فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار
شماره چهل و یکم / زمستان ۱۳۹۸

مدیریت پرتفوی هزینه پروژه‌ها در مساله موازنه زمان–هزینه–کیفیت و تعیین اقتصادی‌ترین ترکیب کاهش زمان فعالیت‌ها در شبکه‌های مبتنی بر مسیر بحرانی (CPM)

احسانه نظری[۱]
نصرت‌الله شادنوش[۲]
طهمورث سهرابی[۳]

تاریخ دریافت مقاله : ۹۸/۰۳/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله : ۹۸/۰۴/۱۷

چکیده

امروزه یکی از مهمترین مواردی که در شرکت‌های پروژه محور، جهت مدیریت بهتر سبد پروژه‌ها و برنامه‌ریزی مالی مورد نیاز است، مدیریت هزینه پروژه‌ها است. در مدیریت هزینه پروژه با استفاده از مجموعه تکنیک‌ها و اصول کنترل پروژه و مالی می‌توان عملکرد مالی هر پروژه را از جنبه نحوه عملکرد (هزینه کرد) واقعی در مقایسه با هزینه پیش‌بینی شده برای کار انجام شده را بررسی نموده و راهکارهای اصلاحی در راستای کاهش هزینه‌ها و تحت کنترل قراردادن آن را ارائه نمود.

از آنجا که کاهش مدت زمان اجرای فعالیت‌ها با تخصیص منابع بیشتر به هر فعالیت، امکان‌پذیر بوده اما نیازمند صرف هزینه‌های بالاتر برای اجرای آن فعالیت‌هاست، باید توجه نمود که تعجیل در انجام فعالیت‌ها، می‌تواند منجر به کاهش سطح کیفی آن‌ها گردد، بنابراین، می‌بایست در فرآیند فشرده سازی زمان فعالیت‌ها، در کنار شاخص هزینه، شاخص کیفیت فعالیت‌ها را نیز لحاظ نمود. در این مقاله، یک مدل ریاضی جهت مدیریت هزینه‌های پروژه مبتنی بر روش مسیر بحرانی ارائه شده که با لحاظ نمودن یک رقم مشخص تحت عنوان سقف بودجه پروژه، دو هدف حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های پروژه (مدل کلاسیک) و هدف حداکثرسازی کیفیت فعالیت‌ها، به طور همزمان، تامین می‌نماید.

کلمات کلیدی

مسیر بحرانی، فشرده‌سازی زمان، بودجه، موازنه زمان-هزینه، کیفیت فعالیت‌ها

۱-گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. nazari.ehsaneh@gmail.com
۲- گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.(نویسنده مسئول) Dr.shadnoush@gmail.com
۳- گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. ie.slen.1394@gmail.com

۱- مقدمه

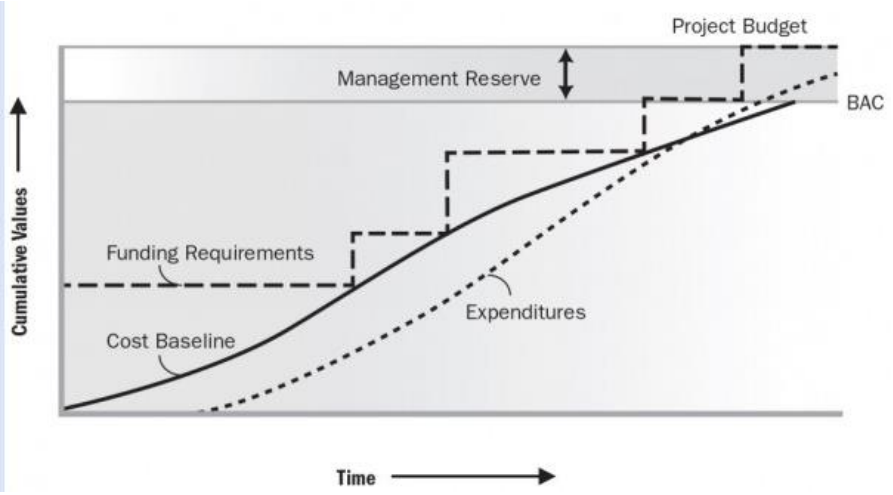
بدون کنترل موثر و کارآمد، افرادی که در پروژه هستند بی برنامه فعالیت نموده و طبیعتا به شکل غیر قابل اجتنابی هزینه و زمان را افزایش می‌دهند. یکی از عملکردهای سیستم کنترل، نشان دادن کارآیی است و هزینه و پیشرفت فیزیکی معیار تعیین کارایی مدیریت طراحی، مهندسی، تدارکات و ساخت و تولید محسوب می‌گردد.

از آن جایی که پیشرفت کار پروژه‌ها به ندرت مطابق با زمان و بودجه تعیین شده می‌باشد، لذا مدیریت می‌بایست ابزارهایی جهت تعیین چگونگی پیشرفت پروژه، محدوده مشکلات پروژه و تغییراتی را که در حال رخ دادن می‌باشند، داشته باشند. سیستم کنترل ابزاری است که مدیریت را به سرعت از تغییرات ایجاد شده در برنامه بودجه آگاه ساخته و وی را قادر به عکس العمل به موقع می‌سازد که این مهم تنها راه مدیریت پویایی پروژه به شمار می‌رود.

اولین مرحله مدیریت مالی پروژه‌ها، تهیه بودجه برای پروژه می‌باشد. این کار بسیار مهم و تخصصی بوده و همواره با مشکلات فراوانی روبرو می‌باشد. جهت تعیین بودجه یک پروژه می‌بایست، مقدار کل نیروی انسانی، تجهیزات، مصالح و سایر هزینه‌های مورد نیاز پروژه را پیش بینی نموده و سپس در هنگام تهیه برنامه پروژه، باید از این اطلاعات استفاده شده و این هزینه‌ها را در مد نظر قرار داد. با انجام این کار، می‌توان تصویری از جریان مالی پروژه را بدست آورد که میزان پول مورد نیاز برای اجرای پروژه را به صورت هفتگی نشان می‌دهد.

مرحله بعدی در این راستا، تعیین بودجه پشتیبان می‌باشد. پیش از آن که انجام فعالیت‌های پروژه نیاز به منابع مالی اضافی پیدا کند، باید از قبل پیش بینی تهیه این بودجه را انجام داد. این بودجه اضافی برای تکمیل پروژه استفاده خواهد شد. تعداد کمی از مدیران پروژه واقعا این کار را به موقع انجام می‌دهند. اما باید در نظر داشت که همواره در نظر گرفتن بودجه پشتیبان مزایای بهتری برای مدیران به ارمغان می‌آورد تا این که در هنگام نیاز به دنبال بودجه اضافی باشند. بنابراین تهیه بودجه پشتیبان در مراحل اول چرخه حیات پروژه امری ضروری به شمار می‌رود. [5]

هزینه‌های پروژه عمدتا" شامل هزینه‌های منابع و هزینه‌های سربار می‌گردد :



شکل ۱ – نمودار پرتفوی هزینه پروژه برحسب زمان [6]

در محاسبات مربوط به مسیر بحرانی (CPM۱) فرض بر این است که همگی فعالیت‌ها در زمان پیش‌بینی شده و معمولی خود قابل انجام هستند. حال در مواردی لازم می‌شود پروژه حتی زودتر از زمان برنامه ریزی شده به اتمام برسد. طبیعی است که برای دستیابی به زمان تکمیل زودتر باید زمان تعدادی از فعالیت‌ها را کاهش داد. این کاهش زمان توأم با افزایش منابع کاری آن فعالیت‌ها و صرف هزینه است آنرا انجام ضربتی یا فشرده‌سازی زمان فعالیت‌گویند. از آنجایی‌که تاریخ تکمیل پروژه در هر مرحله، حاصل از مجموع زمان‌های فعالیت‌هایی است که در مسیر یا مسیرهای بحرانی واقع شده‌اند، هدف تبادل هزینه و زمان برای دستیابی به زمان تکمیل زودتر پروژه، انتخاب مجموعه‌ای از فعالیت‌ها برای فشرده‌سازی است بطوری‌که هزینه کل انجام فعالیت‌ها کمینه شود. [6]

در این شرایط عاملی که باید به حداقل برسد، جمع هزینه‌های پروژه است. در صورتی که پروژه را در زمانی طولانی انجام دهند، هزینه‌های مربوط به سرمایه دربند، جریمه تأخیر و بسیاری هزینه‌های غیر مستقیم دیگر، افزایش خواهند یافت. در مقابل، در صورتی که زمان پروژه بیش از اندازه کوتاه شود، هزینه‌های مستقیم مربوط به کاهش زمان فعالیت‌ها زیاد خواهند بود. در بین این دو مقدار (زمان‌های بسیار کوتاه و بسیار بلند)، زمانی بهینه برای انجام پروژه وجود خواهد داشت که به ازای آن جمع هزینه‌ها در حداقل ممکن خواهد بود.

به علاوه اینکه همواره با کاهش زمان هر فعالیت (عملیات فشرده سازی)، سطح کیفیت فعالیت‌ها نیز دستخوش تغییر است در این مقاله، هدف تعیین زمان اقتصادی برای اجرای پروژه است که به ازای آن

جمع هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم (ناشی از فشرده سازی) در حداقل ممکن بوده و مجموع کیفیت انجام فعالیت‌ها حداکثر شود ضمن اینکه محدودیت سقف پرتفوی هزینه‌های پروژه در این مساله برنامه‌ریزی ریاضی نظر گرفته شود.

۲- پیشینه تحقیق

مقالات تحریر شده و تحقیقات انجام گرفته در زمینه مسائل موازنه زمان-هزینه را می‌توان به صورت ذیل دسته بندی نمود :

۲-۱- مدل‌های مربوط به زمان‌های قطعی و مشخص

در این تحقیقات، عمدتا" از روش‌های تحقیق در عملیات برای مدل‌سازی استفاده شده مانند پژوهش کلی[۲] در سال ۱۹۶۱، که البته این محقق به همراه واکر[۳] در سال ۱۹۵۹ نیز تحقیقی انجام داده که در آن با لحاظ کردن یک رابطه خطی میان زمان و هزینه، به ارائه یک مدل ریاضی و یک الگوریتم هیوریستیک برای حل آن پرداخته است.

در سال ۱۹۶۱ نیز فالکرسون[۴] طی تحقیقی، یک روش برای یافتن منحنی موازنه زمان-هزینه ارائه نمود که اساس آن یافتن زمان و هزینه بهینه با هدف مینیمم‌سازی هزینه کل بوده است. همچنین افرادی نظیر میر[۵] و شافر[۶] در سال ۱۹۹۵ و تالبوت[۷] در ۱۹۸۲ بعضا" از تکنیک‌های هیوریستیک برای حل این دسته از مسائل استفاده نموده‌اند و محققینی نظیر زیمنس در سال ۱۹۷۱ و مصلحی در۱۹۹۳ برای این مسئله، مدل‌های ریاضی ارائه داده‌اند. همچنین در مقالات چائو[۸] و همکارانش که در سال ۱۹۹۷ انجام شده و در پژوهش فنگ[۹] و برنز[۱۰] در سال ۱۹۹۷ از تکنیک‌های متاهیوریستیکی نظیر الگوریتم ژنتیک (GA) و تبرید شبیه‌سازی شده (SA[۱۱]) استفاده شده است.

۲-۲- مدل‌های مربوط به زمان‌های غیر قطعی

این دسته از تحقیقات، خود به دو بخش عمده تقسیم می‌گردند : زمان‌های فازی و احتمالی

افرادی نظیر آنگ[۱۲] در ۱۹۷۵ و یانگ در ۲۰۰۵، زمان‌های احتمالی را برای این مسائل در نظر گرفته‌اند ولی قالب تحقیقات در خصوص مباحث فازی انجام گرفته‌اند. وانگ[۱۳] و همکاران در سال ۱۹۹۳ با لحاظ کردن اطلاعات فازی و هاپک[۱۴] و اسلونسکی[۱۵] در ۱۹۹۶ با در نظر گرفتن پارامترهای فازی به بررسی این مسائل پرداخته‌اند. در پژوهشی دیگر، لئو و همکارانش[۱۶] در سال۱۹۹۹ نیز از مدل بهینه‌سازی فازی برای فرموله کردن فعالیت ا با زمان غیرقطعی پرداخته‌اند. در سال ۲۰۰۱، آریکان[۱۷] و گونگور[۱۸] یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی ارائه کرده و در سال ۲۰۰۵، چائو گوانگ و همکاران[۱۹]، طی تحقیق خود،

رویکرد جدیدی بر اساس الگوریتم ژنتیک معرفی نموده‌اند. غضنفری و همکارانش در ۲۰۰۸، یک مدل احتمالی جدید برای بهینه‌سازی زمان هر فعالیت بصورت اعداد مثلثی فازی ارائه کرده‌اند و در ادامه تحقیقاتشان، از یک روش هیوریستیک برای حل مسائل زمان بندی پروژه‌ها با کمک تصمیم‌گیری فازی در محیط‌های فازی استفاده کرده‌اند. [2]

در نوع دیگری از تقسیم بندی این مسائل، در صورت وجود عوامل غیرقطعی، تحقیقات بیشتر معطوف به مدل‌های برنامه‌ریزی خطی فازی بوده است. مانند پژوهش تاناکا[۲۰] و همکارانش در سال ۲۰۰۰ و تحقیق بوکلی[۲۱] و همکاران در سال ۲۰۰۱، که به ارائه یک رویکرد جدید برای حل مسئله برنامه‌ریزی چند هدفه با پارامترها و متغیرهایی به شکل اعداد فازی مثلثی پرداخته و پژوهش دیگری از غضنفری و همکاران[۲۲] که در سال ۲۰۰۷ انجام شده و یک رویکرد جدید برای دستیابی به توزیع احتمالی متغیرهای تصمیم فازی برای مسائل برنامه ریزی خطی احتمالی ارائه کرده‌اند.

برای مواردی که زمان فعالیت‌ها غیر قطعی باشد، مانند مقالات چارنز و کوپر (۱۹۶۲)؛ ولمر(۱۹۸۵)؛ گولنکو و گونیک[۲۳] (۱۹۹۷) و گوتجوهر[۲۴] (۲۰۰۰) از مدل‌های استوکستیک استفاده شده است. یانگ در یکی از مقالات خود یک مدل برنامه‌ریزی محدودیت‌های تصادفی (CCP) را برای تحلیل مسائل موازنه زمان هزینه ارائه کرده است. همچنین در مقاله‌ی کی‌و همکاران[۲۵] در سال۲۰۰۹دو مدل استوکستیک که بر اساس دو معیار تصمیم‌گیری (CCP و DCP) طراحی شده‌اند توسط یک الگوریتم ژنتیک حل شده‌اند.

در سال ۲۰۰۶ آذرون و توکلی مقدم، یک مدل چند هدفه را برای مسئله تبادل بین هزینه و زمان در یک شبکه پرت پویا ارائه نموده‌اند. همچنین، آذرون و همکارانش طی تحقیقی، یک مدل چند هدفه را برای مسئله تخصیص منابع در شبکه‌های پرت و در صورتی که زمان انجام فعالیت‌ها دارای توزیع نمایی یا ارلنگ باشد، توسعه داده‌اند. در سال ۲۰۰۲، خورشیدی و کاکا نیز طی پژوهشی، رابطه میان هزینه و زمان در پروژه‌ها را غیرخطی اعلام نموده‌اند. [3]

۲-۳- پیشینه تحقیق در زمینه موازنه زمان - هزینه - کیفیت :

بابو و سورش[۲۶] در سال ۱۹۹۶، برای اولین بار بر مبحث کیفیت تاکید داشته و بیان کردند که کیفیت یک پروژه تابعی از کیفیت تک تک فعالیت‌های آن بوده و اظهار نموده‌اند که هزینه و کیفیت هر فعالیت، رابطه معکوس با مدت زمان انجام آن فعالیت‌ها دارد.

دکتر طارقیان در سال ۲۰۰۶، سه مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح باینری را برای موازنه زمان-هزینه-کیفیت پیشنهادداده که در آن هزینه‌و کیفیت، تابع گسسته غیرصعودی از مدت زمان پروژه هستند.[1]

در یک مطالعه موردی، در سال ۱۹۹۹، خانگ۲۷ و میانت۲۸ چارچوب ارائه شده توسط بابو و سورش را برای یک مثال واقعی بکار بردند که در نهایت، نتایج حاصل نشان می‌داد لحاظ کردن اندازه کیفیت فعالیت‌ها به عنوان تابع هدف، برای فرموله کردن برنامه‌ریزی خطی، ذهنی بوده و دارای خطاست.

آتکینسون[۲۹]، در مقاله‌ای، با مدنظر قرار دادن سه عامل، زمان- هزینه – کیفیت، چارچوب جدیدی با عنوان معیارهای موفقیت در پروژه ها ارائه کرده است.

۲-۴- جمع بندی پیشینه تحقیق :

مقالات مطالعه شده در زمینه مسئله موازنه زمان-هزینه و همچنین مقالاتی که مبحث کیفیت را در این مسئله لحاظ نموده اند، به همراه شرح مختصری از دستاوردها، نقاط ضعف و قوت این مقالات، بطور خلاصه در جدول ذیل آمده است.

جدول ۱ – خلاصه پژوهش‌های انجام شده با موضوع موازنه زمان-هزینه-کیفیت

ردیف	نام محقق/محققین	دستاوردها / نقاط ضعف و قوت
۱	طارقیان و طاهری (۲۰۰۷)	ارائه یک روش جدید برای مسئله موازنه کیفیت و هزینه با زمان‌های گسسته با استفاده از جستجوی پراکندگی الکترومغناطیس؛ ارائه روشی که زمان بندی فعالیت‌های پروژه را طوری تنظیم می‌کند که هزینه پروژه حداقل، کیفیت پروژه حداکثر و پروژه به Deadline مورد نظر برسد [14]
۲	طارقیان و طاهری (۲۰۰۶)	سه مدل برنامه ریزی عدد صحیح داده شده به طوری که هر مدل یکی از خاصیت‌های زمان، هزینه و کیفیت در مدیریت پروژه را با اختصاص محدودیت‌هایی به خاصیت‌های دیگر، بهینه می‌سازد [13]
۳	یتا کنستانتینو و همکاران	ارائه یک الگوریتم متا-هیوریستیک جدید (NHGA) برای حل مسئله زمان-هزینه- کیفیت ؛ کاراتر بودن الگوریتم ارائه شده نسبت به الگوریتم ژنتیک کلاسیک برای حل مسئله زمان-هزینه-کیفیت، دارای دقت و سرعت بالاتر [15]
۴	امین بخش و سونمز	ارائه الگوریتم مورچگان چند لایه برای بهینه سازی سه هدفه جهت مسئله موازنه زمان- هزینه- کیفیت ؛ توانا بودن مدل در برقراری تعادل بین وجوه مختلف یک پروژه: کمینه ساختن‌زمان و هزینه‌درعین افزایش کیفیت [9]
۵	مظلوم و گوندری	یک مدل کاربردی جدید برای ارائه رابطه واقعی‌تر بین زمان، هزینه و کیفیت با قابلیت به کارگیری مدل در سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری ارائه نموده است. [10]

۶	شهسواری پور، مدرس، آریانژاد و توکلی مقدم	در مسائل موازنه زمان هزینه، موضوع کیفیت را لحاظ کرده و متدلوژی تحقیق، مدل‌سازی ریاضی بوده است. [12]
۷	افشار، کاوه و شغلی	در مسائلی که فعالیت‌ها به طریقه‌های مختلفی قابلیت انجام داشته باشند بطوری‌که در هر کدام از این روش‌های اجرایی، سه مقوله‌ی زمان، هزینه و کیفیت لحاظ شده باشد مطرح شده و از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. [8]

۳- روش تحقیق

مدیریت هزینه پروژه۳۰ فرایندی است که برای برنامه‌ریزی، تخمین، تخصیص بودجه، مدیریت و کنترل هزینه پروژه از آغاز تا پایان به کار می‌رود.

هدف اصلی مدیریت هزینه پروژه، اتمام و تکمیل پروژه مطابق بودجه مصوب آن است. در فرایند مدیریت هزینه، از توابع خاص مدیریت پروژه مانند تخمین و برآورد، جمع‌آوری داده، برنامه‌ریزی، حسابداری و طراحی استفاده می‌شود.

مطابق تعریف ارائه شده از سوی مؤسسه مدیریت پروژه در راهنمای پم‌باک۳۱ مدیریت هزینه پروژه شامل فرایندهای زیر است:

برنامه‌ریزی‌مدیریت هزینه: فرآیند تثبیت سیاست‌ها، رویه‌ها و مستندسازی برای برنامه‌ریزی، مدیریت، مصرف و کنترل هزینه‌های پروژه است.

برآوردهزینه‌ها: فرآیند توسعه یک تقریب از منابع مالی مورد نیاز جهت تکمیل فعالیت‌های‌پروژه است.

تعیین بودجه: فرآیند تجمع هزینه های برآوردی فعالیت‌های منفرد یا بسته‌های کاری جهت تثبیت خط مبنای تنفیذ شده هزینه است.

کنترل هزینه‌ها : فرآیند نظارت بر وضعیت پروژه جهت به روز رسانی هزینه های پروژه و مدیریت تغییرات در خط مبنای هزینه است.

مزیت کنترل هزینه‌ها یا مزیت مدیریت هزینه پروژه آن است که توانایی تشخیص انحراف از برنامه به منظور اتخاذ اقدام اصلاحی و کمینه کردن ریسک را فراهم می‌سازد. کنترل هزینه‌ها نه تنها به معنای نظارت و ثبت داده‌ها می‌باشد بلکه تحلیل این داده‌ها به منظور عکس العمل صحیح و به موقع و شاید تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری مدیران می‌باشد.

کنترل هزینه یک زیر سیستم از سیستم مدیریت هزینه و کنترل می‌باشد که این زیر سیستم در دو فرایند برنامه ریزی و عملیاتی فعالیت کنترل را انجام می‌دهد. سیستم کنترل هزینه‌ها می‌بایستی قادر به تامین خواسته‌ها و نیازهای مدیریت باشد، به نحوی که امکان سوق وضعیت پروژه را به سمت تکمیل هدفمند آن فراهم سازد . [5]

بودجه پروژه شامل موارد زیر می‌باشد:

- برآورد هزینه فعالیت‌های پروژه[۳۲]
- ذخیره احتیاطی فعالیت‌ها[۳۳]
- برآورد هزینه بسته‌های کاری[۳۴]
- ذخیره احتیاطی[۳۵] (بسته های کاری)
- خط مبنا هزینه[۳۶]
- ذخیره مدیرتی[۳۷]

اغلب مسائل موازنه زمان – هزینه، بر این فرض متکی بودند که فعالیت‌های لازم برای اجرای پروژه، مخصوصاً فعالیت‌های واقع بر مسیر بحرانی، علاوه بر امکان تکمیل در زمان معمولی خود، در موارد بسیاری که لازم می‌شود پروژه را زودتر از تاریخ محاسبه شده بر روی شبکه تکمیل نمود، زمان انجام فعالیت‌ها قابل کوتاه نمودن بوده و مسلما"، انجام این فشرده‌سازی در چنین شرایطی بدلیل افزایش در میزان منابع مورد استفاده و یا بروز تغییراتی در جهت تسریع زمان اجرا، مستلزم صرف هزینه‌های بیشتری بوده که از آن به عنوان هزینه فشرده‌سازی نام برده می‌شود.

علاوه بر این، با فشرده‌سازی زمان فعالیت‌ها، از میزان درجه کیفیت آنها کاسته می‌شود. بنابراین، لحاظ نمودن عامل کیفیت، علاوه بر هزینه، در فشرده سازی زمان فعالیت‌ها، موضوعی است که در این مقاله به آن پرداخته خواهد شد.

در حقیقت، در شرایط فشرده سازی فعالیت‌ها، آنچه در مدل‌های کلاسیک لحاظ شده، صرفا" یافتن اقتصادی‌ترین ترکیب کاهش زمان‌های اجرای فعالیت‌ها بوده و مسئله تغییر کیفیت فعالیت‌ها طی عملیات فشرده‌سازی، موضوعی است که در این مقاله، تحت عنوان مدل پیشنهادی ارائه می‌گردد. لذا در جستجوی یافتن مدلی هستیم تا بر اساس اظهار نظر خبرگان امر، مجموع میزان هزینه‌های پروژه (شامل هزینه‌های مستقیم، غیر مستقیم وعملیات فشرده‌سازی) را همزمان با حفظ درجه کیفیت فعالیت‌ها در یک حد مطلوب، بهینه نماید، ضمن اینکه مدیریت پرتفوی هزینه‌های پروژه اینطور الزام می‌کند که مجموع

هزینه‌های مربوط به انجام فعالیت‌ها و هزینه فشرده‌سازی نباید از سقف بودجه مورد نظر پروژه بیشتر باشد.

در ادامه این مقاله، ابتدا به بیان مدل کلاسیک ارائه شده در مسئله موازنه زمان-هزینه می‌پردازیم و سپس در ادامه، مدل را با لحاظ نمودن شاخص کیفیت فعالیت‌ها به عنوان پارامتر جدیدی در مسئله، مورد بازبینی قرار داده و مدل پیشنهادی ارائه می‌گردد.

۳-۱- مدل کلاسیک مسئله موازنه زمان – هزینه (روش برنامه ریزی ریاضی)

در اغلب پژوهش‌هایی که در خصوص مسائل موازنه زمان – هزینه-کیفیت انجام شده‌اند، بر این فرض متکی هستند که فعالیت‌های لازم برای اجرای پروژه، مخصوصاً فعالیت‌های واقع بر مسیر بحرانی، علاوه بر امکان تکمیل در زمان معمولی خود، در موارد بسیاری که لازم می‌شود پروژه را زودتر از موعد تکمیل نمود، زمان انجام فعالیت‌ها قابل کوتاه نمودن است. مسلما"، انجام این فشرده‌سازی در چنین شرایطی بدلیل افزایش در میزان منابع مورد استفاده و یا بروز تغییراتی در جهت تسریع زمان اجرا، مستلزم صرف هزینه‌های بیشتری بوده که از آن به عنوان هزینه فشرده‌سازی نام برده می‌شود.

علاوه بر این، با فشرده‌سازی زمان فعالیت‌ها، از میزان درجه کیفیت آنها کاسته می‌شود. بنابراین، لحاظ نمودن عامل کیفیت، علاوه بر هزینه، در فشرده‌سازی زمان فعالیت‌ها، موضوعی است که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد.

لذا در جستجوی یافتن مدلی هستیم تا بر اساس اظهار نظر خبرگان امر، مجموع میزان هزینه‌های پروژه (شامل هزینه های مستقیم، غیر مستقیم وعملیات فشرده سازی) را همزمان با حفظ درجه کیفیت فعالیت‌ها در یک حد مطلوب، بهینه نماید به علاوه اینکه محدودیت سقف بودجه در مدیریت پرتفوی هزینه‌های پروژه را نیز مدنظر خواهیم داشت.

در ادامه، مدل ریاضی مربوط به فشرده‌سازی فعالیت‌ها در شبکه CPMتحت عنوان مدل کلاسیک بیان شده و سپس با افزودن شاخص کیفیت فعالیت‌ها به این مدل و لحاظ کردن محدودیت بودجه، مدل ریاضی جدید تحت عنوان مدل پیشنهادی ارائه خواهد شد.

۳-۲- ارائه مدل کلاسیک تعیین بهترین ترکیب کاهش برای تکمیل پروژه در تاریخ مشخص

متغیرهای مربوطه جهت معرفی مدل کلاسیک برنامه ریزی ریاضی موازنه زمان – هزینه عبارتند از:

$D_n(i-j)$ = زمان معمولی فعالیت i_j

$D_f(i-j)$ = زمان فشرده فعالیت i_j

C_{i-j} = ضریب هزینه فعالیت i_j

d_{i-j} = زمان عملی (برنامه ریزی شده) برای اجرای فعالیت i_j

n = تعداد رویدادهای شبکه‌پروژه (رویداد آغازین با شماره۱ شروع شده و رویداد پایانی‌شماره n باشد)

t_i = تاریخ عملی (برنامه ریزی شده) برای وقوع رویداد

ضریب زاویه هزینه، عبارت است از مقدار هزینه‌های مستقیم اضافی که بابت کاهش یک واحد زمان اجرای فعالیت به آن تعلق می‌گیرد.

که در آن:

C_f = هزینه فشرده۳۸، C_n= هزینه معمولی۳۹،

D_f = زمان فشرده D_n= زمان معمولی برای اجرای فعالیت

$$c = \left| \frac{c_f - c_n}{D_f - D_n} \right|$$

چناچه فرض کنیم بودجه مشخصی به مبلغ B در اختیار مدیر پروژه قرار گرفته است تا با استفاده از این مبلغ، زمان پروژه را از زمان معمولی به حداقل زمان ممکن کاهش دهد. تابعی که باید به حداقل برسد زمان کل پروژه است. محدودیت‌ها، علاوه بر آنچه که گفته شد، شامل محدودیت مربوط به بودجه کاهش زمان فعالیت‌ها نیز می‌باشد. باید زمان پروژه به صورتی کاهش یابد که هزینه‌های اضافی مربوط به کاهش زمان فعالیت‌ها، از مبلغ B بیشتر نباشد. داریم:

تابع هدف

$$Min \quad Z = t_n - t_1$$

محدودیت‌ها:

$$t_j - t_i \geq d_{ij} \quad , \quad i, j = 1,2,...,n$$

$$D_{f(ij)} \leq d_{ij} \leq D_{n(ij)}$$

$$\sum_i \sum_j C_{ij} (D_{n(ij)} - d_{ij}) \leq B$$

$$t_i \geq 0 \qquad [۴]$$

همان گونه که ذکر شد، برای بسیاری از پروژه ها، به دلایل مختلف ممکن است تاریخ تکمیل (پیش

از تاریخ مقرر و ضرب الاجل پروژه) به فرض (T_C) تعیین شده باشد. در صورتی که در این تاریخ از تاریخ محاسبه شده براساس روش محاسبات CPM کمتر (زودتر) باشد، ممکن است فشرده نمودن یا کاهش دادن زمان بعضی از فعالیت‌ها در پروژه الزامی گردد. در اجرای این امر، ممکن است ترکیب‌های مختلفی از فعالیت‌هاکه زمان آنها قابل کاهش است مورد نظر قرار گیرند. با کاهش زمان فعالیت‌های هر یک از ترکیب‌های مورد نظر این امکان وجود خواهد داشت که تاریخ پروژه را به T_C برسانند. در چنین مدلی، هدف عبارت از تعیین ترکیب بهینه (اقتصادی ترین ترکیب) برای کاهش زمان اجرای فعالیت‌هاست، به نحوی که با امکان پذیر نمودن اجرای پروژه در تاریخ تعیین شده (T_C) ، میزان اضافه هزینه بایت تسریع، در مینیمم مقدار ممکن باشد، ضمن اینکه محدودیت پرتفوی هزینه‌های پروژه نیز می‌بایست در محاسبات لحاظ گردد. [۴]

۳-۳- مدل ارائه شده مسئله موازنه زمان- هزینه- کیفیت (لحاظ نمودن شاخص کیفیت فعالیت‌ها)

در این قسمت یک مدل ریاضی برای بررسی و موازنه زمان – هزینه - کیفیت ارائه می‌شود، اما پیش از آن لازم است موارد ذیل تعریف گردد :

$Q_n(i-j)$ = کیفیت فعالیت i_j چنانچه فعالیت مذکور در زمان معمولی انجام شود

(که آن را به اختصار کیفیت معمولی می‌نامیم)

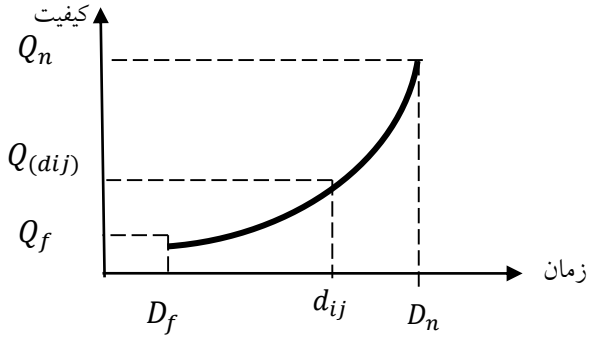
$D_f(i-j)$ = کیفیت فعالیت i_j چنانچه فعالیت مذکور در زمان فشرده انجام شود

(که آن را به اختصار کیفیت فشرده می‌نامیم)

می‌دانیم که روند تغییرات کیفیت، با کاهش زمان فعالیت، روند نزولی بوده ولی لزوما" بصورت خطی نخواهد بود. لذا می‌توان آن را با یک منحنی نمایی تقریب زد.

می‌دانیم که فرمت یک تابع نمایی مثبت به شکل کلی $Y = \propto . e^{\beta X}$ می‌باشد، بنابراین، چنانچه دو نقطه از منحنی کیفیت برحسب زمان را داشته باشیم، با محاسبه مقدار آلفا و بتا، می‌توان به تخمین مناسبی از تابع تغییرات کیفیت دست یافت.

این دو نقطه می‌توانند نقاط مبتنی بر زمان و کیفیت معمولی و فشرده فعالیت‌ها باشند (که بر اساس نظر خبرگان امر از پیش برآورد شده‌اند). برای محاسبه آلفا و بتا داریم :



شکل ۲-نمودار تغییرات کیفیت ناشی از فشرده سازی فعالیت‌ها

با مشخص بودن مختصات نقاط به طول D_n و D_f داریم:

$$Q(d_{ij}) = \propto . e^{-\beta\,(d_{ij})}$$

$$D_n \text{ و } Q_n \to Q_n = \propto . e^{\beta\,(D_n)}$$

$$D_f \text{ و } Q_f \to Q_f = \propto . e^{\beta\,(D_f)}$$

$$Q_n = \propto . e^{\beta\,(D_n)} \to Ln(Q_n) = Ln(\propto) + \beta(D_n)$$

$$Q_f = \propto . e^{\beta\,(D_f)} \to Ln(Q_f) = Ln(\propto) + \beta(D_f)$$

با کم کردن دو طرف رابطه از هم داریم:

$$\Longrightarrow Ln\ (Q_n) - Ln(Q_f) = \beta(D_n) - \beta(D_f)$$

$$\Longrightarrow Ln\ \left(\frac{Q_n}{Q_f}\right) = \beta(D_n - D_f) \to \beta = \frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f}$$

پس از محاسبه بتا، برای محاسبه آلفا داریم :

$$Ln\ (Q_n) = Ln(\propto) - \frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f} . D_n$$

$$Ln\,(\propto) = Ln\,(Q_n) + \frac{L_n\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f} . D_n$$

$$\to \propto = e^{\left(Ln\,(Q_n) + \frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f} . D_n\right)}$$

حال با دانستن مقادیر آلفا و بتا، تابع کیفیت به ازای هر فعالیت(i-j)، برابر است با :

$$Q = e^{\left(Ln\,(Q_n)+\frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n-D_f}.D_n\right)} \cdot e^{\frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n-D_f}d_{ij}}$$

و در مجموع برای کلیه فعالیت‌ها داریم :

$$Q_T = \sum_i \sum_j e^{\left(Ln\,(Q_n)+\frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n-D_f}.D_n\right)} \cdot e^{\frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n-D_f}d_{ij}}$$

از آنجا که در جستوی مدلی هستیم که در کنار حداقل سازی هزینه‌ها، بتواند کیفیت را نیز حداکثر کند، در خصوص مدل کلاسیک ذکر شده، با افزودن این هدف به مسئله، با یک رویکرد به مدل‌های چند هدفه خواهیم رسید که در آنها، تابع هدف دوم، بصورت ذیل تعریف می‌گردد :

$$Max \quad Z_2 : \quad Q_T = \sum_i \sum_j e^{\left(Ln\,(Q_n)+\frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n-D_f}.D_n\right)} \cdot e^{\frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n-D_f}d_{ij}}$$

چنانچه نخواهیم مدل‌ها را با رویکرد چند هدفه بازنویسی کنیم، کافیست تابع هدف دوم را در یک منفی ضرب کرده و با تابع هدف دوم جمع کنیم. بدین ترتیب، مدل‌های پیشنهادی فقط با یک تابع هدف قابل ارائه هستند.

بنابراین مدل پیشنهادی به شکل ذیل قابل ارائه می‌باشد :

تابع هدف ۱:

$$Min \quad Z_1: \quad t_n - t_1$$

تابع هدف ۲ :

$$Max \quad Z_2 : \quad Q_T = \sum_i \sum_j e^{\left(Ln\,(Q_n)+\frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n-D_f}.D_n\right)} \cdot e^{\frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n-D_f}d_{ij}}$$

محدودیت‌ها :

$$t_j - t_i \geq d_{ij} \qquad , \qquad i, j = 1,2,\ldots,n$$

$$D_{f(ij)} \leq d_{ij} \leq D_{n(ij)}$$

$$\sum_i \sum_j C_{ij}(D_{n(ij)} - d_{ij}) \leq B$$

$$t_i \geq 0$$

۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها

۴-۱- روش حل مدل پیشنهادی :

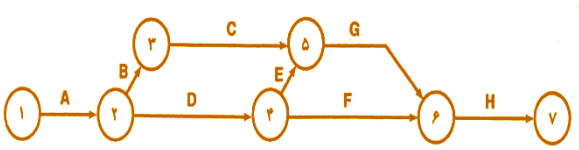
برای حل مدل پیشنهادی، با رویکرد چند هدفه (MODM)، ابتدا یک تابع جدید تحت عنوان Utility function را به صورت ذیل تعریف می‌نماییم :

$$\boldsymbol{Min\ U : w\,.Z_1 - (1-w).Z_2}$$

که در آن w را می‌توان به عنوان درجه اهمیت یا وزن تابع هدف اول و $(1-w)$ را وزن تابع هدف دوم درنظر گرفت، تا درصورت متفاوت بودن درجه اهمیت این دو تابع، مدل جوابگو باشد.

۴-۲- حل یک نمونه مساله با مدل کلاسیک و مدل پیشنهادی :

شبکه فعالیت‌های یک‌پروژه به شکل ذیل مشخص‌شده و پیرو آن جدول مربوط به زمان‌بندی فعالیت‌ها و هزینه‌های مربوط به انجام هر فعالیت به شکل معمولی و در حالت فشرده، در جدول شماره۲ مشخص شده است. ضمن محاسبه ستون ضریب هزینه با نوشتن مدل کلاسیک و حل آن داریم :



شکل ۳- شبکه فعالیت‌های پروژه مثال [۱۱]

جدول ۲ – اطلاعات مربوط به زمان و هزینه فعالیت‌های پروژه به صورت عادی و فشرده

فعالیت	زمان معمولی	زمان فشرده	هزینه معمولی	ضریب هزینه
A	۴	۲	۱۰۰	۱۰
B	۳	۱	۱۵۰	۵
C	۷	۵	۵۰۰	۸
D	۸	۷	۸۰	۶
E	۶	۴	۹۰	۱۰
F	۵	۳	۱۲۰	۱۰
G	۹	۶	۱۰۰	۷
H	۱۰	۸	۷۰	۹

بر اساس مدل کلاسیک داریم :

$$Min \quad Z = t_7 - t_1$$

$$t_2 - t_1 \geq d_A \quad , \quad t_3 - t_2 \geq d_B \quad , \quad t_5 - t_3 \geq d_C \quad , \quad t_4 - t_2 \geq d_D$$

$$t_5 - t_4 \geq d_E \quad , \quad t_6 - t_4 \geq d_F \quad , \quad t_6 - t_5 \geq d_G \quad , \quad t_7 - t_6 \geq d_H$$

$$2 \leq d_A \leq 4 \quad , \quad 1 \leq d_B \leq 3 \quad , \quad 5 \leq d_C \leq 7 \quad , \quad 7 \leq d_D \leq 8$$

$$4 \leq d_E \leq 6 \quad , \quad 3 \leq d_F \leq 5 \quad , \quad 6 \leq d_G \leq 9 \quad , \quad 8 \leq d_H \leq 10$$

$$80 \geq 10(4 - d_A) + 5(3 - d_B) + 8(7 - d_C) + 6(8 - d_D) + 10(6 - d_E) + 10(5 - d_F) + 7(9 - d_G) + 9(10 - d_H)$$

$$t_1, t_2, ..., t_7 \geq 0$$

برای حل مدل پیشنهادی نیاز به جدول جدیدی شامل اطلاعات مربوط به تغییرات سطح کیفی فعالیت‌ها ناشی از عملیات فشرده سازی داریم. با عنایت به کیفی بودن مقوله "تعیین میزان سطح کیفیت فعالیت‌ها" و دشواری بیان آن‌ها به صورت کمی، می‌توان این مقوله را برحسب اظهار نظر خبرگان و بر اساس طیف لیکرت و تبدیل آن به درجه کیفی مدنظر در هر فعالیت، لحاظ نمود. به عنوان نمونه برای مثال فوق، اطلاعات مربوط به تغییرات سطح کیفیت فعالیت‌های A تا H یکبار برای حالتی که فعالیت در زمان معمولی خود اجرا شود و یکبار در شرایطی که به فشرده ترین صورت ممکن انجام شود، از خبرگان سوال شده و در جدول شماره۳ بیان شده است. در ادامه همین جدول دو ستون جهت محاسبه ضرایب α و β نیز اضافه شده است.

جدول ۳ – اطلاعات مربوط به زمان، هزینه و کیفیت فعالیت‌های پروژه به صورت عادی و فشرده

فعالیت	زمان معمولی	زمان فشرده	هزینه معمولی	ضریب هزینه	کیفیت معمولی	کیفیت فشرده	α	β
A	۴	۲	۱۰۰	۱۰	۸۰	۷۰	۱۰۵	۰,۰۷
B	۳	۱	۱۵۰	۵	۶۰	۴۰	۹۳	۰,۲
C	۷	۵	۵۰۰	۸	۵۵	۴۵	۱۱۱	۰,۱
D	۸	۷	۸۰	۶	۱۰۰	۹۵	۱۵۱	۰,۰۵
E	۶	۴	۹۰	۱۰	۶۵	۵۰	۱۴۳	۰,۱۳
F	۵	۳	۱۲۰	۱۰	۷۰	۶۵	۸۴	۰,۰۴
G	۹	۶	۱۰۰	۷	۹۰	۷۰	۱۹۲	۰,۰۸
H	۱۰	۸	۷۰	۹	۱۰۰	۹۰	۱۷۰	۰,۰۵

بنابراین برای حل مدل پیشنهادی داریم :

$$Min \quad Z_1: t_7\text{-}t_1$$

$$Max \quad Z_2: 105.e^{0.07d_a} + 93.e^{0.2d_b} + 111.e^{0.1d_c} + 151.e^{0.05d_d} + 143.e^{0.13d_e} + 84.e^{0.04d_f} + 192.e^{0.08d_g} + 170.e^{0.05d_h}$$

محدودیت‌ها

$$t_2 - t_1 \geq d_A \quad , \quad t_3 - t_2 \geq d_B \quad , \quad t_5 - t_3 \geq d_C \quad , \quad t_4 - t_2 \geq d_D$$

$$t_5 - t_4 \geq d_E \quad , \quad t_6 - t_4 \geq d_F \quad , \quad t_6 - t_5 \geq d_G \quad , \quad t_7 - t_6 \geq d_H$$

$$2 \leq d_A \leq 4 \quad , \quad 1 \leq d_B \leq 3 \quad , \quad 5 \leq d_C \leq 7 \quad , \quad 7 \leq d_D \leq 8$$

$$4 \leq d_E \leq 6 \quad , \quad 3 \leq d_F \leq 5 \quad , \quad 6 \leq d_G \leq 9 \quad , \quad 8 \leq d_H \leq 10$$

$$80 \geq 10(4 - d_A) + 5(3 - d_B) + 8(7 - d_C) + 6(8 - d_D) + 10(6 - d_E) + 10(5 - d_F) + 7(9 - d_G) + 9(10 - d_H)$$

$$t_1, t_2, \ldots, t_7 \geq 0$$

جواب (با $w = 0.95$)

$$t_1 = 0 \quad t_2 = 3 \quad t_3 = 9 \quad t_4 = 10 \quad t_5 = 16$$
$$t_6 = 25 \quad t_7 = 33 \quad d_a = 2 \quad d_b = 3 \quad d_c = 7$$
$$d_d = 7 \quad d_e = 6 \quad d_f = 5 \quad d_g = 9 \quad d_h = 8$$

۴-۳- مقایسه جواب‌های مساله با مدل کلاسیک و مدل پیشنهادی :

جدول ۴ – مقایسه جواب‌های دو مدل کلاسیک و پیشنهادی

کلاسیک	نام متغیر	t	t	t	t	t	t	t	d	d	d	d	d	d	d	d
		1	2	3	4	5	6	7	a	b	c	d	e	f	g	h
	مقدار	0	2	7	9	14	20	28	2	3	7	7	5	5	6	8
پیشنهادی	نام متغیر	t	t	t	t	t	t	t	d	d	d	d	d	d	d	d
		1	2	3	4	5	6	7	a	b	c	d	e	f	g	h
	مقدار	0	3	9	10	16	25	33	2	3	7	7	6	5	9	8

چنانچه قابل مشاهده است، در حالت کلاسیک، بدون در نظر گرفتن شاخص کیفیت، پروژه ۲۸ روزه تمام می‌شود و چنانچه بر اساس مدل پیشنهادی، شاخص کیفیت فعالیت‌ها را نیز لحاظ کنیم، با هدف حداکثر سازی کیفیت، ضمن مینیمم‌سازی هزینه‌ها، به ناچار طول اجرای پروژه تا ۳۳ روز افزایش می‌یابد.

۵- نتیجه گیری

بسیاری از شرکت‌ها، از برنامه‌های مدیریت هزینه برای پروژه‌های خاص و همچنین مدل کسب و کار بهره می‌گیرند. معمولا هنگامی که پروژه در مرحله برنامه‌ریزی است، هزینه‌های مربوط به آن و هزینه‌های مورد انتظار محاسبه می‌شوند. در طول پروژه، تمام هزینه‌ها ثبت ، نظارت و بررسی می‌شوند تا اطمینان حاصل شود که آنها در راستای برنامه مدیریت هزینه هستند. پس از اتمام پروژه، هزینه‌های پیش‌بینی شده و هزینه‌های واقعی را می‌توان مقایسه و تجزیه و تحلیل کرد که اینکار به پیش‌بینی مدیریت هزینه‌های آینده کمک خواهد کرد.

با توجه به پیچیده شدن اجرای پروژه‌ها در سال‌های اخیر و همچنین، رقابتی شدن فضای کسب و کار، عامل کیفیت، علاوه بر دو عامل زمان و هزینه، اهمیت بسیار بالایی یافته است، اما بنا به ماهیت کیفی مبحث کیفیت و مشکلات ناشی از کمی‌سازی شاخص کیفیت فعالیت‌های یک پروژه، بیشتر مطالعات و پژوهش‌ها در راستای موازنه زمان-هزینه صورت گرفته است، [۷]

بنابراین افزودن شاخص کیفیت به مدل‌های کلاسیک پیشین و ارائه‌ی راه حل‌های نوین برای حل این مدل‌ها، اهمیت به سزایی دارد.

در این مقاله، با در نظر گرفتن مطالعات صورت گرفته و پیشینه‌های موجود، در خصوص مسائل موازنه زمان- هزینه، ضمن ارائه‌ی یک مدل ریاضی که بر مبنای مدل کلاسیک فشرده‌سازی زمان در شبکه‌های CPM طراحی شده است، ضمن توجه به این نکته که در کنار کاهش زمان فعالیت‌ها و برآورده ساختن هدف حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های پروژه (اعم از : هزینه‌های مستقیم، غیر مستقیم و فشرده سازی) باید بتوانیم هدف دوم یعنی به حداکثر رساندن مجموع کیفیت پروژه که تابعی‌ست از تک تک فعالیت‌ها را محقق نماییم. به علاوه اینکه می‌بایست مجموع هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های ناشی از فشرده‌سازی را در سطح پرتفوی هزینه‌های پروژه مدیریت و کنترل نماییم. در واقع، با دو تابع هدف حداقل‌سازی مجموع هزینه‌ها و حداکثرسازی مجموع سطح کیفیت فعالیت‌ها مواجه هستیم که هرکدام را به صورت تابعی از فعالیت‌های جزئی پروژه، با لحاظ نمودن سایر شرایط تقدم و تاخر فعالیت‌ها در شبکه CPM درنظر گرفته و مدل‌هایی را به کمک روش مناسب حل مسائل چند هدفه، حل و نتایج حاصل از مدل‌های پیشنهادی و کلاسیک را مورد مقایسه قرار داده‌ایم.

منابع :

۱) ابراهیم نژاد، سعداله؛ احمدی، وحید؛ جوانشیر، حسن؛ "موازنه معیارهای هزینه ، زمان و کیفیت در یک شبکه CPM با استفاده از منطق فازی و الگوریتم ژنتیک"، نشریه مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۲۴، پاییز ۱۳۹۲، صفحه ۳۶۲-۳۷۶.

۲) جعفر نژاد، علی؛ سحاب، محدقاسم ؛ اکبر پور، عباس؛ "بهینه سازی زمان - هزینه - کیفیت با استفاده از الگوریتم جستجوی مستقیم شبکه تطبیقی"، کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران، دوره ۵، ۱۳۸۱.

۳) جوانمردی، اشتاد؛ قدوسی، پرویز؛ اشتهاردیان، احسان اله،" بهینه سازی زمان - هزینه پروژه با در نظر گرفتن محدودیت منابع توسط الگوریتم ژنتیک"، کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ایران، دوره ۶، سال ۱۳۸۱.

۴) حاج شیرمحمدی، علی؛ مدیریت و کنترل پروژه، چاپ دوازدهم، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران، ۱۳۸۶.

۵) ذکایی آشتیانی، محسن ؛ "راهنمای گستره دانش مدیریت پروژه" ؛ نشر آدینه ؛ چاپ چهارم ۱۳۸۹

۶) سبزه پرور، مجید؛ مرجع درسی و کاربردی کنترل پروژه به روش گام به گام، چاپ یازدهم، انتشارات ترمه، تهران، ایران،۱۳۸۹.

۷) هاشم زاده زرگر، مهران؛ قلعه نوی، منصور؛ رضایی نیک، ابراهیم؛ "بررسی مدل های موازنه (هزینه-زمان- کیفیت) در مدیریت پروژه ها، کنفرانس بین المللی نوآوری در مهندسی و توسعه تکنولوژی، تبریز، ایران، بهمن ماهدوره۵، ۱۳۹۵.

8) Afshar.A, Kaveh.A and Shoghli.O , " Multi objective optimization of time-cost-quality using multi colony ant algorithm",ASIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING (BUILDING AND HOUSING) VOL. ۸, NO. ۲ ,۲۰۰۷,pp. ۱۲۴-۱۱۳.

9) Aminbakhsh.N, Sonmez.R, "Discrete particle swarm optimization method for the large-scale discrete time–cost trade-off problem", Expert Systems With Applications, Vol. ۵۱, ۲۰۱۶, pp. ۱۷۷–۱۸۵.

10) Mazlum.M, GÜnderi.F.A, "CPM, PERT and Project Management With Fuzzy Logic Technique and Implementation On A Business" , Social and Behavioral Sciences,Vol. ۲۱۰, ۲۰۱۵ , pp.۳۴۸ – ۳۵۷.

11) Nikoomaram.H, Hosseinzadeh Lotfi.F, Jassbi.J,Shahriari.MR, A New Mathematical Model for Time Cost Trade-off Problem with Budget Limitation

Based on Time Value of Money , Applied Mathematical Sciences, Vol. ۴, ۲۰۱۰, no. ۶۳, ۳۱۰۷ - ۳۱۱۹

12) Shahsavari Pour.N, Modarres.M , Aryanejad.M.B, Tavakoli Moghadam.R, "The Discrete Time-Cost-Quality Trade-off Problem Using a Novel Hybrid Genetic Algorithm", Applied Mathematical Sciences, Vol. ۴, no. ۴۲, ۲۰۱۰, pp.۲۰۸۱ – ۲۰۹۴.

13) Tareghian. H. R , Taheri.S. H, "On the discrete time, cost and quality trade-off problem", Applied Mathematics and Computation, Vol. ۱۸۱،۲۰۰۶, pp.۱۳۰۵–۱۳۱۲.

14) Tareghian.H. R, Taheri.S. H, "A solution procedure for the discrete time cost and quality trade off problem using electromagnetic scatter search",Applied Mathematics and Computation, Vol. ۱۹۰, ۲۰۰۷, pp. ۱۱۳۶–۱۱۴۵.

15) Yeta.B ,Constantinou.B, Fentonb.N, Neilb.M, Luedelingc.E, Shepher.K, "A Bayesian Network Framework for Project Cost, Benefit and Risk Analysis with an Agricultural Development Case Study", Expert Systems With Applications, Vol. ۱۰۸, May ۲۰۱۶, pp..۹۰–۷۵

یادداشت‌ها :

1 Critical Path Method
2 Kelly JE
3 Walker
4 Fulkerson
5 Meyer WL
6 Shaffer LR
7 Talbot FB
8 Chua DKH, Chan WT, Govindan K
9 Feng CW
10 Burns SA
11 Simulated annealing
12 Ang A
13 Wang KH, Chi JH, Wan EH
14 Hapke M
15 Slowinski R
16 Leu SS, Chen AT, Yang CH
17 Arikan F
18 Gungor Z
19 Chao-Guang J, Zhuo-shang J, Yan L, Yuan-min Z, Zhen-dong H
20 Tanaka H, Guo P, Zimmermann H-J
21 Buckley JJ, Feuring T, Hayashi Y
22 Ghazanfari M Shahanaghi K, Yousefli A, Abiry MB
23 Golenko Gunzburg & Gonik
24 Gutjohr etal.
25 Ke etal
26 Babu, Suresh
27 Khang
28 Myint
29 Atkinson
30 Project cost management
31 PMBOK
32 Activity Cost Estimates
33 Activity Contingency Reserve
34 Work Package Cost Estimates
35 Contingency Reserve
36 Cost Baseline
37 Management Reserve
38 Crash activity cost
39 Normal activity cost