استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی موازنه بین زمان، بها، کیفیت و ریسک در پروژه‌های عمرانی و طرح‌های سرمایه‌گذاری

احمد عبداللهی
دانشجوی دکتری حسابداری دانشگاه علامه طباطبایی(نویسنده مسئول)
ahmabdollahi@gmail.com

علی خوزین
گروه حسابداری، واحد علی آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی آباد کتول، ایران
khozain@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۰۷ ، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۱۵

چکیده

هدف این مقاله بهینه‌سازی بین اجزاء هرم بقاء شامل زمان، هزینه، کیفیت و ریسک در پروژه‌های عمرانی و طرح‌های سرمایه‌گذاری است. منظور از بهینه-سازی 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 محصولاتی با بهترین حد کیفیت بپردازند تا از این طریق به ارزش-آفرینی برای سازمان اقدام گردد. در این مقاله در راه بهینه‌سازی اجزاء هرم بقاء از نوعی الگوریتم ژنتیک استفاده شده است که به این منظور پنج حالت مختلف روی مسئله‌ی مورد نظر پیاده‌سازی شد. در چهار حالت به بهینه‌سازی هر یک از عوامل زمان، بها، کیفیت و ریسک به طور جداگانه پرداخته شد. در آخر هر چهار عامل به طور همزمان در نظر گرفته شد.

کلید واژه: بهینه‌سازی، زمان، بها، کیفیت، ریسک، هرم بقاء، حسابداری مدیریت، الگوریتم ژنتیک

۱- مقدمه

شروع به راه‌اندازی یک طرح سرمایه‌گذاری، آغاز ورود به دنیای کسب و کار است و برای بقاء و موفقیت در محیط پیچیدهٔ 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 [۲۲] پایه مدیریت پروژه نیز تحت عنوان برنامه‌ریزی، هدایت و کنترل منابع برای دستیابی به اهداف خاصی در پروژه قابل تعریف است[۱۴]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 [۷]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 می-گیرند، 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 مهندسین تولید به حل مسئله موازنه زمان، هزینه، ریسک و کیفیت در طرح‌های سرمایه‌گذاری و پروژه‌های عمرانی بپردازد. یک استراتژی مناسب سرمایه-گذاری، بر پایه کاهش ریسک، حداقل نمودن حجم معاملات و کاهش هزینه‌های معاملاتی و مالیاتی استوار است [۲]. در فضایی که رقابت شرکت‌ها روز به روز فشرده‌تر می‌شود و تفاوت-های کوچک در ارائه قیمت در مناقصه‌ها منجر به برتری یا شکست در آن می‌گردد، ارائه برنامه-ای 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 تکمیل‌کننده بهای تمام شده است که با توجه نمودن به ریسک پیوند بین این عوامل در دنیای کسب و کار کنونی تکمیل می‌گردد.

در این بین توجه به بهینه‌سازی هزینه، زمان، کیفیت و ریسک برای پروژه‌های سرمایه-گذاری، به عنوان موضوع این مقاله، به این دلیل است که منابع عمده‌ای در این طرح‌ها به مصرف می‌رسد و هرگونه اخلال 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- روش‌شناسی 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 الگوریتم ژنتیک[1] پردازش گردیده است. تا سال ۲۰۰۵ میلادی، رویکرد تحقیقاتی مناسبی در خصوص بهینه‌سازی سه شاخص زمان، کیفیت و هزینه انجام نشده و تاکنون نیز هیچ تحقیق و مقاله‌ای در خصوص بهینه‌سازی چهار عامل زمان، کیفیت، هزینه و ریسک ارائه نگردیده است.

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 منطق 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

[1] - Genetic Algorithm

زیادی قرار گرفته است. چنین داده‌هایی این امکان را فراهم می‌آورد که نتایج حاصل از روش-های 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 (برنامه‌نویسی) الگوریتم متجلی می‌گردد که با توجه به تابع هدف و توابع محدودیت اقدام به انجام کدنویسی می‌شود. بنابراین سوالات زیر برای این پژوهش در نظر گرفته شده است:

۱- آیا الگوریتم ژنتیک نسبت به سایر روش‌ها جواب بهینه‌تری را ارئه 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

۱-۳- 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 [۵]. 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، مزهٔ، نداشتن تاثیرات سوء جانبی و عواقب نامناسب تعریف شده است [۳۰] 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 [۱۹].

کیفیت عامل تعیین کننده در تصمیم‌گیری و توجه به آن، موجب می‌گردد تصمیمات اقتصادی باشند و به عبارتی، صرفنظر 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 نیسب، 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 دارندهٔ سهم بالایی از بازارهای جهانی هستند[۴].

مدیریت کیفیت نیز به سیاست‌های راهبردی، روش‌ها و رویه‌هایی اشاره دارد که اطمینان می-دهد 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. 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[۱۹] 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. [۴]. 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 افتهٔ 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 شاخهٔ حسابداری صنعتی به محاسبه آن به روش‌های مختلف پرداخته و در پارادایم جدید، حسابداری مدیریت عرصهٔ 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[۱۹]. 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 [۴]. هزینهٔ 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 بهبود سطح کیفی خدمات لازمند به فعالیت‌های سازمان افزوده شوند. در این پژوهش منظور از هزینه، مجموع هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم (سربار) است.

۴-۳- ریسک

ریسک به طور موفقیت‌آمیزی در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی، تامین مالی و علم تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گرفته است [۲۶]. معانی متفاوتی برای ریسک بر حسب دیدگاه‌های مختلف، تجارب و ویژگی‌ها قابل تصور است. مهندسین، طراحان صنعتی و پیمانکاران به ریسک از نگاه تکنولوژیک و وام‌دهندگان به ریسک از دریچه اقتصادی و مالی می‌نگرند [۹]. 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 [۲۴]. 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[۲۵]. 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 منتشر شده، ریسک را وقایع و شرایط مبهم و نامعلومی تعریف کرده است که بر زمان انجام پروژه، بهای تمام شدهٔ 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 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 (2003) 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 (2008) 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 رابطهٔ بین سودآوری پروژه و وضعیت‌های ریسکی است. دیکمن و همکاران (2007) برای ارزیابی ریسک یک روش فازی بر پایه میزان تجاوز هزینه از حد مورد انتظار پیشنهاد نمودند. وجه تمایز این روش تاکید محققی بر قابلیت کنترل و مدیریت ریسک است.

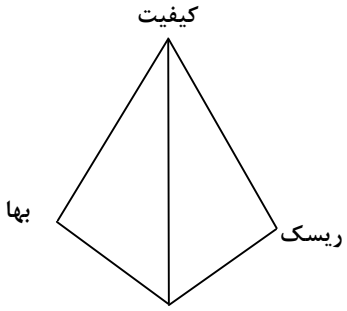
در اندازه‌گیری ریسک‌های پروژه، استفاده از تکنیک‌های آمار و احتمالات نقش پررنگی دارند. البته از آنجاییکه رویکرد احتمالات در اندازگیری ریسک پروژه‌ها نمی‌تواند به بهینگی در کمی‌سازی ریسک بیانجامد، دانش و تجربه افراد، قضاوت‌های هوشمندانه، قوانین و شگردهای تخمین‌های ذهنی نیز برای تسهیل در ارزیابی ریسک‌ها ساختاربندی شده‌اند [۱۲]. 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 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 بهینهٔ ارزش و رضایتمندی برای مشتریان و حد بهینهٔ ارزش برای سازمان است. کیفیت و زمان تحویل به همراه بهای تمام شده از عناصر مثلث بقاء هستند که در مدیریت هزینهٔ ارزش‌آفرین به عنوان یکی از رویکردهای اصلی حسابداری مدیریت استراتژیک، مورد توجه خاص بوده [۴] 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 تعیین‌کننده 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 (2008) کیفیت بالا رابطهٔ مستقیم با بهروری بالا داشته و خود در نتیجهٔ چرخهٔ زمانی کوتاه‌تر و درون‌داد[2] 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 می دهد 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، بها 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 هزینه نیست بلکه هدفی

[2] - Throughput

جامع‌تر، یعنی افزایش «ارزش» پیگیری می‌شود. به هر حال بهینه‌سازی، اختصاص منابع و یکسان-سازی 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[3] بهره گیرند 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[۵].

۴- پیشینهٔ تحقیق

در چند دههٔ اخیر روش‌های مختلفی جهت بهینه‌سازی توام زمان، بها و کیفیت ساخت در پروژهای عمرانی ارائه شده است. با توجه به اینکه در نظر گرفتن کیفیت به عنوان معیار بهینه-سازی درانتخاب روش‌های اجرای پروژه اخیراً مورد توجه جدی قرار گرفته است، بیشتر تحقیقات علمی پیرامون موضوع بهینه‌سازی توام زمان و هزینهٔ اجرا اختصاص یافته است. روش-های ارائه شده در پژوهش‌های مربوط به بهینه‌سازی زمان، بها و کیفیت اجرای پروژه‌ها را می-توان به طور کلی به سه دسته کاوشی، ریاضی و فراکاوشی تقسیم‌بندی 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 برنامه-ریزی 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

[3] - Confrontation

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 [۳].

تحقیقات مختلفی در مورد بهینه‌سازی بین زمان و بها و یا زمان، هزینه و کیفیت انجام شده است. تحقیقات اولیه که منجر به ارائه یک مبنای فنی استاندارد (جدول شمارهٔ ۱) برای سایر پژوهشگران گردید، توسط فنگ و همکاران [۱۵] و بورنز و همکاران [۱۰] صرفاً برای بهینه-سازی دو عامل زمان و بها 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 بهینه‌سازی دو عاملی زمان و هزینه توسط ژنگ و همکاران [۳۲] 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 بها استفاده نموده بودند. در سال ۲۰۰۸ ژیونگ و کوانگ[۳۱] 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.

اشتهاردیان 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 شبکهٔ تطبیقی» انجام داده که به نتیجهٔ 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 الگورتم زنتیک 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 بی‌انتها و فضای بهبود بسیار

وسیع و لامتناهی است، پژوهش‌هایی که برای یافتن راه حل‌های بهینه‌تر انجام می‌گردد، همواره در جریان است.

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.

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

۵- روش تحلیل داده‌ها

در پروژه‌های ساخت معمولاً برای هر فعالیت، تعدادی گزینه و یا روش اجرایی وجود دارد که هریک 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 موازنهٔ زمان، هزینه،کیفیت و ریسک، روش‌های اجرایی مناسب برای انجام مجموعهٔ 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 ژنتیک استفاده شده است.

الگوریتم ژنتیک– الگوریتم ژنتیک یک روش جستجوی فرا ابتکاری است که از تئوری تکامل طبیعی و تنازع بقا برای حل مسائل استفاده می‌کند. هنگامی که لغت تنازع بقا به کار می‌رود بار ارزشی منفی آن به ذهن می‌آید. شاید هم زمان قانون جنگل نیز به ذهن برسد و شاید هم تفکر بقای قوی‌تر، لیکن همیشه قوی‌ترها برنده نبوده‌اند(دجونگ[۴]، ۱۹۷۵)، در واقع درست‌تر این است که بگوییم در طبیعت مناسب‌ترها انتخاب می‌شوند. امروزه الگوریتم ژنتیک به عنوان یک نوع خاص از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مسائل بهینه‌سازی گسسته و پیوسته به کار برده می‌شود. همچنین به عنوان یک الگوریتم بهینه‌سازی استوار[۵]، برای حل مسائل موجود در دنیای واقعی شناخته شده است. به طور کلی الگوریتمهای ژنتیک برای مسائلی به کار میروند که الگوریتم دقیقی برایشان وجود ندارد اما امکان بررسی میزان صحت یک جواب کاندید برای آن مسئله وجود دارد (فدایی‌نژاد و اسکندری، ۱۳۹۰).

روش کار الگوریتم ژنتیک به طور فریبنده‌ای ساده، بسیار قابل درک و به بیانی ساده، روشی است که بشر معتقد است که حیوانات نیز بر همین اساس تکامل یافته‌اند. برای طراحی یک الگوریتم ژنتیک، ابتدا چگونگی کدکردن جواب مسئله یا نحوه‌ی نمایش آن در قالب کروموزوم‌ها تعیین می‌شود. سپس جمعیت اولیه با تعداد کروموزوم‌های مشخص ایجاد شده و برای هر کروموزوم، با توجه به تابع هدف مسئله یک مقدار برازش محاسبه می‌شود. این مقدار برازش، نشان دهنده‌ی میزان برتری کروموزوم‌ها نسبت به یکدیگر در هر جمعیت است. پس از آن، با به کارگیری مجموعه‌ای از عملگرها روی جمعیت فعلی، جمعیت جدیدی تولید می‌شود. به این وسیله جستجو در فضای حل تا رسیدن به یک معیار توقف ادامه می‌یابد.

عملگرهای الگوریتم ژنتیک به سه نوع اصلی تقسیم می‌شود که تا کنون روش‌های متفاوتی برای هر یک معرفی شده است. این عملگرها عبارتند از:

- عملگر انتخاب[۶]
- عملگر تقاطع[۷]
- عملگر جهش[۸]

عملگر انتخاب، با توجه به مقدار برازشی که برای هر کروموزوم محاسبه شده به شناسایی جواب‌های برتر می‌پردازد. این انتخاب به دو منظور صورت می‌گیرد که عبارت است از:

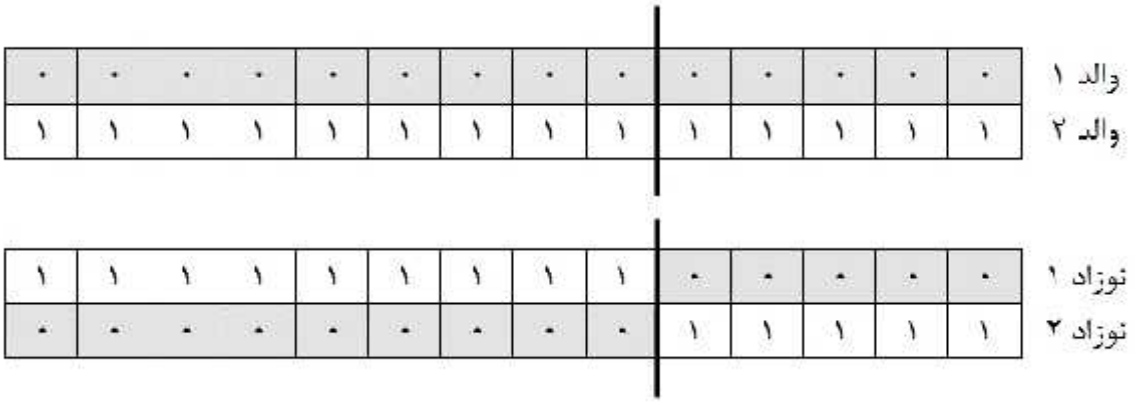
---

[4] Dejong,k.A
[5] Robust Optimization Algorithm
[6] Selection Operator
[7] Crossover Operator
[8] Mutation Operator

۱. انتخاب تعدادی ازکروموزوم‌ها، برابر با کل و یا درصدی از جمعیت هر نسل برای انتقال به نسل بعد؛ که علاوه بر حفظ اندازه جمعیت، باعث زیاد شدن جواب‌های برتر در جمعیت و هدایت الگوریتم به نواحی امیدبخش فضای جواب می‌شود.
۲. انتخاب کروموزوم‌ها به عنوان کروموزوم‌های والد در عملگر تقاطع و جهش.

عملگر انتخاب به تنهایی قادر به تولید کروموزوم جدید در جمعیت نیست. تولید کروموزوم-های جدید توسط عملگرهای ژنتیکی دیگر به نام تقاطع و جهش صورت می‌گیرد که ماهیتی احتمالی دارند.

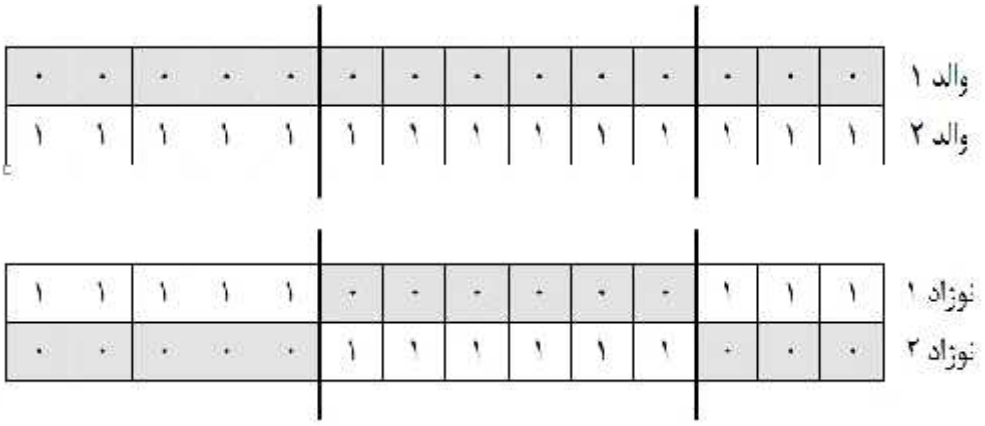
تقریبا در تمام عملگرهای تقاطعی، دو (یا مضربی از دو) کروموزوم به طور تصادفی و یا با استفاده از یکی از انواع عملگر انتخاب، به عنوان والدین[9] برگزیده شده و به صورت تصادفی قسمت یا قسمت‌هایی از دو کروموزوم والد با هم تعویض می‌شود. به هر یک از دو کروموزوم حاصل یک نوزاد[10] گفته می‌شود. به درصدی از کروموزوم‌های جدید که توسط عملگر تقاطع تولید می‌شود، نرخ تقاطع[11] گفته می‌شود. این مقدار در ابتدای اجرای الگوریتم مشخص است. همانند عملگر انتخاب، تاکنون گونه‌های متفاوتی از عملگر تقاطع طراحی شده است که پرکاربردترین آن‌ها عبارتند از:



شکل ۲: عملگرتقاطع با یک نقطه برش

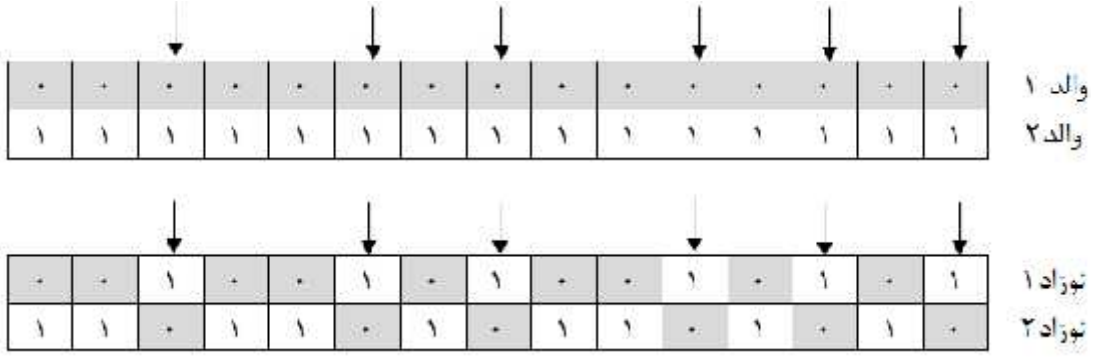
[9] Parents
[10] Offspring
[11] Crossover Rate

۱. **عملگرتقاطع با یک نقطه برش**[۱۲]**:** در این نوع از عملگر تقاطع، یک نقطه به صورت تصادفی، روی کروموزوم‌های والد انتخاب می‌شود. والدین از این نقطه شکسته شده و نوزادان، قسمت اول (سر) را از یک والد، و قسمت دوم (دم) را از والد دیگر به ارث می‌برند. در شکل ۱ این نوع از عملگر تقاطع نشان داده شده است.



شکل ۳: عملگرتقاطع با دو نقطه برش

۲. عملگرتقاطع با دو نقطه برش[۱۳]: در این نوع از عملگر تقاطع، دو نقطه به صورت تصادفی یا غیر تصادفی روی کروموزوم‌های والد انتخاب می‌شود. والدین از این نقاط شکسته شده و نوزادان قسمت اول (سر) و قسمت دوم (دم) را از یک والد، و قسمت وسط (تنه) را از والد دیگر به ارث می‌برند. در شکل ۲ این نوع از عملگر تقاطع نشان داده شده است.



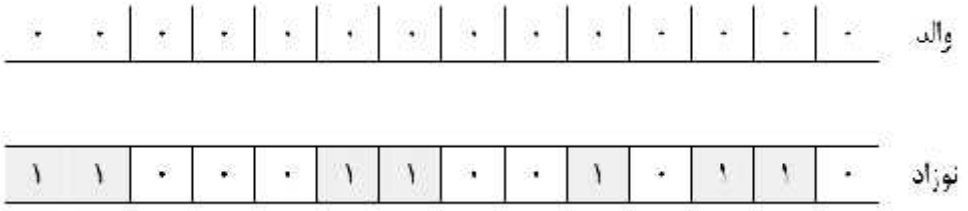
شکل ۴: عملگرتقاطع مبتنی بر مکان ژن

[12] one-point crossover
[13] two-point crossover

۳. عملگر تقاطع مبتنی بر مکان ژن[14]: در این نوع از عملگر تقاطع، چندین ژن به صورت تصادفی از کروموزوم‌های والد انتخاب می‌شود (احتمال انتخاب هر ژن برابر با ۰٫۵ است). نوزادان مقدار ژن‌هایی را که دارای مکان مشابه با ژن‌های انتخاب شده هستند، از یک والد و مقدار سایر ژن‌ها را از والد دیگر به ارث می‌برند. اول و دوم به ترتیب در ژن‌هایی با مکان‌های مشابه از نوزادان اول و دوم قرار می‌گیرد. مقدار ژن‌های انتخاب نشده از والد اول را، به ترتیب و از چپ به راست، به مکان‌های خالی موجود در نوزاد دوم منتقل کنید. در شکل ۳ این نوع از عملگر تقاطع نشان داده شده است.

در برخی از مسائل، از جمله مسئله‌ی مورد بررسی، شرایطی برای شدنی بودن کروموزوم‌ها تعیین می‌شود که ممکن است برای نوزاد حاصل از پیاده سازی عملگر تقاطع، این شرایط برقرار نباشد. برای رفع این مشکل دو راه وجود دارد:

۱. استفاده از یک رویه‌ی ترمیمی پس از پیاده‌سازی عملگر تقاطع،
۲. طراحی عملگر تقاطع به گونه‌ای که در حین پیاده‌سازی شرایط شدنی بودن را چک کند.



شکل ۵: معمول‌ترین نوع عملگر جهش

عملگر جهش، جهش طبیعی را شبیه‌سازی می‌کند و باعث ورود اطلاعات جدید به جامعه می‌شود؛ به این ترتیب که به صورت تصادفی مقدار یک یا چند ژن از یک کروموزوم را عوض می‌کند. کروموزوم مورد نظر اغلب حاصل فرآیند تقاطع است. هر نوزاد ممکن است دچار جهش ژنتیکی شود. برای عملگر جهش نیز روش‌های متفاوتی ارائه شده است. در معمول‌ترین روش، جهش ژنتیکی با احتمال مساوی روی تمام ژن‌های هر کروموزوم نوزاد رخ می‌دهد. احتمال وقوع جهش روی یک ژن را نرخ جهش[15] نامنده و با p_m نشان داده می‌شود که معمولا در بازه [۰٫۲, ۰٫۰۱] قرار دارد. در شکل (۲-۴) نمونه‌ای از عملگر جهش نشان داده شده است.

[14] two-point crossover
[15] Mutation Rate

همانطور که گفته شد، در برخی از مسائل، از جمله مسئله مورد بررسی، شرایطی برای شدنی بودن کروموزوم‌ها تعیین می‌شود که معمولا به مقدار هر ژن وابسته است. در این صورت تغییر مقدار ژن‌ها می‌تواند به راحتی این شرایط را بر هم بزند. به همین دلیل برای چنین مسائلی گونه‌های دیگری از عملگر جهش معرفی شده است. در این حالت احتمال جهش یافتن یک نوزاد، نرخ جهش (p_m) نامیده می‌شود، که معمولا عددی کوچک است. پس از تولید هر نوزاد با استفاده از عملگر تقاطع، یک عدد تصادفی با توجه به توزیع یکنواخت در بازه [۰,۱] به هر فرزند اختصاص داده می‌شود. اگر این عدد کوچکتر یا مساوی p_m باشد، آنگاه عملگر جهش روی نوزاد مورد نظر پیاده می‌شود. هچنین، می‌توان نرخ جهش را درصدی از جمعیت در نظر گرفت که با استفاده از این عملگر تولید می‌شود. در این حالت برای جلوگیری از قرار گرفتن در نقاط بهینه محلی، می‌توان نرخ جهش را تا پنجاه درصد افزایش داد. برای توقف و اتمام الگوریتم معیارهای مختلفی وجود دارد که در اینجا به برخی از آن‌ها اشاره شده است:

۳. بهترین جواب بعد از اجرای تعداد مشخصی تکرار تغییر نکند.
میانگین مقدار برازش جواب‌های موجود در جمعیت جاری برابر با مقدار برازش بهترین جواب یا بسیار نزدیک به آن باشد.
تعداد دفعات اجرای الگوریتم از ابتدا مقداری ثابت در نظر گرفته شود.

الگوریتم ژنتیک توسعه داده شده

در این قسمت، به شرح الگوریتم ژنتیک توسعه داده شده برای مسئله‌ی مورد نظر پرداخته شده است.

کدگذاری جواب‌ها

برای کدگذاری جواب‌ها در الگوریتم ژنتیک طراحی شده، طول هر کروموزوم برابر تعداد فعالیت‌ها در نظر گرفته شده است. همچنین، مکان هر ژن نشان دهنده‌ی یک فعالیت و مقدار آن نشان دهنده‌ی گزینه انتخابی برای فعالیت مربوطه دارد. با توجه به شیوه‌ی کدگذاری، نیاز به رویه کدگشایی نیست.

جواب اولیه

در این الگوریتم از یک رویه‌ی تصادفی برای تولید یک مجموعه جواب اولیه استفاده می-شود. برای ایجاد یک کروموزوم اولیه، ابتدا ژن اول مقداردهی می‌شود. برای این منظور، از میان گزینه‌های موجود، یک گزینه به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. همین کار برای سایر ژن‌ها نیز انجام می‌شود تا کلیه‌ی ژن‌ها مقداردهی شود. کل روند فوق به تعداد جمیعت مورد نظر تکرار می-شود تا جمعیت اولیه ایجاد شود.

عملگرهای الگوریتم ژنتیک

- **عملگر انتخاب**

از آنجا که تابع هدف مسئله به صورت کمینه سازی هزینه‌ی کل است، بهترین جواب‌ها جواب‌هایی هستند که کمترین مقدار تابع هدف را دارند. در الگوریتم ژنتیک دو روش انتخاب برترین‌ها و چرخه رولت بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در روش انتخاب برترین‌ها مناسب‌ترین عضو(های) هر جمعیت، و در روش چرخه‌ی رولت عضوهای برتر با احتمال بیشتر، انتخاب می‌شوند. برای مسئله‌ای که تابع هدف آن به صورت کمینه‌سازی است، باید روشی برای محاسبه‌ی مقدار برازش، با توجه به مقدار تابع‌هدف، تعیین شود که کروموزوم‌های برتر با مقدار تابع‌هدف کمتر، مقدار برازش بیشتری داشته باشند. برای این منظور، فرض کنید مقدار تابع هدف و مقدار برازش برای کروموزوم Kام به ترتیب با z_k و f_k نشان داده شود. در این صورت مقدار برازش به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$f_k = \frac{1}{z_k} \qquad (1)$$

برای به کارگیری روش چرخه‌ی رولت، باید مشخص شودکه هر کروموزوم با چه احتمالی انتخاب می‌شود. فرض کنید احتمال انتخاب کروموزوم Kام با p_k نشان داده می‌شود. اگر اندازه جمعیت برابر n باشد، احتمال انتخاب هر کروموزوم به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$p_k = \frac{f_k}{\sum_{i=1}^{n} f_k} \qquad k = 1, 2, \ldots, n \qquad (2)$$

سپس q_k که مقادیر تجمعی p_k است به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$q_k = \sum_{i=1}^{k} p_k \qquad k = 1, 2, \ldots, n \qquad (3)$$

در روش انتخاب چرخه‌ی رولت، به این صورت عمل می‌شود که n بازه به صورت $[q_0, q_1]$، $[q_1, q_2]$، ...، $[q_k, q_{k+1}]$، ...، $[q_n, 1]$ در نظر گرفته می‌شود. در هر انتخاب ابتدا یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید شده و سپس عدد مذکور در هر بازه‌ای که قرار گیرد، کروموزوم متناظر با آن انتخاب می‌شود.

در الگوریتم ژنتیک توسعه داده شده در این پژوهش، برای انتخاب والدین از جمعیت والد در عملگر تقاطع و جهش، از روش چرخه‌ی رولت استفاده می‌شود. کلیه کروموزوم‌های ایجاد شده با استفاده از عملگر تقاطع و جهش به جمعیت فعلی اضافه شده، و در آخر برای انتخاب جمعیت نسل بعد، از روش انتخاب برترین‌ها استفاده می‌شود . از آنجا که والدین برتر با احتمال بیشتری می‌توانند نوزادان برتر تولید کنند، انتقال بهترین جواب از هر نسل به نسل بعد از آن ضروری است. به همین دلیل از روش انتخاب برترین‌ها برای انتخاب کروموزوم‌ها و انتقال آن‌ها به نسل بعد (بدون ایجاد تغییری در آن‌ها) استفاده شده است.

- **عملگر تقاطع**

در این الگوریتم تعداد کروموزوم‌های تولید شده با استفاده از عملگر تقاطع، برابر با P_c درصد از کل جمعیت درنظر گرفته شده است. سه عملگر تقاطع به کار برده شده، عملگر تقاطع با یک نقطه برش، عملگر تقاطع با دو نقطه برش و عملگر تقاطع مبتنی بر مکان ژن است.

- **عملگر جهش**

تعداد کروموزوم‌های تولید شده با استفاده از این عملگر برابر با P_m درصد از کل جمعیت درنظر گرفته شده است. در این الگوریتم، و عملگر جهش به کار برده شده که عملگر جهش تک نقطه‌ای و عملگر جهش دو نقطه‌ای نام‌گذاری شده است. چگونگی عملکرد هر یک از این دو عملگر به صورت زیر است:

الف. جهش تک نقطه‌ای: در این نوع از عملگر جهش، به صورت تصادفی یک ژن انتخاب شده، و مقدار آنف که گزینه‌ی انتخابی فعالیت مربوط به ژن انتخاب شده است، عوض می‌شود.

ب. جهش دو نقطه‌ای: در این نوع از عملگر جهش، به صورت تصادفی دو ژن انتخاب شده، و مقدار آن که گزینه‌ی انتخابی فعالیت مربوط به ژن انتخاب شده است، عوض می‌شود.

آزمایش‌های محاسباتی

مسئله‌ی آزمون

برای ارزیابی الگوریتم طراحی شده از یک نمونه‌ی فنی موجود در ادبیات استفاده شده و داد-ه‌های مربوط به عامل ریسک، در این پژوهش به آن اضافه شده است. داده‌های مربوط به مسئله‌ی مورد نظر در جدول۱ نشان داده شده 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
تجهیز کارگاه	۱	-	۱	۱۴	۲۳،۰۰۰	۸	۹۸	۰,۴۵
			۲	۲۰	۱۸،۰۰۰		۸۹	۰,۳۰
			۳	۲۴	۱۲،۰۰۰		۸۴	۰,۲۵
خاکبرداری	۲	۱	۱	۱۵	۳،۰۰۰	۶	۹۹	۰,۲۵
			۲	۱۸	۲،۴۰۰		۹۵	۰,۲۰
			۳	۲۰	۱،۸۰۰		۸۵	۰,۲۳
			۴	۲۳	۱،۵۰۰		۷۰	۰,۲۲
			۵	۲۵	۱،۰۰۰		۵۹	۰,۱۰
قالب بندی و آرماتورگذاری	۳	۱	۱	۱۵	۴،۵۰۰	۱۴	۹۸	۰,۶
			۲	۲۲	۴،۰۰۰		۸۱	۰,۲۵
			۳	۳۳	۳،۲۰۰		۶۳	۰,۱۵
بتن ریزی	۴	۱	۱	۱۲	۴۵،۰۰۰	۱۹	۹۴	۰,۴۵
			۲	۱۶	۳۵،۰۰۰		۷۶	۰,۳۰
			۳	۲۰	۳۰،۰۰۰		۶۴	۰,۲۵
تهیه فونداسیون و قراردادن شمع‌ها	۵	۲ و ۳	۱	۲۲	۲۰،۰۰۰	۱۷	۹۹	۰,۳۰
			۲	۲۴	۱۷،۵۰۰		۸۹	۰,۲۸
			۳	۲۸	۱۵،۰۰۰		۷۲	۰,۲۲
			۴	۳۰	۱۰،۰۰۰		۶۱	۰,۲۰
قرارگیری شاه تیرها	۶	۴	۱	۱۴	۴۰،۰۰۰	۱۹	۱۰۰	۰,۴۳
			۲	۱۸	۳۲،۰۰۰		۷۹	۰,۳۰
			۳	۲۴	۱۸،۰۰۰		۶۸	۰,۲۷
تنظیم شاه تیرها	۷	۵ و ۶	۱	۹	۳۰،۰۰۰	۱۷	۹۳	۰,۴۴
			۲	۱۵	۰۰۰،۲۴		۷۱	۰,۳۱
			۳	۱۸	۲۲،۰۰۰		۶۷	۰,۲۵

در این پژوهش، پنج حالت مختلف روی مسئله‌ی مورد نظر پیاده‌سازی شد. برای این منظور، در چهار حالت به بهینه‌سازی هر یک از عوامل زمان، هزینه، کیفیت و ریسک به طور جداگانه پرداخته شد. در آخر هر سه عامل به طور همزمان در نظر گرفته شد. مقدار تابع هدف در هر حالت به صورت زیر محاسبه شد:

- **حالت اول: بهینه سازی زمان**

در این حالت، تابع هدف مسئله عبارت است از مجموع زمان انجام کلیه‌ی فعالیت‌ها. این مقدار که برابر با زمان اتمام آخرین فعالیت است، با توجه به فعالیت‌های پیش نیازی محاسبه شده و با T نشان داده می‌شود.

- **حالت دوم: بهینه‌سازی هزینه**

در این حالت، تابع هدف مسئله عبارت است از مجموع هزینه انجام کلیه‌ی فعالیت‌ها. این مقدار به سادگی و از حاصل جمع هزینه‌ی هر یک از فعالیت‌ها محاسبه شده و با C نشان داده می‌شود.

- **حالت سوم: بهینه‌سازی کیفیت**

در این حالت، تابع هدف مسئله عبارت است از مجموع کیفیت موثر کلیه‌ی فعالیت‌ها. برای محاسبه‌ی این مقدار، ابتدا کیفیت موثر هر فعالیت روی کل پروژه، که برابر است با حاصل ضرب درصد تأثیر در کیفیت فعالیت مربوطه، محاسبه می‌شود. سپس مجموع مقادیر به دست آمده، محاسبه شده و با Q نشان داده می‌شود.

- **حالت چهارم: بهینه‌سازی ریسک**

در این حالت (مشابه حالت سوم)، تابع هدف مسئله عبارت است از مجموع ریسک موثر کلیه‌ی فعالیت‌ها. برای محاسبه‌ی این مقدار، ابتدا ریسک موثر هر فعالیت روی کل پروژه، که برابر است با حاصل ضرب درصد تأثیر در ریسک فعالیت مربوطه، محاسبه می‌شود. سپس مجموع مقادیر به دست آمده، محاسبه شده و با R نشان داده می‌شود.

- **حالت پنجم: بهینه‌سازی زمان، هزینه، کیفیت و زمان به طور همزمان**

در این حالت برای محاسبه‌ی تابع هدف از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

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

که در این رابطه T، C، Q و R به ترتیب زمان، هزینه، کیفیت و ریسک کل اجرای پروژه برای یک راه حل یا روش اجرای آن است. جزء اول مدت زمان، جزء دوم هزینه، جزء سوم کفیت و جزء چهارم ریسک اجرا را برای محاسبه مقدار تابع هدف برای هر پاسخ در بر دارد. از آنجاییکه که واحد اندازه‌گیری اجزاء هرم بقاء یکسان نیستند، بر اساس رابطه (۴) 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 (T_{min}) و بیشترین زمان (T_{max}) به ترتیب برابر با ۶۰ و ۱۰۵ روز، کمترین بها (C_{min}) و بیشترین هزینه(C_{max}) به ترتیب برابر با ۹۶،۲۰۰ دلار و ۱۶۵،۵۰۰ دلار، کمترین کیفیت (Q_{min}) و بیشترین کیفیت (Q_{max}) برابر با ۶۵,۹۲ و ۹۷ و کمترین ریسک (R_{min}) و بیشترین ریسک (R_{max}) به ترتیب برابر با ۲۲,۲ و ۴۳,۸ است.

۶- حل مسئله‌ی آزمون و نتایج تجربی تحقیق

برای ارزیابی الگوریتم طراحی شده، الگوریتم پیشنهادی با زبان برنامه‌نویسی C^{++} کدنویسی، و با استفاده از کامپیوتری با پردازنده Intel core2، چهارگیگابایت RAM و سیستم عامل Windows7، روی مسئله‌ی آزمون پیاده‌سازی شد.

به منظور ارزیابی کارایی الگوریتم طراحی شده، هر یک از حالت‌های مورد نظر،با تعداد تکرار و جمعیت مشخص، حل شد. پیش از حل مسائل آزمون، ابتدا مقدار پارامترهای الگوریتم-های طراحی شده مشخص شد در ادامه چگونگی انتخاب هر یک مقادیر و عملگرهای الگوریتم-های ژنتیک ارائه شده است.

- **تنظیم پارامترهای الگوریتم‌های حل**

همانطور که گفته شد، پیش از حل مسائل آزمون، ابتدا مقدار پارامترهای هر یک از الگوریت‌های طراحی شده مشخص شد. این پارامترها عبارتند از: اندازه‌ی جمعیت، تعداد تکرارها، نرخ تقاطع (P_c) و نرخ جهش (P_m). همچنین، بهترین عملگر جهش و تقاطع، از میان عملگرهای ارائه شده، انتخاب شد. واضح است که هرچه اندازه‌ی جمعیت و تعداد تکرارهای الگوریتم بیشتر

باشد، تعداد جوابهای تولید شده در هر اجرای آن بیشتر شده و در نتیجه کیفیت جواب حاصل افزایش می‌یابد. این مطلب برای میزان نرخ تقاطع (P_c) و نرخ جهش (P_m) نیز صادق است؛ زیرا همانطور که گفته شد، کروموزوم‌های تولید شده با استفاده از این دو عملگر، به جمعیت فعلی اضافه شده و در آخر بهترین آنها برای انتقال به نسل بعد انتخاب می‌شوند. بنابراین، با افزایش مقدار این دو پارامتر، احتمال تولید جواب‌های جدید، و در نتیجه بهترشدن مقدارتابع هدف افزایش می‌یابد.

با توجه به مطالب فوق، با استفاده از روش آزمون و خطا، ابتدا مقدار نرخ تقاطع (P_c) و نرخ جهش (P_m)، با توجه به مقدار تابع هدف تعیین شد. لازم به ذکر است که در کلیه‌ی آزمایش‌ها، برای سایر پارامترها مقداری ثابت در نظر گرفته شد. پس از آن کلیه‌ی ترکیب‌های ممکن از انواع عملگرهای تقاطع و جهش، برای هر یک از الگوریتم‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، اندازه جمعیت و تعداد تکرار را ثابت نگه داشته، و نرخ تقاطع (P_c) و نرخ جهش (P_m) برابر با مقادیر به دست آمده از آزمایش‌های محاسباتی قرار داده شد. در آخر با توجه به مقدار تابع هدف، بهترین ترکیب موجود از این دو عملگر انتخاب شد. پس از آن، با افزایش تدریجی اندازه جمعیت و تعداد تکرار، و با توجه به مقدار تابع هدف و زمان حل به دست آمده، مقدار مناسب برای این دو پارامتر تعیین شد.

جدول ۲: نرخ تقاطع، نرخ جهش، عملگر تقاطع و عملگر جهش انتخاب شده برای الگوریتم‌های حل

عملگر جهش	عملگر تقاطع	نرخ جهش (P_m)	نرخ تقاطع (P_c)
جهش دونقطه‌ای	تقاطع مبتنی بر مکان ژن	۰,۵ (٪۵۰)	۰,۹ (٪۹۰)

در جدول ۲ نرخ تقاطع، نرخ جهش، عملگر تقاطع و عملگر جهش انتخاب شده برای الگوریتم حل نشان داده شده است. در ادامه جواب‌های به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی برای پنج حالت مورد نظر ارائه شده است.

- **نتایج حاصل از الگوریتم حل**

داده‌های ورودی به برنامه برگرفته از نمونه فنی جدول شماره ۱ بوده و پس از اجرای برنامه، نتایج آن که بهینه‌سازی هرم بقاء با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک می‌باشد، در جدول ۳ قابل

مشاهده است. گزینه‌های اجرای بهینه در حالتی که هرم بقاء (زمان، هزینه، کیفیت و ریسک) مورد نظر باشد.

جدول ۳: نتیجه بهینه‌سازی زمان، هزینه،کیفیت و ریسک

نوع مدل	مقدار تابع هدف	تابع زمان کل (روز)	هزینه کل (دلار)	کیفیت کل (درصد)	ریسک کل	گزینه‌های اجرای هر فعالیت							
بهینه‌سازی زمان	۶۰	۶۰	۱۵۷۵۰۰	۹۳,۰۱	۰,۳۲۷۷	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	
بهینه‌سازی هزینه	۹۶۰۰	۱۰۵	۹۶۰۰	۶۵,۹۲	۰,۲۲۲۳	۳	۳	۴	۳	۳	۵	۳	
بهینه‌سازی کیفیت	۹۳,۰۱	۶۰	۱۵۷۵۰۰	۹۳,۰۱	۰,۳۲۷۷	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	
بهینه‌سازی ریسک	۰,۲۰۹۷	۹۷	۹۷۵۰۰	۷۰,۸۲	۰,۲۰۹۷	۳	۳	۴	۳	۱	۵	۳	
بهینه‌سازی زمان، هزینه، کیفیت، ریسک	۱,۲۲۶۷	۶۳	۱۳۲۹۰۰	۸۷,۲۶	۰,۲۹۰۵	۱	۳	۱	۲	۱	۲	۱	

بنابراین در پاسخ به سئوال اول که پرسیده آیا روش الگوریتم ژنتیک نسبت به سایر روش‌ها جواب بهینه‌تری را ارئه می‌دهد یا خیر، با توجه به نتایج به دست آمده و مقایسه با نتایج تحقیقات پیشین باید گفت که جواب‌ها و راه‌حل‌های این روش در حد بهترین جواب دقیق‌ترین روش‌ها است. همچنین این الگوریتم این امکان را دارد تا حسابدار مدیریت با ثابت نگهداشتن مقدار یک قلم، بهینه‌سازی را بین سایر اجزا انجام دهد. به عنوان نمونه کیفیت مورد انتظار را در یک مقدار حداقل تعریف و بهینه‌سازی را بین سایر اجزا انجام داده و از این طریق اقدام به برنامه‌ریزی برای انتخاب نوع و ویژگی‌های محصولات و خدمات نمایند.

برای پاسخ به سئوال دوم پژوهش باید گفت که گزینه‌های اجرایی ۱، ۳، ۱، ۲، ۱، ۲، ۱ که عملیات را طی ۶۳ روز با هزینه ۱۳۲،۹۰۰ دلار و در سطح کیفیت ۸۷,۲۶ و ریسک ۰,۲۹۰۵ به انجام می‌رساند، بهینه‌ترین راه اجرای عملیات بوده و تابع هدف آن و تابع هدف نیز ۱,۲۲۶۷ شده است. 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 بهینه‌سازی سایر اقلام نمایند که خود می‌تواند موضوع پژوهش دیگری باشد.

۷- بحث و نتیجه‌گیری

بهینه‌سازی مسایل اهمیت زیادی در زمینهٔ 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 استفاده از الگوریتم ژنتیک 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 رابطهٔ 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، 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 موازنهٔ 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 افزیش یا کاهش هزینه‌ها و دستیابی به موفقیت دارند، چنین موازنه و بهینه‌سازی‌ای ضامن موفقیت بلندمدت سازمان خواهد بود. استراتژی‌های نوین کسب کار نیز بر پایهٔ این عوامل شکل گرفته‌اند. در پاسخ به این سئوال 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 نیز استفاده نمود. حسابداران مدیریت، مهندسین 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.

منابع

۱. اشتهاردیان، احسان، افشار، عباس و عباس نیا، رضا، (۱۳۸۷)، رویکرد منطق فازی و الگوریتم نخبه‌گرای ژنتیک در بهینه‌سازی موازنه زمان-هزیه-کیفیت، چهارمین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه.

۲. بحرالعلوم، مهدی؛ تهرانی، رضا؛ حنیفی، فرهاد، (۱۳۹۱)، طراحی یک الگوریتم فرا ابتکاری جهت انتخاب پورتفوی بهینه ردیابی‌کننده شاخص بورس تهران، تحقیقات حسابداری و حسابرسی، سال چهارم، شماره سیزدهم.

۳. جعفرنژاد، علی؛ سحاب، محمد قاسم و اکبر پور، عباس، (۱۳۸۹)، بهینه‌سازی موازنه زمان-هزیه-کیفیت با استفاده از الگوریتم جستجوی مستقیم شبکه تطبیقی، پنجمین کنگره مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۴. رهنمای رودپشتی، فریدون، (۱۳۸۷)، حسابداری مدیریت راهبردی، مبتنی بر مدیریت هزینه ارزش آفرین، چاپ اول، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

۵. رهنمای رودپشتی، فریدون؛ جلیلی محمد، (۱۳۸۸)، «هزینه‌یابی هدف»، چاپ اول، انتشارات ترمه.

۶. فدایی‌نژاد، محمداسماعیل؛ اسکندری، رسول، (۱۳۹۰)، طراحی و تبیین مدل پیش‌بینی ورشکستگی شرکتها در بورس اوراق بهادار تهران، تحقیقات حسابداری و حسابرسی، سال سوم، شماره نهم.

7. 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.

8. Baccarini, D. and Archer, R., (2001). The risk ranking of projects: a methodology, International Journal of Project Management 19, 139-145.
9. Baloi, D., & Price, A. D. F., (2003). Modelling global risk factors affecting construction cost performance, International Journal of Project Management, 21, 261–269.
10. 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.
11. Chapman, C. and Cooper, D., (1983). Risk Engineering: Basic Controlled Interval and Memory Models, Journal of the Operational Research Society, 34(1) 51-60.
12. 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.
13. Dorigo, M., (1992). Optimization, learning and natural algorithms (in Italian), Ph.D. Thesis, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy.
14. Fan, M., Lin, N., & Sheu, C., (2008). Choosing a project risk-handling strategy: An analytical model, International Journal of Project Management, 112, 700–713.
15. 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.
16. Gen, M., “Genetic Algorithms & Engineering optimization”, 2000, New York: Wiley.
17. Gen, M., Cheng, R., “Genetic Algorithms & engineering design”, 1997, New York: Wiley.

18. Goldberg, D.E., “Genetic algorithms in search, Optimization and Machine Learning”, 1989, Wokingham,England: Addison-Wesley.(cited by Gen, M., Li, Y., Ida, K., “Solving Multi-Objective Transportation Problem by Spanning Tree-Based Genetic Algorithm”,
19. Hilton, R., Maher, M. and Selto, F., (2008). Cost Management, Strategies for Business Decision, 3rd edition. Irwin/McGraw-Hill, 2008.
20. Holland, J., "Adaptation in natural and artificial systems", 1975, Arbor: Universityof Michigan Press.
21. Jannadi, O.A. and Almishari, S. (2003). Risk Assessment in Construction, Journal of Construction Engineering and Management 129(5), 492-500.
22. KarimiAzari A. et al., (2011). Risk assessment model selection in construction industry, Expert Systems with Applications, 38, 9105–9111.
23. Lakshminarayanan, S., Ashish Gauravi and Arun, C., (2011). Time-Cost-Risk Trade off Using Ant Colony Optimization, Journal of Construction in Developing Countries.
24. 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.
25. Lyons, T., & Skitmore, M., (2004). Project management in the Queensland engineering construction industry: A survey. International Journal of Project Management, 22, 51–61.
26. 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.

27. Project Management Institute, (2004). A guide to the project management book of knowledge (PMBOK), (3rd ed.). Newtown Square, PA: Project Management Institute.
28. 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.
29. Stutzle T., (1999). Local search algorithms for combinatorial problems: analysis, improvements and new applications, Vol. 220 of DISK I, Sankt Augustin, Germany, Infix.
30. UNIDOU, (2006). Product quality, A guide for small and medium-sized enterprises, Working paper, United Nations Industrial Development Organization, Vienna.
31. 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.
32. 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.

Using genetic algorithm to optimize the Time-Cost-Quality-Risk in construction projects and investment plans

Abstract:
In this paper, the optimization within the components of the survival pyramid including time, cost, quality and risk in construction 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 high quality in order to create value for organization. In this paper to optimize the components of the survival pyramid with genetic algorithm in order to inplamenate five case on specific problems. In this case, we optimize every one of time, cost, quality, and risk separately.

Keywords: Optimization, Time, Cost, Quality, risk, survival pyramid, Genetic Algorithm.