Archive of SID

Journal of Structural and Construction Engineering, 9(11), 2023, pp. 77-100

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Risk analysis of water and wastewater infrastructure projects based on public-private partnership (3P) approach by combining Fuzzy Delphi (FD), FMEA and artificial fuzzy assessment (FSE) techniques

Mehrdad Khoshnevis[1], Faramarz Alemi[2*], Amirpouya Sarraf[3]

1- Department of Civil Engineering , Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen , Iran
2- Department of Civil Engineering, Sadjad University, Mashhad, Iran
3- Department of civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

ABSTRACT

In recent years, the use of Public-Private-Partnerships (3P) approach to the implementation of infrastructure projects has received much attention. Risk identification and analysis in these projects has always been one of the main challenges of this approach. The purpose of this paper is to determine the different levels of risk in 3P water and wastewater projects in Iran using library studies and field surveys. Using a three-phase protocol and developing an integrated method of risk analysis, while identifying and separating risks, different levels of risk in these projects were evaluated. In the first phase, 49 risk factors were identified and divided into 6 main groups including technical(R1), economic(R2), political(R3), legal(R4), environmental(R5) and managerial (R6) risks. In the second phase, in order to extract more critical risks, the risks were analyzed and screened by combining Fuzzy Delphi (FD) techniques and Failure Mode Analysis and Effects (FMEA) using the opinions of experts. Based on the results, 23 sub-risk factors with $RPN_{Normalized}$ values greater than 0.5 were identified as critical risks. In the third phase, different levels of total risks (ORL) were determined by Fuzzy synthetic evaluation (FSE) method in combination with FMEA method. Based on the results of risk groups R2, R1, R3, R4, R6 and R5 with ORL of 7.468, 7.262, 7.132, 6.992, 6.815 and 6.670, respectively, as the most critical risk groups in 3P water projects. And sewage were identified. Risks of allocating financial resources and investor obligations (R2-6), lack of transparency in executive issues and changes in project specifications(R1-1), problems of the government system process in concluding the contract(R3-5), prolongation of licenses and their renewal(R4-6), integrated management, control and utilization of water resources(R6-8) and climate change and rainfall pattern(R5-2) in each of the above groups were identified as the most important critical risk factor. Finally, the ORL value of 3P water and sewage projects in the country was set at 7.077, which indicates the high level of total risk of these projects.

ARTICLE INFO

Receive Date: 19 November 2021
Revise Date: 09 April 2022
Accept Date: 14 April 2022

Keywords:
Risk Analysis
Public-Private Partnership (3P)
Water and Wastewater Infrastructure Projects
Integrated Method Development
FD-FMEA-FSE Techniques

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2022.315454.2644

*Corresponding author: Faramarz Alemi
Email address: faramarz.alami@sadjad.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

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

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

تحلیل ریسک‌های پروژه‌های زیربنایی آب و فاضلاب مبتنی بر رویکرد مشارکت عمومی-خصوصی (3P) با تلفیق تکنیک‌های دلفی فازی (FD)، FMEA و ارزیابی مصنوعی فازی (FSE)

مهرداد خوشنویس[۱]، فرامرز عالمی[۲*]، امیرپویا صراف[۳]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت ساخت، گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

۲- دانشکده عمران، دانشگاه سجاد، مشهد، ایران

۳- گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از رویکرد مشارکت عمومی- خصوصی (3P) جهت اجرای پروژه‌های زیربنایی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. شناسایی و تحلیل ریسک در این پروژه‌ها همواره یکی از چالش‌های اصلی این رویکرد بوده است. هدف مقاله حاضر تعیین سطوح مختلف ریسک در پروژه‌های پروژه‌های 3P آب و فاضلاب کشور ایران با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و پیمایش میدانی است. با به‌کارگیری یک پروتکل سه فازه و توسعه یک روش تلفیقی تحلیل ریسک، ضمن شناسایی و تفکیک ریسک‌ها، به ارزیابی سطوح مختلف ریسک در این پروژه‌ها پرداخته شد. در فاز اول، ۴۹ عامل ریسک شناسایی و در ۶ گروه اصلی شامل ریسک‌های فنی(R1)، اقتصادی(R2)، سیاسی(R3)، قوانین(R4)، محیطی(R5) و مدیریتی(R6) تفکیک گردید. در فاز دوم جهت استخراج ریسک‌های بحرانی‌تر، به تحلیل و غربالگری ریسک‌ها با ترکیب تکنیک‌های دلفی فازی(FD) و آنالیز خطا و آثار آن(FMEA) با بهره‌گیری از نظرات خبرگان پرداخته شد. براساس نتایج، ۲۳ عامل فرعی ریسک با مقدار $RPN_{Normalized}$ بیشتر از ۰/۵ به‌عنوان ریسک‌های بحرانی معرفی شدند. در فاز سوم با روش ارزیابی مصنوعی فازی(FSE) در ترکیب با روش FMEA، سطوح مختلف کل ریسک‌ها(ORL) تعیین شد. براساس نتایج گروه‌های ریسک R2، R1، R3، R4، R6 و R5 به‌ترتیب با ORL برابر ۷/۴۶۸، ۷/۲۶۲، ۷/۱۳۲، ۶/۹۹۲، ۶/۸۱۵ و ۶/۶۷۰ به‌عنوان بحرانی‌ترین گروه‌های ریسک در پروژه‌های 3P آب و فاضلاب شناسایی شدند. ریسک‌های تخصیص منابع مالی و تعهدات سرمایه‌گذار(R2-6)، عدم شفافیت مسائل اجرایی و تغییر در مشخصات طرح(R1-1)، مشکلات فرآیند نظام دولتی در انعقاد قرارداد(R3-5)، طولانی شدن زمان اخذ مجوزها و تمدید آنها(R4-6)، مدیریت، کنترل و بهره‌برداری منسجم از منابع آب(R6-8) و تغییرات آب‌وهوایی و الگوی بارندگی(R5-2) در هر یک از گروه‌های فوق به‌عنوان مهمترین عامل ریسک بحرانی تعیین گردید. درنهایت مقدار ORL پروژه‌های 3P آب و فاضلاب در کشور برابر با ۷/۰۷۷ تعیین شد که این موضوع بیانگر سطح ریسک کل زیاد این پروژه‌ها می‌باشد.

کلمات کلیدی: تحلیل ریسک، مشارکت عمومی- خصوصی (3P)، پروژه‌های زیربنایی آب و فاضلاب، توسعه روش تلفیقی، تکنیک‌های FD-FMEA-FSE

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:	
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2022.315454.2644
۱۴۰۰/۰۸/۲۸	۱۴۰۱/۰۱/۲۰	۱۴۰۱/۰۱/۲۵	۱۴۰۱/۰۱/۲۵	۱۴۰۱/۱۱/۳۰		10.22065/jsce.2022.315454.2644

*نویسنده مسئول: فرامرز عالمی

پست الکترونیکی: faramarz.alami@sadjad.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

با توجه به نیاز شدید کشورهای در حال توسعه به ایجاد پروژه‌های زیربنایی از یک سو و میزان بالای سرمایه مورد نیاز جهت توسعه اینگونه پروژه‌ها و ضعف مالی و عدم تخصص و کارایی دولت‌ها از سوی دیگر، تغییر اساسی در ایفای نقش دولت در این خصوص را به یک چالش جدی تبدیل نموده است [۱ و ۲]. با توجه به افزایش فشارها بر دولت برای کاهش بدهی‌ها و در عین حال نیاز روزافزون ارتقای سطح تسهیلات عمومی، دولت‌ها به فکر استفاده از سرمایه بخش خصوصی افتاده و سعی در تشویق بخش خصوصی برای درگیر کردن در ساخت تأسیسات زیربنایی نموده‌اند. این موضوع منجر به مطرح شدن رویکرد «مشارکت عمومی- خصوصی[1]» یا اصطلاحاً 3P در فرآیند اجرای پروژه‌ها شده است [۳]. مفهوم 3P، انجام کارها به‌صورت مشترک بین دو یا چند شخص، سازمان یا ذینفع با اهداف سازگار، متقابل و همسو است که رویکردها و مسئولیت‌های طرفین به وسیله قراردادهای بلندمدت مشخص می‌شود. دولت‌ها از این روش برای توسعه زیرساخت‌ها با استفاده از سرمایه بخش خصوصی و برای افزایش ارزش پول[2] و ارتقای رقابت‌پذیری در پروژه‌ها استفاده می‌کنند [۴]. در میان تعاریف مختلف ارائه شده برای 3P، توجه به چهار مشخصه شامل (۱) دستیابی به حداکثر بازدهی و کارایی مناسب پروژه‌های زیرساختی از طریق تقسیم ریسک بین بخش عمومی و خصوصی، (۲) سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در طول عمر پروژه، (۳) ارتباط قراردادی طولانی مدت و (۴) ابداع و نوآوری به ویژه در ارائه خدمات از سوی بخش خصوصی همانند مکانیزم‌های پرداخت، ارائه و توصیف خدمت به صورت مشترک وجود دارد [۵، ۶ و ۷]. انتقال ریسک از بخش خصوصی به بخش عمومی از مباحث بحث برانگیز در این نوع مشارکت است که هدف آن ترکیب بهترین رویکردهای هر دو بخش، جهت دستیابی به بیشترین منافع مشترک از ریسک‌های مختلف در فرآیند اجرای پروژه است [۸].

در کشورهای در حال توسعه همچون ایران، به دلیل وجود شرایط خاص اقتصادی، معمولاً بودجه عمومی موجود جوابگوی اجرای کامل پروژه‌های زیربنایی نمی‌باشد. از اینرو جذب سرمایه بخش خصوصی برای سرمایه‌گذاری در این نوع پروژه‌ها به منظور جبران قسمتی از این کمبودها ضروری است. علاوه بر این، به‌کارگیری سرمایه بخش خصوصی همراه با مدیریت آن، فرصت ارتقاء کیفیت و بهره‌وری را در ساخت و بهره‌برداری مستحدثات و ارائه خدمات عمومی فراهم می‌آورد. به همین منظور رویکرد 3P در این کشورها در سطح گسترده‌ای به منظور انجام پروژه‌ها در بخش‌های زیربنایی مورد استفاده قرار گرفته است. در سال‌های اخیر با توجه به محدودیت‌های مالی موجود در بودجه‌های سالیانه کشور ایران از یک سو و شرایط اقتصادی حاکم بر جامعه همچون شرایط تحریم از سوی دیگر، تمرکز بیشتری بر استفاده از این شیوه مشارکتی شده است [۹].

پروژه‌های آب و فاضلاب به‌عنوان یکی از پروژه‌های زیربنایی ضروری برای زندگی سالم بشر، از گذشته تاکنون بسیار مورد توجه بوده است [۱۰]. امروزه اغلب پروژه‌های آب و فاضلاب، به دلیل نبود ساختارهای مناسب و اصولی در روش‌های قراردادی، با تأخیرات فراوان از یک‌سو و بالتبع افزایش هزینه‌ها از سوی دیگر روبرو هستند. همین عدم قطعیت‌ها باعث شده که برخی از این پروژه‌ها نیمه‌کاره رها شده و برخی دیگر با بودجه اندکی که دارند، با سرعت محدودی اجرا شوند که این امر خود سبب مستهلک شدن تاسیسات و از دست رفتن عمر مفید آنها قبل از بهره‌برداری می‌گردد. از گذشته تا به امروز بنا به دلایل مختلف نظیر بالا بودن هزینه، طولانی بودن مدت بازگشت سرمایه، بنیه ضعیف مالی و عدم حمایت قوانین و مقررات از بخش خصوصی، ایجاد پروژه‌های آب و فاضلاب بر عهده بخش عمومی و سازمان‌های دولتی بوده است. اما امروزه، این قضیه آشکار شده است که دولت بدون کمک بخش خصوصی نمی‌تواند اقدام به توسعه مناسب تأسیسات زیربنایی نماید. از اینرو، در سال‌های اخیر، بهره‌گیری از 3P در طرح‌های آب و فاضلاب در کشورهای در حال توسعه، گزینه‌ای مورد توجه بوده است. در ایران نیز تدوین سیاست‌های مناسب براساس اهداف کلان و ویژگی‌های محیطی برای جلب مشارکت بخش خصوصی در قالب 3P در توسعه این پروژه‌های زیربنایی ضروری به‌شمار می‌رود.

علیرغم تمام مزایای 3P به‌ویژه در اعمال تفکر مدیریت بهینه خصوصی و نیز انتقال سهم عمده‌ای از مسئولیت‌های بخش دولتی به بخش خصوصی، اما همچنان ناشناخته ماندن برخی ریسک‌ها در فرآیند اجرای این روش مشارکتی، منجر به عدم حصول و برآورده نشدن

[1] Public-Private Partnerships
[2] Value for money

www.SID.ir

Archive of SID

تمام ظرفیت‌های بالقوه و تعریف شده این روش‌ها گردیده است. به عبارت دیگر، با توجه به عدم قطعیت‌های زیاد موجود در فرآیند اجرای طرح‌های زیربنایی آب و فاضلاب مبتنی بر 3P، شناسایی و تحلیل ریسک‌های موجود در این پروژه‌ها ضروری به نظر می‌رسد. در همین راستا هدف اصلی تحقیق حاضر، شناسایی و تحلیل ریسک‌های 3P جهت توسعه طرح‌های آب و فاضلاب کشور ایران می‌باشد. بدین منظور با توسعه یک روش تلفیقی تحلیل ریسک مبتنی بر روش‌های دلفی فازی[3] (FD)، آنالیز خطا و آثار آن[4] (FMEA) و روش ارزیابی مصنوعی فازی[5] (FSE) به ارزیابی ریسک‌های شناسایی شده و تعیین سطح ریسک کل در فرآیند اجرای چنین پروژه‌هایی پرداخته شده است.

۲- تئوری و پیش زمینه

ریسک در یک پروژه مشارکتی به نتایج نامعلومی اشاره دارد که آثار مستقیمی بر ارائه خدمات (مثلا به واسطه آنکه تأسیسات به موقع ساخته نشده و یا موفقیت و بقای مالی پروژه) نظیر کاهش درآمد یا افزایش هزینه‌ها خواهد داشت. در هر یک از این حالت‌ها، نتیجه به صورت ضرر و یا هزینه‌ای خواهد بود که می‌بایست توسط یکی از ارکان پروژه تحمل شود. ریسک نقشی بنیادین در موفقیت رویکرد 3P ایفا می‌نماید. درحقیقت، اینکه یک پروژه به صورت 3P یا یک تدارکات سنتی در نظر گرفته شود، در درجه اول به میزان ریسکی که توسط طرفین تقبل می‌شود، بستگی دارد. عامل کلیدی در فهم نقش ریسک در یک3P همان ارتباط میان تحمل ریسک و کارایی پروژه است [۱۱]. با شناسایی و تعیین سطوح مختلف ریسک در پروژه‌های 3P، توانایی اضلاع مثلث معروف ساخت (هزینه، زمان و کیفیت) در این پروژه‌ها بهبود می‌یابد [۱۲]. از این طریق با تمرکز بر ریسک‌های دارای احتمال وقوع و شدت اثر بالاتر، موانع موجود در مسیر موفقیت چنین پروژه‌هایی حداقل می‌گردد [۱۳]. در سال‌های اخیر با توجه به تمایل زیاد دولت‌ها در راستای بهره‌گیری از ظرفیت‌ها و توانایی‌های بخش خصوصی در اجرای پروژه‌های زیربنایی با بهره‌گیری از روش 3P، تحقیقات فراوانی در این زمینه بخصوص با تمرکز بر موضوع ریسک انجام شده است. همچنین مطالعه پیشینه تحقیقات در زمینه ارزیابی ریسک پروژه‌های 3P نشان می‌دهد که وجود تحقیقاتی در زمینه شناسایی دقیق ریسک‌های پروژه‌های قراردادی 3P و تحلیل و تعیین سطح ریسک کل در پروژه‌های عمرانی زیربنایی کشورهای در حال توسعه همچون ایران با استفاده از روش‌های تحلیلی بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

علی‌رغم تحقیقات فراوان موجود در این زمینه (که بخشی از آنها در جدول ۱ اشاره شده است)، برخی خلأهای موجود، بررسی‌های بیشتر درخصوص شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها در پروژه‌های زیربنایی 3P را ضروری نموده و توسعه راه‌حل‌های کاهش ریسک را فراهم می‌آورد. از طرفی مطالعات صورت گرفته پیرامون موضوع پژوهش، کمبود اطلاعات مورد نیاز برای تصمیم‌گیری درخصوص ریسک‌های موجود در این پروژه‌ها را نشان می‌دهد. این کمبودها در کنار عدم یکپارچگی تحقیقات و ناتوانی بخش‌های عمومی و خصوصی به‌عنوان متولیان اصلی در پیشبرد اهداف پروژه‌ها در قالب قرارداد 3P، انگیزه کافی برای پیشبرد مطالعه حاضر را فراهم نموده است. به همین منظور در تحقیق حاضر تلاش بر این است تا ضمن شناسایی مهمترین ریسک‌های موجود در مسیر اجرای پروژه‌های زیربنایی آب و فاضلاب مبتنی بر 3P، به ارزیابی و تحلیل کیفی و کمی این ریسک‌ها با استفاده از توسعه یک روش تلفیقی تحلیل ریسک پرداخته شود.

[3] Fuzzy DELPHI
[4] Failure Mode and Effects Analysis
[5] Fuzzy synthetic evaluation

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: مروری بر تحقیقات گذشته درخصوص ارزیابی ریسک در پروژه‌های زیربنایی مبتنی بر روش 3P

پژوهشگران (سال)	عنوان پژوهش	روش پژوهش	یافته‌ها
یه‌لین و همکاران (۲۰۱۰) [11]	ارزیابی ریسک در اجرای پروژه‌های آب در کشور چین با روش 3P	مطالعات جامع در ادبیات تحقیق، پرسشنامه	ریسک‌هایی همچون عدم قطعیت تعرفه، نقض قرارداد توسط دولت، کمبود آب و هزینه بالای ساخت به‌عنوان ریسک‌های بحرانی در این پروژه‌ها شناخته شدند.
ویبوو و محمد (۲۰۱۱) [۱۴]	بررسی مهمترین عوامل ریسک زا در پروژه‌های آب کشور اندونزی	مصاحبه‌های ساختاریافته براساس نظرات کارشناسان	بخش خصوصی باید ریسک‌های طبیعی، مالی، شاخص‌های کلان اقتصادی و عملیاتی را در چنین پروژه‌هایی لحاظ نمایند، در حالی که بخش عمومی باید ریسک‌های اجتماعی و سیاسی را مد نظر قرار دهند.
لی و زو (۲۰۱۱) [۱۵]	ارزیابی ریسک در یک پروژه حمل و نقلی در کشور چین دارای قرارداد 3P	تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر روش FAHP	کمبود برنامه‌ریزی، ارزش باقیمانده کم پروژه (پس از ۳۰ سال عملیات)، نبود داوطلبان واجد شرایط، کمبود طراحی و زمان تایید پروژه برای اتمام پروژه به‌عنوان پنج ریسک اصلی در پروژه شناسایی شدند.
سامر و بدران (۲۰۱۳) [۱۶]	شناسایی مهمترین ریسک‌ها در اجرای پروژه‌های تامین آب با روش 3P در کشور مصر	مرور ادبیات و مصاحبه با کارشناسان، پرسشنامه	ریسک‌های مالی و اقتصاد کلان، تجاری، حقوقی، سیاسی، نظارت دولتی، بلوغ دولتی، فنی و ریسک‌های پیش بینی نشده به‌عنوان بحرانی ترین گروه های بحرانی ریسک در این پروژه‌ها معرفی شدند.
یین و همکاران (۲۰۱۵) [5]	شناسایی بحرانی ترین گروه ریسک در پروژه‌های آب کشور چین	بررسی های میدانی و روش تحلیل عاملی	از بین هشت گروه ریسک شامل ریسک ساخت، ارتباطات، اجرایی، سیاسی، محیطی، اقتصاد کلان، طراحی و مالی، ریسک‌های مالی به‌عنوان بحرانی ترین گروه ریسک‌ها در این پروژه‌ها معرفی شده‌اند.
آمیاو و چان (۲۰۱۵) [6]	ارزیابی مهمترین ریسک‌های 3P در پروژه‌های تامین آب کشور غنا	مطالعات میدانی، پرسشنامه	۲۲ ریسک شناسایی شده در قالب سه گروه مالی/تجاری (دارای بیشترین سطح ریسک کل)، اجتماعی/ سیاسی (دارای رتبه دوم سطح ریسک) و تکنیکی/ فنی (دارای رتبه سوم) به‌عنوان ریسک‌های بحرانی معرفی شدند.
لیو و همکاران (۲۰۱۶) [۱۷]	ارزیابی مهمترین عوامل مؤثر بر کارآیی تدارکات پروژه‌های قراردادی 3P در کشورهای استرالیا و چین	ادبیات تحقیق و مصاحبه و پرسشنامه	عوامل بحرانی در اجرای تدارکات در این پروژه‌ها تحت اثر ۷ عامل کلان توسعه رویکردهای نوین پروژه، کیفیت پروژه، ظرفیت درآمدی بخش دولتی، ساختار دولتی، اثربخشی ارتباطات، تعادل در روند اجرای فازهای مختلف پروژه و ایجاد شفافیت در مناقصه‌ها شناسایی شد.
تنگ و همکاران (۲۰۱۷) [۱۸]	آنالیز طرح‌های فاضلاب شهری در حال اجرا با روش 3P	تحلیل آماری و پرسشنامه	بهره‌گیری از 3P در این نوع پروژه‌ها می‌تواند تاثیرات مثبتی همچون افزایش سرمایه اجتماعی، بهبود مدیریت و عملیات اجرایی پروژه‌ها و تسهیل روش‌های مختلف مدیریت، برای نوآوری و بهینه سازی طرح‌ها به همراه داشته باشد.
آن و همکاران (۲۰۱۸) [7]	ارزیابی مکانیزم‌های جبران خسارت برای پروژه‌های فاضلاب شهری با روش 3P	تئوری بازی‌ها	"استاندارد اساسی" نشان دهنده حداقل منافع اجتماعی و زیست محیطی است که باید در پروژه آب و فاضلاب برآورده شود و "استاندارد تظاهرات" نشان دهنده اثر ایده‌آل است و وجود آن در این نوع پروژه‌ها ضروری است و یک مکانیزم جبران غرامت در مقایسه با نقش دولت برای ارزیابی پروژه‌های 3P برای مدیریت محیط زیست شهری پیشنهاد شده است.
ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) [2]	ارزیابی ریسک‌های بحرانی پروژه‌های 3P برای مقابله با وقوع سیلاب و کمبود آب در کشور چین	روش‌های طوفان فکری، گروه محققین و مصاحبه با کارشناسان و روش دیماتل	سیستم نظارت ناکافی، مداخله دولت، قانون و مقررات نابالغ، تکه تکه شدن پروژه و انجام آن توسط پیمانکاران جزء و عدم مشخص بودن مرزهای پروژه از مهمترین عوامل بروز ریسک در این پروژه‌ها شناسایی شدند.
ان‌گولی و همکاران (۲۰۲۱) [۱۹]	عوامل موفقیت حیاتی[6] (CSFs) برای پروژه‌های مدیریت زباله جامد شهری مبتنی بر 3P	روش‌های پرسشنامه و مصاحبه با کارشناسان	هفده عامل CSFs از منابع ثانویه شناسایی و نتایج بررسی درک گروه‌های مختلف ذینفع در کشور هند نشان داد که شباهت‌های زیادی در CSFs برای پروژه‌های 3P صرفنظر از بخش و مکان‌های جغرافیایی وجود دارد. همچنین، بخش عمومی و بخش خصوصی به جز چند عامل، درک مشترکی از عوامل موفقیت 3P در پروژه‌های خدمات مدیریت زباله جامد شهری دارند.
لو و همکاران (۲۰۲۱) [۲۰]	ارزیابی ریسک پروژه‌های 3P تبدیل زباله به انرژی براساس روش‌های وزن ترکیبی و مجموعه‌های فازی	توسعه یک مدل بهینه‌سازی ارزیابی ریسک با روش‌های بهترین-بدترین و بهبود یافته دیماتل	امکان‌سنجی، اثربخشی و برتری ارزیابی ریسک با روش پیشنهادی با مطالعه موردی در کشور چین
مان‌سارای و همکاران (۲۰۲۲) [۲۱]	بررسی اهمیت تخصیص ریسک سلب مالکیت دولت‌ها در تعیین شکست پروژه‌های زیرساختی مبتنی بر 3P	تحلیل موردی ۲۷۲۱ پروژه 3P در شش منطقه در سطح جهان	واگذاری ریسک سلب مالکیت پروژه‌های زیرساختی به دولت احتمال شکست پروژه را کاهش داده و پروژه را مقرون به‌صرفه‌تر می‌کند. این یافته‌ها با ارائه بینش‌های سیاستی، موضوعاتی را درخصوص نحوه مذاکره پروژه‌های زیربنایی در کشورهای در حال توسعه بین بخش خصوصی و دولت‌ها برجسته می‌کند.

[6] Critical success factors

www.SID.ir

Archive of SID

مکی‌آبادی و همکاران (۱۳۹۳) [۲۲]	توسعه روشی جهت شناسایی و ارزیابی ریسک‌های بحرانی پروژه‌های راه‌آهن سریع السیر در ایران مبتنی بر 3P	آنالیزهای چندمتغیره	آماری	ریسک‌های سیاسی و مالی، ریسک‌های قراردادی و شروع پروژه در این پروژه‌ها، ریسک‌های بخش خصوصی و ریسک‌های شرایط محیطی مختص کشورهای در حال توسعه به‌عنوان اصلی‌ترین گروه‌های ریسک شناسایی شد.
رضایی و موسوی (۱۳۹۶) [۲۳]	ارزیابی و رتبه‌دهی ریسک در 3P پروژه‌های تامین آب ایران	روش FMEA و ارزیابی فازی		براساس نتایج ریسک‌های مدیریتی به‌عنوان بحرانی‌ترین و ریسک‌های مالی، حقوقی- سیاسی و فنی- تکنیکی در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.
اسکندری و همکاران (۱۴۰۰) [۲۴]	تعیین روش 3P صنعت آب و فاضلاب ایران بر مبنای الگوریتم‌های جمعی درختی	مدل ترکیبی هوشمند		با در نظر گرفتن انواع روش های پیش پردازش و داده کاوی، روش استکینگ با دقت ۸۶/۲۷ درصد، به عنوان روش مناسب پیش بینی و تعیین نوع قرارداد 3P در اجرای هر پروژه بخش آب و فاضلاب معرفی شد. در بخش پیش‌پردازش نیز روش ترکیبی Connectivity-based Outlier Factor برای حذف داده پرت و شاخص آنتروپی برای انتخاب ویژگی استفاده شد.
میرمعزی و صبحیه (۱۴۰۰) [۲۵]	شناسایی و تبیین عوامل موثر بر پیچیدگی محیطی پروژه‌های 3P	استراتژی مطالعه موردی چندگانه برای مطالعه عمیق و میدانی		مهمترین پیامدهای پیچیدگی در محیط پروژه‌های مشارکت آزادراهی ایران، ابتدا افزایش بی اعتمادی و سپس ابهام در تحقق بازگشت سرمایه شناسایی شدند.

۳- روش تحقیق

اعتبار و ارزش قوانین هر علمی وابسته به متدولوژی آن است [۲۶]. روش تحقیق مجموعه‌ای از قواعد، ابزار و راهکارهای معتبر و نظام یافته برای بررسی واقعیت‌ها، کشف محصولات و دستیابی به راه حل مشکل است و آنچه نتایج حاصله از یک تحقیق را ارزشمند می کند، برگزیدن یک روش هدفمند و علمی برای حل مسائل مطرح شده در آن تحقیق می‌باشد [۲۷]. انتخاب روش مناسب در یک تحقیق به نوع مسئله، اهداف مورد نظر و امکانات موجود وابسته است [۲۸].

روش تحقیق حاضر برمبنای سه بخش اصلی شامل هدف تحقیق، نحوه گردآوری داده‌ها و رویکرد آنالیز داده‌ها قابل طبقه‌بندی است. به‌طوری که از جنبه هدف، بنیادی- کاربردی به‌شمار رفته و در راستای حل معضل ریسک در پروژه‌های زیربنایی مبتنی بر روش 3P گام برمی‌دارد و یافته‌های حاصل از این بخش برای سازمان‌های پروژه محور قابل استفاده می‌باشد. از نظر نحوه گردآوری اطلاعات نیز پژوهشی کتابخانه‌ای-میدانی به‌شمار می‌رود که ضمن شناسایی ریسک‌ها ازطریق مطالعات عمیق کتابخانه‌ای، به ارزیابی آنها در پروژه‌های آب و فاضلاب کشور ایران برمبنای مطالعات میدانی پرداخته می‌شود. همچنین رویکرد آنالیز داده‌ها در مقاله حاضر، ترکیبی از کشف (توسط پژوهش کیفی) و تأیید (توسط پژوهش کمی) است. در این رویکرد تلفیقی، ابتدا داده‌های کیفی جهت موشکافی پدیده مورد بررسی، شناسایی و تفکیک ریسک‌ها گردآوری شده و پژوهشگر براساس یافته‌های اولیه کیفی، به گردآوری داده‌های کمی و تعمیم آن به مطالعات میدانی می‌پردازد [۲۹]. دلیل به‌کارگیری این روش در مقاله حاضر، ضعف در پیشینه نظری و تجربی موضوع پژوهش و نیز عدم اجماع پژوهشگران نسبت به ارزیابی ریسک‌های موجود در پروژه‌های 3P در صنعت آب و فاضلاب کشور است.

۳-۱- ابزارو تکنیک‌ها

۳-۱-۱- جامعه آماری و نمونه پژوهش

جامعه هدف پژوهش حاضر دربرگیرنده مجموعه‌ای از متخصصین و مدیران ارشد پروژه‌ها شاغل به کار در پروژه‌های زیربنایی آب و فاضلاب مبتنی بر قرارداد 3P در کشور ایران می‌باشند. با توجه به حجم وسیع جامعه مزبور، نمونه‌گیری به معنای انتخاب تعدادی از افراد یا اعضاء در بین مجموعه وسیعی از افراد _به نحوی که بتوان با مطالعه این مجموعه محدود از افراد، نتایج را به کل افراد مورد نظر تعمیم داد_ ضروری است [۳۰]. در پژوهش حاضر، نمونه‌گیری با روش تصادفی کوکران و قضاوتی هدفمند بر روی تعداد جامعه آماری نامحدود انجام شده و حجم نمونه (پنل خبرگان) طبق رابطه ۱ تعیین گردیده است.

www.SID.ir

Archive of SID

$$n = \frac{Z_\alpha^2 P(1-P)}{d^2} \quad (۱)$$

در این رابطه، n حجم نمونه، Z_α^2 مقدار متغیر نرمال واحد استاندارد که در سطح اطمینان ۸۰ درصد ۱,۲۸۲ می باشد. P مقدار نسبت صفت موجود در جامعه (برابر ۰,۵) و d نیز مقدار اشتباه مجاز معمولاً برابر ۰/۰۹۹ می‌باشد [۳۱].

طبق رابطه فوق، جامعه آماری مشتمل بر ۴۲ نفر از خبرگان تعیین گردیده است. این متخصصین به‌گونه‌ای انتخاب شده‌اند که به سه خصوصیت اصلی (۱) دانش و تجربه در حوزه ریسک در پروژه‌های 3P آب و فاضلاب، (۲) تمایل و زمان کافی برای شرکت در نظرسنجی و (۳) مهارت‌های ارتباطی مؤثر مجهز بوده‌اند. اطلاعات جمعیت شناختی افراد منتخب به‌عنوان پنل خبرگان برحسب سه خصوصیت تحصیلات، سابقه و تجربه کاری و میزان مهارت و تخصص در جدول ۲ آمده است.

۳-۱-۲- پرسشنامه و اعتبارسنجی آن

تاکنون در تحقیقات زیادی از ابزار پرسشنامه برای ارزیابی و تحلیل ریسک در پروژه‌های 3P بهره گرفته شده است [1، 3، 8، 11 و 13]. با تبعیت از تحقیقات قبلی در مقاله حاضر نیز از ابزار پرسشنامه برحسب گویه‌ها (ریسک‌های شناسایی شده) به‌صورت بسته‌پاسخ و مبتنی بر مقیاس لیکرت پنج نقطه‌ای با فرم فازی جهت ارزیابی ریسک‌ها بهره گرفته شده است. این پرسشنامه‌ها ازطریق لینک آنلاین در شبکه‌های اجتماعی، ارسال پست الکترونیکی و حضوری، سه بار در بین پنل خبرگان پخش شده و در هر بار، توزیع مربوط به یکی از اجزای عدد اولویت ریسک (احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف) برحسب مقیاس پنج گزینه‌ای تعیین شد. در این مقیاس یک طیف از عبارت‌های زبانی مبهم از اهمیت کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد و خطرناک برای تعیین اهمیت ریسک‌ها برمبنای سه شاخص احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف در نظر گرفته شده است. سپس از ترکیب تکنیک‌های FD و FMEA برای ارزیابی اولیه ریسک‌ها بهره گرفته شده که در ادامه جزئیات مربوط به این روش‌ها تشریح گردیده است.

جدول ۲: اطلاعات جمعیت شناختی پنل خبرگان

پارامتر	مؤلفه	فراوانی	درصد فراوانی
تحصیلات	کارشناسی	۱۲	۲۸/۵۷
	کارشناسی ارشد	۲۳	۵۴/۷۶
	دکترا و بالاتر	۷	۱۶/۶۷
سابقه و تجربه کاری	بین ۵ تا ۱۰ سال	۲۱	۵۰
	بین ۱۰ تا ۲۰ سال	۱۴	۳۳/۳۳
	بیش از ۲۰ سال	۷	۱۶/۶۷
مهارت و تخصص	تعداد ورکشاپ‌ها و سمینارهای آموزشی مرتبط با تحلیل ریسک	حداقل ۳۳	
	تعداد مشارکت در پروژه‌های زیربنایی آب و فاضلاب	حداقل ۲۴	
	تعداد مشارکت در تحلیل ریسک پروژه‌های 3P آب و فاضلاب	حداقل ۲۱	

برای اعتبارسنجی پرسشنامه‌های تهیه شده در تحقیق حاضر، اقدام به تعیین روایی و پایایی آنها شده است. روایی میزان توانایی ابزار مورد استفاده در اندازه‌گیری صحیح خصوصیت مورد نظر را تعیین می‌نماید [27]. روش‌های مختلفی برای تعیین روایی وجود دارد که در تحقیق حاضر ار روش روایی محتوایی برای تعیین اعتبار پرسشنامه بهره گرفته شده است. در این روش، پاسخ به سؤالاتی همچون آیا همه ریسک‌های اصلی با پرسشنامه طراحی شده قابل اندازه‌گیری هستند؟ آیا پرسشنامه همان چیزی را که باید بررسی می‌کند؟ پاسخ به این سوالات براساس دورهای اول و دوم تکنیک FD و تهیه لیست اولیه از ریسک‌ها و حذف و اضافه کردن ریسک‌های دارای محتوای تکراری مطابق با نظرات خبرگان صورت گرفته و روایی پرسشنامه‌ها تایید شده است. پایایی نیز همبستگی میان یک مجموعه از نمرات و مجموعه دیگری از نمرات در یک آزمون معادل است که به‌صورت مستقل در یک گروه آزمودنی تعیین می‌گردد. روش‌های مختلفی برای تعیین پایایی پرسشنامه وجود دارد که در تحقیق حاضر از رایج‌ترین این روش‌ها یعنی آزمون آلفای کرونباخ با تعیین ضریب پایایی R_α [26]

www.SID.ir

Archive of SID

برحسب گروه‌های اصلی ریسک بهره گرفته شده است. برحسب نتایج مقدار R_α برای تمامی گروه‌ها بالاتر از ۰/۷ تعیین و این موضوع نشان‌دهنده سازگاری و قوام پرسشنامه طراحی شده از نظر پایایی می‌باشد.

۳-۱-۲- رویکرد فازی در نظرسنجی

در یک برنامه نظرسنجی، خبرگان از قابلیت‌های ذهنی خود برای ارائه نظرات استفاده می‌کنند؛ اما با توجه به این حقیقت که ذهن انسان از توانایی کامل برای کمی‌سازی نظرات برخوردار نیست، از همین رو قضاوت بشر عموماً با درجه‌ای از عدم قطعیت همراه است. در شرایط وجود عدم قطعیت در داده‌ها، استفاده از رویکردهای فازی برای اطمینان از دقت نتایج جهت تصمیم‌گیری در مسائل دنیای واقعی ضروری است [۳۲]. ماهیت منطق فازی در یک مسئله تصمیم‌گیری بر این اصل استوار است که علاوه بر لحاظ نمودن تفاوت‌های نسبی اثر نظرات در دستیابی به پاسخ، ابهام موجود در برخی نظرات کیفی و کمی نیز در پاسخ‌ها جای می‌گیرد [۳۳]. در این رویکرد، می‌توان تأثیر قضاوت تصمیم‌گیرندگان که عموماً تحت شرایط نامعلوم با استفاده از واژگان غیردقیق، اتفاقات و اشیای فازی را محدود می‌کنند را کمی نمود [۳۴]. برای مقابله با عدم قطعیت ناشی از ابهام در تصمیم‌گیری، نظریه مجموعه‌های فازی[۷] توسط زاده (۱۹۶۵) بنا نهاده شد [۳۵]. این نظریه قادر است در شرایط عدم اطمینان، بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌های مبهم را به‌صورت ریاضی بیان نماید. این نظریه زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم می‌آورد [۳۶]. مجموعه فازی دسته‌ای از اشیاء است که دارای درجه عضویت پیوسته است. چنین مجموعه‌ای با یک تابع عضویت مشخص می‌شود که به هر شی درجه‌ای از عضویت بین ۰ تا ۱ اختصاص می‌دهد [۳۷]. تعریف تابع عضویت در مجموعه‌های فازی بستگی به زمینه کاربرد آنها دارد. براساس این نظریه، یک عدد فازی به‌صورت مجموعه فازی خاصی مطابق با معادله ۲ می‌باشد که در آن x مقادیر حقیقی عضو مجموعه R دارای تابع عضویت $\mu_{\tilde{A}}(x)$ را می‌پذیرد.

$$\tilde{A} = x \in R / \mu_{\tilde{A}}(x) \qquad (۲)$$

در ادبیات نظریه مجموعه‌های فازی، چند تابع عضویت استاندارد معرفی شده که یکی از پرکاربردترین آنها، تابع عضویت مثلثی است [۳۸]. مطابق شکل ۱، یک عدد فازی مثلثی[۸] (TFN)، $A(a^l, a^m, a^u)$ عددی با تابع عضویت تکه‌ای خطی μ_A است که به صورت معادله ۳ تعریف می‌شود.

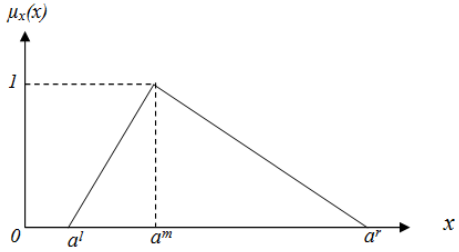
$$\mu_A(x) = \begin{cases} (x-a^l)/(a^m-a^l) & a^l \le x < a^m \\ 1 & x = a^m \\ (a^u-x)/(a^u-a^m) & a^m < x \le a^u \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad (۳)$$

پارامترهای a^l، a^m و a^u به‌ترتیب نشان‌دهنده کران پایین (کمترین)، کران محتمل (امیدوارکننده‌ترین) و کران بالا (بزرگترین) مقدار ممکن است که یک رویداد فازی را توصیف می‌کند. طبق قرارداد وقتی که $a^l = a^m = a^u$ باشد، A یک عدد غیرفازی است. عملیات جبری بر روی دو عدد فازی مثلثی را می‌توان در مراجع یافت [37]. استفاده از اعداد فازی در ارزیابی‌های کیفی تصمیم‌گیرنده برای بیان ارزش یک شی به سهولت امکان‌پذیر است. از همین رو، استفاده از اعداد فازی در روش‌های تصمیم‌گیری گسترش زیادی یافته است [۳۹].

[7] Fuzzy sets
[8] Triangular Fuzzy Number

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱: (الف) تابع عضویت مثلثی و توابع عضویت فازی [38]

۳-۲- فرآیند حل مسئله

فرآیند حل مسئله در پژوهش حاضر جهت ارزیابی ریسک در پروژه‌های 3P آب و فاضلاب، مشتمل بر یک پروتکل سه فازه می‌باشد که در ادامه به تشریح هر یک این فازها پرداخته شده است.

۳-۲-۱- فاز اول: تهیه پایگاه داده (شناسایی و تفکیک ریسک‌ها)

در فاز اول مطالعه به منظور تهیه پایگاه داده، اقدام به شناسایی و تفکیک ریسک‌ها شده است. متداول‌ترین تکنیک برای شناسایی و دسته‌بندی ریسک‌ها در پروژه‌های صنعت ساخت، استفاده از یافته‌های حاصل از تحقیقات قبلی، شهود و قضاوت‌های شخصی و تجارب خبرگان است [5 و 13]. در تحقیق حاضر، برای شناسایی ریسک‌ها، همزمان با مطالعه منابع کتابخانه‌ای و مطالعه استانداردها و بخشنامه‌ها درخصوص ریسک در پروژه‌های 3P، اقدام به پیمایش میدانی در پروژه‌های آب و فاضلاب مبتنی بر این روش قراردادی در کشور ایران شده است. بدین منظور ضمن بهره‌گیری از تجارب شخصی محقق، ازطریق برقراری ارتباط، مصاحبه و پرسش و پاسخ با برخی از خبرگان دانشگاهی، مدیران و برنامه‌ریزان شرکت‌های پیمانکاری و مشاوره و کارفرمایی در زمینه اجرای پروژه‌های آب و فاضلاب، اقدام به شناسایی و تفکیک ریسک‌ها گردیده است.

۳-۲-۲- فاز دوم: غربالگری ریسک‌ها با ترکیب تکنیک دلفی فازی (FD) و FMEA

پس از شناسایی و دسته‌بندی ریسک‌ها در فاز قبلی، در این فاز به تحلیل ریسک‌ها با ترکیب تکنیک دلفی فازی (FD) و FMEA پرداخته شده است. هدف از این فاز، پالایش و غربالگری ریسک‌ها جهت استخراج ریسک‌های بحرانی‌تر می‌باشد. تکنیک دلفی یکی از بهترین روش‌های گردآوری نظرات، بینش، تجربه و تصورات متخصصان در ارزیابی یک مسئله با استفاده از پرسشنامه به‌شمار می‌رود [۴۰]. این تکنیک معمولاً در چندین دور انجام گرفته و در انتهای هر دور، اطلاعات بدست آمده تحلیل شده و در دور بعدی داده‌های جدید همراه با سؤالات جدید در اختیار خبرگان قرار می‌گیرد [۴۱].

در تحقیق حاضر ابتدا از تکنیک FD با کسب نظرات ۴۲ نفر از پنل خبرگان برای جمع‌آوری پرسشنامه‌ها در سه دور بهره گرفته شد. در دور اول، ضمن حذف و ادغام ریسک‌های دارای محتوای تکراری و همپوشانی مفهومی از لیست اولیه، مطابق نظرات خبرگان برخی ریسک‌های جامانده و جدید به لیست اضافه شد. در دور دوم، پس از تایید ریسک‌ها، به تفکیک و دسته‌بندی آنها اقدام گردید. در دور سوم با سه مرتبه توزیع پرسشنامه‌ها، از ۴۲ خبره درخواست شد تا میزان احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف (سه شاخص مورد نیاز جهت تحلیل ریسک با روش FMEA که در ادامه توضیحات آنها ذکر شده است) را برای هر یک از ریسک‌ها برحسب عبارت‌های کلامی تعیین نمایند. در مطالعه حاضر، عبارت‌های کلامی به صورت پنج نقطه‌ای متناظر با اعداد فازی مثلثی نشان داده شده در جدول ۳ فازی‌سازی شد. پس از گردآوری نظرات خبرگان از ۴۲ پرسشنامه، میانگین فازی نظرات برای هر یک از ریسک‌ها برمبنای سه شاخص احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف مطابق رابطه ۴ محاسبه گردید. در ادامه مقدار عدد قطعی سه شاخص مذکور برای هر یک از ریسک‌ها با استفاده از فازی‌زدایی مبتنی بر روش مرکز ثقل (رابطه ۵) تعیین شد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳: اعداد فازی مثلثی مبتنی بر طیف لیکرت پنج درجه‌ای [۳۳]

میزان اهمیت (عبارت کلامی)	مقدار فازی	اعداد عدد فازی مثلثی اختصاص داده شده		
		احتمال وقوع	شدت اثر	احتمال کشف
کم (Low)	$\tilde{1}$	(۱، ۱ و ۲)	(۱، ۱ و ۲)	(۸، ۹ و ۱۰)
متوسط (Moderate)	$\tilde{2}$	(۲، ۳ و ۴)	(۲، ۳ و ۴)	(۶، ۷ و ۸)
زیاد (High)	$\tilde{3}$	(۴، ۵ و ۶)	(۴، ۵ و ۶)	(۴، ۵ و ۶)
خیلی زیاد (Very High)	$\tilde{4}$	(۶، ۷ و ۸)	(۶، ۷ و ۸)	(۲، ۳ و ۴)
خطرناک (Dangerous)	$\tilde{5}$	(۸، ۹ و ۱۰)	(۸، ۹ و ۱۰)	(۱، ۱ و ۲)

$$\tilde{\bar{A}} = \left(\bar{a}^l, \bar{a}^m, \bar{a}^u\right) = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} a^l}{n} + \frac{\sum_{i=1}^{n} a^m}{n} + \frac{\sum_{i=1}^{n} a^u}{n}\right) \quad (۴)$$

$$\left.\begin{aligned} x_{\max}^l &= \left(a^l + a^m + a^u\right)/3 \\ x_{\max}^m &= \left(a^l + 4a^m + a^u\right)/6 \\ x_{\max}^u &= \left(a^l + 2a^m + a^u\right)/4 \end{aligned}\right\} \xrightarrow{\text{Crisp number}} \max\left(x_{\max}^l, x_{\max}^m, x_{\max}^u\right) \quad (۵)$$

در ادامه از ترکیب تکنیک FMEA برای تحلیل اولیه ریسک‌ها استفاده شد. این روش یک ابزار نظام‌یافته برپایه کار تیمی است که در تعریف، شناسایی، ارزیابی، پیشگیری، حذف یا کنترل حالات، علل و اثرات ریسک‌های بالقوه موجود در یک سیستم، فرآیند، طرح یا خدمت به‌کار گرفته می‌شود [۴۲]. FMEA یکی از کم‌هزینه‌ترین و در عین حال مطمئن‌ترین روش‌های تحلیلی برای ارزیابی ریسک‌ها و پیش‌بینی اقدامات برای پیشگیری از آنهاست [۴۳ و ۴۴]. به طور کلی ریسک یا زیان حاصل از یک شکست و آثار آن در روش FMEA به سه عامل اصلی (۱) وقوع: احتمالات یا به‌عبارتی تعداد رخداد شکست‌ها، (۲) شدت: ارزیابی و سنجش نتیجه شکست و (۳) کشف: احتمال تشخیص شکست قبل از اثر وقوع آن وابسته است [۴۵]. ارزیابی ریسک در روش FMEA، برحسب پارامتر عدد اولویت ریسک (RPN) مطابق رابطه ۶ انجام می‌شود که حاصلضرب سه عدد احتمال وقوع (O)، شدت اثر (S) و احتمال کشف (D) می‌باشد [۴۶ و ۴۷].

$$RPN = O \times S \times D \quad (۶)$$

با توجه به اطلاعات حاصل از فرآیند، به درجه‌بندی ریسک‌ها برحسب سه عامل مذکور پرداخته می‌شود. این درجه‌بندی با اعداد ۱ تا ۱۰ برای هر یک از سه شاخص احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف در نظر گرفته می‌شود. بر همین اساس، *RPN* از ۱ تا ۱۰۰۰ متغیر بوده و رهنمودهای متداول در تحلیل ریسک‌ها با تکنیک FMEA شامل (۱) تصمیم‌گیری با امتیازدهی RPNها و (۲) اولویت‌بندی انجام اقدامات اصلاحی برای ریسک‌ها با RPN بالاتر به‌عنوان ریسک‌های بحرانی‌تر می‌باشند [۳۸، ۴۷ و ۴۸].

۳-۲-۳- فاز سوم: تعیین سطح ریسک کل با روش ارزیابی مصنوعی فازی (FSE)

به منظور اطمینان از اثربخشی نتایج در یک فرایند ارزیابی ریسک، ارزیابی تمام ریسک‌های موجود ضروری است [۴۹]. این در حالی است که با توجه به ازدیاد ریسک‌های پروژه‌های صنعت آب و فاضلاب مبتنی بر روش 3P استخراج شده از فاز قبلی، امکان بروز خطا در آنالیزهای کمی برای ارزیابی ریسک‌ها بسیار بالاست. برای حل این مشکل بهتر است از روش‌های تلفیقی تصمیم‌گیری برای ارزیابی ریسک‌ها بهره جست. علاوه بر این، از آنجایی که مفهوم فاکتورهای ارزیابی در تحلیل‌های پیچیده همچون تحلیل کمی ریسک‌ها در 3P،

www.SID.ir

Archive of SID

اغلب چندلایه و چندسطحی بوده و به‌صورت قطعی قابل بررسی نیست، از اینرو نتایج حاصل از روش FMEA به تنهایی برای تعیین عدم قطعیت‌ها و تعیین سطح ریسک کل کافی نیست [۵۰]. به همین منظور در تحقیق حاضر از روش ارزیابی مصنوعی فازی (FSE) در ترکیب با روش FMEA برای تعیین سطح کل ریسک‌های 3P با خصوصیات چندگانه و چندسطحی بهره گرفته شده است. تکنیک FSE یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره متشکل از پنج مرحله محاسبات اصلی به شرح گام به گام ذیل است [11 و ۵۱]:

در گام اول، جهت تعیین سطح ریسک کل پروژه‌های آب و فاضلاب مبتنی بر 3P با روش FSE، عوامل فرعی یا ریسک‌های بحرانی حاصل از روش FMEA و گروه‌های اصلی در نظر گرفته شده برای ریسک‌ها به‌عنوان عوامل اصلی مورد بررسی در این سیستم در نظر گرفته می‌شود. سپس داده‌های حاصل از آنها به‌صورت دو مجموعه داده شامل $X = \{x_1, x_2, ..., x_i\}$ و $Y = \{y_1, y_2, ..., y_j\}$ به‌ترتیب برای عوامل فرعی بحرانی ریسک و گروه‌های اصلی ریسک تنظیم می‌گردد.

در گام دوم، یک مجموعه چنددرجه‌ای به‌صورت $E = \{e_1, e_2, ..., e_k\}$ برای ارزیابی سه شاخص احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف ریسک‌ها (e_kها تعداد درجات سنجش ریسک‌ها) در نظر گرفته شد.

در گام سوم، براساس نظرات پنل خبرگان یک تابع عضویت مصنوعی فازی (MF) برای هر یک از سطوح ریسک تعیین می‌گردد. لازم به ذکر است که سه سطح تابع عضویت وجود دارد. سطح ۳ به هر یک از عوامل فرعی ریسک، سطح ۲ به هر یک از گروه‌های اصلی ریسک و سطح ۱ نیز به شاخص کلی ریسک اشاره دارد. در این گام با توجه به درجه گزینه‌ها، تابع عضویت سطوح مختلف ریسک برای ارزیابی سه شاخص احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف طبق رابطه ۷ تعریف می‌شود.

$$MF_{u_{in}} = \frac{X_{1u_{in}}}{e_1} + \frac{X_{2u_{in}}}{e_2} + \frac{X_{3u_{in}}}{e_3} + \frac{X_{4u_{in}}}{e_4} + \frac{X_{5u_{in}}}{e_5} \qquad (۷)$$

که در این رابطه، u_{in} نشانگر nامین عامل ریسک در هر گروه خاص ریسک بوده و $X_{ju_{in}}, \forall j \in (e_1, e_2, ..., e_k)$ بیانگر درصد پاسخ به سه شاخص مذکور برای هر یک از ریسک‌هاست.

در ادامه وزن هر یک از ریسک‌های بحرانی (سطح ۳) و گروه‌های اصلی ریسک (سطح ۲) طبق رابطه ۸ تعیین می‌گردد [11].

$$W_i = M_i / \sum_{i=1}^{5} M_i \qquad (۸)$$

که در این رابطه، W_i و M_i به‌ترتیب بیانگر وزن و میانگین به‌دست آمده برای یک ریسک فرعی مرتبط با یک گروه اصلی ریسک منحصر به فرد است. ΣM_i نیز نشان‌دهنده مجموع میانگین به‌دست آمده برای تمام ریسک‌های فرعی بحرانی در تمام گروه‌های اصلی ریسک می‌باشد.

در گام چهارم، برای هر یک از عوامل فرعی ریسک بحرانی وابسته به هر یک از گروه‌های اصلی ریسک، یک ماتریس ارزیابی فازی (D_i) برای سه شاخص احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف طبق رابطه ۹ تشکیل می‌گردد.

$$D_i = W_i \times R_i = \begin{bmatrix} W_{i1} & W_{i2} & \dots & W_{in} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{1u_{i1}} & \dots & \dots & X_{ku_{i1}} \\ X_{1u_{i2}} & \dots & \dots & X_{ku_{i2}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{1u_{in}} & \dots & \dots & X_{ku_{in}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{i1} & d_{i2} & \dots & d_{in} \end{bmatrix} \qquad (۹)$$

www.SID.ir

Archive of SID

به‌طوری که در این رابطه، W_i و R_i به‌ترتیب ماتریس وزن‌ها (حاصل از رابطه ۸) و ماتریس توابع عضویت فازی مصنوعی برای هر یک از عوامل فرعی ریسک بحرانی (سطح ۱) در هر گروه اصلی می‌باشند. ماتریس R_i طبق رابطه ۱۰ تعیین می‌گردد.

$$R_i = \begin{vmatrix} MF_{u_{i1}} \\ MF_{u_{i2}} \\ \dots \\ MF_{u_{in}} \end{vmatrix} = \begin{bmatrix} X_{1u_{i1}} & \dots & \dots & X_{ku_{i1}} \\ X_{1u_{i2}} & \dots & \dots & X_{ku_{i2}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{1u_{in}} & \dots & \dots & X_{ku_{in}} \end{bmatrix} \qquad (۱۰)$$

پس از تعیین D_i برای تمامی عوامل فرعی ریسک، در گام پنجم جهت تعیین ریسک کل به ازای شاخص‌های احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف، ماتریس ارزیابی فازی $\bar{D}_i$ برای هر یک از گروه‌های اصلی ریسک (سطح ۲) طبق رابطه ۱۱ تعریف می‌شود.

$$\bar{D}_i = \bar{W}_{in} \times \bar{R}_i = \begin{bmatrix} \bar{W}_{i1} & \bar{W}_{i2} & \dots & \bar{W}_{in} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & \dots & d_{1k} \\ d_{12} & \dots & \dots & d_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{j1} & \dots & \dots & d_{jk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{d}_{i1} & \bar{d}_{i2} & \dots & \bar{d}_{ik} \end{bmatrix} \qquad (۱۱)$$

به‌طوری که در این رابطه، $\bar{W}_i$ ماتریس وزن‌های فازی و $\bar{R}_i$ نیز ماتریس فازی برای هر یک از گروه‌های اصلی ریسک بوده و طبق رابطه ۱۲ تعیین می‌گردد.

$$\bar{R}_i = \begin{vmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \dots \\ D_j \end{vmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & \dots & d_{1k} \\ d_{12} & \dots & \dots & d_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{j1} & \dots & \dots & d_{jk} \end{bmatrix} \qquad (۱۲)$$

که در این رابطه، D_1 تا D_j به هر یک از گروه‌های اصلی ریسک اختصاص دارند.

ماتریس ارزیابی فازی $\bar{D}_i$ برای سه سطح احتمال وقوع ($\bar{D}_O$)، شدت اثر ($\bar{D}_S$) و احتمال کشف ($\bar{D}_D$) محاسبه شده و با ضرب آن در مقادیر عددی مرتبط با عبارت‌های زبانی، سطح ریسک هر گروه اصلی ریسک به‌ازای سه شاخص مذکور طبق رابطه ۱۳ تعیین می‌گردد.

$$RL_i = \sum_{i=1}^{5} \bar{D}_i \times L = \begin{bmatrix} \bar{d}_{i1} & \bar{d}_{i2} & \dots & \bar{d}_{ik} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 2 \\ 4 \\ 6 \\ 8 \\ 10 \end{bmatrix} \qquad (۱۳)$$

که در این رابطه، RL_i سطوح ریسک مربوط به هر یک از شاخص‌های مذکور بوده و L نیز مقدار عدی مرتبط با عبارت‌های کلامی مبتنی بر نظرات خبرگان است. در ادامه با تبعیت از روابط ارائه شده در تحقیقات قبلی [6 و 11] و ادغام روش FSE با شاخص‌های تکنیک FMEA، مقدار ریسک سطح کل (ORL) طبق رابطه ۱۴ تعیین می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

$$ORL = \sqrt[3]{\left(\sum_{i=1}^{5}\left(\bar{D}_O \times L\right)\right)\times\left(\sum_{i=1}^{5}\left(\bar{D}_S \times L\right)\right)\times\left(\sum_{i=1}^{5}\left(\bar{D}_D \times L\right)\right)} \quad (۱۴)$$

۴- یافته‌ها

۴-۱- نتایج فاز اول: شناسایی ریسک‌های موثر و دسته‌بندی آنها

براساس نتایج فاز اول مطالعه و همچنین دورهای اول و دوم تکنیک FD، پایگاه داده مشتمل بر ۴۹ عامل ریسک در پروژه‌های زیربنایی آب و فاضلاب مبتنی بر قرارداد 3P شناسایی شد. پس از تفکیک نهایی، عوامل ریسک شناسایی شده در ۶ گروه اصلی شامل گروه‌های ریسک فنی (R_1)، اقتصادی (R_2)، سیاسی (R_3)، قوانین (R_4)، محیطی (R_5) و مدیریتی (R_6) طبقه‌بندی گردیدند. در جدول ۴ پایگاه داده مشتمل بر عوامل فرعی و گروه‌های اصلی ریسک‌های شناسایی شده به همراه کد هر یک از آنها آمده است.

جدول ۴: عوامل فرعی و گروه‌های اصلی ریسک پروژه‌های آب و فاضلاب مبتنی بر 3P

گروه اصلی ریسک (کد)	عوامل فرعی ریسک (کد)	گروه اصلی ریسک (کد)	عوامل فرعی ریسک (کد)
فنی و اجرایی (R_1) [1، 4، 10 و 14]	عدم شفافیت مسائل اجرایی و تغییر در مشخصات طرح (R_{1-1})	مالی و اقتصادی (R_2) [8، 15 و 19]	نوسان نرخ ارز، بهره و تورم (R_{2-1})
	عدم تطابق با نقشه‌ها و استانداردهای طراحی (R_{1-2})		هزینه عملیاتی بالا و تغییر قیمت‌ها (R_{2-2})
	نامعلوم بودن وضعیت انتقال و واگذاری تکنولوژی در انتهای قرارداد (R_{1-3})		تغییر نظام مالیاتی (R_{2-3})
	دوباره‌کاری‌های ناشی از اشتباهات و تغییرات (R_{1-4})		تغییر خواسته‌های بازار (R_{2-4})
	کمبود دانش و تجربه (فنی و اجرایی) نزد منابع انسانی (R_{1-5})		صداقت ذینفعان در ادعاهای مالی (R_{2-5})
	تأخیر در ساخت و تکمیل پروژه (R_{1-6})		تخصیص منابع مالی و تعهدات سرمایه‌گذار (R_{2-6})
	ارائه یا تضمین خدمات (R_{1-7})		کمبود نقدینگی به واسطه عدم پرداخت به هنگام مطالبات (R_{2-7})
	اختراعات و ابداعات در فناوری منابع آب (R_{1-8})		تاخیر در تخصیص بودجه دولتی پروژه (R_{2-8})
	تامین مصالح و نیروی کار متخصص (R_{1-9})		جذب یا تغییر سرمایه‌گذار بخش خصوصی (R_{2-9})
			تامین مالی قرارداد و درآمد حاصل از بهره‌برداری (R_{2-10})
سیاسی و حاکمیتی (R_3) [2، 3 و 6]	تغییر دولت میزبان و تغییر خط مشی‌های سیاسی (R_{3-1})	قوانین و مقررات (R_4) [3 و 13]	تغییر در قوانین و دستورالعمل‌ها (R_{4-1})
	تأخیر دولت در شروع قرارداد (R_{3-2})		تغییر در مصوبات قرارداد (R_{4-2})
	لغو امتیاز قرارداد توسط دولت (R_{3-3})		بومی‌سازی و سبک مالکیت (R_{4-3})
	دخالت دولت در عملیات ساخت و بهره‌برداری پروژه (R_{3-4})		عدم وجود رویکرد برد-برد بین طرفین مناقصه (R_{4-4})
	مشکلات فرآیند نظام دولتی در انعقاد قرارداد (R_{3-5})		نبود ساختار مناسب قراردادی (R_{4-5})
	فورس ماژورهای سیاسی (R_{3-6})		طولانی شدن زمان اخذ مجوزها و تمدید آنها (R_{4-6})
	درک فرهنگی حفاظت از منابع آب (R_{3-7})		دستیابی به استانداردهای کمی و کیفی منابع آب (R_{4-7})
محیطی و طبیعی (R_5) [5، 7، 12، 13 و 20]	محدودیت‌ها و آلودگی‌های زیست محیطی (R_{5-1})	مدیریتی و سازمانی (R_6) [2، 3، 6، 10 و 24]	تجارب اجرایی 3P (R_{6-1})
	تغییرات آب و هوایی و الگوی بارندگی (R_{5-2})		وجود تعامل و بروکراسی بین ذینفعان (R_{6-2})
	وقوع بلایای غیرقابل پیش‌بینی طبیعی زلزله، سیل و طوفان، آتش‌سوزی (R_{5-3})		تخصیص منابع (R_{6-3})
	جاری‌سازی دستورالعمل‌های ایمنی (R_{5-4})		کاربرد تکنیک‌ها و فنون مدیریتی نوین (R_{6-4})
	رضایت جمعی بومیان منطقه از اجرای طرح (R_{5-5})		برخورد نهادها و سازمان‌های ذیربط با امر سرمایه‌گذاری (R_{6-5})
	تداوم رویکرد سنتی در اجرای پروژه و مقاومت در برابر 3P (R_{5-6})		تفسیر متفاوت از مفاد قرارداد (R_{6-6})
	استراتژی منطقه‌ای برای هدایت سرمایه‌گذار بومی (R_{5-7})		توانایی تیم پروژه در کنترل درخواست‌های خارج از چارچوب قرارداد (R_{6-7})
			مدیریت، کنترل و بهره‌برداری منسجم از منابع آب (R_{6-8})
			پشتیبانی از زیرساخت‌های منابع آب (R_{6-9})

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۲- نتایج فاز دوم: تعیین ریسک‌های بحرانی با ترکیب تکنیک‌های FD و FMEA

در این فاز نتایج پالایش و غربالگری عوامل فرعی ریسک شناسایی شده جهت تعیین ریسک‌های بحرانی با استفاده از ترکیب تکنیک‌های FD و FMEA در جدول ۵ ارائه شده است. مطابق نتایج، ابتدا مقادیر میانگین فازی نظرات درخصوص میزان احتمال وقوع هر یک از عوامل فرعی ریسک به‌دست آمده و با فازی‌زدایی، مقدار قطعی احتمال وقوع تعیین شد. با انجام فرآیند مشابه، مقادیر قطعی شدت اثر و احتمال کشف عوامل فرعی ریسک نیز محاسبه شد (جزئیات مربوط به کرانه‌های فازی این دو شاخص به منظور خلاصه‌نویسی از جدول مذکور حذف گردیده است). در ادامه از حاصلضرب سه شاخص مذکور مطابق روش FMEA، عدد اولویت ریسک (*RPN*) برای هر ریسک تعیین شد. از آنجا که الگوهای شکست بالقوه همواره وجود دارند، لذا هر سازمان باید از حد و مرز خطرپذیری خود در برابر ریسک‌های بحرانی آگاه باشد. میزان خطرپذیری به سیاست‌های هر سازمان و حدود جدی بودن شکست بستگی دارد و حد قابل تحمل ریسک از جانب مدیریت ارشد سازمان قابل تعریف و تدوین است [43 و۴۱].

در پژوهش حاضر جهت تعیین خطرپذیری ریسک‌های پروژه‌های 3P و اولویت‌بندی آنها جهت تعیین ریسک‌های بحرانی، ابتدا *RPN*های حاصله برای هر یک از عوامل فرعی ریسک طبق رابطه ۱۵ نرمالایز شدند [6 و 11].

$$RPN_{Normalized} = \frac{RPN_{Mean} - RPN_{Min}}{RPN_{Max} - RPN_{Min}} \qquad (۱۵)$$

در این رابطه، RPN_{Mean} مقدار میانگین *RPN*و RPN_{Min} و RPN_{Max} نیز به‌ترتیب کمترین و بیشترین مقدار *RPN* به‌دست آمده برای تمامی ریسک‌ها می‌باشند. پس از نرمال‌سازی با رابطه فوق، هر عامل فرعی ریسک با $RPN_{Normalized}$ مساوی یا بیشتر از ۰/۵ به‌عنوان یک ریسک بحرانی در نظر گرفته می‌شود. نتایج تحلیل ریسک‌های 3P در پروژه‌های آب و فاضلاب با روش FMEA در جدول ۵ و شکل ۲ آمده است. شکل ۲-الف نتایج احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف ریسک‌ها و شکل ۲-ب نتایج رتبه‌بندی ریسک‌ها برحسب $RPN_{Normalized}$ جهت شناسایی ریسک‌های بحرانی مرتبط با هر یک از گروه‌های اصلی ریسک را نشان می‌دهد. برای محاسبه سطح ریسک کل در فاز سوم این ریسک‌ها به‌عنوان ورودی سیستم مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

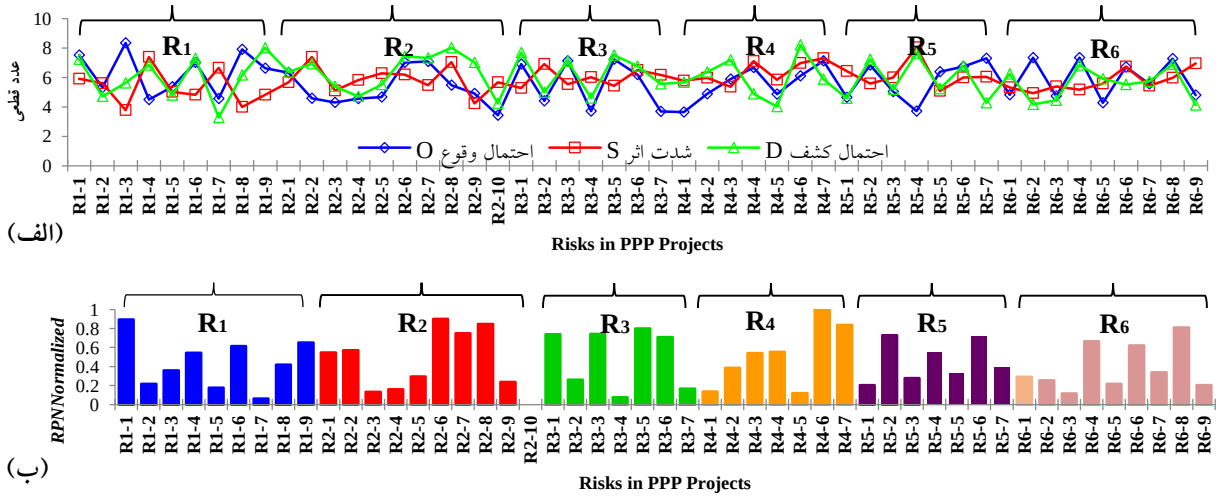
جدول ۵: نتایج میانگین فازی و عدد قطعی متناظر با احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف و رتبه‌بندی عوامل فرعی ریسک

گروه اصلی ریسک	عوامل فرعی ریسک	میانگین فازی نظرات احتمال وقوع			فازی‌زدایی احتمال وقوع			عدد قطعی			*RPN*	$RPN_{Normalized}$	رتبه اولیه	رتبه نهایی
		$\bar{a}^l$	$\bar{a}^m$	$\bar{a}^l$	x^l_{max}	x^m_{max}	x^u_{max}	احتمال وقوع	شدت اثر	احتمال کشف				
R_1	R_{1-1}	۶,۳۳۳	۷,۶۶۷	۸,۱۶۷	۷,۳۸۹	۷,۵۲۸	۷,۴۵۸	۷,۵۲۸	۵,۹۱۷	۷,۲۵۰	۳۲۲,۹۱۰	۰,۸۹۵	۱	۳
	R_{1-2}	۴,۹۱۷	۵,۳۳۳	۵,۶۶۷	۵,۳۰۶	۵,۳۱۹	۵,۳۱۳	۵,۳۱۹	۵,۶۱۱	۴,۷۲۲	۱۴۰,۹۴۹	۰,۲۱۷	۷	۳۷
	R_{1-3}	۷,۵۰۰	۸,۵۰۰	۸,۶۶۷	۸,۲۲۲	۸,۳۶۱	۸,۲۹۲	۸,۳۶۱	۳,۷۹۲	۵,۶۳۹	۱۷۸,۷۶۷	۰,۳۵۸	۶	۲۷
	R_{1-4}	۴,۰۰۰	۴,۳۳۳	۵,۱۶۷	۴,۵۰۰	۴,۴۱۷	۴,۴۵۸	۴,۵۰۰	۷,۴۰۳	۶,۸۶۱	۲۲۸,۵۶۱	۰,۵۴۴	۴	۲۲
	R_{1-5}	۴,۰۸۳	۵,۵۰۰	۶,۱۶۷	۵,۲۵۰	۵,۳۷۵	۵,۳۱۳	۵,۳۷۵	۵,۰۲۸	۴,۸۰۶	۱۲۹,۸۶۷	۰,۱۷۶	۸	۴۰
	R_{1-6}	۵,۸۳۳	۷,۱۶۷	۷,۶۶۷	۶,۸۸۹	۷,۰۲۸	۶,۹۵۸	۷,۰۲۸	۴,۸۱۹	۷,۳۰۶	۲۴۷,۴۳۹	۰,۶۱۴	۳	۱۷
	R_{1-7}	۴,۳۳۳	۴,۵۰۰	۴,۸۳۳	۴,۵۵۶	۴,۵۲۸	۴,۵۴۲	۴,۵۵۶	۶,۶۵۳	۳,۲۷۸	۹۹,۳۴۰	۰,۰۶۲	۹	۴۸
	R_{1-8}	۷,۳۳۳	۸,۰۰۰	۸,۱۶۷	۷,۸۳۳	۷,۹۱۷	۷,۸۷۵	۷,۹۱۷	۴,۰۰۰	۶,۱۶۷	۱۹۵,۲۷۸	۰,۴۲۰	۵	۲۴
	R_{1-9}	۵,۵۰۰	۶,۸۳۳	۷,۰۰۰	۶,۴۴۴	۶,۶۳۹	۶,۵۴۲	۶,۶۳۹	۴,۸۳۳	۸,۰۲۸	۲۵۷,۵۹۵	۰,۶۵۲	۲	۱۵
R_2	R_{2-1}	۵,۱۶۷	۶,۵۰۰	۶,۸۳۳	۶,۱۶۷	۶,۳۳۳	۶,۲۵۰	۶,۳۳۳	۵,۶۸۱	۶,۳۷۵	۲۲۹,۳۵۲	۰,۵۴۷	۵	۲۱
	R_{2-2}	۳,۷۵۰	۴,۶۶۷	۵,۱۶۷	۴,۵۲۸	۴,۵۹۷	۴,۵۶۳	۴,۵۹۷	۷,۳۸۹	۶,۹۴۴	۲۳۵,۸۹۱	۰,۵۷۱	۴	۱۸
	R_{2-3}	۳,۸۳۳	۴,۳۳۳	۴,۶۶۷	۴,۲۷۸	۴,۳۰۶	۴,۲۹۲	۴,۳۰۶	۵,۱۱۱	۵,۳۸۹	۱۱۸,۵۸۹	۰,۱۳۴	۹	۴۴
	R_{2-4}	۳,۸۳۳	۴,۶۶۷	۴,۸۳۳	۴,۴۴۴	۴,۵۵۶	۴,۵۰۰	۴,۵۵۶	۵,۸۳۳	۴,۷۲۲	۱۲۵,۴۸۹	۰,۱۶۰	۸	۴۲
	R_{2-5}	۴,۱۶۷	۴,۵۰۰	۵,۳۳۳	۴,۶۶۷	۴,۵۸۳	۴,۶۲۵	۴,۶۶۷	۶,۲۹۲	۵,۵۲۸	۱۶۲,۳۰۲	۰,۲۹۷	۶	۳۰
	R_{2-6}	۶,۰۰۰	۷,۱۶۷	۷,۵۰۰	۶,۸۸۹	۷,۰۲۸	۶,۹۵۸	۷,۰۲۸	۶,۲۰۸	۷,۴۴۴	۳۲۴,۸۰۷	۰,۹۰۲	۱	۲
	R_{2-7}	۶,۱۶۷	۷,۱۶۷	۷,۶۶۷	۷,۰۰۰	۷,۰۸۳	۷,۰۴۲	۷,۰۸۳	۵,۴۷۲	۷,۳۳۳	۲۸۴,۲۵۲	۰,۷۵۱	۳	۸
	R_{2-8}	۵,۰۰۰	۵,۵۰۰	۵,۸۳۳	۵,۴۴۴	۵,۴۷۲	۵,۴۵۸	۵,۴۷۲	۷,۰۵۶	۸,۰۲۸	۳۰۹,۹۴۹	۰,۸۴۷	۲	۴

www.SID.ir

Archive of SID

	R_{2-9}	۴,۲۵۰	۴,۸۳۳	۵,۶۶۷	۴,۹۱۷	۴,۸۷۵	۴,۸۹۶	۴,۹۱۷	۴,۲۵۰	۰,۲۳۹	۷	۳۵
	R_{2-10}	۲,۴۱۷	۳,۵۰۰	۴,۱۶۷	۳,۳۶۱	۳,۴۳۱	۳,۳۹۶	۳,۴۳۱	۴,۲۵۰	۰,۰۰۰	۱۰	۴۹
R_3	R_{3-1}	۶,۰۰۰	۷,۰۰۰	۷,۵۰۰	۶,۸۳۳	۶,۸۷۵	۶,۸۷۵	۶,۹۱۷	۵,۲۷۸	۰,۷۳۹	۳	۱۰
	R_{3-2}	۳,۷۵۰	۴,۳۳۳	۵,۱۶۷	۴,۴۱۷	۴,۳۷۵	۴,۳۹۶	۴,۴۱۷	۶,۹۱۷	۰,۲۶۱	۵	۳۳
	R_{3-3}	۶,۶۶۷	۷,۱۶۷	۷,۵۰۰	۷,۱۱۱	۷,۱۳۹	۷,۱۲۵	۷,۱۳۹	۵,۵۵۶	۰,۷۴۳	۲	۹
	R_{3-4}	۳,۰۰۰	۳,۶۶۷	۴,۵۰۰	۳,۷۲۲	۳,۶۹۴	۳,۷۰۸	۳,۷۲۲	۶,۰۱۴	۰,۰۷۷	۷	۴۷
	R_{3-5}	۶,۶۶۷	۷,۳۳۳	۷,۵۰۰	۷,۱۶۷	۷,۲۵۰	۷,۲۰۸	۷,۲۵۰	۵,۴۴۴	۰,۷۹۹	۱	۷
	R_{3-6}	۵,۱۶۷	۶,۳۳۳	۶,۶۶۷	۶,۰۵۶	۶,۱۹۴	۶,۱۲۵	۶,۱۹۴	۶,۵۰۰	۰,۷۰۹	۴	۱۳
	R_{3-7}	۳,۴۱۷	۳,۶۶۷	۴,۰۰۰	۳,۶۹۴	۳,۶۸۱	۳,۶۸۸	۳,۶۹۴	۶,۱۸۱	۰,۱۶۶	۶	۴۱
R_4	R_{4-1}	۳,۰۸۳	۳,۶۶۷	۴,۱۶۷	۳,۶۳۹	۳,۶۵۳	۳,۶۴۶	۳,۶۵۳	۵,۷۷۸	۰,۱۳۸	۷	۴۳
	R_{4-2}	۴,۱۶۷	۵,۰۰۰	۵,۱۶۷	۴,۷۷۸	۴,۸۸۹	۴,۸۳۳	۴,۸۸۹	۵,۹۸۶	۰,۳۸۷	۵	۲۶
	R_{4-3}	۵,۱۶۷	۶,۰۰۰	۶,۱۶۷	۵,۷۷۸	۵,۸۸۹	۵,۸۳۳	۵,۸۸۹	۵,۳۶۱	۰,۵۴۰	۴	۲۳
	R_{4-4}	۵,۳۳۳	۶,۸۳۳	۷,۳۳۳	۶,۵۰۰	۶,۶۶۷	۶,۵۸۳	۶,۶۶۷	۷,۱۱۱	۰,۵۵۶	۳	۱۹
	R_{4-5}	۴,۰۸۳	۵,۰۰۰	۵,۱۶۷	۴,۷۵۰	۴,۸۷۵	۴,۸۱۳	۴,۸۷۵	۵,۸۴۷	۰,۱۲۰	۷	۴۵
	R_{4-6}	۵,۱۶۷	۶,۱۶۷	۶,۸۳۳	۶,۰۵۶	۶,۱۱۱	۶,۰۸۳	۶,۱۱۱	۶,۹۸۶	۱,۰۰۰	۱	۱
	R_{4-7}	۶,۳۳۳	۷,۱۶۷	۷,۸۳۳	۷,۱۱۱	۷,۱۳۹	۷,۱۲۵	۷,۱۳۹	۷,۳۰۶	۰,۸۳۶	۲	۵
R_5	R_{5-1}	۴,۰۸۳	۴,۶۶۷	۵,۱۶۷	۴,۶۳۹	۴,۶۵۳	۴,۶۴۶	۴,۶۵۳	۶,۴۳۱	۰,۲۰۳	۷	۳۹
	R_{5-2}	۶,۰۰۰	۷,۰۰۰	۷,۱۶۷	۶,۷۲۲	۶,۸۶۱	۶,۷۹۲	۶,۸۶۱	۵,۵۹۷	۰,۷۲۹	۱	۱۱
	R_{5-3}	۴,۵۰۰	۵,۰۰۰	۵,۶۶۷	۵,۰۵۶	۵,۰۲۸	۵,۰۴۲	۵,۰۵۶	۶,۰۰۰	۰,۲۷۹	۶	۳۲
	R_{5-4}	۳,۰۰۰	۳,۶۶۷	۴,۵۰۰	۳,۷۲۲	۳,۶۹۴	۳,۷۰۸	۳,۷۲۲	۸,۰۵۶	۰,۵۴۹	۳	۲۰
	R_{5-5}	۵,۵۰۰	۶,۵۰۰	۶,۸۳۳	۶,۲۷۸	۶,۳۸۹	۶,۳۳۳	۶,۳۸۹	۵,۰۹۷	۰,۳۲۹	۵	۲۹
	R_{5-6}	۵,۸۳۳	۶,۸۳۳	۷,۳۳۳	۶,۶۶۷	۶,۷۵۰	۶,۷۰۸	۶,۷۵۰	۶,۰۰۰	۰,۷۱۵	۲	۱۲
	R_{5-7}	۶,۱۶۷	۷,۵۰۰	۷,۶۶۷	۷,۱۱۱	۷,۳۰۶	۷,۲۰۸	۷,۳۰۶	۶,۰۵۶	۰,۳۹۷	۴	۲۵
R_6	R_{6-1}	۴,۱۶۷	۴,۸۳۳	۵,۵۰۰	۴,۸۳۳	۴,۸۳۳	۴,۸۳۳	۴,۸۳۳	۵,۳۳۳	۰,۲۹۲	۵	۳۱
	R_{6-2}	۶,۵۰۰	۷,۵۰۰	۷,۶۶۷	۷,۲۲۲	۷,۳۶۱	۷,۲۹۲	۷,۳۶۱	۴,۹۳۱	۰,۲۵۶	۶	۳۴
	R_{6-3}	۴,۰۰۰	۴,۸۳۳	۵,۱۶۷	۴,۶۶۷	۴,۷۵۰	۴,۷۰۸	۴,۷۵۰	۵,۳۸۹	۰,۱۱۷	۹	۴۶
	R_{6-4}	۶,۵۰۰	۷,۵۰۰	۷,۶۶۷	۷,۲۲۲	۷,۳۶۱	۷,۲۹۲	۷,۳۶۱	۵,۱۶۷	۰,۶۶۴	۲	۱۴
	R_{6-5}	۳,۶۶۷	۴,۳۳۳	۴,۶۶۷	۴,۲۲۲	۴,۲۷۸	۴,۲۵۰	۴,۲۷۸	۵,۵۸۳	۰,۲۱۹	۷	۳۶
	R_{6-6}	۵,۶۶۷	۶,۸۳۳	۷,۳۳۳	۶,۶۱۱	۶,۷۲۲	۶,۶۶۷	۶,۷۲۲	۶,۷۳۶	۰,۶۲۲	۳	۱۶
	R_{6-7}	۴,۹۱۷	۵,۶۶۷	۵,۸۳۳	۵,۴۷۲	۵,۵۶۹	۵,۵۲۱	۵,۵۶۹	۵,۴۳۱	۰,۳۴۰	۴	۲۸
	R_{6-8}	۶,۳۳۳	۷,۳۳۳	۸,۰۰۰	۷,۲۲۲	۷,۲۷۸	۷,۲۵۰	۷,۲۷۸	۵,۹۷۲	۰,۸۱۰	۱	۶
	R_{6-9}	۴,۵۸۳	۴,۶۶۷	۵,۱۶۷	۴,۸۰۶	۴,۷۳۶	۴,۷۷۱	۴,۸۰۶	۶,۹۵۸	۰,۲۰۶	۸	۳۸



(الف)

(ب)

شکل ۲: نتایج تحلیل ریسک‌های 3P در پروژه‌های آب و فاضلاب با روش FMEA: (الف) احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف ریسک‌ها، (ب) رتبه‌بندی ریسک‌ها برحسب $RPN_{Normalized}$

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۳- نتایج فاز سوم: تعیین سطح ریسک کل با روش ارزیابی مصنوعی فازی (FSE)

در این فاز نتایج تحلیل FSE برای تعیین سطح ریسک کل پروژه‌های آب و فاضلاب مبتنی بر 3P مورد بحث قرار گرفته است. در گام اول این روش، دو مجموعه متمایز $X = \{x_1, x_2, ..., x_{23}\}$ و $Y = \{y_1, y_2, ..., y_6\}$ در نظر گرفته شد که x_iها و y_iها به‌ترتیب نشان‌دهنده ۲۳ عامل بحرانی ریسک و ۶ گروه اصلی دربرگیرنده آنها می‌باشند. در گام دوم با توجه به عبارت‌های کلامی پنج نقطه‌ای متناظر با اعداد فازی مثلثی برای سنجش اهمیت ریسک‌ها، یک مجموعه پنج درجه‌ای $E = \{e_1, e_2, ..., e_5\}$ برای ارزیابی سه شاخص احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف ریسک‌ها به‌صورت کم (e_1)، متوسط (e_2)، زیاد (e_3)، خیلی زیاد (e_4) و خطرناک (e_5) در نظر گرفته شد. در گام سوم با در نظر گرفتن نظرات متخصصین دلفی و طبق رابطه ۷، یک تابع عضویت فازی برای هر یک عوامل فرعی و گروه‌های اصلی ریسک تعیین شد. به طور مثال نتایج نظرسنجی درخصوص ریسک کمبود نقدینگی به واسطه عدم پرداخت به هنگام مطالبات ($R_{2\text{-}7}$) نشان می‌دهد که ۰٪ از پاسخ‌دهندگان، احتمال وقوع این ریسک را کم، ۸,۳٪ متوسط، ۳۳,۴٪ زیاد، ۰٪ خیلی زیاد و ۵۸,۳٪ خطرناک دانسته‌اند. بنابراین تابع عضویت فازی برای احتمال وقوع این ریسک طبق رابطه ۱۶ قابل تعیین است.

$$MF_{u_{2\text{-}7(O)}} = \frac{0.00}{e_1} + \frac{0.083}{e_2} + \frac{0.334}{e_3} + \frac{0.0}{e_4} + \frac{0.583}{e_5} = \frac{0.00}{1} + \frac{0.083}{2} + \frac{0.334}{3} + \frac{0.00}{4} + \frac{0.583}{5} \qquad (۱۶)$$

رابطه اخیر به شکل (۰,۰۰، ۰,۰۸۳، ۰,۳۳۴، ۰,۰، ۰,۵۸۳) قابل بازنویسی است. به‌طور مشابه با جمع‌آوری نتایج نظرسنجی خبرگان دلفی درخصوص شدت اثر و احتمال کشف ریسک $R_{2\text{-}7}$، تابع عضویت فازی برای دو شاخص مذکور در این ریسک طبق روابط ۱۷ و ۱۸ تعیین شده است.

$$MF_{u_{2\text{-}7(S)}} = \frac{0.167}{e_1} + \frac{0.083}{e_2} + \frac{0.333}{e_3} + \frac{0.167}{e_4} + \frac{0.25}{e_5} = \frac{0.167}{1} + \frac{0.083}{2} + \frac{0.333}{3} + \frac{0.167}{4} + \frac{0.25}{5} \qquad (۱۷)$$

$$MF_{u_{2\text{-}7(D)}} = \frac{0.083}{e_1} + \frac{0.0}{e_2} + \frac{0.167}{e_3} + \frac{0.083}{e_4} + \frac{0.583}{e_5} = \frac{0.083}{1} + \frac{0.0}{2} + \frac{0.167}{3} + \frac{0.083}{4} + \frac{0.583}{5} \qquad (۱۸)$$

نتایج توابع عضویت فازی به‌دست آمده برحسب سه شاخص احتمال وقوع (MF_O)، شدت اثر (MF_S) و احتمال کشف (MF_D) برای عوامل فرعی ریسک‌های بحرانی (سطح ۳) و گروه‌های اصلی ریسک (سطح ۲) در پروژه‌های آب و فاضلاب 3P در جدول ۶ ارائه شده است. در این جدول همچنین نتایج به‌دست آمده برای میانگین (M_i) و وزن سه شاخص احتمال وقوع (W_{iO})، شدت اثر (W_{iS}) و احتمال کشف (W_{iD}) مربوط به هر یک از عوامل فرعی بحرانی و گروه‌های اصلی ریسک طبق رابطه ۸ آمده است.

در گام بعدی، به منظور تعیین سطح بحرانی بودن گروه‌های اصلی ریسک در پروژه‌های 3P، ماتریس ارزیابی فازی (D_i) برای هر یک از عوامل فرعی ریسک بحرانی وابسته به هر گروه اصلی به ازای سه شاخص احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف تشکیل شد که نتایج آن در جدول ۷ آمده است. به طور مثال ماتریس ارزیابی (D_i) برای شاخص احتمال وقوع گروه اصلی دوم ریسک ($D_{2(O)}$) یعنی ریسک‌های مالی و اقتصادی (R_2) طبق رابطه ۱۹ تشکیل شده است.

$$D_{2(O)} = W_{2(O)} \times R_{2(O)} = \begin{bmatrix} 0.21 & 0.16 & 0.23 & 0.23 & 0.18 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0.084 & 0.333 & 0.333 & 0.25 \\ 0.25 & 0.167 & 0.25 & 0.167 & 0.167 \\ 0 & 0.166 & 0 & 0.417 & 0.417 \\ 0 & 0.083 & 0.334 & 0 & 0.583 \\ 0 & 0.417 & 0.083 & 0.333 & 0.167 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.04 \\ 0.177 \\ 0.202 \\ 0.253 \\ 0.339 \end{bmatrix} \qquad (۱۹)$$

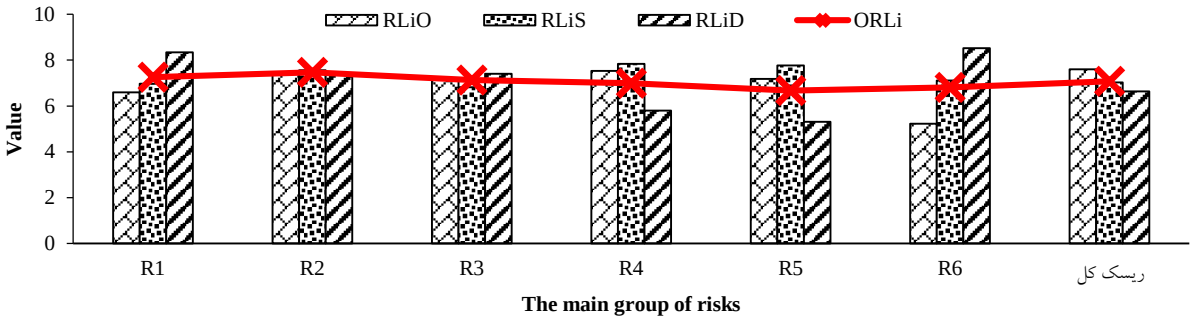
www.SID.ir

Archive of SID

پس از تعیین D_i به ازای تمامی عوامل فرعی ریسک بحرانی، جهت تعیین ریسک کل در هر شاخص (احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف)، ماتریس ارزیابی فازی $\overline{D}_i$ برای هر یک از گروه‌های اصلی و به ازای سه شاخص مذکور طبق رابطه ۱۱ تعیین شد که نتایج آن در ستون انتهایی جدول ۷ آمده است. به‌طور مثال ماتریس ارزیابی ($\overline{D}_i$) برای شاخص شدت اثر گروه اصلی دوم ریسک ($\overline{D}_{2(S)}$) طبق رابطه ۲۰ تشکیل شده است.

$$\overline{D}_{2(S)} = \overline{W}_{2(S)} \times \overline{R}_{2(S)} = \begin{bmatrix} 0.21 & 0.15 & 0.15 & 0.17 & 0.17 & 0.16 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0.083 & 0.167 & 0.167 & 0.583 \\ 0.083 & 0.333 & 0.167 & 0.333 & 0.083 \\ 0.167 & 0.167 & 0.333 & 0.083 & 0.25 \\ 0.5 & 0.083 & 0.167 & 0 & 0.25 \\ 0.083 & 0.25 & 0 & 0.5 & 0.167 \\ 0.167 & 0.083 & 0.333 & 0.167 & 0.25 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.121 \\ 0.148 \\ 0.192 \\ 0.223 \\ 0.326 \end{bmatrix} \quad (۲۰)$$

پس از تعیین ماتریس‌های ارزیابی فازی برای گروه‌های اصلی ریسک سطح ۲ (D_i) و ریسک کل سطح ۱ ($\overline{D}_i$) به‌ازای شاخص‌های احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف، در ادامه مقادیر RL_i و ORL_i برای سطوح مختلف ریسک در پروژه‌های 3P آب و فاضلاب کشور و به‌ازای هر یک از شاخص‌های مذکور طبق روابط ۱۳ و ۱۴ تعیین شد که نتایج آن در جدول ۸ و شکل ۳ آمده است.



شکل ۳: نتایج سطوح مختلف ریسک (RL_i و ORL_i) برای گروه‌های اصلی ریسک‌های بحرانی در پروژه‌های آب و فاضلاب 3P

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶: نتایج توابع عضویت فازی برحسب سه شاخص احتمال وقوع (MF_O)، شدت اثر (MF_S) و احتمال کشف (MF_D)، میانگین (M_i) و وزن‌های سه شاخص احتمال وقوع (W_{iO})، شدت اثر (W_{iS}) و احتمال کشف (W_{iD}) برای عوامل فرعی ریسک‌های بحرانی (سطح ۳) و گروه‌های اصلی ریسک (سطح ۲)

گروه اصلی ریسک	عوامل فرعی ریسک	تابع عضویت فازی سطح ۳ (عوامل فرعی ریسک) و سطح ۲ (گروه‌های اصلی ریسک)			میانگین			وزن		
		احتمال وقوع (O)	شدت اثر (S)	احتمال کشف (D)	O	S	D	O	S	D
		MF_O	MF_S	MF_D	M_{iO}	M_{iS}	M_{iD}	W_{iO}	W_{iS}	W_{iD}
R1		(0, 0, 0.333, 0, 0.667)	(0, 0.083, 0.167, 0.167, 0.583)	(0.25, 0.083, 0.25, 0, 0.417)	8.67	8.50	6.50	0.20	0.21	0.17
	R_{1-1}	(0, 0, 0.33, 0, 0.67)	(0, 0.17, 0.417, 0.083, 0.33)	(0.17, 0, 0.417, 0.083, 0.33)	8.67	6.83	8.33	0.25	0.25	0.25
	R_{1-4}	(0, 0, 0.083, 0.083, 0.833)	(0.083, 0, 0, 0.417, 0.5)	(0.083, 0, 0, 0.417, 0.50)	9.50	8.50	8.00	0.28	0.31	0.24
	R_{1-6}	(0, 0.083, 0.33, 0.0.583)	(0.167, 0.083, 0.583, 0, 0.167)	(0, 0, 0.333, 0.083, 0.58)	8.17	5.83	8.50	0.24	0.21	0.25
	R_{1-9}	(0, 0.25, 0.083, 0.167, 0.5)	(0.167, 0.333, 0.083, 0.167, 0.25)	(0, 0, 0, 0.417, 0.583)	7.83	6.00	9.17	0.23	0.22	0.27
R_2		(0.167, 0.167, 0.083, 0.50, 0.083)	(0.083, 0.333, 0.167, 0.333, 0.083)	(0, 0.333, 0.083, 0.167, 0.417)	6.33	6.00	7.33	0.14	0.15	0.19
	R_{2-1}	(0, 0.083, 0.33, 0.33, 0.25)	(0.083, 0.083, 0.333, 0.333, 0.167)	(0.083, 0.167, 0.167, 0.083, 0.50)	7.50	6.83	7.50	0.21	0.18	0.18
	R_{2-2}	(0.25, 0.167, 0.25, 0.167, 0.167)	(0, 0.083, 0.167, 0.167, 0.583)	(0, 0.167, 0.167, 0.083, 0.583)	5.67	8.50	8.17	0.16	0.23	0.19
	R_{2-6}	(0, 0.167, 0, 0.417, 0.417)	(0.083, 0.167, 0, 0.5, 0.25)	(0, 0.167, 0, 0.167, 0.666)	8.17	7.33	8.67	0.23	0.20	0.21
	R_{2-7}	(0, 0.083, 0.33, 0, 0.583)	(0.167, 0.083, 0.333, 0.167, 0.25)	(0.083, 0, 0.167, 0.083, 0.667)	8.17	6.50	8.50	0.23	0.17	0.20
	R_{2-8}	(0, 0.417, 0.083, 0.333, 0.167)	(0, 0.167, 0.083, 0.25, 0.5)	(0, 0.083, 0, 0.167, 0.75)	6.50	8.17	9.17	0.18	0.22	0.22
R_3		(0.33, 0.167, 0.083, 0.333, 0.083)	(0.167, 0.167, 0.333, 0.083, 0.25)	(0.083, 0.417, 0, 0.50, 0)	5.33	6.17	5.83	0.12	0.15	0.15
	R_{3-1}	(0, 0.083, 0.333, 0.083, 0.50)	(0.167, 0.083, 0.417, 0.083, 0.25)	(0, 0.083, 0.167, 0, 0.75)	8.00	6.33	8.83	0.25	0.23	0.26
	R_{3-3}	(0, 0.167, 0, 0.417, 0.417)	(0.083, 0.25, 0.083, 0.417, 0.167)	(0, 0.25, 0.083, 0, 0.667)	8.17	6.67	8.17	0.26	0.25	0.24
	R_{3-5}	(0, 0.167, 0.083, 0.167, 0.583)	(0.167, 0.167, 0.166, 0.25, 0.25)	(0, 0.083, 0.167, 0.083, 0.667)	8.33	6.50	8.67	0.24	0.26	0.26
	R_{3-6}	(0, 0.167, 0.167, 0.50, 0.167)	(0, 0.167, 0.167, 0.333, 0.333)	(0, 0.25, 0.083, 0.167, 0.5)	7.33	7.67	7.83	0.23	0.28	0.23
R_4		(0, 0, 0.167, 0.083, 0.75)	(0.25, 0, 0.167, 0.083, 0.50)	(0.083, 0, 0.333, 0.167, 0.417)	9.17	7.17	7.67	0.21	0.17	0.20
	R_{4-3}	(0, 0.25, 0.333, 0.083, 0.333)	(0.083, 0.25, 0.333, 0.083, 0.25)	(0.083, 0, 0.25, 0, 0.667)	7.00	6.33	8.33	0.23	0.20	0.27
	R_{4-4}	(0, 0.167, 0.25, 0.083, 0.50)	(0, 0.083, 0.25, 0.083, 0.583)	(0.25, 0.083, 0.333, 0.167, 0.167)	7.83	8.33	5.83	0.26	0.27	0.19
	R_{4-6}	(0, 0.25, 0.333, 0, 0.417)	(0.083, 0.083, 0.167, 0.083, 0.583)	(0, 0, 0.083, 0.167, 0.75)	7.17	8.00	9.33	0.24	0.26	0.31
	R_{4-7}	(0.083, 0, 0.25, 0.17, 0.5)	(0, 0.083, 0.25, 0.083, 0.583)	(0.167, 0.083, 0.25, 0.083, 0.417)	8.17	8.33	7.00	0.27	0.27	0.23
R_5		(0.083, 0.333, 0, 0.417, 0.167)	(0.083, 0.25, 0, 0.50, 0.167)	(0.417, 0.25, 0.167, 0.167, 0)	6.50	6.83	4.17	0.15	0.17	0.11
	R_{5-2}	(0, 0.25, 0.08, 0.08, 0.59)	(0.083, 0.25, 0.25, 0.083, 0.333)	(0, 0.083, 0.167, 0.25, 0.50)	8.00	6.67	8.33	0.39	0.29	0.33
	R_{5-4}	(0.417, 0.25, 0.083, 0.083, 0.167)	(0, 0, 0.167, 0.083, 0.75)	(0, 0.083, 0.083, 0.167, 0.667)	4.67	9.17	8.83	0.23	0.40	0.35
	R_{5-6}	(0, 0.25, 0.08, 0.17, 0.50)	(0, 0.417, 0.083, 0.083, 0.417)	(0, 0.167, 0.083, 0.417, 0.333)	7.83	7.00	7.83	0.38	0.31	0.31
R_6		(0, 0.083, 0.333, 0.083, 0.50)	(0.167, 0.083, 0.333, 0.167, 0.25)	(0.25, 0, 0.167, 0.167, 0.417)	8.00	6.50	7.00	0.18	0.16	0.18
	R_{6-4}	(0.0, 0.083, 0.083, 0.333, 0.50)	(0.25, 0.083, 0.083, 0.417, 0.167)	(0, 0.25, 0.083, 0.083, 0.583)	8.50	6.33	8.00	0.34	0.30	0.35
	R_{6-6}	(0, 0.167, 0.167, 0.25, 0.416)	(0.083, 0, 0.25, 0.25, 0.417)	(0.083, 0.25, 0.167, 0.25, 0.25)	7.83	7.83	6.67	0.32	0.37	0.29
	R_{6-8}	(0, 0.08, 0.17, 0.25, 0.50)	(0.167, 0.083, 0.167, 0.25, 0.333)	(0.083, 0.083, 0.167, 0.083, 0.583)	8.33	7.00	8.00	0.34	0.33	0.35

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷: نتایج ماتریس ارزیابی فازی و تابع عضویت برحسب سه شاخص احتمال وقوع (MF_O)، شدت اثر (MF_S) و احتمال کشف (MF_D) برای عوامل فرعی و گروه‌های اصلی ریسک‌های بحرانی شناسایی شده در پروژه‌های آب و فاضلاب 3P

گروه اصلی ریسک	ماتریس ارزیابی فازی گروه‌های اصلی ریسک سطح ۲ (D_i)		
	احتمال وقوع (O)	شدت اثر (S)	احتمال کشف (D)
	D_{iO}	D_{iS}	D_{iD}
R1	(0, 0.077, 0.206, 0.062, 0.655)	(0.098, 0.133, 0.245, 0.187, 0.328)	(0.062, 0, 0.188, 0.254, 0.505)
R_2	(0.04, 0.177, 0.202, 0.253, 0.339)	(0.06, 0.118, 0.173, 0.282, 0.367)	(0.032, 0.115, 0.095, 0.119, 0.639)
R_3	(0, 0.146, 0.143, 0.288, 0.423)	(0.099, 0.168, 0.203, 0.277, 0.252)	(0.161, 0.126, 0.06, 0.644, 0.247)
R_4	(0.022, 0.161, 0.289, 0.086, 0.442)	(0.038, 0.116, 0.245, 0.083, 0.516)	(0.035, 0.214, 0.103, 0.54, 0.493)
R_5	(0.096, 0.250, 0.081, 0.115, 0.459)	(0.024, 0.202, 0.165, 0.083, 0.526)	(0.108, 0.11, 0.27, 0.502, 0.502)
R_6	(0, 0.110, 0.138, 0.279, 0.473)	(0.161, 0.052, 0.173, 0.3, 0.314)	(0.189, 0.136, 0.131, 0.481, 0.296)
ریسک کل	تابع عضویت فازی ریسک کل سطح ۱ ($\overline{D}_i$)		
	$\overline{D}_O$	$\overline{D}_S$	$\overline{D}_D$
	(0.076, 0.108, 0.183, 0.205, 0.428)	(0.121, 0.148, 0.192, 0.223, 0.326)	(0.162, 0.167, 0.173, 0.189, 0.309)

جدول ۸: نتایج سطوح مختلف ریسک (RL_i و ORL_i) برای گروه‌های اصلی ریسک‌های بحرانی در پروژه‌های آب و فاضلاب 3P

سطح ۲ گروه اصلی ریسک	احتمال وقوع (O)			شدت اثر (S)			احتمال کشف (D)			سطح ۱ ریسک کل		
	RL_{iO}	عبارت زبانی	رتبه	RL_{iS}	عبارت زبانی	رتبه	RL_{iD}	عبارت زبانی	رتبه	ORL_i	عبارت زبانی	رتبه
R1	۶/۵۹	زیاد	۵	۶/۹۷۴	زیاد	۵	۸/۳۳۴	خیلی زیاد	۲	۷/۲۶۲	خیلی زیاد	۲
R_2	۷/۴۱۴	زیاد	۲	۷/۵۵۶	زیاد	۳	۷/۴۳۶	زیاد	۳	۷/۴۶۸	خیلی زیاد	۱
R_3	۷/۱۷۶	زیاد	۴	۶/۸۲۴	زیاد	۶	۷/۴۰۸	زیاد	۴	۷/۱۳۲	خیلی زیاد	۳
R_4	۷/۵۳	زیاد	۱	۷/۸۳۴	زیاد	۱	۵/۷۹۴	متوسط	۵	۶/۹۹۲	زیاد	۴
R_5	۷/۱۸۸	زیاد	۳	۷/۷۷	زیاد	۲	۵/۳۱۲	متوسط	۶	۶/۶۷۰	زیاد	۶
R_6	۵/۲۳	متوسط	۶	۷/۱۰۸	متوسط	۴	۸/۵۱۶	خیلی زیاد	۱	۶/۸۱۵	زیاد	۵
ریسک کل	۷/۶۰۲	زیاد	-	۷/۰۳۰	زیاد	-	۶/۶۳۲	زیاد	-	۷/۰۷۷	زیاد	-

۵- بحث و بررسی یافته‌ها

یافته‌های تحقیق براساس فاز دوم نشان داد که در مجموع ۲۳ عامل فرعی ریسک در ۶ گروه اصلی با مقدار $RPN_{Normalized}$ بیشتر از ۰/۵ به‌عنوان ریسک‌های بحرانی تعیین شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که ریسک‌های عدم شفافیت مسائل اجرایی و تغییر در مشخصات طرح (R_{1-1})، تامین مصالح و نیروی کار متخصص (R_{1-9})، تأخیر در ساخت و تکمیل پروژه (R_{1-6}) و دوباره‌کاری‌های ناشی از اشتباهات و تغییرات (R_{1-4}) به‌ترتیب با $RPN_{Normalized}$های ۰,۸۹۵، ۰,۶۵۲ و ۰,۶۱۴ رتبه‌های اول تا سوم ریسک‌های بحرانی از گروه اصلی فنی و اجرایی (R_1) را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج نشان داد که ریسک‌های تخصیص منابع مالی و تعهدات سرمایه‌گذار (R_{2-6})، تاخیر در تخصیص بودجه دولتی پروژه (R_{2-8})، کمبود نقدینگی به واسطه عدم پرداخت به هنگام مطالبات (R_{2-7})، هزینه عملیاتی بالا و تغییر قیمت‌ها (R_{2-2}) و نوسان نرخ ارز، بهره و تورم (R_{2-1}) به‌ترتیب با $RPN_{Normalized}$های ۰,۹۰۲، ۰,۸۴۷، ۰,۷۵۱ و ۰,۷۰۹ بیشترین اهمیت را در گروه اصلی مالی و اقتصادی (R_2) کسب نموده و به‌عنوان ریسک‌های بحرانی شناسایی شده‌اند. در گروه اصلی سیاسی و حاکمیتی (R_3)، ریسک‌های مشکلات فرآیند نظام دولتی در انعقاد قرارداد (R_{3-5})، لغو امتیاز قرارداد توسط دولت (R_{3-3})، تغییر دولت میزبان و تغییر خط مشی‌های سیاسی (R_{3-1}) و فورس ماژورهای سیاسی (R_{3-6}) به‌ترتیب با $RPN_{Normalized}$های ۰,۷۹۹، ۰,۷۴۳ و ۰,۷۳۹ رتبه‌های اول تا سوم ریسک‌های بحرانی را در این گروه کسب نموده‌اند. همچنین مشخص شد که ریسک‌های طولانی شدن زمان اخذ مجوزها و تمدید آنها (R_{4-6})، دستیابی به استانداردهای کمی و کیفی منابع آب (R_{4-7})، عدم وجود رویکرد برد-برد بین طرفین مناقصه (R_{4-4}) و بومی‌سازی و سبک مالکیت[9] (R_{4-3}) به‌ترتیب با $RPN_{Normalized}$های ۱,۰۰۰، ۰,۸۳۶، ۰,۵۵۶ و ۰,۵۴۰ از گروه اصلی قوانین و مقررات (R_4) به‌عنوان بحرانی‌ترین ریسک‌ها در این گروه شناسایی شده‌اند. در گروه اصلی محیطی و طبیعی (R_5)، ریسک‌های تغییرات آب و هوایی و الگوی بارندگی (R_{5-2})، تداوم رویکرد سنتی در اجرای پروژه و مقاومت در برابر 3P (R_{5-6}) و جاری‌سازی دستورالعمل‌های ایمنی (R_{5-4}) به‌ترتیب با $RPN_{Normalized}$های ۰,۷۲۹، ۰,۷۱۵ و

[9] Expropriation and Nationalization

www.SID.ir

Archive of SID

۰,۵۴۹ رتبه‌های اول تا سوم را از نظر بحرانی بودن کسب نموده‌اند. درنهایت ریسک‌های مدیریت، کنترل و بهره‌برداری منسجم از منابع آب (R_{6-8})، کاربرد تکنیک‌ها و فنون مدیریتی نوین (R_{6-4}) و تفسیر متفاوت از مفاد قرارداد (R_{6-6}) به‌ترتیب با $RPN_{Normalized}$های ۰,۸۱۰، ۰,۶۶۴ و ۰,۶۲۲ از گروه اصلی مدیریتی و سازمانی (R_6) به‌عنوان بحرانی‌ترین ریسک‌ها در این گروه شناسایی شده‌اند.

نتایج فاز سوم درخصوص مقادیر RL_i به‌دست آمده برای گروه اصلی ریسک فنی و اجرایی (R_1) مشتمل بر ۴ عامل ریسک بحرانی نشان می‌دهد که این گروه دارای سطح ریسک احتمال وقوع و شدت اثر زیاد و احتمال کشف خیلی زیاد می‌باشد. در مجموع براساس محاسبات انجام شده R_1 دارای سطح ریسک کل (*ORL*) خیلی زیاد (۷,۲۶۲) بوده و به‌عنوان دومین گروه بحرانی اصلی ریسک در پروژه‌های آب و فاضلاب مبتنی بر 3P شناسایی شده است. همچنین مهمترین عامل ریسک بحرانی موجود در این گروه، عدم شفافیت مسائل اجرایی و تغییر در مشخصات طرح (R_{1-1}) تعیین شده است. گروه اصلی ریسک مالی و اقتصادی (R_2) مشتمل بر ۵ عامل ریسک بحرانی، دارای سطح ریسک زیاد در هر سه شاخص احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف می‌باشد. این گروه در مجموع با سطح ریسک کل (*ORL*) برابر با ۷,۴۶۸ دارای سطح زیاد بوده و به‌عنوان اولین گروه بحرانی اصلی ریسک در پروژه‌های آب و فاضلاب مبتنی بر 3P قابل شناسایی است. همچنین مهمترین عامل ریسک بحرانی موجود در این گروه، تخصیص منابع مالی و تعهدات سرمایه‌گذار (R_{2-6}) تعیین شده است. با توجه به سازوکار نسبتاً پیچیده پرداخت‌های مالی در پروژه‌های 3P در کشورهای در حال توسعه همچون ایران از یک سو و تنش‌های زیاد موجود در بین ذینفعان مختلف درگیر در این پروژه‌ها در قبال دریافت و پرداخت‌ها از سوی دیگر، این گروه از ریسک همواره به‌عنوان یکی از مهمترین ریسک‌های موجود در پروژه‌های مزبور شناخته شده و کاهش سطح اثر این ریسک‌ها می‌تواند نقش بسزایی در پیشرفت زیربنایی چنین پروژه‌هایی به همراه داشته باشد. نتایج نشان می‌دهد که گروه اصلی ریسک سیاسی و حاکمیتی (R_3) مشتمل بر ۴ عامل ریسک بحرانی با مشکلات فرآیند نظام دولتی در انعقاد قرارداد (R_{3-5}) به‌عنوان بحرانی‌ترین عامل فرعی ریسک، در هر سه شاخص احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف دارای سطح ریسک زیاد می‌باشد. این گروه ریسک با *ORL* برابر با ۷,۱۳۲ دارای سطح ریسک کل زیاد بوده و به‌عنوان سومین گروه بحرانی ریسک در پروژه‌های 3P آب و فاضلاب شناسایی شده است. نتایج به‌دست آمده برای گروه اصلی قوانین و مقررات (R_4) نشان می‌دهد که این گروه با *ORL* برابر با ۶,۹۹۲ دارای سطح ریسک کل زیاد بوده و به‌عنوان چهارمین گروه بحرانی ریسک در پروژه‌های 3P آب و فاضلاب تعیین شده است. این گروه همچنین از نظر احتمال وقوع و شدت اثر دارای سطح ریسک زیاد و از نظر احتمال کشف دارای سطح متوسط می‌باشد. در این گروه همچنین ریسک طولانی شدن زمان اخذ مجوزها و تمدید آنها (R_{4-6}) به‌عنوان مهمترین عامل ریسک بحرانی تعیین شده است. براساس نتایج به‌دست آمده گروه اصلی محیطی و طبیعی (R_5) با *ORL* برابر با ۶,۶۷۰ دارای سطح ریسک زیاد بوده با دارا بودن سطح ریسک زیاد از نظر احتمال وقوع و شدت اثر و سطح ریسک متوسط از نظر احتمال کشف، به‌عنوان ششمین گروه بحرانی ریسک در پروژه‌های 3P آب و فاضلاب تعیین شده است. در این گروه تغییرات آب و هوایی و الگوی بارندگی (R_{5-2}) به‌عنوان مهمترین عامل ریسک بحرانی می‌باشد. گروه اصلی مدیریتی و سازمانی (R_6) با دارا بودن سطح ریسک متوسط از نظر احتمال وقوع و شدت اثر و سطح ریسک خیلی زیاد از نظر احتمال کشف و همچنین مقدار *ORL* برابر با ۶,۸۱۵ دارای سطح ریسک کل زیاد بوده و به‌عنوان پنجمین گروه بحرانی ریسک در پروژه‌های 3P آب و فاضلاب تعیین شده است. در این گروه همچنین مدیریت، کنترل و بهره‌برداری منسجم از منابع آب (R_{6-8}) به‌عنوان مهمترین عامل ریسک بحرانی می‌باشد. درنهایت مقدار ریسک سطح کل (*ORL*) پروژه‌های 3P آب و فاضلاب در کشور طبق رابطه ۱۴ برابر با ۷,۰۷۷ تعیین شده است که این موضوع نشان‌دهنده سطح ریسک کل زیاد در این پروژه‌ها می‌باشد. همچنین احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف ریسک کل در این پروژه‌ها به‌ترتیب با مقادیر ۷,۶۰۲، ۷,۰۳ و ۶,۶۳۲ دارای سطح زیاد تعیین گردیده است. در پاسخ به اولویت‌بندی و تعیین سطح ریسک کل پروژه‌های 3P آب و فاضلاب در کشور، چهار اقدام زیر قابل پیشنهاد است:

اولاً، شرایط مرزی وقوع ریسک‌های مالی و اقتصادی در پروژه‌های 3P آب و فاضلاب باید تا حد امکان واضح باشد تا مکانیسم پرداخت و معیارهای ارزیابی عملکرد موفقیت پروژه به‌طور مؤثر ایجاد شود. ازآنجایی‌که بیشتر ریسک‌های مالی و اقتصادی 3P در این پروژه‌ها ناشی از روند تأمین مالی، ثبت اسناد، مالیات ستانی، جزئیات فنی و ... موجود در تنظیم مقررات سرمایه‌گذاری است، از اینرو ضروری است که دولت با شفاف‌سازی رویه‌ها، ایجاد ثبات در سیاست‌ها و بسته‌های حمایتی، ریسک مشارکت اقتصادی را به‌صورت قابل توجهی کاهش دهد که این موضوع در تحقیق لیو و همکاران (۲۰۱۶) [۱۷] نیز به اثبات رسیده است.

www.SID.ir

Archive of SID

ثانیاً، دولت باید استانداردها، هنجارها و الزامات فنی برای ساخت پروژه‌های 3P آب و فاضلاب را اصلاح و بهبود بخشد تا از ریسک‌های فنی و اجرایی تا حد ممکن جلوگیری شود که این موضوع توسط آن و همکاران (۲۰۱۸) [7] نیز اثبات شده است. زیرا ساخت چنین پروژه‌هایی در هر شهر عمدتاً به اقلیم محلی، بارندگی، اکولوژی و همچنین عوامل اجتماعی و اقتصادی بستگی دارد. همچنین مطابق با نظرات ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) [2]، بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته اطلاعاتی در صنعت ساخت همچون مدلسازی اطلاعات ساختمان می‌تواند از برنامه‌ریزی یکپارچه تا مرحله ساخت و بهره‌برداری و نیز اشتراک‌گذاری اطلاعات را به نحو مطلوبی بهبود بخشید و ریسک‌های بالقوه در این پروژه‌ها را قبل از وقوع شناسایی نموده و کاهش دهد. علاوه بر این رفع محدودیت‌های دولتی ازجمله قیمت‌گذاری و قوانین دست‌وپاگیر سرمایه‌گذاری از مهمترین راهکارهای رفع ریسک‌های توسعه مشارکت 3P در پروژه‌های آب و فاضلاب کشور است. این محدودیت‌ها موجب کاهش سودآوری، انگیزه مشارکت می‌شوند. چنین نتایجی در تحقیق آمیاو و چان (۲۰۱۵) [6] نیز تاکید گردیده است.

ثالثاً، با دیدگاه کل‌نگر، مطابق آنچه که در تحقیق تنگ و همکاران (۲۰۱۷) [۱۸] اثبات شده، دولت باید چارچوب حاکمیتی و سیاستی مناسبی را برای اجرای این پروژه‌ها ایجاد کند تا ضمن بهبود سیستم نظارت و تقویت برنامه‌ریزی، به تدوین سیستماتیک برنامه‌ریزی در اجرای این پروژه‌ها بپردازد. علاوه بر این، دولت باید تا حد امکان در فعالیت‌های ساخت و بهره‌برداری از این پروژه‌ها کمتر مداخله کند تا سرمایه بخش خصوصی را که دارای مزایایی در فناوری پیشرفته، تجارب مدیریتی بالغ و کاوش مدل کسب و کار نوآورانه هستند، به نحو مطلوب‌تری برانگیزد.

درنهایت، یک ارتباط مشارکتی سازنده باید بین دولت و بخش خصوصی ایجاد شود تا تاثیر ریسک‌ها بر اهداف اجرایی پروژه کاهش یابد. سرمایه خصوصی مناسب با معیارهای قابل اعتماد، بودجه کافی، فناوری پیشرفته و تجربه غنی انتخاب شود. علاوه بر این، این رویکرد باید برمبنای نظارت‌های مستقیم مدیریتی اتخاذ گردد تا نحوه جبران خسارت در صورت شکستن قرارداد توسط دولت مشخص شده باشد. در این خصوص می‌توان مکانیزم قراردادی مهندسی، تدارکات و ساخت (EPC) را برای هماهنگ‌سازی فعالیت‌های برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت، تامین مالی سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و نگهداری در کل چرخه عمر توصیه نمود.

۶- نتیجه گیری

در این مطالعه، یک رویکرد جدید برای توسعه یک مدل ارزیابی ریسک عملی برای پروژه‌های زیربنایی مبتنی بر 3P براساس داده‌های به‌دست‌آمده از پروژه‌های آب و فاضلاب کشور ایران اتخاذ شده است. در این رویکرد، یک مدل ارزیابی ریسک جامع، عینی، قابل اعتماد و عملی برای پروژه‌های 3P ایجاد گردید. یافته‌های تحقیق همچنین بر ارزیابی ریسک در صنعت ساخت‌وساز کشور ایران می‌افزاید و می‌تواند به عنوان یک ابزار قابل اعتماد برای ارزیابی سطح ریسک کل یک پروژه 3P و سپس شناسایی ریسک‌های ارجح‌تر برای اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی در اسرع وقت مورد استفاده قرار بگیرد. هم دولت و هم کنسرسیوم سرمایه‌گذار بخش خصوصی می‌توانند این مدل را برای ارزیابی سطح ریسک کل پروژه‌های 3P خود اتخاذ نمایند. چنین توسعه‌ای درک عمیق‌تری از مدیریت انواع مختلف پروژه‌های 3P فراهم می‌کند. انجام این کار، فرصتی را برای دست‌اندرکاران پروژه‌های زیربنایی در صنعت ساخت فراهم می‌کند تا سطح ریسک کل چنین پروژه‌هایی را براساس شواهد عینی به جای قضاوت ذهنی ارزیابی نمایند. برخلاف تحلیل‌های قدیمی ریسک که تاکنون پیشنهاد گردیده‌اند، الگوریتم ترکیبی پیشنهادی بازتاب فرآیندهای ارزیابی واقعی ریسک را با استفاده از نظرات خبرگان و برای تعداد نامحدودی ریسک تسهیل می‌نماید. همچنین نتایج به‌دست آمده صحت روش و پتانسیل بالای کاربرد آن را تأیید می‌کند. علاوه بر این ارزیابی بدون ابهام از سطح ریسک کل پروژه‌های 3P آب و فاضلاب با استفاده از رویکرد تلفیقی فازی و اولویت‌بندی کلیه ریسک‌های شناسایی شده، امکان توصیف وضعیت سطح ریسک کل پروژه‌ها را به سادگی امکان‌پذیر می‌سازد. با توجه به معرفی مدل مرجع تحلیل ریسک، الگوریتم تلفیقی پیشنهادی در این تحقیق برای تحلیل ریسک در سایر پروژه‌های صنعت ساخت نیز مناسب و قابل استفاده است. این مطالعه نیز دارای کاستی‌های متعددی است. بر همین اساس می‌توان پیشنهاد نمود که در مطالعات آتی از روش‌های جدیدتری برای تصمیم‌گیری جهت اولویت‌بندی و تعیین سطح ریسک کل پروژه‌های 3P آب و فاضلاب همچون روش شبکه‌های عصبی در ترکیب با روش ارزیابی فازی استفاده شود. علاوه بر این، تحلیل ریسک در یک نمونه موردی از پروژه‌های آب و فاضلاب مبتنی بر 3P را می‌توان برای تأیید نتایج این مطالعه به

www.SID.ir

Archive of SID

انجام رساند. ازآنجایی‌که سطح ریسک کل ممکن است در مراحل مختلف چرخه عمر پروژه متفاوت باشد، توسعه یک مدل ارزیابی ریسک 3P برای اندازه‌گیری ریسک در مراحل مختلف چرخه عمر پروژه در آینده ارزشمند خواهد بود. اگرچه مدل ارزیابی ریسک در پروژه‌های 3P آب و فاضلاب کشور ایران توسعه یافته است، اما همین رویکرد می‌تواند در کشورهای دیگر برای مقاصد مقایسه‌ای تکرار شود. چنین گسترشی به درک بهتر مدیریت پروژه‌های 3P در مکان‌های جغرافیایی و حوزه‌های قضایی مختلف کمک می‌کند.

مراجع

[۱] Jensen, O. (2016), Public–private partnerships for water in Asia: a review of two decades of experience, International Journal of Water Resources Development, 33(1), pp. 4-30.

[۲] Zhang, L.Sun, X. Xue, H. (2019), Identifying critical risks in Sponge City PPP projects using DEMATEL method: a case study of China, In Press, Accepted Manuscript, Journal of Cleaner Production, 226, 949-958.

[۳] Zhong, L.P.J. Mol, A. Fu, T. (2008), Public-Private Partnerships in China's Urban Water Sector, Environmental Management, 41(1), 863–877.

[٤] Grimsey, G. and Lawis, M.K.G., (2002), Evaluating the risks of public private partnership for infrastructure project, International Journal of Project Management, 20(1), 101-118.

[٥] Yin, H. Yuan-Fu, L. Zhao, D.M. (2015), Risk Factor Empirical Research of PPP Projects Based on Factor Analysis Method, American Journal of Industrial and Business Management, 5(6), 383-387.

[٦] Ameyaw, E.E. and Chan, A.P.C. (2015), Identifying public–private partnership (PPP) Risks in managing water supply projects in Ghana, Journal of Facilities Management, 11(2), 152–182.

[٧] An, X. Li, H. Wang, L. Wang, Z. Ding, J. Cao, Y. (2018), Compensation Mechanism for Urban Water Environment Treatment PPP Project in China, Journal of Cleaneer Production, 201, 246-253.

[٨] Kayaga, S. (2008), Public–private delivery of urban water services in Africa. Proceedings of civil engineers: Management, procurement and law, 161(4), 147–155.

[٩] Law of the Fifth Five-Year Development Plan of the Islamic Republic of Iran (2015-2011), Letter No. 73285/419 dated 10/30/2010.

[١٠] Badalians, G., Tabarestani, A., Gholipour, Y. And Mohammadi, M.R. 2009, The Role of Value Engineering in Infrastructure Implementation and Optimization: A Case Study of Hamedan Sewerage Network Project, The First National Conference on Infrastructure Engineering and Management.

[١١] Yelin, X. Yeung, C.F.Y. Chan, A.P.C. Chan, W.M. Wang, S.Q. Ke, Y. (2010), Developing a risk assessment model for PPP projects in China: A fuzzy synthetic evaluation approach, Automation in Construction, 19 (7), 929–943.

[١٢] Hammami, M., Ruhashyankiko, J.F., Yehoue, E, B., 2006, Determinants of public-private partnerships in infrastructure, Washington, D.C: International monetary fund.

[١٣] Ke, Y.J., Wang, S.Q., Chan, A.P.C., and Lam, P.T.I., (2010). Preferred risk allocation in China's public-private partnership (PPP) projects, International Journal of Project Management, 28(5), 482–492.

[١٤] Wibowo, A. Mohamed, S. (2010), Risk critically and allocation in privatised water supply projects in Indonesia, International Journal of Project Management, 28(5), 504–513.

[١٥] Li, J., and Zou, P.X.W., (2011), Fuzzy AHP-Based Risk Assessment Methodology for PPP Projects, Technical Note, ASCE / Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 137, No. 1, pp. 1205-1209.

[١٦] Samer, E.A. Badran, Y. (2013), Risk Decision Support System for Public Private Partnership projects in Egypt. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), 3(2), 479 -485.

[١٧] Liu, T., Wang, Y., Wilkinson, S., (2016), Identifying critical factors affecting the effectiveness and efficiency of tendering processes in Public–Private Partnerships (PPPs): A comparative analysis of Australia and China, International Journal of Project Management, 34, 701–716.

[١٨] Tong, Y. Long, R. Cui, X. Zhu, D. Hong, C. (2017), Application of the public–private partnership model to urban

www.SID.ir

Archive of SID

sewage treatment, Journal of Cleaner Production, 142(2), 1065-1074.

[۱۹] Ngullie, N., Maturi, K.C., Kalamdhad, A.S., and Laishram, B. (2021), Critical success factors for PPP MSW projects – perception of different stakeholder groups in India, Environmental Challenges, 5(1), ISSN 2667-0100, https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100379.

[۲۰] Luo, C., Ju, Y., Dong, P., Gonzalez, E.D.R.S., and Wang, A. (2021), Risk assessment for PPP waste-to-energy incineration plant projects in china based on hybrid weight methods and weighted multigranulation fuzzy rough sets, Sustainable Cities and Society, 74(1), ISSN 2210-6707.

[۲۱] Mansaray, A., Coleman, S., Ataullah, A., and Sirichand, K., (2021). Residual government ownership in public-private partnership projects, Journal of Government and Economics, 4(1), ISSN 2667-3193, https://doi.org/10.1016/j.jge.2021.100018.

[۲۲] Makiabadi, S.R., Behnia, K., and Akbari, A. (2014), Identification and Evaluation of Critical Risks in HSR Projects through Public-Private Partnership in Developing Countries, Journal of Structural and Construction Engineering, 1(1), 5-18 (In Persian).

[۲۳] Rezaei, N.J., Mousavi., S.M. (2017), Risk Assessment and Ranking in Public-Private Partnerships for Water Supply Projects Using FMEA and Fuzyy Synthetic Evaluation Methods: A Case Study of Qom Province, Iran Water Resources Research, 13(4), 100-117 (In Persian).

[۲٤] Eskandari, M., TaghaviFard, M., Raisi Vanani, A., and Ghazi Nouri, S. (2022). Intelligent hybrid model for determining the public-private partnership method of Iran's water and wastewater industry based on collective tree algorithms. Water and Wastewater, 32(1), 69-90.

[۲٥] MirMoezzi, S., and Sobhieh, M. (2022). Identifying and Explaining the Factors Affecting the Environmental Complexity of Public-Private Partnership Projects (Case Study: Iran Freeway Partnership Contracts), Structural and Construction Engineering, 8 (3), 114-134 (In Persian).

[۲٦] Saunders, M., Lewis, P., and Thornhill, A. (2009), Research methods for business students: Pearson education.

[۲۷] Sekaran, A. (2007), Research Methods in Management, Translation: Saebi, Mohammad and Shirazi, Mahmoud, 5ed. Tehran: Higher Institute of Management Education and Research and Planning.

[۲۸] DanaeiFard, H., Alwani, M., and Azar, A. (2009), Quantitative research methodology in management, a comprehensive approach, Tehran: Saffar Ishraqi Publications (In Persian).

[۲۹] Chan, C.M.R., and Harris, F.C. (1989), A database/spreadsheet application for equipment selection. Constr. Manage. Econ. 7(3), 235–247.

[۳۰] Moor, D., and Mccabe, G. (2006), Introduction to the practice of statis fourEdition, NewYork: WH Freema & Co.

[۳۱] Momeni, M., and Qayyumi, A. (2007), Analysis of statistical data using SPSS, Isfahan: New Book Publications (In Persian).

[۳۲] Ferrante, A., and Mihalakakou, G. (2001), The influence of water, green and selected passive techniques on the rehabilitation of historical industrial buildings in urban areas. Solar Energy, 70(3), 245-253.

[۳۳] Zadeh, L.A. (1975), The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, Information Sciences, 8(3), 199-249.

[۳٤] Pelletier, F.J. (2000), Review of Metamathematics of fuzzy logics, The Bulletin of Symbolic Logic, 6(3),342–346.

[۳٥] Zadeh, L.A. (1965), Fuzzy Sets Information and Control, 8, 338-353.

[۳٦] Atanasov, K. (1986), Intuitionistic Fuzzy Sets, Fuzzy Sets and Systems, 20(1), 87–96.

[۳۷] Rashvandi, H. (2006), Fuzzy set theory and its application in industrial engineering and management, first edition, Tehran: Basic Science Publication.

[۳۸] Deschrijver, G., and Kerre, E.E. (2003), On the relationship between some extensions of fuzzy set theory, Fuzzy Sets and Systems, 133(2), 227–235.

[۳۹] Kwong, C.K., and Bai, H. (2003), Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a

www.SID.ir

Archive of SID

fuzzy AHP with an extent analysis approach, IIE Transactions, 35(7), 619-626.

[٤٠] Dalkey, N., and Helmer, O. (1963), An experimental application of the Delphi method to the use of experts, Management Science, 9(3), 458–467.

[٤١] Rowe, G., and Wright, G. (1999), The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis, International Journal of Forecasting, 15(4), 353-375.

[٤٢] Scipioni, A., Saccarola, G., Centazzo, F.A. (2002), FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company. Food Control, 13(2002), 495-501.

[٤٣] Price, C.G., and Taylor, N.S. (2002), Automated multiple failure FMEA. Reliability Engineering and System Safety, 76, 1-10.

[٤٤] Stamatis, D.H. (2012), Failure Mode and Effect Analysis: FMEA From Theory to Execution, ASQ Quality Press, 2nd Edition.

[٤٥] Seung, J.R., Ishii, K. (2003), Using, Cost Based FMEA to Enhance Reliability and Serviceability, Advanced Engineering Informatics, 17, 179-188.

[٤٦] Sankar, N.R., and Prabhu, B.S. (2010), Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. Int J Qual Reliab Manage, 18(3), 324-335.

[٤٧] Vorley, G. (2013), Mini Guide to Failure Mode Effects Analysis Kindle Edition, Quality Management & Training (Publications) Limited; 1st edition.

[٤٨] Mikulak, R.J., McDermott, R., and Beauregard, M. (2008), The Basics of FMEA, Productivity Press, 2nd Edition.

[٤٩] Li, F., Wang, W., Shi, Y., and Jin, C. (2013), Fuzzy synthetic evaluation model based on the knowledge system, International Journal of Innovative Computing, Information and Control ICIC International, 9, 4073-4084.

[٥٠] Xu, Y.L., Chan, A.P.C., Yeung, F.Y. (2010). Developing a fuzzy risk allocation model for PPP projects in China, Journal of Construction Engineering and Management, 136 (8), 12-24.

[٥١] Mi, C.Q., Zhang, X.D., Li S.M. (2011), Assessment of environment lodging stress for maize using fuzzy synthetic evaluation, Mathematical and Computer Modelling, 54(3-4), 1053-1060.

www.SID.ir