

مدیریت ریسک در پروژه‌های ساختمانی با در نظر گرفتن روابط متقابل ریسک پروژه: بیشینه نمودن مطلوبیت

مسعود فضلی،* علی فلاح،** امیر خاکباز***

تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۱

تاریخ پذیرش: ۹۸/۷/۲

چکیده

امروزه مدیریت ریسک راهکاری مناسب برای مقابله با ریسک‌هایی می‌باشد که ممکن است در یک پروژه رخ دهد. در تحلیل واکنش ریسک، ریسک‌ها اغلب دارای وابستگی متقابل فرض می‌شوند. در واقع ریسک‌ها در یک پروژه متقابلاً روی هم تأثیر می‌گذارند و ریسک مستقل به‌ندرت وجود دارد. علاوه بر این، اجرا و مدیریت پروژه‌های مختلف از جمله پروژه‌های ساختمانی دارای موارد مبهم فراوانی است. این‌گونه موارد که عدم قطعیت نامیده می‌شوند، نتیجه را گاهی بهتر و گاهی بدتر از آنچه پیش‌بینی شده است، تغییر می‌دهند. در پروژه‌های ساختمانی که تعامل‌های متفاوتی در بین ارکان داخل و خارج آن در جریان است، پیچیدگی، چالش و عدم قطعیت بیشتر است. از این‌رو به‌منظور تحقق اهداف کمی و کیفی این دسته از پروژه‌ها با توجه به فعالیت‌ها و پیچیدگی ارتباطات آن‌ها استفاده از چارچوبی جهت شناسایی ریسک‌ها، نظارت و کنترل آن‌ها ضروری است. در این مقاله ابتدا یک پروژه ساختمانی را مدنظر قرار می‌دهیم و با توجه به نظرات متخصصین و برگزاری یک جلسه طوفان ذهنی ریسک‌های مربوط به آن را مشخص می‌نماییم. سپس با بهره‌گیری از نظرات متخصصین، استراتژی‌های پاسخ‌دهی به هر ریسک را شناسایی و در نهایت از یک مدل بهینه برای انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک با توجه به وابستگی متقابل ریسک استفاده می‌نماییم. یافته اصلی از طریق تحلیل پروژه موردنظر این است که توجه کم یا غفلت از وابستگی متقابل ریسک‌ها مطلوبیت مورد انتظار را کاهش و هزینه پیاده‌سازی را افزایش می‌دهد.

واژگان کلیدی: مدیریت ریسک پروژه، عدم قطعیت، وابستگی متقابل ریسک، پروژه ساختمانی.

* کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شمال، آمل، مازندران، ایران (نویسنده مسئول)

Masoudfazli97@yahoo.com

** کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شمال، آمل، مازندران، ایران

*** استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

مقدمه

پروژه‌ها به دلیل ماهیت خود در معرض ریسک‌های متعددی قرار دارند. اگر ریسک‌های پروژه به‌درستی مدیریت نشوند هزینه سنگینی به دنبال خواهند داشت. از این رو، مدیریت ریسک پروژه مبحث مهمی برای پژوهشگران است. به‌طور کلی مدیریت ریسک پروژه شامل ۳ مرحله شناسایی، ارزیابی و واکنش ریسک است (بوچان، ۱۹۹۴؛ فضلی و همکاران، ۲۰۱۸). شناسایی ریسک‌ها شامل فرآیند تعیین ریسک‌های اثرگذار بر پروژه و مستندسازی مشخصات و خصوصیات آنهاست. ارزیابی ریسک به بررسی ریسک‌های پروژه طبق مشخصات آنها مانند احتمال، شدت و واکنش ریسک به پیشرفت می‌پردازد. علاوه بر این، انتخاب و اجرای استراتژی‌ها باهدف کاهش قرار گرفتن در معرض ریسک صورت می‌پذیرد. واکنش ریسک نقش مهمی در کاهش شدت منفی ریسک‌های پروژه اعمال می‌کند (مارینسونی و همکاران، ۲۰۱۸).

برنامه‌ریزی واکنش به ریسک باید دارای شرایط زیر باشد (بن‌دیوید و راز، ۲۰۰۱)

- با شدت ریسک متناسب باشد.
- در مواجهه با چالش‌ها از نظر هزینه‌ای اثربخش باشد.
- برای موفقیت‌آمیز بودن بهنگام باشد.
- با توجه به شرایط پروژه واقع‌بینانه باشد.
- مورد توافق همه‌ی قسمت‌های درگیر باشد.
- توسط شخص مسئول مورد تایید باشد.

در تحلیل واکنش ریسک، ریسک‌ها اغلب مستقل از هم فرض می‌شوند و سپس بر طبق مشخصات خود در انتخاب استراتژی واکنش به ریسک مورد تحلیل قرار می‌گیرند (زو و ژانگ، ۲۰۱۸). ریسک‌ها در یک پروژه همواره بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند که این امر سبب پیچیده‌تر شدن فرآیند مدیریت پروژه می‌گردد. از این رو، چنانچه وابستگی‌های متقابل ریسک به‌طور صحیح مورد تحلیل و ارزیابی قرار گیرند، مدیران پروژه قادر خواهند بود تصمیمات مؤثرتری در زمینه واکنش ریسک اتخاذ نمایند.

در این تحقیق، چارچوبی نوین برای ارزیابی وابستگی متقابل ریسک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این چارچوب، یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی با توجه به وابستگی متقابل ریسک‌ها انتخاب و جهت سنجش میزان مطلوبیت بکار گرفته می‌شود. با بهره‌گیری از این مدل، اثرات وابستگی متقابل ریسک بر تصمیمات واکنش به ریسک مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مدل خطی مورد استفاده فرض بر این است که توجه بیشتر به وابستگی متقابل ریسک می‌تواند مطلوبیت مورد انتظار را افزایش و هزینه اجرا را کاهش دهد. باقی مطالب این مقاله از مرور مطالعات گذشته در زمینه وابستگی متقابل ریسک و پاسخ به ریسک پروژه آغاز می‌گردد. سپس، فرمول‌ها و ویژگی‌های وابستگی متقابل ریسک بیان می‌شود. متعاقباً، جزئیات مدل بهینه‌سازی انتخاب استراتژی‌های واکنش به ریسک با توجه به وابستگی متقابل ریسک ارائه می‌گردد. پس از آن، کاربرد چارچوب پیشنهادی در مدیریت ریسک یک پروژه ساختمان مسکونی ۷ طبقه در شهرستان آمل مورد بررسی قرار می‌گیرد و نتایج و بحث‌های مربوطه بیان می‌شوند. در پایان، نتیجه‌گیری و چشم‌اندازها به تفصیل شرح داده می‌شوند.

مرور ادبیات

وابستگی متقابل ریسک

از آنجایی که اجرای یک پروژه همیشه با ریسک‌هایی همراه است، مطالعه ریسک‌های پروژه و وابستگی متقابل آن‌ها بشدت مورد توجه محققان بوده است. برخی از محققان وابستگی متقابل ریسک‌ها را از دیدگاه کیفی مورد مطالعه قرار داده‌اند. بادن هورست و الوف (۱۹۹۴) وابستگی ریسک را به‌عنوان یکی از عوامل مهم در فرآیند مدیریت ریسک فناوری اطلاعات^۱ مورد توجه قرار دادند. آدنر (۲۰۰۶) موفقیت استراتژی رشد یک شرکت را متکی بر ارزیابی ریسک‌های شرکت معرفی می‌نماید. آکرمن و همکاران (۲۰۰۷) روش "صافی ریسک"^۲ را توسعه می‌دهند که ابزاری جهت ارزیابی ریسک‌ها با توجه به ارتباط میان آنهاست. "صافی ریسک" از زمان معرفی خود در بسیاری از پروژه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

1. Information Technology (IT)

2. Risk Filter

علاوه بر این، رویکردهایی به منظور ارزیابی کمی همبستگی‌های ریسک وجود دارند که می‌توان آن‌ها را عمدتاً به دسته‌های زیر طبقه‌بندی نمود: رویکرد شبیه‌سازی مونت کارلو^۱، رویکرد ارزیابی زبان طبیعت^۲، رویکرد ماتریسی^۳ و رویکرد دلفی^۴. رویکرد شبیه‌سازی مونت کارلو عمدتاً به منظور پایه‌ریزی همبستگی میان ریسک‌های مختلف پروژه مورداستفاده قرار می‌گیرد. در سال‌های اخیر استفاده از رویکرد مبتنی بر ماتریس ساختار طراحی^۵ که روابط و وابستگی‌های متقابل میان اشیاء را نشان می‌دهد، افزایش یافته است (مارل و ویدال، ۲۰۱۱؛ فانگ و مارل، ۲۰۱۲؛ فانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ مارل و همکاران، ۲۰۱۳). هدف این رویکرد بیان وابستگی‌های متقابل ریسک از طریق ایجاد ماتریس‌ها است. این رویکرد شامل دو مرحله اصلی است. ابتدا یک ماتریس دوتائی ایجاد می‌شود که نشان‌دهنده وجود وابستگی متقابل بالقوه بین هر جفت از ریسک‌ها است. در ادامه، ماتریس دوتائی به یک ماتریس عددی تبدیل می‌شود تا قدرت وابستگی متقابل ریسک را ارزیابی نماید. در این بخش یک "مقیاس لیکرت"^۶ پنج‌تایی با استفاده از قضاوت‌های تخصصی یا فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۷ مورداستفاده قرار می‌گیرد. یکی دیگر از رویکردهای مهم، تکنیک دلفی است. در این تکنیک از پاسخ‌دهندگان خواسته می‌شود تا قدرت وابستگی متقابل میان ریسک‌ها را ارزیابی نمایند. سپس، قضاوت‌های متخصصان به منظور تعریف یک ساختار منحصربفرد از روابط بکار گرفته می‌شود و این فرآیند تا رسیدن به اجماع تکرار می‌گردد (ژانگ، ۲۰۱۶؛ زو و ژانگ، ۲۰۱۸). صوفی راد و غریب (۲۰۱۷) یک مدل بهینه‌سازی را به منظور انتخاب استراتژی واکنش به ریسک پروژه با در نظر گرفتن وابستگی متقابل ریسک در حوزه انرژی توسعه دادند و برای حل آن از الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی هارمونی چندهدفه^۸ استفاده نمودند.

-
1. Monte Carlo simulation approach
 2. Nature language assessment approach
 3. Matrix-based approach
 4. Delphi-based approach
 5. Design Structure Matrix (DSM)
 6. Likert scale
 7. Analytic Hierarchy Process (AHP)
 8. Multi-objective Harmony Search algorithm

اگرچه رویکردهای بالا نقش قابل توجهی در تحلیل وابستگی متقابل ریسک ایفا نموده‌اند، با این حال این رویکردها دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشند. برای مثال، در رویکرد ماتریسی و رویکرد دلفی از اعداد ۰ و ۱ به منظور نمایش وابستگی متقابل بین دو ریسک استفاده می‌شود. این امر تا حدی غیرواقع‌بینانه است که وابستگی متقابل ریسک فقط با یک متغیر زبانی و به طور قطعی نشان داده شود. در این تحقیق، هدف ارائه چارچوبی است که به صورت کمی وابستگی متقابل ریسک را بدون نیاز به تعدیل اختلاف‌ها در ارزیابی‌های متخصصان مختلف ارزیابی نماید یا سازگاری نتایج ارزیابی را مورد آزمایش قرار دهد.

واکنش به ریسک پروژه

بن‌دیوید و راز (۲۰۰۱) یک مدل بهینه‌سازی را باهدف حداقل سازی مجموع هزینه ریسک مورد انتظار و هزینه واکنش به ریسک مطرح نمودند. فان و همکاران (۲۰۰۸) یک مدل ریاضی را برای انتخاب استراتژی‌های واکنش به ریسک بر اساس تحلیل رابطه بین استراتژی‌های واکنش به ریسک و ویژگی‌های پروژه مربوطه گسترش دادند. این مدل هزینه‌های ریسک‌ها را تحت سطح قابل قبول هر ریسک به حداقل می‌رساند. فانگ و همکاران (۲۰۱۳) یک مدل ریاضی را به منظور حل مسئله انتخاب استراتژی واکنش به ریسک توسعه دادند. ورودی‌های این مدل شامل بودجه، تأثیر واکنش و هزینه واکنش به ریسک می‌باشند. آن‌ها چارچوبی را برای انتخاب استراتژی واکنش به ریسک با در نظر گرفتن تأثیر متقابل ریسک‌ها پیشنهاد نمودند و از روش ماتریس ساختار طراحی بمنظور شناسایی ارتباط ریسک‌ها بهره بردند. در مطالعه آنان تأثیر روابط بین ریسک‌ها بر تصمیمات واکنش به ریسک پروژه مورد تجزیه و تحلیل قرار نمی‌گیرد.

ژانگ و فان (۲۰۱۴) یک مدل ریاضی یکپارچه را باهدف حداکثر سازی تأثیر واکنش به ریسک پیشنهاد می‌نمایند که هزینه پروژه، جدول زمانی پروژه و کیفیت پروژه را به طور همزمان مورد توجه قرار می‌دهد. ژانگ (۲۰۱۶) با ارائه یک مدل ریاضی، انتخاب استراتژی واکنش به ریسک را با توجه به روابط متقابل ریسک مورد بررسی قرار دادند. صوفی راد و

همکاران (۲۰۱۸) از الگوریتم ژنتیک^۱ و الگوریتم جستجوی هارمونی چندهدفه به منظور انتخاب پاسخ به ریسک‌های پروژه استفاده کردند و نتایج نشان داد که محدوده جواب تابع هدف در الگوریتم ژنتیک بهتر از الگوریتم هارمونی چندهدفه است. قاسمی و درویش پور (۲۰۱۸) به منظور ارزیابی ریسک و برنامه‌ریزی واکنش به ریسک از تکنیک‌های دیمتل^۲ و فرآیند تحلیل شبکه ای فازی^۳ در یک پروژه حفاری زمین‌گرایی استفاده کرده‌اند. ناجی و علی (۲۰۱۸) واکنش به ریسک در پروژه‌های ساخت‌وساز را مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق از مدل بهینه‌سازی برای انتخاب استراتژی واکنش به ریسک با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی مانند هزینه پروژه و زمان پروژه استفاده شده و حل مدل نیز بکمک الگوریتم جستجوی گرانش^۴ انجام گرفته است. وو و همکاران (۲۰۱۸) از یک رویکرد بهینه‌سازی چندهدفه با توجه به فرآیند همبستگی ریسک‌ها برای برنامه‌ریزی پاسخ به ریسک‌های پروژه استفاده کردند.

رویکردهای حاضر در مطالعات موجود را می‌توان عمدتاً به چهار دسته تقسیم نمود: رویکرد منطقه‌ای^۵، رویکرد توازن^۶، رویکرد ساختار شکست کار^۷ و رویکرد مدل بهینه^۸. خلاصه‌ای از مطالعات انجام‌شده در زمینه‌ی انتخاب استراتژی واکنش به ریسک در جدول ۱ نشان داده شده است.

-
1. Genetic Algorithm
 2. DEMATEL
 3. FUZZY ANP
 4. Gravitational Search Algorithm
 5. Zonal-Based (ZB)
 6. Trade-off (T)
 7. Work Breakdown Structure (WBS)
 8. Optimization-Model (OM)

جدول ۱: خلاصه‌ای از مطالعات انجام‌شده در زمینه انتخاب استراتژی واکنش به ریسک پروژه

نویسندگان	تجزیه و تحلیل	رویکردها
فلانگان و نرمن (۱۹۹۳)	احتمال وقوع و شدت ریسک‌ها	منطقه‌ای
الکجاچیر و فلدینگ (۱۹۹۹)	درجه تأثیر و پیش‌بینی ریسک‌ها	
داتا و مخرجه (۲۰۰۱)	احتمال ابتلا به ریسک‌های داخلی پروژه و ریسک‌های خارجی پروژه	
میلر و لسارد (۲۰۰۱)	هزینه ریسک‌هایی که قابل کنترل هستند و ارزش ریسک‌ها یی که برای پروژه خاص هستند	
پینی (۲۰۰۲)	پذیرش ریسک‌های احتمالی	
کلین (۱۹۹۳)	عدم قطعیت در زمان پروژه، هزینه و کیفیت	توازن
پی پاتانا پی وانگ و واتانابه (۲۰۰۰)	هزینه‌های احتمالی ریسک پس از اجرای واکنش ریسک و میزان ریسک پس از دسترسی به پاسخ ریسک	
کوجاوسکی (۲۰۰۲)	احتمال موفقیت با در نظر گرفتن مقدار کل هزینه پروژه و کل هزینه پروژه برای احتمال موفقیت	
چاپمن و وارد (۲۰۰۳)	هزینه‌ها مورد انتظار از واکنش ریسک‌ها و عوامل عدم اطمینان آنها	
هایمس (۲۰۰۵)	هزینه‌های واکنش به ریسک و درصد تلفات کاری مرتبط با آن	
چاپمن (۱۹۷۹)	بسته‌های کاری و ریسک‌ها و فعالیت‌های واکنش به ریسک در ارتباط با آنها	ساختار شکست کار
کلین و همکاران (۱۹۹۴)	تغییر در چاپمن اولیه براساس تجزیه و تحلیل فعالیت نمونه اولیه	
سید حسینی و همکاران (۲۰۰۹)	انتخاب مجموعه‌ای از استراتژی‌های واکنش با توجه به اینکه انحراف نامطلوب در محدوده پروژه را به حداقل برساند	
بن دیوید و راز (۲۰۰۱)	محتویات کار پروژه ریسک‌ها و فعالیت ریسک و تأثیرات آنها	مدل بهینه
بن دیوید و همکاران	تعاملات میان بسته‌های کاری با توجه به ریسک‌ها و تلاش	

(۲۰۰۲)	برای کاهش ریسک
کایس و همکاران (۲۰۰۷)	دسترسی به حداقل بودجه و اهداف استراتژیک پروژه
فان و همکاران (۲۰۰۸)	استراتژی‌های مدیریت ریسک و ویژگی‌های مربوط به پروژه
ژانگ و فان (۲۰۱۴)	انتخاب مجموعه ای از اقدامات واکنش با هدف حداکثر سازی تاثیرات واکنش به ریسک
صوفی راد و بفرویی (۲۰۱۶)	مدل چند هدفه فازی برای انتخاب پاسخ ریسک پروژه با توجه به همبستگی بین پاسخ‌ها
ژانگ (۲۰۱۶)	انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک با در نظر گرفتن وابستگی بین ریسک‌ها
ژانگ و زو (۲۰۱۶)	انتخاب اقدامات واکنش به ریسک با توجه به وابستگی متقابل ریسک
صوفی راد و بفرویی (۲۰۱۷)	انتخاب مجموعه ای از اقدامات پاسخ به منظور بهینه سازی ارتباط بین پاسخ‌ها با توجه به تعاملات بین پاسخ‌ها در محدوده نامشخص
اوا مارچ ویکا و دوروتا کوچتا (۲۰۱۷)	مدل بهینه سازی تغییر یافته برای انتخاب راهبردهای پاسخ به ریسک پروژه
زو و ژانگ (۲۰۱۸)	انتخاب اقدامات پاسخ به ریسک با توجه به ریسک‌های ثانویه
ناجی و علی (۲۰۱۸)	واکنش به ریسک در پروژه
وو و همکاران (۲۰۱۸)	یک رویکرد بهینه سازی چند هدفه با توجه به فرآیند همبستگی ریسک‌ها برای برنامه ریزی پاسخ به ریسک‌های پروژه

در سال‌های اخیر رویکردهای منطقه‌ای، توازن و ساختار شکست کار کمتر مورد استقبال محققین قرار گرفته است اما رویکرد مدل بهینه با توجه به دستیابی به جواب بهینه و قابلیت تجزیه و تحلیل حساسیت بسیار کاربردی بوده و مورد استفاده قرار گرفته است. در بین رویکردهای گفته شده در جدول ۱، رویکرد مدل بهینه به مطالعه ما نزدیکی بیشتری دارد. طبق

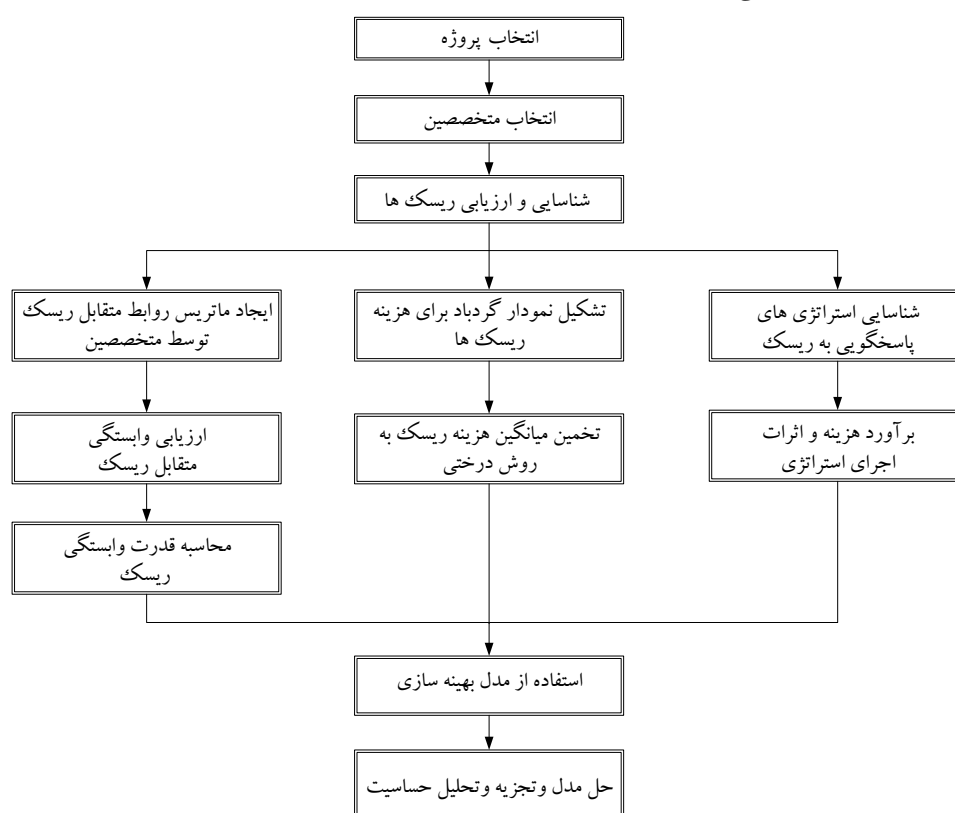
مطالعات انجام گرفته، تاکنون تأثیر متقابل ریسک‌ها در پروژه‌های ساختمانی و تعیین استراتژی مناسب برای پاسخ‌گویی به هر ریسک در ایران مورد بحث قرار نگرفته است. در این مطالعه، ارتباط بین ریسک‌ها در پروژه‌های ساختمانی در ایران مورد بررسی قرار می‌گیرد و با استفاده از مدل بهینه‌سازی، استراتژی‌های پاسخ‌دهی به ریسک‌ها به گونه‌ای تعیین می‌گردند که مطلوبیت مورد انتظار مدیران و پیمانکاران با در نظر گرفتن محدودیت بودجه بیشینه گردد.

روش‌شناسی

در این بخش، چارچوبی برای ارزیابی وابستگی متقابل ریسک ارائه می‌گردد که در آن ارزیابی‌ها روی وابستگی متقابل ریسک توسط متخصصان انجام شده و بعنوان یک متغیر تصادفی گسسته با توزیع احتمال تجربی در نظر گرفته می‌شود. سپس، قدرت وابستگی متقابل ریسک را می‌توان با مقایسه متغیرهای تصادفی اندازه‌گیری نمود. در ادامه یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی برای انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک با در نظر گرفتن وابستگی متقابل ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در چارچوب توسعه‌یافته دو دیدگاه مدنظر قرار می‌گیرد. در دیدگاه اول وابستگی متقابل ریسک به وضعیتی اشاره دارد که ریسک مورد نظر بر ریسک‌های دیگر تأثیر دارد و دیدگاه دوم به وضعیتی اشاره دارد که ریسک‌های دیگر بر این ریسک تأثیر می‌گذارند. مدل بهینه‌مبنایی را برای تجزیه و تحلیل تأثیر وابستگی متقابل ریسک بر تصمیمات واکنش به ریسک پروژه ایجاد می‌نماید. شکل ۱ رویکرد مورد استفاده در این تحقیق را به نمایش می‌گذارد.

طبق شکل ۱ ابتدا ریسک‌های مربوط به پروژه با نظر متخصصین مشخص می‌گردند. سپس، هزینه اجرای استراتژی‌های واکنش به ریسک برآورد می‌گردند. میانگین هزینه ریسک‌ها نیز با استفاده از روش درختی تخمین زده می‌شود. در این روش، احتمال وقوع هر ریسک در سه دسته حداقل، متوسط و حداکثر، طبق نظر متخصصین طبقه‌بندی شده و هزینه نهایی هر ریسک تخمین زده می‌شود (گوسما و همکاران، ۲۰۱۸). استراتژی‌های پاسخ به ریسک‌ها با نظر متخصصین انتخاب می‌شوند و هزینه اجرای استراتژی‌ها برآورد می‌گردند. به منظور

بررسی تاثیر ریسک‌ها روی هم از ماتریس روابط متقابل ریسک‌ها استفاده می‌شود (دنداج و همکاران، ۲۰۱۸). بکمک این ماتریس، شدت اثر هر ریسک روی ریسک دیگر توسط متخصصین ارزیابی می‌شود. پس از ارزیابی وابستگی متقابل ریسک‌ها به محاسبه قدرت اثرگذاری و اثرپذیری کلی هر ریسک می‌پردازیم (ژانگ، ۲۰۱۶). در انتها یک مدل بهینه غیرخطی برای انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک با در نظر گرفتن وابستگی متقابل ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱. چارچوب پیشنهادی برای ارزیابی وابستگی متقابل ریسک‌ها

تجزیه و تحلیل وابستگی متقابل ریسک

شناسایی ریسک معمولاً اولین گام برای تحلیل ریسک پروژه است. این گام شامل تعیین رویدادهایی است که می‌توانند بر اهداف پروژه به صورت مثبت یا منفی تأثیر بگذارند (اسکوار، ۲۰۰۸). در این تحقیق از مجموعه رویدادهای ریسک شناسایی شده توسط مدیر پروژه^۱ و گروه او، یعنی $R = \{R_1, \dots, R_n\}$ ، استفاده می‌شود که در آن R_j رویداد ریسک j ام است ($j = 1, \dots, n$). رخداد ریسک دارای دو ویژگی احتمال وقوع و تأثیر است. همچنین، زیان مورد انتظار رویداد ریسک را می‌توان به عنوان محصول این احتمال و تأثیر تعریف نمود (کوان و لونگ، ۲۰۱۱). عموماً متخصصان و کارشناسان باتجربه برای تجزیه و تحلیل وابستگی‌های متقابل ریسک دعوت می‌شوند زیرا هر پروژه جدید ضرورتاً منحصربه‌فرد است و هیچ داده قبلی از آن در دست نیست. از این رو متخصصان ابتدا باید قضاوت نمایند که آیا وابستگی‌های متقابل بین ریسک‌ها به صورت یک‌به‌یک وجود دارد یا خیر و تعیین نمایند که وابستگی‌های متقابل ریسک‌ها مطلوب هستند یا نامطلوب. سپس، قدرت وابستگی‌های متقابل ریسک مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در عمل، متخصصان اغلب قدرت وابستگی متقابل ریسک را با استفاده از عباراتی همچون "خیلی ضعیف" یا "خیلی قوی" ارزیابی می‌نمایند زیرا این نوع ارزیابی اطلاعات به شکل متغیر زبانی است و می‌تواند بصورت طبیعی و براهتی بیان گردد.

در این مطالعه، نظرات چهار متخصص جهت تجزیه و تحلیل وابستگی‌های متقابل ریسک‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین، دوازده ریسک با استفاده از روش‌های طوفان ذهنی و مصاحبه مشخص شده‌اند که برای تعریف آن‌ها از مجموعه $R = \{R_1, \dots, R_{12}\}$ استفاده شده است. علاوه بر این، برای مشخص کردن ارتباط بین ریسک‌ها از یک مقیاس پنج عبارتی زبانی استفاده کرده‌ایم. یعنی،

$$S = \{ S_4 = \text{خیلی قوی} , S_3 = \text{قوی} , S_2 = \text{متوسط} , S_1 = \text{ضعیف} , S_0 = \text{خیلی ضعیف} \}$$

بکمک ماتریس‌های از پیش تهیه‌شده، که یک نمونه در شکل ۴ آمده، و با تحلیل دوازده ریسک، متخصصان وابستگی‌های متقابل بین تمامی ریسک‌ها را تعیین نمودند. بعنوان مثال اگر بین دو ریسک هیچ رابطه و وابستگی وجود نداشته باشد یا بسیار ناچیز باشد از عبارت زبانی S_0 می‌توان استفاده کرد. هر متخصص ارزیابی‌هایی اینچنینی را در مورد رابطه ریسک‌های R_i تا R_j با استفاده از مقیاس زبانی ارائه می‌دهد. ارزیابی وابستگی‌های متقابل از R_i تا R_j بصورت متغیر تصادفی گسسته x_{ij} با توزیع احتمال $f_{ij}(x)$ نشان داده می‌شود. بنابراین، داریم:

$$\sum_{x=S_0}^{S_T} f_{ij}(x) = 1$$

فرض نماییم x_{ij} و x_{ji} دو متغیر تصادفی گسسته مستقل، بترتیب با توزیع‌های احتمال $f_{ij}(x)$ و $f_{ji}(x)$ باشند، جایکه $\sum_{x=S_0}^{S_T} f_{ij}(x) = 1$ و $\sum_{x=S_0}^{S_T} f_{ji}(x) = 1$. قدرت وابستگی متقابل \bar{a} بر j بصورت D_{ij} تعریف می‌شود و برابر است با:

$$D_{ij} = \sum_{x_{ij}=S_0}^{S_T} \sum_{x_{ji}=S_0}^{x_{ij}} f_{ij}(x_{ij}) f_{ji}(x_{ji}) - 0.5 \sum_{x_{ij}=S_0}^{S_T} f_{ij}(x_{ij}) f_{ji}(x_{ij}) \quad (1)$$

همچنین، قدرت وابستگی متقابل ریسک j بر \bar{a} ، یعنی D_{ji} ، از طریق زیر به دست می‌آید.

$$D_{ji} = \sum_{x_{ij}=S_0}^{S_T} \sum_{x_{ji}=x_{ij}}^{S_T} f_{ij}(x_{ij}) f_{ji}(x_{ji}) - 0.5 \sum_{x_{ij}=S_0}^{S_T} f_{ij}(x_{ij}) f_{ji}(x_{ij}) \quad (2)$$

قدرت وابستگی متقابل ریسک دو خصوصیت زیر را دارا است (ژانگ، ۲۰۱۶).

$$D_{ij} + D_{ji} = 1 \quad \text{خصوصیت ۱.}$$

$$0 \leq D_{ij} \leq 1 \text{ and } 0 \leq D_{ji} \leq 1 \quad \text{خصوصیت ۲.}$$

مثال: با توجه به شکل ۴، تأثیر ریسک ۱ روی ریسک ۲ توسط چهار کارشناس بسیار ضعیف و ناچیز و تأثیر ریسک ۲ روی ریسک ۱ با نظر سه کارشناس بسیار ناچیز و یک کارشناس قوی ارزیابی شده است. توابع احتمال $f_{21}(x)$ و $f_{12}(x)$ نتایج ماتریس متخصصین شکل ۴ را به صورت زیر نشان می‌دهد.

$$f_{12}(x) = \begin{cases} \frac{4}{4} S_0 \\ 0 S_1 \\ 0 S_2 \\ 0 S_3 \\ 0 S_4 \end{cases} \quad f_{21}(x) = \begin{cases} \frac{3}{4} S_0 \\ 0 S_1 \\ 0 S_2 \\ \frac{1}{4} S_3 \\ 0 S_4 \end{cases}$$

سپس، قدرت وابستگی متقابل R_1 روی R_2 ، یعنی D_{12} ، از طریق معادله (۱) به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$D_{12} = \frac{4}{4} \times \frac{3}{4} - 0.5 \times \frac{4}{4} \times \frac{3}{4} = 0.375$$

بطور مشابه، قدرت وابستگی متقابل R_1 روی R_2 ، یعنی D_{21} ، را می‌توان به کمک معادله (۲) محاسبه نمود که برابر است با ۰.۶۲۵.

در ادامه، زمانی که ریسک j بر ریسک‌های دیگر اولویت داشته باشد، D_j بیانگر قدرت وابستگی متقابل ریسک j می‌باشد. D_j را می‌توان به صورت زیر تعریف نمود.

$$D_j = \eta \frac{1}{|\tau_j^-|} \sum_{R_i \in \tau_j^-}^n D_{ji} + (1+\eta) \frac{1}{|\tau_j^+|} \sum_{R_i \in \tau_j^+}^n D_{ji} \quad (۳)$$

وقتی $0 \leq D_j \leq 1$ و پارامتر η درجه اهمیت وابستگی متقابل ریسک نامطلوب را نسبت به وابستگی متقابل ریسک مطلوب نشان می‌دهد، $\eta \in [0, 1]$ است. مجموعه τ_j^- شامل تمامی ریسک‌هایی است که ریسک j در اولویت است و اثرات وابستگی‌های متقابل ریسک

نامطلوب هستند. $|T_j^-|$ نشان دهنده تعداد مؤلفه‌ها در مجموعه T_j^- می‌باشد. بطور مشابه، مجموعه T_j^+ از تمامی ریسک‌هایی تشکیل شده که ریسک J دارای اولویت است و اثرات وابستگی‌های متقابل ریسک مطلوب هستند. $|T_j^+|$ نشان دهنده تعداد مؤلفه‌ها در مجموعه T_j^+ می‌باشد. در صورتی که هیچ وابستگی متقابل ریسک نامطلوب یا مطلوبی با توجه به ریسک J وجود نداشته باشد، مجموعه T_j^- یا T_j^+ می‌تواند مجموعه تهی باشد. بر این اساس، زمانی که ریسک‌های دیگر بر ریسک J اولویت دارند، \bar{D}_j قدرت وابستگی متقابل ریسک J می‌باشد. \bar{D}_j را می‌توان به صورت زیر تعریف نمود.

$$\bar{D}_j = \gamma \frac{1}{|V_j^-|} \sum_{R_i \in V_j^-} D_{ij} + (1 - \gamma) \frac{1}{|V_j^+|} \sum_{R_i \in V_j^+} D_{ij} \quad (4)$$

وقتی $0 \leq \bar{D}_j \leq 1$ و پارامتر $\gamma \in [0, 1]$ نشان دهنده اهمیت درجه وابستگی متقابل ریسک نامطلوب نسبت به نوع مطلوب است. مجموعه V_j^- شامل تمامی ریسک‌هایی است که بر ریسک J مقدم هستند و اثرات وابستگی‌های متقابل ریسک نامطلوب می‌باشند. $|V_j^-|$ تعداد مؤلفه‌ها در مجموعه V_j^- را نشان می‌دهد. بطور مشابه، مجموعه V_j^+ از تمامی ریسک‌هایی تشکیل شده که بر ریسک J مقدم هستند و اثرات وابستگی‌های متقابل ریسک مطلوب هستند. $|V_j^+|$ تعداد مؤلفه‌ها در مجموعه V_j^+ را نشان می‌دهد. اگر هیچ وابستگی متقابل ریسک نامطلوب یا مطلوبی از حیث ریسک J وجود نداشته باشد، مجموعه V_j^- یا V_j^+ می‌تواند مجموعه تهی باشد.

تحلیل واکنش به ریسک

مدل بهینه

برای آشنایی با مدل، ابتدا مفاهیم مورد نیاز ارائه می‌شوند. b_j زیان مورد انتظار رویداد ریسک J می‌باشد. بمنظور کاهش زیان مورد انتظار ریسک‌ها، استراتژی‌های مناسبی باید جهت مقابله با ریسک‌ها در اجرای پروژه پیشنهاد و انتخاب گردند. $A = \{A_1, \dots, A_m\}$ مجموعه استراتژی‌های پاسخ به ریسک‌ها و C_h هزینه اجرای استراتژی A_h ، $(h = 1, \dots, m)$

است. a_{hj} زیان مورد انتظار کاهش یافته پس از پیاده‌سازی A_h برای مقابله با رویداد ریسک j است. B بودجه مورد نیاز برای اجرای استراتژی‌های واکنش به ریسک می‌باشد. مدل بهینه غیرخطی برای انتخاب استراتژی‌های واکنش به ریسک با توجه به وابستگی متقابل ریسک بصورت زیر می‌باشد (ژانگ، ۲۰۱۶):

$$\text{Max } V(y) = E[U(y)] = \sum_{h=1}^m \sum_{j=1}^n w_j U(y_{hj}) \quad (5)$$

$$\text{s.t. } \sum_{h=1}^m (c_h \max_j y_{hj}) \leq B \quad (6)$$

$$y_{hj} \in \{0,1\} \quad (7)$$

در مدل بالا، اگر استراتژی A_h برای رویداد ریسک j اجرا شود y_{hj} برابر با ۱ است، در غیر این صورت برابر با ۰ می‌باشد. تابع هدف (۵)، مطلوبیت مورد انتظار مدیر پروژه را بیشینه می‌نماید. محدودیت (۶) تضمین می‌نماید که هزینه اجرای استراتژی‌های واکنش به ریسک کمتر از بودجه در دسترس باشد. " \max_j " در محدودیت (۶) نشان می‌دهد که هزینه اجرای هر استراتژی پاسخ به ریسک را نمی‌توان بیش از یک بار لحاظ نمود. در ادامه، تابع مطلوبیت $U(y_{hj})$ و تابع وزندهی w_j به ترتیب توضیح داده می‌شوند. همان‌طور که گفته شد، در مدل بالا هدف مدیر پروژه بیشینه‌سازی مطلوبیت مورد انتظار است. با توجه به اینکه نگرش مدیر پروژه ریسک‌گریزی در نظر گرفته شده است، از یک تابع مطلوبیت مقعر جهت بیان مطلوبیت استفاده می‌شود. در میان توابع مطلوبیت مقعر، تابع مطلوبیت نمایی بطور رایج در تحلیل تصمیم‌گیری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (تستلین و وینکلر، ۲۰۰۵). از این‌رو در این تحقیق از تابع مطلوبیت نمایی استفاده می‌شود. یعنی داریم:

$$U(y_{hj}) = 1 - e^{-\alpha(y_{hj}a_{hj})} \quad (8)$$

در رابطه بالا، $U(y_{hj})$ نشان‌دهنده ارزیابی ذهنی تأثیر استراتژی h بر ریسک j است. پارامتر α ضریب ریسک‌گریزی مطلق می‌باشد. همچنین، تابع وزندهی w_j شدت ریسک j را نشان می‌دهد که $w_j \in (0, 1)$ است. در این مقاله فرض بر این است که شدت ریسک با دو

ویژگی قدرت وابستگی متقابل ریسک و زیان مورد انتظار ریسک در ارتباط است. بنابراین، تابع وزن دهی W_j را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$w_j = \lambda(\theta D_j + (1 - \theta)\bar{D}_j) + (1 - \lambda) \frac{b_j}{\sum_{j=1}^n b_j} \quad (9)$$

در رابطه بالا، پارامتر λ درجه اهمیت وابستگی متقابل ریسک را نسبت به زیان مورد انتظار عادی شده نشان می‌دهد که $\lambda \in [0, 1]$ است. پارامتر θ نشان‌دهنده درجه اهمیت قدرت D_j است که $\theta \in [0, 1]$ است. علاوه بر این، $\frac{b_j}{\sum_{j=1}^n b_j}$ زیان مورد انتظار را نشان می‌دهد.

مطالعه موردی

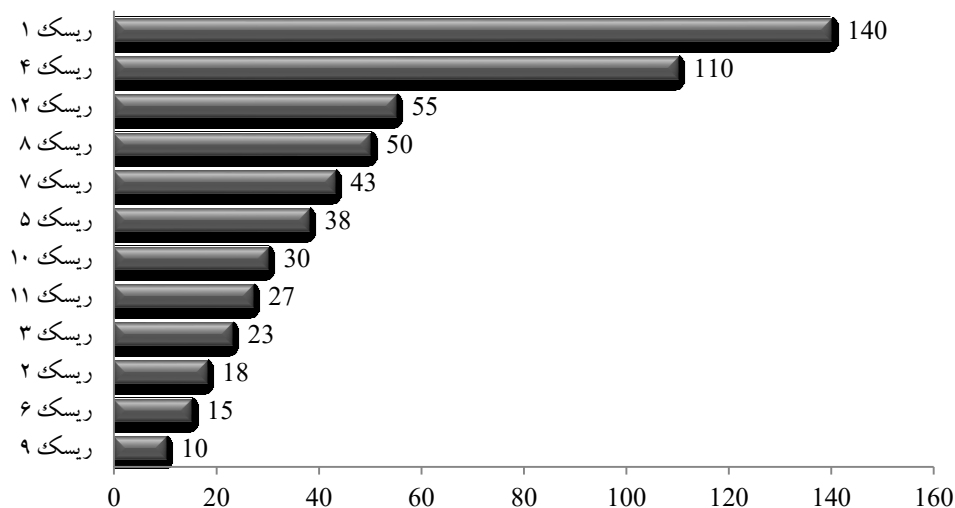
در این بخش، یک پروژه ساختمانی برای حل مسئله انتخاب استراتژی پاسخ به ریسک با توجه به وابستگی متقابل ریسک در نظر گرفته شده و تلاش گردیده است تا تأثیر وابستگی متقابل ریسک بر مطلوبیت مورد انتظار، هزینه‌های پیاده‌سازی استراتژی‌ها و انتخاب استراتژی پاسخ به ریسک بررسی گردد. پروژه موردنظر ساختمان ۷ طبقه مسکونی با زیربنای حداکثر ۱۲۶۰ مترمربع در شهرستان آمل قرار دارد که مجموع بودجه درنظر گرفته شده یک میلیارد و صد میلیون تومان می‌باشد. در مرحله آغازین پروژه ساختمانی، یک گروه متخصص به منظور ارزیابی ریسک‌های پروژه و وابستگی‌های متقابل ریسک تشکیل گردید. گروه تخصصی شامل چهار فرد متخصص شامل دو مهندس عمران، یک مهندس معمار و یک مهندس ناظر می‌باشد. با انجام تحلیل جامع از پروژه و برگزاری یک جلسه طوفان ذهنی، ریسک‌های بحرانی مشخص شده‌اند. سپس، زیان مورد انتظار ریسک‌های موردنظر بر اساس داده‌های تاریخی و تجربیات و قضاوت‌های متخصصان برآورد گردید. ریسک‌های پروژه و زیان‌های مورد انتظار آن‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. هزینه‌ها به صورت بازه می‌باشند که برای هر کدام طول بازه به صورت تخمینی بدست آمده است.

جدول ۲. فهرست ریسک‌های پروژه

ردیف	نماد	ریسک	هزینه (میلیون تومان)	طول بازه
۱	R_1	حوادث کار در ارتفاع	۱۰-۱۵۰	۱۴۰
۲	R_2	کیفیت پایین کالا و مصالح	۲-۲۰	۱۸
۳	R_3	کیفیت بتن	۱۰-۳۳	۲۳
۴	R_4	ریزش بر اثر گودبرداری	۴۰-۱۵۰	۱۱۰
۵	R_5	تأخیر در دریافت تجهیزات	۳۰-۶۸	۳۸
۶	R_6	کمبود نیروی انسانی	۲۰-۳۵	۱۵
۷	R_7	نوسانات آب و هوایی	۱۰-۵۳	۴۳
۸	R_8	شوک و آسیب الکتریکی	۱۵۰-۲۰۰	۵۰
۹	R_9	تخصیص پایین نیروی کار	۵-۱۵	۱۰
۱۰	R_{10}	تزریق نامناسب بودجه	۷۰-۱۰۰	۳۰
۱۱	R_{11}	تورم	۳۰-۵۷	۲۷
۱۲	R_{12}	زمان‌بندی‌های نادرست پرداخت	۱۰-۶۵	۵۵

با توجه به جدول ۲، نمودار گردباد^۱ برای درک بیشتر از تأثیر هزینه ریسک بر روی پروژه در شکل ۲ نشان داده شده است. نمودار گردباد یک حالت خاص از نمودارهای میله‌ای^۲ است. یکی از کاربردهای نمودار گردباد تحلیل حساسیت پارامترهای مختلف به هم وابسته و در نهایت تعیین پارامتر تعیین کننده است. با یک نگاه به این نمودار می‌توانید تأثیرگذارترین پارامتر و میزان تأثیر احتمالی آن را تشخیص داد.

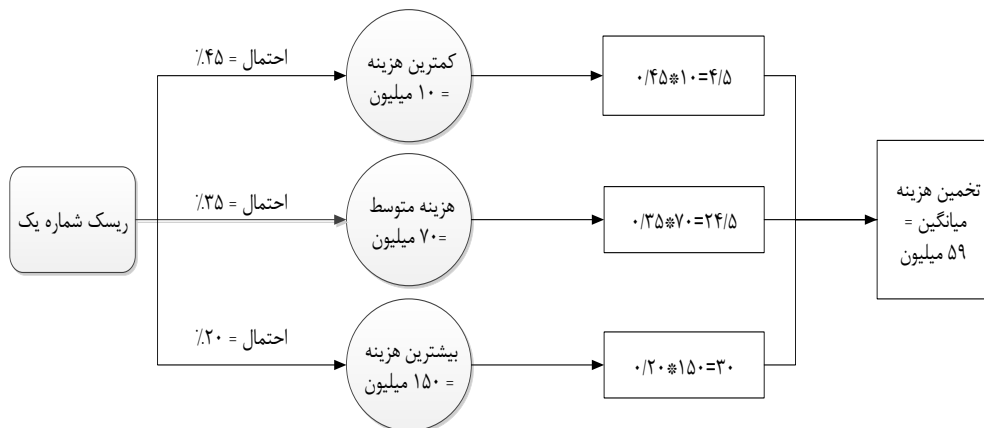
1. Tornado Chart
2. Bar Chart



شکل ۲. نمودار گردباد

در ادامه برای بدست آوردن میانگین هزینه ریسک‌ها از آنالیز درخت تصمیم^۱ استفاده می‌شود. درخت تصمیم یک ابزار برای پشتیبانی از تصمیم است که از درخت‌ها برای مدل کردن استفاده می‌کند. این روش بطور معمول در تحقیق‌ها و عملیات مختلف استفاده می‌شود. به‌طور خاص در آنالیز تصمیم، برای تعیین استراتژی که با بیشترین احتمال به هدف برسد بکار می‌رود. استفاده دیگر از درختان تصمیم، توصیف محاسبات احتمال شرطی است. با توجه به نظرات متخصصین، برای هر ریسک ۳ نوع هزینه با احتمال‌هایی در نظر گرفته شده است. سپس با ضرب احتمالات در هزینه و بدست آوردن مجموع هزینه کل، تخمین هزینه هر ریسک به روش درختی انجام می‌گیرد. برای مثال، یک نمونه از محاسبات روش درختی مربوط به ریسک شماره یک شامل بازه ۱۰ تا ۱۵۰ در شکل ۳ نشان داده شده است. جدول ۳ شامل تخمین هزینه‌ی تمام ریسک‌های پروژه به روش آنالیز درخت تصمیم می‌باشد. با توجه به این

جدول می‌توان دریافت که در نظر گرفتن کدام ریسک‌ها در پروژه‌های ساختمانی مهم‌تر است.



شکل ۳. روش درختی هزینه ریسک شماره یک

جدول ۳. تخمین میانگین هزینه ریسک‌ها

هزینه	ریسک	نماد	ردیف
۵۹	حوادث کار در ارتفاع	R_1	۱
۱۷	کیفیت پایین کالا و مواد	R_2	۲
۲۳	کیفیت بتن	R_3	۳
۶۲	ریزش بر اثر گودبرداری	R_4	۴
۴۵	تأخیر در دریافت تجهیزات	R_5	۵
۲۵	کمبود نیروی انسانی	R_6	۶
۲۱	نوسانات آب و هوایی	R_7	۷
۱۹۰	شوک و آسیب الکتریکی	R_8	۸
۸	تخصص پایین نیروی کار	R_9	۹
۹۰	تزریق نامناسب بودجه	R_{10}	۱۰
۴۳	تورم	R_{11}	۱۱

۵۵	زمان‌بندی‌های نادرست پرداخت	R_{12}	۱۲
----	-----------------------------	----------	----

همان‌طور که ریسک‌های پروژه بکممک متخصصین تعریف شده‌اند، استراتژی‌هایی نیز برای پاسخگویی به ریسک‌ها انتخاب و هزینه هر یک توسط متخصصین برآورد شده است. جدول ۴ بیانگر استراتژی‌های پاسخ به ریسک و هزینه مربوط به هر یک از آنها می‌باشد.

جدول ۴. استراتژی‌های پاسخ به ریسک پروژه

هزینه (میلیون)	استراتژی ریسک	نماد	ردیف
۲	کمربندها و طناب‌های نجات مخصوص و سایر تجهیزات	A_1	۱
۴	بیمه	A_2	۲
۶	نظارت تقویتی کیفیت پروژه	A_3	۳
۴	تأمین مصالح از نمایندگی‌های معتبر و قابل اعتماد	A_4	۴
۲	بالا بردن تعداد نمونه بتن	A_5	۵
۲	نصب فنس و مهارت‌های مناسب برای تأمین ایمنی	A_6	۶
۴۰	پایدارسازی خاک برداری با روش‌های مختلف مهار خاک	A_7	۷
۱۰	ذخیره‌سازی	A_8	۸
۲	پیگیری سفارش‌ها	A_9	۹
۲	رزرو داشتن نیروی کار چندمهارته به صورت موازی	A_{10}	۱۰
۲	داشتن برنامه‌ی زمان‌بندی‌شده برای اجرای پروژه	A_{11}	۱۱
۳	استفاده از لباس و دستکش عایق	A_{12}	۱۲
۲	افزایش آگاهی ایمنی با آموزش	A_{13}	۱۳
۵	استخدام مهندسان و کارکنان باتجربه	A_{14}	۱۴
۶	برنامه‌ریزی مالی و وام‌ها	A_{15}	۱۵
۲	تحت نظر داشتن وضعیت اقتصادی	A_{16}	۱۶
۵	از دست دادن سود بانکی	A_{17}	۱۷
۲	زمان‌بندی‌های درست پرداخت	A_{18}	۱۸

روابط میزان همبستگی میان ریسک‌ها و تعیین اثرات وابستگی‌های متقابل ریسک‌های مطلوب و نامطلوب نیز بکمک تحلیل متخصصان تعیین می‌شوند. سپس از هر یک از متخصصین درخواست می‌شود تا ارزیابی خود از وابستگی متقابل ریسک‌ها را با استفاده یک مقیاس پنج عبارتی به صورت زیر بیان نمایند (ژانگ، ۲۰۱۶).

$$S = \{ S_4 = \text{خیلی قوی} , S_3 = \text{قوی} , S_2 = \text{متوسط} , S_1 = \text{ضعیف} , S_0 = \text{خیلی ضعیف} \}$$

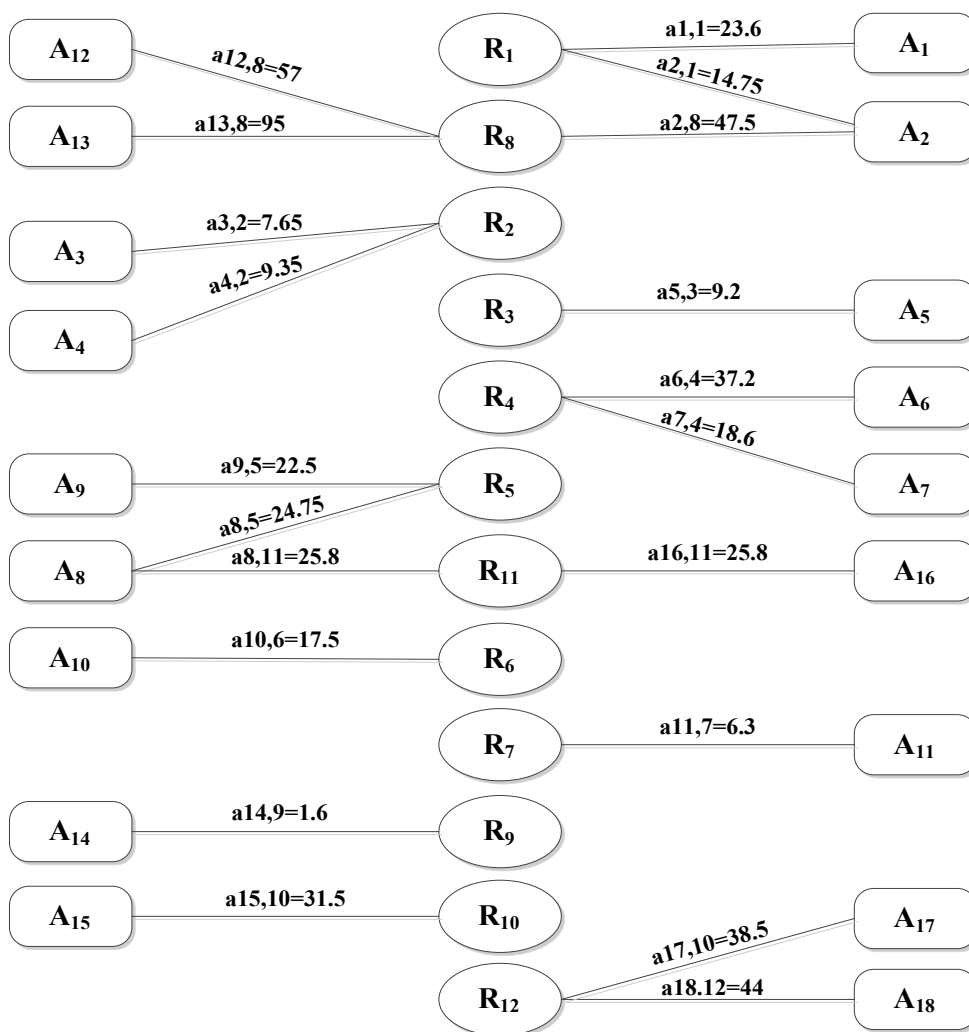
شکل ۴ یک نمونه از ماتریس پر شده توسط یکی از متخصصین می‌باشد که با استفاده از مجموعه S تکمیل شده است و تأثیر ریسک‌ها بر روی یکدیگر را نشان می‌دهد. برای مثال، طبق نظر این متخصص تأثیر R_2 روی R_3 خیلی قوی (S_4) و تأثیر R_3 روی R_2 خیلی ضعیف (S_0) می‌باشد.

از/به	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}
R_1	...	S_0	S_0	S_0	S_0	S_1	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0
R_2	S_0	...	S_4	S_2	S_0	S_0	S_0	S_2	S_0	S_0	S_0	S_0
R_3	S_0	S_0	...	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0
R_4	S_0	S_0	S_0	...	S_0	S_1	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0
R_5	S_0	S_0	S_0	S_0	...	S_0	S_0	S_1	S_0	S_0	S_0	S_0
R_6	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	...	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0
R_7	S_3	S_0	S_2	S_2	S_3	S_0	...	S_0	S_0	S_0	S_1	S_0
R_8	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	...	S_0	S_0	S_0	S_0
R_9	S_3	S_0	S_2	S_3	S_0	S_0	S_0	S_3	...	S_0	S_0	S_1
R_{10}	S_0	S_4	S_3	S_0	S_3	S_2	S_0	S_0	S_2	...	S_0	S_4
R_{11}	S_0	S_1	S_2	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_2	...	S_2
R_{12}	S_0	S_0	S_1	S_0	S_3	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	...

شکل ۴. نمونه‌ی ماتریس تأثیر متقابل ریسک‌ها

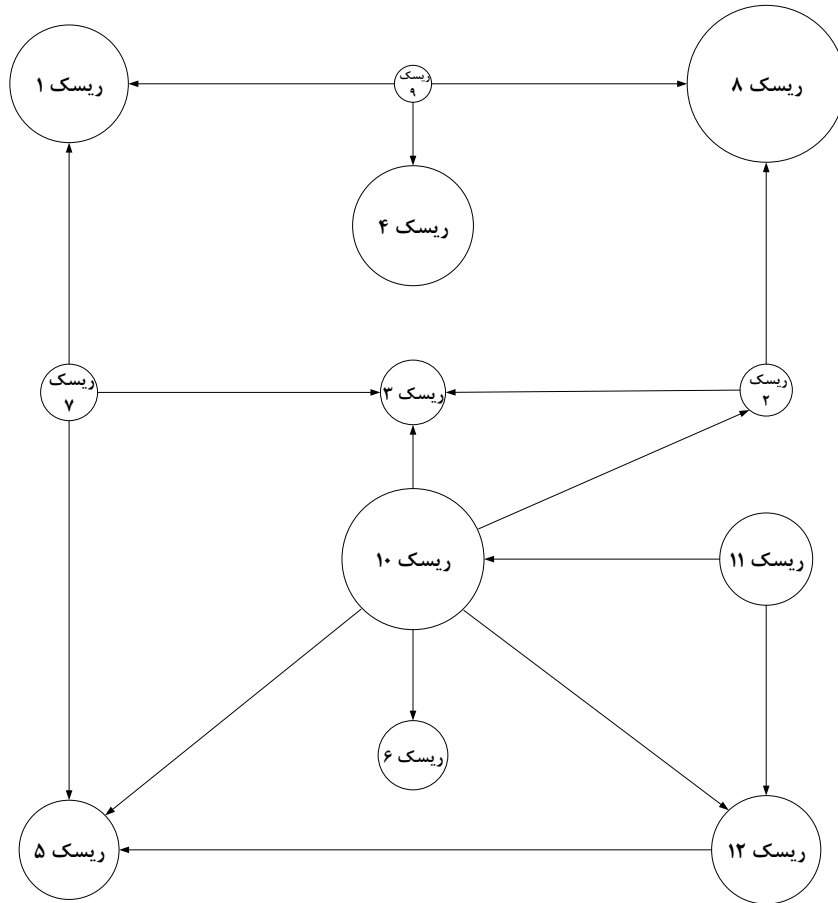
شکل ۵ بیانگر ارتباط میان استراتژی‌های پیشنهادی و ریسک‌های موجود در پروژه می‌باشد که بر مبنای تحلیل ریسک‌ها و وابستگی‌های متقابل آنها توسط متخصصین توسعه یافته است. در

این شکل، اعداد روی هر پیکان نشانگر مقدار کاهش هزینه بعد از اجرای استراتژی مربوطه می‌باشد. برای مثال، با توجه به نظرات متخصصین برای R_8 سه استراتژی پاسخ معرفی شده است. با توجه به اعداد روی پیکان‌ها، هزینه این ریسک پس از اجرای استراتژی A_2 از ۱۹۰ به ۴۷٫۵ کاهش می‌یابد.



شکل ۵. تأثیرات استراتژی‌های پاسخ به ریسک

قدرت وابستگی متقابل ریسک (D_{ij}) را می‌توان با استفاده از معادله (۱) محاسبه نمود و مقدار D_{ji} نیز بکمک خصوصیات ۱ و ۲ قابل محاسبه است. پس از محاسبه قدرت وابستگی متقابل ریسک‌ها، شبکه ریسک پروژه به صورت نشان داده شده در شکل ۶ ایجاد می‌گردد. این شکل ارتباط بین ریسک‌ها و تأثیر آن‌ها روی هم را نشان می‌دهد و جهت پیکان نشان‌دهنده تأثیر بیشتر از یک ریسک بر روی ریسک دیگر می‌باشد. همچنین، اندازه‌ی دایره هر ریسک بیانگر قدرت (هزینه) هر ریسک در پروژه نسبت به دیگر ریسک‌ها است. پس از تعیین پارامترهای η و γ ، مقادیر D_j و \bar{D}_j را می‌توان با استفاده از معادلات (۳) و (۴) مشخص نمود.



شکل ۶. شبکه ریسک پروژه

نتایج محاسبه‌ای و تحلیل حساسیت

در این تحقیق از ابزار غیرخطی نرم‌افزار GAMS23.4 برای حل مدل استفاده شده است. در حل مدل توسعه یافته، بودجه کل ۵۰ میلیون تومان و $\alpha = 1$ در نظر گرفته شده‌اند. از آنجاییکه اثرات وابستگی‌های متقابل ریسک در پروژه نامطلوب است، فرض می‌شود که پارامتر η در معادله (۳) برابر با ۱ است. به طور مشابه، فرض می‌شود که پارامتر γ در معادله (۴) برابر است با ۱ به دلیل اینکه توجهات معطوف به وابستگی متقابل ریسک و مسیرهای آن می‌تواند مطلوبیت مورد انتظار و راه‌حل برای مدل را متفاوت سازد. شکل ۷ نشان می‌دهد که مطلوبیت مورد انتظار نسبت به تغییر پارامتر λ حساس است. همچنین، شکل ۸ نشان می‌دهد که مطلوبیت مورد انتظار نسبت به پارامتر θ نیز حساس است و این حساسیت همان‌طور که مقدار θ بتدریج افزایش می‌یابد، آشکارتر می‌گردد. با توجه به شکل ۷، مقادیر $\lambda = 0.8$ و $\theta = 0.2$ بعنوان ورودی مدل در نظر گرفته می‌شوند. بر اساس این مقادیر و با استفاده از معادله (۹)، وزن هر یک از ریسک‌ها محاسبه و در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵: وزن ریسک‌ها با $\lambda = 0.8$ و $\theta = 0.2$

مقادیر	وزن
۰,۵۹۸۴۶۳۲۹۸	w_1
۰,۷۲۰۳۲۱۱۵۴	w_2
۰,۵۵۳۸۳۴۰۳۱	w_3
۰,۴۹۹۴۳۵۷۳۷	w_4
۰,۵۴۷۴۱۸۵۸۳	w_5
۰,۶۴۷۸۳۶۹۹۱	w_6
۰,۱۳۳۲۳۹۰۷۲	w_7
۰,۴۵۹۵۶۱۱۲۹	w_8
۰,۱۳۹۱۶۳۸۳۷	w_9
۰,۸۲۰۲۰۳۰۶۶	w_{10}
۰,۱۷۳۴۷۹۶۲۴	w_{11}
۰,۷۳۷۲۴۱۳۷۹	w_{12}

همانطور که پیش تر گفته شد، در مدل ارائه شده هدف بیشینه ساختن مقدار مورد انتظار تابع مطلوبیت کل است. توابع مطلوبیت با بهره‌گیری از از معادله (۸) و مقادیر a_{hj} (شکل ۵) قابل محاسبه‌اند. برای مثال، با در نظر گرفتن $h = j = 1$ تابع مطلوبیت مربوط به ریسک و استراتژی شماره ۱ بصورت $U(y_{1,1}) = 1 - e^{-1(23.6 * y_{1,1})}$ خواهد بود. سایر توابع مطلوبیت بروش مشابه بدست می‌آیند. مدل مورد استفاده (معادله‌های ۵ تا ۷)، با توجه به پارامترهای مدل بصورت زیر نوشته می‌شود:

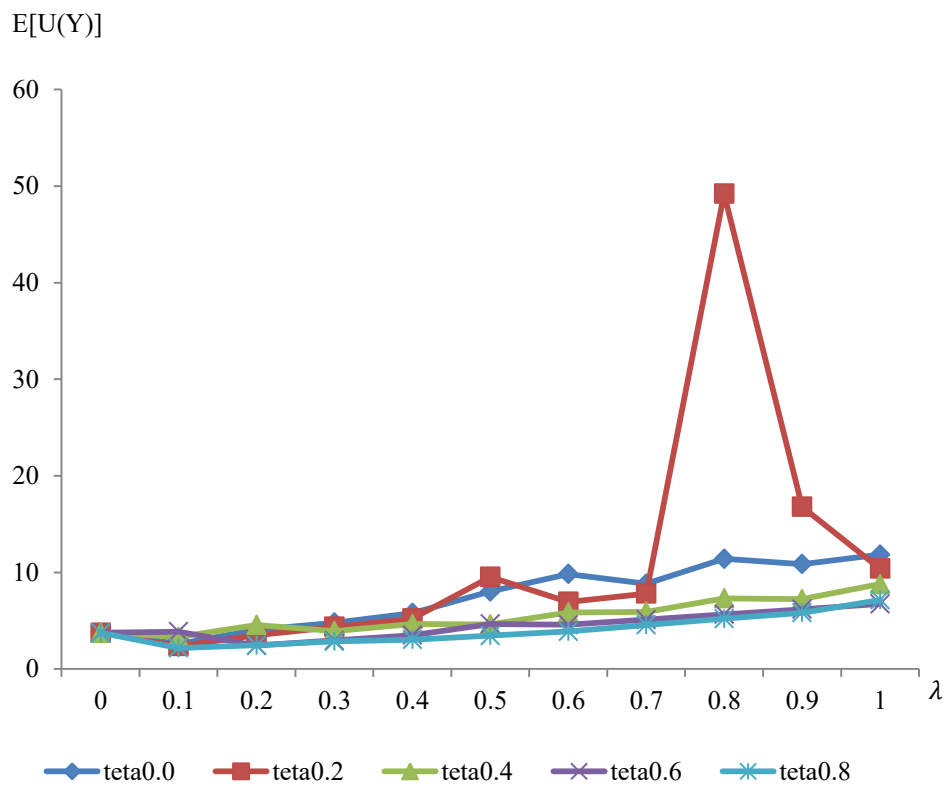
$$\begin{aligned}
 \text{Max} \quad V(y) = E[U(y)] = & \\
 & 0.598463298 * [(1 - e^{-1(y_{1,1} * 23.6)}) + (1 - e^{-1(y_{2,1} * 14.75)})] + \\
 & 0.720321154 * [(1 - e^{-1(y_{3,2} * 7.65)}) + (1 - e^{-1(y_{4,2} * 9.35)})] + \\
 & 0.553834031 * [(1 - e^{-1(y_{5,3} * 9.2)})] + \\
 & 0.499435737 * [(1 - e^{-1(y_{6,4} * 37.2)}) + (1 - e^{-1(y_{7,4} * 18.6)})] + \\
 & 0.547418583 * [(1 - e^{-1(y_{8,5} * 24.75)}) + (1 - e^{-1(y_{9,5} * 22.5)})] + \\
 & 0.647836991 * [(1 - e^{-1(y_{10,6} * 17.5)})] + \\
 & 0.133239072 * [(1 - e^{-1(y_{11,7} * 6.3)})] + \\
 & 0.459561129 \\
 & \quad * [(1 - e^{-1(y_{2,8} * 47.5)}) + (1 - e^{-1(y_{12,8} * 57)})] \\
 & \quad + (1 - e^{-1(y_{13,8} * 95)})] + \\
 & 0.139163837 * [(1 - e^{-1(y_{14,9} * 1.6)})] + \\
 & 0.820213166 * [(1 - e^{-1(y_{15,10} * 31.5)})] + \\
 & 0.173479624 * [(1 - e^{-1(y_{8,11} * 25.8)}) + (1 - e^{-1(y_{16,11} * 25.8)})] + \\
 & 0.737241379 * [(1 - e^{-1(y_{17,12} * 38.5)}) + (1 - e^{-1(y_{18,12} * 44)})]
 \end{aligned}$$

Subject to:

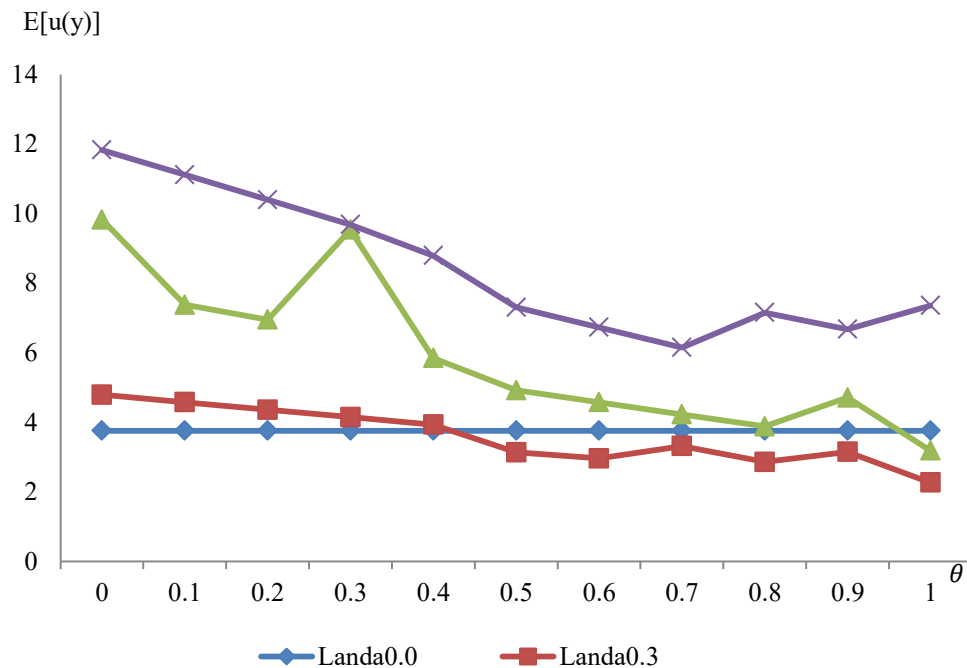
$$\begin{aligned} & \left(2 \max_j y_{1,j}\right) + \left(4 \max_j y_{2,j}\right) + \left(6 \max_j y_{3,j}\right) + \left(4 \max_j y_{4,j}\right) + \\ & \left(2 \max_j y_{5,j}\right) + \left(2 \max_j y_{6,j}\right) + \left(40 \max_j y_{7,j}\right) + \\ & \left(10 \max_j y_{8,j}\right) + \left(2 \max_j y_{9,j}\right) + \left(2 \max_j y_{10,j}\right) + \\ & \left(2 \max_j y_{11,j}\right) + \left(3 \max_j y_{12,j}\right) + \left(2 \max_j y_{13,j}\right) + \\ & \left(5 \max_j y_{14,j}\right) + \left(6 \max_j y_{15,j}\right) + \left(2 \max_j y_{16,j}\right) + \\ & \left(5 \max_j y_{17,j}\right) + \left(2 \max_j y_{18,j}\right) + \leq 50 * 10^6 \end{aligned}$$

$$y_{1,1}, y_{1,2}, \dots, y_{18,12} \in \{0,1\}$$

پس از حل مدل بکممک نرم افزار GAMS، استراتژی‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ بعنوان بهترین استراتژی‌های پاسخ انتخاب شده‌اند. هزینه اجرای این استراتژی‌ها برابر با ۵۰ میلیون تومان و مطلوبیت مورد انتظار آنها ۴۹,۲ محاسبه گردیده است. همانطور که پیش‌تر گفته شد، با تغییر مقادیر λ و θ ، هزینه اجرای استراتژی‌های بهینه و مطلوبیت مورد انتظار ممکن است تغییر یابند (شکل‌های ۷ و ۸). با توجه به این شکل‌ها، مطلوبیت مورد انتظار نسبت به تغییرات پارامتر λ در مقایسه با تغییرات پارامتر θ از حساس‌تر است. از این‌رو ضروری است که مدیر پروژه ابتدا بر روابط بهم بسته و سپس بر مسیرهای وابستگی متقابل در تمرکز نماید. علاوه بر این، از شکل‌های ۷ و ۸ می‌توان دریافت که راه‌حل بهینه زمانی قابل اطمینان است که مقدار λ مشخصاً کوچک نباشد. بنابراین، توجه بیشتر به وابستگی متقابل ریسک می‌تواند هزینه اجرای استراتژی‌های پاسخ به ریسک را کاهش دهد.



شکل ۷. مطلوبیت مورد انتظار با θ های متفاوت



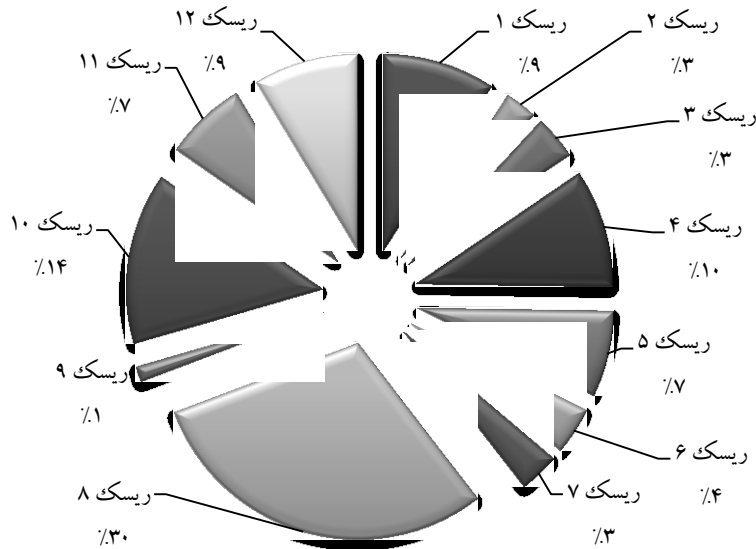
شکل ۸. مطلوبیت مورد انتظار با λ های متفاوت

بحث و دیدگاه‌ها

در تحقیق حاضر به فرآیند مدیریت ریسک و مراحل پیاده‌سازی آن در پروژه‌های ساختمانی پرداختیم و با مرور ادبیات تحقیق و استانداردهای موجود در این زمینه یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی ترکیبی با در نظر گرفتن اثر متقابل ریسک ارائه نمودیم که هدف مدل، یافتن استراتژی‌های واکنش مناسب برای بیشینه نمودن مطلوبیت با توجه به محدودیت بودجه است. منظور از بیشینه نمودن مطلوبیت، انتخاب استراتژی‌های مناسب برای واکنش به ریسک‌هایی است که بیشترین تأثیر را بر اهداف پروژه دارند. در این تحقیق مراحل انجام کار به شرح زیر است:

- ریسک‌های بحرانی پروژه‌های ساختمانی از طریق بررسی یک پروژه مشابه در شهرستان آمل و استفاده از تجربیات متخصصین با برگزاری یک جلسه طوفان ذهنی و ادبیات تحقیق شناسایی شده‌اند.

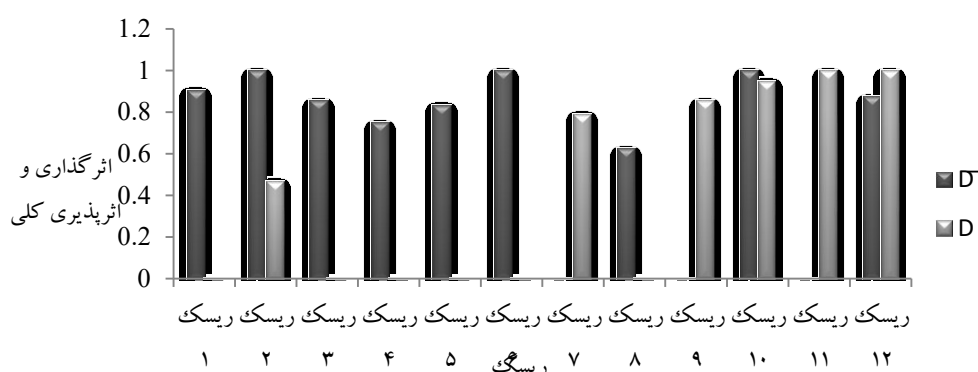
- میانگین هزینه‌ی ریسک‌ها پس از مصاحبه با خبرگان و استفاده از تکنیک درخت تصمیم بدست آمد و ریسک‌های ۱، ۴، ۸، ۱۰ و ۱۲ به‌عنوان ریسک‌های کلیدی پروژه مشخص گردیدند که ۷۲ درصد هزینه کل ریسک‌ها را شامل می‌شوند (شکل ۹).



شکل ۹. درصد میانگین هزینه هر ریسک نسبت به میانگین هزینه کل ریسک‌ها

- تشکیل ماتریس اثرمتقابل ریسک که اثرمتقابل تمامی ریسک‌ها را توسط متخصصین بررسی می‌کند. این ماتریس از طریق مصاحبه با چهار متخصص به دست آمد که یک نمونه از آن در شکل ۴ آورده شد. سپس، با استفاده از ماتریس اثر متقابل ریسک‌ها و رابطه‌های (۱ و ۲) به محاسبه وابستگی متقابل ریسک‌ها پرداختیم. در ادامه به محاسبه میزان قدرت ابعاد اثر متقابل ریسک یعنی میزان اثرگذاری و اثرپذیری کلی هر ریسک پرداختیم. یک بعد اثر متقابل ریسک به وضعیتی اشاره دارد که ریسک زبر سایر ریسک‌ها اثر می‌گذارد و بعد دیگر به وضعیتی اشاره دارد که ریسک‌های دیگر بر ریسک ز اثر می‌گذارند. شکل ۱۰ نشان می‌دهد بیشترین

D_j مربوط به ریسک‌های ۱۱ و ۱۲ با مقدار ۱ است که بیشترین تأثیر را بر سایر ریسک‌ها می‌گذارند و کمترین D_j مربوط به ریسک‌های ۱، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۸ با مقدار ۰ است که کمترین اثر را بر سایر ریسک‌ها دارند. همچنین، بیشترین \bar{D}_j مربوط به ریسک‌های ۲، ۶ و ۱۰ با مقدار ۱ است که بیشترین تأثیر را از سایر ریسک‌ها دریافت می‌کنند و کمترین \bar{D}_j مربوط به ریسک‌های ۷، ۹ و ۱۱ با مقدار ۰ است که کمترین تأثیر را از سایر ریسک‌ها دریافت می‌کنند.

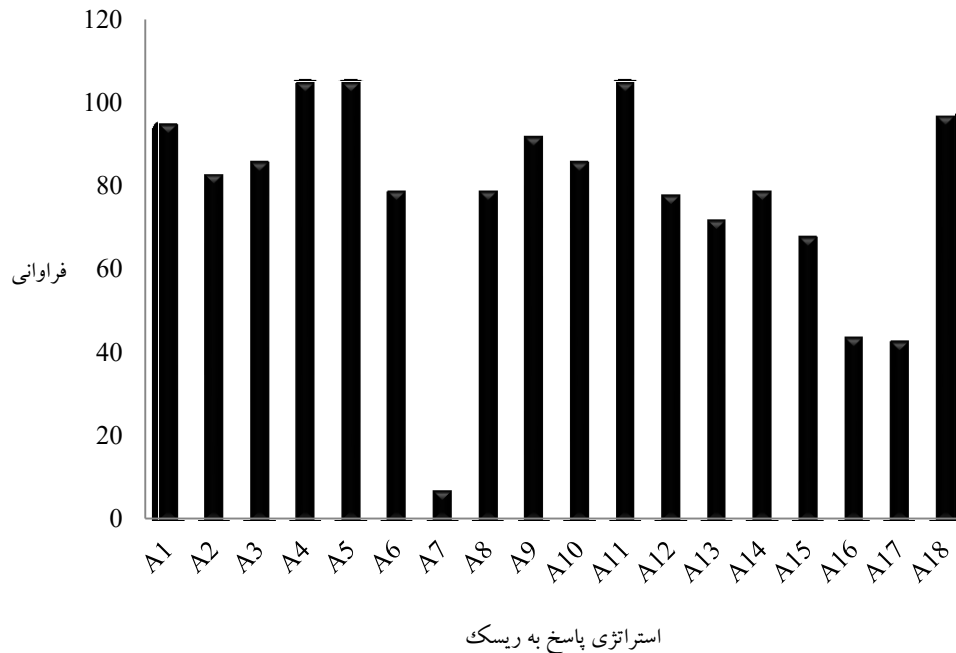


شکل ۱۰. مقایسه قدرت وابستگی ریسک‌ها

- شناسایی استراتژی‌های واکنش به ریسک از طریق مصاحبه و تشکیل جلسات با گروه متخصصین پروژه انجام شد که در این پروژه ۱۸ استراتژی واکنش به ریسک معرفی گردید. هزینه اجرای هر استراتژی و اثرات اجرای استراتژی‌ها طبق نظر متخصصین برآورد شد که بیشترین هزینه با توجه به جدول ۴ مربوط به استراتژی ۷ به میزان ۴۰ میلیون تومان بوده و کمترین هزینه مربوط به استراتژی‌های ۱، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۶ و ۱۸ به میزان ۲ میلیون تومان بوده است.
- در این تحقیق با در نظر گرفتن $\theta = 0.2$ و $\lambda = 0.8$ ، استراتژی‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ بعنوان بهترین استراتژی‌های واکنش به

ریسک انتخاب گردیدند. حداکثر مطلوبیت مورد انتظار با توجه به محدودیت بودجه ۵۰ میلیون تومانی، برابر با عدد ۴۹,۲ شده است.

- تحلیل حساسیت با در نظر گرفتن $\lambda = 0, 0.3, 0.6, 1$ $\forall \lambda; \theta =$
 $\forall \theta; \lambda =$ $(0, 0.1, 0.2, \dots, 0.9, 1)$ و $\theta = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ انجام گرفت. شکل ۱۱ میزان فراوانی استفاده از استراتژی‌ها را در کل پروژه نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده، چهار استراتژی ۴، ۵، ۱۱ و ۱۸ بیشترین کاربرد و چهار استراتژی ۷، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ کمترین کاربرد را در حالات مختلف داشته‌اند.



شکل ۱۱. فراوانی انتخاب هر یک از استراتژی‌ها در جواب‌های بهینه

- به منظور بررسی تأثیر ابعاد پروژه روی مدل، تعداد استراتژی‌ها و تعداد ریسک‌ها را در حالت‌های مختلف ارزیابی و زمان‌سنجی کردیم. جدول ۶ نشان می‌دهد که با افزایش ابعاد پروژه (تعداد استراتژی‌ها و تعداد ریسک‌ها)، زمان حل نیز تقریباً به صورت خطی

افزایش می‌یابد. برای مثال با در نظر گرفتن ۱۶ ریسک و ۲۴ استراتژی زمان ۹۲۶ ثانیه به‌طور میانگین صرف اجرای مدل شده است در حالیکه با افزایش تعداد ریسک‌ها از ۱۶ به ۱۸، زمان اجرای مدل به ۱۰۸۶ ثانیه می‌رسد. از طرفی با توجه به نتایج بدست آمده از جدول ۶ می‌توان گفت تأثیر استراتژی‌ها بر زمان حل تا حدودی بیشتر از ریسک‌ها است. بنابراین، باید استراتژی‌هایی را معرفی کرد که برای مقابله با ریسک‌ها کاربردی و مفید باشد و از استراتژی‌هایی که کاربرد زیادی در دنیای واقعی ندارند، صرف نظر کرد.

جدول ۶. ارزیابی تأثیر ابعاد پروژه بر روی مدل ریاضی

۲۴	۲۲	۲۰	۱۸	استراتژی	ریسک
۴۹۲	۳۳۴	۲۳۸	۱۵۱		۱۲
۷۶۳	۶۵۹	۴۹۴	۳۲۵		۱۴
۹۲۶	۷۸۲	۵۵۱	۲۹۱		۱۶
۱۰۸۶	۸۸۹	۷۶۰	۴۹۸		۱۸

نتیجه‌گیری

همانطور که می‌دانیم پروژه‌های ساختمانی یکی از پروژه‌های مهم و چالش‌برانگیز کشورهای درحال توسعه است. در این مطالعه، یک رویکرد جامع برای انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک ارائه گردید. به‌طور کلی پس از بررسی پروژه مورد نظر و برگزاری جلسه طوفان مغزی، دوازده ریسک شناسایی شده‌اند. نتایج به‌دست آمده نشان داد خطرات حوادث کار در ارتفاع (R_1)، ریزش بر اثر گودبرداری (R_4)، شوک و آسیب الکتریکی (R_8)، تزریق نامناسب بودجه (R_{10}) و زمان‌بندی‌های نادرست پرداخت (R_{12}) به‌عنوان مهم‌ترین خطرات پروژه‌های ساختمانی محسوب می‌شوند. برای انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک و بررسی بیشتر اثرات وابستگی متقابل ریسک بر تصمیمات در مورد پاسخ به ریسک پروژه، یک مدل برنامه‌نویسی جزء صحیح مورد استفاده قرار گرفت. در این مدل، ما زیان ریسک مورد انتظار،

وابستگی متقابل ریسک را با تعریف تابع وزن دهی در نظر گرفته و با نتایج محاسبه به دست آمده و با حل مدل، دریافته‌ایم که هر استراتژی پاسخ به ریسک می‌تواند با رویدادهای ریسک متعدد مقابله نماید و در طرف دیگر هر رویداد ریسک را می‌توان از طریق چندین استراتژی پاسخ به ریسک مورد توجه قرار داد.

پس از اجرای مدل مشخص شد که استراتژی‌های پاسخ شامل تأمین مصالح از نمایندگی‌های معتبر و قابل اعتماد، بالا بردن تعداد نمونه بتن، داشتن برنامه‌ی زمان‌بندی شده برای اجرای پروژه و زمان‌بندی‌های درست پرداخت نیاز بیشتری به توجه سرمایه‌گذاران دارند. همچنین، مدیر پروژه باید اهمیت بالایی را به وابستگی متقابل ریسک اختصاص دهد و سپس تأکید بیشتری را بر ریسک‌هایی نماید که در سیستم پروژه بر دیگر ریسک‌ها تقدم دارند. توجه کم یا غفلت از وابستگی متقابل ریسک مطلوبیت مورد انتظار را کاهش و هزینه پیاده‌سازی را افزایش می‌دهد و حتی بر منافع کلی حاصل از مدیریت ریسک پروژه نیز تأثیر می‌گذارد. توجه به یک ریسک، زمانی ارزشمند است که بتوان به دو سؤال پاسخ داد. اول اینکه آیا تأثیرات یک ریسک بر تمامی ریسک‌های دیگر مطلوب است یا خیر؟ دوم این که آیا ریسک مورد نظر می‌تواند بر اهداف پروژه به‌طور مثبت تأثیر بگذارد؟ از مطالعات موجود می‌توان دریافت که اثرات یک ریسک که می‌تواند به‌صورت منفی بر ریسک دیگر تأثیر بگذارد عموماً نامطلوب‌اند. با این تفاسیر، در پروژه‌های واقعی، همچنان رایج است که ریسک‌های مثبت به‌طور کافی مدیریت نمی‌شوند، البته صرف‌نظر از روابط همبسته آنان با دیگر ریسک‌ها؛ بنابراین، کار میدانی تجربی بیشتری به‌منظور مطالعه ریسک‌های مثبت و وابستگی‌های متقابل آنها مورد نیاز است. بطور کلی، این کار یک جزء مهم را برای تصمیمات پاسخ به ریسک پروژه فراهم می‌نماید. انتظار بر این است که روش پیشنهادی بتواند برای مجموعه‌ای وسیع از پروژه‌های مهندسی برای مدیریت ریسک کاربردپذیر باشد.

منابع

- Ackermann, F., Eden, C., Williams, T., & Howick, S. (2007). Systemic risk assessment: a case study. *Journal of the Operational Research Society*, 58(1), 39-51.
- Adner, R. (2006). Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. *Harvard business review*, 84(4), 98.
- Badenhorst, K. P., & Eloff, J. H. (1994). TOPM: a formal approach to the optimization of information technology risk management. *Computers & Security*, 13(5), 411-435.
- Ben-David, I., & Raz, T. (2001). An integrated approach for risk response development in project planning. *Journal of the Operational Research Society*, 52(1), 14-25.
- Buchan, D. H. (1994). Risk analysis--Some practical suggestions. *cost Engineering*, 36(1), 29.
- Chapman, C. B. (1979). Large engineering project risk analysis. *IEEE Transactions on Engineering Management*, (3), 78-86.
- Chapman, C., & Ward, S. (2003). *Project risk management: processes, techniques, and insights*. Wiley.
- Dandage, R. V., Mantha, S. S., Rane, S. B., & Bhoola, V. (2018). Analysis of interactions among barriers in project risk management. *Journal of Industrial Engineering International*, 14(1), 153-169.
- Datta, S., & Mukherjee, S. K. (2001, June). Developing a risk management matrix for effective project planning--an empirical study. *Project Management Institute*. 32(2), 45-57.
- De Gusmão, A. P. H., Silva, M. M., Poletto, T., e Silva, L. C., & Costa, A. P. C. S. (2018). Cybersecurity risk analysis model using fault

tree analysis and fuzzy decision theory. *International Journal of Information Management*, 43, 248-260.

Elkjaer, M., & Felding, F. (1999). Applied project risk management-introducing the project risk management loop of control. *Project management*, 5(1), 16-25.

Fan, M., Lin, N. P., & Sheu, C. (2008). Choosing a project risk-handling strategy: An analytical model. *International Journal of Production Economics*, 112(2), 700-713.

Fang, C., & Marle, F. (2012). A simulation-based risk network model for decision support in project risk management. *Decision Support Systems*, 52(3), 635-644.

Fang, C., Marle, F., Xie, M., & Zio, E. (2013). An integrated framework for risk response planning under resource constraints in large engineering projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 60(3), 627-639.

Fang, C., Marle, F., Zio, E., & Bocquet, J. C. (2012). Network theory-based analysis of risk interactions in large engineering projects. *Reliability Engineering & System Safety*, 106, 1-10.

Fazli, M., Afshari, A. J., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2018). Identification and ranking of risks in Green Building projects using the hybrid SWARA-COPRAS method. *In Proceedings of the International conference of Iranian Operations Research Society, Kermanshah, Iran*; pp. 1-5.

Flanagan, R., & Norman, G. (1993). *Risk analysis for construction*. Wiley- Blackwell.

Ghassemi, A., & Darvishpour, A. (2018). A novel approach for risk evaluation and risk response planning in a geothermal drilling project using DEMATEL and fuzzy ANP. *Decision Science Letters*, 7(3), 225-242.

Haimes, Y. Y., & Chittester, C. G. (2005). A roadmap for quantifying the efficacy of risk management of information security and interdependent SCADA systems. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 2(2).

Hatefi, M. A., & Seyedhoseini, S. M. (2012). 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)*, 3(3), 60-78.

Kayis, B., Zhou, M., Savci, S., Khoo, Y. B., Ahmed, A., Kusumo, R., & Rispler, A. (2007). IRMAS—development of a risk management tool for collaborative multi-site, multi-partner new product development projects. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 18(4), 387-414.

Klein, J. H., Powell, P. L., & Chapman, C. B. (1994). Project risk analysis based on prototype activities. *Journal of the Operational Research society*, 45(7), 749-757.

Klein, S. A., & Hartmann, D. L. (1993). Spurious changes in the ISCCP dataset. *Geophysical Research Letters*, 20(6), 455-458.

Kujawski, E. (2002). Selection of technical risk responses for efficient contingencies. *Systems Engineering*, 5(3), 194-212.

Kwan, T. W., & Leung, H. K. (2011). A risk management methodology for project risk dependencies. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 37(5), 635-648.

Marchwicka, E., & Kuchta, D. (2017). Modified optimization model for selecting project risk response strategies. *Operations Research and Decisions*, 27(2), 77-90.

Marincioni, V., Marra, G., & Altamirano-Medina, H. (2018). Development of predictive models for the probabilistic moisture risk assessment of internal wall insulation. *Building and Environment*, 137, 257-267.

Marle, F., & Vidal, L. A. (2011). Project risk management processes: improving coordination using a clustering approach. *Research in Engineering Design*, 22(3), 189-206.

Marle, F., Vidal, L. A., & Bocquet, J. C. (2013). Interactions-based risk clustering methodologies and algorithms for complex project management. *International Journal of Production Economics*, 142(2), 225-234.

Miller, R., Lessard, D. R., Michaud, P., & Floricel, S. (2001). *The strategic management of large engineering projects: Shaping institutions, risks, and governance*. MIT press.

Naji, H. I., & Ali, R. H. (2018). Risk response selection in construction projects. *Civil engineering journal*, 3(12), 1208-1221.

Piney, C. (2002, June). Risk response planning: selecting the right strategy. In *The Fifth European project management conference, PMI Europe*.

Pipattanapiwong, J., & Watanabe, T. (2000). Multi-party risk management process (MRMP) for a construction project financed by an international lender. In *Proceeding of Construction Engineering and Management Symposium* (pp. 85-92).

PMI, A. (2008). guide to the project management body of knowledge Project Management Institute. *Newton Square, PA*.

Seyedhoseini, S. M., Noori, S., & Hatefi, M. A. (2009). An integrated methodology for assessment and selection of the project risk response actions. *Risk analysis*, 29(5), 752-763.

Soofifard, R., & Bafruei, M. K. (2016). Fuzzy multi-objective model for project risk response selection considering synergism between risk responses. *International Journal of Engineering Management and Economics*, 6(1), 72-92.

Soofifard, R., & Bafruei, M. (2017). An optimal model for Project Risk Response Portfolio Selection (P2RPS). *Iranian Journal of Management Studies (IJMS)*, 9(4), 741-65.

Soofifard, R., Bafruei, M. K., & Gharib, M. (2018). A Mathematical Model For Selecting The Project Risk Responses In Construction Projects. *Int. J. Optim. Civil Eng*, 8(4), 601-624.

Soofifard, R., & Gharib, M. (2017). A New Approach to Project Risk Responses Selection with Inter-dependent Risks. *International Journal of Engineering-Transactions B: Applications*, 30(5), 720-728.

Tsetlin, I., & Winkler, R. L. (2005). Risky choices and correlated background risk. *Management Science*, 51(9), 1336-1345.

Wu, D., Li, J., Xia, T., Bao, C., Zhao, Y., & Dai, Q. (2018). A multiobjective optimization method considering process risk correlation for project risk response planning. *Information Sciences*, 467, 282-295.

Zhang, Y., & Fan, Z. P. (2014). An optimization method for selecting project risk response strategies. *International Journal of Project Management*, 32(3), 412-422.

Zhang, Y. (2016). Selecting risk response strategies considering project risk interdependence. *International Journal of Project Management*, 34(5), 819-830.

Zhang, Y., & Zuo, F. (2016). Selection of risk response actions considering risk dependency. *Kybernetes*, 45(10), 1652-1667.

Zuo, F., & Zhang, K. (2018). Selection of risk response actions with consideration of secondary risks. *International Journal of Project Management*, 36(2), 241-254.