10.30495/QJOPM.2019.668705

«Productivity Management»
Vol.13, No.50, Autumn 2019
Date of receipt: 2018.04.21
Date of acceptance:2018.12.17
"Research Article"

A Multi-Purpose Mathematical Model for Solving Multi-Mode Resource Constrained Project Scheduling Problem(M-RCPSP) and Environmental Effects:Augmented E-Constraint Method

Hossein Ali Heydari[۱]

*Heresh Soltanpanah (Ph.D.)**[۲]

Hiva Faruqhi (Ph.D.)[۳]

Ayoub Rahimzadeh (Ph.D.)[۴]

Abstract

Oil, gas and petrochemical industry managers are nowadays preoccupied with finding ways of punctually completing projects while maintaining the highest implementational standards and minimizing financial costs and environmental threats. Reaching a balance among time, cost, quality and environmental effects is a paramount goal for these managers since these goals are contradictory and focus on any of them can lead to changes in the others. The purpose of this applied mathematical research was hence to design an authentic simulated multi-purpose mathematical model that can review and resolve the issue of project scheduling and balancing time, cost, quality and environmental effects in multi-mode projects. Using the GAMS software and CPLEX solver, the Model was validated through Expanded Epsilon Limitation Method and the analytical results of various sensitivities are reported.

Key Words: Augmented E-Constraint Method, Environmental Effects, Expanded Epsilon, Multi-mode, Multi-purpose, Project Scheduling,

۱-Department of Industrial Management, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah,

۲-Assistant Professor of Industrial Engineering, Department of Management, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran heresh@iausdj.ac.ir

۳-Assistant Professor of Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering, Kurdistan University, Sanandaj, Iran, h.farughi@uok.ac.ir

۴-Assistant Professor of Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran, arahimzadeh@iauksh.ac.ir

10.30495/QJOPM.2019.668705

«مدیریت بهره وری»
سال سیزدهم- شماره پنجاه- پاییز ۱۳۹۸
ص ص: ۱۴۹ - ۱۱۹
تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۰۱
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۹/۲۶
نوع مقاله: پژوهشی

توسعه مدل ریاضی چند هدفه برای زمان‌بندی پروژه با در نظر گرفتن شیوه‌های مختلف اجرای فعالیت ها و اثرات زیست محیطی و حل آن به روش اپسیلون توسعه یافته

حسینعلی حیدری[۱]
دکتر هیرش سلطان پناه*[۲]
دکتر هیوا فاروقی[۳]
ایوب رحیم زاده[۴]

چکیده

امروزه دغدغه های مدیران در پروژه های نفت،گاز و پتروشیمی،تکمیل پروژه ها در موعد مقرر با بالاترین سطح کیفیت اجرای فعالیت‌ها، صرف کمترین هزینه‌های مالی و کمترین اثرات مخرب زیست محیطی می باشد. از این رو برقراری موازنه بین چهار هدف متضاد زمان، هزینه،کیفیت و اثرات زیست محیطی از اهمیت ویژه‌ای برای مدیران برخوردار است. با نگاهی عمیق‌تر به اهداف مذکور مشخص می شود تمرکز بر روی هر کدام از اهداف چهارگانه منجر به ایجاد تغییراتی بر روی سایر اهداف خواهد شد به عبارتی دیگر بین اهداف مذکور تناقض وجود دارد. به همین منظور در این مطالعه سعی شده است مدلی ریاضی برای موازنه اهداف چهارگانه ارائه گردد که خواسته‌ها و نیازهای مدیران پروژه را برآورد سازد و به مسائل دنیای واقعی نزدیکتر باشد. مدل ارائه شده از نوع مدل ریاضی چند هدفه صفر و یک است که در این مدل فعالیت‌های پروژه دارای ماهیتی چند حالته و غیرقابل انقطاع هستند و ظرفیت منابع محدود و مشخص و روابط پیش‌نیازی فعالیت ها از نوع روابط پیش‌نیازی کلی در نظر گرفته شده است. جهت اعتبارسنجی، مدل پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار GAMS و حل‌کننده CPLEX توسط روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته بر روی داده های واقعی یک پروژه نفتی حل شده و جواب بهینه آن به دست آمده است و نتایج حاصل از تحلیل حساسیت های مختلف گزارش شده است.

واژه های کلیدی: زمان‌بندی پروژه، چندهدفه، چند مد، اثرات زیست محیطی، اپسیلون توسعه یافته.

۱-دانشجوی دکتری،مدیریت صنعتی گرایش تولید و عملیات، واحدکرمانشاه،دانشگاه آزاد اسلامی،کرمانشاه،ایران
۲-استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران (نویسنده مسؤول) heresh@iausdj.ac.ir
۳-استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران h.farughi@uok.ac.ir
۴-استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

مقدمه

در مسأله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع[1]، هدف کمینه کردن طول پروژه با در نظر گرفتن محدودیت منابع و اولویت‌بندی انجام فعالیت ها است(رایپون و دیگران،۲۰۱۶). مسأله زمان بندی پروژه چند حالته[2]یک فرمت از مسأله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع معمولی است که در آن مدت زمان هر کار یک تابع از سطح و نوع منابع متعهد به آن است (زاپاتا و دیگران، ۲۰۰۸).

در چند سال گذشته مسأله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع به دلیل اهمیت علمی آن و چالش های محاسباتی به وجود آمده در مدل های ارائه شده مورد توجه قرار گرفته است،البته بر خلاف تلاش های قبلی که بیشتر در راستای اصلاح مدل پایه ارائه شده بود امروز اکثر تحقیقات در راستای توسعه روش راه حل بهتر با اهداف متنوع تر می باشد (ژو و دیگران، ۲۰۰۶).

در حل مسائل RCPSP و M-RSPSP مدل های مختلفی برای پیدا کردن راه حل بهینه ارائه شده است.به طور مثال برخی از محققان؛ فقط بر بهینه کردن طول زمان پروژه تمرکز داشته اند و سایر اهداف پروژه (مانند هزینه،کیفیت و سایر اهداف) را در مدل خود لحاظ نکرده اند(صادقی و دیگران، ۱۳۹۰؛ مارتین و دیگران، ۲۰۱۷؛ ریپون و دیگران، ۲۰۱۶).

اما بر خلاف محققانی که فقط مقوله طول زمان پروژه را در مدل های ارائه شده لحاظ کردند برخی از محققین در مطالعات خود علاوه بر این که طول زمان پروژه را مدنظر قرار داده اند به طور هم زمان هزینه‌های انجام پروژه را نیز مورد توجه قرار داده‌اند و به عبارتی دیگر موازنه هزینه–زمان را بررسی کرده‌اند و مدل‌های خود را با این اهداف توسعه بخشیده‌اند (کرامتی و دیگران ، ۱۳۹۴؛ عباسی و دیگران،۲۰۱۶؛والترجی،۲۰۱۵).

تعدادی از محققین پا را فراتر نهاده و علاوه بر طول زمان پروژه و هزینه، موضوع کیفیت اجرای فعالیت های پروژه را نیز مورد توجه قرار داده اند و مدل خود را بر اساس بهینه سازی این سه هدف(زمان–هزینه–کیفیت)توسعه بخشیده اند به عبارتی دیگر موازنه زمان–هزینه–کیفیت را پیش گرفته اند(صادقی و دیگران،۱۳۹۵).

1.Resource Constrained Project Scheduling Problem(RCPSP)

2.Multi-mode Resource Constrained Project Scheduling Problem(M-RCPSP)

از طرفی، نبود برنامه ریزی های زیست محیطی در طرح ریزی، مکان یابی و اجرای پروژه های توسعه در ایران سبب شده که مشکلات زیست محیطی متعددی در کشور پدید آید. این در شرایطی است که هنوز یک کشور توسعه یافته محسوب نمی شود. نگاهی به آمارها نشان می دهد که ایران از نظر سرانه جنگل، دچار فقر و کمبود شدید است و در زمره کشورهای با نرخ بالای جنگل زدایی قرار دارد و مراتع فقیر آن، ۴۸/۲ درصد کل مراتع که نیمی از مساحت کشور را به خود اختصاص می دهد، روبه افزایش است. این در حالی است که ۸۰ درصد از کشور در شرایط خشک و نیمه خشک واقع شده است. این وضعیت موجب شده که ایران به طور بالقوه در معرض پدیده بیابانی شدن قرار گیرد.به اضافه، فرسایش آبی در حاشیه دریای خزر و فرسایش بادی در نواحی بیابانی و کویری ایران موجب کاهش سطح اراضی پربازده نیز شده است(منوری،۱۳۸۸).

ایران از کشورهای دارای مناطق غنی نفت و گاز جهان محسوب می شود و ظرفیت تولید آن دائما در حال افزایش است. اما مصرف انرژی به ویژه در پروژه های توسعه؛ آلودگی های آب، هوا و خاک را به دنبال داشته است. این روند در پالایشگاه‌ها، نیروگاهها، مجتمع های پتروشیمی،کارخانجات سیمان و حمل و نقل به ویژه از لحاظ انتشار آلاینده‌های هوا از رشد زیادی برخوردار می باشد(منوری،۱۳۸۸).

لذا بدیهی است قبل از انجام هر پروژه، اثرات اجرای آن پروژه بر محیط زیست مورد ارزیابی قرار گیرد.این مطالعه نه با هدف جلوگیری از اجرای پروژه بلکه با هدف کاهش اثرات سوء آن بر محیط زیست تا حداقل ممکن صورت می پذیرد.

از طرفی دیگر، در دنیای واقعی معمولا فعالیت های مربوط به یک پروژه با روش ها و در حالت ها مختلفی قابل اجرا هستند. با توجه به این موضوع و با در نظر گرفتن اهداف مختلف در پروژه، در هر کدام از حالت ها اجرا، فعالیت های پروژه در مدت زمان و با هزینه‌های متفاوتی نسبت به سایر حالت ها، انجام می گیرند. از سوی دیگر انتخاب هر کدام از حالت ها اجرا برای هر یک از فعالیت های پروژه،سطح کیفیت و همچنین اثرات زیست محیطی پروژه را تحت تأثیر خود قرار می دهد. با توسعه صنایع و پیشرفت های روزافزون جوامع و افزایش رشد اقتصادی، توجه به محیط زیست به عنوان یکی از ارکان توسعه مورد غفلت قرار گرفت و تخریب نگران کننده محیط زیست و منابع طبیعی در نتیجه کاربرد تکنولوژی ها، از جمله دلایلی شد که تفکر توسعه پایدار رواج پیدا کند(زاهدی و نجفی، ۱۳۸۵).

مدیران پروژه معمولا به دنبال این هدف هستند که پروژه خود را در کمترین مدت زمان ممکن با کمترین هزینه و بالاترین کیفیت و کمترین اثرات زیست محیطی به پایان برسانند.با نگاهی عمیق‌تر به اهداف مذکور مشخص می‌شود تمرکز بر روی هر کدام از آنها منجر به ایجاد تغییراتی بر روی سایر اهداف خواهد شد. برای مثال در صورتی که مدیر به دنبال انتخاب حالت های اجرایی باشد که منجر به کاهش زمان پروژه شوند، در همان حالت ممکن است مجبور به پرداخت هزینه بیشتر و همین طور انجام پروژه با سطح کیفیت پایین تر و یا حتی تحمل اثرات زیست محیطی مخرب تری شود. به بیان دیگر اهداف مذکور دارای نوعی تعارض با یکدیگر بوده و بنابراین نوعی تبادل و یا موازنه میان آن ها باید به وجود آید. هر چند اهداف مورد نظر در تعارض با یکدیگر قرار دارند اما همگی آن ها در بحث مدیریت پروژه از اهمیت بالایی برخوردار هستند.این مسأله،زمانی که مدیر پروژه دید فنی دقیقی نسبت به اهداف چندگانه،رفتارهای متفاوت، توابع توصیف کننده و همین طور اهمیت نسبی آن ها نسبت به یکدیگر ندارد، دشوارتر خواهد شد. این موضوع باعث خواهد شد مدیران پروژه بیش از آن که به دنبال روش هایی باشند که یک پاسخ در اختیار آن ها بگذارد، تمایل داشته باشند تا از میان مجموعه ای از پاسخ هایی که نسبت به هم ارجحیت قابل تشخیصی ندارند (پاسخ های غیرمسلط)جواب های ترجیحی را برگزینند (ابطحی و همکاران، ۱۳۹۱).

از طرفی امکان انجام هر فعالیت در حالت های مختلف که متضمن در نظر گرفتن زمان، هزینه، کیفیت و اثرات زیست محیطی متفاوت برای هر حالت می باشد بر پیچیدگی‌های مسأله خواهد افزود. از طرفی در عمل، ترتیب اجرای فعالیت های پروژه نیز معمولا متفاوت می باشد. برخی از فعالیت ها باید با یکدیگر شروع شده و یا با یکدیگر به اتمام برسند. برخی از فعالیت ها باید پس از اتمام برخی دیگر از فعالیت ها شروع شوند و یا بالعکس. همچنین ممکن است میان شروع و پایان فعالیت ها نسبت به یکدیگر نیاز به ایجاد تأخیر یا فاصله زمانی مشخصی وجود داشته باشد.به مطلب گفته شده معمولا تحت عنوان پیش نیازی های عمومی[1] اشاره می شود. حال با توجه به این که در دنیای واقعی پروژه ها اساساً از تعداد قابل توجهی فعالیت مختلف با شبکه های تقدم و تأخر نسبتا پیچیده تشکیل

1.General Precedence Relationship(GPR)

شده اند صرفا توسعه مدل های ریاضی و یا استفاده از نرم افزارهای کنترل پروژه برای حل مسأله راهگشا نخواهد بود.

بنابراین با در نظر گرفتن پیچیدگی ساختار پروژه ها، تعداد زیاد فعالیت ها، وجود چند حالات مختلف اجرا برای هر فعالیت، رعایت پیش نیازی های عمومی میان فعالیت های پروژه و همین طور چندهدفه بودن مسأله، تصمیم گیری برای مدیران جهت انتخاب از میان حالت های انجام فعالیت ها بسیار پیچیده بوده و نیاز به روشی که برای مسائلی در ابعاد بزرگ در زمان معقول جواب های قابل قبولی را ارائه کند احساس می شود. در این تحقیق مسأله اصلی، تعیین حالت اجرای هر یک از فعالیت های پروژه با مدنظر قرار دادن تمامی ملاحظات گفته شده و محدودیت های مورد توجه می باشد.

بنابراین مسأله اصلی این تحقیق اگر بخواهد در قالب یک سؤال مطرح شود عبارت خواهد بود از این که؛ مدل ریاضی چند هدفه(هزینه- زمان- کیفیت- اثرات زیست محیطی) برای حل مسأله زمان بندی پروژه با منابع محدود کدام است؟

در ادامه مقاله، بخش دوم به مرور پژوهش های انجام شده تخصیص داده شده و در بخش سوم روش شناسی پژوهش و مدل ریاضی مناسب برای زمان بندی پروژه ارائه می شود. در بخش چهارم یک مثال عددی ارائه و با روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته حل می شود. در بخش پنجم تحلیل حساسیت بر روی مدل انجام می شود و در بخش پایانی به نتایج و پیشنهادهای پژوهش پرداخته می شود.

در کشور ایران سالانه پروژه های بسیاری تعریف می شود و مبالغ زیادی به آنها اختصاص می‌یابد، ولی از ناحیه طولانی شدن پروژه‌ها، ضرر زیادی به کشور وارد می گردد. عدم تحقق اهداف پروژه ها نیز زیان های اقتصادی اجتماعی بسیاری به دولت تحمیل می‌کند. اگر به این ضرر و زیانها، هزینه‌های فرصت نیز اضافه شود، میزان آنها خیلی بیشتر می گردد. شرایط مربوط به سرمایه‌های عظیم در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی و حجم گسترده و در حال توسعه پروژه های نفتی در ایران، لزوم آشنایی مدیران و کارشناسان ارشد این صنایع را با مباحث مدیریت پروژه دو چندان می سازد(نادری پور،۱۳۸۲).

در باب ضرورت تحقیق می توان به این نکته اشاره کرد که؛ در زمینه حل مسائل زمان بندی پروژه با محدودیت منابع، تحقیقات گسترده ای صورت گرفته است. ولی با تغییر توابع اصلی پروژه از حالت تک هدفه(کمینه کردن طول زمان پروژه) به حالتی که به صورت چند هدفه (زمان، هزینه، کیفیت و اثرات زیست محیطی) باشد وضعیت کاملا متفاوت

می باشد. به طوری که برای بهینه کردن هم زمان توابع مذکور، هیچ تحقیقی انجام نگرفته و یا حداقل دسترس نمی باشد. لذا با توجه به خلأ موجود در این زمینه و کاربرد عملی این موضوع، در این تحقیق سعی بر توسعه یک مدل ریاضی چندهدفه برای مسأله زمان بندی پروژه با فعالیت های چند حالته، منابع محدود و اثرات زیست محیطی می باشد.

همان طور که از خلاصه مطالعات در جدول پایین مشخص است در بیشتر مطالعات از توابع هدفی مانند: حداقل کردن زمان پروژه، حداکثر کردن ارزش خالص فعلی و کمینه کردن هزینه‌ها استفاده شده است. ضمن این که در برخی موارد نادر نیز به چشم می خورد که از توابعی غیرتوابع مذکور استفاده شده است(مثل: قابلیت اطمینان– حداکثر سازی کارایی افراد– حداکثر سازی پایداری پروژه– حداکثر سازی کیفیت و سایر اهداف).

جدول شماره (۱): مطالعات انجام شده

ردیف	نویسنده(سال)	اهداف	مفروضات مدل	روش حل
۱	حاجی آخوندی و دیگران (۱۳۹۶)	–کمینه سازی زمان پروژه –کمینه سازی هزینه کل پروژه	– محدودیت منابع – روابط پیش نیازی	الگوریتم فراابتکاری قورباغه
۲	پایدار و دیگران (۱۳۹۶)	–کمینه سازی زمان پروژه – بیشینه سازی ارزش خالص فعلی –کمینه سازی مجموع قدرمطلق انحرافات از میانگین منابع	– محدودیت منابع – روابط پیش نیازی – چند مد اجرایی – جریان‌های نقدی تنزیل یافته	الگوریتم جستجوی گرانشی چندهدفه
۳	غفوری و تقی زاده یزدی (۱۳۹۵)	–کمینه سازی زمان پروژه – کمینه سازی هزینه کل پروژه	– محدودیت منابع – روابط پیش نیازی کلی – چند مد اجرایی	الگوریتم های کرم شب تاب و تبرید
۴	سبط و دیگران (۱۳۹۵)	–کمینه سازی زمان پروژه	–فعالیت های چند حالته – تک پروژه – چند مد اجرایی	الگوریتم ژنتیک
۵	صادقی و دیگران (۱۳۹۵)	–کمینه سازی زمان پروژه –کمینه سازی هزینه کل پروژه –بیشینه سازی کیفیت پروژه	– محدودیت منابع – روابط پیش نیازی کلی – چند مد اجرایی – غیرقابل انقطاع بودن فعالیت ها	الگوریتم های فرا ابتکاری زنبورعسل چند هدفه
۶	عیدی و دیگران (۱۳۹۵)	–کمینه سازی زمان پروژه –کمینه سازی هزینه کل پروژه – بیشینه سازی کیفیت پروژه	– محدودیت منابع –روابط پیش نیازی تعمیم‌یافته – چند مد اجرایی	الگوریتم های NSGA-II FastPGA
۷	تقی زاده یزدی و غفوری (۱۳۹۵)	–کمینه سازی زمان پروژه – کمینه سازی هزینه کل پروژه –کمینه سازی اثرات زیست محیطی	– محدودیت منابع – روابط پیش نیازی کلی – چند مد اجرایی – قطعی بودن داده ها	الگوریتم های فرا ابتکاری کرم شب تاب و ازدحام ذرات
۸	فارسیجانی و دیگران (۱۳۹۴)	–کمینه سازی زمان پروژه –کمینه سازی هزینه کل پروژه –بیشینه سازی کیفیت پروژه	– محدودیت منابع – روابط پیش نیازی کلی – چند مد اجرایی –غیرقابل انقطاع بودن فعالیتها	الگوریتم های فرا ابتکاری زنبور عسل چند هدفه و ژنتیک نامغلوب
۹	صفری و فقیه (۱۳۹۴)	–کمینه سازی زمان پروژه	–تک حالته؛ –تک پروژه	الگوریتم رقابت استعماری

۱۰	جعفری اسکندری و دیگران (۱۳۹۴)	-کمینه سازی زمان پروژه - بیشینه سازی ارزش خالص فعلی	- چندحالته - پیش نیازی کلی(GPR)	الگوریتم کرم شب تاب
۱۱	کرامتی و دیگران (۱۳۹۴)	بیشینه کردن ارزش خالص فعلی	- چند حالته -ازمنظرپیمانکارمدلسازی‌شده	استفاده از سولورهای نرم افزار گمز
۱۲	فیلی و دیگران (۱۳۹۴)	کمینه کردن زمان پروژه	تک هدفه- محدودیت منابع	الگوریتم ممتیک قورباغه
۱۳	فاروقی و بهرامی (۱۳۹۳)	کمینه کردن هزینه پروژه بیشینه کردن قابلیت اطمینان	چند حالته-محدودیت منابع تجدید پذیر- مجاز بودن یک رابطه وابستگی فعالیت ها	حل یک مدل کوچک با نرم افزار GAMS
۱۴	شفیع خانی و دیگران (۱۳۹۳)	کمینه کردن هزینه پروژه	غیرانقطاع-تجهیزات در دسترس- امکان اضافه کاری- امکان فشرده سازی فعالیت ها	الگوریتم های ژنتیک و شبیه سازی تبرید
۱۵	Albert Muritiba &et al (2018)	کمینه کردن زمان پروژه	منابع تجدید پذیر و ناپذیر فعالیت ها چند مد	الگوریتم مسیریابی
۱۶	Martin Tritschler &et al(2017)	کمینه کردن زمان پروژه	منابع انعطاف پذیرند	الگوریتم ژنتیک
۱۷	Sonda Elloumi &et al(2017)	کمینه کردن زمان پروژه	چند حالته محدودیت منابع	الگوریتم تکاملی چند هدفه
۱۸	Shahriar Asta&etal(2016)	کمینه کردن زمان پروژه	چند پروژه- چند حالته	مونت کارلو و الگوریتم ممتیک
۱۹	Jiang Xiong & et al(2016)	کمینه کردن زمان پروژه	بالانس کارایی منابع عدم قطعیت	الگوریتم ژنتیک
۲۰	Stefan Kreter (2016)	کمینه کردن کل زمان کمینه کردن زمان تأخیر پروژه	منابع تجدید پذیر	جستجوی باینری
۲۱	Ripon K. Chakrabortty (2016)	کمینه کردن زمان پروژه	پیش نیازی کلی، منابع تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر- فعالیت ها غیرقابل انقطاع	مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط
۲۲	Babak H. Tabrizi (2016)	کمینه کردن هزینه ها بیشینه کردن پایداری برنامه	عدم قطعیت در زمان فعالیت‌ها و هزینه ها-توجه به مرزهای احتمالی در نقض محدودیت	الگوریتم های ژنتیک و تکامل تفاضلی چند هدفه و روش تاگوچی
۲۳	Mohammed S. El-Abbasy(2016)	کمینه کردن زمان پروژه کمینه کردن هزینه پروژه	پیش نیازی جزیی فعالیت ها چند مد	الگوریتم (NSGA-II)
۲۴	Bernardo F. Almeida (2016)	کمینه کردن زمان پروژه	هر منبع یک مهارت- اختصاص برخی منابع به فعالیتی خاص در طول پروژه	توسعه دو مفهوم جدید:وزن منابع و گروه بندی فعالیتها- روش ابتکاری
۲۵	Behrouz Afshar-Nadjafi (2015)	کمینه کردن زمان پروژه	منابع تجدید پذیر است و فعالیت تک حالته.	الگوریتم تکامل مبتنی بر جمعیت (تکامل دیفرانسیل)
۲۶	Jing Xiao (2015)	کمینه کردن طول پروژه و زمان تأخیر	منابع تجدید پذیر	NSGA-II
۲۷	WalterJ.Gutjahr (2015)	کمینه کردن طول پروژه و هزینه ها	تحت شرایط ریسک گریزی- فعالیت ها چند مد	برنامه ریزی عدد صحیح

۱-۳- شکاف موجود در تحقیقات پیشین

با مرور امباحث نظری موضوع می‌توان برخی از خلأهای موجود در تحقیقات را مشاهده نمود. برخی از این خلأها در زمینه نحوه تعریف مسأله موازنه اهداف چندگانه و برخی دیگر در زمینه محدودیت های در نظر گرفته می‌باشند.در ادامه به معرفی این خلأها که در پژوهش حاضر مورد توجه قرارگرفته‌اند پرداخته خواهد شد.

-تعریف مسأله موازنه اهداف

برخی از شکاف‌های موجود در تحقیقات پیشین را می‌توان در تعریف مسأله مشاهده نمود. با مرور ادبیات مشخص می‌شود که عامل اثرات زیست محیطی در کنار عواملی همچون؛ زمان، هزینه و کیفیت به‌صورت صریح در تعریف مسأله بیان نشده است. از سوی دیگر در تعریف مسأله موازنه چند هدفه؛موازنه چهار هدف(زمان،هزینه،کیفیت و اثرات زیست محیطی) به صورت یک جا در هیچ مطالعه‌ای یافت نمی‌شود و یا حداقل در دسترس نمی‌باشد. مرور ادبیات مسأله موازنه اهداف چندگانه در زمان بندی پروژه نشان می‌دهد که در عمل، عامل اثرات زیست محیطی، بسیاری از پیش‌بینی‌های صورت گرفته در زمینه زمان تکمیل پروژه، هزینه لازم برای اتمام پروژه و کیفیت مورد انتظار را مورد تهدید قرار داده و آن‌ها را تغییر می‌دهد. بنابراین به نظر می‌رسد وارد کردن عامل اثرات زیست محیطی در کنار عوامل مهم دیگری همچون(زمان، هزینه و کیفیت پروژه) به‌عنوان یکی از اهداف که در پروژه به دنبال کمینه‌سازی آن هستیم به دقیق‌تر شدن زمان بندی پروژه کمک نماید.

-پیش‌نیازی‌های عمومی به جای پیش نیازی جزئی

همان طور که اشاره شد روابط میان فعالیت های پروژه همیشه به‌سادگی رابطه پیش‌نیازی پایان- شروع با تأخیر زمانی صفر نبوده و سایر روابط پیش‌نیازی همچون روابط شروع- شروع، پایان- پایان و شروع- پایان با میزان مشخصی از تأخیر نیز در دنیای واقعی مدیریت پروژه وجود دارند. مرور ادبیات تحقیق نشان می‌دهد که موازنه اهداف چندگانه پروژه به‌صورت چندهدفه با در نظر گرفتن کیفیت پروژه و اثرات زیست محیطی درکنار موازنه زمان- هزینه و روابط پیش‌نیازی عمومی چندان مورد توجه واقع نشده و جستجوی پیشینه تحقیق در این زمینه منجر به یافتن پژوهشی در این زمینه نشده است.

-منابع تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر

شکاف دیگری که در تحقیقات می‌توان به آن اشاره کرد، در زمینه استفاده از منابع تجدیدپذیر و یا تجدیدناپذیر به صورت مجزا می‌باشد که در این پژوهش با در نظر گرفتن هر دو نوع منابع(تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) این شکاف تحقیقاتی پوشش داده خواهد شد.

هدف اصلی این مطالعه،طراحی مدل ریاضی برای موازنه فاکتورهای زمان،هزینه،کیفیت و اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از انجام پروژه‌های نفتی جهت کمک به تصمیم گیری مدیران پروژه می‌باشد که با تحقق این مهم می‌توان به اهدافی همچون؛ کاهش زمان اجرا، کاهش هزینه،کاهش اثرات مخرب زیست محیطی و در نهایت افزایش کیفیت اجرای فعالیت های پروژه دست یافت.

ابزار و روش

روش پژوهش حاضر از نوع ریاضی کاربردی است. مدل ارائه شده یک نوع مدل ریاضی چند هدفه از نوع برنامه ریزی صفر و یک است که مسأله زمان بندی پروژه چند مد[1] را بررسی و حل خواهد کرد. این پژوهش درصدد ارائه پاسخی مناسب به سئوالات؛ مدل ریاضی چند هدفه (هزینه- زمان- کیفیت- اثرات زیست محیطی) برای حل مسأله زمان بندی پروژه با منابع محدود کدام است؟محدودیت های مدل کدامند؟

در راستای اهداف و سئوالات پژوهش،در گام اول با استفاده از منابع معتبر در دسترس و شرایط حاکم بر مسأله، اهداف و محدودیت های مدل شناسایی شد و در ادامه با توجه به مفروضات حاکم بر مسأله، مدل چندهدفه ریاضی مناسب برای مسأله زمان بندی پروژه طراحی شد. مسأله زمان بندی پروژه معرفی شده یک مدل برنامه ریزی چند هدفه باینری می باشد. مدل توسعه داده شده را در قالب یک مثال عددی اعتبارسنجی می کنیم، برای حل مدل از روش های کلاسیک استفاده می شود که در این پژوهش روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته به کار رفته است. حل مدل و انجام محاسبات نیازمند کدنویسی است که این امر توسط نرم افزار تخصصی GAMS و حل کننده CPLEX عملیاتی شده است.

1.Multi-mode Resource-Constrained Project Scheduling Problem (MRCPSP)

مدل ریاضی پیشنهادی

- مفروضات مدل:

در طراحی مدل ریاضی مسأله، باتوجه به ویژگی ها و شرایط کاربردی، فرض هایی به صورت زیر مدنظر قرار گرفته است:

- داده ها قطعی و مشخص هستند.
- فعالیت های پروژه دارای ماهیتی چند حالته می باشند، به عبارتی دیگر برای انجام هر فعالیت چند روش اجرا وجود دارد.
- فعالیت های پروژه غیرقابل انقطاع[1] هستند، به عبارتی دیگر پس از شروع هر فعالیت توقف آن مجاز نیست.
- ظرفیت منابع محدود و مشخص است.
- به زمان آماده سازی برای انجام فعالیت ها نیازی نیست.
- روابط پیش‌نیازی فعالیت ها از نوع روابط پیش‌نیازی کلی است.

- پارامترهای مدل

پارامترهای مدل ریاضی ارائه شده در این پژوهش به‌صورت زیر تعریف شده‌اند:

عنوان	توضیح پارامتر
i	فعالیت i
M_i	مجموعه حالت ها اجرا برای فعالیت i
A	مجموعه فعالیت ها
L	مجموعه شاخص های کیفیت
Ls_i	دیرترین زمان شروع فعالیت i ام
q_{imL}	شاخص کیفیت l در انجام فعالیت i در حالت اجرایی m
W_i	وزن فعالیت i
W_{il}	وزن شاخص کیفیت l برای فعالیت i
σ_i	کران پایین کیفیت فعالیت i
es_i	زودترین زمان شروع فعالیت i ام
C_{im}	هزینه انجام فعالیت i در حالت اجرایی m
E_{SS}	مجموع فعالیت هایی که رابطه پیش نیازی آنها به صورت شروع-شروع است.

1.Non-interruption

E_{SF}	مجموع فعالیت هایی که رابطه پیش نیازی آنها به صورت شروع–پایان است.
E_{FS}	مجموع فعالیت هایی که رابطه پیش نیازی آنها به صورت پایان–شروع است.
E_{FF}	مجموع فعالیت هایی که رابطه پیش نیازی آنها به صورت پایان–پایان است.
SS_{IJ}	زمان تأخیر حالت شروع–شروع فعالیت i و j
SF_{IJ}	زمان تأخیر حالت شروع–پایان فعالیت i و j
FS_{IJ}	زمان تأخیر حالت پایان–شروع فعالیت i و j
FF_{IJ}	زمان تأخیر حالت پایان–پایان فعالیت i و j
d_{im}	زمان انجام فعالیت i در حالت اجرایی m
r^{rr}_{imk}	مقدار مصرف فعالیت i در حالت اجرایی m از منبع تجدیدپذیر نوع kام
a^{rr}_{k}	سطح دسترسی منبع تجدیدپذیر نوع kام در هر دوره
r^{nr}_{imk}	مقدار مصرف فعالیت i در حالت اجرایی m از منبع تجدیدناپذیر نوع kام
a^{nr}_{k}	سطح دسترسی منبع جدید تجدیدپذیر نوع kام در کل پروژه
P^{EI}_{im}	اثر زیست محیطی فعالیت i ام در حالت اجرایی m ام برای شاخص محیطی EI ام
P^{EI}	آستانه اثر زیست محیطی برای شاخص محیطی EI ام
T	سقف زمان تکمیل پروژه
t_i	بازه زمانی بین es_i تا Ls_i
es_i	زودترین زمان شروع ممکن برای فعالیت i ام
Ls_i	دیرترین زمان شروع ممکن برای فعالیت i ام تا تأخیری در زمان اتمام نهایی پروژه صورت ندهد
H	مجموعه از جفت فعالیت هایی است که دارای روابط پیش نیازی هستند.

برای فعالیت (i) در پروژه،M_i مجموعه حالت های مختلف اجرای فعالیت(i)است که در آن برای هر حالت اجرا مانند (m_i)،یک ترکیب چهارتایی(t,c,q,e)معرفی می شود که به ترتیب بیانگر زمان،هزینه،کیفیت و اثرات زیست محیطی یک فعالیت در آن حالت اجراست.

- متغیرهای تصمیم

متغیر تصمیم مدل پیشنهادی متغیر تصمیم‌گیری همان X_{imt} است که باینری است. اگر فعالیت i در حالت اجراییm در زمان t آغاز شود مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد. ین متغیر به‌صورت زیر قابل بیان است:

$x_{imit} \in \{0,1\}$ رابطه (۱)

$i = 0,1,2, \dots , n+1$ رابطه (۲)

$m_i = 1,2, \dots , M_i$ رابطه (۳)

$t = es_i , \dots , ls_i$ رابطه (۴)

به علت این که مسأله در حالت چند مد است سه شمارنده برای متغیر تصمیم در نظر گرفته شده است شمارنده اول که همان i است معرف شمارنده فعالیت مربوطه است و شمارنده m نیز حالت اجرایی فعالیت i می باشد و در نهایت شمارنده t مربوط به زمان شروع فعالیت i است که این زمان بین زودترین و دیرترین زمان شروع فعالیت i است.

$$\begin{cases} X_{im_it} = ۱ & \text{هر گاه فعالیت i ام در زمان t شروع شود} \\ X_{im_it} = ۰ & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

رابطه(۵)

- توابع هدف

- هدف اول؛مینیمم کردن هزینه های اتمام پروژه

نخستین هدفی که هم در مسائل زمان بندی پروژه و هم در چارچوب توسعه پایدار به آن توجه شده، هزینه های اتمام پروژه است.اجرای هر فعالیت و هر حالت اجرای آن نیازمند صرف هزینه‌ای است که با توجه به حالت انتخاب شده برای اجرای هر فعالیت، مجموع هزینه‌های فعالیت‌های انتخاب شده برابر با هزینه اتمام پروژه خواهد شد. در این تابع هدف مطابق رابطه زیر، از سایر هزینه های پروژه مانند منابع چشم پوشی شده است.

$$\boldsymbol{Min\ Z_1 = \sum_{i\in A}\sum_{m\in M_1}\sum_{t=es_i}^{ls_i} c_{im_i} \times X_{im_it}}$$

رابطه (۶)

- هدف دوم؛مینیم کردن زمان اتمام پروژه

از مهم ترین اهدافی که در کلیه مسائل زمان بندی پروژه مورد توجه قرار می گیرد، زمان اتمام پروژه است. از آنجا که مدل ریاضی با توجه به شبکه فعالیت های پروژه نوشته می شود، در صورتی که زمان اتمام و یا شروع آخرین فعالیت پروژه (معمولاً فعالیتی مجازی است)کمینه شود، زمان کلی پروژه نیز کمینه خواهد شد؛ بنابراین تابع هدف دوم مطابق با رابطه زیر، مدل ریاضی پژوهش به کمینه سازی زمان اتمام پروژه می پردازد.

$$Min\ Z_2 = \sum_{t=es_{n+1}}^{ls_{n+1}} t.x_{(n+1)1t}$$ رابطه(۷)

- **هدف سوم؛ ماکسیمم کردن کیفیت کل پروژه**

تابع هدف سوم کیفیت کل پروژه را با توجه به شاخص‌های کیفیت، وزن این شاخص‌ها و همچنین میزان اهمیت هر فعالیت ماکزیمم می کند.

$$Max\ Z_3 = \left(\sum_{i=1}^{n} w_i \sum_{l=1}^{L} \sum_{m=1}^{M_i} w_{il} q_{im_i l} X_{im_i t} \right)$$ رابطه(۸)

- **هدف چهارم؛ مینیمم کردن اثرات زیست محیطی پروژه**

تابع هدف چهارم، وجه تمایز مدل ارائه شده با مدل های موازنه؛ زمان–هزینه–کیفیت، موجود در این زمینه است. در این تابع کمینه سازی اثرات زیست محیطی درگیر با پروژه مدنظر است. از آنجا که هر پروژه با توجه به ماهیت و محیط اجرای آن، می تواند تبعات زیست محیطی متعددی را بر جای بگذارد، در حالت کلی می توان این تبعات را به سه دسته زیر تقسیم کرد:

– اثرات زیست محیطی پروژه بر هوا
– اثرات زیست محیطی پروژه بر خاک
– اثرات زیست محیطی پروژه بر آب

به منظور حفظ کلیت مدل ارائه شده، هر سه دسته این اثرات در نظر گرفته می شود و تابع هدف نهایی از مجموع میزان اثرات هر دسته به دست می آید؛ همچنین برای ایجاد خاصیت جمع پذیری بین مجموع اثرات هر دسته، مجموع هر دسته بر میزانی به نام آستانه آن اثر تقسیم شده است و با بی وزن کردن آن، اثرات هر دسته با هم جمع شده اند. این آستانه می تواند از استانداردهای بین المللی پروژه و محیط زیستی به دست آید و یا توسط مدیران پروژه برای پروژه ای خاص تعریف شود(غفوری و تقی زاده،۱۳۹۵). در مدل ریاضی پیش رو، برای هر فعالیت در هر حالت اجرا، سه اثر زیست محیطی در نظر گرفته شده است

که با EI نشان داده می شوند و آلودگی نهایی پروژه از مجموع آلودگی های سه دسته بالا برای حالت اجرای انتخاب شده برای فعالیت ها به دست خواهد آمد؛ بنابراین تابع هدف چهارم این مسأله به صورت زیر خواهد بود:

$$MinZ_{\text{۱}} = \frac{\sum_{i=\text{۱}}^{I}\sum_{m=\text{۱}}^{M_i}\sum_{t=es_i}^{ls_i} p_{im}^{EI(\text{۱})} \cdot x_{imt}}{P^{EI(\text{۱})}} + \frac{\sum_{i=\text{۱}}^{I}\sum_{m=\text{۱}}^{M_i}\sum_{t=es_i}^{ls_i} p_{im}^{EI(\text{۲})} \cdot x_{imt}}{P^{EI(\text{۲})}} + \frac{\sum_{i=\text{۱}}^{I}\sum_{m=\text{۱}}^{M_i}\sum_{t=es_i}^{ls_i} p_{im}^{EI(\text{۳})} \cdot x_{imt}}{P^{EI(\text{۳})}}$$

رابطه (۹)

- محدودیت های مدل

- انتخاب یک حالت اجرا برای هر فعالیت

نخستین محدودیت مدل ریاضی ارائه شده، انتخاب تنها یک حالت اجرا برای هر فعالیت را در برنامه زمان بندی نهایی، تضمین می کند. از آنجا که در این پژوهش، فرض بر آن است که هر فعالیت پروژه می تواند در چندین حالت، اجرا شود،این محدودیت الزام انتخاب تنها یکی از حالت های اجرای فعالیت را تضمین می کند تا مدل در مرحله حل دچار اختلال نگردد.

$$\sum_{m_i=\text{۱}}^{M_i}\sum_{t=es_i}^{ls_i} X_{im_it} = \text{۱} \qquad i = \text{۱}, \dots, n+\text{۱}$$

رابطه(۱۰)

- محدودیت های روابط پیش نیازی کلی

محدودیت بعدی این مدل ریاضی با توجه به ماهیت روابط پیش نیازی چهارگانه (شروع- شروع، شروع- پایان، پایان- شروع و پایان- پایان) موجود بین فعالیت های پروژه است. اما از آنجا که فعالیت i ام تا قبل از اتمام کلیه فعالیت های پیش نیاز آن که با توجه به مجموعه H مشخص می شود، قابل اجرا نیست؛از این رو این محدودیت ها، اجازه شروع فعالیت را قبل از اتمام کلیه فعالیت های پیش نیاز آن نمی دهد.

$$\sum_{m_i+1}^{M_i}\sum_{t=es_i}^{ls_i}(t+ss_{ij})X_{im_it} \le \sum_{m_j=1}^{M_j}\sum_{t=es_j}^{ls_j} t.x_{jm_jt} \quad \forall(i,j)\in E_{ss}$$ رابطه (۱۱)

$$\sum_{m_i+1}^{M_i}\sum_{t=es_i}^{ls_i}(t+SF_{ij})X_{im_it} \le \sum_{m_j=1}^{M_j}\sum_{t=es_j}^{ls_j}(t.d_{jm_j})x_{jm_jt} \quad \forall(i,j)\in E_{sf}$$ رابطه (۱۲)

$$\sum_{m_i+1}^{M_i}\sum_{t=es_i}^{ls_i}(t+d_{im_i}+FS_{ij})X_{im_it} \le \sum_{m_j=1}^{M_j}\sum_{t=es_j}^{ls_j} t.x_{jm_jt} \quad \forall(i,j)\in E_{fs}$$ رابطه (۱۳)

$$\sum_{m_i+1}^{M_i}\sum_{t=es_i}^{ls_i}(t+d_{im_i}+FF_{ij})X_{im_it} \le \sum_{m_j=1}^{M_j}\sum_{t=es_j}^{ls_j}(t+d_{jm_j})x_{jm_jt}\ \forall(i,j)\in E_{ff}$$ رابطه (۱۴)

-محدودیت های مربوط به منابع تجدیدپذیر

این محدودیت، محدودیت منابع تجدیدپذیر است که در مسأله زمان بندی پروژه پایه نیز این محدودیت به چشم می خورد. تمامی منابع که میزان حداکثر استفاده آن در هر دوره قابل به کارگیری است در این محدودیت گنجانده شده‌اند. محدودیت های تجدیدپذیر مانند نیروی انسانی و تجهیزات و... همگی در این محدودیت گنجانده می‌گردد.

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{m_i=1}^{M_i} r^{rr}{}_{im_ik}\sum_{s=Max\{t-d_{im},es_i\}}^{Min\{t-1,ls_i\}} x_{im_is} \le a^{rr}{}_k\ k=1,\dots,K, t=1,\dots,T$$ رابطه(۱۵)

-محدودیت های مربوط به منابع تجدیدناپذیر

این محدودیت، محدودیت منابع تجدید ناپذیر است که این منابع مقادیر کل آن‌ها در ابتدای پروژه مشخص است و با مصرف آن‌ها این میزان رفته رفته کاهش می یابد. منابعی از قبیل بودجه پروژه، انواع ملزومات و مواد مصرفی و... از این‌گونه مواد می باشند. از آنجا که هزینه انجام فعالیت ها هم از طریق تابع هدف هزینه مینیمم می‌گردد و بودجه پروژه را نیز

می‌توان یک نوع منبع تجدید ناپذیر در نظر گرفت. لذا از آوردن محدودیت جدیدی برای جلوگیری از صرف هزینه اضافی صرف‌نظر شده استو محدودیت بودجه پروژه در این محدودیت گنجانده شده است.

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{m_i=1}^{M_i} r_{imk}^{nr} \sum_{s=es_i}^{ls_i} x_{ims} \le a_k^{nr} \quad , \qquad k = 1, 2, \dots, K$$ رابطه(۱۶)

-محدودیت های مربوط به کیفیت

این محدودیت اطمینان می‌دهد که کیفیت انجام هر فعالیت از سطح از پیش تعیین شده‌ای که مدنظر می باشد، کمتر نمی باشد.

$$\sum_{m=1}^{M} q_{im} \sum_{t=es_i}^{ls_i} x_{imt} \ge \sigma_i$$ رابطه(۱۷)

-محدودیت های مربوط به سقف زمان تکمیل پروژه

این محدودیت اطمینان می‌دهد که زمان تکمیل پروژه از زمان مورد نظر(T)تجاوز نمی کند.

$$\sum_{m=1}^{M_i} \sum_{t=es_I}^{ls_I} t.\, x_{im_i t} \le T$$ رابطه(۱۸)

-محدودیت های مربوط به متغیرهای تصمیم

این محدودیت هم همان باینری بدون متغیر تصمیمX_{imt} را نشان می‌دهد.

$X_{imt} \in \{0,1\}$ رابطه(۱)

$m_i = 1,2, \dots, M$ رابطه(۲)

$i = 0,1,2, \dots, n+1$ رابطه(۳)

$t = 1,2, \dots, T$ رابطه(۴)

$L=1,2, \dots, L$ رابطه(۱۹)

۱-٦- حل مدل با روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته

تکنیک های مختلفی برای حل مسائل چند هدفه وجود دارد که یکی از آنها، روش محدودیت اپسیلون است. در این روش یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته شده و سایر توابع هدف،به صورت محدودیت به مسأله اعمال می شوند.

توسعه های گوناگونی برای روش محدودیت اپسیلون جهت کاراتر شدن آن ارائه شده است که از جمله می توان به روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته که در مقاله ماوروتاس[1] اشاره کرد. مراحل روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته عبارتند از:

- **گام اول:**

یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود.

- **گام دوم:**

هر بار با در نظر گرفتن یکی از توابع هدف، مسأله حل شده و مقدار بهینه هر تابع هدف به دست می‌آید.

- **گام سوم:**

در این روش با استفاده از روش لکسیکوگراف، بهترین و بدترین مقدار برای هر تابع هدف به دست می‌آید، بدین صورت که بهترین مقدار تابع هدف اول برابر مقدار بهینه آن در حالت بهینه‌سازی مسأله با در نظر گرفتن تابع هدف به صورت انفرادی می‌باشد. سپس با بهینه‌سازی تابع هدف دوم با این محدودیت که تابع هدف اول در مقدار بهینه خود باقی بماند بدترین مقدار تابع هدف دوم تعیین می‌شود. این کار تا بهینه‌سازی تمام توابع هدف ادامه می‌یابد و بدین ترتیب بازه هر تابع هدف تعیین می‌شود.

$$[f_i^{\max}, f_i^{\min}]$$ رابطه(۲۰)

$$r_i = f_i^{\max} - f_i^{\min}$$ رابطه(۲۱)

1.George Mavrotas

- گام چهارم:

بازه بین دو مقدار بهینه توابع فرعی، به تعداد از قبل مشخص شده‌ای(q_i) تقسیم شده و یک جدول مقادیر برای اپسیلون‌ها به دست می‌آید.

$$\varepsilon_i^k = f_i^{\max} - \frac{r_i}{q_i} * k \qquad k = 0,1,...,q_i$$ رابطه(۲۲)

- گام پنجم:

هر بار با در نظر گرفتن هریک از مقادیر اپسیلون،مسأله با تابع هدف اصلی حل می‌شود. بدین صورت که محدودیت های مربوط به توابع هدف فرعی با استفاده از متغیرهای مناسب کمبود یا مازاد به صورت محدودیت های مساوی تبدیل شده و با در نظر گرفتن ضریب دلتا بین 10^{-3} تا 10^{-6} برای این متغیرهای مازاد یا کمبود،مسأله حل شده و جواب های کارا تولید می گردد.

مسأله جدید به صورت زیر تعریف می شود:

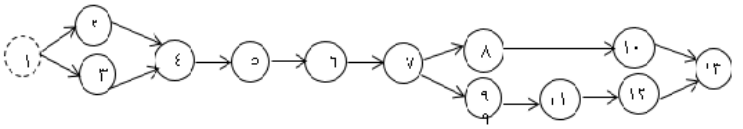
$$\begin{aligned}
&\min \{f_1(x) + \delta * (s_2 + s_3 + ... + s_p)\} \\
&f_2(x) = \varepsilon_2 + s_2 \\
&f_3(x) = \varepsilon_3 + s_3 \\
&\vdots \\
&f_p(x) = \varepsilon_p + s_p \\
&x \in X \ , \ s_i \in R^+
\end{aligned}$$ رابطه(۲۲)

- گام ششم:

در نهایت جواب‌های پارتویی یافته شده گزارش می‌شود.

۷- مثال عددی و اعتبارسنجی مدل

در این بخش یک مثال زمان بندی را مورد بررسی قرار می‌دهیم.برای تولید پارامترهای هزینه، زمان اجرا و اثرات زیست محیطی فعالیت های مسأله داده‌های واقعی مربوط به یک پروژه در صنعت نفت آورده شده است. جدول زیر مقادیر مربوط به هزینه، زمان اجرا و اثر زیست محیطی و همچنین پیش‌نیازهای هر فعالیت را نشان می‌دهد.ضمن این که نمودار روابط پیش نیازی پروژه به صورت زیر می‌باشد.



شکل شماره(۱):گراف مربوط به شبکه داده های مسأله

جدول شماره (۱):داده های مثال عددی برگرفته از یک پروژه در صنایع نفت و گاز

شماره فعالیت	حالت اجرایی ۱			حالت اجرایی ۲			حالت اجرایی ۳			حالت اجرایی ٤			پیش نیاز	نوع رابطه پیش نیازی
	Ci1	Di1	Pi1	Ci2	Di2	Pi2	Ci3	Di3	Pi3	Ci4	Di4	Pi4		
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	–	–	–	–	–	–	–	–
۲	٥٠٣٩	٤	۱۷۲۸	٤٩٢٤	٤	۲۹۳۸	–	–	–	–	–	–	۱	SS
۳	۳٦۰	۲	۳۱۷	۲۹۷	۲	۳۹۹	–	–	–	–	–	–	۱	SS
٤	۸٤۳۳۲	٦	۹٥٤۱	۹۰۳۹۲	٥	۹۷۱٥	–	–	–	–	–	–	۳و۲	FS
٥	۷٦٦٥۰	۱۳	۹٦٤۷	۸٦۱۷٤	۸	۹۸۲۲	–	–	–	–	–	–	٤	SF
٦	۱٤٦۳٦	۱۱	۱٥۷۹۰	۱٦۷٥۸	۷	۱٥۹٦٤	–	–	–	–	–	–	٥	SF
۷	۲٥۹٥۹	٦	۹۱٥۲	٦٥۳۹۹	۱٤	۳٥٥۱۸	۱۲۷٥٤۲	٥	۳٥٥۱۸	–	–	–	٦	FS
۸	۲۷۹۷۰	۱۸	٤۱٥۲	۳٥٦٥۰	۱۰	٤۱٦٤	۲۷٥۰۸	۱٥	۱٥۰٥٦	۳٤۳٦٥	۸	۱٥۰٦۲	۷	FS
۹	۲۸۳٤۱	۱٦	۱۱۸	٤٥٦۱٦	۱۲	٥٤٤	۳٦٥٥٤	۸	۳۰۳۰	–	–	–	۷	SS
۱۰	٦٦٦٥۹	۳۱	٤۲۱۹	۲۳۳۰۲٤	۲۳	٦۱۱٦۳	–	–	–	–	–	–	۸	SS
۱۱	٤۰۰٦	۳	۲٥٦	۱۷٤٦	٤	۲٥٦	–	–	–	–	–	–	۹	FF
۱۲	۱۱۷۸٥۱	۲۱	۱۲۸۷۱	٦۹۲٥۳	۲۳	٦۷٤۷	–	–	–	–	–	–	۱۱	FF
۱۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	–	–	–	–	–	–	۱۰و ۱۲	FF

برای تعیین وزن هر فعالیت (تعیین مقادیر پارامتر w_i) تعداد فعالیت های پس نیاز فعالیت i یا به عبارتی دیگر تعداد فعالیت هایی که فعالیت i به طور مستقیم و غیرمستقیم پیش‌نیاز آنها است محاسبه می‌گردد. سپس با نرمالیزه کرده این مقادیر وزن مربوط به هر فعالیت به دست می‌آید. در مثال مورد بررسی وزن هر فعالیت به صورت زیر خواهد بود.

جدول شماره شماره (۲): وزن فعالیت های مسأله

شماره فعالیت	تعداد فعالیت های پس‌نیاز	وزن هر فعالیت
۱	-	-
۲	۱۰	۰.۱۶۹
۳	۱۰	۰.۱۶۹
۴	۹	۰.۱۵۳
۵	۸	۰.۱۳۶
۶	۷	۰.۱۱۹
۷	۶	۰.۱۰۲
۸	۲	۰.۰۳۴
۹	۳	۰.۰۵۱
۱۰	۱	۰.۰۱۷
۱۱	۲	۰.۰۳۴
۱۲	۱	۰.۰۱۷
۱۳	-	-

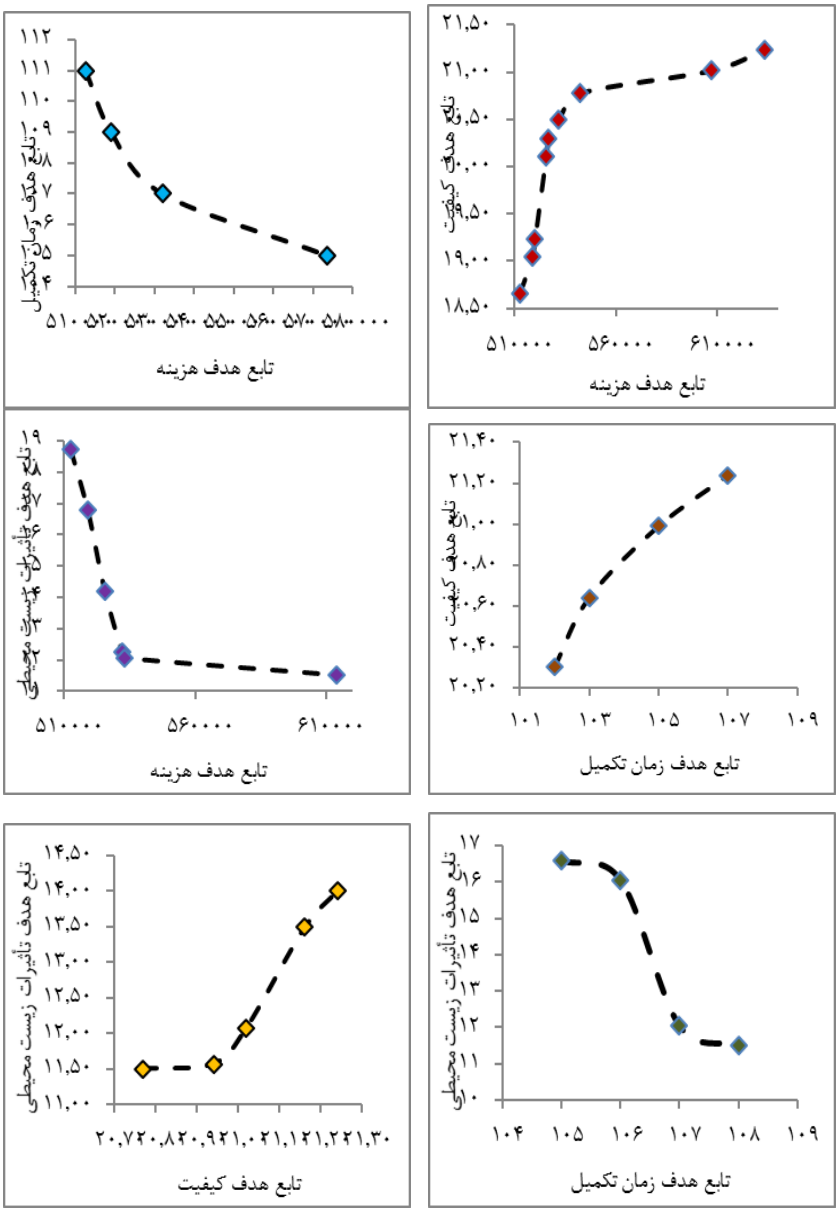
یکی از راه‌های ساده و کاربردی در تبدیل کیفیت به کمیت استفاده از شاخص‌های مختلف جهت ارزیابی کیفیت است.از این رو در اینجا نیز کیفیت هر فعالیت بر اساس تعدادی شاخص تعیین می‌گردد که مقادیر آن برای هر فعالیت در هر حالت متفاوت است. مجموعه وزنی این شاخص‌ها کیفیت کلی پروژه را نشان می‌دهد. برای تعیین مقادیر شاخص‌ها از توزیع یکنواخت گسسته در بازه [۵۰ و ۵] استفاده شده است که برای مثال مورد بررسی به صورت جدول زیر خواهد بود.

جدول شماره(۳):شاخص های مختلف ارزیابی کیفیت فعالیت های پروژه در مسأله نمونه

شماره فعالیت	حالت اجرایی ۱		حالت اجرایی ۲		حالت اجرایی ۳		حالت اجرایی ۴	
	شاخص ۱	شاخص ۲	شاخص ۱	شاخص ۲	شاخص ۱	شاخص ۲	شاخص ۱	شاخص ۲
۱	۰	۰	۰	۰	–	–	–	–
۲	۸	۴۹	۱۰	۳۸	–	–	–	–
۳	۳۵	۱۰	۳۴	۶	–	–	–	–
۴	۱۸	۳۹	۹	۱۲	–	–	–	–
۵	۲۲	۲۹	۵۰	۱۴	–	–	–	–
۶	۲۱	۸	۲۰	۲۶	–	–	–	–
۷	۱۳	۲۱	۴۰	۱۹	۴۶	۳۹	–	–
۸	۱۱	۷	۸	۴۳	۳۲	۵	۹	۴۶
۹	۴۸	۲۵	۵	۲۳	۲۵	۳۸	–	–
۱۰	۴۸	۱۲	۳۸	۷	–	–	–	–
۱۱	۴۵	۴۳	۹	۴۲	–	–	–	–
۱۲	۹	۱۰	۱۵	۳۶	–	–	–	–
۱۳	۰	۰	۰	۰	–	–	–	–

تناقض بین توابع هدف:

برای نشان دادن تناقض بین توابع هدف هر بار با اجرای مسأله با دو تا از تابع هدف‌ها و کنار گذاشتن دو تابع هدف دیگر جواب‌های پارتوی مسأله را مورد بررسی قرار می‌دهیم. نمودارهای زیرتناقض بین هر دو تابع هدف را نمایش می‌دهد. با توجه به این که سه تابع هدف اول (هزینه)، دوم (زمان تکمیل) و چهارم (تأثیرات زیست محیطی) از نوع مینیمم سازی و تابع هدف سوم (کیفیت پروژه) از نوع ماکزیمم سازی است مشاهده می‌شود که در هر نمودار با بهبود در مقدار یکی از توابع هدف مقدار تابع هدف دیگر بدتر شده است که به منزله وجود تناقض بین هر دو تابع هدف است به این معنی که هیچ کدام نمی‌تواند به جای دیگری به کار گرفته شود.



شکل شماره(۲):نمایش تناقض بین توابع هدف برای مسأله نمونه

-جواب‌های پارتوی مسأله مورد بررسی:

جدول شماره (٤): جواب‌های پارتوی مسأله

تابع هدف هزینه	تابع هدف زمان تکمیل	تابع هدف کیفیت	تأثیرات زیست محیطی
۵۷۱۵۶۰	۱۰۵	۱۹.۵۱	۱۶.۸
۶۴۵۸۱۸	۱۰۶	۱۹.۸۵	۱۶.۲۷
۵۳۲۱۲۰	۱۰۷	۱۹.۸۶	۱۲.۲۶
۶۱۳۸۲۸	۱۰۸	۲۰.۷۷	۰۱۱.۵
۵۲۵۴۱۵	۱۰۹	۰۱۸.۸	۱۶.۷۹
۶۰۶۲۴۶	۱۱۰	۲۰.۸۴	۱۳.۶۵
۵۱۲۶۸۳	۱۱۱	۱۸.۶۶	۱۸.۷۳

جدول شماره (۵): بهترین،بدترین و میانگین جواب های پارتوی مسأله

	تابع هدف هزینه	تابع هدف زمان تکمیل	تابع هدف کیفیت	تابع هدف تأثیرات زیست محیطی
بهترین مقدار تابع هدف	۵۱۲۶۸۳	۱۰۵	۲۰.۸۴	۰۱۱.۵
بدترین مقدار تابع هدف	۶۴۵۸۱۸	۱۱۱	۱۸.۶۶	۱۸.۷۳
میانگین مقادیر تابع هدف	۵۷۲۵۲۴.۳	۱۰۸	۶۱۹.۷	۱۵.۱۴

۸- تحلیل حساسیت

۱-۸- ارزیابی تأثیرگذاری تابع هدف زمان تکمیل بر سیستم

برای بررسی تأثیرگذاری تابع هدف زمان تکمیل بر سیستم، مسأله را با حذف این تابع هدف مورد بررسی قرار می‌دهیم. بهترین و بدترین مقادیر توابع هدف و همچنین مقدار میانگین جواب‌های پارتو در جدول زیر آورده شده است. با حذف تابع هدف زمان تکمیل مقادیر تابع هدف هزینه بهبود یافته است. با توجه به این که با حذف تابع هدف زمان تکمیل بدون در نظر گرفتن محدودیت زمان، مسأله آزادی عمل بیشتری جهت انجام پروژه‌ها و زمان بندی پروژه با هزینه کمتر دارد. در مورد تابع هدف کیفیت با حذف تابع هدف دوم، بازه

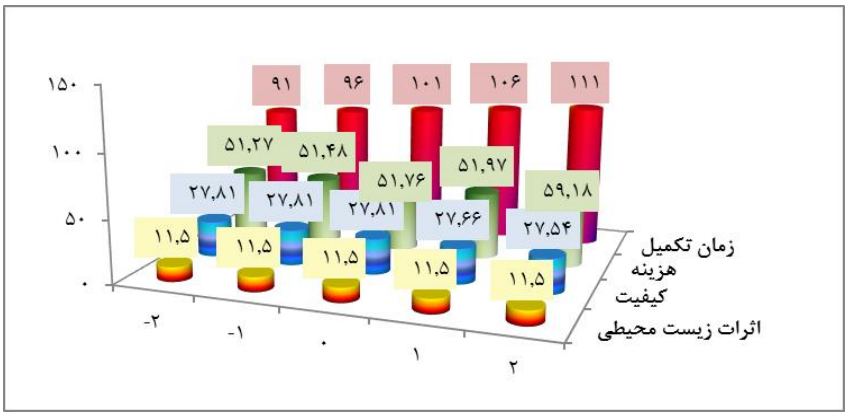
تغییرات تابع هدف کیفیت بزرگ‌تر شده است و مقادیر تابع هدف نتایج بهتری را نشان می‌دهد. مقادیر تأثیرات زیست محیطی تغییر قابل توجهی را بروز نمی‌دهد و به نظر می‌رسد حذف تابع هدف زمان تکمیل بر تأثیرات زیست محیطی اثر چندانی نداشته است. با توجه به این که تأثیرات زیست محیطی هر فعالیت در دوره‌های زمانی مختلف ثابت فرض شده است این مسأله توجیه پیدا می‌کند.

جدول شماره(٦): ارزیابی تأثیر گذاری تابع هدف زمان تکمیل پروژه بر سیستم

	تابع هدف هزینه	تابع هدف کیفیت	تابع هدف تأثیرات زیست محیطی
بهترین مقدار تابع هدف	۵۱۰۵۵۹	۲۱,۵۹	۱۱,۵۰
بدترین مقدار تابع هدف	۶۳۵۵۸۷	۱۸,۴۱	۱۸,۷۲
میانگین مقادیر تابع هدف	۵۵۵۰۲۴,۱	۲۰,۰۸	۱۴,۹۵

۲-۸-تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات زمان‌های اجرا

جهت ارزیابی تأثیر تغییر زمان اجرا بر توابع هدف، با افزایش و کاهش ۱ و ۲ واحدی زمان‌های اجرای تمام فعالیت ها، بهترین مقادیر توابع هدف برای این ۵ حالت مختلف بدست آمده است. شکل زیر تغییرات توابع هدف را نسبت به افزایش و کاهش زمان‌های اجرا نمایش می‌دهد. همان طور که از شکل مشخص است با افزایش زمان‌های اجرا، زمان تکمیل مسأله افزایش می‌یابد. به ازای هر واحد کاهش در زمان اجرا ۵ واحد از زمان تکمیل کاسته و به ازای هر واحد افزایش در زمان اجرا ۵ واحد به زمان تکمیل افزوده می‌شود که این مقدار بسته به مقادیر تقدم و تأخر می‌تواند تغییر کند. با افزایش زمان‌های اجرا تابع هدف هزینه نیز افزایش می‌یابد. با توجه به این که با افزایش زمان‌های اجرای مسأله با محدودیت مواجه شده و برای این که روابط پیش نیازی و کمترین و دیرترین زمان شروع را رعایت کند هزینه بیشتری را متحمل می‌شود. با افزایش زمان‌های اجرا تابع هدف کیفیت و اثرات زیست محیطی تغییر محسوسی نمی‌کند.



شکل شماره(۳): تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات زمان‌های اجرا

بحث و نتیجه گیری و پیشنهادها

در این مطالعه یک مدل ریاضی برای مسأله زمان بندی پروژه با توابع هدف؛ هزینه–زمان–کیفیت پروژه و اثرات زیست محیطی با محدودیت منابع و شیوه های مختلف اجرای فعالیت ها ارائه شده است. نوآوری این مطالعه از یک طرف، در برقراری موازنه بین چهار تابع هدف؛ هزینه، زمان، کیفیت و اثرات زیست محیطی و از طرف دیگر در نظر گرفتن روابط پیش نیازی کلی و منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر به طور هم زمان می باشد. برای اعتباریابی مدل یک مثال زمان بندی از قسمتی از یک پروژه در صنایع نفت و گاز با ۱۳ فعالیت و روابط پیش نیازی و ارتباطات زمانی مشخص از چهار نوع پایان به شروع، شروع به شروع، شروع به پایان و پایان به پایان را مورد بررسی قرار داده‌ایم. برای تعیین وزن هریک از فعالیت ها، مقدار نرمالیزه شده تعداد فعالیت های پس نیاز هر فعالیت به عنوان وزن آن فعالیت در نظر گرفته شده است. همچنین برای تبدیل معیار کیفیت به کمیت با به کارگیری شاخص‌های کیفیت هر فعالیت با مقادیر کمی مشخص شده است. پس از مشخص شدن مقادیر پارامترها، از رویکرد محدودیت اپسیلون توسعه یافته برای رویارویی با مسأله چندهدفه استفاده شده و پس از بررسی تناقض بین توابع هدف و حل مدل، جواب‌های پارتو که بهترین تعامل را بین توابع هدف برقرار می‌کند، برای مسأله مورد بررسی ارائه شده است.سپس برای بررسی تأثیرگذاری تابع هدف زمان تکمیل پروژه بر سیستم، مسأله با حذف این تابع هدف مورد تحلیل قرار گرفته است که نتایج نشان می‌دهد با حذف تابع هدف زمان، در دو تابع هدف هزینه و کیفیت بهبود حاصل شده ولی حذف آن تأثیر قابل ملاحظه ای بر تابع هدف

اثرات زیست محیطی نداشته است.همچنین یک تحلیل حساسیت روی زمان‌های اجرای فعالیت ها انجام شده که طی آن کاهش و افزایش زمان‌های اجرا بر توابع هدف مورد بررسی قرار گرفته است. طبق نتایج بدست آمده با افزایش زمان‌های اجرا دو تابع هدف هزینه و زمان تکمیل با افزایش روبرو بوده و دو تابع هدف دیگر تغییرات محسوسی را بروز نمی‌دهند.

مدل ارائه شده در این مقاله بر خلاف مدل معرفی شده در مطالعه حاجی آخوندی و همکاران (۱۳۹۶) که صرفا به موازنه دو فاکتور زمان و هزینه پرداخته اند به چهار فاکتور مهم (زمان، هزینه، کیفیت و اثرات زیست محیطی) توجه داشته است.برای شیوه های اجرای هر فعالیت در این مقاله از چند حالته بودن استفاده گردیده است که با مطالعه سوندا[1] و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد.

در این پژوهش منابع به کار رفته در پروژه در دو دسته منابع تجدید پذیر و تجدیدناپذیر دسته بندی گردیده که از این حیث با مطالعه موریتیبا[2] و همکاران(۲۰۱۸)همراستا و با مطالعه استفان کرتر[3] و همکاران(۲۰۱۶)واگراست.

از منظر پیش نیازی فعالیت ها در این مطالعه از پیش نیازی کلی بهره گرفته شده که از این منظر با مطالعه محمد العباسی[4] و همکاران(۲۰۱۶) که روابط پیش نیازی را به صورت جزئی مطرح کرده اند همخوانی ندارد و به عبارتی دیگر در این مطالعه با تقویت روابط پیش نیازی جزئی به پیش نیازی کلی به مسائل دنیای واقعی نزدیکتر شده ایم.

به منظور انجام تحقیقات آتی در این زمینه در نظر گرفتن هر یک از پارامترهای مسائل زمان بندی پروژه در شرایط عدم قطعیت و همچنین به کارگیری روش های دیگری برای حل مسأله را می توان پیشنهاد داد.ضمن این که با طرح مثالی در ابعاد بزرگ می توان کاربرد الگوریتم های فراابتکاری مختلف را در حل این مدل مورد سنجش قرار داد.

تقدیر و تشکر

این مقاله از رساله دکتری حسینعلی حیدری دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحدکرمانشاه استخراج شده است و نگارندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از شرکت ملی

1.Sonda
2.Muritiba
3.Stefan kreter
4.Mohammed S. El-Abbasy

گاز ایران به خاطر حمایت‌های مالی و معنوی جهت انجام امور این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافعی برای اعلام ندارند.

References

Abtahi, A. A., & Feizi, K. M. (2012). The Project Scheduling Model with a Multi-Objective Combined Approach of Time-Cost-Quality-Risk Balance and Multimode Activities Based on an Algorithm. Phd Thesis, Tehran: Allameh Tabatabaei University, (In Persian).

Babak, H., & Tabrizi, S. F. Gh. (2016). A Robust Bi-Objective Model for Concurrent Planning of Project Scheduling and Material Procurement. Computers & Industrial Engineering, 98, 11-29.

Bahrami, S., Faroughi, H., & Arkat, J. (2014). Multi-Objective Project Scheduling Problem Considering Resource Constraints for Multi Activity and Time Dependent. Master Thesis, Kurdistan: University of Kurdistan, (In Persian).

Behrouz, A., Karimi, H., Rahimi, A., & Khalili, S. (2015). Project Scheduling with Limited Resources Using an Efficient Differential Evolution Algorithm. Journal of King Saud University Engineering Sciences, 27, 176-184.

Bernardo, F. Almeida, I. C., & Francisc, G. (2016). Priority-Based Heuristics for the Multi-Skill Resource Constrained Project Scheduling Problem. Expert Systems With Applications, 57, 91-103.

Eydi, A., Faroughi, H., & Ghobadi, F. (2016). An Introduction of Two Innovative Methods for the Multi-Objective Problem of Time-Cost Balance-Project Quality in a Discrete State with Generalized Pre-Constrained Constraints. Journal of Industrial Engineering and Management Sharif, 1, 35-46, (In Persian).

Farouqhi, H., & Bahrami, S. (2014). Problem of Project Scheduling Considering the Resource Constraints for Multi-Mode and Time-Dependent Multi-Objective Activities. The First National Conference on Industrial Engineering Research. Hamedan: Tolo Farzin Science and Technology Company, (In Persian).

Farsijani, H., Rad, A., Sadeghi, A., & Ghasemi, B. (2015). Solving the Scheduling Problems of Information Technology Projects for Various Objectives of the Multi-Objective Honey Multi-Objective Inversion Algorithm, 2, 65- 95, (In Persian).

Fili, H., Namazi, S., Baitlou, H., & Shamloo Fard, M. (2015). Project Scheduling Problem, Considering the Limitation of Single-Object Resources Using Combined Frog-Based Mimetic Algorithm. Fourth National Conference and 2nd International Conference on Accounting and Management, (In Persian).

Ghafouri, S., & Taghizadeh Yazdi, M. (2016). A Multi-Objective Mathematical Model for the Problem of Project Scheduling under the Conditions of Resource Constraints and Its Solution Using Simulation-Based Firefighting and Refrigeration Superconducting Algorithms. Journal of New Research In Decision Making, 1(4), 117-142, (In Persian).

Haji Akhundi, A., Takkoli, G., Akhavan, P., & Manteghi, M. (2017). Problem Solving the Project Scheduling Problem with the Goal of Minimizing the Completion Time of the Project with Resource Constraints with the Frog Algorithm. The Industrial Management quarter of the Faculty of Humanities, 12(40), 97-112, (In Persian).

Jafari Eskandari, M., & Farahmand Nazar, M. (2015). Solving the Problem of Scheduling Oil Projects Under the Conditions of Resource Constraints Using Fire Fight Algorithm. Scientific and

Promotional Journal of Exploration and Production of Oil and Gas, 131, 40-46, (In Persian).

Jing, X., Zhou, W., Hong, X., Jian-Chao, T., & Yong, T. (2015). Integration of Electrom Agnetism with Multi-Objective Evolutionary Algorithms for RCPSP. European Journal of Operational Research.

Keramati, A., Esmaeilian, M., & Rabieh, M. (2015). Presenting a Mathematical Model for Project Scheduling with Resource Constraints in Multi-Mode and Taking into Account Discounted Cash Flows. Industrial Management Studies, 39, (In Persian).

Manouri, M. (2009). Environmental Impacts of Development Projects. Tehran: Islamic Azad University, Science and Research Branch, (In Persian).

Martin, T., Anulark, N., & Rainer, K. (2017). A Hybrid Metaheuristic for Resource-Constrained Project Scheduling with Flexible Resource Profiles. European Journal of Operational Research, 1-36.

Mohammed, S., El-Abbasy, A. E., & Tarek, Z. (2016). MOSCOPEA: Multi-Objective Construction Scheduling Optimization Using Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm. Automation in Construction, 71, 153-170.

Muritiba, A. E. F., Rodrigues, C. D., & Francíio Araùjo, D. C. (2018). A Path-Relinking Algorithm for the Multi-Mode Resource-Constrained Project Scheduling Problem. Computers and Operations Research, 92,145-154.

Naderi Pour, M. (2003). Project Planning and Control. Tehran: Planning and Budget Organization Publication, (In Persian).

Paidar, F., Ashtiani, B., & Tavakouli Moghadam, R. (2016). Optimization of Time-Cost-Source of the Problem. Project Scheduling with Limited Resources and Discounted Cash Flows Using Multi-Objective Sarch Algorithm. International Journal of

Industrial Engineering Production Management, 1(28), 2-14, (In Persian).

Ripon, K., Chakrabortty, R. A. S., Daryl, L., & Essa, M. (2016). Multi-Mode Resource Constrained Project Scheduling Under Resourcedisruptions. Computers and Chemical Engineering88,13-29.

Sadeghi, A. S., Graaghaghloo, Z., & Rezvanpour, B. (2016). Problem Solving the Project Sheduling Problem with Multi-mode Resource Limitation with Multi-Mode by Bee Algorithm. Industrial Management Quarter of the Faculty of Humanities, 34, 1-18, (In Persian).

Sadeghi, A., Safi Samghabadi, A., & Barzinpour, F. (2011). Problem Solving the Problem of Project Scheduling with Limited Multimode Resources (MRCPSP) with Bee Algorithm. Industrial Management Journal, 15, 1-19, (In Persian).

Safari, H., & Faqih, A. (2015). Solving Scheduling Problems with Resource Restrictions (RCPSP) using the Modified Colonial Competitiveness Algorithm (DICA). Industrial Management Journal, 7(2), 333-364, (In Persian).

Shafi Khani, A., Najafi, A., & Akhavan Niaki, S. (2014). Simultaneous Scheduling of Project and Equipment Planning with Evolutionary Algorithms. Industrial Management Studies Journal. 12(32), 21-47, (In Persian).

Shahriar, A., Karapetyan, D., Ahmed Kheiri, E., & Andrew, J. P. (2016). Combining Monte-Carlo and Hyper-Heuristic Methods for the Multi-Mode Resource-Constrained Multi-Project Scheduling Problem. Information Sciences, 373, 476-498.

Sonda, E., Philippe, F., & Taïcir, L. (2017). Multi-Objective Algorithms to Multi-Mode Resource-Constrained Projects under Mode Change Disruption. Computers & Industrial Engineering, 106, 161-173.

Stefan, K., Julia, R., & Jürgen, Z. (2016). Models and Solution Procedures for the Resource Constrained Project Scheduling Problem with General Temporal Constraints and Calendars. European Journal of Operational Research, 251, 387-403.

Taghizadeh Yazdi, M., & Ghafouri, S. (2016). A Mathematical Model for the Problem of Cost-Time-Effect-Environmental Balance and Its Solution with Particle and Firefighting Metamorphic Algorithms. Industrial Management View, 224, 97-121, (In Persian).

Tavakoli Moghadam, R., & Sadeghi, M. (2013). An Integrated Electromagnetic Algorithm for the Problem of Project Scheduling with Limited Resources and Multimode Activities. Journal of Production and Operations Management, 4(1), 39-60, (In Persian).

Walter, J. G. (2015). Bi-Objective Multi Mode Project Scheduling Under Risk Aversion.European Journal of Operational Research,246,421-434.

Zahedi, S., & Najafi, G. (2006). Conceptual Development of Sustainable Development. Teacher of Humanities, 10(4), 43-76, (In Persian).

Zapata, J. C., Hodge, B. M., & Reklaitis, G. V. (2008). The Multimode Resource Constrained Multi Project Scheduling Problem: Alternative Formulations. AIChE J., 54(8), 2101-19.

Zhu, G., Bard, J. F., & Yu, G. (2006). A Branch-and-Cut Procedure for the Multi Mode Resource-Constrained Project-Scheduling Problem. Informs J. Comput, 18(3), 377–90.