فصلنامه علمی پژوهشی
دانش حسابداری و حسابرسی مدیریت
سال نهم / شماره ۳٤/ تابستان ۱۳۹۹

توسعه یک مدل بهینه سازی ریاضی جهت موازنه سود، زمان و ریسک در زمان‌بندی پروژه

احمد ابراهیمی
استادیار گروه مدیریت صنعتی و تکنولوژی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)،
ahmad.ebrahimi@srbiau.ac.ir

بهناز کاشیان
کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، گروه مدیریت صنعتی و تکنولوژی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،
bkashian@yahoo.com

محمد زاده کفاش
کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، گروه مدیریت صنعتی و تکنولوژی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،
m_zadehkafash@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۹

چکیده

امروزه حسابداری پروژه یکی از ارکان مهم سازمان‌ها در جهت انتخاب پروژه‌های سودآور و اجرای آن‌ها با مناسب‌ترین بودجه در زمان مقرر است. به‌طورمعمول بعد از انتخاب پروژه مناسب با استفاده از مدیریت پرتفولیو، مهم‌ترین بخش پروژه، رضایتمندی مشتریان از برنامه‌ریزی بر مبنای افق زمانی پروژه است. زمانی که کارفرما (مشتری) از پیمانکار تقاضا دارد مدت‌زمان پروژه کوتاه‌تر شود، این تقاضا پیامدهای متفاوتی بر روی کیفیت و سود پروژه خواهد گذاشت. در این تحقیق برای حداکثر کردن سود پروژه، حداکثر تأخیر در تحویل پروژه می‌بایست حداقل گردد و پروژه در زمان از پیش تعیین‌شده به مشتری تحویل داده شود و همچنین با تقاضای کاهش زمان اتمام پروژه نسبت به برنامه‌ریزی اولیه، ریسک می‌تواند افزایش یابد که منجر به کاهش سود می‌گردد، در این راستا اهمیت مدیریت حسابداری و مدیریت پروژه در کنار هم برای رسیدن به اهداف سازمان به‌خوبی درک می‌گردد. برای حل مسئله ریاضی در ابعاد کوچک از روش اپسیلون محدودیت و در ابعاد بزرگ‌تر از روش الگوریتم فرا ابتکاری ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات استفاده‌شده است. نتایج حاصل از حل مسئله نشان داد که با کاهش تأخیر در پروژه هم کارفرما و هم پیمانکار دارای منافع بیشتری می‌شوند، لذا هم ریسک پروژه کاهش‌یافته و هم‌سود پروژه افزایش می‌یابد و پروژه نیز در زمان پیش‌بینی‌شده انجام خواهد شد. اما در صورت تعجیل در زمان کل پروژه به ضرر هردو است، زیرا سود پروژه کاهش و ریسک نیز افزایش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: زمان‌بندی پروژه، موازنه، ریسک، تاخیر.

۱- مقدمه

بیشتر سازمان‌های بزرگ در حال انجام همزمان چندین پروژه برای تولید محصول یا ارائه خدمتی جدید مطابق با اهداف و خط‌مشی سازمان می‌باشند. گاهی فشار حاکم برای اتمام به‌موقع مطابق با بودجه تعیین‌شده پروژه و حفظ مزیت رقابتی، سازمان‌ها را به سمت توسعه و پیاده‌سازی فرآیندهای مدیریت پروژه کشانده است. بدین‌سان سازمان‌ها از ساختارهای عمل‌گرای سنتی به سازمان‌های پروژه مدار در حال تغییر بوده که می‌بایست پروژه‌ها را به اهداف واضح اما فوری بر طبق زمان توافقی در محیط رقابتی با در نظر گرفتن منابع محدود به نحو احسن به پایان رسانند؛ اما یکی از عمده مشکلات اجرایی پروژه‌ها، افزایش زمان اتمام پروژه نسبت به زمان برنامه‌ریزی‌شده است که ازیک‌طرف سبب افزایش هزینه و عدم صرفه اقتصادی آن و از طرف دیگر سبب تأخیر در اتمام کار و بدقولی متولیان پروژه در مقابل مشتریان می‌شود. زمان‌بندی نامناسب و غیرمنطقی پروژه، باعث بروز مشکلات زیادی مانند ایجاد خطا در برآورد هزینه و بودجه‌بندی پروژه، ایجاد خطا در تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی پروژه‌ها، متحمل شدن هزینه‌های دیرکرد و سلب اعتماد کارفرما در قراردادها، عدم توجه به امکان‌سنجی منابع، عدم موفقیت پروژه، ایجاد تناقض‌ها در گزارش‌های پیشرفت پروژه و غیره خواهد شد. جهت پیشگیری از مشکلات احتمالی پروژه‌ها می‌بایست قبل از شروع پروژه به مطالعه امکان‌سنجی با توجه به دانش مدیریت پروژه در کنار دانش حسابداری و با در نظر گرفتن محدودیت‌ها بپردازیم. مجموعه دانش مدیریت پروژه بر آگاهی از روش اجرای صحیح هرکدام از اقدامات مدیریت پروژه کمک خواهد کرد، اینکه چه اقدام‌هایی در چه زمان‌هایی و با مشارکت چه کسانی انجام شود. نقش دانش حسابداری پروژه علاوه بر مدیریت بودجه، حسابداری هزینه فعالیت‌ها و گزارش‌های مالی، در تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری در پروژه‌های مختلف در کنار مدیریت پروژه انکارناپذیر است.

یکی از حوزه‌های دانش مدیریت پروژه، حسابداری پروژه است که می‌بایست اطلاعات مالی و بودجه‌ای پروژه به‌صورت مفید و به‌موقع در اختیار مدیران پروژه قرار بگیرد این در حالی است که اطلاعات سیستم حسابداری ، جوابگوی نیاز مدیریت پروژه ازلحاظ گزارش‌های تخصصی نیست، به‌طور مثال در یک شرکت پیمانکاری، سود و زیان پروژه‌ها به‌صورت کلی در آخر سال مالی و بر اساس درصد پیشرفت کار تعیین و شناسایی می‌گردد که برای نیازهای تخصصی، کنترل و برآورد هزینه‌ها و اتخاذ تصمیمات لازم برای مدیریت مالی پروژه مؤثر واقع نمی‌گردد (گلیکانلو، احمد، ۱۳۹۸).

سازمان‌هایی که همزمان در حال اجرای چندین پروژه سازمانی جهت حصول محصولات و یا ارائه خدمات می‌باشند، بایستی سیستم مدیریتی مناسبی داشته باشند که منافع مطلوب آن سازمان را مشخص کند و مطمئن شود که همه طرح‌ها و پروژه‌ها و همچنین عملیاتی که در سازمان جاری است با اهداف استراتژیک و منافع مطلوب همسو هستند. این سیستم، مدیریت پرتفولیو پروژه (PPM) نام دارد.

مدیریت پروژه بر «درست انجام دادن کار» و مدیریت پرتفولیو پروژه بر «انجام دادن کار درست» متمرکز هستند و هر سازمانی نیاز به هر دو نوع سیستم را دارد و در غیر این صورت موفق نخواهد بود (خرمی راد، ۱۳۹۳، ۱۹).

مسائل مالی و حسابداری پروژه در بخش‌های مختلف مانند شرکت در مناقصات، انتخاب پروژه مناسب، برنامه‌ریزی، اجرا، کنترل و نظارت و تغییرات جز لاینفک هر پروژه می‌باشند، در این میان مهم‌ترین هدف سازمان‌ها که جنبه پولی و مالی نیز است، سود حاصل از انجام یک پروژه است، که در این مقاله به‌صورت همزمان با ریسک و زمان در قالب اهداف مسئله دیده‌شده است، همچنین به‌جای بررسی تنها یک پروژه به بررسی وضعیت چندین پروژه در دست اجرا با لحاظ محدودیت منابع فعالیت‌ها پرداخته‌شده است.

در این تحقیق، روش شناخت موضوع تحت بررسی، توصیفی و با رویکرد مدل‌سازی از نوع خطی با اهداف حداقل کردن زمان تأخیر در پروژه، حداقل کردن ریسک و حداکثر کردن سود در سبد پروژه‌ها است. جهت عملکرد مدل ارائه‌شده و الگوریتم پیشنهادی، مثال‌های عددی مطابق با شرایط دنیای واقعی طراحی‌شده و نیز جهت اعتبار سنجی مدل، مسئله در ابعاد کوچک به کمک نرم‌افزار GAMS به روش دقیق حل گردیده است. در ادامه مسئله در ابعاد بزرگ‌تر به‌مانند اکثر پروژه‌های اجرایی، مدل به‌وسیله نرم‌افزار MATLAB با الگوریتم فرا ابتکاری پیشنهادی حل‌شده است. قابل‌ذکر است برای اثبات عملکرد مناسب الگوریتم پیشنهادی در ابعاد بزرگ، به بررسی و مقایسه نتایج حاصل از حل مدل در ابعاد کوچک به‌وسیله روش‌های حل دقیق و روش فرا ابتکاری پرداخته‌ایم و درنهایت تأثیر تغییرات پارامترهای مدل بر روی توابع هدف موردمطالعه قرارگرفته شده است.

۲- مروری بر پیشینه تحقیق

ادبیات موضوع در مورد مسئله مدیریت پروژه بسیار گسترده بوده و روش‌ها و رویکردهای متعددی طی سال‌های اخیر برای حل این مسئله توسط محققان ارائه‌شده است. عمده این تحقیقات با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی معمول، سعی

در حل این مسئله کاربردی دارند. به علت گستردگی دامنه ادبیات موضوع، در مقاله حاضر سعی بر آن شده است تا به مهم‌ترین و جدیدترین روش‌های ارائه‌شده برای حل مسئله پروژه پرداخته شود.

جعفر نژاد و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی تحت عنوان «بهینه‌سازی زمان- هزینه-کیفیت با استفاده از الگوریتم جستجوی مستقیم شبکه تطبیقی» یک الگوریتم فرا کاوشی جدید بنام الگوریتم جستجوی مستقیم شبکه تطبیق MADS در حل مسئله موازنه زمان-هزینه-کیفیت پروژه‌های عمرانی ارائه نمودند. الگوریتم پیشنهادی برای حل یک مسئله عملی بکار برده شده و نتایج آن با مطالعات مشابه قبلی مقایسه شده است.

مهدی‌زاده و محسنیان (۱۳۹۱) در پژوهشی تحت عنوان «حل مسئله‌ی موازنه هزینه-زمان-کیفیت پروژه با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی چندهدفه» به بررسی مسئله موازنه هزینه-زمان با در نظر گرفتن عامل کیفیت به‌عنوان یکی از ارکان پروژه با پارامترهای تصادفی تأخیر در فعالیت‌های پروژه در هنگام فشرده‌سازی پرداختند. در این راستا ابتدا یک مدل تصادفی موازنه هزینه-زمان و کیفیت پروژه توسعه داده می‌شود، آنگاه برای حل مدل از مفهوم برنامه‌ریزی سازشی مقید شده تصادفی استفاده می‌شود و درنهایت برای تشریح مدل و حصول نتایج، کاربرد آن در یک پروژه‌ی واقعی درزمینه استقرار مخازن گاز مایع موردبررسی قرارگرفته است. درنهایت نیز نتایج بیانگر کاربردی بودن مدل در مسائل دنیای واقعی است.

ابراهیم نژاد و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی تحت عنوان «موازنه معیارهای هزینه، زمان و کیفیت در یک شبکه CPM با استفاده از منطق فازی و الگوریتم ژنتیک» یک مدل ریاضی فازی برای شبکه‌ای از فعالیت‌ها پیشنهاد کردند به‌طوری‌که هر یک دارای چندین حالت اجرا هستند تا از میان شیوه‌های ممکن و موازنه معیارهای آن‌ها، بهترین شیوه اجرا انتخاب شود به‌گونه‌ای که اهداف فوق را تأمین نماید. بدین منظور یک الگوریتم ژنتیک NSGA-II برای حل مدل پیشنهادی طراحی گردید. سپس یک مطالعه موردی در صنعت نفت انجام شد و عملکرد مدل و الگوریتم پیشنهادی مورد آزمون قرار گرفت. همچنین با استفاده از روش برش آلفای فازی میزان اعتنای مدیر پروژه به نظرات کیفی افراد خبره نیز آورده شده است.

ابطحی (۱۳۹۱) در پژوهشی تحت عنوان «مدل زمان‌بندی پروژه با رویکرد تلفیقی چندهدفه موازنه زمان-هزینه-کیفیت-ریسک و فعالیت‌های چندحالته بر اساس یک الگوریتم فرا ابتکاری» به ارائه مدل زمان‌بندی پروژه با رویکرد تلفیقی چندهدفه موازنه زمان-هزینه-کیفیت-ریسک و فعالیت‌های چندحالته بر اساس یک الگوریتم فرا ابتکاری پرداخت. در این پژوهش دو هدف کیفیت و ریسک نیز به مسئله کلاسیک موازنه زمان-هزینه افزوده‌شده است. بنا بر تعریف استاندارد مدیریت پروژه ریسک پروژه برابر با هر عاملی است که اهداف پروژه را از حالت مورد انتظار دور کند. با استفاده از این تعریف و با در نظر گرفتن زمان، هزینه و کیفیت فعالیت‌های پروژه به‌صورت احتمالی، تابع هدف ریسک پروژه برابر با ترکیبی از واریانس زمان، هزینه و کیفیت پروژه تعریف‌شده است. در ادامه مدل برنامه‌ریزی ریاضی مسئله چندهدفه موازنه زمان-هزینه-کیفیت-ریسک با فعالیت‌های چندحالته و روابط پیش‌نیازی عمومی طراحی‌شده و سپس این مسئله که جزء مسائل سخت بازمان غیر چندجمله‌ای است با استفاده از روش دقیق اپسیلون محدودیت کارا و دو روش فرا ابتکاری الگوریتم ژنتیک چندهدفه و الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات چندهدفه حل‌شده است.

عبداللهی و خوزین (۱۳۹۵) در پژوهشی تحت عنوان «استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی موازنه بین زمان، هزینه، کیفیت و ریسک در پروژه‌های عمرانی و طرح‌های سرمایه‌گذاری» به بهینه‌سازی بین اجزاء هرم بقاء شامل زمان، هزینه، کیفیت و ریسک در پروژه‌های عمرانی و طرح‌های سرمایه‌گذاری پرداختند. در این پژوهش 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. علاوه بر این در این مقاله درراه بهینه‌سازی اجزاء هرم بقاء از نوعی الگوریتم ژنتیک استفاده‌شده است که به این منظور پنج حالت مختلف روی مسئله‌ی موردنظر پیاده‌سازی شد. در چهار حالت به بهینه‌سازی هر یک از عوامل زمان، بها، کیفیت و ریسک به‌طور جداگانه پرداخته شد. در آخر نیز هر چهار عامل به‌طور همزمان در نظر گرفته شد.

توانا و همکاران (۲۰۱۴) به ارائه یک مدل چند مد اجرایی چندهدفه به‌منظور حل مسائل گسسته موازنه زمان-هزینه-کیفیت با روابط پیش‌فرضی و پیش‌نیازی تعمیم‌یافته ارائه نمودند. مدل پیشنهادشده دارای سه مشخصه‌ی منحصربه‌فرد: ۱- پیش‌فرضی فعالیت‌ها (با در نظر گرفتن بعضی محدودیت‌ها از قبیل حداقل زمان قبل از اولین وقفه، حداکثر تعداد وقفه برای هر فعالیت و حداکثر زمان وقفه و راه‌اندازی مجدد)، ۲- بهینه‌سازی همزمان اهداف متضاد (از قبیل زمان، هزینه و کیفیت) و ۳- روابط پیش‌نیازی تعمیم‌یافته بین فعالیت‌ها است. به‌منظور حل مسئله زمان‌بندی، یک نسخه‌ی الگوریتم

سفارشی، پویا و خودسازگار تکاملی چندهدفه نیز پیشنهادشده است.

حاجی‌آقا و همکاران (۲۰۱۴) به توسعه مدل‌های حاضر ریاضی موازنه هزینه، زمان و کیفیت پرداختند، به‌طوری‌که پارامترهای فعالیت‌های پروژه به‌وضوح بر اساس اعداد خاکستری تخمین زده می‌شوند. مهم‌ترین جنبه‌ی مدل پیشنهادی در نظر گرفتن عدم‌قطعیت در داده‌های برنامه‌ریزی پروژه‌ها در قالب اعداد خاکستری است. همچنین در این پژوهش ترکیبی از برنامه‌ریزی فازی آرمانی و برنامه‌ریزی خطی خاکستری نیز به‌منظور حل مدل توسعه داده‌شده است. کاربرد این مدل در یک مثال عددی بررسی‌شده است. درنهایت مدل یک محدوده‌ی بهینه را تعیین نموده به‌طوری‌که مدیران پروژه قادر خواهند بود به تغییرات درونی ایجادشده در پارامترهای پروژه پاسخ دهند.

منقسمی و همکاران (۲۰۱۵) یک رویکرد استدلال اثبات‌شده را برای اولین بار در حوزه‌ی برنامه‌ریزی پروژه جهت شناسایی بهترین راه‌حل پارتو برای مسائل موازنه‌ی گسسته زمان-هزینه-کیفیت به کار گرفتند. در این پژوهش چارچوبی به‌منظور تلفیق رویکردهای MCDM با تکنیک‌های بهینه‌سازی چندهدفه نیز پیشنهادشده است. به‌منظور دستیابی به راه‌حل‌های بهینه پارتو سرتاسری، یک الگوریتم ژنتیک چندهدفه با استفاده از روش NSGA-II جهت آزمایش پروژه ساخت‌وساز بزرگراه موردمطالعه قرار گرفت. از تکنیک شانون جهت تعیین اوزان نسبی اهداف بر اساس مشارکتشان در عدم قطعیت نتایج به‌دست‌آمده استفاده‌شده است. درنهایت با بررسی عملکرد هر گزینه‌ی برنامه‌ریزی بر اساس معیارهای چندگانه (از قبیل زمان، هزینه و کیفیت)، رویکرد پیشنهادی در بهبود اثربخشی برنامه‌ریزی پروژه ساخت‌وساز مؤثر بوده است.

تران و همکاران (۲۰۱۵) الگوریتم چندهدفه زنبورعسل با تفاضل دیفرانسیل برای مسئله موازنه کیفیت و زمان و هزینه پروژه را موردبررسی قراردادند و از رویکرد محدودیت منابع نیز در تحقیق خود بهره بردند.

کوو و همکاران (۲۰۱۵) به توسعه‌ی مدل بهینه‌سازی چندهدفه یکپارچه جهت ارائه مجموعه راه‌حل‌های بهینه بر اساس مفاهیم جبهه پارتو در طول شش مرحله: ۱- بیان مسئله، ۲- تعریف اهداف بهینه‌سازی، ۳- ایجاد ساختار داده ۴- استانداردسازی اهداف بهینه‌سازی، ۵- تعریف تابع برازش و ۶- معرفی الگوریتم ژنتیک پرداختند. به‌منظور ارزیابی و قابلیت اطمینان مدل پیشنهادی یک مطالعه موردی در زمینه مسئله موازنه زمان-هزینه ساخت‌وساز مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌تواند در موارد: ۱- تعیین بهینه‌سازی اهداف از قبیل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه عملیات و نگهداری و تعمیرات و هزینه انتشار گاز co2، ۲- در نظر گرفتن اهداف به‌عنوان معانی واقعی، ۳- ارزیابی توابع برازش و ۴- توسعه به سایر نواحی دیگر مانند کیفیت هوا در محیط داخلی، مواد و استفاده از انرژی استفاده شود.

محمدی‌پور و سجادی (۲۰۱۶) به بررسی موازنه هزینه-کیفیت-ریسک پروژه در مسئله محدودشده‌ی زمانی پرداختند. در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه خطی مختلط عدد صحیح به‌منظور کمینه‌سازی «هزینه‌های اضافی کل پروژه»، «افزایش کل ریسک پروژه» و «کاهش کیفیت کل پروژه» با توجه به محدودیت زمانی پیشنهادشده است. به عبارتی مطالعه پیشنهادی به موازنه بین سه هدف ذکرشده به‌منظور کوتاه نمودن مدت‌زمان کل پروژه می‌پردازد. درنهایت نتایج محاسباتی نشان از کارایی مدل ارائه‌شده دارد.

مهدیراج و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله خود یک مدل خطی خاکستری چندهدفه برای پیدا کردن مسیر بحرانی پروژه با استفاده از پارامترهای ریسک و زمان و هزینه و کیفیت پروژه ارائه داده است. این مدل میزان ریسک و کیفیت هر فعالیت را همراه با دو فاکتور زمان و هزینه در نظر می‌گیرد و برای هر معیار وزن تعیین کرده و برای هر فعالیت ضریبی به دست می‌آید که از چهار عامل زمان، هزینه، ریسک و کیفیت تشکیل‌شده و بر اساس این فاکتور مسیر بحرانی انتخاب می‌شود که برای اتمام به‌موقع پروژه طبق بودجه مشخص‌شده، می‌بایستی بیشترین تمرکز بر روی این مسیر صورت گیرد و لزوماً مسیری نیست که دارای بیشترین زمان اتمام پروژه است.

قوش و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی موازنه بین زمان و هزینه پروژه، رویکرد بیزی برای به‌روزرسانی زمان پروژه و برآورد هزینه با در نظر گرفتن هزینه، زمان و محدودیت منابع، تحت شرایط عدم قطعیت مسئله را مورد ارزیابی قرار داده است. آن‌ها همچنین از یک روش حل فرا ابتکاری برای مسئله استفاده کردند که از حیث زمان نسبت به حل دقیق صرفه‌جویی قابل‌توجهی دارد.

هوان ژنگ (۲۰۱۷) در تحقیق خود به موازنه زمان-هزینه-محیط با رویکرد حل الگوریتم ترکیبی ژنتیک پرداخته است. هدف او در تحقیق خود، به حداقل رساندن کل زمان پروژه به‌منظور حداقل کردن هزینه‌های دیرکرد و به حداقل رساندن هزینه تأثیرات محیطی است. ازآنجاکه روش‌های حل دقیق برای این مسئله از کارایی بالایی برخوردار نبودند به همین منظور از روش الگوریتم فرا ابتکاری ترکیبی ژنتیک استفاده کرد که در ابعاد بالا به‌خوبی به جواب بهینه همگرا شده است.

ژنگ ون و همکاران (۲۰۱۷) مسئله زمان‌بندی پروژه را با موازنه سود و زمان موردبررسی قرار داده‌اند. آن‌ها در تحقیق خود چندین زمان گسسته با ۴ شیوه پرداخت در نظر گرفتند که سود نهایی بستگی به زمان پایان آن‌ها داشت زیرا با کاهش زمان پروژه هزینه کاهش خواهد یافت و درنتیجه سود افزایش می‌یابد و ازآنجاکه مسئله یک مسئله NP-hard بود برای حل مسئله از روش جستجوی همسایگی استفاده کرد.

داوید و همکاران (۲۰۱۷) مسئله زمان‌بندی پروژه‌های نفت و گاز را با رویکرد موازنه هزینه-زمان-کیفیت باهدف حداقل کردن زمان کل پروژه و حداکثر کردن کیفیت بررسی کردند به‌طوری‌که مسئله در شرایط عدم قطعیت موردبررسی قرار گرفت. آن‌ها مسئله را با رویکرد حل چندهدفه و تولید جبهه پارتو بررسی و برای مقابله با عدم قطعیت پارامترها از تئوری فازی بهره بردند.

حافظ الکتاب و همکاران (۲۰۱۸) یک مسئله زمان‌بندی پروژه را با توابع هدف، زمان و سود به‌صورت قطعی و خطی موردبررسی قراردادند. آن‌ها یک پروژه با چندین پیمانکار که دارای پیچیدگی زیادی است را در قالب یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح حل دقیق نمودند.

پرز و همکاران (۲۰۱۹) یک مدل ریاضی غیرخطی موازنه زمان – هزینه پروژه را با محدودیت منابع غیرقطعی ارائه نمودند. آن‌ها این مسئله را با ترکیب دو تکنیک crashing و fast-tracking با استفاده از الگوریتم ژنتیک به علت NP-hard بودن آن حل و نشان دادند که مسائل موازنه در واقعیت غیرخطی می‌باشند.

با توجه به بررسی جدول ۱ که پیشینه تحقیقات را نشان می‌دهد کاملاً مشخص است که گرچه تحقیقات زیادی در بحث موازنه صورت پذیرفته اما بیشتر آن‌ها در بحث موازنه کیفیت و هزینه بوده و تحقیقات کمی در حوزه موازنه ریسک و سود و زمان بوده است، لذا با توجه به شکاف تحقیقاتی عنوان‌شده، این تحقیق به بررسی موازنه سود و زمان و ریسک به‌صورت همزمان و همچنین به‌جای بررسی تنها یک پروژه به بررسی وضعیت تمامی پروژه‌های در دست اجرا پرداخته است.

جدول ۱- خلاصه تحقیقات در زمینه مسائل موازنه از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴

نویسنده (نویسندگان)	سال انتشار	نوع موازنه	فعالیت‌ها	محدودیت منابع	مدل‌سازی	روش حل
آزران و همکاران	۲۰۰۵	هزینه-زمان	یک مد اجرایی	دارای محدودیت-یک منبع تجدید ناپذیر	گسسته، چندهدفه، ایستا، غیرقطعی، احتمالی	غیردقیق، فراابتکاری- الگوریتم ژنتیک
وان‌هوک	۲۰۰۵	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	دارای محدودیت-یک منبع تجدید ناپذیر	گسسته، یک‌هدفه، پویا، قطعی	دقیق-الگوریتم شاخه و کران
تارقیان و طاهری	۲۰۰۶	هزینه-زمان-کیفیت	چند مد اجرایی	دارای محدودیت-یک منبع تجدید ناپذیر	گسسته، چندهدفه، پویا، قطعی	دقیق-نرم‌افزارLingo
فان و لیو	۲۰۰۷	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	بدون محدودیت	گسسته، چندهدفه، پویا، قطعی	دقیق- برنامه‌ریزی پویا
آزران و توکلی‌مقدم	۲۰۰۷	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	بدون محدودیت	گسسته، چندهدفه، پویا، غیرقطعی، احتمالی	غیردقیق-فراابتکاری-روش STEM
پاراکاش و همکاران	۲۰۰۸	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	دارای محدودیت-یک منبع تجدید ناپذیر	گسسته، چندهدفه، پویا، قطعی	غیردقیق-فراابتکاری- روش بهینه پارتو
که و همکاران	۲۰۰۹	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	بدون محدودیت	گسسته، یک هدفه، پویا، غیرقطعی، احتمالی	غیردقیق، فراابتکاری- الگوریتم ژنتیک
مختاری و آقایی	۲۰۰۹	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	بدون محدودیت	گسسته، یک هدفه، پویا، غیرقطعی، احتمالی	غیردقیق، فراابتکاری- الگوریتم ژنتیک
هزیر و همکاران	۲۰۱۰	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	بدون محدودیت	گسسته، یک هدفه، پویا، قطعی	روش مبتنی بر تجزیه - برنامه‌ریزی تصادفی
هزیر و همکاران	۲۰۱۰	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	بدون محدودیت	گسسته، چندهدفه، پویا، غیرقطعی، استوار	غیردقیق-ابتکاری-روش تجزیهBenders

نویسنده (نویسندگان)	سال انتشار	نوع موازنه	فعالیت‌ها	محدودیت منابع	مدل‌سازی	روش حل
آناگاُستوپوولس و کتسیکاس	۲۰۱۰	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	بدون محدودیت	گسسته، یک هدفه، پویا، قطعی	غیردقیق، فراابتکاری-روش اصلاح‌شده‌ی شبیه‌سازی‌شده
جینگ-ون و هوی-فنگ	۲۰۱۰	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	دارای محدودیت-چند منبع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر	گسسته، یک هدفه، پویا، قطعی	غیردقیق، فراابتکاری-الگوریتم ژنتیک
مختاری و همکاران	۲۰۱۱	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	بدون محدودیت	گسسته، یک هدفه، پویا، غیرقطعی، احتمالی	غیردقیق، فراابتکاری-الگوریتم کلونی مورچگان
چن و تسای	۲۰۱۱	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	بدون محدودیت	گسسته، یک هدفه، پویا، غیرقطعی، فازی	دقیق-نرم‌افزارLingo
سانمز و بتمیر	۲۰۱۲	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	بدون محدودیت	گسسته، یک هدفه، پویا، قطعی	غیردقیق، فراابتکاری-الگوریتم ژنتیک
کلانسک و پسوندر	۲۰۱۲	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	بدون محدودیت	گسسته، یک هدفه، پویا، قطعی	دقیق-برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط
غمگین‌زاده و نجفی	۲۰۱۳	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	دارای محدودیت-یک منبع تجدید پذیر	گسسته، یک هدفه، پویا، قطعی	غیردقیق، فراابتکاری-الگوریتم ژنتیک
سان و همکاران	۲۰۱۳	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	بدون محدودیت	ترکیب پیوسته و گسسته، یک‌هدفه، پویا، قطعی	دقیق- نرم‌افزارLindo
که و ما	۲۰۱۴	هزینه-زمان	چند مد اجرایی	بدون محدودیت	گسسته، یک هدفه، پویا، غیرقطعی، فازی	غیردقیق، فراابتکاری-الگوریتم ژنتیک و الگوریتم هوشمند ترکیبی

۳- متدولوژی مدل ریاضی چندهدفه، بهینه‌سازی سود، زمان و ریسک

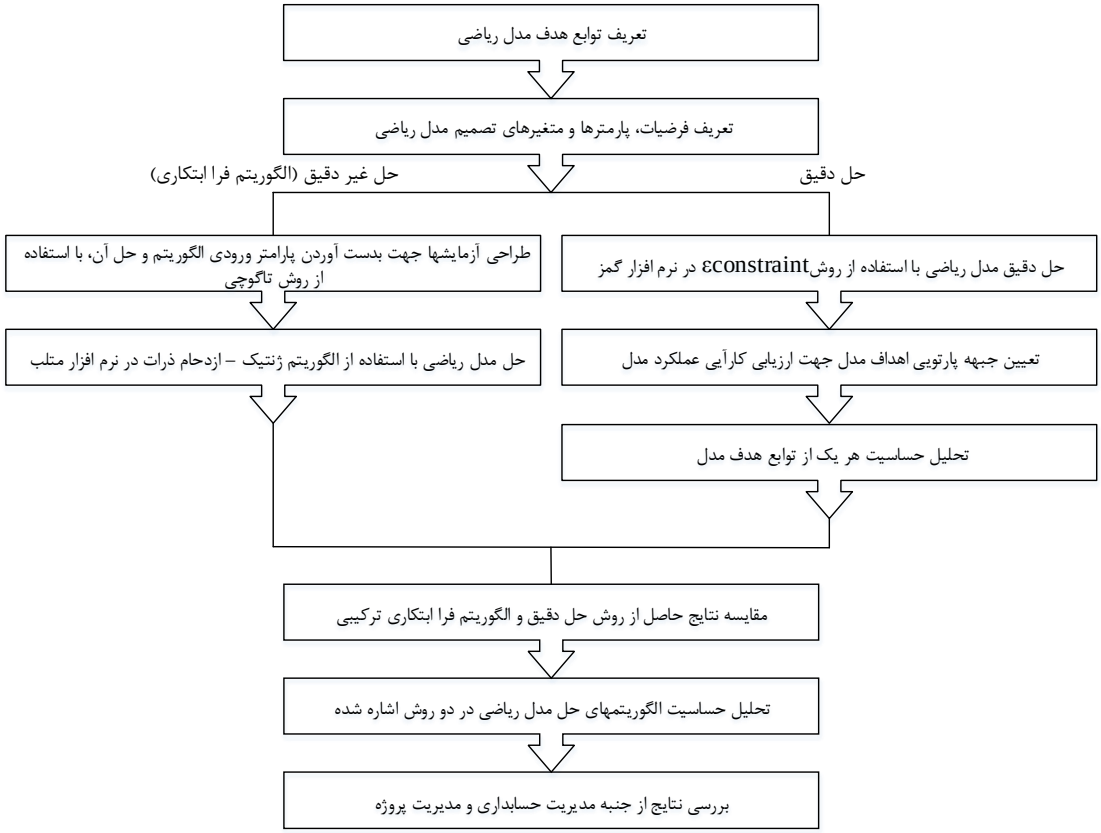
به‌طورکلی مراحل ساختار این مقاله به‌صورت شکل ۱ است.

در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی سه هدفه خطی که به ترتیب اهداف زیر را دنبال می‌کند در نظر گرفته‌شده است:

۱) حداقل کردن زمان تأخیر در پروژه: ازآنجایی‌که مشتریان خواهان کاهش مدت‌زمان اجرای پروژه می‌باشند که در صورت عدم تحقق خواسته مشتری، سازمان را با تأخیر در زمان انجام پروژه مواجه می‌سازد؛ بنابراین تابع هدف اول کمینه کردن حداکثر زمان تأخیر در پروژه را است.

۲) حداقل کردن ریسک: هدف دوم مسئله در پی حداقل کردن کل ریسک پروژه است ریسک یک رویداد غیرقطعی است که اگر اتفاق بیفتد باعث تأثیر منفی یا مثبت بر روی پروژه می‌شود. ریسک درصورتی‌که اتفاق بیفتد ممکن است یک یا چند اثر بر پروژه بگذارد. ریسک در پروژه می‌تواند به‌صورت تهدید یا فرصت باشد؛ اما در این تحقیق ریسک از نوع تهدید در نظر گرفته‌شده است.

۳) حداکثر کردن سود: با در نظر گرفتن کاهش زمان تأخیر بر روی زمان اتمام پروژه، تغییر در کل زمان به وجود می‌آید و با این تغییر قصد داریم سود پروژه را حداکثر کنیم.



شکل ۱- متدولوژی تحقیق صورت گرفته

۴- مدل‌سازی ریاضی مسئله

۴-۱- فرضیات مدل

مفروضات در نظر گرفته شده در مدل ریاضی مسئله به شرح ذیل هستند:

- گستره اولیه پروژه از سوی مشتری مشخص است.
- مشتری زمان‌بندی اولیه در هنگام مناقصه را موردبررسی قرار می‌دهد و بر اساس آن به پیمانکار تقاضای کاهش زمان اتمام پروژه را می‌دهد.
- محدودیت منابع وجود ندارد.

۴-۲- نمادها، متغیرهای تصمیم و پارامترهای مدل

نمادها و متغیرهای تصمیم و پارامترهای در نظر گرفته‌شده در مدل ریاضی در جدول ۵، ۶ و ۷ آورده شده است.

جدول ۲- نمادهای مدل ریاضی

i	فعالیت پیش‌نیاز
j	فعالیت
k	فعالیت موفقیت‌آمیز k
r	فعالیت تحت تأثیر قرارگرفته با ریسک
l	آخرین فعالیت
t	تعداد واحدهای زمانی به تأخیر افتاده شده فعالیت‌ها
n	تعداد پروژه‌ها

جدول ۳- متغیرهای تصمیم مدل ریاضی

ES_{jn}	زودترین زمان شروع فعالیت j در پروژه n
LF_{jn}	دیرترین زمان پایان فعالیت j در پروژه n
y_{jtn}	اگر فعالیت j به‌اندازه t واحد در پروژه n دچار تأخیر شود مقدار یک می‌گیرد و در غیر این صورت صفر

جدول ۴- پارامترهای مدل

PR_{jn}	درآمد حاصل از اجرای فعالیت j در پروژه n
C_{jn}	هزینه افزایش یا کاهش تأخیر یک واحد زمانی در فعالیت j در پروژه n
d_{jn}	مدت‌زمان انجام فعالیت j در پروژه n
TR_{jn}^{max}	حداکثر واحد زمانی تأخیر مجاز برای فعالیت j در پروژه n
f_{0n}	زمان اتمام پروژه که مشتری تعیین می‌کند در پروژه n
FS_{ijn}^{min}	کمترین زمان بین پایان i و شروع فعالیت j در پروژه n
SS_{ijn}^{min}	کمترین زمان بین شروع فعالیت i و شروع فعالیت j در پروژه n
FF_{ijn}^{min}	کمترین زمان بین پایان فعالیت i و پایان فعالیت j در پروژه n
SF_{ijn}^{min}	کمترین زمان بین شروع فعالیت i و پایان فعالیت j در پروژه n
P_{jtn}	احتمال ریسک پروژه با کاهش t زمان در فعالیت j در پروژه n
l_{rjtn}	مقدار تأثیر ریسک بر فعالیت j تحت تأثیر قرارگرفته r با t واحد تأخیر در پروژه n

۴-۳- مدل ریاضی مسئله

مدل ریاضی مطرح‌شده در این تحقیق به شرح زیر است:

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{n=1}^{N}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{TR_j^{max}} t y_{jtn} \qquad (۱)$$

$$\min Z_2 = \sum_{n=1}^{N}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{TR_j^{max}}\sum_{r=1}^{R} P_{jtn}\, l_{rjtn}\, y_{jtn} \qquad (۲)$$

$$\text{Max } Z_3 = \sum_{n=1}^{N}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{TR_j^{max}} \left(PR_{jn} - t\, C_{jn} y_{jtn}\right) \qquad (۳)$$

s .t:

$$LF_{jn} = f_{0n} \qquad (۴)$$

$$\sum_{t=1}^{TR_j^{max}} y_{jtn} \le 1 \qquad \forall j,n \qquad (۵)$$

$$LF_{jn} - ES_{jn} \ge \left(d_{jn} - \sum_{t=1}^{TR_{jn}^{max}} t\, y_{jtn}\right) \qquad \forall j,n \qquad (۶)$$

$$ES_{jn} - ES_{in} \ge \left(d_{jn} - \sum_{t=1}^{TR_{in}^{max}} t\, y_{jtn}\right) + FS_{ijn}^{min} \qquad \forall i,j,n \qquad (۷)$$

$$LF_{kn} - LF_{jn} \ge \left(d_{kn} - \sum_{t=1}^{TR_{jn}^{max}} t\, y_{ktn}\right) + FS_{jkn}^{min} \qquad \forall j,k,n \qquad (۸)$$

$$ES_{jn} - ES_{in} \ge SS_{ijn}^{min} \qquad \forall i,j,n \qquad (۹)$$

$$LF_{kn} - LF_{jn} \ge \left(d_{kn} - \sum_{t=1}^{TR_{jn}^{max}} t\, y_{ktn}\right) - \left(d_{jn} - \sum_{t=1}^{TR_{jn}^{max}} t\, y_{ktn}\right) + SS_{jk}^{min} \qquad \forall j,k,n \qquad (۱۰)$$

$$ES_{jn} - ES_{in} \ge \left(d_{in} - \sum_{t=1}^{TR_{in}^{max}} t\, y_{ktn}\right) - \left(d_{jn} - \sum_{t=1}^{TR_{jn}^{max}} t\, y_{ktn}\right) + FF_{jkn}^{min} \qquad \forall j,k,n \qquad (۱۱)$$

$$LF_{kn} - LF_{jn} \ge FF_{jkn}^{min} \qquad \forall j,k,n \qquad (۱۲)$$

$$ES_{jn} - ES_{in} \ge SF_{ijn}^{min} - \left(d_{jn} - \sum_{t=1}^{TR_{jn}^{max}} t\, y_{jtn}\right) \qquad \forall j,k,n \qquad (۱۳)$$

$$Lf_{kn} - LF_{jn} \geq SF_{jkn}^{min} - \left(d_{jn} - \sum_{t=1}^{TR_{jn}^{max}} t\, y_{jtn} \right) \qquad \forall j,k,n \qquad (۱۴)$$

$$LF_{jn}, ES_{jn} \geq 0 \qquad \forall j,n \qquad (۱۵)$$

$$y_{jtn} \in \{0,1\} \qquad \forall j,t,n \qquad (۱۶)$$

تابع هدف اول (۱) به کمینه‌سازی زمان کل تأخیرهای ایجادشده در اجرای فعالیت‌های هر پروژه می‌پردازد. تابع هدف دوم (۲) مدل نیز کمینه‌سازی میزان ریسک ایجادشده در حصول تأخیر در اجرای فعالیت‌های هر پروژه و تابع هدف سوم (۳) به بیشینه‌سازی سود حاصل از اجرای فعالیت‌ها در هر پروژه می‌پردازد.

محدودیت (۴) محدودیت زمانی تعیین‌شده توسط مشتری را برای هر پروژه مشخص می‌کند. در حقیقت این محدودیت تضمین می‌کند که کل پروژه در حداکثر زمان تعیین‌شده توسط مشتری برای هر پروژه پایان یابد. محدودیت (۵) تضمین می‌کند که اگر قرار است در یک فعالیت تأخیر ایجاد شود، این تأخیر تنها دریکی از بازه‌های زمانی تعیین‌شده برای هر پروژه صورت پذیرد. محدودیت (۶) تا (۱۴) به محاسبه زمان بحرانی پروژه و تخصیص زمان شروع و پایان مناسب برای هر فعالیت در هر پروژه می‌پردازد. محدودیت‌های (۷) و (۸) نشان‌دهنده روابط FS ، محدودیت‌های (۹) و (۱۰) بیانگر روابط SS، محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲) بیانگر روابط FF، و محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) جهت روابط SF بین فعالیت‌ها می‌باشند. محدودیت‌های (۱۵) و (۱۶) هم دامنه متغیرهای تصمیم را مشخص می‌کند.

۴-۴- روش حل مدل ریاضی

با توجه به اینکه مسئله موردبررسی این تحقیق دارای سه هدف است، بنابراین به‌منظور حل دقیق مدل ریاضی از روش محدودیت اپسیلون و در نرم‌افزار GAMS استفاده می‌شود و جواب‌های بهینه به دست می‌آید. در این روش یکی از اهداف به‌عنوان هدف اصلی در نظر گرفته‌شده و سایر اهداف در قالب محدودیت ظاهرشده و به مقدار مشخص اپسیلون محدود می‌شود. سپس به ازای مقادیر مختلف اپسیلون، مسئله حل‌شده و پاسخ‌های مختلف تحت عنوان پاسخ‌های پارتویی ارائه می‌شود. اما با توجه به اینکه مدل ارائه‌شده از رده مسائل Np-hard است، به‌منظور حل مسئله در ابعاد دنیای واقعی، باید از الگوریتم‌های فرا ابتکاری حل استفاده شود. هر چه جواب الگوریتم‌های فرا ابتکاری در ابعاد کوچک، جواب‌هایی نزدیک به روش حل دقیق دهد، می توان به نتیجه جواب در ابعاد بزرگ تر مسئله اعتماد بیشتر نمود.

بلازویچ (۱۹۸۳)، در مجله Discrete Applied Mathematic مقاله‌ای چاپ نمود و در آن نشان داد که مسئله زمان‌بندی پروژه با منابع محدود به‌عنوان توسعه‌ای از مسئله Job-Shop یک مسئله ناچندجمله ای سخت NP-hard است.با توجه به اینکه مدل ارائه‌شده نیز از رده مسائل ناچندجمله-ای سخت است به‌منظور حل مسئله در ابعاد دنیای واقعی، روش‌های حل دقیق قادر به حل مسئله نیست.

در این تحقیق از الگوریتم فرا ابتکاری ترکیبی ژنتیک - ازدحام ذرات که ترکیب دو نوع الگوریتم فرا ابتکاری کارآمد الگوریتم ژنتیک NSGA-II مبتنی بر مرتب‌سازی نامغلوب و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات استفاده می‌شود.

۵- مثال عددی

در این قسمت مثال عددی منطبق بر شرایط دنیای واقعی ارائه‌شده است. ابتدا مسئله مذکور در ابعاد کوچک‌تر از شرایط اصلی مسئله به‌وسیله نرم‌افزار گمز جهت حل دقیق بررسی گردیده است، اما ازآنجایی‌که با بزرگ‌تر شدن ابعاد، مسئله جزء مسائل NP-Hard قرار می‌گیرد و زمان محاسبات به شکل نمایی افزایش می‌یابد لذا برای کاهش زمان محاسبات از الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات استفاده و نتایج حاصله باهم مقایسه می‌گردد. همچنین یک تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای ریسک، تأخیر، زمان جابجایی فعالیت‌ها نسبت به تابع هدف مدل صورت گرفته است. ماهیت الگوریتم حل مسئله، رسیدن به بهترین جواب در یک‌زمان قابل‌قبول است. ازاین‌رو دو پارامتر زمان و مقدار بهینه جواب به‌عنوان عوامل اصلی قیاس و نتیجه‌گیری مطرح خواهند بود. لازم به ذکر است با توجه به مفروضات و پارامترهای در نظر گرفته‌شده در این مثال عددی، برای مسائل با اندازه‌های مختلف ۱۰ نمونه به‌صورت تصادفی تعریف می‌شود.

۵-۱- اطلاعات مثال‌های مسئله و حل آن‌ها

یک شرکت پیمانکار در زمینه پروژه‌های عمرانی دارای پروژه‌های متعدد در بخش‌های مختلف است و گهگاه می‌بایست چندین پروژه در حوزه‌های مختلف را در بازه‌های زمانی مشخص و همزمان به مشتریان خود تحویل دهد، لذا این شرکت بایستی برنامه‌ریزی لازم جهت تحویل به‌موقع پروژه با

در نظر گرفتن شرایط موجود در سازمان ازجمله محدودیت‌های زمانی، منابع و هزینه و ریسک را لحاظ نمایند. در ادامه دو پروژه ساخت کارخانه تولید بیوگاز با استفاده از ضایعات گیاهی در زمین‌های کشاورزی و دیگر پروژه فونداسیون یک ساختمان شهری، موردبررسی قرار داده‌شده است.

الف- پروژه ساخت کارخانه تولید بیوگاز

شرح فعالیت‌ها و روابط آن‌ها به شرح جدول ۵ است.

ب- پروژه ساخت فونداسیون سازه مسکونی

شرح فعالیت‌ها و روابط آن‌ها به شرح جدول۶ است.

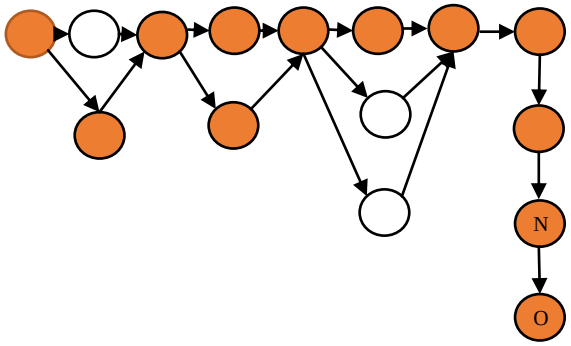
با توجه به فعالیت‌ها و روابط پیش‌نیازی فعالیت‌های پروژه‌ها، می‌توان مسیر بحرانی (CPM) را به شرح شکل ۲و۳ نشان داد. جهت حل، سایر پارامترهای مسئله به شرح جدول ۷ تعریف گردیده است. ازآنجاکه مقدار پارامترها دارای ماهیت برنامه ریزی تصادفی و عدم قطعیت ندارند، باید به شمارنده هر پارامتر شانس یکسانی داده شود، لذا می‌بایست از توزیع‌های قطعی آماری مانند توزیع یکنواخت و توزیع نرمال استفاده گردد. علت استفاده از توزیع یکنواخت در این مسئله توزیع یکنواخت داده‌ها بین شمارنده‌ها است که دارای انحرافات جزئی هستند.

جدول ۵- زمان و شرح فعالیت پروژه ساخت کارخانه

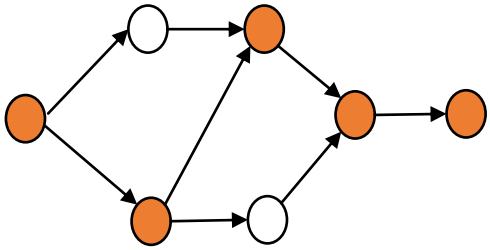
نام فعالیت	شرح فعالیت	پیش‌نیازی فعالیت	زمان فعالیت	زمان				زمان شناوری
				ES	EF	LS	LF	
A	مطالعات اولیه	-	۴	۰	۴	۰	۴	۰
B	هماهنگی و مذاکره با کشاورزان	A	۲	۴	۶	۵	۷	۱
C	انتخاب مکان و طراحی نیروگاه	A	۳	۴	۷	۴	۷	۰
D	بازاریابی و حمایت‌های مالی	B,C	۳	۷	۱۰	۷	۱۰	۰
E	خرید مصالح ساختمانی	D	۲	۱۰	۱۲	۱۰	۱۲	۰
F	استخدام کارگرها	D	۲	۱۰	۱۲	۱۰	۱۲	۰
G	حفاری زمین	E,F	۳	۱۲	۱۵	۱۲	۱۵	۰
H	ساخت زباله گیاهان دارویی	G	۴	۱۵	۱۹	۱۵	۱۹	۰
I	ساخت گودال ورودی	G	۲	۱۵	۱۷	۱۷	۱۹	۲
J	ساخت محفظه خروجی	G	۳	۱۵	۱۸	۱۶	۱۹	۱
K	ساخت خط لوله گاز	H,I,J	۲	۱۹	۲۱	۱۹	۲۱	۰
L	بارگذاری مواد خام و تولید بیوگاز	K	۶	۲۱	۲۷	۲۱	۲۷	۰
M	بررسی فنی و بازنگری با متغیرهای بهبودیافته	L	۷	۲۷	۳۴	۲۷	۳۴	۰
N	آموزش کشاورزان	M	۲	۳۴	۳۶	۳۴	۳۶	۰
O	اسناد و مدارک	N	۲	۳۶	۳۸	۳۶	۳۸	۰

جدول ۶- زمان و فعالیت شرح پروژه اجرای فونداسیون

نام فعالیت	شرح فعالیت	پیش‌نیازی فعالیت	زمان فعالیت	زمان				زمان شناوری
				ES	EF	LS	LF	
A	گودبرداری	-	۲	۰	۲	۰	۲	۰
B	تهیه مصالح	A	۱	۲	۳	۳	۴	۱
C	تسطیح مصالح	A	۲	۲	۴	۲	۴	۰
D	آرماتور	B,C	۴	۴	۸	۴	۸	۰
E	قالب‌بندی	C	۲	۴	۶	۶	۸	۲
F	بتن‌ریزی	D,E	۱	۸	۹	۸	۹	۰



شکل ۲ شبکه و مسیر بحرانی زمان و پروژه ساخت کارخانه بیوگاز



شکل ۳ شبکه و مسیر بحرانی پروژه اجرای فونداسیون

سایر پارامترهای مسئله نیز به‌صورت تصادفی ارائه‌شده است. پس از حل مسئله به کمک نرم‌افزار GAMS و حل‌کننده Cplex ۲۲/۱/۱ در سیستم شخصی باقدرت پردازندگی ۳,۲ GHz و حافظه تصادفی در دسترس ۴ Gb نتایج ارائه‌شده است. قابل‌توجه است که مدت‌زمان اجرای نرم‌افزار برابر با ۸۵ ثانیه و گپ محاسباتی برابر با صفر در نظر گرفته‌شده است. جبهه پارتویی مسئله به‌صورت مقادیر جدول ۸ ارائه می‌شود.

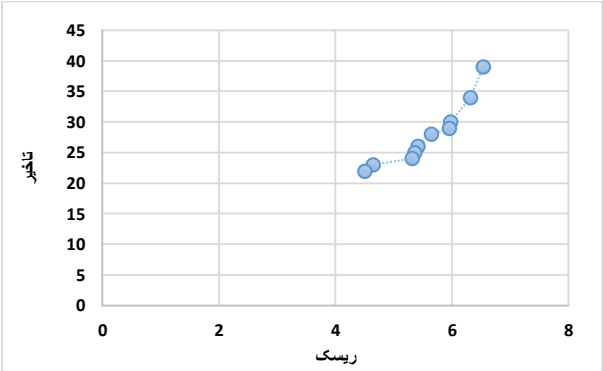
مطابق با اطلاعات جدول ۸، مشاهده می‌شود که هیچ‌کدام از نقاط بر نقطه یا نقاط دیگری غلبه نمی‌کند. بنابراین جبهه پارتویی به‌صورت مناسبی تشکیل‌شده است. در نمودارهای ۱، ۲ و ۳ می‌توان شمای گرافیکی جبهه پارتویی حاصله را مشاهده نمود.

جدول ۷ مقدار پارامترهای مسئله در نرم‌افزار گمز

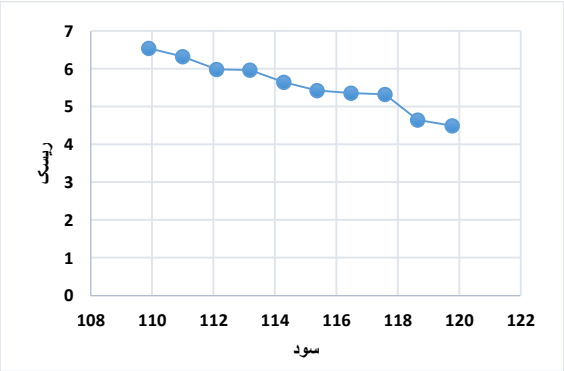
PR_{jn}	توزیع یکنواخت بین (۸۰۰۰ -۵۰۰۰)
C_{jn}	توزیع یکنواخت بین (۵۰۰-۱۰۰)
d_{jn}	توزیع یکنواخت بین (۱۰-۲)
TR_{jn}^{max}	توزیع یکنواخت بین (۳-۱)
fs_{ijn}^{min}	توزیع یکنواخت بین (۲-۱)
ss_{ijn}^{min}	توزیع یکنواخت بین (۲-۱)
ff_{ijn}^{min}	توزیع یکنواخت بین (۲-۱)
sf_{ijn}^{min}	توزیع یکنواخت بین (۲-۱)
P_{jtn}	توزیع یکنواخت بین (۱-۰)

جدول ۸ مقادیر هر یک از توابع هدف در جبهه پارتویی

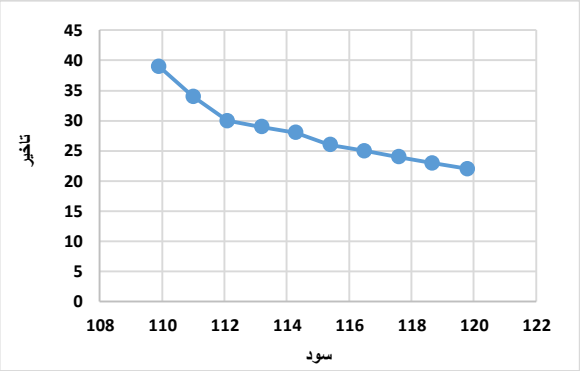
تابع هدف سوم (سود)	تابع هدف دوم (ریسک)	تابع هدف اول (مقدار تأخیر)
۱۰۹,۸۹	۶,۵۴	۳۹
۱۱۰,۹۹	۶,۳۲	۳۴
۱۱۲,۰۹	۵,۹۸	۳۰
۱۱۳,۱۹	۵,۹۶	۲۹
۱۱۴,۲۹	۵,۶۵	۲۸
۱۱۵,۳۸	۵,۴۲	۲۶
۱۱۶,۴۹	۵,۳۶	۲۵
۱۱۷,۵۸	۵,۳۲	۲۴
۱۱۸,۶۵۹	۴,۶۵	۲۳
۱۱۹,۷۸	۴,۵۰	۲۲



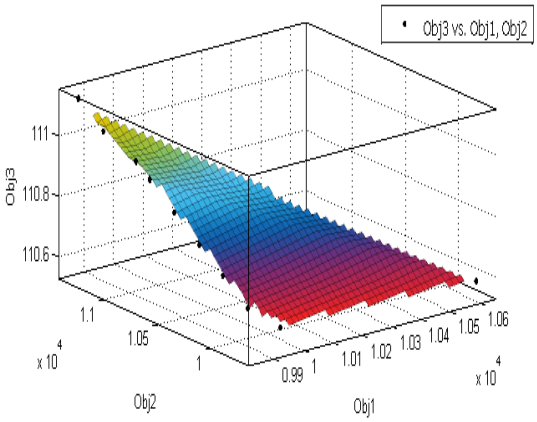
نمودار ۱ جبهه پارتویی توابع هدف ریسک و تأخیر



نمودار ۲ جبهه پارتویی توابع هدف ریسک و سود



نمودار ۳ جبهه پارتویی توابع هدف ریسک و تأخیر



نمودار ۴ جبهه پارتویی حاصل از حل مسئله به کمک نرم‌افزار GAMS

مطابق نمودار ۱ با افزایش تأخیر در پروژه میزان ریسک افزایش‌یافته است و این‌یک امر منطقی است زیرا هرچقدر تأخیر در یک پروژه بیشتر شود میزان ریسک پروژه افزایش می‌یابد و درنتیجه سود پروژه کاهش خواهد یافت.

در نمودار ۲ مشاهده می‌شود با کاهش ریسک یک پروژه میزان سود پروژه افزایش می‌یابد. در نمودار ۳ مشاهده می‌شود با کاهش میزان تأخیر نیز میزان سود پروژه افزایش می‌یابد به همین دلیل می‌توان ادعا کرد که مدل دارای عملکردی صحیح به لحاظ جبهه پارتو است.

طبق نمودارهای حاصله مشاهده می‌شود که تصویر جبهه پارتویی بر روی صفحه توابع هدف اول و دوم و صفحه توابع هدف اول و سوم به‌طور کامل ساختاری غیر مغلوب دارد.

نمودار ۴ نشان‌دهنده اعضای جبهه پارتویی است. البته شناسایی تمامی اعضا قابل حصول نخواهد بود؛ چراکه با توجه به پیوسته بودن مقادیر حاصله در هریک از توابع، تمام نقاط بین هر دونقطه جبهه می‌تواند به‌عنوان یکی از اعضای جبهه پارتویی در نظر گرفته شود. همچنین از این شکل می‌توان به‌خوبی اشکال تصویر شده بر روی هریک از صفحات توابع هدف به شکل دوبعدی قابل‌درک خواهد بود. نکته مهم در تحلیل و استفاده از پاسخ‌های حاصل از حل مسائل چندهدفه از قالب جبهه پارتویی، انتخاب مناسب یکی از نقاط جبهه به‌عنوان پاسخ نهایی جهت پیاده‌سازی در سیستم موردبررسی است.

۶- تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت ابعاد مثال عنوان‌شده نسبت به پارامترهای ریسک، تأخیر و زمان جابجایی فعالیت‌ها موردبررسی قرارگرفته است.

۶-۱- آنالیز حساسیت مسئله نسبت به پارامتر ریسک

همان‌طور که در جدول ۹ مشاهده می‌شود مقدار پارامتر ریسک هرچقدر افزایش یابد میزان ریسک پروژه افزایش می‌یابد و درنتیجه میزان تأخیر در پروژه نیز افزایش می‌یابد اما

مقدار سود کاهش خواهد یافت، بنابراین هرچقدر میزان ریسک کمتر باشد مقدار تأخیر کمتر و مقدار سود نیز بیشتر می‌شود.

۶-۲- آنالیز حساسیت مسئله نسبت به پارامتر تأخیر

ازآنجاکه تأخیر درازای واحدهای زمانی اتفاق می‌افتد بنابراین باید میزان تأخیر را با مقدار ریسک و میزان سود پروژه مورد ارزیابی قرار دهیم. برای میزان تأخیر مقادیر ۵ و ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ روز را موردبررسی قرار خواهیم داد. همان‌طور که در جدول ۱۰ مشخص است با افزایش میزان تأخیر در پروژه ریسک افزایش پیدا می‌کند بنابراین مقدار سود نیز کاهش پیداکرده است که نشان می‌دهد منطق مدل به‌درستی عمل می‌کند و سطح بهینه کمترین ریسک و کمترین تأخیر برای دستیابی به سود حداکثر است.

جدول ۹ آنالیز حساسیت مسئله نسبت به پارامتر ریسک

تابع هدف سوم (سود)	تابع هدف دوم (ریسک)	تابع هدف اول (تأخیر)	مقدار ریسک
۱۰۸,۶۹	۶,۶۳	۳۷	۰,۲
۱۰۴,۳۵	۷,۷۵	۳۹	۰,۳
۱۰۲,۶۵	۸,۸۵	۴۲	۰,۴
۹۹,۶۵	۹,۶۳	۴۵	۰,۵

جدول ۱۰ آنالیز حساسیت مسئله نسبت به پارامتر تأخیر

تابع هدف سوم (سود)	تابع هدف دوم (ریسک)	مقدار تأخیر
۱۰۲,۹۶	۹,۹۴	۵
۹۶,۶۵	۱۲,۶۵	۱۰
۸۸,۴۵	۱۵,۶۴	۱۵
۸۵,۶۵	۲۲,۶۴	۲۰

۶-۳- آنالیز حساسیت مسئله تغییر زمان انجام فعالیتها

در این تحقیق ما به دنبال این هستیم که اگر مشتری تقاضای تحویل کار از پیمانکار را زودتر از تاریخ مقرر داشته باشد و این جابجایی چه تأثیری بر ریسک و سود در پروژه خواهد گذاشت. به‌منظور بررسی این سؤال در پروژه بیوگاز فرض می‌کنیم مشتری از ما می‌خواهد پروژه را به‌جای ۳۸ روز کاری در ۳۶ روز کاری تحویل داده، لذا باید بررسی کنیم که این تغییر چه تأثیری بر روی تابع هدف ریسک و سود خواهد گذاشت که نتیجه به شرح جدول ۱۱ است:

همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش زمان کل پروژه از ۳۸ روز کاری به ۳۶ روز کاری در ۵ تکرار مختلف مسئله دارای افزایش ریسک و کاهش سود بود که این‌یک امر منطقی است و بسته به مشتری دارد که بین ریسک و سود و زودتر تحویل گرفتن پروژه کدام‌یک را انتخاب کند اما همان‌طور که در مدل ریاضی تحقیق مشخص است، اکثر پروژه‌ها همواره دارای تا خیراتی هستند و منطقی به نظر می‌رسد که مشتری به‌جای تقاضای کاهش پروژه در موعد مقرر درخواست کاهش تأخیر را داشته باشد که در نتایج به‌وضوح مشخص بود که با کاهش تأخیر، ریسک کاهش یافت و سود پروژه نیز افزایش می‌یابد.

۷- نتایج محاسباتی الگوریتم فرا ابتکاری

برای حل الگوریتم، مقدار ورودی پارامترهای بهینه الگوریتم می‌بایست مشخص گردد که با توجه به اجرای اصول طراحی آزمایش تاگوچی مقدار بهینه ورودی الگوریتم به دست می‌آید.

برای این منظور ابتدا الگوریتم را برای مسئله‌ای با ابعاد مناسب تحت ۵ سناریو مطابق جدول ۱۲ اجرا کرده و فاکتورهای مذکور که از اهمیت بیشتری برخوردار هستند آنالیز شده و سپس نتایج حاصله برای تنظیم دقیق پارامترهای مذکور به کار می‌روند. لازم به ذکر است که در این روش ابتدا باید مقدار تابع هدف حاصله را نرمال‌سازی کرد که در این پژوهش از روش RPD استفاده‌شده که توسط فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$RPD = |BestSol - MethodSol| \times 100/|BestSol|$$

جدول ۱۱- مقادیر تغییر پارامتر ریسک و سود در اثر کاهش زمان اتمام پروژه

تابع هدف سود بعد از تغییر	تابع هدف ریسک بعد از تغییر	تابع هدف سود قبل از تغییر	تابع هدف ریسک قبل از تغییر
۱۶,۵۵	۵,۵۱	۴۹,۶۰	۲,۷۱
۱۷,۵۵	۴,۹۸	۵۲,۵۵	۲,۶۵
۱۸,۶۵	۴,۸۶	۵۳,۶۵	۲,۵۵
۱۹,۲۶	۴,۶۵	۵۷	۲,۴۵
۲۰,۱۵	۴,۲۲	۶۱	۲,۲۵

برای استفاده از روش تاگوچی ابتدا با توجه به تعداد فاکتورها و همچنین تعداد سطوح (سناریوها) تعداد دفعات اجرای الگوریتم محاسبه می‌شود. با استفاده از نرم‌افزار Minitab16، مطابق خروجی نرم‌افزار و ازآنجاکه آزمایش برای ۴ فاکتور در ۵ سناریو

مختلف انجام می‌شود، بنابراین نیاز است تعداد دفعات اجرا برابر ۲۵ باشد که مطابق جدول ۱۳ است.

جدول ۱۲- سناریوهای بیان‌شده برای طراحی آزمایش

سناریو	تعداد نسل	اندازه جمعیت	$p(c)$	$p(m)$
۱	۱۰۰۰	۵	۰,۸	۰,۲
۲	۲۰۰۰	۴	۰,۷۵	۰,۰۵
۳	۴۰۰۰	۳,۵	۰,۹۵	۰,۱
۴	۵۰۰۰	۳	۰,۵	۰,۲۵
۵	۳۰۰۰	۲,۵	۰,۸۵	۰,۳

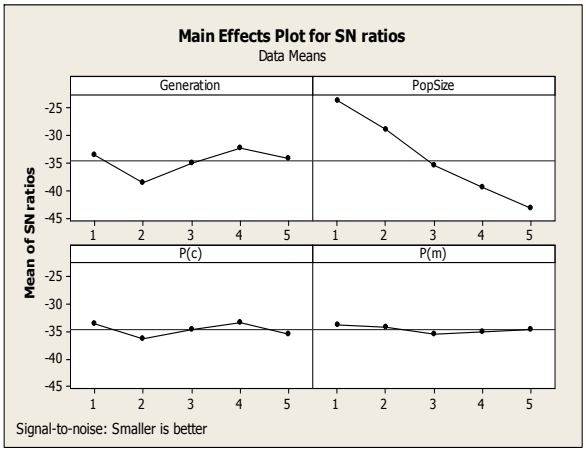
جدول ۱۳- تکرارهای مسئله برای انجام آزمایش

ردیف	تعداد نسل	اندازه جمعیت	P(c)	P(m)
۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۲	۲	۲
۳	۱	۳	۳	۳
۴	۱	۴	۴	۴
۵	۱	۵	۵	۵
۶	۲	۱	۲	۳
۷	۲	۲	۳	۴
۸	۲	۳	۴	۵
۹	۲	۴	۵	۱
۱۰	۲	۵	۱	۲
۱۱	۳	۱	۳	۵
۱۲	۳	۲	۴	۱
۱۳	۳	۳	۵	۲
۱۴	۳	۴	۱	۳
۱۵	۳	۵	۲	۴
۱۶	۴	۱	۴	۲
۱۷	۴	۲	۵	۳
۱۸	۴	۳	۱	۴
۱۹	۴	۴	۲	۵
۲۰	۴	۵	۳	۱
۲۱	۵	۱	۵	۴
۲۲	۵	۲	۱	۵
۲۳	۵	۳	۲	۱
۲۴	۵	۴	۳	۲
۲۵	۵	۵	۴	۳

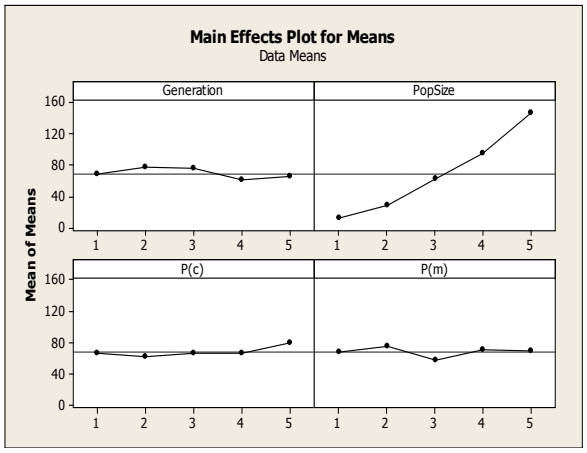
برای مثال در ردیف ۵ که بیانگر انجام دفعه پنجم آزمایش است. تعداد نسل از سناریو ۱ و باقی پارامترها از سناریو ۵ انتخاب می‌شود و یا به‌عنوان مثالی دیگر در ردیف ۲۰ که بیانگر دفعه بیستم انجام آزمایش است، تعداد نسل از سناریو ۴، اندازه جمعیت از سناریو ۵، احتمال وقوع عملگر تقاطع از سناریو ۳ و احتمال وقوع عملگر جهش از سناریو ۱ انتخاب می‌شود. به‌طور مشابه تمامی آزمایش‌ها را بر اساس جدول فوق انجام داده و نتایج گزارش می‌گردد. ازآنجاکه در اجرای دفعات مختلف الگوریتم، بهترین پاسخ گزارش می‌گردد بنابراین ممکن است بر اساس تمامی سناریوها نتایج به شکل یکسان ارائه گردد؛ اما پارامترهایی مانند تعداد نسل‌ها می‌تواند تأثیر زیادی بر زمان اجرای الگوریتم داشته باشد؛ بنابراین در گزارش پاسخ الگوریتم در تکرارهای موردنیاز برای روش تاگوچی، علاوه بر پاسخ نهایی الگوریتم، زمان اجرا نیز لحاظ شده و به‌طور مستقیم با تابع هدف جمع می‌شود.

۷-۱- نتایج آزمایش‌های تاگوچی جهت تعیین مقدار بهینه پارامتر

برای بررسی پارامترهای الگوریتم ژنتیک می‌بایست مقدار بهینه پارامترها را به دست بیاوریم که این کار با طراحی آزمایش به روش تاگوچی انجام‌شده است و نتایج مشخص‌شده است.



شکل ۴ تحلیل فاکتورهای الگوریتم توسط نرم‌افزار (تحلیل اول)



شکل ۵ تحلیل فاکتورهای الگوریتم توسط نرم‌افزار (تحلیل دوم)

در شکل ۴، برای فاکتور تعداد نسل‌ها سناریو ۲، جمعیت سناریو ۵، احتمال وقوع عملگر تقاطع سناریو ۲ و احتمال جهش سناریو ۳ در پایین‌ترین سطح قرار دارد. مطابق آن در شکل ۵ فاکتورها نشان داده‌شده‌اند.

بنابراین بهترین ترکیب پیشنهادی توسط این روش اعداد جدول ۱۴ است.

جدول ۱۴ بهترین ترکیب پیشنهادی الگوریتم

$P(m)$	$P(c)$	تعداد جمعیت	تعداد نسل
۰,۱	۰,۷۵	۲,۵	۲۰۰۰

می‌توان مشاهده کرد که بیشترین تأثیر بر پاسخ‌های گزارش‌شده توسط الگوریتم، ناشی از فاکتور اندازه جمعیت است.

۸- ارزیابی کارایی الگوریتم‌ها در حل مثال عددی

بخش مثال عددی مطابق با شرایط دنیای واقعی به‌وسیله الگوریتم حل و نتایج حاصل از حل مدل ریاضی و الگوریتم‌های پیشنهادی در قالب جدول (۱۵) ارائه می‌شود. قابل‌توجه است که نتایج ارائه برای الگوریتم‌ها، بهترین پاسخ از میان ۱۰ اجرای مستقل است. لازم به ذکر است ازآنجاکه درروش اپسیلون محدودیت ۱۰۰ تکرار برای مسئله در نظر گرفته‌شده است جهت بررسی جواب اولین نقطه پارتویی گزارش‌شده است که اولین جواب ۵۵ ثانیه زمان می‌برد اما حل هر ۱۰۰ نقطه حدود ۵۵۰۰ ثانیه زمان خواهد برد لذا در جدول ۱۵زمان اولین خروجی مدنظر قرارگرفته است.

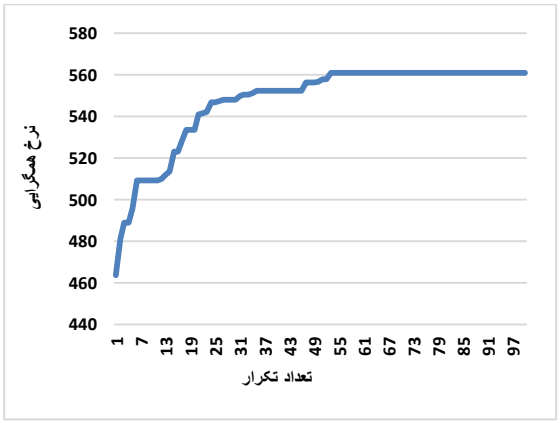
جدول ۱۵- نتایج محاسباتی حاصل از روش حل دقیق و الگوریتم فرا ابتکاری ترکیبی

زمان حل (ثانیه)		الگوریتم ترکیبی			حل دقیق			تعداد فعالیت
الگوریتم	گمز	تابع هدف سود	تابع هدف ریسک	تابع هدف تأخیر	تابع هدف سود	تابع هدف ریسک	تابع هدف تأخیر	
۴۵	۵۵	۱۰۹,۸۹	۶,۵۴	۳۹	۱۰۹,۸۹	۶,۵۴	۳۹	۱۵
۴۰	۱۸۰	۱۱۵,۳۶	۵,۵۵	۴۲	۱۱۵,۳۶	۵,۵۵	۴۲	۲۰
۵۰	-	۲۸۰,۳۶	۶,۶۸	۳۸	-	-	-	۲۵
۵۰	-	۳۰۰,۱۵	۷,۷۵	۳۹	-	-	-	۳۰
۵۰	-	۳۲۰,۲۵	۶,۶۵	۴۱	-	-	-	۳۵
۵۰	-	۳۵۵	۸,۹۶	۴۵	-	-	-	۴۰
۵۰	-	۴۰۰	۶,۶۹	۴۲	-	-	-	۵۰
۵۰	-	۵۵۶,۶۵	۸,۳۲	۵۲	-	-	-	۶۰

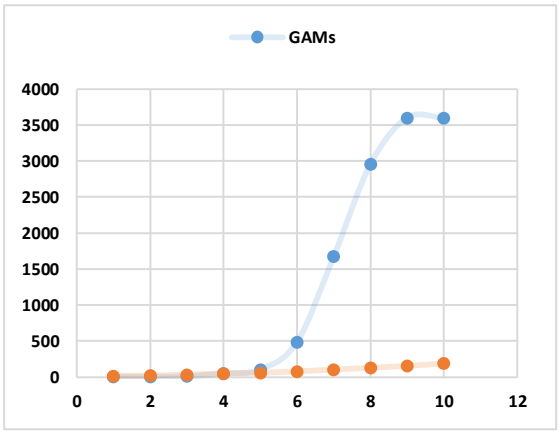
با توجه به نتایج ارائه‌شده، مشاهده می‌شود که در مثال‌های ابعاد کوچک، نتایج حاصل از حل مدل ریاضی و الگوریتم‌های پیشنهادی دارای گپ محاسباتی صفر است. این موضوع نشان‌دهنده کارایی بالای الگوریتم پیشنهادی در حصول پاسخ-های نهایی است؛ اما رفته‌رفته با افزایش ابعاد مسئله نرم‌افزار گمز قادر به حل مسئله نیست، بنابراین در مثال‌های بزرگ، مدل ریاضی قادر به حل مسئله نبوده و تنها الگوریتم پیشنهادی پاسخ‌هایی را ارائه داد. در مورد کیفیت پاسخ‌های ارائه‌شده توسط الگوریتم در ابعاد بالا نمی‌توان اظهارنظر قطعی نمود؛ اما با توجه به نزدیکی پاسخ‌های هر دو روش به یکدیگر و البته گپ محاسباتی صفر در ابعاد کوچک، می‌توان امیدوار بود که در ابعاد بالا نیز پاسخ‌های ارائه‌شده دارای کیفیت مناسبی باشد.

۸-۱- تحلیل حساسیت الگوریتم

برای تحلیل حساسیت الگوریتم معیارهای آنلاین الگوریتم مانند نرخ همگرایی الگوریتم نسبت به تکرارهای مسئله و زمان رسیدن به پاسخ نهایی را مورد تحلیل قرار داده‌ایم. همان‌طور که در نمودار ۵ مشاهده می‌شود این مسئله در همان تکرارهای اولیه به همگرایی رسیده است و نشان می‌دهد الگوریتم خیلی سریع به جواب بهینه همگرا رسیده است که دلالت بر کارایی الگوریتم دارد.



نمودار ۵ نمودار نرخ همگرایی الگوریتم



نمودار ۶ نرخ همگرایی الگوریتم به لحاظ زمان

همان‌طور که در نمودار ۶ مشاهده می‌شود نسبت زمان نرم‌افزار گمز نسبت به نرم‌افزار متلب بسیار بیشتر است و این دلالت بر بهتر بودن الگوریتم دارد.

۹- نتیجه‌گیری

روش حل اپسیلون، در ابعاد پایین به‌خوبی توانست موازنه بین توابع هدف را نشان دهد. برای آنالیز حساسیت مسئله، پارامتر تأخیر و ریسک موردبررسی قرار گرفت که روابط آن‌ها به‌صورت دوبعدی و سه‌بعدی مطرح گردید. همچنین برای تنظیم پارامترهای الگوریتم مسئله از روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی استفاده شد تا مقدار صحیح پارامترهای الگوریتم فرا ابتکاری مشخص گردد. در نتایج که در قسمت ۸ موردبررسی قرار گرفت مشاهده شد که الگوریتم فرا ابتکاری ترکیبی نسبت به روش دقیق دارای زمان حل کمتری است و در ابعاد بالا همان‌طور که مشاهده شد نرم‌افزار گمز قادر به حل مسئله نبوده است و الگوریتم فرا ابتکاری ترکیبی به‌خوبی توانست در ابعاد بالا نیز مسئله را حل نماید.

با استفاده از رویکرد مدیریت پرتفولیوی پروژه و تحلیل مسئله به این نتیجه رسیدیم که با کاهش تأخیر در یک پروژه هم شرکت و هم مشتری دارای منافع بیشتری می‌باشند، لذا هم ریسک پروژه کاهش می‌یابد و هم‌سود پروژه افزایش می‌یابد و مشتری نیز در زمان پیش‌بینی‌شده به خواسته خود خواهد رسید؛ اما در این تحقیق یک رویکرد دیگر نیز موردبررسی قرار گرفت که در آن مشتری از پیمانکار تقاضای کاهش زمان اتمام پروژه را نسبت به زمان پیش‌بینی‌شده اولیه داشته است که با توجه به این فرض، تغییر زمان اتمام پروژه در مثال عنوان‌شده موردبررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد کاهش زمان کل پروژه به ضرر مشتری و پیمانکار است، زیرا سود پروژه کاهش و ریسک نیز افزایش خواهد یافت، لذا بهترین تصمیم برای مشتری خواهان تحویل پروژه بدون تأخیر و در زمان اولیه برنامه‌ریزی‌شده است که منافع اقتصادی برای طرفین را نیز در بر خواهد داشت.

ازآنجایی‌که یکی از اهداف این تحقیق بررسی سود حاصل از پروژه ازلحاظ حسابداری پروژه متأثر از تغییر سایر عوامل مانند تأخیر در اتمام پروژه، فشرده‌سازی زمان کل پروژه و ریسک بود پیشنهاد می‌گردد مدیران پروژه و مدیریان حسابداری سازمان در تعاملی بیشتر با توجه به نتایج حاصل این تحقیق چه در هنگام انتخاب پروژه‌ها و چه در اجرا، نسبت به تأخیر و تعجیل در پروژه کاملاً حساس باشند و با کنترل دقیق تغییرات مالی و زمانی در پروژه باعث سودآوری بیشتر برای سازمان گردند، همچنین پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی مسئله در حالت عدم قطعیت پارامترها نیز حل گردد همچنین نرخ تورم پولی برای حداکثر کردن سود نیز در نظر گرفته شود، اضافه نمودن هزینه و کیفیت به اهداف اشاره‌شده در این تحقیق، حل مسئله با دو الگوریتم فرا ابتکاری به‌صورت مجزا و مقایسه کارایی دو الگوریتم مورداستفاده پیشنهاد می‌گردد.

فهرست منابع

* ابراهیم‌نژاد, س., احمدی, و., جوانشیر, ح. (۱۳۹۲). "موازنه معیارهای هزینه، زمان و کیفیت در یک شبکه CPM با استفاده از منطق فازی و الگوریتم ژنتیک". نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید, ۲۴(۳), ۳۶۲-۳۷۶.
* ابطحی, س, الف. (۱۳۹۱). "مدل زمان‌بندی پروژه با رویکرد تلفیقی چند هدفه موازنه زمان-هزینه-کیفیت-ریسک و فعالیت‌های چندحالته بر اساس یک الگوریتم فرا ابتکاری". رساله دکتری رشته مدیریت تولید و عملیات, دانشگاه علامه طباطبایی, دانشکده مدیریت و حسابداری.
* جعفر نژاد, ع., سحاب, م., اکبرپور, ع. (۱۳۸۹). "بهینه‌سازی زمان- هزینه-کیفیت با استفاده از الگوریتم جستجوی مستقیم شبکه تطبیقی". پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران.
* خرمی راد، نادر. (۱۳۹۳). راهنمای جامع PMBOK Guide 5. انتشارات دیباگران.
* گلیکانلو، احمد. (۱۳۹۸). " حسابداری مدیریت پروژه (حسابداری صنعتی پیمانهای بلندمدت)". چهارمین کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و مهندسی.
* عبداللهی, الف., خوزین, ع. (۱۳۹۵). "استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی موازنه بین زمان، بها، کیفیت و ریسک در پروژه‌های عمرانی و طرح‌های سرمایه‌گذاری". مطالعات حسابداری و حسابرسی, ۵(۲۰), ۱-۳۰.
* مهدی‌زاده, الف., محسنیان, الف. (۱۳۹۱). "حل مسئله‌ی موازنه هزینه-زمان و کیفیت پروژه با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی چندهدفه". مهندسی صنایع و مدیریت, (۲), ۱۰۳-۱۱۱.
* Azaron, A., Perkgoz, C., & Sakawa, M. (2005). A genetic algorithm approach for the time-cost trade-off in PERT networks. Applied mathematics and computation, 168(2), 1317-1339.
* Azaron, A., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2007). Multi-objective time–cost trade-off in dynamic PERT networks using an interactive approach. Applied European Journal of Operational Research, 180(3), 1186-1200.
* Anagnostopoulos, K. P., & Kotsikas, L. (2010). Experimental evaluation of simulated annealing algorithms for the time–cost trade-off problem. Applied Mathematics and Computation, 217(1), 260-270.
* Ballesteros-Pérez, Pablo, Kamel Mohamed Elamrousy, Ma Carmen González-Cruz, "Non-linear time-cost trade-off models of activity crashing: Application to construction scheduling and project compression with fast-tracking," Automation in Construction, 97 (2019).
* Chen, S. P., & Tsai, M. J. (2011). Time–cost trade-off analysis of project networks in fuzzy environments. European Journal of Operational Research, 212(2), 386-397.
* Fan, S. L., & Lin, Y. C. (2007). Time-cost trade-off in repetitive projects with soft logic. In Computing in Civil Engineering (2007) (pp. 83-90).
* Ghamginzadeh, A., & Najafi, A. A. (2013). Solving Resource-constrained Discrete Time-cost Trade-off Problem by Memetic Algorithm.
* Ghosh, M., Kabir, G., & Hasin, M. A. A. (2017). Project time–cost trade-off: a Bayesian approach to update project time and cost estimates. International Journal of Management Science and Engineering Management, 1-10.
* Hafezalkotob, Ashkan, و Arian Hafezalkotob, "A fuzzy leader-follower game approach to interaction of project client and multiple contractors in time/cost trade-off problem," Journal of Project Management, 3 (2018), 105–20.
* Hajiagha, S. H. R., Mahdiraji, H. A., & Hashemi, S. S. (2014). A hybrid model of fuzzy goal programming and grey numbers in continuous project time, cost, and quality tradeoff. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 71(1-4), 117-126.
* Hazır, Ö., Haouari, M., & Erel, E. (2010). Discrete time/cost trade-off problem: A decomposition-based solution algorithm for the budget version. Computers & Operations Research, 37(4), 649-655.
* Hazır, Ö., Haouari, M., & Erel, E. (2010). Robust scheduling and robustness measures for the discrete time/cost trade-off problem. European Journal of Operational Research, 207(2), 633-643.
* He, Z., He, H., Liu, R., & Wang, N. (2017). Variable neighbourhood search and tabu search for a discrete time/cost trade-off problem to minimize the maximal cash flow gap. Computers & Operations Research, 78, 564-577.
* Jing-wen, Z., & Hui-fang, S. (2010, November). Multi-resource constrained discrete time/cost trade-off problem and its improved genetic algorithm. In Management Science and Engineering (ICMSE), 2010 International Conference on (pp. 123-128). IEEE.
* Ke, H., Ma, W., & Ni, Y. (2009). Optimization models and a GA-based algorithm for stochastic time-cost trade-off problem. Applied Mathematics and Computation, 215(1), 308-313.
* Ke, H., & Ma, J. (2014). Modeling project time–cost trade-off in fuzzy random environment. Applied Soft Computing, 19, 80-85.
* Klansek, U., & Psunder, M. (2012). MINLP optimization model for the nonlinear discrete time–cost trade-off problem. Advances in Engineering Software, 48, 6-16.
* Koo, C., Hong, T., & Kim, S. (2015). An integrated multi-objective optimization model for solving the construction time-cost trade-off problem. Journal of Civil Engineering and Management, 21(3), 323-333.
* Mahdiraji, H. A., Hajiagha, S. H. R., Hashemi, S. S., & Zavadskas, E. K. (2016). A grey multi-objective linear model to find critical path of a project by using

time, cost, quality and risk parameters. Economics and Management.

* Mohammadipour, F., & Sadjadi, S. J. (2016). Project cost–quality–risk tradeoff analysis in a time-constrained problem. Computers & Industrial Engineering, 95, 111-121.
* Mokhtari, H., & Aghaie, A. (2009). The Effect of Price Discount on Time-Cost Trade-off Problem Using Genetic Algorithm. Engineering, 1(01), 33.
* Mokhtari, H., Kazemzadeh, R. B., & Salmasnia, A. (2011). Time-cost tradeoff analysis in project management: An ant system approach. IEEE Transactions on engineering management, 58(1), 36-43.
* Monghasemi, S., Nikoo, M. R., Fasaee, M. A. K., & Adamowski, J. (2015). A novel multi criteria decision making model for optimizing time–cost–quality trade-off problems in construction projects. Expert systems with applications, 42(6), 3089-3104.
* Prakash, S., Kumar, P., Prasad, B. V. N. S., & Gupta, A. (2008). Pareto optimal solutions of a cost–time trade-off bulk transportation problem. European Journal of Operational Research, 188(1), 85-100.
* Sonmez, R., & Bettemir, Ö. H. (2012). A hybrid genetic algorithm for the discrete time–cost trade-off problem. Expert Systems with Applications, 39(13), 11428-11434.
* Son, J., Hong, T., & Lee, S. (2013). A mixed (continuous+ discrete) time-cost trade-off model considering four different relationships with lag time. KSCE Journal of Civil Engineering, 17(2), 281-291.
* Tareghian, H. R., & Taheri, S. H. (2006). On the discrete time, cost and quality trade-off problem. Applied mathematics and computation, 181(2), 1305-1312.
* Tavana, M., Abtahi, A. R., & Khalili-Damghani, K. (2014). A new multi-objective multi-mode model for solving preemptive time–cost–quality trade-off project scheduling problems. Expert Systems with Applications, 41(4), 1830-1846.
* Tran, D. H., Cheng, M. Y., & Cao, M. T. (2015). Hybrid multiple objective artificial bee colony with differential evolution for the time–cost–quality tradeoff problem. Knowledge-Based Systems, 74, 176-186.
* Vanhoucke, M. (2005). New computational results for the discrete time/cost trade-off problem with time-switch constraints. European Journal of Operational Research, 165(2), 359-374.
* Wood, David A. (2017). "Gas and oil project time-cost-quality tradeoff: Integrated stochastic and fuzzy multi-objective optimization applying a memetic, nondominated, sorting algorithm." Journal of Natural Gas Science and Engineering.
* Zheng, H., & Zhong, L. (2017). Discrete time-cost-environment trade-off problem and its application to a large-scale construction project. In Proceedings of the Tenth International Conference on Management Science and Engineering Management (pp. 1375-1382). Springer Singapore.