4th International Conference on Soft Computing
چهارمین کنفرانس بین‌المللی
29 & 30 Dec. 2021
University of Guilan
۸ و ۹ دی‌ماه ۱۴۰۰
دانشگاه گیلان

یک مدل ریاضی چندهدفه فازی برای پاسخ به ریسک‌های اولیه و ثانویه پروژه با توجه به منابع تجدیدپذیر

الهام احمدی[۱]، سید میثم موسوی[۲]، احمد مینائی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران؛ elhamahmadi24875@gmail.com
[۲] دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران؛ sm.mousavi@shahed.ac.ir
[۳] دانشجوی دکترا، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران؛ ahmad.minaei@shahed.ac.ir
* نویسنده مسئول: الهام احمدی

چکیده

ریسک‌ها رویدادهای غیرقطعی هستند که ممکن است در تمام فعالیت‌های پروژه رخ دهند و می‌توانند بر ابعاد مختلف پروژه ازجمله هزینه و زمان اتمام پروژه تأثیرگذار باشند و منجر به شکست پروژه شوند و به همین دلیل است که باید فرآیند مدیریت ریسک به‌طور مناسبی صورت گیرد. در این مقاله یک مدل جدید چند هدفه فازی برای انتخاب مناسب‌ترین مجموعه استراتژی‌های پاسخ به ریسک‌های اولیه و ثانویه پروژه، با در نظر گرفتن منابع تجدیدپذیر، ارائه می‌شود. به‌منظور تبدیل مدل چند هدفه فازی پیشنهادی به یک مدل تک هدفه قطعی، از دو روش خیمنز و همکاران و روش برنامه‌ریزی آرمانی، استفاده می‌شود. در پایان به‌منظور نشان دادن کاربرد و اثربخشی مدل پیشنهادی، یک مثال عددی بیان می‌شود و نتایج به‌دست آمده از حل آن در نرم‌افزار گمز، نشان می‌دهد که استفاده از مدل پیشنهادی به جواب‌های بهتر و مناسب‌تری می‌انجامد.

کلمات کلیدی

مدیریت ریسک، پاسخ به ریسک، ریسک ثانویه، عدم قطعیت فازی، برنامه‌ریزی آرمانی

A multi-objective fuzzy mathematical model to respond to the primary and secondary risks of the project with respect to renewable resources

Elham Ahmadi[1], Seyed Meysam Mousavi[2], Ahmad Minaei[3]

[1] M.Sc. Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran; elhamahmadi24875@gmail.com
[2] Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran; sm.mousavi@shahed.ac.ir
[3] Ph.D. Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran; ahmad.minaei@shahed.ac.ir
*Corresponding author: Elham Ahmadi

Abstract

Risks are uncertain events that might occur during all project activities and can affect various aspects of the project, including cost and project completion time, and ultimately lead to project failure, which is why the risk management process must be done properly. In this paper, a new multi-objective fuzzy model is proposed to select the most appropriate set of primary and secondary risk response strategies of the project along with considering renewable resources. To develop the proposed fuzzy multi-objective model into a crisp single-objective model, the Jimenez method and the goal programming method are used. Finally, to show the application and effectiveness of the proposed model, a numerical example is given, and the results obtained from solving it in GAMS software indicate that the application of the proposed model leads to better and more appropriate solutions.

Keywords

Risk Management, Risk Response, Secondary Risk, Fuzzy Uncertainty, Goal Programming

۱- مقدمه

اکثر پروژه‌ها به دلایلی همچون عوامل خارجی، پیچیدگی‌های فنی، تغییر در اهداف و دامنه‌ها و مدیریت ضعیف، در معرض ریسک و عدم قطعیت هستند [۱]. ریسک‌ها رویدادهای غیرقطعی هستند که در صورت وقوع می‌توانند تأثیرات منفی یا مثبتی بر روی معیارهایی مانند زمان اتمام پروژه و هزینه آن بگذارند [۲]. تعیین مجموعه مناسب اقدامات پاسخ به ریسک‌ها، بخش مهمی از مدیریت ریسک پروژه است و امری مهم برای موفقیت پروژه به‌حساب می‌آید [۳]، بنابراین، مدیریت ریسک یکی از مسائل مهم در فرآیند مدیریت پروژه است. به‌طورکلی مدیریت ریسک شامل سه مرحله شناسایی ریسک، ارزیابی ریسک و پاسخ به ریسک است [۴]. در مرحله شناسایی، ریسک‌های احتمالی شناسایی و ثبت می‌شوند؛ سپس در مرحله ارزیابی ریسک، ریسک‌های شناسایی‌شده در مرحله قبل، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند و احتمالات و تأثیرات مرتبط با آن‌ها تخمین زده می‌شود. در مرحله پاسخ به ریسک، به‌منظور کاهش احتمال بروز ریسک و یا کاهش اثرات منفی آن‌ها به یک سطح قابل‌قبول، اقدامات پاسخ به ریسک شناسایی، ارزیابی، انتخاب و اجرا می‌شوند [۵]. درصورتی‌که مرحله پاسخ به ریسک به‌درستی انجام نگیرد باعث کاهش اثر دو مرحله شناسایی و ارزیابی ریسک نیز می‌شود [۶]. جلوگیری از ریسک، انتقال ریسک، کاهش ریسک و پذیرش ریسک، چهار استراتژی هستند که معمولاً در مرحله پاسخ به ریسک برای مقابله با ریسک‌ها استفاده می‌شوند [۲]. با اهداف متفاوت، این چهار استراتژی پاسخ به ریسک، با توجه به شدت ریسک‌ها، در دسترس بودن منابع و دیگر عوامل مرتبط با اهداف پروژه، مطابق با شرایط، توسط مدیران پروژه انتخاب می‌شوند [۳]. در این مقاله، ریسک‌های پروژه، با توجه به تعاریف و منشأ آن‌ها، به دو دسته ریسک‌های اولیه و ریسک‌های ثانویه، طبقه‌بندی می‌شوند.

انتخاب اقدامات پاسخ به ریسک، از جنبه‌های متفاوتی مورد توجه قرارگرفته است [۷]. با توجه به طبقه‌بندی ارائه شده توسط ژانگ و فن [۸]، رویکرد مبتنی بر منطقه[1] رویکرد مبتنی بر مبادله[2] رویکرد مبتنی بر ساختار شکست کار[3] و رویکرد مبتنی بر مدل بهینه‌سازی[4] به‌عنوان چهار روش اصلی برای استفاده در مورد تجزیه و تحلیل و تعیین اقدامات پاسخ به ریسک، در نظرگرفته شده‌اند. از بین این روش‌ها، روش بهینه‌سازی بیشترین ارتباط را با این پژوهش دارد؛ بنابراین، در ادامه تعدادی از مطالعات در ارتباط با این رویکرد ارائه می‌شود.

برای انتخاب اقدامات پاسخ به ریسک مناسب تحت بودجه محدود برای پروژه‌های بزرگ مهندسی، در مطالعه فانگ و همکاران [۹]، یک مدل ریاضی معرفی می‌شود که در تابع هدف آن، ضرر مورد انتظار ریسک پس از اجرای اقدامات پاسخ به ریسک به حداقل می‌رسد و از الگوریتم ژنتیک[5] برای حل مدل استفاده می‌شود. در مطالعه ژانگ و فن [۸]، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ارائه‌شده است که می‌تواند با در نظر گرفتن بودجه و زمان اتمام پروژه به‌طور هم‌زمان، اثرات پاسخ به ریسک را به حداکثر برساند. برای این منظور از یک فرآیند تکراری استفاده می‌شود تا بین سه عامل هزینه، برنامه و کیفیت، مبادله برقرار شود و در صورت دستیابی به رضایت مدیران، این فرآیند تکراری به پایان می‌رسد. در مطالعه سوفی‌فرد و خاکزار [۱۰]، یک مدل چند هدفه فازی برای حل مسئله‌ی انتخاب استراتژی پاسخ ریسک ارائه‌شده است. این مدل با هدف به حداکثر رساندن اثرات پاسخ به ریسک‌ها و نیز مجموع اثرات هم‌افزایی برای هر ریسک، در هر معیار ارزیابی و تحت محدودیت‌هایی مانند محدودیت‌های مربوط به زمان، هزینه و کیفیت ساخته‌شده است. این مطالعه همچنین رابطه بین پاسخ‌ها را در طول اجرا مدنظر قرارداده است. کاهش در زمان و کیفیت به‌وسیله‌ی اجرای هر یک از پاسخ‌ها در فعالیت‌ها به‌صورت فازی در نظر گرفته‌شده و از روش زیمرمن[6] برای حل مسئله استفاده‌شده است. در مطالعه دیگری از سوفی‌فرد و خاکزار [۱۱]، یک مدل بهینه‌سازی عدد صحیح خطی به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین پاسخ به ریسک‌ها برای ریسک‌های پروژه ارائه‌شده و برای این منظور، رابطه بین پاسخ به ریسک‌ها نیز مدنظر قرارگرفته است. تابع هدف این مدل قادر است معیارهای مختلف را در نظر بگیرد و بهینه‌سازی کند. این مدل، محدودیت‌های مربوط به بودجه، زمان، کیفیت و رابطه بین پاسخ‌های مختلف را شامل می‌شود و از روش اپسیلون محدودیت[7] برای حل مشکل چند هدفه بودن مدل استفاده می‌کند.

در مطالعه‌ی چیمن [۱۲]، مفهوم ریسک ثانویه برای اولین بار در مدیریت ریسک پروژه معرفی‌شده است. در روش ارائه‌شده در این مطالعه به شناسایی فعالیت‌ها، ریسک‌های اولیه و ثانویه و اقدامات پاسخ به ریسک مربوط به آن‌ها و ریسک‌های عمده و جزئی، پرداخته‌شده است؛ اما در این مطالعه، محدودیت‌های منابع در نظر گرفته نشده است که این مورد در عمل می‌تواند به انتخاب اقدامات پاسخ به ریسک غیرقابل اجرا منجر شود. در مطالعه بن دیوید و راز [۱۳]، یک رویکرد بهینه‌سازی برای تعیین مجموعه مناسب از اقدامات پاسخ به ریسک‌های اولیه معرفی‌شده است که در آن،

1 Zonal-based Approach
2 Trade-off Approach
3 WBS-based Approach
4 Optimization-model Approach
5 Genetic Algorithm (GA)
6 Zimmerman
7 Epsilon Constraint Method

ضرر مورد انتظار ریسک ثانویه به‌عنوان هزینه اضافی برای اقدامات پاسخ به ریسک‌های اولیه مدنظر قرار می‌گیرد. در این مدل، کل هزینه ریسک با توجه به بودجه محدود برای پاسخ به ریسک به حداقل می‌رسد. در مطالعه ژو و ژانگ [۳]، ریسک ثانویه در فرآیند انتخاب اقدامات پاسخ به ریسک مدنظر قرارگرفته است .تابع هدف این مدل، مجموع کل هزینه‌های ناشی از ریسک‌های اولیه و ثانویه و همچنین هزینه‌های فشردگی فعالیت‌ها را تحت محدودیت‌هایی ازجمله محدودیت زمان اتمام پروژه، به حداقل می‌رساند. با حل این مدل، یک مجموعه بهینه از اقدامات پاسخ به ریسک اولیه و ثانویه، به همراه زودترین زمان شروع هر فعالیت به‌دست می‌آید. در مطالعه معتمد و بامداد [۱۴]، با هدف ارزیابی تأثیر ریسک‌ها بر زمان، هزینه و کیفیت پروژه و همچنین پاسخگویی مناسب به ریسک‌های اولیه و ثانویه پروژه با توجه به ریسک‌های زیست‌محیطی پروژه‌ها، یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی ارائه‌شده است که با حل این مدل، می‌توان مجموعه بهینه اقدامات پاسخ به ریسک را به‌دست آورد.

در این مقاله، یک مدل جدید برنامه‌ریزی چند هدفه فازی با هدف پاسخ‌گویی به ریسک‌های اولیه و ثانویه پروژه ارائه‌شده است که در آن مواردی ازجمله، تمرکز بر ریسک‌های اولیه و ثانویه، در نظرگرفتن منابع تجدیدپذیر و توجه به عدم قطعیت‌های فازی، به‌طور هم‌زمان برای اولین بار در نظر گرفته‌شده است. توابع هدف مدل به حداقل رساندن هزینه‌ها و زمان اتمام پروژه است و محدودیت‌ها نیز معیارهایی مانند روابط پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها، ملاحظات منابع تجدیدپذیر و دیگر روابط موردنیاز را شامل می‌شوند. رویکرد حل پیشنهادی در این پژوهش، شامل دو مرحله است؛ در مرحله اول، با استفاده از روش ارائه‌شده توسط خیمنز و همکاران [۱۵]، مدل چند هدفه فازی پیشنهادی، به مدل قطعی کمکی معادل تبدیل می‌شود؛ سپس در مرحله دوم، مدل قطعی چند هدفه به‌دست آمده، با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی، به یک مدل تک هدفه تبدیل می‌شود.

ساختار مطالب باقیمانده در این مقاله به‌صورت زیر تنظیم‌شده است: در بخش بعدی، مدل برنامه‌ریزی چند هدفه فازی برای انتخاب اقدامات پاسخ به ریسک ارائه‌شده است. در بخش سوم، به‌منظور نشان دادن کاربرد و اثربخشی مدل پیشنهادی، از یک مثال عددی استفاده‌شده و درنهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی در بخش چهارم ارائه‌شده است.

۲- روش‌شناسی

مدیران پروژه در اکثر مواقع، با مسئله تجزیه و تحلیل مبادله بین هزینه و زمان اتمام پروژه، مواجه هستند. مدل برنامه‌ریزی چند هدفه فازی ارائه‌شده در این مقاله، به مسئله انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک‌های اولیه و ثانویه، با هدف به حداقل رساندن هزینه و زمان اتمام پروژه، کمک می‌کند. از سویی دیگر، با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات و یا ناقص و ناکامل بودن آن‌ها در مسائل دنیای واقعی و در نتیجه عدم توانایی در تخمین دقیق مقدار عددی داده‌ها، در مدل‌سازی مسئله، پارامترهای مرتبط با زمان که ازجمله مهم‌ترین پارامترها در زمینه عدم قطعیت در ادبیات موضوع به شمار می‌آیند، با عدم قطعیت همراه هستند. رویکرد مواجهه با عدم قطعیت‌های این مسئله، از بین روش‌های گوناگونی که می‌توان برای مواجهه با آن در نظر گرفت، اعداد فازی مثلثی می‌باشد. در ادامه این بخش، مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مورد استفاده در مدل و همچنین مدل چند هدفه فازی پیشنهادی به‌منظور پاسخگویی به ریسک‌های اولیه و ثانویه، ارائه‌شده است.

- **مجموعه‌های مدل:**

N مجموعه‌ای از فعالیت‌های پروژه
T مجموعه‌ای از دوره‌های زمانی
E مجموعه‌ای از منابع تجدیدپذیر
R^i مجموعه‌ای از ریسک‌های فعالیت i
A^i مجموعه‌ای از پاسخ به ریسک‌های فعالیت A^i

- **پارامترهای مدل:**

θ_{et} هزینه استفاده از منابع تجدید پذیر نوع e در هر دوره t
es_i زودترین زمان شروع فعالیت i
ls_i دیرترین زمان شروع فعالیت i
C_i^{crash} هزینه فشردگی فعالیت i
d_i زمان نرمال فعالیت i
dc_i حداقل زمان فعالیت i
Q_{il}^{time} میزان افزایش زمان در فعالیت i ناشی از ریسک اولیه l

e_{ilk}^{time} میزان بهبود در زمان در فعالیت i ناشی از ریسک اولیه l در اثر پاسخ به ریسک اولیه k

Q_{ilk}^{stime} میزان افزایش زمان در فعالیت i ناشی از ریسک ثانویه l در اثر پاسخ به ریسک اولیه k

e_{ilk}^{stime} میزان بهبود در زمان در فعالیت i ناشی از ریسک ثانویه l در اثر پاسخ به ریسک ثانویه k

Q_{iel}^{renew} میزان ضرر در منبع تجدید پذیر نوع e در فعالیت i ناشی از ریسک اولیه l

e_{ielk}^{renew} میزان بهبود در منبع تجدید پذیر نوع e در فعالیت i ناشی از ریسک اولیه l در نتیجه پاسخ به ریسک اولیه k

Q_{ielk}^{srenew} میزان ضرر در منبع تجدید پذیر نوع e در فعالیت i ناشی از ریسک ثانویه l در نتیجه پاسخ به ریسک اولیه k

e_{ielk}^{srenew} میزان بهبود در منبع تجدید پذیر نوع e در فعالیت i ناشی از ریسک ثانویه l در نتیجه پاسخ به ریسک ثانویه k

- **متغیرهای مدل:**

α_{et}^{*} میزان منابع تجدیدپذیر نوع e مصرفی در زمان t در نتیجه وقوع ریسک‌ها

X_{it} برابر ۱ است اگر فعالیت i در زمان t انجام شود؛ در غیر این صورت برابر ۰ است.

Y_{ilkt}^{time} برابر ۱ است اگر پاسخ به ریسک k مربوط به ریسک اولیه l در فعالیت i در زمان t انجام شود؛ در غیر این صورت برابر ۰ است.

Y_{ilkt}^{stime} برابر ۱ است اگر پاسخ به ریسک k مربوط به ریسک ثانویه l در فعالیت i در زمان t انجام شود؛ در غیر این صورت برابر ۰ است.

d_{it}^{risk} میزان تأخیر ناشی از وقوع ریسک‌های اولیه و ثانویه در فعالیت i در زمان t

S_{it} مدت زمان اجرای فعالیت i در زمان t

SX_{it} مدت زمان فشردگی فعالیت i در زمان t

- **مدل ریاضی فازی:**

$$Min\ Z1 = \sum_{t}\sum_{e} \alpha_{et}^{*}.\theta_{et} + \sum_{t\in T}\sum_{i\in N} C_i^{crash} SX_{it} \qquad (۱)$$

$$Min\ Z2 = \sum_{t=es_{N+1}}^{ls_{N+1}} t.X_{N+1t} \qquad (۲)$$

subject to:

$$\sum_{t=es_i}^{ls_i} X_{it} = 1 \qquad ;\forall i \in N \qquad (۳)$$

$$\sum_{t=es_j}^{ls_j} t.X_{jt} \geq \sum_{t=es_i}^{ls_i} (t+\tilde{d}_i).X_{it} + d_{it}^{risk} - SX_{it} \qquad ;\forall (i,j) \in P \qquad (۴)$$

$$S_{it} \leq \tilde{d}_i.X_{it} \qquad ;\forall i \in N, t \in T \qquad (۵)$$

$$\widetilde{dc}_i.X_{it} \leq S_{it} \qquad ;\forall i \in N, t \in T \qquad (۶)$$

$$SX_{it} = \tilde{d}_i.X_{it} - S_{it} \qquad ;\forall i \in N, t \in T \qquad (۷)$$

$$SX_{it} \leq MM.X_{it} \qquad ;\forall i \in N, t \in T \qquad (۸)$$

$$d_{it}^{risk} = \sum_{l\in R^i} \tilde{Q}_{il}^{time}.X_{imt} - \sum_{l\in R^i}\sum_{k\in A^i} \tilde{e}_{ilk}^{time}.Y_{ilkt}^{time} + \sum_{l\in R^i}\sum_{k\in A^i} \tilde{Q}_{ilk}^{stime}.Y_{ilkt}^{time} - \sum_{l\in R^i}\sum_{k\in A^i} \tilde{e}_{ilk}^{stime}.Y_{ilkt}^{stime} \qquad ;\forall i \in N, t \in T \qquad (۹)$$

$$\sum_{i\in N}\sum_{\rho=\max(t-d_{im}+1,es_i)}^{\min(t,ls_i)}\left(\sum_{l\in R^i}Q_{iel}^{\text{renew}}.X_{i\rho}-\sum_{l\in R^i}\sum_{k\in A^i}e_{ielk}^{\text{renew}}.Y_{ilk\rho}^{time}+\sum_{l\in R^i}\sum_{k\in A^i}Q_{ielk}^{\text{srenew}}.Y_{ilk\rho}^{\ time}-\sum_{l\in R^i}\sum_{k\in A^i}e_{ielk}^{\text{srenew}}.Y_{ilk\rho}^{stime}\right)\le\alpha_{et}^{*} \quad ;\forall e\in E,t\in T \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{l\in R^i}\tilde{Q}_{il}^{time}-\sum_{l\in R^i}\sum_{k\in A^i}\tilde{e}_{ilk}^{time}.Y_{ilkt}^{time}\ge\sum_{l\in R^i}\sum_{k\in A^i}\tilde{Q}_{ilk}^{stime}.Y_{ilkt}^{time}-\sum_{l\in R^i}\sum_{k\in A^i}\tilde{e}_{ilk}^{stime}.Y_{ilkt}^{stime} \quad ;\forall i\in N \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{l\in R^i}Q_{iel}^{\text{renew}}-\sum_{l\in R^i}\sum_{k\in A^i}e_{ielk}^{\text{renew}}.Y_{ilkt}^{time}\ge\sum_{l\in R^i}\sum_{k\in A^i}Q_{ielk}^{\text{srenew}}.Y_{ilkt}^{\ time}-\sum_{l\in R^i}\sum_{k\in A^i}e_{ielk}^{\text{srenew}}.Y_{ilkt}^{stime} \quad ;\forall i\in N,e\in E \qquad (۱۲)$$

$$Y_{ilkt}^{stime}\le Y_{ilkt}^{time} \quad ;\forall i\in N,l\in R^i,k\in A^i,t\in T \qquad (۱۳)$$

$$Y_{ilkt}^{time}\le X_{it} \quad ;\forall i\in N,l\in R^i,k\in A^i,t\in T \qquad (۱۴)$$

$$d_{it}^{risk}\le MM.X_{it} \quad ;\forall i\in N,t\in T \qquad (۱۵)$$

$$X_{it},Y_{ilkt}^{time},Y_{ilkt}^{stime}\in\{0,1\} \quad ;\forall i\in N,l\in R^i,k\in A^i,t\in T \qquad (۱۶)$$

$$s_{it},d_{it}^{risk},sx_{it},\alpha_{et}^{*}\ge 0 \quad ;\forall i\in N,e\in E,t\in T \qquad (۱۷)$$

اولین تابع هدف (۱) به‌منظور کاهش هزینه‌های پروژه است که در بخش اول آن، مجموع کل هزینه‌های منابع تجدیدپذیر مصرفی و در بخش دوم آن، هزینه‌های ناشی از فشرده‌سازی فعالیت‌ها بیان‌شده است. تابع هدف دوم (۲) این مدل به‌منظور به حداقل رساندن زمان پایان پروژه بیان‌شده است. محدودیت (۳) نحوه تخصیص فعالیت‌ها به حالت‌های مختلف و زمان‌های مختلف را بیان می‌کند. محدودیت (۴) ترتیب توالی فعالیت‌ها را بیان می‌کند؛ به این صورت که باید مجموع زمان شروع و زمان انجام فعالیت پیشین با مجموع زمان تأخیری که در اثر وقوع ریسک‌ها در آن فعالیت‌ها به وجود می‌آید، منهای زمان فشردگی آن‌ها، از زمان شروع فعالیت‌های پسین کمتر باشد. محدودیت‌های (۵) و (۶) بیان می‌کنند که مدت زمان انجام فعالیت باید بین زمان نرمال و حداقل زمان ممکن برای انجام آن فعالیت باشد. محدودیت (۷) میزان فشردگی فعالیت‌ها را نشان می‌دهد. محدودیت (۸) مشخص می‌کند که در صورت انجام فعالیت، امکان فشردگی آن وجود دارد. محدودیت (۹) مجموع تأخیر ناشی از وقوع ریسک‌های اولیه و ثانویه در فعالیت‌ها را ارائه می‌دهد. محدودیت شماره (۱۰) نیز محدودیت در استفاده از منابع تجدیدپذیر را بیان می‌کند. محدودیت (۱۱) و (۱۲) به ترتیب بیان می‌کنند که مجموع تأخیرهای زمانی و ضرر در منابع تجدیدپذیر ناشی از ریسک‌های اولیه پس از پاسخ به آن‌ها، باید از مجموع کل اثرات باقی‌مانده ناشی از ریسک‌های ثانویه پس از پاسخ به آن‌ها بیشتر باشد. محدودیت (۱۳) بیان می‌کند که درصورتی‌که پاسخ به ریسک اولیه اتفاق بیافتد، پاسخ به ریسک ثانویه نیز می‌تواند اتفاق بیافتد. محدودیت (۱۴) و (۱۵) به ترتیب نشان می‌دهند که در صورت اجرای فعالیت در یک زمان مشخص، امکان اجرای پاسخ به ریسک‌های اولیه و ایجاد تأخیر ناشی از وقوع ریسک‌های اولیه و ثانویه مرتبط با آن نیز وجود دارد و در آخر، محدودیت‌های (۱۶) و (۱۷) نوع متغیرهای تصمیم موجود در مدل را نشان می‌دهند.

۲-۱- رویکرد حل فازی

در مرحله اول از رویکرد حل پیشنهادی، مدل ریاضی فازی پیشنهادی با استفاده از روش خیمنز و همکاران [۱۵] به مدل قطعی کمکی معادل تبدیل می‌شود. در این مقاله، پارامترهای مرتبط با زمان یعنی زمان نرمال و حداقل زمان ممکن برای انجام فعالیت‌ها، تأخیرهای ناشی از ریسک‌های اولیه و ثانویه و بهبودهای ایجادشده در زمان ناشی از پاسخ ریسک‌های اولیه و ثانویه، به‌صورت اعداد فازی مثلثی به فرم $a=(a^p,a^m,a^o)$ در نظر گرفته‌شده‌اند که تابع عضویت این اعداد فازی به‌صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu_{\tilde{a}}(x)=\begin{cases} f_a(x)=\dfrac{x-a_p}{a_m-a_p} & if\ a_p\le x\le a_m \\ 1 & if\ x=a_m \\ g_a(x)=\dfrac{a_o-x}{a_o-a_m} & if\ a_m\le x\le a_o \\ 0 & if\ x\le a_p\ or\ x\ge a_o \end{cases} \quad (۱۹)$$

اگر در مدل برنامه‌ریزی ریاضی زیر، همه پارامترها به‌عنوان اعداد فازی مثلثی تعریف شده باشند:

$$\begin{aligned} &\min z=\ \tilde{C}^t x \\ &\text{subject to} \\ &\tilde{a}_i x\ge \tilde{b}_i \quad \forall(i=1,2,\dots,l) \\ &\tilde{a}_i x=\tilde{b}_i \quad \forall(i=l+1,l+2,\dots,m) \\ &x\ge 0 \end{aligned} \quad (۲۰)$$

آنگاه مدل قطعی کمکی معادل را می‌توان با استفاده از روش خیمنز و همکاران [۱۵] به طریق زیر به‌دست آورد:

$$\begin{aligned} &\min z=EV(\tilde{C})x \\ &\text{subject to:} \\ &\left[(1-\alpha)E_2^{a_i}+\alpha E_1^{a_i}\right]x\ge \alpha E_2^{b_i}+(1-\alpha)E_1^{b_i} \quad \forall(i=1,2,\dots,l) \\ &\left[\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)E_2^{a_i}+\frac{\alpha}{2}E_1^{a_i}\right]x\ge \frac{\alpha}{2}E_2^{b_i}+\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)E_1^{b_i} \quad \forall(i=l+1,l+2,\dots,m) \\ &\left[\frac{\alpha}{2}E_2^{a_i}+\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)E_1^{a_i}\right]x\le \left(1-\frac{\alpha}{2}\right)E_2^{b_i}+\frac{\alpha}{2}E_1^{b_i} \quad \forall(i=l+1,l+2,\dots,m) \end{aligned} \quad (۲۱)$$

که در آن مقادیر $EV(\tilde{C})$، $E_1^{a_i}$، $E_2^{a_i}$، $E_1^{b_i}$ و $E_2^{b_i}$ با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$EV(\tilde{C})=\frac{c_p+2c_m+c_o}{4}, \quad (۲۲)$$

$$E_1^a=\frac{1}{2}(a_p+a_m), \quad (۲۳)$$

$$E_2^a=\frac{1}{2}(a_m+a_o), \quad (۲۴)$$

$$E_1^b=\frac{1}{2}(b_p+b_m), \quad (۲۵)$$

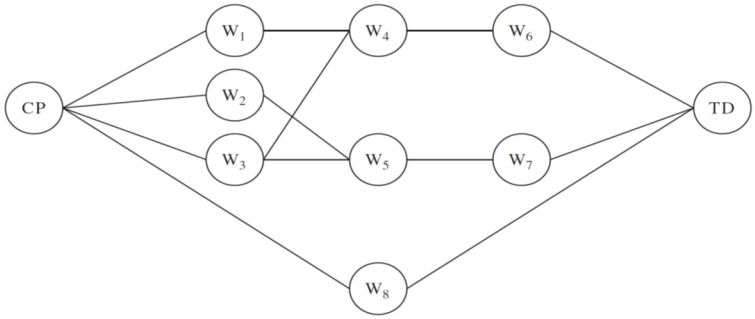
$$E_2^b=\frac{1}{2}(b_m+b_o); \quad (۲۶)$$

بنابراین در مرحله اول، می‌توان با استفاده از روابط بالا، مدل فازی اولیه را به مدل قطعی کمکی معادل تبدیل کرد. سپس در مرحله دوم از رویکرد حل پیشنهادی، با توجه به اینکه مدل قطعی چند هدفه به‌دست‌آمده از روش خیمنز و همکاران [۱۵]، دارای دو نوع تابع هدف متفاوت از دو جنس زمان و هزینه است و به‌سادگی نمی‌توان این توابع را با یکدیگر جمع کرد، از روش برنامه‌ریزی آرمانی ارائه شده توسط چارنز و کوپر [۱۶] برای یافتن جواب مناسب استفاده می‌شود.

۳- مثال عددی

در این بخش به‌منظور ارزیابی و نشان دادن کاربرد مدل پیشنهادی در بخش قبل، یک مثال عددی برگرفته و تغییریافته از مطالعه ژانگ و فن [۸]، ارائه‌شده است. این پروژه از ۸ فعالیت اصلی تشکیل‌شده است که در شکل ۱ شبکه گره‌ای مربوط به آن مشخص‌شده که در آن دو فعالیت CP

و *TD*، فعالیت‌های مجازی در نظر گرفته‌شده‌اند. لازم به ذکر است که مقداردهی به آن دسته از پارامترهایی که با توجه به نوآوری‌های مدل به مسئله اضافه شده، به‌صورت تصادفی صورت گرفته است. مقادیر برخی از پارامترهای مدل در جداول ۱ و ۲ ارائه‌شده است.



شکل ۱. نمودار پیش‌نیازی بین فعالیت‌های پروژه در مطالعه ژانگ و فن (۲۰۱۴)

جدول ۱. برخی از داده‌های مربوط به ریسک‌های اولیه

نام فعالیت	ریسک اولیه	میزان ضرر ناشی از ریسک در منابع تجدیدپذیر		ضرر هزینه ناشی از ریسک اولیه	پاسخ به ریسک اولیه	میزان بهبود ناشی از پاسخ ریسک در منابع تجدیدپذیر		بهبود هزینه ناشی از پاسخ ریسک اولیه
		نوع ۱	نوع ۲			نوع ۱	نوع ۲	
W2	R1	۴	۵	۰/۴	A1	۳	۴	۰/۳
W3	R1	۳	۴	۰/۳	A1	۲	۳	۰/۲
W4	R1	۳	۲	۰/۳	A1	۲	۱	۰/۲
W5	R3	۵	۴	۰/۴	A3	۴	۳	۰/۳
	R4	۵	۶	۰/۳	A4	۴	۵	۰/۲
W6	R4	۳	۴	۰/۷	A4	۲	۳	۰/۳
W7	R2	۴	۳	۰/۴	A2	۳	۲	۰/۳
W8	R5	۳	۲	۰/۳	A5	۲	۱	۰/۲
W9	R1	۴	۵	۰/۸	A1	۳	۴	۰/۵

جدول ۲. برخی از داده‌های مربوط به ریسک‌های ثانویه

نام فعالیت	پاسخ ریسک اولیه	ریسک ثانویه	میزان ضرر ناشی از ریسک در منابع تجدیدپذیر		ضرر هزینه ناشی از ریسک ثانویه	پاسخ به ریسک ثانویه	میزان بهبود ناشی از پاسخ ریسک در منابع تجدیدپذیر		بهبود هزینه ناشی از پاسخ ریسک ثانویه
			نوع ۱	نوع ۲			نوع ۱	نوع ۲	
W2	A1	R'1	۳	۴	۰/۳	A'1	۲	۳	۰/۲۵
W5	A3	R'2	۴	۳	۰/۲	A'2	۳	۲	۰/۱۵
W8	A5	R'3	۲	۳	۰/۳	A'3	۱	۲	۰/۲
W9	A1	R'1	۳	۴	۰/۵	A'1	۲	۲	۰/۴

۳-۱- نتایج محاسباتی

در این بخش نتایج حاصل از حل مدل چند هدفه فازی با استفاده از رویکرد حل دو مرحله‌ای پیشنهادی و با استفاده از نرم‌افزار *GAMS 24.8.2*، در دو حالت توجه و عدم توجه به ریسک‌های ثانویه و به‌طور نمونه در سطح آلفای ۰/۵، در جداول ۳ و ۴ گزارش‌شده است. همان‌طور که از نتایج جدول ۳ مشخص است، زمانی که ریسک‌های ثانویه در نظر گرفته می‌شوند، ممکن است در برخی از موارد، اثرات منفی ناشی از ریسک‌های ثانویه به حدی شدید باشد که از اجرای آن اقدام پاسخ به ریسک اولیه که منجر به این ریسک ثانویه شده است، خودداری شود. مقایسه مقادیر توابع

هدف در جدول ۴، در حالت توجه و عدم توجه به ریسک‌های ثانویه مشخص می‌کند که مقادیر زمان اتمام پروژه و هزینه پروژه، با در نظر گرفتن ریسک‌های ثانویه، بهینه‌تر از حالتی است که ریسک‌های ثانویه در نظر گرفته نمی‌شوند؛ چراکه عدم توجه به ریسک‌های ثانویه و عدم برنامه‌ریزی مناسب برای پاسخگویی به ریسک‌های ثانویه ایجادشده در اثر پاسخ به ریسک‌های اولیه، می‌تواند منجر به ایجاد ضررهای بیشتری شود؛ بنابراین، توجه به ریسک‌های ثانویه این امکان را به مدیران پروژه می‌دهد که اهمیت در نظر گرفتن ریسک‌های ثانویه را بر انتخاب مجموعه بهینه اقدامات پاسخ به ریسک‌های پروژه، بهتر درک کنند. از سویی دیگر، با توجه به اینکه برای مواجهه با عدم قطعیت‌های مسئله، از اعداد فازی مثلثی استفاده‌شده است، به‌منظور بررسی اثرات توجه به شرایط عدم قطعیت فازی در مدل، مقادیر توابع هدف حاصل از حل مدل در دو حالت قطعیت و عدم قطعیت فازی، در جدول ۵ نمایش داده‌شده و طبق نتایج به‌دست آمده مشخص است که توجه به شرایط عدم قطعیت فازی، منجر به بهینه‌تر شدن تابع هدف زمان اتمام پروژه شده است.

جدول ۳. مجموعه بهینه پاسخ به ریسک‌های پروژه در آلفای مبنای "۰/۵"

نام فعالیت	در نظر نگرفتن ریسک ثانویه		در نظر گرفتن ریسک ثانویه			
	ریسک اولیه کاهش‌یافته	پاسخ به ریسک اولیه	ریسک اولیه کاهش‌یافته	پاسخ به ریسک اولیه	ریسک ثانویه کاهش‌یافته	پاسخ به ریسک ثانویه
W2	R1	A1	R1	A1	R'1	A'1
W3	R1	A1	R1	A1	-	-
W4	R1	A1	R1	A1	-	-
W5	R3	A3	R3	A3	R'2	A'2
	R4	A4	R4	A4	-	-
W6	R4	A4	R4	A4	-	-
W7	R2	A2	R2	A2	-	-
W8	R5	A5	-	-	-	-
W9	R1	A1	-	-	-	-

جدول ۴. مقادیر توابع هدف در دو حالت توجه و عدم توجه به ریسک‌های ثانویه در آلفای مبنای "۰/۵"

توابع هدف	در نظر نگرفتن ریسک ثانویه	در نظر گرفتن ریسک ثانویه
تابع هدف هزینه	۸۴/۲۴	۵۹/۹۴
تابع هدف زمان	۴۴	۳۹

جدول ۵. مقادیر توابع هدف در دو حالت قطعیت و عدم قطعیت فازی

توابع هدف	مقدار توابع هدف در حالت قطعیت	مقدار توابع هدف در حالت عدم قطعیت فازی در سطح آلفای ۰/۵
تابع هدف هزینه	۵۹/۹۴	۵۹/۹۴
تابع هدف زمان	۴۱	۳۹

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با توجه به اهمیت و ضرورت مسئله پاسخ‌گویی مناسب به ریسک‌های موجود در پروژه و همچنین شکاف‌های تحقیقاتی موجود در ادبیات موضوع، یک مدل ریاضی جدید چند هدفه فازی، برای پاسخگویی به ریسک‌های اولیه و ثانویه پروژه، پیشنهادشده است. به‌منظور بررسی کارایی مدل ارائه‌شده، یک مطالعه موردی صورت گرفته و نتایج حاصل از آن نیز ارائه‌شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که توجه به ریسک‌های ثانویه می‌تواند بر روی مجموعه بهینه اقدامات پاسخ به ریسک و نیز مقادیر زمان اتمام پروژه و هزینه پروژه، تأثیر بگذارد و به جواب‌های بهینه‌تری منجر شود. از طرفی دیگر، با مقایسه مقادیر توابع هدف در دو حالت قطعی و غیرقطعی، می‌توان دریافت که توجه به عدم قطعیت‌های موجود در مسئله، می‌تواند مقادیر بهینه‌تری را برای توابع هدف نتیجه دهد. در نظر گرفتن وابستگی‌های متقابل بین ریسک‌ها، در نظر گرفتن هم‌زمان ریسک‌های مثبت و منفی در پروژه و توسعه مدل پیشنهادی در محیط چند پروژه‌ای، ازجمله پیشنهادهایی هستند که می‌توان برای توسعه مطالعات آتی مدنظر قرار داد.

۵- مراجع

[1] Fan, M., Lin, N. P., & Sheu, C., "Choosing a project risk-handling strategy: An analytical model", *International Journal of Production Economics*, Vol. 112, No. 2, pp. 700-713, 2008.

[2] Rose, K. H., "A guide to the project management body of knowledge (PMBOK:registered: Guide)", *Project management journal*, Vol. 3, No. 44, 2013.

[3] Zuo, F., & Zhang, K., "Selection of risk response actions with consideration of secondary risks", *International Journal of Project Management*, Vol. 36, No. 2, pp. 241-254, 2018.

[4] Bao, C., Li, J., & Wu, D., "A fuzzy mapping framework for risk aggregation based on risk matrices", *Journal of Risk Research*, Vol. 21, No. 5, pp. 539-561, 2018.

[5] Zou, P. X., Zhang, G., & Wang, J., "Understanding the key risks in construction projects in China", *International Journal of Project Management*, Vol. 25, No. 6, pp. 601-614, 2007.

[6] Hillson, D., "Developing effective risk responses", In *Proceedings of the 30th Annual Project Management Institute Seminars &Symposium*, pp. 10-16, October 1999.

[7] Hatefi, M. A., & Seyedhoseini, S. M., "Comparative review on the tools and techniques for assessment and selection of the project risk response actions (RRA)", *International Journal of Information Technology Project Management (IJITPM)*, Vol. 3, No. 3, pp. 60-78, 2012.

[8] Zhang, Y., & Fan, Z. P., "An optimization method for selecting project risk response strategies", *International Journal of Project Management*, Vol. 32, No. 3, pp. 412-422, 2014.

[9] Fang, C., Marle, F., Xie, M., & Zio, E., "An integrated framework for risk response planning under resource constraints in large engineering projects", *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 60, No. 3, pp. 627-639, 2013.

[10] Soofifard, R., & Bafruei, M. K., "Fuzzy multi-objective model for project risk response selection considering synergism between risk responses", *International Journal of Engineering Management and Economics*, Vol. 6, No. 1, pp. 72-92, 2016.

[11] Soofifard, R., & Bafruei, M., "An optimal model for Project Risk Response Portfolio Selection (P2RPS)", *Iranian Journal of Management Studies (IJMS)*, Vol. 9, pp. 741-765, 2017.

[12] Chapman, C.B., "Large engineering project risk analysis", *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 26, No. 3, pp. 78–86, 1979.

[13] Ben-David, I., & Raz, T., "An integrated approach for risk response development in project planning", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 52, No. 1, pp. 14-25, 2001.

[14] Motamed, M. P., & Bamdad, S., "A multi-objective optimization approach for selecting risk response actions: considering environmental and secondary risks", *OPSEARCH*, pp. 1-38, 2021.

[15] Jimenez, M. Arenas, M., Bilbao, A. and Rodrı, M.V., "Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution", European Journal of Operational Research, Vol. 177, pp. 1599–1609, 2007.

[16] Charnes, A., Cooper, W. W., "Chance-Constrained Programming", *Management Science*, Vol. 6, No. 1, pp. 73-79, 1959.