

Project portfolio selection by considering triple-wise interaction among projects

(Document Type: Research Paper)

Mahdi Nakhaeinejad*

Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Yazd University, Yazd, Iran,
m.nakhaeinejad@yazd.ac.ir

Nasim MomenShad

Industrial Engineering Department, Science and Arts University, Yazd,
Iran,nassim.momen.shad@gmail.com

Purpose: The project portfolio problem proceeds to choose a subset among the proposed projects in organization. One of the purposes of project portfolio management is the reduction of the available risks in portfolio selection process. In real world, the project risks are rarely independent, and generally have a degree of interaction. By considering this interaction the more accurate evaluation of portfolio selection can be achieved. The purpose of this study is to provide a framework for selecting project portfolios by considering the triple interaction between projects for the first time using the correlation coefficient and the theory of cross-information for the risk factors affecting them.

Design/methodology/approach: First, this research identifies the most critical risks based on the literature review, project management body of knowledge and the relevant experts' opinions. Then, a questionnaire was distributed among 30 experts to quantify the identified risk criteria. The identified risks that are included 11 risks are in the categories of “technical”, “external”, “organizational” and “project management”. Then these risks are placed in to the “cost”, “time” and “quality” classification. By considering the individual project risk, the projects which their risks were higher than the allowable limit, were not able to compete in the portfolio. Also, the pairwise and triple-wise interaction of the projects based on effective criteria caused that the projects which provoke risks synergies in the portfolio to be prevented from being together. By analyzing risks, the pairwise interaction effects between projects are calculated using Spearman's correlation coefficient and for the first time the triple interaction effects between projects are calculated using theory of cross-information to discover more precisely the effect of factors on each other. Finally, the modeling in the form of a case study based on integer linear programming along with two goals, “maximize IRR” and “maximize the number of projects in the portfolio”, are accurately assessed to evaluate the research validity.

Findings: The problem of project portfolio is the selection of a subset of proposed projects according to the strategic goals of the organization and the associated constraints. This paper provides a framework for selecting project portfolios by considering the triple interaction between projects for the first time. The results show that considering pairwise and triple-wise interaction instead of individual pairwise interaction comprise different answers. This result leads to discovering the relationship which can not be identified just with the pairwise interaction.

* Corresponding author

Copyright © 2020, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

Research limitations/implications: In this research the risk criteria are considered generally, while, in specific projects it can be used specific criteria. Using the meta-heuristic methods when the problem dimensions are increased is another area for future research. In addition, fuzzy methods and stochastic subject in order to quantify the risk criteria could be considered. Besides, this paper considers risks with negative aspect for project portfolio selection, while, in future research suggested that the risks with aspect of the positive are considered as well.

Practical implications: One of the most important application of this paper is for project-oriented companies that are involved in doing multiple projects simultaneously. The results of this paper are useful for these companies for risk reduction in selecting and performing their projects.

Social implications: This paper considers the most important risks affecting project execution. These risks include external risks of organization as well as internal and technical risks of organization. So, the paper helps organizations for the most appropriate selection of projects that could have benefits for organization and also society.

Originality/value: In the literature, there are various methods that researchers have considered for risk management. Most of these studies don't consider interactions between projects or simply they considered only pairwise interaction. The main purpose of this study is to consider a higher level of interactions that is triple interactions that not considered in the literature. The results show that considering triple-wise interaction instead of individual pairwise interaction comprise different and better results.

keywords

Project Portfolio, Project management body of knowledge, Triple-wise interaction

References

- Aaker, D & Tyebjee, T, T. (1978) ."A Model For The Selection Of Interdependent R&D Projects". *Transactions on Engineering Management*, 25, (2):30–36.
- Abbassian, H. Ravanshadnia, M & Rajaei, H. (2009) "Quantity Analysis of Risk By Method Of SAWF for To Selection Project Portfolio". *Conference national engineering and construction management*, 4, (1) :1-14.
- Abbasiyan, H. Ravanshadnia, M & Rajaei, H. (2008)." Comparison Of Risk Analysis Different Approaches In Project Portfolio Selection, *International Conference of project managemen*".4, (1): 1-11.
- Alinejad, A & Simiyari, K. (2013)."To Selection Project Optimum Portfolio by Using DEA/DEMATEL Approach". *journal of scientific-research of industry management Research*, 28: 41-60.
- Alvarez-García, B & Fernandez-Castro, A. (2018). " aA Comprehensive Approach For The Selection Of A Portfolio Interdependent Projects. An Application To Subsidized In Spain". *Computers & Industrial Engineering*, 1-23.
- Dari, B. Asadi, B & Mazaheri, S. (2015). "A Project Portfolio Selection Model With Project Interaction And Resources Interdependency Consideration using artificial neural networks ". *Periodical of industry management*, 1, (7): 21-42.
- Farsijani, H. Fattahi, M & Norouzi, M.(2012)."To Selection Projects Portfolio By Concsidering Interaction, By Using Of Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO) And Chaotic Dynamics ". *Periodical of industry management Scene*, 5, (1): 27-48.
- Fazli, s & Madani, S.(2009) "To Introduce A Model Selection Of Civilization Projects By Using Multi-Criteria Decision Making approach". *International Conference of project management*, 5, 1-18.
- Freund, John E. (2008)."MATHEMATICAL STATISTICS ,Tehran, *Daneshgahi Publication center*, 1-650.

- Ganji, M. Alinaghian, M & Sajjadi, M. (2016). "A New Model For Optimazating Simultaneously Projects Selection And Resource Constrained Project Scheduling Problem With Particle Swarm Optimization". *Production and operations management*, 7,(1), 235-246.
- Ghapanchi , A; Tavana, M. Khakbazan , M & Low, G. (2012)."A Methodology For Selecting Portfolios Of Projects With Interactions And Under Uncertainty". *International Journal of Project Management*, 30, (7): 791–803.
- Jafari Eskandari, m. Sabounian, M & Darri, M. (2017). "A Economic Evaluation Of projects Under Uncertainty Using Fuzzy Logic, Analytical Hierarchy process and Binary Integer Programming ". *guideline financial management*, 5, (3), 171-184.
- Jafarzadeh, H. Akbari, P & Abedin, b. (2018). A Methodology For Project Portfolio Selection Under Criteria Priorisation, Uncertainty And Projects Interdependency Combination Of Fuzzy QFD And DEA ." *Expert Systems With Applications*, 1-33.
- Maier, S. Polak, J & Gann, D. (2018). "Valuing Portfolios Of Interdependent Real Option Using Influence Diagrams And Simulation- And Regression: A Multi-stage stochastic integer programming approach". *computers and oprations research*, 000, (1) , 1-14.
- Medaglia, A. L, Graves, S. B & Ringuest, L. J. (2007) ." A Multiobjective Evolutionary Approach For Linearly Constrained Project Selection Under Uncertainty". *European Journal of Operational Research* 179, (3): 869– 894.
- Minato, t & Ashley, DB. (1998). "Data-Driven Analysis of "corporate Risk" Using historical cost-control Data, ASCE . " *journal of construction Engineering and management*, 124 (1):42-47.
- Najafi, A. (2009)."To selection Project Portfolio By Considering Optimized Risk Based On Network Analysis Process". *International Conference of project management*, 5, (1): 1-16.
- Nguyen, D. Pham , H. Ho , B, Nguyen , H & Tran, H. (2013) "Reconstruction Of Triple-Wise Relationships In Biological Networks From Profiling Data". *Springer*, 209, 205-215.
- Reich,M. & Pawlewski,P.(2017)."A Fuzzy Weighted Avarage Approach For Selection Portfolio Of New Product Development Projects". *Neurocomputing*, 231; 19-27.
- Sayyadi, A. Hayati, M & Azar, A. (2011) "Assessment And Ranking Of Risks In Tunneling Projects Using Linear Assignment Technique". *International Publication of Industrial and production management*, 22 (1): 27-38.
- Sharifi Ghazvini, M. Ghezavati, V. Makouei, A & Sedigh, R. (2019) "New Multi-objective Model For Projects Portfolio Optimization Considering Integrated Efficiency-Risk Approach Using NSGA-II ". *Production And Operation Management* , 9 , (2), 139-157.
- Souri, A(.2013)."The first volume of ECONOMETRICS ". *farhang shenashi Publication* ".Tehran, 1-282.
- Wang, z & Yue , Y. (2011) ."Information Entropy Method For Project Portfolio Selection". *International conference on fuzzy system and knowledge discovery* , 8, (4), 2618-2622.
- Wu, Y. Xu ,C. Ke, Yiming. Li, X & Li, L. (2019) ."Portfolio Selection Of Distributed Energy Generation Projects Considering Uncertainty And Project Interaction Under Different Enterprise Strategic Scenarios. *Applied Energy*, 236,444-464.

مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۱، شماره ۱، پیاپی ۲۰، بهار ۱۳۹۹

دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۴ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۰

صص: ۱-۲۲ (نوع مقاله: پژوهشی)

انتخاب پورتفولیوی پروژه براساس اثر متقابل سه گانه بین پروژه‌ها

مهدی نخعی نژاد^{۱*}، نسیم مومن شاد^۲

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، m.nakhaeinejad@yazd.ac.ir

۲- کارشناسی ارشد گروه مهندس صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران،

nassim.momen.shad@gmail.com

چکیده: مسئله پورتفولیوی پروژه به انتخاب زیرمجموعه‌ای از پروژه‌های پیشنهادی در سازمان توجه می‌کند. یکی از اهداف مدیریت پورتفولیوی پروژه، کاهش ریسک‌های موجود در فرایند انتخاب پورتفولیو است. در دنیای واقعی، ریسک‌های پروژه به ندرت، مستقل هستند و معمولاً درجه‌ای از روابط متقابل دارند که با لحاظ کردن این تعامل‌ها، ارزیابی صحیح‌تری درباره مهم‌ترین ریسک‌های تأثیرگذار در موفقیت پروژه به دست می‌آید. در این پژوهش، براساس طبقه‌بندی «هزینه- زمان- کیفیت»، ۱۱ نوع ریسک با جنبه منفی، شناسایی شدند تا تقابل پروژه‌ها به‌ازای ریسک‌های تأثیرگذار بررسی شود. با توجه به روابط متقابل ریسک‌های پروژه، این پژوهش برای اولین بار، روابط متقابل سه‌گانه این ریسک‌ها را برای کشف دقیق‌تر تأثیر عوامل بر یکدیگر شناسایی کرده است. در این مقاله با بررسی ریسک تک‌پروژه، از رقابت تک‌پروژه‌هایی که میزان ریسک آنها بیشتر از حد مجاز است، در پورتفولیو جلوگیری شد؛ اما آثار متقابل جفتی و سه‌گانه پروژه‌ها براساس معیارهای اثرگذار ریسک سبب شد علاوه بر میزان ریسک، از کنار هم قرارگرفتن پروژه‌هایی که موجب هم‌افزایی ریسک در پورتفولیو شدند نیز جلوگیری شود. درنهایت، برای ارزیابی اعتبار پژوهش، الگو به صورت دقیق با برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح با دو هدف «بیشینه‌سازی نرخ بازگشت سرمایه» و «بیشینه‌سازی تعداد پروژه‌های پورتفولیو» و محدودیت بودجه بررسی شد. نتایج نشان دادند در نظر گرفتن اثر متقابل جفتی و سه‌گانه به جای در نظر گرفتن اثر متقابل جفتی به صورت مجرد، پاسخ‌های متفاوت و بهتری ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پورتفولیوی پروژه، ساختار شکست ریسک، اثر متقابل سه‌گانه

*نویسنده مسؤول

۱- مقدمه

امروزه، عملکرد شرکت‌های پروژه‌محور برای انتخاب پورتفولیوی پروژه‌ها^۱ در رسیدن به اهداف سازمانی با حساسیت بیشتری روبرو است. در این میان، موارد متعددی وجود دارند که بر تصمیم‌گیری سازمان یا شرکت برای حضور یا غیبت در مناقصه‌ها تأثیرگذارند (عباسیان و روانشادینا، ۲۰۰۸). به‌طور کلی، انتخاب پروژه تحت سازماندهی سبد پروژه یا به عبارت مناسب‌تر، نظریه پورتفولیوی پروژه، رویکردی برگرفته از دانش مدیریت پروژه است. در این سیستم، مدیریت بر انتخاب ترکیبی از پروژه‌ها با اهداف و شرایط خاص تمرکز می‌کند. هدف اصلی در این نظام مدیریتی، طراحی و اجرای پروژه‌هایی است که در نهایت، دستیابی سازمان را به هدف استراتژیک خود تسهیل کنند (علی‌نژاد و سیمیری، ۲۰۱۳).

به‌علت پیچیدگی بسیار زیاد پیش‌بینی آینده، وابستگی بسیار زیاد رخدادهای وقوع نسبت به یکدیگر، پیچیدگی زیاد کارها، تکنولوژی‌های جدید، افزایش هزینه‌های ناشی از پیامد نامطلوب عدم قطعیت کارها و مهم‌تر از همه، فضای رقابتی زیاد جامعه امروزی باعث شده است به «ریسک»^۲ پروژه‌ها در هنگام انتخاب آنها توجه اساسی نشود (علی‌نژاد و سیمیری، ۲۰۱۳)؛ بنابراین، پژوهش حاضر به‌علت تأثیر عوامل مختلف ریسک و پیچیده‌شدن روابط مختلف بین آنها، مسئله انتخاب پورتفولیوی پروژه را بررسی می‌کند. در ادامه، به برخی از پژوهش‌های پیشین در این حوزه اشاره می‌شود.

آکر و تایجی^۳ (۱۹۷۸) از یک رویکرد برنامه‌ریزی صفر و یک کوادراتیک برای انتخاب پروژه‌های تحقیق و توسعه وابسته به یکدیگر استفاده و وابستگی پروژه‌ها را براساس سه معیار فنی، منابع و سود بررسی کردند. آنها بیان کردند که الگوی آنها قابلیت گسترش شامل آثار تصادفی سود و هزینه و چندمرحله‌سازی اجرای پروژه‌ها را دارد. الگوی آنها ابزار مناسبی در سازمان‌های مختلف در فرایند تصمیم‌گیری و سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه است. مداگلیا^۴ و همکاران (۲۰۰۷) رویکرد تکاملی چندهدفی را برای انتخاب پروژه‌هایی که به‌طور خطی محدود شده‌اند، تحت شرایط عدم اطمینان پیشنهاد دادند. سرانجام، آنها این متد را با روش بررسی فضای پارامتر تصادفی و نشان‌دادن آن با مسئله پورتفولیوی تحقیق و توسعه تحت شرایط عدم قطعیت مبتنی بر شبیه‌سازی مونت‌کارلو^۵ مقایسه کردند. عباسیان و همکاران (۲۰۰۹) به کمک علم آمار، آثار و احتمالات ریسک‌های مختلف را بر پورتفولیوی پروژه‌ها و اندرکنش ریسک‌ها بررسی کردند. پارامترهای اثرگذار در روش آنها، عایدی مدنظر، واریانس و ضریب همبستگی^۶ است. آنها با استفاده از دو تکنیک واریانس و ضریب همبستگی، ریسک عایدی پروژه‌ها و وابستگی میان دو پروژه را بررسی کردند. از مهم‌ترین نتایج آنها برای کاهش ریسک پورتفولیو به‌علت نداشتن داده‌های کافی برای ارزیابی ریسک پروژه‌ها، پرگونه‌سازی پورتفولیوی پروژه‌ها برای کاهش ریسک سیستماتیک در پورتفولیو است. فضلی و مدنی (۲۰۰۹) به کمک رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره و برنامه‌ریزی آرمانی، الگویی را برای انتخاب پروژه‌های عمرانی معرفی کردند. آنها برای رسیدن به رویکردی سیستماتیک برای در نظر گرفتن اولویت‌ها و نسبت‌ها در معیارهای چندگانه، پیشنهاد کردند فرایند تحلیل شبکه‌ای قبل از برنامه‌ریزی آرمانی به کار رود. در نهایت، در انتخاب پروژه، وابستگی درونی معیارها و گزینه‌ها را در نظر گرفتند که این امر به‌علت لحاظ کردن روابطی بود که در دنیای واقعی وجود دارد. با توجه به نظرات آنها تنها الگویی که امکان در نظر گرفتن روابط درونی معیارها را دارد، روش ANP و همچنین بهترین روش ممکن برای جمع‌آوری داده‌ها، اجماع خبرگان و

استفاده از روش فازی و دلفی فازی است که آنها از آن استفاده کردند. وانگ و یو^۷ (۲۰۱۱) علاوه بر ترکیب چندین روش و معیارهای مهم، روش آنتروپی را برای انتخاب پورتفولیوی پروژه به کار بردند. وزن آنتروپی اطلاعات منظور شده در کار آنها به‌عنوان ضرایب وزنی برای ارزیابی معیارها و پرهیز از عدم اطمینان و پیشامدها در قضاوت ذهنی استفاده شده است. آنها برای پرهیز از عدم قطعیت و تخمین تصادفی، از وزن‌های محاسبه‌شده از طریق روش آنتروپی برای ارزش‌گذاری معیارها استفاده کردند. مقاله آنها روش ارزیابی کمی مفیدی را برای تصمیم‌گیران در انتخاب پروژه و پورتفولیوی پروژه فراهم آورد. قاپانچی^۸ و همکاران (۲۰۱۲) از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها^۹ برای انتخاب بهترین پورتفولیو در شرایط عدم قطعیت و تأثیر متقابل پروژه‌ها استفاده کردند. آنها اثر متقابل جفتی^{۱۰} را در ورودی، خروجی و شانس موفقیت پروژه‌ها در نظر گرفتند که از نکات مفید پژوهش آنها محسوب می‌شود. نکته مفید دیگر پژوهش آنها، در نظر گرفتن مؤثر روابط و وابستگی‌های موجود میان متغیرها بود. آنها استفاده از اعداد فازی را به پژوهشگران دیگر پیشنهاد کردند. فارسیجانی و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از روش برنامه‌ریزی غیرخطی صفر و یک، آثار متقابل پروژه‌ها را بررسی کردند؛ سپس روش‌های الگوریتم بهینه‌سازی PSO و CPSO را برای دستیابی به سرعت بیشتر در حل مسئله و یافتن پاسخ بهتر مقایسه کردند. مقایسه الگوریتم آنها در مقایسه با الگوریتم ژنتیک، نشان‌دهنده سرعت بیشتر برای رسیدن به پاسخ بهینه بود. دری و همکاران (۲۰۱۵) با در نظر گرفتن آثار متقابل معیارها و اشتراک منابع پروژه‌های سازمان، رویکردی برای ارزیابی و انتخاب پروژه‌ها معرفی کردند. آنها با استفاده از الگویی دومرحله‌ای، یک الگوریتم شاخه و کران^{۱۱} را تشکیل دادند و با در نظر گرفتن اشتراک منابع پروژه‌ها، پورتفولیوهای بیشینه را مشخص کردند و سپس کارایی هر کدام از پورتفولیوهای بیشینه را با استفاده از الگوی شبکه عصبی مصنوعی^{۱۲} ارزیابی کردند تا بر این اساس، پورتفولیوها رتبه‌بندی^{۱۳} شوند. آنها از ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری به‌عنوان روشی برای سنجش واحدهای همسان برای ارزیابی و انتخاب سبد پروژه استفاده کردند که در آن، از روش شبکه عصبی برای سنجش کارایی واحدهای تصمیم‌گیری استفاده شد. این روش آنها از مزیت‌هایی از جمله بی‌نیازی به پیش‌فرض آماری برای محاسبه کارایی برخوردار بود. گنجی و همکاران (۲۰۱۶) مسئله ترکیبی انتخاب و زمان‌بندی پروژه را در حالت محدودیت منابع، با معیار به حداکثر رساندن مقدار ارزش فعلی پروژه، الگوسازی و محدودیت زمانی پیش‌نیازی پروژه‌ها را در طول دوره زمانی انتخاب پروژه‌ها لحاظ کردند. سرانجام، برای حل مسئله در ابعاد بزرگ، الگوریتمی فراابتکاری را به کار بردند. حل الگوی آنها در قالب الگوریتم فراابتکاری در ۷۰ درصد موارد، پاسخ‌های بهینه‌ای تولید کرد که نشان‌دهنده الگوریتم پیشنهادی مطلوب آنهاست. جعفری اسکندری و همکاران (۲۰۱۷) برای ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها علاوه بر معیارهای سنتی از جمله ارزش فعلی به عوامل دیگری مانند محدودیت زمان در گزینش یک پروژه توجه کردند. هدف آنها، معرفی رویکردی برای انتخاب پروژه با استفاده از ارزش فعلی پروژه‌ها با رفع کمبود عدم قطعیت پارامترها به کمک روش منطق فازی بود. سرانجام به کمک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و برنامه‌ریزی صفر و یک و لحاظ کردن سایر اهداف پروژه، اقتصادی‌ترین پروژه‌ها را انتخاب کردند. رلیچ و پاولوسکی^{۱۴} (۲۰۱۷) رویکردی را برای انتخاب پورتفولیوی پروژه با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره کمی و کیفی معرفی کردند. همچنین، آنها از روش متوسط اوزان فازی برای رتبه‌بندی و از یک روش شبکه عصبی مصنوعی برای نشان‌دادن بررسی کارایی الگو استفاده کردند. ویژگی اصلی رویکرد مایر^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۸) وابستگی گزینه‌های واقعی میان مجموعه‌ای از محدودیت‌ها و

تمامی مفاهیم الگوهای پویا با استفاده از فرایند تصادفی مارکوف بود؛ سپس مسئله پورتفولیو را با برنامه‌ریزی تصادفی عدد صحیح^{۱۶} چندمرحله‌ای، یکپارچه‌سازی و بهینه‌سازی کردند. آنها نشان دادند چگونه رویکردشان برای بررسی روشی استفاده می‌شود که ارزش‌های تأثیرگذار پورتفولیو و انتخاب‌های جداگانه آنها را بر عدم قطعیت‌های مختلف مشخص می‌کند. آلویز گارسیا و فرناندز^{۱۷} (۲۰۱۸) الگویی انعطاف‌پذیر را به‌علت پژوهش‌های اندک موجود در زمینه الگوهای وابسته معرفی کردند. آنها براساس رویکردی از الگوی چندهدفه برهم‌کنش فازی، وابستگی را با استفاده از نظرات گروه خبرگان ارزیابی کردند. این الگو با مرتب‌سازی روش‌ها برای نشان‌دادن مشارکت‌ها مطرح شد. سرانجام، آنها براساس الگوی انعطاف‌پذیر چندهدفه پیشنهادی‌شان، هر دو نوع محدودیت مالی و غیرمالی و اهداف مختلف را با یکدیگر، سازگاری دادند. از نظر جعفرزاده و همکاران^{۱۸} (۲۰۱۸) در بیشتر پروژه‌های شکست‌خورده پیشنهادی، روشی بی‌خطا و یکپارچه به‌طور هم‌زمان‌سازی سه جزء را می‌توان در نظر گرفت که از جمله آنها به رتبه‌بندی بین انتخاب معیارها، عدم قطعیت در تصمیم‌گیری و وابستگی بین پروژه‌ها اشاره کردند. روش پیشنهادی آنها متدهای QFD، نظریه فازی و آنالیز تحلیل پوششی داده‌ها را با هم ترکیب کرد. هدف آنها از این مطالعه، توسعه روشی جدید در پژوهش‌ها بود. شریفی قزوینی و همکاران (۲۰۱۹) با تمرکز بیشتر بر ریسک، الگویی چندهدفه برای انتخاب پورتفولیوی بهینه پروژه‌ها با رویکرد ترکیبی کارایی-ریسک و با استفاده از تکنیک‌های NSGII MOMP, RPN, DEA معرفی کردند. الگوی پیشنهادی آنها علاوه بر شاخص اصلی پارامتر ریسک، کارایی پروژه‌ها و محدودیت منابع را نیز در نظر می‌گیرد. همچنین الگوی آنها از قابلیت انتخاب سبد بهینه در شرایط گوناگون، از جمله نبود پروژه‌های سازگار، پروژه‌های پیش‌نیاز و هم‌نیاز برخوردار است. نتایج آنها در زمینه انتخاب پورتفولیوی پروژه، استفاده از پارامترهای غیرقطعی از جمله ریسک و کارایی به همراه محدودیت غیرخطی به‌صورت شاخص اصلی در الگوی مربوط، به‌گونه‌ای مطلوب ارائه شدند. وو^{۱۹} و همکاران (۲۰۱۹) چارچوبی چندمعیاره برای انتخاب پورتفولیوی بهینه پیشنهاد کردند. آنها در مطالعه انتخاب بهینه پروژه، از معیارهای فازی و یک الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح صفر و یک با محدودیت‌های بودجه برای حل الگو استفاده کردند. نتایج نشان دادند پورتفولیوهای زیادی براساس اهداف استراتژیکی انتخاب می‌شوند که راهنمایی نظری برای مدیران پروژه در تمرین مدیریت پروژه فراهم می‌آورند.

در بررسی مبانی نظری مسئله انتخاب پورتفولیوی پروژه، روش‌های مختلفی وجود دارد که هر کدام از پژوهشگران از دیدگاه خاصی، به آن توجه کرده‌اند. دیدگاهی که در سال‌های اخیر به‌علت پیچیدگی‌های مسائل دنیای امروزی، بیش‌ازپیش به آن توجه شده است، آثار متقابل پروژه‌هاست. پژوهش‌هایی که در سال‌های اخیر در زمینه عدم قطعیت انتخاب پورتفولیوی پروژه انجام شده است، آثار متقابل پروژه‌ها را فقط به‌صورت جفتی در نظر گرفته‌اند. اثر متقابل جفتی میان پروژه، این نکته را بررسی می‌کند که انتخاب هر دو پروژه X و Y در پورتفولیوی پروژه ممکن است آثار مثبت یا منفی بر هدف مسئله داشته باشد و این کار، دویه‌دو، بین تمامی پروژه‌ها بررسی می‌شود تا پورتفولیوی به دست آید که موفقیت زیادی را برای سازمان در پی داشته باشد؛ بنابراین، در این پژوهش به‌علت تأثیرگذاری ریسک در انتخاب پروژه و برای کشف دقیق‌تر روابط پیچیده میان ریسک‌های موجود در بین دسته‌های ریسک پروژه، آثار متقابل پروژه‌ها به‌ازای ریسک‌های تأثیرگذار به‌صورت سه‌گانه در نظر گرفته خواهند شد.

پژوهشگران در سال‌های اخیر، روش‌ها و معیارهای مختلفی را برای حل مسئله انتخاب پورتفولیوی پروژه در نظر گرفته‌اند. تمام این مطالعات یا آثار متقابل پروژه‌ها را در نظر نگرفته‌اند و یا به در نظر گرفتن آثار متقابل جفتی میان پروژه‌ها بسنده کرده‌اند. این شکاف تحقیقاتی باعث شد هدف اصلی این پژوهش، در نظر گرفتن سطح بالاتری از آثار متقابل جفتی، یعنی آثار متقابل سه‌گانه^{۲۰} باشد؛ بنابراین، این مقاله، برهم‌کنش آثار متقابل سه‌گانه بین پروژه‌های پیشنهادی را به‌ازای ریسک‌های شناسایی شده با آثار منفی موجود در ساختار شکست ریسک بررسی می‌کند تا بدین وسیله، آثار مخرب سه‌گانه میان پروژه‌ها، که ممکن است درجات مخرب بیشتری از برهم‌کنش جفتی میان پروژه‌ها داشته باشد، در پورتفولیو کشف و جلوگیری شود. از اهداف فرعی پژوهش، کشف مهم‌ترین ریسک‌های تأثیرگذار بر انجام دادن پروژه‌ها از بین تمامی دسته‌های ریسک پروژه شامل «ریسک‌های بیرون سازمانی، درون‌سازمانی، فنی و مدیریت پروژه» نیز است.

در ادامه پژوهش، در بخش دوم، مفاهیم و مبانی نظری پژوهش؛ در بخش سوم، روش استفاده از مبانی نظری در قالب روش شناسی پژوهش همراه با فلوچارت آن؛ در بخش چهارم، مطالعه موردی برای پیاده‌سازی روش پژوهش؛ در بخش پنجم با عنوان «بحث»، تفسیر نتایج و مقایسه پژوهش با سایر پژوهش‌ها و درنهایت، در بخش ششم، نتیجه‌گیری پژوهش و پیشنهادها برای پژوهش‌های بعدی بررسی و معرفی می‌شوند.

۲- مبانی نظری

در این قسمت، مواردی از مبانی نظری ضروری پژوهش بررسی شده‌اند. از جمله این موارد، مباحث مربوط به ریسک، ضریب همبستگی، تحلیل همبستگی، اثر متقابل و نظریه اطلاعات متقابل است.

۲-۱- طبقه‌بندی ریسک

طبقه‌بندی ریسک، ساختاری را فراهم می‌کند که تضمین‌کننده فرایند جامعی برای شناسایی نظام‌مند ریسک‌ها تا سطح مناسبی از جزئیات است. میناتو و اشلی^{۲۱} (۱۹۹۸) ریسک‌های موجود در پروژه‌ها را براساس دو دسته ریسک‌های وابسته و ریسک‌های غیروابسته تقسیم‌بندی کردند. نجفی (۲۰۰۹) موفق شد ۱۵ نوع ریسک را از میان دسته‌های ریسک فنی، بازار و سازمانی مشخص کند. مشکل عمده در مطالعات اخیر، نبود دسته‌بندی‌هایی است که تمامی مرزهای آن به‌خوبی روشن باشد. به همین منظور، در بیشتر مطالعات انجام‌شده، اعمال سلیقه به‌وضوح به چشم می‌خورد. ساختار شکست ریسک^{۲۲} براساس چهارمین ویرایش راهنمای گستره دانش مدیریت پروژه، شامل مجموعه‌های اصلی ریسک از جمله «فنی»، «بیرون‌سازمانی»، «درون‌سازمانی» و «مدیریت پروژه» است (صیادی و همکاران، ۲۰۱۱).

۲-۲- کمی کردن معیارهای ریسک

PIR یک شاخص اولیه ریسک بر مبنای احتمال وقوع ریسک و میزان اثرگذاری ریسک بر اهداف پروژه، شامل هزینه، زمان و کیفیت بر مبنای استاندارد PMBOK^{۲۳} (پیکره دانش مدیریت پروژه) تعریف شده است. I_1, I_2, I_3 به ترتیب، میزان اثرگذاری ریسک بر زمان، هزینه و کیفیت و W_1, W_2, W_3 وزن اهمیت معیار اثر ریسک به ترتیب بر زمان، هزینه و کیفیت پروژه است؛ به‌گونه‌ای که مجموع این اوزان، برابر یک است (صیادی و همکاران، ۲۰۱۱). در این شاخص، P احتمال وقوع هر ریسک را بیان می‌کند.

$$PIR = \sum [W_1(P \times I_1) + W_2(P \times I_2) + W_3(P \times I_3)] \quad (1)$$

$PIR =$ شاخص اولیه ریسک به ازای هر ریسک در گروه

$P =$ احتمال وقوع ریسک

۲-۲- ضریب همبستگی اسپیرمن^{۲۴}

معمولترین اندازه ناپارامتری ارتباط، ضریب همبستگی ای است که ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن نامیده می‌شود. مجموعه فرضی از داده‌های زوج شده این ضریب از رتبه‌بندی X ها در بین خود و نیز Y ها، هر دو از کوچک به بزرگ یا برعکس و سپس قراردادادن در فرمول زیر به دست می‌آید (فروند^{۲۵}، ۲۰۰۸).

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^k d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2)$$

۲-۳- تحلیل همبستگی جزئی^{۲۶}

ضرایب همبستگی، نشان‌دهنده روابط خطی بین متغیرها هستند. با توجه به سه متغیر X_1, X_2, X_3 ؛ r_{13} نشان‌دهنده همبستگی بین X_1 و X_3 در حالتی است که هیچ توجهی به X_2 نداشته باشیم. در واقع، به‌طور ضمنی فرض کرده‌ایم که X_2 ثابت است؛ در حالی که چنین نیست؛ بنابراین با وجود سه متغیر X_1, X_2, X_3 ؛ r_{13} تصویر واقعی از بررسی تمامی همبستگی‌ها ارائه نمی‌دهد. بدین ترتیب، لازم است اثر X_2 را به‌طور کامل حذف کنیم تا همبستگی واقعی بین X_1 و X_3 به دست آید. این ضریب همبستگی را «ضریب همبستگی جزئی» بین X_1 و X_3 می‌گویند که با $r_{13.2}$ نشان داده می‌شود که به معنی «ضریب همبستگی بین X_1 و X_3 با حذف اثر X_2 » است (سوری، ۲۰۱۳)؛ بنابراین اگر بخواهیم با وجود سه متغیر X_1, X_2, X_3 روابط جفتی میان دو متغیر از آنها را بررسی کنیم، ضریب همبستگی جزئی را به کار می‌بریم.

۲-۴- اثر متقابل جفتی

ضریب همبستگی خطی بین X و Y نشان‌دهنده شدت و ضعف رابطه خطی بین X و Y است و مقدار آن بین $+1$ و -1 است؛ برای مثال، هرچه ضریب همبستگی به $+1$ نزدیک‌تر باشد، رابطه‌ای قوی بین دو متغیر موجود دارد (سوری، ۲۰۱۳). اثر متقابل جفتی میان پروژه‌ها بررسی می‌کند که انتخاب هر دو پروژه X و Y در پورتفولیوی پروژه ممکن است بر هدف مسئله، اثر مثبت یا منفی داشته باشد و این کار، دوه‌دو، بین تمامی پروژه‌ها بررسی می‌شود تا پورتفولیوی به دست آید که موفقیت زیادی را برای سازمان در پی داشته باشد؛ بنابراین در سنجش اثر متقابل دو پروژه براساس معیار ریسک با جنبه منفی، هرچه ضریب همبستگی آنها نزدیک به $+1$ باشد، گفته می‌شود که این دو پروژه به‌طور هم‌زمان، ریسک در پورتفولیو را افزایش می‌دهند.

۲-۵- نظریه اطلاعات متقابل^{۲۷}

نظریه اطلاعات متقابل، اطلاعات مشترک بین دو یا چند متغیر تصادفی را بررسی می‌کند. نگویان^{۲۸} و همکاران (۲۰۱۳) اطلاعات متقابل را از دو متغیر به چند متغیر توسعه دادند. تمرکز اصلی آنها بر بازسازی روابط سه‌گانه بود. ضمن اینکه بیشتر افراد تصور می‌کنند با روابط متقابل جفتی، به‌طور کامل، روابط متقابل متغیرهای متعددی استنباط می‌شوند؛ در صورتی که همیشه اینگونه نیست؛ برای مثال، اگر روابط جفتی (X, Y) ، (X, Z) ، (Y, Z) بین سه متغیر

Z, Y, X وجود داشته باشد و این سه متغیر، روابط متقابل سه‌گانه نیز داشته باشند، آنگاه، فقط با بررسی روابط متقابل جفتی، تشخیص درستی از روابط متقابل سه‌گانه نخواهیم داشت؛ زیرا وجود تمامی روابط جفتی میان سه متغیر، ممکن است نشان‌دهندهٔ حوادث مستقل متفاوت در زمان‌های متفاوت باشند.

۳- روش‌شناسی پژوهش

این مقاله، ابتدا به تشخیص مهم‌ترین معیارهای ساختار شکست ریسک براساس چهارمین ویرایش راهنمای گسترهٔ دانش مدیریت پروژه، شامل مجموعه‌های اصلی ریسک از جمله «فنی»، «بیرون‌سازمانی»، «درون‌سازمانی» و «مدیریت پروژه» با جنبهٔ منفی برای اختصاص به پروژه‌های مختلف با نظرسنجی از کارشناسان مربوط اختصاص می‌یابد. در گام دوم، ریسک‌های تأثیرگذار بر یکدیگر، که از مرحلهٔ قبل شناسایی شده‌اند، براساس روابط علت و معلولی با توجه به نظرخواهی از خبرگان مربوط مشخص می‌شوند.

گام سوم به کمی کردن معیارهای ریسک شناسایی شده از مرحلهٔ اول به‌ازای هر کدام از پروژه‌های مدنظر با استفاده از روش امتیازدهی طیف لیکرت و سپس استفاده از فرمول PIR «احتمال وقوع ریسک و میزان اثرگذاری ریسک بر اهداف پروژه» براساس فرمول شمارهٔ ۱ توجه می‌کند.

با توجه به اینکه هدف این پژوهش، انتخاب پورتفولیوی پروژه‌ها با فرض هدف استراتژیکی کاهش ریسک از سوی سازمان‌هاست، در گام چهارم، ابتدا ریسک تک‌پروژه‌ها بررسی می‌شود؛ بدین ترتیب از رابطهٔ شمارهٔ ۲ «ضریب همبستگی اسپیرمن»، برای همبستگی جفت ریسک‌های مرتبط به‌ازای تک‌پروژه کمک گرفته می‌شود؛ زمانی که از روش‌هایی مانند طیف لیکرت برای کمی کردن متغیرها استفاده شده است. در این صورت، پروژه‌هایی که حتی به‌صورت منفرد، بار ریسکی زیادی را بر پورتفولیو متحمل می‌کنند، براساس گام پنجم پژوهش، از رقابت برای قرارگیری در پورتفولیو کنار می‌روند و اگر میزان ریسک کمی داشتند، در گام ششم بررسی می‌شوند.

در گام ششم، میزان برهم‌کنش پروژه‌ها به‌ازای ریسک اثرگذار شناسایی شده بر یکدیگر از گام دوم بررسی می‌شود. برای بررسی برهم‌کنش‌ها از آثار متقابل جفتی و آثار متقابل سه‌گانه به‌ترتیب با استفاده از روش ضریب همبستگی اسپیرمن و روش نظریهٔ اطلاعات متقابل استفاده می‌شود. در این گام برای بررسی همبستگی جفت پروژه‌ها، ضریب همبستگی اسپیرمن به کار می‌رود؛ بدین صورت که به‌طور مثال، دو پروژه شمارهٔ ۳ و ۵ به‌ازای دو ریسک شمارهٔ ۲ و ۴ چه میزان وابستگی دارند و اگر ضریب همبستگی پروژه‌ها به‌ازای تمامی معیارهای ریسک اختصاص داده شده به آنها، مقدار مثبت و معناداری را نشان دهد، از کنار هم بودن آنها به‌علت استفاده از ریسک‌های با جنبهٔ منفی جلوگیری شود؛ به‌طور مثال، در حالت جفتی، یعنی با افزایش میزان ریسک یک پروژه در پورتفولیو، میزان ریسک پروژه دیگر نیز افزایش می‌یابد. در حالت آثار متقابل سه‌گانه میان پروژه‌ها نیز از نظریهٔ اطلاعات متقابل برای وابستگی پروژه‌ها به‌ازای ریسک‌های تأثیرگذار بر آنها استفاده می‌شود. براساس مقالهٔ نگویان، فقط در صورتی اطلاعات متقابل سه‌گانه بین سه متغیر بررسی می‌شود که بین آنها، دوه‌دو، روابط جفتی برقرار باشد.

$$\begin{aligned} (X, Y) & \\ (X, Z) & \Rightarrow (X, Y, Z) \\ (Y, Z) & \end{aligned} \quad (3)$$

آنها همچنین ۴ نوع اطلاعات متقابل از بین سه متغیر را به صورت زیر معرفی کردند.

• اطلاعات متقابل بین x ، y و z :

$$MI(X, Y, Z) = H(P_X \times P_Y \times P_Z) - H(P_{X, Y, Z}) = H(X) + H(Y) + H(Z) - H(X, Y, Z) \quad (4)$$

• اطلاعات متقابل بین x و $[y, z]$:

$$MI(X, [Y, Z]) = H(P_X \times P_{Y, Z}) - H(P_{X, Y, Z}) = H(X) + H(Y, Z) - H(X, Y, Z) \quad (5)$$

• اطلاعات متقابل بین y و $[z, x]$:

$$MI(Y, [Z, X]) = H(P_Y \times P_{Z, X}) - H(P_{X, Y, Z}) = H(Y) + H(Z, X) - H(X, Y, Z) \quad (6)$$

• اطلاعات متقابل بین z و $[x, y]$:

$$MI(Z, [X, Y]) = H(P_Z \times P_{X, Y}) - H(P_{X, Y, Z}) = H(Z) + H(X, Y) - H(X, Y, Z) \quad (7)$$

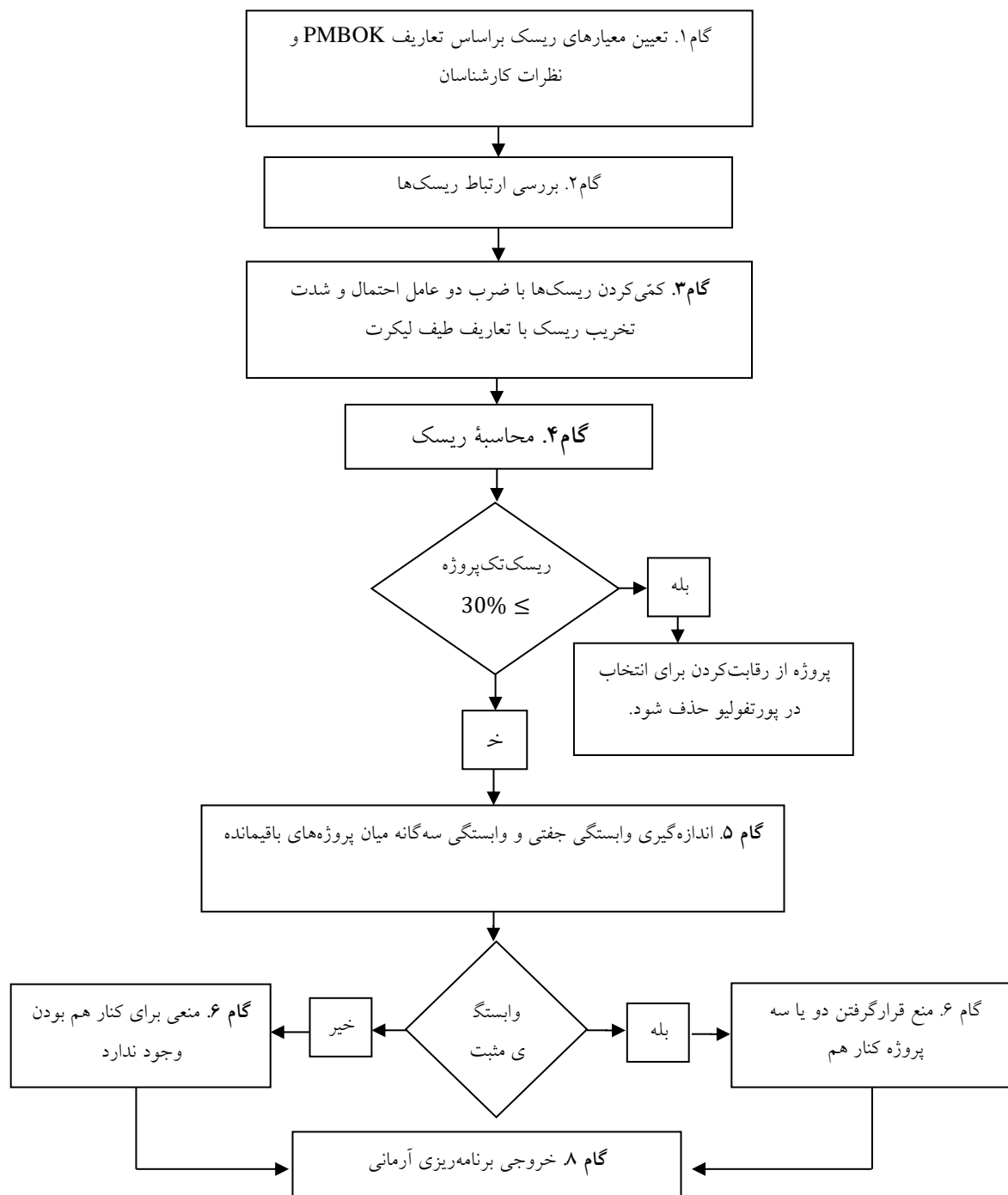
با این حال، سه نوع از اطلاعات متقابل مذکور، تمام وابستگی‌های سه متغیر را شامل می‌شود و روابط سه‌گانه را از راه روابط جفتی تشخیص نمی‌دهد. برای تشخیص روابط سه‌گانه به صورت خاص، از سه رابطه اطلاعات متقابل (۵ و ۶ و ۷) باید استفاده کرد که ارتباط اطلاعات متقابل نامیده می‌شود. کوچک‌ترین مقدار این سه کمیت، روابط سه‌گانه را به صورت خاص اندازه‌گیری می‌کند؛ به عبارت دیگر، رابطه اطلاعات متقابل کل اطلاعات متقابل بعد از حذف، بزرگ‌ترین روابط متقابل جفتی است (نگویان، فام، هو و همکاران، ۲۰۱۳). با این اوصاف، به طور مثال، عبارت $MI(Z, [X, Y])$ نشان‌دهنده ضریب همبستگی جزئی میان دو متغیر X و Y ، با حذف اثر متغیر سوم، یعنی Z است. همچنین $MI(X, Y)$ نشان‌دهنده همبستگی جفتی میان دو متغیر X و Y است. هر یک از دو معادله ذیل، اطلاعات متقابل بین سه متغیر را بنا بر اطلاعات داشته از تحلیل داده‌ها محاسبه می‌کند؛ بدین ترتیب که در معادله شماره ۷ با صرف به دست آوردن کمینه سه عبارت همبستگی جزئی اطلاعات متقابل بین سه متغیر به دست می‌آید؛ اما در معادله شماره ۹ منظور از $MI(X, Y, Z)$ همان ادامه معادله شماره ۸ یعنی کمینه سه عبارت همبستگی جزئی میان سه متغیر است که با کم کردن بیشینه سه عبارت همبستگی جفتی، میزان اطلاعات متقابل سه‌گانه بین سه متغیر را به دست می‌آورد.

$$\text{Relationship } MI(X, Y, Z) = \min(MI(X, [Y, Z]), MI(Y, [Z, X]), MI(Z, [X, Y])) \quad (8)$$

$$\text{Relationship } MI(X, Y, Z) = MI(X, Y, Z) - \max(MI(X, Y), MI(Y, Z), MI(Z, X)) \quad (9)$$

در گام هفتم، مسئله براساس یک برنامه‌ریزی آرمانی دوهدفه شامل افزایش نرخ بازگشت سرمایه و افزایش تعداد پروژه‌های موجود در پورتفولیو با محدودیت میانگین نرخ بازگشت سرمایه پروژه‌های موجود در پورتفولیو برای حل الگو، الگوسازی و خروجی آن بررسی می‌شود.

فلوچارت الگوریتم پیشنهادی براساس تکنیک‌های مطرح‌شده در این بخش، به طور خلاصه در شکل ۱ نمایش داده شده است. در ادامه، به طور مختصر، هر یک از گام‌های فلوچارت توضیح داده می‌شوند.



شکل ۱- نمودار شماتیک چارچوب پژوهش

۴- مطالعه کاربردی و یافته‌ها

مکان انجام دادن پژوهش برای پیاده‌سازی روش پژوهش، شرکت جهاد نصر یزد است که پژوهش حاضر براساس نظرات کارشناسان مهندسان آن و داده‌های موجود در شرکت تهیه شد. در ادامه، شرکت مذکور معرفی و پس از آن، روش‌های استفاده‌شده در گام سوم برای کمی کردن ریسک‌ها توضیح داده می‌شود. به دنبال ایجاد تغییرات در نظام اداری کشور و اجرای سیاست‌های دولت همسو با بهینه‌سازی امکانات و نیروی انسانی، شرکت جهاد نصر یزد در تاریخ ۱۳۷۰/۱۰/۱ با شماره ثبت ۲۳۳۵ و با ماهیت سهامی خاص تأسیس شد و

اولین کار اجرایی خود را از تاریخ ۱۳۷۴ آغاز کرد. این شرکت در چارچوب اهداف و خط‌مشی مجمع عمومی (مؤسسه جهاد نصر) در امور عمران و آبادانی کشور، مدیریت و ارائه خدمات پیمانکاری در رشته‌های حمل‌ونقل، آب و کاوش‌های زمینی، ساختمان، تأسیسات و تجهیزات فعالیت دارد. شرکت مذکور، استقرار سیستم مدیریت یکپارچه را در دستور کار خود قرار داده و بر همین اساس، استانداردهای سیستم مدیریت کیفیت ISO 9001:2008، سیستم مدیریت زیست‌محیطی 14001:2004 و سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی OHSAS 18001:2007 را به‌عنوان الگوهای طراحی سیستم مدیریت یکپارچه با حفظ رویکرد برنامه‌ریزی راهبردی انتخاب کرده است. در این پژوهش، برای حل مسئله انتخاب پورتفولیوی پروژه با توجه به چارچوب پیشنهادی، به مطالعه موردی در شرکت مذکور اقدام شد. برای انجام دادن مطالعه موردی، بنا بر توصیه کارشناسان، تعداد ۵ پروژه در زمینه‌های مختلف شامل ۱- پروژه فرودگاه یزد؛ ۲- پروژه راه‌سازی اشکذر؛ ۳- پروژه تقاطع غیرهم‌سطح میدان ابوزر؛ ۴- پروژه آبیاری و زهکشی رامهرمز و ۵- پروژه ساختمان خوابگاه دانشگاه علوم پزشکی مدنظر قرار گرفت.

در ادامه، براساس روش پژوهش بیان‌شده در بخش قبلی، مطابق مراحل فلوجارت پژوهش، بر مطالعه موردی و نتایج تمرکز می‌شود.

گام اول: تعیین ریسک‌های اثرگذار بر پروژه‌ها

در این پژوهش، ابتدا براساس مبانی نظری موجود در ساختار شکست ریسک براساس چهارمین ویرایش راهنمای گستره دانش مدیریت پروژه، مهم‌ترین ریسک‌های اثرگذار بر پروژه‌ها استخراج شدند؛ سپس با استفاده از پرسشنامه، از نظرات خبرگان شرکت جهاد نصر برای تعیین ریسک‌های تأثیرگذار و اصلاح و ویرایش تعدادی از آنها استفاده شد تا مهم‌ترین ریسک‌های اثرگذار بر انتخاب پروژه مشخص شوند. این موضوع، خود، نشان‌دهنده‌ی روایی پرسشنامه‌هاست. ریسک‌ها به‌گونه‌ای تقسیم‌بندی شده‌اند که از یک‌سو، جامعیت لازم را داشته باشند و از سوی دیگر، فصل مشترک بین آنها به حداقل برسد. درنهایت، ریسک‌های اصلی اثرگذار بر انتخاب پروژه براساس جدول شماره ۱ استخراج شدند.

جدول ۱- مهم‌ترین و تأثیرگذارترین ریسک‌های شناسایی شده بر انتخاب پروژه

مدیریت پروژه	- تأخیر در تحویل پروژه - تأخیر در تجهیز پروژه - برنامه‌ریزی و تخمین نادرست اجرای پروژه
درون‌سازمانی	- احتمال برخورد محل پروژه با تأسیسات روبنایی و زیربنایی - خرابی ماشین‌آلات و دستگاه‌های گلوگاهی مخصوص اجرایی پروژه - مواد اولیه معیوب
بیرون‌سازمانی	- افزایش هزینه‌های مواد اولیه و نیروی کار - نوسان‌های ارزی - تغییر مداوم کیفیت مواد در حین عملیات
فنی	- تکنولوژی ضعیف ساخت - نیروی ناکارآمد

گام ۲: بررسی ارتباط میان ریسک‌ها

برای شناسایی جفت ریسک‌های تأثیرگذار، باید آنها را براساس ماهیت طبقه‌بندی کرد. بر این اساس، ۱۱ نوع ریسک شناسایی شده در ساختار شکست ریسک مدیریت پروژه (جدول ۱) در طبقه‌بندی دیگری براساس «هزینه، زمان و کیفیت» براساس جدول شماره ۲ دسته‌بندی شدند.

جدول ۲- طبقه‌بندی ریسک‌های شناسایی شده براساس زمان-هزینه-کیفیت

طبقه‌بندی ریسک‌های شناسایی شده براساس زمان-هزینه-کیفیت	
هزینه	۱- تأخیر در تحویل پروژه ۲- افزایش هزینه‌های مواد اولیه و نیروی کار ۳- نوسان‌های ارزی
زمان	۴- تأخیر در تجهیز پروژه ۵- برنامه‌ریزی و تخمین نادرست اجرای پروژه ۶- احتمال برخورد محل پروژه با تأسیسات روبنایی و زیربنایی ۷- خرابی ماشین‌آلات و دستگاه‌های گلوگاهی مخصوص اجرایی پروژه
کیفیت	۸- مواد اولیه معیوب ۹- تغییر مداوم کیفیت مواد در حین عملیات ۱۰- تکنولوژی ضعیف ساخت ۱۱- نیروی ناکارآزموده

براساس طبقه‌بندی «هزینه-زمان-کیفیت»، ریسک‌های تأثیرگذار بر یکدیگر شناسایی می‌شوند. در تشخیص ریسک‌های تأثیرگذار بر هم، فرض بر این است که ریسک‌های هزینه بر هزینه، زمان بر زمان و کیفیت بر کیفیت تأثیر نمی‌گذارند. همچنین ریسک‌های هر زیرگروه با دو زیرگروه دیگر مقایسه می‌شوند.

براساس توضیحات مذکور، جفت ریسک‌های تأثیرگذار در جدول شماره ۳ تشخیص داده شدند. جدول شماره ۳، مجموعه ریسک‌های اثرگذار بر یکدیگر را براساس داده‌های جدول شماره ۲ و براساس روش علت و معلولی به‌دست آمده توسط نظر جمعی از کارشناسان پروژه نشان می‌دهد. شماره‌های ۱ تا ۱۱ سطر و ستون جدول شماره ۳ متناظر با شماره‌های مربوط به هر ریسک در جدول شماره ۲ است. همچنین علامت * نشان‌دهنده وجود رابطه میان ریسک‌هاست؛ به‌طور مثال، علامت (*) از ۳ به ۴ نشان‌دهنده وجود رابطه بین نوسان‌های ارزی و تأخیر در تجهیز پروژه با استفاده از روش علت و معلولی است؛ زیرا برآورد هزینه‌های آماده‌سازی قبل از اجرا توسط مدیر پروژه، که با نوسان‌های ارزی مواجه شود، دچار نبود تطابق بودجه لازم برای آماده‌سازی پروژه خواهد شد؛ بنابراین، علاوه بر فراهم کردن بودجه مازاد بر بودجه تخمینی برای آماده‌سازی و تجهیز، پروژه، مدتی به تعویق نیز می‌افتد.

جدول ۳- شناسایی ریسک‌های تأثیرگذار بر هم

از به	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱					*	*	*	*			*
۲											
۳											
۴		*	*					*			
۵		*						*			*
۶											
۷										*	
۸											
۹											
۱۰						*					
۱۱											

گام سوم: کمی کردن ریسک‌های شناسایی شده

در این بخش با توجه به ۱۱ نوع ریسک شناسایی شده از مرحله اول، پرسشنامه‌ای براساس جدول شماره ۴ مبتنی بر طیف پنج‌گانه لیکرت (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد) به‌ازای هر یک از ۵ پروژه پیشنهادی شرکت، میان ۳۰ نفر از متخصصان مدیریتی، اجرایی و دفتری توزیع شد؛ سپس یک شاخص اولیه ریسک (PIR) بر مبنای احتمال وقوع ریسک و میزان اثرگذاری ریسک بر اهداف پروژه شامل هزینه، زمان و کیفیت بر مبنای استاندارد PMBOK (بیکره دانش مدیریت پروژه) تعریف شده است. I_1, I_2, I_3 به ترتیب، میزان اثرگذاری ریسک بر زمان، هزینه و کیفیت و W_1, W_2, W_3 وزن اهمیت معیار اثر ریسک به ترتیب بر زمان، هزینه و کیفیت پروژه است؛ به‌گونه‌ای که مجموع این اوزان، برابر یک است (صیادی و همکاران، ۲۰۱۱). در این شاخص، P احتمال وقوع هر ریسک را بیان می‌کند. این شاخص براساس امتیازدهی‌های ۳۰ نفر از خبرگان حوزه مربوط شرکت جهاد نصر یزد به‌طور جداگانه برای هر پروژه به‌ازای تمامی ریسک‌های «۱۱ گانه» محاسبه شد؛ با این فرض که به تمامی اوزان، عدد یک اختصاص داده شد. درنهایت، با توجه به طیف امتیازدهی لیکرت و شاخص PIR تمامی ۵ پروژه، به‌ازای تمامی ۱۱ گونه ریسک، امتیازدهی شدند.

$$PIR = \sum [W_1(P \times I_1) + W_2(P \times I_2) + W_3(P \times I_3)] \quad (1)$$

PIR = شاخص اولیه ریسک به‌ازای هر ریسک در گروه

P = احتمال وقوع ریسک

جدول ۴- میزان احتمال و اثرگذاری ریسک بر فاکتورهای پروژه بر اساس استاندارد PMBOK و طیف امتیازدهی لیکرت (صیادی و

همکاران، ۲۰۱۱)

معیار سنجش	استاندارد PMBOK	امتیازدهی	طیف لیکرت
کیفیت	کاهش کیفیت نامحسوس	خیلی کم	۰/۱
	کاهش کیفیت کم	کم	۰/۳
	کیفیت نیاز به تأیید کارفرما	متوسط	۰/۵
	کیفیت نامطلوب کارفرما	زیاد	۰/۷
	کیفیت استفاده‌نشده	خیلی زیاد	۰/۹
هزینه	افزایش هزینه ناچیز	خیلی کم	۰/۱
	افزایش هزینه کمتر از ۵٪ منابع پیمان	کم	۰/۳
	افزایش هزینه از ۵ تا ۱۰٪ منابع پیمان	متوسط	۰/۵
	افزایش هزینه از ۱۰ تا ۲۰٪ منابع پیمان	زیاد	۰/۷
	افزایش هزینه بیش از ۲۰٪ منابع پیمان	خیلی زیاد	۰/۹
زمان	تأخیر ناچیز	خیلی کم	۰/۱
	تأخیر کمتر ۵٪ مدت پیمان	کم	۰/۳
	تأخیر از ۵ تا ۱۰٪ مدت پیمان	متوسط	۰/۵
	تأخیر از ۱۰ تا ۲۰٪ مدت پیمان	زیاد	۰/۷
	تأخیر بیش از ۲۰٪ مدت پیمان	خیلی زیاد	۰/۹
احتمال	کمتر از ۵٪	خیلی کم	۰/۱
	بین ۶ تا ۲۵٪	کم	۰/۳
	بین ۲۶ تا ۵۰٪	متوسط	۰/۵
	بین ۵۱ تا ۷۰٪	زیاد	۰/۷
	بیشتر از ۷۱٪	خیلی زیاد	۰/۹

گام چهارم: محاسبه ریسک تک پروژه

در این پژوهش، آثار متقابل پروژه‌ها در سه حالت مختلف در نظر گرفته شده‌اند. حالت اول برای محاسبه ریسک تک پروژه، با توجه به ریسک‌های شناسایی شده از جدول شماره ۲ و با توجه به تأثیرداشتن ریسک‌های هزینه بر هزینه، زمان بر زمان و کیفیت بر کیفیت و مقایسه ریسک‌های هر زیرگروه با دو زیرگروه دیگر استفاده شد؛ بدینگونه که به طور مثال، جفت ریسک شماره ۳ و ۴ چه تأثیری در تک پروژه‌ای مانند راه‌سازی خواهند داشت؛ بنابراین در این قسمت برای بررسی ریسک تک پروژه، تأثیر جفتی ریسک‌ها بر تک پروژه با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن بررسی می‌شود.

بر اساس توضیحات، در بررسی ریسک ۵ تک پروژه، اگر میزان ریسک، بیشتر از حد مجاز بود، تصمیم‌هایی درباره آن اتخاذ می‌شود؛ به طور مثال، برای بررسی ریسک تک پروژه شماره ۱، از بین تمام حالات دوتایی جفت ریسک‌های اثرگذار بر یک پروژه، ۸ نوع ریسک

$$\{(R_1P_1, R_4P_1), (R_1P_1, R_5P_1), (R_1P_1, R_6P_1), (R_1P_1, R_7P_1), (R_1P_1, R_8P_1), (R_1P_1, R_9P_1), (R_1P_1, R_{10}P_1), (R_1P_1, R_{11}P_1)\}$$

بررسی شد. متغیر R_iP_j ، نشان‌دهنده ریسک شماره i به‌زای پروژه شماره j است؛ بنابراین برای تک پروژه شماره ۱، ۸ نوع جفت ریسک اثرگذار وجود دارد که در مجموع با بررسی انجام شده برای پنج پروژه با توجه به توضیحات مذکور، ۴۰ حالت بررسی شد. از این میان، جدول شماره ۵ فقط لیست تک پروژه‌هایی را نمایش می‌دهد

که ریسک با درجه معناداری ۹۰ درصد و ضریب همبستگی مثبت داشته باشند و از نمایش دادن پروژه‌هایی با ضریب همبستگی بسیار کم یا ضریب همبستگی زیاد بدون درجه معناداری به‌ازای ریسک‌های اختصاص داده‌شده به آنها چشم‌پوشی شد؛ به‌طور مثال، منظور از (R_7P_1, R_8P_1) بررسی جفت ریسک شماره ۷ و ۸ بر تک‌پروژه شماره ۱ است؛ بنابراین همانگونه که مشاهده می‌شود، پروژه شماره ۵ بنا بر توضیحات ذکر شده، به‌علت نبود ریسک‌های اثرگذار بر آن، در جدول شماره ۵ وجود ندارد. با داشتن داده‌های آماری به‌دست‌آمده از نظرات کارشناسان با فراوانی ۳۰ و استفاده از ضرایب همبستگی اسپیرمن، آثار متقابل ریسک‌ها در تمامی ۵ تک‌پروژه به کمک نرم‌افزار SPSS محاسبه شدند. هرچه میزان ضریب همبستگی بیشتر باشد، درجه وابستگی بیشتر است. همچنین درجه معناداری، میزان قابلیت اطمینان از همبستگی به‌دست‌آمده را نشان می‌دهد؛ بنابراین با توجه به درجه معناداری فرض شده ۹۰ درصد، پاسخ‌های به‌دست‌آمده از اطمینان زیادی برخوردارند.

جدول ۵- بررسی آثار متقابل بین ریسک‌های معنادار بر تمامی تک‌پروژه‌ها

درجه معناداری	ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن	شماره تک‌پروژه
۰/۰۰۳۲	۰/۵۲۰۱	ریسک تک‌پروژه شماره ۱
۰/۰۳۴۲	۰/۳۸۷۹	ریسک تک‌پروژه شماره ۱
۰/۰۰۵۳	۰/۴۹۶۳	ریسک تک‌پروژه شماره ۲
۰/۰۴۴۲	۰/۳۶۹۹	ریسک تک‌پروژه شماره ۲
۰/۰۱۳۶	۰/۴۴۵۵	ریسک تک‌پروژه شماره ۳
۰/۰۰۳۴	۰/۵۱۸۰	ریسک تک‌پروژه شماره ۴
۰/۰۲۵۹	۰/۴۰۶۴	ریسک تک‌پروژه شماره ۴
۰/۰۱۶۴	۰/۴۳۴۷	ریسک تک‌پروژه شماره ۴
۰/۰۲۸۵	۰/۴۰	ریسک تک‌پروژه شماره ۴

همانگونه که مشاهده می‌شود، برای هر یک از دو پروژه شماره ۱ و ۲، دو ریسک با درجه معناداری زیاد و برای پروژه شماره ۳ و ۴ به‌ترتیب، یک و چهار ریسک با درجه معناداری زیاد به دست آمد. اگر برای تک‌پروژه‌ای، ریسک‌های جفتی با میزان همبستگی زیاد و معناداری به تعداد زیاد وجود داشته باشد، از قرار گرفتن آن تک‌پروژه در پورتفولیو جلوگیری می‌شود. بر این اساس، مطابق فرض منظور شده، به‌ازای پروژه‌هایی که در آنها، همبستگی مثبت هر یک از ریسک‌های ۱۱ گانه، معنادار است، ۱۰ درصد ریسک اختصاص داده شده است. همچنین شرط ورود پروژه‌ها به رقابت در گزینش پورتفولیو، داشتن ریسکی کوچک‌تر یا مساوی ۳۰ درصد در نظر گرفته شد؛ به‌طور مثال، در جدول شماره ۵ برای تک‌پروژه شماره ۳، فقط یک حالت معنادار با ضریب همبستگی مثبت ۰/۴۴۵۵ به دست آمد؛ بنابراین، ریسکی به مقدار ۱۰ درصد (با اختصاص دادن ریسک ۱۰ درصد به‌ازای هر همبستگی مثبت معنادار) به آن اختصاص می‌یابد. جدول ذیل، میزان ریسک تک‌پروژه‌ها را براساس مطالب ذکر شده به‌صورت درصد نشان می‌دهد.

جدول ۶- میزان ریسک تک‌پروژه‌ها براساس درصد

تک‌پروژه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵
درصد ریسک‌ها	٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۴۰	٪۰

بنابراین با توجه به حداکثر ریسک مطلوب برای تک‌پروژه‌ها، پروژه شماره ۴ از رقابت در گزینش پورتفولیو خارج می‌شود.

گام پنجم: وابستگی جفتی و سه گانه میان پروژه‌ها به‌ازای ریسک‌های اثرگذار

• وابستگی جفتی

با داشتن داده‌های آماری با فراوانی ۳۰ و استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن، آثار متقابل دو پروژه براساس جفت ریسک‌های اثرگذار معرفی شده در جدول شماره ۳ محاسبه می‌شوند؛ به‌طور مثال، براساس جفت ریسک اثرگذار (۱، ۵) برای دو پروژه فرضی P_1 و P_2 دو حالت R_1P_1, R_2P_5 و R_2P_1, R_1P_5 باید در نظر گرفت. متغیر R_iP_j ، نشان‌دهنده ریسک شماره i به‌ازای پروژه شماره j است. با توجه به جدول شماره ۳، ۱۳ نوع رابطه جفت ریسکی وجود دارد که آثار متقابل ۴ پروژه را در محدوده این روابط بررسی می‌کند. جدول ذیل، آثار متقابل جفتی معنادار را از بین تمامی آثار متقابل جفتی بررسی شده نشان می‌دهد. همانند توضیحات داده‌شده برای حالت ریسک تک پروژه، در این مرحله نیز جدول شماره ۷ فقط از میان تمامی پروژه‌های $P_1P_2P_3P_5$ با توجه به ریسک‌های جدول شماره ۳، فقط همبستگی‌های مثبت معنادار را نشان می‌دهد که روابط علت معلولی و ضریب همبستگی مثبت معنادار دارند؛ به‌طور مثال، برای بررسی تأثیر جفت پروژه‌های P_2P_1 بر یکدیگر در پورتفولیو به‌ازای جفت ریسک‌های اثرگذار R_2, R_4 از جدول شماره ۳، حالت‌های $\{(R_2P_1, R_4P_2)(R_4P_2, R_2P_1)\}$ بررسی شدند. بدین ترتیب، سایر موارد موجود نیز اینگونه بررسی شدند. با بررسی تمامی همبستگی‌های جفتی، فقط اثر متقابل جفتی معنادار از بین تمامی آثار متقابل جفتی موجود میان دو پروژه در حالت (R_2P_3, R_4P_5) با مقدار همبستگی $0/436$ و درجه معناداری $0/0158$ است.

جدول ۷- آثار متقابل جفت پروژه‌ها

درجه معناداری	ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن	
$0/0158$	$0/436$	(R_2P_3, R_4P_5)

با توجه به جدول مذکور، فقط یک حالت برای اثر متقابل جفتی میان پروژه‌ها (پروژه شماره ۳ و ۵) به دست آمد؛ بنابراین از حضور دو پروژه شماره ۳ و ۵ با هم در یک پورتفولیو جلوگیری می‌شود.

• وابستگی سه گانه

این حالت، به ریسک‌های سه‌گانه‌ای اختصاص دارد که به‌طور هم‌زمان رخ می‌دهند. براساس نظریه اطلاعات متقابل، شرط لازم برای تشخیص روابط سه‌گانه میان متغیرها، وجود روابط جفتی اثرگذار میان سه متغیر (ریسک‌ها) است که به‌صورت $(x, y), (y, z), (x, z)$ بر هم اثرگذارند تا بدین صورت برای بررسی همبستگی سه‌گانه برای کشف روابط آنها به‌طور هم‌زمان با استفاده از تلفیق روش‌های ضریب همبستگی جزئی و ضریب همبستگی جفتی اقدام شود. با توجه به توضیحات جدول شماره ۳ و براساس رابطه شماره ۲، فقط مجموعه ریسک‌های $\{(1, 5), (1, 8)\}$ ، $\{(5, 8)\}$ و $\{(1, 5), (1, 1), (1, 11), (1, 5), (1, 11)\}$ به ترتیب، شرایط لازم سه‌گانه $(1, 5, 8)$ و $(1, 5, 11)$ را برای کشف روابط سه‌گانه ریسک‌دار برای بررسی تقابل میان سه پروژه در پورتفولیو دارند. در ادامه، روابط سه‌گانه بررسی می‌شوند. با توجه به توضیحاتی که درباره جدول شماره ۳ آورده شد، مجموعه ریسک‌های $\{(1, 5), (1, 8), (1, 11)\}$ و $\{(1, 5), (1, 11)\}$ ، $\{(5, 11)\}$ به ترتیب، شرایط بررسی آثار سه‌گانه $(1, 5, 8)$ و $(1, 5, 11)$ را برای کشف آثار متقابل سه‌گانه دارند. برای بررسی آثار متقابل سه‌گانه بین سه پروژه با توجه به فرمول روابط متقابل، در ابتدا باید همبستگی جزئی بین سه ریسک

شماره {۱،۵،۸} و {۱،۵،۱۱} در بین ۴ پروژه بررسی شود. برای به دست آوردن همبستگی بین سه متغیر با استفاده از ضریب همبستگی جزئی، همبستگی بین دو متغیر با حذف اثر متغیر سومی به دست می‌آید؛ به‌طور مثال، ضریب همبستگی جزئی بین X_1 و X_2 با توجه به سه متغیر X_1 ، X_2 و X_3 با $r_{12,3}$ نشان‌دهنده ضریب همبستگی بین X_1 و X_2 با حذف اثر X_3 است؛ سپس با استفاده از رابطه نظریه اطلاعات متقابل، مقدار کل اثر متقابل سه‌گانه بین سه متغیر، به‌صورت هم‌زمان محاسبه می‌شود. جدول شماره ۸، آثار متقابل جزئی معنادار را از بین تمامی آثار متقابل جزئی موجود بین سه ریسک شماره {۱،۵،۸} و {۱۱،۵،۱} به‌ازای چهار پروژه شماره ۱، ۲، ۳، ۵ نشان می‌دهد. هرچه عدد مربوط به درجه معناداری، کوچک‌تر باشد، ضریب همبستگی به‌دست‌آمده از اعتبار بیشتری برخوردار است.

جدول ۸- ضریب همبستگی جزئی میان سه پروژه

درجه معناداری	ضریب همبستگی جزئی	متغیر کنترل‌شده	
۰/۰۵۵	۰/۳۶۰	R_1P_3	(R_8P_2, R_5P_1)
۰/۰۴۲	۰/۳۸۰	R_1P_1	(R_8P_2, R_5P_5)
۰/۰۳۴	۰/۳۹۵	$R_{11}P_2$	(R_1P_5, R_5P_1)
۰/۰۴۴	۰/۳۷۷	$R_{11}P_3$	(R_1P_5, R_5P_1)

برای محاسبه آثار متقابل سه‌گانه از ضرایب همبستگی جزئی مذکور با استفاده از رابطه شماره ۸ و ۷ به‌صورت ذیل استفاده می‌شود. مثال ذیل، رابطه سه‌گانه (R_8P_2, R_1P_3, R_5P_1) را بررسی می‌کند. منظور از $MI(R_8P_2, [R_5P_1, R_1P_3])$ ضریب همبستگی جزئی معنادار بین دو متغیر R_5P_1, R_1P_3 با کنترل متغیر R_8P_2 است. همچنین $MI(R_5P_1, R_1P_3)$ ضریب همبستگی جفتی بین دو متغیر R_5P_1, R_1P_3 را نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned} \text{Relationship } MI(R_8P_2, R_5P_1, R_1P_3) &= \\ \min((MI_{R_8P_2}, [R_5P_1, R_1P_3]), MI(R_5P_1, [R_8P_2, R_1P_3]), MI(R_1P_3, [R_8P_2, R_5P_1])) &= \\ = MI(R_8P_2, R_5P_1, R_1P_3) - \max(MI(R_8P_2, R_5P_1), MI(R_5P_1, R_1P_3), MI(R_8P_2, R_1P_3)) &= 0/360 \end{aligned}$$

$$\text{Relationship } MI(R_8P_2, R_5P_5, R_1P_1) = 0/380$$

$$\text{Relationship } MI(R_1P_5, R_5P_1, R_{11}P_2) = 0/3950$$

$$\text{Relationship } MI(R_1P_5, R_5P_1, R_{11}P_3) = 0/377$$

گام ششم: منع قرارگیری برخی پروژه‌ها کنار یکدیگر براساس وابستگی مخرب بین آنها

برای بررسی آثار متقابل جفتی میان پروژه‌ها به‌ازای ریسک‌های منفی تأثیرگذار بر آنها با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن دو جفت پروژه ۳ و ۵ به‌ترتیب، به‌ازای دو ریسک شماره ۲ و ۴ منتسب به آنها (R_2P_3, R_4P_5) از کنار هم قرارگرفتن دو پروژه شماره ۳ و ۵ در یک پورتفولیو به‌علت همبستگی مثبت معنادار جلوگیری می‌شود. همچنین برای بررسی آثار متقابل سه‌گانه میان پروژه‌ها به کمک رابطه «نظریه اطلاعات متقابل» سه پروژه (P_1, P_2, P_3) ، (P_1, P_3, P_5) و (P_1, P_2, P_5) روابط متقابل سه‌گانه دارند؛ بنابراین از کنار هم قرارگیری این دسته پروژه در یک پورتفولیو، همانند تفسیر قبلی جلوگیری می‌شود.

گام هفتم: الگوسازی و خروجی برنامه‌ریزی خطی آرمانی^{۲۹}

در این پژوهش برای بررسی نتایج محاسباتی، مطالعه‌ای موردی انجام شده است. بر همین اساس، از ۵ پروژه در شرکت پروژه‌محور جهاد نصر یزد در زمینه‌های عمرانی مختلف شامل ۱- پروژه فرودگاه؛ ۲- پروژه راه‌سازی؛ ۳- پروژه تقاطع غیر هم‌سطح؛ ۴- پروژه آبیاری و زهکشی و ۵- پروژه ساختمانی استفاده شد که به ترتیب، از نرخ بازگشت سرمایه ۱۵ درصد، ۸ درصد، ۱۲ درصد، ۱۰ درصد و ۶ درصد برخوردار بودند. این ۵ پروژه برای حداکثرسازی تعداد پروژه‌های پورتفولیو و حداکثرسازی سود پورتفولیو از یک الگوی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح^{۳۰} «حداکثرسازی تعداد پروژه‌های پورتفولیو» و «حداکثرسازی سود پورتفولیو» برای حل الگو استفاده شدند. مسئله در دو حالت مجزا یعنی در نظر گرفتن اثر متقابل جفتی و اثر متقابل جفتی و سه‌گانه با برنامه‌ریزی خطی، الگوسازی می‌شود. محدودیت الگوی برنامه‌ریزی خطی برای هر دو حالت به صورت ذیل است:

هدف ۱: حداکثرسازی تعداد پروژه‌های پورتفولیو

هدف ۲: حداکثرسازی سود پورتفولیو براساس معیار^{۳۱} (نرخ بازگشت سرمایه) IRR

محدودیت کلی مسئله: میانگین نرخ بازگشت سرمایه پروژه‌های موجود در پورتفولیو $10\% \leq$

منظور از ۱۰ درصد در محدودیت مسئله از لحاظ معیار نرخ بازگشت سرمایه است.

الگوی برنامه‌ریزی خطی، براساس اهداف و محدودیت کلی و با توجه به ممنوعیت‌های قرارگیری پروژه‌ها ضمن تحلیل‌های حاصل از مراحل قبلی پژوهش در دو حالت بررسی می‌شود. در هر دو حالت، محدودیت‌هایی وجود دارند که از کنار هم بودن پروژه‌های خاصی در یک پورتفولیو جلوگیری می‌کنند. در حالت اول مسئله، همانگونه که قبلاً توضیح داده شد، پروژه‌های $\{(P3, P5)\}$ از حالت اول مسئله و در حالت دوم مسئله $\{(P3, P5), (P1, P2, P3), (P1, P2, P5), (P1, P3, P5)\}$ به علت وجود همبستگی مثبت براساس معیارهای منفی ریسک، با هم در یک پورتفولیو قرار نمی‌گیرند. در ادامه، با توجه به توضیحات مذکور درباره صورت مسئله شامل اهداف و محدودیت‌ها، توضیح حل الگو در چهار مرحله به صورت ذیل آورده شده است.

- مرحله ۱: با توجه به ۴ پروژه باقیمانده از ۵ پروژه پیشنهادی، پانزده نوع ترکیب از پروژه‌ها برای انتخاب پورتفولیو به وجود می‌آید که هر کدام از این ترکیب‌ها باید بررسی شوند؛ به طور مثال، $\binom{4}{2}$ ، انتخاب ۲ از میان ۴ پروژه است که ۶ ترکیب دو پروژه‌ای در انتخاب پورتفولیو به وجود می‌آید. براساس رابطه شماره (۱۳) برای ۴ پروژه، ۱۵ ترکیب از پروژه‌ها برای انتخاب در پورتفولیو به وجود می‌آید.

$$\binom{4}{1}, \binom{4}{2}, \binom{4}{3}, \binom{4}{4}$$

- مرحله دوم: با توجه به اینکه سود سرمایه را با میانگین‌گیری از نرخ بازگشت سرمایه پروژه‌های موجود در پورتفولیو محاسبه می‌کنیم، جدول شماره ۹ نرخ بازگشت سرمایه تمامی ۱۵ پورتفولیوی ممکن را در دو حالت مسئله نشان می‌دهد. منظور از \bar{R} متوسط نرخ بازگشت سرمایه پورتفولیوی مدنظر است؛ به طور مثال، براساس گام ششم، نرخ بازگشت سرمایه پروژه‌های P_1, P_5 در شرکت جهاد نصر یزد، ۱۵ و ۶ درصد ذکر شد؛ بنابراین برای محاسبه متوسط نرخ بازگشت سرمایه پورتفولیوی شماره ۸ یعنی پورتفولیوی $\{P_1, P_5\}$ ، \bar{R} از روش ذیل استفاده شد:

$$\bar{R}(P_1, P_5) = \frac{15+6}{2} = 10/5$$

- **مرحله سوم:** محدودیت مسئله باید در دو قسمت بررسی شود. در قسمت اول، مجموعه تمامی پروژه‌هایی که از قرارگیری در دو حالت جفتی و سه‌گانه در کنار هم منع شده بودند، نباید در پورتفولیوی بهینه قرار گیرند. در قسمت دوم، محدودیت پورتفولیوی بهینه باید از متوسط نرخ بازگشت سرمایه‌ای بزرگ‌تر یا مساوی ۱۰ درصد برخوردار باشد؛ برای مثال، پورتفولیوی شماره ۴ (P_1, P_3, P_5) ، به علت واقع شدن دو پروژه P_3 و P_5 در یک پورتفولیو و پورتفولیوی شماره ۹ (P_2, P_5) ، به علت متوسط نرخ بازگشت سرمایه ۷ درصد، امکان‌پذیر نیستند. علامت \sqrt در جدول شماره ۹، نشان‌دهنده نقض نکردن محدودیت‌های موجود توسط پورتفولیوی مدنظر و علامت \times نشان‌دهنده نقض محدودیت‌های مسئله است.

جدول ۹- تحلیل پورتفولیوهای تشکیل شده

پورتفولیوهای انتخابی	متوسط نرخ بازگشت سرمایه (\bar{R})	برقراری محدودیت اول مسئله	برقراری محدودیت دوم مسئله
پورتفولیوی شماره ۱	$P_1 P_2 P_3 P_5$	۱۰/۲۵٪	\sqrt
پورتفولیوی شماره ۲	$P_1 P_2 P_3$	۱۱/۶٪	\sqrt
پورتفولیوی شماره ۳	$P_1 P_2 P_5$	< ۱۰٪	\times
پورتفولیوی شماره ۴	$P_1 P_3 P_5$	۱۱٪	\times
پورتفولیوی شماره ۵	$P_2 P_3 P_5$	< ۱۰٪	\times
پورتفولیوی شماره ۶	$P_1 P_2$	۱۱/۵٪	\sqrt
پورتفولیوی شماره ۷	$P_1 P_3$	۱۳/۵٪	\sqrt
پورتفولیوی شماره ۸	$P_1 P_5$	۱۰/۵٪	\sqrt
پورتفولیوی شماره ۹	$P_2 P_5$	< ۱۰٪	\times
پورتفولیوی شماره ۱۰	$P_2 P_3$	۱۰٪	\sqrt
پورتفولیوی شماره ۱۱	$P_3 P_5$	< ۱۰٪	\times
پورتفولیوی شماره ۱۲	P_1	۱۵٪	\sqrt
پورتفولیوی شماره ۱۳	P_2	۸٪	\times
پورتفولیوی شماره ۱۴	P_3	۱۲٪	\sqrt
پورتفولیوی شماره ۱۵	P_5	۶٪	\times

- **مرحله چهارم:** بهترین پورتفولیو را از میان پورتفولیوهای پذیرفتنی، براساس دو هدف بیشینه‌سازی تعداد پروژه با وزن ۲ و بیشینه‌سازی سود با وزن ۱ انتخاب می‌کنیم. بر این اساس، در انتخاب یکی از دو پورتفولیوی شماره ۸ و ۱۲، پورتفولیوی شماره ۸ با وجود سود کمتر، به علت تعداد پروژه بیشتر با توجه به وزن ۲ از هدف بیشینه‌سازی تعداد پروژه‌های پورتفولیو از الگوی برنامه‌ریزی خطی انتخاب می‌شود.

۵- بحث

با توجه به اعداد و نتایج به دست آمده از ضرایب همبستگی و بیان تفسیر و تحلیل آن، اگر نتیجه به صورت عددی، مثبت باشد، نشان‌دهنده آن است که با افزایش یا کاهش مقدار یکی از متغیرها، به ترتیب، متغیر دیگر نیز افزایش یا کاهش می‌یابد و اگر به صورت عددی منفی باشد، نشان‌دهنده آن است که با افزایش مقدار یا کاهش مقدار

یکی از متغیرها، به ترتیب، متغیر دیگر نیز کاهش یا افزایش می‌یابد. در این پژوهش، فقط جنبه‌های منفی معیارهای ریسک در نظر گرفته شدند؛ بنابراین، فقط به کشف همبستگی‌های مثبت میان پروژه‌ها به‌ازای ریسک‌های مربوط آنها توجه شد تا از وجود آنها در پورتفولیو جلوگیری شود؛ زیرا باعث افزایش هم‌افزایی میزان ریسک‌های با آثار مخرب در پورتفولیو می‌شوند. نتیجه محاسبات اثر متقابل در حالت اول نشان می‌دهد پروژه‌هایی که از لحاظ میزان ریسک، غیرموجه هستند، در لیست پروژه‌هایی قرار نگیرند که برای گزینش در پورتفولیو رقابت می‌کنند. نتیجه محاسبات اثر متقابل حالت دوم و سوم، به ترتیب نشان می‌دهد که آیا دو و سه پروژه معین در یک پورتفولیو در کنار هم قرار گیرند یا خیر. در تحلیل آثار متقابل جفتی حاصل از جدول شماره ۷، جفت پروژه شماره ۳ و ۵ به‌ازای ریسک‌های شماره ۲ و ۴ باعث هم‌افزایی مثبت (تشدید اثر منفی ریسک توسط پروژه شماره ۳ و ۵) در یک پورتفولیو می‌شوند؛ بنابراین، حضور دو پروژه شماره ۳ و ۵ در یک پورتفولیو باعث افزایش ریسک می‌شود. این تفسیر برای آثار متقابل سه‌گانه پروژه‌ها نیز پابرجاست؛ به‌گونه‌ای که از قرارگیری سه دسته پروژه‌های سه‌گانه (P_1, P_2, P_3) ، (P_1, P_3, P_5) و (P_1, P_2, P_5) هر کدام با هم در یک پورتفولیو جلوگیری شود. این ممنوعیت‌های کنار هم قرارگرفتن پروژه‌ها در پورتفولیو، به‌عنوان محدودیت در الگو اعمال می‌شوند. در این پژوهش، ارزیابی ریسک پروژه‌ها برای انتخاب پروژه‌های با اثر منفی کمتر در پورتفولیو یکی از اهداف تشکیل پورتفولیو قرار گرفت که تحلیل آن به‌صورت دقیق در حالات تک‌پروژه، جفتی و سه‌گانه بررسی شد.

بیشتر پژوهش‌های گذشته، یا وابستگی بین پروژه‌ها را در نظر نگرفته یا با استفاده از روش‌هایی مانند تحلیل سلسله‌مراتبی، پروژه‌ها را گزینش کرده‌اند. علاوه بر این، پژوهشگران با در نظر گرفتن تأثیر چند معیار بر یک پروژه به کمک روش رگرسیون، به انتخاب پروژه‌ها اقدام کرده‌اند. از روش‌های دیگر مدنظر پژوهشگران، استفاده از روش برنامه‌ریزی غیرخطی است که استفاده از این روش در حالت وجود متغیرهای زیاد، زمان‌بر و سخت است. از روش‌هایی که وابستگی پروژه‌ها را در نظر گرفته‌اند، استفاده از روش ضریب همبستگی است که این روش نیز وابستگی را براساس جفت متغیرها مشخص می‌کند. وجه تمایز پژوهش حاضر، در نظر گرفتن اثر متقابل با درجه بیشتری از اثر متقابل جفتی، یعنی در نظر گرفتن اثر متقابل سه‌گانه است.

با استفاده از روش پیشنهادی در این مقاله، از جمله «نظریه اطلاعات متقابل» - که هدف اصلی آن، کاهش ریسک پورتفولیوی پروژه‌هاست - به شرکت‌های پروژه‌محور برای کاهش ریسک پورتفولیوها، کمک زیادی می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

مسئله انتخاب پورتفولیوی پروژه‌ها، انتخاب زیرمجموعه‌ای از پروژه‌های پیشنهادی با توجه به اهداف استراتژیک سازمان و محدودیت‌های مربوط است. این پژوهش با هدف اصلی انتخاب پورتفولیوی پروژه با در نظر گرفتن اثر متقابل سه‌گانه بین پروژه‌ها برای اولین بار به کمک ضریب همبستگی و نظریه اطلاعات متقابل به‌ازای ریسک‌های اثرگذار بر آنها، چارچوبی را برای انتخاب پورتفولیوی پروژه ارائه می‌دهد. الگوسازی مسئله در هفت گام اصلی برای پیاده‌سازی نتایج آن در شرکت پروژه‌محور جهاد نصر یزد مطرح شده است. در الگوسازی مسئله، ابتدا با مطالعه مقالات و استانداردهای مرتبط با ریسک پروژه از جمله ساختار شکست ریسک و استانداردهای PMBOK و سپس استفاده از نظرات خبرگان حوزه مربوط با استفاده از پرسشنامه برای تعیین ریسک‌های مناسب و همچنین اصلاح و

ویرایش تعدادی از آنها برای استخراج مهم‌ترین دسته ریسک‌های پروژه از میان ریسک‌های بیرون‌سازمانی، فنی، مدیریت پروژه و درون‌سازمانی اقدام شد؛ سپس پرسشنامه‌ای میان ۳۰ نفر از کارشناسان مربوط برای کمی‌کردن معیارهای ریسک شناسایی شده به کمک طیف لیکرت موجود در جدول شماره ۴ و استفاده از رابطه شماره ۱ توزیع شد. برای بررسی پایایی پرسشنامه، از ضریب آلفای کرونباخ^{۳۳} با نرم‌افزار SPSS برای بررسی کمی‌سازی معیارهای ریسک و متغیرهایی استفاده شد که شرایط بررسی آثار متقابل جفتی و سه‌گانه را داشتند که مقدار به‌دست‌آمده «۰٫۸۱۸»، پایایی زیاد پرسشنامه را نشان داد. با تحلیل ریسک‌های اثرگذار بر یکدیگر براساس روش علت و معلولی، آثار متقابل جفتی بین پروژه‌ها به کمک ضریب همبستگی اسپیرمن و برای اولین بار، آثار متقابل سه‌گانه بین پروژه‌ها به کمک نظریه اطلاعات متقابل برای کشف دقیق‌تر تأثیر عوامل بر یکدیگر محاسبه شدند. سرانجام، پروژه‌هایی که هم‌افزایی مثبت ریسک را در یک پورتفولیو به وجود می‌آورند، به‌عنوان پروژه‌های ممنوع از کنار هم قرارگرفتن در پورتفولیو معرفی شدند؛ سپس به کمک الگوسازی برنامه‌ریزی خطی دوهدفه، مسئله یک‌بار در حالت اثر متقابل جفتی و سه‌گانه و بار دیگر، با اثر متقابل جفتی بررسی شد. نتایج حل مسئله در دو حالت اول و دوم، همانگونه که در گام ششم الگوسازی توضیح داده شد، نشان‌دهنده نتایج متفاوت به‌دست‌آمده از حل مسئله در دو حالت اول و دوم، به‌علت در نظر گرفتن اثر متقابل سه‌گانه و جفتی به جای اثر متقابل جفتی به‌صورت مجرد بین پروژه‌ها به‌ازای ریسک‌های اثرگذار بر یکدیگر است. این موضوع، روابطی را نشان می‌دهد که صرفاً با اثر متقابل جفتی میسر نیستند. با توجه به روش حل توضیح داده‌شده، برای حالت اول، مسئله با لیست ممنوع (P_3, P_5) با دو هدف حداکثرسازی تعداد پروژه‌های پورتفولیو با وزن ۲ و حداکثرسازی میانگین سود پروژه‌های موجود در پورتفولیو با وزن ۱، پورتفولیوی (P_1, P_2, P_3) با $IRR = 11.6\%$ از میان گزینه‌های امکان‌پذیر، به‌علت تعداد پروژه‌های بیشتر و بیشترین نرخ سود از میان پورتفولیوهای با تعداد سه پروژه انتخاب می‌شود. همچنین در حالت دوم مسئله با ۴ لیست ممنوع $\{(P_1P_2P_3), (P_1P_2P_5), (P_1P_3P_5), (P_3P_5)\}$ و پورتفولیوی (P_1, P_3) با $\bar{R} = 13/5\%$ از میان گزینه‌های امکان‌پذیر، به‌علت پروژه‌های بیشتر و بیشترین نرخ سود از میان پورتفولیوهای با تعداد دو پروژه انتخاب می‌شود. درنهایت، با در نظر گرفتن تمامی شرایط موجود برای کاهش برهم‌کنش ریسک‌ها در پورتفولیو، پورتفولیوی شماره ۷ به‌علت نبود منع قرارگیری دو پروژه (P_1, P_3) و معیار سوددهی بیشتر از پورتفولیوهای شماره ۶، ۸، ۱۰ و به‌سبب تعداد پروژه‌های بیشتری در مقایسه با انتخاب پورتفولیوی شماره ۱۲ و ۱۴ انتخاب می‌شود. با توجه به اینکه فقط با آثار جفتی میان تمامی سه متغیر Z, Y, X کل آثار سه‌گانه میان این سه متغیر، آشکار نمی‌شود، این پژوهش، مشکل موجود را به کمک نظریه اطلاعات متقابل رفع کرد. این نظریه، آثار متقابل را به‌طور هم‌زمان اندازه‌گیری می‌کند. تاکنون، از این نظریه برای انتخاب پورتفولیوی پروژه‌ها برای بررسی آثار متقابل سه‌گانه استفاده نشده است که این موضوع، وجه نوآوری و تمایز این پژوهش با سایر پژوهش‌های پیشین است. حل مسئله در دو حالت ذکرشده (با توجه به دو نتیجه متفاوت) نشان می‌دهد، با در نظر گرفتن روابط پیچیده میان معیارها از کاهش هزینه‌های به‌بارآمده از ریسک موجود در پورتفولیو جلوگیری می‌شود. پیشنهادهای ذیل، از جمله پیشنهادهایی هستند که به آنها اشاره می‌شود:

۱. استفاده از معیارهای بیشتر برای کاهش ریسک‌های موجود در فرایند انتخاب پروژه.
۲. استفاده از روش‌های دیگری همچون اعداد فازی و تصادفی برای کمی‌کردن معیارهای ریسک.

۳. تمامی معیارهای ریسک منظور شده در پژوهش، جنبه‌های منفی از ریسک را در نظر می‌گیرد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی، هر دو جنبه مثبت و منفی ریسک لحاظ شود.
۴. بررسی روش‌های الگوریتم فراابتکاری در مواقعی که ابعاد مسئله افزایش می‌یابند.

References

- Aaker, D. A. and Tyebjee, T. T. (1978). "A Model for The Selection of Interdependent R & D Projects" *Transactions on Engineering Management*, 25(2), 30-36.
- Abbassian, H., Ravanshadni, M., and Rajaei, H. (2009). "Quantity Analysis of Risk By Method of SAWF for To Selection Project Portfolio". *Conference national engineering and construction management*, 4(1), 1-14.
- Abbasiyan, H., Ravanshadnia, M., and Rajae, H. (2008). "Comparison of Risk Analysis Different Approaches in Project Portfolio Selection" *International Conference of project managemen*, 4(1), 1-11.
- Alinejad, A., and Simiyari, K. (2013) "To Selection Project Optimum Portfolio by Using DEA/ DEMATEL Approach". *journal of scientific-research of industry management Research*, 28, 41-60.
- Alvarez-Garc'ia, B., and Fernandez-Castro, A. (2018). "A Comperehensive Approach for The Selection Of A Portfolio Interdependent Projects. An Application To Subsidized In Spain". *Computers & Industrial Engineering*, 1-23.
- Dari, B., Asadi, B., and Mazaheri, S. (2015) "A Project Portfolio Selection Model With Project Interaction and Resources Interdependency Consideration using artificial neural networks" *Periodical of industry management*, 1(7), 21-42.
- Farsijani, H., Fattahi, M., and Norouzi, M. (2012) "To Selection Projects Portfolio by Concsidering Interaction, by Using of Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO) and Chaotic Dynamics" *Periodical of industry management Scene*, 5(1), 27-48.
- Fazli, S., and Madani, S. (2009). "To Introduce A Model Selection of Civilization Projects By Using Multi-Criteria Decision Making approach" *International Conference of project management*, 5, 1-18.
- Freund, J. E. (2008). *Mathematical Statistics*, Tehran: Daneshgahi Publication Center.
- Ganji, M., Alinaghian, M., and Sajjadi, M. (2016). "A New Model for Optimazating Simultaneously Projects Selection and Resource Constrained Project Scheduling Problem with Particle Swarm Optimization". *Production and operations management*, 7(1), 235-246.
- Ghapanchi, A.; Tavana, M., Khakbazan, M., and Low, G. (2012). "A Methodology for Selecting Portfolios of Projects With Interactions and Under Uncertainty". *International Journal of Project Management*, 30(7), 791-803.
- Jafari Eskandari, M., Sabounian, M., and Darri, M. (2017). "A Economic Evaluation of projects Under Uncertainty Using Fuzzy Logic, Analytical Hierarchy process and Binary Integer Programming". *guideline financial management*, 5(3), 171-184.
- Jafarzadeh, H., Akbari, P., and Abedin, b. (2018). "A Methodology for Project Portfolio Selection under Criteria Priorisation, Uncertainty and Projects Interdependency Combination of Fuzzy QFD and DEA". *Expert Sustems with Applications*, 1-33.
- Maier, S., Polak, J., and Gann, D. (2018) "Valuing Portfolios of Interdependent Real Option Using Influence Diagrams and Simulation- and Regression: A Multi-stage stochastic integer programming approach". *Computers and oprations research*, 000(1), 1-14.
- Medaglia, A. L., Graves, S. B., and Ringuest, L. J. (2007). "A Multiobjective Evolutionary Approach for Linearly Constrained Project Selection under Uncertainty". *European Journal of Operational Research*, 179(3), 869- 894.

- Minato, T., and Ashley, D. B. (1998). "Data-Driven Analysis of "corporate Risk" Using historical cost-control Data, ASCE" *journal of construction Engineering and management*, 124(1), 42-47.
- Najafi, A. (2009) "To selection Project Portfolio by Considering Optimized Risk Based on Network Analysis Process" *International Conference of project management*, 5(1), 1-16.
- Nguyen, D., Pham, H., Ho, B., Nguyen, H. and Tran, H. (2013). "Reconstruction of Triple-Wise Relationships in Biological Networks from Profiling Data" *Springer*: 209, 205-215.
- Relich, M., and Pawlewski, P. (2017). "A Fuzzy Weighted Avarage Approach for Selection Portfolio of New Product Development Projects" *Neurocomputing*, 231, 19-27.
- Sayyadi, A., Hayati, M., and Azar, A. (2011). "Assessment and Ranking of Risks in Tunneling Projects Using Linear Assignment Technique". *International Publication of Industrial and production management*, 22(1), 27-38.
- Sharifi Ghazvini, M., Ghezavati, V., Makouei, A., and Sedigh, R. (2019) "New Multi-objective Model for Projects Portfolio Optimization Considering Integrated Efficiency-Risk Approach Using NSGA-II" *Production and Operation Management*, 9(2), 139-157.
- Souri, A. (2013) *The first volume of econometrics*. Tehran: Farhangshenashi Publication.
- Wang, z., and Yue, Y. (2011) "Information Entropy Method for Project Portfolio Selection" *International conference on fuzzy system and knowledge discovery*, 8(4), 2618-2622.
- Wu, Y., Xu, C., Ke, Y., Li, X., and Li, L. (2019) "Portfolio Selection of Distributed Energy Generation Projects Considering Uncertainty and Project Interaction Under Different Enterprise Strategic Scenarios." *Applied Energy*, 236, 444-464.

-
- ¹- Project portfolio
 - ²- Risk
 - ³- Aaker & Tyebjee
 - ⁴- Medaglia
 - ⁵- Montecarlo Simulation
 - ⁶- Correlation coefficient
 - ⁷- Wang & Yue
 - ⁸- Ghapanchi
 - ⁹- Data Envelope Analysis
 - ¹⁰- Pairwise interaction
 - ¹¹- Branch and Bound Algorithm
 - ¹²- Artificial Neural Network
 - ¹³- Ranking
 - ¹⁴- Reich & Pawlewski
 - ¹⁵- Maier
 - ¹⁶- Integer numeral stochastic programming
 - ¹⁷- Alvarez-Gracia & Fernandez-Castro
 - ¹⁸- Jafarzadeh, Akbari & Abedin
 - ¹⁹- Wu
 - ²⁰- triple-wise interaction
 - ²¹- Minato & Ashley
 - ²²- Risk Breakdown Structure (RBS)
 - ²³- Project management Body of Knowledge Guide (PMBOK Guide)
 - ²⁴- spearman correlation coefficient
 - ²⁵- Freund
 - ²⁶- Partical correlation coefficient
 - ²⁷- Mutual information theory
 - ²⁸- Nguyen U Pham, Ho, Nguyen & Tran
 - ²⁹- Goal Linear programming
 - ³⁰- Linear integer programming
 - ³¹- Internal Rate of Return
 - ³²- cronbach 's alpha coefficients