Archive of SID

2th International Conference on Industrial Management
19 & 20 April 2017
دومیـــن کنفرانس بین المللی مدیریـــت صنعتـــی
(30 و 31 فروردین 1396)

تسطیح و بهینه سازی زمانبندی شبکه پروژه با در نظر گرفتن فعالیتهای چندگانه و منابع چندگانه نامحدود با استفاده از الگوریتم فراابتکاری MOPSO

مائده حسین زاده[1]، احمد افشاری[2]

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه شمال آمل؛ hosseinzadeh68@gmail.com
[2]استادیار، دانشگاه شمال آمل؛afshri@gmail.com

چکیده

امروزه لزوم برنامه ریزی مناسب به منظور بر آورد صحیح زمان و هزینه ی انجام پروژه و میزان منابع مورد نیاز در یک پروژه که تاثیر مستقیم بر اجرا، اداره و بهره برداری مناسب از پروژه دارند بر کسی پوشیده نیست. به طور کلی مدیریت و برنامه ریزی فعالیت ها و منابع مورد نیاز در یک پروژه، نیازمند تحلیل های متنوعی است که یکی از آنها، مدلسازی و تخمین صحیح هزینه و زمان اتمام و تسطیح منابع می باشد. این امر در آن دسته پروژه هایی که دارای فعالیت ها و منابع چندگانه و شبکه پیچیده ای می باشند بیشتر نمود پیدا می کند. در این مقاله سعی شده است تا با ارائه مدل چند هدفه مینیمم سازی، هزینه استفاده از منابع و زمان در شرایط منابع چند حالته نامحدود و فعالیت های چند حالته مشکلات موجود در این زمینه را مرتفع کنیم. جهت حل مدل مذکور از الگوریتم های ε-constraint و MOPSO استفاده شده است. در نهایت نتایج حاصل از روش حل الگوریتم دقیق و فراابتکاری را با هم مقایسه کرده که در این راستا کارائی چشمگیر الگوریتم فراابتکاری در حل این قبیل مسائل در مقیاس بزرگتر قابل مشاهده بوده و در ادامه پیشنهاداتی جهت تحقیقات آینده ارائه شده است.

کلمات کلیدی

بهینه سازی چند هدفه، تسطیح منابع نا محدود چند حالته ، فعالیت چند حالته، الگوریتم ε-constraint، الگوریتم فراابتکاری MOPSO

Leveling and Optimization of network scheduling multiple activities and projects by taking unlimited multiple sources using Algorithm MOPSO

Maedeh hosseinzadeh, Ahmad afshari

ABSTRACT

Today, the need for proper planning in order to correctly estimate the time and cost of the project and The resources needed in a project that has a direct impact on performance, handling and proper operation of the project is obvious. Overall management and planning activities and resources needed in a project requires a different analysis that One of them, modeling and resource leveling is complete and accurate estimation of cost and time. This applies to those projects that have multiple and complex network of activities and resources are reflected more. In this article we have tried to solve the problems in this area with present multi-objective minimization model, cost effective use of resources and time resources in unlimited multimode and multimode activities.

In order to solve the model used from E-constraint solving algorithms and MOPSO model. finally The results of the meta-heuristic solution methods and precise algorithms have been compared that In this regard snappy Algorithm for the solution of such problems were visible on a larger scale and The following suggestions for future research are presented.

Keywords

Multi-objective optimization, unlimited resource leveling multi-mode, multi-mode active, the ε-constraint algorithm, MOPSO algorithm

www.SID.ir

Archive of SID

1- مقدمه

امروزه لزوم برنامه ریزی مناسب به منظور برآورد صحیح از زمان و هزینه انجام پروژه و میزان منابع مورد نیاز در یک پروژه که تاثیر مستقیم بر اجرا، اداره و بهره برداری مناسب از پروژه هایی همانند احداث سد، ساختن بزرگراه و غیره دارند بر کسی پوشیده نیست. به طور کلی مدیریت و برنامه ریزی فعالیت ها و منابع زمان پروژه و میزان زمان لازم برای استفاده از منابع است.

از دیگر عوامل که نیازمند توجه برنامه ریزان پروژه ها به طور کلی و پروژه های ساخت به طور خاص است، مسئله نوسانات در مصرف منابع می باشد. در سالهای اخیر مسئله تسطیح منابع با هدف کم کردن مقدار نوسان در مصرف دوره ای از منابع می توان به شرکت های چندپروژه ای اشاره کرد. هر چه نوسانات دوره ای تقاضای منابع برای هریک از پروژه ها بیشتر باشد، نیاز به نقل و انتقالات بیشتر منابع بوجود می آید که خود دربرگیرنده هزینه است.

تسطیح و تخصیص منابع از وظایف اصلی مدیریت پروژه می باشد. منابعی همچون مواد اولیه، نیروی انسانی، تجهیزات، اطلاعات و زمان به عناصر مورد نیاز برای تکمیل اجرای یک پروژه اطلاق می گردد. هدف از تسطیح منابع این است که تا حد امکان مصرف منابع در دوره های مختلف به هم نزدیک شوند تا نوسانات بکارگیری منابع حداقل شود. همچنین تسطیح منابع را می توان تلاشی به منظور نائل شدن به توزیع بهتر از بکارگیری موثر منابع بیان نمود.

ساختار این مقاله بدین صورت می باشد که در ابتدا مقدمه ای راجع به مسئله بیان شده و با مرور ادبیات موضوع مقاله های گذشته شکاف تحقیق و نوآوری در این مقاله نسبت به مطالعات قبلی آشکار می گردد. سپس مدلی چندهدفه مبنی بر تسطیح منابع نامحدود و انجام پروژه در کمترین زمان ممکن ارایه می شود. در قست بعد به منظور نشان دادن کارائی مدل و روش حل توسط فراابتکاری، یکبار آنرا با الگوریتم دقیق ε-constraint و بار دیگر با روش MOPSO حل کرده، جواب های حاصل از الگوریتم های مذکور را با یکدیگر مقایسه و در نهایت پیشنهاداتی جهت مدل و راهکارهای تحقیقات آتی ارائه خواهد شد.

2- ادبیات موضوع

2-1- *زمانبندی پروژه*

منظور از یک برنامه یا جواب در اینجا یک برنامه زمانبندی برای فعالیت پروژه است. روشهای تولید جواب در واقع سعی دارند تا با توسعه مرحله به مرحله برنامه های جزئی[1]، یک جواب موجه ایجاد کنند. یک جواب جزئی، جوابی است که در آن تنها زیر مجموعه ای از فعالیت ها و نه تمام آنها زمانبندی شده اند. پیش از هر چیز فرض می شود که شبکه پروژه به صورت AON نمایش داده می شود و فعالیت ها به صورت توپولاجیک شماره گذاری شده اند. به بیان دیگر در شبکه فعالیت i<j می باشد اگر و تنها اگر فعالیت iام پیشنیاز فعالیت jام باشد.

2-2- *تسطیح منابع*

در کلیه مطالعات گذشته، اگر چه هدف تسطیح منابع، کارائی و اثر بخشی بیشتر منابع موجود بوده و مسأله همواره با توجه به محدودیت زمان انجام پروژه، فرموله شده است، ولی در هیچ یک از کارهای انجام گرفته، عوامل بیرونی که تأثیرگذار بر زمان انجام فعالیتها می باشند مورد توجه نبوده است.

مساله تسطیح منابع از این جهت که سعی در حداقل نمودن نوسانات منابع انسانی و تجهیزات در طی زمان دارد اهمیت می یابد. بخصوص در پروژه هایی که بیکار ماندن منابع(انسانی یا تجهیزات) و یا بالا بودن بار کاری منابع هزینه بر است، این مساله مهم تلقی

[1] Partial schedules

www.SID.ir

Archive of SID

می شود. اگر چه هدف تسطیح منابع، کارائی و اثر بخشی بیشتر منابع موجود بوده و مسأله همواره با توجه به محدودیت زمان انجام پروژه، فرموله شده است، ولی در هیچ یک از کارهای انجام گرفته، عوامل بیرونی که تأثیرگذار بر زمان انجام فعالیتها می باشند مورد توجه نبوده است (بورک[۲]، 2013). طبق نظر توربان و دیگران [۳]چنین مسایلی، از انواع مسایل بهینه یابی ترکیبی از نوع NP-hard محسوب می شوند، به ویژه برای مسایلی که دارای چند تابع هدف و محدودیت های نامعین می باشند.

لیو و چین[۴] نیز در تحقیقات خود نشان دادند که مدل های تسطیح منابع به ویژه در توابع چندگانه از نوع NP-hard می باشد. بنابراین برای حل این نوع مسایل در اندازه های بزرگ با روش های بهینه یابی معمول، میسر نمی باشد، لذا از الگوریتم های فرا ابتکاری یرای این نوع مساله استفاده می گردد (سهرابی & همکاران, 2004).

مثالهایی از کاربردهای عملی این مساله در پروژه های راه سازی و ساختمان سازی دولابی[۵] و همکاران(2011) و هون جون و والریز [۶] (2011) و هاریگا و السایق[۷](2010)، در زمانبندی پرسنل تعمیراتی و پرسنل کلیدی نیروگاه های اتمی تولید بر ریک[۸] و همکاران (2011) و پروژه های حوزه فناوری اطلاعات (گتر[۹] و همکاران (2011)) در ادبیات موضوع دیده میشود.

2-3-الگوریتم دقیق ε-constraint

روش محدودیت اپسیلون یکی از رویکردهای شناخته شده برای مواجه با مسائل چندهدفه است که با انتقال تمامی توابع هدف به جز یکی از آنها در هر مرحله به محدودیت به حل این نوع مسائل می پردازد. مرز پارتو می تواند با روش قید ε ایجاد شود(بروب و همکاران[۱۰]، 2009)

$\min f_1(x)$
$x \epsilon X$
$f_2(x) \leq \varepsilon_1$
$f_2(x) \leq \varepsilon_2$
...
$f_n(x) \leq \varepsilon_n$

گامهای روش ε-constraint به صورت زیر است:

1-یکی از توابع هدف را به عنوان هدف اصلی انتخاب کنید.

2-هر بار با توجه به یکی از توابع هدف، مسئله را حل کنید و مقادیر هر تابع هدف را بدست آورید.

3-بازه بین دو مقدار بهینه توابع هدف فرعی را به تعداد از قبل مشخص تقسیم بندی کنید و یک جدول مقادیر برای $\varepsilon_2,\ldots, \varepsilon_n$ بدست آورید.

4-هر بار مسئله را با تابع هدف اصلی با هر یک از مقادیر $\varepsilon_2,\ldots, \varepsilon_n$ حل کنید.

5-جوابهای پارتوئی یافته شده را گزارش کنید.

---

[2] Burke
3 Turban and.Aronson
4 Liao and chin
[5] Doulabi
6 Heon Jun & El-Rayes
7 Hariga &El-Sayegh
[8] Rieck
[9] Gather
[10] Berube ,et al

www.SID.ir

Archive of SID

2-4-الگوریتم بهینه سازی ذرات

2-4 -2- بهینه سازی گروه ذرات

در بسیاری از کاربردهای بهینه سازی از این شبیه سازیها الهام گرفته شده است. در ادامه به مدل خاصی از بهینه سازی ها که از زندگی جانوران انبوه الهام گرفته است پرداخته میشود که بهینه سازی گروه ذرات یا PSO نام دارند.

اولین بار کندی و ابرهارت پس از شبیه سازی رفتار اجتماعی پرندگان روش بهینه سازی گروه ذرات را ارائه دادند(کندی و ابهارت[11]، 1995). اجزای یک گروه از یک رفتار ساده تبعیت مینمایند. بدین نحو که هر عضو از گروه از موفقیت سایر همسایگانشان تقلید می نماید. هدف از این الگوریتم ها این است که اعضای گروه در فضای جستجو حرکت نموده و در یک نقطه بهینه (مانند منبع غذا) جمع شوند. این رفتار شبیه فرضیه ای است که در تحقیق ویلسون[12](1975) ارائه شده است. روش PSO ریشه در کارهای رینولدس[13] (1987) دارد که یک شبیه سازی ابتدایی از رفتار اجتماعی پرندگان است. در این مدل رفتارهای ساده پیدا کردن نزدیکترین همسایه ها (تنظیم سرعت ها) پیاده شده است. این مدل پرندگان به صورت تصادفی در یک فضای جستجوی جدول پیکسلی قرار داده میشوند و در هر تکرار نزدیکترین همسایه ذره انتخاب شده و سرعت ذره با سرعت نزدیکترین همسایهاش جایگزین میشود. این عمل باعث میگردد که گروه خیلی سریع به منظور توسعه بیشتر این مدل مفهوم سردسته پرندگان[14] به مدل اضافه گردید که به شکل یک حافظه از بهترین موقعیتهای هر عضو و همسایگان آن عضو بود. بهترین موقعیت قبلی هر عضو بهترین موقعیتی است که آن عضو از ابتدای حیات خود تا بحال کسب نموده است. بهترین موقعیت همسایگی بهترین موقعیتی است که توسط همسایگان یک عضو ملاقات شده است. این دو بهترین موقعیت به عنوان نقاط جذب عمل می نمایند. با استفاده از یک مجموعه قوانین ساده می توان موقعیتهای اعضای گروه را به روز نمود. بدین صورت که عضو به یک نسبت به سمت دو موقعیت بهتر حرکت می نماید. به مرور زمان با تکرار الگوریتم اعضا حول یک هدف جمع می شوند. این رفتار حتی بدون هماهنگی سرعتها و فاکتور دیوانگی نتیجه بخش بود. مدل نهایی بهینه ساری گروه ذرات نامیده شد. به جای کلمه اعضا از کلمه ذره[15] استفاده شد گرچه ذرات بدون وزن و حجم هستند یک سرعت و شتاب به هرکدام از آنها نسبت داده می شود. کلمه گروه[16] اساسا بدلیل حذف هماهنگی سرعتها (که یکی از اجزای رفتار گروهی است) استفاده شده است و با تعاریف میلانوس[17] نیز هم خوانی دارد.

1-مؤلفه شناختی: yi(t)-xi(t) بهترین راه حلی است که یک ذره به تنهایی بدست میآورد.

2-مؤلفه اجتماعی 2: yˆi(t) – xi(t) بهترین راه حلی است که توسط کل گروه تشخیص داده میشود.

دو مدل اصلی برای الگوریتم PSOاستاندارد وجود دارد که محاسبه بردار سرعتشان بر اساس دو مولفه شناختی و اجتماعی میباشد. این دو مدل به نامهای lbest PSO و gbest PSO میباشند که تفاوت آنها در سایز همسایگی است که برای هر ذره در نظر گرفته میشود.

در این قسمت هدف حل یک مساله دشوار توسط روش دقیق با استفاده از نرم افزار لینگو[18] و اکسل[19] و تولید مرزکارا و حل همان مساله و تولید مرز کارا توسط MOPSO و مقایسه دو روش حل با یکدیگر می باشد. لازم به ذکر است با توجه به اینکه مسئله مذکور بر زمانبندی و تسطیح پروژه با منابع نامحدود چند حالته چندگانه تمرکز دارد لذا پیچیدگی و الگوریتم مورد نظر برای حل یکی از

---

[11] Kennedy & Eberhart
[12] Wilson
[13] Reynolds
[14] rooster
[15] Partice
[16] Swarm
[17] Milonas
[18] Lingo
[19] Excel

www.SID.ir

Archive of SID

مسائل و مشکلات موجود می باشد. ما در این پژوهش یک الگوریتم عمومی که برای تمامی مسائل ارائه شده بصورت مدل ریاضی در این پژوهش مطابقت دارد و به کار می رود ارائه خواهیم کرد.
مسئله مذکور دو هدفه و غیر خطی می باشد و ماهیت مسئله بدین صورت است که هر فعالیت دارای چند منبع بوده و در چند حالت امکان اجرا وجود دارد و نشاندهنده این است که مسئله NP-hard بوده و هر قدر پارامترهای مذکور بزرگتر باشند حل مسئله دشوارتر و زمانبرتر خواهد بود. در این پژوهش یک روش حل دقیق و یک روش فراابتکاری ارائه می شود. در ابتدا با استفاده از روش حل دقیق و حل مثالهایی با حجم کوچک کارایی مدل نشان داده شده و سپس با استفاده از روش فراابتکاری مسأله با پارامترهای بزرگتر جهت نشان دادن اینکه مسئله در حجم بالا قابلیت زیادی داشته و کارا می باشد حل می شود.

3- پیشینه تحقیق

لو[20] وهمکاران(2000) با استفاده از الگوریتم ژنتیک به حل مسأله تسطیح منابع می پردازند و بر اساس الگوریتم ارائه شده یک سیستم پشتیبان تصمیم گیری توسط واسط کاربر برای استفاده مدیران ساخت طراحی می کنند. سان و ماتیلا[21](2004) به بررسی تأثیر شکست فعالیت ها بر روی بهبود تابع هدف در مسأله تسطیح منابع می پردازند. کاستورا و سیراکولیسب[22](2009) به مسأله تخصیص منابع در پروژه ها می پردازند.آنها عملکرد سه بسته نرم افزار تجاری را که تسطیح منابع انجام می دهند با الگوریتم های موجود مقایسه می کنند.این نکته شایان ذکر است در اغلب بسته های نرم افزاری زمانبندی پروژه مسأله زمانبندی با وجود محدودیت منابع به اشتباه تسطیح منابع نام گرفته است.
پسندیده و همکاران[23] (2013) از روشهای MOPSO و ||-NSGA جهت بهینه سازی مدل EPQ چند محصوله دو هدفه با اقلام معیوب، دوباره کاری و محدودیت سفارش استفاده کردند. الگامال[24] (2014) یک استراتژی کنترلی منطق فازی مبنی بر MOPSO جهت سیستم های انرژی ارائه داد. نتایج حاکی از آن است که رویکردهای طراحی شده از کارایی بسیاری جهت یافتن عوامل بهینه برخوردارند. ولیدی[25] و همکاران (2013) سیستم توزیع یکپارچه کم کربن برای بخش تقاضای زنجیره تامین با استفاده از رویکرد راه حل بهینه ساز مبتنی بر MOPSO که توسط DOE هدایت شده است استفاده کردند. لالوانی و همکاران[26] (2013) مطالعه جامعی بر روی کاربردهای الگوریتم MOPSO انجام دادند. افشار و شجاعی[27] (2013) کالیبراسیون چندهدفه مدلسازی کیفیت سد آب را با استفاده از MOPSO انجام دادند. نتایج حاکی از آن است که رویکرد پیشنهادی ممکن است نسخه ی جدیدی از تمامی راه حلهایی ممکن برای تصمیم گیری بهتر در انتخاب راه حل بهینه در جبهه پارتو را ارائه دهد. لئونگ و همکاران[28] (2014) استراتژی جدیدی را برای یافتن راهنماهای محلی مناسب در MOPSO یافتند. با بررسی عملکرد، الگوریتم پیشنهادی بسیار مناسبتر از دو الگوریتم معروف PSO عمل کرده است. سریواستاو و آگروال[29] (2015) سیستم کنترل موجودی را با استفاده از رویکرد ترکیبی MOPSO و

[20] Leu
[21] Son & Mattila
[22] kastora & sirakoulis
[23] Pasandideh et al.
[24] Elgammal
[25] Validi
[26] Lalwani et al.
[27] Afshar & Shojaei
[28] Leung et al.
[29] Srivastav & Agrawal

www.SID.ir

Archive of SID

TOPSIS بهینه سازی کردند. سهل آبادی و همکاران[30] (2016) از الگوریتم MOPSO جهت حل مدل چند هدفه برای حل مسئله تسطیح منابع با تخفیف استفاده کردند.

4- مدل پیشنهادی

مدل پیشنهادی"تسطیح منابع در شرایط منابع نامحدود، چندین حالت اجرا و با در نظر گرفتن امکان تخطی از افق برنامه ریزی" می باشد. در این مدل برنامه ریزی و زمانبندی پروژه می تواند فراتر از افق برنامه ریزی از پیش تعریف شده برود بدینصورت که جریمه‌ای برای هزینه‌های انجام پروژه در نظر گرفته می شود، لذا یک محدودیت اضافی و یک متغیر جدید باینری در این خصوص به مدل اضافه شده است. این فرض مدل را برای تولید زمانبندی های شدنی در دنیای واقعی آماده می کند.

4-1- *مدل ریاضی*

مدل ریاضی دو هدفه تسطیح منابع- کاهش زمان اجرای کل پروژه با در نظر گرفتن حالت‌های اجرای مختلف برای هر فعالیت و عدم محدودیت منابع و همچنین امکان تخطی از افق برنامه ریزی به فرم زیر خواهد بود:

$$\text{Min } Z_1=\sum_{k=1}^{R}\sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{N}\sum_{m=1}^{M_j}\left(c_{kmt}u_{jmt}x_{jmt}\right)^2+c_v.(y^+) \quad (4\text{-}1)$$

$$\text{Min } Z_2 = F_N \quad (4\text{-}2)$$

s.t.

$$\sum_{m=1}^{M_j}\sum_{t=1}^{T} X_{jmt}=1 \quad \forall j=1,...,N \quad (4\text{-}3)$$

$$S_i+\left(\sum_{m=1}^{M_j}\sum_{t=1}^{T} d_{im}.X_{imt}\right)+\gamma_{ij}\le S_j, \quad \forall i\in pred_j \quad (4\text{-}4)$$

$$F_j \ge S_j+\left(\sum_{m=1}^{M_j}\sum_{t=1}^{T} d_{jm}.X_{jmt}\right), \quad j=1,...,N \quad (4\text{-}5)$$

$$F_N-T=y^+-y^- \quad (4\text{-}6)$$

$$S_1=0 \quad (4\text{-}7)$$

$$S_i\ge 0, \quad i=2,...,N \quad (4\text{-}8)$$

$$t=1,...,T \quad m=1,...,M_i \quad X_{imt}\in\{0,1\}, i=1,...,N \quad (4\text{-}9)$$

$$y^-\ge 0, y^+\ge 0, \quad (4\text{-}10)$$

پارامترها

N تعداد فعالیت های پروژه (i,j=1,2,…,N)

M_m تعداد حالت های انجام فعالیت m ام (m=1,2,…,M)

T حد بالای زمان اتمام پروژه (t=1,2,…,T)

R تعداد منابع پروژه از نوع B (B=1,2,…,R)

C_{kmt} هزینه تهیه واحد منبع نوع k برای اجرای فعالیت در حالت m در زمان t

γ_{ij} تقدم / تاخر زمانی میان فعالیت i و فعالیت j در پروژه

[30] Sahl Abadi et al.

www.SID.ir

Archive of SID

d_{im} مدت زمان اجرای فعالیت i در حالت m

$PRED_i$ مجموعه فعالیت های پیش نیاز فعالیت i

U_{imt} مقدار منبع مورد استفاده فعالیت i در حالت m در زمان t

M عدد مثبت بزرگ

C_v هزینه هر واحد تخطی زمان خاتمه پروژه از حد بالای اتمام پروژه (T)

متغیرهای تصمیم

X_{imt} اگر فعالیت i در حالت m و در زمان t اجرا شود برابر با یک و درغیر اینصورت صفر می باشد.

S_i زمان شروع فعالیت i

F_i زمان خاتمه فعالیت i

Y اگر زمان خاتمه پروژه از T فراتر رود +y در غیر اینصورت -y است.

در مدل فوق تابع هدف شماره (3-1) مجموع هزینه های در اختیار گرفتن تمام منابع برای اجرای فعالیت ها در کل دوره زمانی برنامه ریزی و برای تمامی حالت های اجرای را به علاوه هزینه تخطی از افق زمانبندی نهایی پروژه را کمینه می نماید. تابع هدف (3-2) کل زمان پروژه را کمینه می کند. محدودیت شماره (3-3) تضمین می کند که هر فعالیت در تمام دروه برنامه ریزی و در تمام حالت های اجرایی فقط یکبار اجرا شود. محدودیت شماره (3-4) روابط تقدم و تاخر از نوع پایان به آغاز با مقداری تاخیر/تعجیل بین فعالیت های پیش نیاز و پس نیاز را با در نظر گرفتن کل حالت های اجرایی و کل دوره برنامه ریزی پروژه ارضا می کند. محدودیت شماره (3-5) رابطه میان زمان پایان و زمان شروع یک فعالیت را با در نظر گرفتن تمام حالت های اجرایی در کل دوره برنامه ریزی را ارضا می کند. محدویت شماره (3-6) به کمک متغیر آزاد در علامت y کمک می کند تا حد بالای پروژه ارضا شود و در غیر اینصورت در تابع هدف جریمه‌ای برای تخطی از حد بالای پروژه در نظر گرفته شده است (y^+). محدودیت های (3-7) الی (3-10) نوع متغیرهای تصمیم مساله را شرح می دهند.

مدل فوق علاوه بر کمینه کردن مجموع مربعات منابع مصرفی در کل دوره ها (سعی در تسطیح مقدار مصرف منابع) در حالت منابع نامحدود، سعی در کمینه کردن زمان کل پروژه نیز دارد. همچنین برای تخطی از زمانبندی فراتر از کل افق برنامه ریزی یک جریمه به پای تابع هدف گذاشته می شود.

4-2- راه حل پیشنهادی

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از اجرای مدل و یک مطالعه موردی فرضی می پردازیم. در این قسمت با توجه به برنامه نوشته شده در لینگو و اتصال آن به اکسل، در ابتدا مسئله مورد نظر از فایل اکسل با توابع OLE[31] در داخل لینگو فراخوانی می شود و سپس تمام داده های مثال هایی که حل می کنیم به عنوان نتیجه در فایل اکسل مجددا ذخیره می شود. در این رابطه کد لینگو نوشته شده به نوعی است که تمامی مثال ها با تمامی اعداد در آن قابل حل می باشند. داده های مسئله و خروجی های آن به شرح ذیل می باشد:

جدول1- هزینه استفاده از هر منبع در هر حالت از انجام پروژه در هر دوره

[31] Object Linking and Embedding

www.SID.ir

Archive of SID

	A	B	C	D	E	F
1		PERIOD 1	PERIOD 2	PERIOD 3	PERIOD 4	PERIOD 5
2	RESOURCE 1.MODE 1	49	45	4	34	11
3	RESOURCE 1.MODE 2	23	49	41	22	13
4	RESOURCE 1.MODE 3	35	49	39	11	28
5	RESOURCE 2.MODE 1	5	20	50	11	26
6	RESOURCE 2.MODE 2	21	4	1	44	6
7	RESOURCE 2.MODE 3	40	38	48	7	30
8	RESOURCE 3.MODE 1	26	23	9	19	16
9	RESOURCE 3.MODE 2	39	17	47	12	18
10	RESOURCE 3.MODE 3	1	25	21	1	23
11	RESOURCE 4.MODE 1	48	5	19	21	46
12	RESOURCE 4.MODE 2	3	6	47	18	34
13	RESOURCE 4.MODE 3	18	19	50	41	17
14	RESOURCE 5.MODE 1	7	14	23	30	38
15	RESOURCE 5.MODE 2	13	3	37	21	17
16	RESOURCE 5.MODE 3	32	49	21	30	43

جدول2- مدت زمان اجرای هر فعالیت در هر حالت از اجرای آنها

	A	B	C	D
1		MODE 1	MODE 2	MODE 3
2	ACTIVITY 1	0.04441996	0.01428732	0.0881182
3	ACTIVITY 2	0.05418055	0.04094187	0.05292354
4	ACTIVITY 3	0.07520782	0.01375345	0.09288323
5	ACTIVITY 4	0.00411785	0.0054549	0.09642265
6	ACTIVITY 5	0.04078134	0.05175066	0.07560049
7	ACTIVITY 6	0.06543968	0.0842887	0.04426168
8	ACTIVITY 7	0.02465871	0.0274498	0.01358179
9	ACTIVITY 8	0.08472055	0.02745202	0.09062246
10	ACTIVITY 9	0.05753093	0.02783301	0.02079276
11	ACTIVITY 10	0.00420898	0.07298776	0.03387326

جدول3- پارامتر تاخیر در پروژه مورد مثال

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		ACTIVITY 1	ACTIVITY 2	ACTIVITY 3	ACTIVITY 4	ACTIVITY 5	ACTIVITY 6	ACTIVITY 7	ACTIVITY 8	ACTIVITY 9	ACTIVITY 10
2	ACTIVITY 1	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0
3	ACTIVITY 2	0	-3	4	0	0	0	0	0	0	0
4	ACTIVITY 3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
5	ACTIVITY 4	0	0	0	0	-7	0	0	0	0	0
6	ACTIVITY 5	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
7	ACTIVITY 6	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
8	ACTIVITY 7	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0
9	ACTIVITY 8	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
10	ACTIVITY 9	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0
11	ACTIVITY 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

جدول4- روابط تقدم و تاخر در پروژه مورد مثال

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		ACTIVITY 1	ACTIVITY 2	ACTIVITY 3	ACTIVITY 4	ACTIVITY 5	ACTIVITY 6	ACTIVITY 7	ACTIVITY 8	ACTIVITY 9	ACTIVITY 10
2	ACTIVITY 1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	ACTIVITY 2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
4	ACTIVITY 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	ACTIVITY 4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
6	ACTIVITY 5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
7	ACTIVITY 6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
8	ACTIVITY 7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	ACTIVITY 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	ACTIVITY 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	ACTIVITY 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

جدول5- فعالیت های پروژه و حالت اجرای آنها در هر دوره

www.SID.ir

Archive of SID

	A	B	C	D	E	F
1		PERIOD 1	PERIOD 2	PERIOD 3	PERIOD 4	PERIOD 5
2	ACTIVITY 1.MODE 1			1		
3	ACTIVITY 1.MODE 2					
4	ACTIVITY 1.MODE 3					
5	ACTIVITY 2.MODE 1					
6	ACTIVITY 2.MODE 2					1
7	ACTIVITY 2.MODE 3					
8	ACTIVITY 3.MODE 1					
9	ACTIVITY 3.MODE 2	1				
10	ACTIVITY 3.MODE 3					
11	ACTIVITY 4. MODE 1					
12	ACTIVITY 4. MODE 2				1	
13	ACTIVITY 4. MODE 3					
14	ACTIVITY 5. MODE 1					1
15	ACTIVITY 5. MODE 2					
16	ACTIVITY 5. MODE 3					
17	ACTIVITY 6. MODE 1					
18	ACTIVITY 6. MODE 2					1
19	ACTIVITY 6. MODE 3					
20	ACTIVITY 7. MODE 1			1		
21	ACTIVITY 7. MODE 2					
22	ACTIVITY 7. MODE 3					
23	ACTIVITY 8. MODE 1					
24	ACTIVITY 8. MODE 2				1	
25	ACTIVITY 8. MODE 3					
26	ACTIVITY 9. MODE 1					
27	ACTIVITY 9. MODE 2					
28	ACTIVITY 9. MODE 3				1	
29	ACTIVITY 10. MODE 1		1			
30	ACTIVITY 10. MODE 2					
31	ACTIVITY 10. MODE 3					

جدول6- زمان شروع و پایان هر فعالیت در پروژه

	A	B	C
1		START	FINISH
2	ACTIVITY 1	0	0.73412739
3	ACTIVITY 2	0	5.74022979
4	ACTIVITY 3	0.04441996	1.64334984
5	ACTIVITY 4	0.74022979	5.529977
6	ACTIVITY 5	0.74022979	5.84066243
7	ACTIVITY 6	0.0581734	2.61330013
8	ACTIVITY 7	1.27020678	5.32845148
9	ACTIVITY 8	1.58089222	6.01397517
10	ACTIVITY 9	2.61330013	5.53078348
11	ACTIVITY 10	3.14408361	5

جدول 7- میزان بهره برداری میزان مصرف منبع خاص در حالت اجرای خاص در هر دوره

	A	B	C	D	E	F
1		PERIOD 1	PERIOD 2	PERIOD 3	PERIOD 4	PERIOD 5
2	ACTIVITY 1.MODE 1	0.01	0.15	0.26	0.87	0.58
3	ACTIVITY 1.MODE 2	0.36	0.63	0.53	0.64	0.76
4	ACTIVITY 1.MODE 3	0.34	0.33	0.34	0.21	0.18
5	ACTIVITY 2.MODE 1	0.46	0.8	0.25	0.71	0.26
6	ACTIVITY 2.MODE 2	0.69	0.98	0.73	0.57	0.53
7	ACTIVITY 2.MODE 3	1	0.22	0.73	0.92	0.88
8	ACTIVITY 3.MODE 1	0.35	0.63	0.84	0.65	0.56
9	ACTIVITY 3.MODE 2	0.06	0.33	0.24	0.18	0.61
10	ACTIVITY 3.MODE 3	0.27	0.85	0.98	0.76	0.15
11	ACTIVITY 4. MODE 1	0.65	0.97	0.69	0.99	0.11
12	ACTIVITY 4. MODE 2	0.41	0.99	0.95	0.22	0.32
13	ACTIVITY 4. MODE 3	0.95	0.73	0.03	0.88	0.28
14	ACTIVITY 5. MODE 1	0.84	0.75	0.65	0.82	0.09
15	ACTIVITY 5. MODE 2	0.77	0.13	0.8	0.65	0.93
16	ACTIVITY 5. MODE 3	0.13	0.26	0.24	0.21	0.72
17	ACTIVITY 6. MODE 1	0.48	0.84	0.66	0.62	0.64
18	ACTIVITY 6. MODE 2	0.34	0.19	0.62	0.8	0.23
19	ACTIVITY 6. MODE 3	0.3	0.11	0.74	0.91	0.22
20	ACTIVITY 7. MODE 1	0.11	0.78	0.29	0.78	0.41
21	ACTIVITY 7. MODE 2	0.61	0.33	0.89	0.02	0.77
22	ACTIVITY 7. MODE 3	0.95	0.8	0.71	0.06	0.22
23	ACTIVITY 8. MODE 1	0.16	0.21	0.93	0.83	0.78
24	ACTIVITY 8. MODE 2	0.3	0.89	0.32	0.05	0.87
25	ACTIVITY 8. MODE 3	0.88	1	0.61	0.3	0.71
26	ACTIVITY 9. MODE 1	0.24	0.83	0.84	0.13	0.63
27	ACTIVITY 9. MODE 2	0.7	0.52	0.26	0.57	0.58
28	ACTIVITY 9. MODE 3	0.2	0.56	0.01	0.43	0.68
29	ACTIVITY 10. MODE 1	0.94	0.32	0.67	0.75	0.69
30	ACTIVITY 10. MODE 2	0.35	0.67	0.63	0.39	0.78
31	ACTIVITY 10. MODE 3	0.54	0.03	0.16	0.78	0.39

- جدول 1 هزینه را نشان می دهد و در واقع هزینه استفاده از منبع مورد نظر در حالت اجرای خاصی در یکی از دوره های برنامه ریزی می باشد و در واقع یک پارامتر سه اندیسی در مدل مذکور می باشد.
- جدول2 مدت زمان اجرای فعالیت خاصی را در هر کدام از حالت های اجرایی نشان می دهد. منظور از مد[۳۲] همان زمان اجرای فعالیت می باشد.

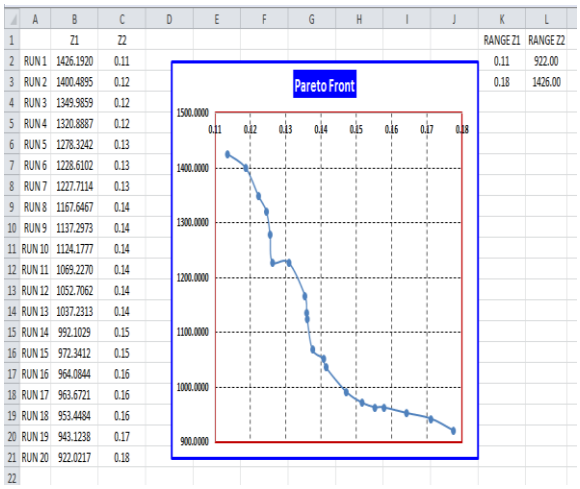
[32] Mode

www.SID.ir

Archive of SID

- جدول3 در واقع همان همپوشانی و یا فاصله ای است که باید بین پایان فعالیت پیشنیاز و شروع فعالیت پس نیاز باشد. برای مثال اگر بین دو فعالیت 1 و 2 نوشته شده است 5 یعنی رابطه از نوع FS+5 بوده است. یعنی بعد از پایان فعالیت 1 باید 5 واحد زمانی بگذرد تا فعالیت 2 بتواند شروع شود.
- جدول4 روابط تقدم و تاخر و در واقع شبکه پروژه را نمایش می دهد و در واقع اگر در تقاطع سطری با ستونی عدد یک نوشته شده است یعنی فعالیت مربوط به سطر پیش نیاز انجام فعلیات متناظر ستون است.
- جدول8 بهره برداری میزان مصرف یک نوع منبع خاص برای اجرای یک فعالیت خاص را در حالت اجرای خاصی و در هر دوره برنامه ریزی نشان می دهد. از این جا به بعد جداول محل نگهداری جواب ها هستند.

که در نهایت با استفاده از حل توسط روش دقیق در لینگو جواب نهایی مسئله در شکل 1 مشاهده می شود:



	Z1	Z2	RANGE Z1	RANGE Z2
RUN 1	1426.1920	0.11	0.11	922.00
RUN 2	1400.4895	0.12	0.18	1426.00
RUN 3	1349.9859	0.12		
RUN 4	1320.8887	0.12		
RUN 5	1278.3242	0.13		
RUN 6	1228.6102	0.13		
RUN 7	1227.7114	0.13		
RUN 8	1167.6467	0.14		
RUN 9	1137.2973	0.14		
RUN 10	1124.1777	0.14		
RUN 11	1069.2270	0.14		
RUN 12	1052.7062	0.14		
RUN 13	1037.2313	0.14		
RUN 14	992.1029	0.15		
RUN 15	972.3412	0.15		
RUN 16	964.0844	0.16		
RUN 17	963.6721	0.16		
RUN 18	953.4484	0.16		
RUN 19	943.1238	0.17		
RUN 20	922.0217	0.18		

شکل 1- نتایج حاصل از حل دقیق پروژه توسط Lingo و Excel

چون هدف از مساله زمانبندی پروژه با منابع نامحدود بالانس کردن منابع پروژه است لذا پیچیدگی حل و الگوریتم مهم هستند و تعداد منابع و واحدهایشان نسبت به این موضوع اهمیت چندانی ندارند. چون یک الگوریتم کلی منطبق برای حل تمام مسائلی که در این مقاله مدل ریاضی شده اند ارائه شده است، بنابراین تعداد منابع و واحد آنها مهم نیست بلکه مهم مقایسه الگوریتم و روشی است که برای تمامی مسائل از آن کلاس بتوان حل نمود. نمیتوان پروژه را به بهانه تسطیح کردن تا بی نهایت ادامه داد چون هدف دوم مسئله نیز کاهش زمان کل پروژه است و لذا باید حد بالایی برای زمان اجرای پروژه در موقع کدنویسی در نظر گرفته شود که یک پارامتر مساله در کدنویسی است.

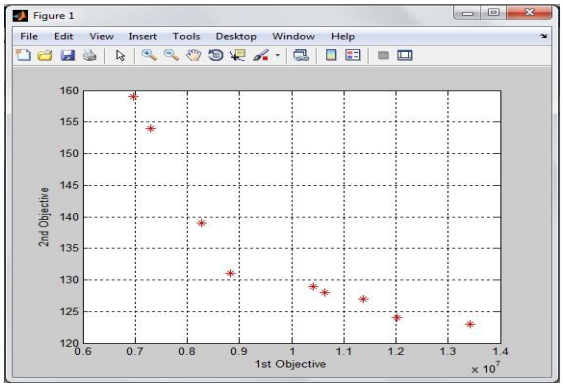
پارامترهای الگوریتم مذکور به شکل: تعداد اعضای جمعیت: 200، تعداد اعضای مخزن[۳۳]: 50، ضریب اینرسی : 0.5، ضرایب C_1[۳۴] و C_2[35]: 1 و 2، beta[36]=1 و gamma[37]=1 ، nGride[38]=5 نرخ تورم[۳۹]: 0.1، نرخ جهش[۴۰]: 0.1. با اجرای الگوریتم و گذشت 200

[33] Repository
[34] Personal Learning Coefficient
[35] Global Learning Coefficient
[36] Leader Selection Pressure
[37] Deletion Selection Pressure
[38] Number of Grids per Dimension
[39] Inflation Rate
[40] Mutation Rate

www.SID.ir

Archive of SID

تکرا (زمان اجرا 30دقیقه) تمامی نقاط پارتوی موجود در کل فضای جستجو (حالات قبلی) بدست آمد که در شکل (2) نشان داده شده است:



شکل 2- نقاط پارتوی موجود در کل فضای جستجو در حل مسئله توسط الگوریتم MOPSO

تصمیم گیری براساس وزن دهی به توابع هدف بر اساس نظر خبرگان می باشد. مدل مذکور از دو روش فوق الذکر حل گردید که هدف از حل توسط روش اول نشان دادن valid بودن مدل بوده. حل توسط روش دقیق برای مسئله ای با نمونه کوچک امکان پذیر بوده و امکان حل مدل برای مسائل بزرگ در دنیای واقعی را نداشته زیرا برای حل مسئله کوچکی که 10 فعالیت داشته با نرم افزار لینگو حدود 2 ساعت زمان صرف شده است و هنگامی که بخواهیم 20 جواب کارا بر روی مرز داشته باشیم در حدود 100 دقیقه زمان اجرای الگوریتم خواهد بود. حال آنکه حل مدل توسط نرم افزار متلب با استفاده از الگوریتم فراابتکاری MOPSO زمانی خیلی کمتر را در برداشته و در حل مسئله در مقیاس بزرگتر را امکان پذیر کرده است. مشاهده خواهیم کرد که الگوریتم MOPSO از کارائی بالائی در حل مدل مذکور برخوردار می باشد. در واقع نمونه های بزرگ مساله مذکور توسط LINGO قابل حل نمی باشند. علاوه بر اینکه تابع هدف مدل حاضر درجه دوم است و مدل غیرخطی محسوب می شود و لذا جواب های بدست آمده LOCALOPTIMUM هستند و MOPSO به لحاظ زمانی و محاسباتی با این روش LINGO مقابله خواهد کرد.

5- نتیجه و جمع‌بندی

برخی از پروژه‌ها ، به علت اهمیت خاصی که هدف‌ها محصولات و نتایج مستقیم و غیر مستقیم حاصله از اجرای آن‌ها در سازمان دارند، باید هر چه زودتر یا در مدت معینی خاتمه یابند. از این رو ، زمان اجرای این پروژه‌ها، محدود یا معین و ثابت خواهد بود و مدیران این پروژه‌ها در استفاده از منابع اجرایی پروژه ، کم و بیش و به طور نسبی، محدودیت ندارند. در واقع ، مدیران این دسته از پروژه‌ها :با مدیریت طراز اول سازمان ، باید با تراز کردن منابع[41] مورد نیاز پروژه ، استفاده از آن‌ها را عملاً محدود کنند.
در غیر این صورت ، مسائل و مشکلات ، تنگناها و هزینه ای ناشی از نبود یک برنامه مشخص و بهینه استفاده از منابع بوجود می آید.

در ابتدای امر در این مقاله راجع به زمانبندی پروژه و تسطیح منابع در قالب مقدمه صحبت، سپس در ادامه به مروری بر ادبیات تحقیق در زمینه ی مسئله ی زمانبندی پروژه پرداخته شده است. قسمت بعدی این مقاله به مدلسازی و طراحی روشهای حل مسئله اختصاص یافته است. در این قسمت به روش های حل توسط الگوریتم دقیق پرداخته و سپس دلایل استفاده از الگوریتم MOPSO شرح داده شده و در ادامه به گامهای استفاده از الگوریتم دقیق محدودیت اپسیلون و الگوریتم MOPSO اشاره شده است. طرح مسئله ی

[41] Resource Leveling

www.SID.ir

Archive of SID

پیشنهادی موازنه ی زمان-هزینه-تسطیح منابع نامحدود در این قسمت مورد بررسی قرار گرفته است. مسئله ی مورد بررسی به طور کامل شرح داده شده و در ادامه به بیان مدل ریاضی مسئله پرداخته ایم. از آنجا که مدل برنامه ریزی ریاضی چند هدفه می باشد، اهداف مدل به صورت مینیم سازی زمان، مینیمم سازی هزینه و استفاده از منابع چندگانه در فعالیت های چند حالته آمده است و در ادامه محدودیت های مسئله را مورد بررسی قرا داده ایم. در ابتدای فصل چهارم به منظور نمایش اعتبار الگوریتم و مدل پیشنهادی ، یک مثال با حجم کم حل شده و در ادامه به حل یک مسئله ی بزرگتر اشاره شده و دو روش الگوریتم فراابتکاری و روش دقیق حل مسئله ذکر شده برای حل مسئله ی مورد نظر به کار گرفته شده است. در نهایت جواب های حاصل از این دو روش با یکدیگر مقایسه شده و راهکار های پیشنهادی به منظور بهینه سازی توابع هدف مورد نظر ارائه شده است و از آنجا که این مدل دو هدفه می باشد، با استفاده از روش MOPSO جبه ی پارتو دو بعدی زمان-هزینه منابع به دست آمد. بدین ترتیب نقاط مختلفی در جبهه ی پارتوی دو بعدی حاصل شده از اجرای مدل، ارائه شد که هریک از آنها متعلق به شبکه های زمان بندی متفاوتی هستند. تصمیم گیرنده با انتخاب هر یک از پاسخ های غیر مغلوب، یک شبکه زمانبندی منحصر به فرد در اختیار خواهد داشت که اجرای پروژه بر طبق زمانبندی تعیین شده برای شروع هر یک از فعالیت های را ضروری می سازد. حال باید این آنالیز حساسیت روی ظرفیت های مختلف منابع توسط پیمانکار قبل از شروع پروژه صورت گیرد تا مشخص شود به کارگیری چه میزان از منابع در پروژه، بیشترین سود را برای کارفرما دارد.

در ادامه به ارائه برخی از پیشنهادات سازنده و کاربردی که می تواند برای ادامه تحقیق بر روی موضوع این پژوهش مورد استفاده قرار گیرد، پرداخته می شود. این پیشنهادات می تواند خلا و یا نواقصی که احیانا در این پژوهش وجود دارد، را بر طرف نموده و مورد استفاده علاقه مندان به تحقیق بر روی این موضوع و یا موضوعات مشابه قرار گیرد.

1. نتایج حاصل از الگوریتم فراابتکاری حاصل از اجرای مدل به صورت مجموعه ای از نقاط غیر مغلوب ارائه می گردد. در اکثر مواقع تعداد نقاط زیاد بوده که ممکن است تصمیم گیرنده را در انتخاب گزینه ی نهائی با مشکل روبرو کند. لذا اضافه کردن یکی از روشهای تصمیم گیری در انتهای مدل می تواند به تصمیم گیرنده در انتخاب مناسبترین گزینه کمک قابل توجهی نماید.
2. در زمانبندی و کد برداری از کروموزوم ها در این تحقیق از روش زمانبندی پیشرو استفاده شد. ولی گاها زمانبندی پسرو زمانبندی بهتری را بدست می آورد. ممکن است جواب های بهتری را از مدل دریافت کرد.
3. در این پژوهش تسطیح منابع با در نظر گرفتن زمان های قطعی بوده ولی میتوان در تحقیقات آتی زمانهای فعالیت ها را بصورت احتمالی در نظر گرفت.
4. تخصیص منابع محدود بوده و به غیر از زمان شناوری فعالیت- ریسک فعالیت و کیفیت فعالیت می توانست مطرح شود.
5. برای حل این قبیل مسائل می توان روشها و الگوهای فراابتکاری دیگری را نیز مد نظر قرار داد و آنرا با الگوریتم ازدحام ذرات مقایسه کرد.

6- مراجع

[1] سهرابی, و همکاران. (2004). اهمیت مساله مسیریابی در کاهش بهای تمام شده محصول مطالعه موردی: شرکت ذوب آلیاژ. فصلنامه علمی-پژوهشی بررسیهای حسابداری وحسابرسی, 11(1).

www.SID.ir

Archive of SID

[2] Afshar, A., Shojaei, N., & Sagharjooghifarahani, M. (2013). Multiobjective calibration of reservoir water quality modeling using Multiobjective Particle Swarm Optimization (MOPSO). *Water resources management*, *27*(7), 1931-1947.

[3]Bérubé, J. F., Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (2009). An exact ϵ-constraint method for bi-objective combinatorial optimization problems: Application to the Traveling Salesman Problem with Profits. *European Journal of Operational Research*, *194*(1), 39-50.

[4]Brinkmann, K., & Neumann, K. (1996). Heuristic procedures for resource—constrained project scheduling with minimal and maximal time lags: the resource—levelling and minimum project—duration problems. *Journal of Decision Systems*, *5*(1-2), 129-155 .

[5]Burke, R. (2013). *Project management: planning and control techniques*.

[6] E.O. Wilson, Sociobiology: The new Synthesis, Belknap Press 1975

[7] Elgammal, A. (2014). MOPSO-based optimal fuzzy logic control strategy for standalone hybrid diesel-wave energy conversion system. *Artificial Intelligence Research*, *3*(3), p11.

[8] Gather, T., Zimmermann, J., & Bartels, J.-H. (2011). Exact methods for the resource levelling problem. *Journal of Scheduling*, *14*(6), 557-569 .

[9] Hariga, M., & El-Sayegh, S. M. (2010). Cost optimization model for the multiresource leveling problem with allowed activity splitting. *Journal of Construction Engineering and Management*, *137*(1), 56-64 .

(PACK). *Journal of Construction Engineering and Management*, *116*(2), 331-350 .

[10] Heon Jun, D., & El-Rayes, K. (2011). Multiobjective optimization of resource leveling and allocation during construction scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management*, *137*(12), 1080-1088 .

[11] Heon Jun, D., & El-Rayes, K. (2011). Multiobjective optimization of resource leveling and allocation during construction scheduling. Journal of Construction Engineering and Management, 137(12), 1080-1088 .

[12] Kastor, A., & Sirakoulis, K. (2009). The effectiveness of resource levelling tools for resource constraint project scheduling problem. *International Journal of Project Management*, *27*(5), 493-500 .

[13] Kastor, A., & Sirakoulis, K. (2009). The effectiveness of resource levelling tools for resource constraint project scheduling problem. *International Journal of Project Management*, *27*(5), 493-500 .

[14] Kennedy, J, and Eberhart, R. C., "Particle Swarm Optimization", Proceeding of IEEE International Conference on Neural Networks, Piscataway, NJ PP. 1942-1948. 1995.

[15] Lalwani, S., Singhal, S., Kumar, R., & Gupta, N. (2013). A comprehensive survey: Applications of multi-objective particle swarm optimization (MOPSO) algorithm. *Transactions on Combinatorics*, *2*(1), 39-101.

[16] Leu, S.-S., Chen, A.-T., & Yang, C.-H. (1999). A fuzzy optimal model for construction resource leveling scheduling. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *26*(6), 673-684 .

[17] Leu, S.-S., Yang, C.-H., & Huang, J.-C. (2000). Resource leveling in construction by genetic algorithm-based optimization and its decision support system application. *Automation in construction*, *10*(1), 27-41 .

[18] Leung, M. F., Ng, S. C., Cheung, C. C., & Lui, A. K. (2014, July). A new strategy for finding good local guides in MOPSO. In *2014 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)* (pp. 1990-1997). IEEE.

[19] Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Sharafzadeh, S. (2013). Optimizing a bi-objective multi-product EPQ model with defective items, rework and limited orders: NSGA-II and MOPSO algorithms. *Journal of Manufacturing Systems*, *32*(4), 764-770.

[20] Reynolds, C. W. (1987). Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. *ACM SIGGRAPH computer graphics*, *21*(4), 25-34.

[21] Rieck, J., Zimmermann, J., & Gather, T. (2012). Mixed-integer linear programming for resource leveling problems. *European Journal of Operational Research* ,37-27 ,(1)221 ,

[22] Son, J., & Mattila, K. G. (2004). Binary resource leveling model: Activity splitting allowed. *Journal of construction engineering and management*, *130*(6), 887-894 .

[23] Srivastav, A., & Agrawal, S. (2015). Multi-objective optimization of a mixture inventory system using a MOPSO–TOPSIS hybrid approach. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 0142331215611211.

[24]Validi, S., Bhattacharya, A., & Byrne, P. J. (2014). Integrated low-carbon distribution system for the demand side of a product distribution supply chain: a DoE-guided MOPSO optimiser-based solution approach. *International Journal of Production Research*, *52*(10), 3074-3096.

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir