چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۲۷ ـ پاییز ۱۳۹۶
ص‌ص ۸۰ – ۴۷

مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی خاکستری به‌منظور موازنه زمان، هزینه، ریسک و کیفیت پروژه

حنان عموزاد مهدیرجی[*]، نیما مختارزاده[**]، سارا رادمند[***]

چکیده

مدیریت پروژه، برنامه‌ریزی و هدایت پروژه در چهارچوب زمان، هزینه و کیفیت مشخص به‌سوی ایجاد نتایج مشخص آن است. هدف از این پژوهش، توسعه مدل‌های ریاضی در موازنه زمانی، هزینه‌ای، کیفی و ریسک پروژه‌هایی است که پارامترهای فعالیت‌های آن به‌صورت تصادفی و با اعداد خاکستری تخمین زده شده‌اند. در پروژه‌ها برای انجام یک سری فعالیت‌ها به دنبال ترکیب بهینه برای زمان، هزینه و کیفیت پروژه و لحاظ‌کردن ریسک هستند؛ درحالی‌که اطلاعات در این زمینه ناکافی و محدود است. استفاده از روش پیشنهادی تحقیق یعنی لحاظ عدم‌قطعیت در داده‌های برنامه‌ریزی پروژه با اعداد خاکستری، می‌تواند راهنمایی برای مدیریت بهتر پروژه در این‌گونه شرایط باشد. برای حل این مدل، پس از به‌دست‌آوردن مدل برنامه‌ریزی خطی اعداد خاکستری، نسبت به حل آن اقدام شد. با بررسی پاسخ‌های به‌دست‌آمده، به نظر می‌رسد که با برنامه‌ریزی آرمانی امکان بهبود آن‌ها وجود دارد؛ ازاین‌رو مراحل تکمیلی با برنامه‌ریزی آرمانی برای پاسخ‌های رضایت‌بخش بهتری به‌منظور ارائه به مدیر پروژه صورت پذیرفت. برای مطالعه موردی، یک پروژه انتخابی در «شرکت ایران‌خودرو»، به‌طور نمونه ارائه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: مدیریت پروژه؛ منطق‌فازی؛ اعداد خاکستری؛ برنامه‌ریزی آرمانی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۱۶، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۲۵

* عضو هیئت‌علمی دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول).
E-mail: h.amoozad@ut.ac.ir

** عضو هیئت‌علمی دانشکده مدیریت ، دانشگاه تهران.

*** کارشناس ارشد MBA، موسسه آموزش عالی مهر البرز.

۱. مقدمه

مدیریت پروژه به یکی از زمینه‌های جذاب برای پژوهشگران و کارشناسان تبدیل شده است؛ باوجوداین در یک بررسی آماری توسط SGI در سال ۲۰۰۳ مشخص شد که تنها ۳۴ درصد از پروژه‌ها در زمان مقرر و با بودجه مصوب به اتمام رسیده‌اند. درصد ذکرشده در بالا، بهبود کمی را نسبت به سال ۱۹۹۴ که نرخ موفقیت ۱۹ درصد گزارش شده بوده است، نشان می‌دهد؛ همچنین متوسط تخطی از هزینه‌ها از ۱۸۰ درصد در سال ۱۹۹۴ به ۴۳ درصد در سال ۲۰۰۳ کاهش یافته است که این امر مدیون تحقیقات و کارهای انجام‌شده در زمینه مدیریت پروژه است [۳].

مدیریت پروژه، برنامه‌ریزی و هدایت پروژه‌ها در چهارچوب زمان، هزینه و کیفیت مشخص به‌سوی ایجاد نتایج مشخص آن است. هر پروژه و مدیر پروژه الزاماً برای رسیدن به اهداف پروژه باید محدودیت‌ها را در نظر بگیرد؛ به همین دلیل یکی از موارد مهمی که مدیر پروژه باید همیشه در تصمیمات و ارزیابی‌های خود در نظر داشته باشد، محدودیت‌های زمانی، هزینه و کیفی پروژه است [۷]. ازآنجاکه بیشتر پروژه‌ها شرایط و فعالیت‌های منحصربه‌فردی دارند، احتمالاً می‌توان استانداردهای مشخص، ازپیش‌تعیین‌شده و فراگیر برای برنامه‌ریزی تمام پروژه‌ها ارائه کرد؛ بنابراین مدیر پروژه به‌سختی می‌تواند در انجام فعالیت‌های پروژه، داخل مثلث زمان- هزینه - کیفیت که در استاندارد مدیریت پروژه تصریح شده است، باقی بماند [۱۲]؛ بنابراین با وجود اینکه معمولاً پیش از اجرای پروژه‌ها، زمان، هزینه و سطح کیفیت آن‌ها تعیین می‌شود، اما برخی مطالعات نشان داده است که بسیاری از پروژه‌ها هرگز در زمان تعیین‌شده، با هزینه پیش‌بینی‌شده و همین‌طور در سطح کیفیت موردانتظار به پایان نرسیده‌اند. طبق‌نظر ویلیامز (۱۹۹۵)، پژوهشگران دلیل این نوع از شکست‌ها در مدیریت پروژه‌ها را در نبود توجه کافی به مقوله ریسک و عدم‌قطعیت‌ها در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه‌ها می‌دانند. وجود ریسک و عدم قطعیت در پروژه موجب کاهش دقت درتخمین مناسب اهداف می شود و از کارایی پروژه‌ها می‌کاهد؛ بنابراین نیاز به شناخت و مدیریت ریسک در پروژه کاملاً روشن است [۲].

در برخی پروژه‌ها برای انجام یک سری فعالیت‌ها می‌توان با تخصیص بیشتر منابع آن‌ها در زمان خواسته‌شده به پایان رساند که درنتیجه، هزینه پروژه در آن زمان افزایش می‌یابد. در این‌گونه شرایط مدیران پروژه به دنبال ترکیب بهینه برای زمان، هزینه و کیفیت پروژه هستند؛ درحالی‌که اطلاعات در این زمینه ناکافی و محدود است. استفاده از روش پیشنهادی با اعداد خاکستری، می‌تواند راهنمایی برای مدیریت بهتر پروژه در این‌گونه شرایط باشد [۲۳]؛ همچنین با اضافه‌شدن موازنه ریسک به ترکیب یادشده، این روش می‌تواند راهنمایی جامع‌تر برای مدیران پروژه تلقی شود.

در ابتدا مدل‌های خطی و برنامه‌ریزی خطی برای موازنه بسیار کاربرد داشت که با پیشرفت برنامه‌ریزی ریاضی، مدل‌های غیرخطی توسعه داده شد و روش‌های ابتکاری و فراابتکاری نسل

جدیدی از مدل‌ها را در مدیریت پروژه ایجاد کرد و بسیاری از پژوهشگران از روش‌های مختلفی برای حل مسائل TCTP، TCQTP و غیره، مانند الگوریتم ژنتیک و NHGA استفاده کردند. متفاوت از نتایج مطالعات قبلی، به‌صورت موازی بر اساس نظریه «زاده» راه‌حل‌های فازی نیز در حل مسائل، به‌کار رفته است. یکی دیگر از گزینه‌های پیشنهادی برای مواجهه با داده‌های غیرقطعی در پروژه کاربرد نظریه فازی است که به موجب آن زمان و هزینه غیرقطعی انجام فعالیت‌های یک پروژه را می‌توان با اعداد فازی نمایش داد. پژوهشگران زیادی در دو دهه اخیر برای موازنه پارامترهای پروژه از آن استفاده کرده‌اند؛ اما تعداد اندکی از این تحقیقات محیط‌های تصادفی/ اعداد خاکستری را موردتوجه قرار داده‌اند؛ از طرف دیگر، کیفیت و ریسک پروژه نیز از مواردی هستند که مدیران پروژه به آن‌ها علاقه‌مندند و در تحقیقات توجه چندانی به آن‌ها نشده است.

با این تفاسیر، باید روشی طراحی شود که به‌وسیله آن بتوان مدیران پروژه را در زمان‌بندی و انتخاب حالات مناسب اجرای هر یک از فعالیت‌های پروژه یاری کرد؛ به‌نحوی‌که بتوانند پروژه را در سریع‌ترین زمان، با کمترین هزینه، در بالاترین سطح کیفیت و با پایین‌ترین سطح ریسک ممکن به پایان برسانند؛ بنابراین انجام پژوهشی که در آن با توجه به موازنه موجود میان چهار هدف ذکرشده ،یعنی زمان، هزینه، کیفیت و همین‌طور ریسک، رویکرد و ابزاری برای تعیین ترکیب رضایت‌بخش از حالت‌های مختلف فعالیت‌های پروژه توسعه داده شود، ضروری به نظر می‌رسد؛ ازاین‌رو در راستای دستیابی به مفاد ذکردشده، طراحی مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای زمان‌بندی پروژه و مسیر بحرانی پروژه با رویکرد تلفیقی برنامه‌ریزی آرمانی فازی و برنامه‌ریزی خطی اعداد خاکستری هدف غایی پژوهش در نظر گرفته شده است و همچنین در این تحقیق به دنبال پاسخ‌دادن به پرسش‌ها و دستیابی به اهداف، یکی از پروژه‌های «شرکت ایران‌خودرو» به‌عنوان نمونه عددی موردمطالعه قرار می‌گیرد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

نظریه سیستم‌های خاکستری GST[1]. نظریه خاکستری، نخستین بار توسط جولانگ دنگ در سال ۱۹۸۳ ارائه شد [۶]. این نظریه با سیستم‌هایی سروکار دارد که اطلاعات کمی دارند. این مدل می‌تواند با استفاده از داده‌های کم، معمولاً سه تا پنج داده، ساخته شود و برای حل مسائل با عدم‌قطعیت بالا و برای تحلیل داده‌های کوچک، ناقص، گسسته و با اطلاعات کم به‌کار برده می‌شود [۲۰]. بر طبق این نظریه یک سیستم می‌تواند به‌وسیله یک رنگ نشان داده شود که این رنگ شدت وضوح را در مورد سیستم نشان می‌دهد. اگر کاملاً ناشناخته باشد سیستم یک جعبه

1. Grey System theory

سیاه است و اگر کاملاً شناخته شده باشد، یک سیستم سفید است و اگر هم ناشناخته و هم شناخته‌شده باشد، یک سیستم خاکستری نامیده می‌شود. در دنیای واقعی هر سیستمی می‌تواند به‌عنوان یک سیستم خاکستری در نظر گرفته شود؛ زیرا همیشه مقداری از عدم‌قطعیت‌ها موجود است [۱۱]. تئوری سیستمهای خاکستری، الگوریتمی است که روابط غیرقطعی اعضای یک سیستم با یک عضو مرجع را تحلیل می کنند و قابلیت استفاده در حل مسائل تصمیم گیری چندمعیاره را داراست [۱۷].

برنامه‌ریزی خطی خاکستری. برنامه‌ریزی خطی خاکستری[1] شکل کلی از برنامه‌ریزی خطی رتبه‌ای (ترتیبی)[2] است که پارامترهای آن ازجمله ماتریس ضرایب و فناورانه تابع هدف به‌صورت اعداد خاکستری ظاهر می‌شوند. اگر $\otimes B \in \otimes(\mathrm{R})^{m*1}$ و $\otimes C \in \otimes(\mathrm{R})^{1*n}$ و $\otimes X \in \otimes(\mathrm{R})^{n*1}$ باشد مسئله به‌صورت (۱)، نمایش داده می‌شود: [۲۳]

$$\begin{aligned}&\mathrm{Max(min)}\ \otimes \mathrm{f} \in \otimes \mathrm{C}.\otimes \mathrm{X}\\&\text{Subject to: } \otimes \mathrm{A}.\otimes \mathrm{X} \le (\ge)\otimes \mathrm{B}\\&\otimes \mathrm{X} \ge 0\end{aligned} \tag{۱}$$

با توجه به هوانگ (۱۹۹۴)یک تابع هدف با متغیرهای خاکستری موجود است که هدف پیداکردن مقادیر بهینه $\otimes f \in [\underline{f}, \overline{f}]$ می‌باشد. محدوده بالایی و پایینی $\otimes f$ به‌صورت معادله ۲ و معادله ۳، نمایش داده شده است: [۹]

$$\overline{f} = \sum_{j=1}^{k_1} \overline{c_j} * \overline{x_j} + \sum_{j=k_1+1}^{n} \overline{c_j} * \underline{x_j} \tag{۲}$$

$$\underline{f} = \sum_{j=1}^{k_1} \underline{c_j} * \underline{x_j} + \sum_{j=k_1+1}^{n} \underline{c_j} * \overline{x_j} \tag{۳}$$

که $\otimes(c_j) \in [\underline{c_j}, \overline{c_j}]$ و $j=1,2,\ldots,k_1$ و $\otimes(c_j)$ و $j=k_1+1,\ldots,n$ به‌عنوان ضرایب مثبت یا منفی تابع هدف پیدا می‌شوند. به‌ترتیب با استفاده از جایگذاری مقادیر معادل در معادلات بالا، محدودیت‌های $\underline{f}, \bar{\mathrm{f}}$ به‌صورت معادله ۴ و معادله ۵، مطابقت داده می‌شوند:

$$\overline{f} = \sum_{j=1}^{k_1} \underline{\otimes}(|a_{ij}|) * sign\ (\underline{a}_{ij})\ \overline{x_j} + \sum_{j=k_1+1}^{n} \overline{\otimes}(|a_{ij}|) * sign\ (\overline{a}_{ij})\ \underline{x_j} \ \le\ \otimes(b_i) \quad \forall \mathrm{I} \tag{۴}$$

$$\underline{\boldsymbol{f}} = \sum_{j=1}^{k_1} \overline{\otimes}(|\boldsymbol{a}_{ij}|) * \boldsymbol{sign}\ (\overline{\boldsymbol{a}}_{ij})\ \underline{\boldsymbol{x}_j} + \sum_{j=k_1+1}^{n} \underline{\otimes}(|\boldsymbol{a}_{ij}|) * \boldsymbol{sign}\ (\underline{\boldsymbol{a}}_{ij})\ \overline{\boldsymbol{x}}_j \ \le\ \otimes(\boldsymbol{b}_i) \quad \forall \mathbf{i} \tag{۵}$$

1. GLP(Grey Linear Programming)
2. Ordinal Linear Programming

درخصوص سمت راست اعداد[1]، زمانی‌که خاکستری بوده و صفر هم نباشند، خاصیت خاکستری $\otimes(b_i)$ به سمت چپ به شرح معادله ۶ و معادله ۷، جا داده می‌شود:

$$\overline{f} = \sum_{j=1}^{k_1} \underline{\otimes}(|a_{ij}|) * sign\ (\underline{a}_{ij})\ \overline{x_j}/\overline{b_i} + \sum_{j=k_1+1}^{n} \overline{\otimes}(|a_{ij}|) * sign\ (\overline{a}_{ij})\ \underline{x_j}/\underline{b_i} \ \le\ 1 \quad \forall i \tag{۶}$$

$$\underline{f} = \sum_{j=1}^{k_1} \overline{\otimes}(|a_{ij}|) * sign\ (\overline{a}_{ij})\ \underline{x_j}/\underline{b_i} + \sum_{j=k_1+1}^{n} \underline{\otimes}(|a_{ij}|) * sign\ (\underline{a}_{ij})\ \overline{x_j}/\overline{b_i} \ \le\ 1 \quad \forall i \tag{۷}$$

مسئله GLP با دو گام زیر حل می‌شود:

در ابتدا پاسخ به مدل سفید برای $\overline{f}$ (با اهداف بیشینه) ؛ از معادله ۲ به عنوان تابع هدف و از معادله ۶ به‌عنوان محدودیت‌ها حل می‌شود، سپس پاسخ مدل مربوط به $\underline{f}$ فرمول‌نویسی می‌شود (معادله ۳ و معادله ۷). مدل اول مقادیر $\overline{x}_j , j = 1,2, \dots, k_1$ و $\underline{x}_j , j = k_1 + 1, k_1 + 2, \dots, n$ را مشخص می‌کند؛ درحالی‌که مدل دوم مقادیر $\underline{x}_j , j = 1,2, \dots, k_1$ و $\overline{x}_j , j = k_1 + 1, k_1 + 2, \dots, n$ را ایجاد می‌کند؛ سپس دو مجموعه از محدودیت‌های الحاقی در مرحله دوم مدل به‌صورت معادله ۸ و معادله ۹، اضافه می‌شوند [۴]:

$$\underline{x}_j \ \le \overline{x}_j{}^* \ j = 1,2, \dots, k_1 \tag{۸}$$

$$\overline{x}_j \ \le \underline{x}_j{}^* \quad j = \ k_1 + 1, k_1 + 2, \dots, n \tag{۹}$$

برنامه‌ریزی آرمانی. برنامه‌ریزی آرمانی[2]، نسخه‌ای توسعه‌یافته از برنامه‌ریزی خطی و یکی از مهم‌ترین مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه است. برنامه‌ریزی چندشاخصه شامل مجموعه‌ای از روش‌هایی است که در مسائل تصمیم‌گیری با چند مورد هدف استفاده می‌شود.GP رویکردی برای حل مسائل چند هدفه است. [۱۰] نخستین بار توسط چارنز و همکاران (۱۹۵۵) مطرح شد. [۴] تابع هدف در GP، حداقل‌کردن متغیرهای انحرافی به سمت دستیابی به اهداف (آرمان‌ها) است. برای اهداف از نوع سود، متغیر انحرافی منفی و برای اهداف از نوع هزینه، متغیر انحرافی منفی در تابع هدف حداقل می‌شود [۱۶]. مسائل برنامه‌ریزی آرمانی مانند سایر مسائل می‌توانند به‌صورت خطی، غیرخطی و یا اعداد صحیح فرموله شوند و انواع مختلفی را از خانواده مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی ارائه کنند [۱۵]. از نظر ریاضی، GP را می‌توان به‌صورت معادله ۱۰، بیان کرد:

$$\text{minimize} \ \ \bar{a} = \{p_1(\bar{n}, \bar{p}), p_2(\bar{n}, \bar{p}), \dots, \{p_k(\bar{n}, \bar{p})\}$$

1. RHS
2. Goal Programming

$$\text{Subject to:}\quad f_i(x) + n_i - p_i = b_i \qquad i=1,\ldots,m \qquad (۱۰)$$
$$\bar{x},\ \bar{n},\bar{p} \geq \bar{0}$$

که در آن:

$\bar{a}$: تابع دستیابی

$f_i(x)$: تابعی از متغیرهای تصمیم در هدف i

$\bar{n}$, $\bar{p}$: متغیرهای انحرافی منفی و مثبت

b_i: میزان آرمان در هدف i

$p_k(\bar{n},\bar{p})$: تابعی از متغیرهای منفی و مثبت در اولویت K

K: تعداد اولویت‌ها در مدل است.

برنامه‌ریزی آرمانی فازی. از نظر ریاضی،FGP[1] با m آرمان فازی را می‌توان به‌صورت معادله ۱۱، بیان کرد:

$$\begin{aligned} &\text{Find } x \\ &\text{To satisfy } f_i(x)\ \tilde{\odot}\ b_i \qquad i=1,\ldots,m \\ &x \geq 0 \end{aligned} \qquad (۱۱)$$

که علامت "~" نشان فازی‌بودن مقدار آرمان‌ها و علامت $\odot$ برای ($<$ ، $>$ و یا =) به‌کار رفته است. در مسائل برنامه‌ریزی ریاضی فازی، با طراحی توابع عضویت مناسب و انتخاب یک عملگر سازگار برای یکنواکردن توابع عضویت مسئله به مدل برنامه‌ریزی ریاضی قطعی تبدیل می‌شود تا بتوان آن را با روش‌های کلاسیک (مانند برنامه‌ریزی خطی) حل کرد [۱۶].

اگرچه اصطلاح برنامه‌ریزی آرمانی فازی، برای نخستین بار توسط ناراسیمهان(۱۹۸۰) مطرح شد [۱۴]، ولی مسئله بردار ماکزیمم فازی که توسط زیمرمن(۱۹۷۸) ارائه شده است را نیز می‌توان به‌عنوان یک مدل FGP در نظر گرفت؛[۲۶] زیرا در این روش نیز قبل از حل مسئله، مقادیر اهداف (آرمان‌ها) از تصمیم‌گیرنده خواسته می‌شود.

تابع عضویت برای اهداف فازی به‌صورت معادله ۱۲، تعریف می‌شود:

$$\mu_i = \begin{cases} 1 & \text{اگر} \quad f_i(x) \geq b_i \\ \frac{f_i(x)-L_i}{b_i-L_i} & \text{اگر} \quad L_i \leq f_i(x) \leq b_i \\ 0 & \text{اگر} \quad f_i(x) \leq L_i \end{cases} \qquad (۱۲)$$

1. Fuzzy Goal Programming

که L_i حد پایین تحمل برای هدف فازی $f_i(x)$ و $b_i - L_i$ بازه تحمل است. اگر هدف فازی به‌صورت $f_i(x) \lesseqgtr b_i$ باشد، آنگاه تابع عضویت به‌صورت معادله ۱۳، خواهد بود:

$$\mu_i = \begin{cases} 1 & \text{اگر} \quad f_i(x) \le b_i \\ \frac{u_i - f_i(x)}{u_i - b_i} & \text{اگر} \quad b_i \le f_i(x) \le u_i \\ 0 & \text{اگر} \quad f_i(x) \ge u_i \end{cases} \tag{۱۳}$$

که ui حد بالای تحمل و $u_i - b_i$ بازه تحمل است [۱۶]. برای مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی ابتدا متغیرها و پارامترهای مدل تشریح می‌شود؛ سپس توابع عضویت هر یک از معیارها بر اساس منطق فازی ارائه و سرانجام مدل ریاضی مورداستفاده معرفی می‌شود.

به‌منظور حساب اهمیت نسبی از اهداف، تیواری و همکاران(۱۹۸۶)، یک مدل افزودنی وزن پیشنهاد کرده‌اند [۲۵] تا وزن هر یک از اهداف را در تابع هدف وارد کند؛ ازاین‌رو درحالتی که آرمان‌ها دارای اهمیت یکسان نیستند و به‌صورت ضریب وزنی تعریف می‌شوند، تابع به شرح معادله ۱۴، خواهد بود:

$$F(\mu) = \sum w_k \, \mu_k \tag{۱۴}$$

که w_k وزن kاُمین هدف فازی را علامت‌گذاری می‌کند، $\sum w_k = ۱$ بوده و μ_k نمایانگر دستیابی به هدف k طبق تابع عضویت خطی تعریف شده است. تسای و چن(۲۰۰۱) نشان داده‌اند که این مدل در صورت تغییر وزن‌ها ممکن است پاسخ‌هایی در سطح پایین‌تر از سطح مطلوب مسئله را ایجاد کند؛[۵] از سوی دیگر این دو پژوهشگر یک مدل پیشگیرانه برای نمایش درجات مطلوب به‌منظور دستیابی به اهداف برای هر یک از اهداف فازی که برای تابع هدف فازی مهم هستند را پیشنهاد می‌کنند. در این مدل اهدافی که مهم‌تر هستند، بالاترین درجه دستیابی مطلوب را دارند؛ بدین‌وسیله تابع هدف از مسئله FGP که به‌صورت معادله ۱۴، بود، اولویت‌های پیشگیرانه ورای اهداف بدین‌صورت $\mu_l \ge \mu_k$ اضافه می‌شود.

هنگامی‌که kاُمین هدف به lاُمین هدف ارجح می‌شود. علاوه براین تصمیم‌گیرنده شاید یک دسته از درجات مطلوب μ^*_k را انتخاب کند؛ به‌طوری‌که برخی محدودیت‌ها، مانند $\mu_k \ge \mu^*_k$ به سیستم محدودیت‌ها اضافه شود؛ درنهایت مسئله FGP با k هدف متفاوت به‌صورت مسئله‌ای به شکل معادله ۱۵، تبدیل می‌شود:

$$F(\mu) = \sum_{k=1}^{n} w_k\, \mu_k \qquad (۱۵)$$

Subject to: (a)System Constraints

(b)$\mu_k \geq \mu_l \qquad \forall(k,l) \in \{1,2,\ldots,K\}$

(c $\mu_k \geq \mu^*_k \qquad \forall(k,l) \in \{1,2,\ldots,K\}$

زمانی (b), (c) توسط تصمیم‌گیرنده تعریف می‌شوند که او ترجیحش این باشد [۲۳]. تحقیق‌های متعددی در راستای موازنه پارامترهای پروژه صورت گرفته و روش‌ها و الگوهای متفاوتی برای حل مدل انتخاب شده است که در اینجا پیشینه پژوهش به‌صورت خلاصه با توجه به نوع توابع هدف، در جدول ۱، ارائه شده است. در ادامه با بررسی دقیق مبانی نظری موضوع، چندی از پژوهش‌هایی که مشابهت بیشتری با مقاله مذکور داشتند در جدول ۲، مقایسه شد و نوآوری مقاله با دیگر مطالعات مشابه ارائه شده است.

جدول ۱. خلاصه پیشینه تحقیق

پژوهشگر/پژوهشگران	سال	هدف
تانگ یانگ	۲۰۰۵	کمینه‌کردن زمان پروژه یا بهبود استفاده از منابع
ربانی	۲۰۰۷	
دریزت و بیلوت	۲۰۰۸	
ژانگ و همکاران	۲۰۰۵	کمینه‌کردن زمان و هزینه پروژه
هووا کی و بودینگ لیو	۲۰۰۵	
مینگ جوین تسای و شی پین چن	۲۰۱۱	
هووا و جونجی	۲۰۱۴	
عموزاد ، رضوی حاجی آقا و پورجم	۲۰۱۱	
اسماعیلیان، فیضی و افسر	۱۳۹۱	
سالاری، باقرپور و تقی زاده	۱۳۹۲	
آیونگ و همکاران	۲۰۰۲	کمینه‌کردن زمان و بیشینه‌کردن کیفیت پروژه
لاو و ایرانی	۲۰۰۳	
تانگ، آیونگ، ریموند و احمد	۲۰۱۰	
الرایز و کاندیل	۲۰۰۵	کمینه‌کردن زمان و هزینه با بیشینه‌کردن کیفیت پروژه
پولاک جانسون و لیبراتور	۲۰۰۶	
طارقیان و طاهری	۲۰۰۶	
افشار و همکاران	۲۰۰۷	
هوانگ و همکاران	۲۰۰۸	
اشتهاردیان و همکاران	۲۰۰۸	
رضوی حاجی آقا و همکاران	۲۰۱۳	
اهری و نیاکی	۲۰۱۳	

اوانجلین جباسیلی و پول جایاباران	۲۰۱۵	
سلماس‌نیا، مختاری و نخعی‌کمال آباد	۲۰۱۲	
هونگ و فنگ	۲۰۱۰	
رازک، دیاب، حافظ و عزیز	۲۰۱۰	
شهسواری‌پور، مدرس و توکلی مقدم	۲۰۱۲	
فارغ، قندهاری و کتابی	۱۳۹۱	
موحدی سبحانی و عاشور	۱۳۹۲	
ابراهیم نژاد، جوانشیر و احمدی	۱۳۹۲	
مهدی زاده و محسنیان	۱۳۸۹	
دیکمن و همکاران	۲۰۰۷	موازنه زمان و هزینه با اضافه‌کردن پارامتر ریسک به توابع
جانادی و المیشاری	۲۰۰۷	
لاکشیمینیاران و همکاران	۲۰۱۰	
ابطحی	۲۰۱۲	
رضاییان	۲۰۱۱	
ژانگ، انگوس، چیا فنگ	۲۰۱۴	
محمدی‌پور و سجادی	۲۰۱۶	
کراجوسکی و ریتزمن	۲۰۰۵	موازنه احتمالی زمان و هزینه با رویکرد پرت
کوریهارا و نیشیوچی	۲۰۰۲	موازنه غیرقطعی با شبیه‌ساز مونت‌کارلو –بر پایه احتمال
چاناس و زیلینسکی	۲۰۰۱	شناسایی مسیر بحرانی
اسلیپتوسف و تیشچانک	۲۰۰۳	
زیلینسکی	۲۰۰۵	
چن و هوانگ	۲۰۰۷	
چن	۲۰۰۷	
راوی شانکر و همکاران	۲۰۱۰	تعیین مسیر بحرانی یک پروژه در حالت فازی
لیانگ و هن	۲۰۰۴	تعیین مسیر بحرانی یک پروژه با تابع رتبه‌بندی اعداد فازی
راوی شانکر و همکاران	۲۰۱۰	
شهسواری پور و همکاران	۲۰۱۰	تعیین مسیر بحرانی یک پروژه با مدل ریاضی
بحران و سوخکیان	۲۰۰۸	تعیین مسیر بحرانی یک پروژه در حالت قطعی با موازنه زمان، ریسک و هزینه
زاموری و همکاران	۲۰۰۹	موازنه زمان، ریسک، هزینه و منابع مشترک درحالت فازی درتعیین مسیر بحرانی
گلعذاری و امیری	۲۰۱۲	تعیین مسیر بحرانی یک پروژه با موازنه زمان، کیفیت، ریسک و هزینه

جدول ۲. جدول مقایسه‌ای مقاله با برخی مطالعات مشابه پیشین

نوع توابع هدف	پژوهشگر / پژوهشگران	سال	توضیحات مدل،روش‌حل و مطالعه موردی	تفاوت عمده مقالات پیشین با پژوهش حاضر
کمینه‌کردن زمان و هزینه با بیشینه‌کردن کیفیت پروژه	فارغ، قندهاری و کتابی	۱۳۹۱	مسئله چندهدفه و چندحالته یک شبکه پیش‌نیازی موازنه زمان، هزینه و کیفیت ارائه یک مدل برنامه‌ریزی فازی آرمانی مطالعه موردی در شرکت کیمیا بنا گستر یزد [۱۳]	افزودن مولفه ریسک و موازنه ۴ عاملی، مطالعه موردی در خودروسازی، استفاده از ترکیب اعداد خاکستری و رویکرد برنامه‌ریزی فازی آرمانی
کمینه‌کردن زمان و هزینه با بیشینه‌کردن کیفیت پروژه	ابراهیم‌نژاد، جوانشیر و احمدی	۱۳۹۲	مدل ریاضی فازی شبکه‌ای موازنه معیارهای زمان و هزینه استفاده از الگوریتم ژنتیک مطالعه موردی در صنعت نفت [۷]	
	Razek, Diab, Hafez, & Aziz,	۲۰۱۰	استفاده از الگوریتم ژنتیک سیستم بهینه‌سازی چندهدفه بهینه‌سازی سه‌بُعدی زمان، هزینه و کیفیت	
کمینه‌کردن زمان و هزینه با بیشینه‌کردن کیفیت پروژه	Hong & Feng	۲۰۱۰	بهینه‌سازی اجتماع ذرات فازی چندهدفه[1] حل مشکل TCQT فازی مطالعه موردی پروژه‌های ساختمانی	
	Evangeline Jebaseeli & Paul Dhayabaran	۲۰۱۵	توسعه مدل ریاضی موازنه هزینه، زمان و کیفیت استفاده از مدل فازی برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی [۸]	
	Shahsavari Pour, Modarres, Tavakkoli-Moghaddam	۲۰۱۲	موازنه زمان، هزینه و کیفیت پروژه استفاده از یک الگوریتم فوق‌ابتکاری جدید [۲۴]	
Project cost-quality-risk tradeoff analysis in a time-constrained nroblem.	Mohammadipour & Sadjadi	۲۰۱۶	موازنه هزینه، کیفیت و ریسک استفاده از برنامه‌ریزی خطی یکپارچه مختلط[2] چندهدفه [۱۸]	
موازنه زمان و هزینه و ریسک با بیشینه کردن کیفیت پروژه	ابطحی	۱۳۹۱	موازنه زمان، هزینه، کیفیت و ریسک استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه استفاده از روش دقیق اپسیلون- محدودیت کارا و دوروش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک چندهدفه و الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات [۱]	

1. Fuzzy-Multi-Objective Particle Swarm Optimization
2. Mixed integer linear programming

A hybrid model of fuzzy goal programming and grey numbers in continuous project time, cost, and quality tradeoff.	Razavi Hajiagha, Amoozad Mahdiraji, Hashemi,	۲۰۱۳	موازنه هزینه، زمان و کیفیت در عدم‌اطمینان و با اعداد خاکستری ترکیبی از برنامه‌ریزی آرمانی فازی و برنامه‌ریزی خطی خاکستری آزمون مدل در مثال عددی در یک پروژه با ۱۰ فعالیت	اضافه‌شدن متغیر ریسک، مطالعه موردی یک پروژه واقعی با ۷۰ فعالیت

۳. روش‌شناسی پژوهش

در این تحقیق به دلیل این‌که تمرکز بر روی مدل‌سازی ریاضی می‌باشد و در ادامه نیز مطالعه موردی جهت تکمیل مدل‌سازی ارائه گردیده است، کار آماری صورت نپذیرفته است; ازاین‌رو مطالعه موردی از پروژه‌های صنعتی شرکت ایران‌خودرو و براساس روابط پیش‌نیازی عمومی در خصوص موازنه زمان، هزینه، کیفیت و به‌کاربردن ریسک انتخاب شده است.

پیرو بند فوق و نبود نمونه آماری با توجه به محدود بودن تعداد پروژه‌های صنعتی شرکت ایران‌خودرو، به‌صورت وضعی و غیر احتمالی یک پروژه مهم توسط کارشناسان و خبرگان مرتبط انتخاب می‌شود. (به‌واسطه مهم بودن پروژه‌های محصول جدید درایران خودرو یکی از پروژه‌های طراحی و تولید محصول جدید، پیشنهاد می‌شود.) چارچوب فرایند پژوهش به‌صورت فلوچارت گام‌به‌گام در شکل ۱، ارائه شده است.

شکل ۱. فرایند گام‌به‌گام پژوهش

مدل‌سازی[1]

شبکهٔ پروژه. هدف اصلی از ترسیم گراف پروژه، نمایش روابط پیش‌نیازی فعالیت‌ها است. روابط پیش‌نیازی متفاوتی در پروژه قابل‌تعریف است؛ ولی در این پژوهش فرض می‌شود که روابط پیش‌نیازی به‌صورت پایان - شروع و با زمان تأخیر صفر خواهد بود. شبکه یا گراف پروژه یک

1. GMOLP: Grey Multiobjective Linear Programming
2. FGGP: Fuzzy Grey Goal Programming
3. GLP: Grey Linear Programming

نمایش گرافیکی از وقایع، فعالیت‌ها و روابط پیش‌نیازی پروژه است. به‌طورکلی یک پروژه با یک شبکه گراف مستقیم G=(V,E) نمایش داده می‌شود که شامل m گره و مجموعهٔ n کمان بوده که در آن V={1,2,…,m} یک گروه از گره‌ها و E={(i,j),…,(l,m)} مجموعه‌ای از کمان‌های مستقیم هستند. هر یک از فعالیت‌های پروژه به‌صورت $(i,j) \in E$ معرفی شده است و به دو صورت نمایش داده می‌شود: ۱. حالت عادی[1] و ۲.حالت فشرده[2].

تعریف متغیرها و پارامترها. در جدول ۳، متغیرها و پارامترهای مدل ارئه‌شده، مشخص شده است.

جدول ۳. جدول تعریف متغیرها و پارامترهای مدل ارائه‌شده

نماد	عنوان	نوع	توضیحات
N	تعداد فعالیت‌ها	پارامتر	–
$\otimes D_{ij}$	مدت زمان فعالیت ij در حالت عادی	پارامتر	–
$\otimes d_{ij}$	مدت زمان فعالیت ij در حالت فشرده	پارامتر	–
$\otimes C_{ij}$	هزینه مستقیم فعالیت ij در حالت عادی	پارامتر	–
$\otimes c_{ij}$	هزینه مستقیم فعالیت ij در حالت فشرده	پارامتر	–
$\otimes Q_{ij}$	کیفیت فعالیت ij در حالت عادی	پارامتر	–
$\otimes q_{ij}$	کیفیت فعالیت ij در حالت فشرده	پارامتر	–
$\otimes R_{ij}$	ریسک فعالیت ij در حالت عادی	پارامتر	–
$\otimes r_{ij}$	ریسک فعالیت ij در حالت فشرده	پارامتر	–
$\otimes x_{ij}$	مدت زمان واقعی فعالیت ij	متغیر	–
$\otimes t_{ij}$	زمان شروع فعالیت ij	متغیر	–
d^+_k	متغیرهای انحرافی اضافی k درخصوص روش تکمیلی (برنامه‌ریزی آرمانی)	متغیرهای تکمیلی	به‌ازای kهای فرد متغیر انحرافی مثبت
d^-_k	متغیرهای انحرافی کمبود k درخصوص روش تکمیلی (برنامه‌ریزی آرمانی)	متغیرهای تکمیلی	به‌ازای kهای زوج متغیر انحرافی کمبود
$\otimes cs_{ij}$	شیب هزینه فعالیت ij	پارامترهای ترکیبی‌اضافه‌شده	$\otimes cs_{ij}$[3] $= \frac{\otimes c_{ij} - \otimes C_{ij}}{\otimes d_{ij} - \otimes D_{ij}}$
$\otimes qs_{ij}$	شیب کیفیت فعالیت ij	پارامترهای ترکیبی‌اضافه‌شده	$\otimes qs_{ij}$[4] $= \frac{\otimes q_{ij} - \otimes Q_{ij}}{\otimes d_{ij} - \otimes D_{ij}}$
$\otimes rs_{ij}$	شیب ریسک فعالیت ij	پارامترهای ترکیبی‌اضافه‌شده	$\otimes rs_{ij}$[5] $= \frac{\otimes r_{ij} - \otimes R_{ij}}{\otimes d_{ij} - \otimes D_{ij}}$

1. Normal Form
2. Crashed Form
3. Cost Slope of Activity [20]
4. Qualioty Slope Of Activity [20]
5. Risk Slope of Activity

توابع هدف. در مسائل اگر یک تابع هدف وجود داشته باشد می‌توان گفت جواب بهینه[1] وجود دارد؛ ولی وقتی چندتابع هدف موجود است، بهینه‌سازی معنا ندارد. در اینجا تصمیم‌گیرنده به‌جای بهینه‌سازی، رضایتمندی را جایگزین می‌کند. در این صورت تصمیم تعاملی اتخاذ می‌شود؛ به‌طوری‌که تمام اهداف تا حدی رضایت‌بخش باشد.

با توجه به نیاز به موازنه هم‌زمان ۴ عامل ذکر شده؛ ازاین‌رو برای حل مدل موازنه‌ای هزینه، زمان، ریسک و کیفیت از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندهدفه استفاده شده است. تابع هدف مدل دارای ۴ بخش شامل حداقل‌کردن هزینه، زمان و ریسک و حداکثرسازی کیفیت است. هدف اول) طبق معادله ۱۶، برای حداقل‌کردن هزینه فعالیت‌ها لحاظ شده است.

$$Z_1 = \min \text{هزینه} \tag{۱۶}$$

نخستین هدف از مدل ارائه‌شده این پروژه، کل هزینه اضافی را به حداقل رسانده است.

فعالیت‌ها با حالت مختلف از منابع، امکان اجرا دارند و از منابع تجدیدپذیر(نیروی انسانی، ماشین آلات) و تجدید ناپذیر(مواد اولیه، بودجه) استفاده می‌کنند. در محاسبه هزینه ها اضافه‌کاری منابع تجدیدپذیر، جریمه دیرکردیا پاداش تحویل زودتر از موعد پروژه درنظر گرفته شده است.[۱۹] فشرده‌کردن زمان تکمیل برخی از فعالیت‌ها باید به‌منظور کاهش کل مدت زمان پروژه اجرا شود.این عمل می‌تواند هزینه اضافی در این فعالیت‌ها را تحمیل کند؛ بنابراین در هدف اول، به‌حداقل‌رساندن هزینه کل اضافی از این فعالیت‌ها مدنظر است. اگر دو نقطه وضعیت زمان و هزینه برای هر فعالیت ij $(\otimes \mathrm{D_{ij}}, \otimes \mathrm{C_{ij}})$ در حالت عادی و $(\otimes d_{\mathrm{ij}}, \otimes \mathrm{c_{ij}})$ در حالت فشرده نمایش داده شود، در این حالت، تابع هدف برای کل هزینه فعالیت ij به‌صورت معادله ۱۷، محاسبه می‌شود:

$$\otimes \mathrm{C_{ij}} + \otimes cs_{ij}(\otimes x_{ij} - \otimes D_{ij}) \tag{۱۷}$$

بنابراین برای هزینه پروژه که مجموع هزینه‌های فعالیت‌های مربوطه است، به‌صورت معادله ۱۸، می‌توان نوشت:

$$\min Z_1 \cong \sum_{ij\in E} \sum \otimes \mathrm{C_{ij}} + \otimes cs_{ij}(\otimes x_{ij} - \otimes D_{ij}) \tag{۱۸}$$

1. Optimize

جمله دسته ۲: برای حداقل‌کردن زمان موردنیاز پروژه، لحاظ شده است. یکی از اهداف مهم در اجرای پروژه پیش‌بینی و پیش‌برنامه‌ریزی زمانی پروژه است. روش‌های کاهش مدت زمان فعالیت را می‌توان به چند دسته تقسیم کرد: ۱. افزایش منابع؛ ۲. افزایش ساعات کاری؛ ۳. تغییر روش اجرا و ۴. افزایش بهره‌وری که اتخاذ این روش‌ها ممکن است بر سه پارامتر بالا مؤثر واقع شود. در این مدل اگر T_n زمان گره آخرین پروژه و T1 زمان گره نخستین باشد، می‌توان زمان کلی پروژه را به‌صورت معادله ۱۹، تعریف کرد:

$$Z_2 = \min \text{زمان‌ها} \qquad (۱۹)$$
$$\min Z_2 \cong \otimes t_n - \otimes t_1$$

جمله دسته ۳: برای موازنه کیفیت پروژه لحاظ شده‌اند. هدف به‌حداقل‌رساندن کاهش کیفیت در کل فعالیت‌های پروژه به‌دلیل فشرده‌سازی زمان آن‌ها است. کاهش زمان فعالیت می‌تواند بر کاهش کیفیت فعالیت‌هایی که زمان تکمیل آن‌ها کم شده است، تأثیر بگذارد. به نظر می‌رسد اگر هر فعالیت با زمان تکمیل اولیه اجرا شود، کیفیت آن ۱۰۰ درصد خواهد بود؛ ولی اگر زمان تکمیل فعالیت کوتاه شود، کیفیت آن کاهش خواهد یافت و درنتیجه الزامات کیفی کلان پروژه در نظر گرفته نخواهد شد [۱۸]. باید توجه داشت که هر یک از فعالیت به‌تنهایی در اثر فشرده‌سازی تأثیر متفاوتی بر الزامات کیفی کل پروژه دارد؛ ازاین‌رو ضریب و شیب کیفیت آن فعالیت برای محاسبه کاهش/ افزایش کیفیت پروژه باید در نظر گرفته شود. همان‌طور که در جمله دسته ۲ برای هزینه ارائه شد، مشابه آن برای کیفیت به شرح معادله ۲۰ و معادله ۲۱، است:

$$Z_3 = \max \text{کیفیت} \qquad (۲۰)$$

$$\max Z_3 \cong \sum_{ij\in E} \sum \otimes Q_{ij} + \otimes qs_{ij}(\otimes x_{ij} - \otimes D_{ij}) \qquad (۲۱)$$

درواقع در بخش کیفیت، منظور انتخاب فعالیت‌هایی برای کاهش زمان است که حداقل کاهش کیفیت را به پروژه تحمیل کنند. به تعبیر دیگر انتخاب فعالیت‌های مناسبی برای کاهش زمان، که کمترین تأثیر را بر الزامات کیفی پروژه ایجاد نمایند.

جمله دسته ۴: برای موازنه ریسک پروژه لحاظ شده‌اند. هدف از آن به حداقل‌رساندن ریسک در کل فعالیت‌های پروژه به‌دلیل فشرده‌سازی زمان آن‌ها است. ریسک رویداد یا شرایطی نامشخص است که در صورت وقوع، اثر مثبت یا منفی بر پروژه خواهد گذاشت. ریسک ممکن است به یک یا چند علت اتفاق بیفتد و یک یا چند اثر بر پروژه داشته باشد [۲۱]. ریسک یک پروژه متشکل از

تهدیدها و فرصت‌هایی است که در این پژوهش تنها به تهدیدهای آن پرداخته شده است. با توجه به استاندارد PMBOK هر ریسک در صورت وقوع، حداقل بر یکی از اهداف پروژه اثر خواهد گذاشت که در متن نیز به اهداف زمان، کیفیت و زمان اشاره شده است و در این راستا تأثیر بر دامنه پروژه را نیز می‌توان لحاظ کرد.

به‌طورکلی، هدف از دسته چهارم اهداف کاهش این ارزش ریسک‌ها در کل پروژه است که به‌صورت معادله ۲۲، لحاظ میشود.

$$\min Z_4 \cong \sum_{ij\in E} \sum \otimes R_{ij} + \otimes rs_{ij}(\otimes x_{ij} - \otimes D_{ij}) \qquad (۲۲)$$

از معادله ۱۸ تا معادله ۲۲، تنها برای ارتباط بین زمان و هزینه یا زمان کیفیت یا زمان و ریسک مدل استفاده شده است که هر تابع خطی را به‌صورت مشابه می‌توان در معادله‌ای مشابه لحاظ کرد.

در فضای اجرایی، پس از آماده‌سازی فهرست فعالیت‌های پروژه، برنامه زمان‌بندی اولیه پروژه برای بررسی دردسترس است. مجری پروژه به‌بررسی برنامه‌های اولیه و به اخذ نظر از پیمانکاران برای فشرده‌سازی برنامه می‌پردازد؛ بنابراین پیمانکار برای فشرده‌سازی و کاهش زمان برخی از اطلاعات فعالیت‌های پروژه را تکمیل می‌کند. ازآنجاکه کوتاه‌شدن زمان یک فعالیت می‌تواند به افزایش هزینه، افزایش ریسک و ویرایش در کیفیت منجر شود. در اینجا چند هدف مخلوط برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای تعیین فعالیت‌های پیشنهادی که باید به لحاظ زمانی کوتاه شوند و هم‌زمان آن‌ها باید حداقل هزینه، ریسک و کاهش کیفیت را تحمل کنند، ارائه شده است.

تابع هدف تکمیلی. طبق معادله ۲۳، در آن حداقل‌کردن مجموع انحراف‌های نامطلوب مدنظر است.

$$\min Z_5 = \sum_h d_h \qquad (۲۳)$$

محدودیت‌ها. علاوه بر محدودیت‌های پیش‌نیازی سه خوشه محدودیت زیر را می‌توان برای فعالیت‌ها در مدل نمایش داد:

خوشه اول محدودیت در شروع و پایان زمان فعالیت. با فرض اینکه فعالیت ij در زمان $\otimes t_i$ شروع شده و با مدت زمان $\otimes x_{ij}$ اجرا شود، زمان اختتام فعالیت $\otimes tj$ است؛ بنابراین برای هر فعالیت باید معادله ۲۴، برقرار باشد.

$$\otimes t_i + \otimes x_{ij} \leq \otimes t_j \ \ \forall ij \in E, i, j = 1,2, \dots, n \quad (۲۴)$$

خوشه دوم و سوم محدودیت‌ها در مدت زمان واقعی فعالیت. اگر مدت زمان واقعی فعالیت ij با $\otimes x_{ij}$ نمایش داده شود، باید معادله‌های ۲۵و۲۶ برای فعالیت‌ها برقرار باشند:

$$\otimes x_{ij} \leq \otimes D_{ij} \ \forall ij \in E \quad (۲۵)$$

$$\otimes x_{ij} \geq \otimes d_{ij} \ \ \forall ij \in E \quad (۲۶)$$

محدودیت‌های تکمیلی. این محدودیت‌ها مخصوص برنامه‌ریزی آرمانی است (در این نوع محدودیت، آرمان مقدار معینی است؛ اما انحراف از آن مجاز نیست و به آن «محدویت نرم» نیز گفته می‌شود که در معادله ۲۷، نشان داده شده است).

$$\begin{array}{ll} \mu_k + d_h = 1 & k = 1,2,3,4, h = 1,3,5,7 \\ \mu_k - d_h = 0 & k = 1,2,3,4, h = 2,4,6,8 \end{array} \quad (۲۷)$$

(در مدل عددی در نرم‌افزار لینگو به‌جای متغیر μ_k از متغیر Y_k استفاده شده است).

جمع‌آوری داده‌ها. مورد مطالعه در این پژوهش، یکی از پروژه‌های تولید محصول جدید در «شرکت ایران‌خودرو» است. این خودروی جدید با نام مختصر X709 در کلاس C[۱] خودرو بوده و با تغییرات محدود بر روی بدنه، موتور و تریم داخلی تعریف شده است که پلتفرم خودرو[۲] نیز مشترک است.

در این پروژه به‌طورکلی باید چهار دسته فعالیت کلان شامل پیش‌توسعه و امکان‌سنجی، طراحی، تأمین و صنعتی‌سازی اجرا شود که هر یک از این سرفصل‌ها تقریباً شامل بیست زیر فعالیت است. در ابتدا برای هر فعالیت به‌صورت عادی زمان با مقیاس روز پیشنهاد شده است و هزینه به میلیون ریال، ریسک به صورت اعداد فاصله‌ای و کیفیت به صورت درصد پذیرش کیفی

---

۱. کارشناسان، خودروها را بر اساس اندازه و کاربرد به دسته‌های مجزایی تقسیم‌بندی می‌کنند که کلاس C یا سایز متوسط، منظور خودروهایی است که از نظر اندازه متوسط و مناسب برای استفاده خانوادگی هستند. طول بدنه این خودروها بین ۴۰۰۰ mm تا ۴۴۰۰۰ mm است و حجم موتور این خودروها عموماً بین ۱۳۰۰ تا ۲۰۰۰ سی‌سی است. این نوع خودروها از پرفروش‌ترین خودروها در دنیا محسوب می‌شوند.

۲. به مجموعه‌ای از سیستم شاسی، موتور، انتقال قدرت و کنترل حرکت، پلتفرم گفته می‌شود.

تخمین زده شده است که در جدول ۴، مشخصات برخی از فعالیت‌های پروژه به صورت نمونه در حالت عادی ارائه‌شده است؛ اما به‌واسطه اقتضای زمان بازار، لازم به سرعت بیشتری در تولید محصول جدید در این بخش بازار است که مسلماً بررسی مجدد زمان، هزینه، کیفیت و ریسک موجود در فشرده‌سازی فعالیت‌ها ضروری است و درادامه جدول، مشخصات فعالیت‌های ذیربط درحالت فشرده نیز ارائه شده است.

اطلاعات تکمیل‌شده جدول ۴، با استناد بر نظر خبرگان و گروه پروژه در جلسه‌های برنامه‌ریزی پروژه و همچنین دانش‌آموخته‌های[1] پروژه‌های محصولی مشابه در «شرکت ایران‌خودرو» لحاظ شده است. کلیه اعداد خاکستری زمان بر حسب روز، هزینه با مقیاس میلیون ریال و کیفیت بر اساس درصد کیفیت موردقبول برای هر فعالیت منظور شده است.

جدول ۴. مشخصات برخی فعالیت‌های پروژه نمونه در حالت فشرده و عادی

Activity Code	Predecessors	Normal mode				Crash mode			
		Time (Day)	Cost (Mil.Irr)	Quality (%)	Risk (Variables Linguistic)	Time (Day)	Cost (Mil.Irr)	Quality (%)	Risk (Variables Linguistic)
Act 2	0	[1/5,2]	[20/4,24/3]	[70,75]	[1,2]	[0/5,1]	[45/5,56]	[60,65]	[3,4]
Act 4	Act 2	[8,10]	[76/8,83/2]	[90,95]	[5,6]	[5,7]	[119/5,142/4]	[80,85]	[5,6]
Act 5	Act 4	[42,45]	[69/5,86/4]	[80,85]	[5,6]	[30,35]	[169/5,189/9]	[70,75]	[6,7]
Act 6	Act 5	[27,30]	[111/5,136]	[85,90]	[4,5]	[15,18]	[282/5,350/5]	[70,75]	[5,6]
Act 7	Act 6	[4,5]	[22,25]	[75,80]	[6,7]	[2,3]	[40,45]	[70,75]	[6,7]
Act 8	Act 7	[17,20]	[153/5,180]	[85,90]	[5,6]	[12,15]	[325,395/5]	[85,90]	[5,6]
Act 9	Act 8	[19,20]	[169/1,198/5]	[80,85]	[5,6]	[10,12]	[347/5,414/2]	[85,90]	[5,6]
Act 10	Act 9	[6,7]	[90,109/5]	[85,90]	[6,7]	[4,5]	[235,304/5]	[75,80]	[8,9]
Act 11	Act 10	[9,10]	[58/5,72]	[75,80]	[5,6]	[5,6]	[152/5,194/5]	[70,75]	[6,7]
Act 12	Act 11	[6,8]	[128/8,160/5]	[90,95]	[8,9]	[4,5]	[325/5,371/4]	[85,90]	[9,10]
Act 14	Act 4	[40,45]	[498/9,544]	[75,80]	[8,9]	[30,32]	[752,834/5]	[80,85]	[6,7]

پارامتر ریسک در این پژوهش نیز برای تجسم کمّی نظرهای کیفی ایراد شده به‌صورت اعداد فاصله‌ای در نظر گرفته می‌شود که جدول ۵، مقیاس قابل‌استفاده برای بیان امتیاز هر گزینه نسبت به هر شاخص را نشان می‌دهد [۲۲].

جدول ۵. امتیاز فاصله‌ای متناظر با مقیاس ریسک انتخابی

مقیاس	⊗R
بسیار ضعیف	[1, 2]
ضعیف	[3, 4]
متوسط ضعیف	[4, 5]
متوسط	[5, 6]
متوسط قوی	[6, 7]
قوی	[8, 9]
بسیار قوی	[9, 10]

1. Lessons Learned

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

نمونه‌های زیادی در مبانی نظری پژوهش موجود است که در آن‌ها ابتدا مدل‌های قطعی حل شده و سپس مقادیر پاسخ به‌دست‌آمده برای هدف، به‌عنوان الگو برای توسعه تابع عضویت استفاده شده است. در کنار این پژوهش‌ها نمونه‌های دیگری به چشم می‌خورد که قضاوت تصمیم‌گیرنده را پیشنهاد کرده است. در این پژوهش روش اول برگزیده شده و ادامه مراحل نیز پیرو این انتخاب ارائه شده است.

سه هدف حداقل‌سازی (زمان، هزینه و ریسک) و یک هدف حداکثرسازی (کیفیت) برای به-دست‌آوردن تابع عضویت با روش برنامه‌ریزی خطی به‌صورت معادله ۲۸، مدلسازی و حل شده است:

$$\min Z_1 (Z_2 \,\&\, Z_4 \;\; or \; max \; Z_3) \tag{۲۸}$$

Subject to:

[1]FS (Eq 24 to 26)

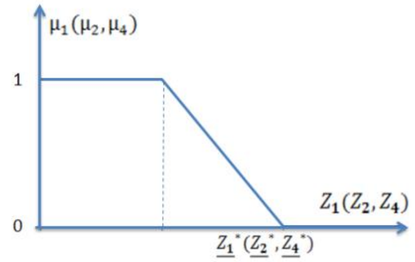
هر یک از اهداف دارای مقادیر خاکستری بهینه است که از روش هوانگ (۱۹۹۴) مشتق شده است [۹]. فرض شود که $\otimes Z_1^*$ یک مقدار بهینه خاکستری از هدف اول است که از طریق تابع حداقل‌کردن حد پایین (معادله ۳ و معادله ۷) و حداقل‌کردن حد بالا (معادله ۲ و معادله ۶) به‌دست آمده است. این روش حل، ایده‌ای برای توسعه توابع عضویت با توجه معادله ۱۳، ارائه می‌کند و در معادله ۲۹، نشان داده شده است:

$$\mu_1 = \begin{cases} 1 & \text{اگر} \quad Z_1 \le \underline{Z_1}^* \\ \dfrac{\overline{Z_1}^* - Z_1}{\overline{Z_1}^* - \underline{Z_1}^*} & \text{اگر} \quad \underline{Z_1}^* \le f_{\mathrm{i}}(\mathrm{x}) \le \overline{Z_1}^* \\ 0 & \text{اگر} \quad Z_1 \ge \overline{Z_1}^* \end{cases} \tag{۲۹}$$

که $\overline{Z_1}^*$ حد بالای تحمل و $\overline{Z_1}^* - \underline{Z_1}^*$ بازه تحمل است. تابع عضویت برای اهداف دوم و چهارم (زمان و ریسک) که مربوطه به کمینه‌سازی هست نیز به همین روش انجام می‌شود. درشکل۲، توابع عضویت اهداف یک، دو، چهار نمایش داده شده است.

---

۱. شامل سه خوشه محدودیت برگرفته از معادله‌های ۲۴ الی ۲۶ است، که تحت عنوان محدودیت‌های تعیین‌کننده/ امکان‌پذیر (Feasible Solution) درنظر گرفته شده‌اند. این اقدام به‌منظور جلوگیری از تکرار نگارش محدودیت‌های مذکور است. در سایر مدل‌ها نیز از همین نمادگذاری جهت کاهش تکرار استفاده شده است.

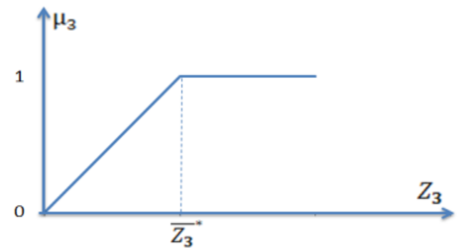


شکل ۱. نمودار شماتیک توابع عضویت اهداف یک و دو و چهارم

برای تابع هدف سوم (کیفیت) که مدل ماکزیمم‌سازی است، برای بیشینه‌کردن در ابتدا مقدار حد بالایی (معادله ۲ و معادله ۶) و سپس مقدار حد پایینی (معادله ۳ و معادله ۷) مشخص می‌شود و مقادیر بهینه خاکستری به‌دست می‌آیند؛ همچنین تابع عضویت به‌صورت معادله ۳۰، می‌شود:

$$\mu_3 = \begin{cases} 1 & \text{اگر} \quad Z_3 \geq \underline{Z_3}^* \\ \dfrac{Z_3-\underline{Z_3}^*}{\overline{Z_3}^*-\underline{Z_3}^*} & \text{اگر} \quad \underline{Z_3}^* \leq Z_3 \leq \overline{Z_3}^* \\ 0 & \text{اگر} \quad Z_3 \leq \overline{Z_3}^* \end{cases} \tag{۳۰}$$

که $\underline{Z_3}^*$ حد پایین تحمل برای هدف فازی Z_3 و $\overline{Z_3}^* - \underline{Z_3}^*$ بازه تحمل است. در شکل ۳، تابع عضویت هدف سوم نمایش داده شده است.



شکل ۳. نمودار شماتیک تابع عضویت هدف سوم

در ادامه تصمیم‌گیرنده چندساختار پیشگیرانه که برای اهداف بالا مهم هستند را دردسترس دارد. بر اساس تسای و چن(۲۰۰۱) مدل GLP می‌تواند با دستیابی به بهترین ترکیب معادله ۳۱، حل شود [۵]:

$$max \sum_{i=1}^{3} \mu_k$$

$$\mu_k \leq \frac{\overline{Z_k}^* - Z_k}{\overline{Z_k}^* - \underline{Z_k}^*} \qquad k = 1,2,4 \qquad (۳۱)$$

$$\mu_3 \leq \frac{Z_3 - \underline{Z_3}^*}{\overline{Z_3}^* - \underline{Z_3}^*}$$

محدودیت‌های زیر که جزو محدودیت‌های ساختاری این تحقیق هستند باید در حل مدل نیز لحاظ شود:

FS (Eq 24 to 26)
$\mu_1, \mu_2, \mu_3 , \otimes x_{ij} , t_i \geq 0$

GLP بالا می‌تواند با روش هوانگ (۱۹۹۴) در دو فاز حل شود [۹]. در فاز اول، مسئله محدوده بالایی بر اساس معادله ۲ ومعادله ۶، حل شده و حد پایین بر اساس معادله ۳و معادله ۷، حل می‌شود. پاسخ‌های این دو مسئله پاسخ خاکستری برای مسئله TCQRT را مشخص می‌کنند که مرحله مرتبط در الگوریتم حل مسئله در شکل ۱، نمایش داده شده است.

در این گام از الگوریتم، چند محدودیت به مدل اضافه خواهد شد. در ابتدا مدل محدوده پایین حل شده است تا مقادیر محدوده پایینی از متغیرهای تصمیم را مشخص کنند؛ ازاین‌رو در این فاز مدل برنامه‌ریزی خطی از عوامل معادله ۳۲، تشکیل شده است:

$$max \sum_{k=1}^{3} \mu_k$$

$$\mu_k \leq \frac{\overline{Z_k}^* - Z_k}{\overline{Z_k}^* - \underline{Z_k}^*} \qquad k = 1,2,4 \qquad (۳۲)$$

$$\mu_3 \leq \frac{Z_3 - \underline{Z_3}^*}{\overline{Z_3}^* - \underline{Z_3}^*}$$

محدودیت‌های زیر که طبق معادله ۲۵ و معادله ۲۶، جزو خوشه دوم و سوم محدودیت‌های ساختاری است و بر حد پایین آن‌ها دلالت دارد بدین شکل در محدودیت‌ها لحاظ می‌شوند:

$\otimes \underline{x}_{ij} \leq \otimes \underline{D}_{\,ij} \ \forall ij \in E$

$\otimes \underline{x}_{ij} \geq \otimes \underline{d}_{\,ij} \ \ \forall ij \in E$

FS (Eq 24 to 26)
$\mu_1, \mu_2, \mu_3, \otimes\underline{x}_{ij}, t_i \geq 0$

با داشتن پاسخ‌های مدل بالا، فاز دو آغاز می‌شود که مبتنی بر مدل حد بالایی است. مدل مربوطه با جابه‌جایی متغیرهای محدوده پایینی در مدل با متغیرهای حد بالایی و اضافه‌کردن محدودیت‌های مربوط به حد بالایی معادله ۳۳، تشکیل خواهد شد:

$$max \sum_{k=1}^{3} \mu_k$$

$$\mu_k \leq \frac{\overline{Z_k}^* - Z_k}{\overline{Z_k}^* - \underline{Z_k}^*} \quad k = 1,2,4 \tag{۳۳}$$

$$\mu_3 \leq \frac{Z_3 - \underline{Z_3}^*}{\overline{Z_3}^* - \underline{Z_3}^*}$$

که در توابع هدف با استفاده از معادله‌های ۱۸ تا ۲۲، برای $\mathrm{Z_k}$ جایگذاری صورت می‌پذیرد. محدودیت‌های زیرکه جزو خوشه دوم و سوم از محدودیت‌های ساختاری است و بر حد بالای آن‌ها دلالت دارد، بدین شکل در محدودیت‌ها ارائه می‌شود:

$\otimes\overline{x}_{ij} \leq \otimes\overline{D}_{ij}\ \forall ij \in E$

$\otimes\overline{x}_{ij} \geq \otimes\overline{d}_{ij}\ \forall ij \in E$

FS (Eq 24)
$\mu_1, \mu_2, \mu_3, \otimes\overline{x}_{ij}, t_i \geq 0$

در ادامه برای ساخت مدل نهایی GLP برای FGGP-TCQRT همان‌طور که حل مدل عددی به تشریح منظور خواهد شد، محدودیت‌های ترجیحی و عضویت نیز اضافه می‌شوند:

محدودیت‌های ترجیحی مدل: بر اساس رویه حرکت رو به جلو و تسای و چن (۲۰۰۱) می‌توان ارجحیت بین اهداف را با لحاظ‌کردن شروط مربوطه در μ_k در مدل اعمال کرد [۵]. در این پژوهش بر اساس نظرهای استادان محترم و خبرگان گروه پروژه تصمیم مبنی بر نبود ارجحیت نسبی بین زمان و هزینه و همچنین بین کیفیت و ریسک در نظر گرفته شد؛ اما ارجحیت نسبی زمان و هزینه بر کیفیت و ریسک پذیرفته شد؛ بنابراین چهار محدودیت معادله ۳۴، در مدل اضافه می‌شود.

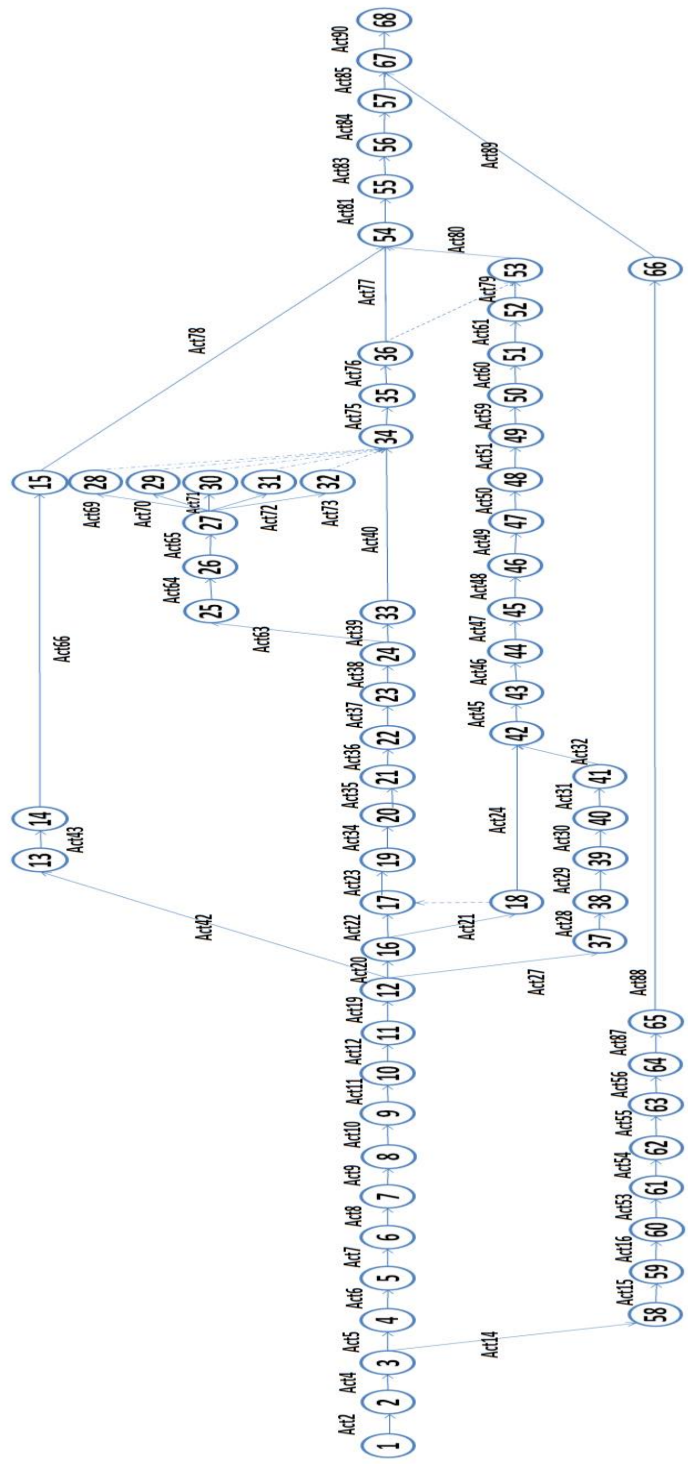
$$\mu_{T2}(\mu_2) > \mu_{Q3}(\mu_3) \qquad \mu_{c^1}(\mu_1) > \mu_Q(\mu_3)$$
$$\mu_T(\mu_2) > \mu_{R^4}(\mu_4) \qquad \mu_c(\mu_1) > \mu_R(\mu_4) \tag{۳۴}$$

و همچنین باید محدودیت‌های تابع عضویت معادله ۳۵، نیز به مدل اضافه شود:

$$\mu_1 \le 1 \qquad \mu_3 \le 1$$
$$\mu_2 \le 1 \qquad \mu_4 \le 1 \tag{۳۵}$$

سپس مدل نهایی‌شده بالا، بر اساس روش هوانگ(۱۹۹۴) در دو فاز محدوده پایینی و محدوده بالایی، حل می‌شود و متغیرها بر اساس اعداد خاکستری به‌دست آورده می‌شود [۹]. در این راستا با به‌دست‌آمدن $\otimes\mu_i$ درنتیجه $\otimes Z_i$ نیز برای پروژه مشخص می‌شود که در ادامه مدیر پروژه امکان انتخاب نهایی هر یک از متغیرهای خاکستری پروژه برای زمان فعالیت‌ها را به عهده دارد. کلیه مراحل یادشده در نمونه عددی که شبکه آن در شکل ۴، ارائه شده است، به تکمیل، ارائه می‌شود.

1. Cost
2. Time
3. Quality
4. Risk



شکل ۲. شبکه پروژه نمونه

فعالیت‌های x1817، x2834، x2934، x3034، x3134، x3234 و x3653 در شبکه بالا فعالیت‌های مجازی با زمان صفر هستند.

برای حل مسئله عددی پیرو مراحل پیشنهادی GMOLP-TCQRT طبق گام‌های زیر عمل می‌شود:

گام ۱: فرمول نویسی GMOLP-TCQRT پیرو معادله ۱۷ تا معادله ۲۶ (به غیر ازمعادله ۲۳)

گام ۲: توسعه تابع عضویت اهداف. توابع عضویت برای اهداف با حل جداگانه هر یک از چهار مسئله بهینه‌سازی از اهداف مذکور به‌دست آمده است (مطابق معادله ۲۸).

مقادیر بهینه برای هر یک از اهداف به‌ترتیب این‌گونه هستند: $Z_1^* \in (199938\,, 208277)$، $Z_2^* \in (511\,,579)$، $Z_3^* \in (5682\,, 6711)$ و $Z_4^* \in (355\,, 436)$

بر اساس پاسخ‌های بهینه مذکور، توابع عضویت پیرو معادله ۲۹ و معادله ۳۰، به‌صورت معادله‌های ۳۶،۳۷،۳۸ و۳۹ خواهند بود:

$$\mu_1 = \begin{cases} 1 & \text{اگر} \quad Z_1 \le 199938 \\ \frac{208277-Z_1}{208277-199938} & \text{اگر} \quad 199938 \le f_{\mathrm{i}}(\mathrm{x}) \le 208277 \\ 0 & \text{اگر} \quad Z_1 \ge 208277 \end{cases} \tag{۳۶}$$

$$\mu_2 = \begin{cases} 1 & \text{اگر} \quad Z_2 \le 511 \\ \frac{579-Z_2}{579-511} & \text{اگر} \quad 511 \le f_{\mathrm{i}}(\mathrm{x}) \le 579 \\ 0 & \text{اگر} \quad Z_2 \ge 579 \end{cases} \tag{۳۷}$$

$$\mu_4 = \begin{cases} 1 & \text{اگر} \quad Z_4 \le 355 \\ \frac{436-Z_4}{436-355} & \text{اگر} \quad 355 \le f_{\mathrm{i}}(\mathrm{x}) \le 436 \\ 0 & \text{اگر} \quad Z_4 \ge 436 \end{cases} \tag{۳۸}$$

$$\mu_3 = \begin{cases} 1 & \text{اگر} \quad Z_3 \ge 5682 \\ \frac{Z_3-5682}{6711-5682^*} & \text{اگر} \quad 5982 \le Z_3 \le 6711 \\ 0 & \text{اگر} \quad Z_3 \le 6711 \end{cases} \tag{۳۹}$$

معادله ۳۷، نشان می‌دهد که اگر مدت زمان پروژه کمتر از ۵۱۱ روز باشد برای مدیر پروژه منفعت ۱۰۰ درصد دارد و اگر از ۵۷۹ روز بیشتر باشد، منفعت آن صفر است؛ همچنین مقدار سودمندی پروژه برای مدیر پروژه با توجه به تکمیل پروژه بین این دو مقدار، طبق معادله ۳۷ محاسبه می‌شود. با همین روش توابع عضویت دیگر قابل‌توضیح هستند.

گام ۳: انتقال به یک مدل معادل FGGP-TCQRT. با توجه به لحاظ‌کردن مقادیر حد پایین و حد بالایی از اهداف، اعداد خاکستری مدل چندهدفه می‌تواند به مدل FGGP منتقل شود.
گام ۴: انتقال به معادل مدل GLP. مدل معادل GLP برای FGGP-TCQRP به‌صورت زیر ساختار یافته است:

همان‌طور که در معادله ۳۴، نیز اشاره شد مدیر پروژه می‌تواند بین اهداف اولویت‌هایی را قائل شود؛ ازاین‌رو برای نمونه عددی شروط $\mu_1 \geq \mu_3$، $\mu_1 \geq \mu_4$، $\mu_2 \geq \mu_3$ و $\mu_2 \geq \mu_4$ اعمال می‌شود (در مدل عددی در نرم‌افزار لینگو به‌جای متغیر μ_k از متغیر Y_k استفاده شده است)؛ درنهایت مدل نمونه عددی به شرح معادله ۴۰، ارائه می‌شود:

$$\min f(\mu) = \sum_{k=1}^{3} \otimes \mu_k \tag{۴۰}$$

Subject to:

$$\mu_1 \leq 24.9763 - 0.00011992 * [\sum_{ij \in E} \sum \otimes C_{ij} + \otimes cs_{ij}(\otimes x_{ij} - \otimes D_{ij})]$$

$$\mu_2 \leq 8.5147 - 0.01470588 * [\otimes t_n - \otimes t_1]$$

$$\mu_3 \leq 0.00097182 * [\sum_{ij \in E} \sum \otimes Q_{ij} + \otimes qs_{ij}(\otimes x_{ij} - \otimes D_{ij})] - 5.5219$$

$$\mu_4 \leq 5.3827 - 0.01234568 * [\sum_{ij \in E} \sum \otimes \mathrm{R}_{ij} + \otimes rs_{ij}(\otimes x_{ij} - \otimes D_{ij})]$$

$$\otimes t_i + \otimes x_{ij} \leq \otimes t_j \qquad \forall ij \in E, i, j = 1,2, \dots, n$$

$$\otimes x_{ij} \leq \otimes D_{ij} \qquad \forall ij \in E$$

$$\otimes x_{ij} \geq \otimes d_{ij} \qquad \forall ij \in E$$

$$\mu_2 > \mu_3 \qquad \mu_1 > \mu_3 \qquad \mu_1 \leq 1 \qquad \mu_3 \leq 1$$
$$\mu_2 > \mu_4 \qquad \mu_1 > \mu_4 \qquad \mu_2 \leq 1 \qquad \mu_4 \leq 1$$

$$\otimes x_{ij}, \otimes t_i \geq 0, \quad \mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4 \geq 0, \qquad \forall ij \in E, i, j = 1,2, \dots, n$$

گام ۵: حل مدل GLP. بر اساس رویکرد هوانگ(۱۹۹۴) مدل به روش دوفازه حل شده است. [۲۳] در فاز اول مقادیر محدوده پایینی تابع هدف بر اساس معادله ۳، پیدا شده و در جدول ۷، پاسخ فاز ۱ این مدل ارائه شده است. در فاز دوم، مقادیر محدوده بالایی تابع هدف بر اساس معادله ۲ پیدا شده و پاسخ‌ها برگرفته از نرم‌افزار لینگو در جدول ۷، ارائه شده است. درجات تابع عضویت برای فاز یک بدین‌صورت است: $\mu_1, \mu_2, \mu_4 = 1, \mu_3 = 1$ و اگر پروژه در این حالت اجرا شود زمان اتمام آن، ۵۷۹ روز، هزینه آن معادل ۲۰۸۳۰۱ میلیون ریال، کیفیت ۵۶۵۹ و

ریسک ۳۶۲ است. در صورت اجرای پروژه در فاز دوم درجات تابع عضویت نیز بدین‌صورت است؛ $\mu_1, \mu_2, \mu_4, \mu_3 = 0$ و اگر پروژه در این حالت اجرا شود زمان اتمام آن: ۵۷۹ روز، هزینه آن معادل ۲۳۳۱۱۹ میلیون ریال، کیفیت ۶۷۵۹ و ریسک ۴۹۲ است.

گام ۶: برای تکمیل روش استفاده‌شده در پژوهش، طبق ساختار شکست کار مطرح شده در مقاله شکل ۱، از برنامه‌ریزی آرمانی و اعمال متغیرهای انحرافی اضافی/ کمبود به‌عنوان روش تکمیلی استفاده شده است و با تغییر مدل، جواب‌های مناسب‌تری ارائه شـده اسـت (معادلـه ۲۳ و معادلـه ۲۷) مدل تکمیلی به شرح زیر هستند:

$$ming(d) = \sum_{h=1}^{6} d_h$$

Subject to:

$$\mu_1 = 24.9763 - 0.00011992 * [\sum_{ij\in E}\sum \otimes C_{ij} + \otimes cs_{ij}(\otimes x_{ij} - \otimes D_{ij})]$$

$$\mu_2 = 8.5147 - 0.01470588 * [\otimes t_n - \otimes t_1]$$

$$\mu_3 = 0.00097182 * [\sum_{ij\in E}\sum \otimes Q_{ij} + \otimes qs_{ij}(\otimes x_{ij} - \otimes D_{ij})] - 5.5219$$

$$\mu_4 = 5.3827 - 0.01234568 * [\sum_{ij\in E}\sum \otimes \mathrm{R}_{ij} + \otimes rs_{ij}(\otimes x_{ij} - \otimes D_{ij})]$$

$$\otimes t_i + \otimes x_{ij} \le \otimes t_j \qquad \forall ij \in E, i,j = 1,2,\dots,n$$

$$\otimes x_{ij} \le \otimes D_{\ ij} \qquad \forall ij \in E$$

$$\otimes x_{ij} \ge \otimes d_{\ ij} \qquad \forall ij \in E$$

$$\mu_2 > \mu_3 \qquad \mu_1 > \mu_3 \qquad \mu_1 \le 1 \qquad \mu_3 \le 1$$

$$\mu_2 > \mu_4 \qquad \mu_1 > \mu_4 \qquad \mu_2 \le 1 \qquad \mu_4 \le 1$$

$$\mu_1 + d_1 = 1 \qquad \mu_2 + d_3 = 1 \qquad \mu_3 + d_5 = 1 \qquad \mu_4 + d_7 = 1$$

$$\mu_1 - d_2 = 1 \qquad \mu_2 - d_4 = 1 \qquad \mu_3 - d_6 = 1 \qquad \mu_4 - d_8 = 1$$

$$\otimes x_{ij}, \otimes t_i \ge 0 \ , \quad \mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4 \ \ge 0 \ , \qquad \forall ij \in E, i,j = 1,2,\dots,n$$

فاز اول مقادیر محدوده پایینی تابع هدف تکمیلی بر اساس معادله ۳، پیدا شده و در جدول ۶، پاسخ فاز یک این مدل ارائه شده است. مقادیر محدوده بالایی در فاز دوم تابع هدف تکمیلی، برگرفته از پاسخ‌های نرم‌افزار لینگو نیز در جدول ۶، ارائه شده است.

جدول ۶. پاسخ‌های فاز اول و دوم مقادیر محدوده پایینی و بالایی تابع هدف تکمیلی

مقادیر فاز ۲-تکمیلی	متغیر	مقادیر فاز ۲-تکمیلی	متغیر	مقادیر فاز ۱-تکمیلی	متغیر	مقادیر فاز ۱-تکمیلی	متغیر
۰	T1	۲	X12	۰	T1	۰/۵	X12
۲	T2	۷	X23	۰/۵	T2	۸	X23
۹	T3	۳۵	X34	۸/۵	T3	۳۰	X34
۴۴	T4	۱۸	X45	۳۸/۵	T4	۱۵	X45
۶۲	T5	۳	X56	۵۳/۵	T5	۴	X56
۶۵	T6	۱۵	X67	۵۷/۵	T6	۱۲	X67
۸۰	T7	۱۲	X78	۶۹/۵	T7	۱۰	X78
۹۲	T8	۷	X89	۷۹/۵	T8	۴	X89
۹۹	T9	۶	X910	۸۳/۵	T9	۵	X910
۱۰۵	T10	۸	X101	۸۸/۵	T10	۶	X1011
۱۱۳	T11	۴۰	X358	۹۴/۴	T11	۴۰	X358
۴۹/۵	T58	۱۰	X585	۴۸/۵	T58	۵	X5859
۴۷۴	T59	۵	X596	۵۳/۵	T59	۵	X5960
۴۷۹	T60	۲۱	X111	۵۸/۵	T60	۲۰	X1112
۱۳۴	T12	۲۰	X121	۱۱۴/۵	T12	۱۷	X1216
۱۶۴	T16	۳۵	X161	۱۵۲/۵	T16	۳۲	X1618
۲۰۱	T18	۱۰	X161	۱۸۴/۵	T18	۵	X1617
۱۷۴	T17	۱۵	X171	۱۵۷/۵	T17	۱۲	X1719
۱۸۹	T19	۳۵	X184	۱۶۹/۵	T19	۲۲	X1842
۲۳۸	T42	۴۵	X123	۲۰۶/۵	T42	۴۲	X1237
۱۷۹	T37	۱۵	X373	۱۵۶/۵	T37	۱۰	X3738
۱۹۴	T38	۱۴	X383	۱۶۶/۵	T38	۱۲	X3839
۲۰۸	T39	۶	X394	۱۷۸/۵	T39	۵	X3940
۲۱۴	T40	۹/۵	X404	۱۸۳/۵	T40	۵	X4041
۲۲۳/۵	T41	۱۴	X414	۱۸۸/۵	T41	۱۸	X4142
۲۴۵/۵	T20	۵۵	X192	۳۰۵	T20	۵۰	X1920
۳۲۶/۵	T21	۱۰	X202	۳۱۴	T21	۹	X2021
۳۵۱/۵	T22	۲۵	X212	۳۳۸	T22	۲۴	X2122
۳۷۷	T23	۲۵	X222	۳۶۳	T23	۲۵	X2223
۳۹۷	T24	۲۰	X232	۳۸۰	T24	۱۷	X2324
۴۲۷	T33	۳۰	X243	۴۰۵	T33	۲۵	X2433
۴۳۷	T34	۱۰	X333	۴۱۲	T34	۷	X3334
۱۴۴/۵	T13	۸	X121	۳۸۲	T13	۵	X1213
۱۸۷	T14	۴۰	X131	۴۲۰/۵	T14	۳۵	X1314
۲۷۲/۵	T43	۳۵	X424	۲۴۰	T43	۳۳	X4243
۳۱۷/۵	T44	۴۵	X434	۲۸۹	T44	۵۰	X4344
۳۳۲/۵	T45	۱۵	X444	۳۰۳	T45	۱۴	X4445
۳۴۲/۵	T46	۱۰	X454	۳۰۸	T46	۵	X4546
۳۵۹/۵	T47	۱۷	X464	۳۲۰	T47	۱۲	X4647
۳۷۵/۵	T48	۱۶	X474	۳۳۵	T48	۱۵	X4748
۳۸۲/۵	T49	۷	X484	۳۴۱	T49	۶	X4849
۴۹۹/۵	T61	۲۰	X606	۷۴	T61	۱۵	X6061
۵۱۶	T62	۱۶	X616	۸۹	T62	۱۵	X6162

X6263	۱۷	T63	۱۰۶	X626	۲۰	T63	۵۳۶/۵
X6364	۴	T64	۱۱۰	X636	۱۰	T64	۵۴۶/۵
X4950	۳۲	T50	۳۷۳	X495	۳۵	T50	۴۱۷/۵
X5051	۶۰	T51	۴۳۳	X505	۳۳/۵	T51	۴۵۱
X5152	۲۵	T52	۴۵۸	X515	۲۸	T52	۴۷۹
X2425	۲۵	T25	۴۰۵	X242	۳۰	T25	۴۲۷
X2526	۹۵	T26	۵۰۰	X252	۱۰۰	T26	۵۲۷
X2627	۲۸	T27	۵۲۸	X262	۳۰	T27	۵۵۷
X1415	۳۵	T15	۴۶۰	X141	۴۰	T15	۴۹۰
X2728	۵۰	T28	۵۷۸	X272	۵۵	T28	۶۱۲
X2729	۳۵	T29	۵۶۳	X272	۴۰	T29	۵۹۷
X2730	۱۸	T30	۵۴۶	X273	۲۰	T30	۵۷۷
X2731	۲۷	T31	۵۵۵	X273	۳۰	T31	۵۸۷
X2732	۶۵	T32	۵۹۳	X273	۷۰	T32	۶۲۷
X3435	۱۴	T35	۴۲۶	X343	۱۵	T35	۴۵۲
X3536	۳۷	T36	۴۶۳	X353	۴۰	T36	۴۹۲
X3654	۱۴	T54	۴۷۷	X365	۱۵	T54	۵۰۷
X1554	۱۴	T53	۴۶۳	X155	۱۵	T53	۴۸۹
X5253	۵	T55	۴۹۱	X525	۱۰	T55	۵۲۵
X5354	۱۴	T56	۵۱۲	X535	۱۸	T56	۵۵۱
X5455	۱۴	T57	۵۳۲	X545	۱۸	T57	۵۷۳
X5556	۲۱	T67	۵۳۳/۵	X555	۵/۲۶	T67	۵۷۸
X5657	۲۰	T65	۱۱۴	X565	۲۲	T65	۵۵۲
X5767	۱/۵	T66	۵۲۹/۵	X576	۵	T66	۵۷۲/۵
X6465	۴	T68	۵۳۴	X646	۵	T68	۵۷۹
X6566	۱۸			X656	۲۰		
X6667	۴			X666	۵		
X6768	۰/۵			X676	۱		

درجات تابع عضویت برای فاز یک به روش تکمیلی بدین صورت می‌باشد: $\mu_1 = 0.662, \mu_2 = 0.662, \mu_4 = 0.662, \mu_3 = 0$ و مقادیر متغیرهای انحرافی اضافی/کمبود $d_1 = 0.338\ , d_2 = 0.662\ , d_3 = 0.338, d_4 = 0.662, d_5 = 1, d_6 = 0, d_7 = 0.338, d_8 = 0.662$ به‌دست آمده است. اگر پروژه در این حالت اجرا شود، زمان اتمام آن، ۵۳۴ روز، هزینه آن معادل ۲۰۶۱۸۸ میلیون ریال، کیفیت ۵۳۸۰ و ریسک ۳۸۲ است (مطابق جدول ۶). درصورت اجرا در فاز دوم پروژه به روش تکمیلی درجات تابع عضویت نیز بدین‌صورت است؛ $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4 = 0$ و مقادیر متغیرهای انحرافی اضافی/ کمبود $d_1 = 1,\ d_2 = 0\ , d_3 = 1,\ d_4 = 0,\ d_5 = 1,\ d_6 = 0,\ d_7 = 1,\ d_8 = 0$ به‌دست آمده است. با توجه به اجرای پروژه در این حالت، زمان اتمام آن ۵۷۹ روز، هزینه آن معادل ۲۳۱۶۰۶ میلیون ریال، کیفیت ۶۷۳۲ و ریسک ۴۹۳ است (مطابق جدول ۶).

٦. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مباحث قبل گام‌های مدل‌سازی و حل آن به تفصیل ارائه شده و در کنار آن به حل یک نمونه عددی واقعی از پروژه‌های «شرکت ایران‌خودرو» پرداخته شد. پس از حل نمونه عددی برای ارتقای پاسخ‌های جستجوشده در نرم‌افزار، روش برنامه‌ریزی آرمانی نیز به مراحل الگوریتم تحت عنوان گام‌ها/ روش‌های تکمیلی اضافه شد. با ارائه پاسخ‌های نمونه عددی پس از استفاده از روش تکمیلی لزوم کاربرد این روش نیز نمایان شد.

در مدل زمان‌بندی موردنظر، چهار متغیر زمان، هزینه، ریسک و کیفیت مدنظر است. به دلیل پایه‌ای و جامع‌بودن این چهار عنصر در زمان‌بندی، این پژوهش کامل است و نیازی به درنظرگرفتن متغیر اضافه‌تری نیست. یادآوری این نکته لازم است که متغیرها در شرایط عدم‌قطعیت و از نوع اعداد خاکستری انتخاب شده‌اند و بهینه‌سازی هر یک از آن‌ها در مدل نهایی ضروری است؛ به‌طوری‌که در الگوی پیشنهادی تلاش می‌شود کل زمان انجام کار در کمترین مدت و با کمینه ریسک و هزینه و بالاترین کیفیت به‌طور هم‌زمان، زمان‌بندی پیشنهادی را ارائه کند؛ ولی وقتی چندتابع هدف وجود دارد، بهینه‌سازی معنا ندارد. در اینجا تصمیم‌گیرنده به‌جای بهینه‌سازی، رضایتمندی را جایگزین می‌کند؛ در این صورت تصمیم تعاملی اتخاذ می‌شود، به‌طوری‌که تمام اهداف تا حدی راضی‌کننده باشد.

همان‌طور ذکر شد برای حل مسئله پژوهش، دانش تحقیق در عملیات لازم است؛ ازاین‌رو برای حل TCQRTP از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندهدفه از MCDM در تحقیق در عملیات اتخاذ شده است. تابع هدف در این مدل دارای ۴ دسته جمله کلان است (حداقل‌کردن هزینه، زمان و ریسک و حداکثرسازی کیفیت). برای هر یک از ۴ دسته توابع هدف به تفکیک معادله ریاضی مربوطه نوشته می‌شود. برای هر تابع هدف دو حالت در نظر گرفته می‌شود: حالت اول به نام «تابع هدف حد پایینی» و حالت دوم باعنوان «تابع هدف حد بالایی» است؛ درنهایت برای یافتن پاسخ‌های مناسب‌تر، روش برنامه‌ریزی آرمانی نیز به آن الحاق شده است. درنتیجه نرم‌افزار پاسخ‌های حد پایین و حد بالای زمان را به تفکیک هر فعالیت ارائه می‌کند. با انتخاب مدیر پروژه از این گروه پاسخ‌ها می‌تواند تحقق حالت رضایت‌بخش برای موازنه پارامترهای زمان، هزینه، کیفیت و ریسک پروژه باشد.

در «شرکت ایران‌خودرو» همواره پروژه‌های متنوعی تعریف می‌شود که زمان‌ها، مکان‌ها، شرایط و استانداردهای متفاوتی را شامل‌می‌شود. ازآنجاکه اغلب متغیرهای پروژه ذاتاً تصادفی و پویا هستند و باگذشت زمان درجات مختلفی از عدم‌قطعیت را نشان می‌دهند، طبیعی است که تابع هدف پروژه نیز دارای ماهیت تصادفی و در معرض عدم‌قطعیت ناشی از منابع مختلف مانند زمان، هزینه، کیفیت و غیره باشد. در اجرای پروژه‌های شرکت، عناصر زمان، هزینه و کیفیت پروژه از مهمترین عناصر قابل‌رصد هستند و چون ریسک‌های موجود در حین اجرا تأثیر بسزایی

بر این سه پارامتر دارد؛ ازاین‌رو چهار پارامتر موردتحقیق از شاخصه‌ای مهم و قابل‌تصمیم‌گیری در پروژه‌ها هستند؛ بنابراین لحاظ‌کردن این چهار پارامتر و نمایش آن با اعداد خاکستری برای ایجاد یک محدوده محتمل برای پارامترهای مهم در برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌ها، می‌تواند در برنامه زمان‌بندی پروژه‌ها بسیار کاراً باشد؛ درواقع ماهیت برنامه‌ریزی به‌طوری است که در پیوستاری از قطعیت و عدم‌قطعیت صورت می‌گیرد و به هنگام برنامه‌ریزی برای هر فعالیت یا بسته کاری، سطحی از عدم‌قطعیت وجود دارد و این امر سبب می‌شود که کلیت برنامه نیز با عدم‌قطعیت همراه باشد و فقط بخشی از فعالیت‌ها مطابق برنامه محقق شوند که میزان آن نیز غیرقطعی است؛ درنتیجه استفاده از این مدل می‌تواند به‌طور عمومی پیشنهاد شود؛ ولی به لحاظ زمان و دقت کارشناسی فراوانی که این روش در مدل‌سازی و حل آن نیاز دارد، پیشنهاد می‌شود برای برنامه‌ریزی پروژه‌هایی که به لحاظ ابعاد زمانی و دامنه شمول اجرایی در واحدهای شرکت، گستردگی بیشتری دارد، استفاده شود؛ بنابراین برنامه‌ریزی و مدل‌سازی زمان‌بندی به روش یادشده درخصوص پروژه‌های طراحی و توسعه محصول/ موتور جدید و راه‌اندازی خطوط جدید توصیه می‌شود. در این راستا موارد کاربردی زیر پیشنهاد می‌شود:

ـ برگزاری سمینارها/ کارگاه‌های آموزشی برای افزایش و ارتقای دانش برنامه‌ریزی آرمانی فازی خاکستری برای مدیران پروژه‌ها، PMO[1]ها و واحدهای اجرایی پروژه‌ها؛

ـ تشکیل گروه برنامه‌ریزی ویژه در مرکز پروژه‌های شرکت به همراه معرفی نماینده از واحدهای اجرایی شرکت؛

ـ برگزاری دوره‌های آموزشی برای آشنایی با مبانی اجرایی مدل‌سازی و برنامه‌ریزی آرمانی فازی، الزامات و نیازمندی‌های مربوطه برای گروه برنامه‌ریزی ویژه؛

ـ به‌کارگیری مشاور و متخصص این مهم در گروه برنامه‌ریزی ویژه؛

ـ اجرای مدل‌سازی و برنامه‌ریزی آرمانی فازی پروژه‌های طراحی و توسعه محصول/ موتور جدید و راه‌اندازی خطوط جدید؛

ـ ارائه نمونه برنامه‌های ارائه‌شده گروه ویژه و مقایسه تحلیلی با برنامه پایه ارائه‌شده اولیه توسط مدیر پروژه؛

ـ ایجاد و ثبت دانش‌آموخته‌های مدل‌سازی و برنامه‌ریزی آرمانی فازی برای به‌کارگیری در پروژه‌های آتی؛

ـ مستندسازی و تحلیل نتایج اجرایی به‌دست‌آمده از برنامه‌ریزی آرمانی فازی و برنامه پایه پروژه (در زمان اختتام پروژه).

1. Project Management Office

استفاده از این مدل می‌تواند به‌طور عمومی در کلیه پروژه‌ها پیشنهاد شود؛ ولی به لحاظ زمان و دقت کارشناسی فراوانی که این روش در مدل‌سازی و حل آن نیاز دارد، پیشنهاد می‌شود برای برنامه‌ریزی پروژه‌هایی که به لحاظ ابعاد زمانی و دامنه شمول اجرایی در واحدهای شرکت، گستردگی بیشتری دارد، استفاده شود؛ بنابراین برنامه‌ریزی و مدل‌سازی زمان‌بندی به روش یادشده درخصوص پروژه‌های طراحی و توسعه محصول/ موتور جدید و راه‌اندازی خطوط جدید توصیه می‌شود.

می‌توان در تحقیقات آتی از موارد زیر استفاده کرد:

ـ رویکردهای عدم‌قطعیت دیگری، مانند رویکردهای اعداد خاکستری با توابع عضویت فازی، IFPR؛ HFTLS و غیره را به‌کار برد.

ـ از سایر رویکردهای حل به غیر از روش‌های پژوهشگران مانند هوانگ (۱۹۹۴) و برنامه‌ریزی آرمانی، از روش‌های دیگر پژوهشگران، استفاده شود.

ـ بررسی و تحلیل حساسیت با تمرکز بر پارامترهای اصلی تأثیرگذار بر برنامه‌ریزی و نتیجه‌گیری از آن‌ها.

ـ برای بازطراحی و بهبود می‌توان رویکردهای جدید مانند گرت، گرافیکال یا نظریه‌های محدودیت[۱] را مبنای حل قرار داد.

1. TOC (Theory of constraints)

منابع

1. Abtahi, S. (1391). Project Scheduling Model with Multi Obejective Integrated Approach: Time-Cost-Quality-Risk- Trade off Multimode Activity Based on a metaheuristic approach. Retrieved from http://idochp2.irandoc.ac.ir/FulltextManager/fulltext15/th/258/258954.pdf.

2. Amiri,M. (1392) Provides a method for ranking the activities of the project using the CPM network and the TOPSIS method in fuzzy mode. *Journal of Industrial Management Perspective, (10):* 169-183.

3. Ashtiani, B., & gholi Arianezhad, m. (1388). Preventive Methods - Response to Scheduling. Tehran: Iran University of Science and Technology.

4. Charnes, A., Cooper, W., & Fergusen, R. (1955). Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Manag Sci, 1(2):* 138-151.

5. Chen, L., & Tsai, F. (2001). Fuzzy goal programming with different importance and priorities. *Eur J Oper Res, 133(3)*: 548-556.

6. Deng, J. (1989). Introduction to grey system theory. *J. Grey System, 1*: 1-24.

7. Ebrahimnezhad, S., Ahmadi, V., & Javanshir, H. (2013). Time-Cost-Quality Trade-off in a CPM Network Using Fuzzy Logic and Genetic Algorithm. *International Journal of Industrial Engineering & Production Management, (24):* 362-376.

8. Evangeline Jebaseeli, M., & Paul Dhayabaran, D. (2015). Integer Programming Model for Fuzzy Time Cost and Quality Trade off Problem. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), 4(3):* 97-106.

9. Huang, G. (1994). *Grey Mathematical Programming and Its Application to Municipal.* McMaster University USA: Department of civil Engineering.

10 . Ignizio, J. (1976). *Goal programming and extension.* London: Heath Lexington Books.

11. Kayacan, E., Ulutas, B., & Kaynak, O. (2010). Grey system theory-based models in time series prediction. *Expert Systems with Applications, 37(2):* 1784–1789.

12. Kerzner, H. (2009). *Project management:A system approach to planning, scheduling& controlling.* Newjersey: John wiley&Son Inc.

13.Ketabi, S., Faregh , N., & Ghandehari, M. (1391). Project Scheduling with Time-Cost-Quality Trade off in Fuzzy Conditions- Case Study in Kimia Bona Gostar Yazd Co. Retrieved from Center for Advanced Science and Technology Development: https://ganj.irandoc.ac.ir/articles/571064

14. Marasinlan, R. (1980). Goal Programming in Fuzzy Enilironment. *Decision Science, (11):* 325-336.

15. Mehregan, M. (1386). Decision making models with several objectives. Tehran: Tehran University-management Deprtement

16.Memariani, A. (1378). Fuzzy Goal Planning Techniques. *Management Knowledge, (46):* 23-34.

17. Mohammadi, A., Hosseinzadeh, M., & Bagherzadeh Azar, M. (1390). Introducing a fuzzy hierarchy Hubrid model, gray relationship analysis, and multi-objective planning in order to select a business partner. *Journal of Industrial Management Perspective, (1):* 17-37.

18. Mohammadipour, F., & Sadjadi, S. (2016). Project cost-quality-risk tradeoff analysis in a time-constrained problem. *Computer and Industrial engineering*. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2016.02.025

19. Movahedian Atar, O., Esmaeeilian, M., & Mohammadi Zanjirani, D. (1394, winter). Selection and scheduling of several projects with limited resources in several executive modes in order to maximize net present value. *Journal of Industrial Management Perspective, (20):* 79-100.
20. Papageorgiou, E., & Salmeron, J. (2012). Learning Fuzzy Grey Cognitive Maps using Nonlinear Hebbian-based approach. *International Journal of Approximate Reasoning, 53*: 54-65.
21. Project Management Institute. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* (5th ed.). Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.
22.Razavi Hajiagha, S., Amoozad Mehdiraji, H., & Hashemi, S. (1393). Multi-criteria decision making under conditions of confidence and uncertainty. Tehran: Termeh.
23. Razavi Hajiagha, S.; Amoozad Mahdiraji, H.; Hashemi, Sh. (2013). A hybrid model of fuzzy goal programming and grey numbers in continuous project time, cost, and quality tradeoff. *Int J Adv Manuf Technol*. .22-32.DOI 10.1007/s00170-013-5463-2
24. Shahsavari Pour, N., Modarres, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2012). Time-Cost-Quality Trade-off in Project Scheduling with Linguistic Variables. *World Applied Sciences Journal*, *18(3)*: 404-413.
25. Tiwari , R., Dharmar, S., & Rao , J. (1986). Priority structure in fuzzy goal programming. . *Fuzzy Sets Syst*, *19(3):* 251–259.
26. Zimmermann, H. (1978). Fuzzy Orogramming and Linear Programming with several objective functions. *Fuzzy sets and Systems*, *1(1):* 45-55