

بهینه‌یابی زمان، هزینه، کیفیت و ریسک با استفاده از روش الگوریتم جامعه مورچگان

علی خوزین^۱، جمال محمدی^۲

^۱ استادیار گروه حسابداری، واحد علی آبادکتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی آباد کتول، ایران

^۲ دانشجوی دکتری گروه حسابداری، واحد علی آبادکتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی آباد کتول، ایران

چکیده

در این مقاله بهینه‌سازی بین اجزاء هرم بقاء شامل زمان، هزینه، کیفیت و ریسک در پروژه‌های عمرانی و طرح‌های سرمایه‌گذاری مورد بررسی قرار گرفته که البته نتایج آن برای صنایع دیگر مانند خودروسازی، لوازم و دستگاه‌های الکترونیکی، صنایع پیشرو و ... قابل استفاده است. منظور از بهینه‌سازی ایجاد توازن بین زمان، هزینه، کیفیت و ریسک برای ایجاد بهترین سطح رضایتمندی برای مشتریان و استفاده‌کنندگان نهایی و کسب بهینه‌ترین سطح ارزش برای سازمان است. در محیط کسب و کار کنونی حسابداران مدیریت به ابزارها و توسعه مدل‌هایی برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی نیاز دارند که ضمن کاهش زمان تحویل و بهای تمام شده محصولات و با کمترین ریسک کسب و کار به ارائه محصولات با بهترین حد کیفیت بپردازند تا از این طریق به ارزش‌آفرینی برای سازمان اقدام گردد. در این مقاله در راه بهینه‌سازی اجزاء هرم بقاء از نوعی الگوریتم جامعه مورچگان به نام سیستم مورچه‌های کمینه و بیشینه استفاده شده که جواب آن نسبت به سایر الگوریتم‌های مورد استفاده بهینه‌تر است. پژوهش حاضر از دو جنبه دارای نوآوری است. اول آنکه تاکنون در سطح بین‌المللی پژوهشی با در نظر گرفتن چهار عامل زمان، هزینه، کیفیت و ریسک که به هرم بقاء نامگذاری شده است، صورت نگرفته و از سوی دیگر تاکنون در کشور به روش سیستم مورچه‌های کمینه و بیشینه برنامه نویسی نشده است.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌یابی، زمان، هزینه، کیفیت، ریسک، هرم بقاء، حسابداری مدیریت، الگوریتم جامعه مورچگان.

۱- مقدمه

شروع به راه‌اندازی یک طرح سرمایه‌گذاری، آغاز ورود به دنیای کسب و کار است و برای بقاء و موفقیت در محیط پیچیده کسب و کار جهانی، باید از همین آغاز قدم‌ها را محکم و همراه با تصمیم‌گیری‌های بهینه برداشت. یک پروژه شامل سازمانی از افراد است که مجموعه‌ای از منابع را برای دستیابی به هدف خاصی، به کار می‌گیرند (کریمی آذری، ۲۰۱۱). مدیریت پروژه نیز تحت عنوان برنامه‌ریزی، هدایت و کنترل منابع برای دستیابی به اهداف خاصی در پروژه قابل تعریف است (Fan, Lin, & Sheu, 2008) و در این راه، از دیرباز نگرش سنتی به بهینه‌سازی در حل مسائل مربوط به تعادل زمان و هزینه و در دهه اخیر، زمان، هزینه و کیفیت (افشار و همکاران، ۲۰۰۷) و در سال‌های اخیر زمان، هزینه، کیفیت و ریسک برای طرح‌های ساخت و ساز مورد توجه بوده است. ظهور قراردادهای جدید که افزایش کیفیت عملیات اجرایی پروژه‌ها را همزمان با کاهش زمان، هزینه و ریسک آنها در نظر می‌گیرند، نیازمند توسعه مدل‌هایی است که علاوه بر زمان، هزینه و ریسک، عامل کیفیت را نیز در ارزیابی و بهینه‌سازی روش‌های اجرایی پروژه‌ها منظور دارند. کاهش ریسک، هزینه و زمان اجرا و همچنین افزایش کیفیت آن اهداف متفاوت مدیران است که با هم همسویی ندارد و این وظیفه حسابدار مدیریت است که به کمک مهندسين تولید به حل مسئله موازنه زمان، هزینه، ریسک و کیفیت در طرح‌های سرمایه‌گذاری و پروژه‌های عمرانی بپردازد. در فضایی که رقابت شرکت‌ها روز به روز فشرده‌تر می‌شود و تفاوت‌های کوچک در ارائه قیمت در مناقصه‌ها منجر به برتری یا شکست در آن می‌گردد، ارائه برنامه‌ای که منطبق با واقعیت باشد و بتواند تمام واقعیت‌های اقتصادی را در مدل یک پروژه منظور کند، حائز اهمیت زیادی است. خود این روش‌ها و برنامه‌ها نیز باید بتواند با کمترین هزینه فراهم کننده بیشتر منافع اطلاعاتی باشند.

با گسترش سریع به کارگیری سیستم‌های متنوع تحویل پروژه، مدت زمان اجرای پروژه به عنوان یک عامل تعیین کننده در ارزیابی پیشنهاد قیمت در مناقصات و فرایند ساخت مطرح گردیده است. لذا دیگر تمرکز عمده مدیران در امر ساخت و اجرا تنها بر کاهش هزینه‌های پروژه نخواهد بود. از این رو بدون در نظر گرفتن هزینه‌های غیرمستقیم یا سربار، کاهش زمان انجام پروژه معمولاً به افزایش هزینه‌های آن منجر خواهد شد. منظور نمودن عامل کیفیت، علاوه بر عوامل زمان، ریسک و هزینه در بهینه‌سازی فعالیت‌های اجرایی یک پروژه، با وجود مشکلاتی که در جهت کمی ساختن آن برای فعالیت‌های پروژه وجود دارد از دیگر عوامل تاثیرگذار در انتخاب روش‌های اجرایی بوده و به رقابت‌پذیری سازمان می‌انجامد. در این راه، گاه مدیران راه حل‌هایی را جستجو می‌کنند که در عین کاهش هزینه، ریسک و زمان پروژه، افزایش کیفیت اجرای آن را در پی داشته باشد. کیفیت و زمان تحویل تکمیل کننده بهای تمام شده (رهنمای رودپشتی، ۱۳۸۷) است که با توجه نمودن به ریسک پیوند بین این عوامل در دنیای کسب و کار کنونی تکمیل می‌گردد.

در این بین توجه به بهینه‌یابی هزینه، زمان، کیفیت و ریسک برای پروژه‌های سرمایه‌گذاری، به عنوان موضوع این مقاله، به این دلیل است که منابع عمده‌ای در این طرح‌ها به مصرف می‌رسد و هرگونه اخلاص یا انحراف از برنامه‌ها و سوء مدیریت در برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل به تحمل زیان‌های هنگفت، ورشکستگی زودهنگام سازمان و شکست پروژه می‌انجامد. تجدید حیات پروژه‌های شکست خورده نیز نیاز به تامین مجدد منابع مالی هنگفت خواهد داشت.

۲- روش شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ نتایج، کاربردی است و نتایج آن در راستای توسعه تکنیک‌های حسابداری مدیریت و حرکت به سمت بکارگیری تکنیک‌های مهندسی در بهبود عملکرد سازمان‌های مجری طرح‌های عمرانی و سرمایه‌گذاری قابل استفاده است. از نظر فرایند اجرا، این پژوهش کمی بوده و داده‌های آن با استفاده از روش الگوریتم جامعه مورچگان^۲ پردازش می‌گردد. تا سال ۲۰۰۵ میلادی، رویکرد تحقیقاتی مناسبی در خصوص بهینه‌یابی سه شاخص زمان، کیفیت و هزینه انجام نشده و تاکنون نیز

^۱ Fan, Lin, & Sheu

^۲ - Ant Colony Optimization (ACO) Algorithms

هیچ تحقیق و مقاله‌ای در خصوص بهینه‌یابی چهار عامل زمان، کیفیت، هزینه و ریسک ارائه نگردیده است. این مقاله با نوآوری در کدنویسی الگوریتم جامعه مورچگان به حل مسئله بهینه‌سازی می‌پردازد.

همچنین این پژوهش از لحاظ هدف، از نوع مطالعه موردی و هدف آن کمک به حسابدار مدیریت در انتخاب بهترین روش اجرای یک طرح سرمایه‌گذاری و عمرانی است به نحوی که توازن بین عوامل زمان، هزینه، ریسک و کیفیت بهینه گردد. همچنین هدف دیگر پژوهش معرفی بهترین الگوریتم که پاسخ آن نسبت به سایر روش‌ها بهینه و مناسبتر باشد، است. از لحاظ منطبق اجرا نیز، پژوهش حاضر با تکیه بر روش قیاسی انجام خواهد شد. داده‌های پژوهش، مندرج در جدول شماره ۱، از منابع فنی استاندارد موجود استخراج شده است که مورد استفاده پژوهشگران زیادی قرار گرفته است. چنین داده‌هایی این امکان را فراهم می‌آورد که نتایج حاصل از روش‌های مختلف در پژوهش‌های گوناگون با قابلیت اتکای بالایی قابل مقایسه گردیده و پژوهشگران با اتکا به تکنولوژی‌های جدید و با ارائه روش‌های نوین با یکدیگر رقابت نمایند.

مراحل حساس پژوهش در قسمت کدنویسی الگوریتم متجلی می‌گردد که با توجه به تابع هدف و توابع محدودیت اقدام به انجام کدنویسی (برنامه‌نویسی) می‌شود. در این مقاله پس از انجام بهینه‌یابی به روش الگوریتم مورچگان، نتایج بدست آمده با برخی تحقیقات پیشین مقایسه خواهد شد؛ بنابراین سوالات زیر برای این پژوهش در نظر گرفته شده است:

- ۱- آیا روش الگوریتم مورچگان نسبت به سایر روش‌ها جواب بهینه‌تری را ارائه می‌دهد؟
- ۲- بهترین فرایند اجرای پروژه که منجر به بهینه شدن رابطه بین عوامل زمان، هزینه، ریسک و کیفیت (به عنوان اجزاء هرم بقاء) بشود، کدام است؟

۳- مبانی نظری

۳-۱- کیفیت

«کیفیت» به عنوان اصطلاحی مبهم در متون مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. کیفیت گاه به معنی فعالیت‌های طراحی شده برای بهبود سازمان و خدمات آن و گاه به معنای دستیابی به استانداردهای از پیش تعیین شده است. کیفیت حد قابل قبول از ویژگی‌های مورد قبول و اثرگذار بر تصمیم خرید مشتریان است که تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر رضایتمندی آنها دارد که خود عامل تعیین کننده در تدام فعالیت بنگاه‌های اقتصادی است (رهنمای رودپشتی، ۱۳۸۷). اگر محصولی انتظارات مشتریان را فراهم نموده و به این ترتیب موجبات رضایت خاطر مشتری را به همراه داشته باشد گفته می‌شود که محصول قابل پذیرش و یا دارای کیفیت بالا است و بالعکس. می‌توان گفت درجه کیفیت محصول یا خدمات، به توانایی پوشش نیازها و خواسته‌های مشتری بستگی دارد. کیفیت را باید بر حسب موضوع و عملکردی تعریف نمود که محصول برای آن تولید می‌گردد. برای یک محصول الکترونیکی، کیفیت شامل نحوه کارکرد آن، میزان ایمنی، قابلیت اعتماد، تعمیرپذیری، شکل ظاهری و راحتی استفاده از آن تعریف می‌گردد و برای یک دارو، مواردی از قبیل خصوصیات شیمیایی و فیزیکی، تاثیر درمانی آن، مزه، نداشتن تاثیرات سوء جانبی و عواقب نامناسب تعریف شده است و برای طرح‌ها و پروژه‌ها سرمایه‌گذاری نیز با توجه به نوع آن می‌بایست اقدام به تعریف کیفیت نمود. البته مشتریان به دنبال دریافت بالاترین کیفیت هستند و اگر بتوانند بهای آن را نیز بپردازند، آنگاه گفته می‌شود که کیفیت مجانی است. ولی همیشه این نظریه صادق نیست، بلکه در اکثر مواقع توازن بین کیفیت و هزینه‌های کیفیت است که به بهینه‌شدن سودآوری بنگاه می‌انجامد (هیلتون و همکاران^۱، ۲۰۰۸).

کیفیت عامل تعیین کننده در تصمیم‌گیری و توجه به آن، موجب می‌گردد تصمیمات اقتصادی باشند و به عبارتی، صرف نظر کردن از کیفیت به عنوان یک سرمایه‌گذاری ارزنده، اقتصادی نیست. کیفیت یک مشخصه مجرد، ابزاری و یا تجملاتی و غیر ضرور در کسب و کار نیست، بلکه یک فرهنگ یا سبک زندگی، پارادایم و رویکردی نوین در قالب تفکرات مدیریتی است. توجه جدی به کیفیت عامل اصلی موفقیت سازمان‌هایی شده که امروزه قدرت بلامنازع اقتصادی در جهان و دارنده سهم بالایی از بازارهای جهانی هستند (رهنمای رودپشتی، ۱۳۸۷).

¹ Hilton et al.

مدیریت کیفیت نیز به سیاست‌های راهبردی، روش‌ها و رویه‌هایی اشاره دارد که اطمینان می‌دهد محصولات یا خدمات در یک سطح کیفی مناسبی که خواسته‌های مشتریان را پوشش می‌دهد تولید می‌شود. کیفیت و مدیریت کیفیت از گذشته‌های دور و از زمان ساختن بناهای باستانی مانند تخته جمشید و اهرام ثلاثه تا زمان کنونی وجود داشته است (کولیر و اوانز^۱، ۲۰۰۹). در این پژوهش میزان رضایتمندی کارفرما و یا میزان مطلوبیت محصولات نهایی و مقدار پوشش خواسته‌ها و نیازهای مشتریان به عنوان شاخص‌های سنجش کیفیت در نظر گرفته شده است.

۲-۳- زمان

در دنیای کسب و کار رقابتی، مدیریت زمان کلید موفقیت است. سازمان‌ها نیاز دارند که زمان چرخه‌های پاسخگویی به مشتریان و زمان توسعه محصولات جدید را کاهش دهند. زمان کمتر یعنی پاسخگویی سریعتر به تغییرات مشتریان و تغییرات شرایط بازار (هیلتون و همکاران، ۲۰۰۸) و یا همان امکان‌سنجی کارایی عملیاتی. توجه به ابعاد سه گانه زمان شامل زمان توسعه خدمات و محصولات جدید، زمان پاسخگویی به مشتریان و زمان تحویل کالا، موجب می‌گردد که فعالیت‌ها دارای اهداف قابل سنجش به زمان باشند و پاسخگویی بهبود یابد و دلایل پایین بودن کیفیت شناسایی و حذف گردد. (رهنمای رودپشتی، ۱۳۸۷). بین زمان پاسخگویی به مشتریان و زمان تحویل کالا به آنها و رضایتمندی مشتریان رابطه تنگاتنگ وجود دارد. منظور از زمان در حل مسائل بهینه‌یابی پروژه‌های سرمایه‌گذاری زمان تحویل به مشتری است که خود در نتیجه زمان انجام هر مرحله از طرح است. زمان بسیار کوتاه ممکن است تاثیر نامطلوب بر کیفیت و حتی بر هزینه گذاشته و زمان طولانی نیز تاثیرات نامطلوبی بر مقدار هزینه داشته و در بسیاری اوقات تاثیر چندانی نیز بر کیفیت ندارد. هر چند که در هر دو حالت و مخصوصاً در وضعیت زمان طولانی، ریسک پروژه نیز افزایش می‌یابد. همچنین زمان در مرحله ارزیابی اولیه طرح یکی از اقلام بسیار مهم در محاسبه ارزش فعلی و سایر شاخص‌های مبتنی بر زمان است و هرگونه تغییر در زمان ممکن است، طرح سرمایه‌گذاری را از اقتصادی بودن خارج سازد. در اجرای مراحل مختلف پروژه‌ها، زمان بر اساس نوبت (شیفت) کاری در نظر گرفته می‌شود. در افتة مورد استفاده در این پژوهش به هر نوبت کار یک روز گفته می‌شود. اگر در یک روز دو نوبت کاری صبح و شب وجود داشته باشد، زمان دو روز در نظر گرفته شده و اگر فقط یک نوبت در صبح وجود داشته باشد، زمان یک روز است؛ یا اگر فقط یک نوبت در شب وجود داشته باشد نیز زمان یک روز است.

۳-۳- بهای تمام شده

بهای تمام شده، در بررسی سنتی به مفهوم قیمت تمام شده است که شاخه حسابداری صنعتی به محاسبه آن به روش‌های مختلف پرداخته و در پارادایم جدید، حسابداری مدیریت عرصه بکارگیری دانش مدیریت هزینه است. بهای تمام شده با کارایی سازمان رابطه مستقیم دارد و از این منظر کارایی به معنای توانایی تبدیل داده‌ها به ستانده با کمترین هزینه است (هیلتون و همکاران، ۲۰۰۸). مدیریت هزینه رویکردی است که تصمیمات برنامه‌ریزی و کنترلی و تعیین استراتژی‌های رقابتی را عینیت می‌بخشد و ایجاد تعادل این مولفه با سایر ابعاد رقابت یعنی کیفیت و زمان مستلزم اعمال مدیریت بر آن است با هدف کمک به حداکثر رساندن سود و ارزش شرکت در حال و آینده (رهنمای رودپشتی، ۱۳۸۷). هزینه پروژه شامل هزینه‌های مستقیم طرح و هزینه‌های غیرمستقیم است. پس از درآمد، هزینه یکی از شاخصه‌های اصلی هر کسب و کاری است و همه سازمان‌ها ضمن حفظ و ارتقای کیفیت، به دنبال کاهش آن هستند تا از این طریق ثروت صاحبان بنگاه‌ها را بهینه و کسب ارزش نمایند. مدیریت هزینه به عنوان سازه اصلی جهت دسترسی به اهداف استراتژیک می‌باشد. هزینه در اثر مصرف منابع ایجاد گردیده و در واقع همان منابع فدا شده برای کسب ارزش است. در این فرایند برای انجام صرفه‌جویی در مصرف منابع و هزینه‌ها می‌بایست کلیه فعالیت‌های که هزینه‌زا هستند ولی ارزشی تولید نمی‌کنند را حذف و فعالیت‌های ارزش‌زا که به نحوی در جای دیگری به صورت موازی انجام می‌شوند بایکدیگر تلفیق شوند. همچنین آن دسته از فعالیت‌هایی که به شکلی برای تکمیل و

¹ Collier and Evans

بهبود سطح کیفی خدمات لازمند به فعالیتهای سازمان افزوده شوند. در این پژوهش منظور از هزینه، مجموع هزینههای مستقیم و غیر مستقیم (سربار) است.

۴-۳- ریسک

ریسک به طور موفقیت آمیزی در تصمیم گیریهای اقتصادی، تامین مالی و علم تصمیم گیری مورد استفاده قرار گرفته است (نگی و وات^۱، ۲۰۰۵). معانی متفاوتی برای ریسک بر حسب دیدگاههای مختلف، تجارب و ویژگیها قابل تصور است. مهندسين، طراحان صنعتی و پیمانکاران به ریسک از نگاه تکنولوژیک و وامدهندگان به ریسک از دریچه اقتصادی و مالی می-نگرند (بالوی و پرایس^۲، ۲۰۰۳). به طور قاطع این اعتقاد وجود دارد که هیچ پروژه‌ای بدون ریسک نیست و به علاوه ریسک پروژه‌های ساخت و ساز از بسیاری از صنایع دیگر بالاتر است (لم و همکاران^۳، ۲۰۰۷). تصمیم‌گیری در خصوص برنامه‌ریزی انجام یک پروژه بدون دخالت دادن تاثیر ریسک در آن به دور از واقعیات دنیای کسب و کار خواهد بود و مدیریت ریسک پروژه در مدیریت کارای انواع مختلف ریسک‌هایی که یک پروژه با آنها مواجه است، تجلی می‌یابد؛ بنابراین مدیریت ریسک یکی از قسمت‌های بسیار حساس و بحرانی مدیریت پروژه است (لیونز و اسکیت‌مور^۴، ۲۰۰۴). در این بین اندازه‌گیری و کمی‌سازی ریسک یکی از مهمترین فرایندهای مدیریت ریسک است که البته موضوع این مقاله نیست. موضوع ریسک در قالب انحراف هر سه عامل زمان، هزینه و کیفیت مورد بررسی قرار گرفته است. در کتاب مجموعه دانستنی‌های مدیریت پروژه که توسط موسسه مدیریت پروژه (پی ام بوک^۵، ۲۰۰۴) منتشر شده، ریسک را وقایع و شرایط مبهم و نامعلومی تعریف کرده است که بر زمان انجام پروژه، بهای تمام شده و کیفیت آن اثر غیر قابل پیش‌بینی مثبت و یا منفی خواهد داشت. ریسک مراحل مختلف یک پروژه به عوامل و منابع زیادی بستگی دارد که شامل ماهیت انجام فعالیت‌ها، استانداردهای کیفیتی، تعداد واحدها و قسمت‌های درگیر در پروژه، میزان برون سپاری، هزینه‌های پروژه، زمان در نظر گرفته شده برای آن و غیره. ریسک پروژه‌های سرمایه‌گذاری بسیار با اهمیت بوده تا آنجایی که در سال ۱۹۸۳، چاپمن و کوپر به عنوان پیشگامان معرفی «مهندسی ریسک» نیاز برای ساختارسازی جهت ریسک‌های گوناگون پروژه و تعریف سیستماتیک آنها را مطرح نمودند. جنادی و المیشاری (۲۰۰۳) تلاش نمودند بر اساس فعالیتهای مختلف پروژه ریسک را ارزیابی کنند و آن را به عنوان تخریب احتمالی که ممکن است در نیروی انسانی یا ساخت و سازها رخ دهد، تعریف کردند. آنها مدل و سپس نرم افزاری برای نمره‌دهی به ریسک بر پایه احتمالات و وقایع تصادفی که ممکن است در مورد هر فعالیتی اتفاق افتد طراحی نمودند. هان و همکاران (۲۰۰۸) ریسک را به عنوان درجه‌ای که متخصصین به صورت ادراکی احساس ریسک می‌کند (همانند آنچه در این مقاله برای محاسبه ریسک استفاده شده است) تعریف کرده‌اند. این روش شامل تشخیص کلی ریسک، مشکلات دریافت اطلاعات و مهارت در مدیریت پیاده‌سازی، میزان زیان‌های غیرمستقیم و بالقوه و رابطه بین سودآوری پروژه و وضعیت‌های ریسکی است. دیکمن و همکاران (۲۰۰۷) برای ارزیابی ریسک یک روش فازی بر پایه میزان تجاوز هزینه از حد مورد انتظار پیشنهاد نمودند. وجه تمایز این روش تاکید محقق بر قابلیت کنترل و مدیریت ریسک است. در اندازه‌گیری ریسک‌های پروژه، استفاده از تکنیک‌های آمار و احتمالات نقش پررنگی دارند. البته از آنجاییکه رویکرد احتمالات در اندازه‌گیری ریسک پروژه‌ها نمی‌تواند به بهینگی در کمی‌سازی ریسک بیانجامد، دانش و تجربه افراد، قضاوت‌های هوشمندانه، قوانین و شگردهای تخمین‌های ذهنی نیز برای تسهیل در ارزیابی ریسک‌ها ساختار بندی شده‌اند (دیکمن و همکاران^۶، ۲۰۰۷). برخی از روش‌های کمی‌سازی ریسک شامل استفاده از روش‌های تخمین ذهنی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، تکنیک‌های فازی، الگوریتم‌های مختلف مانند الگوریتم قیمت‌گذاری ریسک، بهای ریسک، تهدیدها و فرصت‌ها می‌باشد. در این مقاله نیز برای وارد نمودن ریسک به نمونه فنی موجود (جدول

¹ Ngai & Wat

² Baloi & Price

³ Lam et al.

⁴ Lyons & Skitmore

⁵ PMBOK

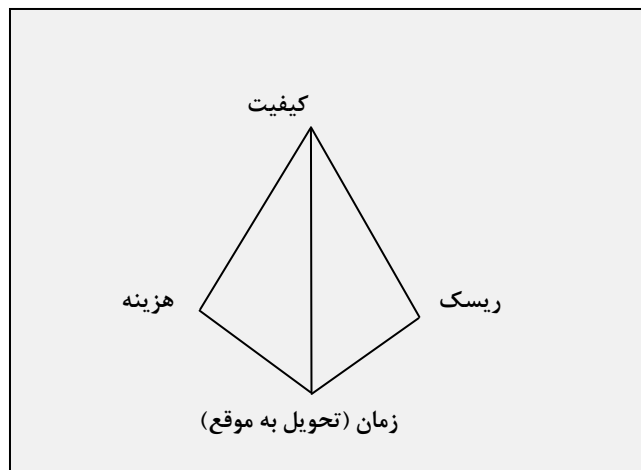
⁶ Dikmen et al.

شماره ۱) و افزایش اعتبار و قابلیت اتکا از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شده است که البته محاسبات آن به جهت خلاصه نمودن مقاله در این متن گنجانده نشده است.

۵-۳- هرم بقاء

در محیط تجاری رو به توسعه امروز که ناشی از جهانی شدن و شالوده کشمکش‌های رقابتی است، بقاء سازمان در گرو توجه به مدیریت ارزش‌آفرین و ایجاد رابطه بهینه میان حد بهینه ارزش و رضایتمندی برای مشتریان و حد بهینه ارزش برای سازمان است. کیفیت و زمان تحویل به همراه بهای تمام شده از عناصر مثلث بقاء هستند که در مدیریت هزینه ارزش‌آفرین به عنوان یکی از رویکردهای اصلی حسابداری مدیریت استراتژیک، مورد توجه خاص بوده (رهنمای رودپشتی، ۱۳۸۷) که با اضافه نمودن ریسک به آنها می‌توان از آنها به نام «هرم بقاء» که در شکل ۱ نشان داده شده است، نام برد. این عوامل مصرف کننده منابع سازمان هستند و در ارزش‌آفرینی سازمان موثرند. عناصر هرم بقاء عوامل اساسی و تعیین کننده در استراتژی‌های کسب موفقیت هستند و ارتباط آنها با هم و تاثیر بر سودآوری و نرخ بازده سرمایه‌گذاری به عنوان شاخص‌های سنجش موفقیت بسیار با اهمیت است.

به عقیده هیلتون و همکاران (۲۰۰۸) کیفیت بالا رابطه مستقیم با بهروری بالا داشته و خود در نتیجه چرخه زمانی کوتاهتر و درون‌داد^۱ بالاتر است. آنها ترکیب کیفیت، زمان، بهروری و ظرفیت را همان مدیریت تولید درست به هنگام می‌دانند. کیفیت از منظر عملیاتی موجب افزایش قابلیت کارکردی و ساختاری در کالاها و خدمات می‌شود و فعالیت‌هایی که در راستای این اقدامات رخ می‌دهد مصرف کننده منابع سازمانی هستند.



شکل ۱: هرم بقاء

باید دانست که افراد برای سطح معینی از کیفیت و زمان (کارکرد)، حاضر به پرداخت قیمتی بیشتر نیستند. بعلاوه اینکه مشتریان به طور معمول انتظار دارند که محصولات جدید بدون اینکه مشمول اضافه هزینه شوند، کیفیت و قابلیت کارکرد بالاتری داشته باشند. همچنین بهینه‌سازی بین زمان (کارکرد)، هزینه و کیفیت به عنوان اجزای مثلث بقاء را می‌توان ابزاری برای مهندسی ارزش در نظر گرفت. مطابق با تعریف انجمن مهندسی ارزش آمریکا، مهندسی ارزش روشی سیستماتیک با تکنیک‌های مشخص است که کارکرد محصول یا خدمات را شناسایی و برای آن کارکرد، ارزش مالی ایجاد می‌کند به نحوی که آن کارکرد در کمترین هزینه با حفظ قابلیت اطمینان و کیفیت مورد نظر انجام گیرد. در مهندسی ارزش صرفاً هدف کاهش

^۱ - Throughput

هزینه نیست بلکه هدفی جامع‌تر، یعنی افزایش «ارزش» پیگیری می‌شود. به هر حال بهینه‌سازی، اختصاص منابع و یکسان‌سازی داده‌های مورد نیاز به منظور دستیابی به اهداف از پیش تعیین شده پروژه می‌باشد. از طرف دیگر بنگاه‌های اقتصادی در محیط رقابتی سه استراتژی را به طور معمول برای رقابت استفاده می‌نمایند. استراتژی اول، پیشگامی هزینه که هدف آن ارائه محصول با قیمت، کارکرد و بهای تمام شده پایین‌تر است. تمایز محصول استراتژی دوم است. مراحل این استراتژی شامل برآورده نمودن الزامات مشتریان به بهترین وجه، عرضه محصولاتی با کارکردهای بیشتر و قیمت‌های بالاتر و ارائه خدمات منحصر به فرد است. استراتژی تمرکز بر یک بازار و یا مزیت رقابتی خاص، استراتژی سوم است. به دلیل تغییرات شرایط اقتصادی و جهانی شدن بازارها دیگر استراتژی پیشگامی هزینه و تمایز محصول جوابگوی شرایط موجود نیست و محیط اقتصادی جدید، شرکت‌ها را ملزم می‌نماید که از استراتژی تقابل^۱ بهره‌گیرند که در آن بنگاه‌های اقتصادی بر اساس قاعده مثلث بقاء رقابت می‌کنند و تلاش می‌کند تا محصول خود را با کیفیت و کارکرد بالا و قیمت تمام شده پایین به مشتریان عرضه نمایند. (رهنمای رودپشتی، جلیلی، ۱۳۸۸)

۴- پیشینه موضوعی تحقیق

در چند دهه اخیر روش‌های مختلفی جهت بهینه‌سازی توأم زمان، هزینه و کیفیت ساخت در پروژه‌های عمرانی ارائه شده است. با توجه به اینکه در نظر گرفتن کیفیت به عنوان معیار بهینه‌سازی در انتخاب روش‌های اجرای پروژه اخیراً مورد توجه جدی قرار گرفته است، بیشتر تحقیقات علمی پیرامون موضوع بهینه‌سازی توأم زمان و هزینه اجرا اختصاص یافته است. روش‌های ارائه شده در پژوهش‌های مربوط به بهینه‌سازی زمان، هزینه و کیفیت اجرای پروژه‌ها را می‌توان به طور کلی به سه دسته کاوشی، ریاضی و فراکاوشی تقسیم بندی نمود. از جمله روش‌های کاوشی می‌توان به روش‌های ارائه شده توسط فوندال، پراگر و زیمنس اشاره کرد. همچنین 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. موفقیت روش‌های کاوشی در رسیدن به جواب، عموماً به نوع مساله وابسته بوده و دستیابی به جواب بهینه را تضمین نمی‌کنند. اگر چه 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 می‌دهند؛ بنابراین با افزایش ابعاد و نیز پیچیده‌تر شدن مسایل، امکان حل آنها با روش‌های ریاضی بهینه‌سازی وجود نخواهد داشت (جعفرنژاد، ۱۳۸۹).

تحقیقات مختلفی در مورد بهینه‌سازی بین زمان و هزینه و یا زمان، هزینه و کیفیت انجام شده است. تحقیقات اولیه که منجر به ارائه یک مبنای فنی استاندارد (جدول شماره ۱) برای سایر پژوهشگران گردید، توسط فنگ و همکاران^۲ (۱۹۹۷) و بورنز و همکاران^۳ (۱۹۹۶) صرفاً برای بهینه‌یابی دو عامل زمان و هزینه انجام شده بود. مقدار تابع هدف بورنز و همکاران ۰.۶۵۶۳ به دست آمد که در آن عملیات اجرایی در طی ۷۸ روز کاری و هزینه ۱۸۵،۵۰۰ دلار بود. آنها در پژوهش خود از روش ترکیبی LP/IP استفاده کرده‌اند. تحقیق دیگر برای بهینه‌یابی دو عاملی زمان و هزینه توسط ژنگ و همکاران^۴ (۲۰۰۴) انجام شد که مقدار تابع هدف ۰.۵۰۱۰ به دست آمد که در آن عملیات اجرایی در طی ۶۶ روز کاری و هزینه ۲۳۶۵۰۰ دلار بود. ژنگ و همکاران در حل مسئله خود از روش الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌یابی دو عامل زمان و هزینه استفاده نموده بودند. در سال ۲۰۰۸ ژبونگ و کوانگ^۵ با روش الگوریتم جامعه مورچگان به حل مسئله بهینه‌سازی دو عامل زمان و هزینه پرداختند. آنها به تابع هدف کمتری دست یافتند. مقدار تابع هدف زیونگ و کوانگ ۰.۳۴۵۷ به دست آمد که در آن عملیات اجرایی در طی ۶۰ روز کاری و هزینه ۲۳۳۵۰۰ دلار بود.

^۱ - Confrontation

^۲ Feng et. al.

^۳ Burns et al

^۴ Zheng et al.

^۵ Xiong and Kuang

افشار و همکاران (۲۰۰۷) با به کارگیری نوعی الگوریتم جامعه مورچگان اقدام به محاسبه سه عاملی زمان، هزینه و کیفیت در راهکارهای مختلف نمودند. البته در مقاله پژوهشی ایشان مقدار تابع مورد محاسبه و ارائه قرار نگرفته است. تحقیق دیگر توسط اشتهدریان و همکاران (۱۳۸۷) بر روی سه عامل زمان، هزینه و کیفیت به روش «الگوریتم نخبه‌گرای ژنتیک» انجام شده است. همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، ایشان میزان تابع هدف را یک، برای روش‌هایی که طی ۶۰ روز و با هزینه ۱۶۵،۵۰۰ دلار و میزان کیفیت ۹۷ درصد انجام می‌گردند، به دست آوردند و به دنبال آنها جعفرنژاد و همکاران (۱۳۸۹) بهینه‌سازی بر روی سه عامل زمان، هزینه و کیفیت را به روش «الگوریتم جستجوی مستقیم شبکه تطبیقی» انجام داده که به نتیجه بهینه‌تری دست یافتند. میزان تابع هدف آنها ۰.۸۸ برای روش‌هایی که طی ۶۰ روز و با هزینه ۱۴۳،۵۰۰ دلار و میزان کیفیت ۹۱ درصد انجام می‌گردند، به دست آمد.

در سال ۲۰۱۰ تحقیقی توسط ایچ رفات و همکاران برای بهینه‌یابی بین سه عامل مثلث بقاء برای یک پروژه ساخت و ساز با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک با تابع هدف چندگانه انجام گردید. هدف آنها از انجام این تحقیق کمک به برنامه‌ریزی اجرای پروژه با هدف حداقل‌سازی هزینه و زمان و به طور همزمان حداکثرسازی کیفیت بود که نتیجه این پژوهش ارائه مدل و نرم-افزاری برای انجام بهینه‌سازی بود. از آنجاییکه فرایند بهینه‌سازی بی‌انتهای و فضای بهبود بسیار وسیع و لامتناهی است، پژوهش‌هایی که برای یافتن راه‌حل‌های بهینه‌تر انجام می‌گردد، همواره در جریان است.

جدول ۱: داده‌های نمونه فنی (پروژه عمرانی) مورد بررسی

شرح فعالیت	شماره فعالیت	پیش نیازها	گزینه اجرا	زمان (روز)	هزینه مستقیم (دلار)	درصد تاثیر	کیفیت	ریسک
			۱	۱۴	۲۳۰۰۰۰		۹۸	۰.۴۵
تجهیز کارگاه	۱	-	۲	۲۰	۱۸۰۰۰۰	۸	۸۹	۰.۳۰
			۳	۲۴	۱۲۰۰۰۰		۸۴	۰.۲۵
			۱	۱۵	۳۰۰۰۰		۹۹	۰.۲۵
			۲	۱۸	۲۰۴۰۰		۹۵	۰.۲۰
خاکبرداری	۲	۱	۳	۲۰	۱۰۸۰۰	۶	۸۵	۰.۲۳
			۴	۲۳	۱۰۵۰۰		۷۰	۰.۲۲
			۵	۲۵	۱۰۰۰۰		۵۹	۰.۱۰
			۱	۱۵	۴۰۵۰۰		۹۸	۰.۰۶
قالب بندی و آرماتورگذاری	۳	۱	۲	۲۲	۴۰۰۰۰	۱۴	۸۱	۰.۲۵
			۳	۳۳	۳۰۲۰۰		۶۳	۰.۱۵
			۱	۱۲	۴۵۰۰۰۰		۹۴	۰.۴۵
بتن ریزی	۴	۱				۱۹		
			۲	۱۶	۳۵۰۰۰۰		۷۶	۰.۳۰

۰.۲۵	۶۴		۳۰,۰۰۰	۲۰	۳			
۰.۳۰	۹۹		۲۰,۰۰۰	۲۲	۱			
۰.۲۸	۸۹		۱۷,۵۰۰	۲۴	۲			تهیه فونداسیون و قراردادن شمع- ها
۰.۲۲	۷۲	۱۷	۱۵,۰۰۰	۲۸	۳	۳ و ۲	۵	
۰.۲۰	۶۱		۱۰,۰۰۰	۳۰	۴			
۰.۴۳	۱۰۰		۴۰,۰۰۰	۱۴	۱			
۰.۳۰	۷۹	۱۹	۳۲,۰۰۰	۱۸	۲	۴	۶	قرارگیری شاه تیرها
۰.۲۷	۶۸		۱۸,۰۰۰	۲۴	۳			
۰.۴۴	۹۳		۳۰,۰۰۰	۹	۱			
۰.۳۱	۷۱	۱۷	۲۴,۰۰۰	۱۵	۲	۶ و ۵	۷	تنظیم شاه تیرها
۰.۲۵	۶۷		۲۲,۰۰۰	۱۸	۳			

گونه‌ای دیگر از تحقیقات با مرکزیت و یا توجه به موضوع ریسک در پروژه‌ها انجام شد. باچارینی و آرچر (۲۰۰۱) متدولوژی‌ای برای رتبه‌بندی پروژه‌ها حسب ریسک معرفی کردند که توسط اداره پیمانکاری و مدیریت خدمات استرالیا نیز پذیرفته شد. در این روش نمره ریسک با در نظر گرفتن بهای تمام شده پروژه، زمان و کیفیت محاسبه می‌گردد. این روش تبعات، اهداف و ویژگی‌های مختلف پروژه‌ها را در نظر گرفته و با یک رویکرد پیچیده، تاثیرات ریسک بر روی بهای تمام شده، زمان و کیفیت پروژه را محاسبه و سپس از آنها برای نمره‌گذاری پروژه‌ها استفاده می‌کند. در سال ۲۰۱۱ تحقیق دیگری برای بهینه‌یابی سه عامل زمان، هزینه و ریسک توسط لاکشمینارایانان و همکاران^۱ (۲۰۱۱) با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان انجام شد. در این تحقیق نیز بدون محاسبه تابع هدف راه حل‌های بهینه ارائه شده است. البته به نظر می‌رسد که مقادیری که در این پژوهش به عنوان ریسک برای راه کارهای مختلف ارائه شده است، از انسجام کافی برخوردار نباشد زیرا فاصله بین مقادیر ریسک روش-های مختلف اجرای یک مرحله دارای تفاوت زیادی با همدیگر هستند و بنابراین نیاز به اصلاحاتی در مقادیر استاندارد وجود دارد.

پژوهش حاضر ضمن نوآوری، در راستای سایر تحقیقات و برای تکمیل نمود آنها، با هدف بهینه‌یابی زمان، هزینه، کیفیت و ریسک با استفاده از روش الگوریتم جامعه مورچگان انجام شده است. نمونه فنی (جدول شماره ۱) به کار رفته در این تحقیق و نتایج حاصله سیر جدیدی از تحقیقات در این زمینه را ه خواهد انداخت.

^۱ Lakshminarayanan

۵- روش تحلیل داده‌ها

در پروژه‌های ساخت معمولاً برای هر فعالیت، تعدادی گزینه و یا روش اجرایی وجود دارد که هر یک از آنها را می‌توان برای انجام آن فعالیت برگزید. به عنوان مثال برای حفر محل یک پی می‌توان از بیل مکانیکی و یا کارگر استفاده نمود. این کار می‌تواند در دوره کاری روز (شیفت روز) و یا در دوره اضافه کاری (شیفت شب) انجام شود. بدون تردید هر یک از این روش‌های اجرا به عنوان یک راه حل برای انجام فعالیت مدت زمان، هزینه، کیفیت و ریسک خاصی را خواهند داشت. در تولید بسیاری از محصولات دیگر نیز وضعیت‌های مشابهی وجود دارد. به عنوان نمونه در تولید یک خودرو می‌توان از قطعات متفاوتی که هر یک کیفیت و در نتیجه بهای متفاوتی دارند استفاده نمود و روش‌های تولید متفاوت نیز ضمن تفاوت در کیفیت محصول، دارای زمان متفاوتی نیز برای تحویل هستند. به هر حال در یک مسئله بهینه‌سازی با موازنه زمان، هزینه، کیفیت و ریسک، روش‌های اجرایی مناسب برای انجام مجموعه فعالیت‌های یک پروژه از ابتدا تا انتها باید به گونه‌ای انتخاب شود که یک تابع هدف تعریف شده مرکب از عوامل زمان، هزینه، کیفیت و ریسک کل اجرای پروژه کمینه گردد. در این پژوهش برای حل مسئله از الگوریتم جامعه مورچه‌ها استفاده شده است.

الگوریتم‌های جامعه مورچه‌ها- این الگوریتم از رفتار اجتماعی مورچگان الهام گرفته شده است. مورچه‌های کارگر برای یافتن غذا کوتاهترین مسیر را طی می‌کنند به این ترتیب که ابتدا مسیریایی را به صورت تصادفی طی کرده و در آنها اثری از خود به نام «فرمون» بر روی زمین به جا می‌گذارند که البته این ماده در مجاورت هوا پس از مدتی تبخیر می‌گردد. مسیری که کوتاهتر باشد و سرعت رفت و برگشت مورچه‌ها در آن بیشتر باشد دارای فرمون بیشتری بوده و در سایر مسیرهای غیر بهینه، فرمون تبخیر شده و مورچه‌ها از آن مسیر استفاده نمی‌کنند. پس از مدتی تنها کوتاهترین مسیر حرکت که دارای بیشترین فرمون است مورد استفاده قرار گرفته و سایر مسیرها رها می‌گردند. همین ویژگی الهام بخش طراحی این نوع الگوریتم‌ها شده است. الگوریتم‌های تکامل یافته گوناگونی بر پایه روش بهینه‌سازی جامعه مورچه‌ها (ACO) بنا نهاده شده است که تفاوت اساسی آنها در استفاده از اطلاعات کسب شده برای هدایت روند جستجوی الگوریتم یا به عبارت دیگر فرمون‌ریزی و به روز کردن فرمون مسیرها می‌باشد. در این بخش نحوه عملکرد الگوریتم پایه‌ای AS و الگوریتم MMAS که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است، توضیح داده خواهد شد.

سیستم مورچه‌ها (AS) - این سیستم ابتدایی‌ترین و ساده‌ترین الگوریتم ACO می‌باشد که در سال ۱۹۹۱ توسط دوریگو، مانیزو و کولرنی پیشنهاد گردید. سیاست تصمیم‌گیری استفاده شده در AS به صورت رابطه ۱ می‌باشد:

$$\rho_{ij}(k,t) = \frac{[\tau_{i,j}(k,t)]^\alpha [\eta_{i,j}(k,t)]^\beta}{\sum_{j=1}^J [\tau_{i,j}(k,t)]^\alpha [\eta_{i,j}(k,t)]^\beta} \quad (1)$$

که در آن $\rho_{ij}(k,t)$ نمایشگر احتمال انتخاب گزینه تصمیم‌زواقع در نقطه تصمیم i توسط مورچه k ، در تکرار t ام می‌باشد. $\tau_{i,j}(k,t)$ نیز گویای مقدار فرمون جایگذاری شده بر روی گزینه تصمیم (i,j) در تکرار t ام است. $\eta_{i,j}$ نمایشگر مقدار کاوشی^۱ است که تابعی از هزینه انتخاب گزینه تصمیم j واقع در نقطه تصمیم i است. مقدار کاوشی $\eta_{i,j}$ در بعضی مواقع میدان دید مورچه‌ها نیز نامیده می‌شود (دوریگو^۲، ۱۹۹۲)

¹ -Heuristic Information

² Dorigo

نحوه تعیین مقدار کاوشی در مسیرها، بستگی به نوع مسئله دارد. به عنوان مثال برای مسئله فروشنده دوره گرد (TSP) می-تواند به صورت $\eta_{i,j} = 1/d_{i,j}$ تعریف شود، که در آن $d_{i,j}$ وزن مسیر i, j یا به عبارت ساده تر فاصله بین شهر i تا شهر j است. از این رابطه مشاهده می شود که هر چه هزینه انتخاب مسیر i, j بیشتر باشد احتمال انتخاب آن کمتر است. در این مسئله مشاهده می گردد که مقادیر کاوشی یک بار در ابتدای محاسبات محاسبه شده، سپس در طول حل مسئله ثابت می ماند، در حالیکه در برخی مسائل دیگر ممکن است این مقادیر به صورت پویا تغییر کنند. همچنین ممکن است در مسائلی تعداد شاخه های گراف به حدی زیاد باشد که استفاده از اطلاعات کاوشی نه تنها بهبودی در کیفیت جواب حاصل نکند، بلکه باعث انحراف از جواب های بهینه تر و ایجاد جواب های با کیفیت کمتر شود. همچنین ممکن است در مسائلی به دلیل عدم وجود تعریف مشخصی جهت مقدار کاوشی، امکان استفاده از مقادیر کاوشی وجود نداشته باشد. در این حالت تصمیم گیری با توجه به رابطه ساده شده ۲ انجام می گیرد (دوریگو، ۱۹۹۲):

$$P_{i,j} = \frac{\tau_{i,j}^\alpha}{\sum \tau_{i,j}^\alpha}$$

α و β پارامترهایی هستند که نسبت وزنی بین فرمون و مقدار کاوشی را کنترل می نمایند. هر کدام از مورچه ها با در نظر گرفتن قانون تصمیم گیری فوق، از هر نقطه تصمیم یک گزینه تصمیم را به طور تصادفی انتخاب می کنند. اگر $\beta < \alpha$ باشد، تصمیم گیری الگوریتم بیشتر بر اساس اطلاعات آموخته شده که به وسیله فرمون انتقال داده می شود، صورت می پذیرد. اگر $\beta < \alpha$ باشد الگوریتم به انتخاب گزینه های تصمیمی که کمترین هزینه را موجب می گردند، بدون آنکه اثر فرمون را در نظر بگیرد، تمایل بیشتری نشان می دهد. در الگوریتم ACO فرمون ها، کانال ارتباطی بین مورچه ها است که نقش مهمی را در استفاده از هوش جمعی جامعه مورچه ها ایفا می کند. معادله روزآمد کردن فرمون در هر گزینه تصمیم $L_{i,j}(t)$ به صورت رابطه ۳ است:

$$\tau_{i,j}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{i,j}(t) + \Delta\tau_{i,j}(t) \quad (3)$$

$\tau_{i,j}(t+1)$ مقدار فرمون ریخته شده در گزینه j از نقطه تصمیم i در تکرار $t+1$ است. نیز مقدار فرمون موجود در گزینه $L_{i,j}(t)$ در تکرار t می باشد. پارامتر ρ نیز ضریب تبخیر فرمون است که مقدار آن در بازه صفر تا یک تغییر می کند. اگر مقدار ρ صفر باشد، هیچ مقداری از فرمون ها در ما بین دو تکرار از بین نمی رود و روند همگرایی الگوریتم کاهش می یابد. اگر مقدار ρ یک باشد تمام فرمون ایجاد شده در طی تکرارهای قبل از بین رفته، اثر انباشتگی فرمون ها در طی تکرارهای گذشته کنار گذاشته شده، جواب بهینه ای حاصل نمی شود. همچنین $\Delta\tau_{i,j}(t)$ برابر با تغییرات فرمون در گزینه تصمیم $L_{i,j}$ در تکرار t است. تابعی از جواب های پیدا شده در تکرار t می باشد که به صورت رابطه ۴ بیان می گردد (دوریگو، ۱۹۹۲):

$$\Delta\tau_{i,j}(t) = \sum_{k=1}^m \frac{Q}{f(s_k(t))} I_{S_k(t)} \{(i,j)\} \quad \text{در معادله فوق } m \text{ برابر با تعداد مورچه ها (اجزای جامعه ACO) یا}$$

تعداد جواب های تولید شده در هر تکرار می باشد. Q مقدار ثابتی است که وابسته به مقدار فرمون است و ضریب بازگشت فرمون نامیده می شود. $S_k(t)$ مجموعه گزینه های تصمیم انتخاب شده به وسیله مورچه k ام در تکرار t ، یا به عبارتی مسیر انتخابی مورچه k ام می باشد. $f(0)$ تابع هدف و $IA\{a\}$ ضریبی است که اگر $a \in A$ باشد (اگر مسیر a مسیری موجود و

شدنی از گراف A باشد) برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر می‌باشد. در این صورت فقط مورچه‌هایی که در هر تکرار از گزینه‌های تصمیم مورد نظر عبور کرده‌اند می‌توانند به آنها فرمون اضافه نمایند. با توجه به رابطه ۴ می‌توان دریافت که مسیرهایی که تابع هدف کمتری دارند، مقدار فرمون گذاری در آنها بیشتر خواهد شد و مسیرهایی که تابع هدف بیشتری دارند مقدار فرمون گذاری در آنها کمتر می‌شود. در نتیجه بر اساس رابطه ۴ مسیرهایی مناسب‌تر در تکرارهای بعدی احتمال انتخاب بیشتری می‌یابند و این روند به جستجوی جواب بهینه در تکرارهای بعدی کمک می‌کند. ضمناً در مسائلی که بیشینه‌سازی هزینه (تابع هدف) مدنظر است، رابطه ۴ معکوس می‌گردد (دوریگو، ۱۹۹۲)

سیستم مورچه‌های کمینه و بیشینه (MMAS) ۱ - این الگوریتم توسط استادزل و هوس در سال‌های ۱۹۹۷ و ۲۰۰۰، ارائه گردید. این الگوریتم بر پایه AS می‌باشد، اما چهار تفاوت مهم نسبت به آن دارد.

الف) در این الگوریتم، همچون سایر الگوریتم‌ها بهترین مسیر طی شده از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. این بهترین مسیر می‌تواند مسیر طی شده توسط نخبه‌ترین مورچه هر تکرار، یعنی مورچه‌ای که بهترین مسیر را در آن تکرار ایجاد می‌کند شکل گیرد و یا مسیر طی شده به وسیله نخبه‌ترین مورچه تا آن تکرار باشد. به هر حال در این الگوریتم تنها بهترین مسیر طی شده فرمون‌ریزی و روزآمد می‌شود. روزآمد کردن فرمون در الگوریتم MMAS با استفاده از رابطه ۵ صورت می‌گیرد:

$$\tau_{i,j}(t+1) = (1-\rho) \cdot \tau_{i,j}(t) + \Delta \tau_{i,j}^{best}(t) \quad (5)$$

در تعیین $\Delta \tau_{i,j}^{best}$ باید توجه داشت که اگر به روز کردن فرمون با توجه به بهترین مسیر طی شده توسط مورچه‌ها تا آن تکرار انجام شود، جستجو با سرعت بسیار زیادی به سمت این مسیر متمرکز می‌شود. لذا امکان کاوش بیشتر در سایر فضای جستجو به منظور یافتن جواب‌های بهینه‌تر فراهم نمی‌گردد. در حالیکه اگر از بهترین مسیر طی شده در هر تکرار $(S_{ib}(t))$ برای روزآمد کردن فرمون استفاده شود، با توجه به اینکه ممکن است بهترین مسیره‌ها در تکرارهای مختلف متفاوت باشند، لذا مسیره‌های بیشتری فرمون دریافت می‌کنند و در نتیجه فرآیند همگرایی کندتر می‌شود و امکان کاوش مناسب‌تری در عرصه فضای جستجو برقرار خواهد شد (استوتزل و هوس^۲، ۲۰۰۰).

ب) متأسفانه ویژگی الف باعث ایجاد رکود در فرآیند جستجو می‌گردد. چرا که با توجه به رشد شدید فرمون در بهترین مسیر فعلی (که ممکن است در واقع یک مسیر بهینه موضعی باشد) تمامی مورچه‌ها به سمت این مسیر سوق پیدا می‌کنند. برای از بین بردن این اثر، تغییر دومی در الگوریتم MMAS ایجاد شده است که همان محدود کردن میزان فرمون روی هر مسیر، در بازه $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ است. به این صورت که در انتهای هر تکرار مقدار فرمون مسیره‌ها پس از انجام فرمون‌ریزی کنترل می‌گردد تا از محدوده $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ فراتر نرفته باشد و در صورت تجاوز از این محدوده مقدار فرمون به مقادیر حدی τ_{max} و τ_{min} محدود می‌شود. به این ترتیب، مسیره‌های بهینه موضعی که در تکرارهای آغازین انتخاب شده‌اند مورد توجه بیش از حد قرار نمی‌گیرند و جواب‌های بهتری که در تکرارهای بعدی انتخاب می‌شوند اجازه ظهور پیدا می‌کنند. به عبارت دیگر محدود کردن مقدار فرمون روی مسیره‌ها، باعث محدود کردن حداکثر و حداقل انتخاب آنها می‌گردد. در نتیجه تمامی گزینه‌های تصمیم، احتمال انتخاب پیدا می‌کنند و به این ترتیب پهنه گسترده‌تری از فضای جستجو توسط مورچه‌ها درنوردیده می‌شود (استوتزل و هوس^۲، ۲۰۰۰). مقدار فرمون حداکثر در تکرار t توسط رابطه ۶ بدست می‌آید:

$$\tau_{max}(t) = \frac{1}{1-\rho} \frac{Q}{f(s^{gb}(t))}$$

^۱ - Minimum-Maximum Ants System (MMAS)

^۲ Stutzle and Hoos

در معادله فوق $f^{(sgb)}(t)$ مقدار تابع هدف در بهترین مسیر تا تکرار مورد نظر، ρ ضریب تبخیر و Q پارامتری ثابت است. مقدار فرمون حداقل در تکرار t نیز توسط رابطه γ تعیین می‌شود:

$$\tau_{\min}(t) = \frac{\tau_{\max}(t)(1 - \sqrt[n]{P_{best}})}{(NO_{avg} - 1)\sqrt[n]{P_{best}}}$$

P_{best} احتمال انتخاب دوباره مسیر برتر توسط مورچه‌هاست و ضریبی است که هر چه کوچکتر باشد مرزهای فرمون‌ریزی و

به تبع آن احتمال انتخاب گزینه‌های تصمیم به هم نزدیکتر می‌گردد و همگرایی دیرتر صورت می‌پذیرد. NO_{avg} میانگین تعداد گزینه‌های تصمیم در نقاط تصمیم می‌باشد (استوتزل و هوس، ۲۰۰۰). باید توجه داشت که مقادیر $\tau_{\min}(t)$ و $\tau_{\max}(t)$ مقادیر ثابتی نیستند، زیرا هر زمانی که مسیر (جواب) مطلوب‌تری در تکرارهای جدید ایجاد شود، مقدار $\tau_{\max}(t)$ و به تبع آن مقدار $\tau_{\min}(t)$ تغییر خواهد نمود. نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط استادزل (۱۹۹۹) نشان داد که در فرآیند جلوگیری از رکود الگوریتم، بیشتر فرمون حداقل ($\tau_{\min}(t)$) نقش ایفا می‌کند.

ج) در این روش میزان فرمون اولیه (τ_0) ریخته شده در مسیرها، برابر با حد بالایی فرمون ($\tau_{\max}(t)$) فرض می‌گردد. البته به همراه آن یک ضریب تبخیر کوچک نیز لحاظ می‌شود. این کار باعث حاکم شدن یک شرایط کاملاً کاوشی بر فرآیند جستجو می‌گردد. چرا که با توجه به مقدار فرمون حداکثر موجود در مسیرها و کوچک بودن ضریب تبخیر (روند کند تبخیر در مسیرها) همگرایی سریع به سمت یک مسیر (جواب) بهینه موضعی، در تکرارهای اولیه صورت نمی‌گیرد و امکان جستجوی کافی در کل فضای جستجو فراهم می‌شود (استوتزل و هوس، ۲۰۰۰).

د) یکی دیگر از ویژگی‌های الگوریتم MMAS فرمون‌ریزی اولیه مجدد در مواقع زیر است:

۱- هنگامی که فرآیند جستجو با رکود مواجه می‌شود.

۲- وقتی که پس از گذشت تعداد تکرار معین، هیچ بهبودی در جواب‌های بهینه رخ نمی‌دهد.

در واقع در این حالت با فرمون‌ریزی اولیه مجدد، شکی بر الگوریتم وارد می‌گردد و باعث می‌شود الگوریتم روند جستجوی پویای خود را در پی گیرد.

لازم به ذکر است الگوریتم MMAS از همان قانون تصمیم‌گیری الگوریتم AS پیروی می‌کند. در این پژوهش تابع هدف بر اساس رابطه ۸ بیان می‌گردد:

$$F(x) = \frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} + \frac{C - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}} + \frac{R - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} + \frac{Q_{\max} - Q}{Q_{\max} - Q_{\min}}$$

که در این رابطه T, C, R و Q به ترتیب زمان، هزینه، ریسک و کیفیت کل اجرای پروژه برای یک راه حل یا روش اجرای آن

است که بر اساس برنامه اجرایی مربوط به آن روش اجرا می‌گردد. جزء اول مدت زمان، جزء دوم هزینه، جزء سوم ریسک و جزء چهارم کیفیت اجرا را برای محاسبه مقدار تابع هدف برای هر پاسخ در بر دارد. از آنجاییکه که واحد اندازه‌گیری اجزاء هر م بقاء یکسان نیستند، بر اساس رابطه ۸ مقدار آنها بین صفر و یک قرار گرفته و بی‌مقیاس می‌گردند تا قابل مقایسه و یا قابل جمع با یکدیگر شوند. در مسئله فنی این پژوهش کمترین زمان (Tmin) و بیشترین زمان (Tmax) به ترتیب برابر با ۶۰ و ۱۰۵ روز، کمترین هزینه (Cmin) و بیشترین هزینه (Cmax) به ترتیب برابر با ۹۶،۲۰۰ دلار و ۱۶۵،۵۰۰ دلار و کمترین ریسک (Rmin) و بیشترین ریسک (Rmax) به ترتیب برابر با ۰.۲۲۲ و ۰.۴۳۸ و سرانجام کمترین کیفیت (Qmin) و بیشترین کیفیت (Qmax) برابر با ۶۵.۹۲ و ۹۷ می‌باشد.

۶- اجرا و تحلیل داده‌ها

الگوریتم مورد استفاده برای این پژوهش تاکنون در کشور نوشته نشده بود و برای اولین بار توسط پژوهشگران این مقاله، توسط نرم افزار متلب در بیش از هزار خط برنامه کدگذاری گردید. داده های ورودی به برنامه برگرفته از نمونه فنی جدول شماره ۱ بوده و پس از اجرای برنامه، نتایج آن در جدول ۲ و ۳ قابل مشاهده است. در جدول شماره ۲ بهینه سازی مثلث بقاء با استفاده از روش الگوریتم مورچگان MMAS با سایر روش ها مورد مقایسه قرار گرفته و همانطور که قابل مشاهده است نتایج این روش با بهترین نتیجه سایر روش ها همخوانی داشته که خود نشان دهنده و تأکیدی است به قدرت روش الگوریتم مورچگان. گزینه های اجرای بهینه در حالتی که مثلث بقاء مورد نظر باشد ۱، ۱، ۱، ۱، ۱، ۱، ۳، ۱ است که در این وضعیت عملیات طی ۶۰ روز با هزینه ۱۴۳،۵۰۰ دلار و در سطح کیفیت ۹۰.۹۲ به انجام رسیده و تابع هدف نیز ۰.۸۷۸۲ به دست آمده است.

جدول ۲- مقایسه بهینه یابی زمان، هزینه، کیفیت

نوع مدل	ارائه دهنده	مقدار تابع هدف	زمان کل (روز)	هزینه کل (دلار)	کیفیت کل (درصد)	گزینه های اجرای هر فعالیت							
						۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	
زمان، هزینه، کیفیت	جعفرنژاد و همکاران	۰.۸۸	۶۰	۱۴۳۵۰۰	۹۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۱
زمان، هزینه، کیفیت	اشتهاردیان و همکاران	۱	۶۰	۱۶۵۵۰۰	*۹۷	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
زمان، هزینه، کیفیت*	پژوهش حاضر	۰.۸۷۸۲	*۶۰	۱۴۳۵۰۰	۹۰.۹۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۱
زمان، هزینه، کیفیت	پژوهش حاضر	۰.۸۹۷۱	۷۰	۱۳۲۵۰۰	۹۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۱
زمان، هزینه، کیفیت	پژوهش حاضر	۰.۹۰۴۴	۷۳	۱۲۱۹۰۰	۸۶	۱	۲	۱	۲	۱	۳	۳	۱
زمان، هزینه، کیفیت	پژوهش حاضر	۱.۰۲۲۹	۷۶	۱۱۷۵۰۰	۸۲	۱	۱	۱	۲	۳	۳	۳	۱
زمان، هزینه، کیفیت	پژوهش حاضر	۱.۰۶۹۱	۶۷	۱۲۷۴۰۰	۸۲.۶	۱	۲	۲	۳	۱	۳	۳	۱

مقادیری که با * مشخص شده اند در وضعیت بهینه خود هستند.

بنابراین در پاسخ به سؤال اول که پرسیده آیا روش الگوریتم مورچگان نسبت به سایر روش ها جواب بهینه تری را ارائه می دهد یا خیر، با توجه به نتایج به دست آمده باید گفت که جواب ها و راه حل های این روش در حد بهترین جواب دقیق ترین روش ها است. همچنین این الگوریتم این امکان را دارد تا حسابدار مدیریت با ثابت نگهداشتن مقدار یک قلم، بهینه سازی را بین سایر اجزا انجام دهد. به عنوان نمونه کیفیت مورد انتظار را در یک مقدار حداقل تعریف و بهینه سازی را بین سایر اجزا انجام داده و از این طریق اقدام به برنامه ریزی برای انتخاب نوع و ویژگی های محصولات و خدمات نمایند. در جدول شماره ۳ بهینه ترین روش اجرای عملیات بر اساس هرم بقاء (زمان، هزینه، کیفیت و ریسک) به همراه چند راه حل غیر بهینه ولی نزدیک به وضعیت بهینه، نمایش داده شده است. برای پاسخ به سؤال دوم پژوهش باید گفت که گزینه های اجرایی ۱، ۲، ۳، ۱، ۳، ۱، ۳، ۱، ۳، ۱ که عملیات را طی ۶۷ روز با هزینه ۱۲۷،۴۰۰ دلار، در سطح کیفیت ۸۲،۶ و ریسک ۰.۳۰۷۳ به انجام می رساند، بهینه ترین راه اجرای عملیات بوده و تابع هدف آن ۱.۴۸۳۸ شده است. همانطور که مشاهده می شود اگر گزینه های اجرایی با وارد شدن ریسک همچنان ۱، ۱، ۱، ۱، ۱، ۱، ۳، ۱ باشد، مقدار تابع هدف برابر ۱.۷۲۷۸ می گردد که با میزان بهینه تفاوت زیادی دارد، هر

چند که در این حالت عملیات در کمترین زمان به انجام می‌رسد. چنانچه گزینه‌های اجرای عملیات ۳، ۳، ۳، ۳، ۳، ۳، ۳ باشد، وضعیت به گونه‌ای می‌شود که مقادیر هزینه، کیفیت و ریسک در کمترین مقدار و زمان تحویل پروژه در بیشترین مقدار خود قرار می‌گیرد و تابع هدف ۲ به دست می‌آید که تفاوت بسیار زیادی با مقدار بهینه دارد. به عبارتی در این وضعیت زمان و کیفیت نامناسبترین و هزینه و ریسک مناسبترین وضعیت خود را تجربه می‌کنند. از طرف دیگر اگر گزینه‌های اجرای عملیات ۱، ۱، ۱، ۱، ۱، ۱، ۱ باشد، مقادیر هزینه، کیفیت و ریسک در بیشترین مقدار و زمان تحویل پروژه در کمترین مقدار خود قرار می‌گیرد و تابع هدف مجدداً ۲ به دست می‌آید. در این حالت زمان و کیفیت مناسبترین و هزینه و ریسک نامناسبترین وضعیت خود را خواهند داشت. به هر حال روش مورد استفاده این قابلیت و انعطاف‌پذیری را دارد تا حسابداران مدیریت و مدیران پروژه ضمن حفظ هر یک از ابعاد هرم بقاء اقدام به بهینه‌یابی سایر اقلام نمایند که خود می‌تواند موضوع پژوهش دیگری باشد.

جدول ۳- مقایسه بهینه‌یابی زمان، هزینه، کیفیت و ریسک												
گزینه‌های اجرای هر فعالیت							ریسک کل	کیفیت کل (درصد)	هزینه کل (دلار)	زمان کل (روز)	مقدار تابع هدف	نوع مدل
۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱						
۱	۳	۱	۳	۲	۲	۱	۰.۳۰۷۳	۸۲.۶	۱۲۷۴۰۰	۶۷	۱.۴۸۳۸	زمان، هزینه، کیفیت، ریسک*
۱	۳	۱	۳	۲	۲	۳	۰.۲۹۱۶	۸۱.۴۸	۱۱۶۴۰۰	۷۷	۱.۵۰۵۵	زمان، هزینه، کیفیت، ریسک
۱	۳	۱	۳	۲	۲	۲	۰.۲۹۵۶	۸۱.۸۸	۱۲۲۴۰۰	۷۳	۱.۵۰۹۸	زمان، هزینه، کیفیت، ریسک
۱	۳	۱	۳	۲	۳	۳	۰.۲۹۳۴	۸۰.۸۸	۱۱۵۸۰۰	۷۷	۱.۵۲۴۹	زمان، هزینه، کیفیت، ریسک
۱	۳	۲	۳	۲	۳	۱	۰.۳۰۶۰	۸۰.۳۰	۱۲۴۳۰۰	۶۹	۱.۵۴۹۷	زمان، هزینه، کیفیت، ریسک
۱	۳	۱	۱	۱	۱	۱	۰.۳۹۷۶	۹۰.۹۲	۱۴۳۵۰۰	*۶۰	۱.۷۲۷۸	زمان، هزینه، کیفیت، ریسک
۳	۳	۴	۳	۳	۵	۳	*۰.۲۲۲۳	۶۵.۹۲	*۹۶۲۰۰	۱۰۵	۲	زمان، هزینه، کیفیت، ریسک
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰.۴۲۸	*۹۷	۱۶۵۵۰۰	*۶۰	۲	زمان، هزینه، کیفیت، ریسک

مقادیری که با * مشخص شده‌اند در وضعیت بهینه خود هستند.

بهینه‌یابی مسایل اهمیت زیادی در زمینه علوم محض و کاربری و صنعت دارد و سازمانی که بتواند به ترکیب بهینه‌تری برای منابع و مصارف خود دست یابد، موفقیت بلندمدت سازمان را تضمین نموده‌اند. در این تحقیق با ارائه مدلی از الگوریتم جامعه مورچگان به حل مسئله موازنه زمان، هزینه، کیفیت و ریسک پرداخته شده است. مزیت این مدل نسبت با سایر مدل‌ها این است که ضمن سرعت عمل و در کوتاهترین زمان و هزینه، بهینه‌ترین جواب ممکنه بدست خواهد آمد. امروزه زمان تولید و تحویل، قیمت، ریسک انجام عملیات و کیفیت از مهمترین مزیت‌های رقابتی در صنایع به شمار می‌آیند. از این رو بررسی رابطه بین این مزیت‌های رقابتی در سال‌های اخیر به ویژه در صنایع پیشرو و کشورهای صنعتی بسیار مورد بحث بوده است و شرکت‌های بزرگ همه ساله مبالغ زیادی را صرف تحقیق و توسعه در مورد بهینه‌ترین ترکیب تولید و یا بهینه‌ترین خصوصیات و کارکرد محصولات و خدمات خود می‌نمایند. این که نامطلوب بودن کیفیت چه تاثیری بر قیمت محصولات و متعاقباً درآمد شرکت خواهد داشت و نیز برای رسیدن به کیفیت مطلوب باید چقدر هزینه کنیم، مباحث بسیار گسترده‌ای را ایجاد کرده که می‌تواند وضعیت و عملکرد شرکت را از ابعاد مختلف مانند حسابداری بهای تمام شده (حسابداری صنعتی)، کنترل کیفیت، تعمیرات و نگهداری، زنجیره تامین، مدیریت تولید، انبارها، ایمنی و بهداشت، آموزش و بهسازی و موارد دیگر متاثر نماید. باید توجه داشت که موازنه بین اجزاء هرم بقاء نه فقط برای فعالیت‌های عملیاتی و تولیدی باید در نظر گرفته شوند بلکه در فعالیت‌های خدماتی و پشتیبانی نیز که تاثیر عمده‌ای در افزایش یا کاهش هزینه‌های و دستیابی به موفقیت دارند، چنین موازنه و بهینه‌سازی‌ای ضامن موفقیت بلندمدت سازمان خواهد بود. استراتژی‌های نوین کسب کار نیز بر پایه این عوامل شکل گرفته‌اند. در پاسخ به این سؤال که بهترین فرایند اجرای پروژه که منجر به بهینه شدن رابطه بین عوامل زمان، هزینه، ریسک و کیفیت (به عنوان اجزاء هرم بقاء) بشود، کدام است، در قسمت اجرا و تحلیل داده‌ها به تفصیل توضیح داده شد. به عنوان پیشنهادی برای تحقیقات آتی می‌توان از این الگوریتم برای کمک به طراحی محصولاتی مانند خودرو یا لوازم الکترونیکی و خانوادگی نیز استفاده نمود. حسابداران مدیریت، مهندسين طراح و تولید می‌توانند با استفاده از امکانات این روش محصولاتی را بر اساس بهای تمام شده هدف یا کیفیت تعیین شده طراحی و به بازارهای رقابتی عرضه کنند تا از این طریق اقدام به کسب ارزش نمایند.

فهرست منابع:

۱. اشتهاوردیان، احسان؛ افشار، عباس؛ عباس نیا، رضا. (۱۳۸۷). رویکرد منطق فازی و الگوریتم نخبه‌گرایی ژنتیک در بهینه سازی موازنه زمان-هزینه-کیفیت. چهارمین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه.
۲. جعفرنژاد، علی؛ سحاب، محمد قاسم؛ اکبر پور، عباس. (۱۳۸۹). بهینه‌سازی موازنه زمان-هزینه-کیفیت با استفاده از الگوریتم جستجوی مستقیم شبکه تطبیقی. پنجمین کنگره مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۳. رهنمای رودپشتی، فریدون. (۱۳۸۷). حسابداری مدیریت راهبردی، مبتنی بر مدیریت هزینه ارزش آفرین، چاپ اول، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
۴. رهنمای رودپشتی، فریدون؛ جلیلی، محمد. (۱۳۸۸). هزینه‌یابی هدف، چاپ اول، انتشارات ترمه.
5. Afshar, A., Kaveh, A. and Shoghli, O.R., (2007). Multi-objective optimization of time - cost -quality using multi-colony ant algorithm, Asian Journal of Civil Engineering, 8(2) : 113 -124.
6. Baccarini, D. and Archer, R., (2001). The risk ranking of projects: a methodology, International Journal of Project Management 19, 139-145.
7. Baloi, D., & Price, A. D. F., (2003). Modelling global risk factors affecting construction cost performance, International Journal of Project Management, 21, 261–269.

8. Burns, S.A., Liu, L., and Feng, C.W., (1996). The LP/IP hybrid method for construction time–cost trade off analysis, *Journal of Construction Management and Economics*, 14: 265–276.
9. Chapman, C. and Cooper, D., (1983). Risk Engineering: Basic Controlled Interval and Memory Models, *Journal of the Operational Research Society*, 34(1) 51-60.
10. Dikmen, I., Birgonul, M.T. and Han, S. (2007). Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects, *International Journal of Project Management* 25, 494–505.
11. Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colorni. A. (1991). Positive feedback as a search strategy, Technical Report 91-016, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Milan, Italy.
12. Dorigo, M., (1992). Optimization, learning and natural algorithms (in Italian), Ph.D . Thesis, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy.
13. Fan, M., Lin, N., & Sheu, C., (2008). Choosing a project risk-handling strategy: An analytical model, *International Journal of Project Management*, 112, 700–713.
14. Feng, C., Liu, L. and Burns, S., (1997). Using genetic algorithms to solve construction time–cost trade-off problems. *J .Comput .Civ .Eng.*, 11(3): 184–189.
15. Hilton, R., Maher, M. and Selto, F., (2008). *Cost Management, Strategies for Business Decision*, 3rd edition. Irwin/McGraw-Hill, 2008.
16. Jannadi, O.A. and Almishari, S. (2003). Risk Assessment in Construction, *Journal of Construction Engineering and Management* 129(5), 492-500.
17. KarimiAzari A. et al., (2011). Risk assessment model selection in construction industry, *Expert Systems with Applications*, 38, 9105–9111.
18. Lakshminarayanan, S., Ashish Gauravi and Arun, C., (2011). Time-Cost-Risk Trade off Using Ant Colony Optimization, *Journal of Construction in Developing Countries*.
19. Lam, K. C., Wang, D., Lee, p. T. K., & Tsang, Y. T., (2007). Modelling risk allocation decision in construction contracts, *International Journal of Project Management*, 25, 485–493.
20. Lyons, T., & Skitmore, M., (2004). Project management in the Queensland engineering construction industry: A survey. *International Journal of Project Management*, 22, 51–61.
21. Ngai, E. W. T., & Wat, F. K. T., (2005). Fuzzy decision support system for risk analysis in e-commerce development, *Decision Support Systems*, 40, 235–255.
22. Project Management Institute, (2004). *A guide to the project management book of knowledge (PMBOK)*, (3rd ed.). Newtown Square, PA: Project Management Institute.
23. Refaat H. Abd El Razek, Ahmed M. Diab, Sherif M. Hafez, Remon F. Aziz, (2010). Time-Cost-Quality Trade-off Software by using Simplified Genetic Algorithm for Typical-repetitive Construction Projects, *Journal of World Academy of Science, Engineering and Technology*: 61.
24. Stutzle T, Hoos HH., (2000). MAX-MIN ant system, *Future Generation Comput Sys*; 16:889-914.
25. Stutzle T., (1999). Local search algorithms for combinatorial problems: analysis, improvements and new applications, Vol. 220 of DISK I, Sankt Augustin, Germany, Infix.
26. UNIDOU, (2006). *Product quality, A guide for small and medium-sized enterprises*, Working paper, United Nations Industrial Development Organization, Vienna.

27. Xiong, Y. and Kuang, Y., (2008). Applying an Ant Colony Optimization Algorithm-Based Multiobjective Approach for Time-Cost Trade-Off, *Journal of construction engineering and management*, 134(2): 153-156.
28. Zheng, D.X.M., Ng, S.T. and Kumaraswamy, M.M., (2004). Applying a genetic algorithm-based multiobjective approach for time-cost optimization, *Journal of Construction Engineering Management*, 130(2): 168-176.

Time-Cost-Quality-Risk Optimization by Ant Colony Algorithm

Ali Khozein¹, Jamal Mohammadi²

1. Department of Accounting, Aliabad Katoul Branch, Islamic Azad University, Aliabad Katoul, Iran.
2. Department of Accounting, Aliabad Katoul Branch, Islamic Azad University, Aliabad Katoul, Iran.

Abstract

In this article, the optimization within the components of the survival pyramid including time, cost, quality and risk in construction and development projects and investment has been taken into consideration. The results for other industries such as automotive, appliances and electronic devices, leading industries and etc can be used. The purpose of optimization is to create balance among time, cost, quality, and risk to make the best level of customers' satisfaction and end users and to obtain the most optimal level of value for organization. In the current business environment, management accountants need tools and to develop models for decision making and planning that the reduction in delivery time and total cost of the products and with minimum business risk to provide products with high quality in order to create value for organization. In this paper to improve (optimize) the components of the survival pyramid, it is used a kind of ant colony algorithm under the title of minimum and maximum ants system that the result is more efficient than other algorithms. The current study has two aspects of innovation. First, in international level no research has been done so far with regard to four factors including time, cost, quality and risk and the other hand in the country no programming has been done according to minimum and maximum ants system.

Keywords: Optimization, Time, Cost, Quality, Risk, survival pyramid, Ant Colony Algorithm
