



Evaluation of the vulnerability of water supply facilities using the AHP and RAMCAP combined methods

M. Sheykhali, Gh. R. Asadollahfardi*, S. Sh. Emamzadeh

Civil Engineering Department, faculty of engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran

ABSTRACT: The supply and distribution network for drinking water is one of the key assets and infrastructure of any country and is vulnerable to terrorist attacks. Access to safe drinking water is one of the vital needs of communities. Importance of water supply facilities, sometimes in the enemy's sabotage operation, these facilities are targeted as strategic centers, which may lead to serious damage to society and sometimes security crises. Regarding this issue, in this research, a total of vulnerabilities was investigated by providing a combination of analysis and risk management for vital asset protection (RAMCAP) and Analytical Hierarchy Process (AHP) analysis of the total water infrastructure of Tehran. The present research is an applied research (extension type). In this way, a questionnaire (quantitative) method has been used for collecting and analyzing information and the research method is descriptive-analytic. The results show that the main facilities identified in the city of Tehran's water supply system, according to the criteria for the ability to discover and identify, the ability to reach the target, the weakness index, the index of resilience, the secondary damage index, the combined effects index, the most vulnerability of the Letyan dam is 0.0858, and Amir Kabir Dam with a vulnerability of 0.0779 and Taleghan dam with a vulnerability of 0.0721 are included in the next assessment. The lowest vulnerability was 0.0133 and 0.0063, respectively, based on the defined criteria for storage tanks and distribution network with vulnerability numbers.

Review History:

Received: 2018-11-14

Revised: 2018-12-24

Accepted: 2019-02-04

Available Online: 2019-02-16

Keywords:

AHP,

Infrastructure

RAMCAP

Vulnerability

Water supply

1. INTRODUCTION

Generally, drinking water systems from the point of delivery to the receiving point of water, which are consumed by consumers, have different components and risk [1]. Today, more than two-thirds of the threats are critical to the main infrastructure, and the vital role of them in the comprehensive management of urban crisis and the close linkage of these networks, on the one hand, and their economic value, on the other hand, makes them particularly attention [2]. Therefore, protecting the vital infrastructure of each society is a determinant of the survival of that society.

Urban water supply and distribution systems include supply sources, main transporting lines, water treatment, storage tanks, and water distribution systems to a wide range of consumers, and; therefore, constitute a major infrastructure in each city. The occurrence of natural and abnormal events can lead to the formation of various crises such as the destruction of these systems, the lack of water and the release of chemical and biological pollutants that may have consequences such as disease and death of humans due to the use of contaminated water or the lack of access to adequate water [3].

Another category of threats is the intentional (human-made) abnormal threat. These human-made threats can be

*Corresponding author's email: fardi@khu.ac.ir

either direct explosive attacks or as the input of pollution into the drinking water supply [2]. The use of passive defense measures will be aimed at reducing the vulnerability of infrastructure, promoting national sustainability, protecting the people and national resources of the country, and ensuring the continuity of their services to complete the civil defense cycle [4].

With what was stated, protect the urban water supply system, including water distribution networks and water treatment plants, pumping stations, dams, wells, is essential and a major concern in protecting human life. Therefore, this requires a complete and comprehensive evaluation and study. Therefore, in the current research, the issue of vulnerability of urban water supply facilities, which includes dams, water treatment plants, pumping stations, reservoirs, and storage tanks and rivers against the threats of human and terrorists was examined. And while providing a suitable model for vulnerability assessment, the facility was evaluated quantitatively to obtain the vulnerability of each asset and ranked according to the criteria defined in terms of vulnerability. A case study of this research was a water supply facility in Tehran.

To achieve the objectives of each research, the use of a scientific and systematic research method is essential.



The methodology used in this research was “descriptive-analytical,” which was used to integrate the two methods of RAMCAP and the Analytic hierarchy process (AHP), which is one of the decision-making methods.

For this purpose, quantitative and qualitative methods were used simultaneously. The case study selected for this research was the urban water supply facilities in Tehran, considering the population density, strategic, cultural, social, and political situation, as well as the value of the property of the city’s water supply system.

The following authorities were assisted in collecting information and data, respectively. Center for Nonproliferation Studies and Crisis Management, Tehran Water and Wastewater Company, Tehran Regional Water Companies, Water Resources Management Company of Iran, Water Research Institute, Dam building and irrigation facilities (Sabir), Design and Water and Wastewater Researches, Iran Water and Power Resources Development Company, Nonprofit Defense Group of Imam Hossein University, Nonprofit Defense Forces and Defense Structures of Malek Ashtar University of Technology and National Defense University.

Firstly, due to the nature of the subject, the distribution method of questionnaire template expert format was used among qualified individuals to complete the questionnaire. Subsequent targeted selective interviewing methods and library and documentary reviews were also used to complete the content. In this research, a targeted simple non-random sampling (predetermined) of simple sampling was used. The number of experts identified was 42, who were considered as a statistical population.

2. MATERIAL AND METHOD

The RAMCAP method uses criteria $C^1 A^2 R^3 V^4 E^5 R^6$ to estimate the vulnerability [2]. The following criteria was considered for analyzing potential and actual damage: the criteria for the ability to discover and identify, the criteria for the ability to reach the target, the criteria for weakness, the criteria for the index of resilience, the criteria for the index of secondary damage, the criteria for the indicator of the effects of the combination Each of them has a separate and qualitative table [4].

-
- 1 Criticality
 - 2 Accessibility
 - 3 Recuperability
 - 4 Vulnerability
 - 5 Effect
 - 6 Recognizability

To obtain a vulnerability prioritization number quantitatively, the AHP method was used by applying Super Decisions software version 2.8 (2015). At first, a questionnaire based on the RAMCAP method was designed based on the six criteria mentioned and distributed among the relevant experts and comments were collected. To obtain the asset vulnerability prioritization number, the questionnaire data for AHP modeling was introduced into the Super Decisions software version 8.2 (2015) [5, 6].

The number of important assets of the water supply facilities of Tehran according to the experts in this study were 25 cases including: Amirkabir Dam, Taleghan dam, Latyan Dam, Lar Dam, Mamlu dam, Nimrod Dam, Ziarat Dam, Shahid Ghafouri dam (wells, Springs, Rivers), No. 1 (Jalaliyah), No. 2 (Kan), No. (3 and 4), No. 5, No. 6, No. 7 (Sohanak), Sahebqeraniye Sewage Treatment Plant, Municipality wastewater treatment plant, Zargand sewage treatment plant, Gheytariye sewage treatment plant, Qods town sewage treatment plant, Shoosh sewage treatment plant, Ekbatan sewage treatment plant, pumping stations, storage tanks, water distribution network.

3. CONCLUSIONS

We obtained the vulnerability of Latyan, Amirkabir and Taleghan Dam components of the water supply system. The storage tanks and distribution network with the vulnerability have the least vulnerability based on the defined criteria. Concerning the above, it is concluded that the water supply system is considered as a vital infrastructure for any society and country. Therefore, planning to take protective measures from this network is very important.

REFERENCES

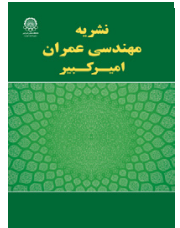
1. Gleick, P.H.J.W.p., *Water, and terrorism*. 2006. 8(6): p. 481-503.
2. Washington, A. *All-Hazards risk and resilience: prioritizing critical infrastructures using the RAMCAP Plus [hoch] SM approach*. 2009. ASME.
3. Brashear, J., et al., *RAMCAP™: Risk Analysis and Management for Critical Asset Protection for the Water and Wastewater Sector*. 2007. 2007(17): p. 2199-2212.
4. Eskandari, H., *Undefined Defense Knowledge*. Fifth ed. 2013, Tehran: Boustan Hamid. (In Persian).
5. Bilgic, E., G.T. Kara, and O.J.S. Gunduz, *Assessment of risks for drinking water infrastructure by Carter method infrastructure: Case study- Izmir*. 2017. 8(3): p. 199-208.
6. Liu, R., et al., *Introduction to the ANP Super Decisions Software and Its Application [J]*. 2003. 8: p. 024.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

M. Sheykhalil, Gh.R. Asadollahfardi, S.Sh. Emamzadeh, *Evaluation of the vulnerability of water supply facilities using the AHP and RAMCAP combined methods, Amirkabir J. Civil Eng., 52(5) (2020) 305-306.*

DOI: [10.22060/ceej.2019.15289.5873](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.15289.5873)





ارزیابی آسیب پذیری تأسیسات آب رسانی با روش تلفیقی AHP و RAMCAP

مجید شیخعلی، غلامرضا اسدالله فردی*، سیدشهاب امامزاده

گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷-۰۸-۲۳

بازنگری: ۱۳۹۷-۱۰-۰۳

پذیرش: ۱۳۹۷-۱۱-۱۵

ارائه آنلاین: ۱۳۹۷-۱۱-۲۷

کلمات کلیدی:

آسیب پذیری

تحلیل سلسله مراتب

رمکپ

زیرساخت

منابع آب

خلاصه: شبکه تأمین و توزیع آب آشامیدنی جزء سرمایه‌ها و زیرساخت‌های کلیدی هر کشوری است و در مقابل حملات تروریستی آسیب‌پذیر هستند. دسترسی به آب آشامیدنی سالم، یکی از نیازهای حیاتی جوامع است. با توجه به اهمیت تأسیسات آب‌رسانی، گاهی در عملیات خرابکاری توسط دشمن، این تأسیسات به‌عنوان مراکز استراتژیک مورد هدف قرار می‌گیرند که ممکن است منجر به آسیب جدی به جامعه و گاهی ایجاد بحران‌های امنیتی شوند. با توجه به این مسئله در این پژوهش با ارائه روش تلفیقی تجزیه و تحلیل و مدیریت ریسک برای حفاظت از دارایی‌های حیاتی (RAMCAP) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) کل زیرساخت آبی شهر تهران شامل سدها، تصفیه‌خانه‌ها، مخازن ذخیره، چاه‌ها، تلمبه‌خانه‌ها و شبکه توزیع از لحاظ آسیب‌پذیری بررسی شد. پژوهش حاضر در زمره تحقیقات کاربردی (نوع توسعه‌ای) بوده و در این مسیر از روش پرسشنامه (کمی) جهت گردآوری و تحلیل اطلاعات استفاده گردیده و روش پژوهش توصیفی-تحلیلی است. نتایج نشان می‌دهد، از تأسیسات اصلی شناسایی شده سامانه آب رسانی شهر تهران، بر طبق معیارهای شاخص قابلیت کشف و شناسایی، شاخص قابلیت دسترسی به هدف، شاخص ضعف بخش (آسیب‌پذیری در برابر تسلیحات نظامی)، شاخص قابلیت بازسازی، شاخص آسیب‌های ثانویه (مقدار تأثیرات سراسری در تولید برق، آب و تهدید جانی)، شاخص اثرات هم‌افزا، بیشترین آسیب‌پذیری مربوط به سد لتیان با عدد آسیب‌پذیری ۰/۰۸۵۸ است و سد امیرکبیر با عدد آسیب‌پذیری ۰/۰۷۷۹ و سد طالقان با عدد آسیب‌پذیری ۰/۰۷۲۱ در رده‌های بعدی این ارزیابی قرار گرفتند. کمترین آسیب‌پذیری نیز براساس معیارهای تعریف شده مربوط به مخازن ذخیره و شبکه توزیع با عدد آسیب‌پذیری به ترتیب ۰/۰۱۳۳ و ۰/۰۰۶۳ می‌باشد.

۱- مقدمه

این شبکه‌ها باهم از یک‌سو و ارزش اقتصادی آن‌ها از سوی دیگر باعث می‌شود که توجه ویژه‌ای به آن‌ها شود [۲]. بنابراین دفاع از زیرساخت‌های حیاتی هر جامعه از پیش‌فرض‌های تعیین‌کننده‌ی بقای آن جامعه است. دفاع غیرعامل در شریان‌های حیاتی، مجموعه تمهیداتی است که چنین مراکزی را در برابر تهدیدات انسان‌ساخت عمده‌ی محافظت می‌نماید. ارزیابی آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی و رعایت اصول پدافند غیرعامل تنها ضامن نجات آن‌ها در برابر

به‌طورکلی سامانه‌های آب شرب از نقطه تحویل آب تا محل دریافت آب، توسط مصرف‌کنندگان شامل اجزای مختلف و خطرپذیری است [۱]. امروزه بیش از دوسوم تهدیدات معطوف به زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی است و نقش مهم شریان‌های حیاتی در فرآیند مدیریت جامع بحران شهری و ارتباط تنگاتنگ

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: fardi@khu.ac.ir



تهدیدها هست [۳ و ۴]. سامانه های تأمین و توزیع آب شهری شامل منابع تأمین، خطوط انتقال اصلی، تصفیه خانه ها، مخازن ذخیره و سیستم توزیع آب به طیف وسیعی از مصرف کنندگان خدمات رسانی می کنند و از این رو جزو زیرساخت های اساسی در هر شهری به شمار می روند. بروز حوادث طبیعی و غیرطبیعی می تواند موجب شکل گیری بحران های مختلفی همچون تخریب اجرای این سامانه ها، کمبود آب و انتشار آلاینده های شیمیایی و بیولوژیکی شود که ممکن است پیامدهایی از قبیل بیماری و مرگ انسان ها بر اثر مصرف آب آلوده یا قطع دسترسی به آب کافی را به دنبال داشته باشد [۵]. اکثر این بخش های کلیدی گفته شده قابل دسترس هستند به این دلیل آسیب پذیری بالا و ریسک شکست بالایی در برابر تهدیدات طبیعی و غیرطبیعی دارند. حوادث طبیعی شامل سیل، طوفان، زلزله در این پژوهش بحث نشده است. دسته دیگر از تهدیدات، تهدیدات غیرطبیعی از نوع عمدی (انسان ساز) است [۱]. این تهدیدات انسان ساز می تواند به صورت حملات انفجاری مستقیم بوده و یا به صورت ورود آلودگی به منابع ذخیره آب شرب باشد [۲]. به کارگیری تمهیدات پدافند غیرعامل به منظور کاهش آسیب پذیری زیرساخت ها، ارتقای پایداری ملی، حفاظت از مردم و منابع ملی کشور و تضمین تداوم خدمات به آنان در راستای تکمیل چرخه دفاع غیرنظامی، خواهد بود [۴]. تاریخچه برخی از حملات تروریستی و نظامی علیه تأسیسات آبی عبارت است از: سال ۱۹۷۷: در شمال کارولینا یک مخزن آب با عوامل باکتریایی آلوده شده بود. سال ۱۹۸۷: در فیلپین ۱۹ نفر از پلیس های تازه استخدام شده بعد از دریافت و نوشیدن آب از افراد ناشناس مردند، و حدود ۱۴۰ نفر هم در بیمارستان بستری شدند [۲]. عراق در طول جنگ تحمیلی و بخصوص عملیات کربلای ۸ برای اولین بار، به وسیله موشک های کاتیوشا، از گاز سمی علیه اهداف غیرنظامی مثل تصفیه خانه آب استفاده نمود و طی آن حمله، اکثر کارکنان تصفیه خانه آب خرمشهر مسموم و شهید شدند [۶]. سال ۱۹۹۱: هنگام جنگ خلیج فارس، آمریکایی ها سامانه های تأمین آب بغداد، از قبیل تأسیسات آبی و سدهای روی فرات را هدف قرار دادند و عراقی ها هم متقابلاً آب شیرین کن های کویت را هدف قرار دادند [۶]. سال ۱۹۹۹، در منطقه کوزوو چاه های آب به وسیله صرب ها آلوده شد. سال ۲۰۰۶، حملات گسترده رژیم اشغالگر قدس در جنگ ۳۳ روزه، به تأسیسات زیر بنایی و زیرساخت های مهم لبنان

از قبیل بیمارستان ها و تأسیسات آبرسانی خسارات گسترده ای به آن ها وارد نمود [۶]. خسارت وارده به سد و نیروگاه شهید عباس پور در زمان جنگ ایران و عراق که چهار بار مورد حمله واقع شد. خسارت وارده به سد و نیروگاه دز در زمان جنگ ایران و عراق، این نیروگاه در سال های ۱۹۸۶ و ۱۹۸۷ مورد حمله واقع گردید. همچنین از جمله حوادث عمدی (انسان ساز) در این سامانه که در گذشته موجب آسیب دیدگی شده است، مسمومیت منابع آب ایالت متحده آمریکا در سال ۲۰۰۲ در دنور توسط اعضای القاعده بوده است [۳]. همچنین آلودگی به عمد مخزن آب با علف هرز آلوده در سال ۲۰۰۶ در انگلستان، کشف یک طرح جهت مسموم کردن منابع آبی در سال ۲۰۱۱، مسمومیت دو مخزن بزرگ ۵۰۰۰ لیتری در سال ۲۰۱۱ و مسمومیت ۱۰۰ کودک به علت مسمومیت آب آشامیدنی مدرسه در سال ۲۰۱۲ نمونه هایی از این قبیل به شمار می آیند [۴]. تاریخچه برخی تحقیقات انجام گرفته در این زمینه عبارت اند از:

Patterson و همکاران در سال ۲۰۰۷ طی مطالعه ای با عنوان شناسایی مناطق بحرانی زیرساخت ها در برابر اقدامات تروریستی که در دانشگاه MIT¹ صورت گرفت، با استفاده از رویکرد احتمالی و با نظر گرفتن شاخص عملکرد و همچنین شاخص اهمیت مناطق بحرانی با تکنیک های تجزیه و تحلیل فضایی در یک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مناطق بحرانی از لحاظ قابل دسترس تر بودن، برای اقدامات تروریستی را شناسایی کرد [۷].

Michaud و Apostolakis در سال ۲۰۰۶ روشی را برای رتبه بندی عناصر شبکه آبرسانی از منظر آسیب پذیری ارائه دادند و بیان داشتند که برای رسیدن به هدف ارزیابی ریسک باید به سؤالاتی از قبیل چه اشتباهی می تواند رخ دهد؟ چه پیامدهایی دارد؟ و چه میزان محتمل است؟ بتوان پاسخ داد. پیامد یا حالت های پایانی معمولاً با سلامت و ایمنی مردم مرتبط است، اگرچه دیگر حالت های پایانی مانند پیامدهای اقتصادی را نیز می تواند شامل شود. آنان معتقد بودند که نقطه شروع تجزیه و تحلیل، شناسایی دارایی های زیرساخت مورد نظر است و دریافتند که برای تحلیل جامع آسیب پذیری ظرفیت عناصر سیستم باید در نظر گرفته شود. گام عمده در جهت این ارزیابی جامع آسیب پذیری، ارزیابی کل سیستم است. آنان نشان دادند که محدود کردن غربالگری آسیب پذیری با رویکرد همه باهیج منجر به

نتایج نشان‌دهنده کاهش خسارت جانی و مالی در صورت تقسیم‌بندی مناسب بود [۱۴].

Pantusa و Maiolo در سال ۲۰۱۸ در تحقیقی به‌عنوان « شاخص آسیب‌پذیری زیرساخت‌های سامانه‌های آب آشامیدنی برای حمله تروریستی» یک مدل برای آسیب‌پذیری زیرساخت سیستم توزیع آب آشامیدنی باهدف ارائه ابزار مدیریت برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیستم در برابر اقدامات تروریستی احتمالی و همچنین افزایش امنیت ارائه دادند. این مدل با استفاده از مجموعه‌ای از شاخص‌ها با اشاره به بخش‌های ساختاری سامانه به دست آمده است و هر دو آلودگی عمدی و آسیب فیزیکی را در نظر گرفته است. در این مدل از روند تحلیل سلسله مراتبی برای محاسبه وزن شاخص‌ها استفاده شد. این مدل برای سه طرح آب در استان کرتونه (جنوب ایتالیا) انجام شد [۱۵].

عسگری و همکاران در سال ۱۳۹۲ به منظور برنامه ریزی برای مدیریت عملکرد شبکه در شرایط بحرانی، مانند بروز خطرات طبیعی و انسان ساز، الگویی برای ارزیابی ریسک شبکه‌های فاضلاب در مواجهه با بحران‌ها تدوین نمودند در این الگو پارامترهای ریسک که احتمال وقوع تهدیدات، شدت اثر آن‌ها و آسیب‌پذیری اجزای شبکه بودند، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی، از طریق پرسشنامه و تعریف معیارهایی برای سنجش اثر آن‌ها اندازه‌گیری شدند [۱۶].

روزبهنانی و همکاران در سال ۱۳۹۲ در مقاله‌ای به عنوان تحلیل ریسک کمی و کیفیت آب در سیستم‌های تأمین آب شهری با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها، مدل تحلیل ریسک سلسله مراتبی فازی برای در نظر گرفتن پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت‌های حاکم بر این سیستم‌ها ارائه دادند. گام‌های مختلف این مدل عبارت از شناسایی اجزای سیستم، شناسایی خطرات، دریافت اطلاعات مربوط به خطرات مختلف شامل احتمال وقوع، شدت وقوع و آسیب‌پذیری هر بخش از سیستم تحت تاثیر وقوع این خطرات به صورت فازی، و نهایتاً ترکیب ریسک بخش‌های مختلف و محاسبه ریسک نهایی سیستم و بخش‌های مختلف آن است. در کنار معرفی این مدل، روش ارزیابی ریسک سلسله مراتبی بر مبنای تحلیل مونت کارلو و استفاده از داده‌های صریح نیز ارائه شد و نتایج هر دو مدل در قالب یک مثال کاربردی

برآورد کمتر آسیب‌پذیری سیستم است. یک‌راه ممکن برای برداشتن گام واقعی نزدیک به رفتار سیستم ایجاد مدل هیدرولیکی شبکه و اجرای آن برای سناریوهاست [۸].

Ezell در سال ۲۰۰۷ روشی به نام ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت (I-VAM¹) ارائه نمودند. مدل ارائه‌شده برای یک سیستم آب آشامیدنی به‌اندازه متوسط اعمال شد. در این مدل از کارشناسان متخصص برای ارزش‌دهی، وزن دهی و ارزیابی اقدامات حفاظتی سیستم استفاده شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده I-VAM می‌تواند برای اندازه‌گیری آسیب‌پذیری به سایر زیرساخت‌ها، سامانه‌های نظارت بر کنترل و جمع‌آوری داده‌ها (SCADA²) و سامانه‌های کنترل توزیع استفاده شود [۹].

Vairavamoorthy و همکاران در سال ۲۰۰۷ یک ابزار تحلیل ریسک در سامانه‌های آب‌رسانی بر مبنای استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار GIS ارائه داده‌اند. در حقیقت مدل GIS و مدل تصمیم‌گیری بر مبنای ریسک در محیط ++C باهم مرتبط شده‌اند [۱۰].

Lee در سال ۲۰۰۹ مشابه تحقیق قبلی، کاربرد رویکرد تحلیل ریسک فازی سلسله مراتبی را در ارزیابی تهدیدات کیفیت آب یکی از سامانه‌های تأمین 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 [۱۱].

Zayed و Fares در سال ۲۰۱۰ مدلی را بر مبنای دو روش تحلیل سلسله مراتبی و استنتاج فازی ارائه کرده است. در این مدل قوانین فازی با استفاده از توابع عضویت فازی پارامترهای تأثیرگذار بر شکست لوله‌ها ساخته می‌شوند و نهایتاً بر اساس این قوانین، وضعیت لوله‌ها از نظر ریسک شکست تعیین می‌شود [۱۲].

Tchorzewska در سال ۲۰۱۱ روشی را برای تحلیل ریسک سامانه‌های آب‌رسانی بر مبنای ساخت قوانین فازی بر مبنای ارتباط احتمال، شدت و آسیب‌پذیری ارائه داده‌اند و کاربرد آن را در شبکه‌ای در کشور لهستان به کار گرفته‌اند [۱۳].

Nardo و همکاران در سال ۲۰۱۳ در مطالعه‌ای با عنوان حفاظت از شبکه آب در برابر آلودگی عمدی توسط سیستم تقسیم‌بندی، شبکه آب شهری را از مقیاس بزرگ به کوچک تقسیم کرده و نحوه گسترش آلودگی در مقیاس بزرگ و کوچک را مورد بررسی قرار دادند.

1 Infrastructure Vulnerability Assessment Model

2 Supervisory Control and Data Acquisition

گردیده. مطالعه موردی این پژوهش تأسیسات آب رسانی شهر تهران است.

۲- مواد و روش ها

برای رسیدن به اهداف موردنظر هر پژوهش، استفاده از یک روش تحقیق علمی و نظام‌مند ضروری است. روش پژوهش مورد استفاده در این پژوهش «توصیفی-تحلیلی» است که از تلفیق دو روش RAMCAP^۱ و فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP^۲ که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری است، بهره گرفته شده است. بدین منظور، سعی گردیده از روش‌های کمی و کیفی به صورت توأمان استفاده شود. نمونه موردی انتخاب شده برای این پژوهش تأسیسات آب رسانی شهر تهران با توجه به تراکم جمعیت و موقعیت استراتژیکی فرهنگی و اجتماعی و سیاسی و همچنین ارزش‌داری سامانه آب رسانی این شهر است. در گردآوری اطلاعات و داده‌ها به ترتیب از مراجع ذی‌ربط زیر کمک گرفته شد. مرکز مطالعات پدافند غیرعامل کشور و مدیریت بحران، شرکت آب و فاضلاب استان تهران، شرکت‌های آب منطقه‌ای تهران، شرکت مدیریت منابع آب ایران، موسسه تحقیقات آب، شرکت ساختمان سد و تأسیسات آبیاری (سایبر)، شرکت مهندسين مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، گروه پدافند غیرعامل دانشگاه امام حسین، گروه پدافند غیرعامل و سازه‌های دفاعی دانشگاه صنعتی مالک اشتر و دانشگاه دفاع ملی. در اولویت نخست به دلیل ماهیت موضوع، از روش توزیع قالب پرسشنامه خبره^۳، بین افراد واجد شرایط برای تکمیل پرسشنامه استفاده شد. در ادامه از روش‌های مصاحبه‌گزینشی هدفمند و بررسی کتابخانه‌ای و اسنادی نیز برای تکمیل مطالب استفاده شد. در این پژوهش از روش نمونه‌گیری غیر تصادفی هدفمند (از پیش تعیین‌شده) از نوع نمونه‌گیری ساده استفاده شده است. در پژوهش حاضر افرادی که توانایی پر کردن پرسشنامه خبره تدوین‌شده را دارند و در واقع در طبقات سهمیه‌ای نحوه نمونه‌گیری انتخاب شدند، می‌بایست دارای شرایط زیر باشند:

(۱) کارشناسی، کارشناس ارشد یا دکتری عمران با سابقه

از سیستم‌های آب شهری با یکدیگر مقایسه شدند [۱۷].

اسکندری و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان "تحلیل خسارت شریان‌های حیاتی با در نظر گرفتن اثرات وابستگی بر اثر حملات هدفمند" در سال ۱۳۹۳ برای شریان‌های آب و برق با استفاده از دو مدل تئوری گراف و مدل لئونتیف، ۲۴۰ سناریو برای ارزیابی آسیب‌پذیری و ریسک این شریان‌ها در نظر گرفته شد که در بین سناریوهای تک متغیره سناریو انفجار در تصفیه‌خانه و در بین سناریوهای ترکیبی انفجار دو تصفیه‌خانه و یک پست برق بیشترین احتمال وقوع را داشتند [۱۸].

نخعی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ی با عنوان ارزیابی ریسک سامانه آبرسانی به روش RAMCAP به ارزیابی ریسک این سامانه پرداخته‌اند. در بخشی از نتایج که مرتبط با موضوع پژوهش حاضر است به ارزیابی آسیب‌پذیری سامانه آبرسانی نیز پرداخته شده است که نتایج نشان دهنده آسیب‌پذیری سدها و تصفیه‌خانه‌ها به ترتیب اولویت بیان شده بود [۱۹].

تابش و همکاران در سال ۱۳۹۷ طی ارائه مقاله‌ای به عنوان ارزیابی خطرپذیری تصفیه‌خانه‌های آب یا استفاده از تحلیل درخت خطای فازی (مطالعه موردی تصفیه‌خانه جلالیه تهران) به ارزیابی ریسک تصفیه‌خانه با روش تحلیل ریسک درخت خطا با دو رویکرد فازی و ساده پرداخته‌اند. رویداد نامطلوب شناسایی شده در این مقاله کمیت و کیفیت نامناسب آب بود. با رتبه‌بندی تهدیدات پایه مشخص شد خرابی تجهیزات برق رسانی، تعمیر و نگهداری نامناسب پمپ‌ها بیشترین سهم را در رویکرد و عملکرد تصفیه‌خانه دارند [۲۰].

با آنچه بیان گردید حفظ و نگهداری سیستم تهیه آب شهری شامل مخازن شبکه توزیع آب و تصفیه‌خانه‌ها، تلمبه‌خانه‌ها، سدها، چاه‌ها ضروری است و به‌عنوان مسئله عمده‌ای در حفظ جان انسان‌ها به شمار می‌آید. لذا این مسئله نیاز به ارزیابی و مطالعه به صورت کامل و جامع دارد. بنابراین در پژوهش حاضر موضوع آسیب‌پذیری تأسیسات آب رسانی شهری که شامل سدها، تصفیه‌خانه‌ها، تلمبه‌خانه‌ها، مخازن ذخیره و چاه‌ها و رودخانه‌ها در برابر تهدیدات انسان‌ساز و تروریستی مورد بررسی قرار گرفته و ضمن ارائه الگویی مناسب جهت ارزیابی آسیب‌پذیری، تأسیسات با هدف بدست آوردن مقدار آسیب‌پذیری هر دارایی به صورت کمی مورد ارزیابی قرار گرفته و براساس معیارهای تعریف شده از لحاظ آسیب‌پذیری رتبه‌بندی

1 Risk Analysis and Management for Critical Asset Protection

2 Analytic hierarchy process

3 Questionnaire template expert

جدول ۱. افراد مورد پرسش قرار گرفته از نظر تحصیلات

Table 1. People interviewed in terms of education

تعداد	عنوان مدرک
۲۲	کارشناسی
۱۳	کارشناسی ارشد
۷	دکترا

جدول ۲. معیارهای شاخص قابلیت کشف و شناسایی [۲۳]

Table 2. Criteria of detection and identification index[23]

امتیاز	معیار
۹	هدف به سهولت تحت کلیه شرایط از فاصله دور قابل شناسایی است
۷	هدف به سهولت از فاصله نزدیک قابل شناسایی بوده و شناسایی به مقدار کمی آموزش نیاز دارد
۵	شناسایی مشکل است و ممکن است با سایر اهداف اشتباه گرفته شود، شناسایی نیاز به مقدار کمی آموزش
۳	شناسایی بسیار مشکل است و به راحتی با سایر اهداف اشتباه گرفته می شود، شناسایی هدف نیاز به آموزش
۱	هدف تحت هرگونه شرایطی قابل شناسایی نیست و برای شناسایی نیاز به تخصص ویژه دارد

جدول ۳. معیارهای شاخص قابلیت دسترسی به هدف [۲۳]

Table 3. Criteria for achieving the goal[23]

امتیاز	معیار
۹	دسترسی به هدف به سهولت انجام پذیر است
۷	دسترسی به هدف نسبتاً به سهولت انجام پذیر است
۵	هدف دارای حفاظ تأسیساتی است، حفاظت فیزیکی و پیرامونی متوسط است
۳	هدف دارای حفاظ تأسیساتی است، حفاظت فیزیکی و پیرامونی خوبی دارد
۱	هدف قابل دسترسی نبوده و یا به سختی و دشواری بسیار زیاد قابل دسترسی است

تعداد افراد خبره قرار گرفته شد [۲۲]. در این پژوهش تعداد افراد خبره شناسایی شده با ویژگی های تعریف شده ۴۲ نفر بودند که به عنوان جامعه آماری محسوب شده اند. تقسیم بندی درجات علمی کارشناسان خبره به صورت جدول ۱ انجام شد.

برای تخمین آسیب پذیری، روش RAMCAP از معیارهای $C^1A^2R^3V^4E^5R^6$ استفاده می کند [۲ و ۱۹]. معیارهای زیر برای تجزیه و تحلیل آسیب های بالقوه و بالفعل در نظر گرفته شده است. این

- 1 Criticality
- 2 Accessibility
- 3 Recuperability
- 4 Vulnerability
- 5 Effect
- 6 Recognizability

فعالیت در حوزه پدافند غیرعامل و مدیریت بحران
 ۲) کارشناسی، کارشناسی ارشد یا دکتری عمران با سابقه فعالیت در حوزه آب، تصفیه خانه ها، سد و شبکه، سازه های هیدرولیکی، مدیریت ساخت، مطالعات اجتماعی، مطالعات زیست محیطی، مطالعات اقتصادی و...
 ۳) افراد با تجربه بالا و سابقه تحقیقات در زمینه مربوط، مدیران رده های اجرایی در زمینه پدافند غیرعامل، مدیریت بحران و صنعت مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی

برای تعیین تعداد افراد، روش AHP قاعده کلی را تعریف نکرده است اما کیفیت را نسبت به کمیت در اولویت قرار داده است [۲۱]. با بررسی منابع مختلف معیار پایدارسازی در رتبه بندی، ملاک انتخاب

جدول ۴. معیارهای شاخص ضعف بخش [۲۳]

Table 4. Weakness Index Criteria[23]

امتیاز	معیار
۹	هدف در برابر کلیه تسلیحات به شدت آسیب پذیر است
۷	هدف در برابر اغلب تسلیحات آسیب پذیر است
۵	هدف در برابر تعدادی از تسلیحات متعارف آسیب پذیر است
۳	هدف در برابر تسلیحات متعارف مقاوم است و خسارت به آن نیاز به تسلیحات ویژه دارد
۱	هدف در برابر تسلیحات مختلف آسیب پذیر نبوده و به سختی می توان آسیب وارد کرد

جدول ۵. معیارهای شاخص قابلیت بازسازی [۲۳]

Table 5. Reconstruction Capability Index Criteria[23]

امتیاز	معیار
۹	جایگزینی، تعمیر و مرمت به یک ماه یا بیشتر زمان نیاز دارد
۷	جایگزینی، تعمیر و مرمت به یک هفته تا یک ماه زمان نیاز دارد
۵	جایگزینی، تعمیر و مرمت به ۷۲ ساعت تا یک هفته زمان نیاز دارد
۳	جایگزینی، تعمیر و مرمت به ۲۴ تا ۷۲ ساعت زمان نیاز دارد
۱	جایگزینی، تعمیر و مرمت در همان روز انجام می گیرد

معیارها عبارت‌اند از:

براساس جدول ۲ میزان آسیب پذیری دارایی‌ها بر مبنای سهولت در کشف و شناسایی ارزش گذاری شده است.

براساس جدول ۳ میزان آسیب پذیری دارایی‌ها بر مبنای سهولت در دسترسی به دارایی ارزش گذاری می شوند.

براساس جدول ۴ میزان آسیب پذیری دارایی‌ها در برابر تسلیحات تعیین می شود.

براساس جدول ۵ میزان آسیب پذیری دارایی‌ها بر مبنای میزان زمانی (در صورتی که دارایی آسیب ببیند) که لازم است تا تعمیر و جایگزینی صورت بگیرد ارزش گذاری می شوند. برای به دست آوردن عدد اولویت بندی آسیب پذیری به صورت کمی، از روش AHP با مدل سازی در نرم افزار Super Decisions نسخه ۲/۸ (۲۰۱۵) استفاده شد [۲۴].

در ابتدا پرسشنامه‌ای مبتنی بر روش RAMCAP بر اساس شش معیار گفته شده در جدول ۲ تا ۷ طراحی شد و در بین خبرگان ذی ربط توزیع و نظرات جمع آوری شد. در ادامه برای به دست آوردن عدد اولویت بندی آسیب پذیری دارایی‌ها، داده های پرسشنامه برای مدل سازی به روش

AHP، وارد نرم افزار Super Decisions نسخه ۲/۸ (۲۰۱۵) شد.

پس از تعیین معیارها و شاخص‌ها (دارایی‌ها) مقایسه‌های زوجی بر اساس نظر خبرگان انجام شد. به طور کلی اگر تعداد شاخص‌ها (دارایی‌ها) و معیارها به ترتیب m و n باشند، آنگاه ماتریس مقایسه زوجی شاخص‌ها $m \times m$ و ماتریس مقایسه زوجی معیارها یک ماتریس $n \times n$ خواهد بود [۲۵]. محاسبه وزن از طریق روابط ۱ تا ۷ به دست آمده است. مقایسه بین دو عنصر با استفاده از مقادیر ۱ تا ۹ از مقیاس AHP جمع آوری شد. درایه های ماتریس مقایسات زوجی شاخص‌ها و معیارها به صورت ماتریس ۱ حاصل گردید. هر یک از درایه های این ماتریس حاصل نظر هر خبره بر اساس اعداد ارجحیت است. عدد ۱، اهمیت برابر شاخص یا معیار مقایسه شده بر طبق نظر خبرگان را نشان می دهد. اگر بعد قائل و افقی این ماتریس را معیارها یا شاخص‌ها بر طبق هدف مقایسات زوجی تشکیل دهد آنگاه برای تشکیل این ماتریس هر یک از معیارها یا شاخص‌ها با کل معیارها یا شاخص‌ها مقایسه شده و یک ردیف از ماتریس تشکیل می گردد. با ادامه این روند تا آخرین مقایسه ماتریس نهایی ۱ تشکیل می شود.

جدول ۶. معیارهای شاخص آسیب‌های ثانویه [۲۳]

Table 6. Secondary Injury Index Criteria[23]

امتیاز	معیار
۹	تأثیرات کامل سراسر در تولید برق، آب و تهدید جانی
۷	تأثیرات متوسط سرتاسری در تولید برق، آب و تهدید جانی
۵	تأثیرات کامل منطقه‌ای، قطعی منطقه‌ای آب و برق
۳	تأثیرات متوسط منطقه‌ای، اختلال در توزیع آب و برق
۱	تأثیرات محلی، اختلال محدود در توزیع آب و برق

مقادیر وزن نهایی هر معیار حاصل نظرسنجی جمعی از رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$w'_j = k \sqrt[k]{w_{j1} \times w_{j2} \times \dots \times w_{jk}} \quad (6)$$

w'_j = وزن نهایی معیار j بر مبنای نظر تجمعی خبرگان
 k = تعداد خبرگان

w_{jk} = وزن نهایی معیار j بر مبنای نظر خبره k ام
 وزن نهایی هر شاخص حاصل نظر تجمعی از رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$w'_{end\ i} = k \sqrt[k]{w_{end\ i1} \times w_{end\ i2} \times \dots \times w_{end\ ik}} \quad (7)$$

$w'_{end\ i}$ = وزن نهایی شاخص i بر مبنای نظر خبرگان

با مقایسه‌های زوجی دارایی‌ها توسط نرم‌افزار Super Decisions، نسخه ۲/۸ (۲۰۱۵) عدد آسیب‌پذیری هر دارایی به دست می‌آید. اعداد نهایی از ترکیب عدد آسیب‌پذیری هر دارایی بر مبنای هر یک از شش معیار تعریف شده در جدول‌های ۲ تا ۷ به

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

زمانی که مقایسه‌های زوجی بین چند خبره انجام می‌شود طبق دستورالعمل ساعتی (۱۹۸۰) باید از میانگین هندسی رابطه ۲ استفاده شود [۲۶].

$$a'_{ij} = \left(\prod_{i=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

وزن‌های هر سطر ماتریس شاخص‌ها و معیارها به ترتیب از روابط ۳ و ۴ حاصل می‌شوند:

$$w_i = \frac{\left(\prod_{i=1}^n a_i \right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n \left(\prod_{i=1}^n a_i \right)^{\frac{1}{n}}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$w_j = \frac{\left(\prod_{j=1}^m a_j \right)^{\frac{1}{m}}}{\sum_{j=1}^m \left(\prod_{j=1}^m a_j \right)^{\frac{1}{m}}}, j = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

وزن نهایی هر شاخص بر مبنای وزن معیارها نیز از رابطه ۵ حاصل می‌شود:

$$w_{end\ i} = w_i \times w_j + \dots + w_i \times w_m \quad (5)$$

w_i = وزن خالص شاخص i ، $i = 1, 2, \dots, n$: تعداد شاخص‌ها

w_j = وزن معیار j ، $j = 1, 2, \dots, m$: تعداد معیارها

$w_{end\ i}$ = وزن نهایی شاخص i

جدول ۷. معیارهای شاخص اثرات هم‌افزا [۲۳]

Table 7. Synergistic Effects Index Criteria[23]

امتیاز	معیار
۹	در مجاورت جزء موردنظر انبار تسلیحات و موارد مشابه وجود دارد
۷	در مجاورت جزء موردنظر دکل‌های مخابراتی وجود دارد
۵	در مجاورت جزء موردنظر مراکز جمعیتی، صنایع مهم و تأسیسات زیربنایی وجود دارد
۳	در مجاورت جزء موردنظر خطوط راه‌آهن، راه‌های اصلی و خطوط انتقال نفت و گاز وجود دارد
۱	تأسیسات خاصی در نزدیکی جزء موردنظر وجود ندارد

جدول ۸. عدد ارجحیت [۲۱]

Table 8. Preference number [21]

ارزش	وضعیت مقایسه I نسبت به J	توضیح
۱	ترجیح یکسان	شاخص I نسبت به J اهمیت برابر دارد و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
۳	کمی ارجح	گزینه یا شاخص I نسبت به J کمی مهمتر است.
۵	خیلی ارجح	گزینه یا شاخص I نسبت به J مهمتر است.
۷	خیلی زیاد ارجح	گزینه I دارای ارجحیت خیلی بیشتری از J است.
۹	کاملاً ارجح	گزینه I از J مطلقاً مهمتر و قابل مقایسه با J نیست.
۶-۴-۲	بینابین	ارزشهای بینابین را نشان می دهد مثلاً ۸، بیانگر اهمیتی زیادت از ۷ و پایین تر از ۹ است.

جدول ۱۰. حروف اسمی معیارهای آسیب پذیری

Table 10. Names of vulnerability criteria

نوع معیار	حروف اسمی
جدول (۲)	A1
جدول (۳)	A2
جدول (۴)	A3
جدول (۵)	A4
جدول (۶)	A5
جدول (۷)	A6

جدول ۹. داراییهای مهم تأسیسات آبرسانی شهر تهران بر طبق نظر خبرگان

Table 9. Important assets of Tehran water supply facilities according to experts

حرف اسمی	نوع دارایی
S1	سد امیرکبیر
S2	سد طالقان
S3	سد لتیان
S4	سد لار
S5	سد ماملو
S6	سد نمرود
S7	سد زیارت
S8	سد شهید غفوری
A	چاهها، چشمهها، رودخانهها
T1	تصفیه خانه شماره یک (جلالیه)
T2	تصفیه خانه شماره دو (کن)
T3	تصفیه خانه های شماره (۳ و ۴)
T4	تصفیه خانه شماره پنج
T5	تصفیه خانه شماره شش
T6	تصفیه خانه شماره هفت (سوهانک)
T7	تصفیه خانه فاضلاب صاحبقرانیه
T8	تصفیه خانه فاضلاب محلاتی
T9	تصفیه خانه فاضلاب زرگنده
T10	تصفیه خانه فاضلاب قیطریه
T11	تصفیه خانه فاضلاب شهرک قدس
T12	تصفیه خانه فاضلاب شوش
T13	تصفیه خانه فاضلاب اکباتان
D	تلمبه خانهها
M	مخازن ذخیره
K	شبکه توزیع آب

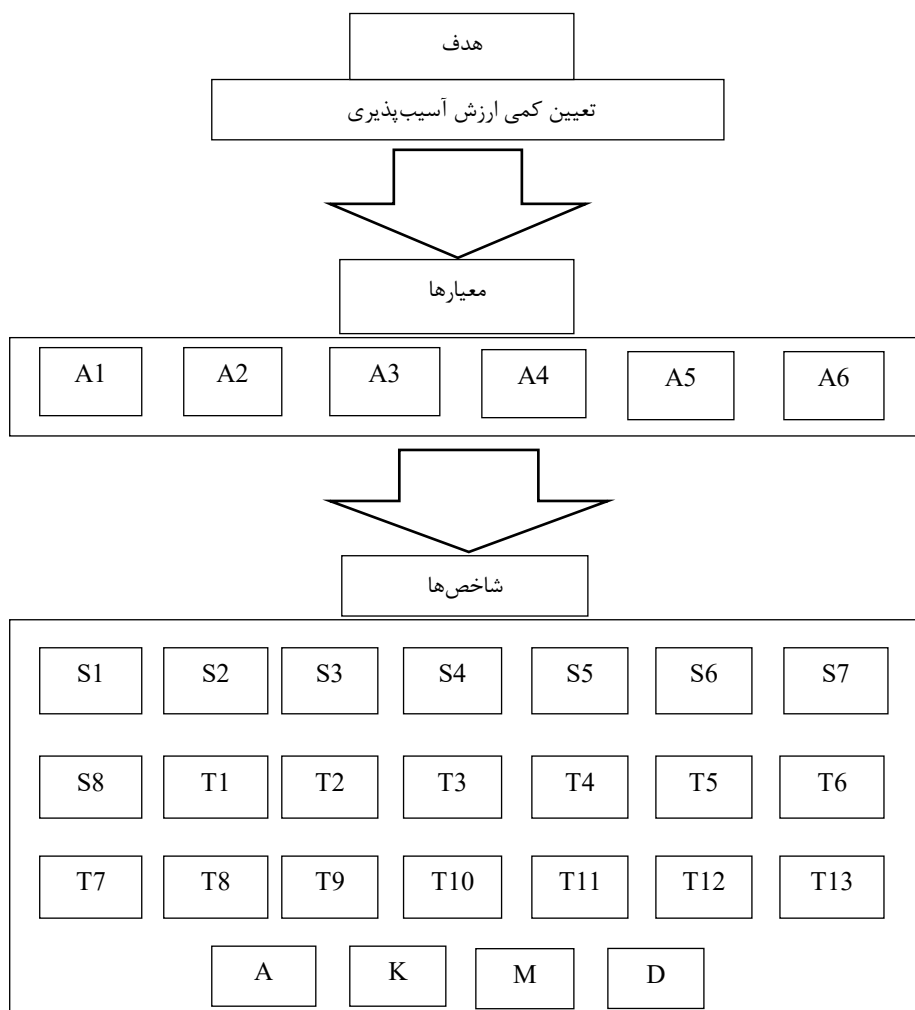
دست می آید. در نهایت بردار ویژه وزن نهایی آسیب پذیری دارایی ها به صورت زیر حاصل می شود:

$$\begin{pmatrix} W_{end 1} \\ W_{end 2} \\ W_{end 3} \\ \vdots \\ \vdots \\ W_{end n} \end{pmatrix} \quad (8)$$

برای تهیه پرسشنامه خبره از مقایسه زوجی دارایی های شناسایی شده استفاده شد. برای حصول نظرات دقیق تر، داده های جداول ۲ تا ۷ در اختیار هرکدام از خبرگان قرار داده شد. برای امتیازدهی از مقیاس نه درجه ساعتی^۱ (بنیان گذار AHP) به صورت جدول ۸ استفاده شد:

حروف اسمی شاخص ها (دارایی های شناسایی شده) در جدول ۹ بیان شده است. حروف اسمی معیارها نیز در جدول ۱۰ بیان شد.

1 Saaty



شکل ۱. مدل کلی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تعیین ارزش آسیب پذیری داراییها در نرم افزار Super Decisions نسخه ۲/۸

Fig. 1. General Model of Hierarchical Analysis Process for Determining the Value of Assets Vulnerability in Super Decisions Software Version 2.8

امیرکبیر (S1) با سایر داراییها بر اساس معیار جدول ۲ (معیارهای شاخص قابلیت کشف و شناسایی (A1)) در ادامه مشاهده می شود. تمام دارایی به روش گفته شده باهم دیگر مقایسه شدند. در ادامه به روش مشابه قبل برای هر یک از معیارهای دیگر نیز همین رویه ادامه یافت تا در نهایت تمام مقایسات انجام شد. سؤالاتی که از خبرگان شد: میزان اهمیت هر یک از زیرمعیارهای مربوط به معیار A1 را با توجه به جدول A1 و جدول عدد ارجحیت نسبت به یکدیگر تعیین کنید.

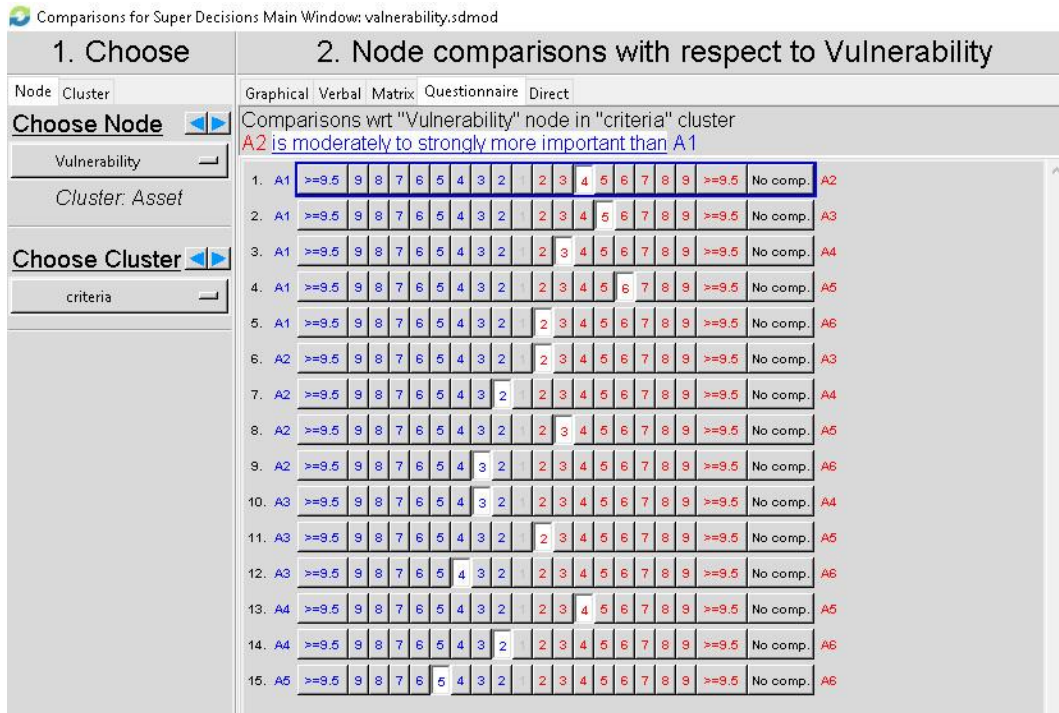
میزان اهمیت هر یک از زیرمعیارهای مربوط به معیار A2 را با توجه به جدول A2 و جدول عدد ارجحیت نسبت به یکدیگر تعیین کنید.

میزان اهمیت هر یک از زیرمعیارهای مربوط به معیار A3 را با

مدل کلی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین آسیب پذیری داراییها در نرم افزار مربوطه در شکل ۱ مشاهده می شود.

بعد از طرح سلسله مراتبی که طراحی شد، شروع به طرح پرسشنامه خبره گردید. ابتدا معیارها به صورت شکل ۲ در اختیار خبرگان قرار داده شد و از فرد پرسش شونده خواسته شد ارجحیت هر کدام از معیارها در تعیین عدد آسیب پذیری داراییها را تعیین کند. هر کدام از معیارها به صورت شکل ۲ دو به دو با هم مقایسه شدند و در نهایت با روش میانگین هندسی، حاصل نظر سنجی تمامی خبرگان، در تعیین عدد آسیب پذیری نهایی اعمال شد.

در ادامه بر اساس هر یک از معیارها مقایسه های زوجی هر یک از داراییها با تمام داراییهای دیگر به صورت دوه دو توسط فرد متخصص انجام شد. نمونه مقایسه زوجی آسیب پذیری دارایی سد



شکل ۲. نمونه مقایسه زوجی معیارها

Fig. 2. Example of pairwise comparison of criteria

نرم افزار مربوطه وارد شدند. در ابتدا معیارها به صورت دوه دو باهم مقایسه شدند سپس هر یک از دارایی ها بر اساس هر یک از معیارهای آسیب پذیری با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. همان طور که در بخش قبلی توضیح داده شد، اکزل و ساعتی (۱۹۸۳) استفاده از میانگین هندسی را بهترین روش برای ترکیب مقایسه های زوجی معرفی کرده اند [۲۷]، بنابراین برای تشکیل بردار ویژه آسیب پذیری دارایی ها بر مبنای هر معیار از داده های هر سطر میانگین هندسی گرفته شد.

۳- نتایج و بحث

نتایج مقایسات زوجی آسیب پذیری دارایی ها بر اساس معیارهای تعریف شده در شکل ۴ مشاهده می شود. بر این مبنا سدهای لتیان، امیرکبیر و طالقان از لحاظ آسیب پذیری به ترتیب در رتبه نخست، دوم و سوم قرار دارند. همچنین شبکه توزیع آب با قرار گرفتن در رده آخر این رتبه بندی، جزء آب رسان تقریباً محافظت شده براساس معیارهای تعریف شده می باشد.

براساس شش معیار در نظر گرفته شده برای ارزیابی آسیب پذیری، سه سد لتیان، امیرکبیر و طالقان اجزای سامانه آب رسانی هستند

توجه به جدول A3 و جدول عدد ارجحیت نسبت به یکدیگر تعیین کنید.

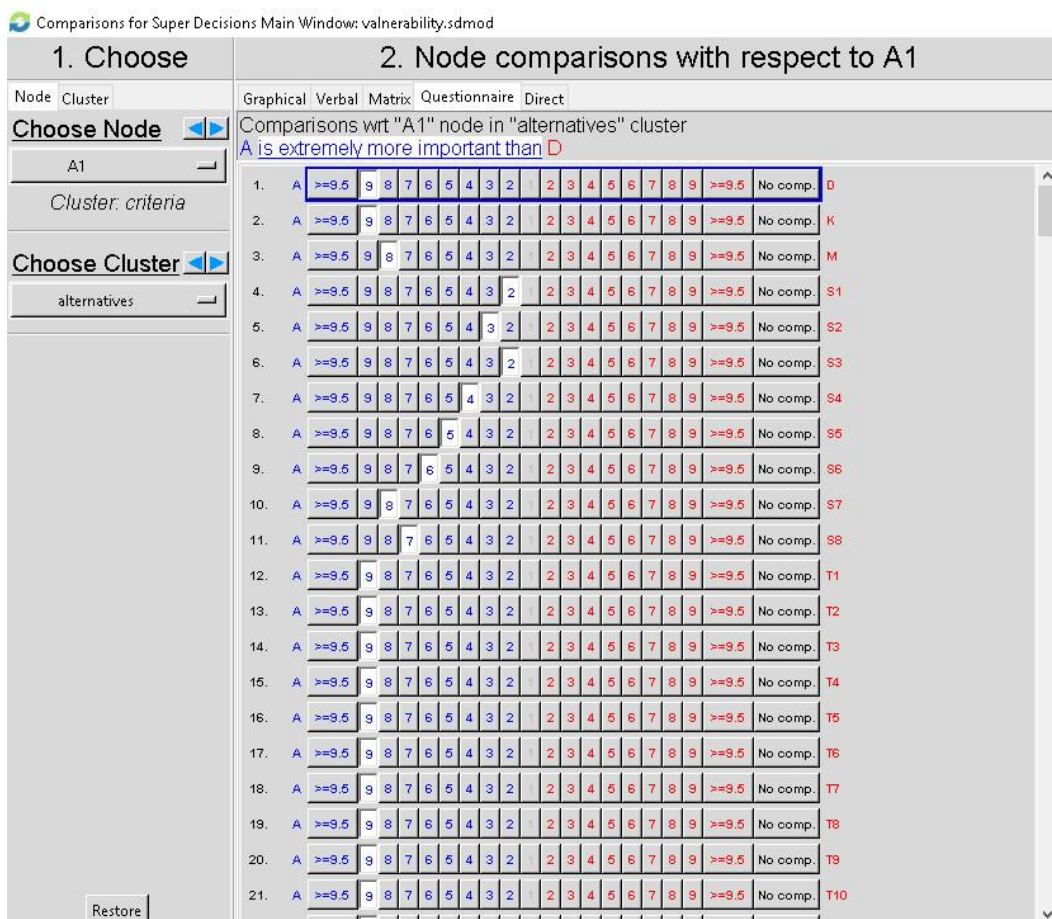
میزان اهمیت هریک از زیرمعیارهای مربوط به معیار A4 را با توجه به جدول A4 و جدول عدد ارجحیت نسبت به یکدیگر تعیین کنید.

میزان اهمیت هریک از زیرمعیارهای مربوط به معیار A5 را با توجه به جدول A5 و جدول عدد ارجحیت نسبت به یکدیگر تعیین کنید.

میزان اهمیت هریک از زیرمعیارهای مربوط به معیار A6 را با توجه به جدول A6 و جدول عدد ارجحیت نسبت به یکدیگر تعیین کنید.

مقایسه زوجی هر یک از دارایی ها بر طبق هر معیار نیز به صورت شکل ۳ انجام شد. به عنوان نمونه در شکل ۳ تمامی دارایی ها به صورت دو به دو با هم براساس معیار شاخص قابلیت کشف و شناسایی مقایسه شدند. سایر مقایسه ها براساس هر کدام از معیارها مانند همین بخش انجام شد.

داده های پرسشنامه به صورت کمی برای به دست آوردن ارزش آسیب پذیری هر یک از دارایی ها بر اساس معیارهای تعریف شده، در



شکل ۳. نمونه مقایسه‌های زوجی بر مبنای معیار A1

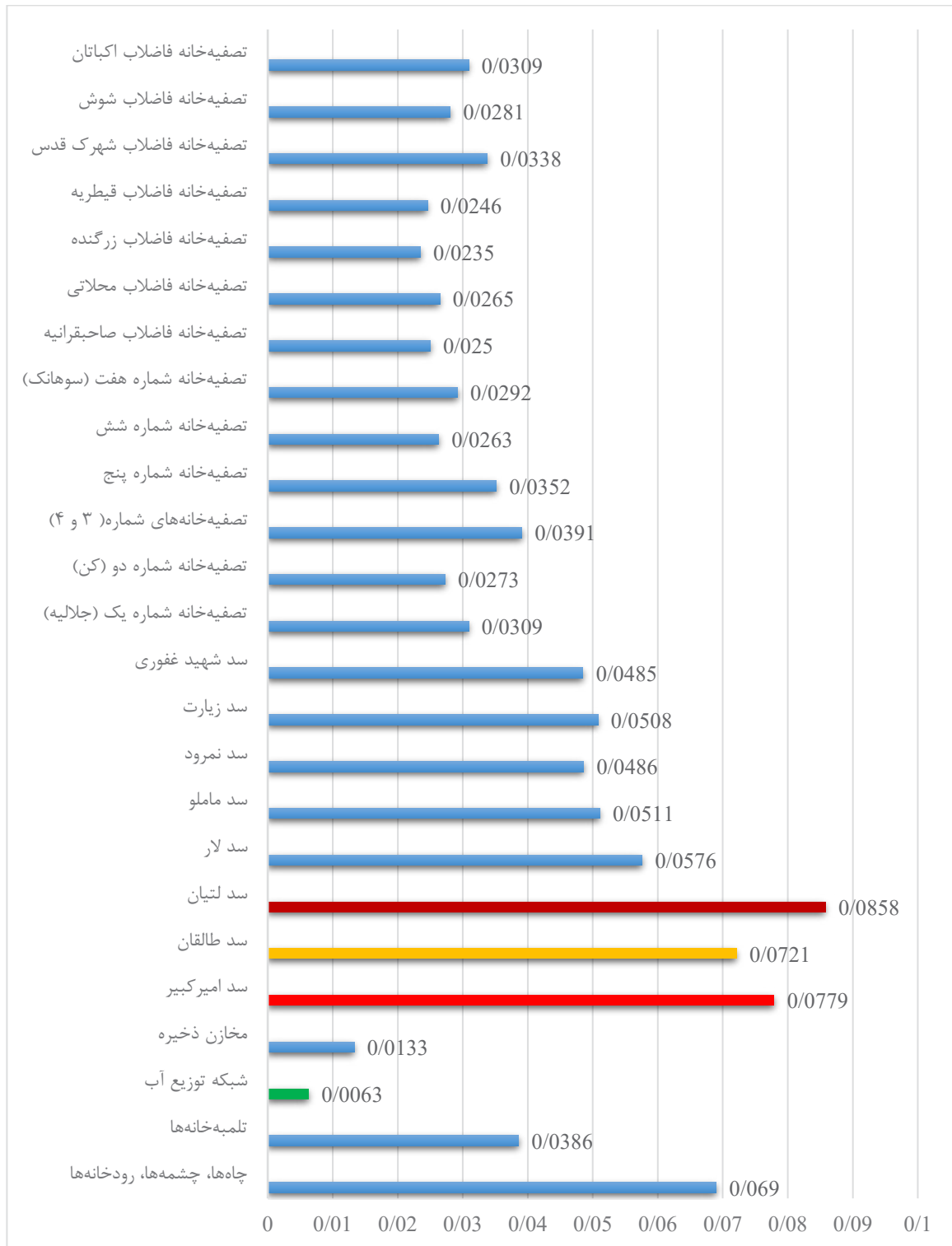
Fig. 3. Example of pairwise comparisons based on criterion A1

و کاربردی است. روش‌های دیگری که در این زمینه مطرح شده‌اند غالباً بدون توجه به تحلیل جامع از دارایی‌ها و تنها با تأکید بر تهدیدات محتمل به بررسی زیرساخت مربوط می‌پردازند و حال آنکه الگوی پیشنهادی مبتنی بر درک درست محیط زیرساخت، آسیب‌پذیری‌ها، آن‌هم با یک چارچوب کاملاً ریاضی‌گونه و کاربردی است که در نهایت پیش‌بینی رفتار دشمن و فهم وضعیت بحرانی ناشی از وقوع تهدید را آسان می‌کند. در ادامه مقایسه الگو طرح شده در این پژوهش با پژوهش‌های که از نظر محتوای قابل مقایسه‌اند، انجام شد.

Tchorzewska در سال ۲۰۱۱ روشی را برای تحلیل ریسک سامانه‌های آبرسانی بر مبنای ساخت قوانین فازی بر مبنای ارتباط احتمال، شدت و آسیب‌پذیری‌ای ارائه داده‌اند و کاربرد آن را در شبکه‌ای در کشور لهستان به کار گرفته‌اند. این مدل ریسک را به صورت احتمال وقوع در شدت خسارت با اعداد فازی [۱۰] محاسبه

که با عدد آسیب‌پذیری به ترتیب ۰/۰۸۵۸ و ۰/۰۷۷۹ و ۰/۰۷۲۱ و بیشترین آسیب‌پذیری را دارند. مخازن ذخیره و شبکه توزیع نیز با عدد آسیب‌پذیری به ترتیب ۰/۰۱۳۳ و ۰/۰۰۶۳ دارای کمترین آسیب‌پذیری براساس معیارهای تعریف شده در جدول‌های ۲ تا ۷ می‌باشند. تمامی اعداد بدست آمده از نتایج روش به صورت نرمال شده می‌باشند. اعداد آسیب‌پذیری متوسط نیز مربوط به تصفیه‌خانه‌ها است که از عدد آسیب‌پذیری تصفیه‌خانه زرگنده با ۰/۰۲۳۵ تا تصفیه‌خانه شماره ۳ و ۴ تهران پارس با عدد آسیب‌پذیری ۰/۰۳۹۱ متغیر می‌باشند.

الگوی پیشنهادی برخلاف دیگر روش‌ها سعی دارد که با معرفی زیرساخت و اجزای آن، نقش و جایگاه هر دارایی را در فرایند مربوط بیان کند. از دیگر وجوه تمایز الگوی پیشنهادی با دیگر روش‌ها تأکید بر کمی کردن مباحث توصیفی است به این معنا که با وزن‌دهی به شاخص‌های علمی درصدد به دست آوردن نتایجی مهندسی



شکل ۴. نمودار آسیب‌پذیری داراییها

Fig. 4. Asset Vulnerability Chart

نهایی اعتماد لازم را داشت. در صورتی که در الگو به کار رفته در مطالعه حاضر همانطور که در مقایسه بالا ذکر گردید برای هر بخش معیارهای کلیدی معرفی شده است و می‌توان تا درصد بالایی به

نمودند. اگر چه ریسک را به صورت عددی و کیفی بیان می‌کند اما معیار دقیقی برای محاسبه شدت خسارت بخش‌های مختلف سامانه ارائه نداده است. نبود همین معیارها سبب می‌شود که نتوان به جواب

یک شاخص خطر آسیب پذیری زیرساخت برای سیستم توزیع آب آشامیدنی را با هدف ارائه ابزار مدیریت برای ارزیابی آسیب پذیری سیستم در برابر اقدامات تروریستی احتمالی و با هدف افزایش امنیت ارائه دادند. این شاخص با استفاده از مجموعه ای از شاخص ها با اشاره به بخش های ساختاری سیستم به دست آمده است و هر دو آلودگی عمدی و آسیب فیزیکی را در نظر گرفته است. این شاخص از یک ساختار سلسله مراتبی استفاده می کند و سیستم را به اجزایی تجزیه می کند و از روند تحلیلی سلسله مراتبی برای محاسبه وزن استفاده می کند. استفاده از این شاخص برای سه طرح آب در استان کرمان (جنوب ایتالیا) انجام شد. این الگو معیاری برای تعیین آسیب پذیری به صورت جامع و کامل ندارد. در حالی که در الگوی به کار رفته در این پژوهش برای هر بخش به صورت جداگانه و کارشناسانه معیارهای برای تعیین وزن و اولویت بندی تعریف شده است. معیارهای تعریفی الگوی پژوهش حاضر به صورت کمی و کیفی بیان شده و این باعث می شود کارشناس به صورت دقیق در مراحل وزن دهی نظر دهد در صورتی که در الگوی این محققین به این مسئله اشاره نشده است. تفاوت قابل توجه دیگر الگوی پژوهش حاضر پرداختن به آسیب پذیری کل سامانه تأمین آب است چرا که این سامانه به صورت زنجیره وار به اجزای درونی بستگی دارد و آسیب دیدگی هر بخش می تواند کل سامانه را تحت تأثیر قرار دهد [۱۵].

۴- نتیجه گیری

با توجه به مطالب فوق نتیجه می شود که سامانه آبرسانی از جمله زیرساخت های بسیار حیاتی هر جامعه و کشور محسوب می شود. از این رو برنامه ریزی جهت انجام اقدامات حفاظتی از این شبکه امری بسیار مهم می باشد. براساس نتایج حاصل از ارزیابی آسیب پذیری دارایی ها سد لتیان بر مبنای معیارهای قابلیت کشف و شناسایی، قابلیت دسترسی به هدف، شاخص ضعف بخش، قابلیت بازسازی، شاخص آسیب های ثانویه، شاخص اثرات هم افزا با دارا بودن عدد آسیب پذیری ۰/۰۸۵۸ و قرار گرفتن در رتبه نخست ارزیابی آسیب پذیری دارایی ها، آسیب پذیرترین نقطه در بین سایر تأسیسات آب رسانی شهر تهران است. براساس همین شش معیار در نظر گرفته شده برای ارزیابی آسیب پذیری، سدهای امیرکبیر و طالقان دیگر اجزای سامانه آب رسانی هستند که با عدد آسیب پذیری به ترتیب

اعداد آسیب پذیری نهایی اعتماد کرد. ضعف دیگر مدل این محقق عدم استفاده از نظر کارشناسانه هست، چرا که این خود می تواند در ارائه عدد آسیب پذیری نزدیک به واقعیت کمک شایانی کند و باعث جلب اعتماد به اعداد نهایی و رتبه بندی نیز می شود [۱۳].

نخعی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه ی با عنوان ارزیابی ریسک سامانه آبرسانی به روش RAMCAP به ارزیابی ریسک این سامانه پرداخته اند [۱۹]. آنها در مورد تأسیسات آبرسانی مطالعه نمودند در این مقاله در مورد تأسیسات آبرسانی کار شده. آنها از RAMCAP استفاده کرده اند و در این مطالعه از همین روش استفاده شده است. اما تفاوت مطالعه مقاله حاضر با مطالعات مذکور عبارتند از:

برای تعیین اولویت بندی میزان آسیب پذیری هر دارایی سامانه آبرسانی روش RAMCAP و AHP را تلفیق نموده و این مطالعه موردی در مورد تأسیسات آبرسانی شهر تهران بوده در صورتی که کار نخعی و همکاران در سال (۱۳۹۶) کلی بوده و منطقه خاصی را مورد مطالعه قرار نه داده اند. ثانیاً تعیین دقیق عدد ارجحیت بندهای مختلف هر معیار بر مبنای نظر کارشناسی انجام شده که در مطالعه آنها در نظر گرفته نشده است. ثالثاً استفاده توأمان از جداول معیارها برای وزن دهی به میزان آسیب پذیری شاخص ها (دارایی ها) که میزان دقت در وزن دهی با توجه به تعریف جداگانه هر معیار بر طبق نظر هر کارشناس تا حد بالایی افزایش یافت. رابعاً تمامی نظرات کارشناسی برای بالا رفتن دقت نتایج بر مبنای عدد ناسازگاری روش AHP کنترل شده اند. نظرات کارشناسی برای وزن دهی به آسیب پذیری هر دارایی به صورت تجمعی بوده که با کاربرد روش تجمعی در روش AHP تمامی نظرات در نتایج تأثیر مستقیم داشته اند. در تمامی مراحل وزن دهی و اولویت بندی در انجام این مطالعه از نرم افزار کاربردی Super Decisions نسخه ۲/۸ (۲۰۱۵) استفاده شده است. با کمک این نرم افزار دقت نتایج تا حد بالایی افزایش یافت. الگوی به کار رفته در پژوهش ما برای هر بخش به صورت جداگانه و کارشناسانه معیارهای برای تعیین وزن و اولویت بندی تعریف شده است. معیارهای تعریفی الگوی پژوهش به صورت کمی و کیفی بیان شده و این باعث می شود کارشناس به صورت دقیق در مراحل وزن دهی نظر دهد در صورتی که در الگوی این محققین به این مسئله اشاره نشده است.

در سال ۲۰۱۸، Maiolo و Pantusa، طی ارائه مقاله ای

water mains. 2010. 1(1): p. 53-62.

[13] Tchorzewska-Cieslak, B.J.E.P.E., Matrix method for estimating the risk of failure in the collective water supply system using fuzzy logic. 2011. 37(3): p. 111-118.

[14] Di Nardo, A., et al., Water network protection from intentional contamination by sectorization. 2013. 27(6): p. 1837-1850.

[15] Maiolo, M. and D.J.C.E. Pantusa, Infrastructure Vulnerability Index of drinking water systems to terrorist attacks. 2018. 5(1): p. 1456710.

[16] Asgari, M. Tabesh, M. Roozbehani, A, Risk assessment of sewage collection networks using fuzzy decision approach. Water and Sewage, 2012. 26(4(98)): p. 74-87. (In persian).

[17] Roozbehani, A. Zahraei, B. Tabesh, M, Water quality and quantity risk analysis in urban water supply systems with consideration of uncertainties. Water and Wastewater 2012. 24(4(88)): p. 2-14 (In Persian).

[18] Eskandari, M. Omidvar, B. Tavakoli Sani, M, Analyzing the damage to vital arteries by considering the effects of dependence on targeted attacks Case study of water and electricity network in a metropolitan area. Two Quarterly Journal of Crisis Management, 2013. 3: p. 19-30 (In persian).

[19] Nakhaie et al., Risk Assessment of Urban Water Supply Systems of the Country Against Threats Using RAMCAP. 2017. 28 (4): p. 10-20. (In Persian).

[20] Tabesh, M. Roozbehani, A. Hadigol, F, Risk Assessment of Water Treatment Plant Using Fuzzy Tree Analysis (Case Study: Jalaliyeh Refinery in Tehran). Water and Wastewater, 2018. 29(4): p. 132-144 (In persian).

[21] Saaty, T.L.J.I.j.o.s.s., Decision making with the analytic hierarchy process. 2008. 1(1): p. 83-98.

[22] Dağdeviren, M. and İ.J.I.s. Yüksel, Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management. 2008. 178(6): p. 1717-1733.

[23] Bilgic, E., G.T. KARA, and O.J.S. GÜNDÜZ, ASSESSMENT OF RISKS FOR DRINKING WATER

۰/۰۷۷۹ و ۰/۰۷۲۱ در رتبه های بعدی بیشترین آسیب پذیری قرار دارند. مخازن ذخیره و شبکه توزیع نیز با عدد آسیب پذیری به ترتیب ۰/۰۱۳۳ و ۰/۰۰۶۳ دارای کمترین آسیب پذیری براساس معیارهای تعریف شده را دارا بوده، می باشند.

مراجع

[1] Gleick, P.H.J.W.p., Water and terrorism. 2006. 8(6): p. 481-503.

[2] Washington, A. All-Hazards risk and resilience: prioritizing critical infrastructures using the RAMCAP Plus [hoch] SM approach. 2009. ASME.

[3] Eskandari, H., Introductory Undergraduate Defense. Second ed. 2010, Tehran: Boustan Hamid. (In Persian).

[4] Eskandari, H., Undefined Defense Knowledge. Fifth ed. 2013, Tehran: Boustan Hamid. (In Persian).

[5] Brashear, J., et al., RAMCAP™: Risk Analysis and Management for Critical Asset Protection for the Water and Wastewater Sector. 2007. 2007(17): p. 2199-2212.

[6] Ehteshami, A., Chemical terrorism is a clear threat to public safety. Journal of Police Knowledge, 2006. 4(36) (9): p. 166-183. (In Persian).

[7] Patterson, S.A., G.E.J.R.E. Apostolakis, and S. Safety, Identification of critical locations across multiple infrastructures for terrorist actions. 2007. 92(9): p. 1183-1203.

[8] Michaud, D. and G.E.J.J.o.i.s. Apostolakis, Methodology for ranking the elements of water-supply networks. 2006. 12(4): p. 230-242.

[9] Ezell, B.C.J.R.A.A.I.J., Infrastructure vulnerability assessment model (I-VAM). 2007. 27(3): p. 571-583.

[10] Vairavamoorthy, K., et al., IRA-WDS: A GIS-based risk analysis tool for water distribution systems. 2007. 22(7): p. 951-965.

[11] Lee, M., et al., Fuzzy-logic modeling of risk assessment for a small drinking-water supply system. 2009. 135(6): p. 547-552.

[12] Fares, H., T.J.J.o.P.S.E. Zayed, and Practice, Hierarchical fuzzy expert system for risk of failure of

- the paper “remarks on the analytic hierarchy process”.
1990. 36(3): p. 259-268.
- [26] Saaty, T.L.J.E.j.o.o.r., How to make a decision: the analytic hierarchy process. 1990. 48(1): p. 9-26.
- [27] Golden, B.L., et al., The analytic hierarchy process. 1989.
- INFRASTRUCTURES BY CARVER METHOD:
CASE STUDY-İZMİR. 2017. 8(3): p. 199-208.
- [24] Liu, R., et al., Introduction to the ANP Super Decisions Software and Its Application [J]. 2003. 8: p. 024.
- [25] Saaty, T.L.J.M.s., An exposition of the AHP in reply to

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M. Sheykhali, Gh.R. Asadollahfardi, S.Sh. Emamzadeh, Evaluation of the vulnerability of water supply facilities using the AHP and RAMCAP combined methods, Amirkabir J. Civil Eng., 52(5) (2020) 1205-1220.

DOI: [10.22060/ceej.2019.15289.5873](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.15289.5873)



