Journal of Structural and Construction Engineering, 11(1), 2024, pp. 41-63

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

A Multi Objective Decision Model to optimizing project Risk Allocation in infrastructure projects, Multi Objective Analytical Hierarchical Analysis Method

Garshasb Khazaeni [1]*, Amineh Etemadi [2], Ali Khazaeni [3]

1- Assistant professor, Department of Civil Engineering, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- MSc, Architectural School, Tehran University, Tehran, Iran
3-MSc Student, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Risk allocation is a strategic decision in project management. But the examination of the practical experience of managing construction projects shows that the process of allocating risks is generally based on the personal judgments of employers. Therefore, the inappropriate allocation of risks causes an increase in claims in the contract and ultimately increases the cost and time of the project. For this reason, many researchers have been searching for a systematic model to determine the optimal allocation of risks, which will help employers to choose the optimal model of risk allocation in the least time and cost. The purpose of this article is to provide a quantitative model for selecting the optimal allocation of project risks, in a way that provides a balanced model agreed upon by all contractual parties. To design the proposed model, by analyzing the behavior characteristics and expectations of the employer in the process of risk allocation, three goals: 1) transferring the risk to the most capable agent, 2) paying the lowest cost of risk management and 3) achieving the lowest level of risk for the employer. has been introduced. Then, by developing quantitative functions to measure these three goals, a multi-criteria decision model is presented that can measure the degree of achievement of the employer's goals in different patterns of risk allocation. By receiving the judgment of the decision maker in the form of qualitative criteria, the proposed model evaluates different risk allocation options and achieves the most appropriate project risk allocation pattern in the form of a Pareto optimal curve. The proposed model in a A case study has been implemented and its results have been compared with some of the most widely used risk allocation models. The results of this model show that achieving a balanced pattern of risk allocation that satisfies the interests of all parties in the project requires attention to the conflicting goals of the employer. While focusing on transferring the maximum risk to the other party, it will increase the project costs and eventually not achieve other time and financial goals of the project.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 04 February 2023
Revise Date: 06 July 2023
Accept Date: 11 July 2023

Keywords:
Risk Allocation,
Risk management,
Construction Contract,
Project Management,
Multi Criteria Decision Making (MCDM)

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2023.383623.3028

*Corresponding author: Garshasb Khazaeni
Email address: khazaeni.ga@wtiau.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی – پژوهشی)
www.jsce.ir

توسعه مدل تصمیم گیری چند هدفه برای تخصیص بهینه ریسک های پروژه در حوزه زیرساخت؛ با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی چند هدفه

گرشاسب خزائنی[1*]، امینه اعتمادی[2]، علی خزائنی[3]

۱- استادیار، گروه عمران، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- کارشناس ارشد، دانشکده معماری، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- کارشناس ارشد، دانشکده عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

تخصیص ریسک یک تصمیم استراتژیک در مدیریت پروژه ها است، و منافع یا خسارات احتمالی هر یک از طرف های قرارداد را مشخص می سازد. بررسی تجربیات عملی مدیریت پروژه های ساخت نشان می دهد که عموما فرآیند تخصیص ریسک ها بر اساس قضاوت های شخصی کارفرمایان صورت می گیرد و در نهایت موجب افزایش در هزینه و زمان پروژه می گردد. هدف این مقاله ارائه یک مدل کمی برای انتخاب تخصیص بهینه ریسک های پروژه است، به نحوی که الگوئی متعادل و مورد توافق همه طرف های قراردادی را ارائه دهد. برای طراحی مدل پیشنهادی، با تحلیل مشخصات رفتاری و انتظارات کارفرما در فرآیند تخصیص ریسک، سه هدف: ۱) انتقال ریسک به توانمندترین عامل، ۲) پرداخت کمترین هزینه مدیریت ریسک و ۳) دستیابی به پائین ترین سطح مخاطره برای کارفرما شناسائی گردیده است. سپس با توسعه توابع کمی برای اندازه گیری این اهداف سه گانه، یک مدل تصمیم گیری چند معیاره مبتنی بر روش تحلیل سلسله مراتبی ارائه شده است که می تواند میزان دستیابی به اهداف کارفرما را در الگوهای متفاوت تخصیص ریسک اندازه گیری نماید. مدل پیشنهادی با دریافت قضاوت تصمیم گیرنده در قالب معیارهای کیفی، اقدام به ارزیابی گزینه های متفاوت تخصیص ریسک و ارائه تخصیص بهینه ریسک ها در قالب یک منحنی بهینه پارتو می نماید. مدل پیشنهادی در یک مطالعه موردی‌پیاده سازی شده و نتایج آن با برخی از پرکاربردترین مدل های تخصیص ریسک مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج این مدل نشان می دهد که دستیابی به یک الگوی متعادل تخصیص ریسک که منافع تمامی طرفین را در پروژه برآورده سازد، نیازمند توجه به اهداف متضاد کارفرما است. در حالیکه تمرکز بر انتقال حداکثر ریسک به طرف مقابل، موجب افزایش هزینه های پروژه و نهایتا عدم دستیابی به دیگر اهداف زمانی و مالی پروژه می گردد.

کلمات کلیدی: مدیریت پروژه، تخصیص ریسک، تصمیم گیری چند معیاره، مدیریت قرارداد، مدیریت ریسک

سابقه مقاله:					
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	شناسه دیجیتال:
۱۴۰۲/۱۲/۱۵	۱۴۰۲/۰۴/۱۵	۱۴۰۲/۰۴/۲۰	۱۴۰۲/۰۴/۲۰	۱۴۰۳/۰۱/۳۱	doi: 10.22065/jsce.2023.383623.3028
					https://doi.org/10.22065/jsce.2023.383623.3028

نویسنده مسئول[*]: گرشاسب خزائنی

پست الکترونیکی: Khazaeni.ga@wtiau.ac.ir

۱- مقدمه

به دلیل تعدد عوامل پروژه و عدم قطعیت های فراوان، ریسک یک جز جدا نشدنی پروژه های زیر ساخت[1] می باشد. در واقع ریسک ها در پروژه های ساخت قابل حذف شدن نیستند بلکه در طی فرآیند تخصیص ریسک، به یک عامل دیگر منتقل شده یا تسهیم می شوند [۱]. تخصیص ریسک فرایند شناسائی و توزیع منافع یا زیان احتمالی از وقوع ریسک بین عوامل پروژه است. لذا تخصیص ریسک معمولا یک فعالیت چالشی در مدیریت قراردادها می باشد[۲]. بررسی تجربیات عملی تخصیص ریسک در بیست سال گذشته نشان می دهد که درصد قابل ملاحظه ای از هدر رفت هزینه ها در پروژه های ساخت به دلیل تخصیص نامناسب ریسک ها صورت گرفته است و به همین دلیل تخصیص ریسک را عامل اساسی در موفقیت پروژه می دانند [۳].

کیفیت مدیریت ریسک، تا حد زیادی وابسته به نحوه تخصیص ریسک ها است. چرا که تخصیص ریسک مشخص می کند چگونه ابزارهای کاهش ریسک در قالب منابع، مالک ریسک و مکانیسم ها مهیا شده اند و به درستی بکارگرفته شده اند[۴]. و اگر کارفرما بخواهد ریسک ها را به صورت یکسویه و نامتعادل تخصیص دهد؛ پیمانکار استراتژی های تدافعی اتخاذ می نماید و در نهایت منجر به تاخیر در زمانبندی، افزایش هزینه ها و زیان مالی برای کارفرما می‌گردد [۵].

با توجه به تأثیر حیاتی تخصیص ریسک بر اهداف پروژه ، مطالعات زیادی برای انتخاب تخصیص مناسب ریسک انجام شده است [۶]، انجمن مهندسین عمران آمریکا[2] (۱۹۹۵) یک تحقیق پرسشنامه ای برای شناسایی تخصیص مناسب ریسک ها انجام داده است [۷]. کارتام و کارتام[3] (۲۰۰۱) الگوی مناسب تخصیص ریسک را از دیدگاه بزرگترین پیمانکاران کشور کویت ارائه داده اند [۸]. بینگ و همکاران[4] (۲۰۰۵) با انجام یک نظرسنجی پرسشنامه ای، ترجیحات تخصیص ریسک در پروژه های سرمایه گذاری بخش خصوصی[5] در انگلیس را نشان داده اند [۹]. السایق[6] (۲۰۰۸) به تخصیص ریسک به مناسب ترین طرف قرارداد در صنعت ساخت و ساز امارات متحده عربی پرداخته است [۱۰]. المری و همکاران[7] (۲۰۱۹) با بکارگیری روش پرسشنامه، به صورت کمی تاثیر هزینه ریسک را بر روی تخصیص ریسک ها را بررسی کرده اند [۱۱]. رافت و همکاران[8] (۲۰۲۰) با روش مصاحبه ساختار یافته، یک چهارچوب تخصیص ریسک برای پروژه های صنعت آب در کشور مصر توسعه داده اند [۱۲]. هیاست و همکاران[9] (۲۰۲۲) با بررسی ۶۲ عنوان ریسک در کشور اردن، نتیجه گرفته اند که ریسک ها بایست به عاملی تخصیص یابد که توانایی بیشتری در ارزیابی، کنترل و مدیریت این ریسک داشته باشد [۱۳].

لام و همکاران[10] (۲۰۰۷) یک مدل کمی برای تخصیص ریسک معرفی کرده اند که با استفاده از اصول کمی و بهره گیری از قضاوت کمی خبرگان به روش تئوری فازی اقدام به شناسائی تخصیص بهینه نموده اند [۱۴]. مدا[11] (۲۰۰۷) فرآیند تخصیص ریسک را با یک مدل داوری نهائی[12] با رویکرد تئوری بازی ها مدلسازی کرده است [۱۵]. جین و زانگ (۲۰۱۰) فرآیند تخصیص ریسک در یک پروژه مشارکت عمومی خصوصی را با شبکه عصبی مصنوعی مدلسازی کرده است [۶]. زو و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل ارزیابی فازی برای تعیین تخصیص ریسک مناسب در پروژه های ساخت توسعه داده اند [۱۶]. خزائنی و همکاران (۲۰۱۳) یک مدل مبتنی بر بهینه یابی کلونی

[1] Infrastructures
[2] American Society of Civil Engineering (ASCE)
[3] Kartam and Kartam
[4] Bing et al.
[5] Private Financing Initiative (PFI)
[6] El-Sayegh
[7] Almarri et al.
[8] Rafaat et al.
[9] Hiyassat et al.
[10] Lam et al.
[11] Medda
[12] Final Offer Arbitration

مورچگان برای بهینه سازی تخصیص ریسک ها معرفی کرده اند [۱۷]. شرستا[13] و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از تئوری عامل اصلی[14] یک چهارچوب برای تخصیص ریسک های مشارکت عمومی خصوصی ارائه داده اند [۱۸]. شهاده و همکاران[15] (۲۰۲۲) با توسعه تابع منفعت[16] برای طرفین قرارداد به روش تحلیل هزینه-فرصت[17]، تسهیم ریسک ها در قراردادهای هزینه ای را تعیین نموده اند [۱۹]. کاستل بلانکو[18] و همکاران (۲۰۲۰) با انجام مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته با متخصصان مشارکت عمومی خصوصی در کشور شیلی، نحوه تخصیص ریسک در پروژه‌های بزرگراهی را به تفکیک قراردادهای مشارکت عمومی خصوصی با پیشنهادات درخواستی[19] و یا پیشنهادات ناخواسته[20] معرفی کرده اند [۲۰]. هانا و ابوسیف[21] (۲۰۲۲) با بررسی حقوقی مفاد قراردادهای همسان استاندارد (مانند قراردادهای مؤسسه معماران آمریکایی[22]) و تحلیل سوابق قضایی در ایالات متحده، تاثیر تخصیص ریسک ها بر هزینه و زمان را بررسی کرده اند [۲۱]. جوکار و همکاران (۲۰۲۳) یک مدل سیستماتیک برای ارزیابی ریسک های بحرانی آزاد راه های ایران با استفاده از روش‌های تصمیم گیری چند معیاره[23] فازی شامل تاپسیس[24] و دیمتل[25] فازی ارائه داده اند [۲۲].

جدول ۱. مقایسه تحقیقات صورت گرفته و شناسائی خلا تحقیق

ردیف	نویسندگان مقاله	سال انتشار	روش تحقیق	محدوده تحقیق	چهارچوب پیشنهادی
۱	انجمن مهندسین عمران آمریکا	۱۹۹۵	پرسشنامه	آمریکا	استاتیک
۲	کارتام و کارتام	۲۰۰۱	پرسشنامه	کویت	استاتیک
۳	بینگ و همکاران	۲۰۰۵	پرسشنامه	انگلیس	استاتیک
۴	لام و همکاران	۲۰۰۷	سیستم پشتیبان تصمیم به روش فازی	جهانی	دینامیک (تک هدفه)
۵	مدا	۲۰۰۷	مدل داوری نهائی رویکرد تئوری بازی ها	جهانی	دینامیک (تک هدفه)
۶	السایق	۲۰۰۸	پرسشنامه	امارات	استاتیک
۷	جین و زانگ	۲۰۱۰	شبکه عصبی مصنوعی	جهانی	دینامیک (تک هدفه)
۸	زو و همکاران	۲۰۱۰	مدل ارزیابی فازی	جهانی	استاتیک
۹	خزائنی و همکاران	۲۰۱۳	بهینه یابی کلونی مورچگان	جهانی	دینامیک (تک هدفه)
۱۰	المری و همکاران	۲۰۱۹	پرسشنامه	استرالیا	استاتیک
۱۱	شرستا و همکاران	۲۰۱۹	تئوری عامل اصلی	جهانی	استاتیک
۱۲	رافت و همکاران	۲۰۲۰	پرسشنامه	مصر	استاتیک
۱۳	کاستل بلانکو و همکاران	۲۰۲۰	تحلیل سیستماتیک محتوای قراردادها	شیلی	استاتیک
۱۴	هیاست و همکاران	۲۰۲۲	پرسشنامه	اردن	استاتیک
۱۵	شهاده و همکاران	۲۰۲۲	توسعه تابع منفعت	جهانی	استاتیک

13 Shrestha
14 principal-agent theory
15 Shehadeh et al.
16 Utility Function
17 Gain-pain
18 Castelblanco et al.
19 Solicited
20 unsolicited
21 Hana and Aboseif
22 American Institute of Architects
23 Multi Criteria Decision Making (MCDM)
24 Technique for Order of Preference by Similarity (TOPSIS)
25 Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)

۱۶	هانا و ابوسیف	۲۰۲۲	تحلیل حقوقی قراردادهای و احکام قضائی	آمریکا	استاتیک
۱۷	جوکار و همکاران	۲۰۲۳	مدل دیمتل فازی	ایران	دینامیک (تک هدفه)

همانطور که در جدول (۱) نشان داده شده است بسیاری از تحقیقات صورت گرفته، چهارچوب های استاتیک برای تخصیص ریسک ارائه داده اند و قابلیت پوشش ویژگی های دینامیک مورد نیاز برای تصمیم گیری در فرآیند تخصیص ریسک را ندارند. چهارچوب های استاتیک، که عموما با رویکرد توصیفی و بر اساس نظرسنجی پرسشنامه ای انجام شده اند، صرفا برای شرایط معین مناسب بوده و قابلیت تعمیم به دیگر کشورها و یا دیگر انواع قراردادی را ندارند [۱۶]. لذا عملا این چهارچوب ها قابلیت پیاده سازی در انواع متفاوت قراردادی را نداشته و در صورت تغییر در مشخصات پروژه، عوامل قرارداد و ... نتایج نادرست ارائه خواهند داد.

از سوی دیگر، بررسی جدول (۱) نشان می دهد که مطالعات محدودی که برای دستیابی به مدل دینامیک انجام شده است، صرفا تخصیص ریسک را به صورت یک مساله تک هدفه مدل‌سازی کرده اند. در حالیکه تصمیم گیری در فرآیند تخصیص ریسک، نیازمند توجه به اهداف چندگانه و متضاد است که عموما کارفرمایان مدنظر دارند و تقلیل آن به تک هدف می تواند نتایج نامتعادل ایجاد نماید. به عنوان نمونه تمرکز بر کاهش مخاطرات کارفرمائی به عنوان هدف نهائی در فرآیند تصمیم گیری، می تواند در نهایت موجب افزایش هزینه های کارفرمائی در نتیجه طرح ادعاهای پیمانکاری گردد [۳]. در واقع تحلیل فرآیند تخصیص ریسک در قراردادهای اجرائی نشان می دهد که کارفرمایان اهداف متفاوت و گاه متضادی را در فرایند تخصیص ریسک پیگیری می کنند؛ لذا مساله تخصیص ریسک در قالب یک تابع چند هدفه بهینه گردد. در واقع آنچنانکه هدف این مقاله است، تصمیم گیری در مورد تخصیص ریسک نیازمند یک مدل است که تمامی اهداف کارفرما را پوشش دهد و با توازن بین اهداف متضاد، مناسب ترین گزینه را انتخاب نماید.

هدف اصلی این مقاله، ارائه یک مدل تصمیم گیری دینامیک چند هدفه برای بهینه سازی تخصیص ریسک بین عوامل پروژه با هدف دستیابی انتظارات متفاوت کارفرما از مدیریت ریسک های قرارداد است. لذا با تحلیل مفصل فرآیند تصمیم گیری در قراردادهای ساخت، ابتدا اهداف سه گانه کارفرمایان در فرآیند تخصیص ریسک شناسائی و در قالب توابع کمی فرموله شده است. و سپس با استفاده از تکنیک تصمیم گیری چند معیاره[۲۶]، یک مدل تصمیم گیری توسعه یافته است که با در نظر گرفتن اهداف کارفرما، می تواند به صورت کمی تمامی گزینه های تخصیص ریسک را رتبه بندی کرده و گزینه ای را که بالاترین الویت را متناسب با اهداف کارفرما دارد انتخاب می نماید. از آنجا که اهداف کارفرما در فرایند تصمیم گیری برای تخصیص ریسک، چندگانه و گاها متضاد است، لذا مدل پیشنهادی یک منحنی پارتو[۲۷] برای انتخاب تخصیص ریسک را بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و با مقایسه زوجی تمامی گزینه های ممکن بر اساس اهمیت نسبی یا قطعی اهداف ارائه می دهد. برای این منظور از دانش خبرگان برای ارزیابی هر یک از اهداف در مورد هر ریسک به صورت مجزا استفاده شده است. کاربرد مدل با اجرای آن در یک پروژه موردی در ایران بررسی شده است.

۲- شناسائی اهداف فرآیند تخصیص ریسک

برای رسیدن به یک مدل کمی به منظور انتخاب نحوه تخصیص مناسب ریسک ها، ابتدا باید اهداف تصمیم گیرنده در فرآیند تخصیص را شناخت. ولی از انجا که به طور سنتی، فرآیند تصمیم گیری برای تخصیص ریسک بسیار پیچیده بوده و عموما به صورت شهودی انجام می شود [۲۳]، این اهداف غالبا به صورت شفاف و به صورت پارامترهای قابل کمی شدن تعیین نشده است.

برخی محققان تلاش کرده اند که اصول فکری یا رفتاری کارفرمایان در فرآیند تصمیم گیری برای تخصیص ریسک را معرفی نمایند [۲۴-۲۷]. ولی اصول ارائه شده، بسیار کلی تر و مبهم تر از آن است که بتوان بر اساس آن معیارهای کمی برای بهینه سازی تخصیص ریسک تعریف کرد [۱۶]. در واقع این مطالعات صرفا مفاد قرارداد منعقد شده را تحلیل کرده اند و به این نتیجه رسیده اند که تخصیص ریسک وابسته به توانائی های مدیریتی طرفین است. در حالیکه مبانی تئوری و یافته های تجربی خلاف این موضوع را نشان می دهد [۶]. در واقع به نظر می رسد که تخصیص ریسک بیشتر وابسته به انتظارات و منافع هر یک از طرفین قرارداد است تا آنکه وابسته به

[26] Multi Criteria Decision Making (MCDM)

[27] Pareto Front

توانائی های مدیریتی آن عامل پروژه باشد [۲۵]. لذا هدف فرآیند تخصیص ریسک، می بایست بر اساس انتظارات و تمایلاتی باشد که مبنای تصمیم گیری کارفرمایان در فرایند تهیه اسناد مناقصه و یا تنظیم پیش نویس قرارداد می باشد [۶].

در این مقاله برای شناسائی اهداف و انتظارات کارفرمایان، فرآیند تصمیم گیری برای تخصیص ریسک ها تحلیل گردیده است. در ابتدای فرایند تخصیص ریسک؛ کارفرما به عنوان تصمیم گیرنده اصلی و مالک پروژه، مسئولیت تمامی ریسک ها پروژه را خواهد داشت و در طی فرآیند تنظیم قرارداد است که با استفاده از ابزارهای تعهدی و یا مالی تلاش می کند که این ریسک ها را به عامل دیگر منتقل کند. در این حالت تصمیم گیرنده در جستجوی بهترین عاملی از پروژه است که مطمئن باشد با انتقال ریسک به آن عامل، می‌تواند ریسک را به درستی مدیریت کرده و تبعات آن را تحمل نماید [۲۹]. لذا میتوان نتیجه گرفت که هدف تخصیص ریسک انتقال ریسک ها به عاملی است که بیشترین توانائی برای مدیریت آن ریسک دانسته است [۲۴]. ولی در ازای انتقال هر ریسک، کارفرما می بایست هزینه اضافی را در قالب درخواست افزایش سود، کاهش کیفیت یا طرح ادعاها و ... پرداخت کند [۸]. لذا کارفرما همیشه بین این تناقض قرار دارد که ریسک را خود نگه دارد یا پرداخت اضافه ای را بابت انتقال مدیریت ریسک بپذیرد.

علاوه بر این، معمولا نمی توان یک عامل را پیدا کرد که تمامی انتظارت کارفرما را برای پذیرش ریسک دارا باشد به عنوان نمونه انتخاب عاملی که منشا یک ریسک خاص بوده و انتظار است بهتر از بقیه بتواند آن ریسک را کنترل کند لزوما نمی تواند آن ریسک را با پائین ترین قیمت مدیریت کند [۱۶]. به همین دلیل پرز و همکاران[۲۸] (۲۰۱۷)، معتقدند مطالعات صورت گرفته صرفا از دیدگاه کارفرما است و دیدگاه های دیگر ذینفعان (پیمانکار و مشاور) را لحاظ نکرده است [۳۰]. در واقع، همیشه انتخاب توانمندترین عامل امکان پذیر نیست، چرا که کارفرما می بایست هزینه های این انتقال ریسک به عامل دیگر را نیز در نظر بگیرد [۲۷]. مدا (۲۰۰۷) با بررسی فرایند حل اختلافات قرارداد، استدلال کرده است که فرآیند تخصیص ریسک می بایست به صورت یک معامله بین عوامل پروژه برای دستیابی به منافع متفاوت فهمیده شود و بهترین تخصیص ریسک وابسته است به نحوه ارزیابی ریسک توسط طرفین و اینکه طرف مقابل (مثلا کارفرما) این قیمت را برای ریسک منطقی بداند یا خیر [۱۶]. همچنین تصمیم گیری کارفرما تا حد زیادی وابسته است به اینکه قیمت پیشنهادی پیمانکار برای مدیریت ریسک، نسبت به هزینه های جبران ریسک (اگر کارفرما آن ریسک را نگهداری کند)، قابل قیاس باشد [۲۳].

در عمل، عموم کارفرمایان برای کاهش سطح مخاطرات خود، تمایل به انتقال حداکثر ریسک ها به پیمانکاران را دارند [۳۱]. بعلاوه، کارفرمایان معمولا به عنوان عوامل ریسک گریز[۲۹] شناخته می شوند چرا که تمایل عمومی آنها این است که بیشترین حد ریسک ها را به سایر عوامل پروژه منتقل نمایند [۲۵]. همچنان که آبدنگو (۲۰۰۶) هدف کارفرما از انجام فرآیند تخصیص ریسک را پرهیز یا کاهش عدم قطعیت در دستیابی به اهداف پروژه شامل زمان، هزینه و کیفیت پروژه دانسته است [۳۲]. ولی ان جی و لوزمور (۲۰۰۷) نشان داده اند که این تمایل برای ریسک ها به شکل افزایش هزینه یا ایجاد دعاوی قراردادی به خود ایشان بازگردانده می شود [۲۳].

در جمع بندی مطالعات قبلی می توان اینگونه نتیجه گرفت که این اصل به عنوان هدف تصمیم گیرنده در فرایند تخصیص ریسک می تواند درست باشد که عاملی که بیشترین توانائی را برای مدیریت یک ریسک دارد، شانس بیشتری برای موفقیت خواهد داشت. ولی هزینه های این انتقال نیز یکی دیگر از فاکتورهای تصمیم گیری کارفرمایان است. همچنان که مطالعات رفتاری نشان می دهد که یکی دیگر از نگرانی های کارفرمایان این خواهد بود که نتیجه تخصیص آنها را در معرض سطح پائین تری از مخاطرات قرار دهد. طبیعی است که تصمیم گیرنده در فرآیند تخصیص ریسک علاقه مند است که بالاترین سطح قابلیت اعتماد را با کمترین هزینه مدیریت ریسک و پائین ترین سطح مخاطره به صورت توامان داشته باشد. ولی این مطلوب همیشه امکان پذیر نیست و تصمیم گیرنده می بایست یک گزینه مطلوب را پیدا کند که بهینه ترین حالت را برای براورده کردن اهداف متضاد کارفرما در فرآیند تخصیص ریسک فراهم کند. در واقع گزینه بهینه حالتی است که با ایجاد توازن بین اهداف متضاد، یک جواب بهینه را تولید می کند.

[28] Perez et al

[29] Risk Averse

در واقع، کارفرمایان در فرایند تخصیص ریسک، اهداف چندگانه را دنبال می کنند و یک تصمیم گیری قابل قبول برای تخصیص ریسک نیازمند موازنه همزمان تمامی این اهداف متفاوت است. در حالیکه ممکن است برخی از این اهداف نتایج متضاد داشته باشند و لذا تلاش برای رسیدن به یک هدف، همزمان به معنای دور شدن از هدف دیگر است. با جمع بندی مطالعات پیشین اهداف نهائی کارفرما در فرآیند تخصیص ریسک، در قالب سه هدف مستقل به شرح جدول (۲) شناسائی گردیدند:

جدول ۲. شناسائی اهداف کارفرما در فرآیند تخصیص ریسک

ردیف	عنوان هدف	[۴]	[۵]	[۶]	[۸]	[۱۱]	[۱۳]	[۱۴]	[۱۶]	[۱۹]	[۲۰]	[۲۲]	[۲۳]	[۲۴]	[۲۵]	[۲۷]	[۲۹]	[۳۰]	[۳۱]	[۳۲]
۱	انتقال بیشترین سطح ریسک ها از کارفرما به دیگر عوامل پروژه	√								√			√	√	√		√		√	√
۲	با صرف کمترین افزایش هزینه برای پروژه				√	√			√		√		√			√		√		
۳	تخصیص به توانمند ترین عامل پروژه برای مدیریت آن ریسک.		√	√			√	√					√	√	√		√			

این اهداف سه گانه در ادامه، به منظور بهینه سازی تخصیص ریسک ها در پروژه و تعیین نحوه تسهیم ریسک ها بین عوامل پروژه، به عنوان توابع هدف مدل تصمیم گیری پیشنهادی، مدلسازی و ارزیابی شده اند.

۳. تکنیک حل مساله چند هدفه

مدل پیشنهادی در این مقاله، با فرموله کردن انتظارات کارفرما در فرآیند تخصیص ریسک در قالب توابع هدف بهینه سازی، از روش AHP برای رسیدن به تخصیص ریسک بهینه استفاده می کند. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ***AHP*** یکی از محبوب ترین تکنیک های تصمیم گیری برای مسائل تصمیم گیری پیچیده با معیارهای چندگانه تبدیل شده است. به عنوان نمونه از سال ۲۰۱۴ تا سال ۲۰۱۹، بیش از ۱۷۰۰۰ نتیجه را می توان در اکثر پایگاه های داده علمی در صورت جستجو برای عبارت "فرایند تحلیل سلسله مراتبی" یافت [۳۳]. بدیهی است که چنین تکنیک محبوبی در طول سالها (از اولین انتشار آن توسط ساعتی (۱۹۷۷)) اصلاح شده است. در این مقاله نیز با الگوگیری از روش پیشنهادی توسط شریفی و همکاران [۳۴] از روش ***AHP*** توسعه یافته است که قابلیت حل مسائل چند هدفه را دارد. مزیت اساسی این روش نسبت به دیگر روش های بهینه یابی (مانند تکنیک های ***Metaheuristic***) آن است که پاسخ های بهینه از میان تمام فضای جواب های ممکن انتخاب می شوند، لذا پاسخ های پارتو در نقاط بهینه محلی گیر نمی افتند و جواب نهائی قابلیت اعتماد بالاتری را دارد [۳۵].

حل یک مساله با چند هدف متفاوت، منجر به تولید یک منحنی پارتو با چندین پاسخ بهینه می گردد که معمولا در ادبیات مدیریت ریسک به آن اشاره نشده است. تمامی جواب های تولید شده بر روی منحنی پارتو، پاسخ های بهینه ای هستند به نحوی که هیچکدام از جواب ها با در نظر گرفتن تمام اهداف مساله، بر دیگری برتری مطلق نداشته باشند [۳۴]. بنابراین، کارفرما می تواند هر یک از جواب های قرارگرفته بر روی منحنی پارتو را انتخاب کند بدون انکه لزوما نقطه بهینه مطلق را انتخاب کرده باشد و یا این پاسخ در تمامی اهدف چندگانه مساله بر دیگر نقاط قرار گرفته بر روی منحنی پارتو غلبه[30] داشته باشد.

یک مساله بهینه یابی چند هدفه[31] شامل یکسری n تائی متغیرهای تصمیم گیری، یک سری t تائی از متغیرهای هدف و یک سری s تائی از متغیرهای محدودیت است که بر روی تابع هدف $F(x)$ و تابع محدودیت $g(x)$ اعمال شده است و به صورت رابطه (۱) نمایش داده می شود:

[30] Dominate

[31] Multi Objective Problem (MOP)

$$Max / Min.Z = F(x) = (f_1(x),..., f_t(x))$$
$$Subject.to.g(x) = (g_1(x),..., g_s(x)) \quad (۱)$$

در این رابطه x بیان کننده فضای تصمیم گیری و z نشان دهنده فضای هدف است. با اعمال محدودیت ها بر روی فضای تصمیم مساله، دامنه جواب های ممکن محدود شده و سری گزینه های قابل دسترس بدست یم اید که با x_f نمایش داده می شود.

برای ارزیابی تمامی گزینه های ممکن فضای تصمیم و انتخاب گزینه بهینه بر اساس توابع هدف چندگانه، می توان از روش تصمیم گیری چند معیاره[۳۲] استفاده نمود. برای این منظور هر یک از گزینه های حل مساله می بایست با دو دسته از اهداف مقایسه شوند، معیارهای منافع و معیارهای هزینه. معیارهای منافع، اهدافی هستند که گزینه ای را انتخاب می کنند که بالاترین مقدار را بدست اورد و در مقابل معیارهای هزینه، اهدافی هستند که گزینه با پائین ترین امتیاز را بهترین گزینه می دانند [۳۰]. برای یافتن پاسخ بهینه در مسائلی که هر دو دسته اهداف منافع و اهداف هزینه وجود داشته باشند، روش تحلیل سلسله مراتبی[۳۳] (AHP) کارائی بالائی داشته و به کرات در حل مسایل چند معیاره استفاده شده است [۳۳].

روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با تعیین اهمیت مطلق هر یک از معیارها و مقایسه زوجی بین معیارها، می تواند یک مساله چند هدفه را به یک مساله تک معیاره تبدیل نماید [۳۴]. لذا برای n گزینه جواب و T معیار تصمیم، بهترین گزینه پاسخ (مثلا گزینه با بالاترین مقدار الویت) با رابطه (۲) تعیین می شود:

$$\overset{*}{Z} = Max\, Z_i = Max \sum_{t=1}^{T} F_i^t.W^t \qquad i = 1,2,....,n \qquad (۲)$$

که در ان Z^*، F_i^t و W^t به ترتیب مقادیر ارجحیت گزینه بهینه، الویت نسبی گزینه ها و وزن هر یک از اهداف می باشد. گزینه ها می توانند بر اساس مقدار Z_i رتبه بندی شوند. اگر مساله تعداد T_i معیار منافع باشد و در نتیجه تعداد $(T - T_i)$ معیار هزینه، دو روش برای تلفیق معیارها وجود دارد، روش انحراف و روش نسبت که با روابط (۳) در زیر محاسبه می شوند:

$$Z_i^{Ratio} = \frac{\sum_{t=1}^{T_1} F_i^t.W^t}{\sum_{t=T_1+1}^{T} F_i^t.W^t}$$
$$Z_i^{Dif} = \sum_{t=1}^{T_1} F_i^t.W^t - \sum_{t=T_1+1}^{T} F_i^t.W^t \quad (۳)$$

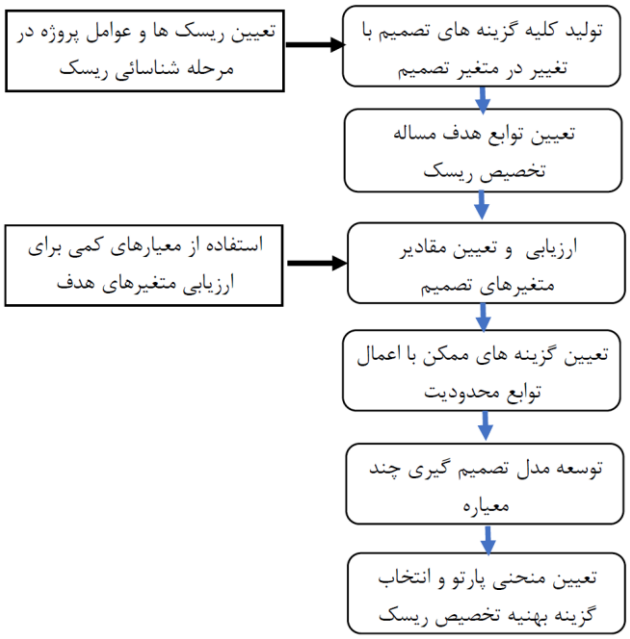
۴. مدل پیشنهادی برای تخصیص بهینه ریسک ها

با توجه به اینکه اهداف کارفرما برای شناسائی حالت بهینه متفاوت است، مدل تصمیم گیری پیشنهادی، ترکیبات متفاوت تخصیص ریسک ها بین عوامل متفاوت پروژه به نحوی جستجو می کند که به صورت همزمان تمامی اهداف کارفرما بهینه گردد. در روش تصمیم گیری چند معیاره، تمامی گزینه های ممکن با تعریف یک متغیر تصمیم (x_{ij}) تولید می شود و مطلوبیت هر یک بر مبنای متغیرهای هدف اندازه گیری می شوند. با مقایسه کلیه جواب های ممکن بر اساس الویت نسبی انها نسبت به تابع هدف، یک دسته از جواب های مطلوب[۳۴] بدست می آورد که در قالب یک منحنی پارتو نمایش داده می شود.

[32] Multi Criteria Decision Making Method (MCDM)
[33] Analytic hierarchy process (AHP)
[34] Desirable Set of Solutions

گام های زیر برای توسعه مدل پیشنهادی انجام شده است: ۱) تولید گزینه های جواب با تغییر در مقادیر پارامتر تصمیم که در فاز شناسائی ریسک تعیین شده است ۲) تعیین توابع هدف تخصیص ریسک با فرموله کردن انتظارات تصمیم گیرنده در فرایند تخصیص ریسک ۳) اندازه گیری متغیرهای هدف برای هر یک از گزینه های جواب با استفاده از قضاوت کیفی خبرگان در قالب مقادیر فازی ۴) تعیین گزینه های ممکن با اعمال محدودیت تصمیم گیری ۵) فرموله کردن مدل بهینه یابی با روش تصمیم گیری چند معیاره ۶) تعیین منحنی پارتو از میان جواب های بهینه تولید شده بر اساس رتبه بندی آنها نسبت به متغیرهای هدف.

پس از آنکه مدل پیشنهادی تکمیل گردید، این مدل در یک مگا پروژه زیرساختی پیاده سازی شده است و نتایج آن با یکی از تحقیقات مشابه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. فلوچارت شکل (۱) روش توسعه مدل پیشنهادی را نمایش می دهد:



شکل ۱. فلوچارت گام های توسعه مدل بهینه یابی تخصیص ریسک

در مراحل توسعه مدل پیشنهادی، یک تیم از خبرگان صنعت ساخت کمک گرفته شده است و نظرات ایشان با استفاده از روش دلفی جمع آوری و در مدل اعمال گردیده است. خبرگان عضو این تیم، مسئولیت شناسائی ریسک ها و ارزیابی متغیرهای هدف را برای هر یک از گزینه ها بر عهده داشته اند. اعضای تیم خبرگان به دقت انتخاب شده و دارای درجه بالائی از دانش و تجربه حرفه ای در پروژه های زیرساختی هستند. همچنان که این خبرگان با دانش مدیریت پروژه و بویژه تکنیک های مدیریت ریسک آشنائی داشته اند. سوابق فعالیتی اعضای تیم خبرگان در جدول شماره (۳) در زیر نمایش داده شده است:

جدول ۳. مشخصات تیم خبرگان مشارکت کننده در توسعه مدل

زمینه کاری	کارفرما	مشاور	پیمانکار
تعداد خبرگان (نفر)	۱۲	۱۸	۴
متوسط تجربه کاری (سال)	۱۸	۱۲	۲۶
تجربه شرکت در کارگاه مدیریت ریسک	۱/۱	۲/۳	۰/۵

۴-۱. تولید گزینه های تصمیم

با فرض n ریسک و m عامل در پروژه که هر ریسک می تواند تنها به یک عامل تخصیص یابد، ماتریس تصمیم $[x]$ به منظور تعیین الگوی تخصیص ریسک بین عوامل پروژه به شکل رابطه (۴) تعریف می شود:

$$[x]=\begin{bmatrix} x_{11} & & x_{1m} \\ & x_{ij} & \\ x_{m1} & & x_{nm} \end{bmatrix} \qquad \begin{matrix} i=1,\dots,n \\ j=1,\dots,m \end{matrix} \qquad (۴)$$

در این رابطه x_{ij} متغیر تصمیم است که می تواند مقدار صفر یا ۱ بگیرد. مقدار x_{ij} برابر با ۱ خواهد بود اگر ریسک r_i ($r_i, i \in (1,\dots,n)$) به عامل p_j ($p_j, j \in (1,\dots,m)$) تخصیص یابد. و در مقابل مقدار صفر خواهد داشت اگر ریسک r_i به عامل p_j تخصیص نیابد. i نشان دهنده مشخصه ریسک ها است که می تواند مقداری بین ۱ تا n داشته باشد و j نشان دهنده عامل تحصیص ریسک است که می تواند مقداری بین ۱ تا m پیدا کند.

از آنجا که هدف این مدل انتخاب مناسب ترین عامل برای مدیریت ریسک های پروژه است، و نه لزوما تسهیم هزینه ها و زیان ناشی از وقوع ریک بین طرفین قرارداد؛ لذا تصمیم گیرنده می بایست یک عامل خاص را برای تخصیص ریسک انتخاب نماید. و مطابق آن، متغیر تصمیم تنها می تواند اعداد ۰ یا ۱ پیدا کند. این متغیر بیان کننده ان است که عامل خاص مسئولیت مدیریت ریسک مشخص را بر عهده خواهد داشت یا خیر.

با توجه به تفاوت اهمیت ریسک از لحاظ میزان تاثیر گذاری بر اهداف پروژه، وزن هر ریسک تعیین می گردد. $[w]$ بردار وزن ریسک ها است که با رابطه (۵) نمایش داده می شود:

$$[w]=[w_1,\dots,w_i,\dots,w_n]^T \qquad (۵)$$

در آن w_i وزن ریسک r_i است و بر اساس تقسیم هزینه ناشی از وقوع ریسک i بر مجموع هزینه های وقوع ریسک های پروژه محاسبه می گردد.

۴-۲. محاسبه توابع هدف

بر اساس اصول تخصیص ریسک بررسی شده در بخش مرور ادبیات، توابع هدف تخصیص ریسک را می توان به صورت زیر بیان کرد:

(Z^1) حداکثرسازی قابلیت اعتماد پروژه؛ با انتقال ریسک به توانمندترین عامل پروژه برای مدیریت همان ریسک

(Z^2) کمینه کردن هزینه پروژه؛ با انتقال ریسک به عاملی که بیشترین تمایل را برای پیشنهاد پائین ترین قیمت را دارد

(Z^3) کمینه کردن میزان ریسک کارفرما؛ با انتقال بیشترین تعداد ریسک به دیگر عوامل پروژه

برای محاسبه توابع هدف، تصمیم گیرنده می بایست متغیرهای هدف را که با ماتریس های $[E]$، $[C]$ و $[R]$ نشان داده می شوند، برای هر یک از گزینه های مساله، ارزیابی کرده و به عنوان ورودی مدل پیشنهادی مطابق رابطه (۶) وارد نماید:

$$[R]=\begin{bmatrix} R_{11} & & R_{1m} \\ & R_{ij} & \\ R_{n1} & & R_{nm} \end{bmatrix} \quad [C]=\begin{bmatrix} C_{11} & & C_{1m} \\ & C_{ij} & \\ C_{n1} & & C_{nm} \end{bmatrix} \quad [E]=\begin{bmatrix} E_{11} & & E_{1m} \\ & E_{ij} & \\ E_{n1} & & E_{nm} \end{bmatrix} \qquad (۶)$$

در رابطه شماره (۶) اگر ریسک r_i به عامل p_j تخصیص یابد ($x_{ij}=1$)؛ مقدار R_{ij} بیان کننده قابلیت اعتماد پروژه، مقدار C_{ij} نشان دهنده هزینه پروژه و مقدار E_{ij} بیان کننده میزان سطح مخاطره کارفرما در پروژه است. توابع هدف مساله بر اساس جاگذاری مقادیر متغیرهای هدف و با استفاده از روابط (۷) اندازه گیری می شوند:

$$z^1 = Max[R].*[x].[w] = Max\begin{bmatrix} R_{11} & & R_{1m} \\ & R_{ij} & \\ R_{n1} & & R_{nm} \end{bmatrix}.*\begin{bmatrix} x_{11} & & x_{1m} \\ & x_{ij} & \\ x_{n1} & & x_{nm} \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} w_1 \\ w_i \\ w_n \end{bmatrix}$$

$$z^2 = Max[C].*[x].[w] = Max\begin{bmatrix} C_{11} & & C_{1m} \\ & C_{ij} & \\ C_{n1} & & C_{nm} \end{bmatrix}.*\begin{bmatrix} x_{11} & & x_{1m} \\ & x_{ij} & \\ x_{n1} & & x_{nm} \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} w_1 \\ w_i \\ w_n \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

$$z^3 = Max[E].*[x].[w] = Max\begin{bmatrix} E_{11} & & E_{1m} \\ & E_{ij} & \\ E_{n1} & & E_{nm} \end{bmatrix}.*\begin{bmatrix} x_{11} & & x_{1m} \\ & x_{ij} & \\ x_{n1} & & x_{nm} \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} w_1 \\ w_i \\ w_n \end{bmatrix}$$

که در ان عملگر (*) به صورت رابطه (۸) تعریف می شود:

$$\begin{bmatrix} R_{11} & & R_{1m} \\ & R_{ij} & \\ R_{n1} & & R_{nm} \end{bmatrix}.*\begin{bmatrix} x_{11} & & x_{1m} \\ & x_{ij} & \\ x_{n1} & & x_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11}.x_{11} & & R_{1m}.x_{1m} \\ & R_{ij}.x_{ij} & \\ R_{n1}.x_{n1} & & R_{nm}.x_{nm} \end{bmatrix} \qquad (۸)$$

مقدار متغیرهای هدف، وابسته به ارزیابی تصمیم گیرنده از نحوه مدیریت ریسک خاص توسط هر عامل مشخص است. برای محاسبه مقادیر متغیرهای هدف، از قضاوت خبرگان استفاده می شود که به صورت ارزیابی کیفی در یک مقیاس ۱ تا ۹ هر متغیر را ارزیابی و امتیاز دهی می کنند. برای سازماندهی نظرات تصمیم گیرندگان در ارزیابی گزینه ها، از چهارچوب مفهومی ارائه شده توسط خزائنی و همکاران (۲۰۱۲) استفاده شده است [۳۶] و نتایج در نه سطح برای مطلوبیت گزینه ها تعریف شده است: ۹ (عالی). ۸ (خیلی خوب)، ۷ (خوب)، ۶ (بالاتر از میانگین)، ۵ (معمولی)، ۴ (زیر متوسط)، ۳ (ضعیف)، ۲ (بسیار ضعیف)، و ۱ (غیر قابل قبول). در ادامه نحوه ارزیابی هر یک از این متغیر ها و دامنه معنی داری هر کدام به تفصیل تشریح شده است.

مقدار امتیاز تعلق گرفته به متغیر هدف R_{ij} نشان دهنده ارزیابی تصمیم گیرنده از میزان قابلیت اعتماد عامل p_j برای مدیریت ریسک r_i است. لذا هرچه این متغیر مقدار بالاتری را در ارزیابی تصمیم گیرنده دریافت نماید به معنای ان است که عاملی که ریسک به او تخصیص یافته است، توانائی فنی و اشراف اطلاعاتی بیشتری به ریسک داشته باشد و در نتیجه دستیابی به اهداف پروژه (شامل زمان، هزینه و کیفیت) با احتمال بالاتری اتفاق می افتد. لذا می توان انتظار داشت مدیریت ریسک بهتر انجام شده و نهایتا کمترین میزان تاخیر و کمترین افزایش هزینه برای پروژه اتفاق بیفتد. و در مقابل هر چه این متغیر پائین تر ارزیابی شود، به معنای توانمندی کمتر آن عامل برای مدیریت ریسک خاص و در نتیجه پیش بینی افزایش میزان تاخیر پروژه و یا بیشتر شدن افزایش هزینه ها به دلیل عدم مدیریت مناسب آن ریسک خاص است.

ارزیابی متغیر هدف هزینه C_{ij} وابسته به برآورد تصمیم گیرنده از هزینه مدیریت ریسک r_i است اگر توسط عامل p_j مدیریت شود. ممکن است که یک عامل برای مدیریت ریسک خاص هزینه کمتری را مطالبه نماید چرا که براورد دست پائین تری از احتمال وقوع آن ریسک دارد و یا تجربه و امکانات لازم برای مدیریت آن ریسک را در اختیار دارد. این متغیر، یک هدف هزینه (منفی) محسوب می شود، لذا بهینه ترین امتیاز مربوط به حالتی خواهد بود که کمترین مقدار را دریافت نماید. این متغیر می تواند از کمترین مقدار مربوط به حالتی که پیمانکار ادعای هیچگونه افزایش هزینه یا درخواست پاداش پذیرش ریسک ننماید تا بالاترین مقدار مربوط به حالتی که پیمانکار افزایش

قابل ملاحظه در قیمت پیشنهادی مناقصه (ضرایب پیمان) داده باشد و یا کارفرما می بایست هزینه های وقوع ریسک را به علت عدم وجود مسئول مشخص برای مدیریت آن ریسک، بپردازد.

امتیاز تعلق گرفته به متغیر هدف سطح مخاطره E_{ij} بیان کننده ارزیابی تصمیم گیرنده مبنی بر سطح مداخله مورد نیاز کارفرما در صورت انتقال مسئولیت مدیریت ریسک r_i به عامل p_j است. با توجه به اینکه این متغیر، یک هدف هزینه (منفی) محسوب می شود، لذا بهینه ترین امتیاز مربوط به حالتی خواهد بود که نیاز به کمترین سطح مداخله کارفرما در پروژه و انتقال بیشترین مسئولیت ها به دیگر عوامل پروژه است. نحوه ارزیابی و امتیاز دهی به این متغیر، وابسته به توان مالی کارفرما برای نگهداشت ذخیره مدیریتی برای جبران زیان های وارده در صورت وقع است. بالا رفتن مقدار انتخابی برای این هدف به معنای درخواست کارفرما برای مداخله بیشتر در تصمیم گیری ها و البته پذیرش سطح بالاتری از مخاطره است که در نتیجه طرح ادعاها از سوی پیمانکار ایجاد می شود. در صورت انتخاب مقدار بالاتر، کارفرما انتظار می رود که ذخیره احتیاطی را در قالب اعتبارات بودجه ای و یا دیگر منابع برای پوشش زیان های حاصل از وقوع ریسک ها پیش بینی نماید. در مقابل، انتخاب مقادیر پائین تر برای متغیر سطح مخاطره، به معنای کاهش اختیارات کارفرما برای اعمال تغییرات در حین اجرا و البته جلوگیری از طرح ادعاهای مالی علیه خود است. به عنوان مثال، در روش قرارداد امانی که کارفرما می بایست حداکثر مداخله را داشته و تصمیمات اصلی را راسا خود اتخاذ نماید، لذا این متغیر بالاترین مقدار را در ارزیابی تصمیم گیرنده خواهد داشت. در مقابل در روش مشارکت عمومی خصوصی که کمترین حد مداخله برای کارفرما فرض شده است و پیمانکار به دلیل تعهد به سرمایه گذار بالاترین پوشش را برای جبران زیان های احتمالی فراهم کرده است، انتظار است که پائین ترین مقدار (بالاترین امتیاز) را از ارزیابی تصمیم گیرنده دریافت نماید.

۴-۳. گزینه های ممکن و اعمال توابع محدودیت

برای تعیین گزینه های امکان پذیر، تصمیم گیرنده می بایست مقادیر مطلوب را برای هر یک از چهار محدودیت زیر تعیین و در مدل پیشنهادی اعمال نماید:

(S_R) کمترین سطح قابل پذیرش برای عدم تحقق اهداف پروژه

(S_C) حداکثر میزان افزایش قیمت تمام شده پروژه

(S_E) حداکثر سطح مداخله قابل انجام توسط سازمان کارفرما

(S_j) حداکثر اعتبار مالی هر یک از عوامل پروژه برای جبران هزینه های ناشی از وقوع ریسک

این محدودیت ها می‌بایست در ابتدای فرآیند تصمیم گیری برای تخصیص ریسک تعیین شده و در طول فرآیند تصمیم گیری برای حذف گزینه های تصمیم غیر ممکن کنترل شوند. توابع هدف مربوط به کنترل این محدودیت ها به شکل رابطه (۹) فرموله می شوند:

$$\begin{aligned} g_R &= [R].*[x].[w] \geq S_R \\ g_C &= [C].*[x].[w] \leq S_C \\ g_E &= [E].*[x].[w] \leq S_E \\ g_j &= [x_{1j} \quad x_{ij} \quad x_{nj}].[w] \leq S_j \qquad j = 1,2,...,m \end{aligned} \tag{۹}$$

با وارد کردن یک مقدار بزرگ به عنوان جریمه در مدل پیشنهادی (مقدار -۱۰۰ برای حالتی که متغیر هدف مثبت باشد و مقدار +۱۰۰ برای حالتی که متغیر هدف منفی باشد)، احتمال انتخاب گزینه هایی که مقادیر تعیین شده برای توابع محدودیت را براورده ننمایند، ناممکن می نماید. با این روش تصمیم گیرنده مطمئن خواهد بود که گزینه بهینه از میان گزینه هایی انتخاب خواهند شد که حداقل الزامات لازم برای تصمیم گیرنده را فراهم می نماید.

۴-۵. تعیین منحنی پارتو

هر تغییر در یکی از متغیرهای تصمیم (x_{ij}) موجب تولید یک گزینه جواب جدید می گردد ولی برای انکه بهترین گزینه ممکن ایجاد شود می بایست تمامی متغیرها به صورت همزمان تغییر کند. لذا برای این سیستم غیرخطی، گزینه بهینه قابل دسترس می بایست با تکرار بدست آید. از آنجا که روش AHP نیازمند مقایسه زوجی تمامی گزینه ها بر اساس معیارها است، با افزایش تعداد عوامل پروژه و در نتیجه افزایش گزینه های ممکن برای تخصیص ریسک، تصمیم گیرنده می بایست زمان زیاد تری را برای انجام مقایسه ها انجام دهد. در این مقاله، یک برنامه نرم افزاری مبتنی بر مدل بهینه یابی پیشنهادی در محیط نرم افزار متلب توسعه داده شده است، که می تواند به تصمیم گیرنده کمک نماید تا حجم بالای محاسبات را به انجام رساند.

با روش AHP می توان m^n گزینه متفاوت را با توجه به هر یک از اهداف مقایسه نمود. در یک AHP معمولی، برای هر گزینه یک عدد صحیح از ۱ تا ۹ اختصاص داده می شود، و ماتریس مقایسه زوجی با تقسیم اعداد متناظر گزینه ها بر یکدیگر ایجاد می شود. در مدل پیشنهادی، ما یک مقیاس رتبه بندی سه نقطه ای برای اهمیت معیارها، یعنی ۹ (اهمیت بالا)، ۵ (اهمیت متوسط) و ۱ (اهمیت کم)، و همچنین نه سطح برای گزینه ها، یعنی ۹ (عالی)، ۸ (خیلی خوب)، ۷ (خوب)، ۶ (بالاتر از میانگین)، ۵ (معمولی)، ۴ (زیر متوسط)، ۳ (ضعیف)، ۲ (بسیار ضعیف)، و ۱ (غیر قابل قبول) تعریف می کنیم.

ماتریس وزن برای هر یک از اهداف (w^i) می تواند با تجمیع اهمیت نسبی هر یک از اهداف در قالب ارزیابی کیفی با اهمیت بالا، متوسط و پائین تعیین شود. این ماتریس سپس نرمال شده و در قالب رابطه (۱۰) نمایش داده می شود:

$$\begin{array}{c} \\ W^1 \\ W^2 \\ W^3 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} W^1 & \ldots W^2 & \ldots W^3 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 9/9 & 9/5 & 9/1 \\ 5/9 & 5/5 & 5/1 \\ 1/9 & 1/5 & 1/1 \end{pmatrix} \end{array} \rightarrow \begin{pmatrix} 11.8 \\ 6.56 \\ 1.31 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.334 \\ 0.066 \end{pmatrix} \qquad (۱۰)$$

برای مقایسه سه سطح اهداف، این ماتریس ۲۵ بار ($^{۳}۳-۲$) متناسب با تغییر در اهمیت نسبی اهداف محاسبه می شوند. نتایج این محاسبات برای تعیین بردار وزنی هر یک از توابع هدف در جدول (۴) نمایش داده شده است:

جدول۴. محاسبه وزن نرمال برای توابع اهداف

Case No.	اهمیت نسبی	W^1 (قابلیت اعتماد)	W^2 (هزینه)	W^3 (سطح مخاطره)
1	high-high-medium	۰/۳۹۱	۰/۳۹۱	۰/۲۱۹
2	high-high-low	۰/۴۷۴	۰/۴۷۴	۰/۰۵۵
3	high-medium-high	۰/۳۹۱	۰/۲۱۷	۰/۳۹۳
4	high-medium-medium	۰/۴۷۴	۰/۲۶۳	۰/۲۶۵
5	high-medium-low	۰/۶۰۰	۰/۳۳۳	۰/۰۶۹
6	high-low-high	۰/۴۷۴	۰/۰۵۳	۰/۴۷۶
7	high-low-medium	۰/۶۰۰	۰/۰۶۷	۰/۳۳۵
8	high-low-low	۰/۸۱۸	۰/۰۹۱	۰/۰۹۳
9	medium-high-high	۰/۲۱۷	۰/۳۹۱	۰/۳۹۳
10	medium-high-medium	۰/۲۶۳	۰/۴۷۴	۰/۲۶۵
11	medium-high-low	۰/۳۳۳	۰/۶۰۰	۰/۰۶۹
12	medium-medium-high	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳	۰/۴۷۶

13	medium-medium-medium	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۳۳۵
14	medium-medium-low	۰/۴۵۵	۰/۴۵۵	۰/۰۹۳
15	medium-low-high	۰/۳۳۳	۰/۰۶۷	۰/۶۰۲
16	medium-low-medium	۰/۴۵۵	۰/۰۹۱	۰/۴۵۷
17	medium-low-low	۰/۷۱۴	۰/۱۴۳	۰/۱۴۵
18	low-high-high	۰/۰۵۳	۰/۴۷۴	۰/۴۷۶
19	low-high-medium	۰/۰۶۷	۰/۶۰۰	۰/۳۳۵
20	low-high-low	۰/۰۹۱	۰/۸۱۸	۰/۰۹۳
21	low-medium-high	۰/۰۶۷	۰/۳۳۳	۰/۶۰۲
22	low-medium-medium	۰/۰۹۱	۰/۴۵۵	۰/۴۵۷
23	low-medium-low	۰/۱۴۳	۰/۷۱۴	۰/۱۴۵
24	low-low-high	۰/۰۹۱	۰/۰۹۱	۰/۸۲۰
25	low-low-medium	۰/۱۴۳	۰/۱۴۳	۰/۷۱۶

از انجا که ماتریس مقایسه زوجی متغیرها هدف (رابطه ۱۰) سازگار می باشد، در رابطه (۱۱) محاسبه بردار وزن گزینه ها با نرمال کردن گزینه های مجزا انجام می شود.

$$Fn_{ij}^{t}=\frac{F_{ij}^{t}}{\sum_{j=1}^{m}F_{ij}^{t}} \qquad \begin{matrix} i=1,..,n \\ j=1,..,m \end{matrix} \qquad (۱۱)$$

که در آن F_{ij}^{t} متغیر هدف مربوط به تابع هدف t (مثلا $F_{ij}^{1}=R_{ij}$) و t نشان دهنده تابع هدفی است که بین ۱ تا ۳ متغیر می باشد.

در حالی که متغیرهای هدف برای هر گزینه توسط قضاوت خبرگان تعیین می شوند، مقدار نهائی متغیر هدف (با در نظر گرفتن هر ۳ هدف) به روش تصمیم گیری چند معیاره تعیین می شود. از آنجا که تابع هدف مربوط به قابلیت اعتماد به شکل جایزه (مثبت) و دو تابع دیگر یعنی هزینه و سطح مخاطره به شکل زیان (منفی) امتیاز دهی می شوند؛ لذا مساله بهینه سازی به شکل روابط ۱۲ مقادیر توابع متفاوت هدف را جمع بندی و یکپارچه می کند:

$$Fn_{ij}^{Ratio}=\frac{Fn_{ij}^{1}.W^{1}}{Fn_{ij}^{2}.W^{2}+Fn_{ij}^{3}.W^{3}} \qquad (۱۲)$$

$$Fn_{ij}^{Dif}=Fn_{ij}^{1}.W^{1}-(Fn_{ij}^{2}.W^{2}+Fn_{ij}^{3}.W^{3})$$

نهایتا، تابع هدف نهائی برای انتخاب گزینه بهینه با رابطه (۱۳) محاسبه می گردد:

$$Z^{Ratio}=\left[Fn^{Ratio}\right].*[x].[w]=\begin{bmatrix} Fn_{11}^{Ratio} & & Fn_{1m}^{Ratio} \\ & Fn_{ij}^{Ratio} & \\ Fn_{n1}^{Ratio} & & Fn_{nm}^{Ratio} \end{bmatrix}.*\begin{bmatrix} x_{11} & & x_{1m} \\ & x_{ij} & \\ x_{n1} & & x_{nm} \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} w_1 \\ w_i \\ w_n \end{bmatrix}$$

$$Z^{Dif}=\left[Fn^{Dif}\right].*[x].[w]=\begin{bmatrix} Fn_{11}^{Dif} & & Fn_{1m}^{Dif} \\ & Fn_{ij}^{Dif} & \\ Fn_{n1}^{Dif} & & Fn_{nm}^{Dif} \end{bmatrix}.*\begin{bmatrix} x_{11} & & x_{1m} \\ & x_{ij} & \\ x_{n1} & & x_{nm} \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} w_1 \\ w_i \\ w_n \end{bmatrix} \qquad (۱۳)$$

گزینه ای که بیشترین مقدار تابع هدف نهائی را بدست اورد، به عنوان گزینه بهینه Z^* از رابطه (۱۴) انتخاب می شود:

$$\begin{aligned} Z^{*Ratio} &= Max\, Z^{Ratio} \\ Z^{*Dif} &= Max\, Z^{Dif} \end{aligned} \qquad (۱۴)$$

۵. ارزیابی مدل پیشنهادی در مطالعه موردی

برای بررسی کارائی مدل پیشنهادی برای تخصیص ریسک، این مدل در یک پروژه زیرساختی اجرا شده در ایران به منظور ساخت یک مجتمع بندری با بودجه ۲۴۳.۶ میلیون دلار آمریکا پیاده سازی گردید. کارفرمای پروژه به عنوان تصمیم گیر در فرآیند تخصیص ریسک، تصمیم به برگزاری مناقصه برای انتخاب پیمانکار به روش طرح و ساخت صنعتی[۳۵] نموده است. لذا برای هر ریسک، سه حالت تخصیص تعیین گردیده است: p_1) تخصیص ریسک به کارفرما p_2) تسهیم ریسک بین هر دو عامل کارفرما و پیمانکار p_3) تخصیص ریسک به پیمانکار. منظور از تسهیم ریسک، یعنی تبعات وقوع ریسک بین هر دو عامل کارفرما و پیمانکار مساوی تقسیم شود.

شناسائی ریسک ها بر اساس یک مطالعه قبلی انجام شده توسط انجمن مهندسین آمریکا [۷] صورت گرفته است. ۱۲ ریسک از میان لیست ریسک های معرفی شده در آن مطالعه [۷] توسط تیم خبرگان به عنوان ریسک های با اهمیت بیشتر انتخاب شدند. این ریسک ها به اعتقاد تیم خبرگان بیشترین تاثیر را بر روی پیشنهاد قیمت مناقصه گذاران خواهد داشت و لذا اهمیت بیشتری پیدا کرده اند. عناوین و وزن این ریسک ها در جدول (۵) در ادامه ارائه شده است:

جدول ۵. عنوان و وزن ریسک‌ها در پروژه موردی

r_i	عنوان ریسک	وزن ریسک (w_i)
r_1	خطا در طراحی	٪۴
r_2	عدم اعطای مجوزها و رفع معارض	٪۵
r_3	تغییر در احجام پروژه	٪۹
r_4	تورم و تعدیل قیمت‌ها	٪۹
r_5	تاخیر در پرداخت صورت وضعیت‌ها	٪۹
r_6	تاخیر در تملک زمین و راه های دسترسی	٪۲
r_7	شرایط ناشناخته ژئونکنیکی و زمین شناسی	٪۴
r_8	ایمنی و حوادث	٪۶
r_9	تامین ماشین آلات، مصالح و نیروی کار در محل	٪۱۴
r_{10}	حوادث غیر مترقبه	٪۱۴
r_{11}	کارایی ماشین الات	٪۱۳
r_{12}	خطا در اجرا و ساخت	٪۱۱

[35] EPC

۵-۱. تعیین تخصیص بهینه با کمک مدل پیشنهادی

مجریان طرح حاضر در سازمان کارفرمایی به عنوان تصمیم گیرندگان پروژه، متغیرهای هدف را برای تعیین تخصیص ریسک ارزیابی کرده و مقادیر ماتریس متغیر هدف را در رابطه (۱۵) ارائه داده اند:

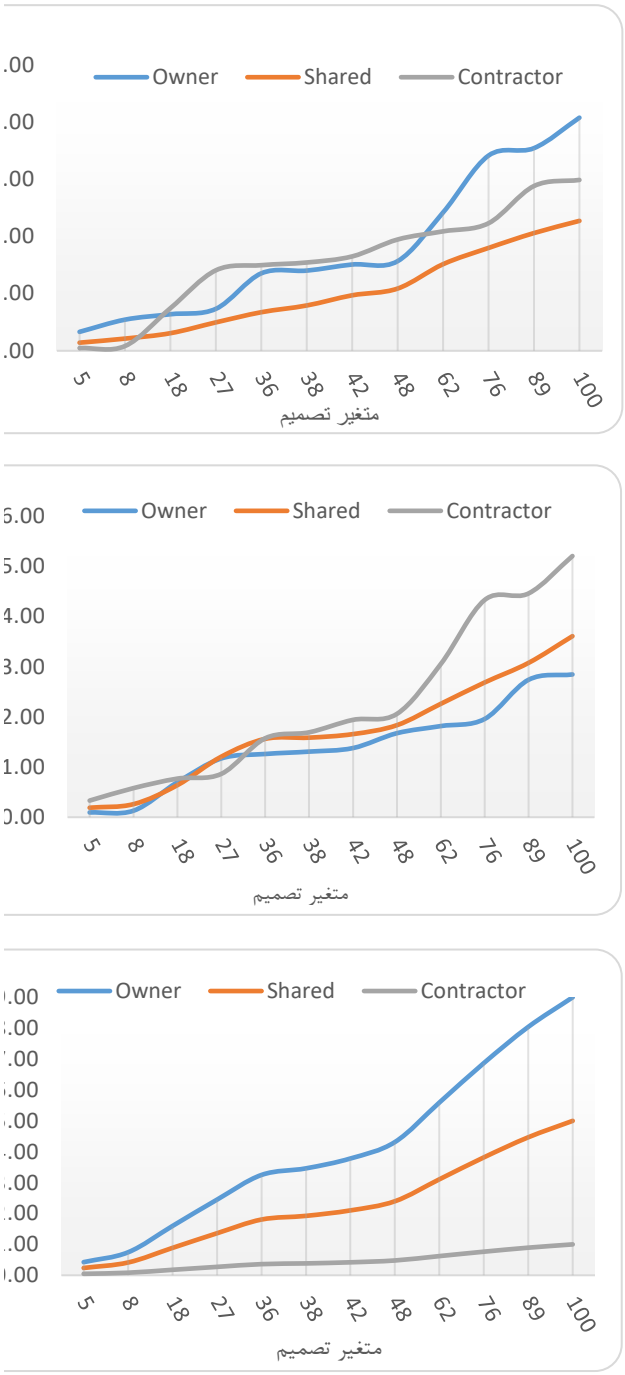
$$[R]=\begin{bmatrix}7&3&1\\6&2&1\\1&1&7\\1&2&7\\7&2&1\\2&5&2\\3&5&3\\1&2&5\\6&3&1\\7&2&1\\1&2&5\\5&2&1\end{bmatrix}\qquad [C]=\begin{bmatrix}2&4&7\\1&2&7\\6&4&2\\5&6&1\\1&4&8\\2&1&5\\2&2&7\\5&3&2\\1&3&7\\1&3&9\\6&3&1\\1&5&7\end{bmatrix}\qquad [E]=\begin{bmatrix}9&5&1\\9&5&1\\9&5&1\\9&5&1\\9&5&1\\9&5&1\\9&5&1\\9&5&1\\9&5&1\\9&5&1\\9&5&1\\9&5&1\end{bmatrix} \qquad (۱۵)$$

در رابطه ۱۵ در بالا، برای مثال اگر ریسک اعطای مجوزات (r_1) به کارفرما (p_1) تخصیص یابد، متغیر هدف مربوط به قابلیت اعتماد برابر با ۷ خواهد شد. و این متغیر مقداری برابر با ۳ و ۱ خواهد داشت اگر به ترتیب تصمیم به تسهیم ریسک (p_2) و یا تخصیص به پیمانکار (p_3) گرفته شده باشد که در رابطه (۱۶) نمایش داده شده است.

$$\begin{aligned}&R_{11}=7 && i=1, j=1\\ &R_{12}=3 && i=1, j=2\\ &R_{13}=1 && i=1, j=3\end{aligned} \qquad (۱۶)$$

با اعمال مقادیر تعیین شده برای متغیرهای هدف بر اساس روابط ۱۱ تا ۱۴، گزینه ها می بایست با یکدیگر مقایسه شوند تا گزینه بهینه تعیین گردد. با تغییر متغیر تصمیم (x_{ij})، تمامی گزینه های ممکن (3^{12}) تولید شده و با انجام تعداد مشخصی تکرار در مدل بهینه سازی مورد مقایسه قرار می گیرند.

برای درک دامنه تغییرات هر یک از متغیرهای هدف، سه تحلیل نمادین در شکل (۲) نمایش داده شده است. در این شکل، فرض شده است تغییرات هر یک متغیرهای تصمیم را با فرض تخصیص تمامی ریسک ها به یک عامل ترسیم کرده است، برای این منظور افزایش تک پله ای در متغیر تصمیم (به معنای آنکه یک ریسک بیشتر با آن عامل خاص تخصیص یابد)، مقدار متغیر هدف محاسبه و ترسیم می شوند. لذا، هر منحنی ترسیم شده دامنه حداکثری قابل تصور برای تغییرات هر یک از متغیرهای هدف را، با فرض انکه دیگر عوامل پروژه بدون تغییر باقی بمانند، نمایش می دهد. برای مثال از منحنی شکل (۲) می توان نتیجه گرفت که اگر متغیر تصمیم برای پیمانکار از میزان صفر تا ۱۰۰ درصد افزایش یابد (به معنای آنکه تمامی ریسک های پروژه به پیمانکار تخصیص یابد)، متغیر هدف مربوط به هزینه پروژه از صفر تا ۵.۲۱ تغییر خواهد کرد. در مقابل، اگر تمامی ریسک ها به کارفرما تخصیص یابد، این میزان نهایتا به ۲.۸۵ خواهد رسید ($\sum_{i=1}^{12} x_{ij}\ , j=1$)



شکل ۲. حساسیت متغیر های هدف به تغییرات در پارامتر تصمیم

همچنین محدودیت های مساله، بر اساس خط مشی مدیریت کیفیت سازمان مجری پروژه به شرح رابطه (۱۷) انتخاب گردیده است. کارفرما در این پروژه، به دلیل محدودیت منابع مالی حاضر به پذیرش سطوح بالاتر از تاخیر زمانی پروژه و پذیرش سطح بیشتری از مداخله به شرط عدم افزایش قیمت تمام شده پروژه شده بود. لذا ارزیابی کیفی صورت گرفته برای محدودیت مساله در قالب متغیرهای قابلیت اعتماد و هزینه به ترتیب برابر با متوسط و کم بوده است. همچنین تصمیم گیرنده محدودیت خاصی برای تابع هدف سطح مخاطره (E) در نظر نگرفته است.

$$g_R = [R].*[x].[w] \geq S_R = 6$$
$$g_C = [C].*[x].[w] \leq S_C = 4 \quad (۱۷)$$

تلفیق مقادیر توابع هدف به روش نسبی یا انحراف در جدول (۴) نمایش داده شده است. مقادیر ارائه شده در این جدول، موازنه ای همزمان بین ۲۵ حالت تصمیم گیری برای سه هدف متضاد تحصیص ریسک است. با مراجعه به جدول ۴، می توان مشاهده کرد که تخصیص بهینه ریسک ها می تواند در چند مورد متفاوت ایجاد شود. برای مثال جواب شماره ۱، پیشنهاد می کند که بهترین تخصیص ریسک برای ریسک r_1 تخصیص آن به کارفرما است.

مطابق رابطه ۱۵، اگر ریسک r_1 به عامل p_1 (کارفرما) تخصیص یابد، متغیر هدف برابر خواهد بود با $R_{11} = 7, C_{11} = 2, E_{11} = 9$. برای دیگر ریسک ها نیز متغیر هدف به همین روش محاسبه می گردد. سپس با استفاده از روابط ۱۱ متغیرهای نرمال شده برای حالت پاسخ شماره ۱ به ترتیب محاسبه گردیده است: R=0.5334، C=0.2044 و E=0.3833 . بنابراین مطابق روابط ۱۲، تجمیع متغیرهای هدف برای انتخاب گزینه بهینه به ترتیب رابطه (۱۸) خواهد بود:

$$Fn_{ij}^{Ratio} = \frac{Fn_{ij}^{1}.W^{1}}{Fn_{ij}^{2}.W^{2} + Fn_{ij}^{3}.W^{3}} = \frac{0.5334*0.391}{0.2044*0.391+0.3833*0.219} = 1.273 \quad (۱۸)$$

$$Fn_{ij}^{Dif} = Fn_{ij}^{1}.W^{1} - (Fn_{ij}^{2}.W^{2} + Fn_{ij}^{3}.W^{3}) = 0.5334*0.391 - (0.2044*0.391 + 0.3833*0.219) = 0.0446$$

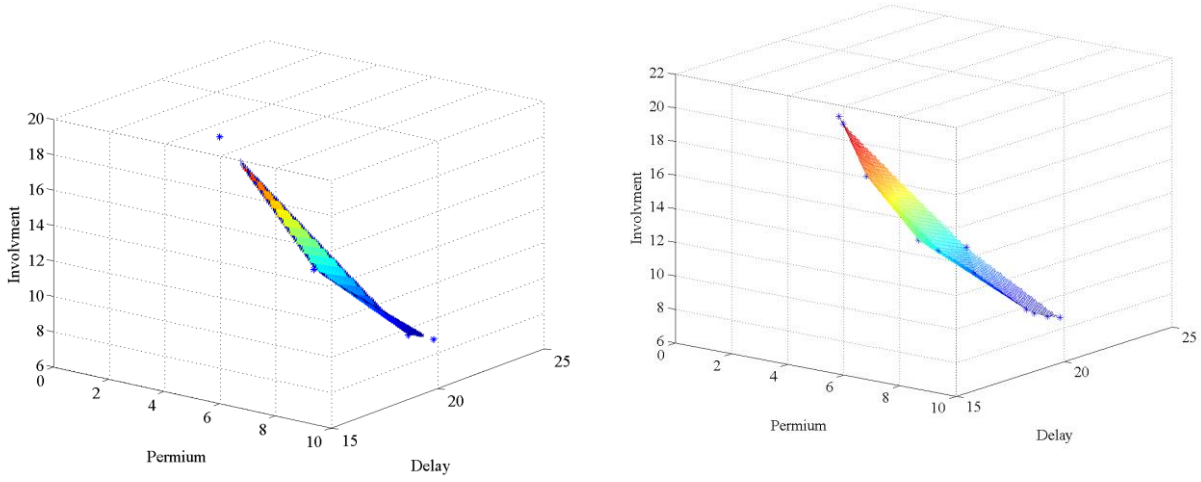
این مقدار، حداکثر مقدار بدست آمده در میان گزینه های محتمل است که توسط مدل شناسائی شده است.

جدول۶. نقاط پاسخ های بهینه برای تخصیص ریسک

الگوی تخصیص ریسک	روش تجمیع نسبتی												روش تجمیع انحراف											
	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	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}	r_{11}	r_{12}
1	1	1	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1
2	1	1	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1
3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3
4	1	1	3	3	1	2	2	3	1	1	3	3	3	2	3	3	1	2	2	3	1	3	3	3
5	1	1	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1
6	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
7	1	1	3	3	1	2	2	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
8	1	1	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1	3	2	3	3	1	2	2	3	1	3	3	3
9	3	2	3	3	3	2	2	3	1	3	3	3	3	2	3	3	1	2	2	3	1	3	3	3
10	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1
11	1	1	3	3	1	2	2	3	2	1	3	3	1	2	3	3	1	2	2	3	2	1	3	3
12	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3
13	3	2	3	3	1	2	2	3	1	3	3	3	3	2	3	3	1	2	2	3	1	3	3	3
14	1	1	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1
15	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
16	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
17	1	1	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1	3	2	3	3	1	2	2	3	1	3	3	3
18	3	2	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	1	2	2	3	1	3	3	3
19	2	2	3	3	2	2	2	3	1	3	3	3	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1
20	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1
21	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3
22	3	2	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	1	2	2	3	1	3	3	3
23	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1	3	1
24	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
25	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

نتایج حاصل از حل مدل بهینه یابی با ترسیم منحنی پارتو نمایش داده شده است. هر نقطه روی منحنی پارتو در فضای چند هدفه، مجموعه ای از پاسخ های بهینه است که توانسته اند تعادل بین مقادیر بهینه در سه تابع هدف قابلیت اعتماد، هزینه و سطح مخاطره ایجاد کند. این تعادل بهینه با استفاده از اهمیت نسبی هر یک از اهداف در روش AHP بدست می آید و در شکل (۳) نمایش داده شده است.

آنچنان که در شکل (۳) نشان داده شده است؛ منحنی پارتو بیان کننده پوشی از تمام گزینه های غیر مغلوب (۲۵ حالت تصمیم گیری) است. در هر حال، یک تصمیم گیرنده می تواند با ترجیح برخی اهداف بر دیگر اهداف مساله، راه حل مطلوب را با انتخاب مقادیر متناسب برای وزن اهداف بدست آورد. همچنان که ملاحظه می شود،



الف) روش تجمیع انحراف **ب) روش تجمیع نسبی**

شکل ۳. منحنی پارتو جواب های بهینه

۴-۲. مقایسه و ارزیابی صحت عملکرد مدل پیشنهادی

برای سنجش صحت عملکرد مدل پیشنهادی، نتایج بدست آمده با دو مدل معتبر ارائه شده در تحقیقات پیشین مورد مقایسه و نتایج در اختیار خبرگان قرار گرفت. برای این منظور از دو مدل کمی ارائه شده توسط لام و همکاران(۲۰۰۷) و مدل ارائه شده توسط ژئو و همکاران (۲۰۱۰) استفاده گردید. لام یک الگوی کمی را ارائه داده است که با ارزیابی یکسری قواعد[۳۶] که از اصول تخصیص ریسک برداشت شده است، اقدام به تصمیم گیری برای تعیین تخصیص مناسب پروژه ها می کند [۱۴] و ژئو و همکاران (۲۰۱۰) تیز یک مدل کمی ارائه داده اند که می تواند اصول تخصیص ریسک را که معمولا به صورت کیفی و زبانی[۳۷] طرح می شود را به یک تحلیل کمی سیستماتیک با استفاده از مجموعه فازی تبدیل کنند [۱۶].

برای این منظور فرآیند کاری هر دو مدل برای تصمیم گیرندگان پروژه تشریح گردید و از آنها خواسته شد که نسبت به ارزیابی و ورود اطلاعات بر اساس دو مدل پیش گفته اقدام نمایند. نتایج حاصل از این روند الگوی تخصیص بدست آمده از پیاده سازی مدل های

[36] Rule Base
[37] linguistic

مزبور در جدول شماره (۷) نمایش داده شده است. در جدول (۷) همچنین نقطه بهینه انتخاب شده توسط کارفرما از میان نقاط روی منحنی پارتو نیز نمایش داده شده است. این نقطه معادل حالت ۱۱ از نقاط بهینه ارائه شده در جدول (۶) است. که در آن اهمیت توابع هدف (قابلیت اعتماد، افزایش هزینه و سطح مخاطره کارفرما) به ترتیب متوسط، بالا و پائین است.

جدول ۷. مقایسه الگوی تخصیص پیشنهادی با تحقیقات مشابه

شماره ریسک	شرح ریسک	مدل پیشنهادی (انتخاب نهائی)	لام (۲۰۰۷)	ژئو (۲۰۱۰)
r_1	طراحی اشتباه	کارفرما	کارفرما	کارفرما
r_2	مجوزها و رفع معارض	کارفرما	تسهیم	پیمانکار
r_3	تغییر در احجام پروژه	پیمانکار	پیمانکار	پیمانکار
r_4	تورم و تعدیل قیمت‌ها	پیمانکار	تسهیم	پیمانکار
r_5	تاخیر در پرداخت ها	کارفرما	کارفرما	تسهیم
r_6	تاخیر در تملک زمین	تسهیم	تسهیم	تسهیم
r_7	ژئوتکنیک و زمین	تسهیم	تسهیم	تسهیم
r_8	حوادث	پیمانکار	تسهیم	پیمانکار
r_9	ماشین آلات در محل	تسهیم	پیمانکار	پیمانکار
r_{10}	حوادث غیر مترقبه	کارفرما	پیمانکار	پیمانکار
r_{11}	کارایی ماشین الات	پیمانکار	پیمانکار	پیمانکار
r_{12}	خطا در اجرا و ساخت	پیمانکار	پیمانکار	پیمانکار

به منظور مقایسه نتایج، الگوهای تخصیص ریسک معرفی شده در این دو مطالعه، در مدل پیشنهادی وارد گردیده و مقادیر توابع هدف سه گانه (قابلیت اعتماد، افزایش هزینه و سطح مخاطره کارفرما) برای هر یک از مدل های پیش گفته محاسبه شده و نتایج محاسبات در جدول شماره (۸) ارائه شده است.

جدول ۸. مقایسه نتایج بکارگیری الگوهای تخصیص ریسک

	ریسک‌ها													اهداف پروژه		
	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	C	E
مدل پیشنهادی (جواب حالت شماره ۱۱)	۱	۱	۳	۳	۱	۲	۲	۳	۲	۱	۳	۳	۶/۲	۷/۲	۳/۵
لام (۲۰۰۷)	۱	۲	۳	۲	۱	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۵/۱	۴/۹	۶/۲
ژئو (۲۰۱۰)	۱	۳	۳	۳	۳	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۳	۶/۶	۲/۴	۷/۷

مقایسه نتایج حاصل از پیاده سازی هر سه مدل نشان دهنده تفاوت رویکردها برای حل مساله و در نتیجه پاسخ های کاملا متفاوت است. مدل ارائه شده توسط ژئو و همکاران، بیشتر تمایل به انتقال ریسک ها به دیگر عوامل پروژه و کاهش سطح مخاطرات کارفرما را دارد. این دقیقا الگوئی است که غالب کارفرمایان در عمل پیگیری می کنند ولی همانطور مدل پیشنهادی به خوبی نشان می دهد موجب شده است که نتایج بدست آمده در تابع هدف هزینه امتیاز پائینی پیدا کند. در واقع پیشنهادی این مدل ان است که کارفرما حداکثر انتقال ریسک را انجام دهد، حتی با پذیرش افزایش قابل ملاحظه هزینه تمام شده پروژه. که این موضوع، مطلوب کارفرمای پروژه نبوده و محدودیت مدل را برآورده نمی نماید.

مدل لام الگوی متعادل تری ارائه می دهد و تمامی مقادیر بدست آمده برای توابع سه گانه هدف در حد متوسط می باشد. ولی این تعادل منجر به انتقال برخی ریسک ها به پیمانکار است که عموما در شرایط عملی پروژه ها ساخت، امکان پذیر نیست و پیمانکاران پذیرش ندارند.

مثلا ریسک حوادث غیرمترقبه (مانند زلزله، جنگ نظامی، سیل و ....) به پیمانکار به معنای آن است که در صورت وقوع یک حادثه غیرمترقبه کارفرما تعهدی مبنی بر پرداخت هزینه های تعلیق نخواهد داشت.

همچنین توجه باید داشت نتایج این مدل لام صرفا زمانی مطلوب است که تصمیم گیرنده هر سه هدف را به یک میزان اهمیت قائل باشد و در واقع وزن یکسان به همه اهداف بدهد. لذا در شرایطی که کارفرما به دلایلی برای یکی از اهداف را اهمیت بیشتری قائل شود، نتایج پیاده سازی مدل لام انحراف خواهد داشت. همچنان که در پروژه موردی برای شرایط موجود در سازمان های دولتی در ایران، کارفرما برای هدف هزینه اهمیت زیادی قائل بود ولی بابت هدف سوم (اینکه چه میزان درگیر مخاطرات پروژه شود)، نگرانی خاصی نداشت. لذا وزن هزینه بالا انتخاب شد و در مقابل وزن سطح مخاطره پائین. در این حالت نتایج مدل لام نتوانسته است محدودیت مورد نظر کارفرما برای تابع هزینه را برآورده سازد و در نتیجه مطلوب کارفرما نخواهد بود.

یادآور می شود که سیستم تدارک انتخابی کارفرما برای پروژه موردی، قرارداد طرح و ساخت صنعتی بوده است. از آنجا که نوع قرارداد توزیع خاصی از مسئولیت ها و اختیارات طرفین را تعیین می نماید، لذا در صورت تغییر نوع قرارداد به روش متعارف پیمانکاری (نشریه ۴۳۱۱) و یا طرح و ساخت غیر صنعتی الگوی تخصیص ریک می توانست متفاوت باشد. برای این منظور کارفرما (تصمیم گیرنده) می بایست مجددا اقدام به ارزیابی متغیرهای هدف نموده و با وارد نمودن تغییرات ماتریس های R، C و E در رابطه (۶)؛ مدل تصمیم گیری را بار دیگر اجرا نموده و منحنی پارتو جدید را ترسیم نماید.

۶. نتیجه گیری

در این مقاله فرایند تخصیص ریسک در قالب یک مدل تصمیم گیری مدلسازی گردیده و با استفاده از مدل تصمیم گیری چند هدف منحنی پارتو از حالت های بهینه تخصیص ریسک معرفی گردید. مدل پیشنهادی می تواند یک جایگزین مناسب برای روش سنتی انتخاب تخصیص ریسک در قراردادهای ساخت باشد و یک ابزار کارآمد برای کمک به تصمیم گیرندگان در شرایطی که تجربه کافی برای انتخاب تخصیص بهینه از میان گزینه های ممکن را نداشته باشند فراهم کند. این مدل نه تنها کاهش زمان و هزینه را در مرحله آماده سازی اسناد مناقصه و تنظیم قرارداد را کاهش می دهد، بلکه می تواند تضادهای بین ذینفعان و هزینه های پنهان ناشی از آن را کاهش دهد. با پیاده سازی مدل پیشنهادی در یک پروژه موردی موارد زیر را می توان نتیجه گرفت:

۱. در رویکردی پیشنهادی در این مقاله، مساله تخصیص ریسک در قراردادهای ساخت، در قالب یک تابع بهینه یابی مدلسازی گردید. لذا خروجی این مدل، یک ابزار عملی برای تصمیم گیری کارفرمایان فراهم می کند. علاوه بر این کارفرما می تواند با تحلیل حساسیت، تاثیر انتخاب استراتژی های متفاوت (مانند میزان مطلوب سطح مداخله کارفرما در پروژه) را ارزیابی و کنترل نماید.

۲. مدل ارائه شده در مقایسه با مطالعات قبلی که صرفا یک هدف (مانند کاهش هزینه) را جستجو می کردند، با شناسائی سه هدف مستقل (هزینه، ریسک و قابلیت اعتماد) تمامی انتظارات کارفرما در تصمیم گیری برای انتخاب تخصیص بهینه ریسک‌ها را لحاظ می نماید.

۳. مزیت اساسی این روش نسبت به دیگر روش های بهینه یابی مانند تکنیک های فراابتکاری آن است که نقاط پارتو از میان تمام فضای جواب های ممکن انتخاب می شوند، لذا در نقاط بهینه محلی گیر نمی افتند و جواب نهائی قابلیت اعتماد بالاتری را دارد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود وظیفه می داند که از همکاری و مساعدت معاونت محترم عمرانی سازمان بنادر و دریانوردی و همکاران ایشان در بندر شهید رجائی که ما را در تهیه اطلاعات و پیاده سازی مدل در پروژه مطالعه موردی همیاری کردند، کمال تشکر را داشته باشد.

مراجع

[1] Andi, (2006). The importance and allocation of risk factors in Indonesian construction projects, *Construction Management and Economics*, 24(1), 69–80.
[2] Jin X.H. & Zuo J., (2011). Critical Uncertainty Factors for Efficient Risk Allocation in Privately Financed Public Infrastructure Projects in Australia, *International Journal of Construction Management*, 11(3), 19-34.
[3] Zaghloul, R. and Hartman, F., (2003). Construction contracts: the cost of mistrust, *International Journal of Project Management*, 21(6), 419–424.
[4] Tembo-Silungwe, C.K. and Khatleli, N., (2020). Development of risk misallocation causal networks using interpretive judgement in the construction industry, *International Journal of Construction Management*, 22(10), 1935-1949.
[5] Wang, H., Liu, Y., Xiong, W. and Song, J. (2019). The moderating role of governance environment on the relationship between risk allocation and private investment in PPP markets: Evidence from developing countries, *International Journal of Project Management*, 37(1), 117-130.
[6] Jin, X.H., and Zhang, G., (2010). Modelling optimal risk allocation in PPP projects using artificial neural networks, *International Journal of Project Management*, 29(5), 591-603.
[7] Kangari, B., (1995). Risk Perception and Tendering in Construction Project, *Construction Engineering and Management*, 121(4), 422-429.
[8] Kartam, N.A. and Kartam, S.A., (2001). Risk and its management in the Kuwaiti construction industry: a contractor's perspective, *International Journal of Project Management*, 19(6), 325-335.
[9] Bing, L., Akintoye, A., Edwards, P.J., Hardcastle, C., (2005). The allocation of risk in PPP/PFI construction projects in the UK, *International Journal of Project Management*, 23(1), 25–35.
[10] El-Sayegh, M.S., (2008). Risk assessment and allocation in the UAE construction industry, *International Journal of Project Management*, 26(4), 431–438.
[11] Almarri, K., Alzahrani, S., and Boussabaine, H., (2019). An evaluation of the impact of risk cost on risk allocation in public private partnership projects, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(8), 1696-1711.
[12] Rafaat, R., Osman, H., Georgy, M., and Elsaid, M., (2020). Preferred risk allocation in Egypt's water sector PPPs, *International Journal of Construction Management*, 20(6), 585-597.
[13] Hiyassat M.A., Alkasagi, F., El-Mashaleh, M., Sweis G.J. (2022) .Risk allocation in public construction projects: the case of Jordan, I*nternational Journal of Construction Management*, 22(8), 1478-1488.
[14] Lam, K.C., Wang, D., Lee, P.T.K., Tsang, Y.T., (2007). Modelling risk allocation decision in construction contracts, *International Journal of Project Management*, 25(5), 485–493.
[15] Medda, F., (2007). A game theory approach for the allocation of risk factors in transport public private partnerships, *International Journal of Project Management*, 25(3), 213–218.
[16] Xu, Y., Chan, A.P.C., Yeung, J.F.Y., (2010). Developing a Fuzzy Risk Allocation Model for PPP Projects in China, *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(8), 894-903.
[17] Khazaeni, G., Khanzadi, M., Afshar, A., (2013). Risk Allocation Optimization in a Construction Project Using the Ant Colony Algorithm, *Sharif Civil Engineering Journal*, 29 (3), 61-69.
[18] Shrestha, A., Tamošaitienė, J., Martek, I., Hosseini, M.R., Edwards, D.J., (2019). A principal-agent theory perspective on PPP risk allocation, *Sustainability*, 11(22), 6455.
[19] Shehadeh, A., Alshboul, O., Hamedat, O., (2022). Risk Assessment Model for Optimal Gain–Pain Share Ratio in Target Cost Contract for Construction Projects, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 148(2), 1-18.
[20] Castelblanco, G., Guevara, J., Mesa, H. and Flores, D. (2022). Risk Allocation in Unsolicited and Solicited Road Public-Private Partnerships: Sustainability and Management Implications, *Sustainability*, 12(11), 1-28.
[21] Hanna, A.S. and Aboseif, E. (2022). Clarifying Design Responsibility and Its Risk Allocation in Construction Contracts, *Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, 15(2), https://doi.org/10.1061/JLADAH.LADR-812.
[22] Jokar, E., Aminnejad, B., and Lork, A., (2023) A risk allocation model among the elements of freeway projects in public-private partnership (PPP) method using integrated fuzzy multi-criteria decision-making techniques, *Australian Journal of Civil Engineering*, 21(1), 116-140.
[23] Ng, A. and Loosemore, M., (2007). Risk allocation in the private provision of public infrastructure, *International Journal of Project Management*, 25(1), 66–76.

[24] Macdonald, C.C., (2001). Allocation of Risk in Major Infrastructure Projects–Why do we get it so wrong, *the International Construction Law Review*, 18(2), 345-352.
[25] Zaghloul, R.S., (2005). *Risk allocation in contracts-how to improve the process*, Ph.D. thesis, Department of civil engineering, Calgary, Alberta.
[26] Loosemore, M., and McCarthy, C.S., (2008). Perceptions of Contractual Risk Allocation in Construction Supply Chains, *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 134(1), 95-105.
[27] Fisk, R.E., (1997). *Construction Project Administration*, 5ed., Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
[28] Thomas, A.V., Kalidindi, S.N., Ananthanaryanan, K., (2003). Risk perception analysis of BOT road project participants in India, *Construction Management Economic*, 21(4), 393–407.
[29] Khazaeni, G., Khanzadi, M., Afshar, A., (2012). Optimum risk allocation model for construction contracts: fuzzy TOPSIS approach, *Canadian Journal of Civil Engineering*. 39(7), 789-800
[30] Perez D., Gray J. & Skitmore M., (2017). Perceptions of risk allocation methods and equitable risk distribution: a study of medium to large Southeast Queensland commercial construction projects, *International Journal of Construction Management*, 17(2), 132-141.
[31] Uff, J., (1995). *Management and Procurement in Construction*, Centre for Construction Law and Management, London.
[32] Abednego, M.P. and Ogunlana, S.O., (2006). Good project governance for proper risk allocation in public–private partnerships in Indonesia, *International Journal of Project Management*, 24(7), 622–634.
[33] Duleba, S., and Mosle, S., (2019). Examining Pareto optimality in analytic hierarchy process on real Data: An application in public transport service development, *Expert Systems with Applications*, 116, 21-30.
[34] Heydari, H. and Sharifi, R., (2010). Three-Dimensional Pareto-Optimal Design of Inductive Superconducting Fault Current Limiters, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 20(5), 2301-2311.
[35] Ayadi, O., Felfe, H. and Masmoudi, F. (2017). Analytic hierarchy process-based approach for selecting a Pareto-optimal solution of a multi-objective, multi-site supply-chain planning problem, *Engineering Optimization*, 49 (7), 1264-1280.
[36] Khazaeni, G., Khanzadi, M., Afshar, A., (2012). Fuzzy adaptive decision-making model for selection balanced risk allocation, *International Journal of Project Management*, 30(4), 511-522