Arshive of SID

مدیریت تولید و عملیات، دوره هفتم شماره (۱)، پیاپی(۱۲)، پاییز و زمستان ۱۳۹۵

دریافت: ۹۲/۹/۱۳ پذیرش: ۹۳/٦/۲٤

صص: ۲٤٦- ۲۳۵

ارائه مدلی برای بهینه‌سازی همزمان انتخاب پروژه‌ها و زمان‌بندی فعالیت‌ها درحالت محدودیت منابع با استفاده از الگوریتم انبوه ذرات

ملیحه گنجی[۱]، مهدی علینقیان[۲]، سید مجتبی سجادی[۳]*

۱- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، نجف‌آباد، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی صنایع و سیستم‌ها،دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- استادیار دانشکده کارآفرینی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

در این مقاله مساله ترکیبی انتخاب و زمان‌بندی پروژه در حالت محدودیت منابع، با معیار حداکثرکردن مقدار ارزش فعلی پروژه مدل‌سازی، تحلیل و حل می‌شود. در این پژوهش، وضعیتی بررسی و مطالعه می‌شود که از بین چندین پروژه در دسترس و موجود، باید برخی انتخاب و اجرا شوند تا با توجه به محدودیت منابع بیشترین سود حاصل گردد. مدل‌های انتخاب پروژه عموما زمان‌بندی پروژه‌ها را به عنوان بخشی از فرآیند انتخاب در نظر نمی‌گیرند. از طرفی، به جز مواردی که تنها یک پروژه در هر دوره فعال است، اولویت بندی پروژه‌های انتخاب شده بدون در نظر گرفتن زمان‌بندی آنها بهینه نیست. زمان‌بندی پروژه‌ها در سطح فعالیت‌های پروژه بر پیچیدگی تصمیم‌گیری در مورد انتخاب سبد می‌افزاید و فضای جستجو را برای انتخاب سبدی از پروژه‌ها گسترش می‌دهد. در این مقاله برای حل مساله در ابعاد بزرگ، یک روش فراابتکاری مبتنی بر روش انبوه ذرات ارائه می‌گردد. به منظور صحه گذاری بر مدل ارائه شده، چندین مساله نمونه در ابعاد کوچک و بزرگ حل شده و نتایج بررسی شده است. نتایج نشان دهنده عملکرد مناسب الگوریتم ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: ارزش فعلی خالص(NPV)، انتخاب پروژه، زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع RCPSP، سبد پروژه، الگوریتم انبوه ذرات.

*نویسنده مسوول: msajadi@ut.ac.ir

www.SID.ir

Arshive of SID

۱- مقدمه

در بسیاری از سازمان‌ها انتخاب سبد پروژه و فعالیت‌های مرتبط با مدیریت پروژه‌های انتخاب شده در طول چرخه حیات آنها، از جمله فعالیت‌های مهم محسوب می شود. انتخاب سبد پروژه‌ها، استراتژی و مسئولیت‌های مدیران ارشد شرکت را برای آینده میان مدت به شکل عملی تعیین می‌کند. در محیط چند پروژه‌ای، منابع کمیاب نقش محدود کننده مهمی را ارائه می کنند و تخصیص منابع یک عامل بسیار مهم در موفقیت است. منابع کمیاب ممکن است بودجه، تجهیزات، متخصصین و حتی فضای کار باشد.

انتخاب پروژه یک فرآیند ارزیابی و تجزیه و تحلیل پروژه‌های مستقل برای انتخاب بهترین پروژه‌ها و در نتیجه، تحقق اهداف سازمان است (فضلی و مدنی، ۱۳۸۹) . مدل‌های زیادی برای کمک به سازمان‌ها در انتخاب سبد مناسبی از پروژه‌ها پیشنهاد شده است. پیش قدم این کار «مارکوویتز[۱]» یکی از نخستین و شناخته شده ترین مرجع مساله بهینه‌سازی سبد پروژه است. (مارکوویتز، ۱۹۵۲). اگرچه بعد از او نیز بسیاری از پژوهشگران مدل را توسعه داده آن را با شرایط دنیای واقعی تطبیق داده‌اند، اما بسیاری از شرایط هنوز چندان بررسی نشده است.

مدل های انتخاب پروژه عموما زمان‌بندی پروژه را به عنوان بخشی از فرآیند انتخاب در محیط فازی در نظر نمی‌گیرند، از طرفی به جز مواردی که تنها یک پروژه در هر دوره فعال است، اولویت بندی پروژه‌های انتخاب شده بدون در نظر گرفتن زمان‌بندی آنها بهینه نیست.

۲- زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع (RCPS)[۲]

یکی از پرکاربردترین مسائل پژوهشی در حیطه مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه‌ها، زمان‌بندی پروژه در حالت محدودیت منابع است که در سالیان اخیر توجه بسیاری را به خود جلب نموده است (صادقی و همکاران، ۱۳۹۰). این مساله به طور وسیعی در حوزه‌های مدیریت پروژه‌های صنعتی، مهندسی ساخت و ساز، توسعه نرم افزار و همچنین زمان‌بندی تولید کاربرد دارد (امین ناصری و همکاران، ۱۳۹۱).

به طور کلی، RCPSP در پی یافتن توالی مناسبی برای انجام فعالیت‌های یک پروژه است، به نحوی که محدودیت‌های تقدم و تاخر شبکه پروژه و انواع مختلف محدودیت‌های منبعی موجود در پروژه به طور همزمان ارضا شوند و معیار سنجش معینی از جمله زمان انجام پروژه، هزینه انجام، تعداد فعالیت‌های تاخیردار و غیره بهینه شوند. (خلیلی دامغانی و همکاران،۱۳۹۰). محدودیت‌های اصلی این مدل شامل سطح دسترسی به منابع و روابط پیش‌نیازی بین فعالیت‌های پروژه است. همچنین، تابع هدف آن اغلب کمینه کردن زمان ختم پروژه است(بساق زاده و همکاران، ۱۳۸۹). این مساله از نظر پیچیدگی یک مساله NP-Hard است (دمولمستر و هروئلن[۳]، ۲۰۰۲) .

از جمله الگوریتم‌های فراابتکاری که برای حل مساله RCPSP استفاده شده می‌توان به الگوریتم ژنتیک[۴] (والاس و همکاران[۵]، ۲۰۰۸)، شبیه سازی تبرید[۶] (بولیمن و لکوکا[۷]، ۲۰۰۳)، الگوریتم کلونی مورچگان[۸] (مارکل و همکاران[۹]، ۲۰۰۲)، جستجوی ممنوع[۱۰] (ننب و ایباراکی[۱۱] ،۲۰۰۲)، جستجوی

www.SID.ir

Arshive of SID

انتشاری[۱۲] (دبلس و همکاران[۱۳]، ۲۰۰۶)، ارتباط مسیر[۱۴] (رنجبر و کیانفر[۱۵]، ۲۰۰۹)، بهینه سازی توده ذرات[۱۶] (چن و همکاران[۱۷]، ۲۰۱۰) و الگوریتم های ترکیبی[۱۸] اشاره کرد.

هنگامی که جریان‌های نقدی مشخصی در طول پروژه و به شکل هزینه پرداخت می‌شوند و پرداخت‌های در جریان نیز برای تکمیل اجزاء پروژه شکل پذیرد، معیار ارزش خالص فعلی (NPV)[۱۹] یک معیار بسیار مهم و کاربردی در زمان‌بندی پروژه است (سیفی و همکاران،۱۳۸۷) .

تاریخچه مدیریت پروژه در جهان را معمولا به مدیریت پروژه های عظیمی همچون ساخت اهرام مصر، دیوار چین و یا بنا نهادن تخت جمشید به دستور داریوش مربوط می دانند اما تاریخچه مدیریت پروژه در دنیای جدید به سال‌های ابتدایی دهه ۱۹۰۰ میلادی باز می گردد. امروزه با جهانی شدن تجارت، استفاده بهینه از منابع برای بقا در صحنه های جهانی، امری ضروری است. در همین راستا، مفاهیمی همچون پروژه، کنترل پروژه و زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع و ... مطرح شده است.

با مروری بر تاریخچه فعالیت پزوهشگران در این زمینه، متوجه می شویم، اکثریت فقط به مساله زمان‌بندی پروژه با روش های متفاوت بدون در نظر گرفتن انتخاب پروژه توجه نموده اند. در واقع، مدلی جامع که شامل بهینه سازی انتخاب پروژه‌ها و زمان‌بندی پروژه‌ها در حالت محدودیت منابع باشد، تا کنون مشاهده نشده است.

۳- الگوریتم PSO

الگوریتم انبوه ذرات که در سال ۱۹۹۵ از سوی ابرهارت و کندی[۲۰] ارائه شده است، یک پارادایم محاسباتی بر اساس ایده‌ای است که رفتار مشترک و حرکت گله‌ای جمعیت بیولوژیک با الهام از رفتار اجتماعی پرندگان مهاجم یا تجمع ماهیان ارائه شده است. (ابرهارت و کندی، ۱۹۹۵).

اساس کار الگوریتم بر این اصل استوار است که ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته و بهترین مکانی که در کل همسایگی‌اش وجود دارد تنظیم می‌کند. موقعیت اولیه هر ذره به شکل تصادفی در فضای جستجو با یک توزیع یکنواخت در محدوده تعریف مساله تعیین می‌شود. (جلائی و همکاران، ۱۳۹۲).

هر ذره به شکل چند بعدی (بسته به طبیعت مساله) با دو مقدار $x_i^d(t)$ و $v_i^d(t)$ که به ترتیب معرف وضعیت مکانی و سرعتی مربوط به بعد d ام از i امین ذره هستند تعریف می‌شود. در زمان‌های بعد موقعیت هر ذره بر مبنای تجربه خودش و نیز همسایگانش تعیین می‌شود. اگر $x_i^d(t)$ موقعیت بعد d ام ذره i ام در زمان t باشد، موقعیت بعدی ذره از جمع موقعیت بعد d ام ذره i در زمان t با سرعت ذره i به دست می‌آید. ذرات از طریق بردار سرعت هدایت می‌شوند. در بردار سرعت هم، نتیجه تجربه اجتماعی ذره‌های همسایه و هم تجربه فردی هر ذره دخیل است. هر ذره، سرعت خود را با ترکیب خطی از جزء فردی که نشان دهنده‌ی استفاده از دانش و تجربه شخصی است و جزء اجتماعی که بیانگر

www.SID.ir

Arshive of SID

تجربیات همسایه‌هاست به روز رسانی می‌کند. در جزء فردی بهترین موقعیت ذره p_{best} که تا آن لحظه به آن دست یافته و درجه اجتماعی بهترین موقعیتی که کل ذرات g_{best} به آن دست یافته‌اند لحاظ می‌شود. هر ذره برای رسیدن به بهترین جواب سعی می‌کند موقعیت خود را با استفاده از اطلاعات و روابط زیر تغییر دهد:

موقعیت کنونی $x_{ij}(t)$، سرعت کنونی $v_{ij}(t)$، فاصله بین موقعیت کنونی و p_{best}، فاصله موقعیت کنونی و g_{best}؛ بدین شکل سرعت هر ذره طبق رابطه زیر طبق رابطه (۱) تغییر می‌کند:

$$v_{ij}(t+1) = \omega . v_{ij}(t) + c_1 . r_1 \left(p_{best-ij}(t) - x_{ij}(t)\right) + c_2 . r_2 \left(g_{best-j}(t) - x_{ij}(t)\right) \quad (۱)$$

که در آن $v_{ij}(t)$، سرعت بعد j ام هر ذره در تکرار t ام است، c_1 و c_2 ثابت‌های مثبتی هستند که برای وزن دهی به اجزا شناختی و اجتماعی[۲۱] استفاده و ضرایب شتاب (اطمینان) نامیده می‌شوند. c_1 در واقع ضریب اطمینان یک ذره به بهترین موقعیت خودش و c_2 ضریب اطمینان یک ذره به بهترین موقعیت در بین کل ذرات است؛ بنابراین، به این پارامترها ضرایب اطمینان می‌گویند و مقدار آنها معمولا برابر $c_1 + c_2 = 4$ یا $c_1 = c_2 = 2$ است. r_1 و r_2 اعداد تصادفی با توزیع بین یکنواخت بین صفر و یک بوده ($r_{1i}(t), r_{2i}(t) \cong u(0,1)$) که خاصیت تصادفی بودن الگوریتم و چگالی جمعیت را حفظ می‌کند. ω پارامتر وزن اینرسی برای کنترل تعادل جستجوی الگوریتم میان اکتشاف و استخراج[۲۲] استفاده می‌شود ؛ به بیان دیگر وزن اینرسی برای کنترل سرعت‌های قبلی بر روی مقدار فعلی آن به کار گرفته می‌شود. موقعیت جدید هر ذره از مجموع موقعیت گذشته و سرعت جدید به دست می‌آید که طبق رابطه (۲) تعیین می‌شود:

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (۲)$$

شبه کد زیر مراحل فوق را به شکل خلاصه نشان می‌دهد: (چن[۲۳]، ۲۰۱۱)

```
Initialize () ;
 for t=1 to the limit of iteretions ;
  for i=1:N;
  Fitness_i^t = EvaluationFitness ( X_i^(t) );
 Update Velocity (V_i^(t+1)) according to formula(2);
LimitVelocity (V_i^(t+1));
Update Position ( X_i^(t+1)) according to formula(3);
 if needed , update P_i and P_g;
End
Terminate if P_g meets problem requirements;
End
```

٤- مدل‌سازی مساله انتخاب و زمان‌بندی پروژه

در این بخش مساله انتخاب و زمان‌بندی پروژه مدل سازی می‌گردد. ابتدا فرضیات مدل را به شکل خلاصه بیان می‌شود و بر این اساس متغیرهای مدل را تعریف خواهد شد:

۱- هر پروژه از یک یا چند فعالیت مشخص تشکیل شده است.

۲- به منظور آغاز یک فعالیت، فعالیت پیشین (پیش نیاز) آن پروژه باید خاتمه یافته باشد به عبارت دیگر رابطه پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها از نوع FS[۲٤] است.

۳- هر دوره‌ی زمانی، دارای محدودیت منابع (برای هر یک از منابع به شکل مجزا) است.

www.SID.ir

Arshive of SID

ظرفیت موجود منبع در روزهای مختلف یکسان است.

٤- امکان عدم انتخاب حتی یک فعالیت از هر پروژه‌ای (به علت محدودیت منابع یا هر علت دیگری)، در یک دوره‌ی زمانی مشخص وجود دارد .

٥- هر فعالیت پروژه تنها یکبار انجام می شود.

٦- زمانی که یک فعالیت انتخاب می شود این فعالیت تا مدت زمان مشخصی انجام می‌شود و تا اتمام آن فعالیت، مراحل اجرای آن متوقف نمی شود، به عبارت دیگر فعالیت‌ها غیر قابل انقطاع هستند.

۷- از انجام هر پروژه سود یا عایدی ایجاد می‌شود که این سود در یک دوره‌ی مشخص پس از اتمام پروژه حاصل می شود.

۸- هدف از انجام پروژه‌ها به‌دست آوردن بیشترین ارزش خالص فعلی سود (NPV) ممکن از انجام پروژه‌ها است.

۹- منابع از نوع تجدید پذیر هستند. بدین مفهوم که در هر دوره پس از مصرف منبع، این منبع در دوره‌ی بعدی احیا خواهد شد و مجدد می‌توان از آن استفاده نمود.

۱۰-به علت ماهیت مساله انتخاب پروژه، یا تمام فعالیت‌های آن پروژه کنار گذاشته می شود و به بیان دیگر آن پروژه انتخاب نمی شود.

٤-۱- ارائه مدل

در قدم بعد مدل فوق را به شکل ریاضی مدل‌سازی می‌کنیم. بدین منظور لازم است متغیرهای مدل را تعریف کنیم .

متغیر تصمیم مدل را انتخاب یا عدم انتخاب پروژه در یک زمان مشخص تعریف می کنیم. فرض کنیم T کل محدوده زمانی برای انجام پروژه‌ها است. 'T دوره زمانی بعد از انجام پروژه‌ها و مدت سوددهی پروژه‌ها است. و سبد پروژه‌های مورد نظر از J پروژه تشکیل شده باشد که هر یک از پروژه‌ها نیز خود شامل I فعالیت باشند. سایر متغیرهای مدل را نیز به شکل ذیل تعریف می کنیم:

- x_{ijt} : برابر با شروع یا عدم شروع فعالیت i ام از پروژه‌ی j ام در زمان t می باشد. در شکلی که این فعالیت در زمان t شروع شود، مقدار این متغیر برابر یک و در غیر این شکل مقدار آن برابر صفر خواهد شد.

- y_j : برابر با انتخاب یا عدم انتخاب پروژه j ام می باشد. در شکلی که پروژه j انتخاب شود، مقدار آن برابر یک و در غیر این شکل مقدار آن برابر صفر خواهد شد.

- d_{ij} : طول مدت لازم برای اجرای فعالیت i ام از پروژه j

- es_{ij} : زودترین زمان شروع فعالیت i ام از پروژه j

- ls_{ij} : دیرترین زمان شروع فعالیت i ام از پروژه j

- r_{ijh} : میزان منبع مورد نیاز از منبع h برای اجرای فعالیت i ام از پروژه j

- R_h : مقدار ظرفیت موجود منبع h

- b_{tj} : مقدار سود یا عایدی حاصل از اتمام پروژه j ام در زمان ' t

- $priority(i, \acute{i}, j)$: مجموعه فعالیت‌های پس

www.SID.ir

Arshive of SID

نیازی فعالیت i از پروژه j

- u_{ijt} : از زمان شروع تا زمان اتمام فعالیت x_{ijt} برابر یک است و نشان می دهد که فعالیت x_{ijt} در بازه زمانی $[es_{ij}, ls_{ij}]$ از منابع استفاده می‌کند و پس از اتمام فعالیت منابع را بازگردانی می کند .
- end activity of project j :آخرین فعالیت انجام شده پروژه j
- a: درصد نرخ بهره یا بازگشت سرمایه است و در هر واحد زمان انجام پروژه، تنزیل می‌شود .
- پارامترهای مورد استفاده در مدل، به جز نرخ تنزیل a به شکل عدد صحیح تعریف می گردند .

در این قدم، محدودیتهای مساله را به شکل ریاضی مدل می‌کنیم. لذا مدل عمومی این مساله را می توان به شکل ذیل نوشت:

(۳)

$$\max \sum_{j=1}^{J} y_j \sum_{t=1}^{T} \sum_{t'}^{T'} \sum_{i\in \text{end activity of project j}}^{I} b_{t'j}(1+A)^{-(t+d_{ij}+t'-1)x_{ijt}}$$

این تابع هدف غیرخطی با انجام عملیات ریاضی به شکل ذیل بدل می شود :

(٤)

$$\max \sum_{j=1}^{J} y_j \sum_{t=1}^{T} \sum_{t'=1}^{T'} \sum_{i\in \text{end activity of project j}}^{I} \log(b_{t'j})x_{ijt} - (t+d_{ij}+t'-1)x_{ijt}\log(1+A)$$

و با تعاریف

$$\log(b_{t'j})X_{ijt} = b_{t'j}x_{ijt} \qquad (۵)$$

$$(1+a) = \log(1+A) \qquad (٦)$$

به شکل ذیل تبدیل می شود:

(۷)

$$\Rightarrow max \sum_{j=1}^{J} y_j \sum_{t=1}^{T} \sum_{t'=1}^{T'} \sum_{i\in \text{end activity of project j}}^{I} (b_{t'j})x_{ijt} - (t+d_{ij}+t'-1)x_{ijt}(1+a)$$

Subject to

$$\sum_{t=es_{ij}}^{ls_{ij}} X_{ijt} \le 1 \quad \forall i,j \qquad (۸)$$

$$\sum_{t=es_{ij}}^{ls_{ij}-1} X_{ijt} = 0 \quad \forall i,j \qquad (۹)$$

$$\sum_{t=es_{ij}+1}^{T} X_{ijt} = 0 \quad \forall i,j \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{t=1}^{T}(t+d_{ijt})X_{ijt} \le \sum_{t=1}^{T} t x_{i'jt} \quad \forall (i,i',j)\in priority \qquad (۱۱)$$

$$U_{ijt} = \sum_{t''=t-d_{ij+1}}^{t} x_{ijt''} \quad \forall i,j \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{i}^{I}\sum_{j}^{J} u_{ijt}\, r_{ij} \le R_h \quad t = 1 \dots T, h = 1 \dots H \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{t=1}^{T}\left(x_{ijt}+x_{i'jt}\right)=2y_j \quad \forall (i,i',j)\in priority \qquad (۱٤)$$

در این مرحله، محدودیت‌های مدل توضیح داده می‌شود:

تابع هدف: بیانگر بیشینه سود یا عایدی مورد انتظار از اجرای پروژه ها ست.

محدودیت (۱): هر فعالیت از پروژه تنها یکبار می‌تواند انتخاب شود.

محدودیت (۲) و (۳): هر فعالیت فقط در بازه زمانی $[es_{ij}, ls_{ij}]$ انتخاب می‌شود.

www.SID.ir

Arshive of SID

محدودیت (٤): برای آغاز یک فعالیت لازم است که فعالیت‌های قبلی پیش نیاز آن فعالیت پایان یافته باشد.

محدودیت (٥): فعالیت x_{ijt} در بازه زمانی $[es_{ij}, ls_{ij}]$ از منابع استفاده می‌کند و پس از اتمام فعالیت منابع را بازگردانی می کند.

محدودیت (٦): هر یک از منابع دارای ظرفیت فازی در هر بازه زمانی هستند.

محدودیت (٧): فعالیت‌های یک پروژه یا تمامی آنها انتخاب می‌شوند یا تمامی آنها کنار گذاشته می‌شوند.

جدول ۱- مسائل نمونه

ابعاد بزرگ			ابعاد کوچک		
تعداد فعالیت	تعداد پروژه	مساله	تعداد فعالیت	تعداد پروژه	مساله
۸۷	۷	B1	۲۲	۳	A1
۱۲۷	۹	B2	۳۳	۴	A2
۱۶۵	۱۱	B3	۴۱	۵	A3
۱۷۴	۱۲	B4	۳۰	۴	A4
۱۸۵	۱۳	B5	۳۸	۵	A5
۱۹۸	۱۴	B6	۳۸	۴	A6
۲۱۲	۱۵	B7	۴۲	۳	A7
۲۳۴	۱۶	B8	۴۰	۵	A8
۲۴۱	۱۷	B9	۳۷	۴	A9
۲۵۴	۱۸	B10	۳۳	۳	A10

۵- نتایج

برای اندازه‌گیری کارایی مدل، لازم است پروژه‌های استانداردی تولید شوند. نمایش شبکه مورد استفاده در این نوشتار به شکل برداری AOA[۲۵] در نظر گرفته شده است. برای بررسی روش‌های حل از ۲۰ نمونه مثال مربوط به مساله انتخاب و زمان‌بندی پروژه مطابق با جدول (۱) بهره گرفته شد.

۵-۱- حل مدل با استفاده از الگوریتم انبوه ذرات

در این قسمت به تشریح الگوریتم ذرات برای حل مساله زمان‌بندی و انتخاب پروژه می‌پردازیم:

۱_ قدم یک: ایجاد یک ترتیب ممکن از انجام فعالیت‌ها با رعایت پیش‌نیازها و محدودیت منابع برای شروع به کار الگوریتمPSO، ابتدا باید یک لیست شدنی از ترتیب انجام فعالیت‌ها را به عنوان جواب اولیه تعیین شود. انتخاب مناسب جواب اولیه تاثیر زیادی برسرعت همگرایی وکیفیت جواب نهایی الگوریتم PSO دارد.

در این قدم بدین شکل عمل می‌گردد که ابتدا به تعداد فعالیت‌های پروژه‌ها اعداد تصادفی بین ۰ و ۱ تولید می‌شود، سپس این اعداد مرتب گردیده و در یک لیست ذخیره می‌شوند و همچنین، لیست این ترتیب مرتب شده که نماینده شماره فعالیت است، در لیست دیگری ذخیره می‌گردد. واضح است که این جواب به علت رعایت نکردن پیش‌نیازها، نشدنی باشد ؛ لذا بدین شکل عمل می‌شود: نخستین فعالیت از لیست دوم انتخاب و در صورتی که پیش‌نیازی نداشته، و یا این که پیش‌نیازهایش انجام گرفته باشد آن فعالیت انجام می‌گیرد و در غیر این صورت این روند بر روی فعالیت بعدی در لیست ذکر شده انجام می‌پذیرد. پس از این که فعالیت انجام گرفت، زمان شروع (ST)[۲۶] و پایان (FT)[۲۷] و Cmax فعالیت‌ها ذخیره می‌گردد واین فعالیت‌ها از لیست پیش‌نیازها[۲۸] و پس‌نیاز[۲۹] سایر فعالیت‌ها، حذف می‌شود.

www.SID.ir

Arshive of SID

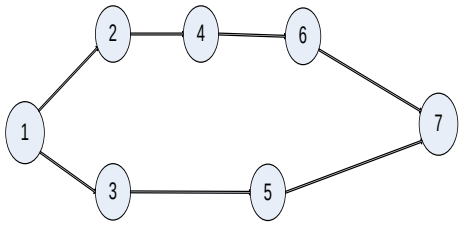
۲_ قدم دوم : ذخیره بهترین جواب تولید شده در قدم یک

بهترین جواب تولید شده در قدم یک در محلی به نام Best Sol ذخیره می‌گردد.

۳_ قدم سوم : تکرار الگوریتم

این مراحل تا زمانیکه تمام فعالیت‌ها در لیست شدنی زمان‌بندی قرار بگیرند ادامه خواهد داشت.

برای بررسی نحوه عملکرد الگوریتم ذکر شده یک مساله نمونه از مسائل استاندارد انتخاب شده است، شبکه پروژه آن در زیر آورده شده است.



شکل ۱- شبکه مثال نمونه

ابتدا فعالیت‌ها به شکل تصادفی در لیستی تحت عنوان P ذخیره می‌گردند، نمایش این لیست به شکل زیر خواهد بود :

P=[6 4 5 3 2 7 1]

مشخص است که این لیست و این ترتیب اجرای فعالیت‌ها به علت روابط پیش‌نیازی و محدودیت منابع قابل انجام نخواهد بود و ممکن است شدنی نباشد، لذا تغییراتی باید شکل گیرد تا این جواب به یک جواب شدنی تبدیل گردد. برای این منظور از لیست P به ترتیب از چپ به راست فعالیت‌ها تک تک مورد بررسی قرار می‌گیرند و نخستین فعالیتی که پیش‌نیازهایش رعایت شده باشد انتخاب می‌گردد و در لیست جدیدی به نام P_2 ذخیره می‌گردد. و به همین ترتیب این کار ادامه می‌یابد تا تمام فعالیت‌ها انتخاب گردند و لیست P_2 کامل شود.

بر این اساس با توجه به پیش‌نیازها در مثال مورد بررسی از چپ به راست تنها در ابتدا فعالیت ۱ قابل انجام خواهد بود که در آخر لیست P است. لذا این فعالیت انتخاب می‌گردد و لیست P_2 به شکل زیر خواهد شد :

P_2 =[1 0 0 0 0 0 0]

حال فعالیت ۱ از لیست پیش نیازها و یا پس نیازهای سایر فعالیت‌ها حذف و این لیست‌ها به روز می‌گردد و دوباره از چپ به راست از لیست P انتخاب فعالیت شکل می‌گیرد. با توجه به شبکه پروژه واضح است که بعد از فعالیت ۱ تنها، فعالیت‌های ۲و ۳ قابل اجرا خواهند بود که به علت اینکه فعالیت ۳ در لیست P جلوتر از فعالیت ۲ است این فعالیت انتخاب می‌گردد و لیست P_2 به شکل زیر خواهد شد:

P_2=[1 3 0 0 0 0 0]

این موارد آنقدر تکرار می‌گردد تا لیست P_2 به شکل زیر کامل گردد :

P_2=[1 3 5 2 4 6 7]

همانطور که مشهود است این جواب، کاملا شدنی است. برای انتخاب زمان شروع یک فعالیت بدین گونه عمل شده است؛ که فعالیتی از لیست P_2 برای انجام گرفتن انتخاب می‌گردد که تمامی پیش‌نیازهایش بررسی شده و ماکزیمم زمان اتمام پیش‌نیازهایش به عنوان زمان شروع فعالیت انتخابی به شرط در دسترس بودن منابع مورد نیاز در نظر گرفته می‌شود و در شکل در دسترس نبودن منابع،

www.SID.ir

Arshive of SID

زمان شروع به زودترین زمانی که منابع در دسترس باشد انتقال پیدا می‌کند.

برای جستجوی همسایگی از روش swap استفاده شده که به شکل زیر است :

در روش swap از جواب شدنی که از تکرار قبلی به دست آمده دو تا از فعالیت‌ها به تصادف انتخاب شده و جایشان عوض می‌گردد، سپس این لیست همانند روشی که در مثال گفته شد، به یک لیست شدنی تبدیل می‌گردد. به عنوان نمونه اگر در همان مثال نمونه دو فعالیت ۳ و ٤ به شکل تصادفی انتخاب گردند و جایشان عوض شوند لیست زیر حاصل می‌شود که لیست نشدنی است:

P_2=[1 4 5 2 3 6 7]

لذا طبق روش مثال، فعالیت‌ها به ترتیب وارد لیست می‌گردند و لیست، از فعالیتی که قابل انجام نباشد می‌گذرد. بدین شکل لیست NP_2 که لیست شدنی است به شکل زیر است.

NP_2 =[1 2 3 4 5 6 7]

همانطور که در بالا بیان شد لیست NP_2 یک لیست شدنی خواهد بود لذا سایر موارد طبق قبل بر روی این جواب اجرا می‌گردد.

مواردی که بیان گردید قابل تعمیم برای کل پروژه‌ها است. بدین شکل که فعالیت تمام پروژه‌ها در قالب یک پروژه شماره گذاری و زمان‌بندی می‌گردند. در نهایت پروژه‌ای که بر روی فعالیت‌هایش زمان‌بندی و تخصیص منبع شکل پذیرد؛ با توجه به محدودیت منابع و بازه زمانی، انتخاب و به سود دهی می‌رسد. به منظور تنظیم پارامترهای الگوریتم پیشنهادی از روش سعی و خطا بهره برده شد و با حل یک نمونه مساله به تنظیم پارامترها پرداخته شد. لذا مقدار ω =0.9، در ابتدا برای افزایش تنوع و گسترش فضای جواب، و در مراحل پایانی ω=0.4 به منظور رسیدن به یک ناحیه مطلوب از فضای جستجو با سرعت کمتر، و سایر مقادیر $c_1 = c_2 = 2$ ،maxiteration= 100 و np = 50 تنظیم شدند.

نتایج حاصل از حل مسائل در ابعاد کوچک و بزرگ در جدول‌های (۲) و (۳) بیان شده است.

جدول ۲- نتایج محاسباتی مسایل با ابعاد کوچک

مسائل	GAMS		PSO		
	جواب	زمان	جواب	زمان	خطا
A1	۱۳۰	۰/۰۹٤	۱۳۰	۱/٦۳	۰
A2	۲۰۱	۰/۱۰۹	۲۰۱	۱/٦۳٥	۰
A3	۲٦٤	۰/۱۱۱	۲٦٤	۱/۷٦	۰
A4	۱۹۱	۰/۰۹٤	۱۹۲	۱/٦۳٥	۰/۰۱
A5	۲۳۹	۰/۳۲٤	۲٤۰	۱/۷٥	۰/۰۱
A6	۲۹۹	٤/۱۰۹	۲۹۹	۱/۷٤	۰
A7	۱۹٥	۳٤/۱۱۳	۱۹٥	۱/۷۷	۰
A8	۲٥۱	۸۷/۱۱۲	۲٥٤	۱/۷٥	۰/۰۳
A9	۲۹٦	۱۲۷/۰۱۹٤	۲۹۹	۱/۷٥	۰/۰۳
A10	۲٤٥	٦۲٤/۱۰۹	۲٤۷	۱/۷٤	۰/۰۱

www.SID.ir

Arshive of SID

جدول ۳- نتایج محاسباتی مسایل با ابعاد بزرگ

مسائل	GAMS		PSO		
	جواب	زمان	جواب	زمان	خطا
B1	۲٤٥	۱۰۰٥/٥	۲٤٥	۰/۹۳٦	۰
B2	۲٥٦	۱۱۲٥/٥	۲٦۰	۱۲٤/٥	۰/۰٤
B3	۲۹٥	۱۳٥۰/۲	۲۹٥	۲۱۹/٦	۰
B4	۳۱۹	۱۸٦٤/٤	۳۱۹	۲٤٦	۰
B5	۲۹۰	۲٦٤۰/۹	۲۹۰	۲۷٦/٥	۰
B6	۳۲۷	۲۷٥٦/٤	۳۲۸	۲۸۲	۰/۰۱
B7	۳۷۰	۲۹٤۷/٦	۳۷۰	۲۸٥	۰
B8	۳۱۲/٦	۳۳۹۱/٤	۳۱۳	۲۹٤	۰/۰۱٤
B9	۳۷٥/۸	۳٥۲٥/٦	۳۷۷	۲۹٤/۳	۰/۰۱۲
B10	۳۷۱/٤	۳٥٦۲/۷	۳۷۲	۲۹٥/۷	۰/۰۰٦

همان‌گونه که در جدول‌ها نشان داده شده است در اکثر موارد؛ اختلاف بین جواب‌های بهینه تولید شده توسط نرم افزار GAMS و الگوریتم PSO صفر است. در نتیجه الگوریتم PSO در ۷۰٪ موارد جواب بهینه تولید کرده است. از نظر زمان حل نیز الگوریتم پیشنهادی توانسته است مساله را در زمان قابل قبولی حل نماید.

۶- نتیجه و جمع‌بندی

در این نوشتار شرایطی در نظر گرفته شده است که پروژه‌های متنوعی برای اجرا باشند. در عمل زمانی که قصد انتخاب پروژه ها در طول دوره زمانی را داشته و نیز فعالیت‌های پروژه‌ها دارای روابط پیش‌نیازی هستند، به جز محدودیت منابع در دسترس در دوره‌های زمانی بایستی محدودیت‌های پیش‌نیازی فعالیت‌ها لحاظ گردند، چرا که اگر تنها محدودیت منابع در نظر گرفته شود ممکن است پروژه‌ای اتخاب شود که از نظر در دسترس بودن منابع مورد نیاز، مشکلی ندارد؛ اما هنوز فعالیت(های) پیش‌نیازی آن فعالیت انجام نشده باشد. لذا تصمیم‌گیرنده ضمن این که یک زیرمجموعه از پروژه‌ها را انتخاب می‌کند، بایستی به زمان‌بندی اجزای آنها نیز بپردازد.

در واقع دراین نوشتار سعی شد مساله ترکیبی انتخاب و زمان‌بندی پروژه، به طور همزمان با هدف بیشینه‌سازی ارزش خالص فعلی با فرض محدود بودن منابع، بررسی شود. ضمن مرور اجمالی بر پژوهش‌ها و مقالات ارائه شده، مدل برنامه‌ریزی مساله انتخاب و زمان‌بندی پروژه معرفی گردید. در ادامه با ذکر مسائل نمونه و با استفاده از نرم‌افزار GAMS و الگوریتم فراابتکاری PSO مساله در زمان مناسبی حل و نتایج آن بررسی و تجزیه و تحلیلی گردید.

منابع

امین ناصری، محمد رضا؛ مختاری، هادی؛ نخعی کمال آبادی، عیسی،(۱۳۹۱)، « ارائه اگوریتم تلفیقی برای مساله زمان‌بندی پروژه مبتنی بر تخفیف قیمت با استفاده از رویکرد رگرسیون چند مرحله‌ای برای تنظیم پارامترها »، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ۱، (۲۳)، ۱۰۷ – ۹٤ .

www.SID.ir

Arshive of SID

بساق زاده، ایمان ؛ حجازی، سید رضا؛ احسان، امیرموسی، (۱۳۸۹)، « توسعه مدل زمان‌بندی پروژه با اهداف زمان ختم و مقاومت زمان‌بندی »، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، ۱ (٤٤)، ٢٤ – ١٣.

جلائی، سید عبدالمجید.؛ قاسمی نژاد، امین.؛ کریمیان، علی اکبر، (۱۳۹۲)، « بررسی تاثیر تکانه‌های نفتی بر رشد اقتصادی ایران با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) و بهینه‌سازی ذرات (PSO)»، فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۷ (۲)، ۱۲۷-۱۱۱

خلیلی دامغانی، کاوه و توکلی مقدم، رضا و طبری، مجتبی، (۱۳۹۰)، « حل مسائل زمان‌بندی پروژه‌ها با منابع محدود با استفاده از الگوریتم مورچگان اصلاح شده »، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، ۱ (٤٥)، ٦٥ – ٥٩.

سیفی، مسعود و توکلی مقدم، رضا و جولای، فریبرز .(۱۳۸۷)، «به کارگیری الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید برای حل مساله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع در حالت چند مد و با جریان‌های نقدی تنزیل یافته»، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران، ٤، ۹۱-۸۵.

صادقی، امیر و صفی صمغ آبادی، اعظم دخت و برزین پور، فرناز، (۱۳۹۰)، « حل مساله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع چند حالته (MRCPSP) با الگوریتم زنبورهای عسل»، فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، سال ششم، ۱۵ .

فضلی، صفر و مدنی، سید سینا، (۱۳۸۹)، « انتخاب پروژه بر اساس تخصیص بهینه منابع با استفاده از رویکرد ترکیبی فرآیند تحلیل شبکه‌ایی و برنامه‌ریزی آرمانی»، مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۱(۱-۸)، ۱۲۱- ۹۹

Bouleimen K. & Lecocq H.(2003),"A new efficient algorithm for the resource-constraiend project scheduling problem".*European Journal of Operational Research*, 149(2),.268–281.

Chen RM., Wu CL., Wang CM. & Lo ST.(2010)," Using novel particle swarm optimization scheme to solve resouerce-constrained project scheduling problem in PSPLIB". *Expert Systems with A,lications*, 37, ,.1899–1910.

Debles D., De reyck B., Leus R. & Vanhoucke M.,(2006)." A hybrid scatter search/electromagnetism metaheuristic for project scheduling". *European Journal of Operational Research*, 169, .368–653.

Demeulemeester,E LHerroelen,W S.(2002),"Project Scheduling", *Kluwer Academic Publishers*: 500-526.

Kennedy, J., Eberhart, R., (1995) ," Particle swarmoptimization I : Neural Networks ", *IEEE International Conference on Procedings* , 40, 1442 – 1948.

Markle D., Middendorf M. & Schmeck H .(2002)." Ant colony optimization for resouerce-constrained project scheduling". *IEEE Transactions on Evalutionary Comutation*, 6(1),.333–346.

Markowitz H,(1952).Portfolio Selection.*Journal of Finance* ,1, 77-91.

Nonobe K. & Ibaraki T.(2002). "Formulation and tabu search algorithm for the resouerce constrained project scheduling problem (RCPSP)". In: *Riberior CC, Hansen R (Eds), Essays and Surveys in Metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers, 557–588.

Ranjbar M & Kianfar F.(2009). "A hybrid scatter search for the RCPSP". *Scientia Iranica Transaction E: Industrial Engineering*, 16(1),.11–18.

Ruey-Maw Chen, (2011),"Particle swarm optimization with justification and designed mechanisms for resource-contrained project scheduling

www.SID.ir

Arshive of SID

problem",*Expert Systems with Application*, 38.7102-7111

Vallas V., Ballestin F. & Quintanilla S.,(2008). "A hybrid genetic algorithm for the resource-constarined project scheduling problem". *European Journal of Operational Research*, 185,495–508.

پی‌نوشت

1-Markowitz
2-Resource Constrained Project Schedueling Problem(RCPSP)
3- Demeuleester & Herroelen
4- Genetic Algorithm(GA)
5- Vallas, Ballestin & Quintanilla
6- Simulated Anealing(SA)
7- Bouleimen & Lecocq
8- Ant Colony Optimization(ACO)
9- Markle, Middendorf & Schmeck
10- Tabu Search(TS)
11- Nonobe & Ibaraki
12 -Scatter Search(SS)
13- debles, De reyck, Leus & Vanhoucke
14- Path Relinking(PR)
15- Ranjbar & Kianfar
16- Particle Swarm Optimization(PSO)
17-Chen, Wu CL, Wang & Lo ST
18 -Hybrid Algorithm(HA)
19- Net Present Value (NPV)
20- Kennedy & Eberhart
21- Cognitive and Social Parameters
22- Exploration and Exploitation
23- Chen
24- Finish to Start(FS)
25- Activity on Arrow(AOA)
26- Start Time
27- Finish Time
28- Predecessors List
29- Successor List

www.SID.ir