gamma_0 = n$ بیان‌گر حفاظت صد درصدی برای تابع هدف و یا برابر با حل مدل استوار سویستر است. ابتدا تغییرات مقادیر تابع هدف کل و تابع هدف هزینه را به ازای تغییرات سطوح حفاظت تابع هدف مورد بررسی قرار می‌دهیم. به بیان دیگر این تغییرات مربوط به حالتی است که بخواهیم تنها تابع هدف در برابر تغییرات استوار شود. در این حالت تضمین می‌شود که بهینگی تابع هدف در صورت تغییر تعداد مشخصی از پارامترهای غیر قطعی (مقدار سطح محافظه‌کاری) برقرار بماند. یعنی مقدار سطح حفاظت در محدودیت‌ها برابر صفر در نظر گرفته شود، نتایج به شرح جدول ۵ خواهد بود.

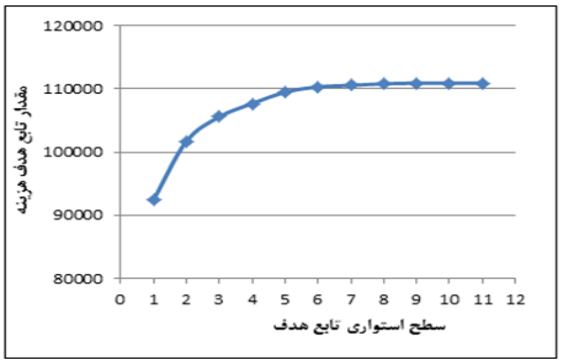
جدول۵- مقادیر تابع هدف کل و تابع هدف هزینه در حالت-های مختلف سطح حفاظت تابع هدف

درصد افزایش مقدارتابع هدف	مقدار تابع هدف هزینه	مقدار تابع هدف کل	$\Gamma_0 = [\alpha \times n]$
۰	۹۲۴۵۱	۳۱۶۸۷/ ۶۳۹	۰
۱۰	۱۰۱۷۰۸/۸	۳۴۸۳۵/۲۹۱	[۰/۱n]
۱۴/۲	۱۰۵۵۹۰/۲	۳۶۱۵۴/۹۶۷	[۰/۲n]
۱۶/۳	۱۰۷۶۸۵/۸	۳۶۸۶۷/۴۷۱	[۰/۳n]
۱۸/۲	۱۰۹۴۹۲/۶	۳۷۴۸۱/۷۸۳	[۰/٤n]
۱۹/۲	۱۱۰۳۴۳	۳۷۷۷۰/۹۱۹	[۰/٥n]
۱۹/۵	۱۱۰۵۷۳/۲	۳۷۸۴۹/۱۸۷	[۰/٦n]
۱۹/۸	۱۱۰۸۳۴/۸	۳۷۹۳۸/۱۳۱	[۰/۷n]
۲۰	۱۱۰۹۴۱/۲	۳۷۹۷۴/۳۰۷	[۰/۸n]
۲۰	۱۱۰۹۴۱/۲	۳۷۹۷۴/۳۰۷	[۰/۹n]
۲۰	۱۱۰۹۴۱/۲	۳۷۹۷۴/۳۰۷	n

در شکل (۲) و (۳) ملاحظه می‌گردد، با افزایش سطح حفاظت مقادیر تابع هدف کل و تابع هدف هزینه بدتر می‌شود که این امر با منطق ریاضیاتی استوارسازی مدل کاملا سازگار است. به نحوی که هر قدر که تصمیم‌گیرنده بخواهد عدم قطعیت بیشتری را برای مدل در نظر بگیرد، جواب‌های محافظه‌کارانه‌تری را دریافت خواهد نمود. که این افزایش محافظه‌کاری در هزینه انجام فعالیت‌ها منجر به افزایش هزینه کل پروژه خواهد شد. همانطور که از نتایج جدول ۵ مشخص است مقدار تابع هدف از سطح ۱ تا سطح ۷ به طور صعودی افزایش می‌یابد، به عبارتی دیگر بیشترین تاثیر عدم قطعیت هزینه‌های انجام فعالیت‌ها بر روی سطوح محافظه‌کاری ۵-۷ مشاهده می‌شود. و از سطح حفاظت [۰/۸n] تا آخرین سطح حفاظت مشاهده می‌شود که افزایش مقدار سطح محافظه‌کاری تاثیری بر مقدار تابع هدف ندارد که این امر حاکی از احتمال بسیار پایین اختیار نمودن بدترین حالت ممکن توسط تعداد زیادی پارامتر در سیستم است.

جدول ۶- مقادیر تابع هدف کل و تابع هدف زمان تکمیل در حالت‌های مختلف سطح حفاظت محدودیت

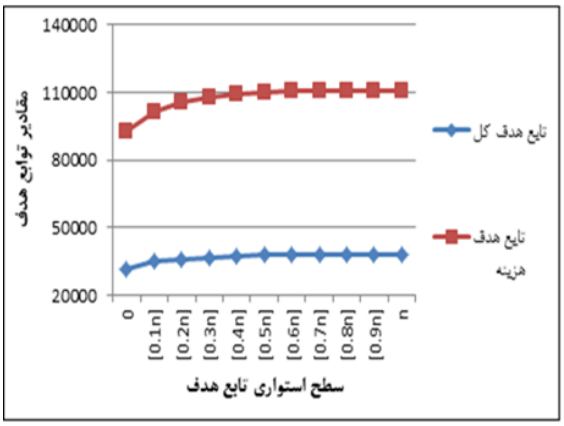
درصد افزایش مقدار تابع هدف	تابع هدف زمان تکمیل	مقدار تابع هدف کل	Γ_j
۰	۷۲۸	۳۱۶۸۷/۶۳۹	۰
۲	۷۴۲/۵۶	۳۱۶۹۲/۴۴۳	۰/۱
۴	۷۵۷/۱۲	۳۱۶۹۷/۲۴۸	۰/۲
۶	۷۷۱/۶۸	۳۱۷۰۲/۰۵۳	۰/۳
۸	۷۸۶/۲۴	۳۱۷۰۶/۸۵۸	۰/۴
۱۰	۸۰۰/۸	۳۱۷۱۱/۶۶۳	۰/۵
۱۲	۸۱۵/۳۶	۳۱۷۱۶/۴۶۷	۰/۶
۱۴	۸۲۹/۹۲	۳۱۷۲۱/۲۷۲	۰/۷
۱۶	۸۴۴/۴۸	۳۱۷۲۶/۰۷۷	۰/۸
۱۸	۸۵۹/۰۴	۳۱۷۳۰/۸۸۲	۰/۹
۲۰	۸۷۳/۶	۳۱۷۳۵/۶۸۷	۱



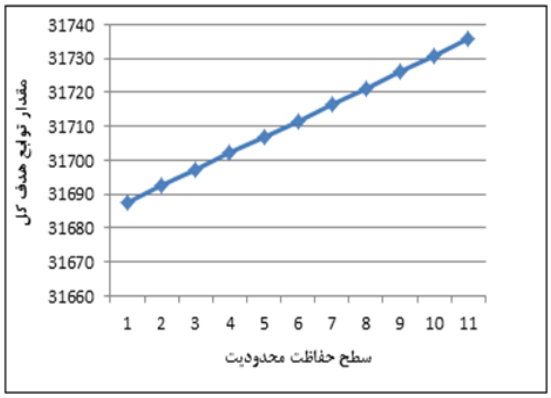
شکل ۲- رابطه مقادیر تابع هدف هزینه نسبت به تغییرات سطح استواری تابع هدف

www.SID.ir

Archive of SID



شکل **Error! No text of specified style in document.**- رابطه مقادیر توابع هدف کل و هدف هزینه نسبت به تغییرات سطح حفاظت تابع هدف



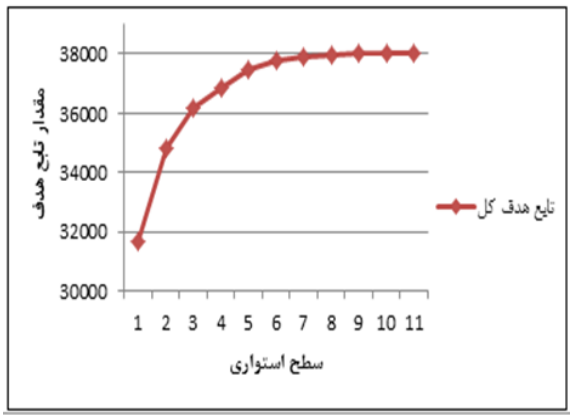
شکل ۴- رابطه تغییرات سطح حفاظت محدودیت با مقدار توابع هدف

مقادیر نشان داده شده در جدول ۶ و شکل (۴) نشان می-دهندکه با افزایش میزان محافظه‌کاری محدودیت‌ها مقدار تابع هدف کل و تابع هدف مربوط به زمان تکمیل پروژه افزایش پیدا می‌کند (بدتر می‌شود). میزان کاهش توابع هدف بر اساس افزایش سطوح حفاظت به صورت شکل زیر نشان داده شده است، که گویای این امر است که افزایش محافظه‌کاری در زمان انجام فعالیت‌ها، افزایش زمان تکمیل پروژه را به دنبال دارد، به طوری که هر چه تصمیم‌گیرنده محافظه‌کاری بیشتری را در رابطه با عدم-قطعیت در زمان انجام فعالیت‌ها داشته باشد، منجر به افزایش زمان تکمیل پروژه خواهد شد و اختلال بیشتری رخ می‌دهد.

در صورتی که بخواهیم استوارسازی را هم در تابع هدف و هم در محدودیت‌ها اعمال کنیم، نتایج به شرح جدول ۷ خواهد بود، در این حالت تضمین می‌شود که بهینگی تابع هدف و نیز موجه بودن فضای جواب در برابر تغییرات استوار بوده و در صورت تغییر مقادیر پارامترهای غیرقطعی تابع هدف و محدودیت‌ها به میزان مشخص شده، بهینگی و موجه بودن جواب حاصل با مخاطره مواجه نشود.

پس باید به این نکته توجه کرد که تعیین مقادیر مناسب برای سطح حفاظت عاملی بسیار مهم در استوارسازی بوده و باعث صرفه‌جویی در هزینه استوارسازی می‌شود. به عبارتی دیگر، Γ می‌تواند به عنوان پارامتری در نظر گرفته شود که نشان‌دهنده‌ی سطح بدبینی تصمیم‌گیرنده است. مقادیر بالای این پارامتر حاکی از سطح ریسک‌گریزی تصمیم‌گیرنده است.

همان‌گونه که شکل (۵) نشان می‌دهد، با افزایش میزان محافظه‌کاری چه در تابع هدف و چه در محدودیت‌ها مقدار تابع هدف کاهش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر با افزایش سطح محافظه‌کاری هم در محدودیت و هم در تابع هدف، مقدار تابع هدف کل به طور قابل ملاحظه‌ای بدتر می‌شود. در واقع هرچه عدم‌قطعیت تصادفی بر روی پارامترهای عدم قطعیت بیشتر شود، مقادیر هزینه و زمان فعالیت‌ها به طور محتاطانه‌تری تخصیص خواهند یافت.



شکل ۵- رابطه مقدار تابع هدف کل نسبت به تغییرات سطح حفاظت تابع هدف و محدودیت

با توجه به نتایج عددی به دست آمده از حل این مسئله می توان چنین نتیجه گرفت که مدل ریاضی ارائه شده در این تحقیق، توانایی ارائه برنامه زمانی اجرای فعالیت های پروژه را دارا می‌باشد که در پی آن، مدیران و ذینفعان پروژه های عمرانی و ساخت و ساز می توانند گزینه های مختلف اجرای پروژه ها را با هزینه، زمان و اثرات زیست محیطی مشخص، بررسی نمایند به نحوی که همزمان با اهداف اقتصادی و زمان اجرای پروژه، مجموع اثرات زیست محیطی مخرب ناشی از پروژه را بر محیط اطراف را به عنوان یک مقدار قابل سنجش کمینه کنند و با توجه به اهمیت اهداف

www.SID.ir

Archive of SID

هر پروژه بهترین تصمیم را اتخاذ کنند و به کنترل آن بپردازند.

جدول ۷- مقادیر تابع هدف کل، تابع هدف هزینه و تابع هدف زمان تکمیل در حالت‌های مختلف سطح حفاظت تابع هدف و محدودیت

درصد افزایش تابع هدف کل	مقدار تابع هدف زمان تکمیل	مقدار تابع هدف هزینه	مقدار تابع هدف کل	Γ_j	$\Gamma_0=[\alpha\times n]$
۰	۷۲۸	۹۲۴۵۱	۳۱۶۸۷/۶۳۹	۰	۰
۱۰	۷۴۲/۵۶	۱۰۱۷۰۸/۸	۳۴۸۴۰/۰۹۵	۰/۱	[۰/۱n]
۱۴/۱	۷۵۷/۱۲	۱۰۵۵۹۰/۲	۳۶۱۶۴/۵۷۶	۰/۲	[۰/۲n]
۱۶/۴	۷۷۱/۶۸	۱۰۷۶۸۵/۸	۳۶۸۸۱/۸۸۵	۰/۳	[۰/۳n]
۱۸/۴	۷۸۶/۲۴	۱۰۹۴۹۲/۶	۳۷۵۰۱/۰۰۲	۰/۴	[۰/۴n]
۱۹/۲	۸۰۰/۸	۱۱۰۳۴۳	۳۷۷۹۴/۹۴۳	۰/۵	[۰/۵n]
۱۹/۵	۸۱۵/۳۶	۱۱۰۵۷۳/۲	۳۷۸۷۸/۰۱۵	۰/۶	[۰/۶n]
۱۹/۸	۸۲۹/۹۲	۱۱۰۸۳۴/۸	۳۷۹۷۱/۷۶۴	۰/۷	[۰/۷n]
۲۰	۸۴۴/۴۸	۱۱۰۹۴۱/۲	۳۸۰۱۲/۷۴۵	۰/۸	[۰/۸n]
۲۰	۸۵۹/۰۴	۱۱۰۹۴۱/۲	۳۸۰۱۷/۵۵	۰/۹	[۰/۹n]
۲۰	۸۷۳/۶	۱۱۰۹۴۱/۲	۳۸۰۲۲/۳۵۵	۱	n

۴ - نتیجه گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آتی

مطالعه ارائه شده، در راستای محقق شدن اثربخشی و بهبود فرآیند انجام فعالیت‌های پروژه، به منظور انتخاب بهترین گزینه زمان و هزینه‌ی انجام فعالیت‌ها و هم‌چنین در نظر گرفتن اثرات زیست‌محیطی ناشی از انجام فعالیت‌ها به منظور بهینه‌سازی موازنه هزینه- زمان- اثرات زیست محیطی پروژه توسعه داده شده است. ابتدا مدل قطعی موازنه‌سازی هزینه- زمان- اثرات زیست محیطی ارائه شد و سپس با بهره‌گیری از مباحث رویکردهای استوارسازی، مدل را در جهت پاسخگویی بهتر در مواجهه با شرایط عدم قطعیت استوار ارائه شد. در حقیقت توجه به بهینه‌سازی در مسائل موازنه‌سازی در شرایط عدم قطعیت منجر به کاهش هزینه‌های اضافی و بهبود کیفیت و در نتیجه رسیدن به یک مزیت و موقعیت رقابتی خواهد شد.

انگیزه اصلی بررسی عدم قطعیت داده در این نوع مسایل را می‌توان ناشی از دو عامل خطا در پیش‌بینی و اندازه‌گیری و نیز خطا در اجرا و پیاده‌سازی برنامه‌ها دانست.

نتایج به‌دست آمده از حل مدل برتسیمس و سیم حاکی از این امر بود که به ازای سطوح محافظه‌کاری بالاتر در هر دو سطح حفاظت مقدار انحرافات مقادیر تابع هدف کل، تابع هدف هزینه و تابع هدف زمان تکمیل پروژه بدتر می‌شود (بیشتر می‌شود)، که این امر کاملا مطابق با منطق ریاضیاتی استوارسازی و ویژگی‌های مدل برتسیمس و سیم است. به عبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت که با در نظر گرفتن حالت عدم قطعیت پارامترهای هزینه و زمان انجام فعالیت-ها برطبق رویکردهای استوار، نحوه تکمیل پروژه ضمن حفظ موجه بودن فضای جواب، به سمت انجام فعالیت‌های پروژه با هزینه و زمان بالاتر سوق داده می‌شود.

پیشنهادات برای انجام تحقیقات آتی در این زمینه می‌تواند اضافه نمودن هدف کیفیت پروژه به اهداف مسئله استوار، به عبارتی دیگر در نظر گرفتن مسئله استوار چند هدفه موازنه‌سازی زمان- هزینه- کیفیت- اثرات زیست محیطی پروژه، و در نظر گرفتن تعداد پارامترهای عدم‌قطعیت بیشتری، به عنوان مثال عدم قطعیت همزمان در هزینه، زمان و کیفیت و اثرات زیست محیطی پروژه، توسعه مدل-های استوار- فازی برای شرایطی که عدم قطعیت بازه‌ای بر روی ضرایب فنی و ضرایب تابع هدف به صورت فازی تعریف شود و یا بالعکس، طراحی مدل استوار مسئله پیشنهادی برای مدل‌های دیگر استوارسازی غیر از رویکرد برتسیمس و سیم، به‌کارگیری الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری برای حل DTCETP در ابعاد بزرگتر، توسعه مدل قطعی و

www.SID.ir

Archive of SID

استوار DTCETP با در نظر گرفتن محدودیت‌های پیش نیازی تعمیم‌یافته را شامل شود.

مراجع

[۱] حسن بخشنده امنیه، هادی مختاری، میثم حکیمیان و سعید دهنوی، "مدل‌سازی ریاضی زمانبندی فعالیت‌ها با درنظرگرفتن هزینه‌های اضافه‌کاری و جریمه‌ی دیرکرد برای استخراج بلوک معدن سنگ آهن چغارت"، مدل سازی در مهندسی، دوره ۱۶، شماره ۵۳، تابستان ۱۳۹۷، صفحه ۲۶-۲۶.

[۲] محسن شفیعی نیک آبادی، محمدعلی بهشتی نیا و رضا رفیعی پور، "ارائه یک مدل ریاضی جهت بهینه سازی فرایند توسعه محصول"، مدل سازی در مهندسی، دوره ۱۴، شماره ۴۵، تابستان ۱۳۹۵ ، صفحه۱۱۱-۱۲۱.

[۳] عباس نادرپور و مسعود مفید، "بهینه سازی تخصیص منابع به فعالیت های پروژه با استفاده از مدل دیاگرام منابع بحرانی"، مدل سازی در مهندسی, دوره ۵، شماره ۱۹، زمستان ۱۳۸۸ ، صفحه ۳۷-۴۶.

[۴] سعید حسامی و زهرا مولایی، "بهینه سازی زمانبندی در پروژه های راهسازی بر اساس تفکر ناب"، مدل سازی در مهندسی، دوره ۱۳، شماره ۴۰، بهار ۱۳۹۴، صفحه ۳۳-۴۲.

[5] J. E. Falk, and J. L. Horowitz, "Critical path problems with concave cost-time curves", Management Science, Vol. 19, No. 4-part-1, 1972, p. 446-455.

[6] R. T. Harvey, and J. H. Patterson, "An implicit enumeration algorithm for the time/cost tradeoff problem in project network analysis", Foundations of Control Engineering, Vol. 4, 1979, pp. 107-117.

[7] J. E. Kelley, "Critical-path planning and scheduling: Mathematical basis", Operations Research, Vol. 9, No. 3, 1961, pp. 296-320.

[8] D. R. Robinson, "A dynamic programming solution to cost-time tradeoff for CPM", Management Science, Vol. 22, No. 2, 1975, pp. 158-166.

[9] R. Reda, and R. I. Carr, "Time-cost trade-off among related activities", Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 115, No. 3, pp. 475-486.

[10] P. Vrat, and C. Kriengkrairut, "A goal programming model for project crashing with piecewise linear time-cost trade-off", Engineering costs and production economics, Vol. 10, No. 2, 1986, pp. 161-172.

[11] S. S. Erenguc, S. Tufekci, and C.J. Zappe, "Solving time/cost trade-off problems with discounted cash flows using generalized benders decomposition", Naval Research Logistics (NRL), Vol. 40, No. 1, 1993, pp. 25-50.

[12] H. Zheng, "A Discrete Time-Cost-Environment Trade-Off Problem with Multiple Projects: The Jinping-I Hydroelectric Station Project", In International Conference on Management Science and Engineering Management (p. 1709-1721). Springer, Cham, 2017.

[13] J. Xu, et al, "Discrete time–cost–environment trade-off problem for large-scale construction systems with multiple modes under fuzzy uncertainty and its application to Jinping-II Hydroelectric Project", International Journal of Project Management, 2012. Vol. 30, No. 8, 2012, pp. 950-966.

[14] M. Marzouk, et al, "Handling construction pollutions using multi-objective optimization", Construction Management and Economics, Vol. 26, No. 10, 2008. pp. 1113-1125.

[15] G. Ozcan-Deniz, Y. Zhu, and V. Ceron, "Time, cost, and environmental impact analysis on construction operation optimization using genetic algorithms", Journal of Management in Engineering, Vol. 28, No. 3, 2011, pp. 265-272.

[16] S. Liu, R. Tao, and C. M. Tam, "Optimizing cost and CO< sub> 2</sub> emission for construction projects using particle swarm optimization", Habitat International, Vol. 37, 2013, pp .155-162.

[17] M.-Y. Cheng, and D.-H. Tran, "Opposition-Based Multiple-Objective Differential Evolution to Solve the Time–Cost–Environment Impact Trade-Off Problem in Construction Projects", Journal of Computing in Civil Engineering, 2014.

www.SID.ir

Archive of SID

[۱۸] عادل آذر و سید فاضل موسوی، "طراحی مدل احتمالی و استوار یکپارچه سه مرحله ای برای انتخاب تامین کننده با رویکرد عدم قطعیت"، تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، دوره ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳، صفحه ۱-۱۸.

[19] A. L. Soyster, 1973. "Technical note—convex programming with set-inclusive constraints and applications to inexact linear programming", Operations research, Vol. 21, No. 5, 1973, pp. 1154-1157.

[20] A. Ben-Tal and A. Nemirovski, 1998. "Robust convex optimization", Mathematics of Operations Research, Vol. 23, No. 4, 1998, pp. 769-805.

[21] A. Ben-Tal and A. Nemirovski, "Robust solutions of uncertain linear programs", Operations research letters, Vol. 25, No. 1, 1999, pp. 1-13.

[22] A. Ben-Tal and A. Nemirovski, 2000. "Robust solutions of linear programming problems contaminated with uncertain data", Mathematical programming, Vol. 83, No. 3, 2000, pp. 411-424.

[23] D. Bertsimasand M. Sim, 2004. "The price of robustness", Operations research, Vol. 52, No. 1, 2004, pp. 35-53.

[24] I. Cohen, B. Golany and A. Shtub, "The stochastic time–cost tradeoff problem: a robust optimization approach". Networks, Vol. 49, No. 2, 2007, pp. 175-18.

[25] A. Ben-Tal et al, "Adjustable robust solutions of uncertain linear programs", Mathematical Programming, Vol. 99, No. 2, 2004, pp. 351-376.

[26] O. Hazir, E. Erel and Y. Günalay, 2011, "Robust optimization models for the discrete time/cost trade-off problem", International Journal of Production Economics, Vol. 130, No. 1, 2011, pp. 87-95.

[27] T. J. Hindelang, and J. F. Muth, "A dynamic programming algorithm for decision CPM networks", Operations Research, Vol. 27, 1979, 225-241

[28] E. L. Demeulemeester, W. S. Herroelen and S. E. Elmaghraby, "Optimal procedures for the discrete time/cost trade-off problem in project networks", European Journal of Operational Research, Vol. 88, 1996, 50-68.

[29] W. J. Gutjahr, C. Strauss, and E. Wagner, "A stochastic branch-and-bound approach to activity crashing in project management", INFORMS Journal on Computing, Vol. 12, 2000, pp. 125-13.

[30] C. Jin, Z. Ji, Y. Lin, Y. Zhao, and Z. Huang, "Research on the fully fuzzy time-cost trade-off based on genetic algorithms", Journal of Marine Science and Application, Vol. 4, 2005, pp. 18–23.

[31] I.-T. Yang, "Impact of budget uncertainty on project time-cost tradeoff. Engineering Management", IEEE Transactions on, Vol. 52, 2005, pp. 167-174.

[32] E. Eshtehardian, A. Afshar, and R. Abbasnia, "Fuzzy-based MOGA approach to stochastic time–cost trade-off problem", Automation in Construction, Vol. 18, 2009, pp. 692-701.

[33] M. Ghazanfari, A. Yousefli, M. S. Ameli, and A. Bozorgi-Amiri, "A new approach to solve time-cost trade-off problem with fuzzy decision variables", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 42, 2009, pp. 408–414.

[34] O. Hazir, M. Haouari, and E. Erel, 2010. "Discrete time/cost trade-off problem: A decomposition-based solution algorithm for the budget version", Computers & Operations Research, Vol. 37, 2010, pp. 649-655.

[35] O. Hazir, M. Haouari, and E. Erel, "Robust scheduling and robustness measures for the discrete time/cost trade-off problem", European Journal of Operational Research, Vol. 207, 2010, pp. 633-643.

[36] H. Ke, 2014. "A genetic algorithm-based optimizing approach for project time-cost trade-off with uncertain measure", Journal of Uncertainty Analysis and Applications, Vol. 2, No. 8, 2014.

[37] H. Ke, W. Ma, X. Gao, and W. Xu, "New fuzzy models for time-cost trade-off problem", Fuzzy Optimization and Decision Making, Vol. 9, 2010, pp. 219-231.

[38] H. Ke, W. Ma, and X. Chen, "Modeling stochastic project time–cost trade-offs with time-dependent activity durations", Applied Mathematics and Computation, Vol. 218, 2012, 9462-9469.

www.SID.ir

Archive of SID

[39] E. Klerides, and E. Hadjiconstantinou, "A decomposition-based stochastic programming approach for the project scheduling problem under time/cost trade-off settings and uncertain durations", Computers & Operations Research, Vol. 37, 2010, 2131-2140.

[40] H. Mokhtari, R. Baradaran Kazemzadeh, and A. Salmasnia, "Time-cost tradeoff analysis in project management: An ant system approach", Engineering Management, IEEE Transactions on, Vol. 58, No. 1, 2011, pp. 36-43.

[41] H. Zheng, H. Mei, M. Nie, and Y. Xiong, "A discrete time-cost-environment trade-off problem with multiple projects: the Jinping-II Hydroelectric Station large-scale deeply buried tunnel group project", International Journal of Manufacturing Technology and Management, Vol. 30, No. 5, 2016, pp.326-345.

[42] K. Feng, W. Lu, S. Chen and Y. Wang, "An Integrated Environment–Cost–Time Optimisation Method for Construction Contractors Considering Global Warming", Sustainability, Vol. 10, No. 11, 2018, pp. 4207.

[43] W. L. Meyer and L. R. Shaffer, "Extensions of the critical path method through the application of integer programming", Department of Civil Engineering, University of Illinois, 1963.

[44] W. B. Crowston, "Decision CPM: Network reduction and solution", Operational Research Quarterly, 1970, pp. 435-452.

www.SID.ir