مهندسی صنایع و مدیریت شریف
دوره‌ی ۱-۲۸، شماره‌ی ۱، ص. ۱۱-۱۷

Original Article

کاربرد تکنیک تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ی فازی در تعیین مسیر بحرانی با استفاده از معیارهای زمان، هزینه، ریسک و کیفیت

فرحانه گلعذاری* (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و فرهنگ
مقصود امیری (استادیار)
دانشکده‌ی مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی

گاهی در مرحله‌ی اجرای پروژه با فعالیت‌هایی مواجه می‌شویم که به‌دلیل مشکلات مالی و بروز عوامل تأثیرگذار، به‌موقع به اتمام نمی‌رسد و اگر بر روی مسیر بحرانی[1] فعلی قرار نداشته باشد، مسیر بحرانی پروژه را تعویض می‌کند. در این نوشتار الگوریتمی ارائه می‌شود که نه‌تنها معیار زمان، بلکه معیارهای دیگری را در تعیین مسیر بحرانی مد نظر قرار می‌دهد. در این الگوریتم تصمیم‌گیرنده به هر فعالیت شاخصی را اختصاص می‌دهد. به‌دلیل عدم قطعیت موجود در بیان داده‌ها و اطلاعات، برای تعیین مقدار عددی شاخص‌های مورد نظر برای هر فعالیت، از اعداد فازی مثلثی و متغیرهای کلامی استفاده شده است. سپس با استفاده از روش تاپسیس (TOPSIS)[2] فازی مسیر بحرانی مورد نظر انتخاب می‌شود. در انتها برای نمایش روند الگوریتم پیشنهادی یک مثال عددی حل شده است.

واژگان کلیدی: تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ی فازی، مسیر بحرانی، متغیر کلامی، کیفیت، ریسک.

f.golozari@usc.ac.ir
mg_amiri@ie.sharif.edu

۱. مقدمه

«پروژه» مجموعه‌یی از فعالیت‌هاست که اجرای آن با هدف خاصی دنبال می‌شود. «مدیریت پروژه» نیز شامل برنامه‌ریزی، کنترل و مدیریت زمان، منابع و هزینه‌ی فعالیت‌های پروژه است که در میان آن‌ها زمان از اهمیت بیشتری برخوردار است. یک پروژه به فعالیت‌های متعددی که برای اجرا و به‌پایان رساندن آن پروژه لازم است تجزیه می‌شود. روابط پیش‌نیازی[3] این فعالیت‌ها معمولاً به‌صورت شبکه‌یی نشان داده می‌شود که یال‌های آن نشان‌گر فعالیت‌های پروژه است. «مسیر» در این شبکه راهی است که از گره آغازین شبکه شروع، و به گره پایانی آن ختم شود. طول یک مسیر از طریق مجموع زمان اجرای فعالیت‌های موجود در آن مسیر مشخص می‌شود. طولانی‌ترین مسیر زمانی پروژه (شبکه) مسیر بحرانی است که تعیین‌کننده‌ی زمان ختم پروژه است. بنابراین زمان اجرای فعالیت‌های موجود در مسیر بحرانی مستقیماً بر زمان ختم آن پروژه تأثیر دارد. از آنجا که کوچک‌ترین تأخیر در زمان شروع یا پایان این فعالیت‌های بحرانی موجب تأخیر در زمان کل پروژه می‌شود، شناسایی این فعالیت از اهمیت خاصی برخوردار است.[1]

در استاندارد مدیریت پروژه[4]، برای هدایت موفق پروژه‌ها ۹ سطح دانش تشخیص داده شده است.[2] در این نوشتار چهار سطح دانش مدیریت زمان، مدیریت هزینه، مدیریت ریسک و مدیریت کیفیت از ۹ سطح موجود در تعیین مسیر بحرانی مورد توجه قرار گرفته است؛ در واقع نه‌تنها عامل زمان، بلکه عوامل هزینه، کیفیت و ریسکِ انجام فعالیت‌ها نیز در تعیین مسیر بحرانی در نظر گرفته شده است. درنتیجه مسیر بحرانی لزوماً مسیری نیست که بیشترین زمان برای خاتمه‌ی پروژه را داشته باشد.

با توجه به این که عوامل متعددی در برآورد صحیح هریک از شاخص‌های یادشده برای هر فعالیت نقش دارند، تعیین مقدار قطعی و دقیق هریک از این شاخص‌ها خیلی به واقعیت نزدیک نیست؛ و لذا برای تعیین مقدار هریک از این شاخص‌ها از اعداد فازی مثلثی و متغیرهای کلامی استفاده کرده و از جمع فازی این اعداد مثلثی مقدار شاخص مورد نظر برای هر مسیر مشخص می‌شود.[3] در سال ۱۹۹۹ سه عامل هزینه، کیفیت و زمان به‌عنوان چارچوب معیارهای موفقیت یک پروژه معرفی شد.[4] به‌همین دلیل در این نوشتار سعی شده علاوه بر سه معیار زمان، هزینه و ریسک، معیار کیفیت نیز در تعیین مسیر بحرانی مورد توجه قرار گیرد. از آنجا که محققان معمولاً از روابط ریاضی برای مد نظر قراردادن معیارهای متفاوت در تعیین مسیر بحرانی استفاده می‌کنند، سعی بر آن بوده تا الگوریتمی ارائه شود که از یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی[5] در تعیین مسیر بحرانی بهره گیرد.

این نوشتار در شش بخش به نگارش درآمده است. در ادامه، در بخش دوم،

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۸۸/۱۱/۱۷، اصلاحیه ۱۳۹۰/۱/۱۴، پذیرش ۱۳۹۰/۲/۵.

ادبیات مسئله‌ی تعیین مسیر بحرانی یک پروژه و کاربرد تکنیک TOPSIS فازی در این حوزه مرور می‌شود. در بخش سوم، روش TOPSIS فازی که از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه است[۵] تشریح می‌شود. گام‌های الگوریتم پیشنهادی در بخش چهارم ارائه شده و در بخش پنجم نیز مثالی برمبنای این الگوریتم حل خواهد شد. در بخش پایانی نیز نتایج حاصل از کاربرد این الگوریتم بیان می‌شود.

۲. مرور ادبیات

در محیط کسب‌وکار رقابتی امروز، توانایی مدیریت پروژه در زمان‌بندی فعالیت‌ها و نمایش پیشرفت پروژه در بازه زمانی مشخص و بودجه‌ی محدود به‌عنوان یکی از معیارهای مهم رقابت‌پذیری معرفی شده است.[۶] هنگامی که مدت انجام فعالیت‌های یک پروژه قطعی و مشخص است، روش مسیر بحرانی که آغازگار آن مربوط به اوایل دهه‌ی ۱۹۶۰ است،[۷] به‌عنوان ابزاری مفید در مدیریت پروژه‌ها کاربرد می‌یابد. البته مواردی نیز وجود دارد که زمان انجام فعالیت‌ها به‌صورت قطعی و دقیق بیان نمی‌شوند.[۸] برای استفاده از این داده‌های غیرقطعی، از روش بررسی و ارزیابی برنامه (PERT)۶[۹] و شبیه‌سازی مونت‌کارلو[۱۰و۱۱] که مبتنی بر نظریه‌ی احتمالات‌اند، در مدیریت پروژه‌ها استفاده می‌شود. جزئیات نقد روش تحلیلی PERT، و نیز مقایسه‌ی دو روش فازی و احتمالی برای زمان‌بندی یک پروژه در دسترس و قابل مراجعه است.[۱۲] یکی دیگر از گزینه‌های پیشنهادی برای مواجهه با داده‌های غیرقطعی کاربرد «نظریه‌ی فازی» است[۱۳] که به‌موجب آن زمان غیرقطعی انجام فعالیت‌های یک پروژه را می‌توان با اعداد فازی نمایش داد. مهم‌ترین مزیت کاربرد این نظریه، استفاده از داده‌ها و ورودی‌های غیرقطعی است که از نظر تصمیم‌گیرندگان در بیان این اطلاعات و داده‌های غیرقطعی استفاده شده است. در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ برای اولین‌بار از روش تحلیلی PERT فازی استفاده شد.[۱۴] محققان در تحقیقات خود پروژه‌هایی را بررسی کرده‌اند که زمان تقریبی انجام فعالیت‌ها در آن مشخص است. آن‌ها در این تحقیقات از اعداد فازی برای بیان زمان‌های تقریبی به‌جای اعداد قطعی استفاده کرده‌اند.[۱۵-۲۰] کاربرد نظریه‌ی فازی در مدیریت پروژه‌ها توجه محققان را چنان به خود جلب کرده که به معرفی روش‌های حل بی‌شماری در این حوزه انجامیده است. اکثر این روش‌ها محصول بسطِ روش مسیر بحرانی با اعداد قطعی‌اند با این تفاوت که زمان قطعی انجام فعالیت‌ها با اعداد فازی جایگزین شده است. به‌عنوان مثال، برخی از محققین از تابع رتبه‌بندی[۷] اعداد فازی،[۲۱و۲۲] برخی از مدل ریاضی[۲۳] و عده‌یی نیز از دی‌فازی‌کردن[۸] اعداد فازی برای تعیین مسیر بحرانی یک پروژه[۲۴] استفاده کرده‌اند. درنتیجه‌ی مطالعات انجام شده در حوزه‌ی تعیین مسیر بحرانیِ یک پروژه در محیط فازی (۲۰۰۱)، نتیجه‌گیری کلی برای بیان مفهوم مسیر بحرانی شبکه‌هایی که زمان انجام فعالیت‌های آن فازی است به‌گونه‌یی ارائه شد که دو روش برای محاسبه‌ی میزان بحرانیت یک مسیر شبکه به همراه نتایج آن فراهم شد. محققین در سال ۲۰۰۲ لزوم فعالیت‌های بحرانی[۲۵] و نیز پیچیدگی بحرانیت مسیر[۲۶] را بررسی کرده‌اند.

در بیشتر مقالات ارائه‌شده در حوزه‌ی مدیریت پروژه، محققین تنها عامل زمان انجام فعالیت‌های یک پروژه را در تعیین مسیر بحرانی در نظر گرفته‌اند. چنان که اشاره شد، در سال ۱۹۹۹ سه عامل زمان، هزینه و کیفیت به‌عنوان سه معیار کلیدی در موفقیت پروژه‌ها معرفی شده است. همچنین در مطالعه‌یی در سال ۱۳۸۷، در تعیین مسیر بحرانی یک پروژه در حالت قطعی علاوه بر عامل زمان، عوامل هزینه و ریسک نیز منظور شد.[۲۷] در سال ۲۰۰۹ علاوه بر عامل زمان، عوامل دیگری ــ نظیر ریسک، هزینه و منابع مشترک در حالت فازی ــ در تعیین مسیر بحرانی مد نظر قرار گرفت. در هیچ‌یک از دو مقاله‌ی یادشده معیار کیفیت انجام فعالیت‌ها در تعیین مسیر بحرانی در نظر گرفته نشده است و لذا در این متن چهار سطح زمان، هزینه، ریسک و کیفیت از ۹ سطح دانش موجود در استاندارد PMBOK به‌منظور تعیین مسیر بحرانی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به مرور ادبیات انجام‌شده در این حوزه، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[۹] به‌طور گسترده در حوزه‌ی مدیریت پروژه برای تعیین تصمیماتی نظیر بررسی صلاحیت پیمانکارها،[۲۸] ماندن در رقابت[۲۹و۳۰] و انتخاب پروژه‌ها[۳۱و۳۲] کاربرد دارد. به‌کارگیری این شیوه در تعیین مسیر بحرانی روشی تقریباً جدید است، که در این نوشتار از روش TOPSIS فازی که در سال ۲۰۰۶ معرفی شد در تعیین مسیر بحرانی استفاده می‌شود.

۳. روش TOPSIS فازی

مدل TOPSIS که در سال ۱۹۸۱ پیشنهاد شد،[۳۳] یکی از بهترین مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه است و کاربرد فراوان دارد. در این روش m گزینه به‌وسیله‌ی n شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اساس این شیوه مبتنی بر این مفهوم است که گزینه‌ی انتخابی باید کم‌ترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد. فرض بر این است که مطلوبیت هر شاخص به‌طور یکنواخت افزایشی یا کاهشی است. با توجه به فازی‌بودن داده‌ها در این نوشتار، از روش TOPSIS فازی که در سال ۲۰۰۶ معرفی شد، استفاده می‌کنیم. حل مسئله با این روش شامل گام‌های زیر است:

گام ۱: کمّی‌کردن و بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم ($\widetilde{D}$). در این مرحله تخصیص اعداد فازی به متغیرهای کلامی[۱۰] موجود در ماتریس تصمیم‌گیری به‌منظور کمّی‌کردن تمامی عناصر موجود در این ماتریس اجرا می‌شود. جداول ۱ و ۲ نمونه‌یی از تخصیص اعداد فازی مثلثی به متغیرهای کلامی را نمایش می‌دهد.

حال اگر مجموعه‌ی B نشان‌دهنده‌ی مجموعه‌ی معیارها با جنبه‌ی مثبت (سود) و مجموعه‌ی C نشان‌دهنده‌ی مجموعه معیارها با جنبه‌ی منفی باشند، برای بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری $\widetilde{D}$ و تشکیل ماتریس بی‌مقیاس‌شده‌ی

جدول ۱. متغیرهای کلامی.

متغیرهای کلامی مربوط به مقدار معیارها	
(۰ ۱ ۱)	خیلی کم
(۰ ۱ ۳)	کم
(۱ ۳ ۵)	نسبتاً کم
(۳ ۵ ۷)	متوسط
(۵ ۷ ۹)	نسبتاً زیاد
(۷ ۹ ۱۰)	زیاد
(۹ ۹ ۱۰)	خیلی زیاد

جدول ۲. متغیرهای کلامی.

متغیرهای کلامی مربوط به اهمیت وزن معیارها	
(۰ ۱ ۱)	خیلی پایین
(۰ ۱ ۳)	پایین
(۱ ۳ ۵)	نسبتاً پایین
(۳ ۵ ۷)	متوسط
(۵ ۷ ۹)	نسبتاً بالا
(۷ ۹ ۱۰)	بالا
(۹ ۹ ۱۰)	خیلی بالا

$\left[\widetilde{r}_{ij}\right]_{m\times n}=\tilde{R}$ از روابط ۱ و ۲ استفاده می‌کنیم:

$$\widetilde{r}_{ij}=\left[\frac{a_{ij}}{c_j^+},\frac{b_{ij}}{c_j^+},\frac{c_j}{c_j^+}\right],\qquad j\in B \tag{۱}$$

$$\widetilde{r}_{ij}=\left[\frac{a_j^-}{c_{ij}},\frac{a_j^-}{b_{ij}},\frac{a_j^-}{a_{ij}}\right],\qquad j\in C \tag{۲}$$

به‌گونه‌یی که در این روابط:

$$c_j^+=\max_i c_{ij}\qquad j\in B$$
$$a_j^-=\min_i a_{ij}\qquad j\in C$$

گام ۲: به دست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون ($\widetilde{V}$). ماتریس بی‌مقیاس شده‌ی $\widetilde{D}$ را در ماتریس ستونی وزن‌معیارها ($\widetilde{W}_{n\times 1}$) ضرب می‌کنیم، یعنی:

$$\widetilde{V}=[\widetilde{v}_{ij}]_{m\times n}\qquad i=1,2,...,m\ \&\ j=1,2,...,n \tag{۳}$$

که در آن:

$$\widetilde{v}_{ij}=\widetilde{r}_{ij}(\cdot)\widetilde{w}_j$$

به‌گونه‌یی که $\widetilde{w}_j$ وزن معیار jام است.

گام ۳: تعیین راه حل ایده‌آل مثبت و راه حل ایده‌آل منفی. از دو رابطه‌ی ۴ و ۵ برای پیدا کردن این مقادیر استفاده می‌کنیم:

$$A^+=(\widetilde{v}_1^+,\widetilde{v}_2^+,...,\widetilde{v}_n^+) \tag{۴}$$

$$A^-=(\widetilde{v}_1^-,\widetilde{v}_2^-,...,\widetilde{v}_n^-) \tag{۵}$$

که در آن:

$$\widetilde{v}_j^-=\max_i\{v_{ij1}\}$$
$$\widetilde{v}_j^+=\max_i\{v_{ij3}\}$$
$$i=1,2,...,m\ \&\ j=1,2,...,n$$

اندیس ۱ و ۳ در دو پارامتر v_{ij1} و v_{ij3} به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی اولین و سومین عدد موجود در یک عدد فازی مثلثی است.

گام ۴: به دست آوردن میزان فاصله‌ی هرگزینه تا ایده‌آل‌های مثبت و منفی. فاصله‌ی اقلیدسی هرگزینه از ایده‌آل مثبت (A^+) و فاصله‌ی هرگزینه تا ایده‌آل منفی (A^-) براساس روابط ۶ و ۷ محاسبه می‌شود.

$$d_i^+=\sum_{j=1}^n d_v(\widetilde{v}_{ij},\widetilde{v}_j^+),\qquad i=1,2,...,m \tag{۶}$$

$$d_i^-=\sum_{j=1}^n d_v(\widetilde{v}_{ij},\widetilde{v}_j^-),\qquad i=1,2,...,m \tag{۷}$$

که در آن $d_v(0,0)$ فاصله‌ی بین دو عدد فازی مثلثی است.

گام ۵: تعیین نزدیکی نسبی (CL) یک گزینه به راه‌حل ایده‌آل.

$$CL_i=\frac{d_i^-}{d_i^-+d_i^+} \tag{۸}$$

گام ۶: رتبه‌بندی گزینه‌ها. براساس نزدیکی نسبی محاسبه‌شده‌ی هر گزینه، گزینه‌یی که نزدیکی نسبی بزرگ‌تری داشته باشد در سطح بالاتری از رتبه‌بندی گزینه‌ها قرار می‌گیرد.

۴. الگوریتم پیشنهادی

در این بخش برای انتخاب مسیر بحرانی یک پروژه در محیط فازی الگوریتمی معرفی می‌شود. با توجه به شاخص‌های تصمیم‌گیری تعریف‌شده و فازی‌بودن مقادیر آن‌ها برای هر فعالیت، الگوریتم پیشنهادی برای تعیین مسیر بحرانی یک پروژه شامل مراحل زیر است:

- ترسیم شبکه‌ی پیش‌نیازی پروژه؛
- تخصیص مقادیری به معیارهای مورد نظر با توجه به نظر تصمیم‌گیرنده؛
- مشخص کردن تمامی مسیرهایی که از فعالیت آغازین شبکه‌ی پروژه شروع و به فعالیت پایانی آن ختم می‌شوند؛
- تخصیص مقادیر معیارهای مورد نظر به تمامی فعالیت‌هایی که در مسیرهای مذکور قرار دارند، با توجه به نظر تصمیم‌گیرنده؛
- مشخص کردن مقادیر این معیارها برای هر مسیر با استفاده از جمع اعداد فازی مثلثی؛
- تنظیم ماتریس تصمیم‌گیری به‌گونه‌یی که گزینه‌های انتخابی مسیرهایی از پروژه باشند که از فعالیت آغازین پروژه شروع و به فعالیت پایانی آن ختم می‌شوند.

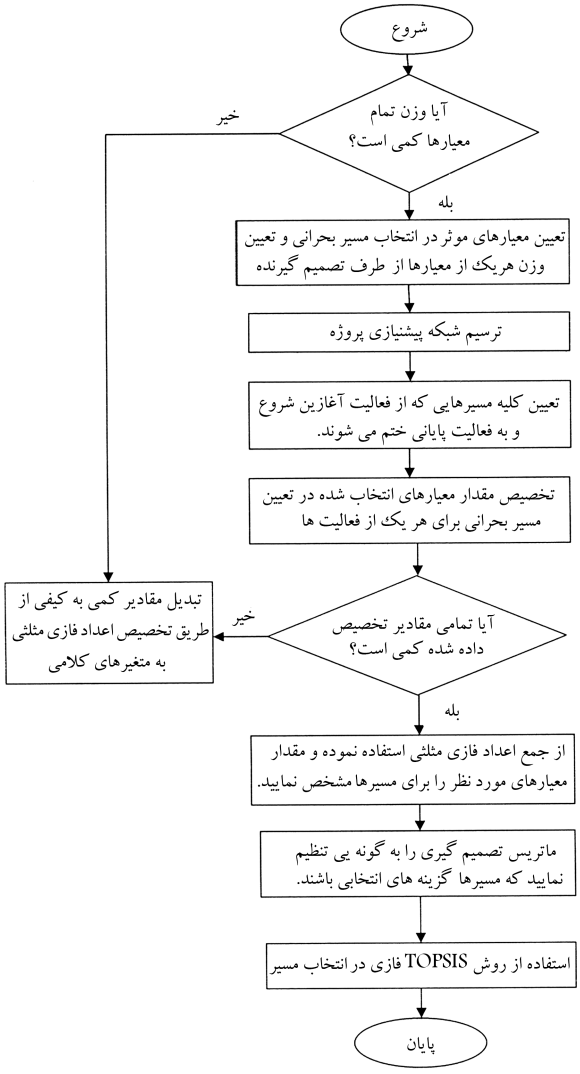
از روش TOPSIS فازی که در بخش ۳ معرفی شده برای انتخاب مسیر بحرانی استفاده کنید. نمودار گردشی ارائه شده در شکل ۱ گام‌های این الگوریتم را خلاصه‌وار نشان می‌دهد.

۵. مثال عددی

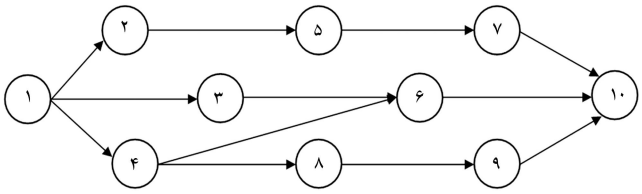
در این بخش از الگوریتم پیشنهادی برای حل یک نمونه مسئله استفاده می‌کنیم. گام‌های حل این مثال عددی چنین خلاصه می‌شود:

۱. ترسیم شبکه‌ی پیش‌نیازی پروژه (شکل ۲).

۲. تعیین مقادیر معیارها از طرف تصمیم‌گیرنده (جدول ۳).



شکل ۱. نمودار گردشی الگوریتم پیشنهادی.



شکل ۲. شبکه‌ی پیش‌نیازی پروژه.

جدول ۳. متغیر کلامی متناظر با اهمیت هر معیار.

معیار	متغیر کلامی تخصیص یافته
زمان	خیلی بالا
هزینه	خیلی بالا
ریسک	بالا
کیفیت	بالا

جدول ۴. تخصیص مقادیر معیارها به هر فعالیت.

نام فعالیت	زمان	هزینه	ریسک	کیفیت
۱-۲	(۴ ۷ ۱۰)	(۱۵۰۰ ۲۰۰۰ ۲۵۰۰)	نسبتاً کم	(۱ ۲ ۳)
۱-۳	(۳ ۶ ۹)	(۵۰۰ ۱۰۰۰ ۱۵۰۰)	نسبتاً کم	(۳ ۴ ۵)
۱-۴	(۲ ۴ ۶)	(۲۰۰ ۷۰۰ ۱۲۰۰)	متوسط	(۲ ۳ ۴)
۲-۵	(۳ ۵ ۷)	(۲۰۰ ۷۰۰ ۱۲۰۰)	متوسط	(۳ ۴ ۵)
۳-۵	(۳ ۴ ۵)	(۱۵۰۰ ۲۰۰۰ ۲۵۰۰)	متوسط	(۳ ۴ ۵)
۴-۶	(۲ ۳ ۴)	(۵۵۰۰ ۶۰۰۰ ۶۵۰۰)	نسبتاً کم	(۲ ۳ ۶)
۸-۹	(۸ ۱۰ ۱۲)	(۱۵۰۰ ۲۰۰۰ ۲۵۰۰)	نسبتاً کم	(۲ ۳ ۴)
۳-۶	(۲ ۴ ۶)	(۱۵۰۰ ۲۰۰۰ ۲۵۰۰)	نسبتاً کم	(۴ ۳ ۵)
۵-۷	(۵ ۸ ۱۱)	(۷۰۰ ۱۲۰۰ ۱۷۰۰)	نسبتاً زیاد	(۲ ۳ ۴)
۴-۸	(۴ ۵ ۶)	(۱۰۰۰ ۱۵۰۰ ۲۰۰۰)	متوسط	(۳ ۴ ۵)
۶-۱۰	(۳ ۶ ۹)	(۹۰۰ ۲۰۰۰ ۲۵۰۰)	نسبتاً زیاد	(۲ ۳ ۴)
۷-۱۰	(۳ ۵ ۷)	(۳۵۰۰ ۴۰۰۰ ۴۵۰۰)	نسبتاً زیاد	(۳ ۴ ۵)
۹-۱۰	(۴ ۵ ۶)	(۲۵۰۰ ۳۰۰۰ ۳۵۰۰)	نسبتاً زیاد	(۱ ۲ ۳)

جدول ۵. تبدیل متغیرهای کلامی به مقادیر کمی.

وزن شاخص‌ها	(۷ ۹ ۹)	(۷ ۹ ۹)	(۵ ۷ ۹)	(۵ ۷ ۹)
شاخص‌ها / فعالیت‌ها	زمان	هزینه	ریسک	کیفیت
۱-۲	(۴ ۷ ۱۰)	(۱۵۰۰ ۲۰۰۰ ۲۵۰۰)	(۱ ۳ ۵)	(۱ ۲ ۳)
۱-۳	(۳ ۶ ۹)	(۵۰۰ ۱۰۰۰ ۱۵۰۰)	(۱ ۳ ۵)	(۳ ۴ ۵)
۱-۴	(۲ ۴ ۶)	(۲۰۰ ۷۰۰ ۱۲۰۰)	(۳ ۵ ۷)	(۲ ۳ ۴)
۲-۵	(۳ ۵ ۷)	(۲۰۰ ۷۰۰ ۱۲۰۰)	(۳ ۵ ۷)	(۳ ۴ ۵)
۳-۵	(۳ ۴ ۵)	(۱۵۰۰ ۲۰۰۰ ۲۵۰۰)	(۳ ۵ ۷)	(۳ ۴ ۵)
۴-۶	(۲ ۳ ۴)	(۵۵۰۰ ۶۰۰۰ ۶۵۰۰)	(۱ ۳ ۵)	(۲ ۳ ۴)
۸-۹	(۸ ۱۰ ۱۲)	(۱۵۰۰ ۲۰۰۰ ۲۵۰۰)	(۱ ۳ ۵)	(۲ ۳ ۴)
۳-۶	(۲ ۴ ۶)	(۱۵۰۰ ۲۰۰۰ ۲۵۰۰)	(۱ ۳ ۵)	(۴ ۳ ۵)
۵-۷	(۵ ۸ ۱۱)	(۷۰۰ ۱۲۰۰ ۱۷۰۰)	(۵ ۷ ۹)	(۲ ۳ ۴)
۴-۸	(۴ ۵ ۶)	(۱۰۰۰ ۱۵۰۰ ۲۰۰۰)	(۳ ۵ ۷)	(۳ ۴ ۵)
۶-۱۰	(۳ ۶ ۹)	(۹۰۰ ۲۰۰۰ ۲۵۰۰)	(۵ ۷ ۹)	(۲ ۳ ۴)
۷-۱۰	(۳ ۵ ۷)	(۳۵۰۰ ۴۰۰۰ ۴۵۰۰)	(۵ ۷ ۹)	(۳ ۴ ۵)
۹-۱۰	(۴ ۵ ۶)	(۲۵۰۰ ۳۰۰۰ ۳۵۰۰)	(۵ ۷ ۹)	(۱ ۲ ۳)

۳. تعیین فعالیت‌هایی که در مسیرهایی از پروژه قرار دارند که از فعالیت آغازین پروژه شروع و به فعالیت پایانی آن ختم می‌شوند، و نیز تخصیص مقادیر معیارها به هریک از فعالیت‌ها از نظر تصمیم‌گیرنده (جدول ۴).

۴. تعیین مقادیر کمی برای متغیرهای کلامی (جدول ۵).

۵. تعیین مقادیر معیارها از طریق جمع اعداد فازی مثلثی برای مسیرهایی که از فعالیت آغازین پروژه شروع و به فعالیت پایانی آن ختم می‌شود، و نیز تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری (جدول ۶).

جدول ۶. ماتریس تصمیم‌گیری.

وزن شاخص‌ها	(۹ ۹ ۷)	(۹ ۹ ۷)	(۹ ۷ ۵)	(۹ ۷ ۵)
شاخص‌ها / مسیرها	زمان	هزینه	ریسک	کیفیت
۱-۲-۵-۷-۱۰	(۳۵ ۲۵ ۱۵)	(۹۹۰۰ ۷۹۰۰ ۵۹۰۰)	(۳۰ ۲۲ ۱۴)	(۱۷ ۱۳ ۹)
۱-۳-۶-۱۰	(۲۴ ۱۶ ۸)	(۶۵۰۰ ۵۰۰۰ ۲۹۰۰)	(۱۹ ۱۳ ۷)	(۱۴ ۱۱ ۸)
۱-۳-۵-۷-۱۰	(۳۲ ۲۳ ۱۴)	(۱۰۲۰۰ ۸۲۰۰ ۶۲۰۰)	(۳۰ ۲۲ ۱۴)	(۱۹ ۱۵ ۱۱)
۱-۴-۶-۱۰	(۱۹ ۱۳ ۷)	(۱۰۲۰۰ ۸۷۰۰ ۶۶۰۰)	(۲۱ ۱۵ ۹)	(۱۲ ۹ ۶)
۱-۴-۸-۹-۱۰	(۳۰ ۲۴ ۱۸)	(۹۲۰۰ ۷۲۰۰ ۵۲۰۰)	(۲۸ ۲۰ ۱۲)	(۱۶ ۱۲ ۸)

جدول ۷. ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس.

وزن شاخص‌ها	(۹ ۹ ۷)	(۹ ۹ ۷)	(۹ ۷ ۵)	(۹ ۷ ۵)
شاخص‌ها / مسیرها	زمان	هزینه	ریسک	کیفیت
۱-۲-۵-۷-۱۰	(۰٫۴۷ ۰٫۲۸ ۰٫۲)	(۰٫۴۹ ۰٫۳۷ ۰٫۲۹)	(۰٫۵ ۰٫۳۲ ۰٫۲۳)	(۰٫۸۹ ۰٫۶۸ ۰٫۴۷)
۱-۳-۶-۱۰	(۰٫۸۸ ۰٫۴۴ ۰٫۲۹)	(۱ ۰٫۵۸ ۰٫۴۵)	(۱ ۰٫۵۴ ۰٫۳۷)	(۰٫۷۴ ۰٫۵۸ ۰٫۴۲)
۱-۳-۵-۷-۱۰	(۰٫۵ ۰٫۳ ۰٫۲۲)	(۰٫۴۷ ۰٫۳۵ ۰٫۲۸)	(۰٫۵ ۰٫۳۲ ۰٫۲۳)	(۱ ۰٫۷۹ ۰٫۵۸)
۱-۴-۶-۱۰	(۱ ۰٫۵۴ ۰٫۳۷)	(۰٫۴۴ ۰٫۳۳ ۰٫۲۸)	(۰٫۷۸ ۰٫۴۷ ۰٫۳۳)	(۰٫۶۳ ۰٫۴۷ ۰٫۳۲)
۱-۴-۸-۹-۱۰	(۰٫۳۹ ۰٫۲۹ ۰٫۲۳)	(۰٫۵۶ ۰٫۴ ۰٫۳۲)	(۰٫۵۸ ۰٫۳۵ ۰٫۲۵)	(۰٫۸۴ ۰٫۶۳ ۰٫۴۲)

جدول ۸. ماتریس بی‌مقیاس موزون.

شاخص‌ها / مسیرها	زمان	هزینه	ریسک	کیفیت
۱-۲-۵-۷-۱۰	(۴٫۲۳ ۲٫۵۲ ۱٫۴)	(۴٫۴۱ ۳٫۳۳ ۲٫۰۳)	(۴٫۵ ۲٫۲۴ ۱٫۱۵)	(۸٫۰۱ ۴٫۷۶ ۲٫۳۵)
۱-۳-۶-۱۰	(۷٫۹۲ ۳٫۹۶ ۲٫۰۳)	(۹ ۵٫۲۲ ۳٫۱۵)	(۹ ۳٫۷۸ ۱٫۸۵)	(۶٫۶۶ ۴٫۰۶ ۲٫۱)
۱-۳-۵-۷-۱۰	(۴٫۵ ۲٫۷ ۱٫۵۴)	(۴٫۲۳ ۳٫۱۵ ۱٫۹۶)	(۴٫۵ ۲٫۲۴ ۱٫۱۵)	(۹ ۵٫۵۳ ۲٫۹)
۱-۴-۶-۱۰	(۹ ۴٫۸۶ ۲٫۵۹)	(۳٫۹۶ ۲٫۹۷ ۱٫۹۶)	(۷٫۰۲ ۳٫۲۹ ۱٫۶۵)	(۵٫۶۷ ۳٫۲۹ ۱٫۶)
۱-۴-۸-۹-۱۰	(۳٫۵۱ ۲٫۶۱ ۱٫۶۱)	(۵٫۰۴ ۳٫۶ ۲٫۲۴)	(۵٫۲۲ ۲٫۴۵ ۱٫۲۵)	(۷٫۵۶ ۴٫۴۱ ۲٫۱)

۶. بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری. بی‌مقیاس‌سازی این ماتریس با توجه به جنبه‌ی سود یا هزینه‌یی بودن معیارها با به‌کارگیری روابط ۱ و ۲ محاسبه می‌شود (جدول ۷).

۷. محاسبه‌ی ماتریس بی‌مقیاس موزون. این ماتریس از ضرب ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس‌شده در اوزان شاخص‌ها به دست می‌آید (جدول ۸).

۸. تعیین راه حل ایده‌آل مثبت و راه حل ایده‌آل منفی.

$$A^+ = \{(۹۹۹), (۹۹۹), (۹۹۹), (۹۹۹)\}$$

$$A^- = \{(۱٫۴, ۱٫۴, ۱٫۴), (۱٫۹۶, ۱٫۹۶, ۱٫۹۶), (۱٫۱۵, ۱٫۱۵, ۱٫۱۵), (۱٫۶, ۱٫۶, ۱٫۶)\}$$

جدول ۹. میزان فاصله‌ی هرگزینه از ایده‌آل مثبت با توجه به هر معیار.

شاخص‌ها / فاصله	زمان	هزینه	ریسک	کیفیت
$d(A_۱, A^+)$	۶٫۳۹	۵٫۸۳	۶٫۵۲	۴٫۵۹
$d(A_۲, A^+)$	۵٫۳۲	۴٫۰۲	۵٫۱۱	۵٫۰۸
$d(A_۳, A^+)$	۶٫۲۱	۵٫۹۶	۶٫۵۲	۴٫۰۵
$d(A_۴, A^+)$	۴٫۴۱	۶٫۰۹	۵٫۴۹	۵٫۷۳
$d(A_۵, A^+)$	۶٫۴۷	۵٫۴۹	۶٫۲۵	۴٫۸۵

جدول ۱۰. میزان فاصله‌ی هرگزینه از ایده‌آل منفی با توجه به هر معیار.

شاخص‌ها / فاصله	زمان	هزینه	ریسک	کیفیت
$d(A_1, A^-)$	۱٫۷۶	۱٫۶۲	۳٫۰۵	۴٫۱۵
$d(A_2, A^-)$	۴٫۰۶	۴٫۵۳	۴٫۸	۳٫۲۶
$d(A_3, A^-)$	۱٫۹۴	۱٫۴۸	۲٫۰۳	۴٫۹
$d(A_4, A^-)$	۴٫۸۷	۱٫۲۹	۳٫۶۲	۲٫۵۴
$d(A_5, A^-)$	۱٫۴۱	۲٫۰۲	۲٫۴۷	۳٫۸۲

جدول ۱۱. میزان نزدیکی نسبی.

مسیرها	d_i^+	d_i^-	$d_i^+ + d_i^-$	CL_i
۱-۲-۵-۷-۱۰	۲۳٫۳۳	۱۰٫۵۸	۳۳٫۹۱	۰٫۳۱۲۰
۱-۳-۶-۱۰	۱۹٫۵۶	۱۶٫۶۵	۳۶٫۱۹	۰٫۴۶۰۱
۱-۳-۵-۷-۱۰	۲۲٫۷۴	۱۰٫۳۵	۳۳٫۰۹	۰٫۳۱۲۸
۱-۴-۶-۱۰	۲۱٫۷۲	۱۲٫۳۳	۳۴٫۰۵	۰٫۳۶۲۰
۱-۴-۸-۹-۱۰	۲۳٫۰۷	۹٫۷۱	۳۲٫۷۹	۰٫۲۹۶۲

۹. محاسبه‌ی میزان فاصله‌ی هرگزینه تا ایده‌آل‌های مثبت و منفی (جداول ۹ و ۱۰).

۱۰. تعیین نزدیکی نسبی گزینه‌ها به راه‌حل ایده‌آل. میزان نزدیکی نسبی گزینه‌ها به راه حل ایده‌آل در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

۱۱. رتبه‌بندی گزینه‌ها. هرگزینه‌یی که مقدار CL بزرگ‌تری داشته باشد در رتبه‌بندی گزینه‌ها در سطح بالاتری قرار دارد. با توجه به محاسبات انجام شده در جدول ۱۰ و مشاهده‌ی میزان نزدیکی هرگزینه به راه حل ایده‌آل مسیر ۱۰-۶-۳-۱ دارای بیشترین بحرانیت مسیر است و پس از آن، مسیر ۱۰-۶-۴-۱ به‌لحاظ بحرانی بودن در رتبه‌ی دوم قرار دارد. باید توجه داشت که در انتخاب این مسیر بحرانی علاوه بر عامل زمان از ۳ عامل هزینه، ریسک و کیفیت نیز استفاده شده است. چنانچه بخواهیم تنها عامل زمان را در انتخاب مسیر بحرانی مد نظر قرار دهیم، در این مثال مسیر ۱۰-۷-۵-۲-۱ در اولویت اول و مسیر ۱۰-۹-۸-۴-۱ در اولویت دوم به‌لحاظ بیشترین زمان انجام فعالیت‌های موجود در آن مسیر قرار دارند.

۶. نتیجه‌گیری

در این نوشتار با در نظرگرفتن مطالعات صورت‌گرفته در تعیین مسیر بحرانی یک پروژه، سعی شده با استفاده از روش‌های موجود الگوریتمی ارائه شود که به واقعیت نزدیک‌تر باشد و بحرانیت مسیر را دقیق‌تر محاسبه کند. در واقع با توجه به قطعی‌نبودن بسیاری از اطلاعات، با استفاده از مجموعه اعداد فازی و با در نظرگرفتن سه سطح هزینه، ریسک و کیفیت از سطح‌های ۹گانه‌ی استاندارد مدیریت پروژه، در انتخاب مسیر بحرانی علاوه بر معیار زمان به سه شاخص فوق نیز اهمیت داده شده است. در واقع در این الگوریتم نگاه جامع‌تری به هر کدام از فعالیت‌ها و میزان اهمیت آن‌ها می‌شود. هرچه این شناخت کامل‌تر باشد برنامه‌ریزی دقیق‌تر خواهد بود و با انحراف کم‌تری نسبت به برنامه‌ریزی و هزینه‌ی اختصاص داده شده می‌توان پروژه را با موفقیت به پایان رساند. کاربرد روش‌های کاراتر و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی در انتخاب مسیر بحرانی یک پروژه در محیط فازی به‌عنوان تحقیقات آتی معرفی می‌شود.

پانوشت

1. critical path (CP)
2. technique for order preference by similarity to ideal solution
۳. روابط پیش‌نیازی در شبکه‌یی از فعالیت‌ها به معنی روابط بین فعالیت‌ها از نظر زمانی می‌باشد که این روابط پیش‌نیازی به ۴ نوع: ۱. با اتمام فعالیت A فعالیت B شروع می‌شود (finish to start)؛ ۲. با شروع فعالیت A فعالیت B شروع می‌شود (start to finish)؛ ۳. با شروع فعالیت A، فعالیت B نیز شروع می‌شود (start to start)؛ ۴. با اتمام فعالیت A فعالیت Bنیز اتمام می‌یابد (finish to finish) ؛ تقسیم‌بندی شدند.
4. project management body of knowledge (PMBOK)
5. fuzzy multi attribute decision making (FMADM)
6. program evaluation and review technique
7. ranking function
8. Defuzzification
9. multi criteria decision making
10. linguistic variables

منابع (References)

1. Haj Shirmohammadi, A., *Project Control and Management*, Application of CPM-PERT-GERT-PN methods, Esfahan, Jahad daneshgahi publisher (1385).
2. PMI Standards Committee, *A Gide to the Project Management Body of Knowledge*, 3th Edition, Project Management Institute (1996).
3. Shavandi, H., *Fuzzy Sets Theory and its Application in Industrial Engineering and Management*, Tehran, Gostareshe olome payeh publisher (1385).
4. Atkinson, R. "Project management: Cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, it's time to accept other success criteria", *International Journal of Project Management*, **17**(6), pp. 337-342 (1999).
5. Chen, C.T.; Lin, C.T. and Huang, S.F. "A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in sup-

ply chain management", *Int. J. Production Economics,* (102), pp. 289-301 (2006).

6. Hillier, F.S. and Lieberman, G.J., *Introduction to Operations Research*, Seventh ed., McGraw-Hill, Singapore (2001).
7. Kelley, J.E. "Critical path planning and scheduling mathematical basis", *Oper. Res.,* **9**, pp. 296-320 (1961).
8. Zimmerman, H.J., *Fuzzy Set Theory and its Applications,* 3th Edition, Kluwer Academic Publishers (1996).
9. Krajewski, L.J. and Ritzman, L.P., *Operations Management: Process and Value Chains,* 7th ed., Prentice-Hill, New Jersey (2005).
10. Kurihara, K. and Nishiuchi, N. "Effective Monte Carlo simulation method of GERT-type network for project management", *Computer & Industrial Engineering,* **42**, pp. 521-531 (2002).
11. Regsdale, C. "The current state of network simulation in project management theory and practice", *Omega,* **17**, pp. 21-25 (1989).
12. Shipley, M.F.; Korvin, A. and Omer, K. "BIFPET methodology versus PERT in project management: Fuzzy probability instead of the beta distribution", *Journal of Engineering and Technology Management,* **14**, pp. 46-65 (1997).
13. Zadeh, L.A. "Fuzzy sets as basisfor a theory of possibility", *Fuzzy Sets and Systems*, **1**, pp. 3-28 (1978).
14. Chanas, S. and Kamburoswk, J. "The use of fuzzy variables in PERT", *Fuzzy Sets and Systems,* **5**, pp. 1-9 (1981).
15. Chanas, S. and Zielinski, P. "Critical path analysis in the network with fuzzy activity times", *Fuzzy Sets and Systems,* **122**, pp. 195-204 (2001).
16. Slyeptsov, A.I. and Tyshchuk, T.A. "Fuzzy temporal characteristics of operations for project management on the network models basis", *European Journal of Operational Research,* **147**, pp. 253-265 (2003).
17. Zielinski, P. "On computing the latest starting times and floats of activities in a network with imprecise durations", *Fuzzy Sets and Systems,* **150**, pp. 53-76 (2005).
18. Chen, C.T. and Huang, S.F. "Applying fuzzy method for measuring criticality in project network", *Information Sciences,* **177**, pp. 2448-2458 (2007).
19. Chen, S.P. "Analysis of critical paths in a project network with fuzzy activity times", *European Journal of Operational Research,* **183**, pp. 442-459 (2007).
20. Zammori, F.A.; Braglia, M. and Frosolini, M. "A fuzzy multi-criteria approach for critical path definition", *International Journal of Project Management,* **27**, pp. 278-291 (2009).
21. Liang, G.S. and Han, T.C. "Fuzzy critical path for project network", *Information and Management Sciences,* **15**(4), pp. 29-40 (2004).
22. Ravi Shanker, N.; Sireesha, V. and Phani Bushan Rao, P. "Critical path analysis in the fuzzy project network", *Advances in Fuzzy Mathematics,* **5**(3), pp. 285-294 (2010).
23. Shahsavaripour, N.; Modarres, M.; Aryanejad, B. and Tavakoli Moghadam, R. "Calculating the project network critical path in uncertainty conditions", *International Journal of Engineering and Technology,* **2**(2), pp. 136-140 (2010).
24. Ravi Shanker, N.; Sireesha, V. and Phani Bushan Rao, P. "An analytical method for finding critical path in a fuzzy project network", *International Journal of Contemp, Math, Sciences,* **5**(20), pp. 953-962 (2010).
25. Chanas, S.; Dubois, D. and Zielinski, P. "On the sure criticality of tasks in activity networks with imprecise duration", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B,* **32**, pp. 393-407 (2002).
26. Chanas, S. and Zielinski, P. "The computational complexity of criticality problems in a network with interval activity times", *European Journal of Operational Research,* **136,** pp. 541-550 (2002).
27. Bohrani, R. and Sokhakian, M.A., *A New Model of Determining Critical Path by Using Time, Cost and Risk Criteria*, 4th International Conference of Project management (1387).
28. Kamal, M. and Al-Subhi, A.H. "Application of the AHP to project management", *International Journal of Project Management,* **19**, pp. 19-27 (2001).
29. Cagno, E.; Caron, F. and Perego, A. "Multi-criteria assessment of the probability of winning in the competitive bidding process", *International Journal of Project Management,* **19**, pp. 313-324 (2001).
30. Lin, C.T.; Ying, T.C. and Frosolini, M. "Bid no bid decision making, a fuzzy linguistic approach", *International Journal of Project Management,* **22**, pp. 585-593 (2004).
31. Meade, L.A. and Presley, A. "R&D project selection using ANP", *IEEE Potential,* **21**(2), pp. 22-28 (2002).
32. Mahdi, I. and Alreshaid, K. "Decision support system for select the proper project delivery method using analytical hierarchy process (AHP)", *International Journal of Project Management*, **23**, pp. 567-572 (2005).
33. Hwang, C.L. and Yoon, K., *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer , Berlin Heidelberg (1981).