چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۱۰ ـ تابستان ۱۳۹۲
ص‌ص ۱۸۳ – ۱۶۹

ارائه روشی برای رتبه‌بندی ریسک فعالیت‌های پروژه بااستفاده از شبکه CPM و روش TOPSIS در حالت فازی

مقصود امیری*

چکیده

مروری بر ادبیات مدیریت ریسک پروژه، اهمیت رتبه‌بندی و اولویت‌بندی ریسک در پروژه را برای تمرکز بیشتر بر مدیریت فعالیت‌های دارای ریسک بالاتر نشان می‌دهد؛ به سخن دیگر، فعالیت‌ها بر اساس ریسک انجام آن‌ها اولویت‌بندی می‌شوند. در این مقاله برای رتبه‌بندی فعالیت‌ها از دو معیار هزینه و زمان استفاده کرده‌ایم. از آنجا که مدت زمان و هزینه انجام فعالیت‌ها به صورت قطعی نیست، این دو معیار به صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند. معیار زمان به صورت درجه بحرانی بودن به دست آمده از شبکه CPM فازی در روش لحاظ شده است. از آنجا که در هر پروژه با توجه به اهداف و شرایط آن پروژه میزان اهمیت هزینه و زمان متفاوت است، به این دو معیار وزن اختصاص می‌دهیم و سپس با استفاده از روش TOPSIS فازی فعالیت‌ها را بر اساس ریسک انجام آن‌ها رتبه‌بندی می‌کنیم.

کلیدواژه‌ها: مدیریت ریسک پروژه؛ ارزیابی ریسک؛ روش TOPSIS فازی؛ روش CPM فازی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۱۲/۲۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۶/۴.

* دانشیار، دانشگاه علامه طباطبایی (نویسنده مسئول).

E-mail: amiri@atu.ac.ir

۱. مقدمه

یکی از جنبه‌های مهم رشد تکنولوژی، افزایش در پیچیدگی‌های فنی، اقتصادی، سیاسی و اجتماعی است. پروژه‌ها معمولاً یک سری تعهدات وسیع، هزینه‌بر و با ریسک بالا را شامل می‌شوند که باید در یک تاریخ معین، با بودجه‌ای مشخص و در سطح کارایی مورد انتظار به پایان برسند [۱۲]؛ بنابراین برای موفقیت پروژه، مدیر پروژه باید بتواند عدم قطعیت‌های پروژه را شناسایی، ارزیابی و آن‌ها را کنترل کند.

شواهد زیادی مبنی بر عدم موفقیت پروژه‌ها وجود دارد. ویلیامز (۱۹۹۵) در مقاله خود به تحقیقات بسیاری اشاره می‌کند که افزایش‌ها در هزینه و زمان را نشان می‌دهند. موریس و هاف (۱۹۸۷) با بررسی ۳۵۰۰ پروژه در نقاط مختلف دنیا، افزایش بین ۴۰ تا ۲۰۰ درصدی در زمان و هزینه پروژه را گزارش کرده‌اند [۷]. مطالعات بالا نشان می‌دهند که پروژه‌ها معمولاً دیرتر از زمان مورد انتظار و با صرف بودجه‌ای بیشتر از بودجه از پیش تعیین شده به پایان رسیده‌اند و کیفیت خواسته شده را نداشته‌اند. وجود ریسک و عدم قطعیت در پروژه موجب کاهش دقت در تخمین مناسب اهداف می‌شود و از کارایی پروژه‌ها مـی‌کاهد؛ بنابراین نیاز به شناخت و مدیریت ریسـک در پـروژه کاملاً روشن است [۱۲].

مدیریت ریسک فرآیند شناسایی، تحـلیل، ارزیابی و واکـنش به ریسک در پروژه است [۸]. انجمن مدیریت پروژه مدیریت ریسک را به عنوان یکی از ۸ حوزه مهم پیکره دانش مدیریت پروژه (PMBOK) معرفی می‌کند.

بوهم (۱۹۹۱) فرآیندی دو مرحله‌ای را برای مدیریت ریسک در پروژه‌ها، به صورت زیر در نظر می‌گیرد:

۱. ارزیابی ریسک که شامل شناسایی، تحلیل و اولویت‌بندی است.

۲. کنترل ریسک که شامل برنامه‌ریزی مدیریت ریسک، دقت ریسک، پیگیری و اقدامات اصلاحی است [۱].

برای بسیاری از مدیران که با مشکلات و مسائل مختلفی روبه‌رو هستند، تصمیم‌گیری در مورد اولویت‌بندی کارهایی که باید انجام شوند، کار بسیار سختی است. در مدیریت ریسک نیز از آنجا که معمولاً امکان مدیریت و پاسخ به تمامی ریسک‌های شناسایی شده وجود ندارد، باید ریسک‌ها را بر اساس اهمیت آن‌ها رتبه‌بندی کرد. برای این کار از فرآیند ارزیابی ریسک استفاده می‌شود. ارزیابی ریسک، فرآیند تخمین احتمال وقوع یک رویداد (مطلوب یا نامطلوب) و میزان تأثیر آن است [۱۴].

مرحله بعد از شناسایی ریسک‌ها، ارزیابی احتمال وقوع و میزان تأثیر هریک از آن‌ها برای اقدامات مدیریت ریسک است. این کار باعث می‌شود ریسک‌ها رتبه‌بندی شوند و مدیریت آن‌ها

بر اساس اولویتی انجام شود که هریک از دارند. این فرآیند، یک ارتباط مهم بین شناسایی سیستماتیک ریسک‌ها و مدیریت منطقی، بر اساس اهمیت آن‌ها برقرار می‌کند [۹].

از بین معیارهای تأثیرگذار بر پروژه که در ادبیات موضوع مطرح شده‌اند، دو معیار زمان و هزینه، بیش از موارد دیگر مورد توجه پژوهشگران و مدیران پروژه قرار گرفته‌اند [۱۱]. در ارزیابی زمان دو سؤال مهم مطرح است؛ مدت زمان هر فعالیت و فعالیت‌های بحرانی[۱۲ و ۱۴].

روش مسیر بحرانی (CPM) که در سال ۱۹۶۰ توسعه یافت، یکی از ابزارهای مهم و کاربردی در برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌ها است. این روش شامل تعیین مسیر بحرانی، فعالیت‌های بحرانی و وقایع بحرانی در شبکه پروژه، با در نظر گرفتن زودترین زمان ممکن اتمام پروژه است. در مدیریت و کنترل پروژه، هنگامی که زمان فعالیت‌ها قطعی باشد، استفاده از تکنیک‌های کلاسیک، مانند مسیر بحرانی، ابزار مناسبی در برنامه‌ریزی و کنترل پروژه است [۶]؛ اما در عمل، مدت زمان فعالیت‌های یک پروژه به صورت قطعی نخواهد بود [۴]. در سال ۱۹۷۰، برای نخستین بار، رویکرد فازی در تحلیل زمان‌بندی پروژه توسعه یافت که روش پرت فازی یا روش مسیر بحرانی فازی نام گرفت. در این روش مدت زمان انجام فعالیت‌ها یک عدد فازی فرض شد. از آن پس، برخی از محققان مانند زیلینسکی [۱۵]، اسلیستوف و تیشچاک [۱۰]، دوبویس و همکاران [۵] و چاناس و همکاران [۲] مفاهیم فازی را برای تجزیه و تحلیل محاسبات رفت و برگشت در شبکه CPM به کار گرفتند.

در سال ۲۰۰۸، چن و هسیو [۴] الگوریتمی برای محاسبات رفت و برگشت در شبکه CPM فازی ارائه دادند. در این الگوریتم بر مبنای مدل برنامه‌ریزی خطی، مسیر بحرانی پروژه مشخص می‌شود و عددی به عنوان میزان بحرانی بودن، به هر مسیر موجود در شبکه CPM نسبت داده می‌شود.

تصمیم‌گیری، فرآیند یافتن بهترین جواب از میان گزینه‌های موجود است. در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره کلاسیک، داده‌ها به صورت قطعی هستند؛ اما از آنجا که تفکرات انسان همواره با عدم قطعیت همراه است و این عدم قطعیت می‌تواند در تصمیم‌گیری تأثیرگذار باشد، از روش‌های تصمیم‌گیری فازی استفاده می‌شود. در این مقاله، از روش TOPSIS فازی برای رتبه-بندی فعالیت‌ها استفاده کرده‌ایم. روش TOPSIS یکی از روش‌های پر کاربرد در مسائل تصمیم-گیری چندمعیاره است. اساس این روش انتخاب گزینه‌ای است که کمترین فاصله را از جواب ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از جواب ایده‌آل منفی دارد.

در این مقاله برای ارزیابی ریسک فعالیت‌های پروژه از دو معیار زمان و هزینه استفاده کردیم. معیار زمان بر اساس درجه بحرانی بودن هر فعالیت در روش در نظر گرفته شده است که با استفاده از محاسبات روش CPM فازی به دست می‌آید. از آنجا که مدت زمان و هزینه انجام

فعالیت‌ها به صورت قطعی نخواهد بود، در این مقاله این دو معیار به صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند. در بخش دوم پژوهش الگوریتم مربوط به محاسبات شبکه CPM فازی را ارائه می‌کنیم، در بخش سوم روش ارائه شده برای ارزیابی ریسک فعالیت‌های پروژه را شرح می‌دهیم، در بخش چهارم به‌کارگیری روش ارائه شده را با یک مثال عددی بررسی می‌کنیم و در بخش پنجم به بحث و نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

مبانی نظری تحقیق

CPM فازی. روش مسیر بحرانی که در سال ۱۹۶۰ توسعه یافت، یکی از ابزارهای مهم و کاربردی در برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌ها است. این روش شامل تعیین مسیر بحرانی، فعالیت‌های بحرانی و وقایع بحرانی در شبکه پروژه با در نظر گرفتن زودترین زمان ممکن اتمام پروژه است. یکی از روش‌های مؤثر در یافتن مسیر بحرانی و محاسبه زمان اتمام پروژه، استفاده از برنامه-ریزی خطی است. در شبکه CPM برای یافتن مسیر بحرانی باید طولانی‌ترین مسیر بین گره شروع و پایانی را مشخص کنیم. یک پروژه به صورت G=(n,A) را در نظر بگیرید؛ به طوری که n مجموعه گره‌ها و A مجموعه‌ای از کمان‌های (i,j) است. شبکه CPM با n گره به صورت رابطه ۱ فرمول‌بندی می‌شود:

$$
\begin{aligned}
&MaxD = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} T_{ij}\, x_{ij} \\
&S.T: \\
&\sum_{j=1}^{n} x_{1j} = 1, \\
&\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = \sum_{k=1}^{n} x_{ki}, i = 2,\ldots,n-1, \\
&\sum_{k=1}^{n} x_{kn} = 1, \\
&x_{ij} \geq 0, (i,j) \in A
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

T_{ij} نشان‌دهنده زمان انجام فعالیت (i,j) و X_{ij} متغیر تصمیم است که نشان‌دهنده مقدار جریان در فعالیت (i,j) است. متغیرهای تصمیم در مدل ۱ به ازای هر جواب پایه شدنی، مقدار صفر یا یک می‌گیرند. مسیر بحرانی در شبکه یک پروژه شامل تمام فعالیت‌های (i,j) عضو در A است که مقدار X^*_{ij} آن فعالیت‌ها برابر ۱ باشد. مقدار D در تابع هدف، زمان اتمام پروژه را نشان می‌دهد. حال اگر زمان انجام فعالیت‌ها (T_{ij}) غیرقطعی باشد و به صورت اعداد فازی

$\widetilde{T}_{ij} \in A$ بیان شود، مدل برنامه‌ریزی خطی برای مسئله CPM فازی به صورت رابطه ۲ فرمول‌بندی می‌شود:

$$
\begin{aligned}
&Max\widetilde{D} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\widetilde{T}_{ij}x_{ij} \\
&S.T: \\
&\sum_{j=1}^{n} x_{1j} = 1, \\
&\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = \sum_{k=1}^{n} x_{ki}, i = 2,...,n-1, \\
&\sum_{k=1}^{n} x_{kn} = 1, \\
&x_{ij} \geq 0, (i,j) \in A
\end{aligned}
\qquad (۲)
$$

تابع هدف مدل ۲ به صورت فازی است و نمی‌توان آن را با روش‌های متداول مسائل برنامه-ریزی خطی حل کرد. در این مقاله، برای حل این مدل، از روش ارائه شده توسط چن و هسیو [۴] استفاده کردیم. در این روش، با استفاده از روش رتبه‌بندی فازی ارائه شده توسط یاگر [۱۳]، اعداد فازی به اعداد قطعی و مدل فازی به مدل قطعی تبدیل می‌شود و سپس با استفاده از روش‌های موجود در حل مسائل برنامه‌ریزی خطی، مانند سیمپلکس حل می‌شود.

شاخص یاگر برای عدد فازی مثلثی به فرم $\widetilde{t} = (a,b,c)$، به صورت رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$I(\widetilde{t}) = (3b - (b-a) + (c-b))/3 \qquad (۳)$$

با استفاده از شاخص $I(\widetilde{t})$ که مطابق با رابطه ۳ محاسبه می‌شود، مدل ۲ به مدل رابطه ۴ تبدیل می‌شود:

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$Max\tilde{D} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} I(\tilde{T}_{ij})x_{ij}$$

$$S.T:$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{1j} = 1,$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = \sum_{k=1}^{n} x_{ki}, i = 2,...,n-1, \qquad (۴)$$

$$\sum_{k=1}^{n} x_{kn} = 1,$$

$$x_{ij} \geq 0, (i,j) \in A$$

۳. مدل‌سازی

روش پیشنهادی. در این مقاله برای ارزیابی ریسک فعالیت‌های پروژه، از دو معیار زمان و هزینه استفاده کردیم. معیار زمان بر اساس درجه بحرانی بودن هر فعالیت، در روش در نظر گرفته شده است؛ به این صورت که فعالیت‌های واقع بر مسیر بحرانی دارای بیشترین درجه بحرانی هستند و به فعالیت‌های دیگر نیز متناسب با مدت زمان اجرا و شناوری آن‌ها درجه بحرانی بودن تخصیص می‌یابد. از آنجا که برای هر پروژه بودجه‌ای از پیش تعیین شده وجود دارد، هزینه فعالیت‌ها نیز به عنوان معیار تأثیر گذار دیگر بر ریسک فعالیت‌ها در نظر گرفته شده است. در روش ارائه شده فرض می‌شود که فعالیت‌های با هزینه عملیاتی کم در مقایسه با فعالیت‌های با هزینه عملیاتی زیاد ریسک پایین‌تری دارند. از آنجا که مدت زمان و هزینه انجام فعالیت‌ها با عدم قطعیت همراه است، در این مقاله این دو معیار به صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند.

در هر پروژه با توجه به اهداف و شرایط آن پروژه، میزان اهمیت هزینه و زمان متفاوت است؛ بنابراین میزان اهمیت نسبی این دو معیار تعیین می‌شود و سپس بر اساس روش TOPSIS فازی، فعالیت‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. روش ارائه شده در این مقاله شامل شش گام اساسی است که در ادامه بیان خواهیم کرد.

ترسیم شبکه CPM فازی و انجام محاسبات مربوطه. در این گام، با توجه به اطلاعات ورودی پروژه، مانند زمان انجام هر فعالیت، هزینه هر فعالیت و پیش‌نیازهای هر فعالیت، شبکه CPM مسئله را رسم می‌کنیم و محاسبات مربوط به شبکه CPM فازی را مطابق آنچه در بخش ۲ گفتیم، انجام می‌دهیم. هدف از این گام، تعیین مسیر بحرانی و مدت زمان پایان پروژه است.

محاسبه درجه بحرانی بودن هر مسیر. هر جواب پایه‌ای در مدل ۴، متناظر با یک مسیر در شبکه پروژه است. درجه بحرانی بودن مسیر kام را با نماد $\deg_{Cr}(p_k)$ نشان می‌دهیم. درجه بحرانی بودن مسیر بحرانی برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود؛ یعنی ۱= $\deg_{Cr}(p^*)$ و درجه بحرانی بودن مسیرهای دیگر با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$\deg_{Cr}(p_k)=\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} I(\tilde{T}_{ij})x_{ij}^{(k)}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} I(\tilde{T}_{ij})x_{ij}^{*}}, \qquad K=1,2,\ldots, m. \tag{۵}$$

محاسبه درجه بحرانی بودن هر فعالیت. درجه بحرانی بودن هر فعالیت را به صورت بزرگ‌ترین درجه بحرانی مسیری در نظر می‌گیریم که آن فعالیت روی آن مسیر قرار دارد. درجه بحرانی بودن فعالیت‌ها با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$\deg_{Cr}(i,j)=\max(\deg_{Cr}(p_k));(i,j)\in k, \quad K=1,2,\ldots, m. \tag{۶}$$

تعیین اهمیت نسبی درجه بحرانی بودن و هزینه فعالیت‌ها. از آنجا که میزان اهمیت هزینه و زمان در یک پروژه با توجه به سیاست‌های اتخاذ شده، ماهیت پروژه و عوامل بیرونی دیگر می‌تواند متغیر باشد، در این گام از تصمیم‌گیرنده درباره اهمیت نسبی این دو معیار در پروژه سؤال می‌شود.

تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری. ماتریس تصمیم‌گیری یک ماتریس $m\times 2$ به صورت رابطه ۷ است. m نشان‌دهنده تعداد فعالیت‌های پروژه است. در این ماتریس، ستون اول نشان‌دهنده درجه بحرانی بودن هر فعالیت است که اعداد مربوط به این ستون در گام سوم به دست آمده است. ستون دوم از ماتریس $\tilde{D}$ نشان‌دهنده هزینه مرتبط با هر فعالیت است که مطابق با گام چهارم و به صورت فازی بیان می‌شوند.

پرتال جامع علوم انسانی

$$\tilde{D} = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_M \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cc} C_1 & C_2 \end{array} \\ \begin{bmatrix} \tilde{X}_{11} & \tilde{X}_{12} \\ \tilde{X}_{21} & \tilde{X}_{22} \\ \vdots & \vdots \\ \tilde{X}_{m1} & \tilde{X}_{m2} \end{bmatrix} \end{array}, \qquad (۷)$$

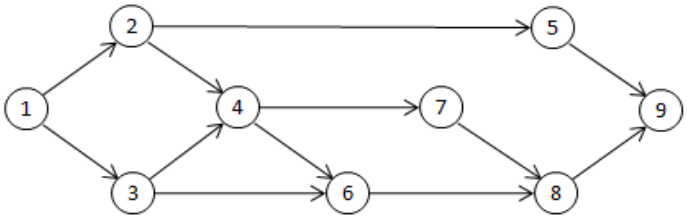
$$\tilde{w} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, ..., \tilde{w}_n], \qquad (۸)$$

$\tilde{X}_{ij}$ به ازای تمامی مقادیر i و j اعداد فازی مثلثی هستند و به صورت $\tilde{X}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ و $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ نشان داده می‌شوند. $\tilde{X}_{ij}$ نشان‌دهنده رتبه فازی گزینه iام با توجه به معیار jام و $\tilde{w}_j$ نشان‌دهنده وزن فازی معیار jام است.

رتبه‌بندی فعالیت‌ها بر اساس روش TOPSIS فازی. برای رتبه‌بندی فعالیت‌های پروژه از روش TOPSIS فازی ارائه شده در بخش ۳ استفاده می‌کنیم که توسط چن و هاوانگ [۳] توسعه داده شده است. اهمیت نسبی عامل‌ها نسبت به یکدیگر و ماتریس تصمیم‌گیری که در این گام مورد استفاده قرار می‌گیرد، به ترتیب در گام‌های چهارم و پنجم به دست آمده است.

روش ارائه شده در این مقاله، با استفاده از دو عامل هزینه و درجه بحرانی بودن فعالیت‌ها که از جمله مهم‌ترین عامل‌های مؤثر در ریسک فعالیت‌های پروژه هستند، به رتبه‌بندی فعالیت‌های پروژه بر اساس ریسک آن‌ها می‌پردازد. با توجه به روش ارائه شده، هر دو عامل بالا به صورت مستقیم بر رتبه‌بندی فعالیت‌های پروژه بر اساس ریسک آن‌ها تأثیر می‌گذارند. همچنین اهمیت نسبی این دو عامل نسبت به یکدیگر با توجه به کسب نظر از گروه خبره انجام می‌شود. به طور خلاصه، افزایش درجه بحرانی بودن و یا افزایش هزینه یک فعالیت، موجب افزایش میزان ریسک آن فعالیت خواهند شد. زمان انجام فعالیت‌ها نیز به صورت مستقیم در محاسبات برای به دست آوردن درجه بحرانی بودن یک فعالیت مؤثر است.

مثال عددی. برای نشان دادن روش ارائه شده در این قسمت مثال عددی می‌آوریم. شبکه پروژه به صورت شکل ۱ است:



شکل ۱. ساختار شبکه پروژه

در این مثال مدت زمان فازی هر فعالیت به صورت زیر است:

T_{12}=(4,5,6)	T_{13}=(12,14,17)	T_{24}=(2,3,4)
T_{34}=(2,4,6)	T_{36}=(6,8,8)	T_{46}=(5,7,10)
T_{47}=(9,10.11)	T_{13}=(12,14,17)	T_{68}=(14,15,17)
T_{78}=(10,12,13)	T_{89}=(12,14,16)	T_{25}=(12,14,15)

فرمول‌بندی مسئله مطابق با مدل ۴ به صورت زیر است:

$$\max D = I(\tilde{T}_{12})x_{12} + I(\tilde{T}_{13})x_{13} + I(\tilde{T}_{24})x_{24} + I(\tilde{T}_{34})x_{34} + I(\tilde{T}_{25})x_{25} + I(\tilde{T}_{36})x_{36} + I(\tilde{T}_{46})x_{46} + I(\tilde{T}_{47})x_{47} + I(\tilde{T}_{59})x_{59} + I(\tilde{T}_{68})x_{68} + I(\tilde{T}_{78})x_{78} + I(\tilde{T}_{89})x_{89}$$

s.t.

$$x_{12} + x_{13} = 1,$$
$$x_{12} = x_{24} + x_{25},$$
$$x_{13} = x_{34} + x_{36},$$
$$x_{24} + x_{34} = x_{47} + x_{46},$$
$$x_{25} = x_{59},$$
$$x_{46} + x_{36} = x_{68},$$
$$x_{47} = x_{78},$$
$$x_{78} + x_{68} = x_{89},$$
$$x_{59} + x_{89} = 1,$$
$$x_{12}, x_{13}, x_{24}, x_{34}, x_{25}, x_{36}, x_{46}, x_{47}, x_{59}, x_{68}, x_{78}, x_{89} \geq 0.$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

٤. تحلیل یافته‌ها

مطابق رابطه ۳، شاخص یاگر برای تمامی $\tilde{T}_{ij}$ها محاسبه می‌شود:

$$I(\tilde{T}_{12})=5 \quad I(\tilde{T}_{34})=4 \quad I(\tilde{T}_{36})=7.33 \quad I(\tilde{T}_{78})=11.67$$
$$I(\tilde{T}_{13})=14.33 \quad I(\tilde{T}_{25})=13.67 \quad I(\tilde{T}_{47})=13.67 \quad I(\tilde{T}_{59})=9.33$$
$$I(\tilde{T}_{24})=3 \quad I(\tilde{T}_{46})=7.33 \quad I(\tilde{T}_{68})=15.33 \quad I(\tilde{T}_{89})=14$$

با قرار دادن این مقادیر در مدل ۴، مسیر بحرانی و زمانی ختم پروژه به دست خواهد آمد. مدل ۴ با استفاده از نرم‌افزار لینگو حل می‌شود و جواب نهایی به صورت زیر است:

$$x^*_{13}=x^*_{34}=x^*_{47}=x^*_{78}=x^*_{89}=1, I(\tilde{D}^*)=57.67$$
$$x^*_{12}=x^*_{24}=x^*_{25}=x^*_{36}=x^*_{46}=x^*_{59}=x^*_{68}=0$$

بنابراین، مسیر بحرانی به صورت $p^*=\{1,3,4,7,8,9\}$ و مدت زمان انجام پروژه برابر ۵۷٫۶۷ است. حال مطابق رابطه ۵، درجه بحرانی بودن هر مسیر به صورت جدول ۱ به دست می‌آید.

جدول ۱. درجه بحرانی بودن هر مسیر

مسیر	درجه بحرانی بودن
$P_1=\{1,3,4,7,8,9\}$	۱
$P_2=\{1,3,6,8,9\}$	۰/۹۵۷۴
$P_3=\{1,3,4,6,8,9\}$	۰/۸۷۸۹
$P_4=\{1,2,5,9\}$	۰/۵۷۱۷
$P_5=\{1,2,4,6,8,9\}$	۰/۸۰۰۱
$P_6=\{1,2,4,7,8,9\}$	۰/۹۲۱۲

درجه بحرانی بودن هر فعالیت، مطابق رابطه ۶ به صورت زیر محاسبه می‌شود. اعداد ارائه شده در جدول ۳ با توجه به مطالب ارائه شده در بخش ۲ محاسبه می‌شوند؛ برای نمونه، از آنجا که فعالیت ۱ و ۲ روی ۳ مسیر از شبکه پروژه به صورت مشترک وجود دارد (مسیرهای ۴، ۵ و ۶)، درجه بحرانی بودن این فعالیت برابر با بیشینه‌ی درجه بحرانی این ۳ مسیر است که مطابق با جدول ۳، برابر با ۰/۹۲۱۲ است.

جدول ۲. درجه بحرانی بودن فعالیت‌های پروژه

فعالیت	درجه بحرانی بودن	فعالیت	درجه بحرانی بودن
(1,2)	/8001,0/9212,0/Max{0 9212/5717}= 0	(2,5)	5717}= /Max{0 5717/0
(1,3)	/9574,0/Max{1,0 8789}= 1	(4,7)	9212}= 1/Max{1,0
(2,4)	8001}= /9212,0/Max{0 9212/0	(6,8)	/9574,0/Max{0 9574/8001}= 0/8789,0
(3,4)	8789}= 1/Max{1,0	(7,8)	9212}= 1/Max{1,0
(3,6)	9574/9574}= 0/Max{0	(5,9)	5717}= /Max{0 5717/0
(4,6)	8001}= /8789,0/Max{0 8789/0	(8,9)	/9212,0/Max{1,0 8001}= 1/8789,0

جدول ۳. ماتریس تصمیم‌گیری

وزن	۰/۹	۱	۱	۰/۵	۰/۷	۱
فعالیت	درجه بحرانی بودن			هزینه		
(۲ ،۱)	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۸۰	۹۰	۱۰۰
(۳ ،۱)	۱	۱	۱	۱۰۵	۱۱۰	۱۲۰
(۴ ،۲)	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۹۵	۱۰۰	۱۰۵
(۴ ،۳)	۱	۱	۱	۶۰	۶۵	۶۵
(۶ ،۳)	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۸	۱۰	۱۴
(۶ ،۴)	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۲۲	۲۵	۳۰
(۵ ،۲)	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۷	۶۵	۷۵	۸۰
(۷ ،۴)	۱	۱	۱	۷۵	۸۰	۸۵
(۸ ،۶)	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۶۰	۶۰	۶۵
(۸ ،۷)	۱	۱	۱	۶۵	۷۰	۸۰
(۹ ،۵)	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۷	۲۵	۲۵	۳۰
(۹ ،۸)	۱	۱	۱	۴۵	۵۰	۶۰

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۴. ماتریس تصمیم‌گیری فازی بی‌مقیاس

فعالیت	درجه بحرانی بودن	هزینه				
(۲ ،۱)	0/92	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۸
(۳ ،۱)	۱	۱	۱	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۷
(۴ ،۲)	0/92	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸
(۴ ،۳)	۱	۱	۱	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۲
(۶ ،۳)	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۱	۰/۸	۰/۵۷
(۶ ،۴)	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۲۷
(۵ ،۲)	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱
(۷ ،۴)	۱	۱	۱	۰/۱۱	۰/۱	۰/۰۹
(۸ ،۶)	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۲
(۸ ،۷)	۱	۱	۱	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱
(۹ ،۵)	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۲۷
(۹ ،۸)	۱	۱	۱	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۳

جدول ۵. ماتریس تصمیم‌گیری فازی بی‌مقیاس وزین

	درجه بحرانی بودن			هزینه		
(1 ،2)	۰/۸۳	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۸
(1 ،3)	۰/۹	۱	۱	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۷
(2 ،4)	۰/۸۳	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸
(3 ،4)	۰/۹	۱	۱	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱۲
(3 ،6)	۰/۸۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۵	۰/۵۶	۰/۵۷
(4 ،6)	۰/۷۹	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۲۷
(2 ،5)	۰/۵۱	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۱
(4 ،7)	۰/۹	۱	۱	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۹
(6 ،8)	۰/۸۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱۲
(7 ،8)	۰/۹	۱	۱	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱
(5 ،9)	۰/۵۱	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۲۷
(8 ،9)	۰/۹	۱	۱	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۳

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۶. فاصله هر گزینه از گزینه ایده‌آل مثبت و منفی

گزینه مثبت	فاصله	گزینه منفی	فاصله
$d^+(1,2)=$	7720/0	$d^-(1,2)=$	9568/0
$d^+(1,3)=$	7802/0	$d^-(1,3)=$	0210/1
$d^+(2,4)=$	7778/0	$d^-(2,4)=$	9513/0
$d^+(3,4)=$	7541/0	$d^-(3,4)=$	0627/1
$d^+(3,6)=$	3853/0	$d^-(3,6)=$	4713/1
$d^+(4,6)=$	6548/0	$d^-(4,6)=$	0774/1
$d^+(2,5)=$	8001/0	$d^-(2,5)=$	6336/0
$d^+(4,7)=$	7662/0	$d^-(4,7)=$	0422/1
$d^+(6,8)=$	7517/0	$d^-(6,8)=$	0237/1
$d^+(7,8)=$	7588/0	$d^-(7,8)=$	0498/1
$d^+(5,9)=$	7050/0	$d^-(5,9)=$	7746/0
$d^+(8,9)=$	7345/0	$d^-(8,9)=$	0807/1

هزینه فعالیت‌های پروژه مطابق جدول ۴ است. برای معیار درجه بحرانی بودن، وزن ۱، ۱، ۰/۹ و برای معیار هزینه، وزن ۱، ۰/۷، ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. این وزن‌ها در جدول ۵ با توجه به نظر گروه خبره مشخص شده‌اند. وزن‌های مورد نظر توسط افراد خبره به صورت متغیرهای زبانی بیان می‌شوند، سپس این متغیرها با استفاده از جدول ۱ به متغیرهای فازی متناظر تبدیل می‌شوند. ماتریس تصمیم‌گیری فازی به صورت جدول ۵ تشکیل می‌شود. اعداد این جدول از جدول ۳ و ۴ به دست می‌آیند. رتبه‌بندی فعالیت‌ها بر اساس ریسک آن‌ها به صورت زیر به دست می‌آید:

(3,6) → (4,6) → (8,9) → (3,4) → (7,8) → (6,8) → (4,7) → (1,3) → (1,2) → (2,4) → (5,9) → (2,5)

جدول ۷. نرخ نزدیکی هریک از فعالیت‌ها

R(1,2) =	**۰/5534**	**R(2,5) =**	**۰/4420**
R(1,3) =	۰/5669	R(4,7) =	۰/5763
R(2,4) =	۰/5502	R(6,8) =	۰/5766
R(3,4) =	۰/5849	R(7,8) =	۰/5805
R(3,6) =	۰/7925	R(5,9) =	۰/5235
R(4,6) =	۰/6220	R(8,9) =	۰/5953

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه موفقیت پروژه‌ها، نیاز به انجام مدیریت ریسک در پروژه‌ها، به دلیل افزایش پیچیدگی، حجم پروژه، رقابت و مسائل اقتصادی و سیاسی دیگر، اجتناب‌ناپذیر است. از آنجا که امکان مدیریت و پاسخ به تمامی ریسک‌های شناسایی شده وجود ندارد، پس از شناسایی ریسک‌های پروژه، ارزیابی و اولویت‌بندی این ریسک ها برای مدیریت و پاسخ به آن‌ها ضروری است. فرآیند رتبه‌بندی ریسک امکان تخصیص مؤثر و کارآمد منابع مدیریتی به ریسک های پروژه را فراهم می‌کند.

بیشتر روش‌های ارائه شده برای رتبه‌بندی ریسک فعالیت‌ها، مفاهیم پیچیده ریاضی و آماری دارند. روش ارائه شده در این مقاله، روشی ساده است که با توجه به در نظر گرفتن دو عامل بحرانی هزینه و زمان به طور هم‌زمان و استفاده از شبکه CPM قابلیت اجرایی مناسبی دارد. با در نظر گرفتن عامل‌های دیگر سنجش موفقیت پروژه، مانند سود، کیفیت و منابع مصرف شده، می‌توان به روش ارائه شده در این مقاله بهبود بخشید.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

1. Boehm, B.W. (1991). Software risk management: principles and practices. *IEEE Software, 8*, 32-41.

2. Chanas, S., Dubois, D., & Zielin´ ski, P. (2002). On the sure criticality of tasks in activity networks with imprecise durations. *IEEE Trans. Syst. Man Cybernet. – Part B: Cybernetics, 32*, 393-407.

3. Chen, S.J., & Hwang, C.L. (2000). Extension of the TOPSIS for group decision making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems, 114*, 1-9.

4. Chen, S.P., & Hsueh, Y.J. (2008). A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks. *Applied Mathematical modeling, 32*, 1289-1297.

5. Dubois, D., Fargier, H., & Galvagnon, V. (2003). On latest starting times and floats in activity networks with ill-known durations. *European Journal of Operation Research, 147*, 266˚280.

6. Krajewski, L.J., & Ritzman, L.P. (2005). *Operations Management: Process and Value Chains*. Prentice-Hall, New Jersey.

7. Morris, P.W.G., & Hough, G.H. (1987). *The Anatomy of Major Projects: A Study of the Reality of Project Management*. Wiley, New York.

8. Project Management Institute (PMI). (1996). *A Guide to Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide*. Project Management Institute, Maryland.

9. Raz,T., & Michael, E. (2001). Use and benefits tools for project risk management. *International Journal of Project Management, 19*, 9-17.

10. Slyeptsov, A.I., & Tyshchuk, T.A. (2003). Fuzzy temporal characteristics of operations for project management on the network models basis. *European Journal of Operation Research, 147*, 253˚265.

11. Williams, T.M. (1990). Risk analysis using an embedded CPA package. *International Journal of Project Management, 8*, 84-88.

12. Williams, T. (1995). A classified bibliography of recent research relating to project risk management. *European Journal of Operation Research, 85*, 18-38.

13. Yager, R.R. (1981). A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval. *Information Science, 24*, 143˚161.

14. Zeng, J., & Smith, N.J. (2007). Application of fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management, 25*, 589-600.

15. Zielinski, P. (2005). On computing the latest starting times and floats of activities in a network with imprecise durations. *Fuzzy Sets System, 150*, 53˚76.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی