Journal of Structural and Construction Engineering, 10(12), 2024, pp. 172-188

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Decision-making model for choosing the Delivery System of construction contracts, Iran's water industry projects

Garshasb Khazaeni [1]*, Ali Khazaeni [2]

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

ABSTRACT

Project delivery systems, as the structure of the contract and the formation of relations between the project participants, create a framework for the formation of contracts of different types of projects by allocating risk among the project participants. Delivery systems can greatly affect the time, financial, or quality goals of the organization and are generally classified into 5 categories: In house, Traditional, Design Build, Constrat mangement, and Public-Private Partnership (PPP). Each delivery system has its own advantages and limitations, which makes the choice between them dependent on the project conditions and client's expectations. In this article, a new approach based on the allocation of contractual risks is presented, with the help of which the employer can choose the project procurement system depending on the level of risk acceptable by the employer. For this purpose, by studying the records of risk allocation in 26 water projects in Iran, 14 main Contractual Risks have been introduced, which are the basis of decision making for the project delivery system. Based on his organizational capacity in accepting a certain level of 14 risks, the decision maker can select the appropriate delivery system for the project. Based on this approach, a multi-objective decision-making model has been developed, which, by receiving the project's risk profile, quantitatively suggests the optimal structure and determines its level of risks exposure (in the form of an increase in the project's cost price). The sensitivity analysis tool of this model also guides the employer which contractual tools or management capacities the employer should provide in case of using a specific contractual model.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 04 February 2023
Revise Date: 10 June 2023
Accept Date: 02 July 2023

Keywords:
Project Delivery System,
Procurement Method,
Risk management,
Construction Contract,
Project Management

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2023.383622.3027

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

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

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

مدل تصمیم گیری برای انتخاب سیستم اجرا قراردادهای ساخت، مطالعه پروژه های صنعت آب ایران

گرشاسب خزائنی[1*]، علی خزائنی[2]

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

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

چکیده

سیستم های اجرا پروژه، به عنوان ساختار قرارداد و شکل گیری روابط عوامل پروژه، با تخصیص ریسک در بین عوامل پروژه چهارچوبی برای شکل گیری قراردادهای انواع مختلف پروژه ها را ایجاد می‌نماید. سیستم های اجرا تا حد زیادی می توانند اهداف زمانی، مالی و یا کیفی پروژه را متاثر نموده و عموماً در ۵ دسته امانی، متعارف، طرح و ساخت، عامل چهارم و مشارکت عمومی خصوصی دسته‌بندی می‌شوند. هر یک از سیستم های اجرا مزیت ها و محدودیت های خاص خود را دارا هستند که انتخاب بین آنها را وابسته به شرایط پروژه و انتظارات کارفرمائی می نماید. در این مقاله یک رویکرد جدید مبتنی بر تخصیص ریسک‌های قراردادی ارائه شده است که به کمک آن کارفرما می‌تواند سیستم اجرا پروژه را بسته به سطح ریسک قابل پذیرش توسط کارفرما انتخاب نماید. برای این منظور با مطالعه سوابق تخصیص ریسک در ۲۶ پروژه حوزه آب در کشور، ۱۴ عنوان ریسک اصلی که مبنای تصمیم گیری برای سیستم اجرا پروژه است معرفی گردیده است. تصمیم گیرنده بر اساس ظرفیت سازمانی خود در پذیرش سطح مشخصی از ریسک های ۱۴ گانه می تواند اقدام به انتخاب سیستم اجرا متناسب برای پروژه نماید. بر مبنای این رویکرد، یک مدل تصمیم‌گیری چند هدفه توسعه یافته است که با دریافت مشخصات ریسک های پروژه، به صورت کمی ساختار بهینه را پیشنهاد داده و سطح مخاطراتی را که در انتظار او است (به شکل افزایش در قیمت تمام شده پروژه) را مشخص می سازد. ابزار تحلیل حساسیت این مدل همچنین به کارفرما راهنمایی می نماید که در صورت بکارگیری یک مدل قراردادی مشخص، کارفرما می بایست کدام ابزارهای قراردادی یا ظرفیت های مدیریتی را فراهم سازد.

کلمات کلیدی: سیستم‌های اجرا پروژه، قراردادهای ساخت، مدیریت ریسک، تخصیص ریسک، مدیریت پروژه

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:	
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://doi.org/10.22065/jsce.2023.383622.3027	doi:
۱۴۰۱/۱۱/۱۵	۱۴۰۲/۰۳/۲۰	۱۴۰۲/۰۴/۱۱	۱۴۰۲/۰۴/۱۱	۱۴۰۲/۱۲/۲۹	10.22065/jsce.2023.383622.3027	

*نویسنده مسئول: گرشاسب خزائنی

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

۱- مقدمه

هدف هر قرارداد تقسیم حقوق، تعهدات و ریسک های پروژه مابین عوامل پروژه است. و سیستم های اجرا پروژه[1] با ساختاردهی به قرارداد، تعریف کننده نحوه توزیع مسئولیت بین عوامل پروژه هستند [۱] و از این لحاظ نقش استراتژیک در موفقیت پروژه در دستیابی به اهداف خود دارد [۲]. سیستم متعارف اجرای پروژه ها در صنعت ساخت، اشکالی از قرارداد است که در آن کارفرما به عنوان مالک و پرداخت کننده هزینه های ساخت، دو عامل مجزا برای طراحی (با عنوان مشاور) و اجرا (با عنوان پیمانکار) را بکارگیری می نماید. در این سیستم آنچنان که در شرایط عمومی پیمان منعکس شده است، کارفرما با واگذاری مسئولیت ساخت به پیمانکار، مسئولیت نهائی یکپارچگی طرح و اجرا را خود بر عهده می گیرد.

ولی سیستم متعارف دارای اشکالات عدیده‌ای است و در سال‌های اخیر استفاده از اشکال متفاوت سیستم اجرا به دلیل افزایش سایز پروژه ها، نیازهای متفاوت کارفرمائی و الزام به زمان کوتاه‌تر و دلایل دیگر افزایش یافته است [۳]. به نحوی که امروز انواع سیستم‌های اجرا به ۵ دسته عمده زیر تقسیم می‌نمایند [۴]: امانی[2] (تک‌عاملی)، متعارف[3] (سه عاملی)، طرح و ساخت[4] (دو عاملی)، مدیریت اجرا[5] (چهار عاملی)، مشارکت عمومی خصوصی[6] (واگذاری کامل). نیکبخت و الدیرابی (۲۰۱۵) مدعی شده اند که روندهای جدید در سیستم های اجرا پروژه، از یک سو باعث گسترش تعامل متخصصان ساخت؛ فراتر از فاز طراحی سنتی به فازهای بهره‌برداری در چرخه عمر پروژه می شود و از سوی دیگر منجر به پذیرش فزاینده سیستم های تحویل پروژه یکپارچه می شود که تقسیم بندی های سنتی بین تصمیم گیرندگان اصلی پروژه را از بین می برد [۵].

کارفرما در ابتدای تعریف هر پروژه ساخت، می بایست ابتدا اقدام به انتخاب سیستم مطلوب خود بزند؛ ولی یک سیستم برتر و یک انتخاب همیشگی در همه قراردادها وجود ندارد [۶]. انتخاب یک سیستم اجرای بدون توجه به ویژگی های پروژه می تواند منجر به افزایش هزینه و زمان پروژه، کاهش کیفیت و حتی شکست پروژه را باعث گردد [۳]. به عنوان نمونه کوچار و سانویدو[7] (۱۹۹۸) نشان داده اند که روش طرح و ساخت نسبت به سایر روش‌ها موجب کاهش مدت اجرای پروژه می شود [۷] و یا گرنسبرگ و همکاران[8] (۲۰۰۳) مدعی هستند که روش طرح و ساخت کنترل بیشتری بر زمان و هزینه برای کارفرما ایجاد می نماید[۸].

در سال‌های اخیر، انتخاب سیستم اجرای بهینه موضوع مطالعات بسیاری بوده است. گوردون[9] (۱۹۹۴) روشی حذفی برای انتخاب سیستم اجرا پیشنهاد داده است که با حذف گزینه های نامطلوب به مشخصه های مطلوب از سیستم بهینه دست می یابد [۶]. مصطفوی و کارآموز (۲۰۱۰) یک مدل چندمعیاره فازی برای انتخاب سیستم مناسب معرفی کرده اند [۹]. کومورسوامی و دیناساکایا[10] (۲۰۰۱) یک سیستم پشتیبان تصمیم گیری[11] برای این منظور معرفی کرده است [۲]. لینگ و لیو[12] (۲۰۰۴) یک مدل شبکه عصبی را برای انتخاب سیستم اجرا مناسب پروژه توسعه داده‌اند [۱۰]. چن و همکاران[13] (۲۰۱۱) از تکنیک تحلیل پوشش داده ها[14] استفاده کرده‌اند [۱۱].

[1] Delivery Systems/ Procurement Method
[2] In House
[3] Traditional
[4] Design Build
[5] Construction Management
[6] Public Privatre Partnership (PPP)
[7] Kochar & Sanvido
[8] Gransberg et al.
[9] Gordon
[10] Kumaraswamy & Dissanayaka
[11] Decision Support System
[12] Ling & Liu
[13] Chen et al.
[14] DEA bound variable

همچنین در مطالعه‌ای مشابه، چن و همکاران[15] (۲۰۰۱) از تحلیل چند متغیره[16] استفاده کرده‌اند [۱۲] در حالیکه ترن و همکاران[17] (۲۰۱۳) از روش ماتریس انتخاب[18] برای این منظور توسعه داده‌اند [۱۳]. الحزمی و مک کافر[19] (۲۰۰۰) از مدل‌های چند معیاره[20] استفاده کرده‌اند [۱۴]. مهدی و الراشدی[21] (۲۰۰۵) مدلی سلسله مراتبی[22] را بر مبنای هفت دسته از پارامترها ارائه داده‌اند [۱۵]. الخلیلی[23] (۲۰۰۲) یک مدل سلسله مراتبی را با سه معیار اصلی اولویت‌های کارفرما، نیاز های کارفرمایی و محدودیت های پروژه ارائه داده است [۱۶]. مفاخری[24] (۲۰۰۷) از مدل سلسله مراتبی برای اولویت بندی سیستم های متفاوت استفاده نموده است [۱۷].

دیمیتروکوپولو[25] و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی ۵۷ پروژه مربوط به اداره حمل و نقل ایالتی تگزاس از سال ۲۰۱۴ نشان دادند که فاکتورهای تکمیل سریع پروژه، شرایط ساختگاه، یکپارچگی مشاور و پیمانکاران و امکان پوشش ادعاهای شخص ثالث بیشترین تاثیر را در انتخاب بین روش متعارف و روش طرح و ساخت دارند. [۱۸]. پو و همکاران[26] (۲۰۲۰) با تجزیه و تحلیل چهارچوب های قانونی و نهادی در مدل‌های اجرا عمومی در چین و نظر سنجی از متخصصان، فاکتورهای موثر در انتخاب سیستم‌های مختلف اجرا بر اساس مشخصات پروژه، شامل زمان، سرمایه گذاری، روش بهره‌برداری صنعت مربوطه و منطقه اجرای پروژه، ارائه داده‌اند. [۱۹]. ژائو و اینگ[27] (۲۰۱۹) با مطالعه سیستم های اجرا مختلف، منافع و محدودیت های هر یک را بر اساس مرور ادبیات مشخص ساخته اند و یک چهارچوب مفهومی را برای انتخاب سیستم اجرا پروژه ها با تمرکز بر روش مشارکت عمومی خصوصی معرفی کرده‌اند [۲۰]. ژئو و همکاران[28] (۲۰۲۰) با شبیه سازی سیستم تصمیم گیری روش اجرا پروژه ها در مقایسه دو مدل متعارف و روش طرح و ساخت؛ نشان داده اند که معیارهایی شامل ویژگی های پروژه، محیط بازار و سیاست های اقتصادی، توانائی های کارفرما، و سطح تکنولوژی پیمانکار می تواند روند تصمیم گیری برای انتخاب مناسب ترین سیستم اجراات را متاثر نماید [۲۱]. رازی و همکاران[29] (۲۰۱۹) با مطالعه پروژه های ساختمان سازی اسکلت فلزی در سنگاپور، ۴۲ معیار موثر بر انتخاب روش اجرا را تعیین کرده و با رتبه بندی اهمیت این فاکتورها، ۲۶ معیار با اهمیت بالاتر را معرفی کرده اند [۲۲]. پررا و همکاران[30] (۲۰۱۹) با مطالعه سه مدل اجرا شامل روش متعارف سه عامل، روش طرح و ساخت و سیستم صنعتی، یک مدل تصمیم گیری چند معیاره سلسله مراتبی[31] ارائه کرده اند و نشان داده اند که روش متعارف برای پیمانکاران با رتبه صلاحیت پائین تر و روش ساخت صنعتی برای پیمانکاران با بالاترین رتبه های صلاحیت (گرید ۷) مناسب است [۲۳]

مرور مطالعات پیشین نشان می دهد که استفاده از مدل های تصمیم گیری چند معیاره نیازمند تعریف تعداد زیادی معیارهای متفاوت ناشی از مشخصات پروژه، عوامل نهادی و فاکتورهای محیطی است [۱۴]، که این امر علاوه بر پیچیدگی مساله، موجب افزایش خطای تصمیم گیری و نهایتا احتمال عدم پذیرش نتایج از سوی تمامی عوامل می گردد. به عنوان نمونه، حسینی و همکاران با بررسی معیارهای ارائه شده توسط محققان، لیستی از معیارهای پیشنهادی را برای انتخاب سیستم مناسب ارائه داده است [۲۳]. همچنین در

15 Chan et al.
16 Multivariate analysis
17 Tran et al.
18 Selection Matrix
19 Alhazmi & McCafer
20 Multicriteria /Multiscreening
21 Mahdi & Alreshaid
22 AHP
23 AL Khalil
24 Mafakheri
25 Demetracopoulou
26 Pu et al.
27 Zhao & Ying
28 Zhu et al.
29 Razi et al.
30 Perera et al.
31 AHP

بررسی السایق[32] مشخص شده است که مهمترین فاکتورها در انتخاب سیستم اجرا از دیدگاه کارفرما، تمایل به واگذاری یکپارچه شرح خدمات تحت یک قرارداد و میزان قدرت مداخله کارفرما در روند پروژه است؛ در حالیکه روش تامین مالی کمترین تاثیر را در این تصمیم گیری دارا است [۳]. علاوه بر این، رویکردهای ارائه شده قابلیت پیش بینی نتایج عملکردی ناشی از انتخاب هر یک از سیستم ها را نداشته و لذا تصمیم گیرندگان نمی توانند تبعات و هزینه های حاصل از تصمیم خود را تحلیل نمایند. به همین دلیل توصیه شده است که انتخاب سیستم مناسبی که اهداف پروژه را تامین سازد می بایست بر اساس ویژگی های عملکردی پروژه تعیین گردد. در نبود یک مدل کارآمد، عموما انتخاب سیستم اجرا بیشتر بر مبنای دانش و تجربه کارفرمایان یا مشاوران آنها صورت می گیرد تا دستیابی به یک روش تصمیم گیری مدون [۲۴].

یک سیستم اجرا با تعیین ساختار قراردادی، چهارچوبی را فراهم می کند که با تقسیم مسولیت ها و منافع پروژه بین عوامل درگیر، الگوی تخصیص ریسک ها را تعریف می نماید. در واقع، کارفرما با انتخاب یک سیستم اجرا مسئول مدیریت و جبران هزینه های ریسک های قراردادی را مشخص می سازد. این الگوی تخصیص ریسک، در نهایت منجر به تعیین سود و سهم هر یک از عوامل از منافع پروژه خواهد شد. به همین دلیل شرط موفقیت یک سیستم اجرا، وابسته به نحوه تخصیص ریسک ها بین کارفرما و طرف مقابل او است [۶]. بررسی رفتار کارفرمایان در مذاکرات قراردادی نشان می دهد که اصولا به عنوان تصمیم گیرندگان قرارداد، دارای رفتاری ریسک گریز[33] هستند [۲۵]. به همین دلیل کارفرمایان عموما تمایل دارند که حداکثر میزان ریسک ها را به طرف مقابل منتقل کرده و خود را در موقعیت ایمن قرار دهد [۲۶]. ولی انتقال بیشترین میزان ریسک ها به طرف مقابل بدون توجه به شایستگی های پذیرنده ریسک، می تواند هزینه های بیشتری را به پروژه تحمیل نماید [۶]. لذا کارفرمایان با انتخاب سیستم اجرا خاص، مجبور به انتخاب و ایجاد تعادل مابین میزان ریسک های انتقال یافته و هزینه هایی لازم برای مدیریت آن می باشد.

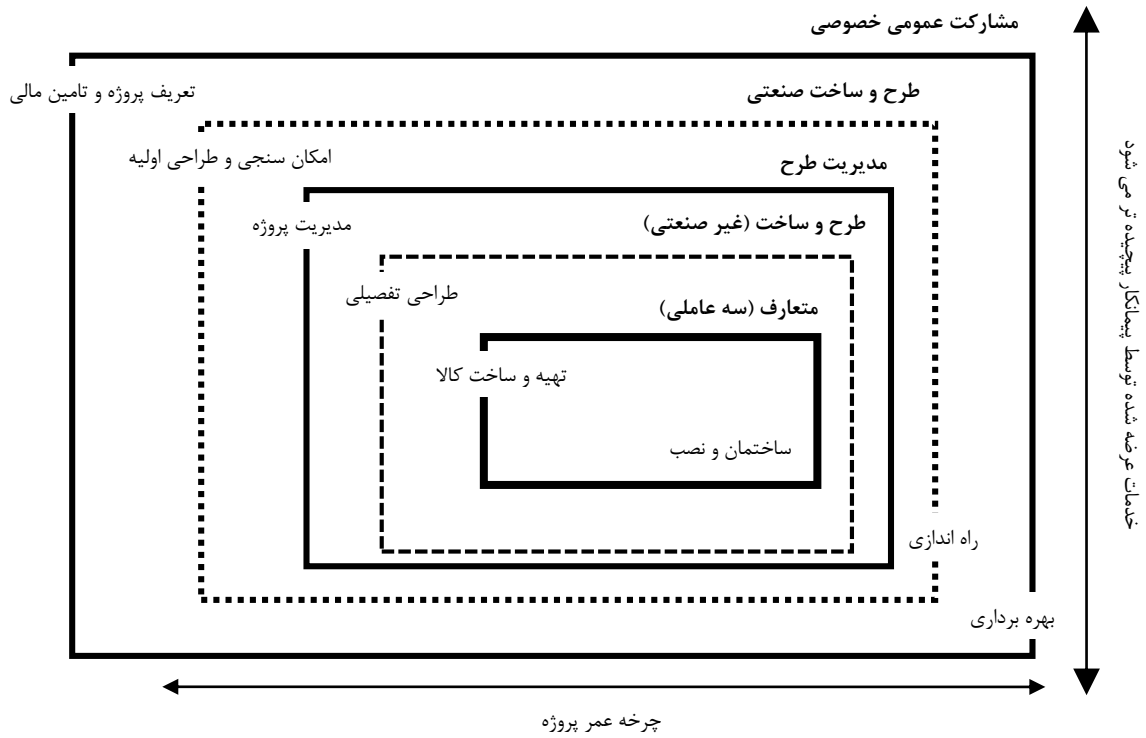
برای رسیدن به یک مدل عملکردی نیاز است که به رفتار تصمیم گیرندگان در مذاکرات تخصیص ریسک توجه شود. در مطالعه رفتار عوامل پروژه، مشاهده می گردد که اصولا کارفرمایان دارای رفتار ریسک گریز بوده و خواهان انتقال حداکثر ریسک ممکن به دیگر عوامل پروژه هستند [۲۵]. در واقع معیار تصمیم گیری کارفرما دربارهٔ انتخاب یک سیستم اجرا، دستیابی به حداکثر قابلیت اعتماد در اهداف پروژه با کاهش ریسک های تخصیص یافته[34] در حداقل ممکن است [۲۷]. در واقع تخصیص ریسک با هدف تقسیم مسئولیت‌ها و منافع بین اعضای پروژه و تعادل در آن شرط موفقیت پروژه است [۲۸]. لذا انتخاب هر سیستم اجرا را می توان بر مبنای نحوه تخصیص ریسک های پروژه بین عوامل درگیر در پروژه و حداقل سازی سهم تخصیص یافته کارفرما از ریسک‌های پروژه مدل‌سازی نمود.

در این مقاله، رویکردی نوین برای انتخاب سیستم های اجرا پروژه بر مبنای الگوی تخصیص ریسک‌های قراردادی پیشنهاد شده است. در این رویکرد با هدف کاهش میزان ریسک تخصیص یافته به کارفرما، یک مدل تصمیم گیری چند هدفه توسعه یافته است که سیستم اجرا پروژه را به نحوی پیشنهاد می دهد که کمترین ریسک و در نتیجه کمترین هزینه برای مدیریت ریسک های قراردادی را برای کارفرما در بر داشته باشد. این مدل با دریافت اطلاعات ارزیابی ریسک های پروژه، الگوی تخصیص ریسک ها را بهینه کرده و به صورت کمی مناسب‌ترین سیستم اجرا را مشخص می نماید. کارفرمایان با دسترسی به این مدل، خواهند توانست سیستم اجرا پروژه را متناسب با مشخصات هر پروژه انتخاب کرده یا با تغییر در ابزارهای قراردادی/ مالی و یا توسعه منابع مدیریتی، سیستم اجرا مطلوب خود را به صورت موفقیت آمیزی پیاده سازی نمایند.

32 El-Sayegh
33 Risk Averse
34 Risk Exposure

۲- سیستم‌های اجرا پروژه

سیستم‌های اجرا که به شکل متعارف[۳۵] می شناسیم، شامل واگذاری مجزای بخش طراحی به یک مشاور طراح و بخش اجرا به یک پیمانکار ساخت بوده که مدیریت طرح[۳۶] و تأمین مالی[۳۷] آن توسط سازمان کارفرما انجام می‌گیرد [۶]. ولی سیستم متعارف در بسیاری از پروژه‌های امروزی که مواجه با ریسک‌های عدم تعریف کامل محدوده، نقص در طراحی، پیچیدگی فنی پروژه، افزایش زمان پروژه و یا تغییرات حین ساخت می‌باشند، نتایج قابل قبولی را در بر نداشته است[۷]. لذا کارفرمایان مجبور به توسعه سیستم‌های اجرای متنوعی برای انجام پروژه‌های خود شده‌اند [۳۰]. با مقایسه سیستم های معرفی شده در نظام فنی و اجرائی کشور، شکل ۱ در ادامه به منظور نمایش گستره محدوده و توزیع ریسک در بین سیستم های اجرا پروژه ترسیم و ارائه شده است [۳۱].



شکل ۱. گستره خدمات واگذار شده به پیمانکاران در سیستم های اجرا پروژه [۳۱]

البته این تقسیم بندی در سطح استراتژیک پروژه انجام می گیرد و به نوعی شکل دهنده روابط اصلی عوامل پروژه است. در حالی که در ذیل این ۵ دسته کلان، می توان انواع مدل های قراردادی بر حسب نحوه پرداخت، نحوه تعدیل پذیری و ... را تفکیک کرد. به عنوان مثال میلر (۲۰۰۰) سیستم های اجرا پروژه را بر اساس دو فاکتور منبع تامین مالی و میزان یکپارچگی مراحل پروژه تفکیک کرده و ۱۴ سیستم متفاوت را معرفی نموده است [۳۲]. همچنان که لهندارپارا و همکاران[۳۸] (۲۰۱۵) میزان فراوانی استفاده از انواع سیستم‌های اجرا را در طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۳ در کشور امریکا را بررسی کرده و نشان داده‌اند سیستم‌های مورد استفاده کارفرمایان تنوع بسیار بیشتری نسبت به سال‌های اولیه پیدا کرده‌اند [۳۳].

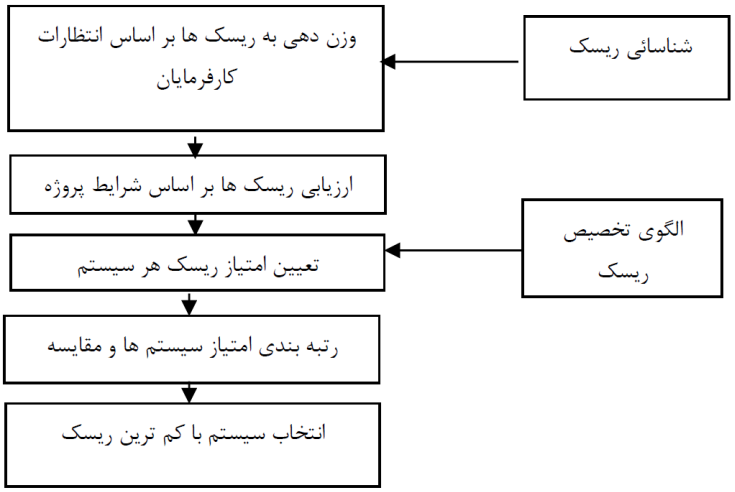
35 Traditional
36 Construction Management
37 Finance
38 Lahdenperä et al.

به طور کلی، مفاد یک قرارداد به صورت بندهای معاف کننده ای[39] تنظیم می شوند که با تخصیص ریسک بین طرفین قرارداد، مسئولیت و خسارت را از یک طرف قرارداد به طرف دیگر منتقل می کنند [۳۴]. انواع سیستم های اجرا، الگوهای از پیش تعیین شده برای شکل دهی به این تخصیص ریسک ها هستند. به همین دلیل رئوف و القدیمی (۲۰۱۹)، توصیه نموده اند که برای ارزیابی سیستم های اجرا و انتخاب سیستم مناسب باید تمرکز بر ریسک ها و کیفیت باشد [۳۵]. مصطفوی و کارآموز (۲۰۱۰)، یک مدل تصمیم گیری چند معیاره فازی برای انتخاب سیستم اجرا توسعه داده اند که عدم قطعیت ها و ریسک ها در فضای تصمیم گیری و همچنین نگرش تصمیم گیرنده را به صورت معیارهای فازی مدل می کند [۳۶].

۳. رویکرد پیشنهادی برای انتخاب سیستم اجرا مناسب

در این مقاله رویکردی پیشنهاد شده است، که با ارزیابی الگوی تخصیص ریسک های قراردادی، سیستم اجرا پروژه را به نحوی به کارفرما پیشنهاد می دهد که کمترین میزان ریسک را در بر داشته باشد. رویکرد پیشنهادی، بر مبنای رفتار کارفرمایان به عنوان تصمیم گیرندگان ریسک گریز در مذاکرات تخصیص ریسک، به دنبال سیستمی است که حداکثر میزان ریسک را به طرف مقابل منتقل نماید. در این رویکرد شاخص های تصمیم گیری، میزان ریسکی است که کارفرما در معرض آن قرار خواهد گرفت.

بر مبنای رویکرد پیشنهادی در این مقاله، یک مدل کمی توسعه یافته است که سیستم اجرای را انتخاب نماید که کمترین ریسک را برای کارفرما در برداشته باشد (شکل ۲). این مدل ابتدا ریسک های قراردادی را شناسایی کرده و سپس میزان تاثیر ریسک های محتمل در پروژه را ارزیابی و به صورت کمی اندازه گیری می نماید. سپس مدل پیشنهادی، بر اساس چگونگی تسهیم و تخصیص ریسک ها در ساختارهای متفاوت قراردادی، میزان ریسکی که متوجه کارفرما است را محاسبه می نماید. در گام بعد، مقدار محاسبه شده برای میزان ریسک متوجه کارفرما در هر سیستم اجرا، با توان مالی و مدیریتی کارفرما مقایسه می گردد تا سطح ریسک های قابل پذیرش توسط کارفرما تعیین شود. در نهایت، یک مدل تصمیم گیری چند هدفه[40] ارائه میگردد که با مقایسه میزان ریسک متوجه کارفرما با سطح ریسک قابل تحمل توسط کارفرما، ساختار مناسب قراردادی برای یک پروژه خاص را انتخاب می نماید.



شکل۲. ساختار مدل پیشنهادی برای انتخاب سیستم اجرا پروژه ها با رویکرد تخصیص ریسک

39 Exculpatory clauses

40 Multi Objective Decision Making (MODM)

مدل پیشنهادی در سه فاز: الف) شناسایی و ارزیابی ریسک های قراردادی ب) ساختاردهی الگوهای تخصیص ریسک پ) توسعه مدل تصمیم گیری، تشریح می گردد. پیگیری و پیاده سازی مدل پیشنهادی، کارفرمایان را قادر می سازد تا سیستم اجرای مناسب برای هر پروژه را تعیین کرده و یا با تقویت سازمان کارفرمایی مجری پروژه، سیستم اجرای مورد نظر خود را با قابلیت اعتماد بالا پیاده سازی نمایند.

در تمام مراحل توسعه این مدل، همکاری مجریان ۲۶ پروژه در حوزه صنعت آب کشور (شامل بر پروژه های انتقال آب، احداث تصفیه خانه و پروژه های سد و نیروگاه) مربوط به یک کارفرمای بزرگ کشور و در قالب روش دلفی بکار گرفته شده است. مجریان پروژه ها، بر اساس اطلاعات و سوابق ۲۶ پروژه ای که در طی سالهای ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۰ به مناقصه رفته و یا عقد قرارداد شده اند، اقدام به شناسائی، ارزیابی و تخصیص ریسک ها و ادعاها نموده‌اند. آمار توصیفی ۲۶ پروژه موردی در جدول (۱) در ادامه ارائه شده است:

جدول ۱. آمار توصیفی پروژه های موردی مبنای توسعه مدل پیشنهادی در این مقاله (تاریخ به روزآوری اطلاعات، بهمن ۱۴۰۱)

کد پروژه	دسته بندی پروژه	مرحله انتخاب پیمانکار	سیستم اجرا
۱	احداث تصفیه خانه	عقد قرارداد	مشارکت عمومی خصوصی (BOT)
۲	احداث تصفیه خانه	عقد قرارداد	مشارکت عمومی خصوصی (BOT)
۳	احداث تصفیه خانه	عقد قرارداد	مشارکت عمومی خصوصی (BOT)
۴	احداث تصفیه خانه	عقد قرارداد	متعارف (سه عاملی)
۵	احداث تصفیه خانه	مناقصه	طرح و ساخت
۶	احداث تصفیه خانه	مناقصه	مشارکت عمومی خصوصی (BOT)
۷	احداث تصفیه خانه	عقد قرارداد	مشارکت عمومی خصوصی (BOT)
۸	انتقال آب	عقد قرارداد	طرح و ساخت
۹	انتقال آب	عقد قرارداد	طرح و ساخت
۱۰	انتقال آب	عقد قرارداد	طرح و ساخت
۱۱	انتقال آب	عقد قرارداد	متعارف (سه عاملی)
۱۲	انتقال آب	عقد قرارداد	متعارف (سه عاملی)
۱۳	انتقال آب	عقد قرارداد	طرح و ساخت
۱۴	انتقال آب	عقد قرارداد	متعارف (سه عاملی)
۱۵	انتقال آب	عقد قرارداد	طرح و ساخت
۱۶	انتقال آب	عقد قرارداد	طرح و ساخت
۱۷	انتقال آب	عقد قرارداد	متعارف (سه عاملی)
۱۸	انتقال آب	عقد قرارداد	مشارکت عمومی خصوصی (BOT)
۱۹	انتقال آب	عقد قرارداد	مشارکت عمومی خصوصی (BOT)
۲۰	انتقال آب	عقد قرارداد	متعارف (سه عاملی)
۲۱	سد	عقد قرارداد	طرح و ساخت
۲۲	سد	مناقصه	طرح و ساخت
۲۳	سد	مناقصه	طرح و ساخت
۲۴	سد و نیروگاه	عقد قرارداد	طرح و ساخت

۲۵	سد و نیروگاه	مناقصه	مشارکت عمومی خصوصی (BOO)
۲۶	سد و نیروگاه	مناقصه	مشارکت عمومی خصوصی (BO0)

۳-۱. شناسایی و ارزیابی ریسک های قراردادی

در اولین گام، مدل پیشنهادی نیازمند شناسایی ریسک های قراردادی در پروژه ها است. ریسک های قراردادی، مواردی از عدم قطعیت‌ها در حدود مسولیت ها و اختیارات در پروژه چند عاملی می باشد که عموما مذاکرات قراردادی به منظور تعیین تکلیف این موارد بین عوامل درگیر پروژه تنظیم می شود. میزان این ریسک‌ها و سهم هر یک از عوامل پروژه در مدیریت ریسک های قراردادی، شکل دهنده ساختار تسهیم سود و منافع پروژه در قالب قرارداد می باشد.

برای شناسایی ریسک های قراردادی، انتظارات و نگرانی های مجریان ۲۶ پروژه مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور ادعاها و تغییرات بررسی شده در ۲۶ پروژه مربوط به یک کارفرمای بزرگ کشور (در حوزه احداث تصفیه خانه آب، انتقال آب و پروژه های سد و نیروگاه) که در طی سالهای ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۰ برای مناقصه فراخوان شده اند و یا عقد قرارداد شده اند، مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. در نتیجه این مطالعات، از دید کارفرمایان پروژه های مورد بررسی، ریسک‌های ساختاری قراردادی در ۱۴ دسته عمده زیر طبقه بندی و ارائه گردید:

(r_1) ریسک تکمیل: احتمال عدم انجام کامل موضوع قرارداد و عدم تکمیل پروژه بر اساس اهداف طرح

(r_2) ریسک یکپارچگی: عدم یکپارچگی مراحل چرخه عمر شامل بر محدوده قرارداد مانند سازگاری طراحی و اجرا.

(r_3) ریسک قابلیت تعریف: عدم قطعیت در برآورد هزینه‌ها و زمان اجرای طرح می‌باشد.

(r_4) ریسک قابلیت اطمینان[41]: عدم قطعیت در برآورده سازی نیازمندی‌های طرح پس از راه اندازی و افزایش هزینه های نگهداری و بهره برداری.

(r_5) ریسک افزایش هزینه[42]: احتمال افزایش هزینه‌ها ناشی از اهمال یا اشتباه مجری قرارداد.

(r_6) ریسک قابلیت ساخت[43]: قابلیت اجرائی خواسته های کارفرما و طراحی در مرحله اجرا

(r_7) ریسک قابلیت تغییر: قابلیت تغییر در محدوده طرح و انعطاف پذیری سازمان مجری برای مدیریت تغییرات.

(r_8) ریسک تأمین مالی[44]: عدم اطمینان به منابع مالی پروژه منجر به تاخیر یا عدم پرداخت به مجری قرارداد.

(r_9) ریسک اجرات: عدم قطعیت ها در مشخصات و کیفیت تجهیزات و مصالح پروژه.

(r_{10}) ریسک کیفیت: عدم قطعیت در کیفیت اجرای موضوع قرارداد و نیاز کارفرما به نظارت.

(r_{11}) ریسک تاخیر: بیان عدم قطعیت‌ها در برنامه زمانبندی و تکمیل به موقع طرح

(r_{12}) ریسک اقتصادی: عدم قطعیت در شاخص های کلان اقتصادی مانند تورم یا نرخ ارز

(r_{13}) ریسک غیر مترقبه: احتمال وقوع حوادث غیر مترقبه (سیاسی یا طبیعی) موثر بر اهداف پروژه

41 Reliability Risk
42 Cost Overrun Risk
43 Constructability Risk
44 Finance Viability

(r_{14}) ریسک کارفرمائی: عدم قطعیت در انجام تعهدات و مسئولیت های کارفرما یا دیگر دستگاه های دولتی در قرارداد مانند رفع معارضان یا صدور مجوزها

در گام بعدی برای استقرار مدل پیشنهادی، کارفرما با ارزیابی میزان تاثیر این ریسک ها بر اهداف پروژه، تاثیر هر ریسک را برآورد می نماید. تاثیر ریسک، برآوردی است از حداکثر خسارت احتمالی ناشی از وقوع هر ریسک بر منافع کارفرما، که تصمیم گیرنده بر اساس انتظارات کارفرما و در ابتدای پروژه آن را هدف گذاری می کند. در واقع کارفرما انتظار دارد که فراتر از مقدار تاثیر ریسک تعیین شده در این مرحله، مواجه با خسارت های احتمالی نباشد.

برای ارزیابی ریسک ها، سوابق موجود از خسارات ادعا شده در ۲۶ پروژه مورد بررسی استفاده گردیده است. نتایج بدست آمده با مشورت تیم دلفی اصلاح و نهائی گردید. جدول (۲) تاثیر هر ریسک قراردادی را در سه میزان کیفی کم، متوسط و زیاد اندازه گیری می کند. شاخص های کیفی بر اساس تاثیر گذاری بر اهداف پروژه به صورت درصدی از افزایش هزینه طبقه بندی شده اند، به عنوان مثال با رجوع به جدول یک مشخص می شود که در صورت آنکه احتمال وقوع ریسک r_1 بالا برآورد شود، می تواند بیش از ۱۰ درصد هزینه های پروژه را افزایش دهد.

جدول ۲. برآورد تاثیر وقوع ریسک های قراردادی بر مبنای برآورد خسارات افزایش هزینه

ریسک‌های قراردادی		پائین (درصد)	متوسط (درصد)	بالا (درصد)
r_1	ریسک عدم تکمیل	۰	۰ تا ۱۰	بیش از ۱۰
r_2	ریسک یکپارچگی	کمتر از ۱	۱ تا ۳	بیش از ۳
r_3	ریسک قابلیت تعریف	کمتر از ۱۰	۱۰ تا ۲۵	بیش از ۲۵
r_4	ریسک قابلیت اطمینان	کمتر از ۱	۱ تا ۹	بیش از ۹
r_5	ریسک افزایش هزینه	کمتر از ۵	۵ تا ۳۰	بیش از ۳۰
r_6	ریسک قابلیت ساخت	کمتر از ۱	۱ تا ۳	بیش از ۳
r_7	ریسک قابلیت تغییرات	کمتر از ۱۰	۱۰ تا ۲۵	بیش از ۲۵
r_8	ریسک تامین مالی	کمتر از ۸	۸ تا ۱۸	بیش از ۱۸
r_9	ریسک اجراات	کمتر از ۱	۱ تا ۷	بیش از ۷
r_{10}	ریسک کیفیت	کمتر از ۰/۵	۰/۵ تا ۳	بیش از ۳
r_{11}	ریسک تاخیر	کمتر از ۱	۱ تا ۵	بیش از ۵
r_{12}	ریسک اقتصادی	کمتر از ۸	۸ تا ۱۴	بیش از ۴
r_{13}	ریسک غیر مترقبه	کمتر از ۰/۵	۰/۵ تا ۱	بیش از ۱
r_{14}	ریسک کارفرمائی	کمتر از ۱۰	۱۰ تا ۳۰	بیش از۳۰

۳-۲. الگوی تخصیص ریسکهای قراردادی

با بررسی و ارزیابی مسئولیت‌ها و تعهدات طرف‌های قراردادی در قراردادهای همسان مصوب سازمان برنامه و مقایسه این موارد در سوابق خسارات و تغییرات اثباتی مربوط به ۲۶ پروژه موردی، الگوی تخصیص ریسک در هر یک از سیستم های اجرا پروژه شناسایی گردیده است. جدول شماره (۳) در ادامه الگوهای تخصیص ریسک را به تفکیک ساختارهای قراردادی متفاوت در قالب ارزیابی کیفی از سهم ریسک باقیمانده برای کارفرما نشان می دهد.

جدول ۳. الگوهای تخصیص ریسک‌های باقیمانده برای کارفرما در سیستم های متفاوت

شماره ریسک	امانی (A_1)	متعارف (A_2)	طرح و ساخت (A_3)	چهار عاملی (A_4)	مشارکت (A_5)

r_1	بالا	متوسط	متوسط	متوسط	پائین
r_2	بالا	بالا	پائین	متوسط	پائین
r_3	پائین	پائین	بالا	پائین	بالا
r_4	بالا	بالا	متوسط	بالا	پائین
r_5	بالا	بالا	پائین	متوسط	پائین
r_6	پائین	بالا	پائین	متوسط	پائین
r_7	پائین	پائین	بالا	پائین	بالا
r_8	بالا	بالا	بالا	بالا	پائین
r_9	بالا	متوسط	متوسط	متوسط	پائین
r_{10}	پائین	متوسط	متوسط	پائین	بالا
r_{11}	بالا	بالا	متوسط	بالا	پائین
r_{12}	بالا	بالا	متوسط	بالا	متوسط
r_{13}	متوسط	پائین	پائین	پائین	متوسط
r_{14}	پائین	پائین	متوسط	پائین	بالا

در جدول ۳، مقدار وزن نوشته شده در زیر هر ستون (w_{ij}) به معنای سهم باقیمانده کارفرما در مدیریت ریسک i پس از تخصیص ریسک به سایر عوامل پروژه در سیستم j را نمایش می دهد. بر این اساس مثلا در جدول ۲ مشخص می باشد که در سیستم طرح و ساخت ($j=3$)، سهم کارفرما از پذیرش ریسک عدم تکمیل پروژه ($i=1$) متوسط خواهد بود چرا که مسئولیت راه اندازی پروژه با پیمانکار است و عملا ریسک باقیمانده برای کارفرما محدود به مواردی می باشد که در دراز مدت و در طول مدت بهره برداری ممکن است مشخص شوند. در حالیکه وزن این ریسک برای سیستم مشارکت خصوصی و عمومی ($j=5$) پائین برآورد شده است چرا که هیچ پرداختی به شرکت پروژه انجام نمی شود مگر آنکه راه اندازی و بهره برداری از طرح توسط سرمایه گذار تکمیل شود. برای کمی سازی سهم کارفرما در هر سیستم، مقادیر کیفی در بازه ۱- ۱۰۰ توزیع شده اند که در آن پائین (۲۵)، متوسط (۵۰) و بالا (۷۵) است. لذا وزن ریسک r_1 در سیستم A_3 (طرح و ساخت) برابر با ۵۰ و برای سیستم A_5 (مشارکت عمومی خصوصی) برابر با ۲۵ خواهد بود.

۳-۳. توسعه مدل تصمیم گیری

در گام نهایی، مقادیر بدست آمده از تحلیل ریسک‌ها در وزن تخصیص بدست آمده از جدول شماره ۲ ضرب شده و با روش وزن-دهی ساده اولویت بندی می شوند. مقدار بدست آمده برابر با برآورد هزینه‌ای است که کارفرما می بایست برای مدیریت ریسک های باقیمانده در قالب ذخیره احتیاطی در نظر بگیرد.

خروجی این مدل، انتخاب ساختاری با کمترین میزان ریسک و ایجاد حداکثر اطمینان برای کارفرما در دستیابی به اهداف پروژه است. تابع هدف در این مدل $f_j(x)$ ، مجموع میزان ریسکی را نشان می‌دهد که کارفرما در صورت انتخاب سیستم اجرای خاص با آن مواجه است. این فاکتور مبنای تصمیم‌گیری و اولویت‌گذاری گزینه‌ها می‌باشد.

$$f_j(x)=\sum_{i=1}^{n} w_{ij}.x_i \qquad (۱)$$

که در آن w_{ij} ضریب تخصیص ریسک در سیستم مطابق جدول ۳ و تاثیر ریسک x_i محاسبه شده بر اساس راهنمای امتیازدهی جدول ۲ می باشد. این میزان در واقع خسارتی است که کارفرما می بایست در صورت وقوع ریسک های قراردادی تقبل نماید. این میزان در قالب ذخیره احتیاطی یا ذخیره مدیریتی برای مدیریت و یا جبران ریسک های پروژه از سوی مدیر پروژه پیش بینی شده و پرداخت می گردد. در واقع افزایش این میزان علاوه بر خطر عدم دستیابی به اهداف زمانی و مالی پروژه، هزینه های بیشتری به پروژه بابت ذخیره احتیاطی تحمیل می نماید.

$$f^* = \min\ f_j(x) = \min\left[\sum_{i=1}^{n} w_{ij}.x_i\right] \qquad (۲)$$

تصمیم نهایی برای انتخاب ساختار مناسب در یک پروژه خاص برابر با ساختاری است که کمترین ریسک را برای کارفرما در بر داشته باشد. فاکتور f^* کمترین میزان ریسک اجرا شده به کارفرما به ازای سیستم های متفاوت اجرا پروژه را محاسبه می نماید.

در نهایت کارفرما، به عنوان تصمیم گیرنده مدل پیشنهادی، می تواند بسته به ظرفیت سازمانی و مالی خود برای پذیرش و مدیریت ریسک های قراردادی، حتی سیستم های اجرا با درجه ریسک بالاتر را انتخاب نماید به معنای آنکه برای دست‌یابی به اهداف متفاوت زمانی یا مالی، سیستمی را انتخاب نماید که درجه ریسک بالاتری داشته باشد و البته منابع مالی و مدیریتی بیشتری را برای مدیریت ریسک‌های احتمالی می بایست پیش بینی نماید. علاوه بر این، تغییر در شرایط قراردادی یا انتظارات تصمیم گیرندگان می تواند منجر به تغییر در ارزیابی ریسک ها و ترجیح بیشتر سیستمی شود که قبلا مرجح نبوده است؛ لذا این مدل این امکان را دارا است که تصمیم گیرنده در قالب ابزارهای تحلیل حساسیت، اقدام به ارزیابی مجدد ریسک با لحاظ نمودن ملاحظات قراردادی یا کارفرمائی متفاوت داشته باشد و سیستم مطلوب خود را توجیه پذیر نماید.

۴. پیاده‌سازی مدل

برای پیاده سازی مدل پیشنهادی و کنترل نتایج، دو پروژه موردی انتخاب گردیده است. با همکاری ارزشمند مجریان این پروژه ها، تحلیل ریسک برای هر کدام صورت گرفته و مقادیر بدست آمده در مدل پیشنهادی جاگذاری گردید و نتایج خروجی مورد بررسی قرار گرفت. در انتها نتایج به اطلاع مجریان طرح رسیده و مورد تائید ایشان قرار گرفت که می توان نشان دهنده صحت عملکرد مدل پیشنهادی تلقی گردد.

الف) پروژه تونل انتقال آب:

این پروژه با برآورد اولیه ۱۲۱ میلیارد تومان در ۴ کیلومتر و با استفاده از روش مکانیزه برای اجرا در حومه شهر تهران برنامه ریزی شده است. کارفرما می خواهد تنها سازمان کوچکی را برای مدیریت کلان و کنترل پرداخت های مالی پروژه سازمان دهد. با توجه به محدودیت منابع مالی کارفرما در این پروژه، ملاحظات مربوط به کنترل هزینه های پروژه و کنترل کیفیت بسیار حیاتی بوده و کارفرما انتظار دارد اختیار کافی برای مداخله بر روی این موارد داشته باشد. همچنین به علت محدودیت های زمانی در پیش روی مشاور، مطالعات مفهومی و اولیه پروژه به طور جامع انجام نگرفته و امکان تغییر در محدوده قرارداد در طول روند اجرای کار قابل انتظار است.

ب) پروژه نیروگاه کوچک برق آبی

هدف این پروژه تولید ۲ مگاوات برق به روش برق آبی می باشد، که با احداث یک نیروگاه کوچک در زیر سر ریز سد صورت می پذیرد. براورد هزینه اجرای پروژه ۴۶ میلیارد تومان می باشد که حجم عمده آن مربوط به خرید تجهیزات بوده و سهم کارهای عمرانی در این پروژه بسیار کمتر می باشد. چشم انداز کارفرما این می باشد که با راه اندازی سریع پروژه می توان ضمن جبران افت برق در زمان پیک شبکه، هزینه های اجرای پروژه را از محل بهره برداری طرح تامین نموده و لذا تمایل دارد به نحوی ریسک های تامین مالی پروژه را برعهده بگیرد.

نتایج ارزیابی ریسک های پروژه در جدول شماره (۴) ارائه شده است. این ارزیابی بر اساس تکنیک دلفی با حضور تیمی ۵ نفره از نمایندگان کارفرما و مشاور کارفرما در هر یک از پروژه های مورد بررسی انجام گردیده است.

جدول ۴. تحلیل ریسک در پروژه های موردی

شماره ریسک	عنوان ریسک	تونل انتقال آب		نیروگاه برق ابی	
		ارزیابی کیفی از ریسک	امتیاز کمی	ارزیابی کیفی از ریسک	امتیاز کمی

r_1	ریسک عدم تکمیل	بالا	۱۰	پائین	۱
r_2	ریسک یکپارچگی	بالا	۳	بالا	۳
r_3	ریسک قابلیت تعریف	بالا	۲۵	پائین	۵
r_4	ریسک قابلیت اطمینان	پائین	۱	متوسط	۵
r_5	ریسک افزایش هزینه	بالا	۳۰	پائین	۱۰
r_6	ریسک قابلیت ساخت	بالا	۳	پائین	۱
r_7	ریسک قابلیت تغییرات	متوسط	۲۰	متوسط	۲۰
r_8	ریسک تامین مالی	متوسط	۱۴	متوسط	۱۴
r_9	ریسک اجرات	پائین	۱	پائین	۱
r_{10}	ریسک کیفیت	متوسط	۲	متوسط	۲
r_{11}	ریسک تاخیر	بالا	۵	بالا	۵
r_{12}	ریسک اقتصادی	متوسط	۱۴	بالا	۲۴
r_{13}	ریسک غیر مترقبه	بالا	۳	پائین	۱
r_{14}	ریسک کارفرمائی	متوسط	۲۰	پائین	۵

مقادیر بدست آمده در جدول ۳ نمایش دهنده امتیاز هر ریسک ناشی از ارزیابی هر یک از پروژه های موردی می باشد. ارزیابی های صورت گرفته توسط تصمیم گیرنده (با حضور تیمی ۵ نفره از نمایندگان کارفرما و مشاور کارفرما) به صورت کیفی بوده و نحوه کمی سازی ارزیابی های کیفی با کمک جدول شماره ۱ انجام شده است. به عنوان نمونه ارزیابی تصمیم گیرنده از میزان تاثیر ریسک شماره r_1 (ریسک عدم تکمیل طرح) برای پروژه الف (تونل انتقال آب) مقدار کیفی "بالا" بوده است و لذا بر اساس جدول شماره ۱ برآورد شده است که می تواند در صورت وقوع موجب افزایش ۱۰ درصدی در هزینه های پروژه گردد. در حالیکه برآورد خبرگان از همان ریسک r_1 در پروژه موردی ب (نیروگاه برق آبی) مقدار کیفی "پائین" بوده است. به معنای آنکه در صورت وقوع این ریسک حداکثر می تواند ۱ درصد هزینه های پروژه را افزایش دهد.

مقادیر بدست آمده از ارزیابی ریسک ها در جدول شماره (۴)، در رابطه شماره (۱) قرار داده شده است و مقدار هزینه تحمیل شده به کارفرما برای جبران خسارات ناشی از وقوع هر ریسک محاسبه می گردد. این مقدار به تفکیک برای دو پروژه موردی مورد بررسی در این تحقیق در جدول شماره (۵) نشان داده شده است.

جدول ۵. مقادیر هزینه تحمیل شده به کارفرما برای مدیریت ریسک ها در سیستم های اجرا متفاوت

شماره ریسک	تونل انتقال آب								نیروگاه برق آبی							
	ارزیابی کیفی	امتیاز کمی	خسارت ناشی از وقوع ریسک	سهم کارفرما از خسارت تحمیل شده					ارزیابی کیفی	امتیاز کمی	خسارت ناشی از وقوع ریسک	سهم کارفرما از خسارت تحمیل شده				
				امانی	متعارف	طرح و ساخت	چهار عاملی	PPP				امانی	متعارف	طرح و ساخت	چهار عاملی	PPP
r_1	۷	٪۱۰,۰	۱۲،۱۰۰	۹،۰۷۵	۶،۰۵۰	۶،۰۵۰	۶،۰۵۰	۳،۰۲۵	۳	٪۱,۰	۴۳۰	۳۲۳	۲۱۵	۲۱۵	۲۱۵	۱۰۸
r_2	۷	٪۳,۰	۳،۶۳۰	۲،۷۲۳	۲،۷۲۳	۹۰۸	۱،۸۱۵	۹۰۸	۷	٪۳,۰	۱،۲۹۰	۹۶۸	۹۶۸	۳۲۳	۶۴۵	۳۲۳
r_3	۹	٪۲۵,۰	۳۰،۲۵۰	۷،۵۶۳	۷،۵۶۳	۲۲،۶۸۸	۷،۵۶۳	۲۲،۶۸۸	۳	٪۵,۰	۲،۱۵۰	۵۳۸	۵۳۸	۱،۶۱۳	۵۳۸	۱،۶۱۳
r_4	۳	٪۱,۰	۱،۲۱۰	۹۰۸	۹۰۸	۶۰۵	۹۰۸	۳۰۳	۵	٪۵,۰	۲،۱۵۰	۱،۶۱۳	۱،۶۱۳	۱،۰۷۵	۱،۶۱۳	۵۳۸
r_5	۷	٪۳۰,۰	۳۶،۳۰۰	۲۷،۲۲۵	۲۷،۲۲۵	۹،۰۷۵	۱۸،۱۵۰	۹،۰۷۵	۳	٪۱۰,۰	۴،۳۰۰	۳،۲۲۵	۳،۲۲۵	۱،۰۷۵	۲،۱۵۰	۱،۰۷۵
r_6	۷	٪۳,۰	۳،۶۳۰	۹۰۸	۲،۷۲۳	۹۰۸	۱،۸۱۵	۹۰۸	۱	٪۱,۰	۴۳۰	۱۰۸	۳۲۳	۱۰۸	۲۱۵	۱۰۸
r_7	۵	٪۲۰,۰	۲۴،۲۰۰	۶،۰۵۰	۶،۰۵۰	۱۸،۱۵۰	۶،۰۵۰	۱۸،۱۵۰	۵	٪۲۰,۰	۸،۶۰۰	۲،۱۵۰	۲،۱۵۰	۶،۴۵۰	۲،۱۵۰	۶،۴۵۰

r_8	۵	٪۱۴,۰	۱۶.۹۴۰	۱۲.۷۰۵	۱۲.۷۰۵	۱۲.۷۰۵	۱۲.۷۰۵	۴.۲۳۵	۵	٪۱۴,۰	۶.۰۲۰	۴.۵۱۵	۴.۵۱۵	۴.۵۱۵	۱.۵۰۵
r_9	۳	٪۱,۰	۱.۲۱۰	۹۰۸	۹۰۸	۳۰۳	۶۰۵	۹۰۸	۳	٪۱,۰	۴۳۰	۳۲۳	۳۲۳	۱۰۸	۲۱۵	۳۲۳
r_{10}	۵	٪۲,۰	۲.۴۲۰	۶۰۵	۱.۲۱۰	۱.۲۱۰	۶۰۵	۱.۸۱۵	۵	٪۲,۰	۸۶۰	۲۱۵	۴۳۰	۴۳۰	۲۱۵	۶۴۵
r_{11}	۷	٪۵,۰	۶.۰۵۰	۴.۵۳۸	۴.۵۳۸	۳.۰۲۵	۴.۵۳۸	۱.۵۱۳	۹	٪۵,۰	۲.۱۵۰	۱.۶۱۳	۱.۶۱۳	۱.۰۷۵	۱.۶۱۳	۵۳۸
r_{12}	۵	٪۱۴,۰	۱۶.۹۴۰	۱۲.۷۰۵	۱۲.۷۰۵	۸.۴۷۰	۱۲.۷۰۵	۸.۴۷۰	۷	٪۲۴,۰	۱۰.۳۲۰	۷.۷۴۰	۷.۷۴۰	۵.۱۶۰	۷.۷۴۰	۵.۱۶۰
r_{13}	۹	٪۳,۰	۳.۶۳۰	۱.۸۱۵	۹۰۸	۹۰۸	۹۰۸	۱.۸۱۵	۳	٪۱,۰	۴۳۰	۲۱۵	۱۰۸	۱۰۸	۱۰۸	۲۱۵
r_{14}	۵	٪۲۰,۰	۲۴.۲۰۰	۶.۰۵۰	۶.۰۵۰	۱۲.۱۰۰	۶.۰۵۰	۱۸.۱۵۰	۳	٪۵,۰	۲.۱۵۰	۵۳۸	۵۳۸	۱.۰۷۵	۵۳۸	۱.۶۱۳

نتایج ارائه شده در جدول شماره ۵ در واقع برآورد هزینه هایی است که احتمالا کارفرما می بایست بابت مدیریت هر ریسک در سیستم اجرا متفاوت در قالب ذخیره احتیاطی یا ذخیره مدیریتی پیش بینی نماید. و لذا به تناسب، هزینه تمام شده پروژه را برای کارفرما افزایش خواهد داد. به عنوان مثال این جدول نشان می دهد که در صورت وقوع ریسک r_1 (ریسک عدم تکمیل طرح)، خسارتی برابر با ۱۰ درصد قیمت اولیه پروژه (برابر با ۱۲ میلیارد تومان) بابت هزینه های خلع ید پیمانکار موجود و انتخاب پیمانکار جدید، به پروژه تحمیل خواهد شد. در صورت واگذاری این قرارداد به روش امانی، سهم کارفرما برای جبران این هزینه، مبلغ بالغ بر ۹ میلیارد تومان است. در حالیکه در صورت واگذاری پروژه به روش مشارکت عمومی خصوصی (به دلیل قابلیت بالای این روش برای انتقال ریسک های تامین مالی پروژه به طرف مقابل)؛ سهم کافرما به مبلغ ۳ میلیارد تومان کاهش می یابد. لذا روش مشارکت عمومی خصوصی، برای پوشش این ریسک خاص، سیستم اجرا مناسب تری را ارائه می دهد.

نهایتا با استفاده از روابط (۱)، مجموع مقادیر پیش بینی شده برای افزایش هزینه پروژه محاسبه شده است و در جدول (۶) نمایش داده شده است.

جدول ۶. امتیاز تخصیص ریسک‌ها در پروژه های موردی

پروژه		معیار	واحد	امانی	متعارف	طرح و ساخت	چهار عاملی	مشارکت
پروژه الف	تونل انتقال آب	درصد افزایش هزینه	درصد	۷۸	۷۶	۸۰	۶۷	۷۶
		مبلغ افزایش هزینه	میلیون تومان	۹۳.۷۷۵	۹۲.۲۶۳	۹۷.۱۰۳	۸۰.۴۶۵	۹۱.۹۶۰
پروژه ب	نیروگاه برق ابی	درصد افزایش هزینه	درصد	۵۶	۴	۳/۹	۳/۷	۳/۴
		مبلغ افزایش هزینه	میلیون تومان	۲۴.۰۸۰	۱.۷۳۵	۱.۶۶۶	۱.۶۰۵	۱.۴۴۴

جدول (۶) نشان می دهد که بر اساس نتایج ارزیابی ریسک ها در هر یک از پروژه های موردی، جمعا چه میزان افزایش هزینه برای پروژه قابل تصور است. و در نتیجه کافرما نهایتا می بایست چه میزان منابع برای مدیریت و کنترل این ریسک ها به عنوان سهم خود در مدیریت ریسک پیش بینی و ذخیره نماید. بر این اساس می توان دید که در صورت واگذاری پروژه موردی الف (تونل انتقال آب) به روش طرح و ساخت، کارفرما می بایست انتظار افزایش هزینه ای تا سقف ۸۰ درصد مبلغ اولیه پروژه را داشته باشد. در حالیکه در صورت واگذاری همان پروژه به روش مشارکت عمومی خصوصی، این افزایش هزینه حداکثر ۷۶ درصد پیش بینی می شود. لذا می توان انتظار داشت که انتخاب روش مشارکتی برای این پروژه خاص به معنای کاهش ریسک های کارفرما و نهایتا کاهش قیمت تمام شده پروژه است. لازم به توضیح است اعداد جدول ۵ لزوما به معنای پیش بینی قیمت تمام شده پروژه نمی باشد. چرا که اصولا احتمال وقوع تمامی ریسک ها و به صورت همزمان بسیار پائین بوده و در نتیجه کارفرما در طول عمر پروژه متناسب با زمانبندی طرح، می بایست درصدی از این میزان را به عنوان ذخیره احتیاطی تامین و نگهداری نماید.

با استفاده از رابطه (۲)، مقدار کمینه تابع تخصیص ریسک محاسبه شده و سیستم مناسب برای پروژه خاص پیشنهاد می گردد. مقدار محاسبه شده برای هر یک از دو پروژه موردی در روابط ۳ و ۴ زیر نمایش داده شده است:

$$f_A^* = \min\left[f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x), f_5(x)\right] = 67\% \quad (۳)$$

$$f_B^* = \min\left[f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x), f_5(x)\right] = 3/4\% \quad (۴)$$

بر اساس مقادیر بدست امده در روابط (۳) و (۴)، مقدار بهینه f^* به ترتیب برای پروژه الف و پروژه ب برابر با f_4 و f_5 می باشد. لذا سیستم اجرا مناسب برای پروژه الف و پروژه ب به ترتیب برابر با سیستم چهار عاملی و سیستم مشارکت عمومی خصوصی خواهد بود. انتخاب این سیستم های توصیه شده در این مدل، به کارفرما اطمینان می دهد که می تواند کنترل بیشتری بر ریسک های پروژه داشته باشد و نهایتا با قیمت تمام شده پائین تری پروژه را به اتمام برساند

۵- نتیجه گیری

در این مقاله رویکرد جدید برای انتخاب سیستم اجرا پروژه ها بر مبنای مفهوم نحوه تخصیص ریسک های قرارداد معرفی شده است. لذا کارفرما با استفاده از مدل توسعه یافته در این مقاله، می تواند سیستم اجرا مورد نظر خود را با در نظر گرفتن تبعات آن بر اهداف پروژه شامل زمان و هزینه تعیین نماید. با استفاده از مدل پیشنهادی نتایج زیر بدست می آید:

۱. رویکرد پیشنهادی در قالب یک مدل تصمیم گیری کمی، مدلسازی شده است که می تواند نقش موثری در کاهش زمان و هزینه تصمیم گیری کارفرمایان در زمان تهیه اسناد مناقصه یا تنظیم قراداد داشته باشد. این روش می تواند جایگزینی مطمئن برای روش سنتی که بیشتر مبتنی بر قضاوت مجریان پروژه ها بوده است باشد.

۲. نکته اساسی در رویکرد پیشنهادی، فهم سیستم های اجرا پروژه به عنوان چهارچوب‌های تسهیم ریسک بین عوامل پروژه است. بر اساس این چهارچوب مفهومی، انتخاب یک ساختار خاص به معنای پذیرش سهمی از ریسک‌های پروژه توسط کارفرما و در مقابل انتقال سهم باقیمانده به طرف‌های مقابل است. لذا انتخاب سیستم اجرا، نیازمند یافتن الگویی از تخصیص ریسک‌ها است که کمترین ریسک را برای کارفرما در بر داشته باشد.

۳. مدل پیشنهادی، بر اساس داده‌های واقعی پروژه‌های ساخت توسعه یافته است. برای این منظور اطلاعات ۲۶ پروژه حوزه سد و نیروگاهی، تصفیه خانه آب و پروژه های انتقال آب در کشور مورد بررسی قرار گرفته اند تا ریسک های عمده موثر بر انتخاب نوع قرارداد تعیین شوند. ۱۴ عنوان ریسک با کمک گیری از سوابق پروژه ها و مصاحبه مجریان پروژه ها معرفی شده‌اند که انتخاب نوع قرارداد می تواند میزان تاثیر و یا احتمال وقوع این ریسک ها را در پروژه بالا ببرد. لذا نحوه مدیریت و چگونگی تخصیص آنها می تواند تعیین کننده نوع سیتم اجرا پروژه باشد.

۴. بر اساس مدل ارائه شده، کارفرما می‌تواند با تحلیل شرایط پروژه مورد نظر و انتظارات تصمیم گیرندگان برای حداکثر تغییرات قابل تحمل توسط کارفرما، سیستم اجرا مناسب هر پروژه خاص را انتخاب نمایند. مدل ارائه شده به صورت کارکردی، در نهایت میزان ریسک تحمیل شده به کارفرما را در قالب برآوردی از حداکثرخسارات قابل تصور در صورت انتخاب هر سیستم خاص را بیان می دارد. لذا یک بیان ملموس و کاربردی از تناسب سیستم اجرا پروژه با شرایط پروژه بیان کرده و به کارفرما این امکان را می دهد که بنا به ظرفیت های سازمانی خود برای پذیرش و مدیریت ریسک ها دست به انتخاب بین سیستم‌های متفاوت بزند. بر این اساس کارفرمایانی که دارای توان و قابلیت پذیرش سطح بالاتری از ریسک های قراردادی هستند، نهایتا می توانند انواع متفاوتی از مدل های قراردادی را بکارگیری نمایند. در حالیکه کارفرمایانی که به دلیل ضعف در تیم فنی و یا محدودیت منابع مالی قدرت ریسک پذیری کمتری دارند، بایست مدل های محدودتر را انتخاب نمایند.

۵. نتایج پیاده سازی مدل مفهومی ارائه شده در دو پروژه موردی نشان می دهد که انتخاب و تنظیم قراردادهای ساخت بیش از هر چیز وابسته به نحوه مدیریت ریسک های قراردادی است. و لذا سیستم اجرا هر قرارداد می بایست با ظرفیت ها و منابع در اختیار سازمان کارفرما هماهنگ شود. در واقع موفقیت هر پروژه بیش از هر عامل؛ وابسته به ساختارها و توانمندی های کارفرما است.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب یک پروژه تحقیقاتی با حمایت شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران تهیه و اجرا گردیده است. نویسندگان بر خود فرض می دارند که در این جا، کمال سپاس و تشکر خود را از همکاری مجریان پروژه های آن مجموعه گرانقدر و فرصت دسترسی به اطلاعات پروژه ها را اعلام دارد.

مراجع

[1] American Socity of Civil engineering (ASCE). (2000). *Quality in the constructed project*: *a guide for owners, designers, and constructors*, second edition, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
[2] Kumaraswamy M. M., Dissanayaka S. M. (2001). Developing a decision support system for building project procuremen. *Build and Environment*, Vol. 36(3), pp 337-349.
[3] El-Sayegh S.M. (2007). Significant Factors Affecting the Selection of the Appropriate Project Delivery Method. *5th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, May 29-June 1.
[4] Ibbs C.W., Hoon K.Y., Ng T., and Odabasi A.M. (2003). Project Delivery Systems and Project Change: Quantitative Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 129, No. 4, 382-387.
[5] Nik Bakht M. and El-Diraby T.E. (2015). Synthesis of Decision-Making Research in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 141(9), pp 1-18.
[6] Gordon, M. (1994). Selecting appropriate contract. *Construction management journal*, Vol.120, pp.196-210.
[7] Konchar, Mark and Sanvido, Victor, (1998). Comparison of U.S. Project Delivery Systems. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.124 (6), pp. 435-444.
[8] Gransberg, Douglas D., Badillo-Kwiatkowski, Gayla M. and Molenaar, Keith R. (2003). Project Delivery Comparison Using Performance Metrics. *AACE International Transactions*, CSC 2.1–2.5.
[9] Mostafavi, A., & Karamouz, M. (2010). Selecting Appropriate Project Delivery System: Fuzzy Approach with Risk Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(8), 923-930.
[10] Ling, F. Y. Y., & Liu, M. (2004). Using neural network to predict performance of design-build projects in Singapore. *Building and Environment*, Vol. 39(10), pp 1263-1274.
[11] Chen, Y. Q., Liu, J. Y., Li B., & Lin B. (2011). Project delivery system selection of construction projects in China. *Expert Systems with Applications*, Vol. 38(5), 5456-5462.
[12] Chan, A.P.C., Yung, E.H.K., Lam, P.T.I., Tam, C.M., & Cheung, S.O. (2001). Application of Delphi method in selection of procurement systems for construction projects. *Construction Management and Economics*, Vol. 19(7), 699-718.
[13] Tran, D., Harper, C., Molenaar, K., Haddad, N., & Scholfield, M. (2013) Project Delivery Selection Matrix for Highway Design and Construction. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (2347)*, 3-10.
[14] ALHazim T., McCaffer R. (2000). Project Procurement System Selection Model. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 126, No. 3.
[15] Mahdi I. M., Alreshaid K. (2005). Decision support system for selecting the proper project delivery method using analytical hierarchy process (AHP). *International Journal of Project Management*, Vol. (23). 564-572.
[16] AlKhalil M. I. (2002). Selecting the appropriate project delivery method using AHP, *International Journal of Project Management*, Vol. 20, 469-474.
[17] Mafakheri F., Dai L., Slezak D. (2007). Project delivery system selection under uncertainty Multi-criteria multilevel decision aid model. *Journal of Management in Engineering*, 23(4): 200~206.
[18] Demetracopoulou V., O'Brien W.J., Khwaja N., (2020). Lessons Learned from Selection of Project Delivery Methods in Highway Projects: The Texas Experience, *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, Vol. 12 (1).
[19] Pu W.,Xu F., Chen R., Marques R.C., (2020). PPP project procurement model selection in China: does it matter, *Construction Management and Economics*, Vol. 38 (2).

[20] Zhao, N. and Ying, F. (2019). Method selection: a conceptual framework for public sector PPP selection, *Built Environment Project and Asset Management*, Vol. 9 (2), 214-232.
[21] Zhu, J.-W.; Zhou, L.-N.; Li, L., Ali, W., (2020). Decision Simulation of Construction Project Delivery System under the Sustainable Construction Project Management, *Sustainability*, 12(6).
[22] Razi P.Z, Ramli N.I, Ali M.I. and Ramadhansyah P.J, (2019). Selection of Method in Construction Industry by using Analytical Hierarchy Process (AHP), IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 712, *International Seminar on Sustainable Construction Engineering*, Kuala Lumpur, Malaysia.
[23] Perera, G.P.P.S., Tennakoon, T.M.M.P., Kulatunga, U., Jayasena, H.S. and Wijewickrama, M.K.C.S., (2019). Factors affecting the selection of a procurement method for steel building construction, *Proceedings of the 8th World Construction Symposium*, Colombo, Sri Lanka.
[24] Hosseini A., Lædre O., Andersen B., Torp O., Olsson N., Lohne J., (2016). Selection criteria for delivery methods for infrastructure projects, *29th World Congress International Project Management Association (IPMA) 2015*, Procedia - Social and Behavioral Sciences 226, 260 – 26.
[25] Masterman, J., and Duff, A. (1994). The selection of building procurement systems by client organizations, P*roceedings of the 10th Annual ARCOM Conference*.
[26] Medda, F. (2007). A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships. *International Journal of Project Management*, Vol. 25(3), pp 213-218.
[27] Peckiene A., Komarovska A., Ustinovicius L. (2013). Overview of Risk Allocation between Construction Parties, *11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques(MBMS*T), Procedia Engineering 57, 889–894.
[28] Khazaeni G., Khanzadi M., Afshar A., (2012). Fuzzy adaptive decision making model for selection balanced risk allocation, I*nternational Journal of Project Management*, Vol. 30 (4), pp 511-522.
[29] Khazaeni G., Khanzadi M., Afshar A., (2012). Optimum risk allocation model for construction contracts: fuzzy TOPSIS approach, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 39 (7), pp 789-800.
[30] Dorsey, RW, (1997). Project Delivery System for building Construction. *Associated General Contractors of America (AGC)*, New York.
[31] Emam Jomeh Zadeh, H., (2004). Comparative comparison of some researches done on project delivery systems, In: *The first international project management conference*, City: Tehran.
[32] Miller, J., Garvin, M., Ibbs, C., & Mahoney, S. (2000). Toward a New Paradigm: Simultaneous Use of Multiple Project Delivery Methods. *Journal of Management in Engineering*, Vol.16 (3), 58-67.
[33] Lahdenperä P. (2015). Project delivery systems in Finnish new building construction– a review of the last quarter centur. *8th Nordic Conference on Construction Economics and Organization*, Procedia Economics and Finance 21, 162 – 169
[34] Khalef, R., El-adaway, I.H., Assaad, R. and Kieta, N., (2021). Contract Risk Management: A Comparative Study of Risk Allocation in Exculpatory Clauses and Their Legal Treatment, Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction, Vol. 13(1).
[35] Raouf A.M. and Al-Ghamdi, S.G. (2019). Effectiveness of Project Delivery Systems in Executing Green Buildings, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 145(10)
[36] Mostafavi, A. and Karamouz, M. (2010). Selecting Appropriate Project Delivery System: Fuzzy Approach with Risk Analysis, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.136(8)