



## Application of Fuzzy and FEMA Modified Methods in Risk Assessment of Man-Made Threats in Water Systems

M. Foruzanmehr<sup>1</sup>, A. KhasheiSiuki<sup>2</sup>, M. Najafi Mood<sup>3</sup> & H. Khozayemeh Nezhad<sup>4</sup>

1. Master of Water Resources, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran (Corresponding author)
2. Associate Professor, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran.
3. Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran.
4. Associate Professor, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran.

### Abstract

**Background and objective:** Assessing the threats and vulnerabilities of infrastructure is one of the major concerns of security officials in a country, and water supply systems are one of the most important and sensitive infrastructures. Water supply systems are also among the basic infrastructures that are very important in assessing the threats in these systems and identifying its weaknesses. In this regard, in the present study, in addition to assessing the risk of a water system with existing methods, we intend to correct and update these methods and examine its results.

**Method:** The present study is a practical application in terms of nature and a combination of descriptive-analytical and quantitative methods in terms of implementation. In this study, in addition to field visits and interviews with relevant experts in the field of study to perform calculations and risk assessment of water systems, two methods of FEMA and Fuzzy risk assessment have been used as well as modified of these two methods.

**Finding:** The results of the assessment of the water level of Samah studied in the present study using FEMA method, indicate high risk in facilities 4 to 6, low risk in facilities 7 and 9 and medium risk in other facilities. In the Fuzzy method, in addition to facilities 7 and 9, which have medium risk, other high-risk facilities have been identified. Also, the results of the modified FEMA method (managerial FEMA) indicate high risk in facilities 4 to 6 and medium risk in other facilities. Also, according to the results of Kai-Esquer test, fema and fuzzy tests are significant in two levels of 1 and 5%, but the modified methods in these two levels are not significant.

**Conclusion:** The results of the Fuzzy method in this study are closer to the real conditions of the system under study, so it can be used as a native method in the study area. Due to studies in a water system, the insignificance of the results of corrective methods is not a reason for the inefficiency of these methods and more studies can be done in this field.

**Keywords:** Passive Defense, Risk Assessment, Crisis Management, FEMA Method

**Citation (APA 6th ed.):** Foruzanmehr M, KhasheiSiuki A, Najafi Mood M, Khozayemeh Nezhad H. (2020, Autumn). Application of Fuzzy and FEMA Modified Methods in Risk Assessment of Man-Made Threats in Water Systems. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 10(3), 240-250.

## کاربرد روش‌های اصلاح‌شده فازی و FEMA در ارزیابی ریسک تهدیدات انسان‌ساز در سامانه‌های آبی

مهدیه فروزان‌مهر<sup>۱</sup>، عباس خاشعی‌سیوکی<sup>۲</sup>، محمدحسین نجفی‌مود<sup>۳</sup> و حسین خزیمه‌نژاد<sup>۴</sup>

۱- کارشناس ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران (نویسنده مسئول) m.foruzanmehr\_74@birjand.ac.ir

۲- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. abbaskhashei@birjand.ac.ir

۳- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. mnajafi@birjand.ac.ir

۴- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. hkhozayemeh@birjand.ac.ir

### چکیده

**زمینه و هدف:** ارزیابی تهدیدات و آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها، یکی از دغدغه‌های مهم مسئولان حوزه امنیت در یک کشور است. سامانه‌های آبرسانی نیز یکی از مهم‌ترین و حساس‌ترین زیرساخت‌ها می‌باشد. سامانه‌های آبرسانی نیز از جمله زیرساخت‌های اساسی محسوب می‌شوند که ارزیابی تهدیدات در این سامانه‌ها و شناسایی نقاط ضعف آن بسیار مهم است. در این راستا در پژوهش حاضر قصد داریم علاوه بر ارزیابی ریسک یک سامانه آبی با روش‌های موجود، به اصلاح و بروزرسانی این روش‌ها پرداخته و نتایج آن را مورد بررسی قرار دهیم.

**روش:** پژوهش حاضر از لحاظ ماهیت از نوع کاربردی و به لحاظ اجرا، ترکیبی از روش‌های توصیفی - تحلیلی و کمی محسوب می‌شود. در این پژوهش علاوه بر بازدیدهای میدانی و مصاحبه‌های صورت گرفته با کارشناسان مربوطه در زمینه مورد مطالعه، برای انجام محاسبات و برآورد ریسک سامانه‌های آبی از دو روش ارزیابی ریسک فیما ۱ و فازی و همچنین، اصلاح شده‌ی این دو روش استفاده شده است. قابل ذکر است که به دلیل رعایت نکات پدافندی در پژوهش حاضر از ذکر مکان و نوع تاسیسات مورد مطالعه خودداری شده است.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از ارزیابی ریسک سامانه آبی مورد مطالعه در پژوهش حاضر با استفاده از روش فیما، نشان‌دهنده ریسک بالا در تاسیسات ۴ تا ۶، ریسک پایین در تاسیسات ۷ و ۹ و ریسک متوسط در سایر تاسیسات است. در روش فازی نیز به‌جز تاسیسات ۷ و ۹ که دارای ریسک متوسط هستند، سایر تاسیسات با ریسک بالا تشخیص داده شده‌اند. همچنین نتایج روش اصلاح‌شده فیما (فیما مدیریتی) نشان‌دهنده ریسک بالا در تاسیسات ۴ تا ۶ و ریسک متوسط در سایر تاسیسات است. نتایج حاصل از روش اصلاح شده فازی (فازی مدیریتی)، مطابق با نتایج به دست آمده از روش فیما می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج آزمون کای مربع ۲، آزمون‌های فیما و فازی در دو سطح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد اما روش‌های اصلاح شده در این دو سطح معنی‌دار نیستند.

**نتیجه‌گیری:** نتایج مربوط به روش فازی در این پژوهش به شرایط واقعی سامانه مورد مطالعه نزدیک‌تر است. بنابراین، می‌توان از آن به عنوان روش بومی در منطقه مورد مطالعه استفاده کرد. به دلیل انجام مطالعات در یک سامانه آبی، معنادار نبودن نتایج حاصل از روش‌های اصلاحی، دلیل بر ناکارآمدی این روش‌ها نبوده و می‌توان مطالعات بیشتری در این زمینه انجام داد.

**کلیدواژه‌ها:** پدافند غیرعامل، ارزیابی ریسک، مدیریت بحران، روش فیما

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** فروزان‌مهر، مهدیه، خاشعی‌سیوکی، عباس، نجفی‌مود، محمدحسین، خزیمه‌نژاد، حسین. (پاییز، ۱۳۹۹). کاربرد روش‌های اصلاح‌شده فازی و FEMA در ارزیابی ریسک تهدیدات انسان‌ساز در سامانه‌های آبی. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*. ۱۰ (۳). ۲۴۰-۲۵۰.

1. FEMA
2. Chi-squared test

## مقدمه

در تکمیل زنجیره دفاعی می‌تواند کمکی موثر و قابل توجه باشد (مهدی‌نژاد و صادقی‌امین‌آباد، ۱۳۹۵). بنابراین انجام اقدامات دفاع‌غیرعامل، در جنگ‌های نامتقارن امروزی جهت مقابله با تهاجمات و تقلیل خسارات، موضوعی بنیادی است (مشهدی و امینی‌ورکی، ۱۳۹۴). همچنین با توجه به این‌که روش‌های ارزیابی ریسک اکثر روش‌های غربی می‌باشند، بنابراین ضرورت انجام این پژوهش علاوه بر استفاده از روش‌های پدافندغیرعامل، به منظور تقلیل خسارات و مقابله با تهاجمات و تکمیل چرخه دفاعی، بومی‌سازی روش‌های ارزیابی ریسک نیز می‌باشد. با توجه به اهمیت موضوع آب، یکی از اهداف انجام پژوهش حاضر، رتبه‌بندی و اولویت‌بندی تاسیسات مورد مطالعه از نظر ریسک‌پذیری، ضمن بررسی برخی از تهدیدات تروریستی انسان‌ساز در سامانه‌های آبی، شامل انواع حملات شیمیایی و بیولوژیکی، گرافیتی، الکترومغناطیس، سایبری، خرابکاری و سرقت، بمب‌گذاری، هوایی و موشکی و شایعه می‌باشد. به روز کردن و بومی‌سازی روش‌های ارزیابی ریسک با افزودن پارامتر مدیریت ریسک به این روش‌ها و معرفی روش مناسب برای ارزیابی ریسک سامانه‌هایی با مورد بررسی قرار دادن دو روش فازی و فیما، از جمله سایر اهداف این پژوهش می‌باشند. همچنین فرضیات مورد بحث در پژوهش حاضر عبارتند از:

- روش فازی می‌تواند ریسک تاسیسات آبی را نسبت به روش فیما، با دقت بیشتری محاسبه کند.
- بومی‌سازی روش‌های ارزیابی ریسک موجود، در کاهش آسیب‌پذیری تاسیسات آبی موثر خواهد بود. (منظور از بومی‌سازی افزودن پارامتر مدیریت ریسک به روش‌های ارزیابی ریسک موجود می‌باشد).

در ادامه تعدادی از تحقیقاتی که در زمینه ارزیابی ریسک سامانه‌های آبی صورت گرفته است بیان می‌شود.

ارزیابی ریسک کمیت و کیفیت آب در سامانه‌های آبرسانی شهری با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها در سال ۲۰۱۳ توسط روزبهانی و همکاران صورت گرفت و همچنین در سال ۲۰۱۵ نیز، روزبهانی و همکاران ارزیابی ریسک سامانه‌های آب شهری را توسط تجمع درخت خطا و شبیه‌سازی مونت کارلو مورد بررسی قرار

زیرساخت‌ها، شاه‌رگ‌های تعیین‌کننده بقای شهرنشینی در دنیای امروز هستند (سلطانی، موسوی و زالی، ۱۳۹۶). سامانه‌های آبرسانی از جمله زیرساخت‌های اساسی محسوب می‌شوند که نقش اصلی را در تأمین آب با کمیت و مناسب برعهده دارند (تابش، روزبهانی و هادیگل، ۱۳۹۷) و از آنجایی که آب مهم‌ترین نیاز بشر و مایه حیات بوده و همچنین آسیب‌پذیری سامانه‌های آبی، ارزیابی تهدیدات در این سامانه‌ها و شناسایی نقاط ضعف در این سامانه‌ها بسیار مهم می‌باشد (مشهدی و امینی‌ورکی، ۱۳۹۴). با توجه به اهداف حوزه پدافندغیرعامل و تجارب حاصله در این حوزه مشخص می‌شود که ارزیابی تهدید و خطرپذیری در فرآیند انجام مطالعات پدافندغیرعامل نقش بسزا و تعیین‌کننده‌ای در هدایت طرح به سمت اهداف از پیش تعیین شده در راستای کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌های ملی در کشور دارد (مشهدی و امینی‌ورکی، ۱۳۹۴). مسئله مهم دیگر، تاثیر مدیریت بحران و ریسک در ارزیابی ریسک است. مدیریت ریسک در مرحله اول از وقوع ریسک جلوگیری می‌کند و در صورت بروز ریسک، هدف آن کاهش خسارات و زیان‌ها به حداقل ممکن می‌باشد (مشهدی و امینی‌ورکی، ۱۳۹۴). مسئله مدیریت و نقش آن در مواقع بروز بحران بسیار مهم است، به گونه‌ای که توجه به آن باعث کاهش چشمگیر ریسک خواهد شد. امروزه مدیریت بحران یکی از بخش‌های اساسی سازمان‌ها محسوب می‌شود. قبل از تعقیب هرگونه اهداف بلند مدت، مدیریت بحران برای تضمین ثبات و موفقیت مستمر یک سازمان ضروری است. تاکنون در هیچ‌کدام از شاخص‌های ارزیابی ریسک مسئله مدیریت و تاثیر آن مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین در پژوهش حاضر، تاثیر این نکته مهم نیز در ارزیابی ریسک در نظر گرفته شده است. آنچه مشهود است، مدیریت صحیح بحران باعث کاهش و مدیریت نادرست یا عدم وجود مدیریت سبب افزایش ریسک خواهد شد.

با توجه به وجود زمینه تهدیدات بالقوه و خطراتی که امنیت ملی و استقلال و تمامیت ارضی کشور را نشانه گرفته، ضرورت عقلی دفاع کاملاً مشهود است. سوابق جنگ‌های گذشته نشان می‌دهد، دفاع عامل به تنهایی قادر به مقابله با سلاح‌های مدرن امروزی نیست. بنابراین، استفاده از اصول و معیارهای پدافندغیرعامل

(وانگ، یان<sup>۵</sup>، ژین<sup>۶</sup> و تائو<sup>۷</sup>، ۲۰۲۰).

فیاض و همکارانش در سال ۲۰۱۹، به منظور تجزیه و تحلیل شاخص خطرات آبرسانی، تاسیسات خطوط انتقال آب را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور، مدل منطق فازی سلسله مراتبی ساده (SHFL) را برای کاهش مجموعه قوانین پیشنهاد کرده‌اند که دارای ۹۵ قانون است درحالی‌که، روش سنتی منطق فازی ممدانی دارای ۱۲۲۵ قانون می‌باشد. علاوه بر این، یک سیستم (DIY)<sup>۸</sup> برای روش SHFL پیشنهاد کرده‌اند که هدف آن این است، فرد بتواند مدل FIS را مطابق نیاز خود طراحی کند (فیاض و همکاران، ۲۰۱۹).

نیکو و همکارانش در سال ۱۳۹۷، یک مدل تحلیل ریسک برای انتخاب و رتبه‌بندی ملاحظات مدیریت ایمنی و پدافند غیرعامل در تصفیه‌خانه‌های آب در قالب مطالعه موردی تصفیه‌خانه سلمان فارسی تدوین کردند (نیکو، کراچیان و خرم‌شکوه، ۱۳۹۷). همچنین طهماسی و زارع‌پور با استفاده از دو روش تاسیس فازی و تحلیل سلسله مراتبی فازی به شناسایی و اولویت‌بندی ریسک پروژه‌های آب و فاضلاب روستایی آبشار گیلان پرداخته‌اند که نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد، ریسک عدم تامین بودجه کافی در موعد مقرر مهمترین ریسک در پروژه‌های آب و فاضلاب روستایی است (امین‌طهماسی و زارع‌پور، ۱۳۹۷).

لی<sup>۹</sup> در سال ۲۰۰۷، روش تحلیل سلسله مراتبی ریسک سیستم‌های آب شهری را به صورت یکپارچه با استفاده از دو رویکرد فازی و درخت شکست به کار گرفته و از مدل‌سازی شیء‌گرا برای شبیه‌سازی سیستم ارائه نموده است. لیکن علاوه بر فرضیات ساده کننده متعددی که در نظر گرفت، آسیب‌پذیری سیستم و اجزای آن را نیز در روند تحلیل ریسک نادیده گرفته است (روزبهنانی، زهرائی و تابش، ۱۳۹۲). همچنین لی (۲۰۰۹)، مشابه تحقیق قبلی، کاربرد رویکرد تحلیل ریسک سلسله مراتبی را در ارزیابی تهدیدات کیفیت آب یکی از سامانه‌های تامین و توزیع آب شهری در کشور آمریکا مورد بررسی قرار داده و به تحلیل حساسیت نتایج نسبت به تغییر احتمال و اثر خطرات پرداخته است. در سال ۲۰۱۱،

دادند (نخعی، بیطرفان، جنیدی و ستاری، ۱۳۹۶). در سال ۲۰۱۵ الگویی برای ارزیابی خطرپذیری و ریسک براساس تلفیق رویکردهای عملکردی و آمایشی در زیرساخت‌های حیاتی، توسط نورالهی و همکاران ارائه شد. در این تحقیق، سامانه آبرسانی شهری به عنوان یکی از زیرساخت‌های حیاتی مورد ارزیابی قرار گرفته شده است (نخعی، بیطرفان، جنیدی و ستاری، ۱۳۹۶). الگویی برای ارزیابی ریسک شبکه‌های فاضلاب در مواجهه با بحران‌ها، به منظور برنامه‌ریزی برای عملکرد شبکه در شرایط بحرانی مانند بروز خطرات طبیعی و انسان‌ساز در سال ۲۰۱۵ توسط عسگریان و همکاران تدوین شد (تابش، روزبهنانی و هادیگل، ۱۳۹۷).

در سال ۲۰۲۰، یانگ<sup>۱</sup> و همکارانش باتوجه به این که در ارزیابی ریسک پروژه‌های انتقال باید مدیریت کلی بحران در نظر گرفته شود تا موضوعات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را در پاسخ به موقعیت و مدیریت لحاظ کند. طی یک مطالعه موردی در میانه مسیر پروژه انتقال آب از جنوب به شمال چین که یک کانال باز و پیچیده است و آب آشامیدنی پکن، شجیازانگ<sup>۲</sup> و سایر شهرها را در شرایط سخت تامین می‌کند، با یک روش جدید ارزیابی ریسک مورد بررسی قرار داده‌اند. این روش حاصل ترکیب مدل رانندگان - فشارها - حالت - تاثیر - پاسخ<sup>۳</sup>، روش ارزیابی جامع فازی و مدل درجه توسعه هماهنگ می‌باشد. همچنین این رویکرد جدید در یک شبیه‌سازی حفاری اضطراری مربوط به یک حادثه ناگهانی آلودگی آب MRP در سال ۲۰۱۶ نیز مورد آزمایش قرار گرفته است (یانگ و همکاران، ۲۰۲۰).

وانگ<sup>۴</sup> و همکارانش در سال ۲۰۲۰، با استفاده از سیستم ارزیابی ریسک بهینه، پایداری آهن تحت فاکتورهای کیفیت آب را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج حاصل از پژوهش آنان نشان می‌دهد، با برقراری روش ارزیابی فازی همراه با اثرات مختلف عوامل آب بر ثبات آهن، عدم قطعیت عوامل از بین می‌رود و می‌توان از روش استفاده شده در این پژوهش به عنوان یک ارزیابی جامع برای تجزیه و تحلیل خطر آهن در شبکه آبرسانی استفاده کرد

5. Yan

6. Xin

7. Tao

8. Do\_It\_Yourself

9. Lee, 2007

1. Yang

2. Shijiazhuang

3. Drivers-Pressures-State-Impact-Response model

4. Wang

## روش

روش گردآوری اطلاعات در پژوهش حاضر توصیفی - تحلیلی و همچنین کمی می‌باشد. اطلاعات لازم در این پژوهش طی بازدید میدانی و ضمن تکمیل چک لیست به صورت کیفی جمع‌آوری شده و پس از آن برای انجام محاسبات از نظر کارشناس خبره در زمینه پدافند غیرعامل و سامانه‌های آبرسانی و همچنین، جداول ارائه شده در روش‌های فیما و فازی برای تبدیل اطلاعات کیفی به کمی استفاده شده است. در این پژوهش به علت رعایت کردن برخی نکات امنیتی از توضیح درباره منطقه مورد مطالعه خودداری شده است. در پژوهش حاضر، تاسیسات ۱ تا ۳ چاه آب، تاسیسات ۴ تا ۶ مخزن آب، تاسیسات ۷ تا ۹ خطوط انتقال آب و تاسیسات ۱۰ تصفیه خانه فاضلاب است.



شکل ۱: تاسیسات مورد مطالعه

### روش ارزیابی ریسک فیما

در روش فیما برای محاسبه ریسک نهایی از معادله (۱) استفاده می‌شود که برای هر کدام از پارامترهای بیان شده در این رابطه، معیارها، جداول امتیازدهی و ضرایبی توسط کارشناسان ارائه شده است که پس از ارزش‌گذاری تاسیسات در انواع حملات مورد بررسی در پژوهش حاضر، با توجه به این جداول و اعمال ضرایب مربوطه، ریسک نهایی تاسیسات با استفاده از معادله (۱) به دست آمده و طبقه‌بندی می‌شود. در جدول ۱، نمونه‌ای از

جیان و همکاران از روش درخت فازی خطا برای مشخص کردن پتانسیل آلودگی آب در منطقه اقتصادی خلیج بیویو در چین استفاده کردند (تابش، روزبهرانی و هادیگل، ۱۳۹۷). در پژوهشی در سال ۲۰۱۰ به معرفی خطرات فنی و بهره‌برداری تصفیه‌خانه فاضلاب و تحلیل ریسک آنها با استفاده از درخت خطا پرداخته شد. هدف اصلی در این پژوهش، ارائه فاکتورهای فنی و بهره‌برداری موثر بر حذف کمیت‌های کریپتوسپوریدیوم به وسیله فناوری‌های مختلف تصفیه فیزیکی و شیمیایی بوده است (تابش، روزبهرانی و هادیگل، ۱۳۹۷). در پژوهش حاضر نیز با استفاده از دو ریکرد فازی و فیما، به ارزیابی ریسک تاسیسات مورد مطالعه پرداخته و روش مناسب برای تاسیسات مورد مطالعه معرفی خواهد شد. همچنین تاثیر پارامتر مدیریت بحران در ارزیابی ریسک نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

بیشتر روش‌های ارزیابی ریسک در جهان، از سه جزء اصلی ارزیابی آسیب‌پذیری، ارزیابی تهدید و تعیین احتمال وقوع تشکیل شده‌اند (ذوالقدر و غلامی، ۱۳۹۷). به منظور آنالیز ریسک، روش‌های متعددی وجود دارد که روش فیما و روش ارزش‌دهی تدریجی فازی مورد استفاده در پژوهش حاضر، از جمله این روش‌ها است. سازمان مدیریت بحران فدرال یا به اختصار FEMA، یکی از سازمان‌های دولتی تابعه وزارت امنیت داخلی ایالات متحده آمریکا می‌باشد که در سال ۱۹۷۹، با هدف مقابله با اثرات مخرب بلایای طبیعی و دست‌ساخت بشر و همچنین کاهش خسارات و تلفات در داخل کشور ایالات متحده آمریکا تأسیس شد (ذوالقدر و غلامی، ۱۳۹۷). نظریه سیستم فازی نیز در سال ۱۹۶۵ توسط دکتر لطفی‌زاده معرفی شد (مشهدی و امینی ورکی، ۱۳۹۴). روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، روش‌هایی هستند که با بهره‌گیری از روابط ریاضی و استدلال‌های عقلی، فرآیند تصمیم‌گیری را برای انسان تسهیل می‌کنند. نکته حائز اهمیت در مسائل تصمیم‌گیری و انتخاب این است که داده‌های کیفی همچون قضاوت‌های انسانی در مدل‌های تصمیم‌گیری، ایجاد عدم صراحت می‌کنند که با استفاده از روش‌های فازی می‌توانند، تا حدودی عدم قطعیت‌ها را دفع کنند (عسگریان، تابش و روزبهرانی، ۱۳۹۴).

که باتوجه به نظر کارشناسان تهیه شده است، باید ابتدا نسبت ناسازگاری آن تعیین شود. در صورتی که نسبت ناسازگاری (IR) از ۱/۰ کمتر باشد، ماتریس مقایسه زوجی تشکیل شده قابل قبول خواهد بود. پس از محاسبه IR، باید پارامترهای مورد نیاز روش باکلی برای به دست آوردن وزن فازی معیارها، محاسبه شود. برای تعیین وزن نسبی معیارهای ماتریس فازی از رابطه (۲) استفاده می شود که در این رابطه،  $n$  بعد ماتریس مقایسه زوجی و درایه های  $\tilde{A}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$  در ماتریس مقایسه زوجی،  $a_{ij}^t$ ،  $b_{ij}^t$  و  $c_{ij}^t$  به ترتیب میانگین هندسی سطری عضو اول، دوم و سوم عدد فازی مثالی درایه های ماتریس مقایسه زوجی می باشند.  $a^t$ ،  $b^t$  و  $c^t$  نیز به ترتیب مجموع ستونی عضو اول، دوم و سوم این ماتریس هستند و در نهایت، وزن نهایی به دست آمده برای هر معیار (سطر) است (عسگریان، تابش و روزبهانی، ۱۳۹۴).

(۲)

$$\tilde{A}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$$

$$a_{ij}^t = \left( \prod_{j=1}^n a_{ij}^t \right)^{\frac{1}{n}} \quad a^t = \sum_{i=1}^n a_{ij}^t$$

$$b_{ij}^t = \left( \prod_{j=1}^n b_{ij}^t \right)^{\frac{1}{n}} \quad b^t = \sum_{i=1}^n b_{ij}^t$$

$$c_{ij}^t = \left( \prod_{j=1}^n c_{ij}^t \right)^{\frac{1}{n}} \quad c^t = \sum_{i=1}^n c_{ij}^t$$

$$\tilde{W}_i = \left[ \frac{a_{ij}^t}{c^t}, \frac{b_{ij}^t}{b^t}, \frac{c_{ij}^t}{a^t} \right] \quad i, j=1, \dots, n$$

نظرات کارشناسان در امتیازدهی ماتریس مقایسه زوجی به صورت زبانی (کیفی) است. برای تبدیل این عبارات به اعداد از جدول ۲ استفاده می شود. باید این نکته نیز یادآوری شود که نحوه نمایش اعداد فازی در دو روش باکلی و بونیسون با یکدیگر متفاوت است. این تفاوت در شکل های (۲) و (۳) نشان داده شده است (عسگریان، تابش و روزبهانی، ۱۳۹۴).

ارزش گذاری که مربوط به یکی از معیارهای پارامتر ارزش دارایی است، نمایش داده شده است. این جدول و سایر جداول مربوط به ارزش گذاری که به علت طولانی بودن تنها به آوردن یک جدول در این پژوهش بسنده شده است، توسط تعدادی از کارشناسان حوزه آب و پدافند غیرعامل تهیه و تنظیم شده است.

$$\text{ریسک} = \text{ارزش دارایی} \times \text{تهدیدات} \times \text{آسیب پذیری} \quad (1)$$

جدول ۱: شاخصه های معیار ارزش عملکردی در روش فیما

ردیف	شاخص و معیار ارزش عملکردی	نمره
۱	توقف سریع تولیدات، خدمات و آب رسانی	۱۰-۹
۲	توقف تدریجی تولیدات، خدمات و محصولات خروجی در طی مدت یک روز و یا کاهش حدوداً ۶۰ درصدی تولیدات، خدمات و آب رسانی و یا سیستم به طور جدی و در کوتاه مدت دچار اختلال شود.	۸-۷
۳	توقف تدریجی تولیدات، خدمات و محصولات خروجی در طی مدت یک هفته و یا کاهش حدوداً ۳۰ درصدی تولیدات، خدمات و آب رسانی و یا سیستم تا حدی زیاد و در میان مدت دچار اختلال می شود.	۶-۵
۴	توقف تدریجی تولیدات، خدمات و محصولات خروجی در طی مدت ده روز و یا کاهش حدوداً ۱۰ درصدی تولیدات، خدمات و آب رسانی و یا سیستم تا حدی و در بلندمدت دچار اختلال می شود.	۴-۳
۵	تأثیر قابل توجهی در تولیدات، خدمات و آب رسانی ندارد و یا سیستم دچار اختلال نمی شود.	۱-۲

### روش ارزش دهی تدریجی فازی

#### روش فرآیند سلسله مراتبی فازی (باکلی)

در بخش محاسبه ریسک به روش فازی، از روش های باکلی و بونیسون برای انجام محاسبات استفاده شده است. برای یافتن اوزان نسبی تهدیدات و همچنین معیارها، در پژوهش حاضر از روش تحلیل سلسله مراتبی و ماتریس مقایسات زوجی استفاده شده است. این انتخاب براساس پژوهش های گذشته و نیز مشاوره با کارشناسان و اساتید مربوطه انجام گرفت (عسگریان، تابش و روزبهانی، ۱۳۹۴). برای استفاده از ماتریس مقایسه زوجی



روزبهرانی، ۱۳۹۴).

$$A^* = \left\{ A_i \left| \max_i \left( U_i = \frac{\sum_j (w_j * r_{ij})}{\sum_j w_j} \right) \right. \right\} \quad (3)$$

در این رابطه  $A_i$  معرف گزینه  $\lambda_m$ ،  $w_j$  معرف گزینه  $\lambda_m$ ، معرف گزینه  $\lambda_m$ ،  $r_{ij}$  معرف گزینه  $\lambda_m$  در مورد شاخص  $\lambda_m$  و  $U_i$  مطلوبیت عینی یا ضمنی گزینه  $\lambda_m$  است (عسگریان و همکاران، ۱۳۹۴). در روش بونیسون،  $U_i$  با تابع عضویت  $(U_i, \mu)$  به ازای هر گزینه  $\lambda_m$  از رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$U_i = \frac{\sum_{j=1}^n \tilde{w}_j * \tilde{r}_{ij}}{\sum \tilde{w}_j} \quad (4)$$

در این روش  $W$  و  $R$  اعداد فازی دوزنقه‌ای می‌باشند، به صورتی که در شکل (۲) نمایش داده شده است. برای تبدیل نظرات و عبارات زبانی کارشناسان در روش بونیسون از جدول ۳ استفاده می‌شود (عسگریان و همکاران، ۱۳۹۴). با تعیین وزن معیارها ( $W$ )، امتیاز گزینه‌ها در مورد هر معیار ( $R$ ) و با استفاده از رابطه (۴) و عملگرهای جبری در روش بونیسون که در روابط (۵) تا (۷) آورده شده است،  $U_i$  که مقدار تابع مطلوب برای هر گزینه است، به راحتی قابل محاسبه خواهد بود. در این روابط  $Z$  و  $N$  دو عدد فازی دلخواه هستند (کوره‌پزان‌دزفولی، ۱۳۹۶).

$$Z = (a, b, \alpha, \beta) \quad (5)$$

$$N = (a, b, \alpha, \beta)$$

$$Z+N = (a+a, b+b, \alpha+\alpha, \beta+\beta)$$

(۶)

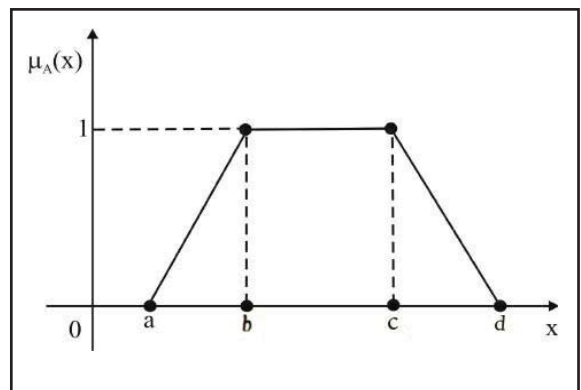
$$Z \times N = (a.a, b.b, a.a + a.a - \alpha.a, b.b + b.b - \beta.\beta)$$

(۷)

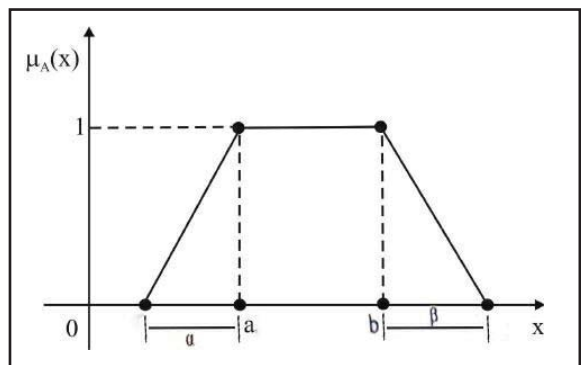
$$\frac{Z}{N} = \left( \frac{a}{b}, \frac{b}{a}, \frac{a.\beta + \alpha.b}{b.(b + \beta)}, \frac{b.\alpha + \beta.a}{a.(a - \alpha)} \right)$$

جدول ۲: مقادیر عددی و فازی ارجحیت‌ها در مقایسات زوجی برای وزن‌دهی به معیارها (عسگریان، تابش و روزبهرانی، ۱۳۹۴)

عبارت زبانی تعیین ارجحیت (معیار $\lambda$ نسبت به $j$ )	مقدار عددی	ارزش ترجیحی به صورت فازی دوزنقه‌ای
ارجحیت یا اهمیت کامل و مطلق	۹	(۸.۹.۱۰.۱۰)
ارجحیت یا اهمیت خیلی قوی	۷	(۵.۷.۷.۹)
ارجحیت یا اهمیت قوی	۵	(۳.۵.۵.۷)
ارجحیت یا اهمیت کم	۳	(۱.۳.۳.۵)
ارجحیت یا اهمیت برابر	۱	(۱.۱.۱.۱)
برای ارجحیت‌های بین عبارات زبانی بالا	۲.۴.۶.۸	—



شکل ۲: نحوه نمایش عدد فازی دوزنقه‌ای در روش باکلی (عسگریان و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۳: تابع عضویت عدد فازی دوزنقه‌ای در روش بونیسون (عسگریان و همکاران، ۱۳۹۴).

روش مجموع وزین ساده فازی (بونیسون)

هدف از استفاده این روش، محاسبه مقادیر امتیاز کلی حاصل از مقادیر متفاوت است. در این روش، با مفروض بودن وزن شاخص یا  $W$ ، که در اینجا از طریق ماتریس مقایسه زوجی به دست آمده است، بهترین گزینه به صورت زیر محاسبه می‌شود (عسگریان، تابش و

بحران نامناسب (امتیاز کم) سبب افزایش ریسک و مدیریت بحران مناسب (امتیاز زیاد) سبب کاهش ریسک خواهد شد.

(۹)

$$\text{ریسک} = \frac{\text{آسیب پذیری} \times \text{تهدیدات} \times \text{ارزش دارایی}}{\text{مدیریت بحران}}$$

معیارهای معرفی شده برای امتیازدهی به این پارامتر عبارتند از:

- وجود ساختار مدیریت بحران و نحوه عملکرد آن: در این بخش به این مسئله پرداخته می‌شود که آیا بخش مدیریت بحران و اتاق فکر، تجهیزات لازم سخت‌افزاری و نرم‌افزاری و همچنین، بودجه لازم برای کنترل و مدیریت بحران وجود دارد و کیفیت آن چگونه است.

- سابقه بهره‌مندی از مدیریت بحران و کیفیت آن: در این بخش سابقه بهره‌مندی، نحوه عملکرد بخش مدیریت بحران مدنظر قرار می‌گیرد که در صورت وجود بحران در گذشته، چگونه آن را مدیریت و کنترل کرده است.

- وجود مدیریت و نیروهای با تجربه و دارای تخصص لازم: در هر رشته‌ای باید کسی مدیریت را برعهده داشته باشد که دارای تجربه کافی در آن زمینه بوده یا تخصص لازم را در زمینه مربوط داشته باشد.

برای این ۳ معیار نیز جداول امتیازدهی همانند جدول ۱ تهیه شده است. برای تنظیم این جداول از نظر تعدادی از کارشناسان حوزه آب و پدافند غیرعامل بهره‌گرفته شده است که نمونه آن برای "معیار وجود ساختار مدیریت بحران و نحوه عملکرد آن" در جدول ۴ آورده شده است، که براساس آن تاسیسات مورد مطالعه ارزش‌گذاری شده‌اند. نحوه انجام محاسبات برای این بخش نیز همانند مراحل ارائه شده در روش فیما و روش فازی می‌باشد.

جدول ۴: توصیف شاخص ساختار مدیریت بحران

ردیف	توصیف شاخص	نمره
۱	وجود ساختار مدیریت بحران مطلوب و با عملکرد مناسب	۹-۱۰
۲	وجود ساختار مدیریت بحران مطلوب و با عملکرد نسبتاً مناسب	۷-۸
۳	وجود ساختار مدیریت بحران با عملکرد نسبتاً ضعیف	۵-۶
۴	وجود ساختار مدیریت بحران با عملکرد ضعیف	۳-۴
۵	عدم وجود ساختار مدیریت بحران	۱-۲

جدول ۳: اعداد فازی ذوزنقه‌ای مربوط به عبارات‌های زبانی در رتبه‌دهی با روش بونیسون (عسگریان، تابش و روزبهانی، ۱۳۹۴)

ردیف	شاخص مثبت	شاخص منفی	عدد فازی ذوزنقه‌ای در روش بونیسون
۱	بسیار کم	بسیار زیاد	(۰، ۰، ۰، ۰/۲)
۲	کم	زیاد	(۰، ۰/۱، ۰، ۰/۲)
۳	تا حدودی کم	تا حدودی زیاد	(۰/۲، ۰/۲، ۰/۲، ۰/۲)
۴	مناسب	مناسب	(۰/۵، ۰/۵، ۰/۲، ۰/۲)
۵	تا حدودی زیاد	تا حدودی کم	(۰/۸، ۰/۸، ۰/۲، ۰/۲)
۶	زیاد	کم	(۰/۹، ۱، ۰/۲، ۰)
۷	بسیار زیاد	بسیار کم	(۱، ۱، ۰/۲، ۰)

### روش غیرفازی‌سازی میانه ماکزیمم

برای تبدیل اعداد فازی (ریسک نهایی تاسیسات) به صورت اعداد طبیعی، از روش غیرفازی‌سازی میانه ماکزیمم در پژوهش حاضر استفاده شده است. در این روش مقدار  $Z^*$  با استفاده از رابطه (۸) به دست می‌آید، که در آن  $a$  و  $b$  به ترتیب کران پایین و بالای قسمتی از مجموعه فازی می‌باشند که دارای بیشترین مقدار درجه عضویت هستند و  $Z^*$  نیز عدد غیرفازی به دست آمده است (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۹۶).

$$Z^* = \frac{a + b}{2} \quad (۸)$$

در نهایت پس از به دست آوردن اوزان معیارها به روش باکلی و تبدیل آن به شکل بونیسون و امتیازدهی به معیارها، با استفاده از معادله (۱)، ریسک نهایی را به صورت فازی به دست آورده و با استفاده از روش غیرفازی‌سازی، آن را به اعداد طبیعی تبدیل می‌کنیم. ریسک نهایی به دست آمده با توجه به معیارهای طبقه‌بندی در هر روش، به سه محدوده ریسک بالا، متوسط و پایین طبقه‌بندی خواهند شد.

همان‌طور که در گذشته نیز بیان شد، مسئله مهمی که در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفته است، مدیریت بحران و تاثیر آن بر ریسک تاسیسات است. برای این منظور، تغییراتی در فرمول محاسبه ریسک (رابطه (۱)) ایجاد شده است. همچنین برای بررسی این پارامتر، معیارها و جداول امتیازدهی و ضرایبی در نظر گرفته شده است تا با استفاده از آن، پارامتر مدیریت بحران قابل محاسبه باشد. فرمول جدید به صورت رابطه (۹) ارائه شده است. با توجه به تاثیر بالعکس مدیریت بحران در ریسک، مدیریت



## آزمون کای مربع

در پایان پژوهش حاضر، برای مقایسه روش‌های ارزیابی ریسک انجام شده و تعیین بهترین روش از آزمون خی دو یا کای مربع که یک آزمون آماری و نوع ناپارامتری است، استفاده شده است. معادله این آزمون به صورت رابطه (۱۰) می‌باشد که در آن  $O_t$  فراوانی مشاهده شده و  $E_t$  فراوانی مورد انتظار است (فاطمی، حافظ‌پرست‌مودت و رحیمی فر، ۱۳۹۶).

$$\chi^2 = \sum_{t=1}^m \frac{(O_t - E_t)^2}{E_t} \quad (10)$$

لازم به ذکر است در این آزمون، داده‌های مربوط به روش فیما به عنوان داده‌های مورد انتظار در نظر گرفته شده است، زیرا روش فیما، روش استاندارد و جهانی است و برای تایید روش‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر باید از آن استفاده کرد. این نکته نیز باید یادآوری شود که به علت محرمانه بودن از ذکر نوع تاسیسات در پژوهش حاضر خودداری شده است.

## یافته‌ها

در روش فیما، پس از تکمیل چک‌لیست‌ها و باتوجه به جداول امتیازدهی ارائه شده در روش فیما، تاسیسات مورد مطالعه ارزش‌گذاری شد. با استفاده از جداول امتیازدهی برای هر معیار و ضرایبی که توسط کارشناسان برای آنها تعیین شده، ریسک هرکدام از تاسیسات برای انواع حملات محاسبه شده است که نتایج آن در جدول ۵ قابل مشاهده است. در این جدول اعداد ( $175 \leq$ ) ریسک بالا، اعداد (۶۱-۱۷۵) ریسک متوسط و اعداد (۱-۶۰) ریسک پایین را نشان می‌دهند. باتوجه به آنچه در جدول ۵ مشاهده می‌شود، ریسک تاسیسات ۴ تا ۶ و ۸ در حمله شیمیایی و بیولوژیکی و ریسک تاسیسات ۴ تا ۶، تا حملات هوایی و موشکی و بمب‌گذاری بالا می‌باشد. همچنین تاسیسات ۷ و ۹ در تمامی حملات، به جز شیمیایی و بیولوژیکی که دارای ریسک متوسط است، دارای ریسک پایین می‌باشد و تمامی تاسیسات در حملات سایبری و شایعه‌داری، ریسک پایین هستند. باتوجه به این جدول، ریسک نهایی تاسیسات ۴ تا ۶ بالا و تاسیسات ۷ و ۹ پایین می‌باشد و سایر تاسیسات دارای ریسک متوسط هستند.

جدول ۵: طبقه‌بندی ریسک برای تاسیسات مورد مطالعه در روش فیما

ریسک نهایی	شایعه	هوایی و موشکی	بمب‌گذاری	خرابکاری و سرعت	سایبری	الکترومغناطیس	گرافیتی	شیمیایی و بیولوژیکی	تاسیسات
۹۳/۷۳	۳۱/۷۳	۹۴/۴۸	۱۰۵/۹۰	۵۸/۲۰	۱۱/۴۷	۷۰/۰۱	۷۰/۰۱	۱۳۲/۶۲	تاسیسات ۱
۹۳/۷۳	۳۱/۷۳	۹۴/۴۸	۱۰۵/۹۰	۵۸/۲۰	۱۱/۴۷	۷۰/۰۱	۷۰/۰۱	۱۳۲/۶۲	تاسیسات ۲
۹۰/۳۰	۳۱/۷۳	۹۴/۴۸	۱۰۵/۹۰	۵۸/۲۰	۱۱/۴۷	۷۰/۰۱	۷۰/۰۱	۱۲۱/۱۹	تاسیسات ۳
۲۰۷/۹۳	۵۵/۴۷	۲۲۳/۲۲	۲۲۲/۲۰	۱۲۵/۳۷	۱۸/۵۳	۱۱۴/۳۸	۱۱۴/۳۸	۳۱۴/۱۵	تاسیسات ۴
۲۰۷/۹۳	۵۵/۴۷	۲۲۳/۲۲	۲۲۲/۲۰	۱۲۵/۳۷	۱۹/۸۵	۱۱۴/۳۸	۱۱۴/۳۸	۳۱۴/۱۵	تاسیسات ۵
۲۲۲/۸۷	۵۹/۴۳	۲۳۹/۱۶۶	۲۳۸/۰۷	۱۳۴/۲۳۵	۱۸/۵۳	۱۲۲/۵۵	۱۲۲/۵۵	۳۳۶/۵۹۱	تاسیسات ۶
۴۳/۰۵	۳۴/۸۷	۵۳/۳۲۶	۱۶/۳۲	۱۳/۵۷	۱۵/۸۸	۱۴/۸۴	۱۴/۸۴	۸۹/۹۲	تاسیسات ۷
۱۳۵/۷۰	۳۵/۶۱۲	۱۳۱/۲۰۸	۱۱۷/۷۲	۱۰۹/۸۸	۱۵/۸۸	۶۰/۹۹	۶۰/۹۹	۲۱۵/۲۲	تاسیسات ۸
۴۳/۰۵	۳۴/۸۷	۵۳/۳۳۶	۱۶/۳۲	۱۳/۵۷	۱۵/۸۸	۱۴/۸۴	۱۴/۸۴	۸۹/۹۲	تاسیسات ۹
۱۱۰/۳۳	۴۵/۱۶	۱۵۸/۹۸	۱۴۸/۸۲	۱۰۶/۶۰	۱۶/۳۲	۹۶/۵	۹۶/۵	۸۶/۹۰	تاسیسات ۱۰

نسبت ناسازگاری پارامترهای مورد استفاده در پژوهش حاضر، به‌ترتیب برای نوع حملات، تهدید، آسیب‌پذیری و نوع دارایی کمتر از ۰/۱ می‌باشد که در جدول ۷ قابل مشاهده است. باتوجه به اینکه نسبت ناسازگاری تمامی پارامترها کمتر از ۰/۱ و نظرات کارشناسان قابل قبول می‌باشد. پس از محاسبه وزن معیارها به

همانطور که در گذشته بیان شد، برای محاسبه اوزان نسبی معیارها در پژوهش حاضر از روش سلسله‌مراتبی فازی و ماتریس مقایسه زوجی استفاده شده است. جدول ۶، نمونه‌ای از ماتریس مقایسه زوجی به فرم فازی است که برای معیارهای ارزش‌داری از آن استفاده شده است.



**جدول ۶: ماتریس مقایسه زوجی ارزش دارایی به فرم فازی ذوزنقه‌ای در روش باکلی**

ارزش عملکردی	ارزش محیطی	ارزش بهره‌برداران	ارزش ذاتی	وابستگی به خارج	جایگزینی و ترمیم
(۱.۱.۱.۱)	(۱.۳.۳.۵)	(۱.۳.۳.۵)	(۳.۵.۵.۷)	(۵.۷.۷.۹)	(۵.۷.۷.۹)
(۱.۱/۳.۱/۳.۱/۵)	(۱.۱.۱.۱)	(۱.۳.۳.۵)	(۳.۵.۵.۷)	(۳.۵.۵.۷)	(۳.۵.۵.۷)
(۱.۱/۳.۱/۳.۱/۵)	(۱.۱/۳.۱/۳.۱/۵)	(۱.۱.۱.۱)	(۳.۵.۵.۷)	(۱.۳.۳.۵)	(۱.۳.۳.۵)
(۱/۳.۱/۵.۱/۵.۱/۷)	(۱/۳.۱/۵.۱/۵.۱/۷)	(۱.۱/۳.۱/۳.۱/۵)	(۱.۱.۱.۱)	(۱.۳.۳.۵)	(۱.۳.۳.۵)
(۱/۵.۱/۷.۱/۷.۱/۹)	(۱/۳.۱/۵.۱/۵.۱/۷)	(۱.۱/۳.۱/۳.۱/۵)	(۱.۱/۳.۱/۳.۱/۵)	(۱.۱.۱.۱)	(۱.۳.۳.۵)
(۱/۵.۱/۷.۱/۷.۱/۹)	(۱/۳.۱/۵.۱/۵.۱/۷)	(۱.۱/۳.۱/۳.۱/۵)	(۱.۱/۳.۱/۳.۱/۵)	(۱.۱/۳.۱/۳.۱/۵)	(۱.۱.۱.۱)

روش باکلی و تبدیل آن به فرم بونیسون و با استفاده از جدول ۳ و اعداد ( $> 0/5$ ) ریسک پایین را نشان می‌دهند.

عملگرهای جبری روش بونیسون، ریسک تاسیسات مورد مطالعه در انواع حملات و همچنین ریسک نهایی هر کدام از تاسیسات محاسبه شد و نتایج آن در جدول ۸ قابل مشاهده است. در این جدول اعداد ( $\geq 1$ ) ریسک بالا، اعداد ( $1 - 0/5$ ) ریسک متوسط و

**جدول ۷: نرخ ناسازگاری پارامترهای مورد استفاده**

نوع حملات	تهدید	آسیب‌پذیری	ارزش دارایی
۰/۰۵۳	۰/۰۹۴	۰/۰۴۶	۰/۰۹۹

**جدول ۸: ریسک تاسیسات به صورت عددی در روش فازی**

تاسیسات	شیمیایی و بیولوژیکی	گرافیتی	الکترومغناطیسی	خرابکاری و سرقت	بمب‌گذاری	هوایی و موشکی	سایبری	شایعه	ریسک نهایی
۱ تاسیسات	۰/۳۸۳	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۱۰۱	۰/۲۴۴	۰/۳۳۵	۰/۰۲۹	۰/۰۲۴	۱/۲۰۵
۲ تاسیسات	۰/۳۸۳	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۱۰۱	۰/۲۴۴	۰/۳۳۵	۰/۰۲۹	۰/۰۲۴	۱/۲۰۵
۳ تاسیسات	۰/۳۸۵	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۱۰۱	۰/۲۴۴	۰/۳۳۵	۰/۰۲۹	۰/۰۲۴	۱/۲۰۷
۴ تاسیسات	۰/۶۵۰	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۶۸	۰/۴۵۱	۰/۶۴۳	۰/۰۳۰	۰/۰۶۷	۲/۲۲۲
۵ تاسیسات	۰/۶۵۰	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۶۸	۰/۴۵۱	۰/۶۴۳	۰/۰۳۰	۰/۰۶۷	۲/۲۲۲
۶ تاسیسات	۰/۶۵۰	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۶۸	۰/۴۵۱	۰/۶۴۳	۰/۰۳۰	۰/۰۶۷	۲/۲۲۲
۷ تاسیسات	۰/۳۲۱	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۴۴	۰/۱۶۶	۰/۲۸۵	۰/۰۲۹	۰/۰۴۰	۰/۹۴۴
۸ تاسیسات	۰/۴۵۸	۰/۰۶۸	۰/۰۶۸	۰/۱۴۰	۰/۲۴۳	۰/۳۴۶	۰/۰۲۹	۰/۰۴۵	۱/۳۹۸
۹ تاسیسات	۰/۳۲۱	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۴۴	۰/۱۶۶	۰/۲۸۵	۰/۰۲۹	۰/۰۴۰	۰/۹۴۴
۱۰ تاسیسات	۰/۳۱۶	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۱۱۷	۰/۲۲۷	۰/۳۴۶	۰/۰۲۹	۰/۰۳۵	۱/۲۱۵

نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که ریسک تمامی تاسیسات در حملات شیمیایی و بیولوژیکی، بمب‌گذاری و هوایی و موشکی متوسط و برای سایر حملات، ریسک محاسبه شده پایین می‌باشد. ریسک نهایی تاسیسات در روش فازی را نشان می‌دهد، تمامی تاسیسات به جز تاسیسات ۷ و ۹ که دارای ریسک  $0/944$  (ریسک متوسط) هستند، دارای ریسک بین  $1/205$  تا  $2/222$ ، یعنی ریسک بالا می‌باشند. بنابراین می‌توان گفت، ریسک ناشی از حملات شیمیایی و بیولوژیکی و همچنین حملات بمب‌گذاری و هوایی و موشکی سبب ایجاد ریسک بالا در تاسیسات مورد مطالعه شده است.

ریسک نهایی تاسیسات در بخش مدیریت بحران نیز طبق روال محاسبات در دو روش فازی و فیما محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۹ قابل مشاهده است. در این جدول اعداد ( $\geq 12$ ) برای ریسک فازی مدیریتی و اعداد ( $\geq 137$ ) برای ریسک فیما مدیریتی نشان دهنده ریسک بالا، اعداد ( $12 - 7$ ) برای ریسک فازی مدیریتی و اعداد ( $41 - 136$ ) برای ریسک فیما مدیریتی نشان دهنده ریسک متوسط و اعداد اعداد ( $> 7$ ) برای ریسک فازی مدیریتی و اعداد ( $1 - 40$ ) برای ریسک فیما مدیریتی، نشان دهنده ریسک پایین را نشان می‌دهند.

**جدول ۹: ریسک نهایی در بخش مدیریت بحران تاسیسات مورد مطالعه**

ردیف	جزء	فیما مدیریتی	فازی مدیریتی
۱	تاسیسات ۱	۹۳/۷۳	۸/۵۲
۲	تاسیسات ۲	۹۳/۷۳	۸/۵۲
۳	تاسیسات ۳	۹۰/۳۰	۸/۵۴
۴	تاسیسات ۴	۲۰۷/۹۳	۱۵/۷۲
۵	تاسیسات ۵	۲۰۷/۹۳	۱۵/۷۲
۶	تاسیسات ۶	۲۲۲/۷۸	۱۵/۷۲
۷	تاسیسات ۷	۴۳/۰۵	۶/۶۸
۸	تاسیسات ۸	۱۳۵/۷	۹/۸۹
۹	تاسیسات ۹	۴۳/۰۵	۶/۶۸
۱۰	تاسیسات ۱۰	۱۱۰/۳۳	۸/۶۰

باتوجه به نتایج جدول ۹، ریسک مربوط به تمامی تاسیسات به جز تاسیسات ۴ تا ۶ در روش فیما مدیریتی که دارای ریسک بالا هستند، دارای ریسک متوسط می‌باشند. اما در روش فازی مدیریتی ریسک تاسیسات ۷ و ۹ پایین، تاسیسات ۴ تا ۶ بالا و سایر تاسیسات متوسط به‌دست آمده است.

در مرحله آخر پژوهش حاضر، نتایج به‌دست آمده با استفاده از آزمون کای‌مربع با یکدیگر مقایسه شده است که نتایج آن در جدول ۱۰ ارائه شده است. با توجه به نتایج این جدول، روش فازی در هر دو سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بوده و روش‌های فازی مدیریتی و فیما مدیریتی معنی‌دار نمی‌باشند. علت معنی‌دار نبودن نتایج در روش‌های مدیریتی ارائه شده، یکسان بودن بخش مدیریت بحران تاسیسات مورد مطالعه با یکدیگر می‌باشد. در صورت مقایسه چند بخش مدیریتی مجزا نتایج بهتری حاصل خواهند شد.

**جدول ۱۰: نتایج مربوط به آزمون کای مربع**

روش فازی مدیریتی	روش فیما مدیریتی	روش فازی	درجه آزادی $\chi^2 =$	معیار
$< 0.05 / 99$	$2/8 < 5/99$	$22/8 > 5/99$	۵/۹۹	سطح معنی‌داری ۱٪
$< 0.03 / 84$	$2/8 < 3/84$	$22/8 > 3/84$	۳/۸۴	سطح معنی‌داری ۵٪

**نتیجه‌گیری**

در پژوهش حاضر، ارزیابی ریسک سامانه‌های آبی توسط دو روش فیما و تحلیل ریسک سلسله‌مراتبی فازی مورد بررسی قرار گرفته و تاسیسات مورد مطالعه با توجه به ریسک نهایی به‌دست آمده، طبقه‌بندی شده است. همچنین روش ارزیابی ریسک فازی به عنوان

روش مناسب برای منطقه و تاسیسات مورد مطالعه انتخاب شد. همچنین در این پژوهش به بومی‌سازی روش‌های ارزیابی ریسک با افزودن پارامتر مدیریت بحران نیز پرداخته شد که تاکنون در هیچ مطالعه، تاثیر مدیریت بحران در ارزیابی ریسک مورد مطالعه قرار نگرفته است. نتایج حاصل این پژوهش در ذیل بیان شده است:

- ۱- ریسک نهایی به‌دست آمده از روش‌های ارزیابی ریسک مورد استفاده در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در تمامی این روش‌ها تاسیسات ۴ تا ۶ دارای ریسک بالا می‌باشند. تاسیسات ۷ و ۹ در دو روش فازی و فیما مدیریتی دارای ریسک متوسط و در دو روش فیما و فازی مدیریتی دارای ریسک پایین می‌باشند و سایر تاسیسات در تمامی روش‌های ارزیابی ریسک مورد مطالعه در پژوهش حاضر، دارای ریسک متوسط هستند.
- ۲- همچنین نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان می‌دهد، ریسک نهایی تاسیسات در روش فازی نسبت به روش فیما دارای افزایش می‌باشد به طوری که، تمامی ریسک‌های متوسط در روش فیما، در روش فازی دارای ریسک بالا هستند.
- ۳- در روش فازی و فازی مدیریتی ریسک تاسیسات ۴ تا ۶ با یکدیگر برابر بوده، اما در روش فیما و فیما مدیریتی ریسک تاسیسات ۶ دارای بیشترین مقدار می‌باشد.
- ۴- همچنین باتوجه به نتایج به‌دست آمده، بیشترین ریسک مربوط به حملات شیمیایی و بیولوژیکی، بمب‌گذاری، هوایی و موشکی بوده و کمترین ریسک مربوط به حملات شایعه و سایبری می‌باشد.
- ۵- باتوجه به نتایج آزمون کای مربع، تنها نتایج مربوط به روش فازی در سطوح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد و نتایج دو روش دیگر در هر دو سطح معنی‌دار نیستند. این بدین معنا می‌باشد که باتوجه به شرایط منطقه و تاسیسات مورد مطالعه، جوابگویی روش فازی بهتر از فیما و نتایج آن نزدیک‌تر به شرایط موجود می‌باشد.
- ۶- برای دو روش فازی مدیریتی و فیما مدیریتی، به علت یکسان بودن بخش مدیریت ریسک برای تمامی تاسیسات، نتایج معنی‌دار نبودند. در صورت متفاوت بودن بخش مدیریت بحران برای تاسیسات مورد مطالعه نتایج بهتری در این زمینه حاصل شده و تاثیر پارامتر مدیریت بحران در ارزیابی ریسک قابل مشاهده خواهد بود. امروزه در صنایع مختلف از روش‌های ارزیابی ریسک استفاده

هیدرولوژی استوکاستیک و کاربردهای آن. انتشارات دانشگاه رازی. کوره‌پزان دزفولی، امین (۱۳۹۴). اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل سازی مسایل مهندسی آب. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

مشهدی، حسن؛ امینی‌ورکی، سعید (۱۳۹۴). تدوین و ارائه الگوی ارزیابی تهدیدات، آسیب‌پذیری و تحلیل خطرپذیری زیرساخت‌های حیاتی با تاکید بر پدافند غیرعامل. دو فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، سال ۴، شماره ۷، ص ۸۵-۶۹. بازیابی از [http://www.joem.ir/article\\_14796.html](http://www.joem.ir/article_14796.html)

مهدی‌نژاد، جمال‌الدین؛ صادقی‌حبیب‌آباد، علی (۱۳۹۵). بررسی و ضرورت مدیریت بحران و پدافند غیرعامل در معماری و شهرسازی. کنفرانس ملی پدافند غیرعامل و توسعه پایدار، مهر ۱۳۹۵، ص ۱۳۵۹-۱۳۵۳. بازیابی از <https://www.sid.ir/Fa/Seminar/ViewPaper.aspx?ID=26076>

نخعی، جلال؛ بیطرفان، مهدی؛ جنیدی، محمد؛ ستاری، فرشته (۱۳۹۶). ارزیابی ریسک سامانه‌های آبرسانی شهری کشور در برابر تهدیدات به روش RAMCAP. مجله آب و فاضلاب، سال ۴، شماره ۲۸، ص ۱۰-۲۰. بازیابی از [http://www.wjjournal.ir/article\\_45906.html](http://www.wjjournal.ir/article_45906.html)

نیکو، محمدرضا؛ کراچیان، رضا؛ خرم‌شکو، نفیسه (۱۳۹۷). یک مدل تحلیل ریسک به منظور مدیریت ایمنی در تصفیه خانه‌های آب، مطالعه موردی: تصفیه خانه آب سلمان فارسی. مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال ۱۴، شماره ۲، ص ۱۹۷-۱۸۶. بازیابی از: [http://iwrr.sinaweb.net/article\\_53873.html](http://iwrr.sinaweb.net/article_53873.html)

امین طهماسبی، حمزه؛ زارع‌پور، امین (۱۳۹۷). شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های پروژه‌های آب و فاضلاب روستایی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در محیط فازی (مطالعه موردی: آبشار گیلان). مجله آب و فاضلاب، سال ۳۰، شماره ۶، ص ۵۰-۳۵. بازیابی از: [http://www.wjjournal.ir/article\\_91968.html](http://www.wjjournal.ir/article_91968.html)

Lee, M., McBean, E., Ghazali, M., Schuster, C., and Huang, J. 2009. Fuzzy-logic modeling of risk assessment for a small drinking-water supply system. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 135(6), 547-552. Retrieved from: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2009\)135:6\(547\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9496(2009)135:6(547))

Yang, Y., Lei, X., Long, Y., Tian, Y., Zhang, Y., Yao, Y., Hou, X., Shi, M., Wang, P., Zhang, C., Wang, H., Quan, J. 2020. A novel comprehensive risk assessment method for sudden water accidents in the Middle Route of the South-North Water Transfer Project (China). *Science of The Total Environment*, 698, 1-13. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719341440>

Wang, J., Yan, H., Xin, K., Tao, T. 2020. Risk assessment methodology for iron stability under water quality factors based on fuzzy comprehensive evaluation. *Environ Sci Eur* 32, 81, 2-9. Retrieved from: <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00356-z>

Fayaz, M., Pham, C. B., Thi Thuy Linh, N., Thi Thao Nhi, P., Nguyen Khoi, D., Shuaib Qureshi, M., Shah, A. S., Khalid, SH. 2019. A Water Supply Pipeline Risk Analysis Methodology Based on DIY and Hierarchical Fuzzy Inference. *Journal of Symmetry*, 12(1), 2-19. Retrieved from: <https://www.mdpi.com/2073-8994/12/1/44>

می‌شود به طوری که، ۲۰ نوع مختلف روش ارزیابی ریسک کمی و کیفی وجود دارد که معمولاً هدف استفاده از آن شناسایی، کنترل و کاهش پیامدهای خطرات است. باتوجه به اهمیت موضوع پدافند غیرعامل و مسئله امنیت زیرساخت‌های هر کشور، می‌توان روش‌های ارزیابی ریسک دیگر مانند: RAMCAP, FMEA, ETA و ... را نیز انجام داده و با مقایسه روش‌های مختلف ارزیابی ریسک، بهترین و کارآمدترین روش را انتخاب کرد. همچنین توصیه می‌شود مطالعات بیشتری بر روی مسئله مدیریت بحران و تاثیر آن بر روش‌های مختلف ارزیابی ریسک انجام پذیرد. باید به این نکته نیز توجه داشت که ارزیابی ریسک سیستم‌ها نیاز به مهارت بالایی دارد. بنابراین، توصیه می‌شود از نظر کارشناسانی با علم لازم و شناخت کافی از سیستم مورد مطالعه استفاده شود. امید است که با انجام به موقع و مناسب راهکارهای پدافند غیرعامل که تعدادی از آنها در این پژوهش ارائه شد، امنیت تاسیسات آبی در پژوهش حاضر و سایر پژوهش‌هایی که در آینده توسط دیگران در تاسیسات آبی یا سایر زیرساخت‌ها انجام خواهد شد تامین شده و به بالاترین سطح برسد.

## منابع

تابش، مسعود؛ روزبهرانی، عباس؛ هادیگل، فرهاد (۱۳۹۷). ارزیابی خطرپذیری تصفیه‌خانه‌های آب با استفاده از تحلیل درخت خطای فازی (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه جلالیه تهران). مجله آب و فاضلاب، سال ۴، شماره ۲۹، ص ۱۳۲-۱۴۴. بازیابی از: [http://www.wjjournal.ir/article\\_50773.html](http://www.wjjournal.ir/article_50773.html)

ذوالقدر، محمد؛ غلامی، محمدجواد (۱۳۹۷). ارزیابی ریسک حملات خصمانه با تاکید بر مدل فرایند تحلیل شبکه. فصلنامه علمی - ترویجی پدافند غیرعامل، سال ۹، شماره ۱، ص ۹۴-۸۳. بازیابی از <https://www.magiran.com/paper/1886063>

روزبهرانی، عباس؛ زهرایی، بنفشه؛ تابش، مسعود (۱۳۹۲). تحلیل ریسک کمیت و کیفیت آب در سیستم‌های تامین آب شهری با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها. مجله آب و فاضلاب، سال ۴، شماره ۲۸، ص ۱۰-۲۰. بازیابی از: [http://www.wjjournal.ir/article\\_3184.html](http://www.wjjournal.ir/article_3184.html)

سلطانی، علی؛ موسوی، سیدرضا؛ زالی، نادر (۱۳۹۶). تحلیل و ارزیابی ریسک زیرساخت‌های منطقه‌ای از منظر پدافند غیرعامل نمونه موردی: منطقه صنعتی پارس یک جنوبی. فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۷، شماره ۲۵، ص ۹۶-۸۳. بازیابی از: [http://jzpm.miau.ac.ir/article\\_2252.html](http://jzpm.miau.ac.ir/article_2252.html)

عسگریان، مانده؛ تابش، مسعود؛ روزبهرانی، عباس (۱۳۹۴). ارزیابی ریسک شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری فازی. مجله آب و فاضلاب، سال ۴، شماره ۲۸، ص ۷۴-۸۷. بازیابی از [http://www.wjjournal.ir/article\\_7918.html](http://www.wjjournal.ir/article_7918.html)

فاطمی، سیداحسان؛ حافظ‌پرست‌مودت، مریم؛ رحیمی‌فر، هانیه (۱۳۹۶).