فصلنامــه اقتصاد مالی
دورهٔ ۱۸ / شمارهٔ ٤ (پیاپی ٦٩)/ زمستان ۱٤۰۳
صفحه ۲٤۷ تا ۲٦۸

# ارائه یک مدل ریاضی چند هدفه فازی برای مسئله تبادل زمان–هزینه با در نظر گرفتن فاکتورهای ریسک و کیفیت

رضا شاداب[۱]
محمدرضا شهریاری[۲]✉
قنبر عباسپور اسفدن[۳]
فرهاد حسین زاده لطفی[۴]

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۰۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۰۹/۱۵

## چکیده

پژوهش‌های زیادی در حوزه موازنه زمان-هزینه و زمان-هزینه-کیفیت در سالیان قبل انجام شده است. رویکرد اکثر آن‌ها هم بهینه نمودن مسئله، اضافه نمودن پارامترهای دیگر از قبیل کیفیت، تأخیر و ...در حالت‌های قطعی و غیرقطعی و روش‌های حل دقیق و فرا ابتکاری بوده است. تمامی این تلاش‌ها، سعی بر آن داشته‌اند تا شرایط هر چه واقعی‌تر پروژه را در مسئله وارد نمایند. علی‌رغم اینکه اهداف پروژه از قبیل زمان، هزینه و کیفیت قبل از اجرای پروژه تعیین می‌شوند، اما پروژه‌های زیادی وجود دارد که در رسیدن به اهداف خود ناموفق بوده‌اند و انحراف‌های زیادی نسبت به زمان مشخص شده، هزینه در نظر گرفته شده و کیفیت مطلوب خود دارند. از عمده علل این انحرافات توجه نکردن به عدم قطعیت‌هایی است که ممکن است در هر پروژه و برنامه زمان‌بندی رخ دهد. ریسک انجام پروژه مبحث مهم و مفصلی است که بسیاری از پژوهشگران به دلیل پیچیدگی بیش‌ازحد ورود این عامل در موضوع زمان‌بندی، از آن چشم‌پوشی کرده‌اند. هدف این پژوهش ارائه مدلی برای حل مسئله موازنه زمان-هزینه-کیفیت و ریسک بود. بدین منظور از رویکرد اعداد فازی و الگوریتم ژنتیک استفاده شد. الگوریتم پیشنهادی در یک پروژه ساخت‌وساز واقعی مورد آزمون قرار گرفت و کارایی آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده ترکیب بهینه حالت‌های اجرایی مختلف برای زمان، هزینه، کیفیت و ریسک برای هر یک از فعالیت‌های پروژه بود و نتایج برای پروژه موردی زمان ۳۹۶ روز ترکیب بهینه‌ای از زمان، هزینه، کیفیت و ریسک را داشت. این مدل می‌تواند با سطح اطمینان قابل قبولی در پروژه‌های ساختمانی اجرا شود.

**واژه‌های کلیدی:** ریسک، فشرده‌سازی زمان، کیفیت، الگوریتم ژنتیک، فازی، چند هدفه، تبادل هزینه و زمان
**طبقه بندی JEL:** J22, G32 D24

۱ گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران reza.shadab80@gmail.com
۲ گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران(نویسنده مسئول) shahriari.mr@gmail.com
۳ گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران gh_abbaspour@azad.ac.ir
۴ گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران farhad@hosseinzadeh.ir


نوع مقاله: علمی پژوهشی
Eci@iauctb.ac.ir
Creative Commons – Attribution 4.0 International – CC BY 4.0
Creativecommons.org

**۱- مقدمه**

پروژه، تلاشی موقت برای ایجاد محصول یا خدمت است و مدیریت پروژه شامل بکارگیری دانش، مهارت، ابزار و روش‌هایی در مدیریت فعالیت‌ها برای نیل به اهداف پروژه است. همچنین مزیت مدیریت پروژه، اتخاذ اقدام اصلاحی و کمینه کردن ریسک بواسطه‌ی تحلیل، نظارت و تثبیت داده‌ها است. زمان‌بندی پروژه یک بخش جدایی‌ناپذیر از مدیریت پروژه است که به ایجاد توازن میان اهداف رقابتی پروژه همچون زمان، هزینه، کیفیت و ... می‌پردازد. بنابراین مدیران پروژه که مسئول اصلی رساندن پروژه به اهداف آن می‌باشند، باید پروژه را در زمان تعیین شده، با کمترین هزینه و بیشترین سطح کیفیت به اتمام رسانده و تحویل دهند (همتا و قبادی، ۱۳۹۶). چالش اصلی پیش روی مدیران پروژه، انتخاب رویکردی مناسب جهت یافتن ترکیب‌های بهینه‌ی زمان، هزینه و کیفیت فعالیت‌های پروژه به‌عنوان سه معیار اصلی یک پروژه هستند. زمان پروژه با افزایش منابع تخصیص یافته جهت سرعت بیشتر در اجرای فعالیت‌ها انجام می‌پذیرد و باعث افزایش هزینه‌ها خواهد شد (بیرگانی، ۱۴۰۱). از طرفی دیگر کاهش زمان پروژه از کیفیت انجام پروژه می‌کاهد. به‌منظور رسیدن به انتخاب بهینه سه معیار زمان، هزینه و کیفیت لازم است که چگونگی موازنه میان این سه کشف شود (ابراهیم نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). در محاسبات مربوط به مسیر بحرانی فرض بر این است که همگی فعالیت‌ها در زمان پیش بینی شده و معمولی خود قابل انجام هستند. حال در مواردی لازم می‌شود پروژه حتی زودتر از زمان برنامه ریزی شده به اتمام برسد. طبیعی است که برای دستیابی به زمان تکمیل زودتر باید زمان تعدادی از فعالیت‌ها را کاهش داد (سادات سلماسی و همکاران، ۱۴۰۰). این کاهش زمان توأم با افزایش منابع کاری آن فعالیت‌ها و صرف هزینه است که آن را انجام ضربتی یا فشرده‌سازی زمان فعالیت گویند. زمان اتمام پروژه معمولاً مجموع زمان مورد انتظار فعالیت‌ها در مسیر بحرانی است، درحالی‌که هزینه مورد انتظار مجموع تمام هزینه‌های پروژه است. انتخاب مجموعه‌ای از فعالیت‌ها برای فشرده‌سازی باعث می‌شود که هزینه کل انجام فعالیت‌ها کمینه شود (تونچیا[1]، ۲۰۱۸). رعایت حد بهینه برای همه این اهداف به‌طور هم‌زمان کار ساده‌ای نیست، زیرا از یک‌سو مدیران به دنبال کاهش هزینه‌های پروژه هستند و از سوی دیگر به دنبال کاهش زمان انجام پروژه می‌باشند، که این دو در تضاد با یکدیگر هستند. به‌علاوه با در نظر گرفتن این واقعیت که با فشرده‌سازی زمان انجام پروژه این فقط هزینه‌های پروژه نیستند که تحت تأثیر قرار می‌گیرند بلکه موضوعات دیگری چون کیفیت و همچنین ریسک پروژه نیز تأثیر می‌پذیرند، بر پیچیدگی برنامه‌ریزی پروژه افزوده می‌شود (موسسه مدیریت پروژه[2]، ۱۹۸۷).

تحقیقات علمی گسترده‌ای در حوزه موازنه زمان-هزینه و زمان-هزینه-کیفیت در سالیان قبل انجام شده است. رویکرد اکثر آن‌ها هم بهینه نمودن مسئله، اضافه نمودن پارامترهای دیگر از قبیل کیفیت، تأخیر و ...در حالت‌های قطعی و غیرقطعی و روش‌های حل دقیق و ابتکاری و ...، بوده است. درمجموع همه این تلاش‌ها، سعی بر آن داشته‌اند تا شرایط هر چه واقعی‌تر پروژه را در مسئله وارد نمایند. علی‌رغم اینکه اهداف پروژه از قبیل زمان، هزینه و کیفیت قبل از اجرای پروژه تعیین می‌شوند، اما پروژه‌های زیادی وجود دارد که در رسیدن به اهداف خود ناموفق

[1] Tonchia
[2] Project Management Institute

عمل کرده‌اند و انحرافات بسیار زیادی نسبت به زمان مشخص شده، هزینه در نظر گرفته شده و کیفیت مطلوب خود دارند. از عمده علل این انحرافات توجه نکردن به عدم قطعیت‌هایی است که ممکن است در هر پروژه و برنامه زمان‌بندی رخ دهد. ریسک انجام پروژه مبحث مهم و مفصلی است که بسیاری از پژوهشگران به دلیل پیچیدگی بیش از حد ورود این عامل در موضوع زمان‌بندی، از آن چشم‌پوشی کرده‌اند (ابطحی و آزادی نژاد، ۱۳۹۸). بسیاری از شرکت‌ها، از برنامه‌های مدیریت هزینه برای پروژه‌های خاص و همچنین مدل کسب‌وکار بهره می‌گیرند. معمولاً هنگامی‌که پروژه در مرحله برنامه‌ریزی است، هزینه‌های مربوط به آن و هزینه‌های مورد انتظار محاسبه می‌شوند. در طول پروژه، تمام هزینه‌ها ثبت، نظارت و بررسی می‌شوند تا اطمینان حاصل شود که آن‌ها در راستای برنامه مدیریت هزینه هستند. پس از اتمام پروژه، هزینه‌های پیش‌بینی شده و هزینه‌های واقعی را می‌توان مقایسه و تجزیه و تحلیل کرد که این کار به پیش‌بینی مدیریت هزینه‌های آینده کمک خواهد کرد. با توجه به پیچیده شدن اجرای پروژه‌ها در سال‌های اخیر و همچنین، رقابتی شدن فضای کسب‌وکار، عامل زمان و هزینه، اهمیت بسیار بالایی یافته است. برای هر فعالیت می‌تواند شاخص فشرده‌سازی زمان بسیار بااهمیت باشد، زیرا فشرده‌سازی عموماً ریسک انجام فعالیت را افزایش می‌دهد (پندار و ویسی، ۱۳۹۹).

هدف این پژوهش ارائه یک مدل ریاضی بر مبنای مدل کلاسیک فشرده‌سازی زمان در شبکه‌های CPM می‌توان با کاهش زمان فعالیت‌ها (فشرده‌سازی زمان) ضمن برآورده ساختن هدف، مجموع هزینه‌های پروژه (اعم از: هزینه‌های مستقیم، غیرمستقیم و هزینه ارزش زمانی پول) را به حدأقل رساند. باید تلاش شود تا هدف دوم یعنی به حداکثر رساندن مجموع کیفیت پروژه که تابعی است از تک‌تک فعالیت‌ها است، محقق شود. به‌علاوه اینکه می‌بایست مجموع هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های ناشی از فشرده‌سازی پروژه مدیریت و کنترل شود. با توجه به موارد مذکور، لازم است روشی طراحی و پیشنهاد گردد تا از طریق آن بتوان مدیران پروژه را در زمان‌بندی مناسب و بهینه، انتخاب حالت، اجرای مناسب و تعیین میزان فشرده‌سازی فعالیت‌ها هدایت و یاری نمود، به نحوی که پروژه‌های اجرایی در کمترین زمان ممکن، حداقل هزینه، با سطح کیفی مطلوب و کمترین میزان ریسک خود انجام پذیرند. از این رو لزوم انجام مطالعاتی بر اساس چهار هدف زمان، هزینه، کیفیت و ریسک تحت شرایط انتخاب یک ترکیب مناسب از میان حالات اجرای فعالیت‌ها و تعیین میزان فشرده‌سازی زمان ضرورت دارد.

## ۲- چارچوب نظری و تجربی

### ۲-۱-مبانی نظری

امروزه، لزوم برنامه‌ریزی مناسب به‌منظور برآورد صحیح زمان-هزینه و زمان-هزینه-کیفیت انجام پروژه و میزان منابع موردنیاز در یک پروژه که تأثیر مستقیم بر اجرا، اداره و بهره‌برداری مناسب از پروژه‌هایی مانند پروژه‌های ساختمانی، نرم‌افزاری، نفت و گاز و ...دارد، روشن است. زمان و هزینه دو بعد مهم در اندازه‌گیری موفقیت فرایند مدیریت پروژه هستند (زوکائل و همکاران[1]، ۲۰۱۸). زمان و هزینه مورد انتظار پروژه قبل از تصویب پیشنهاد پروژه

[1] Zwikael et al

محاسبه می‌شود و به‌عنوان ابعاد مهم در تصمیم‌گیری در مورد ادامه پروژه و همچنین ارزیابی موفقیت پروژه پس از اتمام عمل می‌کند (کرزنر و کرزنر[1] ، ۲۰۱۷). با این حال، این برآوردها در حال حاضر در یک محیط نامشخص ارائه می‌شود، جایی که اطلاعات کمی در مورد پروژه در دسترس است. بنابراین، این برآوردها می‌توانند غیرقابل اعتماد باشند (کرزنر، ۲۰۱۸).

در یک دید کلی، مدیریت و برنامه‌ریزی فعالیت‌ها و منابع موردنیاز در یک پروژه، نیازمند انجام تحلیل‌های مختلفی است که یکی از آن‌ها، مدل‌سازی و پیش‌بینی صحیح هزینه و زمان انجام پروژه است. رسیدن به این هدف، کمک قابل‌توجهی به مدیریت بهینه پروژه و تصمیم‌گیری بهتر در شرایط غیرقطعی می‌کند. مسئله برنامه‌ریزی و پس از آن کنترل زمان‌بندی پروژه‌ها، هر روز اهمیتی بیش از گذشته می‌یابد. در محیطی که رقابت شرکت‌ها هرروز به هم نزدیک‌تر می‌شود و تفاوت‌های کوچک در ارائه قیمت در مناقصه‌ها منجر به موفقیت یا شکست در مناقصه می‌شود، ارائه برنامه‌ای که منطبق بر واقعیات است و بتواند حاوی تمام واقعیات اقتصادی در مدل یک پروژه باشد، حائز اهمیت زیادی است. یک برنامه جامع، این قابلیت را دارد که با استفاده از رابطه هزینه و زمان در یک پروژه، تغییرات لازم را در هزینه و زمان منابع در نظر بگیرد و راه‌حل‌های مناسب را پیش روی کاربران قرار دهد تا بتوانند قبل از اجرای پروژه، برآورد مناسبی از زمان، هزینه اجرایی و میزان منابع موردنیاز در پروژه داشته باشند. در بین تمام اهداف یک پروژه، به اتمام رساندن به‌موقع با توجه به همه خطرات مرتبط، دشوارترین آن است (گوان و همکاران[2]، ۲۰۲۰).

در حالت کلی، می‌توان این تعریف را برای مدیریت پروژه بیان کرد که "مدیریت پروژه دانشی است که با استفاده از علم مدیریت، ابزارها، تکنیک‌ها و تخصص‌های گوناگون، سعی در رسیدن به اهداف پروژه و انتظارات کارفرما دارد و هدف نهایی آن بهبود نتایج و بهینه کردن تمامی عوامل، محدودیت‌ها و متغیرهای تأثیرگذار در پروژه می‌باشد (الرسون و گری[3]، ۲۰۱۸). زمان‌بندی پروژه عبارت است از تعیین زمان شروع هر یک از فعالیت‌های پروژه با توجه به محدودیت‌های موجود در آن و تعیین یک توالی زمانی جهت انجام یکسری فعالیت وابسته با توجه به تقدم و تأخر آن‌ها (عقدایی و حسین زاده کاشان، ۱۳۹۷)، به‌طوری که بین زمان تکمیل پروژه و هزینه کل، موازنه باشد و به‌منظور رسیدن به یک یا چند هدف مشخص و برای رسیدن به این اهداف، گزینه‌های موجود موردبررسی قرارگرفته باشد و نهایتاً بهترین گزینه برای انجام فعالیت‌ها به‌منظور تکمیل پروژه، انتخاب شده باشد (نقاب و همکاران[4]، ۲۰۱۱). برای زمان‌بندی در تمام پروژه‌ها محدودیت‌های تقدمی بین فعالیت‌ها وجود دارد، اما علاوه بر آن، محدودیت‌های دیگری ازجمله محدودیت‌های منابع و هزینه هستند. یکی از مشکلات رایج در مدیریت پروژه، اختلال زمان‌بندی‌ها در اثر عوامل کنترل نشدنی حین اجرای پروژه است، مدیران پروژه اغلب در پایبندی به تعهدات خود دچار مشکل می‌شوند و از مسیر از پیش تعیین شده خارج می‌شوند. بنابراین، زمان‌بندی پروژه علاوه بر زمان ختم کوتاه، باید حین اجرا دچار کمترین اختلال شود. زمان‌بندی، یکی از مسائل مهم در مرحله

[1] Kerzner & Kerzner
[2] Guan et al
[3] Elson and Gary
4 Neghab et al

برنامه‌ریزی پروژه است (عقدایی و حسین زاده کاشان، ۱۳۹۷). مدیریت زمان در پروژه به دلیل ماهیت موقتی و غیرتکراری پروژه‌ها و با توجه به جوهره مدیریت پروژه که مدیریت ریسک و عدم قطعیت است و با در نظر گرفتن تفاوت‌های هر پروژه با پروژه‌های دیگر، به یک قاعده استانداردی نیازمند می‌باشد که بتواند تغییرات لازم با نیازهای هر پروژه را داشته باشد (همیلتون و همکاران[۱]، ۲۰۱۴).

به اعتقاد احمد و همکاران[۲] (۲۰۱۹) یک چالش اصلی برای پروژه‌ها خصوصاً پروژه‌های عمرانی بلندمدت دستیابی به توافق بین معیارهای تصمیم‌گیری متعدد ، ازجمله زمان ، هزینه ، کیفیت و پایداری است. مسئله موازنه بین ارکان مختلف محدوده پروژه به اشکال مختلفی موردبررسی قرار می‌گیرد. به‌عنوان نمونه، موازنه بین زمان-هزینه، زمان-هزینه-کیفیت، کیفیت-هزینه و ... می‌باشد. بهینه‌سازی زمان و هزینه در یک پروژه، یک فرآیند اجرای مناسب فعالیت‌ها جهت تسریع و تصمیم‌گیری در مورد دست یافتن به بهترین حالت ممکن زمان و هزینه می‌باشد. ازآنجایی که در یک رابطه، سازش پنهان میان زمان و هزینه پروژه برقرار می‌باشد، لذا پیش‌بینی اینکه نتیجه فشرده‌سازی زمان‌بندی یک پروژه منجر به افزایش یا کاهش هزینه پروژه شود، دشوار است. اگر هزینه‌های مستقیم پروژه افزایش یابد به دلیل کاهش زمان پروژه، هزینه‌های غیرمستقیم (بالاسری، هزینه‌های ثابت و غیره) ممکن است کاهش یابد (اشتهاردیان و همکاران، ۱۳۸۵). با این توصیفات یک برنامه جامع، این قابلیت را دارد که با استفاده از رابطه هزینه و زمان در یک پروژه، تغییرات لازم را در هزینه و زمان در نظر بگیرد و راه‌حل‌های مناسبی را در اختیار کاربران قرار دهد تا بتوانند قبل از اجرای پروژه برآورد مناسبی از زمان، هزینه اجرایی و میزان منابع موردنیاز داشته باشند. روش شناسی برنامه‌ریزی زنجیره بحرانی و مدیریت بافر (CC/BM)، در رابطه با تئوری محدودیت‌ها (TOC) در مدیریت پروژه پیشنهاد داده است برای دستیابی به نتیجه برنامه‌ریزی بهتر از شیوه‌های مسیر بحرانی (CPM) و تکنیک ارزیابی و مرور برنامه (PERT) استفاده می‌شود (خیائو و همکاران[۳]، ۲۰۲۱).

در تحقیقات مدیریت پروژه دو دیدگاه لحاظ شده است، بهره‌وری پروژه (خروجی کارآمد) و موفقیت پروژه (ارائه نتایج سودمند). اولین دیدگاه در شرایط قطعی کاربرد دارد درحالی‌که دیدگاه دوم شرایط منطقی‌تر را در نظر گرفته و در شرایط پروژه، فاکتورهای غیرقطعی را نیز لحاظ می‌کند (دنیل و دنیل[۴]، ۲۰۱۸). بررسی مقالات اخیر نشان می‌دهد بحث پیچیدگی و عدم قطعیت همچنان مبهم مانده است (رامش و برونینگ[۵]، ۲۰۱۴ و کوشی و کانگ[۶]، ۲۰۱۵ و ساندرز و همکاران[۷]، ۲۰۱۵). در زمینه خاص مدیریت پروژه نیز تعاریف گوناگونی از عدم قطعیت وجود دارد که در هر پروژه بنابر هدف همان پروژه عدم قطعیت و ریسک تعریف می‌شود. از نظر پنگ و هوآنگ[۸] (۲۰۱۴) و ژانگ و همکاران[۹] (۲۰۱۸) استفاده از CPM و PERT ازجمله روش‌های محبوب و مؤثر در رابطه با زمان‌بندی پروژه و کنترل

[1] Hamilton et al
[2] Ahmad et al
[3] Xiao et al
[4] Daniel & Daniel
[5] Ramasesh & Browning
[6] Qureshi& Kang
[7] Saunders et al
[8] Peng and Huang
[9] Zhang et al

پروژه با وجود عدم قطعیت بالا است. با این‌حال، چون همه فعالیت‌های پروژه ممکن است در معرض عوامل خطر قرار گیرند، فعالیت‌های غیر بحرانی ممکن است مدت زمان پروژه را نیز به تأخیر بیندازند. بنابراین ، هر دو تکنیک ممکن است زمان واقعی اتمام پروژه را دچار عدم قطعیت کند (سانگ و همکاران[1]، ۲۰۲۲).

روش‌های سنتی برای موازنه زمان-هزینه-کیفیت، زمان، هزینه و کیفیت را برای یک فعالیت به‌صورت یک حالت قطعی در نظر می‌گیرند؛ درحالی‌که ماهیت این سه معیار در بر گیرنده عدم قطعیت می‌باشد. بنابراین برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها و تجزیه‌وتحلیل اثرات احتمالی، از روش‌های شبیه‌سازی استفاده شده است (فنگ و همکاران[2]، ۲۰۰۷). هیچ‌کس نمی‌تواند نظر قطعی درباره زمان، هزینه و کیفیت کلی فعالیت‌های پروژه در طول انجام پروژه بدهد. ازاین‌رو، تئوری برای در نظر گرفتن این ابهامات و عدم قطعیت‌ها در منطق فازی طول فرایند حل مسئله بکار گرفته شده است.

## ۳- پیشینه پژوهش

مسائل تبادل زمان و هزینه در دهه‌های اخیر به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین ، بسیاری از محققان جنبه‌های مختلف این مشکل را بررسی کرده‌اند. جنبه‌های مورد مطالعه را می‌توان به‌طورکلی به سه دسته طبقه‌بندی کرد: ۱) ویژگی‌ها قطعی یا نامشخص فعالیت‌ها ؛ ۲) ماهیت واحد یا چندمنظوره تابع هدف و ۳) روش‌های که برای حل استفاده شده است. بااین‌حال، هنوز مطالعه‌ای در مورد ارائه مدل ریاضی برای تحلیل ریسک ناشی از فشرده‌سازی زمان در شبکه CPM صورت نگرفته است. در ادامه مروری بر مطالعات تجربی این حوزه خواهیم داشت.

### ۳-۱- مطالعات داخلی

احمدی مقدم و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی با ارائه یک مدل با سه تابع هدف به حل مسئله موازنه زمان، هزینه و کیفیت در برنامه‌ریزی پروژه می‌پردازند. آن‌ها علاوه بر در نظر گرفتن روش‌های اجرایی متفاوت برای هر یک از فعالیت‌ها، برای برخی از فعالیت‌ها به‌منظور جلوگیری از کاهش کیفیت، فعالیت جبرانی تعریف می‌کنند. از دیگر ویژگی‌های مدل آن‌ها می‌توان به پوشش دادن هزینه‌های مختلف اعم از هزینه تشویقی و جریمه اشاره کرد. جهت حل مدل نیز آن‌ها از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌کنند. اسپوتین و مرادی‌نیا (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به بررسی بهینه‌سازی شاخص‌های کمی و کیفی پروژه‌های عمرانی با رویکرد دانش مدیریت پروژه پرداختند. نتایج این مطالعه نشان دهنده‌ی عملکرد مناسب الگوریتم ژنتیک بود و همچنین در بهینه‌سازی شاخص کیفیت فقط الگوریتم ژنتیک بهترین جواب بهینه را داده است و در بهینه‌سازی مرکب با در نظرگرفتن همزمان تمامی شاخص‌ها، الگوریتم‌های ژنتیک و شاهین هریس بهترین جواب را ارائه داده‌اند. فاروقی و همکاران، (۱۳۹۸)، ارائه مدل و حل مسئله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع با اهداف چندگانه قابلیت اطمینان، ریسک، زمان و هزینه پروژه در حالت

[1] Song at al
[2] Feng et al

گسسته، با لحاظ کردن قابلیت فشرده‌سازی چندگانه و همچنین حالت‌های اجرای یکسان زیرمجموعه فعالیت‌هاست. نظری و همکاران، (۱۳۹۸)، ارائه مدل ریاضی جهت مدیریت هزینه‌های پروژه مبتنی بر روش مسیر بحرانی که با لحاظ نمودن یک رقم مشخص تحت عنوان سقف بودجه، دو هدف حداقل سازی مجموع هزینه‌های پروژه (مدل کلاسیک) و هدف حداکثر سازی کیفیت فعالیت‌ها، به‌طور هم‌زمان، تأمین می‌نماید. شفیعی و همکاران (۱۳۹۷) با ارائه یک مدل دوهدفه ریاضی، شرایط را برای ایجاد توازن میان فشرده‌سازی، صرفه‌جویی در هزینه و به تأخیر انداختن زمان اجرای فعالیت‌ها مهیا کرده به‌طوری‌که ابزار مناسبی در اختیار تصمیم‌گیرندگان برای تصمیم‌گیری در رابطه با زمان اجرای هر فعالیت با توجه به امکانات در دسترس و نیز زمان در اختیار، برای اتمام پروژه فراهم آید. کفاش و ابراهیمی (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به ارائه مدل ریاضی کنترل بودجه و هزینه متغیر فعالیت‌های پروژه در شرایط موازنه زمان-هزینه با لحاظ نمودن جریمه تأخیر پرداختند و مدل ریاضی شامل تقلیل زمان کل پروژه، با در نظر گرفتن پاداش زود کرد در اتمام پروژه و جریمه تأخیر دیرکرد، توسط نرم‌افزار (GAMS) حل و برای اثبات عملکرد مدل، بر روی یک پروژه واقعی پیاده‌سازی گردید. شول و کشاورز (۱۳۹۷) جهت تحلیل مسئله مبادله بین زمان-هزینه –کیفیت، ابتدا کیفیت اجرای هر فعالیت را به‌صورت تابعی از زمان و هزینه تعریف کرده و سپس با تعریف کیفیت اجرای پروژه به‌صورت کمترین مقدار کیفیتِ اجرای فعالیت‌های آن و رعایت روابط پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها، یک مدل برنامه‌ریزی سه هدفه برای موازنه‌ی زمان، هزینه و کیفیت ارائه می‌کنند. آن‌ها به جهت بررسی کارایی روش پیشنهادی، مسئله موازنه بین زمان-هزینه-کیفیت را برای یک پروژه با داده‌های واقعی مربوط به سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز -مدارس استان کرمان حل می‌کنند. در پایان نیز، به‌منظور اعتبارسنجیِ مدل و روش پیشنهادی از یک فرایند تحلیل پارامتری که پارامترهای اصلی مدل را به‌صورت سیستماتیک تغییر می‌دهد، استفاده‌شده است. بنی هاشمی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای به بررسی ارائه مدلی جامع برای کنترل یکپارچه کیفیت، هزینه، برنامه و ریسک پروژه ها در مدیریت ارزش کسب شده پرداختند. این محققین نشان دادند که اضافه شدن شاخص کیفیت با در اختیار گذاشتن اطلاعات صحیح تر موجب پایش و تحلیل بهتر شرایط می‌شود تا مدیران پروژه بتوانند در هر بخش از پروژه، در عین حفظ سادگی روش پیشین، وضعیت فاکتورهای مهم را برای اتخاذ تصمیم‌های آگاهانه‌تر، تحت کنترل و نظارت جامع قرار دهند. پایدار و همکاران (۱۳۹۶)، در مقاله‌ای به بهینه‌سازی زمان- هزینه- منبع مسئله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع و جریان‌های نقدی تنزیل یافته با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی چندهدفه پرداختند. در این مقاله، الگوریتم جستجوی گرانشی چندهدفه (MOGSA) برای حل مسئله ارائه شده است. عملکرد الگوریتم پیشنهادی برای مسائل متعدد در اندازه‌های بزرگ و کوچک از مسائل PSPLIB، با الگوریتم شناخته شده NSGA-II در چند معیار مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج حاکی از عملکرد بهتر الگوریتم پیشنهادی به نسبت الگوریتم NSGA-II می‌باشند. نظری و همکاران (۱۳۹۴) به ارائه و حل یک مدل ریاضی مناسب پرداختند تا مسئله موازنه زمان-هزینه-کیفیت را با حفظ میزان کیفیت در سطحی مطلوب از دید خبرگان امر و مجموع میزان هزینه‌های پروژه (شامل هزینه‌های مستقیم، غیرمستقیم و عملیات فشرده‌سازی) را بهینه نمایند و به این نتیجه رسیدند که در عالم واقع و درخصوص پروژه‌های واقعی، با کاهش زمان فعالیت‌ها طی عملیات فشرده‌سازی، عواملی نظیر سطح کیفیت

هر فعالیت دستخوش تغییر می‌گردند. آن‌ها با لحاظ نمودن سایر شرایط تقدم و تأخر در فعالیت‌ها در شبکه CPM، مدل نهایی را به کمک روش مناسب حل مسائل چندهدفه بررسی نمودند و نتایج حاصل از مدل‌های پیشنهادی و کلاسیک مورد مقایسه قرار دادند. علیخانزاده و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهش خود با موضوع بهینه‌سازی موازنه هزینه، زمان و کیفیت در پروژه‌های عمرانی با رویکرد بررسی تأثیر انتخاب مواد و نیروی کار، به دنبال بررسی و بهینه‌سازی موازنه سه فاکتور هزینه، کیفیت و زمان با توجه به نقش کلیدی آن در پروژه‌های عمرانی می‌باشند. درواقع این مطالعه با استفاده از مدل‌های ریاضی و برنامه‌ریزی خطی به دنبال یافتن پاسخ‌های کمی برای مدیریت هزینه، زمان و کیفیت پروژه است. همچنین در این تحقیق کیفیت پروژه را با توجه به کیفیت مواد اولیه و مصالح و کیفیت اجرا تفکیک نموده و کیفیت مواد با توجه به نوع کالا و تأمین کننده آن می‌تواند انتخاب شود و کیفیت اجرای پروژه نیز با توجه به فشردگی زمان اجرای هر فعالیت می‌تواند تغییر کند. ابراهیم‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از منطق فازی و الگوریتم ژنتیک به تحلیل مسئله موازنه هزینه-زمان و کیفیت در یک شبکه CPM می‌پردازند. در ادامه آن‌ها با یک مطالعه موردی در صنعت نفت کارایی مدل و الگوریتم پیشنهادی خود را مورد ارزیابی قرار می‌دهند.

### ۳-۲- مطالعات خارجی

فیض اللهی و همکاران[1] (۲۰۲۱) یک مدل چندهدفه با چهار تابع هدف، شامل حداقل هزینه، ریسک و اثرات اجتماعی و محیطی، برای کاهش تأخیر پروژه ارائه کرده و از روش محدودیت اپسیلون برای حل مدل استفاده می‌کنند. سپس یک مطالعه موردی برای پیاده‌سازی مراحل مختلف مدل پیشنهادی توسعه یافته است. لین و لای[2] (۲۰۲۰) یک مدل بهینه‌سازی مبادله هزینه و زمان (TCT) که متغیر بهره‌وری کارکنان در آن لحاظ شده است را ارائه کرده و برای حل آن از الگوریتم‌های ژنتیک (GAs) استفاده می‌کند و نشان می‌دهد که لحاظ بهره‌وری نیروی کار می‌تواند یک راه‌حل بهینه ارائه دهد. البایراک[3] (۲۰۲۰) در پژوهشی مسئله مبادله زمان و هزینه (TCT) را به‌عنوان یک تابع چند هدفه در نظر گرفته و برای حل آن، یک الگوریتم ترکیبی جدید (NHA) پیشنهاد داده است. این روش ترکیبی از بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و الگوریتم ژنتیک است. آرون و همکاران[4] (۲۰۱۹) در پژوهشی با عنوان موازنه‌ی زمان، هزینه و ریسک با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان اقدام به حل این‌گونه مسائل نمودند. در مسئله مورد بررسی که شامل ۱۸ فعالیت با چهار حالت مختلف اجرا می‌باشد، در حقیقت حالت‌های مختلف اجرای فعالیت‌ها در اثر استفاده از منابع مختلف منظور شده است. به این صورت که استفاده از منابع مختلف، شرایط زمانی و هزینه مختص به استفاده از آن منبع را برای هر فعالیت ایجاد می‌کند که بدین ترتیب هر فعالیت در صورت استفاده از یک منبع خاص ریسک و زمان متناسب با آن را خواهد داشت. در این تحقیق به‌منظور محاسبه ریسک مربوط با فعالیت‌ها از مناطق شش‌گانه ماتریس احتمال و شدت ریسک استفاده شده است. همچنین برای محاسبه ریسک کلی پروژه از روش مجموع وزنی

[1] Askarifar et al
[2] Lin and Lai
[3] Al-Bayrak
[4] Aaron et al

ریسک هریک از فعالیت‌ها استفاده شده است. در نهایت تنها کیفیت جواب‌های حاصل از روش حل پیشنهادی با روش‌های حل محققین دیگر مقایسه شده است. کرزنر[1] (۲۰۱۹) گزارش کرد که مدیریت پروژه و بخش جدایی ناپذیر آن، زمان بندی پروژه، از محورهای اصلی تحقیقات تئوری و عملی در زمینه تحقیق در عملیات بوده و همچنان نیز مورد توجه است. زمان‌بندی پروژه به دنبال برقراری موازنه و تعادل بین اهداف رقابتی و متضاد پروژه، کیفیت، زمان و هزینه با حفظ دامنه پروژه است. سه جنبه زمان‌بندی که زمان، هزینه و کیفیت می‌باشد و به طبع آن موازنه بین آن‌ها موضوع مطالعات بسیاری از پژوهشگران بوده است. زمان، هزینه و کیفیت سه هدف مرتبط و در عین حال متناقض با یکدیگر در پروژه‌ها هستند. در محیط رقابتی حاضر، تکمیل و تحویل پروژه در کوتاه‌ترین زمان ممکن، با بالاترین سطح کیفیت و کمترین هزینه، مسئله حیاتی برای مدیران پروژه محسوب می‌گردد. این اهداف به ویژگی‌های مرتبط با فعالیت‌های آن پروژه همچون زمان، هزینه و کیفیت بستگی دارند. لیویس و باجاری[2] (۲۰۱۸ ) طی تحقیقاتی که انجام دادند گزارش کردند در مراحل اولیه اجرای پروژه زمان و هزینه مورد نیاز برآورد و مشخص می‌شود. اما موقعیت‌های بسیاری وجود دارد که به هر دلیلی ناچار به کاهش زمان پروژه از مقدار تعیین شده قبلی می‌باشد. برای این منظور روش‌های مختلفی نظیر استفاده وجود دارد که ازجمله آن‌ها افزایش منابع در دسترس می‌باشد. استفاده از نیروی کار توانمند تجهیزات و تکنولوژی پیشرفته‌تر در جهت سرعت بخشیدن به انجام فعالیت‌ها مدیران پروژه را متحمل هزینه‌های زیادی می‌کند. بنابراین برای کاهش زمان تحویل و فشرده‌سازی پروژه ناچار به صرف هزینه‌های زیادی هستیم که در واقع این موضوع حاکی از نوعی تعرض میان دو عامل زمان هزینه در پروژه می‌باشد. به این ترتیب کاهش هریک از این عوامل افزایش دیگری را در پی خواهد داشت. به مشخص نمودن موقعیتی که بین این دو عامل توازن ایجاد کند موازنه اهداف زمان - هزینه گفته می‌شود هر فعالیت بسته به استفاده از منابع مختلف نظیر نیروی کار، ماشین‌آلات و تجهیزات، تکنولوژی به روز و .. ممکن است زمان، هزینه، کیفیت و ریسک متفاوتی داشته باشد. میزان استفاده از هریک از این منابع و اتخاذ روش‌های پیشرفته - تر حالت اجرای فعالیت را مشخص می‌نماید. شریفی و همکاران[3] (۲۰۱۸)، در مقاله‌ای به بررسی شکست پروژه‌ها بر اساس فاکتورهای هزینه، زمان، کیفیت،ریسک و نرخ تنزیل پرداختند و مدلی ارائه نمودند که با پوشش کامل خطرات پروژه، عدم قطعیت‌های موجود را تا حد قابل‌توجهی کاهش داده است. این مدل محاسبه دقیقی از کاهش زمان فعالیت و هزینه را برآورد نکرده است. سو و همکاران[4] (۲۰۱۷) برای حل مسائل پیچیده و بزرگ یک برنامه ریزی پروژه کلاسیک را ساده سازی نمودند. ساده سازی پروژه باعث شد که مدلهای ریاضی غیرخطی مسئله موازنه زمان - هزینه پروژه از طریق روشهای دقیق قابل حل بوده و ضمن تسریع در دستیابی به نتایج از قابلیت اطمینان بیشتری نیز برخوردار باشند.شهریاری[5] (۲۰۱۶)، در مقاله‌ای به بهینه‌سازی چندهدفه مشکل مبادله زمان و هزینه در پروژه با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته‌اند و به ارائه یک مدل ریاضی دوهدفه جهت تعادل در فشرده‌سازی زمان پروژه با تأخیر فعالیت‌ها، ابزاری مناسب برای

[1] Kertzne
[2] Lewis & Bajari
[3] Sharifi et al
[4] Su et al
[5] Shahriari

تصمیم‌گیری مدیران پروژه با وجود محدودیت امکانات و زمان می‌پردازد. طاهری امیری و همکاران[1] (۲۰۱۶)، با بهینه نمودن سه تابع هدف زمان، هزینه و کیفیت و در نظر گرفتن احتمال تأخیرهای غیرقابل پیش بینی برای انواع مختلف فعالیت‌ها از طریق برنامه ریزی سازشی محدودیت شانسی اقدام نمودند. مسمودی و همکاران[2] (۲۰۱۶) به کمک دو الگوریتم رهاسازی و ثابتسازی اقدام به حل مسئله جریان کارگاهی ظرفیت دار با ملاحظات انرژی با هدف حداقل سازی هزینه کل در نظر گرفتند. آنها افق برنامه ریزی را به دوره های زمانی زیادی تقسیم کردند که هر یک از این دوره ها با طول زمان، تقاضای خروجی و قیمت الکتریسیته مشخص می‌شود تا در نهایت الگوریتم بتواند مدل بهینه از انرژی را با حداقل هزینه در اختیار بگذارد. خلیلی دامغانی و همکاران[3] (۲۰۱۵ ) یک برنامه ریزی ریاضی عدد صحیح در مسئله موازنه زمان – هزینه ارائه نمودند. در این مدل از روابط پیش نیازی تعمیم یافته با زمانهای تاخیر مثبت و منفی بین فعالیت‌ها بکار گرفته شد. خلیلی اهداف هزینه، زمان و کیفیت را با استفاده از بهینه‌سازی ذرات چند هدفه (DSAMOPSO) بهینه نمود. زارعی و حسن پور[4](۲۰۱۵)، گزارش کردند که مسئله زمان‌بندی چندهدفه پروژه با در نظر گرفتن محدودیت منابع با جریان نقدی مثبت و منفی ارائه دادند. اهداف این پژوهش افزایش ارزش خالص فعلی و کاهش زمان تکمیل پروژه می‌باشد. از آنجا که این مسئله جزو مسائل بسیار سخت محسوب می‌شود، از الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای حل این مسئله استفاده کرده‌اند. که صرف هزینه‌ی بیشتر می‌تواند ابعاد مسئله ازجمله زمان را تحت تأثیر قرار دهد. پرواضح است صرف هزینه‌ی بیشتر در ازای منابعی چون نیروی کار متخصص، تجهیزات و ماشین‌آلات پیشرفته و... منجر به کاهش زمان تکمیل پروژه می‌شود. همچنین عامل دیگری که در واکنش به هزینه بیشتر تغییر می‌کند کیفیت پروژه می‌باشد. لذا کیفیت پروژه نیز باید بین اهداف پروژه برای انجام موازنه در نظر گرفته شود. عزیز و همکاران[5] (۲۰۱۴) در پژوهشی تحت عنوان، بهینه‌سازی هوشمند برای پروژه‌های ساخت‌وساز عظیم با استفاده از هوش مصنوعی، مدل توسعه یافته‌ای که شامل مفهوم اساسی روش مسیر بحرانی و الگوریتم ژنتیک چندهدفه به طور هم‌زمان می‌باشد را ارائه کردند. هدف اصلی این مدل معرفی پشتیبانی عملی برای ترکیب افقی و عمودی برنامه ریزان ساخت‌وسازهای عظیم که نیاز به بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع به‌منظور به حداقل رساندن مدت زمان پروژه و هزینه‌های آن با به حداکثر رساندن کیفیت آن به طور همزمان دارند، می‌باشد. آن‌ها به این منظور نرم‌افزاری تحت عنوان سیستم روش مسیر بحرانی هوشمند (SCPMS) معرفی کردند. و نتایج نشان داد که این نرم افزار کارایی لازم را برای فشرده‌سازی زمان را دارد. سپوترا و لتیفیاتی[6] (۲۰۱۵) مدلی برای اندازه‌گیری قابلیت اطمینان پروژه با در نظر گرفتن زمان و هزینه به‌عنوان اهداف با توجه به در دسترس بودن منابع تحت عدم قطعیت ارائه دادند. آن‌ها همچنین از شبیه‌سازی مونت کارلو برای حل این مسئله استفاده کردند. که به نتایج قابل قبولی دست یافتند.

[1] Taheri Amiri et al
[2] Masmodi et al
[3] Khalili Damghani et al
[4] Zarei and Hassanpour
[5] Aziz et al
[6] Sputra & Latifiati

بررسی پیشینه تحقیقات نشان می‌دهد محققانی که عامل ریسک را وارد مدل ریاضی جهت فشرده سازی زمان خود کرده، بسیار اندک بوده‌اند و خلا علمی در این زمینه به چشم می خورد. از طرف دیگر با توجه به مطالعات صورت گرفته، به دلیل وجود عدم قطعیت هایی که در دنیای واقعی وجود دارد و قطعا سبب بروز انحرافاتی در تخمین مقادیر توابع هدف نظیر زمان، هزینه و کیفیت توسط مدیران پروژه می گردد، در نظر گرفتن عامل ریسک بسیار ضروری و حیاتی به نظر می رسد. شایان ذکر است در پژوهش حاضر ریسک حاصل از فشرده سازی زمان انجام فعالیت‌ها مد نظر قرار می‌گیرد و عواقب ناشی از فشرده سازی زمان بر روی سایر اهداف ازجمله افزایش هزینه، کاهش سطح کیفیت پروژه و افزایش ریسک لحاظ می‌شود.

## ۴-روش شناسی پژوهش

مدل پژوهش دارای n فعالیت (i=1,…,n) که هر فعالیت دارای m شیوه (j=1,…,m) اجرا است و هریک از شیوه های اجرای فعالیت‌های دارای یک زمان اجرا به‌صورت عدد فازی مثلثی $\tilde{T} = (t_1, t_2, t_3)$، هزینه اجرا به‌صورت عدد فازی مثلثی $\tilde{C} = (c_1, c_2, c_3)$، کیفیت اجرا به‌صورت عدد فازی مثلثی $\tilde{Q} = (q_1, q_2, q_3)$ و ریسک فعالیت‌ها $\tilde{R} = (r_1, r_2, r_3)$ به‌صورت اعداد فازی مثلثی است که $Vij$ انتخاب شیوه j ام برای انجام فعالیت iام را تعریف می‌کند و به شکل رابطه (۱) ارائه می‌شود:

$$\widetilde{V_{ij}} = [(\tilde{t}_{ij}), (\tilde{c}_{ij}), (\tilde{q}_{ij}), (\tilde{r}_{ij})] \quad (۱)$$

مسئله بهینه‌سازی زمان ، هزینه و کیفیت و ریسک یک مدل برنامه ریزی خطی یک چهار هدفه می باشد که در روابط ۶-۲ ارائه شده است:

$$Min\tilde{T} = \sum_i \sum_j (\tilde{T}_i^j * X_i^j) \quad , \quad (i = 1, \dots, n), (j = 1, \dots, m) \quad (۲)$$

$$Min\tilde{C} = \sum_i \sum_j (\widetilde{DC}_i^j * X_i^j + \widetilde{IC}_i^j * X_i^j + \widetilde{VC}_i^j * X_i^j) \quad , (i = 1, \dots, n), (j = 1, \dots, m) \quad (۳)$$

$$Min\tilde{R} = \sum_i \sum_j (\tilde{R}_i^j * X_i^j) \quad , \quad (i = 1, \dots, n), (j = 1, \dots, m) \quad (۴)$$

$$max\tilde{Q} = \sum_i \sum_j (\widetilde{Wt}_i * \tilde{Q}_i^j * X_i^j) \quad , \quad (i = 1, \dots, n), (j = 1, \dots, m) \quad (۵)$$

$$\tilde{U} = W_t(-\tilde{T}) + W_c(-\tilde{C}) + W_r(-\tilde{R}) + W_q(\tilde{Q}) \quad (۶)$$

S.t:

$$S_j - S_i \geq t_{ij}(X_{ij}) \quad (۷)$$

$$t_{ij} \leq X_{ij} \leq U_{ij} \quad (۸)$$

$$X_1 = 0 \quad (۹)$$

$$C_R \geq 0\ , t_{ij}(X_{ij}) \geq 0, X_i \geq 0 \quad (۱۰)$$

$$Q_i \geq 0.98 \quad (۱۱)$$

I: شماره فعالیت موجود در شبکه فعالیت‌ها (i=1,…,n)

J: شماره شیوه اجرای فعالیت (j=1,…,m)

$\tilde{t}_{ij}$ : مدت زمان فازی انجام فعالیت i ام روی مسیر بحرانی با شیوه اجرای j.

$\widetilde{DC_i^J}$ : هزینه مستقیم فازی اجرای فعالیتi ام با شیوه اجرای j ام.

$\widetilde{IC_i^J}$ : هزینه غیرمستقیم فازی اجرای فعالیتi ام با شیوه اجرای jام.

$\widetilde{VC_i^J}$ : ارزش زمانی پول در فاز اجرای فعالیتi ام با شیوه اجرای jام.

$\widetilde{C_i^J}$ : هزینه کل فازی اجرای فعالیت i ام با شیوه اجرایj ام

$\widetilde{Q_i^J}$ : کیفیت فازی اجرای فعالیت i ام با شیوه اجرای j ام.

$\tilde{T}$: مدت زمان فازی کل پروژه

$\tilde{C}$: هزینه فازی کل پروژه.

$\tilde{Q}$ : کیفیت فازی کل پروژه.

$\tilde{U}$: میزان مطلوبیت فازی.

$W_{ti}$: وزن نسبی اهمیت فعالیت i ام نسبت به سایر فعالیت‌ها

$W_t$: وزن نسبی اهمیت معیار زمان در پروژه

$W_c$: وزن نسبی اهمیت معیار هزینه در پروژه

$W_r$: وزن نسبی اهمیت معیار ;vds پروژه

Wq: وزن نسبی اهمیت معیار کیفیت در پروژه.

در روابط ۲ تا ۶ که توابع هدف مسئله هستند، حداقل سازی زمان، هزینه‌های کل اجرای پروژه، حداقل سازی ریسک و بیشینه کردن کیفیت کل انجام پروژه مدنظر است. هزینه ها از مجموع هزینه‌های مستقیم، غیر مستقیم و ارزش زمانی پول بدست می آید. در پایان پس از حل مسئله و بدست آوردن مجموعه جواب های پارتو، برای پیدا کردن جواب نهایی مسئله از رابطه ۶ که تابع مطلوبیت است، استفاده می‌شود.

رابطه ۷ قیود پیش نیازی فعالیت‌ها را نشان می‌دهد. رابطه ۸ تضمین می‌کند که زمان‌های عادی و فشرده بین یک کران بالا و پایین قرار می گیرند. رابطه ۹ نشان می دهد زمان شروع پروژه باید همیشه صفر باشد. رابطه ۱۰ قیود غیر منفی بودن پارامترها را نشان می دهد و رابطه ۱۱ تضمین می‌کند که کیفیت هر فعالیت حداقل ۹۸ درصد باشد.

همچنین محدودیت‌های زیر بر مدل تحمیل شده است.

- متغیرهای زمان، هزینه، کیفیت و ریسک فازی هستند.
- ریسک هر فعالیت، حاصل‌ضرب احتمال فازی در شدت اثر هر فعالیت است.
- وزن هر ۴ تابع هدف برابر درنظر گرفته شده است (۰/۲۵).

$X_i^j$: اگر فعالیت i ام با شیوه j ام انجام شود، مقدار آن برابر یک و درغیر اینصورت مقدارش برابر باصفر است.

به‌منظور بررسی نتایج الگوریتم پیشنهادی از یک پروژه موردی استفاده شده است. پروژه موردی این پژوهش یک فعالیت ساختمانی با ۱۴ فعالیت مختلف است که سه حالت اجرا برای هر فعالیت وجود دارد و وابسته به روش اجرای هر فعالیت مقادیر زمان، هزینه، کیفیت و ریسک پروژه متفاوت خواهد بود. در حالی که حالت واقعی به‌عنوان گزینه ۱ نشان داده می‌شود، مقادیر در گزینه ۲ و ۳ حالت های جایگزین برای اجرای هر فعالیت را نشان می‌دهد. به دلیل ماهیت غیرقطعی و برآوردی داده‌های موجود، متغیرهای فازی با استفاده از اعداد فازی مثلثی که حداقل، محتمل‌ترین و حداکثر مقادیر را برای هر هدف نشان می‌دهند، به هر فعالیت پروژه اختصاص داده شده است. زمان بر حسب روز، هزینه بر حسب میلیون ریال، کیفیت در مقیاس ۱۰۰-۰ درصد در حالی که ریسک در مقیاس ۰-۱ اندازه‌گیری شده است. ارزیابی کیفی ریسک با استفاده از جداول ۱ و ۲ احتمال ریسک و فازی سازی اثرات آن حاصل شده است. جدول ۱ احتمال کیفی ریسک و جدول ۲ شدت اثرات ریسک را در طیف اعداد فازی نشان می‌دهد.

**جدول ۱- توصیف کیفی احتمال ریسک**

| احتمال ریسک | مقادیر فازی احتمال ریسک | توصیف |
|---|---|---|
| قطعی | (۱/۰۰ ،۰/۹۰ ،۰/۸۰) | تقریباً به طور قطع رخ می‌دهد |
| بسیار محتمل | (۰/۸۰ ،۰/۷۰ ،۰/۶۰) | به احتمال زیاد در بیشتر موارد رخ می‌دهد |
| محتمل | (۰/۶۰ ،۰/۵۰ ،۰/۴۰) | به احتمال زیاد در برخی موارد رخ می‌دهد |
| غیرمحتمل | (۰/۵۰ ،۰/۴۰ ،۰/۳۰) | بعید است در بیشتر موارد رخ دهد |
| کمیاب | (۰/۴۰ ،۰/۳۰ ،۰/۲۰) | در موارد نادری رخ می‌دهد |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

**جدول ۲- توصیف کیفی اثرات ریسک**

| احتمال ریسک | مقادیر فازی احتمال ریسک | توصیف |
|---|---|---|
| بسیار زیاد | (۱/۰۰ ،۰/۹۰ ،۰/۸۰) | اثر خیلی شدید بر اهداف پروژه |
| زیاد | (۰/۸۰ ،۰/۷۰ ،۰/۶۰) | اثر شدید بر اهداف پروژه |
| متوسط | (۰/۶۰ ،۰/۵۰ ،۰/۴۰) | اثر متوسط بر اهداف پروژه |
| کم | (۰/۵۰ ،۰/۴۰ ،۰/۳۰) | اثر کم بر اهداف پروژه |
| بسیار کم | (۰/۴۰ ،۰/۳۰ ،۰/۲۰) | اثر خیلی کم بر اهداف پروژه |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

برنامه‌ریزی آرمانی یکی از قدیمی‌ترین مدل‌های موجود از تصمیم گیری چند معیاره است که کاربردهای وسیعی دارد. این مدل نوع خاصی از برنامه ریزی خطی است که توانایی تصمیم گیری درباره یک هدف با چند معیار (زیرهدف) و یا چند هدف و چند آرمان (زیرهدف) را به خوبی دارا است. اگر تصمیم گیرنده با توجه به محدودیت-های موجود و اهمیت تحقق یافتن آن، آرمان‌های مورد نظر خود را در یک رابطه خطی لحاظ نماید، این مدل قادر است تا حد ممکن آرمان را ها محقق نماید. متغیرهای مثبت، مستقل، قطعی، منابع محدود و تصمیم گیری در شرایط اطمینان از جمله فرضیات این مدل است به که فرضیات مدل برنامه ریزی خطی شبیه می‌باشد.

در ادبیات برنامه ریزی آرمانی، هدف عبارت کلی در راستای مدنظر تصمیم گیرنده است، از که داده‌های مسئله می‌توان استخراج کرد. آرمان یک مقدار عددی است که فرد تصمیم گیرنده برای هر هدف در نظر می گیرد که رسیدن به این مقدار در آن تابع هدف برای فرد تصمیم گیرنده مطلوب است و در نهایت انحراف از آرمان که تفاضل میان هر آرمان و مقدار تابع هدف به ازای جواب به دست آمده از حل مسئله است (رضایی نور و همکاران، ۱۳۹۷). پروژه ساختمانی تحت تأثیر ریسک‌های مختلفی ازجمله نوسان قیمت مصالح ساختمانی، ریسک آب‌وهوا، ریسک مصدومیت کارگران و ... قرار می‌گیرد. بر اساس مصاحبه با مجریان پروژه وابسته به روش اجرای پروژه پارامترهای ریسک آن متفاوت خواهد بود. بر اساس نظرسنجی با متولیان پروژه جداول ۳ و ۴ تشکیل می‌شوند که در آن‌ها احتمالات و اثرات ریسک و شاخص‌های پروژه به‌صورت فازی ارائه شده‌اند.

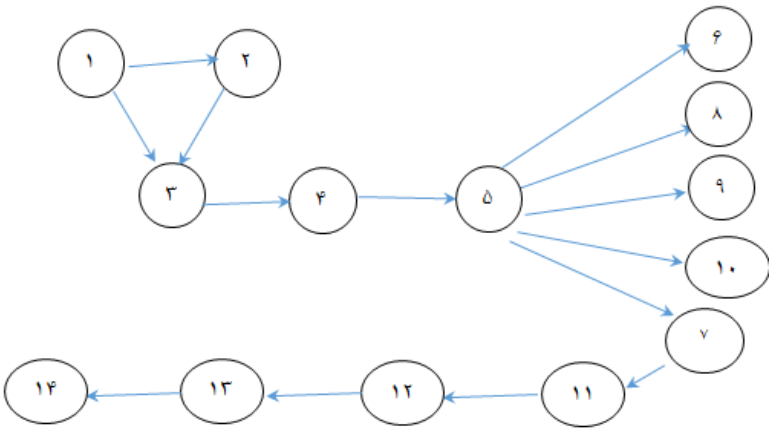
**جدول ۳- محاسبه ریسک فازی و غیرفازی هر فعالیت پروژه**

| ردیف | نوع فعالیت | احتمال ریسک | اثر ریسک | ریسک فازی | روابط پیش‌نیازی |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | تجهیز کارگاه | ۰/۳۰، ۰/۴۰، ۰/۲۰ | ۰/۵۰، ۰/۶۰، ۰/۴۰ | ۰/۱۵، ۰/۲۴، ۰/۰۸ | - |
| ۲ | نقشه‌برداری و اجرای پی | ۰/۳۰، ۰/۴۰، ۰/۲۰ | ۰/۵۰، ۰/۶۰، ۰/۴۰ | ۰/۱۵، ۰/۲۴، ۰/۰۸ | ۱ |
| ۳ | اجرای اسکلت بتنی | ۰/۹۰، ۱/۰۰، ۰/۸۰ | ۰/۹۰، ۱/۰۰، ۰/۸۰ | ۰/۸۱، ۱/۰۰، ۰/۶۴ | ۱ و ۲ |
| ۴ | اجرای بام و سقف نورگیر | ۰/۷۰، ۰/۸۰، ۰/۶۰ | ۰/۸۰، ۱/۰۰، ۰/۷۰ | ۰/۵۶، ۰/۸۰، ۰/۴۲ | ۳ |
| ۵ | اجرای تیغه بندی داخلی و خارجی | ۰/۵۰، ۰/۶۰، ۰/۴۰ | ۰/۳۰، ۰/۴۰، ۰/۲۰ | ۰/۱۵، ۰/۲۴، ۰/۰۸ | ۴ |
| ۶ | نصب چارچوب درها و پنجره‌ها و کمدها | ۰/۳۰، ۰/۴۰، ۰/۲۰ | ۰/۵۰، ۰/۶۰، ۰/۴۰ | ۰/۱۵، ۰/۲۴، ۰/۰۸ | ۵ |
| ۷ | اندود گچ‌وخاک سقف و دیوارها | ۰/۵۰، ۰/۶۰، ۰/۴۰ | ۰/۳۰، ۰/۴۰، ۰/۲۰ | ۰/۱۵، ۰/۲۴، ۰/۰۸ | ۵ |

| ردیف | نوع فعالیت | احتمال ریسک | اثر ریسک | ریسک فازی | روابط پیش‌نیازی |
|---|---|---|---|---|---|
| ۸ | نماسازی و اجرای باغچه | ۱/۰۰، ۰/۹۰، ۰/۸۰ | ۱/۰۰، ۰/۹۰، ۰/۸۰ | ۱/۰۰، ۰/۸۱، ۰/۶۴ | ۵ |
| ۹ | اجرای تأسیسات مکانیکی و برق | ۱/۰۰، ۰/۹۰، ۰/۸۰ | ۱/۰۰، ۰/۹۰، ۰/۸۰ | ۰/۲۴، ۰/۱۵، ۰/۰۸ | ۵ |
| ۱۰ | کف سازی طبقات | ۰/۶۰، ۰/۵۰، ۰/۴۰ | ۰/۴۰، ۰/۳۰، ۰/۲۰ | ۰/۲۴، ۰/۱۵، ۰/۰۸ | ۵ |
| ۱۱ | سفیدکاری سقف‌ها و دیوارها | ۰/۶۰، ۰/۵۰، ۰/۴۰ | ۰/۴۰، ۰/۳۰، ۰/۲۰ | ۰/۲۴، ۰/۱۵، ۰/۰۸ | ۷ |
| ۱۲ | نقاشی سقف و دیوارها | ۰/۶۰، ۰/۵۰، ۰/۴۰ | ۰/۴۰، ۰/۳۰، ۰/۲۰ | ۰/۲۴، ۰/۱۵، ۰/۰۸ | ۱۱ |
| ۱۳ | نصب درها، پنجره‌ها، کابینت و لوازم بهداشتی | ۰/۶۰، ۰/۵۰، ۰/۴۰ | ۱/۰۰، ۰/۹۰، ۰/۸۰ | ۰/۳۲، ۰/۴۵، ۰/۶۰ | ۱۲ |
| ۱۴ | تمیزکاری و برچیدن کارگاه | ۰/۴۰، ۰/۳۰، ۰/۲۰ | ۰/۴۰، ۰/۳۰، ۰/۲۰ | ۰/۰۴، ۰/۰۹، ۰/۱۶ | ۱۳ |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

نوع روابط پیش‌نیازی در این پژوهش از نوع شروع-شروع است؛ بدین معنی که زمان شروع هر فعالیت با زمان شروع فعالیت پیش‌نیاز خود ارتباط زمانی دارد.




**نمودار ۱- شبکه فعالیت ها**

منبع: یافته‌های پژوهشگر

**جدول ۴-مؤلفه‌های فازی برای فعالیت ساخت‌وساز**

| ردیف | نوع فعالیت | زمان فازی (روز) | هزینه فازی (میلیون ریال) | کیفیت | ریسک |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | تجهیز کارگاه | ۶،۷،۸ | ۳۰۰۰۰،۴۰۰۰۰،۵۰۰۰۰ | ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۱/۰۰ | ۰/۱۵، ۰/۲۴، ۰/۰۸ |
| ۲ | نقشه‌برداری و اجرای پی | ۳۰،۳۵،۴۰ | ۲۰۰۰،۳۰۰۰،۴۰۰۰ | ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۱/۰۰ | ۰/۱۵، ۰/۲۴، ۰/۰۸ |
| ۳ | اجرای اسکلت بتنی | ۱۱۰،۱۲۰،۱۳۰ | ۱۲۰۰۰،۱۴۰۰۰،۱۶۰۰۰ | ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۱/۰۰ | ۰/۸۱، ۱/۰۰، ۰/۶۴ |
| ۴ | اجرای بام و سقف نورگیر | ۴۰،۵۰،۶۰ | ۱۰۰۰،۱۲۰۰،۱۳۰۰ | ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۱/۰۰ | ۰/۸۰، ۰/۵۶، ۰/۴۲ |
| ۵ | اجرای تیغه بندی داخلی و خارجی | ۲۰،۲۵،۳۰ | ۱۸۰۰،۲۰۰۰،۲۲۰۰ | ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۱/۰۰ | ۰/۱۵، ۰/۲۴، ۰/۰۸ |
| ۶ | نصب چارچوب درها و پنجره‌ها و کمدها | ۱۵،۱۸،۲۱ | ۳۰۰،۳۵۰،۴۰۰ | ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۱/۰۰ | ۰/۱۵، ۰/۲۴، ۰/۰۸ |
| ۷ | اندود گچ‌وخاک سقف و دیوارها | ۲۵،۳۰،۳۵ | ۹۵۰،۱۰۰۰،۱۰۵۰ | ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۱/۰۰ | ۰/۱۵، ۰/۲۴، ۰/۰۸ |
| ۸ | نماسازی و اجرای باغچه | ۴۵،۵۵،۶۵ | ۱۹۰۰،۱۹۵۰،۲۰۰۰ | ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۱/۰۰ | ۰/۸۱، ۱/۰۰، ۰/۶۴ |
| ۹ | اجرای تأسیسات مکانیکی و برق | ۳۳،۳۹،۴۵ | ۱۳۰۰۰،۱۴۰۰۰،۱۵۰۰۰ | ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۱/۰۰ | ۰/۸۱، ۱/۰۰، ۰/۶۴ |
| ۱۰ | کف سازی طبقات | ۳۸،۴۵،۵۲ | ۶۵۰۰،۶۷۰۰،۶۹۰۰ | ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۱/۰۰ | ۰/۱۵، ۰/۲۴، ۰/۰۸ |
| ۱۱ | سفیدکاری سقف‌ها و دیوارها | ۶۰،۶۵،۷۰ | ۸۰۰،۸۵۰،۹۰۰ | ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۱/۰۰ | ۰/۱۵، ۰/۲۴، ۰/۰۸ |
| ۱۲ | نقاشی سقف و دیوارها | ۴۲،۴۷،۵۲ | ۱۰۰۰،۱۱۰۰،۱۲۰۰ | ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۱/۰۰ | ۰/۱۵، ۰/۲۴، ۰/۰۸ |
| ۱۳ | نصب درها، پنجره‌ها و کابینت و لوازم بهداشتی | ۳۱،۳۵،۳۹ | ۸۱۰۰،۸۲۰۰،۸۳۰۰ | ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۱/۰۰ | ۰/۳۲، ۰/۴۵، ۰/۶۰ |
| ۱۴ | تمیزکاری و برچیدن کارگاه | ۵،۸،۱۱ | ۲۰۰،۲۵۰،۳۰۰ | ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۱/۰۰ | ۰/۰۴، ۰/۰۹، ۰/۱۶ |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

به‌منظور حل مسئله پژوهش از الگوریتم‌های فراابتکاری و به طور خاص از الگوریتم ژنتیک و نرم افزار متلب استفاده شده است.

**جدول ۵- تنظیمات پارامترهای الگوریتم برآوردی**

| پارامتر | ارزش | پارامتر | ارزش |
|---|---|---|---|
| الگوریتم | ژنتیک | نوع بازترکیبی | تصادفی |
| جمعیت | ۵۰ | نرخ جهش | ۰/۲۵ |
| نسل | ۱۲۰ | نسبت بازترکیبی | ۰/۷۰ |
| نوع جهش | بازترکیبی تک نقطه ای | معیار فاصله | فاصله ازدحامی |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

## ۵-یافته‌ها

جدول ۶ ترکیب های مختلف زمان، هزینه، کیفیت و ریسک را نشان می‌دهد که نشان دهنده گزینه های مختلف موجود برای اجرای پروژه و ضریب نزدیکی[1] متناظر آن‌ها (CC) به ترتیب کاهشی است.

**جدول ۶- نتایج بهینه‌سازی همزمان تابع ۴ هدفه**

| شماره جواب | زمان (روز) | هزینه (میلیون ریال) | کیفیت | ریسک | ضریب نزدیکی |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۳۷۸ | ۸۷۰۰۰ | ۹۸/۶۰ | ۰/۴۵۲ | ۰/۷۶ |
| ۲ | ۳۸۰ | ۸۶۸۵۰ | ۹۸/۷۰ | ۰/۴۴۱ | ۰/۷۵ |
| ۳ | ۳۹۶ | ۸۶۳۰۰ | ۹۹/۰۰ | ۰/۴۳۶ | ۰/۷۹ |
| ۴ | ۴۰۲ | ۸۳۲۵۰ | ۹۹/۱۰ | ۰/۴۲۵ | ۰/۷۴ |
| ۵ | ۴۱۲ | ۸۳۵۲۰ | ۹۹/۳۰ | ۰/۴۰۲ | ۰/۷۱ |

منبع: یافته‌های پژوهشگر

هر چه ضریب CC بالاتر باشد جواب حاصل از سازگاری بیشتری برخوردار است. همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود بهترین جواب، راه حل ۳ است و بر این اساس مقدار زمان ترجیحی پروژه برابر ۳۹۶، هزینه‌های پروژه معادل ۸۶ میلیارد و ۳۰۰ میلیون ریال، کیفیت برابر ۹۹ درصد و نمره ریسک پروژه ۰.۴۳۶ خواهد بود.
بدترین ضریب CC نیز در جواب ۵ خواهد بود که متناظر با آن زمان پروژه ۴۱۲ روز طول میکشد.

[1] Closeness coefficient

## ۶-نتیجه گیری و بحث

در این پژوهش مسئله موازنه زمان-هزینه-کیفیت-ریسک در قالب فازی در یک پروژه ساخت‌وساز اجرا شد. مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه و در نرم افزار متلب حل شد. نتایج نشان‌دهنده ترکیب بهینه حالت‌های اجرایی مختلف برای زمان، هزینه، کیفیت و ریسک برای هر یک از فعالیت‌های پروژه بود. بر اساس نتایج این پژوهش برای پروژه موردی زمان ۳۹۶ روز ترکیبی بهینه‌ای از زمان، هزینه، کیفیت و ریسک را خواهد داشت.

این مدل را می توان با سطح اطمینان قابل قبولی در سایر پروژه‌های ساختمانی اجرا کرد. در مطالعات آتی می‌توان به روش‌های مختلفی رویکرد این پژوهش را بسط و گسترش داد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده موارد زیر مدنظر قرار گیرد:

- بکارگیری سایر الگوریتم‌های فراتکاملی برای حل مسئله و رتبه‌بندی راه‌حل‌ها ازجمله الگوریتم علف‌های هرز و مقایسه نتایج
- بکارگیری الگوریتم پیشنهادی در سایر پروژه‌ها و بررسی عملکر آن
- اندازه‌گیری کارایی فنی هر فعالیت با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و در نظر گرفتن آن به‌عنوان یکی از قیود بهینه‌سازی.

## فهرست منابع


ابراهیم نژاد، 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 بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ۲۴(۳)، ۳۶۲-۳۷۶ .

ابطحی، ی. آزادی نژاد، ع. (۱۳۹۸). آزمون همجمعی آستانه‌ای بازده بازار سهام و بازارهای ارزو طلا درایران .مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. ۱۰(۳۸)، ۱-۱۸.

احمدی مقدم، ج. مطهری فریمانی، ن. کاظمی، م. (۱۴۰۰). توسعه مدل برنامه‌ریزی پروژه با درنظرگرفتن توأم روش‌های اجرایی و فعالیت جبرانی .چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۱(۱)، ۱۷۳-۱۴۷.

اسپوتین، ب.، مرادی‌نیا، س. (۱۴۰۰). بهینه‌سازی شاخص‌های کمی و کیفی پروژه‌های عمرانی با رویکرد دانش مدیریت پروژه. نشریه مهندسی عمران امیر کبیر، ۵۳، ۵۰۵۲-۵۰۳۳.

اشتهاردیان، ا. افشار، ع. عباس نیا، ر. (۱۳۸۶). بهینه سازی موازنه هزینه-زمان: استفاده از الگوریتم ژنتیک و منطق فازی درعدم قطعیت هزینه ها. سومین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه، تهران.

بنی هاشمی، س.، خلیل زاده، م.، سلطانیف ر.، خصال، ط. (۱۳۹۷). ارائه مدلی جامع برای کنترل یکپارچه کیفیت، هزینه، برنامه و ریسک پروژه ها در مدیریت ارزش کسب شده. فصلنامه علمی پژوهشی اساس. ۵۲، ۶۵-۵۲.

بیرگانی، م. (۱۴۰۱). تحلیل مقایسه‌ای سطح بهینه ظرفیت تولیدی صنایع کارخانه‌ای برترایران در سال‌های(۱۳۹۷-۱۳۸۰). فصلنامه اقتصاد مالی، ۱۰.۳۰۴۹۵/FED.2022.1938547.2513.

پایدار، ف. آشتیانی، ب. توکلی مقدم، ر. (۱۳۹۶). بهینه سازی زمان- هزینه- منبع مساله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع و جریان های نقدی تنزیل یافته با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی چندهدفه. نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ۲۸(۱ )، ۱۴-۱.

پندار، م.، ویسی، ر. (۱۳۹۹). سنجش انواع ریسک در نظام بانکداری بدون ربا (روش ترکیبی دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری). فصلنامه اقتصاد مالی، ۵۱: ۲۹-۵۴.

رضائی نور، ج. سلطانی، م. عاقلان، م. (۱۳۹۷). توسعه مدلی برای برنامه ریزی توسعه با تأکید بر پارامتر های محیط زیست، انرژی و اقتصاد مبتنی بر روش تحلیل سلسله مراتبی و برنامه ریزی آرمانی. نشریه محیط زیست طبیعی، ۷۱(۲)، ۱۶۹-۱۸۴.

سادات سلماسی، م.ح.، داداشی، الف.، غلام نیاروشن، ح. (۱۴۰۰). بکارگیری رویکرد دلفی-فازی جهت تعیین عوامل موثر بر سطح مطلوب ریسک، ساختار بهینه سرمایه و کارایی در بانک های ایرانی. فصلنامه اقتصاد مالی، ۵۷، ۸۶-۵۵.

شفیعی، م. شهریاری، م. حسین زاده لطفی، ف. رادفر، ر. (۱۳۹۷). ارائه مدل ریاضی چندهدفه برای مسأله تبادل هزینه-زمان و در نظر گرفتن ارزش زمانی پول با استفاده از الگوریتم .MOPSO پژوهش های نوین در ریاضی (علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی)، ۴(۱۴)، ۴۹-۳۵.

شول، ع.، و کشاورز، ا. (۱۳۹۷). مدل سازی و حل مساله موازنه زمان, هزینه و کیفیت پروژه در شرایط وابستگی کیفیت به زمان و هزینه. مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۶(۵۰ )، ۱۵۷-۱۲۵.

عقدایی، ا. حسین زاده کاشان، ع. (۱۳۹۷). ارائه رویکردی مبتنی بر الگوریتم قهرمانی در لیگ های ورزشی و فیلتر کالمن برای بهینه سازی چندهدفه مسئله زمان بندی پروژه و پیش بینی پیشرفت زمانی پروژه. تصمیم گیری و تحقیق در عملیات، ۳(۲ )، ۹۹-۱۱۳.

علیخانزاده، و. کاظمی، م. لگزیان، م. (۱۳۹۳). بهینه سازی موازنه هزینه، زمان و کیفیت در پروژه های عمرانی با رویکرد بررسی تاثیر انتخاب مواد و نیروی کار. کنفرانس بین المللی مدیریت و مهندسی صنایع، تهران.

فاروقی، ه. پاینده، س. عبدی، ف. (۱۳۹۸). زمان بندی چندهدفه پروژه با قابلیت فشرده سازی چندگانه فعالیت های چندحالته و محدودیت منابع و حالت اجرای یکسان فعالیت های هم گروه. مدیریت صنعتی، ۱۱(۲ )، ۳۷۹-۳۵۱.

کفاش، م.، ابراهیمی، الف. (۱۳۹۸). ارائه مدل ریاضی کنترل بودجه و هزینه متغیر فعالیت‌های پروژه در شرایط موازنه زمان-هزینه با لحاظ نمودن جریمه تأخیر. نشریه علمی حسابداری و مدیریت، ۱۴، ۶۵-۴۹.

نظری، ا. شادنوش، ن. سهرابی، ط. (۱۳۹۸). مدیریت پرتفوی هزینه پروژه ها در مساله موازنه زمان-هزینه-کیفیت و تعیین اقتصادی ترین ترکیب کاهش زمان فعالیت ها در شبکه های مبتنی بر مسیر بحرانی. مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۱۰(۴۱)، ۱۹۲-۲۱۱.

همتا، ن. قبادی، ش. (۱۳۹۶). ارزیابی مدل مدیریت ریسک اعتباری پروژه های بانک مسکن، چهاردهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع،تهران.

Ahmad, S., Hadyait, M. A., & Rashid, M. M. (2019). Effect of supply chain risk management on organization performance: a case study of national foods manooabad muridke district sheikhupura. International Journal of Social Sciences and Economic Review, 1(1): 1-7.

Albayrak, G. (2020). Novel hybrid method in time–cost trade-off for resource-constrained construction projects. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 44(4), 1295-1307.

Aziz, R. F., Hafez, S. M., & Abuel-Magd, Y. R. (2014). Smart optimization for mega construction projects using artificial intelligence. Alexandria Engineering Journal, 53(3): 591-606.

Daniel, P. A., & Daniel, C. (2018). Complexity, uncertainty and mental models: From a paradigm of regulation to a paradigm of emergence in project management. International journal of project management, 36(1), 184-197.

Elson, D. (2018). Engineering and Project Management. International Journal of System Dynamics Applications (IJSDA), 7(4):76-97.

Feizollahi, S., Soltanpanah, H., Farughi, H., & Rahimzadeh, A. (2021). Development of Multi Objective Multi Period Closed-Loop Supply Chain Network Model Considering Uncertain Demand and Capacity. Journal of Industrial Management Perspective, 8: 61-95.

Feng, C. X. J., Saal, A. L., Salsbury, J. G., Ness, A. R., & Lin, G. C. (2007). Design and analysis of experiments in CMM measurement uncertainty study. Precision engineering, 31(2): 94-101.

Guan, L., Abbasi, A., & Ryan, M.J. (2020). Analyzing green building project risk interdependencies using Interpretive Structural Modeling. J. Clean. Prod. 256, 120372.

Hamilton, M. A., Cherry, H., Martin, L. J., Turner, P. J., & Johnson, S. B. (2014). Using Weed Risk Management assessments to inform on-ground action for new and emerging environmental weeds in New South Wales. In Proceedings of the 19th Australasian Weeds Conference, ed. M. Baker, 1(9): 269-72.

Kerzner, H. (2019). Using the project management maturity model: strategic planning for project management. John Wiley & Sons.

Khalili-Damghani, K., Tavana, M., Abtahi, A. R., & Santos Arteaga, F. J. (2015). Solving multi-mode time–cost–quality trade-off problems under generalized precedence relations. Optimization Methods and Software, 30(5): 965-1001.

Lewis, G., & Bajari, P. (2018). Moral hazard, incentive contracts, and risk: evidence from procurement. Review of Economic Studies, 81(3): 1201-1228.

Lin, C. L., & Lai, Y. C. (2020). An improved time-cost trade-off model with optimal labor productivity. Journal of Civil Engineering and Management, 26(2): 113-130.

Masmoudi, N., Tsvankin, I., & Alkhalifah, T. (2016). Feasibility of high-resolution fracture characterization using waveform inversion. In 78th EAGE Conference and Exhibition, 16 (1): 1-5.

Neghab, A. P., Siadat, A., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Jolai, F. (2011). An integrated approach for risk-assessment analysis in a manufacturing process using FMEA and DES. In 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability, 14: 366-370.

Peng, W., Huang, M., 2014. A critical chain project scheduling method based on a differential evolution algorithm. Int. J. Prod. Res. 52 (13), 3940e3949.

Qureshi, S. M., & Kang, C. (2015). Analysing the organizational factors of project complexity using structural equation modelling. International journal of project management, 33(1), 165-176.

Ramasesh, R. V., & Browning, T. R. (2014). A conceptual framework for tackling knowable unknown unknowns in project management. Journal of operations management, 32(4), 190-204.

Saputra, Y. A., & Latiffianti, E. (2015). Project reliability model considering time–cost–resource relationship under uncertainty. Procedia Computer Science, 72: 561-568.

Saunders, F. C., Gale, A. W., & Sherry, A. H. (2015). Conceptualising uncertainty in safety-critical projects: A practitioner perspective. International journal of project management, 33(2): 467-478.

Shahriari, M. (2016). Multi-objective optimization of discrete time–cost tradeoff problem in project networks using non-dominated sorting genetic algorithm. Journal of Industrial Engineering International, 12(2): 159-169.

Sharifi, M., Shojaie, A., Naserkhaki, S., & Shahriari, M. (2018). A bi-objective redundancy allocation problem with time-dependent failure rates. International Journal of Industrial Engineering, 25(4): 14-26.

Song, J., Martens, A., & Vanhoucke, M. (2022). Using Earned Value Management and Schedule Risk Analysis with resource constraints for project control. European Journal of Operational Research, 297(2): 451-466.

Taheri Amiri, M. J., Haghighi, F. R., Eshtehardian, E., & Abessi, O. (2017). Optimization of Time, Cost, and Quality in Critical Chain Method Using Simulated Annealing (RESEARCH NOTE). International Journal of Engineering, 30(5), 627-635.

Tonchia, S. (2018). Project Time Management, Management for Professionals, in: Industrial Project Management, 2 (10): 117-129.

Xiao, L., Bie, L., & Bai, X. (2021). Controlling the schedule risk in green building projects: Buffer management framework with activity dependence. Journal of Cleaner Production, 278, 123852.

Zareei, M., & Hassan-Pour, H. A. (2015). A multi-objective resource-constrained optimization of time-cost trade-off problems in scheduling project. Iranian Journal of Management Studies, 8(4): 43-56.

Zhang, J., Jia, S., & Diaz, E. (2018). Dynamic monitoring and control of a critical chain project based on phase buffer allocation. Journal of the Operational Research Society, 69(12), 1966-1977.

Zwikael, O., Chih, Y. Y., & Meredith, J. R. (2018). Project benefit management: Setting effective target benefits. International Journal of Project Management, 36(4), 650-658.

**Financial Economics**
Vol. (18) Issue (69) January 2025

**Abstract**

# Presenting a fuzzy multi-objective mathematical model for the time-cost trade-off problem considering risk and quality factors

**Reza Shadab**[1]
**M. Reza Shahriari**[2]
**Q. Abbaspour Esfadan**[3]
**F. Hosseinzadeh Lotfi**[4]

Received: 06/ October /2024 Accepted: 05/ December /2024

## Abstract

Extensive scientific research has been done in the field of time-cost and time-cost-quality balance in previous years. The approach of most of them has been to optimize the problem, add other parameters such as quality, delay, etc. in deterministic and non-deterministic states and precise and innovative solution methods. In total, all these efforts have tried to bring the most realistic conditions of the project into the problem. Although project goals such as time, cost, and quality are determined before project implementation, there are many projects that have failed to achieve their goals and deviate greatly from the specified time, cost, and desired quality. have. One of the main causes of these deviations is not paying attention to the uncertainties that may occur in each project and schedule. The risk of doing the project is an important and detailed topic that many researchers have ignored due to the excessive complexity of this factor in the scheduling issue. The purpose of this research is to provide a model to solve the problem of time-cost-quality and risk balance. For this purpose, the approach of fuzzy numbers and genetic algorithm was used. Next, the proposed algorithm was tested in a real construction project and its efficiency was evaluated.

**Keywords:** risk, time compression, quality, genetic algorithm, fuzzy, multi-objective, cost and time exchange
**GEL classification:** D24, J22, G32

[1] Department of Industrial Management, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
reza.shadab80@gmail.com
[2] Department of Industrial Management, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
(corresponding author) shahriari.mr@gmail.com
[3] Department of Industrial Management, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
gh_abbaspour@azad.ac.ir
[4] Department of Industrial Management, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
farhad@hosseinzadeh.ir


Creative Commons – Attribution 4.0 International – CC BY 4.0
Creativecommons.org