



# DEVELOPMENT ECONOMIC MODEL AIMED AT BALANCING COST - TIME COMMERCIAL AND INDUSTRIAL PROJECTS ACCORDING TO THE VALUE-ADDED TECHNIQUE

Hassan Khademi Zareh\* & Omid kavandi

*Hassan Khademi Zareh, Associate Professor Department of Industrial Engineering, Yazd University.*

*Omid kavandi, MSc Student Department of Industrial Engineering, Yazd University.*

## Keywords

On time project scheduling,  
Value-added technique,  
Minimizing the total cost of  
speed up and delay,  
Changes include schedule  
changes,  
Minimizing delay costs,  
Cost and time balance,  
All location and source  
leveling,  
The economic model

## ABSTRACT

*This paper presents an effective method to cost-time balance between commercial and industrial projects in an organization with the objective of minimizing the total cost of speed up and delay industrial projects and maximum income for commercial projects by using the value-added technique. Value-added technique in Project management requires a detailed and comprehensive definition of the project at the beginning. The definition causes a total project outline. According to this case, the project's life cycle can measure the main steps of the implementation from 1% to 100%. Accordingly, in each stage of the project progress, based on its performance, accurate and reliable final status prediction of the project terms according to the required time and cost is provided to complete the project. The detailed forecast causes to stop the Project or change the current executive process before imposing any greater losses. Administrative (executive) process changes include schedule changes, Re-resource allocation and leveling industrial project or running new commercial projects by using the value-added technique in order to meet the project objectives. Project initial planning and re-planning includes three phases of activity schedules of Allocation and resource leveling and accurately predict the future status of the project. Using the value-added technique in this article, in addition to creating time and cost balance, Increasing the accuracy of the initial planning and re-planning project, Improving the resource leveling, Has caused reduce the time and cost of industrial projects and increase the revenue of studied commercial projects.*

© 2016 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 27, No. 2, All Rights Reserved



## توسعه یک مدل اقتصادی با هدف موازنه هزینه - زمان پروژه‌های صنعتی و تجاری یک سازمان بر اساس تکنیک ارزش افزوده

حسن خادمی زارع\* و امید کاوندی

چکیده:

در این مقاله، با استفاده از تکنیک ارزش افزوده یک روش کارا و موثر برای موازنه هزینه - زمان در بین پروژه های صنعتی و تجاری یک سازمان با هدف حداقل نمودن مجموع هزینه های زودکرد و دیرکرد پروژه های صنعتی و حداکثر نمودن درآمد پروژه های تجاری ارائه شده است. بکارگیری تکنیک ارزش افزوده در مدیریت پروژه مستلزم یک تعریف جامع و کامل از پروژه، در ابتدای کار می باشد. در این صورت با توجه به چرخه حیات پروژه می توان مراحل اصلی اجرای پروژه را از یک درصد تا صد در صد اندازه گیری کرد. بر این اساس در هر مرحله از پیشرفت پروژه، بر اساس عملکرد پروژه، پیش بینی دقیق و قابل اطمینانی از وضعیت نهایی پروژه از لحاظ مدت زمان و هزینه لازم برای تکمیل پروژه ارائه می شود. این پیش بینی دقیق باعث می شود، قبل از تحمیل هرگونه زیان بیشتر، تصمیم به توقف پروژه و یا تغییر روند اجرایی فعلی گرفته شود. تغییرات روند اجرایی شامل تغییرات زمانبندی، تخصیص و تسطیح مجدد منابع پروژه های صنعتی و یا اجرای پروژه های تجاری جدید با استفاده از تکنیک ارزش افزوده در راستای تامین اهداف پروژه می باشد. برنامه ریزی اولیه و مجدد پروژه، شامل سه مرحله زمانبندی فعالیت ها، تخصیص و تسطیح منابع و پیش بینی دقیق از وضعیت آینده پروژه می باشد. استفاده از تکنیک ارزش افزوده در این مقاله ضمن ایجاد تعادل در زمان و هزینه، افزایش دقت در برنامه ریزی اولیه و مجدد پروژه، بهبود میزان تسطیح منابع، باعث کاهش قابل توجه زمان و هزینه در پروژه های صنعتی و افزایش درآمد پروژه های تجاری مورد مطالعه شده است

کلمات کلیدی

زمانبندی به هنگام پروژه،  
تکنیک ارزش افزوده،  
حداقل نمودن هزینه های  
زودکرد و دیرکرد،  
موازنه هزینه و زمان،  
تخصیص و تسطیح منابع،  
مدل اقتصادی

### ۱. مقدمه

هدف این مقاله دستیابی به موازنه هزینه و زمان فعالیت های یک پروژه با هدف حداقل نمودن مجموع هزینه های دیرکرد و زودکرد می باشد. برای این منظور از تکنیک ارزش افزوده، به عنوان یکی از مهمترین تکنیک های مدیریت پروژه استفاده شده است. مدیران پروژه، مشکلات ناشی از پیگیری امور پروژه از دیدگاه هزینه بدون زمان یا زمان بدون هزینه را می شناسند. نظارت مناسب بر عملکرد یک پروژه، با توجه همزمان به هزینه و زمان پروژه محقق می شود [۱].

تاریخ وصول: ۹۲/۰۹/۲۲

تاریخ تصویب: ۹۲/۰۶/۱۰

امید کاوندی: دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد

\*نویسنده مسئول مقاله: حسن خادمی زارع، گروه مهندسی صنایع دانشگاه

یزد [hkhademiz@yazd.ac.ir](mailto:hkhademiz@yazd.ac.ir)

در دنیای واقعی به صفر رساندن مجموع هزینه های دیرکرد و زودکرد تا حدودی غیر ممکن است، لذا مطابق شرایط تعیین شده، ما به دنبال یک برنامه زمانبندی در پروژه ها هستیم که ضمن برقراری تعادل بین هزینه و زمان پروژه، کل هزینه های پروژه را حداقل کند. مدل های زمانبندی با معیارهای زودکرد و دیرکرد در واقع دارای یک ارتباط نزدیک و قابل ترکیب با مفاهیم تولید به هنگام و مدیریت زنجیره تامین می باشد. زیرا موجودی های غیر مجاز موجب به وجود آمدن هزینه های نگهداری، فضای انبار، بیمه و مالیات، متروکه شدن، از مد افتادن، تسهیلات انبار، فاسد شدن و سرمایه را کم می شوند. همچنین وقتی سیستم خالی از موجودی باشد باعث بیکار شدن کارکنان، تجهیزات و تاخیر در زمان تحویل می شود. موضوع دیرکرد یکی از ویژگی های مهم در کیفیت سرویس می باشد که سبب نارضایتی مشتری می شود [۲].

یک از قوانین مطرح شده جامعیت لازم برای استفاده کلی برای انواع شبکه های مختلف را ندارند [۸-۶].

کوشش های متعددی توسط افراد مختلف برای زمانبندی پروژه با منابع محدود انجام شده است. دکتر المغربی مسئله زمانبندی فعالیت های یک پروژه را از جنبه های مختلف مورد بحث و بررسی قرار داده است [۹]. اغلب تحقیقات به حداقل رساندن زمان تکمیل یک پروژه را به عنوان هدف اصلی انتخاب کرده اند [۱۰]. برخی دیگر حداقل شدن هزینه‌ها را مورد بحث قرار داده اند [۶]. گروهی دیگر به حداکثر رساندن ارزش فعلی جریانهای نقدی حاکم بر تکمیل پروژه را به عنوان هدف اصلی انتخاب کرده اند [۱۱].

هنگامیکه زمانبندی و تخصیص منابع به چندین پروژه به صورت همزمان مطرح می‌شود، تعداد مقالات بسیار محدود بوده و بیشتر مقالات جنبه تئوریک داشته و عمدتاً با استفاده از روشهای بهینه‌سازی مدل‌هایی ارائه و حل شده اند. زمانیکه ابعاد مسئله بزرگ می‌شود، روش های بهینه سازی توانایی حل این مسائل را ندارند. بنابراین استفاده از روش های ابتکاری برای حل این مسائل ضروری است [۱۲]. از دیگر تحقیقات موجود می‌توان مقالات افرادی مثل بل و پارک [۱۳] در سال ۱۹۸۳، کریستوفایدز و همکارانش [۱۴] در سال ۱۹۸۷ و دمئولمستر و هرولن [۱۵] در سال ۱۹۹۲ نام برد. در این مقالات عموماً از روش های بهینه سازی مثل شاخه و کران استفاده شده است. دیویس و پترسون [۱۶] در سال ۱۹۷۵ معتقد بود هیچ یک از قوانین ابتکاری برتری مطلق ندارند و برای هر مسئله می‌توان تعدادی از این قوانین را مورد مقایسه قرار داده و از مناسب ترین آنها استفاده نمود. خطاب و چوبینه [۱۷] در سال ۱۹۹۱، چنین عنوان کرده اند که ترکیب قوانین ابتکاری نتیجه ای به مراتب بهتر از بکارگیری انفرادی این قوانین و الگوریتم‌ها ارائه می‌دهد.

روش انتخابی برای زمانبندی پروژه وابستگی زیادی به هدف پروژه دارد. در بعضی پروژه‌ها تحویل به موقع اهمیت دارد و در بعضی دیگر صرفه جویی در منابع مهم است [۱۸]. روش مسیر بحرانی (CPM) توسط شرکت دوپونت در سال ۱۹۵۷ در کشور انگلستان ارائه شد. یکسال بعد روش PERT در آمریکا بوجود آمد. در این روش زمان انجام فعالیت احتمالی است. روش Gert برای زمانی که وقوع یک فعالیت بصورت احتمالی باشد، بکار می‌رود [۱۹]. تغییر برنامه زمانبندی پروژه، به نحوی که مدت زمان اجرای پروژه حفظ و ثابت نگه داشته شود و هزینه های پروژه کاهش یابد، تخصیص و تسطیح منابع گفته می‌شود. وابستگی بین فعالیت های پروژه دارای چهار دسته شروع به شروع (SS)، شروع به پایان (SF)، پایان به شروع (FS)، پایان به پایان (FF) می‌باشد [۲۰]. در این مقاله روابط فعالیت‌ها بصورت پایان به شروع می‌باشد، شبکه های مدیریت پروژه به دو دسته برداری (AOA) و گرهی (AON) تقسیم

در این مقاله برای حداقل نمودن مجموع هزینه های زودکرد و دیرکرد با استفاده از تکنیک ارزش افزوده یک روش کارا و موثر برای زمانبندی و بودجه بندی یک پروژه بصورت همزمان و موازنه زمان و هزینه انجام شده است. ساختار مقاله در ادامه به شرح زیر است. قسمت دوم شامل مرور ادبیات موضوع می‌باشد. مدلسازی مسئله در قسمت سوم انجام شده است. قسمت چهارم شامل نحوه بکارگیری ارزش افزوده در مدیریت پروژه می‌باشد. این قسمت شامل روش های محاسبه درصد پیشرفت، درصد پیشرفت و میزان مغایرت، مدل موازنه زمان-هزینه، الگوریتم موازنه زمان و هزینه، مدل و الگوریتم تخصیص و تسطیح منابع، ارزیابی و به هنگام سازی بوسیله شاخص های عملکردی و الگوریتم ارزیابی و به هنگام سازی می‌باشد. قسمت پنجم شامل مراحل بکارگیری ارزش افزوده در مدیریت پروژه است. تفسیر شاخص های عملکردی زمان و هزینه در قسمت ششم بیان شده است. کارایی الگوریتم پیشنهادی موازنه زمان-هزینه در قسمت هفتم مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج و تحقیقات آتی در قسمت هشتم بطور خلاصه بیان شده است.

## ۲. مرور ادبیات موضوع

ارائه برنامه زمانبندی انجام پروژه یکی از ارکان اساسی مدیریت پروژه می‌باشد. برنامه زمانبندی نامناسب باعث ایجاد خطا در برآورد هزینه ها، برنامه ریزی منابع و تدارکات، سلب اعتماد و تحمل جریمه‌ها در عقد قراردادهای، تناقض در گزارشات پیشرفت پروژه و غیره می‌باشد. یکی از دلایل ارائه برنامه زمانبندی نامناسب و غیر واقعی، عدم استفاده از تکنیک های مناسب در تخمین جداول زمانبندی انجام پروژه می‌باشد. در این مقاله با استفاده از تکنیک ارزش افزوده و تعادل بین زمان و هزینه پروژه، یک الگوی کارا و موثر برای ارائه یک برنامه زمانبندی مناسب برای انجام پروژه‌ها با هدف حداقل نمودن مجموع هزینه های زودکرد و دیرکرد ارائه شده است.

در طی چهار دهه گذشته، تکنیک ارزش افزوده به عنوان یکی از مهمترین تکنیک های مدیریت پروژه توانسته است، خود را در کنار مهمترین دستاوردها و ابزار مفید مدیریت پروژه قرار دهد. با استفاده از این تکنیک در مدیریت پروژه، مشخص گردید که این تکنیک قادر است تا بطور موثری به مدیریت موسسات دولتی و خصوصی در ایجاد، اداره و کنترل سیستم های بزرگ و جدید کمک نماید [۴].

مسئله برنامه زمانبندی پروژه با منابع محدود یک مسئله NP-Hard است [۵]. تا کنون روشهای ابتکاری متعددی توسط دانشمندان مختلف مطرح و مورد مقایسه قرار گرفته است. از کاراترین این قوانین می‌توان به روشهای SPT، MSP و HGA اشاره نمود. هیچ

می‌شوند، مدل برنامه ریزی خطی که این دو نوع شبکه مزدوج یکدیگر می‌باشند [۱۹].

امیر آذرون و رضا توکلی مقدم یک مدل ارائه کردند که در آن چند پروژه بصورت همزمان وجود دارد، آنها با استفاده از مدل‌های برنامه ریزی احتمالی، در هنگام ورود پروژه‌های جدید به کمک موازنه زمان-هزینه به تخصیص و تسطیح منابع پرداخته‌اند [۳۸]. سعید یعقوبی و همکاران برای تخصیص و تسطیح منابع چند پروژه ای از شبکه‌های پرت پویا استفاده نموده‌اند. هدف این مقاله تخصیص بهینه منابع به ایستگاه‌های کاری می‌باشد. [۳۹]. کونک و همکاران مسئله تخصیص منابع در شرکت‌های چند پروژه ای را به کمک زنجیره مارکوف مدل سازی نمودند [۴۰].

منابع پروژه به دو دسته مصرفی ( تجدید ناپذیر ) مثل بودجه، مصالح و ... و غیر مصرفی ( تجدید ناپذیر ) مثل نیروهای انسانی تقسیم می‌شوند [۲۱]. دیویس و هیدرون یک طرح ارائه کردند که در آن فعالیت‌های پروژه را به واحدهای کوچکتر تقسیم می‌شوند [۲۲]. یانگ و همکارانش برای مسائل مدیریت پروژه یک فرمولاسیون برنامه ریزی پویا ارائه و این مدل را با روش شاخه و کران حل نمودند [۲۱]. کولیش و هارتمن یک طبقه بندی از مسائل مدیریت پروژه با منابع محدود ارائه نمودند [۲۳]. معیارهای اولویت بندی فعالیت‌ها برای تخصیص منابع شامل کمترین مدت زمان شناوری، کمترین زمان فعالیت، حداکثر تعداد پس‌نیازی، حداکثر زمان فعالیت‌های پس‌نیاز، زمان انتظار بیشتر و ... می‌باشد [۲۴]. آنتونیو و لووا یک مقایسه جامع بر روی روشهای هیورستیک انجام داده و آنها را از نظر مدت زمان تکمیل و هزینه با هم مقایسه کردند [۲۵]. کولیش یک روش ابتکاری و کارا برای حل مسائل زمانبندی ارائه نمود. ایشان بهتر بودن روش خود را با یک تحقیق پیمایشی وسیع مورد تاکید قرار داد [۷]. تحقیقات متعدد در خصوص برنامه زمانبندی پروژه به کمک الگوریتم ژنتیک انجام شده است. هر کدام از این روش‌ها نسبت به روش‌های دیگر دارای یک سری مزایا و معایب می‌باشند [۲۹-۲۶][۲۰]. در این مقاله یک روش ابتکاری جدید با استفاده از تکنیک ارزش افزوده برای حل مسائل زمانبندی پروژه با هدف حداقل نمودن مجموع هزینه‌های زودکرد و دیرکرد ارائه شده است.

$a_{ij}$  زمان شروع فعالیت  $j$  از پروژه  $i$   
 $t_{ij}$  زمان لازم برای انجام فعالیت  $j$  از پروژه  $i$   
 $k$  شماره منبع مورد استفاده  $k = 1, 2, \dots, K$   
 $r_{ijk}$  مقدار منبع مورد نیاز  $k$  برای فعالیت  $j$  در پروژه  $i$   
 $R_{kt}$  مقدار منبع در دسترس  $k$  در پریود  $t$

$$x_{ijt} = \begin{cases} 1 & \text{اگر فعالیت } j \text{ از پروژه } i \text{ در پریود } t \text{ تکمیل شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}, y_{it} = \begin{cases} 1 & \text{پروژه } i \text{ اگر } t \text{ تکمیل شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

• تابع هدف: حداقل نمودن مجموع هزینه‌های زودکردها و دیرکردها

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^N T_i = \sum_{i=1}^N \text{Max}(0, a_{im} + t_{im} - d_i)$$

$d_i$  موعد تکمیل پروژه  $i$   
 $t_{im}$  زمان فعالیت  $m$  از پروژه  $i$   
 $a_{im}$  زمان شروع فعالیت  $m$  از پروژه  $i$   
 • محدودیت تقدم و تاخر فعالیت‌ها:

$$T_{iv} = \sum_{t=e_{iv}}^{t_{iv}} t \cdot x_{ivt}$$

$$T_{iw} = \sum_{t=e_{iw}}^{t_{iw}} t \cdot x_{iwt}$$

$$T_{iv} + a_{iw} \leq T_{iw}$$

$T_{iv}$  زمان تکمیل فعالیت  $v$  از پروژه  $i$   
 $T_{iw}$  زمان تکمیل فعالیت  $w$  از پروژه  $i$   
 $a_{iw}$  زمان شروع فعالیت  $w$  از پروژه  $i$   
 $L_{iv}$  دیرترین زمان تکمیل فعالیت  $v$  از پروژه  $i$   
 $e_{iv}$  زودترین زمان تکمیل فعالیت  $v$  از پروژه  $i$

✓ یعنی تا یک فعالیت تمام نشود فعالیت بعدی نباید شروع شود.  
 • محدودیت تقدم و تاخر پریودها

$$y_{it} \leq y_{i,t+1} \iff y_{ip} = 1 \forall t \geq q : y_{it} = 1$$

✓ یعنی تا پریود  $t$  تمام نشود پریود  $t+1$  شروع نمی‌شود.  
 • محدودیت زمان انجام فعالیت

$$\sum_{t=e_{ij}}^{L_{ij}} x_{ijt} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, M, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

✓ یعنی هر فعالیت از هر محصول فقط در یک پریود انجام می‌شود

• محدودیت تخصیص منابع:

### ۳. مدل سازی مسئله

در حالت کلی مسئله زمانبندی پروژه با منابع محدود برای چند پروژه بصورت زیر فرموله می‌شود. متغیرها و پارامترهای مدل بصورت زیر تعریف می‌شوند:

$i$  شماره پروژه  $i = 1, 2, \dots, N$   
 $j$  شماره فعالیت  $j = 1, 2, \dots, M$   
 $t$  پریود زمانی تکمیل پروژه  $i$   $\max P_i$   
 $d_i$  زمان مطلوب برای پایان پروژه  $i$

مساحت کاری و میزان پرداخت حقوق به یک واحد یکسان بیان می‌کند. این تکنیک بعد از تجزیه و تحلیل همه گزارشات، پیشرفت هر یک از آنها را بصورت درصد پیشرفت کار ارائه می‌کند. بر این اساس میزان پیشرفت کار در همه واحدها بصورت یک واحد یکسان و قابل مقایسه بیان می‌شود.

ج: ارزش افزوده یک مبنا برای تجزیه و تحلیل هزینه های پروژه در واحد زمان است. بر این اساس در مقطعی از زمان ارزش افزوده فعالیت های پروژه با ارزش پولی کارهای انجام شده در واحد زمان پروژه مقایسه و سپس تجزیه و تحلیل واقعی از عملکرد هزینه های پروژه ارائه می‌دهد. به عبارت دیگر در تجزیه و تحلیل ارزش افزوده، هزینه صرف شده با مقدار پیشرفت واقعی کار و ارزش بودجه ای آن مقایسه گردیده و ارزیابی صحیحی از وضعیت هزینه های پروژه ارائه می‌شود.

به طور کلی تکنیک ارزش افزوده فرایندی است که می‌تواند ارزیابی عملکرد هزینه های پروژه را با ارائه درصد پیشرفت فیزیکی و بر اساس یک واحد اندازه گیری یکسان برای همه فعالیت های پروژه ارائه دهد.

#### ۴-۱. روش های محاسبه درصد پیشرفت

به طور کلی برای محاسبه درصد پیشرفت پروژه می‌توان از روش های واحد های تکمیل شده (Unit Completed)، روش رشد مقاطع خاص (Incremental milestone)، برحسب شروع و پایان فعالیت (Start & Finish percentage)، برحسب رأی ناظران (Supervisor Opinion)، روش نسبت زمان (Time Ratio)، روش نسبت هزینه (Cost Ratio) و روش وزن دهی واحدها (Weighted Units) استفاده نمود [۳۱]:

برای اندازه گیری هر یک از فعالیت های پروژه، ممکن است یکی از روش های فوق استفاده شود. بنابراین در یک پروژه ممکن است از روش های فوق بصورت ترکیبی استفاده شود. تکنیک ارزش افزوده برای محاسبه درصد پیشرفت از روش های نسبت هزینه و زمان بصورت توأم استفاده می‌کند [۳۲]. این تکنیک بوسیله دو معیار میزان انحراف از برنامه (SPI) و انحراف از هزینه (CPI) به تجزیه و تحلیل اطلاعات پرداخته و سپس براساس نتایج حاصل برنامه زمانبندی و بودجه بندی برای ادامه پروژه را تدوین می‌کند. شاخص (SPI) در یک زمان معین، میزان کار انجام شده را نسبت به مقدار کار برنامه ریزی شده در همان مدت زمان مقایسه می‌کند. این شاخص برای پیش بینی زمان خاتمه پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص (CPI) یک مقایسه از میزان هزینه مصرف شده نسبت به بودجه برنامه ریزی شده برای فعالیت های کاری را بیان می‌کند. این مقیاس در واقع میزان بهره وری پروژه را مشخص می‌کند.

✓ یعنی هر منبع در یک پریود مشخص فقط به یک فعالیت اختصاص دارد.

• محدودیت زمان تکمیل :

$$X_{it} \leq \frac{1}{M_i} \sum_{j=1}^{M_i} \sum_{t=e_{ij}}^{L_{ij}} X_{ijt} \quad t = E_i, \dots, P_i, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$E_i$ : زودترین زمان تکمیل پروژه  $i$

✓ یعنی اگر همه فعالیت های پروژه آدر پریود تمام شود مقدار  $X_{it} = 1$  و در غیر اینصورت  $X_{it} = 0$  است.

• محدودیت منابع پروژه:

$P_{ijk}$ : مدت زمانی از فعالیت  $j$  در پروژه  $i$  که به منبع  $k$  نیاز دارد.

$Q_{ijk}$ : مدت زمانی از فعالیت  $j$  در پروژه  $i$  که به منبع  $k$  نیاز ندارد

$N_{ij}$ : زمان تکمیل فعالیت  $j$  در پروژه  $i$

$$a_{ij} + P_{ijk} \leq n_{ij} \leq a_{ij} + t_{ij} - 1$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} \sum_{t=a_{ij}}^{a_{ij}+t_{ij}-1} r_{ijk} X_{ijk} \leq R_{kt}$$

✓ یعنی مجموع زمان هایی که یک منبع به همه فعالیت‌ها تخصیص می‌یابد نباید از کل زمان در دسترس آن منبع زیادتر باشد.

• محدودیت غیرهمزمانی فعالیت‌ها:

$$\sum_{t=a_{ij}}^{a_{ij}+t_{ij}-1} X_{ivt} + \sum_{t=a_{ij}}^{a_{ij}+t_{ij}-1} X_{iwt} \leq 1$$

$$a_{ij} = \max\{e_{iv}, e_{iw}\}, \dots, \min\{L_{iv}, L_{iw}\}$$

✓ یعنی دو فعالیت همزمان از یک منبع استفاده نکنند.

#### ۴. ارزش افزوده و مدیریت پروژه

ساده‌ترین و رایج‌ترین تعبیر ارزش افزوده در مدیریت پروژه، واژه پیشرفت فیزیکی و ارزشی پروژه می‌باشد. ارزش افزوده هر پروژه معادل ارزشی است که از تکمیل فعالیت های پروژه حاصل می‌شود و از طرف دیگر مقیاسی جهت اندازه گیری میزان پیشرفت پروژه می‌باشد. درصد تکمیل و پیشرفت پروژه با ارزش افزوده دارای ارتباط مستقیم بوده و دارای سه مفهوم زیر است [۳۰]

الف: ارزش افزوده یک واحد اندازه گیری برای نمایش میزان پیشرفت پروژه و زیر پروژه های آن در قالب واحد هایی مثل نفر ساعت، ماشین ساعت و یا واحد پولی می‌باشد. با توجه به اینکه هر نفر ساعت یا ماشین ساعت قابل تبدیل به واحد پولی می‌باشد، بنابراین واحد پولی یک فاکتور ترکیبی از واحد های مختلف در ارزیابی عملکرد است.

ب: ارزش افزوده یک تکنیک جهت تجزیه و تحلیل میزان پیشرفت و عملکرد پروژه می‌باشد. این تکنیک واحدهای مختلف بر مبنای میزان ساخت و ساز، میزان تولید، میزان نفر-ساعت، میزان مترآژ و

#### ۴-۲. درصد پیشرفت و میزان مغایرت

یکی از فعالیت های دوره ای مدیریت پروژه، محاسبه ارزش افزوده، میزان مغایرت هزینه ها، انحرافات زمانبندی، ارائه برنامه تکمیل کار و محاسبه درصد پیشرفت کار می باشد. مراحل انجام این فعالیت ها بصورت زیر می باشد.

#### ✓ محاسبه میزان انحرافات از برنامه زمانبندی

$$SV = BCWP - BCWS \quad (1)$$

- این انحراف از تفاضل بودجه ریزی شده برای انجام کار و ارزش افزوده بدست می آید.

#### ✓ محاسبه میزان انحراف از هزینه بودجه ریزی

$$CV = BCWP - ACWP \quad (2)$$

- این انحراف از تفاضل هزینه واقعی شده و ارزش افزوده بدست می آید.

#### ✓ محاسبه شاخص عملکرد برنامه

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS} \quad (3)$$

- این شاخص از تقسیم ارزش افزوده بر ارزش برنامه ای حاصل می شود.

#### ✓ محاسبه شاخص عملکرد هزینه

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP} \quad (4)$$

- این شاخص از تقسیم ارزش افزوده بر هزینه واقعی حاصل می شود.

#### ✓ تخمین حداقل و حداکثر زمان اضافه مورد نیاز برای تکمیل پروژه

$$Time_{Min} = \frac{Schedule}{SPI} \quad (5)$$

$$Time_{Max} = \frac{Schedule}{SPI \cdot CPI} \quad (6)$$

#### ✓ تخمین حداقل و حداکثر هزینه اضافه مورد نیاز برای تکمیل پروژه

$$Cost_{Min} = \frac{Budget}{CPI} \quad (7)$$

$$Cost_{Max} = \frac{Budget}{CPI \cdot SPI}$$

فرض کنید قبل از زمان عملیات بهنگام سازی برای پروژه مشکلاتی بوجود آمده است. این مشکلات باعث شده در حال حاضر هزینه واقعی بیش از بودجه پیش بینی شده برای انجام کار باشد. اگر روند عملکرد پروژه به همین صورت نامطلوب ادامه یابد، میزان هزینه و زمانی که برای تکمیل پروژه برآورد می شود (EAC)، اختلاف زیادی با میزان بودجه و زمان پیش بینی شده (BAC) پیدا خواهد کرد.

#### ۴-۳. مدل موازنه هزینه و زمان پروژه

زمان فعالیت ها بدلیل وجود عوامل محیطی مانند مقدار منابع در دسترس، شرایط آب و هوا، تورم، بحران های اقتصادی و اجتماعی، خطاهای طراحی و اجرایی همواره با مقداری عدم اطمینان همراه است. استفاده از روش هایی که بتواند این عدم اطمینان را در نظر بگیرد، کمک می کند تا با در نظر گرفتن واقعیات محیطی دست به تصمیمی بزنیم که در نتیجه آن میزان ریسک و اشتباهات در تصمیم گیری ها را به طور قابل ملاحظه ای کاهش دهد. از طرف دیگر هر گونه انحراف از زمان های برآورد شده، باعث افزایش هزینه ها، بخصوص هزینه های بالاسری پروژه می شود. ایجاد تعادل بین زمان و هزینه کاری است که همیشه گریبان مدیران پروژه برای درک صحیح از زمان مناسب می گیرد. یک مدل موازنه هزینه و زمان بصورت مورد کاربردی توسط مهدی غضنفری و همکارانش انجام شده است. موضوع آن کاربرد موازنه هزینه و زمان برای شبکه پیش نیازی یک پروژه ساختمان سازی می باشد. این تحقیق کارایی روش خود را برای کاهش زمان و هزینه پروژه مورد تاکید قرار داده است [۳۶]. یک نمونه دیگر از مدل موازنه هزینه و زمان در شرایط فازی توسط احسان اشتهاردیان با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه شده است. ایشان با استفاده از برش های آلفا بر اعداد فازی زمان و هزینه هر فعالیت به جواب های بهینه دسترسی پیدا کرده است [۳۷]. برای تعادل بین زمان و هزینه در مسائل مدیریت پروژه راه حل های متنوعی وجود دارد. مدل ارائه شده در این مقاله برای موازنه زمان و هزینه به شرح زیر است.

#### ۴-۴. الگوریتم موازنه هزینه و زمان :

- لیست کلیه فعالیت های انجام پروژه را تهیه کنید. فعالیت دارای زمان و هزینه بالاتر فعالیت غالب و فعالیت دارای زمان و هزینه کمتر فعالیت مغلوب است.
- برای هر فعالیت فاصله اقلیدسی بین زمان و هزینه را محاسبه کنید.

$$d_k = \frac{1}{n} \sqrt{\lambda \left( \frac{\sum_{k=1}^n (C_k - C_i)}{C_{max} - C_{min}} \right)^2 + (1 - \lambda) \left( \frac{\sum_{k=1}^n (T_k - T_i)}{T_{max} - T_{min}} \right)^2} \quad (9)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad d_k = \sqrt{\lambda \left( \frac{C_k - \bar{C}}{C_{max} - C_{min}} \right)^2 + (1 - \lambda) \left( \frac{T_k - \bar{T}}{T_{max} - T_{min}} \right)^2} \quad (10)$$

λ: ضریب تعدیل بین هزینه و زمان

- ۱- تعیین مسیر بحرانی، تعیین زودترین و دیرترین زمان شروع هر فعالیت، تعیین زودترین و دیرترین زمان پایان هر فعالیت، تعیین زمان شناوری هر فعالیت، تعیین منابع مورد نیاز هر فعالیت
- ۲- برای هر پروژه بلافاصله بعد از بیکاری حداقل یکی از منابع (دسترسی به حداقل یکی از منابع: مثل ماشین الات و نیروی انسانی)، لیست فعالیت‌های آماده و منتظر انجام عملیات بر روی آن منبع را تعیین کنید. برای هر یک از فعالیت‌های لیست انتظار، تعداد فعالیت پس نیاز و زمان شناوری را تعیین کنید.
- ۳- برای هر یک از فعالیت‌ها در هر یک از پروژه‌ها فاصله اقلیدسی بین زمان و هزینه را محاسبه کنید. لیست کلیه فعالیت‌های هر پروژه را براساس معیار اقلیدسی بین زمان و هزینه بصورت صعودی مرتب کنید. کوچکتر بودن این فاصله یکی از معیارهای تأثیرگذار برای اولویت فعالیت در تخصیص منابع است.
- ۴- میزان اهمیت نسبی و اولویت هر یک از فعالیت‌ها در هر پروژه برای انجام عملیات را با توجه به فرمول (۱۱) محاسبه کنید.

$$R_{ij} = \frac{d_{ij} - S_{ij}}{W_{ij}} \quad (11)$$

- $d_{ij}$ : فاصله اقلیدسی فعالیت آدر پروژه  $j$
- $S_{ij}$ : زمان شناوری فعالیت آدر پروژه  $j$
- $W_{ij}$ : تعداد پس‌نیاز فعالیت آدر پروژه  $j$
- ۵- با استفاده از معیار قدم چهار در هر پروژه، منابع را به ترتیب  $R_{ij}$  کمتر به فعالیت‌ها تخصیص دهید. این معیار در واقع شامل سه معیار زمان انجام فعالیت، میزان منابع مورد نیاز، زمان شناوری و تعداد فعالیت پس نیاز را برای انجام عملیات می‌باشد. در شرایط یکسان فعالیت با زمان کمتر در اولویت است.
- ۶- بلافاصله بعد از آزادی عمل یا دسترسی به حداقل یکی از منابع به قدم دوم برگردید.
- ۷- قدم دوم الی ششم را آنقدر تکرار کنید، تا یک برنامه زمانبندی امکانپذیر برای کلیه فعالیت‌ها تعیین شود.

۴-۷. ارزیابی و بهنگام‌سازی بوسیله شاخص‌های عملکردی شاخص‌های (CPI) و (SPI) یک مقیاس اندازه‌گیری جهت پیشرفت پروژه را فراهم می‌آورند، شاخص‌های بیشتر از (۱) برای (CPI) و (SPI) بیانگر عملکرد خوب پروژه می‌باشد و متقابلاً زمانی که ارزش‌های (CPI) و (SPI) کمتر از (۱) باشد، نشان دهنده عملکرد ضعیف و پایین پروژه می‌باشد. در این مقاله علاوه بر شاخص‌های CPI و SPI از دو شاخص CR و SV استفاده شده است. مقادیر مثبت برای این دو شاخص بیانگر عملکرد مناسب پروژه و مقادیر منفی برای این دو شاخص بیانگر عملکرد نامطلوب پروژه می‌باشد. در طول چرخه عمر پروژه، مقدار این شاخص‌ها جهت ارزیابی عملکرد

- $k$ : شمارش فعالیت
- $d_k$ : فاصله اقلیدسی بین زمان و هزینه فعالیت  $k$
- $C_k$ : هزینه فعالیت  $k$  ( $k=1,2, \dots, n$ )
- $T_k$ : زمان فعالیت  $k$  ( $k=1,2, \dots, n$ )
- $\bar{C}$ : متوسط هزینه کلیه فعالیت‌ها ( $\bar{C} = \frac{\sum_{k=1}^n C_k}{n}$ )
- $\bar{T}$ : متوسط زمان کلیه فعالیت‌ها ( $\bar{T} = \frac{\sum_{k=1}^n T_k}{n}$ )
- $C_{max}$ : حداکثر هزینه فعالیت بین همه فعالیت‌ها
- $C_{min}$ : حداقل هزینه فعالیت بین همه فعالیت‌ها
- $T_{max}$ : حداکثر زمان فعالیت بین همه فعالیت‌ها
- $T_{min}$ : حداقل زمان فعالیت بین همه فعالیت‌ها

**توضیح:** در ابتدای مسئله و در شرایط نرمال مقدار  $\lambda = 0.5$  می‌باشد. هرچه مقدار  $\lambda$  بزرگتر شود ارزش هزینه زیاده‌تر و ارزش زمان کمتر می‌شود و بالعکس هرچه مقدار  $\lambda$  کوچکتر شود، ارزش هزینه کمتر و ارزش زمان افزایش می‌یابد.

- ۳- برای تخصیص منابع به فعالیت‌ها، آن فعالیت‌هایی اولویت دارند که دارای فاصله اقلیدسی کوچکتر ( $d_k$ ) می‌باشند. مقدار فاصله اقلیدسی کوچکتر یکی از معیارهای اولویت برای تخصیص منابع است. این معیار بعد از هر عملیات بهنگام‌سازی برای فعالیت‌های در جریان ساخت و باقی مانده تغییر می‌کند، هدف این تغییر در جهت تعادل و کاهش هزینه و زمان پروژه می‌باشد.

#### ۴-۵. مدل تخصیص و تسطیح منابع

روش‌های تخصیص و تسطیح منابع به فعالیت‌ها، به دلیل تاثیر مستقیم بر زمان و هزینه پروژه در مسائل مدیریت پروژه دارای اهمیت زیاد می‌باشند. اولویت تخصیص و تسطیح منابع در مسائل مدیریت پروژه بوسیله طول مسیری که فعالیت در آن قرار دارد، تعیین می‌شود. به عبارت بهتر فعالیت‌های مسیر بحرانی نسبت به بقیه فعالیت‌ها در تخصیص منابع دارای اولویت هستند. زیرا این موضوع باعث کاهش زمان پروژه می‌شود.

در این مقاله از سه معیار فاصله اقلیدسی بین زمان و هزینه هر فعالیت، زمان شناوری فعالیت و تعداد فعالیت پس نیاز برای انجام تخصیص و تسطیح منابع استفاده شده است. مسیر بحرانی از ابتدا تا انتهای طرح ثابت است و فاصله اقلیدسی فعالیت‌ها در زمان بهنگام‌سازی و تعدیل ضریب زمان و هزینه  $\lambda$  تغییر می‌کند. این تغییر فاصله باعث ایجاد تغییر در معیار تخصیص منابع در بین زمان و هزینه می‌شود. بر این اساس بین زمان و هزینه پروژه تعادل ایجاد می‌شود. برای تخصیص و تسطیح منابع در مسائل مدیریت پروژه روش‌های متنوعی وجود دارد. مدل ارائه شده در این تحقیق برای تخصیص و تسطیح منابع به صورت زیر است.

#### ۴-۶. الگوریتم تخصیص و تسطیح منابع:

- ۱- برای هر یک از پروژه‌ها موارد زیر را مشخص کنید:

حال انجام و باقی مانده کلیه قدم های الگوریتم تخصیص منابع را اجرا کنید.

۴. در صورتی که پروژه عقب‌تر از برنامه زمانبندی و جلوتر از برنامه بودجه باشد، ضریب تعدیل هزینه و زمان را به اندازه  $\lambda = |SPI - CPI|$  کاهش دهید. سپس برای فعالیت های در حال انجام و باقی مانده کلیه قدم های الگوریتم تخصیص منابع را اجرا کنید.

۵. در صورتی که پروژه جلوتر از برنامه زمانبندی و بودجه بندی باشد، عقب‌تر از برنامه زمانبندی و بودجه بندی و یا طبق برنامه زمانبندی و بودجه بندی باشد ضریب تعدیل هزینه و زمان را تغییر ندهید. سپس برای فعالیت های در حال انجام و باقی مانده کلیه قدم های الگوریتم تخصیص منابع را اجرا کنید.

۶. در صورتی که پروژه جلوتر از زمان بندی و طبق بودجه بندی و یا طبق زمان بندی و کمتر از بودجه باشد ضریب تعدیل هزینه و زمان را به اندازه  $\frac{1}{2}\lambda$  افزایش دهید.

۷. در صورتی که پروژه عقب‌تر از زمان بندی و طبق بودجه بندی و یا طبق زمان بندی و بیشتر از بودجه باشد ضریب تعدیل هزینه و زمان را به اندازه  $\frac{1}{2}\lambda$  کاهش دهید.

۸. قدم های دوم تا هفتم را آنقدر تکرار کنید تا یک برنامه زمانبندی امکانپذیر برای همه فعالیت های در حال انجام و باقی مانده تعیین شود.

#### ۵. مراحل بکارگیری ارزش افزوده

جهت استفاده از تکنیک ارزش افزوده در ابتدای شروع پروژه لازم است چند گام اساسی برداشته شود، که در نتیجه آن بتوانیم تکنیک ارزش افزوده را در حین اجرای پروژه بکار ببریم، خلاصه مراحل آماده سازی و بکارگیری بشرح زیر است :

۱. تعیین فعالیت های پروژه، تهیه ساختار شکست کار و گروه بندی فعالیت های پروژه به روش WBS

در این مرحله ضمن شناخت فعالیت های اصلی و فرعی لازم برای تکمیل پروژه، مسیر اصلی و شماتیک جهت تجربه و تحلیل عملکرد پیشرفت پروژه تعیین می‌شود. ساختار شکست کار، عناصر تشکیل دهنده پروژه را در سطوح مختلف بررسی و ارائه می‌نماید. این ساختار باید تمامی فعالیت های پروژه از بالاترین سطح تا پایین‌ترین سطح را شامل گردد.

#### ۱. ترسیم شبکه برداری یا گرهی فعالیت ها

در این مرحله با استفاده از چارچوب WBS، فعالیت های پیش نیاز و پس نیاز مشخص و سپس شبکه فعالیت های پروژه ترسیم می‌گردد. با استفاده از شبکه فعالیت های پروژه و زمان هر یک از فعالیت‌ها مسیر بحرانی پروژه توسط روش CPM تعیین می‌شود.

#### ۲. تخمین منابع مورد نیاز هریک از فعالیت ها

پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار این شاخص‌ها در ابتدای هر پروژه مساوی یک است. [۳۴]

روند پروژه‌ها بدلیل وقایعی که بر روی هزینه و زمانبندی تأثیرگذار هستند، متغیر می‌باشد. بنابراین شاخص‌های عملکردی (CPI) و (SPI) نسبت به نقطه شروع پروژه منحرف می‌شوند و متناسب با آن در طول پیشرفت پروژه بصورت هفته به هفته نیز تغییر می‌کند. مدیر پروژه در برابر تغییرات ناچیز این شاخص‌ها نباید واکنش یا عکس العمل شدید نشان دهد. زیرا انحرافات کوچک در این شاخص‌ها یک موضوع قابل انتظار است. انحرافات بزرگ در این معیارها باید توسط مدیر رسیدگی و کنترل شود و دلایل تغییرات مهم که بر روی شاخص‌های عملکردی پروژه تأثیرگذار می‌باشند، پیدا نموده و براساس آن عملیات بهنگام‌سازی زمان و هزینه را برای فعالیت‌های باقی مانده انجام دهد. این نوع گزارش مستلزم توجه و رسیدگی مدیر پروژه خواهد بود، تا بخش‌های مختلف تیم پروژه را مورد بازخواست قرار دهد و مشخص شود که چه چیزی اتفاق افتاده و دلیل این تغییر چشمگیر در شاخص‌های عملکردی چیست.

بنابراین مدیر پروژه، در برابر تغییراتی که در پروژه رخ می‌دهد می‌بایست، دائماً هوشیار و مراقب باشد. شاخص‌های عملکردی (CPI) و (SPI) اطلاعاتی را بری مدیر پروژه فراهم می‌آورد، تا او پیشرفت کار پروژه را بررسی کرده و از اینکه پروژه در جهت صحیح و موفقیت آمیز حرکت می‌نماید، اطمینان حاصل کند. وزارت دفاع و سازمان انرژی ایالات متحده آمریکا برای کنترل پروژه های منتخب خود از روش  $C/SCSC$  استفاده می‌کنند. این روش برای کنترل توأم هزینه و زمان پروژه‌ها تعریف و تهیه شده است. این سیستم کنترلی در ابتدا برای پروژه های بزرگ تحقیقاتی تعریف و سپس در پروژه های اجرایی مورد استفاده قرار گرفت. در حال حاضر این روش برای اندازه گیری و کنترل پروژه های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. مبنای این روش همان دو شاخص (CPI) و (SPI) می‌باشد، این دو شاخص به همراه تکنیک ارزش افزوده در این پروژه مورد استفاده می‌باشد [۳۵].

#### ۴-۸. الگوریتم ارزیابی و بهنگام سازی

۱. برای هر یک از پروژه‌های یک پرویود مشخص برای عملیات ارزیابی و بهنگام سازی مشخص کنید. این زمان با توجه به اهمیت پروژه، مقدار زمان و هزینه پروژه تعیین می‌شود. در این تحقیق هر یک از پروژه‌ها در هر هفته ارزیابی و بهنگام می‌شوند.

۲. بعد از عملیات ارزیابی لیست پروژه هایی که دارای مغایرت زمان یا هزینه می‌باشند را تعیین کنید. این پروژه‌ها نیاز به عملیات بهنگام‌سازی دارند.

۳. در صورتی که پروژه جلوتر از برنامه زمانبندی و عقب‌تر از برنامه بودجه باشد، ضریب تعدیل هزینه و زمان را به اندازه  $\lambda = |SPI - CPI|$  افزایش دهید. سپس برای فعالیت های در



## ۳. برنامه ریزی و زمانبندی فعالیت های پروژه

در این مرحله با بهره گیری از برنامه زمانبندی طرح که در آن کلیه فعالیت‌ها بر اساس مدت زمان لازم برای تکمیل، زودترین زمان شروع و دیرترین زمان پایان و روابط پیش‌نیازی به یکدیگر مرتبط شده‌اند، منحنی هزینه - زمان تجمعی برای کل فعالیت های پروژه ترسیم می‌شود.

سومین مرحله از اجرای تکنیک ارزش افزوده، ارزیابی و تعیین میزان هزینه لازم برای اجرای هر یک از فعالیت‌ها است. هر پروژه، مجموعه‌ای از فعالیت های گروه بندی شده است که در مدت زمان محدود و با صرف منابع مخصوص تکمیل می‌گردد. منابع پروژه شامل نیروی انسانی، مواد و مصالح و ماشین آلات و تجهیزاتی است. هزینه نیروی انسانی بر حسب نفر-ساعت، هزینه مواد و مصالح بر حسب واحد پولی، هزینه ماشین آلات و تجهیزات بر حسب ماشین - ساعت محاسبه می‌شود.

جدول ۱. موازنه زمان-هزینه

زمان بودجه	SV>0 & SPI>1	SV=0 & SPI=1	SV<0 & SPI<1
	CV>0 & CPI>1	جلوتر از زمان بندی کمتر از بودجه Very Good ( $\lambda^+$ )	طبق زمان بندی کمتر از بودجه Good ( $\frac{1}{2}\lambda^+$ )
CV=0 & CPI=1	جلوتر از زمان بندی طبق بودجه Good ( $\frac{1}{2}\lambda^+$ )	طبق زمان بندی طبق بودجه Normal ( $\lambda^0$ )	عقب‌تر از زمان بندی طبق بودجه Good ( $\frac{1}{2}\lambda^-$ )
SV<0 & CPI<1	جلوتر از زمان بندی بیش از بودجه Normal ( $\lambda^0$ )	طبق زمان بندی بیش از بودجه Good ( $\frac{1}{2}\lambda^-$ )	عقب‌تر از زمان بندی بیش از بودجه Very Bad ( $\lambda^-$ )

زمان بصورت همزمان استفاده می‌شود. برای تعیین اولویت فعالیت‌ها در تخصیص و تسطیح منابع در شرایط جدید از روش ارائه شده در قسمت (۶-۴) استفاده می‌شود.

## ۷. محاسبه هزینه واقعی صرف شده برای انجام هر فعالیت

هدف این مرحله که بصورت دوره ای انجام می‌شود، محاسبه هزینه واقعی پروژه تا زمان بررسی به تفکیک هر یک از فعالیت های پروژه می‌باشد. استفاده از سیستم های کامپیوتری در این مرحله ضمن تسهیل در روند مبادله اطلاعات باعث دقت محاسبات است. اطلاعات مالی هر پروژه معمولاً از صورت حساب پرداخت هزینه‌ها بدست می‌آید.

## ۸. محاسبه درصد پیشرفت و میزان مغایرت

هدف این مرحله در فعالیت های دوره ای، محاسبه ارزش افزوده، ثبت اطلاعات بررسی وضعیت عملکرد پروژه است. ارزش افزوده پروژه معادل درصد پیشرفت فعلیتی است که بوده آن زمانبندی شده است. در این میزان مغایرت هزینه‌ها و انحراف زمانبندی طرح محاسبه و در ادامه برنامه تکمیل کار تدوین می‌شود. مراحل انجام این مرحله در قسمت (۲-۴) توضیح داده شده است.

## ۴. تخصیص و تسطیح منابع بمنظور اطمینان از امکان اجرای پروژه

در این مرحله، کلیه اطلاعات جمع آوری شده در خصوص برنامه زمانبندی و بودجه بندی را جدول بندی نموده و با ارائه یک طرح جامع از کلیه اطلاعات به تجزیه و تحلیل آنها می‌پردازیم. برای تعیین اولویت فعالیت‌ها در تخصیص و تسطیح منابع به روش ارائه شد. در قسمت (۶-۴) عمل می‌کنیم.

## ۵. بهنگام سازی برنامه زمانبندی

برای این کار ابتدا باید گزارش درصد پیشرفت هر یک از فعالیت‌های موجود در برنامه زمانبندی را دریافت نمود. این گزارش شامل وضعیت کلیه فعالیت های تکمیل شده، در حال تکمیل و یا باقی مانده می‌باشد. برای انجام عملیات بهنگام سازی به روش ارائه شده در قسمت (۸-۴) عمل می‌کنیم. هدف این مرحله ارائه یک برنامه زمانبندی جدید برای فعالیت های در حال انجام و باقی مانده می‌باشد.

## ۶. تخصیص و تسطیح منابع در شرایط جدید

در این مرحله با استفاده از تکنیک ارزش افزوده، منابع در ابتدا به فعالیت هایی اختصاص می‌یابد که دارای ارزش افزوده بیشتری در مسیر تکامل پروژه می‌باشند. در این عملیات از معیارهای هزینه و

## ۹. تجزیه و تحلیل اطلاعات و ارائه نتایج

هدف این مرحله تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع آوری شده و ارائه نتایج این تجزیه و تحلیل در طی یک گزارش است. این گزارشات باید به گونه ای مستند سازی شود که ضمن ارائه واقعیات، دیدگاه خوانندگان را نسبت به عملکرد پروژه اصلاح کند. این گزارشات شامل معیارهای اندازه گیری میزان پیشرفت، مقایسه آنچه در واقعیت رخ داده و آنچه برنامه ریزی شده و برنامه های آینده برای تکمیل پروژه می باشد.

## ۷. کارایی الگوریتم هزینه و زمان

تکنیک ارزش افزوده بری مدیریت پروژه دارای ویژگی‌های است که آن را از سایر قوانین متمایز می کند. این تکنیک دو عامل مهم زمان و هزینه انجام پروژه را به صورت همزمان در نظر گرفته و مسایل چند پروژه‌ای را بهتر حل می کند. برای تأیید این ادعا کمیته بنام درصد مجموع زمان دیرکرد و زودکرد به زمان سیکل پروژه (TTR) به صورت رابطه زیر تعریف می کنیم:

$$TTR = \text{(Tardiness Time Rate)}$$

$$\frac{\text{مجموع زمان‌های دیرکرد و زودکرد}}{\text{زمان سیکل پروژه}}$$

(۱۲)

در این مقاله برای تعیین میزان برتری الگوریتم ارائه شده از معیار (TTR) استفاده شده است و نتایج حاصل از این الگوریتم با قوانین SPT و MSP و HGA مقایسه شده است. برتری این الگوریتم نسبت روش‌های موجود در حل ۵۰۰ مسئله که ابعاد و مقادیر پارامترهای آن بصورت تصادفی تولید گردیده‌اند مورد تأیید قرار گرفته است. مسایل نمونه تولید شده برای تست و آزمایش الگوریتم دارای ابعاد، ساختار و اندازه‌های مختلف می باشند. نتایج مقایسه جواب‌ها در جدول ۳ آمده است. در هر سطر جدول ۳ تعداد ۲۰ مسئله نمونه بررسی شده است. ابعاد مسئله در جدول ۳ بیانگر تعداد فعالیت‌ها و تعداد ارتباطات می باشد. همه مسایل تولید شده بصورت شبکه گرهی طراحی و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. مسئله زمانبندی و مدیریت پروژه به همراه تخصیص منابع محدود در حالت چند پروژه‌ای تاکنون مدل برنامه‌ریزی خطی صفر و یک فرموله و در مسایل با ابعاد کوچک حل شده است [۷]. بطور مثال مسئله مطرح شده در سطر اول جدول ۳ چنانچه به مسئله صفر و یک تبدیل شود، حداقل ۳۵ متغیر و ۴۷ محدودیت دارد. براساس مقایسه کمیت TTR در الگوریتم ارائه شده است با قوانین SPT و MSP و BLP و با استفاده از ۵۰۰ عدد مسئله نمونه با ساختار و اندازه‌های مختلف در جدول ۳، الگوریتم ارائه باعث بهبود ۸/۱۵ درصد نسبت به MSP، ۷/۴۳ درصد نسبت به قانون HGA شده است. همچنین نسبت به جواب BLP بطور متوسط دارای ۳/۵ درصد انحراف می باشد. از طرف دیگر زمان حل ۲۱/۳ درصد نسبت به MSP، ۱۵/۶ درصد نسبت به قانون HGA و حدود سه برابر سریع تر از BLP بوده است.

## ۶. تفسیر شاخص های عملکردی زمان و هزینه

این شاخص‌ها یک وسیله اندازه گیری را فراهم می سازد تا بدانیم برنامه ریزی تا چه مقدار به خوبی انجام شده است. این موضوع از طریق مقایسه هزینه و زمان برنامه ریزی شده نسبت به هزینه و زمان واقعی کار انجام شده محقق می شود. در نتیجه انحرافات که بین اندازه شاخص‌ها رخ می دهد، بیانگر نتایج زیر می باشد [۳۵].

**اگر (SPI) بزرگتر از (۱) باشد،** آنگاه: پروژه از زمانبندی جلوتر است، زمان برنامه ریزی شده بالاتر از حد نیاز است، شرایط کاری بهتر است که در ابتدا پیش بینی شده است، نیروی انسانی بیشتر از حد مورد نیاز وجود داشته است، بهره وری واقعی نسبت به آنچه برنامه ریزی شده، بالاتر است.

**اگر (SPI) کوچکتر از (۱) باشد،** آنگاه: پروژه از نظر زمانبندی عقب تر است، این انحراف ممکن است در اثر تاخیرات، نیروی انسانی کم و عدم سازماندهی مناسب باشد، کارها سخت تر از آن چیزی می باشد که برنامه ریزی شده است.

**اگر (CPI) بزرگتر از (۱) باشد،** آنگاه: پروژه دارای عملکرد هزینه ای مناسب است، کارایی افراد بیش از حد مورد انتظار برنامه ریزی شده است، اندازه گیری درصد های پیشرفت خیلی خوش بینانه است، بهره وری واقعی نسبت به آنچه برنامه ریزی شده بالاتر است، مقادیر هزینه برآورد شده بیشتر از هزینه مورد نیاز است.

**اگر (CPI) کوچکتر از (۱) باشد،** آنگاه: پروژه دارای عملکرد ضعیف و نامطلوب هزینه ای می باشد، کارایی افراد پایین تر از حد مورد انتظار برنامه ریزی است، دقت برآورد هزینه با درصد کم انجام شده است.

جدول ۴. مقایسه زمان و هزینه روش‌های مختلف

ابعاد مسئله	BLP		MSP		HGA		TTR	
	Cost	Time(s)	Cost	Time(s)	Cost	Time(s)	Cost	Time(s)
۳×۵	۱۷۶/۲۷	۲۱/۱۲	۲۰۵/۴۸	۱۹/۶۵	۱۹۸/۱۶	۱۷/۲۸	۱۸۹/۲۴	۱۲/۲۸
۴×۸	۱۸۷/۱۲	۲۵/۱۷	۲۱۱/۹۸	۲۲/۷۶	۲۰۱/۸۲	۱۹/۶۷	۱۹۷/۲۸	۱۵/۷۶
۵×۱۰	۱۹۳/۵۶	۲۷/۱۶	۲۲۴/۶۶	۲۴/۲۷	۲۱۵/۶۵	۲۱/۵۶	۲۰۸/۵۶	۱۸/۱۵
۷×۱۲	۲۲۷/۳۹	۳۲/۱۵	۲۴۹/۲۵	۲۹/۱۶	۲۳۸/۴۱	۲۴/۲۵	۲۳۱/۳۸	۲۰/۲۹

۸×۱۵	۲۹۸/۶۴	۴۵/۴۹	۳۲۶/۶۴	۳۶/۴۷	۳۱۶/۶۸	۲۹/۶۷	۳۰۴/۶۹	۲۳/۶۱
۴×۵	۱۹۷/۱۱	۲۶/۴۱	۲۱۲/۴۹	۲۱/۶۹	۲۰۹/۱۲	۱۸/۶۲	۲۰۶/۲۸	۱۴/۰۹
۵×۸	۲۱۶/۷۵	۳۱/۴۵	۲۳۸/۷۱	۲۸/۷	۲۲۵/۸۶	۲۵/۱۹	۲۱۷/۶۸	۱۸/۱۵
۷×۱۰	۳۴۵/۱۷	۵۲/۹۶	۳۷۴/۱۵	۴۷/۶۹	۳۵۸/۳۷	۳۶/۴۸	۳۵۱/۷۳	۲۸/۱۹
۸×۱۲	۴۷۵/۴۶	۶۸/۷۶	۵۰۶/۴۷	۵۲/۷۹	۴۹۷/۰۶	۴۷/۵۶	۴۸۹/۶۴	۳۱/۷۴
۱۰×۱۵	۵۹۲/۹۸	۹۵/۲۷	۶۳۲/۲۹	۸۶/۲۲	۶۲۱/۳۸	۶۸/۹۱	۶۱۲/۲۶	۵۲/۸۶
۸×۱۰	۴۴۶/۱۹	۷۴/۴۹	۴۹۲/۶۴	۵۷/۹۶	۴۸۲/۴۹	۴۲/۷۵	۴۵۹/۸۲	۳۷/۵۶
۱۰×۱۴	۵۹۸/۴۷	۱۰۰/۱۱	۶۴۱/۸۵	۸۹/۶۸	۶۲۷/۴۶	۷۲/۸۶	۶۱۹/۴۵	۵۲/۶۸
۱۲×۱۷	۶۹۱/۱۵	۱۲۷/۷۶	۷۶۵/۹۶	۹۷/۲۹	۷۴۸/۶۵	۷۹/۳۸	۷۲۳/۵۶	۶۳/۲۱
۱۷×۲۰	۷۴۸/۶۲	۲۵۷/۶۸	۸۴۲/۷۴	۱۹۶/۵۷	۸۱۶/۴۳	۱۴۷/۱۶	۷۹۴/۳۶	۱۱۹/۷۴
۲۰×۲۵	۸۹۶/۷۴	۴۸۲/۷۴	۹۶۵/۹۳	۳۸۴/۴۸	۹۳۸/۵۶	۲۱۷/۱۱	۹۱۹/۶۵	۱۵۶/۱۷
۱۰×۱۷	۵۷۲/۴۹	۳۶۷/۶۸	۶۳۵/۲۷	۳۱۵/۶۷	۵۹۲/۳۵	۲۲۴/۹۷	۵۸۲/۵۳	۱۸۱/۷۹
۱۲×۲۰	۶۴۸/۷۱	۴۹۵/۹۱	۷۴۶/۶۴	۴۸۶/۱۹	۶۸۶/۴۷	۳۹۲/۶۸	۶۶۷/۸۶	۲۸۶/۹۲
۱۵×۲۵	۱۱۲۷/۱۴	۱۹۶۱/۲۸	۱۲۱۵/۲۷	۱۷۴۵/۶۱	۱۱۷۵/۴۱	۱۳۵۴/۳۵	۱۱۳۵/۴۸	۱۰۱۲/۹۸
۲۰×۳۰	۲۵۲۸/۹۲	۵۱۶۹/۶۶	۲۶۹۵/۲۸	۴۹۲۱/۶۲	۲۶۷۱/۲۶	۳۶۲۷/۲۶	۲۶۱۶/۲۹	۲۳۴۸/۶۲
۳۰×۴۰	۳۶۴۱/۸۱	۱۲۱۶۹/۷۴	۳۷۴۸/۴۱	۸۹۶۸/۲۱	۳۷۰۳/۴۷	۶۴۵۲/۹۷	۹۶۳۶۹۲	۳۲۵۱/۸۷
۱۵×۲۰	۹۶۸/۲۵	۱۲۷۵/۶۱	۱۰۴۷/۶۹	۹۶۵/۷۵	۹۸۷/۱۸	۷۹۶/۲۵	۹۷۶/۸۷	۶۴۷/۶۹
۱۷×۲۵	۱۹۴۵/۱۵	۳۵۶۲/۵۵	۲۱۶۸/۹۴	۲۶۹۷/۵۳	۲۰۷۶/۲۱	۱۹۷۵/۶۹	۱۹۶۹/۴۵	۱۲۴۸/۷۵
۲۰×۳۵	۲۷۴۹/۶۸	۱۱۵۹۶/۱۵	۲۹۶۴/۷۲	۸۵۶۹/۹۶	۲۸۶۹/۹۶	۶۲۷۶/۱۸	۲۷۹۸/۴۹	۳۲۹۲/۶۷
۳۰×۴۵	۳۴۲۱/۷۴	۱۸۲۶۹/۱۸	۳۶۲۷/۴۲	۱۵۹۲۷/۲۶	۳۵۳۶/۱۸	۱۱۷۶۹/۵۹	۳۴۷۴/۸۱	۷۵۷۹/۹۶
۴۰×۵۰	۵۷۴۸/۱۷	۲۵۶۸۲/۴۷	۵۹۷۶/۴۸	۲۱۹۶۸/۸۶	۵۸۹۷/۶۲	۱۴۷۴۱/۲۸	۵۸۰۶/۷۴	۸۹۷۲/۷۴

## ۸. نتایج و تحقیقات آتی

تکنیک ارزش افزوده دامنه انحرافات هزینه و زمان را از برنامه اصلی پروژه مشخص و دلایل کلی و عوامل انحرافات و مغایرت‌ها را بیان می‌کند. از طرف دیگر تکنیک ارزش افزوده دارای یک سری راه کار برای کاهش این مغایرت‌ها در ادامه پروژه می‌باشد. همچنین تکنیک ارزش افزوده با استفاده از دو عامل زمان و هزینه به شکل توأم، به دنبال ارائه یک برنامه زمانبندی و بودجه‌بندی می‌باشد که ضمن ایجاد تعادل بین زمان و هزینه، زمان خاتمه پروژه و هزینه کل پروژه را حداقل نماید. این رویکرد باعث ایجاد زمانبندی بهنگام و کاهش هزینه‌های تأخیر و زودکرد پروژه‌ها می‌باشد. در یک نتیجه‌گیری کلی عواملی مثل، خطا و اشتباهات در برآورد، مشکلات فنی، خطا و اشتباهات در طراحی، مشکلات اطلاعات تست و آزمایش، مشکلات تجهیزات و نیروی انسانی، مشکلات مدیریت، دوره‌های کنترل پروژه، سطح مهارت‌های شخصی، منابع مورد استفاده، ساختار سازمانی، مسایل اقتصادی، تأخیر در تحویل تجهیزات، نرخ تولید کم و پایین، دخالت و تأخیر پیمانکار دست دوم، بلاهای طبیعی و سایر حوادث در طی مراحل طراحی، ساخت و نصب باعث مغایرت جداول زمان و هزینه از برنامه اصلی پروژه می‌باشد. در این مقاله با استفاده از تکنیک ارزش افزوده یک روش کارا و موثر برای زمانبندی بهنگام فعالیت‌های یک پروژه با هدف حداقل نمودن مجموع هزینه‌های زودکرد و دیرکرد ارائه شده است. این روش با استفاده از معیار انحرافات زمان و هزینه از برنامه باعث

جلوگیری از مغایرت بیشتر و اصلاح سریعتر مغایرت‌ها شده است. همچنین این روش با ارائه برنامه زمانبندی و روش‌های تخصیص و تسطیح منابع مناسب باعث کاهش زمان و هزینه اجرای طرح می‌شود. استفاده از تکنیک ارزش افزوده در این مقاله ضمن ایجاد تعادل در زمان و هزینه، افزایش دقت در برنامه‌ریزی اولیه و مجدد، بهبود میزان تسطیح منابع، باعث کاهش قابل توجه زمان و هزینه در پروژه‌های مورد مطالعه شده است.

## مراجع

- [1] Anbari F. Earned value method extensions, International Journal of project Management, 2003, No. 4, Vol. 34, pp. 12-23.
- [2] Amor JP. Scheduling programs with repetitive projects using composite learning curve approximations, International Journal of project Management, 2002, No. 2, Vol. 33, pp. 16-29.
- [3] Cioffi DF. A tool for managing projects, analytic parameterization of the S-curve, International Journal of project Management, 2005, Vol. 33, pp. 215-222.
- [4] Cioffi DF. Completing projects according to plans: An Earned Value Improvement Index, International Journal of Operations Research Sociaity, 2005, Vol. 24, pp. 168-182.

- [17] Khattab M, choobineh F. A new approach for project scheduling with limited resource, International Journal of Production Research, 1991, Vol. 30, pp. 185-198.
- [18] هدایت، ناصر. مسئله زمانبندی پروژه با هدف کمینه کردن هزینه‌های زودکرد و دیرکرد، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی صنایع، ۱۳۸۵، صص. ۲۴-۵۱.
- [19] شیرمحمدی، علی. مدیریت و کنترل پروژه، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۷، صص. ۳۲-۶۸.
- [20] رکنی، فاطمه. بکارگیری الگوریتم ژنتیک در زمانبندی پروژه با هدف حداقل کردن مقادیر زودکرد و دیرکرد، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، ۱۳۸۹.
- [21] [Yang B, Joseph G, Brien JO. Resource – constrained Project Scheduling: Florida, Past Work and New Directions, 2001, pp. 172-212.
- [22] Davis EW, Heidorn GE. An algorithm for optimal project scheduling under multiple Resource constraints, Management Science, 1991, Vol. 17, pp. 803-816.
- [23] Kolish R, Hartman K. Heuristic algorithms for solving the resource – constrained project scheduling problem: classification and computational analysis, advanced project scheduling, 1999, pp. 147-178.
- [24] Reyek BD, Herroelen W, Demeulemeester E. project scheduling: a survey of recent developments resource-constrained, Computer and Operation Research, 1998, Vol. 24, pp. 279-302.
- [25] Lova A, Tormos P. Analysis of scheduling schemes and heuristic rules performance in resource-constrained multi project scheduling, Annals of Operations Research, 2001, Vol. 102, pp. 263-286.
- [26] Alcaraz C, Maroto A, Ruiz R. Improving the performance of genetic algorithm the RcRs problem, Workshop on Project Management and Scheduling, 2004, pp. 40-53.
- [27] Mendes JJM, Goncalves JF, Resende MGC. A random key based genetic algorithm for the resource constrained project, Computer and Operation Research, Vol. 36, 2009, pp. 92-109.
- [28] Montoya-torres TR, Gutierrez-Franc E, Pirachican C. Project scheduling with limited Resource using a genetic algorithm, International Journal of Project Management, 2009, pp. 50-65.
- [5] Blazewicz J, Lenstra JK, Rinnooy Ken HG. Scheduling project to resource constraints, classification and complexity, Discrete Applied Mathematic, 1983, Vol. 5, pp. 47-61.
- [6] Bell CE, Han A. A new heuristic solution method in Resource – constrained project scheduling, Navel-Research Logistic, 1991, Vol. 38, pp. 151-163.
- [7] Kolisch R. An integrated survey of deterministic Project Scheduling Omega, 2000, Vol. 29, pp. 249-272
- [8] Herroelen W, Reyck BD, Demeulemeester E. Project scheduling a survey of recent developments resource – constrained, Operation Research and Computers, 1998, Vol. 24, pp. 279-302.
- [9] Elmaghraby SE. The one – machine sequencing problem with delay costs, Journal of Industrial Engineering, 1998, Vol, 19, No, 2, pp. 12-24.
- [10] Talbot B. Resource constrained project scheduling with time – resource trade offs the non preemptive case, Management Science, 1982, Vol. 28, pp. 1197-1210.
- [11] Patterson JH, Talbot BF, Slowinski R, Weglavez. Computationed experience with the back tracking algorithm for solving a problems, EJOR, 1990, Vol. 49, pp. 68-79.
- [12] Kurtulus I, Davrs EW. Multi – project: categorization of heuristic rules performance, Management Science, 1982, Vol. 28, pp. 161-172.
- [13] Bell CE, Park K. Solving resource constrained project scheduling problems, Navel Research Logistic, 1990, Vol. 37, pp. 19-38.
- [14] Christofides N, Alvares R, Valdes R, Tamarit JM. Project with resource constraints a branch and bound approach, EJOR, 1987, Vol. 29, pp. 181-192.
- [15] Demeulemeester E, Herroelen W. A branch and bound procedure for the multiple resource - constrained project scheduling problem, Management Science, 1992, Vol. 38, pp. 1803-1818.
- [16] Davis EW, Patterson JH. A comparison of heuristic and optimum solutions in resource - constrained project scheduling, Management Science, 1975, Vol. 21, pp. 15-27.

- Project Management, 2003, No. 2, Vol. 34, pp. 151-166.
- [36] Eshtehardian E, Abbasnia R, Afshar A. Optimization of uncertain construction time-cost trade-off problem, International Journal of Civil Engineering, 2008, pp. 14-25.
- [37] Ghazanfari Shahanaghi K, Yousefi A. An application of possibility goal programming to the time-cost trade-off problem, International Journal of Engineering and Science, 2009, pp. 127-136.
- [38] Azaron A, Tavakkoli-Moghaddam R. Multi-objective time - cost trade-off in dynamic PERT networks using an interactive approach, European Journal of Operational Research, 2007, Issue 3, Vol. 180, pp. 1186-1200.
- [39] Yaghoubi S, Noori S, Azaron A, Tavakkoli-Moghaddam R. Resource allocation in dynamic PERT networks with finite capacity, European Journal of Operational Research, 2011, Issue 3, Vol. 215, pp. 670-678.
- [40] Kong Xiangxing Xuan, Hou Zhenting. Markov skeleton process in PERT networks, Acta Mathematica Scientia, 2010, Issue 5, Vol. 30, pp. 1440-1448.
- [29] Kim Jin-Lee. Improved genetic algorithm for resource-constrained scheduling of large project, Canadran Journal of Civil Engineering, 2009, pp. 105-118.
- [30] Abha WF. Earned value management: reconciling govermet an commercial practices, Program Manager, 1997, Vol. 26, pp. 58-67.
- [31] Christenseh DS. The estimate at Completion problem, a review of three studies, International Journal of Project Management, 1993, Vol. 24, pp. 37-42.
- [32] Amor JP, Leplite CJ. An efficient approximation project composite learning curves, International Journal of Project Management, 1995, No. 3, Vol. 29, pp. 28-42.
- [33] Badiva AB. Incorporating learning curve effect in to critical resource diagramming, International Journal of Project Management, 1995, No. 2, Vol. 2, pp. 38-45.
- [34] Rose KH. Review of earned value project Management, International Journal of Project Management, 2003, No. 1, Vol. 35, pp. 48-57.
- [35] Anbari F. Earned value project management method and extensions, International Journal of