تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال سیزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶
Volume 13, No. 4, Winter 2018 (IR-WRR)
۱۰۰-۱۱۷

ارزیابی و رتبه‌دهی عوامل ریسک در مشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های تأمین آب با استفاده از روش‌های FMEA و Fuzyy Synthetic Evaluation: مطالعه موردی استان قم

جلال رضایی‌نور[۱*] و محمد موسوی صالح[۲]

چکیده

غالباً بودجه عمومی برای ساخت زیربناها، ساختمان‌ها و تأسیسات اقتصادی و اجتماعی مورد نیاز کشور کفایت نمی‌کند بنابراین دولت با ارائه پروژه‌های مشارکت‌های عمومی خصوصی از سرمایه بخش خصوصی برای پیشبرد و تکمیل زیر ساخت‌های مورد نیاز استفاده می‌کند. در این پژوهش به ارزیابی و رتبه‌دهی عوامل ریسک در مشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های تأمین آب ایران پرداخته شده است. در ابتدا با توجه با ادبیات موضوع و تحقیقات انجام شده در داخل و خارج از کشور، ۳۹ عامل ریسک معرفی شدند. سپس با استفاده از روش FMEA، اعداد اولویت ریسک آنها بدست آمدند. پس از نرمال‌سازی ۲۲ عامل به عنوان عوامل ریسک بحرانی شناخته و در چهار زیر گروه مدیریتی، حقوقی/ سیاسی، مالی و تکنیکی- فنی طبقه‌بندی شدند. پس از بررسی و محاسبه سطح کلی ریسک در هر زیرگروه با استفاده از روش Fuzyy Synthetic Evaluation، زیرگروه مدیریتی به عنوان بحرانی‌ترین زیرگروه و به ترتیب زیرگروه‌های مالی، حقوقی- سیاسی و فنی- تکنیکی در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. سطح ریسک کل مشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های آب در استان قم ۶/۱۹ بدست آمد که نشانگر سطح بالا و زیاد ریسک پروژه‌های مذکور در استان است.

کلمات کلیدی: مشارکت‌های عمومی خصوصی، پروژه‌های تأمین آب، ارزیابی ریسک، FMEA و Fuzyy Synthetic Evaluation.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۹/۱۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۳/۲۷

۱- دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان خرداد ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

Evaluation and Ranking of Public-Private Partnership Risk Factors in Water supply Projects Using FMEA and Fuzzy Synthetic Evaluation Methods: A Case Study of Qom

J. Rezaeenour[1] and M. Mousavi-Saleh[2]*

Abstract

As a matter of fact, public funds are not considered to be sufficient and adequate for the construction of infrastructures, buildings and socio-economic facilities required by the country. By providing many public-private projects, the government uses the private organization's finance in order to develop and complete the required infrastructures. In this study, we evaluated and ranked the risk of public-private partnership in Iran's water supply projects. At first, according to works and researchers performed nationally or internationally, 39 risk factors have been discovered. Then, using FMEA, risk priority number was obtained. After normalization process, 22 factors were considered as critical risks and have been classified into four subcategories appointed as experimental, legal, financial, and technical/ engineering. After analyzing and computing the overall level of risk in each subcategory using Fuzzy Synthetic Evaluation method, the experimental subcategory found to be the most critical one and financial, legal, and technical/ engineering ranked as the next priorities in respect. Finally, the overall risk level of public-private partnerships for water supply projects in Qom has been proved to be 6.19, which indicated a remarkable risk in these projects.

Keywords: Public-Private Partnerships, Water Supply Projects, Critical Risks, FMEA, Fuzzy Synthetic Evaluation.

Received: December 9, 2016
Accepted: June 17, 2017

1- Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, University of Qom, Qom, Iran. Email: j.rezaee@qom.ac.ir
2- Graduate Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, University of Qom, Qom, Iran
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

غالباً بودجه عمومی برای ساخت زیربناها، ساختمان‌ها و تأسیسات اقتصادی و اجتماعی مورد نیاز کشور کفایت نمی‌کند. جذب سرمایه بخش خصوصی برای سرمایه‌گذاری در پروژه‌ها و فعالیتهای عمومی می‌تواند قسمتی از این کمبود را جبران کند. به‌کارگیری سرمایه بخش خصوصی همراه با مدیریت آن، فرصت ارتقاء کیفیت و بهره‌وری را در ساخت و بهره‌برداری مستحدثات و ارائه خدمات عمومی نیز فراهم می‌آورد. مشارکت‌های عمومی خصوصی (PPP)[1] در کشورهای در حال توسعه در سطح گسترده‌ای به منظور انجام پروژه‌های متعدد در بخش‌های انرژی، آب و فاضلاب، مخابرات، فرودگاه، راه آهن و بنادر مورد استفاده قرار گرفته است. در سال‌های اخیر به دلیل رشد روز افزون جمعیت و توسعه اقتصادی کشورهای مختلف نیاز شدیدی به ساختارهای زیربنایی در بسیاری از کشورها احساس می‌شود (Word Bank, 2008). به همین دلیل دولت‌ها تلاش می‌کنند با به کارگیری بخش خصوصی و فعال کردن این بخش در پروژه‌های زیربنایی راه‌حلی نوین برای این کاستی‌ها بیابند (Golabchi and Noorzai, 2015). در ایران پژوهش‌های محدودی در رابطه با مشارکت‌های عمومی خصوصی صورت گرفته است که از آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: Golabchi and Noorzai (2015) به بررسی انتخاب روش مناسب در مشارکت‌های عمومی خصوصی به منظور تأمین مالی پروژه‌های آزاد راه ایران پرداختند. Sadeghi shahedani et al. (2011) اولویت‌بندی موانع توسعه مشارکت‌های عمومی خصوصی در بخش حمل و نقل ایران را مورد بررسی قرار دادند. Najafi and Malekan (2013) در پژوهشی با عنوان مشارکت‌های عمومی خصوصی، راهبردی نو برای تأمین مالی پروژه‌های زیر بنایی را ارائه دادند. Heibati et al. (2008) رابطه آزادی اقتصادی با مشارکت‌های عمومی خصوصی را مورد بررسی و الگویی برای ایران ارائه دادند. Maki-Abadi et al. (2013) به شناسایی و ارزیابی ریسک‌های بحرانی در پروژه‌هایHSR[2] از طریق مشارکت‌های عمومی خصوصی در کشورهای در حال توسعه، پرداختند.

۱-۱- مرور ادبیات

۱-۱-۱- عوامل ریسک در مشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های آب

در کشور غنا Ameyaw and Chan (2015)، ۴۰ عامل ریسک را در ppp پروژه‌های آب شناسایی و پس از بررسی ۲۲ عامل ریسک را در قالب سه گروه مالی/ تجاری، اجتماعی/ سیاسی و تکنیکی/ فنی، به عنوان ریسک‌های بحرانی معرفی کردند که در این بررسی گروه مالی/ تجاری دارای بیشترین سطح ریسک کل و گروه های اجتماعی/سیاسی و تکنیکی/ فنی به ترتیب در جایگاه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. Yelin et al. (2010)، ۳۴ عامل ریسک را از طریق بررسی ادبیات مرتبط و ۳ عامل جدید ریسک را در ppp پروژه‌های آب در کشور چین شناسایی کردند و این عوامل ریسک را در طول دو دور دلفی پرسشنامه‌ای که به کارشناسان ارائه و مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در نهایت عوامل ریسکی از قبیل دخالت‌های دولتی، ریسک بلوغ دولتی، ریسک تداوم اقتصادی، ریسک محیطی بازار، ریسک عملیاتی و ساخت و ساز، ریسک اقتصاد کلان به ترتیب به عنوان ریسک‌های بحرانی شناخته شدند. Samer (2013)، ۵۹ عامل ریسک مهم که بر PPP پروژه‌های آب را تحت تأثیر می‌گذاشت را از طریق مرور ادبیات و مصاحبه با کارشناسان مشخص و این عوامل ریسک را به چند گروه ریسک بحرانی تقسیم‌بندی کرد. با توزیع پرسشنامه در میان ۲۵ کارشناس که در سطح بین المللی کار می‌کردند و در بازار کشور مصر فعال بودند، عوامل ریسک را مورد بررسی قرار داد و عوامل ریسک از قبیل گروه مالی و اقتصاد کلان،گروه تجاری، گروه حقوقی، گروه سیاسی، گروه نظارت دولتی،گروه بلوغ دولتی، گروه فنی و گروه ریسک‌های پیش‌بینی نشده، به عنوان بحرانی‌ترین گروه‌های بحرانی ریسک معرفی شدند. Liu et al. (2016) با توجه به مرور ادبیات، مصاحبه با کارشناسان و پخش پرسشنامه، ۱۴ عامل بحرانی در اجرای PPP پروژه‌های آب بدست آوردند. Priya et al. (2011) پیمانکاران داخلی و خارجی در مشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های آب در هند را مورد بررسی قرار دادند و در نتیجه یافتند که استفاده از هر دو گروه در این پروژه‌ها موجب پیشرفت در هند می‌شود. Kayaga (2008) تأکید بر این داشت که شرایط محلی در PPP پروژه‌های آب غالباً با دقت مورد بررسی قرار نمی‌گیرد و لذا ساختار پروژه نمی‌تواند مطابقت با محدودیت‌های غالب عمل کند. در نتیجه، بسیاری از پروژه‌های آب PPP در کشورهای در حال توسعه به درستی انجام نمی‌شوند، مشاجره می‌کنند و یا جذب اختلافاتی می‌شوند که اثر منفی بر عملکرد آنها دارد. Yin et al. (2015) در مشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های آب،هشت گروه ریسک را در چین معرفی کردند که عبارت‌اند از: ریسک ساخت و ساز، ریسک‌های ارتباطی، ریسک‌های عملی، ریسک‌های سیاسی، ریسک‌های محیطی، ریسک‌های اقتصاد کلان،ریسک‌طراحی و ریسک‌های مالی. پس از بررسی ریسک‌های مالی را به عنوان مهمترین و بحرانی‌ترین گروه ریسک‌ها در مشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های آب در چین

معرفی شدند. Li et al. (2005) بر روی عوامل ریسک قراردادهای PPP در کشور بریتانیا مطالعه کرده و ریسک‌ها را در سه دسته بزرگ، متوسط و کوچک دسته‌بندی کردند. Ameyaw and Chan (2013)، ۴۰ عامل ریسک را در PPP پروژه‌های آب در کشورهای در حال توسعه معرفی و بعد از بررسی ۶ مورد از این کشورها به معرفی عوامل بحرانی ریسک در این حوزه پرداختند که این عوامل عبارتند از: وجود مقررات ضعیف، ضعف مالی، عدم پرداخت مطالبات و نبود تجربه در تحقیقات مرتبط با شناسایی و ارزیابی محدود قراردادهای PPP با توجه به شرایط محیطی کشورهای در حال توسعه. Wibow and Mohammad (2011) به بررسی عوامل ریسک در PPP پروژه‌های آب در مالزی پرداختند، طی این پژوهش ۳۹ عامل ریسک شناسایی شد که برخی از مهمترین آنها عبارت‌اند از: عدم قطعیت قیمت‌گذاری (تعرفه)، نقض قرارداد توسط دولت، کمبود آب خام و هزینه بالای ساخت و ساز زیربنایی.

۱-۱-۲- روش ارزیابی مصنوعی فازی (FSE) [۳]

روش FSE یکی از شاخه‌های روش فازی است که توسط لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ معرفی شد. Sadiq and Radriguezy (2004) از روش FSE برای تبدیل متغیرهای زبانی و ارزیابی انواع ریسک و سطوح آنها استفاده کردند. Huang (2008) از روش FSE برای ارزیابی و رتبه‌دهی ریسک‌های داد و ستد واقعی استفاده کردند. در این پژوهش روش FSE با روش NLP [۴] ترکیب شد. Liua et al. (2013) از روش FSE برای ارزیابی ریسک پروژه‌های حفاری علمی استفاده کردند، در این راستا چهار شاخص احتمال وقوع، شدت اثر، عدم کشف و معیار بدترین حالت، مورد استفاده قرار گرفتند و پس از وزن‌دهی معیارها با توجه به روش AHP[۵] و ANP[۶] سطح ریسک کل را با توجه به روش FSE بدست آوردند. Xianbo et al. (2015) در سنگاپور پروژه‌های ساختمان‌های سازگار با محیط زیست را مورد بررسی و ۲۸ عامل ریسک در ۱۱ گروه معرفی کردند. سپس با استفاده از روش FSE ریسک کل پروژه‌ها را به‌دست آوردند. Sudhir et al. (2007) در هندوستان از روش FSE برای تعیین سطوح قابل قبول کیفیت فیزیکی- شیمیایی آب استفاده کردند. Mi et al. (2011) عوامل ریسک در کمبود ذرت در چین را سرعت زیاد باد، سیلاب و مقدار پتاسیم در خاک معرفی کردند و سپس با استفاده از روش FSE برای تعیین سطح ریسک کل در هریک از این عوامل استفاده کردند. Geng and Gang (2011) از ترکیب روش‌های FSE و AHP برای تعیین سطح کیفیت دوره‌ی آموزشی شبکه استفاده کردند، در این پژوهش از روش AHP برای وزن‌دهی معیارها و از روش FSE برای ارزیابی سطح کیفیت این دوره‌ی آموزشی استفاده گردید. Li et al. (2008) از روش FSE برای تعیین کیفیت محیط ایستگاه‌های انتقال ضایعات جامد شهری استفاده کردند. Jian-Hua et al. (2009)، ۱۱ شاخص برای کیفیت خاک معرفی کردند و با استفاده از روش FSE درجه‌بندی‌های کیفیت خاک مرطوب را بدست آوردند. Tah and Car (2000) از روش FSE برای تبدیل متغیرهای زبانی بیان شده در مورد اثر و شدت وقوع ریسک، ارزیابی سطوح ریسک و بدست آوردن سطح ریسک کل استفاده کرد. Boussabane (2014) با استفاده از روش FSE پیچیدگی ارزیابی نتایج سطح ریسک پروژه‌ها را که با استفاده از نظر کارشناسان که به صورت متغیرهای زبانی بیان شده بودند، مورد بررسی قرار داد. Lam et al. (2007) از روش FSE برای مدل‌سازی و کمی کردن متغییرهای فازی برای بیان سطح ریسک،احتمال وقوع ریسک و شدت و اثر آن استفاده کرد.

توسعه زیرساخت‌ها از جمله ایجاد تاسیسات تأمین، توزیع آب و جمع‌آوری و تصفیه بهداشتی فاضلاب از جمله اصلی‌ترین زیرساخت‌های هر کشوری بوده و توسعه این تأسیسات به منظور ایجاد بستری جهت رشد و بالندگی هر جامعه‌ای، ضروری می‌باشد. تأمین آب شرب و بهداشت مناطق جمعیتی شهری و روستایی کشور، آب مورد نیاز بخش‌های صنعت و کشاورزی، جمع‌آوری و تصفیه بهداشتی فاضلاب، حفظ محیط زیست، ارتقاء بهداشت، استفاده مجدد از آب و بازچرخانی آب تبدیل به فاضلاب شده در کنار سایر آثار غیرمستقیم، از عمده نتایج مستقیم ایجاد و توسعه طرح‌های بخش آب و فاضلاب می‌باشد. سرمایه‌گذاری مناسب و به موقع در این طرح‌ها، با توجه به اقلیم کشور ایران و محدودیت منابع آبی در دسترس، رشد جمعیت، افزایش نیاز بخش صنعت و کشاورزی و اهداف برنامه‌ریزی شده در سند چشم‌انداز کشور، از اهمیتی دوچندان برخوردار می‌گردد (Kashfi and Raghimi, 2013). بانک جهانی در گزارش سال ۲۰۰۷ خود با تأکید بر اینکه کاهش سالانه منابع داخلی آب شیرین در ایران ۶/۳ برابر استانداردها و شاخص‌های جهانی است، اعلام کرد که کشاورزی عامل ۹۱ درصد کاهش سالانه منابع آب شیرین در ایران است (Word Bank, 2007).

برای ارزیابی و تعیین سطح عوامل ریسک در مشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های تأمین آب باید تمام جوانب عوامل ریسک در نظر گرفته شود. با توجه به مقالات بررسی شده در بخش قبل، احتمال کشف عوامل ریسک در این پژوهش‌ها در نظر گرفته نشده است و لذا

در این پژوهش، مدل رتبه‌دهی و ارزیابی ریسک Ameyaw and Chan (2015) گسترش داده شده است و عوامل ریسک در مشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های تأمین آب استان قم با توجه به ادبیات موضوع و شرایط منطقه شناسایی شده است. با استفاده از روش FMEA عوامل بحرانی ریسک مشخص شده‌اند و سپس با استفاده از روش FSE سطح ریسک کل در مشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های تأمین آب استان قم بدست آمده است. لذا نوآوری‌های این پژوهش عبارت‌اند از:

- پروژه‌های انجام شده در این حوزه، احتمال کشف عوامل ریسک را در نظر نگرفته‌اند ولی در این پژوهش با استفاده از روش FMEA، احتمال کشف عوامل ریسک در محاسبه سطح ریسک کل در نظر گرفته شده است.
- دو روش FMEA و FSE را برای اولین بار ترکیب شده و ریسک کل PPP پروژه‌های تأمین آب استان قم را بدست آمده است.

وجود چنین ارزیابی و تعیین عوامل بحرانی ریسک در مشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های تأمین آب کشور می‌تواند در تصمیم‌گیری مسئولان این صنعت و پیمانکاران آن نقش کلیدی ایفا کند؛ زیرا این پژوهش اولین پژوهشی است که در ایران به بررسی و ارزیابی عوامل ریسک در مشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های آب می‌پردازد. شکل شماره ۱ ترتیب پژوهش برای این مطالعه را بیان می‌کند.

۲- روش تحقیق

۲-۱- روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن (FMEA)[۷]

بوجود آمدن یک ریسک می‌تواند تابعی از دلایل مختلفی باشد، لذا روشی کارا است که تیم مهندسی بوسیله آن بتواند عوامل بحرانی ریسک را تشخیص و آنها را کاهش یا از بین ببرد. Feili et al. (2013) از روش FMEA برای ارزیابی ریسک در منابع تأمین انرژی استفاده کردند. Tunovcak et al. (2006) از روش FMEA برای شناسایی و ارزیابی ریسک‌های موجود در پروژه‌های تأمین آب شرب استفاده کردند. Rak and Tchorzewska-Cieslak (2010) از روش FMEA برای تشخیص سالم بودن آب شرب شهری استفاده کردند. با توجه به مرور ادبیات در روش FMEA، ارزیابی ریسک با توجه به عدد اولویت ریسک(RPN)[۸] می‌باشد (LiPo and Haq, 2011). عدد اولویت ریسک بصورت زیر (معادله شماره ۱) محاسبه می‌شود:

$$RPN = O \times S \times D \qquad (۱)$$

که در آن، O[۹] احتمال وقوع، S[۱۰] شدت اثر وD[۱۱] احتمال کشف ریسک می‌باشد. به عنوان مثال عدد اولویت ریسک در عامل ریسک افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی، با توجه به اعداد قطعی شده برای احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف ریسک که به ترتیب برابر ۷/۰۶ ، ۷/۵۲ و ۶/۹۸ می‌باشند داریم:

$$RPN = 7.06 \times 7.52 \times 6.98 = 370.56$$

۲-۲- معرفی عوامل ریسک

معرفی عوامل ریسک مرتبط و تأثیرگذار بر پروژه‌ها، یکی از عوامل مهم در رسیدن به موفقیت در پروژه‌هاست. در این پژوهش با توجه به مطالعات قبلی در کشورهای مختلف مانند Osei-Kyei and Chan (2015) که یک پژوهش مروری از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ در مورد ریسک‌های موجود در مشارکت‌های عمومی خصوصی در پروژه‌های آب بود، Yelin et al. (2010) و Ameyaw and Chan (2015)، ۳۲ عامل ریسک مرتبط با ppp پروژه‌های آب استان و همچنین با توجه به نظرات کارشناسان و پژوهش‌های انجام شده در این حوزه در داخل استان ۷ عامل ریسک دیگر شناسایی و در نهایت ۳۹ عامل ریسک برای بررسی سطح ریسک کل در مشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های تأمین آب استان قم معرفی شدند.

۲-۳- توزیع پرسشنامه

پژوهش در مورد مدیریت ریسک در مشارکت‌های عمومی خصوصی به صورت برجسته‌ای از توزیع پرسشنامه محقق می‌شود (Haarmeyer and Mody, 1998; Vives et al., 2006; Zeng et al., 2007; Wibowo and Mohamed, 2010; Ameyaw and Chan, 2015). در این راستا از مدیران و کارشناسان ۱۰ بخش ادارات آب استان (در مجموع ۵۳ نفر) که دارای سابقه کار حداقل ۶ سال در این حوزه بودند (جدول ۱)، برای ارزیابی ۳۹ عامل ریسک مشخص شده در PPP پروژه‌های تأمین آب استان قم، استفاده گردید. پرسشنامه‌ها سه بار در سازمان پخش شد که هر بار توزیع مربوط به یکی از اجزای عدد اولویت ریسک (احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف) بود و از شرکت‌کنندگان خواسته شد که به سوالات به صورت پنج نقطه (کم =۲ ، متوسط =۴، زیاد =۶، خیلی زیاد =۸ و خطرناک با هشدار و خطرناک بدون هشدار =۱۰) پاسخ دهند. با توجه به اینکه احتمال وقوع و شدت اثر هر ریسک با معیار رتبه‌دهی بیان شده به صورت فازی و پنج نقطه‌ای رابطه مستقیم داشته و بدین صورت است که اگر شدت اثر یک عامل ریسک زیاد بوده به آن ریسک متناسب با خودش یعنی عدد ۶ را تخصیص می‌دهیم و برای احتمال

وقوع ریسک نیز بـــه همین صورت است ولی احتمال کشف یک عـامل ریسک بـــا معیار رتبه‌دهی بیان شـــده بـــه صورت فـــازی و پنج نقطه‌ای رابطه عکس داشته و بـدیـــن صورت است کـــه اگـــر احتمال کشف یک عامل ریسک کم باشد بـــه آن عـــدد ۱۰ و بـــه همین منوال و طبق جـــدول ۱ اعـــداد را بـــه آن اختصاص می‌دهیم (Rak and Tchorzewska-Cieslak, 2010).

۲-۴- محاسبه داده‌ها و نتایج

اطلاعات به‌دست آمده از توزیع پرسشنامه‌ها را با استفاده از نرم-افزارهای Excel 2016 و XFMEA 8.0 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و عدد اولویت ریسک برای هر کدام از عوامل ریسک محاسبه گردید. با استفاده از معادله شماره ۲، عددهای اولویت ریسک نرمالیزه شدند، این شیوه نرمال‌سازی در پژوهش‌های Yelin et al. (2010) و Ameyaw and Chan (2015) مورد استفاده قرار گرفته است که در آن هر عامل ریسکی که مقدار نرمالیزه شده آن بزرگتر یا مساوی ۰/۵ باشد عامل ریسک بحرانی محسوب شده و به عنوان ورودی برای محاسبه سطح ریسک کل مورد استفاده قرار می‌گیرد، محاسبات ذکر شده در جدول شماره ۳ آمده است. پس از محاسبه اعداد اولویت ریسک و نرمالیزه‌سازی، ۲۲ عامل ریسک که مقدار نرمالیزه شده آنها از ۰/۵ بیشتر شد، به عنوان عوامل بحرانی ریسک (CRF)[۱۲] شناخته شدند. این ۲۲ عامل بحرانی ریسک در چهار زیرگروه (CRG)[۱۳] به ترتیب زیر گروه مدیریتی، زیر گروه حقوقی/ سیاسی، زیرگروه مالی و زیرگروه تکنیکی و فنی، تقسیم‌بندی شدند. جدول ۶ تقسیم‌بندی عوامل بحرانی ریسک را به چهار زیر گروه نمایش می‌دهد.

$$\text{مقدارنرمال شده} = \frac{\text{کمترین مقدار میانگین} - \text{مقدار میانگین حقیقی}}{\text{کمترین مقدار میانگین} - \text{بیشترین مقدار میانگین}} \quad (۲)$$

برای اعتبار سنجی نتایج حاصل از روش FMEA، اطلاعات بدست آمده از توزیع پرسشنامه‌ها برای هر کدام از عوامل ریسک را با استفاده از روش استاندارد تحلیل ریسک سلسله مراتبی فازی (FAHP)[۱۴] مورد بررسی قرار داده و و با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن ارتباط نتایج حاصله از حل با دو روش یاد شده، به‌دست آورده شده است.

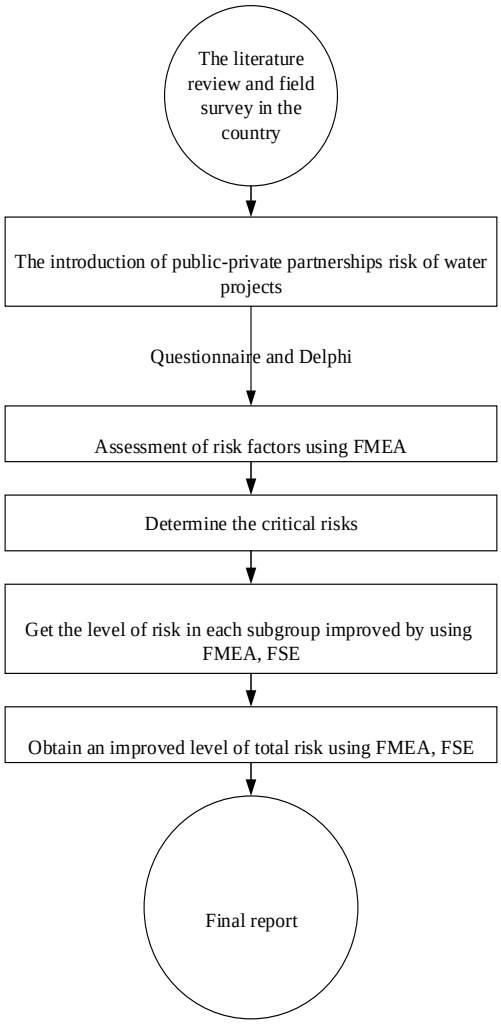

Fig. 1- The stages of this study

شکل ۱- ترتیب پژوهش برای این مطالعه

Table 1- Linguistic Variables

جدول ۱- متغیرهای زبانی

Linguistic Variables	Allocated number to Detection	Allocated number to Severity	Allocated number to Occurance
Low	10	2	2
Mid	8	4	4
High	6	6	6
Very High	4	8	8
Dangerous with/without the alarm	2	10	10

Table 2- List of organizations and managers

جدول ۲- اسامی سازمان‌ها و مدیران شرکت کننده در ارزیابی عوامل ریسک

Organizations and managers	Number	%
Contract Manager	5	9.5
Deputy Finance	6	11.3
Department of Enterprise Resource Planning	4	7.5
Center for Statistics and Information Technology	6	11.3
Office of Budget and Economic Analysis	5	9.5
Office of Legal Affairs and Land Acquisition	5	9.5
Bureau of Education and Human Resources	6	11.5
Office of exploitation	6	11.3
Customer Manager	4	7.5
Office managers and improve the management quality	6	11.3
Total	53	100

برای استفاده از روش FAHP (برای جزئیات بیشتر Chang (1996) را ببینید.) هر کدام از اجزای عدد اولویت ریسک (احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف) به عنوان معیارهای انتخاب در نظر گرفته شد که با توجه به ماهیت روش FMEA، وزن هر کدام از این معیارها با هم برابر می‌باشد. سپس ۳۹ عامل ریسک یاد شده به عنوان گزینه‌های مورد بررسی در نظر گرفته شد و اعداد فازی مثلثی و رتبه نهایی بدست آمده هرکدام از عوامل ریسک در روشFAHP، در جدول ۴ آمده است.

هرگاه داده‌ها به‌صورت رتبه‌ای جمع‌آوری شده باشند یا به رتبه تبدیل شده باشند، می‌توان از همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن یا ρ اسپیرمن استفاده کرد. نحوه همبستگی و ارتباط دو متغیر دارای اهمیت می‌باشد و از این راه می‌توان یکی از این دو متغیر را کنترل یا پیش‌بینی کرد. برای سنجش این نوع همبستگی ضرائب گوناگون به کار می‌روند. که یکی از آن‌ها ضریب همبستگی اسپیرمن می‌باشد که یکی از روش‌های ناپارامتریک است. ضریب همبستگی رتبه‌ای را با r_s نشان می‌دهیم. در این پژوهش رتبه‌های بدست آمده از روشFAHP را با X_i و رتبه‌های بدست آمده از روش FMEA را با Y_j نمایش می‌دهیم. طرز محاسبهٔ ضریب همبستگی رتبه‌ای برای داده‌های زوجی (X_i, Y_j) برای $i = 1,2,3,\ldots,39$ بدین‌صورت است: ابتدا به تمام Xها برحسب مقادیرشان رتبه می‌دهیم و همین کار را نیز برای y ها انجام می‌دهیم، سپس تفاضل بین رتبه‌های هر زوج را که با d_j نشان می‌دهیم حساب می‌کنیم. در مرحله بعد توان دوم dها را محاسبه کرده، در نهایت با استفاده از این معادله شماره ۳، ضریب همبستگی رتبه‌ای را حساب می‌کنیم (Hosseini, 2003). کلیه محاسبات فوق در جدول ۴ آمده است. همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، ضریب همبستگی روش FMEA با روش استاندارد تحلیل ریسک سلسله مراتبی فازی (FAHP)، ۰/۹۹ بدست آمده است که بیانگر معتبر بودن و رابطه نزدیک نتایج حاصل از روش FMEA با روش استاندارد تحلیل ریسک سلسله مراتبی فازی (FAHP) می‌باشد.

$$r_s = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{39} d_i^2}{n(n^2-1)} = 1 - \frac{6\times 83}{39(39^2-1)} = 0.99 \qquad (۳)$$

۲-۵- روش ارزیابی مصنوعی فازی (FSE)

روش FSE یک روش ارزیابی تصمیم‌گیری چندمعیاره است، این روش دارای سه جزء اصلی شرح زیر می‌باشد (Yelin et al., 2010):

۱- مجموعه عوامل بحرانی ریسک که در این پژوهش ۲۲ عامل می‌باشند که در جدول ۶ آمده‌اند، عبارتند از: افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی، مدیریت و کنترل و بهره‌برداری از منابع آب، عدم ثبات شرایط جوی و الگوهای بارندگی، حفاظت کمی و کیفی از منابع آب، تداوم مدیریت سنتی در بهره‌برداری در بخش کشاورزی، آلودگی زیست محیطی، ضعف مدیریت در آب، رهبری خوب و مهارت اداره کردن سازمان، حاکمیت منسجم، استخدام مشاوران آگاه، نظارت مستمر، فساد دولتی، طراحی ضعیف قراردادها، تورم، تغییر قیمت، هزینه‌های بالای عملیاتی، عدم پرداخت مطالبات، اختراع و نوآوری تکنولوژی، شکست لوله‌ها در هنگام توزیع آب، ریسک اجرا، فقدان حمایت از زیرساخت‌ها و عدم توسعه‌ی فناوری بازیافت آب.

۲- یک مجموعه درجات به صورت $E = \{e_1, e_2, \ldots., e_n\}$ که در این پژوهش پنج درجه به صورت زیر برای هر سه بعد (احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف) در نظر گرفته شده است: کم $= e_1$، $= e_2$ متوسط، زیاد $= e_3$، خیلی زیاد $= e_4$، خطرناک با هشدار و خطرناک بدون هشدار$= e_5$.

۳- برای هر کدام از زیر گروه‌ها، یک ماتریس ارزیابی $R = (r_{ij})_{m\times n}$ وجود دارد. r_{ij} درصد پاسخ به هر درجه در سه بعد یاد شده است (شکل ۲).

که در شکل ۲، W اطلاعات ورودی شامل درصد پاسخ به هر درجه و وزن هر عامل خطر است، R مبدل ورودی‌ها به خروجی‌ها است و D خروجی مورد نظر است که در بخش‌های بعدی روش به دست آوردن آن را نشان خواهیم داد.

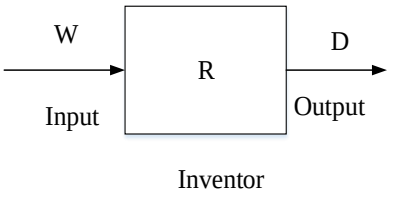

Fig. 2- FSE method structure
شکل ۲- ساختار روش FSE

۲-۶- به‌دست آوردن تابع عضویت برای هر CRF و CRG

ریاضیات فازی می‌تواند برای تولید تابع عضویت (MF)[۱۵] مورد استفاده قرار گیرد (Ameyaw and Chan, 2015). همانطورکه بیان شد با توجه به درجه گزینه‌ها برای ارزیابی احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف هر عامل ریسک، تابع عضویت هر بعد به صورت زیر (معادله ۴) به‌دست می‌آید (Ameyaw and Chan, 2015; Li et al., 2013; Yelin et al., 2010):

$$MF_{u_{in}} = \frac{X_{1u_{in}}}{e_1} + \frac{X_{2u_{in}}}{e_2} + \frac{X_{3u_{in}}}{e_3} + \frac{X_{4u_{in}}}{e_4} + \frac{X_{5u_{in}}}{e_5} \quad (۴)$$

که در آن u_{in} نشانگر n امین عامل ریسک در هر زیر گروه خاص است و $X_{ju_{in}}\ \forall j \in (2,4,6,8,10)$ بیانگر درصد پاسخ به سه بعد هر یک از عوامل ریسک است. MF برای هر یک از عوامل ریسک در هر زیر گروه به صورت زیر (معادله ۵) نوشته می‌شود.

(۵)

$$MF_{u_{in}} = (X_{1u_{in}} + X_{2u_{in}} + X_{3u_{in}} + X_{4u_{in}} + X_{5u_{in}}), \sum_{j=1}^{5} X_{ju_{in}} = 1$$

توابع عضویت برای تمام عوامل ریسک در جدول ۷ آمده است. به طور مثال برای محاسبه $MF_{u_{23}}$ در سه بعد شدت اثر، احتمال وقوع و احتمال کشف داریم:

$$MF_{u_{23(S)}} = \frac{0.08}{e_1} + \frac{0.14}{e_2} + \frac{0.23}{e_3} + \frac{0.32}{e_4} + \frac{0.23}{e_5}$$

$$MF_{u_{23(O)}} = \frac{0.13}{e_1} + \frac{0.23}{e_2} + \frac{0.32}{e_3} + \frac{0.23}{e_4} + \frac{0.09}{e_5}$$

$$MF_{u_{23(D)}} = \frac{0.36}{e_1} + \frac{0.33}{e_2} + \frac{0.23}{e_3} + \frac{0.14}{e_4} + \frac{0.04}{e_5}$$

۲-۷- محاسبه وزن هر CRF و CRG

وزن هر کدام از ۲۲ عامل ریسک و ۴ زیرگروه به صورت زیر (معادله ۶) به‌دست می‌آید (Yelin et al., 2010):

$$W_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^{5} M_i} \quad (۶)$$

که در آن W_i نمایانگر وزن هر CRF و CRG، M_i نمایانگر میانگین به‌دست آمده از هر CRF و CRG، $\sum_{i=1}^{5} M_i$ نمایانگر مجموع میانگین به‌دست آمده از هر CRF و CRG می‌باشند. وزن‌های به‌دست آمده از هر عامل ریسک و هر زیرگروه در جدول ۸ آمده است.

۲-۸- ایجاد ماتریس فازی $R = (r_{ij})_{m\times n}$

برای تعیین سطح بحرانی بودن هر زیرگروه (CRG) در پروژه، ابتدا در هر زیرگروه تابع عضویت برای هر عامل ریسک CRF در سه بعد را یاد شده مانند ماتریس زیر (معادله ۷) بدست می‌آوریم:

$$R_i = \begin{bmatrix} MF_{u_{i1}} \\ MF_{u_{i2}} \\ . \\ . \\ MF_{u_{in}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{1u_{i1}} & \dots & X_{5u_{i1}} \\ X_{1u_{i2}} & \dots & X_{5u_{i2}} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ X_{1u_{in}} & \dots & X_{5u_{in}} \end{bmatrix} \quad (۷)$$

سپس ماتریس ارزیابی فازی D_i با توجه به وزن‌های محاسبه شده $(W_i = \{W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{in}\})$ برای هر CRF در هر زیرگروه به صورت زیر (معادله ۸) محاسبه می‌شود:

$$D_i = W_i \times R_i = (W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{in}) \times \begin{bmatrix} X_{1u_{i1}} & \dots & X_{5u_{i1}} \\ X_{1u_{i2}} & \dots & X_{5u_{i2}} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ X_{1u_{in}} & \dots & X_{5u_{in}} \end{bmatrix} = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{in}) \quad (۸)$$

ماتریس ارزیابی فازی را باید برای سه بعد تمام عوامل بحرانی ریسک به‌دست آورده شود. به‌عنوان نمونه ماتریس ارزیابی فازی را برای شدت اثر زیرگروه مدیریتی به صورت زیر محاسبه شده است.

$$D_{u_{1(s)}} = W_{u_{1(s)}} \times R_{u_{1(s)}}$$
$$= (0.152,0.130,0.149,0.162,0.142,0.136,130) \times \begin{bmatrix} 0.04 & 0.18 & 0.27 & 0.32 & 0.19 \\ 0.00 & 0.19 & 0.27 & 0.32 & 0.22 \\ 0.14 & 0.18 & 0.18 & 0.27 & 0.32 \\ 0.00 & 0.00 & 0.23 & 0.50 & 0.27 \\ 0.04 & 0.14 & 0.14 & 0.36 & 0.32 \\ 0.04 & 0.23 & 0.23 & 0.27 & 0.23 \\ 0.00 & 0.14 & 0.32 & 0.36 & 0.18 \end{bmatrix}$$
$$= (0.04,0.15,0.23,0.34,0.24)$$

پس از تعیین ماتریس فازی D_i که برای تمام زیرگروه‌ها در جدول ۹ آمده است، برای ارزیابی ریسک کل در هر بعد (احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف) ماتریس فازی $\bar{R}_i$ را تعریف به صورت زیر (معادله ۹) تعریف می‌کنیم.

$$\bar{R}_i = \begin{vmatrix} D_1 \\ D_2 \\ . \\ . \\ D_4 \end{vmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{15} \\ d_{12} & \dots & d_{25} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ d_{14} & \dots & d_{45} \end{bmatrix} \quad (۹)$$

که در آن D_1 و D_2 و D_3 و D_4 به ترتیب به زیر گروه‌های مدیریتی، حقوقی/سیاسی، مالی تکنیکی/فنی بر می‌گردند. با توجه به روابط یاد شده برای بدست آوردن ریسک کل در هر زیرگروه باید از وزن‌های به‌دست آمده درجدول ۸ که به صورت $\bar{W} = \{w_1, w_2, w_3, w_4,\}$ می‌باشند و مانند حالتی قبل که ماتریس ارزیابی فازی برای هر عامل ریسک محاسبه شد، در اینجا ماتریس ارزیابی فازی برای هر زیرگروه به صورت زیر (معادله ۱۰) محاسبه می‌شود.

(۱۰)

$$\bar{D}_i = \bar{W}_i \times \bar{R}_i = (W_1, W_2, W_3, W_4) \times \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{15} \\ d_{12} & \dots & d_{25} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ d_{14} & \dots & d_{45} \end{bmatrix} = (\acute{D}_1, \acute{D}_2, \acute{D}_3, \acute{D}_4, \acute{D}_5)$$

این ماتریس باید برای سه سطح احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف محاسبه شود. سپس این مقدار به صورت زیر (معادله ۱۱) در متغیرهای زبانی ضرب شود تا سطح ریسک هر زیرگروه محاسبه شود.

(۱۱)

$$RL_i = \sum_{i=1}^{5} \bar{D}_i \times L = (\acute{D}_1, \acute{D}_2, \acute{D}_3, \acute{D}_4, \acute{D}_5) \times (2,4,6,8,10)$$

که در آن RL برای هر کدام از سطوح (احتمال رخداد، شدت اثر و احتمال کشف) است و L مقدار عددی متغیرهای زبانی مورد استفاده شده است. لذا برای ادغام این سطوح و محاسبه ریسک کل(ORL)[۱۶] در پژوهش‌های Yelin et al., (2010) و Ameyaw and Chan (2015) از روش زیر (معادله ۱۲) استفاده کرده‌اند:

$$ORL = \sqrt[2]{(\sum_{i=1}^{5} \bar{D}_O \times L) \times (\sum_{i=1}^{5} \bar{D}_S \times L)} \quad (۱۲)$$

در اینجا این روش را ارتقا داده شده و با ترکیب روش FSE با شاخص‌های روش FMEA، مقدار ریسک کل را در سه بعد مذکور به صورت زیر (معادله ۱۳) محاسبه می‌کنیم:

(۱۳)

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

که در ریسک کل O، S و D به ترتیب بیانگر احتمال وقوع،شدت اثر و احتمال کشف ریسک هستند. با توجه به ترکیب دو روش و جدول ۹ مقدار ریسک هر زیرگروه در سه سطح احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف به صورت زیر (معادله ۱۴) به‌دست می‌آید:

$$RL_{u_1} = \sqrt[3]{240.92} = 6.22 \quad (۱۴)$$

به همین صورت برای زیرگروه‌های دیگر داریم:

$$RL_{u_2} = 5.83, RL_{u_3} = 6.05, RL_{u_4} = 5.53$$

۲-۹- محاسبه سطح ریسک کل درمشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های تأمین آب

با توجه به روش ارتقایافته FSE، ماتریس ارزیابی فازی برای سطح احتمال وقوع به صورت زیر (معادله ۱۵) محاسبه می‌شود:

$$\bar{D}_o = \bar{W}_o \times \bar{R}_o = (0.358,0.222,0.187,0.260) \times \begin{vmatrix} 0.10 & 0.24 & 0.28 & 0.27 & 0.12 \\ 0.11 & 0.29 & 0.31 & 0.19 & 0.10 \\ 0.14 & 0.24 & 0.26 & 0.24 & 0.13 \\ 0.13 & 0.27 & 0.28 & 0.21 & 0.10 \end{vmatrix} = (0.12,0.27,0.29,0.24,0.11) \quad (۱۵)$$

به همین صورت برای شدت وقوع و احتمال کشف داریم (معادلات ۱۶ و۱۷):

$$\bar{D}_S = \bar{W}_S \times \bar{R}_S = (0.06,0.14,0.23,0.36,0.25) \quad (۱۶)$$

$$\bar{D}_D = \bar{W}_D \times \bar{R}_D = (0.24,0.27,0.20,0.17,0.10) \quad (۱۷)$$

حال مقدار ریسک کل را با استفاده از رابطه شماره ۱۳ محاسبه می‌کنیم (معادله ۱۸):

$$ORL = \sqrt[3]{238.16} = 6.19 \quad (۱۸)$$

۳- زیرگروه‌ها

۳-۱- CRG_1: زیرگروه مدیریتی

این زیرگروه شامل ۷ عامل ریسک است که این عوامل در آن بیشتر به صورت مدیریتی هستند و در مجموع دارای سطح ریسک زیاد (۶/۲۲) است. این زیرگروه با توجه به محاسبات انجام شده به عنوان اولین و بحرانی‌ترین زیرگروه در این پژوهش شناخته شده است که در آن احتمال وقوع عوامل ریسک ۶/۱۳ می‌باشد که سطح ریسک بالایی را داراست به علاوه شدت اثر و احتمال کشف این دسته از عوامل ریسک به ترتیب ۷/۳۲ و ۵/۳۷ است که دارای شدت اثر بسیار زیاد و احتمال کشف متوسط است مهم‌ترین عامل ریسک در این زیرگروه افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی می‌باشد.

Table 3- Introducing and ranking risk factors

جدول ۳- معرفی عوامل ریسک و رتبه‌بندی آنها

Risk factor	O	S	D	RPN	Rank	Normalization
Increase in population and civilization	7.06	7.52	6.98	370.58	1	1.00
Inconsistency in climate weather and raining pattern	4.9	6.42	6.72	211.40	21	0.55
Continuation in traditional management of exploitation in agriculture	6.9	7.36	7.26	368.69	2	0.99
Climate pollution	6.9	8.04	5.44	301.79	8	0.81
Problems with water recovery technology	4.72	7.26	7.08	242.61	17	0.64
Problems with cultural understanding of water protection	4.36	6.44	6.36	178.58	23	0.46
Weaknesses in water management	6.54	6.72	7.26	319.07	7	0.86
Basic studies and experiments	4.52	4.36	4.16	81.98	36	0.19
Social-public support	4.16	5.8	5.06	122.09	30	0.30
Political support	4.18	4.32	3.8	68.62	37	0.15
Macro-economy consistency situation	4.54	4.54	4.56	93.99	34	0.23
Strong warranty from both of the performing parties	4.72	5.62	4.9	129.98	26	0.33
Political violence	5.08	5.8	4.14	121.98	29	0.30
Economical consistency	5.8	5.8	5.26	176.95	24	0.46
Appropriate leadership and managing the office skillfully	6.72	7.8	6.54	342.80	4	0.92
Coherent management	6.18	6.9	6.54	278.88	11	0.74
Employment of expert consultants	5.72	6.8	6.26	243.49	16	0.64
Continuous monitoring	5.36	6.8	6.62	241.29	18	0.64
Governmental fraud	4.62	6.26	7.9	228.48	20	0.60
Public resistance against PPP	4.44	5.36	4.08	97.10	32	0.23
Exclusivity negation	4.26	5.18	4.08	90.03	35	0.21
Inflation rate	6.08	7.54	7.44	341.07	5	0.92
Market demands change	3.9	4.62	5.36	96.58	33	0.23
Price change	6.08	6.44	7.04	275.65	12	0.73
Non-payment of bills	6.26	7.72	7.18	346.99	3	0.93
High operational cost	5.72	6.44	7.18	264.49	13	0.70
Fluctuations in absorption rate	5.9	5.36	5.14	162.55	25	0.42
Management, control, and exploitation of water resources	5.36	7.04	7.04	265.65	14	0.71
Competitive financial offers	2.26	2.72	2.18	13.40	39	0.00
Qualitative and quantitative security of water resources	4.74	6.44	7.9	241.15	19	0.64
Inventions and innovations in water technology	4.26	6.08	7.9	204.62	22	0.54
Equal skill level in both of the performing groups	4.44	5.18	5.54	127.42	27	0.32
Delivery or assurance of service	3.14	4.54	4.62	65.86	38	0.15
Effect of environment on the project	4.08	4.26	5.72	99.42	31	0.24
Pipeline failures during distribution	7.04	7.54	6/44	341.85	6	0.92
Lack of PPP experience	4.26	5.36	5.36	122.39	28	0.31
Poor contract design	5.9	6.8	7.36	295.28	9	0.79
Supporting utility risk	5.72	6.26	7.04	252.08	15	0.67
Lack of support for infrastructures	5.9	7.54	6.62	294.50	10	0.79

Table 4- Obtained result by FAHP method

جدول ۴- نتایج حاصل از روش FAHP

Risk factor	O	S	D	$\sum_{J=1}^{m} M_{gi}^{j}$	Determinestic value	Rank
Increase in population and civilization	(7.02,7.03,7.16)	(6.14,7.39,9.16)	(6.16,6.27,9.22)	(19.32,20.69,25.44)	21.54	1
Inconsistency in climate weather and raining pattern	(4.35,4.40,6.45)	(6.06,6.12,7.38)	(6.22,6.42,7.82)	(16.63,16.94,20.10)	17.56	22
Continuation in traditional management of exploitation in agriculture	(5.24,7.09,8.18)	(5.32,8.03,8.06)	(5.45,7.21,9.17)	(15.01,22.33,25.13)	21.20	2
Climate pollution	(4.83,6.91,8.91)	(7.58,7.65,9.28)	(3.16,6.19,6.22)	(15.57,20.75,22.40)	19.87	8
Problems with water recovery technology	(3.16,4.22,7.28)	(5.38,7.07,9.52)	(3.98,8.05,8.24)	(12.52,19.34,22.48)	18.42	18
Problems with cultural understanding of water protection	(2.65,4.75,5.29)	(4.64,6.59,7.12)	(5.13,6.25,7.81)	(13.24,17.59,19.29)	16.93	23
Weaknesses in water management	(5.32,6.10,8.64)	(5.67,6.29,8.13)	(5.66,7.22,8.94)	(16.95,19.61,23.81)	20.00	7
Basic studies and experiments	(2.36,4.94,5.84)	(2.13,4.96,5.39)	(3.49,4.07,5.01)	(7.98,13.97,14.92)	12.71	36
Social-public support	(2.85,4.34,5.11)	(4.39,6.25,6.31)	(3.46,4,82,7.14)	(10.70,15.41,17.61)	14.78	28
Political support	(3.67,4.18,4.69)	(3.91,4.01,5.35)	(2.94,3.94,4.38)	(10.52,12.13,13.91)	12.17	37
Macro-economy consistency situation	(3.67,4.52,5.44)	(2.91,5.12,5.01)	(3.29,4.67,5.43)	(9.87,14.40,19.97)	13.41	34
Strong warranty from both of the performing parties	(3.43,5.11,5.23)	(4.67,5.71,6.39)	(3.49,5.09,5.93)	(11.59,15.91,17.04)	15.11	26
Political violence	(3.56,5.21,6.34)	(4.13,6.05,6.97)	(3.71,3.96,4.93)	(11.40,15.22,16.98)	14.71	29
Economical consistency	(3.49,6.44,6.83)	(4.03,4.19,6.79)	(4.28,5.21,6.34)	(11.80,15.84,18.93)	15.60	25
Appropriate leadership and managing the office skillfully	(4.73,6.58,8.99)	(6.23,8.07,8.83)	(4.14,6.72,8.58)	(15.10,21.37,24.13)	20.49	6
Coherent management	(5.23,5.29,8.91)	(3.96,7.86,8.92)	(3.78,7.33,7.72)	(12.97,20.48,21.82)	18.94	14
Employment of expert consultants	(3.83,4.84,9.37)	(3.81,7.58,8.23)	(5.35,6.12,7.45)	(12.99,18.54,21.4)	17.87	20
Continuous monitoring	(4.31,4.47,8.19)	(3.41,7.77,8.25)	(5.32,5.94,9.28)	(13.04,18.18,22.89)	18.07	19
Governmental fraud	(3.91,4.47,5.63)	(4.93,5.79,8.53)	(6.54,8.22,8.62)	(15.38,18.48,21.77)	18.53	17
Public resistance against PPP	(3.26,4.43,5.64)	(3.41,5.56,6.91)	(3.01,4.20,4.91)	(9.68,14.19,16.26)	13.58	33
Exclusivity negation	(2.36,4.74,5.20)	(4.06,4.66,7.34)	(2.58,4.20,5.34)	(9.00,13.60,16.94)	13.29	35
Inflation rate	(5.23,5.93,7.23)	(6.01,7.65,8.85)	(4.67,7.93,9.23)	(15.91,21.15,24.16)	20.77	3
Market demands change	(20.67,4.20,4.53)	(3.82,4.67,5.14)	(4.21,5.19,6.85)	(10.70,14.15,15.89)	13.72	32
Price change	(5.71,5.61,7.39)	(5.19,6.26,8.05)	(5.08,6.56,9.96)	(15.98,18.43,24.09)	19.23	11
Non-payment of bills	(4.93,5.94,6.79)	(3.31,5.11,7.91)	(3.64,5.08,6.76)	(11.88,16.13,20.57)	16.18	24
High operational cost	(3.42,6.26,6.94)	(3.51,7.15,7.95)	(5.53,7.04,9.11)	(12.46,20.45,22.78)	19.04	13
Fluctuations in absorption rate	(5.63,5.78,7.85)	(4.63,8.44,9.37)	(6.32,7.13,8.14)	(16.58,21.35,23.77)	20.76	4
Management, control, and exploitation of water resources	(3.29,5.84,6.47)	(5.37,6.80,9.19)	(4.91,7.13,8.99)	(13.57,19.77,23.54)	19.16	12
Competitive financial offers	(2.01,2.05,2.93)	(2.11,2.82,3.13)	(2.04,2.06,2.56)	(6.16,6.93,7.95)	6.99	39
Qualitative and quantitative security of water resources	(3.71,4.71,5.83)	(4.61,6.13,8.89)	(5.38,8.45,9.32)	(13.70,19.29,22.95)	22.95	15
Inventions and innovations in water technology	(3.14,4.02,5.86)	(5.31,5.43,5.11)	(6.28,7.75,9.82)	(22.23,17.20,14.73)	17.84	21
Equal skill level in both of the performing groups	(3.62,4.34,5.46)	(4.09,4.84,6.95)	(3.91,4.70,8.85)	(11.62,13.88,20.24)	14.91	27
Delivery or assurance of service	(2.31,2.81,4.63)	(3.61,4.61,5.33)	(3.91,4.32,5.93)	(9.83,11.74,14.40)	11.93	38
Effect of environment on the project	(3.76,3.77,5.02)	(3.14,4.11,5.68)	(3.64,6.13,6.98)	(10.54,14.01,16.74)	13.83	31
Pipeline failures during distribution	(4.96,7.32,8.59)	(4.39,8.42,8.93)	(4.14,5.95,9.72)	(13.49,21.69,25.69)	20.64	5
Lack of PPP experience	(3.01,3.64,6.75)	(4.26,4.54,8.08)	(3.13,4.30,9.71)	(10.40,12.48,22.05)	14.35	30
Poor contract design	(5.53,5.12,7.83)	(4.39,7.49,7.91)	(5.64,7.73,8.34)	(15.56,20.30,22.15)	19.58	10
Supporting utility risk	(5.28,5.48,6.64)	(4.15,6.47,7.95)	(3.61,8.09,8.37)	(13.04,20.04,22.04)	18.79	16
Lack of support for infrastructures	(4.13,6.12,7.23)	(6.39,7.52,8.73)	(5.35,6.80,7.53)	(15.87,20.44,22.16)	19.73	9

Table 5- Obtained result with FAHP, FMEA and their rank correlations

جدول ۵- نتایج حاصل از روش‌های FAHP و FMEA و همبستگی رتبه‌ای آنها

Risk factor	Rank in FMEA	Rank in FAHP	d_i	d_i^2
Increase in population and civilization	1	1	0	0
Inconsistency in climate weather and raining pattern	21	22	1	1
Continuation in traditional management of exploitation in agriculture	2	2	0	0
Climate pollution	8	8	0	0
Problems with water recovery technology	17	18	1	1
Problems with cultural understanding of water protection	23	23	0	0
Weaknesses in water management	7	7	0	0
Basic studies and experiments	36	36	0	0
Social-public support	30	28	2	4
Political support	37	37	0	0
Macro-economy consistency situation	34	34	0	0
Strong warranty from both of the performing parties	26	26	0	0
Political violence	29	29	0	0
Economical consistency	24	25	1	1
Appropriate leadership and managing the office skillfully	4	6	2	4
Coherent management	11	14	3	9
Employment of expert consultants	16	20	4	16
Continuous monitoring	18	19	1	1
Governmental fraud	20	17	3	9
Public resistance against PPP	32	33	1	1
Exclusivity negation	35	35	0	0
Inflation rate	5	3	2	4
Market demands change	33	32	1	1
Price change	12	11	1	1
Non-payment of bills	25	24	1	1
High operational cost	13	13	0	0
Fluctuations in absorption rate	3	4	1	1
Management, control, and exploitation of water resources	14	12	2	4
Competitive financial offers	39	39	0	0
Qualitative and quantitative security of water resources	19	15	4	16
Inventions and innovations in water technology	22	21	1	1
Equal skill level in both of the performing groups	27	27	0	0
Delivery or assurance of service	38	38	0	0
Effect of environment on the project	31	31	0	0
Pipeline failures during distribution	6	5	1	1
Lack of PPP experience	28	30	2	4
Poor contract design	9	10	1	1
Supporting utility risk	15	16	1	1
Lack of support for infrastructures	10	9	1	1
Spearman correlation coefficients	0.99			

Table 6- Critical Risk Factors
جدول ۶- عوامل بحرانی ریسک

Critical Risk Factors	U	RPN	O.R[\]	R.W.C[\]
Management subcategory	**U_1**			
Increase in population and civilization	U_{11}	370.58	1	1
Inconsistency in climate weather and raining pattern	U_{12}	211.40	21	7
Continuation in traditional management of exploitation in agriculture	U_{13}	368.69	2	2
Climate pollution	U_{14}	301.79	8	4
Management, control, and exploitation of water resources	U_{15}	242.61	17	5
Weaknesses in water management	U_{16}	319.07	19	6
Qualitative and quantitative security of water resources	U_{17}	241.15	7	3
Legal subcategory	**U_2**			
Appropriate leadership and managing the office skillfully	U_{21}	342.80	4	1
Coherent management	U_{22}	278.88	11	2
Employment of expert consultants	U_{23}	243.49	16	3
Continuous monitoring	U_{24}	241.29	18	4
Governmental fraud	U_{25}	228.48	20	5
Financial subcategory	**U_3**			
Inflation rate	U_{31}	341.07	5	2
Price change	U_{32}	275.65	12	3
High operational cost	U_{33}	264.49	13	4
Non-payment of bills	U_{34}	346.99	3	1
Technological subcategory	**U_4**			
Inventions and innovations in water technology	U_{41}	204.62	22	6
Pipeline failures during distribution	U_{42}	341.85	6	1
Poor contract design	U_{43}	295.28	9	2
Supporting utility risk	U_{44}	252.08	15	4
Lack of support for infrastructures	U_{45}	294.50	10	3
Problems with water recovery technology	U_{46}	242.61	17	5

Table7- Membership Function for all critical risk factors

جدول ۷- تابع عضویت برای عوامل بحرانی ریسک

Subcategory	M. F of any risk factor for occurence(O) (level 3)	M.F each subcategory for occurence (level 2)	M. F of any risk factor for Severity of effect(S) (level 3)	M. F each subcategory for Severity of effect(S) (level 2)	M. F of any risk factor probablity of detection(D) (level 3)	M.F each subcategory for probability of detection(D) (level 2)
Management subcategory		(0.09,0.24, 0.28,0.27,0.08)		(0.04,0.15, 0.23,0.34,0.24)		(0.22,0.28, 0.20,0.18,0.12)
Increase in population and civilization	(0.00,0.27, 0.32,0.32,0.09)		(0.04, 0.18, 0.27,0.32,0.19)		(0.13,0.19, 0.22,0.28,0.18)	
Inconsistency in climate weather and raining pattern	(0.14,0.36, 0.36,0.14,0.00)		(0.00,0.19, 0.27,0.32,0.22)		(0.23,0.4, 0.19,0.09,0.09)	
Continuation in traditional management of exploitation in agriculture	(0.09,0.23, 0.32,0.27,0.09)		(0.14,0.18, 0.18,0.23,0.27)		(0.27,0.18, 0.23,0.23,0.09)	
Climate pollution	(0.09,0.09, 0.22,0.37,0.23)		(0.00,0.00, 0.23,0.50,0.27)		(0.09,0.23, 0.32,0.27,0.09)	
Management, control, and exploitation of water resources	(0.14,0.26, 0.23,0.23,0.14)		(0.04,0.14, 0.14,0.36,0.32)		(0.23,0.27, 0.14,0.18,0.18)	
Weaknesses in water management	(0.09,0.18, 0.23,0.32,0.18)		(0.04, 0.23 , 0.23,0.27,0.23)		(0.18,0.36, 0.18,0.14,0.14)	
Qualitative and quantitative security of water resources	(0.19,0.36, 0.27,0.14,0.04)		(0.00,0.14, 0.32,0.36,0.18)		(0.37,0.32, 0.18,0.09,0.04)	
Legal subcategory		(0.11,0.29, 0.31,0.19,0.10)		(0.06,0.13, 0.24,0.22,0.35)		(0.32,0.26, 0.17,0.15,0.10)
Appropriate leadership and managing the office skillfully	(0.05,0.18, 0.27,0.32,0.18)		(0.00,0.00, 0.27,0.50,0.23)		(0.23,0.18, 0.18,0.27,0.14)	
Coherent management	(0.09,0.36, 0.32,0.14,0.09)		(0.04,0.18, 0.23,0.32,0.23)		(0.18,0.32, 0.23,0.13,0.14)	
Employment of expert consultants	(0.13,0.23, 0.32,0.23,0.09)		(0.08,0.14, 0.23,0.32,0.23)		(0.36,0.23, 0.23,0.14,0.04)	
Continuous monitoring	(0.09,0.36, 0.37,0.14,0.04)		(0.04,0.18, 0.27,0.33,0.18)		(0.36,0.23, 0.18,0.14,0.09)	
Governmental fraud	(0.23,0.36, 0.27,0.09,0.05)		(0.17,0.17, 0.17,0.27,0.22)		(0.46,0.32, 0.04,0.09,0.09)	
Financial subcategory		(0.14,0.23, 0.26,0.24,0.13)		(0.08,0.11, 0.21,0.37,0.23)		(0.21,0.26, 0.24,0.18,0.10)
Inflation rate	(0.09,0.27, 0.27,0.23,0.14)		(0.00,0.14, 0.23,0.36,0.27)		(0.14,0.27, 0.32,0.18,0.09)	
Price change	(0.14,0.18, 0.27,0.27,0.14)		(0.17,0.14, 0.14,0.32,0.23)		(0.13,0.23, 0.27,0.23,0.14)	
High operational cost	(0.13,0.32, 0.23,0.18,0.14)		(0.18,0.09, 0.18,0.37,0.18)		(0.27,0.23, 0.18,0.23,0.09)	
Non-payment of bills	(0.19,0.18, 0.27,0.27,0.09)		(0.00,0.09, 0.27,0.41,0.23)		(0.32,0.32, 0.18,0.09,0.09)	
Technological subcategory		(0.13,0.27, 0.28,0.21,0.10)		(0.07,0.15, 0.23,0.33,0.21)		(0.23,0.27, 0.23,0.18,0.09)
Inventions and innovations in water technology	(0.37,0.32, 0.18,0.09,0.04)		(0.14,0.18, 0.27,0.27,0.14)		(0.41,0.28, 0.18,0.09,0.04)	
Pipeline failures during distribution	(0.04,0.23, 0.23,0.27,0.23)		(0.00,0.09, 0.27,0.41,0.23)		(0.14,0.22, 0.14,0.27,0.23)	
Poor contract design	(0.14,0.23, 0.27,0.27,0.09)		(0.14,0.14, 0.09,0.36,0.27)		(0.18,0.27, 0.23,0.23,0.09)	
Supporting utility risk	(0.09,0.32, 0.32,0.18,0.09)		(0.04,0.27, 0.32,0.23,0.14)		(0.23,0.27, 0.27,0.14,0.09)	
Lack of support for infrastructures	(0.09,0.32, 0.37,0.18,0.04)		(0.04,0.14, 0.14,0.36,0.32)		(0.27,0.32, 0.23,0.14,0.04)	
Problems with water recovery technology	(0.13,0.23, 0.32,0.23,0.09)		(0.09,0.13, 0.32, 0.33,0.13)		(0.13,0.23, 0.32,0.23,0.09)	

Table 8- The weight of critical risk factors and each subcatagory

جدول ۸- وزن هر عامل ریسک و کلیه زیرگروه‌ها

Subcategory	O	[19]W	T	[18]W.O.S	s	W	[17]T	W.O.F	D	W	T	W.O.F
Management subcategory			42.4	0.329			49.54	0.322			48.64	0.316
Increase in population and civilization	7.06	0.167			7.52	0.152			6.98	0.144		
Inconsistency in climate weather and raining pattern	4.9	0.116			6.42	0.130			6.72	0.138		
Continuation in traditional management of exploitation in agriculture	6.9	0.163			7.36	0.149			7.26	0.149		
Climate pollution	6.9	0.163			8.04	0.162			5.44	0.112		
Management, control, and exploitation of water resources	5.36	0.126			7.04	0.142			7.04	0.145		
Weaknesses in water management	6.54	0.154			6.72	0.136			7.26	0.149		
Qualitative and quantitative security of water resources	4.74	0.112			6.44	0.130			7.9	0.162		
Legal subcategory			28.6	0.222			34.56	0.225			33.86	0.220
Appropriate leadership and managing the office skillfully	6.72	0.235			7.8	0.226			6.54	0.193		
Coherent management	6.18	0.216			6.9	0.200			6.54	0.193		
Employment of expert consultants	5.72	0.200			6.8	0.197			6.26	0.185		
Continuous monitoring	5.36	0.187			6.8	0.197			6.62	0.196		
Governmental fraud	4.62	0.162			6.26	0.181			7.9	0.233		
Financial subcategory			24.14	0.188			28.14	0.183			28.84	0.188
Inflation rate	6.08	0.252			7.54	0.268			7.44	0.258		
Price change	6.08	0.252			6.44	0.229			7.04	0.244		
High operational cost	5.72	0.237			6.44	0.229			7.18	0.249		
Non-payment of bills	6.26	0.259			7.72	0.274			7.18	0.249		
Technological subcategory			33.54	0.261			41.48	0.270			42.44	0.276
Inventions and innovations in water technology	4.26	0.127			6.08	0.147			7.9	0.186		
Pipeline failures during distribution	7.04	0.210			7.54	0.182			6.44	0.152		
Poor contract design	5.9	0.176			6.8	0.164			7.36	0.173		
Supporting utility risk	5.72	0.171			6.26	0.151			7.04	0.166		
Lack of support for infrastructures	5.9	0.176			7.54	0.182			6.62	0.156		
Problems with water recovery technology	4.72	0.141			7.26	0.175			7.08	0.167		

Table 9- Membership Function for each subcategory

جدول ۹- توابع عضویت برای هر زیرگروه

Occurrence	Weight of each subcategory	M.F for each subcategory (level 2)	M.F for total risk (level 1)
Management subcategory	0.329	(0.09,0.24, 0.28,0.27,0.08)	
Legal subcategory	0.222	(0.11,0.29, 0.31,0.19,0.10)	
Financial subcategory	0.187	(0.14,0.23, 0.26,0.24,0.13)	(0.11,0.26, 0.28,0.23,0.10)
Technological subcategory	0.26	(0.13,0.27, 0.28,0.21,0.10)	
Severity of effect	Weight of each subcategory	M.F for each subcategory	
Management subcategory	0.336	(0.04,0.15, 0.23,0.34,0.24)	
Legal subcategory	0.189	(0.06,0.13, 0.24,0.22,0.35)	
Financial subcategory	0.191	(0.08,0.11, 0.21,0.37,0.23)	(0.06,0.14, 0.23,0.32,0.25)
Technological subcategory	0.282	(0.07,0.15, 0.23,0.33,0.21)	
Probability of detection	Weight of each subcategory	M.F for each subcategory	
Management subcategory	0.316	(0.22,0.28, 0.20,0.18,0.12)	
Legal subcategory	0.22	(0.32,0.26, 0.17,0.15,0.10)	
Financial subcategory	0.187	(0.21,0.26, 0.24,0.18,0.10)	(0.24,0.27, 0.20,0.17,0.10)
Technological subcategory	0.276	(0.23,0.27, 0.23,0.18,0.09)	

Table 10- Total risk level

جدول ۱۰- سطح ریسک کل

Probability of occurrence in each subcategory	**index**	**linguistic variables**	**Rank**
Management subcategory U_1	6.13	high	1
Legal subcategory U_2	5.74	high	4
Financial subcategory U_3	5.96	high	3
Technological subcategory U_4	5.77	high	2
Severity of effect in each subcategory			
Management subcategory U_1	7.32	Very high	1
Legal subcategory U_2	7.07	Very high	3
Financial subcategory U_3	7.10	Very high	2
Technological subcategory U_4	6.90	high	4
Probability of detection in each subcategory			
Management subcategory U_1	5.37	Average	1
Legal subcategory U_2	4.89	Average	3
Financial subcategory U_3	5.25	Average	2
Technological subcategory U_4	4.27	Average	4
Total risk level			
Management subcategory U_1	6.22	high	1
Legal subcategory U_2	5.83	high	3
Financial subcategory U_3	6.05	high	2
Technological subcategory U_4	5.53	high	4
Total risk level of ppp project water in qom	6.19	high	

۳-۲- CRG_2: زیرگروه حقوقی/ سیاسی

ایـن زیـرگـروه دارای ۵ عضو است و بـــه دلیل ماهیت اعضای آن کـــه جنبه حقوقی/سیاسی دارنـــد در تحقیقات گذشته مانند Ameyaw and Chan (2015) نام‌گذاری شده است. در این زیرگروه رهبری خوب و مهارت اداره کردن سازمان به عنوان بحرانی‌ترین ریسک معرفی شده است و در مجموع این زیرگروه دارای سطح ریسک متوسط مایل به زیاد ۵/۸۳ می‌باشد از طرف دیگر سطوح ریسک در احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف به ترتیب ۵/۷۴ و ۷/۰۷ و ۴/۸۹ می‌باشد که دارای سطح ریسک شدت اثر زیاد و احتمال وقوع و احتمال کشف متوسطی است. در مجموع این زیر گروه دارای رتبه سوم در چهار زیر گروه یاد شده است.

۳-۳- CRG_3: زیر گروه مالی

این زیرگروه دارای ۴ عضو است و دارای سطح ریسک زیاد (۶/۰۵) است؛ زیرا که بحث مالی یکی از مهمترین موضوعات در همه‌ی پروژه‌ها به حساب می‌آید. هرچه سطح این ریسک کاهش پیدا کند سرمایه‌گذاری‌ها در پروژه‌ها افزایش یافته و باعث پیشرفت زیربنایی کشور می‌شود. در این زیر گروه عدم پرداخت مطالبات به عنوان بحرانی‌ترین عامل ریسک معرفی شده است. در مجموع این زیرگروه در رتبه دوم چهار زیرگروه یاد شده قرار گرفته است، از طرف دیگر سطوح ریسک در احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف به ترتیب ۵/۹۶ و ۷/۱۰ و ۵/۲۵ است که دارای ریسک زیادی در احتمال وقوع و به خصوص در شدت اثر است.

۳-۴- CRG_4: زیرگروه فنی/ تکنیکی

این زیرگروه دارای ۶ عضو است که در مجموع دارای سطح ریسک متوسط مایل به زیاد (۵/۵۳) می‌باشد در این زیرگروه شکست لوله‌ها در هنگام توزیع بحرانی‌ترین ریسک شناخته شده است. در مجموع این زیرگروه در رتبه چهارم قرار گرفته است، از طرف دیگر سطوح ریسک در احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف به ترتیب ۵/۷۷ و ۶/۹۰ و ۴/۲۷ می‌باشد که دارای ریسک شدت اثر بالا، احتمال وقوع متوسط رو به بالا و احتمال کشف متوسط می‌باشد. هرچه سطح کلی ریسک در این زیرگروه پایین‌تر باشد از نظر تکنیکی و فنی پروژه‌ها سرعت پیشرفت بیشتری پیدا می‌کنند.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به ارزیابی و رتبه‌دهی ریسک‌های موجود در مشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های تأمین آب استان قم پرداختیم. مشخص بودن عوامل ریسک و مقدار آنها موجود در این پروژه‌ها می‌تواند مورد استفاده مسئولان و مشارکت‌جویان خصوصی قرار گیرد. در این پژوهش ۳۹ عامل ریسک را با توجه به تحقیقات انجام شده در سال‌های اخیر در کشورهای دیگر و تحقیقات انجام شده در داخل کشور، معرفی شدند. پس از توزیع پرسشنامه و نظرسنجی از خبرگان این صنعت، داده‌ها را با استفاده از روش FMEA مورد تحلیل قرار دادیم. در نتیجه ۲۲ عامل از ۳۹ عامل ریسک به عنوان عوامل بحرانی ریسک شناسایی شدند. این ۲۲ عامل در چهار زیرگروه مدیریتی، حقوقی/سیاسی، مالی، تکنیکی/فنی دسته‌بندی شدند. عوامل بحرانی ریسک به عنوان ورودی‌های روش FSE در نظر گرفته شده و محاسبات صورت گرفت. در نهایت زیر گروه مدیریتی با سطح ریسک کل ۶/۲۲ به عنوان بحرانی‌ترین و پر ریسک‌ترین زیرگروه تعیین شد، زیرگروه مالی با سطح ریسک کل ۶/۰۵ به‌عنوان دومین و زیرگروه حقوقی/سیاسی با ریسک کل ۵/۸۳ به‌عنوان سومین و زیرگروه تکنیکی/فنی با ریسک کل ۵/۵۳ به عنوان چهارمین زیرگروه رتبه‌بندی شدند. در این پژوهش سطح ریسک کل برای مشارکت‌های عمومی خصوصی پروژه‌های تأمین آب استان قم ۶/۱۹ به‌دست آمد که نشان‌دهنده سطح بالای ریسک در این پروژه‌ها است.

پی نوشت‌ها

1-Private-Public Partnerships
2-High Speed Rail
3-Fuzzy Synthetic Evaluation
4- Nonlinear Integer Programming
5-Analytical Hierarchy Process
6-Analytical Network Process
7-Fault Mode and Effect Analysis
8-Risk Priority Number
9-Occurrence
10-Severity (for the Customer or the Organization)
11-Detection (Probability of Detection)
12-Critical Risk Factor
13-Critical Risk Group
14-Fuzzy Analytical Hierarchy Process
15-Membership Functions
16-Overall Risk Level
17-Total Risk Factors in Each Subcatagory Averages
18-The Weight of Each Subcatagory
19-Weight

۵- مراجع

Ameyaw, E E, and Chan APC (2013) Identifying public–private partnership (PPP) Risks in managing water supply projects in Ghana. Journal of Facilities Management, 11(2):152–182

Boussabaine A (2013) Risk pricing strategies for public–private partnership projects (1st)ed. John Wiley & Sons, Ltd

Chang, DY (1996) Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy-AHP. European Journal of Operational Research, 95(1):649-655

Cheung E, Chan APC (2011) Risk factors of public–private partnership projects in China: Comparison between the water, power, and transportation sectors. Journal of Urban Planning and Development, 137(4):409–415

Dahiya S, Singh B, Gaur S, Garg VK, Kushwaha HS (2007) Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation. Journal of Hazardous Materials, 147(3):938–946

Ameyaw EE, Chan APC (2015) Evaluation and ranking of risk factors in public–private partnership Water supply projects in developing countries using fuzzy synthetic Evaluation approach. Expert Systems with Applications, 42(12):5102–5116

Feili HR, Akar N, Lotfizadeh H, Bairampour M, Nasiri S (2013) Risk analysis of geothermal power plants using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) technique. Energy Conversion and Management, 72(1):69–76

Geng R, Xu G (2011) Application of AHP FSE method in the network course quality evaluation. Procedia Engineering ,15(2):4136–4141

Golabchi M, Noorzai E (2015) Select the appropriate method of public-private partnership to finance highway projects in Iran with AHP approach. Journal of Transportation Engineering, 6(3):523-537 (In Persian)

Haarmeyer D, Mody A (1998) Tapping the private sector: Approaches to1136 managing risk in water and sanitation. The World Bank, Washington D.C, 4(2):7-23

Heibati F, Rahnamaye Foudposhti F, Nikomaram H, Ahmadi M (2008) The relationship between economic freedom with public-private partnerships and provide a model for Iran. Journal of Economic Modeling Research, 2(2):25-52 (In Persian)

Hossieni SY (2003) Nonparametric statistics. Allameh Tabatabai University Press, 182p (In Persian)

Huang MWH, Yang H, Wang X, Lau HCW (2008) A fuzzy synthetic evaluation embedded tabu search for risk programming of virtual enterprises. Int. J. Production Economics,116(1):104–114

Kashfi SHR, Raghimi A (2013) Benefting from private sector capacities in forms of BOO and BOT mechanisms. Journal of Water and Sustainable Development,1(1):1-7 (In Persian)

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

Lam KC, Wang D, Lee PT, Tsang YT (2007) Modelling risk allocation Decision in construction contracts. International Journal of Project Management, 25(5):485–493

Li B, Akintoye A, Edwards PJ, Hardcastle C (2005) The allocation of risk in PPP.PFI construction projects in the UK. International Journal of Project Management, 23(1):25–35

Li C, Li G , Luo Y, Li Y, Huang J (2008) Environmental monitoring and fuzzy synthetic evaluation of municipal solid waste transfer stations in Beijing in 2001–2006. Journal of Environmental Sciences, 20(8):998–1005

Lipol LS, Haq J (2011) Risk Analysis Method: FMEA.FMECA in the organizations. International Journal of Basic & Applied Sciences, 11(5):74 – 82

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(4):701–716

Liua J, Lib Q, Wang Y (2013) Risk analysis in ultra deep scientific drilling project: a fuzzy synthetic evaluation approach. International Journal of Project Management, 31(3):449–458

Maki-Abadi SR, Bahina K, Akbari A (2013) Identify and assess critical risks in HSR projects through public-private partnerships in developing countries. Journal of Structural Engineering and Construction,1(1):11-21 (In Persian)

Mi C, Zhang X, Li S, Yang J, Zhu D, Yang Y (2011) Assessment of environment lodging stress for maize using fuzzy synthetic evaluation. Mathematical and Computer Modelling, 54(3-4):1053–1060

Najafi GH, Malekan Y (2013) Public Private Partnership Or PPP: strategy to finance new infrastructure projects.the Center for Education and Research rail, article 271:1-7 (In Persian)

infrastructure projects in public–private partnerships: An application to water projects. Inter-American Development Bank, Washington D.C.

Wang JH, Lu XG, Jiang M, Li XY, Tian JH (2009) Fuzzy synthetic evaluation of wetland soil quality degradation: a case study on the SanjiangPlain, Northeast China. Published by Elsevier Limited and Science Press, 19(6):756-764

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

World Development Indicator, World Bank (2007) Washington, D.C.

World Development Indicator, World Bank (2008) Washington, D.C.

Xianbo Z, Hwang BG, Gao Y (2015) A Fuzzy synthetic evaluation approach for risk assessment: a case of Singapore's Green projects. Journal of Cleaner Production, 115(2):203–213

Yelin X, John FY Yeung, Chan A PC, Chan WM, Wang SQ, 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

Yin H, Yuan-Fu L, Zhao1 DM (2015) Risk Factor Empirical Research of PPP Projects Based on Factor Analysis Method. American Journal of Industrial and Business Management, 5(6):383-387

Zeng SX, Wan TW, Tam CM, Liu D (2007) Identifying risk factors of BOT for 1292 water supply projects. Proceedings of institute of civil engineering (ICE), 161(2):73-81

Osei-Kyei R, Chan APC (2015) Review of studies on the Critical Success Factors for Public–Private Partnership (PPP) projects from 1990 to 2013. International Journal of Project Management, 33(6):1335-1346

Priya MS, Jesintha P (2011) Public-Private Partnership in india. Journal of Management and Science, 1(1):82-94

Rak J, Tchorzewska-Cieslak B (2010) The Possible use of the FMEA method to enture health safety of municipal water. Journal of KONBiN 23 (14,15):1895-8281

Sadeghi Shahedani M, Shabazi ghiasi M, Bigdeli V (2011) Priority development of public- private partnerships in the transport sector of using MCDM. Journal of Economic Modeling Research, 5(1):13-21 (In Persian)

Sadiq R, Rodriguez MJ (2004) Fuzzy synthetic evaluation of disinfection byproducts: A risk-based indexing system. Environmental Management, 73(1):1–13

Samer EA, 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

Tah JH, Car V (2000) A proposal for construction project risk assessment using fuzzy logic. Construction Management and Economics, 18(4):491–500

Tuhovcak L, Rucka J, Juhanak T (2006) Risk analysis of water dustibution systems, J. Pollert and B. Dedus (eds.), Security of Water Supply Systems: Source to Tap, Springer, 14(2):169–182

Vives A, Paris AM, Benavides J, Raymond PD, Quiroga D, Marcus J (2006) Financial structuring of