

# رهیافتی مبتنی بر ارزش کسب شده جهت حل مسئله کمینه‌سازی هزینه‌های زودکرد و دیرکرد پروژه‌های تحقیق و توسعه

■ مهدی عظیم زاده<sup>۱</sup>

کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه یزد

■ حسن خادمی زارع<sup>+</sup>\*

استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه یزد

■ محمود ارشادی<sup>۲</sup>

دانشجوی دکتری مدیریت پروژه و ساخت، دانشگاه

نیوکاسل، استرالیا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۱۵ و تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۲۲

صفحات: ۳۰-۱۷

## چکیده

همواره یکی از چالش‌های پروژه‌های تحقیق و توسعه که با معرفی و یا انتقال فناوری به یک کسب‌وکار سروکار دارد، هزینه‌های ناشی از زودکرد و دیرکرد است. با توجه به اینکه در تحقیقات قبلی کمتر به ارائه یک الگوی منسجم در زمان‌بندی این دسته از پروژه‌ها با در نظر گرفتن کاهش هزینه‌های زودکرد و دیرکرد پرداخته شده، هدف مقاله حاضر معرفی یک روش مبتنی بر ارزش کسب‌شده به گونه‌ای است که از کارایی بیشتری در حداقل نمودن مجموع هزینه‌های مذکور در پروژه‌های تحقیق و توسعه برخوردار باشد. در این راستا، یک مدل ریاضی زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع ارائه شد و به منظور ارزیابی کارایی آن نسبت به الگوریتم‌های قبلی، اطلاعات ۵۰۰ پروژه تحقیق و توسعه از تعدادی شرکت‌های دانش بنیان جمع‌آوری شد و سرعت و عملکرد الگوریتم‌ها با معیار درصد مجموع زمان دیرکرد و زودکرد به زمان سیکل پروژه (شاخص TTR) به طور مقایسه‌ای تحلیل گردید. یافته‌های تحقیق حاکی از این است که استفاده از رویکرد ارزش کسب‌شده در زمان‌بندی پروژه، ضمن ایجاد تعادل در زمان و هزینه، منجر به بهبود میزان تسطیح منابع (حداقل نوسانات میزان منابع در طول اجرای پروژه) در پروژه‌های تحقیق و توسعه مورد مطالعه شده است. همچنین به عنوان نتیجه اصلی این مقاله، زمان‌بندی پروژه‌های تحقیق و توسعه با استفاده از رویکرد ارزش کسب شده به نسبت مدل‌های ارائه شده در تحقیقات قبلی از لحاظ سرعت و عملکرد محاسبات کارایی بیشتری در حل مسئله کاهش مجموع هزینه‌های زودکرد و دیرکرد دارد.

**واژگان کلیدی:** پروژه تحقیق و توسعه، زمان‌بندی پروژه، روش ارزش کسب‌شده.

۱ شماره نامبر: ۰۳۵۳۸۲۱۱۷۹۲ و آدرس پست الکترونیکی: [Azimzade@gmail.com](mailto:Azimzade@gmail.com)

\* عهده دار مکاتبات

+ شماره نامبر: ۰۳۵۳۸۲۱۱۷۹۲ و آدرس پست الکترونیکی: [Hassan.KhademiZare@yazd.ac.ir](mailto:Hassan.KhademiZare@yazd.ac.ir)

۲ شماره نامبر: ۰۳۵۳۸۲۱۱۷۹۲ و آدرس پست الکترونیکی: [Mahmood\\_Ershadi@yahoo.com](mailto:Mahmood_Ershadi@yahoo.com)

## ۱- مقدمه

توجه به حسن اجرای پروژه های تحقیق و توسعه در شرکت های دانش بنیان از اهمیت بسزایی برخوردار است. تاخیر و یا توقف در مراحل اجرایی چنین پروژه هایی می تواند آثار زیان باری داشته باشد و اهداف توسعه و انتقال فناوری در زمان مناسب و با هزینه متعارف را محقق نکند. همان طور که امروزه سازمان های پروژه محور به رویکردهای نوین مدیریتی از جمله مدیریت دانش [۱] و مدیریت ریسک نوآورانه در توسعه محصول [۲] نیاز دارد، برخورداری از روش های نوین برنامه ریزی و کنترل پروژه نیز حایز اهمیت است. این نوع پروژه ها به دلیل ماهیت فنی و حساسی که دارد، بایستی به طور بهینه مدیریت و کنترل شود. زیرا تکمیل پروژه در حداقل زمان ممکن و با هزینه متعارف بسیار اهمیت دارد.

هدف این مقاله دستیابی به زمان بندی به هنگام فعالیت های پروژه های تحقیق و توسعه با هدف حداقل نمودن مجموع هزینه های دیرکرد و زودکرد است. برای این منظور از رویکرد ارزش کسب شده، به عنوان یکی از مهم ترین روش های مدیریت پروژه استفاده شده است. به طور کلی، نظارت مناسب بر عملکرد پروژه های توسعه یا انتقال فناوری، با تمرکز همزمان به هزینه و زمان پروژه محقق می شود. بنابراین، برای اتخاذ تصمیم مناسب در خصوص مراحل اجرایی این پروژه ها باید روشی به کار گرفته شود که توانایی یکپارچه سازی بین محدوده کاری، هزینه و زمان را به طور همزمان داشته باشد [۶]. رویکرد ارزش کسب شده با مدنظر قراردادن روابط فعالیت ها در یک چارچوب نظام یافته، قادر به تحقق این امر است.

در دنیای واقعی به صفر رساندن مجموع هزینه های دیرکرد و زودکرد غیرممکن است؛ لذا مطابق مفروضات و شرایط تعیین شده، بایستی برنامه زمان بندی پروژه های تحقیق و توسعه به گونه ای تهیه شود که ضمن برقراری تعادل بین هزینه و زمان پروژه، کل این نوع هزینه ها را حداقل کند. ارائه برنامه زمان بندی دقیق اجرای پروژه، یکی از ارکان اساسی در مدیریت پروژه های تحقیق و توسعه است. تهیه یک برنامه زمان بندی نامناسب باعث ایجاد خطا در برآورد هزینه ها، برنامه ریزی منابع و تدارکات، سلب اعتماد و تحمیل جریمه ها، تناقض در گزارشات پیشرفت پروژه ها می شود. همچنین به تبع آن با توجه به وابستگی ها و ابعاد پروژه، ریسک و زیان قابل توجهی را به سرمایه گذاران شرکت های دانش

بنیان تحمیل می کند. لازم به ذکر است، همواره یکی از دلایل ارائه برنامه زمان بندی نامناسب و غیرواقعی، عدم استفاده از روش های کارآمد در تخمین زمان بندی انجام فعالیت هاست [۳]. مدل های زمان بندی با معیارهای زودکرد و دیرکرد دارای ارتباط نزدیک و قابل ترکیب با مفاهیم تولید به هنگام<sup>۳</sup> و مدیریت زنجیره تأمین است [۷]. اگر چه تاکنون، روش های زمان بندی با هدف کمینه سازی هزینه های زودکرد و دیرکرد غالباً در برنامه ریزی تولید مورد استفاده قرار می گرفت [۸]، بررسی انجام شده در این تحقیق نشان می دهد که به کارگیری این مدل ها در برنامه ریزی پروژه نیز می تواند مفید واقع شود. از این رو، در مقاله حاضر با الهام گیری از الگوهای مرتبط و مدنظر قراردادن تعادل بین زمان و هزینه پروژه، با استفاده از رویکرد ارزش کسب شده یک روش کارا و موثر برای زمان بندی و بودجه بندی یک پروژه با هدف کمینه سازی مجموع هزینه های زودکرد و دیرکرد ارائه می شود.

تحقیقات اخیر بر اهمیت حل مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع با روش های کارآتر تاکید نموده است [۹] که از این جمله می توان به ارائه روش های زمان بندی مبتنی بر روش الگوریتم تخمین توزیع<sup>۴</sup> اشاره نمود [۱۰]. در همین راستا، نوآوری این تحقیق از جنبه نظری، معرفی ارزش کسب شده به عنوان روشی موثر به منظور افزایش کارایی در حل مسئله کمینه سازی مجموع هزینه های زودکرد و دیرکرد پروژه با محدودیت منابع است. در واقع با بهره گیری از الگوهای ارائه شده در تحقیقات خارجی، یک الگو برای استفاده در پروژه های تحقیق و توسعه در کشور ارائه شده است. از سوی دیگر، بررسی ادبیات موضوع حاکی از این است که نیاز به پژوهش بیشتر در رابطه با بررسی کارایی روش های زمان بندی در پروژه های تحقیق و توسعه است. بنابراین، در خصوص نوآوری این پژوهش از جنبه کاربردی، می توان به تحلیل کارایی روش ارزش کسب شده در خصوص زمان بندی پروژه های تحقیق و توسعه اشاره نمود که به نوبه خود زمینه لازم را برای ارائه الگوریتم های موثر زمان بندی پروژه های تحقیق و توسعه در مطالعات آتی فراهم می آورد.

## ۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پروژه های تحقیق و توسعه نقش بسزایی در تحقق اهداف و راهبردهای بلندمدت سازمان ایفا می کند. چنین پروژه هایی فعالیت های پیچیده ای داشته و تعاملات فنی زیادی بین آنها

4 Estimation distribution algorithm

3 Just-in-time (JIT) manufacturing

- زمان‌بندی پروژه به صورت جامع با در نظر داشتن منطق اجرایی پروژه، اولویت‌ها، سیاست‌ها و رخدادهای؛
- توجه به فعالیت‌های دارای شناوری کم که موجب افزایش زمان اجرای پروژه می‌گردد؛
- کاهش هزینه‌های زودکرد و دیرکرد در اجرای فعالیت‌های پروژه.

در طی چهار دهه گذشته، رویکرد ارزش کسب شده به عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های مدیریت پروژه توانسته است خود را در کنار مهم‌ترین دستاوردها و ابزار مفید مدیریت پروژه قرار دهد. استفاده از این رویکرد در مدیریت پروژه، می‌تواند به طور موثری به سازمان‌ها در ایجاد، اداره و کنترل سیستم‌های بزرگ و جدید کمک نماید [۱۲]. در پروژه‌های تحقیق و توسعه که اهمیت راهبردی داشته و با فعالیت‌های پیچیده‌ای در یک محیط فنی سروکار دارد، با توجه به موارد متعددی که ذکر شد، به کارگیری روش ارزش کسب شده می‌تواند بسیار مفید واقع شود. همچنین یکی از کاربردهای بالقوه این روش می‌تواند در حل مسئله زمان‌بندی با منابع محدود باشد. به طور کلی مسئله برنامه زمان‌بندی پروژه با منابع محدود در ابعاد بزرگ یک مسئله NP-Hard است. البته تاکنون روش‌های ابتکاری متعددی توسط محققین برای حل این نوع مسائل مطرح و مورد مقایسه قرار گرفته‌اند [۱۳]. از جمله کاراترین روش‌ها می‌توان به SPT<sup>۵</sup>، MSP<sup>۶</sup> و HGA<sup>۷</sup> اشاره نمود. اما در واقع هیچ یک از آنها جامعیت لازم به منظور استفاده کلی برای انواع شبکه‌های پیچیده از فعالیت‌ها را ندارد [۳].

تلاش‌های متعددی توسط افراد مختلف برای زمان‌بندی پروژه با منابع محدود انجام شده است. از این جمله، مغربی مسئله زمان‌بندی فعالیت‌های یک پروژه را از جنبه‌های مختلف مورد بحث و بررسی قرار داده است [۱۴]. اغلب تحقیقات به حداقل رساندن زمان تکمیل یک پروژه را به عنوان هدف اصلی انتخاب کرده است. برخی دیگر، حداقل شدن هزینه‌ها را مورد بحث قرار داده است و گروهی دیگر به حداکثر رساندن ارزش فعلی جریان‌ات نقدی حاکم بر تکمیل پروژه را به عنوان هدف اصلی انتخاب کرده است [۱۵]. هنگامی که زمان‌بندی و تخصیص منابع به چندین پروژه به صورت هم‌زمان مطرح می‌شود، تعداد مقالات بسیار محدود بوده، بیشتر تحقیقات جنبه نظری داشته و به طور عمده با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مدل‌هایی ارائه و

برقرار است که می‌تواند منشا بروز ریسک‌های متعددی در حین اجرا باشد. عوامل داخلی و محیطی متعددی از جمله عدم ثبات سیاسی و اقتصادی، فعالیت‌ها و الزامات فنی پیچیده، مناسبات قراردادی، مشکل در تامین منابع و ... در فرآیند اجرای این پروژه‌ها تأثیرگذار است. از این رو، ممکن است در روند اجرای مراحل پروژه تاخیر رخ دهد [۳]. اما علاوه بر عوامل داخلی و محیطی، بخشی از تاخیراتی که در اجرای این پروژه‌های مهم و راهبردی رخ می‌دهد، ناشی از عدم دقت در برآورد زمان اجرای پروژه‌هاست که به واسطه عدم به کارگیری روشی کارآمد در زمان‌بندی رخ می‌دهد. در واقع، موفقیت نهایی پروژه‌های تحقیق و توسعه نیازمند اتخاذ رویکردی نظام‌مند در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی دقیق اجرای فعالیت‌های پیچیده آنها از نظر زمان اجرا و هزینه است. زیرا بروز اشتباه در زمان‌بندی فعالیت‌ها و برآوردها منشاء تحمیل زیان و خسارت‌هایی بر پروژه است. مهم‌ترین مواردی که لازم است در برنامه‌ریزی پروژه مدنظر قرار گیرد عبارتند از [۱۱]:

- نگاه یکپارچه و نظام‌مند به کلیه بخش‌های مختلف پروژه و در نظر داشتن وابستگی‌ها و ارتباطات آنها؛
- تعیین نحوه به اشتراک گذاری و توزیع منابع میان بخش‌های مختلف پروژه؛
- زمان‌بندی به منظور استفاده از نیروی انسانی، ماشین‌آلات و تجهیزات جهت استفاده مطلوب از آنها و عدم بروز محدودیت در طول اجرای پروژه؛
- بهینه‌سازی عامل هزینه و زمان در اجرای پروژه و بررسی مسائل و مشکلات احتمالی و قابل انتظار؛
- زمان‌بندی سفارشات خرید به منظور کاهش هزینه‌های انبارداری، ضایعات و نیز ضرر ناشی از راکد ماندن منابع مالی؛
- تعیین میزان نقدینگی پروژه در هر مقطع زمانی جهت پرداخت به موقع صورتحساب‌ها؛
- تعیین روابط تقدم و تاخر بین فعالیت‌ها به طور صحیح و واقعی؛
- برآورد هزینه اجرایی هر یک از فعالیت‌ها با توجه به هزینه‌های ثابت و متغیر آنها؛
- تسطیح منابع در صورت لزوم و تغییر در برنامه زمان‌بندی اولیه با توجه به آن؛

حل شده است. لازم به ذکر است زمانی که ابعاد مسئله بزرگ می شود، روش های بهینه سازی توانایی حل این مسائل را ندارد. بنابراین استفاده از روش های ابتکاری برای حل این نوع مسائل ضروری به نظر می رسد. از جمله دیگر تحقیقات، می توان مقالات افرادی همچون بل و پارک، کریستوفایدز و همکاران، دمئولمستر و هرولن را عنوان کرد که عموماً از روش های بهینه سازی مثل شاخه و کران استفاده نموده اند. دیویس و پترسون نیز معتقد بودند هیچ یک از قوانین ابتکاری برتری مطلق ندارد و برای هر مسئله می توان تعدادی از این قوانین را مورد مقایسه قرار داده و از مناسب ترین آنها استفاده نمود [۱۶]. خطاب و چوپینه نیز چنین عنوان کردند که ترکیب قوانین ابتکاری نتیجه ای به مراتب بهتر از به کارگیری انفرادی این قوانین و الگوریتم ها ارائه می دهد [۱۷]. روش انتخابی برای زمان بندی پروژه وابستگی زیادی به هدف پروژه دارد. در بعضی پروژه ها تحویل به موقع اهمیت دارد و در بعضی دیگر، صرفه جویی در منابع مهم است. یکی از روش های متداول، روش مسیر بحرانی است که در سال ۱۹۵۷ توسط شرکت دوپونت انگلستان ارائه شد. مدتی بعد، روش ارزیابی و بازنگری پروژه<sup>۸</sup> و روش گرافیکی ارزیابی و بازنگری پروژه<sup>۹</sup> در آمریکا مطرح گردید که فعالیت ها را احتمالی در نظر می گرفت. تغییر برنامه زمان بندی پروژه، به نحوی که مدت زمان اجرای پروژه ثابت نگه داشته شود و هزینه های پروژه کاهش یابد، تخصیص و تسطیح منابع گفته می شود. وابستگی بین فعالیت های پروژه دارای چهار دسته شروع به شروع (SS)، شروع به پایان (SF)، پایان به شروع (FS) و پایان به پایان (FF) است [۱۸]. شاپان ذکر است در این مقاله روابط فعالیت ها به صورت پایان به شروع است.

کولیش و هارتمن در تحقیق خود یک طبقه بندی از مسائل مدیریت پروژه با منابع محدود را ارائه کردند [۱۹]. معیارهای اولویت بندی فعالیت ها برای تخصیص منابع شامل کمترین مدت زمان شناوری، کمترین زمان فعالیت، حداکثر تعداد پس نیاز، حداکثر زمان فعالیت های پس نیاز، زمان انتظار بیشتر و ... است [۲۰]. توماس و لووا یک مقایسه جامع بر روی روش های

### ۳- روش شناسی پژوهش

در این پژوهش نظری که هدف اصلی آن ارائه روشی بر مبنای رویکرد ارزش کسب شده به منظور دستیابی به زمان بندی به هنگام فعالیت های یک پروژه در راستای حداقل نمودن مجموع هزینه های دیرکرد و زودکرد است، مراحل تحقیق به این صورت انجام شد که ابتدا مطالعات کتابخانه ای به منظور شناسایی تحقیقات ارائه شده در این زمینه صورت گرفت. سپس مدلی ریاضی که در تحقیقات قبلی برای حداقل کردن مجموع هزینه های زودکرد و دیرکرد پروژه با محدودیت منابع ارائه شده است، مبنای قرار گرفت [۳]. برای حل این مسئله، روشی بر مبنای رویکرد ارزش کسب شده ارائه شد. در انتها نیز برای تعیین کارایی الگوریتم ارائه شده در مقایسه با الگوریتم های SPT، MSP و HGA در حل ۵۰۰ مسئله نمونه از معیار (TTR) استفاده گردید.

### ۴- مدل تحقیق

به منظور حداقل نمودن مجموع هزینه های زودکرد و دیرکرد پروژه با محدودیت منابع، مدل ریاضی که توسط عظیم زاده ارائه گردیده، مبنای قرار داده شده است [۳].

$$T_{ij} : \text{زمان تکمیل فعالیت } j \text{ از پروژه } i$$

$$L_{ij} : \text{دیرترین زمان تکمیل فعالیت } j \text{ از پروژه } i$$

$$e_{ij} : \text{زودترین زمان تکمیل فعالیت } j \text{ از پروژه } i$$

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

$$i : \text{شماره پروژه } i = 1, 2, \dots, N$$

$$j : \text{شماره فعالیت } j = 1, 2, \dots, M$$

$$t : \text{دوره زمانی تکمیل پروژه, } t = 1, 2, \dots, \max P_i$$

$$k : \text{شماره منبع مورد استفاده } k = 1, 2, \dots, K$$

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

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

$T_{ijk}$ : مقدار منبع مورد نیاز  $k$  برای فعالیت  $j$  در پروژه  $i$

$R_{kt}$ : مقدار منبع در دسترس  $k$  در دوره  $t$

$\lambda_i$ : ضریب اهمیت زودکرد برای پروژه  $i$

$1 - \lambda_i$ : ضریب اهمیت دیرکرد برای پروژه  $i$

$Y_{it} = \begin{cases} 1 & \text{پروژه اگر } i \text{ در دوره } t \text{ تکمیل شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^N \lambda_i E_i + (1 - \lambda_i) T_i \quad (1)$$

$$\sum_{t=e_{iv}}^{t_{iv}} t \cdot X_{ivt} + a_{iw} \leq \sum_{t=e_{iw}}^{t_{iw}} t \cdot X_{iwt} \quad (2)$$

$$Y_{it} \leq Y_{i,t+1} \quad (3)$$

$$\sum_{t=e_{ij}}^{L_{ij}} X_{ijt} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, \leq M, i = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^k Z_{ijk} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, \leq M, i = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

$$Y_{it} \leq \frac{1}{M_i} \sum_{i=1}^{M_i} \sum_{t=e_{ij}}^{L_{ij}} X_{ijt} \cdot t \quad t = E_i, \dots, P_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

$$a_{ij} + P_{ijk} \leq n_{ij} \leq a_{ij} + t_{ij} - 1 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} \sum_{t=a_{ij}}^{a_{ij}+t_{ij}-1} r_{ijk} Z_{ijk} \leq R_{kt} \quad (8)$$

$$\sum_{t=a_{ij}}^{a_{ij}+t_{ij}-1} X_{ivt} + \sum_{t=a_{ij}}^{a_{ij}+t_{ij}-1} X_{iwt} \leq 1, \quad a_{ij} = \max\{e_{iv}, e_{iw}\}, \dots, \min\{L_{iv}, L_{iw}\} \quad (9)$$

$$E_i = \max(0, d_i - a_{im} - t_{im}) \quad (10)$$

$$T_i = \max(0, a_{im} + t_{im} - d_i) \quad (11)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (12)$$

در مدل مذکور، تابع هدف کل هزینه‌های زودکرد و دیرکرد پروژه را حداقل می‌کند. محدودیت ۲، محدودیت تقدم و تاخر

پروژه‌های تحقیق و توسعه به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. از طرف دیگر، هرگونه انحراف از زمان‌های برآورد شده، باعث افزایش هزینه‌ها، به‌خصوص هزینه‌های بالاسری چنین پروژه‌هایی می‌شود [۵]. یک مدل موازنه هزینه و زمان به‌صورت مورد کاربردی توسط مهدی غضنفری و همکارانش انجام شده است. موضوع آن کاربرد موازنه هزینه و زمان برای شبکه پیش‌نیازی یک پروژه ساختمان‌سازی است. این تحقیق با روش‌های مورد استفاده، کارایی روش خود را برای کاهش زمان و هزینه پروژه مورد تاکید قرار داده است [۲۲]. یک نمونه دیگر از مدل موازنه هزینه و زمان در شرایط فازی توسط احسان اشتهااردیان با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه شده است. وی با استفاده از برش‌های آلفا بر اعداد فازی زمان و هزینه هر فعالیت به جواب‌های بهینه دسترسی پیدا کرده است [۲۳].

رویکرد پیشنهادی برای موازنه زمان و هزینه ارائه شده به شرح ذیل است:

۱. لیست کلیه فعالیت‌های انجام پروژه را تهیه کنید. هر فعالیت به‌عنوان یک کروموزم در نظر گرفته می‌شود. فعالیت دارای زمان و هزینه بالاتر فعالیت غالب و فعالیت دارای زمان و هزینه کمتر فعالیت مغلوب است.
۲. برای هر فعالیت فاصله اقلیدسی بین زمان و هزینه را محاسبه کنید. در ابتدای مسئله مقدار  $\lambda = 0.5$  است. هرچه مقدار  $\lambda$  بزرگتر گردد، ارزش هزینه زیادتیر و ارزش زمان کمتر می‌شود و بالعکس هرچه مقدار  $\lambda$  کوچک‌تر شود، ارزش هزینه کمتر و ارزش زمان افزایش می‌یابد.

$$d_k = \frac{1}{n} \sqrt{\lambda \left( \frac{\sum_{k=1}^n (C_k - C_i)}{C_{max} - C_{min}} \right)^2 + (1 - \lambda) \left( \frac{\sum_{k=1}^n (T_k - T_i)}{T_{max} - T_{min}} \right)^2} \quad (13)$$

$$d_k = \sqrt{\lambda \left( \frac{C_k - \bar{C}}{C_{max} - C_{min}} \right)^2 + (1 - \lambda) \left( \frac{T_k - \bar{T}}{T_{max} - T_{min}} \right)^2} \quad (14)$$

$$\bar{C} = \frac{\sum_{k=1}^n C_k}{n} \quad (15)$$

$$\bar{T} = \frac{\sum_{k=1}^n T_k}{n} \quad (16)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (17)$$

$\lambda$ : ضریب تعدیل بین هزینه و زمان،  $k$ : شماره فعالیت  
 $d_k$ : فاصله اقلیدسی بین زمان و هزینه فعالیت  $k$ ،  $(k=1, 2, \dots, n)$   
 $C_k$ : هزینه فعالیت  $k$ ،  $T_k$ : زمان فعالیت  $k$ ،  $\bar{C}$ : متوسط هزینه کلیه فعالیت‌ها،  $\bar{T}$ : متوسط زمان کلیه فعالیت‌ها،  $C_{max}$ : حداکثر هزینه بین همه فعالیت‌ها،  $T_{max}$ : حداکثر زمان فعالیت بین همه فعالیت‌ها،  $T_{min}$ : حداقل زمان فعالیت بین همه فعالیت‌ها.

فعالیت‌هاست (به‌طوری‌که اگر یک فعالیت تمام نشود، فعالیت بعدی نباید شروع شود). محدودیت ۳، محدودیت دوره زمانی را تعریف می‌کند و تضمین می‌کند که تا دوره  $t$  تمام نشود، دوره  $t+1$  شروع نمی‌شود. محدودیت ۴، محدودیت زمان انجام فعالیت را تضمین می‌کند (یعنی هر فعالیت از هر محصول فقط در یک دوره انجام می‌شود). محدودیت ۵، محدودیت تخصیص منابع است؛ در واقع بیان‌گر این موضوع است که هر منبع در یک دوره مشخص فقط به یک فعالیت اختصاص دارد. محدودیت ۶ تضمین می‌کند که اگر همه فعالیت‌های پروژه  $i$  در دوره  $t$  تمام شود، مقدار  $X_{it} = 1$  و در غیر این‌صورت  $X_{it} = 0$  است. محدودیت ۷ و ۸ تضمین می‌کند که مجموع زمان‌هایی که یک منبع به همه فعالیت‌ها تخصیص می‌یابد، نباید از کل زمان در دسترس آن منبع زیادتیر باشد. محدودیت ۹ نیز محدودیت غیرهمزمانی فعالیت‌ها در برخورداری از یک منبع است و در نهایت محدودیت ۱۰ و ۱۱ به ترتیب مقدار زمان زودکرد و دیرکرد پروژه  $i$  را محاسبه می‌کند.

## ۵ - الگوریتم حل مسئله

### ۵-۱ - مرحله اول: موازنه هزینه و زمان پروژه

زمان فعالیت‌ها به دلیل وجود عوامل محیطی مانند مقدار منابع در دسترس، شرایط آب‌وهوا، تورم، بحران‌های اقتصادی و اجتماعی، خطاهای طراحی و اجرایی همواره با مقداری عدم اطمینان همراه است [۴]. استفاده از روش‌هایی که بتوانند این عدم اطمینان را در نظر بگیرد، کمک می‌کند تا با در نظر گرفتن واقعیات محیطی تصمیمی اتخاذ شود که در نتیجه آن میزان ریسک و اشتباهات در تصمیم‌گیری‌های خطیر به‌خصوص در مورد

$\lambda$ : ضریب تعدیل بین هزینه و زمان،  $k$ : شماره فعالیت  
 $d_k$ : فاصله اقلیدسی بین زمان و هزینه فعالیت  $k$ ،  $(k=1, 2, \dots, n)$   
 $C_k$ : هزینه فعالیت  $k$ ،  $T_k$ : زمان فعالیت  $k$ ،  $\bar{C}$ : متوسط هزینه کلیه فعالیت‌ها،  $\bar{T}$ : متوسط زمان کلیه فعالیت‌ها،  $C_{max}$ :

۴. میزان اهمیت نسبی و اولویت هر یک از فعالیت‌ها در هر پروژه برای انجام عملیات را با توجه به فرمول شماره ۱۸ محاسبه کنید؛

$$(R_{ij} = \frac{d_{ij}-S_{ij}}{W_{ij}}) \quad (18)$$

$d_{ij}$  فاصله اقلیدسی فعالیت  $i$  در پروژه  $j$ ،  $S_{ij}$  زمان شناوری فعالیت  $i$  در پروژه  $j$  و  $W_{ij}$  تعداد پس‌نیاز فعالیت  $i$  در پروژه  $j$  است).

۵. با استفاده از معیار گام چهارم در هر پروژه، منابع را به‌ترتیب مقادیر  $R_{ij}$  از کمتر به بیشتر، به فعالیت‌ها تخصیص دهید. این معیار در واقع شامل سه معیار زمان انجام فعالیت، میزان منابع موردنیاز، زمان شناوری و تعداد فعالیت پس‌نیاز برای انجام عملیات است. لازم به ذکر است که در شرایط یکسان فعالیت با زمان کمتر در اولویت است؛

۶. بلافاصله بعد از آزادی عمل یا دسترس 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.

### ۵-۳- مرحله سوم: ارزیابی کارآیی زمان‌بندی

شاخص‌های عملکرد هزینه‌ای پروژه (CPI) و عملکرد برنامه‌ای پروژه (SPI) مقیاس اندازه‌گیری مناسبی را جهت ارزیابی پیشرفت پروژه فراهم می‌آورد، مقدار بیشتر از عدد یک برای آنها بیانگر عملکرد خوب پروژه است و متقابلاً زمانی که ارزش‌های این دو شاخص کمتر از عدد یک باشد، نشان‌دهنده عملکرد ضعیف پروژه است. در طول چرخه عمر پروژه، مقدار این شاخص‌ها جهت ارزیابی عملکرد پروژه مبنای قرار می‌گیرد. بایستی توجه داشت که مقدار این شاخص‌ها در ابتدای هر پروژه مساوی یک است [۲۴].

روند پروژه‌ها متغیر است؛ چراکه بر روی هزینه و زمان‌بندی تأثیرگذار است [۲۵]. بنابراین شاخص‌های عملکردی (CPI) و (SPI) نسبت به نقطه شروع پروژه منحرف می‌شود و متناسب با آن در طول پیشرفت پروژه تغییر می‌کند. مدیر پروژه در برابر تغییرات ناچیز این شاخص‌ها نباید واکنش یا عکس‌العمل شدید نشان دهد [۲۶]. 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 است، پیدا نموده و براساس آن عملیات به‌هنگام‌سازی زمان و هزینه را برای فعالیت‌های باقی‌مانده انجام دهد [۲۷]. این نوع گزارش مستلزم

۳. برای تخصیص منابع به فعالیت‌ها، آن دسته از فعالیت‌هایی اولویت دارد که دارای فاصله اقلیدسی کوچک‌تر ( $d_k$ ) باشد. مقدار فاصله اقلیدسی کوچک‌تر یکی از معیارهای اولویت برای تخصیص منابع است. این معیار بعد از هر عملیات به‌هنگام‌سازی برای فعالیت‌های در جریان ساخت و باقیمانده تغییر می‌کند. هدف این تغییر در جهت تعادل و کاهش هزینه و زمان پروژه است.

### ۵-۲- مرحله دوم: تخصیص و تسطیح منابع

روش‌های تخصیص و تسطیح منابع به فعالیت‌ها، به دلیل تأثیر مستقیم بر زمان و هزینه پروژه در مسائل مدیریت پروژه دارای اهمیت زیاد می‌باشد. فعالیت‌های مسیر بحرانی نسبت به بقیه فعالیت‌ها در تخصیص منابع دارای اولویت است 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 پس‌نیاز برای انجام تخصیص و تسطیح منابع استفاده شده است. مسیر بحرانی از ابتدا تا انتهای طرح ثابت است و فاصله اقلیدسی فعالیت‌ها در زمان به‌هنگام‌سازی و تعدیل ضریب زمان و هزینه  $\lambda$  تغییر می‌کند که این امر موجب تغییر در معیار تخصیص منابع در بین زمان و هزینه می‌شود و براین اساس بین زمان و هزینه پروژه تعادل ایجاد می‌شود.

رویکرد پیشنهادی برای تخصیص و تسطیح منابع به صورت ذیل است:

۱. برای هر یک از پروژه‌ها بایستی مسیر بحرانی، زودترین و دیرترین زمان شروع هر فعالیت، زودترین و دیرترین زمان پایان هر فعالیت، زمان شناوری هر فعالیت و منابع موردنیاز هر فعالیت مشخص شود؛

۲. برای هر پروژه بلافاصله بعد از بیکاری حداقل یکی از منابع (دسترسی به حداقل یکی از منابع)، لیست فعالیت‌های آماده و منتظر انجام عملیات را تعیین کنید. برای هر یک از فعالیت‌های لیست انتظار، تعداد فعالیت پس‌نیاز 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 به‌صورت صعودی مرتب‌نمایید. کوچک‌تر بودن این فاصله یکی از معیارهای تأثیرگذار برای اولویت فعالیت در تخصیص منابع است؛

ارزش کسب شده در ابتدای شروع پروژه لازم است چند گام اساسی برداشته شود که در نتیجه آن بتوان رویکرد ارزش کسب شده را در حین اجرای پروژه بکار برد و خلاصه مراحل آماده سازی و به کارگیری به شرح زیر است:

۱. تعیین فعالیت های پروژه، تهیه ساختار شکست کار و گروه بندی فعالیت های پروژه؛
۲. ترسیم شبکه برداری یا گره ای فعالیت ها؛
۳. تخمین منابع مورد نیاز هر یک از فعالیت ها؛
۴. برنامه ریزی و زمان بندی فعالیت های پروژه؛
۵. تخصیص و تسطیح منابع به منظور اطمینان از امکان اجرای پروژه؛
۶. به هنگام سازی برنامه زمان بندی؛
۷. تخصیص و تسطیح منابع در شرایط جدید؛
۸. محاسبه هزینه واقعی صرف شده برای انجام هر فعالیت؛
۹. محاسبه درصد پیشرفت و میزان مغایرت؛
۱۰. تجزیه و تحلیل اطلاعات و ارائه نتایج.

شاخص های عملکردی زمان و هزینه یک وسیله اندازه گیری کارایی برنامه ریزی را فراهم می سازد. این موضوع از طریق مقایسه هزینه برنامه ریزی شده نسبت به هزینه واقعی کار انجام شده محقق می شود. در نتیجه انحرافات که بین اندازه شاخص ها رخ می دهد، بیانگر نتایج ذیل است [۳۶]. دسته بندی حالات مختلف ارزش کسب شده به کمک معیارهای عملکردی در جدول شماره ۱ آمده است.

توجه و رسیدگی مدیر پروژه خواهد بود، تا بخش های مختلف تیم پروژه را مورد بازخواست قرار دهد و مشخص شود که چه چیزی اتفاق افتاده و دلیل این تغییر چشمگیر در شاخص های عملکردی چیست. بنابراین مدیر پروژه، در برابر تغییراتی که در پروژه های بزرگ و پیچیده رخ می دهد، می بایست به طور دائمی مراقب باشد. شاخص های عملکردی (CPI) و (SPI) اطلاعاتی را برای مدیر پروژه فراهم می آورد تا پیشرفت کار پروژه را بررسی نموده و از اینکه پروژه در جهت صحیح و موفقیت آمیز حرکت می نماید، اطمینان حاصل کند [۲۸]. وزارت دفاع و سازمان انرژی ایالات متحده آمریکا برای کنترل پروژه های منتخب خود از روش سیستم های کنترل زمان و هزینه<sup>۱۰</sup> استفاده می نمودند. این روش برای کنترل توام هزینه و زمان پروژه ها تعریف شده بود. این سیستم کنترلی در ابتدا برای پروژه های بزرگ تحقیقاتی تعریف و سپس در پروژه های اجرایی بهره گیری شد. در حال حاضر، این روش برای اندازه گیری و کنترل پروژه های مختلف مورد استفاده قرار می گیرد [۲۹].

بررسی تحقیقات پیشین حاکی از این است که روش های فراابتکاری [۳۰] از جمله الگوریتم ژنتیک [۳۱ و ۳۲]، و شاخه و کران [۳۳ و ۳۴] به خوبی در زمان بندی پروژه در حالت محدودیت منابع به کار گرفته شده است. در این میان، معرفی سایر روش های موثر از جمله روش ارزش کسب شده می تواند گزینه های متعددی را برای بهینه سازی زمان بندی فعالیت های پروژه پیش روی محققین و متخصصین قرار دهد [۳۵]. جهت استفاده از رویکرد

جدول ۱: دسته بندی حالات مختلف ارزش کسب شده و دستورالعمل اجرایی مربوطه

حالات مختلف	مشخصه	دستورالعمل اجرایی مربوطه
۱. عقب تر از زمان بندی و عقب تر از بودجه بندی	- کارایی ضعیف تر از میزان برآورد شده است. - کارایی خوش بینانه برآورد شده است. - فعالیت ها با تاخیر شروع شده است. - شرایط کاری نامناسب بوده است. - هزینه واقعی بیشتر از برآورد است.	- برنامه ریزی برای افزایش کارایی - دقت بیشتر در تخمین زمان و هزینه - استفاده از منابع سایر پروژه ها برای این پروژه - افزایش میزان بودجه طرح - افزایش منابع غیرمالی طرح
۲. عقب تر از زمان بندی و جلوتر از بودجه بندی	- برآوردهای غلط و نادرست زمان و هزینه - تاخیرات و شرایط آب و هوایی نامناسب - کارایی واقعی کمتر از کارایی برآورد شده - کارهای سخت و مشکل وجود داشته - سازماندهی پروژه مناسب نبوده	- دقت بیشتر در تخمین زمان و هزینه - برنامه ریزی برای افزایش کارایی - افزایش ضریب تعدیل زمان نسبت به بودجه - کاهش میزان بودجه طرح - افزایش منابع غیرمالی طرح
۳. جلوتر از زمان بندی و عقب تر از بودجه بندی	- کارایی واقعی بهتر از کارایی برآورد شده است. - زمان بندی کاملاً خوش بینانه بوده است. - شرایط کاری مساعد بوده است. - هزینه بیشتر از واقعیت برآورد است. - کارت- ساعت ذخیره شده است.	- دقت بیشتر در تخمین زمان و هزینه - افزایش میزان بودجه طرح - افزایش ضریب تعدیل بودجه نسبت به زمان - کاهش منابع غیرمالی طرح - کاهش زمان اجرای طرح



حالات مختلف	مشخصه	دستورالعمل اجرایی مربوطه
۴. جلوتر از زمان‌بندی و جلوتر از بودجه‌بندی	- زمان‌بندی خوش بینانه بوده است.	- دقت بیشتر در تخمین زمان و هزینه
	- نیروی کار زیادتر از برنامه بوده است.	- استفاده از منابع این پروژه برای سایر پروژه‌ها
	- فعالیت‌ها نسبت به برنامه زودتر شروع شده است.	- تشویق کارکنان به لحاظ کارایی و صرفه‌جویی
	- مهارت کارکنان زیادتر از برنامه بوده است.	- کاهش میزان بودجه طرح
	- هزینه‌ها زیادتر از حد نیاز برآورد شده است.	- کاهش منابع غیرمالی و زمان اجرای طرح

المبناى روىکرد ارائه شده در اين تحقيق دو شاخص عملكردى (CPI) و (SPI) است. ۱. براى هر يك از پروژه ها يك دوره مشخص براى عمليات ارزىابى و به‌هنگام‌سازى مشخص كنيد. اين زمان با توجه به اهميت پروژه، مقدار زمان و هزينه پروژه تعيين مى‌شود. در اين تحقيق هر يك از پروژه ها در هر هفته ارزىابى و به‌هنگام‌سازى مى‌شود؛

$$TTR = \frac{\text{مجموع زمان‌های ديرکرد و زودکرد}}{\text{زمان سيكل پروژه}} \quad (19)$$

بعد از عمليات ارزىابى، ليست پروژه‌هاى را تعيين كنيد كه داراى مغايرت زمان يا هزينه است. اين پروژه ها نياز به عمليات به‌هنگام‌سازى دارد؛ ۳. درصورتى كه پروژه جلوتر از برنامه زمان‌بندى و عقب‌تر از برنامه بودجه باشد، ضريب تعديل هزينه و زمان را به اندازه  $|SPI - CPI| = \lambda$  افزايش دهيد. سپس براى فعاليت‌هاى در حال انجام و باقىمانده كليۀ قدم‌هاى الگوريتم تخصيص منابع را اجرا كنيد؛ ۴. درصورتى كه پروژه عقب‌تر از برنامه زمان‌بندى و جلوتر از برنامه بودجه باشد، ضريب تعديل هزينه و زمان را به اندازه  $|SPI - CPI| = \lambda$  کاهش دهيد. سپس براى فعاليت‌هاى در حال انجام و باقىمانده كليۀ قدم‌هاى الگوريتم تخصيص منابع را اجرا كنيد؛

۵. درصورتى كه پروژه جلوتر از برنامه زمان‌بندى و بودجه‌بندى باشد و يا عقب‌تر از زمان‌بندى و بودجه‌بندى باشد، ضريب تعديل هزينه و زمان را تغيير ندهيد. سپس براى فعاليت‌هاى در حال انجام و باقىمانده كليۀ قدم‌هاى الگوريتم تخصيص منابع را اجرا كنيد؛ ۶. قدم‌هاى دوم تا پنجم را آنقدر تكرر كنيد تا يك برنامه زمان‌بندى امکان‌پذير براى همه فعاليت‌هاى در حال انجام و باقىمانده تعيين شود.

## ۶ - بحث

همان‌طور كه اشاره شد، روىکرد ارزش كسب‌شده براى مدير يت پروژه داراى ويژگى‌هاى است كه آن را از ساير

معیارهای متداول SPT، MSP و BLP در حل ۵۰۰ مسئله نمونه با ابعاد مختلف نشان می‌دهد که الگوریتم مذکور باعث کاهش بیشتري در مجموع زمان و هزینه زودکرد و دیرکرد پروژه نسبت به ۳ روش دیگر شده است.

مجموع زمان زودکرد و دیرکرد پروژه (برحسب روز) و مجموع هزینه‌های زودکرد و دیرکرد (برحسب میلیون ریال) با مدنظر قراردادن موازنه زمان و هزینه مشخص گردید (جدول شماره ۲). بررسی کارایی الگوریتم ارائه شده با معیار TTR در مقایسه با

جدول ۲: مقایسه مجموع زمان و هزینه زودکرد و دیرکرد پروژه‌های نمونه

ابعاد مسئله	تعداد مسئله	BLP		MSP		HGA		الگوریتم پیشنهادی	
		هزینه (میلیون ریال)	زمان (روز)	هزینه (میلیون ریال)	زمان (روز)	هزینه (میلیون ریال)	زمان (روز)	هزینه (میلیون ریال)	زمان (روز)
۳×۵	۲۰	۱۷۶/۳	۲۱/۱	۲۰۵/۵	۱۹/۷	۱۹۸/۲	۱۷/۳	۱۸۹/۲	۱۲/۳
۴×۸	۲۰	۱۸۷/۱	۲۵/۲	۲۱۱/۹	۲۲/۸	۲۰۱/۸	۱۹/۷	۱۹۷/۳	۱۵/۸
۵×۱۰	۲۰	۱۹۳/۶	۲۷/۲	۲۲۴/۷	۲۴/۳	۲۱۵/۷	۲۱/۶	۲۰۸/۶	۱۸/۲
۷×۱۲	۲۰	۲۲۷/۴	۳۲/۲	۲۴۹/۳	۲۹/۲	۲۳۸/۴	۲۴/۳	۲۳۱/۴	۲۰/۳
۸×۱۵	۲۰	۲۹۸/۶	۴۵/۵	۳۲۶/۶	۳۶/۵	۳۱۶/۷	۲۹/۷	۳۰۴/۷	۲۳/۶
۴×۵	۲۰	۱۹۷/۱	۲۶/۴	۲۱۲/۵	۲۱/۷	۲۰۹/۱	۱۸/۶	۲۰۶/۳	۱۴/۱
۵×۸	۲۰	۲۱۶/۸	۳۱/۵	۲۳۸/۷	۲۸/۷	۲۲۵/۷	۲۵/۲	۲۱۷/۷	۱۸/۲
۷×۱۰	۲۰	۳۴۵/۲	۵۲/۹	۳۷۴/۲	۴۷/۷	۳۵۸/۴	۳۶/۵	۳۵۱/۷	۲۸/۲
۸×۱۲	۲۰	۴۷۵/۵	۶۸/۸	۵۰۶/۵	۵۲/۸	۴۹۷/۱	۴۷/۶	۴۸۹/۶	۳۱/۷
۱۰×۱۵	۲۰	۵۹۲/۹	۹۵/۲۷	۶۳۲/۳	۸۶/۷	۶۲۱/۴	۶۸/۹	۶۱۲/۳	۵۲/۹
۸×۱۰	۲۰	۴۴۶/۲	۷۴/۵	۴۹۲/۶	۵۷/۹	۴۸۲/۵	۴۲/۸	۴۵۹/۸	۳۷/۶
۱۰×۱۴	۲۰	۵۹۸/۵	۱۰۰/۱	۶۴۱/۹	۸۹/۷	۶۲۷/۵	۷۲/۹	۶۱۹/۵	۵۲/۷
۱۲×۱۷	۲۰	۶۹۱/۲	۱۲۷/۸	۷۶۵/۹	۹۷/۳	۷۴۸/۶	۷۹/۴	۷۲۳/۶	۶۳/۲
۱۷×۲۰	۲۰	۷۴۸/۶	۲۵۷/۷	۸۴۲/۷	۱۹۶/۶	۸۱۶/۴	۱۴۷/۲	۷۹۴/۳	۱۱۹/۷
۲۰×۲۵	۲۰	۸۹۶/۷	۴۸۲/۷	۹۶۵/۹	۳۸۴/۵	۹۳۸/۶	۲۱۷/۱	۹۱۹/۷	۱۵۶/۲
۱۰×۱۷	۲۰	۵۷۲/۵	۳۶۷/۷	۶۳۵/۳	۳۱۵/۷	۵۹۲/۴	۲۲۴/۹	۵۸۲/۵	۱۸۱/۸
۱۲×۲۰	۲۰	۶۴۸/۷	۴۹۵/۹	۷۴۶/۶	۴۸۶/۲	۶۸۶/۵	۳۹۲/۷	۶۶۷/۹	۲۸۶/۹
۱۵×۲۵	۲۰	۱۱۲۷/۱	۱۹۶۱/۳	۱۲۱۵/۳	۱۷۴۵/۶	۱۱۷۵/۴	۱۳۵۴/۴	۱۱۳۵/۵	۱۰۱۲/۹
۲۰×۳۰	۲۰	۲۵۲۸/۹	۵۱۶۹/۷	۲۶۹۵/۳	۴۹۲۱/۶	۲۶۷۱/۳	۳۶۲۷/۳	۲۶۱۶/۳	۲۳۴۸/۶
۳۰×۴۰	۲۰	۳۶۴۱/۸	۱۲۱۶۹/۷	۳۷۴۸/۴	۸۹۶۸/۲	۳۷۰۳/۵	۶۴۵۲/۹	۳۶۳۶/۹	۳۲۵۱/۹
۱۵×۲۰	۲۰	۹۶۸/۳	۱۲۷۵/۶	۱۰۴۷/۷	۹۶۵/۷	۹۸۷/۲	۷۹۶/۳	۹۷۶/۹	۶۴۷/۷
۱۷×۲۵	۲۰	۱۹۴۵/۲	۳۵۶۲/۵	۲۱۶۸/۹	۴۶۹۷/۵	۲۰۷۶/۲	۱۹۷۵/۷	۱۹۶۹/۵	۱۲۴۸/۷
۲۰×۳۵	۲۰	۲۷۴۹/۷	۱۱۵۹۶/۲	۲۹۶۴/۷	۸۵۶۹/۹	۲۸۶۹/۹	۶۲۷۶/۲	۲۷۹۸/۵	۳۲۹۲/۷
۳۰×۴۵	۲۰	۳۴۲۱/۷	۱۸۲۶۹/۲	۳۶۲۷/۴	۱۵۹۲۷/۳	۳۵۳۶/۲	۱۱۷۶۹/۶	۳۴۷۴/۸	۷۵۷۹/۹
۴۰×۵۰	۲۰	۵۷۴۸/۲	۲۵۶۸۲/۵	۵۹۷۶/۵	۲۱۹۶۸/۹	۵۸۹۷/۶	۱۴۷۴۱/۳	۵۸۰۶/۷	۸۹۷۲/۷

## ۷- نتیجه‌گیری

کارآمدی همچون روش ارزش کسب‌شده از اهمیت بالایی برخوردار است. در روشی که ارائه شد، مشخص گردید که رویکرد ارزش کسب شده دامنه انحرافات هزینه و زمان را از برنامه اصلی پروژه مشخص نموده و دلایل کلی و عوامل انحرافات و مغایرت‌ها را به خوبی بیان می‌کند. همچنین راهکارهایی را برای کاهش این

استفاده از روش ارزش کسب‌شده در الگوریتم زمان‌بندی ارائه شده در این پژوهش، حاکی از این است که رویکرد مذکور از کارایی مناسبی در زمان‌بندی پروژه‌های تحقیق و توسعه برخوردار است. این نوع پروژه‌ها برای سازمان‌ها اهمیت راهبردی داشته و زمان‌بندی دقیق فعالیت‌های آنها با بهره‌گیری از ابزار

داده است و گروهی دیگر نیز بیشینه سازی ارزش فعلی جریانات نقدی پروژه را به‌عنوان هدف اصلی انتخاب کرده است. اما مقالات بسیار محدودی زمان‌بندی و تخصیص منابع به چندین پروژه را به‌صورت هم‌زمان مدنظر قرار داده است. افرادی همچون بل و پارک، کریستوفایدز و همکاران، دتمولمستر و هرولن در تحقیقات خود از روش‌های بهینه سازی مثل شاخه و کران استفاده نموده‌اند. درحالی‌که در مواجهه با پروژه‌های تحقیقی و توسعه، پیچیدگی فعالیت‌ها زیاد می‌شود و روش‌های بهینه سازی توانایی حل این مسائل را ندارد. بنابراین استفاده از روش‌های ابتکاری برای حل این نوع مسائل ضروری به‌نظر می‌رسد. روش‌های ابتکاری متعددی توسط محققین برای حل مسئله مورد بحث این تحقیق مطرح شده است که از جمله کاراترین آنها می‌توان به SPT، MSP و HGA اشاره نمود. اما هیچ یک از روش‌های ارائه شده جامعیت لازم به‌منظور استفاده کلی برای انواع شبکه‌های پیچیده از فعالیت‌ها را ندارد، زیرا تمامی محدودیت‌ها و مفروضات لازم را در نظر نگرفته است. خطاب و چوبینه در تحقیقات خود به این نکته اشاره داشتند که ترکیب قوانین ابتکاری نتیجه‌ای به مراتب بهتر از به‌کارگیری انفرادی این قوانین و الگوریتم‌ها ارائه می‌دهد. در پژوهش حاضر نیز از این رویکرد بهره‌گیری شد و براساس روش‌های ابتکاری که در گذشته ارائه شده بود، یک روش کارآ برای حل مسئله مورد بحث به‌گونه‌ای ارائه شد که محدودیت‌های روش‌های قبلی را نداشته باشد. در مجموع، به‌عنوان تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود، بررسی درخصوص نحوه تخصیص متغیرها و محدودیت‌های دیگری به مدل اصلی و تکمیل آن صورت گیرد.

مغایرت‌ها ارائه می‌کند. رویکرد ارائه شده با مدنظر قراردادن هم‌زمان دو عامل زمان و هزینه، به دنبال ارائه یک برنامه زمان‌بندی به‌هنگام فعالیت‌ها و بودجه‌بندی موثر است که ضمن ایجاد تعادل بین زمان و هزینه، زمان خاتمه پروژه و هزینه کل پروژه را حداقل نماید که به نوبه خود باعث کاهش هزینه‌های تأخیر و زودکرد پروژه‌ها می‌شود. تحلیل‌ها و مقایسه‌های انجام شده نشان می‌دهد که روش ارائه شده با استفاده از معیار انحرافات از برنامه باعث جلوگیری از مغایرت بیشتر و اصلاح سریع‌تر آن می‌شود. همچنین این روش با ارائه برنامه زمان‌بندی و روش‌های تخصیص و تسطیح منابع مناسب باعث کاهش زمان و هزینه اجرای پروژه گردید. در واقع، استفاده مناسب از رویکرد ارزش کسب‌شده 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 شد. هدف از تحقیق حاضر، ارائه یک الگوریتم برای زمان‌بندی پروژه به‌منظور کمینه نمودن مجموع هزینه‌های زودکرد و دیرکرد پروژه است. از این رو، یک مدل برای این منظور بر پایه مدل‌های قبلی ارائه گردید. بررسی کارایی الگوریتم ارائه شده با معیار TTR در مقایسه با معیارهای متداول SPT، MSP و BLP در ۵۰۰ مسئله نمونه با ابعاد مختلف نشان می‌دهد که الگوریتم مذکور باعث کاهش مجموع زمان و هزینه زودکرد و دیرکرد پروژه نسبت به ۳ روش دیگر شده است. اغلب روش‌های ارائه شده در تحقیقات قبلی به حداقل رساندن زمان تکمیل یک پروژه را به‌عنوان هدف اصلی انتخاب کرده است. برخی دیگر، حداقل نمودن هزینه‌ها را مورد بحث قرار

## فهرست منابع

- [۱] رحیم زاده، مریم؛ خلیل زاده، محمد؛ سلطانی، رویا؛ "شناسایی عوامل موثر بر پیاده سازی مدیریت دانش در سازمان‌های پروژه محور عمرانی (رویکردی از معادلات ساختاری)"، فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، دوره ۱۶، شماره ۳۲، صص ۷۲-۵۷، ۱۳۹۷.
- [۲] میرزایرمانی، ابوالفضل؛ گلستان هاشمی، سیدمهدی؛ ناصریان، سیدمحمد مسعود؛ "ارائه مدل مدیریت ریسک‌های فناورانه در فرآیند توسعه محصول جدید با رویکرد TRIZ"، فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، دوره ۱۶، شماره ۳۲، صص ۵۶-۳۹، ۱۳۹۷.
- [۳] عظیم‌زاده، مهدی؛ زمان‌بندی به‌هنگام فعالیت‌های یک پروژه با هدف حداقل کردن هزینه‌های زودکرد و دیرکرد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، ایران، ۱۳۹۰.
- [۴] افشار نجفی، بهروز؛ یک الگوریتم شاخه و کران با هدف کمینه‌سازی ارزش فعلی خالص هزینه‌های زودکرد - دیرکرد برای مساله زمان‌بندی پروژه با منابع نامحدود، رساله دکتری، دانشگاه صنعتی شریف، ایران، ۱۳۸۷.

- [5] افشار نجفی، بهروز؛ شادرخ، شهرام؛ "یک الگوریتم برای زمان‌بندی پروژه با هدف کمینه کردن هزینه‌های تنزیل شده زودکرد - دیرکرد فعالیت‌ها"، پنجمین کنفرانس ملی مهندسی صنایع، تهران، ۱۳۸۶.
- [6] Tanaka, S.; Araki, M.; "An exact algorithm for the single-machine total weighted tardiness problem with sequence-dependent setup times", *Computers & Operations Research*, Vol. 40, pp. 344–352, 2012.
- [7] Amor, J. P.; "Scheduling programs with repetitive projects using composite learning curve approximations", *International journal of project management*, Vol. 33, No. 2, pp. 16-29, 2002.
- [8] Munoz-Villamizar, A.; Santos, J.; Montoya-Torres, J.; Alvarez, M.J.; "Improving effectiveness of parallel machine scheduling with earliness and tardiness costs: A case study", *International Journal of Industrial Engineering Computations*, Vol. 10, Issue 3, pp. 375-392, 2019.
- [9] Villafanez, F.; Poza, D.; Lopez-Paredes, A.; Pajares, J.; Olmo, R.; "A generic heuristic for multi-project scheduling problems with global and local resource constraints (RCMPSP)", *Soft Computing*, Vol. 23, Issue 10, pp. 3465-3479, 2019.
- [10] Tian, J.; Hao, X.; Gen, M.; "A hybrid multi-objective EDA for robust resource constraint project scheduling with uncertainty", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 130, pp. 317-326, 2019.
- [11] Schmidt, T.; *Strategic Project Management Made Simple: Practical Tools for Leaders and Teams*, Wiley, 2009.
- [12] Cioffi, D. F.; "A tool for managing projects, analytic parameterization of the S-curve", *International journal of project management*, Vol. 33, No. 4, pp. 215–222, 2005.
- [13] Bell, C. E.; Park, K.; "Solving resource constrained project scheduling problems", *Navel Research Logistic*, Vol. 37, No. 8, pp. 19 – 38, 1990.
- [14] Elmaghraby, S. E.; "The one – machine sequencing problem with delay costs", *journal of industrial Engineering*, Vol. 19, No. 2, pp. 12-24, 1968.
- [15] Patterson, J. H.; Talbot, B. F.; Slowinski, R.; Weglavez, J.; "Computational experience with the back tracking algorithm for solving a problems", *European Journal of Operational Research*, Vol. 49, No. 11, pp. 68 – 79, 1990.
- [16] Davis, E.W.; Patterson, J. H.; "A comparison of heuristic and optimum solutions in resource-constrained project scheduling", *Management Science*, Vol. 21, No. 7, pp. 15-27, 1975.
- [17] Khattab, M.; Choobineh, F.; "A new approach for project scheduling with limited resource", *International Journal of Production Research*, Vol. 30, No. 2, pp. 185-198, 1991.
- [18] Talbot, B.; "Resource constrained project scheduling with time – resource tradeoffs the non-preemptive case", *Management science*, Vol. 28, No. 5, pp. 1197 – 1210, 1982
- [19] Kolish, R.; Hartman, K.; "Heuristic algorithms for solving the resource – constrained project scheduling problem: classification and computational analysis", *Project scheduling*, Vol. 25, No. 6, pp. 147-178, 1999.
- [20] Blazewicz, J.; Lenstra, J. K.; Rinnooy Ken, H. G.; "Scheduling project to resource constraints, classification and complexity", *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 14, No. 5, pp. 47-61, 1983.
- [21] Lova, A.; Tormos, P.; "Analysis of scheduling schemes and heuristic Rules Performance in resource-constrained multi project scheduling", *Annals of Operations Research*, Vol. 102, No. 10, pp. 263-286, 2001.
- [22] Ghazanfari, M.; shahanaghi, K.; Yousefi, A.; "An application of possibility Goal programming to the time-cost trade-off problem", *International journal of Engineering and science*, Vol. 21, No. 6, pp. 127-136, 2009.
- [23] Eshtehardian, E.; Abbasnia, R.; Afshar, A.; "Optimization of uncertain construction time-cost trade-off problem", *International journal of Civil Engineering*, Vol. 15, No. 7, pp. 14-25, 2008
- [24] Rose, K. H.; "Review of earned value project Management", *International journal of Project Management*, Vol. 35, No. 1, pp. 48-57, 2003
- [25] Liu, Q.; Geng, X.; Dong, M.; Lv, W.; Ye, C.; "Scheduling optimization of design stream line for production research and development projects", *Engineering Optimization*, Vol. 49, Issue 5, pp. 896-914, 2017.
- [26] Cioffi, D. F.; "Completing projects according to plans: An Earned Value Improvement Index", *International journal of Operations Research Society*, Vol. 24, No. 10, pp. 168–182, 2005.
- [27] Amor, J. P., Lepitc, C. J.; "An efficient approximation project composite learning curves", *International journal of Project Management*, Vol. 29, No. 3, pp. 28-42, 1995.
- [28] Kurtulus, I.; Davrs, E. W.; "Multi – Project: Categorization of heuristic rules performance", *Management Science*, Vol. 28, No. 8, pp. 161 – 172, 1982.
- [29] Anbari, F.; "Earned value method extensions", *International journal of project management*, Vol. 34, No. 4, pp. 12-23, 2003.
- [30] Bell, C. E, Han, A.; "A new heuristic solution method in Resource – constrained project scheduling", *Navel-research logistic*, Vol. 38, No. 9, pp.151-163, 1991.

- [31] Mendes, J. J. M.; Goncalves, J. F.; Resende, M. G.; "A random key based genetic algorithm for the resource constrained project", Computer and Operation Research, Vol. 36, No. 4, pp. 92-109, 2009.
- [32] Montoya-torres, T. R.; Gutierrez-Franc, E.; Pirachican, C.; *Project scheduling with limited Resource using a genetic algorithm*, International Journal of Project Management, Vol. 25, No. 6, pp. 50-65, 2009.
- [33] Christofides, N.; Alvares, R.; Valdes, R.; Tamarit, J. M.; "Project with resource constraints a branch and bound approach", European Journal of Operational Research, Vol. 29, No. 3, pp.181-192, 1987.
- [34] Demeulemeester, E.; Herroelen, W.; "A branch and bound procedure for the multiple resource-constrained project scheduling problem", Management Science, Vol. 38, No. 6, pp.1803-1818. 1992.
- [35] Herroelen, W.; Reyck, B. D.; Demeulemeester, E.; "Project scheduling a survey of recent developments resource constrained", Operation Research and Computers, Vol. 24, No. 8, pp. 279-302, 1998.
- [36] Davis, E. W.; Heidorn, G. E.; "An algorithm for optimal project scheduling under multiple Resource constraints", Management Science, Vol. 17, No. 7, pp. 803-816, 1991.





شپوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی