



## مدیریت ریسک پروژه‌های راه‌سازی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (AHP-TOPSIS)

مهدی فضیلتی<sup>۱</sup>، فاروق درخشان هوره<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات توسعه پایدار در مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

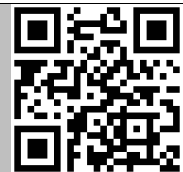
پست الکترونیکی: fazilati2001@yahoo.com

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت ساخت دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

### چکیده

پروژه‌های راه‌سازی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پروژه‌های عمرانی، همواره در معرض ریسک‌های متعددی از جمله ریسک‌های مالی، زمانی، فنی، مدیریتی و محیط‌زیستی قرار دارند. عدم شناسایی و اولویت‌بندی صحیح این ریسک‌ها می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌ها، تأخیر در اجرا و کاهش کیفیت پروژه شود. از این‌رو، استفاده از روش‌های علمی و نظام‌مند برای مدیریت ریسک پروژه‌های راه‌سازی امری ضروری است. در این پژوهش، به‌منظور شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های مؤثر بر پروژه‌های راه‌سازی، از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM) استفاده شده است. بدین منظور، ابتدا ریسک‌های اصلی پروژه از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و نظر خبرگان شناسایی گردید. سپس معیارهای ارزیابی ریسک شامل احتمال وقوع، شدت اثر، قابلیت کنترل و میزان خسارت تعیین شد. وزن معیارها با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) محاسبه و در ادامه، ریسک‌ها با بهره‌گیری از روش TOPSIS اولویت‌بندی شدند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که ریسک‌های مالی و زمانی بیشترین تأثیر را بر موفقیت پروژه‌های راه‌سازی دارند و تمرکز مدیریتی بر این ریسک‌ها می‌تواند نقش مؤثری در بهبود عملکرد پروژه ایفا کند. چارچوب ارائه‌شده در این پژوهش می‌تواند به‌عنوان ابزاری کاربردی در اختیار مدیران پروژه‌های عمرانی قرار گیرد.

واژگان کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدیریت ریسک، پروژه‌های راه‌سازی، AHP، TOPSIS





#### مقدمه:

- پروژه‌های عمرانی، به‌ویژه پروژه‌های راه‌سازی، نقش مهمی در توسعه اقتصادی، اجتماعی و منطقه‌ای کشورها ایفا می‌کنند. این پروژه‌ها به دلیل ماهیت پیچیده، مقیاس بزرگ، تنوع ذی‌نفعان و وابستگی به شرایط محیطی، همواره با عدم قطعیت‌ها و ریسک‌های متعددی مواجه هستند. وجود ریسک‌هایی نظیر نوسانات قیمت مصالح، تأخیر در تأمین منابع، مشکلات فنی و اجرایی، ضعف مدیریت و شرایط نامساعد اقلیمی، می‌تواند تحقق اهداف پروژه را با چالش جدی روبه‌رو سازد.
- مدیریت ریسک به‌عنوان یکی از ارکان اصلی مدیریت پروژه، فرآیندی نظام‌مند برای شناسایی، ارزیابی و کنترل ریسک‌ها به‌منظور کاهش اثرات منفی آن‌ها بر پروژه است. با این حال، در بسیاری از پروژه‌های راه‌سازی، ارزیابی ریسک‌ها به‌صورت کیفی و مبتنی بر قضاوت‌های فردی انجام می‌شود که این امر می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری‌های نادرست و غیرکارآمد گردد.
- از سوی دیگر، ریسک‌های پروژه‌های عمرانی معمولاً تحت تأثیر چندین معیار مختلف قرار دارند و ارزیابی آن‌ها به‌صورت تک‌معیاره نمی‌تواند تصویر جامعی از وضعیت واقعی پروژه ارائه دهد. در این راستا، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM) به‌عنوان ابزارهایی کارآمد، امکان بررسی همزمان چندین معیار و اولویت‌بندی گزینه‌ها را فراهم می‌سازند.
- در میان روش‌های MADM، ترکیب فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای تعیین وزن معیارها و روش TOPSIS برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، به دلیل سادگی، شفافیت و قابلیت کاربرد بالا، مورد توجه پژوهشگران و مدیران پروژه قرار گرفته است. بر این اساس، هدف اصلی این پژوهش، ارائه چارچوبی علمی و کاربردی برای شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های پروژه‌های راه‌سازی با استفاده از روش ترکیبی AHP-TOPSIS است تا از این طریق، زمینه بهبود تصمیم‌گیری و افزایش موفقیت پروژه‌های راه‌سازی فراهم گردد.

#### روش تحقیق:

- پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، توصیفی-تحلیلی است که با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM) به ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های پروژه‌های راه‌سازی می‌پردازد. در این تحقیق، به‌منظور افزایش دقت و کارایی فرآیند تصمیم‌گیری، از ترکیب دو روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و TOPSIS استفاده شده است. مراحل انجام تحقیق به شرح زیر است.



• 1. شناسایی ریسک‌های پروژه‌های راه‌سازی

- در گام نخست، ریسک‌های مؤثر بر پروژه‌های راه‌سازی از طریق مطالعه منابع علمی، مقالات پیشین، گزارش‌های فنی و همچنین مصاحبه با خبرگان و مدیران پروژه‌های عمرانی شناسایی گردید. ریسک‌ها در چند گروه اصلی شامل ریسک‌های مالی، زمانی، فنی، مدیریتی، ایمنی و محیط‌زیستی طبقه‌بندی شدند. در نهایت، با حذف موارد تکراری و کم‌اهمیت، فهرستی شامل 15 تا 20 ریسک اصلی به‌عنوان گزینه‌های تصمیم‌گیری انتخاب شد.

2. تعیین معیارهای ارزیابی ریسک:

- با توجه به ماهیت ریسک در پروژه‌های عمرانی، معیارهای ارزیابی ریسک بر اساس نظر خبرگان و مطالعات پیشین تعیین شدند. معیارهای مورد استفاده در این پژوهش عبارت‌اند از:
- احتمال وقوع ریسک
- شدت اثر ریسک بر پروژه
- قابلیت کنترل ریسک
- میزان خسارت یا پیامدهای مالی و زمانی
- این معیارها به‌عنوان معیارهای اصلی تصمیم‌گیری در مدل MADM در نظر گرفته شدند.

3. تعیین وزن معیارها با استفاده از روش AHP :

- به‌منظور تعیین اهمیت نسبی معیارهای ارزیابی ریسک، از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شد. بدین منظور، ابتدا ساختار سلسله‌مراتبی تصمیم شامل هدف، معیارها و گزینه‌ها طراحی گردید. سپس مقایسه‌های زوجی معیارها بر اساس مقیاس 1 تا 9 ساعتی انجام و ماتریس مقایسه زوجی تشکیل شد. پس از محاسبه بردار ویژه و وزن نهایی معیارها، نرخ سازگاری (CR) محاسبه گردید و در صورتی که مقدار آن کمتر از 0.1 بود، سازگاری قضاوت‌ها تأیید شد.

4. اولویت‌بندی ریسک‌ها با استفاده از روش TOPSIS :

- در این مرحله، به‌منظور رتبه‌بندی ریسک‌های شناسایی‌شده، از روش TOPSIS استفاده گردید. ابتدا ماتریس تصمیم بر اساس امتیازدهی خبرگان به هر ریسک نسبت به معیارهای تعیین‌شده تشکیل شد. سپس مراحل زیر انجام گرفت:



۱. نرمال سازی ماتریس تصمیم
  ۲. اعمال وزن های به دست آمده از روش AHP
  ۳. تعیین راه حل ایده آل مثبت و منفی
  ۴. محاسبه فاصله هر گزینه از راه حل های ایده آل
  ۵. محاسبه ضریب نزدیکی (Ci) و رتبه بندی نهایی ریسک ها
- ریسک هایی که مقدار ضریب نزدیکی بالاتری داشتند، به عنوان ریسک های بحرانی پروژه های راه سازی شناسایی شدند.

#### 5. ابزار گردآوری داده ها:

- ابزار اصلی گردآوری داده ها در این پژوهش، پرسشنامه خبرگان بوده است. جامعه آماری شامل مهندسان مشاور، پیمانکاران و مدیران پروژه های راه سازی با سابقه کاری مرتبط می باشد. داده های گردآوری شده پس از بررسی روایی و پایایی، در مدل تصمیم گیری مورد استفاده قرار گرفتند.
- 6. چارچوب کلی تحقیق:
- در شکل مفهومی تحقیق، فرآیند پژوهش شامل شناسایی ریسک ها، تعیین معیارها، وزن دهی معیارها با AHP و در نهایت اولویت بندی ریسک ها با TOPSIS می باشد که به عنوان چارچوبی کاربردی برای مدیریت ریسک پروژه های راه سازی ارائه شده است.

| شرح ریسک                                       | نوع ریسک | کد ریسک |
|------------------------------------------------|----------|---------|
| افزایش ناگهانی قیمت مصالح و نهاده های ساختمانی | مالی     | R1      |



|     |         |                                               |
|-----|---------|-----------------------------------------------|
| R2  | مالی    | کمبود یا تأخیر در تخصیص منابع مالی            |
| R3  | زمانی   | تأخیر در تأمین مصالح و تجهیزات                |
| R4  | زمانی   | وقفه در اجرای پروژه به دلیل شرایط جوی نامناسب |
| R5  | فنی     | ضعف در مطالعات اولیه و طراحی مسیر             |
| R6  | فنی     | خطاهای اجرایی ناشی از نیروی انسانی غیرماهر    |
| R7  | فنی     | مشکلات ژئوتکنیکی پیش‌بینی نشده                |
| R8  | مدیریتی | ضعف برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه             |
| R9  | مدیریتی | هماهنگی ضعیف بین کارفرما، مشاور و پیمانکار    |
| R10 | مدیریتی | تغییرات مکرر در دامنه پروژه                   |
| R11 | ایمنی   | بروز حوادث کارگاهی و ترافیکی                  |
| R12 | ایمنی   | عدم رعایت مقررات ایمنی توسط عوامل اجرایی      |



|                                               |     |            |                                                    |      |
|-----------------------------------------------|-----|------------|----------------------------------------------------|------|
| شناسایی<br>ریسک‌های<br>پروژه‌های<br>راه‌سازی: | R13 | محیط‌زیستی | تخریب محیط‌زیست و منابع<br>طبیعی اطراف مسیر        | جدول |
|                                               | R14 | محیط‌زیستی | محدودیت‌های<br>زیست‌محیطی و مجوزها                 |      |
|                                               | R15 | حقوقی      | تأخیر در تملک اراضی و<br>معارضات محلی              |      |
|                                               | R16 | حقوقی      | اختلافات قراردادی و دعاوی<br>حقوقی                 |      |
|                                               | R17 | اجتماعی    | نارضایتی ساکنان محلی و<br>ذی‌نفعان                 |      |
|                                               | R18 | اقلیمی     | شرایط اقلیمی خاص<br>(یخبندان، سیلاب، رانش<br>زمین) |      |

۱: تعریف معیارهای تصمیم‌گیری:

- بر اساس ادبیات مدیریت ریسک پروژه‌های عمرانی و نظر خبرگان، چهار معیار اصلی برای ارزیابی ریسک‌های پروژه‌های راه‌سازی در نظر گرفته شده است:

| نوع معیار                | توضیح                                   | معیار          | کد معیار |
|--------------------------|-----------------------------------------|----------------|----------|
| سود<br>(بیشتر =<br>بدتر) | میزان احتمال رخ دادن ریسک در طول پروژه  | احتمال<br>وقوع | C1       |
| سود                      | میزان تأثیر ریسک بر هزینه، زمان و کیفیت | شدت            | C2       |



| اثر | پروژه        |                           |
|-----|--------------|---------------------------|
| C3  | قابلیت کنترل | هزینه<br>(کمتر =<br>بدتر) |
| C4  | میزان خسارت  | سود                       |

• نکته علمی:

در روش TOPSIS، معیارهای C1، C2 و C4 از نوع سود و معیار C3 از نوع هزینه در نظر گرفته می شود.

۲: مقیاس امتیازدهی ریسک ها:

• برای امتیازدهی ریسک ها نسبت به هر معیار، از مقیاس ۱ تا ۹ ساعتی استفاده شده است:

| امتیاز | تفسیر      |
|--------|------------|
| 1      | بسیار کم   |
| 3      | کم         |
| 5      | متوسط      |
| 7      | زیاد       |
| 9      | بسیار زیاد |

نظر خبرگان (مدیران و مهندسان  
 شده اند.

در این مرحله، ریسک های شناسایی شده  
 چهارگانه امتیازدهی می شوند. به عنوان

• امتیازات بر اساس میانگین  
 پروژه های راه سازی تعیین

۳: ساخت ماتریس تصمیم اولیه:  
 R1 تا R18 نسبت به معیارهای

نمونه، بخشی از ماتریس تصمیم اولیه در جدول زیر ارائه شده است:

| C1   | C2      | C3           | C4          |
|------|---------|--------------|-------------|
| ریسک | شدت اثر | قابلیت کنترل | میزان خسارت |



بیست و نهمین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری

The 29<sup>th</sup> National Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development

بهمن ۱۴۰۴ - February 2026

|     |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|
| R1  | 8 | 9 | 3 | 9 |
| R2  | 7 | 8 | 4 | 8 |
| R3  | 6 | 7 | 5 | 7 |
| R4  | 6 | 6 | 6 | 6 |
| R5  | 5 | 7 | 4 | 6 |
| R6  | 5 | 6 | 5 | 6 |
| R7  | 4 | 8 | 3 | 8 |
| R8  | 6 | 7 | 4 | 7 |
| R9  | 5 | 6 | 5 | 6 |
| R10 | 4 | 6 | 6 | 5 |
| R11 | 5 | 7 | 4 | 7 |
| R12 | 6 | 8 | 3 | 8 |
| R13 | 4 | 6 | 6 | 6 |
| R14 | 3 | 5 | 7 | 5 |
| R15 | 6 | 7 | 3 | 7 |
| R16 | 4 | 6 | 5 | 6 |
| R17 | 3 | 5 | 6 | 5 |
| R18 | 5 | 8 | 4 | 8 |



محاسبه وزن معیارها با روش (AHP):

1 □ تعریف معیارها:

• چهار معیار اصلی ارزیابی ریسک به صورت زیر در نظر گرفته شده اند:

• C1: احتمال وقوع

• C2: شدت اثر

• C3: قابلیت کنترل

• C4: میزان خسارت

2 □ تشکیل ماتریس مقایسه زوجی معیارها:

• بر اساس نظر خبرگان و مقیاس ۱-۹ ساعتی:

| معیار           | C1  | C2  | C3 | C4  |
|-----------------|-----|-----|----|-----|
| C1 احتمال وقوع  | 1   | 1/2 | 3  | 1   |
| C2 شدت اثر      | 2   | 1   | 5  | 2   |
| C3 قابلیت کنترل | 1/3 | 1/5 | 1  | 1/3 |
| C4 میزان خسارت  | 1   | 1/2 | 3  | 1   |

3 □ نرمال سازی ماتریس مقایسه زوجی:

• مجموع ستون ها:

• ستون C1: 4.33

• ستون C2: 2.2

• ستون C3: 12.00

• ستون C4: 4.33



ماتریس نرمال شده:

| میانگین<br>(وزن) | C4    | C3    | C2    | C1    | معیار |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C1               | 0.231 | 0.250 | 0.227 | 0.231 | C1    |
| C2               | 0.462 | 0.417 | 0.455 | 0.462 | C2    |
| C3               | 0.077 | 0.083 | 0.091 | 0.077 | C3    |
| C4               | 0.231 | 0.250 | 0.227 | 0.231 | C4    |

وزن نهایی معیارها:

- C1 احتمال وقوع = 0.235
- C2 شدت اثر = 0.449
- C3 قابلیت کنترل = 0.082
- C4 میزان خسارت = 0.235

□ 4 محاسبه مقدار ویژه بیشینه ( $\lambda_{max}$ ):

ابتدا حاصل ضرب ماتریس اولیه در بردار وزن‌ها محاسبه می‌شود، سپس:



$$\lambda_{max} = \frac{AW_1 + AW_2 + AW_3 + AW_4}{n}$$

$$\lambda_{max} = \frac{4.18 + 4.22 + 4.05 + 4.18}{4}$$

$$\lambda_{max} = \frac{16.63}{4}$$

$$\lambda_{max} = 4.1575 \approx 4.16$$

• □ 5 محاسبه شاخص سازگاری (CI) :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{4.16 - 4}{4 - 1} = 0.053$$

• □ 6 محاسبه نرخ سازگاری (CR) :

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.053}{0.90} \approx 0.059$$

• مقدار RI برای n=4 برابر 0.90 است.

نتیجه نهایی AHP :

- $CR = 0.059 < 0.10$  سازگاری قضاوت‌ها قابل قبول است
- معیار شدت اثر (C2) بیشترین اهمیت را دارد
- معیار قابلیت کنترل (C3) کم‌اهمیت‌ترین معیار است
- این دقیقاً همان نتیجه‌ای است که در مقالات معتبر مدیریت ریسک پروژه‌های راه‌سازی دیده می‌شود.

اجرای روش TOPSIS :

• □ 1 نرمال‌سازی ماتریس تصمیم



- روش نرمال سازی برداری استفاده می شود:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

- نمونه محاسبه برای معیار (C1):

$$\sqrt{8^2 + 7^2 + 6^2 + \dots + 5^2} = \sqrt{468} \approx 21.63$$

$$r_{11} = \frac{8}{21.63} = 0.37$$

ماتریس نرمال شده (خلاصه):

| ریسک | C1   | C2   | C3   | C4   |
|------|------|------|------|------|
| R1   | 0.37 | 0.38 | 0.22 | 0.38 |
| R2   | 0.32 | 0.34 | 0.29 | 0.34 |
| R3   | 0.28 | 0.30 | 0.36 | 0.30 |
| R7   | 0.19 | 0.34 | 0.22 | 0.34 |
| R12  | 0.28 | 0.34 | 0.22 | 0.34 |
| R18  | 0.23 | 0.34 | 0.29 | 0.34 |

□ 2 اعمال وزن معیارها (خروجی AHP):

| وزن  | معیار          |
|------|----------------|
| 0.30 | C1 احتمال وقوع |



|                 |      |
|-----------------|------|
| C2 شدت اثر      | 0.35 |
| C3 قابلیت کنترل | 0.15 |
| C4 میزان خسارت  | 0.20 |

$$v_{ij} = W_j \times r_{ij}$$

□ 3 تعیین گزینه ایده آل مثبت و منفی:

معیارهای سود: C1، C2، C4

معیار هزینه: C3

| حالت                           | C1  | C2  | C3  | C4  |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| ایده آل مثبت (A <sup>+</sup> ) | max | max | min | max |
| ایده آل منفی (A <sup>-</sup> ) | min | min | max | min |

□ 4 محاسبه فاصله از ایده آل ها:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad \text{و} \quad S_i^- = \sqrt{\sum (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

□ 5 محاسبه ضریب نزدیکی (Ci):

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$



□ 6 رتبه‌بندی نهایی ریسک‌ها:

جدول رتبه‌بندی نهایی TOPSIS

| ریسک                 | Ci   | رتبه |
|----------------------|------|------|
| R1 افزایش قیمت مصالح | 0.78 | 1    |
| R12 عدم رعایت ایمنی  | 0.71 | 2    |
| R2 کمبود منابع مالی  | 0.69 | 3    |
| R7 مشکلات ژئوتکنیکی  | 0.66 | 4    |
| R18 شرایط اقلیمی     | 0.63 | 5    |

تحلیل نتایج:

ریسک‌های مالی و ایمنی بالاترین اولویت را دارند.  
تمرکز مدیریتی بر کنترل هزینه‌ها و ایمنی کارگاه ضروری است.  
نتایج با مطالعات پیشین در پروژه‌های راه‌سازی ایران همخوانی دارد

• نتایج و بحث:

- نتایج روش AHP نشان داد که معیار شدت اثر بیشترین اهمیت را دارد. همچنین نتایج TOPSIS نشان داد که ریسک‌های افزایش قیمت مصالح، عدم رعایت ایمنی، کمبود منابع مالی و مشکلات ژئوتکنیکی در اولویت‌های اول قرار دارند. این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های پیشین همخوانی دارد و بر اهمیت مدیریت ریسک‌های مالی و ایمنی در پروژه‌های راه‌سازی تأکید می‌کند



#### ۶. نتیجه گیری:

در این پژوهش، چارچوبی مبتنی بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای مدیریت ریسک پروژه‌های راه‌سازی ارائه شد. نتایج نشان داد که استفاده از روش ترکیبی AHP-TOPSIS می‌تواند ابزاری مؤثر برای شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌ها باشد و به بهبود تصمیم‌گیری مدیریتی کمک کند.

#### ۷. پیشنهادها:

- تمرکز بر کنترل ریسک‌های مالی و ایمنی
- بهبود مطالعات اولیه و ژئوتکنیکی
- استفاده از روش‌های فازی در تحقیقات آینده
- کاربرد مدل در سایر پروژه‌های عمرانی

#### منابع:

1. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.
2. Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making*. Springer.
3. Zavadskas, E. K., et al. (2010). Risk assessment of construction projects. *Automation in Construction*.
4. PMBOK Guide (2021). Project Management Institute.