کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه
International Project Management Conference

موازنه مثلث پروژه با درنظرگرفتن انواع هزینه‌ها و کاربرد الگوریتم ژنتیک

جواد احمدی مقدم[۱]، ناصر مطهری فریمانی*[۲]، مصطفی کاظمی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

[۲] نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

[۳] استاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائلی که در اجرای هر پروژه‌ای وجود دارد، انتخاب حالت اجرایی هر یک از فعالیت‌های درگیر در پروژه است. هر فعالیت در پروژه معمولا به چندین روش مختلف قابل انجام است که هر روش زمان، هزینه و کیفیت اجرای متفاوتی دارد. انتخاب درست روش اجرایی هر یک از فعالیت‌ها می‌تواند باعث شود تا در نهایت مثلث پروژه بهینه شود. یعنی پروژه در کوتاه‌ترین زمان، با کمترین هزینه و بیشترین کیفیت ممکن به پایان برسد. بنابراین می‌توان گفت که موازنه زمان، هزینه وکیفیت در مدیریت پروژه از اصلی‌ترین دغدغه‌های مدیران پروژه محسوب می‌گردد. حال هر چه یک پروژه بزرگتر باشد و بالتبع فعالیت‌های بیشتری داشته باشد، تعیین روش اجرایی هر یک از فعالیت‌ها سخت‌تر می‌شود، تا جایی که دیگر روش‌های حل دقیق کارایی همیشگی خود را از دست می‌دهند و بایستی از روش‌های فراابتکاری برای حل این قبیل مسائل که به مسائل سخت مشهور هستند، بهره جست. در این پژوهش سعی شده است تا با تدوین مدلی جامع و با درنظرگرفتن انواع هزینه‌های ممکن از جمله هزینه تشویقی، توازنی بهینه از زمان، هزینه و کیفیت در پروژه ساخت یک عدد اسکرین فیلتر حاصل گردد. به این منظور از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل مزبور استفاده شده است.

کلیدواژه‌ها: موازنه زمان- هزینه و کیفیت، برنامه‌ریزی پروژه، الگوریتم ژنتیک. هزینه تشویقی

مقدمه

هر پروژه از فعالیت‌هایی مشخص تشکیل شده است که با روش‌ها و حالات مختلفی قابل اجرا هستند. این روش‌ها و حالات نسبت به یکدیگر زمان، هزینه و کیفیت اجرای متفاوتی دارند. حال با انتخاب هر یک از حالت‌ها و روش‌های انجام فعالیت‌ها، زمان، هزینه و کیفیت هر فعالیت و همچنین مقادیر این عوامل سه‌گانه در کل پروژه دستخوش تغییر می‌شود [۲]. وظیفه‌ای که بر عهده مدیران پروژه گذاشته شده است در قالب انجام پروژه در کوتاه‌ترین زمان ممکن، با کم‌ترین هزینه ممکن و با بیشترین کیفیت عنوان می‌شود. با اندکی تفکر مشخص می‌گردد که دستیابی مطلق به این سه هدف بسیار مشکل است. چرا که این اهداف در تضاد با یکدیگر قرار دارند و بهبود هر یک از اهداف منجر به دور شدن از حالت بهینه دو هدف دیگر می‌شود [۱]. به عنوان مثال اگر مدیری بخواهد با انتخاب یکی از حالات اجرایی زمان پروژه را کاهش دهد، به ناچار یا بایستی هزینه بیشتری را متقبل شود و یا اینکه از کیفیت مطلوب پروژه صرف نظر کند. بنابراین می‌توان گفت که این اهداف دارای نوعی تعارض با یکدیگر هستند.

وجود تعارض بین این اهداف سه‌گانه، از اهمیت هیچ کدام نمی‌کاهد و هر سه عامل در بحث مدیریت پروژه نقشی کلیدی را ایفا می‌کنند. این موضوع باعث خواهد شد که مدیران از هیچ یک از جواب‌ها به راحتی گذر نکنند و تمایل داشته باشند تا دسته‌ای از جواب‌های معقول و شدنی را همزمان در اختیار داشته باشند تا بتوانند از بین آن‌ها و با توجه به ارجحیت‌ها و محدودیت‌ها جواب بهتر را انتخاب کنند. بنابراین می‌توان فهمید که انجام هر فعالیت در حالات و روش‌های مختلف تا چه میزان می‌تواند بر پیچیدگی مسئله بیفزاید و انتخاب جواب بهتر را مشکل سازد. نکته دیگری که محدودیت‌ها و پیچیدگی‌های زیادی را به این مسئله می‌افزاید، بحث پیش‌نیازی‌های فعالیت‌ها است. پیش‌نیازی‌ها انواع مختلفی دارند. به عنوان مثال برخی از فعالیت‌ها باید با یکدیگر شروع شده و یا با یکدیگر به اتمام برسند. برخی از فعالیت‌ها باید پس از اتمام برخی دیگر از فعالیت‌ها شروع شوند و یا بالعکس. همچنین ممکن است میان شروع و پایان فعالیت‌ها نسبت به یکدیگر نیاز به ایجاد تاخیر یا فاصله زمانی مشخصی وجود داشته باشد [۷]. این دسته از محدودیت‌ها زمانی که هر فعالیت با چندین روش مختلف نیز قابل انجام باشد، بیش از پیش باعث ناتوانی مدل‌های ریاضی در حل این گونه مسائل می‌شوند.

بنابراین با توجه به پیچیدگی ساختار پروژه‌ها، تعداد زیاد فعالیت‌ها، وجود چندین روش مختلف برای اجرای فعالیت‌ها، رعایت روابط پیش‌نیازی میان فعالیت‌های پروژه و همین‌طور چندهدفه بودن مسئله، تصمیم‌گیری مدیران برای انتخاب از میان حالت‌های مختلف انجام فعالیت‌ها بسیار پیچیده بوده و نیاز به روشی که بتواند برای مسائلی در ابعاد بزرگ و در زمان معقول، راه‌حل‌های قابل قبولی را ارائه دهد، احساس می‌شود.

بهینه‌سازی[1]

هدف از بهینه‌سازی یافتن بهترین جواب قابل قبول، با توجه به محدودیت‌ها و نیازهای مسئله است. برای یک مسأله، ممکن است جواب‌های مختلفی موجود باشد که برای مقایسه آن‌ها و انتخاب جواب بهینه، تابعی به نام تابع هدف تعریف می‌شود [۴]. بهینه‌سازی چندهدفه یک مفهوم وابسته به تعداد زیادی مسائل بهینه‌سازی دنیای واقعی است که یافتن راه‌حل‌های بهینه را با توجه به اهداف متفاوت همزمان با هم نشانه گرفته است. این مسائل بهینه‌سازی چندمعیاره نمی‌تواند توسط یافتن یک راه‌حل بهینه تنها به کار گرفته شود، زیرا یک راه‌حل خاص با توجه به تمام

[1] Optimization

اهداف بهترین نیست. بنابراین یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه یک مجموعه از راه‌حل‌های بهینه معروف همچون بهینه پارتو را منجر می‌شود. عموما در یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه توابع هدف متفاوت نیازمند بهینه‌سازی همزمان با هم با توجه به یک مجموعه از قیدهای برابری و نابرابری است [۲۰].

موازنه زمان و هزینه[1]

کاهش زمان اجرای پروژه زمانی محقق می‌شود که از زمان اجرای حداقل یکی از فعالیت‌ها کاسته شده باشد. این کاهش زمان اجرا باعث می‌شود تا هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم پروژه دستخوش تغییر شوند. البته هزینه‌های مستقیم به گونه‌ای متفاوت با هزینه‌های غیرمستقیم تغییر می‌یابند. کاهش زمان اجرای پروژه باعث افزایش هزینه‌های مستقیم پروژه و کاهش هزینه‌های غیرمستقیم پروژه می‌شود [۵].

موازنه زمان و هزینه وکیفیت[2]

درنظرگرفتن عامل کیفیت، علاوه بر زمان و هزینه در بهینه‌سازی فعالیت‌های اجرایی یک پروژه، با وجود مشکلاتی که در جهت کمی‌ساختن آن برای فعالیت‌های پروژه وجود دارد از دیگر عوامل تاثیرگذار در انتخاب روش‌های اجرایی بوده و مدیران گاه راه‌حل‌هایی را جست‌وجو می‌کنند که در عین کاهش زمان و هزینه پروژه، افزایش کیفیت اجرای آن را در پی داشته باشد [۲]. البته ذکر این نکته ضروری است که کاهش زمان اجرای فعالیت‌ها می‌تواند در کیفیت آن‌ها یعنی میزان نزدیکی کیفیت فعالیت انجام گرفته با سطح انتظارات کارفرما، تاثیرگذار باشد و از آن بکاهد. حال در بحث موازنه زمان، هزینه و کیفیت بایستی به گونه‌ای زمان انجام فعالیت‌ها را کاهش داد که مجموع هزینه‌های پروژه کمینه و کیفیت پروژه بیشینه شود.

روش‌های ارائه شده در پژوهش‌های مربوط به بهینه‌سازی زمان، هزینه و کیفیت اجرای پروژه‌ها را می‌توان به طور کلی به دو دسته ریاضی و تقریبی تقسیم‌بندی نمود. از روش‌های ریاضی استفاده شده برای نمونه می‌توان به روش‌های برنامه‌ریزی خطی، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح، مدل برنامه‌ریزی پویا و همچنین مدل ترکیبی برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح اشاره کرد [۱۴]. روش‌های ریاضی در صورتی که قادر به حل مساله‌ای باشند، بهینه بودن جواب تعیین شده را تضمین می‌نمایند ولی با افزایش تعداد متغیرهای طراحی و پیچیدگی آن کارایی خود را از دست می دهند. بنابراین با افزایش ابعاد و نیز پیچیده تر شدن مسائل، امکان حل آن‌ها با روش‌های ریاضی بهینه‌سازی وجود نخواهد داشت [۲].

از انواع الگوریتم‌های تقریبی می‌توان به سه دسته الگوریتم‌های ابتکاری، فراابتکاری و فوق ابتکاری اشاره کرد. الگوریتم‌های ابتکاری علاوه بر این که در حل مسائل گوناگون ناتوان هستند، در دام بهینه‌های محلی نیز می‌افتند و برای رفع این مشکل از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده می‌شود. از الگوریتم‌های فراابتکاری می‌توان در حل انواع مسائل پیچیده و بدون ترس از توقف در بهینه‌های محلی بهره جست [۲۴]. این الگوریتم‌ها یک روند تکراری همراه با تکامل و بهبود تدریجی را تا رسیدن به جواب طی می‌کنند و در هر تکرار جواب بهتری تولید می‌گردد. از جمله این روش‌ها می‌توان به الگوریتم‌های ژنتیک، انبوه ذرات، کلونی زنبور عسل و الگوریتم مورچگان اشاره کرد.

[1] Time and Cost Trade off
[2] Time, Cost and Quality Trade off

پیشینه پژوهش

بابو و سورش [۱۱] اولین محققانی بودند که اظهار داشتند کیفیت یک پروژه ممکن است به واسطه فشرده‌سازی (یا تسریع) فعالیت‌ها تحت تاثیر قرار گیرد. به بیان دیگر، وقتی زمان یک فعالیت کاهش می‌یابد، هزینه با یک شیب خطی افزایش و کیفیت با یک شیب خطی کاهش می‌یابد. آن‌ها سه مدل برنامه‌ریزی خطی را برای حل مسئله موازنه زمان، هزینه و کیفیت پیشنهاد کردند. خانگ و مینت [۱۸] به بررسی امکان پیاده‌سازی فرضیه فشرده‌سازی ارائه شده توسط بابو و سورش در پروژه ساخت کارخانه سیمان در تایلند با ۸۴ فعالیت (با چند حالت اجرایی برای هر فعالیت) پرداختند. این دو محقق بیان کردند که استفاده از مدل بابو و سورش می‌تواند تاثیر شگرفی در کاهش هزینه‌ها داشته باشد و برای منحنی هزینه در ۴ سطح مختلف کیفیت، آستانه‌های مختلف بودجه‌ای در نظر گرفتند تا مدیران بتوانند در هر یک از سطوح کیفیتی با اطمینان بیشتری تصمیم‌گیری نمایند. فنگ، لی و برنس [۱۴] بیان کردند که هر چه منابع استفاده شده در فعالیت های پروژه ساده و ارزان باشند به همان میزان زمان انجام فعالیت‌ها طولانی‌تر خواهد شد و به عبارتی دیگر اگر برای منابع هزینه کمی انجام گیرد، زمان پروژه افزایش می‌یابد. ایشان برای حل مسئله بهینه‌سازی خود یعنی حداقل‌سازی زمان و هزینه از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. الرایس و کاندیل [۱۲] مسئله موازنه زمان، هزینه و کیفیت گسسته را از طریق الگوریتم ژنتیک چندهدفه مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه در یک مثال کاربردی، برای هر فعالیت، چندین روش اجرا در نظر گرفته شده است و همچنین از دو منبع نیروی کار و مواد استفاده می‌شود که ترکیب هر یک از این دو منبع و شرایط زمانی مختلف برای هر حالت اجرا، می‌تواند منجر به زمان، هزینه و کیفیتی متفاوت برای هر فعالیت شود.

طارقیان و طاهری [۲۶] با ارائه سه مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح دوتایی، به بررسی روند حل موازنه زمان، هزینه و کیفیت در مدیریت پروژه پرداختند. سه مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مرتبط با یکدیگر به گونه‌ای طراحی شدند که در هر مدل با تعیین مرزهای مطلوب برای دو عامل دیگر، تنها یکی از عوامل بهینه می‌شود. طارقیان و طاهری [۲۵] در پژوهشی دیگر با استفاده از جستجوی پراکنده الکترومغناطیس با ذکر اهمیت درنظرگرفتن کیفیت در مسائل موازنه زمان و هزینه سنتی، یک روش مبتنی بر جستجوی پراکنده تلفیق شده با الگوریتم الکترومغناطیس برای حل مسئله موازنه ۳ گانه ارائه نمودند. افشار، کاوه و شغلی [۱۰] به شیوه و زمان استفاده از منابع در دسترس فعالیت‌های پروژه نگاه ویژه‌ای دارند. آن ها استفاده از منابع را برای برنامه‌ریزان و مدیران پروژه، چالشی مهم در به تعادل رساندن جنبه‌های مختلف پروژه عنوان می‌کنند. به همین منظور از الگوریتم کلونی مورچگان برای بهینه‌سازی زمان، هزینه و کیفیت کلی پروژه استفاده نمودند.

رحیمی و ایرانمنش [۲۳] برای فعالیت‌های یک پروژه چندین حالت اجرایی مختلف درنظر گرفتند و برای حل مساله خود و تعیین بهترین گزینه‌های اجرایی هر فعالیت از الگوریتم انبوه ذرات استفاده نمودند. آن‌ها همچنین برای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی خود دو نوع مساله با اندازه‌های بزرگ و کوچک در نظر گرفتند. عبدالسلام و گاد [۸] در پژوهشی از مدل پیشگیری-ارزیابی-شکست (PAF[1])، برای ارزیابی هزینه‌های کیفیت و تعیین مقدار بهینه آن برای پروژه‌های ساخت‌وساز در دبی استفاده کردند. ژانگ و ژینگ [۲۸] از ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در شرایط فازی با روش چندشاخصه فازی برای حل مسئله خود کمک گرفتند و برای خنثی کردن اثر داده‌های مبهم و غیردقیق، داده‌های مربوط به زمان، هزینه و کیفیت را با اعداد فازی تعریف کردند. مختاری، برادران‌کاظم‌زاده و سلماس‌نیا [۲۱] از الگوریتم کلونی مورچگان برای حل مسئله گسسته موازنه زمان و هزینه خود به عنوان یک مسئله صفر و یک غیرخطی استفاده کردند. آن‌ها با درنظرگرفتن بودجه محدود برای پروژه مسئله خود، سعی نمودند تا احتمال اتمام پروژه در کمترین زمان ممکن را به حداکثر برسانند و از این طریق از هزینه‌های اضافی بالاسری بکاهند. افروزی، نجفی، روغنیان و مزینانی [۹] برای هر فعالیت حالت‌های اجرایی مختلفی را در نظر گرفته

[1] Preventive Appraisal Failure

و بیان نمودند که منابع مورد نیاز برای انجام فعالیت‌ها در هر مد اجرایی با یکدیگر متفاوت است. به منظور حل این مسئله از الگوریتم فراابتکاری چندمنظوره MOICA[1] استفاده شد که مقایسه نتایج آن با نتایج الگوریتم‌هایی از قبیل NSGAII[2] و PESAII[3]، کارا بودن الگوریتم ارائه شده را نشان می‌دهد.

کیم، کانگ و هوانگ [۱۷] اظهار داشتند که برای تسریع در انجام پروژه و فشرده‌سازی فعالیت‌ها، این احتمال وجود دارد که از کیفیت فعالیت‌ها کاسته شود. بنابراین ضریبی تحت عنوان α اختصاص دادند که بیان‌کننده نرخ ریسک عدم انطباق کیفیت فعالیت انجام شده با کیفیت مورد نظر پیمانکار می‌باشد. آن‌ها تلاش کردند تا با حل مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح مختلط، تاثیر هزینه بالقوه کیفیت ازدست‌رفته پروژه را به دلیل فشرده‌سازی بیش از حد فعالیت‌ها کاهش دهند. ونفا هو و ژینوا هی [۱۶] مدلی با رویکرد تخصیص منابع برای موازنه هزینه، کیفیت و زمان در پروژه‌های ساختمانی، با بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک ارائه کردند و فعالیت‌ها را از چهار منظر مواد اولیه، تجهیزات، نیروی کار و مدیریت اجرا مورد بررسی قرار دادند. تران، چنگ و کاو [۲۷] برای حل مسئله موازنه زمان، هزینه و کیفیت در یک پروژه، الگوریتم کلونی زنبور عسل چندهدفه (ABC[4]) و الگوریتم تکامل تفاضلی (DE[5]) را با یکدیگر ترکیب کردند. این ادغام به‌منظور متعادل‌سازی مراحل جستجو و استخراج از فرایند بهینه‌سازی صورت گرفت.

مقیمی، نیکو، خاکسارفسایی و آداموسکی [۲۲] برای بهینه‌سازی مسئله موازنه زمان هزینه و کیفیت در پروژه‌های ساخت‌وساز، از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره جدیدی استفاده کردند. آن‌ها برای شناسایی تمام راه‌حل های بهینه پارتو، الگوریتم ژنتیک چندهدفه را با روش الگوریتم ژنتیک طبقه‌بندی نامغلوب توسعه دادند. این محققین برای اولین بار از یک رویکرد استدلال شهودی در زمینه زمان‌بندی پروژه برای شناسایی بهترین راه‌حل پارتو در مسائل موازنه زمان، هزینه و کیفیت گسسته استفاده کردند. فو و ژانگ [۱۵] اظهار نمودند که کیفیت ضعیف فعالیت ها بر طول عمر پروژه و کل هزینه‌های آن می‌تواند تأثیر منفی داشته باشد، اما می‌توان با پیشگیری از کاهش کیفیت در حین انجام فعالیت‌ها، از شدت این تاثیر منفی کاست. آن‌ها با ارائه مدلی غیرخطی مبتنی بر مسئله برنامه‌ریزی پروژه و محدود شده توسط منابع چندحالته و حل آن با الگوریتم جهش قورباغه سعی داشتند تا هزینه‌های از دست رفته کیفیت بالقوه را کاهش دهند. عیدی، فاروقی و عبدی [۱۳] بعد از طراحی سه مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای انتخاب بهترین جواب از بین راه‌حل‌های موجود، از روش ترکیبی AHP فازی و VIKOR که به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره شناخته می‌شود، استفاده کردند.

مدل مفهومی

مدلی با ۳ تابع هدف جهت بهینه‌سازی و موازنه زمان، هزینه و کیفیت پیشنهاد می‌گردد. در این مدل سعی بر این است تا پروژه‌ای با n فعالیت در کوتاه‌ترین زمان ممکن، با کمترین هزینه و بیشترین کیفیت به پایان برسد. با توجه به اینکه هر فعالیت به چندین روش مختلف قابل انجام است، انتخاب روش‌های اجرایی فعالیت‌ها به مدل واگذار می‌شود.

[1] Multi Objective Imperialist Competitive Algorithm II
[2] Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
[3] Pareto Envelope-based Selection Algorithm II
[4] Artificial bee colony
[5] Differential Evolution

$$min\, f1 = S_n + \sum_{k=1}^{m}(X_{nk}T_{nk}) \quad (۱)$$

$$min\, f۲ = \sum_{i=۱}^{n}\sum_{k=۱}^{m} X_{ik}C_{ik} + (IC.f_۱) + \big(D(f_۱ - T_{max})\big)(f_۱ - T_{max})ITC \quad (۲)$$

$$max\, f۳ = \sum_{i=۱}^{n}\sum_{k=۱}^{m}(X_{ik}W_iQ_{ik}) \quad (۳)$$

$$\sum_{i=۱}^{n}\sum_{k=۱}^{m} S_n + (X_{ik}T_{ik}) \le T_{max} \quad (۴)$$

$$\sum_{i=۱}^{n}\sum_{k=۱}^{m} X_{ik}C_{ik} + (IC.f_۱) + \big(D(f_۱ - T_{max})\big)(f_۱ - T_{max})IT \le C_{max} \quad (۵)$$

$$\sum_{i=۱}^{n}\sum_{k=۱}^{m}(X_{ik}W_iQ_{ik}) \le Q_{min} \quad (۶)$$

$$S_i + \sum_{k=۱}^{m} X_{ik}T_{ik} \le S_j \;\; ; \;\; \forall (i,j) \in FS \quad (۷)$$

$$\sum_{i=۱}^{n} W_i = ۱ \quad (۸)$$

$$\sum_{k=۱}^{m} X_{ik} = ۱ \qquad ; \quad \forall\, i \quad (۹)$$

$$D(l) = ۱ \qquad ; \quad \forall\, l < ۰ \quad (۱۰)$$

$$X_{ik}\,, D(l) \;\in \{۰,۱\} \quad (۱۱)$$

$$S_i \ge ۰ \qquad ; \quad \forall\, i \quad (۱۲)$$

در رابطه ۱ زمان کمینه می‌شود. زمان کل پروژه برابر خواهد بود با مجموع زمان شروع آخرین فعالیت با زمان انجام آخرین فعالیت (در یکی از روش‌های اجرایی). در رابطه ۲ سعی بر این است تا هزینه به کمترین مقدار خود برسد. این تابع ۳ نوع هزینه متفاوت را دربرمی‌گیرد. هزینه‌های مستقیم[1] پروژه، هزینه‌های غیرمستقیم[2] یا بالاسری پروژه و هزینه تشویقی[3]. در رابطه ۳ هدف بیشینه کردن کیفیت کل پروژه است. ابتدا به نقش هر یک از فعالیت‌ها در کیفیت کل پروژه وزن می‌دهیم و سپس با استفاده از مجموع موزون کیفیت فعالیت‌ها، کیفیت کل پروژه مشخص می‌گردد.

[1] Direct Cost
[2] Indirect Cost
[3] Incentive Cost

رابطه ۴ زمان کل پروژه را کنترل می‌کند تا از بیشینه زمان مقرر شده توسط مدیر پروژه بیشتر نشود. رابطه ۵ بیان می‌کند که مجموع تمامی هزینه‌های پروژه (هزینه مستقیم، غیرمستقیم و تشویقی) نباید از سقف بودجه تعریف شده برای اتمام پروژه بیشتر شود. رابطه ۶ نشان دهنده این است که کیفیت نهایی پروژه بایستی از حداقل کیفیت مورد انتظار مدیر پروژه بیشتر گردد. رابطه ۷ رعایت روابط پیش‌نیازی پایان شروع را الزامی می‌کند. FS[1] مجموعه‌ای متشکل از فعالیت‌های دوتایی است که رابطه پایان–شروع با یکدیگر دارند. در رابطه ۸ مجموع وزن فعالیت‌ها بایستی برابر یک گردد. رابطه ۹ بیان می‌کند که هر فعالیت باید فقط از طریق یکی از روش‌های اجرایی تعریف شده انجام شود. رابطه ۱۰ متغیری باینری را تعریف می‌کند که در صورت منفی بودن l برابر یک می شود و در غیر این صورت صفر است. رابطه ۱۱ دودویی‌بودن متغیرهای X_{ik} و D(l) را بیان می‌کند. رابطه ۱۲ بیان می‌کند که زمان شروع فعالیت‌ها نمی‌تواند عددی منفی باشد.

پارامترها و متغیرهای مدل

در جدول ۱ پارامترها و در جدول ۲ متغیرهای لازم برای ارائه مدل فهرست شده‌اند.

جدول۱. پارامترهای مدل ارائه شده

نماد	تعریف
N	تعداد فعالیت‌ها
K	شماره شیوه اجرایی هر فعالیت
T_{ik}	زمان انجام فعالیت i در مد اجرایی k
C_{ik}	هزینه انجام فعالیت i در مد اجرایی k
Q_{ik}	کیفیت انجام فعالیت i در مد اجرایی k
T_{max}	مهلت اتمام پروژه
C_{max}	سقف هزینه مجاز
Q_{min}	حداقل کیفیت مجاز
W_i	وزن فعالیت i
IC	هزینه غیرمستقیم به ازای واحد زمان
ITC	هزینه تشویقی به ازای واحد زمان

[1] finish-to-start

جدول ۲. متغیرهای مدل

نماد	تعریف
X_{ik}	در صورت انتخاب فعالیت i در شیوه اجرایی k برابر یک و در غیر این صورت صفر است.
S_i	زمان شروع فعالیت i ام پروژه
D(l)	در صورت منفی شدن l برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است

روش‌شناسی پژوهش

داده‌ها را از چهار روش کلی می‌توان از جامعه یا نمونه آماری استخراج کرد. این ابزارها عبارت اند از: پرسشنامه، مصاحبه، مشاهده و بررسی اسناد و مدارک [۳]. در این پژوهش برای گردآوری داده‌ها از مصاحبه، پرسشنامه و مطالعه اسناد و مدارک استفاده شده است. جهت انجام این تحقیق دو پرسشنامه طراحی شده است. پرسشنامه اول مربوط به تعیین فعالیت‌های اصلی، زیرفعالیت‌ها و شیوه‌های اجرایی هر زیرفعالیت می باشد. به این صورت که برای هر کدام از فعالیت‌های شناسایی شده بر اساس اسناد و مدارک و شیوه‌های اجرایی آن‌ها، جدولی تهیه و به تیم خبرگان شرکت آب و صنعت آریانا ارائه شده است و سپس فعالیت‌های اصلی، زیرفعالیت‌ها و شیوه‌های اجرایی این شرکت با مصاحبه و پاسخگویی به پرسشنامه از طرف تیم خبرگان تعیین و جمع‌بندی نهایی حاصل شده است. پرسشنامه دوم مربوط به جمع‌آوری اطلاعات زمان، هزینه و کیفیت هر یک از شیوه‌های اجرایی است. به منظور اندازه‌گیری کیفیت به صورت کیفی، از مقیاس پنج‌تایی لیکرت استفاده شده است.

الگوریتم ژنتیک

در مسئله موازنه زمان، هزینه و کیفیت، هر زیرفعالیت به m روش مختلف قابل انجام است. بنابراین m^n روش مختلف برای اتمام پروژه وجود دارد. مدل پیشنهادی در پی یافتن بهترین روش اجرایی هر یک از زیرفعالیت‌ها است تا در نهایت هر سه تابع هدف یعنی کمینه شدن زمان و هزینه و بیشینه شدن کیفیت محقق شوند. به این منظور از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل ارائه شده استفاده می‌گردد.

الگوریتم‌های ژنتیک یکی از اعضای خانواده مدل‌های محاسباتی الهام گرفته شده از روند تکامل است. این الگوریتم‌ها راه‌حل های بالقوه یک مسئله را در قالب کروموزوم‌های ساده‌ای کد می‌کنند و سپس عملگرهای ترکیبی را بر روی این ساختارها اعمال می‌کنند. الگوریتم‌های ژنتیک اغلب به عنوان روشی برای بهینه‌سازی توابع شناخته می‌شوند. این الگوریتم ابزاری می‌باشد که توسط آن ماشین می‌تواند مکانیزم انتخاب طبیعی را شبیه‌سازی نماید. این عمل با جستجو در فضای مسئله جهت یافتن جواب برتر و نه الزاما بهینه صورت می‌پذیرد [۱۹]. الگوریتم ژنتیک با تولید جمعیت اولیه و افزایش این جمعیت به وسیله‌ی عملگرهای گوناگون و با تکیه بر مقدار تابع هدف، شرایطی را مهیا می‌سازد تا بتوان از بین جواب‌های متنوع تولید شده، در کمترین زمان ممکن، بهترین جواب را نسبت به سایر جواب‌ها انتخاب کرد. این الگوریتم دارای ۳ عملگر کلی انتخاب، تقاطع و جهش است [۶].

عملگر انتخاب: در این عملگر سعی می‌شود تا جستجو به سمت جواب‌هایی با کیفیت بالاتر سوق پیدا کند. در این صورت والدین با شایستگی بیشتر برای تولیدمثل انتخاب می‌شوند. تکنیک‌های مختلفی از قبیل نمونه‌برداری تصادفی کلی[1]، چرخ گردان[2] و انتخاب مسابقه‌ای[3] برای عملگر انتخاب وجود دارد. برنامه نوشته شده در متلب به گونه‌ای است که فرد اجراکننده برنامه می‌تواند تکنیک انتخاب را خودش تعیین نماید.

نمونه‌برداری تصادفی کلی: به صورت کاملا تصادفی تعدادی از موجودات جمعیت به عنوان والدین انتخاب می‌شوند، این انتخاب می‌تواند با جایگذاری یا بدون جایگذاری باشد.

چرخ گردان: در این روش هر یک از جواب‌ها بسته به میزان شایستگی خود (f_k) احتمال انتخاب شدن دارند. در حقیقت هر چه جوابی بهتر باشد احتمال انتخاب شدنش برای تولید نسل بعدی بیشتر است. با استفاده از فرمول رابطه ۱۳ احتمال انتخاب هر یک از جواب‌ها تعیین می‌گردد.

$$P_k = \frac{f_k}{\sum_{i=1}^{n} f_i} \qquad (۱۳)$$

در واقع این فرمول نسبت شایسته بودن یک جواب را با استفاده از میزان شایسته بودن تمامی جواب‌ها تعیین می‌کند. حال هر چه این عدد بزرگتر باشد، احتمال انتخاب برای تولید نسل بعدی بیشتر است.

انتخاب مسابقه‌ای: در این روش تعدادی جواب به صورت تصادفی یا با استفاده از چرخ رولت انتخاب می‌گردند و سپس از بین این جواب‌ها بهترین جواب انتخاب می‌گردد. در این حالت حتی اگر تمامی جواب‌ها شایستگی مناسبی نداشته باشند، از بین آن‌ها آن جوابی که اصطلاحا انحراف قیدی کمتری دارد انتخاب می‌شود.

عملگر تقاطع[4]: در این عملگر هدف، تولید فرزند جدید از والدین انتخاب شده در مرحله قبل است. به امید اینکه ویژگی‌های مثبت هر دو والد در فرزند ایجاد شود، بخش یا بخش‌هایی از کروموزوم‌های والدین با یکدیگر تعویض می‌شوند. در این صورت فرزند جدید که ترکیبی از خصوصیات والدین را دارد از شایستگی بالاتری برخوردار خواهد بود. تقاطع می‌تواند یک نقطه‌ای و یا چند نقطه‌ای باشد. در تقاطع تک نقطه‌ای، ژن‌های دو طرف نقطه در کروموزم‌های والد با یکدیگر تعویض می‌شوند و فرزند جدیدی با خصوصیات جدید تولید می‌گردد. در تقاطع چند نقطه‌ای قسمت‌های مشابه در کروموزوم‌های والد به صورت یکی‌درمیان با یکدیگر تعویض می‌شوند.

[1] Stochastic universal Sampling
[2] Roulatte Wheel
[3] Tournament Selection
[4] Crossover

عملگر جهش[1]: هدف از این عملگر جلوگیری از به دام افتادن در بهینه‌های محلی و هم چنین حفظ تنوع جمعیت ژنتیکی است. در جریان این عملگر تعدادی از کروموزوم‌های فرزند به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و به صورت تصادفی مقادیر یک یا چند ژن آن تغییر می‌کند. در صورتی که عدد تصادفی تولید شده از احتمال جهش (P_m) کمتر باشد، جهش صورت می‌گیرد و در غیر این صورت از جهش دادن صرف نظر می‌کنیم. در تعیین احتمال جهش بایستی دقت نمود، زیرا اگر احتمال جهش بسیار زباد شود، الگوریتم ژنتیک به یک جستجوی تصادفی کاهش می‌یابد.

مقادیر پارامترهای الگوریتم ژنتیک در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. پارامترهای الگوریتم ژنتیک

پارامتر	مقادیر
تعداد جمعیت اولیه	۱۰۰
تعداد تکرار	۱۰۰
احتمال تقاطع	۰/۸
احتمال جهش	۰/۳

یافته‌های پژوهش

۱۵ فعالیت اصلی ساخت این محصول به ۹۰ زیرفعالیت شکسته شد. هر زیرفعالیت بین یک تا چهار روش مختلف برای انجام دارد و هر روش اجرایی زمان، هزینه و کیفیت مختص به خود را دارد. ۱۵ فعالیت اصلی به شرح جدول ۴ است.

[1] Mutation

جدول٤. فعالیت‌های اصلی پروژه

ردیف	فعالیت	تعداد زیر فعالیت ها
۱	خرید مواد اولیه	۹
۲	آنالیز مواد اولیه	۹
۳	برش‌کاری	۶
۴	نوردکاری	۶
۵	قالبسازی	۴
۶	ریخته‌گری و قالب‌گیری	۴
۷	آنالیز ریخته‌گری	۴
۸	تراشکاری	۵
۹	جوشکاری	۱۷
۱۰	تست جوشکاری	۱۷
۱۱	خمکاری	۲
۱۲	قلاویزکاری	۴
۱۳	تست هیدرواستاتیک	۱
۱۴	آماده‌سازی سطح نهایی	۱
۱۵	بسته‌بندی	۱

نمونه‌ای از برآوردهای خبرگان برای زمان، هزینه و کیفیت هر یک از روش‌های اجرایی زیرفعالیت‌ها در جدول ۵ آمده است.

جدول۵. بخشی از داده‌های مربوط به زیرفعالیت‌ها

فعالیت اصلی	زیرفعالیت	شیوه اجرایی	زمان	هزینه	کیفیت
۱	خرید ورق داپلکس 6m	خرید داخلی	۵۶	۲۱۰۰۰۰۰۰۰	۰,۵
		واردات	۷۲۰	۱۵۰۰۰۰۰۰۰	۰,۷۵
	خرید ورق ۳۱۶	خرید داخلی	۵۶	۶۰۰۰۰۰۰۰	۰,۵
		واردات	۷۲۰	۵۰۰۰۰۰۰۰	۰,۷۵
	خرید لوله ۱ و ۱/۲	خرید داخلی	۵۶	۲۰۰۰۰۰۰	۰,۵
		واردات	۷۲۰	۳۰۰۰۰۰۰	۰,۹۱
	خرید لوله ۲ اینچ	خرید داخلی	۵۶	۴۰۰۰۰۰۰	۰,۵
		واردات	۷۲۰	۵۰۰۰۰۰۰	۰,۹۱
	خرید لوله	خرید داخلی	۵۶	۶۰۰۰۰۰۰	۰,۵
		واردات	۷۲۰	۵۰۰۰۰۰۰	۰,۹۱
	خرید زانو ۱۲ اینچ	خرید داخلی	۵۶	۱۵۰۰۰۰۰	۰,۵
		واردات	۷۲۰	۲۰۰۰۰۰۰	۰,۹۱

در این مطالعه زمان بر حسب ساعت، هزینه بر حسب ریال و کیفیت بر حسب درصد بیان می‌گردد. با توجه به هم‌مقیاس نبودن این ۳ تابع هدف، تمامی داده‌ها با استفاده از روش بردار ویژه که توسط ساعتی ارائه شده است، مطابق با رابطه ۱۴ نرمال‌سازی می‌شوند.

$$n_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{1}^{b} X_{ij}} \qquad (۱۴)$$

در این مطالعه روابط پیش‌نیازی از نوع پایان–شروع برای زیرفعالیت‌ها در نظر گرفته شده است. به این صورت که حتما بایستی فعالیت اولی به اتمام برسد تا فعالیت بعدی شروع شود. تمامی روابط پیش‌نیازی در جدول ۶ نمایش داده شده است.

جدول ٦. روابط پیش‌نیازی

روابط پیش‌نیازی پایان–شروع			
۳۸،۴۲	۴۶،۵۶	۴۲،۴۶	۱،۱۰
۶۲،۷۷	۵۶،۷۳	۹،۱۸	۱۰،۱۹
۶۲،۷۸	۹۰،۸۹	۱۸،۲۴	۸۲،۱۹
۶۲،۷۹	۵۷،۸۳	۴،۱۳	۱۹،۲۵
۶۰،۷۷	۵۷،۸۷	۱۳،۲۲	۱۹،۲۶
۵۳،۸۵	۵۷،۷۴	۵،۱۴	۸۵،۱۹
۵۳،۶۹	۲۸،۵۶	۱۴،۲۳	۸۴،۱۹
۵۳،۷۰	۴۹،۸۶	۶،۱۵	۱۹،۵۱
۳۴،۳۸	۲۱،۴۹	۷،۱۶	۱۹،۲۷
۵۴،۶۷	۴۹،۶۶	۱۶،۴۷	۱۹،۲۸
۱۹،۵۴	۸۹،۸۸	۸،۱۷	۲،۱۱
۵۴،۷۰	۲۹،۵۸	۲۵،۴۸	۱۱،۲۰
۵۴،۷۱	۳۰،۵۸	۲۶،۴۸	۲۰،۲۹
۱۵،۶۰	۵۸،۷۴	۴۸،۶۵	۲۰،۳۰
۶۳،۸۲	۵۸،۶۶	۴۵،۴۱	۸۳،۲۰
۶۳،۷۱	۴۴،۵۸	۵۰،۶۵	۸۷،۲۰
۶۳،۷۲	۷۵،۵۸	۶۷،۵۰	۸۶،۲۰
۶۳،۷۳	۲۰،۶۰	۸۸،۸۱	۳،۱۲

۶۳،۷۹	۴۳،۵۹	۵۱،۶۸	۱۲،۲۱
۶۳،۸۰	۲۴،۵۹	۵۵،۷۲	۳۱،۳۵
۳۷،۴۱	۵۹،۷۶	۵۲،۸۴	۳۵،۳۹
۶۴،۸۰	۴۵،۵۵	۵۲،۶۸	۳۹،۴۳
۶۴،۷۵	۴۷،۶۱	۵۲،۶۹	۳۲،۳۶
۶۴،۷۶	۱۷،۶۱	۳۳،۳۷	۳۶،۴۰
۶۴،۸۱	۶۱،۷۸	۲۷،۵۵	۴۰،۴۴

در نهایت برای تبدیل مسئله چندهدفه به یک مسئله تک‌هدفه، از روش مجموع وزن‌دار استفاده می‌شود. به این منظور وزن‌های مربوط به هر یک از توابع که در جدول ۷ نشان داده شده است از خبرگان امر تهیه می‌گردد.

جدول ۷. وزن توابع هدف

عنوان	وزن
زمان	۰/۲
هزینه	۰/۴۵
کیفیت	۰/۳۵

مقادیر برخی از پارامترهای مدل در جدول ۸ آمده است.

جدول ۸. مقادیر پارامترهای مدل

نماد	مقادیر
n	۹۰
T_{max}	۴۸۰ ساعت
C_{max}	۹۰۰۰۰۰۰۰۰ ریال
Q_{min}	۷۳ درصد
IC	۶۸۰۰۰۰ ریال
ITC	۳۴۰۰۰۰ ریال

مدل ارائه شده در این پژوهش، دو خصوصیت ویژه دارد. اولی در نظر داشتن روش‌های اجرایی متفاوت که باعث می‌شود تا تمامی راه‌های ممکن برای اتمام پروژه مورد بررسی قرار گیرند و دومی در نظر داشتن هزینه تشویقی که باعث می‌شود پیمانکار پروژه تمام سعی خود را نماید تا با رعایت حفظ کیفیت کل، پروژه را در سریع‌ترین زمان ممکن خاتمه دهد. در این صورت است که موفق شده است به ازای هر روز زودتر تحویل دادن پروژه مبلغی از هزینه‌های انجام شده را برگرداند. در حقیقت در این مورد به خصوص با کاهش زمان پروژه، بخشی از هزینه کل هم کاهش پیدا می‌کند. نتایجی که بعد از اجرای برنامه نیز حاصل گردید موید همین موضوع است. اگر هزینه تشویقی در نظر گرفته نشود، هزینه‌ای بالغ بر ۷۵۸۰۰۰۰۰۰ ریال صرف اتمام پروژه می‌گردد، در صورتی که با در نظر داشتن هزینه تشویقی این هزینه به ۶۶۲۰۰۰۰۰۰ ریال کاهش پیدا می‌کند. در این صورت پیمانکار می‌تواند موازنه‌ای کامل و جامع از هزینه و زمان داشته باشد. با توجه به وزن بالای نابع هزینه در این مورد مطالعاتی، طبیعتا وجود بندی در قرارداد مابین پیمانکار و کارفرما به نام هزینه تشویقی، می‌تواند از طرفی با کاهش دادن هزینه‌ها، سود بیشتری را عاید پیمانکار نماید و از طرفی باعث می‌شود تا کارفرما در سریع‌ترین زمان ممکن پروژه را از پیمانکار تحویل بگیرد.

مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، در محیط نرم‌افزاری متلب ۲۰۱۴ حل شده است. ویژگی سیستم مورد استفاده در این پژوهش با عملکرد سیستم عامل Windows ۷، چهار گیگابایت حافظه داخلی و پردازنده پنج هسته‌ای است. زمان پروژه ۲۲۲ ساعت حاصل شده است که از حداکثر زمان در نظر گرفته شده توسط مدیر پروژه یعنی ۴۸۰ ساعت به مراتب کمتر است. هزینه تمام شده پروژه برابر با ۶۶۲۰۰۰۰۰۰ ریال به دست آمده است که از سقف هزینه مجاز یعنی ۹۰۰۰۰۰۰۰ ریال کمتر است. کیفیتی برابر با ۷۶/۸۳ درصد حاصل گردیده است که از حداقل کیفیت تعیین شده بیشتر می‌باشد. نتایج نهایی حل مدل در جدول ۹ آمده است.

جدول ۹. نتایج محاسبات الگوریتم ژنتیک

زمان	هزینه	کیفیت
۲۲۲	۶۶۲۰۰۰۰۰۰	۷۶/۸۳

یکی از متغیرهای این مدل انتخاب حالت اجرایی هر یک از فعالیت‌ها است. در جدول ۱۰ بهترین حالت اجرایی هر فعالیت برای رسیدن به بهینه‌ترین حالت از توابع زمان، هزینه و کیفیت، نشان داده شده است.

جدول ۱۰. حالت اجرایی فعالیت‌ها

فعالیت	حالت اجرا	فعالیت	حالت اجرا	فعالیت	حالت اجرا	فعالیت	حالت اجرا	فعالیت	حالت اجرا
۱	۱	۱۹	۳	۳۷	۱	۵۵	۳	۷۳	۱
۲	۱	۲۰	۳	۳۸	۱	۵۶	۲	۷۴	۱
۳	۱	۲۱	۱	۳۹	۲	۵۷	۳	۷۵	۱
۴	۱	۲۲	۱	۴۰	۲	۵۸	۳	۷۶	۱
۵	۱	۲۳	۱	۴۱	۲	۵۹	۳	۷۷	۱
۶	۱	۲۴	۳	۴۲	۲	۶۰	۳	۷۸	۱

۷	۱	۲۵	۲	۴۳	۱	۶۱	۱	۷۹	۱
۸	۱	۲۶	۲	۴۴	۱	۶۲	۳	۸۰	۱
۹	۱	۲۷	۱	۴۵	۱	۶۳	۳	۸۱	۱
۱۰	۱	۲۸	۲	۴۶	۱	۶۴	۳	۸۲	۲
۱۱	۲	۲۹	۱	۴۷	۱	۶۵	۱	۸۳	۲
۱۲	۲	۳۰	۱	۴۸	۳	۶۶	۱	۸۴	۲
۱۳	۲	۳۱	۲	۴۹	۲	۶۷	۱	۸۵	۲
۱۴	۲	۳۲	۳	۵۰	۲	۶۸	۱	۸۶	۲
۱۵	۲	۳۳	۲	۵۱	۲	۶۹	۳	۸۷	۲
۱۶	۲	۳۴	۳	۵۲	۲	۷۰	۱	۸۸	۱
۱۷	۲	۳۵	۱	۵۳	۳	۷۱	۱	۸۹	۱
۱۸	۲	۳۶	۱	۵۴	۲	۷۲	۱	۹۰	۱

دیگر متغیر مدل ارائه شده، زمان شروع فعالیت‌ها می‌باشد. شروع فعالیت‌ها بایستی با توجه به روابط پیش‌نیازی تعریف شده، به گونه‌ای باشد که در نهایت هر سه تابع هدف بهینه گردند. در جدول زیر زمان شروع فعالیت‌ها نشان داده شده است.

جدول۱۱. زمان شروع فعالیت‌ها

فعالیت	زمان شروع	فعالیت	زمان شروع	فعالیت	زمان شروع	فعالیت	زمان شروع	فعالیت	زمان شروع
۱	۰	۱۹	۶۴	۳۷	۳	۵۵	۱۱۲	۷۳	۹۹
۲	۰	۲۰	۸۰	۳۸	۳	۵۶	۹۶	۷۴	۱۲۴
۳	۰	۲۱	۸۰	۳۹	۱۲	۵۷	۱۱۶	۷۵	۱۳۵
۴	۰	۲۲	۸۰	۴۰	۱۳	۵۸	۱۳۲	۷۶	۱۰۴
۵	۰	۲۳	۸۰	۴۱	۱۰	۵۹	۹۶	۷۷	۱۱۲
۶	۰	۲۴	۸۰	۴۲	۱۰	۶۰	۱۰۴	۷۸	۸۹
۷	۰	۲۵	۸۸	۴۳	۳۶	۶۱	۸۷	۷۹	۱۲۸
۸	۰	۲۶	۸۸	۴۴	۳۷	۶۲	۱۲۰	۸۰	۱۵۴
۹	۰	۲۷	۸۸	۴۵	۳۴	۶۳	۱۴۲	۸۱	۱۶۶
۱۰	۵۶	۲۸	۸۸	۴۶	۳۴	۶۴	۱۶۲	۸۲	۸۸
۱۱	۵۶	۲۹	۱۰۴	۴۷	۸۰	۶۵	۱۰۸	۸۳	۱۰۴
۱۲	۵۶	۳۰	۱۰۴	۴۸	۹۶	۶۶	۱۲۰	۸۴	۸۸
۱۳	۵۶	۳۱	۰	۴۹	۱۱۶	۶۷	۱۲۴	۸۵	۸۸

۱۴	۵۶	۳۲	۰	۵۰	۱۱۶	۶۸	۹۲	۸۶	۱۰۴
۱۵	۵۶	۳۳	۰	۵۱	۸۸	۶۹	۱۰۲	۸۷	۱۰۴
۱۶	۵۶	۳۴	۰	۵۲	۱۰۰	۷۰	۱۱۳	۸۸	۱۷۴
۱۷	۵۶	۳۵	۵	۵۳	۱۱۰	۷۱	۱۳۴	۸۹	۱۹۰
۱۸	۵۶	۳۶	۶	۵۴	۱۳۲	۷۲	۱۱۶	۹۰	۱۹۸

بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

اتمام یک پروژه در کوتاه‌ترین زمان و با کمترین هزینه و هم چنین با بیشترین کیفیت ممکن یکی از مسائلی است که برای مدیران پروژه حائز اهمیت به‌سزایی است. موازنه این ۳ عامل در حالی که در تضاد با یکدیگر هستند و افزایش یک عامل باعث کاهش عامل دیگر می‌شود، می‌تواند باعث موفقیت یک پروژه شود. هر فعالیت می‌تواند چندین روش اجرا داشته باشد و طبیعتا هر روش اجرایی نیز با زمان، هزینه و کیفیت متفاوتی انجام‌پذیر است. مسئله موازنه زمان، هزینه وکیفیت در پی این است که هر فعالیت در ضمن رعایت روابط پیش‌نیازی، با کدام روش اجرایی انجام شود. در این مقاله با درنظرگرفتن روابط پیش‌نیازی پایان–شروع برای زیرفعالیت‌ها و هم‌چنین منظور کردن هزینه تشویقی، سعی شده است تا مسئله به دنیای واقعی شباهت بیشتری داشته باشد. در نهایت می‌توان گفت، نتایج به دست آمده از حل این مسئله در قالب مدل ارائه شده و با استفاده از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک، نشان‌دهنده کارا بودن این الگوریتم در حل سریع مسئله است. برای توسعه این مدل می‌توان هزینه‌های دیگری از جمله هزینه جریمه و یا هزینه کیفیت از دست رفته را نیز در نظر گرفت. هم‌چنین می‌توان از مزایای دیگر الگوریتم‌های فراابتکاری نیز در حل مدل مزبور بهره جست.

منابع

[۱] آخوندی‌اناری، مینا؛ کشاورز، طه. (۱۳۹۶). ارائه الگوریتم ترکیبی ژنتیک چندهدفه برای حل مسأله چندهدفه موازنه هزینه–زمان–کیفیت پروژه با درنظرگرفتن روابط پیش‌نیازی و شکست فعالیت‌ها در صورت کمبود منابع. دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت و حسابداری، تهران، موسسه آموزش عالی صالحان.

[۲] جعفرنژاد، علی؛ سحاب، محمدقاسم و اکبرپور، عباس. (۱۳۸۹). بهینه‌سازی زمان–هزینه–کیفیت با استفاده از الگوریتم جستجوی مستقیم شبکه تطبیقی. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران. مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.

[۳] خاکی، غلامرضا. (۱۳۸۲)، روش تحقیق با رویکرد پایان نامه نویسی، نشر بازتاب، چاپ اول.

[۴] رازانی, فاطمه؛ آزیتا اسعدی و مجتبی حسینی، ۱۳۹۳، کاربرد الگوریتم های ژنتیک و اجتماع مورچگان در مکان یابی بهینه میراگرهای ویسکوز، *دومین کنگره بین المللی سازه ، معماری و توسعه شهری*، تبریز، دبیرخانه دائمی کنگره بین المللی سازه ، معماری و توسعه شهری.

[۵] عطایی، یونس؛ شیرویه‌زاد، هادی. (۱۳۹۱). موازنه زمان–هزینه در پروژه احداث شبکه گاز در شهر صدرا از توابع شهرستان شیراز با فرض حداقل هزینه. اولین کنفرانس ملی مهندسی صنایع و سیستم‌ها. نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، گروه مهندسی صنایع.

[۶] مهدی، علیرضا، مقدمه ای بر الگوریتم های ژنتیک و کاربردهای آن، انتشارات ناقوس اندیشه، ۱۳۸۵.

[۷] هاشم‌زاده‌زرگر، مهران؛ قلعه‌نوی، منصور؛ رضایی‌نیک، ابراهیم. (۱۳۹۴). مدلسازی و حل مسئله موازنه هزینه–زمان در شرایط قطعیت (مطالعه موردی). دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع. تهران، انجمن مهندسی صنایع ایران، دانشگاه خوارزمی.

[۸] Abdelsalam, H. M., & Gad, M. M. (۲۰۰۹). Cost of quality in Dubai: An analytical case study of residential construction projects. *International journal of project management*, ۲۷(۵), ۵۰۱-۵۱۱.

[۹] Afruzi, E. N., Najafi, A. A., Roghanian, E., & Mazinani, M. (۲۰۱۴). A multi-objective imperialist competitive algorithm for solving discrete time, cost and quality trade-off problems with mode-identity and resource-constrained situations. *Computers & Operations Research*, ۵۰, ۸۰-۹۶.

[۱۰] Afshar, A., Kaveh, A., & Shoghli, O. R. (۲۰۰۷). Multi-objective optimization of time-cost-quality using multi-colony ant algorithm.

[۱۱] Babu, A. J. G., & Suresh, N. (۱۹۹۶). Project management with time, cost, and quality considerations. European Journal of Operational Research, ۸۸(۲), ۳۲۰-۳۲۷.

[۱۲] El-Rayes, K., & Kandil, A. (۲۰۰۵). Time-cost-quality trade-off analysis for highway construction. Journal of construction Engineering and Management, ۱۳۱(۴), ۴۷۷-۴۸۶.

[۱۳] Eydi, A., Farughi, H., & Abdi, F. (۲۰۱۶). A hybrid method based on fuzzy AHP and VIKOR for the discrete time-cost-quality trade-off problem. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, ۱۹(۲), ۱۰۵-۱۱۶.

[۱۴] Feng, C. W., Liu, L., & Burns, S. A. (۱۹۹۷). Using genetic algorithms to solve construction time-cost trade-off problems. *Journal of computing in civil engineering*, ۱۱(۳), ۱۸۴-۱۸۹.

[۱۵] Fu, F., & Zhang, T. (۲۰۱۶). A new model for solving time-cost-quality trade-off problems in construction. *PloS one*, ۱۱(۱۲), e۰۱۶۷۱۴۲

[۱۶] Hu, W., & He, X. (۲۰۱۴). An innovative time-cost-quality tradeoff modeling of building construction project based on resource allocation. The Scientific World Journal, ۲۰۱۴.

[۱۷] Kim, J., Kang, C., & Hwang, I. (۲۰۱۲). A practical approach to project scheduling: considering the potential quality loss cost in the time–cost tradeoff problem. International Journal of Project Management, ۳۰(۲), ۲۶۴-۲۷۲.

[۱۸] Khang, D. B., & Myint, Y. M. (۱۹۹۹). Time, cost and quality trade-off in project management: a case study. International journal of project management, ۱۷(۴), ۲۴۹-۲۵۶.

[۱۹] Laguna, M. and Marti, R. (۲۰۰۰). Experimental Testing of Advanced Scatter Search Designs for Global Optimization of Multimodal Functions, University of Colorado, Boulder

[۲۰] Moghaddam, A. A., Seifi, A., Niknam, T., & Pahlavani, M. R. A. (۲۰۱۱). Multi-objective operation management of a renewable MG (micro-grid) with back-up micro-turbine/fuel cell/battery hybrid power source. *Energy*, ۳۶(۱۱), ۶۴۹۰-۶۵۰۷.

[۲۱] Mokhtari, H., Kazemzadeh, R. B., & Salmasnia, A. (۲۰۱۰). Time-cost tradeoff analysis in project management: An ant system approach. *IEEE Transactions on engineering management*, ۵۸(۱), ۳۶-۴۳

[۲۲] Monghasemi, S., Nikoo, M. R., Fasaee, M. A. K., & Adamowski, J. (۲۰۱۵). A novel multi criteria decision making model for optimizing time–cost–quality trade-off problems in construction projects. Expert systems with applications, ۴۲(۶), ۳۰۸۹-۳۱۰۴.

[۲۳] Rahimi, M., & Iranmanesh, H. (۲۰۰۸). Multi objective particle swarm optimization for a discrete time, cost and quality trade-off problem. *World Applied Sciences Journal*, ۴(۲), ۲۷۰-۲۷۶.

[۲۴] Rajabioun, R. (۲۰۱۱). Cuckoo optimization algorithm. *Applied soft computing*, ۱۱(۸), ۵۵۰۸-۵۵۱۸.

[۲۵] Tareghian, H. R., & Taheri, S. H. (۲۰۰۷). A solution procedure for the discrete time, cost and quality tradeoff problem using electromagnetic scatter search. *Applied mathematics and computation*, ۱۹۰(۲), ۱۱۳۶-۱۱۴۵

[۲۶] Tareghian, H. R., & Taheri, S. H. (۲۰۰۶). On the discrete time, cost and quality trade-off problem. Applied mathematics and computation, ۱۸۱(۲), ۱۳۰۵-۱۳۱۲.

[۲۷] Tran, D. H., Cheng, M. Y., & Cao, M. T. (۲۰۱۵). Hybrid multiple objective artificial bee colony with differential evolution for the time–cost–quality tradeoff problem. Knowledge-Based Systems, ۷۴,

[۲۸] Zhang, H., & Xing, F. (۲۰۱۰). Fuzzy-multi-objective particle swarm optimization for time–cost–quality tradeoff in construction. *Automation in Construction*, ۱۹(۸), ۱۰۶۷-۱۰۷۵.