Archive of SID

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

■ مهدی عظیم زاده [1]
کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه یزد
■ حسن خادمی زارع *+
استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه یزد
■ محمود ارشادی [2]
دانشجوی دکترای 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 درنظرگرفتن 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 به‌منظور ارزیابی کارآیی 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) به‌طور 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 به‌عنوان 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.

۱شماره نمابر: ۰۳۵۳۸۲۱۱۷۹۲ و آدرس پست الکترونیکی: *Azimzade@gmail.com*
* عهده دار مکاتبات
+شماره نمابر: ۰۳۵۳۸۲۱۱۷۹۲ و آدرس پست الکترونیکی: *Hassan.KhademiZare@yazd.ac.ir*
۲ شماره نمابر: ۰۳۵۳۸۲۱۱۷۹۲ و آدرس پست الکترونیکی: *Mahmood_Ershadi@yahoo.com*

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

توجه به حسن اجرای پروژه های تحقیق و توسعه در شرکت‌های دانش‌بنیان از اهمیت بسزایی برخوردار است. تاخیر و یا توقف در مراحل اجرایی چنین پروژه‌هایی می‌تواند آثار زیان‌باری داشته باشد و اهداف توسعه و انتقال فناوری در زمان مناسب و با هزینه متعارف را محقق نکند. همان‌طور که امروزه سازمان‌های پروژه‌محور به رویکردهای نوین مدیریتی از جمله مدیریت دانش[۱] و مدیریت ریسک نوآورانه در توسعه محصول[۲] نیاز دارد، برخورداری از روش‌های نوین برنامه‌ریزی و کنترل پروژه نیز حایز اهمیت است. این نوع پروژه‌ها به دلیل ماهیت فنی و حساسی که دارد، بایستی به‌طور بهینه مدیریت و کنترل شود. زیرا تکمیل پروژه در حداقل زمان ممکن و با هزینه متعارف بسیار اهمیت دارد.

هدف این مقاله دستیابی به زمان‌بندی به‌هنگام فعالیت‌های پروژه های تحقیق و توسعه با هدف حداقل نمودن مجموع هزینه های دیرکرد و زودکرد است. برای این منظور از رویکرد ارزش کسب‌شده، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های مدیریت پروژه استفاده شده است. به‌طورکلی، نظارت مناسب بر عملکرد پروژه‌های 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 پروژه‌ها باید روشی به‌کار گرفته شود که توانایی یکپارچه سازی بین محدوده کاری، هزینه و زمان را به‌طور همزمان داشته باشد[۶]. رویکرد ارزش کسب‌شده با مدنظر قراردادن روابط فعالیت‌ها در یک چارچوب نظام یافته، قادر به تحقق این امر است.

در دنیای واقعی به صفر رساندن مجموع هزینه‌های دیرکرد و زودکرد غیرممکن است؛ لذا مطابق مفروضات و شرایط تعیین شده، بایستی برنامه زمان‌بندی پروژه‌های تحقیق و توسعه به گونه‌ای تهیه شود که ضمن برقراری تعادل بین هزینه و زمان پروژه، کل این نوع هزینه‌ها را حداقل کند. ارائه برنامه زمان‌بندی دقیق اجرای پروژه، یکی از ارکان اساسی در مدیریت پروژه‌های تحقیق و توسعه است. تهیه یک برنامه زمان‌بندی نامناسب باعث ایجاد خطا در برآورد هزینه‌ها، برنامه‌ریزی منابع و تدارکات، سلب اعتماد و تحمیل جریمه‌ها، تناقض در گزارشات پیشرفت پروژه‌ها می شود. همچنین به تبع آن با توجه به وابستگی‌ها و ابعاد پروژه، ریسک و زیان قابل توجهی را به سرمایه‌گذاران شرکت‌های دانش بنیان تحمیل می‌کند. لازم به ذکر است، همواره یکی از دلایل ارائه برنامه زمان‌بندی نامناسب و غیرواقعی، عدم استفاده از روش‌های کارآمد در تخمین زمان‌بندی انجام فعالیت‌هاست[۳]. مدل‌های زمان‌بندی با معیارهای زودکرد و دیرکرد دارای ارتباط نزدیک و قابل ترکیب با مفاهیم تولید به‌هنگام[3] و مدیریت زنجیره تأمین است[۷]. اگر چه تاکنون، روش‌های زمان‌بندی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های زودکرد و دیرکرد غالبا در برنامه‌ریزی تولید موردا ستفاده قرار می‌گرفت[۸]، بررسی انجام شده در این تحقیق نشان می‌دهد که به‌کارگیری این مدل‌ها در برنامه‌ریزی پروژه نیز می‌تواند مفید واقع شود. از این‌رو، در مقاله حاضر با الهام‌گیری 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 زمان‌بندی و بودجه‌بندی یک پروژه با هدف کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های زودکرد و دیرکرد ارائه می‌شود.

تحقیقات اخیر بر اهمیت حل مسئله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع با روش‌های کارآتر تاکید نموده است[۹] که از این جمله می‌توان به ارائه روش های زمان‌بندی مبتنی بر روش الگوریتم تخمین توزیع[4] اشاره نمود[۱۰]. در همین راستا، نوآوری این تحقیق از جنبه نظری، معرفی ارزش کسب‌شده به‌عنوان روشی موثر به‌منظور افزایش کارآیی در حل مسئله کمینه سازی مجموع هزینه های زودکرد و دیرکرد پروژه با محدودیت منابع است. در واقع با بهره‌گیری از الگوهای ارائه شده در تحقیقات خارجی، یک الگو برای استفاده در پروژه‌های 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 کارآیی روش‌های زمان‌بندی در پروژه‌های تحقیق و توسعه است. بنابراین، درخصوص نوآوری این پژوهش از جنبه کاربردی، می‌توان به تحلیل کارآیی روش ارزش کسب‌شده درخصوص زمان‌بندی پروژه‌های تحقیق و توسعه اشاره نمود که به نوبه خود زمینه لازم را برای ارائه الگوریتم های موثر زمان‌بندی پروژه های تحقیق و توسعه در مطالعات آتی فراهم می‌آورد.

۲ - مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پروژه‌های تحقیق و توسعه نقش بسزایی در تحقق اهداف و راهبردهای بلندمدت سازمان ایفا می‌کند. چنین پروژه هایی فعالیت‌های پیچیده‌ای داشته و تعاملات فنی زیادی بین آنها

3 Just-in-time (JIT) manufacturing

4 Estimation distribution algorithm

www.SID.ir

Archive of SID

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 علاوه‌بر 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 به‌واسطه عدم به‌کارگیری 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 درنظرداشتن وابستگی‌ها و ارتباطات آنها؛
- تعیین نحوه اشتراک‌گذاری و توزیع منابع میان بخش‌های مختلف پروژه؛
- زمان‌بندی به‌منظور 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 به‌منظور کاهش هزینه‌های انبارداری، ضایعات و نیز ضرر ناشی از راکد ماندن منابع مالی؛
- تعیین میزان نقدینگی پروژه در هر مقطع زمانی جهت پرداخت به‌موقع صورتحساب‌ها؛
- تعیین روابط تقدم و تاخر بین فعالیت‌ها به‌طور 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؛
- زمان‌بندی پروژه به‌صورت جامع با درنظرداشتن منطق اجرایی پروژه، اولویت‌ها، سیاست‌ها و رخدادها؛
- توجه به فعالیت‌های دارای شناوری کم که موجب افزایش زمان اجرای پروژه می‌گردد؛
- کاهش هزینه های زودکرد و دیرکرد در اجرای فعالیت های پروژه.

در طی چهار دهه گذشته، رویکرد ارزش کسب شده به‌عنوان 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 به‌طور 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، به‌کارگیری 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. به‌طورکلی 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 روش ها می توان به SPT [۵]، MSP[۶] و HGA[۷] اشاره نمود. اما در واقع هیچ یک از آنها جامعیت لازم به‌منظور استفاده کلی برای انواع شبکه های پیچیده از فعالیت‌ها را ندارد[۳].

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

5 Shortest Processing Time
6 Multi-objective Shortest Path
7 Hybrid Genetic Algorithm

www.SID.ir

Archive of SID

حل شده‌است. لازم به ذکر است زمانی‌که ابعاد مسئله بزرگ می شود، روش‌های بهینه سازی توانایی حل این مسائل را ندارد. بنابراین استفاده از روش‌های ابتکاری برای حل این نوع مسائل ضروری به‌نظر می‌رسد. از جمله دیگر تحقیقات، می‌توان مقالات افرادی همچون بل و پارک، کریستوفایدز و همکاران، دمئولمستر و هرولن را عنوان کرد که عموما از روش‌های بهینه سازی مثل شاخه و کران استفاده نموده‌اند. دیویس و پترسون نیز معتقد بودند هیچ یک از قوانین ابتکاری برتری مطلق ندارد و برای هر مسئله می‌توان تعدادی از این قوانین را موردمقایسه قرار داده و از مناسب‌ترین آنها استفاده نمود[۱۶]. خطاب و چوبینه نیز چنین عنوان کردند که ترکیب قوانین ابتکاری نتیجه‌ای به مراتب بهتر از به‌کارگیری انفرادی این قوانین و الگوریتم‌ها ارائه می‌دهد[۱۷]. روش انتخابی برای زمان‌بندی پروژه وابستگی زیادی به هدف پروژه دارد. در بعضی پروژه‌ها تحویل به‌موقع اهمیت دارد و در بعضی دیگر، صرفه‌جویی در منابع مهم است. یکی از روش‌های متداول، روش مسیر بحرانی است که در سال ۱۹۵۷ توسط شرکت دوپونت انگلستان ارائه شد. مدتی بعد، روش ارزیابی و بازنگری پروژه[۸] و روش گرافیکی ارزیابی و بازنگری پروژه[۹] در آمریکا مطرح گردید که فعالیت‌ها را احتمالی درنظرمی‌گرفت. تغییر برنامه زمان‌بندی پروژه، به‌نحوی‌که مدت زمان اجرای پروژه ثابت نگه داشته شود و هزینه‌های پروژه کاهش یابد، تخصیص و تسطیح منابع گفته می‌شود. وابستگی بین فعالیت‌های پروژه دارای چهار دسته شروع به شروع(SS)، شروع به پایان(SF)، پایان به شروع(FS) و پایان به پایان(FF) است[۱۸]. شایان ذکر است در این مقاله روابط فعالیت‌ها به‌صورت پایان به شروع است.

کولیش و هارتمن در تحقیق خود یک طبقه‌بندی از مسائل مدیریت پروژه با منابع محدود را ارائه کردند[۱۹]. معیارهای اولویت‌بندی فعالیت‌ها برای تخصیص منابع شامل کمترین مدت زمان شناوری، کمترین زمان فعالیت، حداکثر تعداد پس نیازی، حداکثر زمان فعالیت های پس نیاز، زمان انتظار بیشتر و ... است[۲۰]. توماس و لووا یک مقایسه جامع بر روی روش‌های فراابتکاری انجام داده و آنها را از نظر مدت زمان تکمیل و هزینه با هم مقایسه کردند[۲۱]. کولیش یک روش ابتکاری و کارا برای حل مسائل زمان‌بندی ارائه نمود و کارایی روش خود را با یک تحقیق پیمایشی وسیع مورد تاکید قرار داد[۱۹]. علاوه بر این موارد، تحقیقاتی درخصوص حل مسئله زمان‌بندی پروژه به کمک الگوریتم ژنتیک انجام شده است. در مجموع هر کدام از این روش‌ها نسبت به روش‌های دیگر دارای برخی مزایا و معایب است و در این پژوهش سعی شده روشی ارائه شود که علاوه بر برخورداری از مزایای مدل‌های قبلی، تا حد ممکن معایب آنها را نداشته باشد. در ادامه مقاله به تشریح مفروضات، روش تحقیق و معرفی الگوریتم ارائه شده پرداخته می‌شود.

۳- روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش نظری که هدف اصلی آن ارائه روشی بر مبنای رویکرد ارزش کسب‌شده به‌منظور دستیابی به زمان‌بندی به‌هنگام فعالیت های یک پروژه در راستای حداقل نمودن مجموع هزینه‌های دیرکرد و زودکرد است، مراحل تحقیق به این صورت انجام شد که ابتدا مطالعات کتابخانه‌ای به‌منظور شناسایی تحقیقات ارائه شده در این زمینه صورت گرفت. سپس مدلی ریاضی که در تحقیقات قبلی برای حداقل کردن مجموع هزینه‌های زودکرد و دیرکرد پروژه با محدودیت منابع ارائه شده است، مبنا 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

به‌منظور حداقل نمودن مجموع هزینه‌های زودکرد و دیرکرد پروژه با محدودیت منابع، مدل ریاضی که توسط عظیم زاده ارائه گردیده، مبنا قرار داده شده است[۳].

i: شماره پروژه $i = 1,2, \dots , N$

j: شماره فعالیت $j = 1,2, \dots , M$

t: دوره زمانی تکمیل پروژه، $t = 1,2, \dots , max\, P_i$

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

T_{iv}: زمان تکمیل فعالیت v از پروژه i

L_{iv}: دیرترین زمان تکمیل فعالیت v از پروژه i

e_{iv}: زودترین زمان تکمیل فعالیت v از پروژه i

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

8 Pert

9 Gert

www.SID.ir

Archive of SID

m: آخرین فعالیت پروژه i

a_{ij}: زمان شروع فعالیت j از پروژه i

t_{ij}:زمان لازم برای انجام فعالیت j از پروژه i

E_i: *مقدار زودکرد پروژه* i

T_i: *مقدار دیرکرد پروژه* i

$x_{ijt} = \begin{cases} 1 & \text{اگرفعالیت } j \text{ از پروژه } i \text{ در دوره } t \text{ تکمیل شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$

$z_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{اگرفعالیت } j \text{ از پروژه } i \text{ به منبع } k \text{ نیاز داشته باشد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$

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

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

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

λ_i: ضریب اهمیت زودکرد برای پروژه i

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

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

$$Min\ z = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i E_i + (1-\lambda_i) T_i \qquad (۱)$$

$$\sum_{t=e_{iv}}^{t_{iv}} t.X_{ivt} + a_{iw} \le \sum_{t=e_{iw}}^{t_{iw}} t.X_{iwt} \qquad (۲)$$

$$Y_{it} \le Y_{i,t+1} \qquad (۳)$$

$$\sum_{t=e_{ij}}^{L_{ij}} X_{ijt} = 1, \quad j = 1,2,\dots,\le M\ , i = 1,2,\dots,N \qquad (۴)$$

$$\sum_{k=1}^{k} Z_{ijk} = 1, \quad j = 1,2,\dots,\le M\ , i = 1,2,\dots,N \qquad (۵)$$

$$Y_{it} \le \frac{1}{M_i} \sum_{i=1}^{M_i} \sum_{t=e_{ij}}^{L_{ij}} X_{ijt}.t \quad t = E_i,\dots,P_i \ , \ i = 1,2,\dots,N \qquad (۶)$$

$$a_{ij} + P_{ijk} \le n_{ij} \le a_{ij} + t_{ij} - 1 \qquad (۷)$$

$$\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M_i} \sum_{t=a_{ij}}^{a_{ij}+t_{ij}-1} r_{ijk} Z_{ijk} \le R_{kt} \qquad (۸)$$

$$\sum_{t=a_{ij}}^{a_{ij}+t_{ij}-1} X_{ivt} + \sum_{t=a_{ij}}^{a_{ij}+t_{ij}-1} X_{iwt} \le 1 \ , \qquad a_{ij} = max\{e_{iv}, e_{iw}\},\dots,min\{L_{iv}, L_{iw}\} \qquad (۹)$$

$$E_i = max(0, d_i - a_{im} - t_{im}) \qquad (۱۰)$$

$$T_i = max(0, a_{im} + t_{im} - d_i) \qquad (۱۱)$$

$$0 \le \lambda \le 1 \qquad (۱۲)$$

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

www.SID.ir

Archive of SID

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 نمی شود. 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 دردسترس آن منبع زیادتر باشد. محدودیت ۹ نیز محدودیت غیرهمزمانی فعالیت‌ها در برخورداری از یک منبع است و در نهایت محدودیت ۱۰و 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 فعالیت ها 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 بتواند این عدم اطمینان را درنظربگیرد، کمک می‌کند تا با درنظرگرفتن واقعیات محیطی تصمیمی اتخاذ شود که در نتیجه آن میزان ریسک و اشتباهات در تصمیم‌گیری‌های خطیر به‌خصوص در مورد پروژه‌های تحقیق و توسعه به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. از طرف دیگر، هرگونه انحراف از زمان‌های برآورد شده، باعث افزایش هزینه ها، به‌خصوص هزینه های 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 اشتهاردیان با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه شده است. وی با استفاده از برش های 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 درنظرگرفته 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 λ بزرگتر گردد، ارزش هزینه زیادتر و ارزش زمان کمتر می‌شود و بالعکس هرچه مقدار λ کوچک‌تر شود، ارزش هزینه کمتر و ارزش زمان افزایش می‌یابد.

$$d_k = \frac{1}{n}\sqrt{\lambda\left(\frac{\sum_{k=1}^{n}(C_k - C_i)}{C_{max} - C_{min}}\right)^2 + (1-\lambda)\left(\frac{\sum_{k=1}^{n}(T_k - T_i)}{T_{max} - T_{min}}\right)^2} \quad (۱۳)$$

$$d_k = \sqrt{\lambda\left(\frac{C_k - \bar{C}}{C_{max} - C_{min}}\right)^2 + (1-\lambda)\left(\frac{T_k - \bar{T}}{T_{max} - T_{min}}\right)^2} \quad (۱۴)$$

$$(\bar{C} = \frac{\sum_{k=1}^{n} C_k}{n}) \quad (۱۵)$$

$$\bar{T} = \frac{\sum_{k=1}^{n} T_k}{n} \quad (۱۶)$$

$$0 \le \lambda \le 1 \quad (۱۷)$$

λ: ضریب تعدیل بین هزینه و زمان، k: شمارش فعالیت (k=1,2,. . . , n)، d_k : فاصله اقلیدسی بین زمان و هزینه فعالیت k، 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 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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 تاثیر 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 فعالیت ها در زمان به‌هنگام سازی و تعدیل ضریب زمان و هزینه λ تغییر می‌کند که این امر موجب تغییر در معیار تخصیص منابع در بین زمان و هزینه می‌شود و براین‌اساس 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 مرتب نمایید. کوچک‌تر بودن این فاصله یکی از معیارهای تاثیرگذار 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 شماره ۱۸ محاسبه کنید؛

$$(R_{ij} = \frac{d_{ij} - S_{ij}}{W_{ij}}) \qquad (۱۸)$$

(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 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.

۵ – ۳ - مرحله سوم: ارزیابی کارآیی زمان‌بندی

شاخص‌های عملکرد هزینه ای 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 متقابلا 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 مبنا 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 تاثیرگذار است[۲۵]. بنابراین شاخص‌های عملکردی (CPI) و (SPI) نسبت به نقطه شروع پروژه منحرف می شود 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 تاثیرگذار است، پیدا نموده و براساس آن عملیات به‌هنگام‌سازی زمان و هزینه را برای فعالیت‌های باقی مانده انجام دهد[۲۷]. این نوع گزارش مستلزم

www.SID.ir

Archive of SID

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 پروژه‌های بزرگ و پیچیده رخ می‌دهد، می‌بایست به‌طور دائمی مراقب باشد. شاخص های عملکردی(CPI) و (SPI) اطلاعاتی را برای مدیر پروژه فراهم می‌آورد تا پیشرفت کار پروژه را بررسی نموده و از اینکه پروژه در جهت صحیح و موفقیت آمیز حرکت می‌نماید، اطمینان حاصل کند[۲۸]. وزارت دفاع و سازمان انرژی ایالات متحده آمریکا برای کنترل پروژه‌های منتخب خود از روش سیستم‌های کنترل زمان و هزینه[10] استفاده می‌نمودند. این روش برای کنترل توام هزینه و زمان پروژه ها تعریف شده بود. این سیستم کنترلی در ابتدا برای پروژه‌های بزرگ تحقیقاتی تعریف و سپس در پروژه‌های اجرایی بهره‌گیری شد. در حال حاضر، این روش برای اندازه‌گیری و کنترل پروژه‌های مختلف مورداستفاده قرار می گیرد[۲۹].

بررسی تحقیقات پیشین حاکی از این است که روش‌های فراابتکاری[۳۰] از جمله الگوریتم ژنتیک[۳۱ و ۳۲]، و شاخه و کران[۳۳ و ۳۴] به خوبی در زمان‌بندی پروژه در حالت محدودیت منابع به‌کار گرفته شده است. در این میان، معرفی سایر روش‌های موثر از جمله روش ارزش کسب شده می‌تواند گزینه‌های متعددی را برای بهینه‌سازی زمان‌بندی فعالیت های پروژه پیش‌روی محققین و متخصصین قرار دهد[۳۵]. جهت استفاده از رویکرد ارزش کسب‌شده در ابتدای شروع پروژه لازم است چند گام اساسی برداشته شود که در نتیجه آن بتوان رویکرد ارزش کسب‌شده را در حین اجرای پروژه بکار برد و خلاصه مراحل آماده‌سازی و به‌کارگیری به شرح زیر است:

۱. تعیین فعالیت‌های پروژه، تهیه ساختار شکست کار و گروه‌بندی فعالیت‌های پروژه؛
۲. ترسیم شبکه برداری یا گره‌ای فعالیت‌ها؛
۳. تخمین منابع موردنیاز هر یک از فعالیت‌ها؛
۴. برنامه‌ریزی و زمان‌بندی فعالیت‌های پروژه؛
۵. تخصیص و تسطیح منابع به‌منظور اطمینان از امکان اجرای پروژه؛
۶. به‌هنگام‌سازی برنامه زمان‌بندی؛
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.

شاخص‌های عملکردی زمان و هزینه یک و سیله اندازه‌گیری کارایی برنامه‌ریزی را فراهم می‌سازد. این موضوع از طریق مقایسه هزینه برنامه‌ریزی‌شده نسبت به هزینه واقعی کار انجام شده محقق می‌شود. در نتیجه انحرافاتی که بین اندازه شاخص‌ها رخ می‌دهد، بیانگر نتایج ذیل است[۳۶]. دسته‌بندی حالات مختلف ارزش کسب شده به کمک معیارهای عملکردی در جدول شماره ۱ آمده است.

جدول ۱: دسته‌بندی حالات مختلف ارزش کسب‌شده و دستورالعمل اجرایی مربوطه

حالات مختلف	مشخصه	دستورالعمل اجرایی مربوطه
۱. عقب‌تر از زمان‌بندی و عقب‌تر از بودجه‌بندی	- کارایی ضعیف‌تر از میزان برآورد شده است. - کارایی خوش بینانه برآورد شده است. - فعالیت‌ها با تاخیر شروع شده است. - شرایط کاری نامناسب بوده است. - هزینه واقعی بیشتر از برآورد است.	- برنامه‌ریزی برای افزایش کارایی - دقت بیشتر در تخمین زمان و هزینه - استفاده از منابع سایر پروژه‌ها برای این پروژه - افزایش میزان بودجه طرح - افزایش منابع غیرمالی طرح
۲. عقب‌تر از زمان‌بندی و جلوتر از بودجه‌بندی	- 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 - برنامه‌ریزی برای افزایش کارایی - افزایش ضریب تعدیل زمان نسبت به بودجه - کاهش میزان بودجه طرح - افزایش منابع غیرمالی طرح
۳. جلوتر از زمان‌بندی و عقب‌تر از بودجه‌بندی	- کارایی واقعی بهتر از کارایی برآورد شده است. - زمان‌بندی کاملا 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

10 cost/schedule control systems criteria (C/SCSC)

www.SID.ir

Archive

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

مبنای رویکرد ارائه شده در این تحقیق دو شاخص عملکردی (CPI) و (SPI) است.

۱. برای هر یک از پروژه ها یک دوره مشخص برای عملیات ارزیابی و به‌هنگام‌سازی 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 به‌هنگام‌سازی می‌شود؛

۲. بعد از عملیات ارزیابی، لیست پروژه‌هایی را تعیین کنید که دارای مغایرت زمان یا هزینه است. این پروژه ها نیاز به عملیات به‌هنگام‌سازی دارد؛

۳. درصورتی‌که 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 فعالیت‌های در حال انجام و باقیمانده کلیه قدم‌های الگوریتم تخصیص منابع را اجرا کنید؛

۴. درصورتی‌که 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 فعالیت‌های در حال انجام و باقیمانده کلیه قدم‌های الگوریتم تخصیص منابع را اجرا کنید؛

۵. درصورتی‌که پروژه جلوتر از برنامه زمان‌بندی و بودجه‌بندی باشد و یا عقب‌تر از زمان‌بندی و بودجه‌بندی باشد، ضریب تعدیل هزینه و زمان را تغییر ندهید. سپس برای فعالیت‌های در حال انجام و باقیمانده کلیه قدم‌های الگوریتم تخصیص منابع را اجرا کنید؛

۶. قدم های دوم تا پنجم را آنقدر تکرار کنید تا یک برنامه زمان‌بندی امکان‌پذیر برای همه فعالیت‌های در حال انجام و باقیمانده تعیین شود.

۶ – بحث

همان‌طور که اشاره شد، رویکرد ارزش کسب‌شده برای مدیریت پروژه دارای ویژگی هایی است که آن را از سایر الگوریتم‌ها متمایز می‌کند. این رویکرد، موازنه زمان و هزینه انجام پروژه را به صورت همزمان درنظرگرفته و مسایل چند پروژه‌ای را بهتر حل می‌کند. برای تاثیر این ادعا، کمیتی به نام درصد مجموع زمان دیرکرد و زودکرد به زمان سیکل پروژه(TTR) مبنا قرار داده شده است. این شاخص به‌صورت رابطه ۱۹ قابل تعریف است:

$$TTR = \frac{\text{مجموع زمان‌های دیرکرد و زودکرد}}{\text{زمان سیکل پروژه}} \qquad (۱۹)$$

در این مقاله برای تعیین کارایی الگوریتم ارائه شده از معیار(TTR) استفاده شده و نتایج حاصل از این الگوریتم با قوانین SPT، MSP و HGA مقایسه شده است. برتری این الگوریتم نسبت به روش‌های موجود در حل ۵۰۰ مسئله مورد تائید قرار گرفته که ابعاد و مقادیر پارامترهای آنها به‌صورت تصادفی تولید گردیده است. مسایل نمونه تولید شده برای تست و آزمایش الگوریتم دارای ابعاد، ساختار و اندازه‌های مختلف است. نتایج مقایسه جواب‌ها در جدول شماره ۲ آمده است. در هر سطر جدول تعداد ۲۰ مسئله نمونه بررسی شده است. ابعاد مسئله به ترتیب بیانگر تعداد فعالیت‌ها و تعداد ارتباطات است. همه مسایل مطرح شده به‌صورت شبکه‌ای طراحی و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

مدت زمان و هزینه هر فعالیت برای مسائل با ابعاد مختلف یکسان فرض شد. یکی از مهم‌ترین مواردی که در زمان‌بندی پروژه‌ها مدنظر است، موازنه زمان و هزینه پروژه است. در واقع هر چه در زمان‌بندی فعالیت‌ها، زمان تکمیل یک پروژه با موازی نمودن فعالیت‌ها کوتاه‌تر شود، هزینه اجرای آن افزایش می‌یابد. همچنین هر چه در زمان‌بندی، زمان تکمیل یک پروژه افزایش یابد، می‌توان با هزینه کمتری آن را انجام داد. نکته حائز اهمیت آن است که یک حالت بهینه از موازنه هزینه و زمان تکمیل پروژه وجود دارد که با کمترین هزینه زودکرد و دیرکرد مواجه است. در این تحقیق، مدل ارائه شده برای حداقل نمودن هزینه های زودکرد و دیرکرد با استفاده از الگوریتم ارائه شده در مقایسه با روش‌های SPT، MSP و BLP حل شد. به‌عبارت‌دیگر، زمان‌بندی ۵۰۰ پروژه نمونه تحقیق و توسعه با ابعاد داده شده حل شد و

www.SID.ir

Archive of SID

مجموع زمان زودکرد و دیرکرد پروژه(برحسب روز) و مجموع هزینه های زودکرد و دیرکرد(برحسب میلیون ریال) با مدنظر قراردادن موازنه زمان و هزینه مشخص گردید(جدول شماره ۲). بررسی کارآیی الگوریتم ارائه شده با معیار TTR در مقایسه با معیارهای متداول SPT، MSP و BLP در حل ۵۰۰ مسئله نمونه با ابعاد مختلف نشان می‌دهد که الگوریتم مذکور باعث کاهش بیشتری در مجموع زمان و هزینه زودکرد و دیرکرد پروژه نسبت به ۳ روش دیگر شده است.

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	۱۷۶/3	۲۱/1	۲۰۵/5	۱۹/7	۱۹۸/2	۱۷/3	۱۸۹/2	۱۲/3
۴×۸	۲۰	۱۸۷/1	۲۵/2	۲۱۱/۹	۲۲/8	۲۰۱/8	۱۹/7	۱۹۷/3	۱۵/8
۵×۱۰	۲۰	۱۹۳/6	۲۷/2	۲۲۴/7	۲۴/3	۲۱۵/7	۲۱/6	۲۰۸/6	۱۸/2
۷×۱۲	۲۰	۲۲۷/4	۳۲/2	۲۴۹/3	۲۹/2	۲۳۸/4	۲۴/3	۲۳۱/4	۲۰/3
۸×۱۵	۲۰	۲۹۸/6	۴۵/5	۳۲۶/6	۳۶/5	۳۱۶/7	۲۹/7	۳۰۴/7	۲۳/6
۴×۵	۲۰	۱۹۷/1	۲۶/4	۲۱۲/5	۲۱/7	۲۰۹/۱	۱۸/6	۲۰۶/3	۱۴/1
۵×۸	۲۰	۲۱۶/8	۳۱/5	۲۳۸/7	۲۸/۷	۲۲۵/7	۲۵/2	۲۱۷/7	۱۸/2
۷×۱۰	۲۰	۳۴۵/2	۵۲/9	۳۷۴/2	۴۷/7	۳۵۸/4	۳۶/5	۳۵۱/7	۲۸/2
۸×۱۲	۲۰	۴۷۵/5	۶۸/8	۵۰۶/5	۵۲/8	۴۹۷/1	۴۷/6	۴۸۹/6	۳۱/7
۱۰×۱۵	۲۰	۵۹۲/9	۹۵/۲۷	۶۳۲/3	۸۶/7	۶۲۱/4	۶۸/9	۶۱۲/3	۵۲/9
۸×۱۰	۲۰	۴۴۶/2	۷۴/5	۴۹۲/6	۵۷/9	۴۸۲/5	۴۲/8	۴۵۹/8	۳۷/6
۱۰×۱۴	۲۰	۵۹۸/5	۱۰۰/۱	۶۴۱/9	۸۹/7	۶۲۷/5	۷۲/9	۶۱۹/5	۵۲/7
۱۲×۱۷	۲۰	۶۹۱/2	۱۲۷/8	۷۶۵/9	۹۷/3	۷۴۸/6	۷۹/4	۷۲۳/6	۶۳/2
۱۷×۲۰	۲۰	۷۴۸/6	۲۵۷/7	۸۴۲/7	۱۹۶/6	۸۱۶/4	۱۴۷/2	۷۹۴/3	۱۱۹/۷
۲۰×۲۵	۲۰	۸۹۶/7	۴۸۲/7	۹۶۵/9	۳۸۴/5	۹۳۸/6	۲۱۷/1	۹۱۹/7	۱۵۶/2
۱۰×۱۷	۲۰	۵۷۲/5	۳۶۷/7	۶۳۵/3	۳۱۵/7	۵۹۲/4	۲۲۴/9	۵۸۲/5	۱۸۱/8
۱۲×۲۰	۲۰	۶۴۸/7	۴۹۵/9	۷۴۶/6	۴۸۶/2	۶۸۶/5	۳۹۲/7	۶۶۷/9	۲۸۶/9
۱۵×۲۵	۲۰	۱۱۲۷/1	۱۹۶۱/3	۱۲۱۵/3	۱۷۴۵/6	۱۱۷۵/4	۱۳۵۴/4	۱۱۳۵/5	۱۰۱۲/9
۲۰×۳۰	۲۰	۲۵۲۸/۹	۵۱۶۹/7	۲۶۹۵/3	۴۹۲۱/6	۲۶۷۱/3	۳۶۲۷/3	۲۶۱۶/3	۲۳۴۸/6
۳۰×۴۰	۲۰	۳۶۴۱/۸	۱۲۱۶۹/7	۳۷۴۸/4	۸۹۶۸/2	۳۷۰۳/5	۶۴۵۲/9	۳۶۳۶/9	۳۲۵۱/9
۱۵×۲۰	۲۰	۹۶۸/3	۱۲۷۵/6	۱۰۴۷/7	۹۶۵/7	۹۸۷/2	۷۹۶/3	۹۷۶/9	۶۴۷/7
۱۷×۲۵	۲۰	۱۹۴۵/2	۳۵۶۲/5	۲۱۶۸/9	۲۶۹۷/5	۲۰۷۶/2	۱۹۷۵/7	۱۹۶۹/5	۱۲۴۸/7
۲۰×۳۵	۲۰	۲۷۴۹/7	۱۱۵۹۶/2	۲۹۶۴/7	۸۵۶۹/9	۲۸۶۹/۹	۶۲۷۶/2	۲۷۹۸/5	۳۲۹۲/7
۳۰×۴۵	۲۰	۳۴۲۱/7	۱۸۲۶۹/2	۳۶۲۷/4	۱۵۹۲۷/3	۳۵۳۶/2	۱۱۷۶۹/6	۳۴۷۴/8	۷۵۷۹/9
۴۰×۵۰	۲۰	۵۷۴۸/2	۲۵۶۸۲/5	۵۹۷۶/5	۲۱۹۶۸/9	۵۸۹۷/6	۱۴۷۴۱/3	۵۸۰۶/7	۸۹۷۲/7

۷- نتیجه‌گیری

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

www.SID.ir

Archive

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 می شود. 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 قابل‌توجه زمان و هزینه در پروژه‌های مورد مطالعه شد. هدف از تحقیق حاضر، ارائه یک الگوریتم برای زمان‌بندی پروژه به‌منظورکمینه نمودن مجموع هزینه‌های زودکرد و دیرکرد پروژه است. از این رو، یک مدل برای این منظور بر پایه مدل‌های قبلی ارائه گردید. بررسی کارآیی 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 روش های 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 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، دمئولمستر و هرولن در تحقیقات خود از روش‌های بهینه سازی مثل شاخه و کران استفاده نموده اند. درحالی‌که در مواجه با پروژه‌های تحقیق و تو سعه، پیچیدگی فعالیت ها زیاد می شود و روش‌های بهینه سازی توانایی حل این مسائل را ندارد. بنابراین استفاده از روش‌های ابتکاری برای حل این نوع مسائل ضروری به‌نظر می رسد. 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 درنظرنگرفته 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 به گونه‌ای ارائه شد که محدودیت‌های روش های 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.

فهرست منابع

[۱] رحیم زاده، مریم؛ خلیل زاده، محمد؛ سلطانی، رویا؛ **"شناسایی عوامل موثر برپیاده سازی مدیریت دانش در سازمان‌های پروژه محورعمرانی (رویکردی از معادلات ساختاری)"**، فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، دوره ۱۶، شماره ۳۲، صص ۷۲-۵۷، ۱۳۹۷.

[۲] میرزارمضانی، 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] عظیم زاده، مهدی؛ **زمان‌بندی بهنگام فعالیت‌های یک پروژه با هدف حداقل کردن هزینه های 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 خالص‌هزینه‌های زودکرد - دیرکرد برای مساله زمان‌بندی پروژه با منابع نامحدود،** رساله دکتری، دانشگاه صنعتی شریف، ایران، ۱۳۸۷.

www.SID.ir

Archive of SID

[۵] افشـار نجفی، بهروز؛ شـادرخ، شـهرام؛ **"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 carve 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 programing 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., Leplitc, 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.

www.SID.ir

Archive of SID

[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.; Demeulemeestar, 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.

www.SID.ir