

Multi-Criteria Evaluation of the Vulnerability of the Urban Water Supply Network Against Biological Attacks

S. Safari^{1*}, M. Mosaferi², S. Javadi³, M. Zarghami⁴, M. Jahangiri⁵

1. PhD. Student, Civil Engineering-Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran
(Corresponding Author) soheilssafari@gmail.com
2. Prof., Health and Environment Research Center, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran
3. Assoc., Prof., Dept. of Water Engineering College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran
4. Prof., Faculty of Civil Engineering and Institute of Environment, University of Tabriz, Iran and Adjunct Professor, Policy Research Institute, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
5. Former Graduated Student, Civil Engineering-Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Science and Technology, Tehran, Iran

(Received July 13, 2022 Accepted Oct. 31, 2022)

To cite this article:

Safari, S., Mosaferi, M., Javadi, S., Zarghami, M., Jahangiri, M. 2023. "Multi-criteria evaluation of the vulnerability of the urban water supply network against biological attacks" Journal of Water and Wastewater, (In press). Doi: 10.22093/wwj.2022.351591.3276. (In Persian)

Abstract

The water supply network is one of the most critical infrastructures of human societies, which could cause illness or death in many consumers due to its expanding nature. Water pollution is one of the ways of spreading biological pollutants among the population, which is known as bioterrorism today. Biological contamination usually occurs with the use of pathogens and biotoxins. Therefore, recognizing the vulnerable stages of the water supply network against various pollutants is of particular importance. In this research, at the first stage, a selection of five pathogens (*Bacillus anthracis*, *Cryptosporidiosis*, *Francisella tularensis*, *Vibrio cholerae*, *Shigella*) that are more likely to pollute water sources have been made. Thus, employing each component of the water supply system (including raw water source (dam) Raw water storage tank, water treatment plant, treated water transmission line, treated water tanks, and distribution network (30 scenarios) were defined. In the next step, using multi-criteria group decision-making and employing three main criteria (vulnerability of each water supply stage, the amount of contaminant damage power, the amount of contaminant risk in each of the water supply stages) and their sub-criteria, the weight of each criterion was determined from the perspective of decision-makers by utilizing GFDM software. After analyzing the scenarios, the risk level of each scenario was ranked. Scenario 26 created the most risk, which consists of introducing the pathogen *Bacillus anthracis* into the distribution network. The entry of contamination into the distribution network due to high availability and lack of subsequent treatment steps, as well as the low chance of preventing the contaminant from reaching consumers, can cause many diseases and deaths. Furthermore, it has a high resistance against chloride and is stable in water, so the entry of this contaminant into the distribution network can be perilous. Considering the existing conditions, recognizing and calculating the risk of different scenarios can lead to readiness and increase the speed of action in response to possible biological attacks.

Keywords: Water Supply Network, Biological Attacks, Multi-Criteria Decision Making, Passive Defense.



ارزیابی چند معیاره میزان آسیب پذیری شبکه آبرسانی شهری در مقابل حملات بیولوژیکی

سهیل صفری^{۱*}، محمد مسافری^۲، سامان جوادی^۳، مهدی ضرغامی^۴، مهدی جهانگیری^۵

۱- دانشجوی دکترای مهندسی عمران- مهندسی محیط زیست دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران و پژوهشگر پژوهشکده محیط زیست دانشگاه تبریز، ایران
(نویسنده مسئول) soheilssafarii@gmail.com
۲- استاده مرکز تحقیقات سلامت و محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، ایران
۳- دانشیار، گروه مهندسی آب پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۴- استاده، دانشکده مهندسی عمران و پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه تبریز و استاد همکار پژوهشکده سیاست گذاری دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
۵- دانش آموخته مهندسی عمران- مهندسی محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

پذیرش ۱۴۰۱/۸/۹

(دریافت ۱۴۰۱/۴/۲۲)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

صفری، س.، مسافری، م.، جوادی، س.، ضرغامی، م.، جهانگیری، م.، ۱۴۰۲، "ارزیابی چند معیاره میزان آسیب پذیری شبکه آبرسانی شهری در مقابل حملات بیولوژیکی" مجله آب و فاضلاب، (در انتظار چاپ). Doi: 10.22093/wwj.2022.351591.3276

چکیده

شبکه آبرسانی یکی از مهمترین زیر ساخت های جوامع بشری است که در صورت وقوع آلودگی به دلیل گستردگی می تواند موجب بیماری یا مرگ بسیاری از مصرف کنندگان شود. آلودگی آب یکی از مسیرهای انتشار آلاینده های بیولوژیکی در بین جمعیت است که امروزه به عنوان بیوتروریسم از آن یاد می شود. آلودگی های بیولوژیکی معمولاً با استفاده از پاتوژن ها و بیوتوکسین ها رخ می دهد. از این رو شناخت مراحل آسیب پذیر شبکه آبرسانی در مقابل آلاینده های مختلف اهمیت ویژه ای دارد. در این پژوهش، در مرحله اول پنج پاتوژن (باسیلوس آنتراسیس، کریپتوسپوریدیوزیس، فرانسیسلا تولارنسیس، ویبریو کلرا، شیگلا) که قابلیت بیشتری در ایجاد آلودگی منابع آب دارند، انتخاب و با هر یک از اجزا سامانه آبرسانی (مشمول بر منبع آب خام (سد)، مخزن ذخیره آب خام، تصفیه خانه آب، خط انتقال آب تصفیه شده، مخازن آب تصفیه شده و شبکه توزیع) ۳۰ سناریو تعریف شد. در مرحله بعد با استفاده از تصمیم گیری چند معیاره گروهی و با بهره گیری از سه معیار اصلی (میزان آسیب پذیری هر یک از مراحل آبرسانی، میزان قدرت آسیب رسانی آلاینده، میزان ایجاد خطر آلاینده در هر یک از مراحل آبرسانی) و زیر معیار آنها و با استفاده از نرم افزار GFDN وزن هر معیار از دیدگاه تصمیم گیران مشخص شد و پس از تحلیل سناریوها، میزان خطر هر یک از سناریوها رتبه بندی شد که سناریو ۲۶ رتبه اول در ایجاد خطر را کسب کرد که متشکل از وارد کردن پاتوژن باسیلوس آنتراسیس به شبکه توزیع بود. ورود آلودگی به شبکه توزیع به دلیل دسترسی بالا و نبود مراحل تصفیه بعدی و همچنین فرصت کم برای جلوگیری از رسیدن آلاینده به مصرف کنندگان می تواند موجب بیماری و مرگ بسیاری از مصرف کنندگان شود، از طرفی پاتوژن باسیلوس آنتراسیس در مقابل کلر مقاومت زیادی داشته و در آب پایدار است، از این رو ورود این آلاینده به شبکه توزیع می تواند بسیار خطرناک باشد. با در نظر گرفتن شرایط موجود شناخت و محاسبه میزان خطر سناریوهای مختلف می تواند موجب آمادگی و افزایش سرعت عمل در واکنش با حملات بیولوژیکی شود.

واژه های کلیدی: شبکه آبرسانی، حملات بیولوژیکی، تصمیم گیری چند معیاره، پدافند غیرعامل



۱- مقدمه

در بین زیرساخت‌های مختلف، شبکه آبرسانی شهری به عنوان یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های مرتبط با بقای جوامع و به دلیل برخی خصوصیات از قبیل فراگیر بودن، قابلیت دسترسی و اهمیت فراوانی دارد. در واقع، در صورت آسیب به زیرساخت‌های دیگر مانند برق، گاز و... می‌توان به راحتی شبکه‌های مورد نظر را قطع کرد و نیاز شهروندان را به گونه‌ای دیگر برطرف کرد، اما شبکه آبرسانی به گونه‌ای است که امکان قطع و جایگزینی آن در شرایط بحران وجود ندارد. از این رو بایستی با ارزیابی انواع تهدیدات و میزان تأثیر آن‌ها بر این شبکه، نقاط آسیب‌پذیر را شناسایی کرد (Bitarafan et al., 2015).

از آنجا که تأسیسات انتقال آب اهداف مناسبی برای اقدامات خرابکارانه محسوب می‌گردند، چنانچه در اثر یک اقدام خرابکارانه شبکه آب شهری آلوده شود، احیای شبکه در کوتاه‌ترین زمان و با کمترین هزینه، می‌تواند دامنه آسیب‌های جانی و مالی را به حداقل تقلیل دهد. نظر به اهمیتی که جان انسان‌ها دارد، پیش‌بینی راهکار مناسب در وقوع چنین بحران‌هایی ضروری است. از طرفی در کشور ما اغلب پروژه‌ها بدون در نظر گرفتن مبانی پدافند غیرعامل طراحی و اجرا شده است. از این رو تأسیسات زیربنایی کشور در برابر بحران آسیب‌پذیرند و اغلب، اهداف مناسبی برای عملیات خرابکارانه به شمار می‌روند (Ghazizadeh et al., 2008). از طرفی تجربه جنگ‌های گذشته و کنونی در عراق، کوزوو و یمن نشان می‌دهد که مراکز و تأسیسات حیاتی شهرها جزء اهداف اولیه و اصلی هستند که مورد تهاجم قرار می‌گیرند (Bakhshi Shadmehri et al., 2016).

ریشه بحث بحث‌های پدافند غیرعامل به نیازهای انسان برای زندگی برمی‌گردد. پدافند غیرعامل به منظور تأمین ایمنی و سلامت انسان در برابر پتانسیل‌های بروز خطر می‌باشد و در واقع مجموع تهدیدات و اقدامات و طرح‌هایی است که با استفاده از ابزار، شرایط و حتی‌المقدور بدون نیاز به نیروی انسانی به صورت خود اتکا صورت می‌گیرد (Azadi et al., 2020). پدافند غیرعامل به منظور دفاع از مراکز، زیر ساخت‌ها، جان و سرمایه‌های انسانی در تمام ملت‌ها جزئی ضروری از یک کشور است. بیشتر اقدامات عمده پدافند غیرعامل متمرکز می‌شود بر شناسایی تهدیدات، کنترل تهدیدات، کاهش تأثیر تهدیدات و مدیریت کردن تهدیدات و

بحران‌ها بر کشور و کارکرد عمده پدافند غیرعامل افزایش پایداری کشور و تداوم خدمات به مردم در شرایط بحران است. پدافند غیرعامل یک مدیریت جامع بحران در عرصه دفاع است (Mohammadian et al., 2019).

نگرانی عمده در مورد حمله تروریستی به منابع آبی دو نوع کلی دارد یا شالوده‌ها و زیرساخت‌های سیستم‌های آبی می‌تواند مستقیماً مورد حمله تروریستی قرار گیرد و تأسیسات، مخازن، لوله‌کشی، سدها و تصفیه‌خانه‌ها به‌طور فیزیکی تخریب شود یا به واسطه ورود یک عامل توکسیک یا یک عامل بیماری‌زا در منابع آبی مختلف این حمله صورت بگیرد. نتیجه هر دو عمل، غیر قابل شرب شدن آب، به خطر انداختن سلامت جامعه، و ایجاد هراس عمومی است. آسیب‌پذیری منابع و مخازن آبی در مقابل تروریسم، در گذشته بیشتر مربوط به تخریب فیزیکی تأسیسات آبی بوده ولی در سال‌های اخیر به‌ویژه از سال ۲۰۰۰، موضوع حملات شیمیایی و بیولوژیک جدی شده است (Rice, 2011).

برخلاف اغلب عوامل تروریستی، تشخیص تهدیدات مربوط به منابع آبی بسیار مشکل است و از آنجا که چنین حملاتی تنها با پخش شدن آب آلوده و تلفات تعداد زیادی از افراد در یک طغیان یا اپیدمی مشخص می‌شود، تشخیص و مقابله سریع، اهمیت بسیار دارد (Ahmadi and Soleimani, 2020).

نسیم و همکاران در مطالعه‌ای میزان آسیب‌پذیری و احتمال تهدید حملات بیوتروریستی در هریک از عناصر زیرساخت منابع آب ارزیابی کردند و براساس آن مشخص شد که بین میزان آسیب‌پذیری و احتمال وقوع حملات بیوتروریستی در بخش‌های مختلف زیرساخت آب شهری تفاوت وجود دارد؛ بدین ترتیب مشخص شد از نظر معیار «میزان آسیب‌پذیری»، در بین بخش‌های مختلف زیرساخت آب، «شبکه توزیع آب شهری در معرض تهدید بیشتری است و از نظر «احتمال وقوع تهدید» نیز بخش منابع تأمین» آب شهری در معرض تهدید بیشتری قرار دارد (Nasimi et al., 2019).

رشیدی و همکاران با به‌کارگیری روش SWOT ضمن شناسایی ۱۰ مورد از نقاط قوت و ۱۳ مورد از نقاط ضعف سیستم آب و فاضلاب شهرستان فردوس واقع در استان خراسان جنوبی، در ارزیابی‌های محیطی ۱۲ مورد فرصت و ۶ مورد تهدید را مورد شناسایی قرار داد. نتیجه این ارزیابی نشان‌دهنده موقعیت ضعف



تصفیه شده، مخازن آب تصفیه شده و شبکه توزیع) ۳۰ سناریو تعریف گردید. در مرحله بعد با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره گروهی و با بهره‌گیری از ۳ معیار اصلی (میزان آسیب‌پذیری هر یک از مراحل آبرسانی، میزان قدرت آسیب‌رسانی آلاینده، میزان ایجاد خطر آلاینده در هر یک از مراحل آبرسانی) و زیر معیار آنها و با استفاده از نرم‌افزار GFDN وزن هر معیار از دیدگاه تصمیم‌گیران مشخص شد و پس از تحلیل سناریوها، میزان خطر هر یک از سناریوها رتبه‌بندی شده است.

۱-۱- شبکه آبرسانی

مراحل اصلی تولید آب و آبرسانی می‌تواند به ترتیب شامل منابع آب، ذخایر آب خام، ایستگاه پمپاژ، خط انتقال آب خام، تصفیه‌خانه آب، خط انتقال آب تصفیه شده، مخازن آب تصفیه شده و شبکه‌های توزیع باشد (Ghazizadeh et al., 2008).

سیستم‌های آبرسانی از وسعت بالایی برخوردارند و احتمال آلودگی آن‌ها بسیار زیاد است از طرفی این سیستم‌ها از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده است که میزان آسیب‌پذیری آن‌ها در مقابل حملات بیولوژیکی یکسان نیست (Habibi 2018).

شبکه‌های آبرسانی عمومی آسیب‌پذیری کمتری نسبت به شبکه‌های مستقل دارند و به بیان دیگر دسترسی به شبکه‌های آب شهری و آلوده نمودن آن از آنچه که در ذهن اکثریت وجود دارد، مشکل‌تر است. عواملی مثل رقیق‌سازی ایجاد شده به وسیله حجم زیاد آب در شبکه‌های عمومی، فاصله دور نقطه پخش و انتشار اولیه آلودگی و همچنین اجرای کلر زنی می‌تواند بخش عمده ارگانسیم‌های بیماری‌زا را برای انسان از بین برده و تحمیل تلفات زیاد را از این طریق به شدت غیرمحمول می‌سازد (Chandler and Landrigan, 2004).

دریاچه‌های بزرگ و رودخانه‌ها قابلیت دسترسی بیشتری دارند و آلوده شدن آن‌ها بستگی به حجم آب دارد. از آنجا که آلوده شدن آب به غلظت آلاینده بستگی دارد، منابع بزرگتر، از آسیب‌پذیری کمتری برخوردار است. به علاوه، به تأثیر گذشت زمان و قرار گرفتن آب آلوده در معرض نور خورشید نیز باید اشاره کرد. قابلیت خودپالایی منابع آب، آلوده ساختن آن‌ها را با مشکل مواجه می‌کند. گذشته از عوامل ذکر شده، آلوده شدن منابع آب به سمیت آلاینده و حجم آب بستگی دارد (Kroll, 2006).

شهرستان فردوس در محیطی در بردارنده فرصت‌های مناسب است. در پایان ضمن شناسایی استراتژی‌های مناسب نسبت به رتبه‌بندی استراتژی‌های پدافند غیرعامل در حوزه آب و فاضلاب شهرستان فردوس اقدام شد (Rashidi, 2014).

دوست حسینی و خانجانی در تحقیقی با استفاده از معادله دیفرانسیل به روش تقریب تفاضلات محدود، در هر گام زمانی غلظت ماده آلاینده را تخمین زدند. در ادامه یک شبکه در نرم‌افزار EPANET در نظر گرفته شد و با ورود ماده آلاینده با غلظت معین و در زمان صفر، با گذر زمان پیشروی ماده آلاینده نحوه انتشار آن بررسی گردید. نتایج به دست آمده از مطالعه مذکور نشان دهنده آن است که گره‌های پر مصرف باید از چند خط لوله تغذیه نمایند تا درصد کمتری از آلودگی وارد گره گردد (Doost Hosseini and Khanjani, 2011).

در بیشتر تحقیقات صورت گرفته مانند تحقیقات نسیم و همکارانش (Nasimi et al., 2019)، آسیب‌پذیری مراحل مختلف شبکه آبرسانی به تنهایی و بدون در نظر گرفتن آلاینده مورد بررسی قرار گرفته است و یا در تحقیقاتی مانند کار پژوهشی احمدی و سلیمانی در سال ۲۰۲۰ که فقط به بررسی و ارزیابی میزان خطر آلاینده‌ها پرداخته‌اند (Ahmadi and Soleimanian, 2020).

با توجه به این امر که هر یک از آلاینده‌ها خصوصیات متفاوتی دارند و هر یک از مراحل شبکه آبرسانی شرایط خاص خود را دارند در نتیجه میزان آسیب‌پذیری هر یک از مراحل در مقابل آلاینده‌های مختلف متفاوت است. در این تحقیق تلاش شده است میزان آسیب‌پذیری هر یک از مراحل شبکه آبرسانی با در نظر گرفتن ورود هر یک از آلاینده‌ها مشخص شود، همچنین با در نظر گرفتن آلاینده مورد استفاده در حمله بیولوژیکی و مرحله ورود این آلاینده به مراحل مختلف شبکه آبرسانی و با در نظر گرفتن خصوصیات آلاینده مورد استفاده و مرحله مورد نظر شبکه آبرسانی تلاش شده است میزان آسیب‌پذیری هر یک از مراحل شبکه آبرسانی در مقابل آلاینده‌های مورد نظر محاسبه گردد. در این راستا در مرحله اول پنج پاتوژن (باسیلوس آنتراسیس، کریپتوسپوریدیوزیس، فرانسیسلا تولارنسیس، ویبریو کلرا، شیگلا) که قابلیت بیشتری در ایجاد آلودگی منابع آب را دارند انتخاب و با هر یک از اجزا سامانه آبرسانی (مشمول بر منبع آب خام (سد)، مخزن ذخیره آب خام، تصفیه‌خانه آب، خط انتقال آب



۲-۱- عوامل آلاینده بیولوژیکی

بیوتروریسم به مفهوم استفاده عمدی از باکتری‌ها، ویروس‌ها یا سموم طبیعی به‌عنوان یک سلاح برای کشتن، زخمی کردن یا ایجاد بیماری در انسان، جانوران و یا گیاهان است، که با هدف ایجاد رعب و وحشت، اختلال در اقتصاد یا برای دریافت پاسخ از دولت، توسط یک گروه تروریست یا یک رژیم نامشروع به کار می‌رود (Nasimi et al., 2019).

عوامل میکروبی و شیمیایی برای حمله به منابع آبی و مخازن آب شرب باید دارای خواص خاصی از جمله:

- قابلیت تبدیل به سلاح بیولوژیک را داشته باشد: باید در مقادیر کافی تولید و پخش شود تا اثر مورد نظر را داشته باشد.
- برای انتشار در آب مناسب باشد: در آب زنده بماند، حل شود، پایدار باشد و قابل انتقال باشد.

- عفونی، ویروالانت یا سمی باشد: باید بتواند در ایجاد بیماری یا مرگ، مؤثر و کارآمد باشد و در جامعه هدف ایمنی القا نکند.
- دارای دوز عفونی‌کننده، ناتوان‌کننده، یا کشنده پایینی بوده و در عوض قابلیت سرایت بالا داشته باشند.
- در طول زمان و طی تریتمان، تأثیر خود را حفظ کند: باید به اندازه‌ای در آب حفظ شود که بتواند به محل مورد نظر رسیده و تأثیر کند و در این مسیر با سیستم‌های تریتمان استاندارد آب خنثی نشود.

• ابزار درمان یا پیشگیری در دسترس نباشد (Ahmadi and Soleimanian, 2020).

آژانس حفاظت محیط‌زیست در امریکا فهرستی از تهدیدهای بیولوژیک مربوط به آب شرح داده که به کلاس‌های مختلف تهدید تقسیم می‌شود. بعضی از این موارد: تنها در سیستم نظامی وجود دارند و بعضی دیگر می‌تواند توسط گروه‌های تروریستی تولید شوند. در کل دو نوع عمده تهدیدهای بیولوژیک در ارتباط با منابع آبی وجود دارد: پاتوژن‌ها و بیوتوکسین‌ها. پاتوژن‌ها ارگانیسم‌های زنده‌ای شامل باکتری‌ها، ویروس‌ها و انگل‌ها هستند. توکسین‌ها مواد سمی تولید شده توسط موجودات زنده‌اند که دارای خصوصیات سمی برای موجودات دیگر می‌باشند (Hope King, 2010, Burrows and Renner, 1999).

در مجموع قابلیت تبدیل پاتوژن‌ها به تهدید بیوتروریسم بیشتر از توکسین‌هاست. نمونه‌هایی از انواع پاتوژن‌ها و توکسین‌های مطرح در بیوتروریسم که قابلیت تهدید مخازن آبی را کاملاً دارا هستند در جدول ۱ (بیوتوکسین‌های مطرح در بیوتروریسم با قابلیت تهدید مخازن آبی) و جدول ۲ (نمونه‌هایی از انواع پاتوژن‌های مطرح در بیوتروریسم با قابلیت تهدید مخازن آبی) نوشته شده است (Ahmadi and Soleimanian, 2020).

به‌واسطه مقادیر خیلی بالای سم مورد نیاز برای مخازن با

جدول ۱- بیوتوکسین‌های مطرح در بیوتروریسم با قابلیت تهدید مخازن آبی

Table 1. Biotoxins in bioterrorism with the potential to threaten water reservoirs

Biotoxin	It has become a biological weapon	Stability in water	Chlorine resistance
Botulism toxin	Yes	Stable	Inactivates at 6 ppm in 20 minutes
toxin T-2	Likely	Stable	Resistant at 100ppm
ricin	Yes	Stable	Resistant at 100ppm
Saxitoxin	Likely	Stable	Resistant at 100ppm
Microcystin	Likely	Probably stable	Probably resistant
Aflatoxin	Yes	Probably stable	Unknown
Staphylococcal enterotoxin	Likely	Probably stable	Unknown
Tetrodotoxin	Likely	Probably stable	It is disabled at 50ppm
Anatoxin A	Unknown	It will be deactivated within a few days	Probably resistant

جدول ۲- نمونه‌هایی از انواع پاتوژن‌های مطرح در بیوتروریسم با قابلیت تهدید مخازن آبی

(Tavakoli et al., 2005, Ahmadi and Soleimanian, 2020)

Table 2. Models of various pathogens in bioterrorism with the potential to threaten water reservoirs

(Tavakoli et al., 2005, Ahmadi and Soleimanian, 2020)

Pollutant	It has become a biological weapon	Stability in water	Chlorine resistance	Infectious dose	Vaccine
Bacillus anthracis	Yes	2 years (spore form)	Spores are resistant	5000-8000 spores	has it
Cryptosporidiosis	Unknown	A few days or more	resistant	10-100pieces	does not have
Francisella Tularensis	Yes	up to 90 days	At 1ppm, it becomes inactive in 10 minutes	10-50pieces	does not have
Vibrio cholerae	Unknown	It survives perfectly	Kills quickly	10-500pieces	does not have
Shigella	Unknown	2-3 days	At 0.05ppm, it is deactivated in 10 minutes	100pieces	does not have

گوارشی نسبتاً زیاد است، به طوری که در ۷۰ تا ۸۰ درصد موارد منجر به مرگ می‌شود (Bigdelou and Malakoutikhah 2012).

۱-۲-۲- کریپتوسپوریدیوزیس

کریپتوسپوریدیوم، یک انگل اجباری داخل سلولی است. تا سال ۱۹۸۱ تنها ۸ مورد آلودگی با این انگل گزارش گردیده بود در سال ۱۹۹۳ در یک اپیدمی بیش از ۴۰۰۰۰۰ نفر از یک ایالت آمریکا به علت مصرف آب آشامیدنی آلوده به این انگل آلوده گردیدند (Tzipori and Ward, 2002). تاکنون بیش از ۲۳ گونه از این انگل شناسایی شده است که ۸ گونه از آنها به عنوان مهم‌ترین گونه‌های شایع معرفی شده‌اند که از میان آن‌ها می‌توان کریپتوسپوریدیوم پارووم ژنوتیپ (ژنوتیپ انسانی) و کریپتوسپوریدیوم پارووم (ژنوتیپ حیوانی و یا گاوی) را نام برد که باعث اغلب عفونت‌های انسانی می‌شوند (Cicirello et al., 1997).

۱-۲-۳- فرانسیسلا تولارنسیس

بیماری تولارمی یکی از بیماری‌های مشترک بین انسان و حیوان است که به نام‌های مختلف از قبیل تب خرگوش (Rabbit Fiver)، تب دی فلائی (Dee-Fly Fever)، بیماری اوهارا (Ohara Disease) نامیده می‌شود. عامل بیماری فرانسیسلا تولارنسیس می‌باشد. وسعت انتشار آن با مخازن حیوانی مختلف می‌باشد. نشانه‌های بالینی آن بر حسب راه ورود عامل عفونی به بدن و حدت

حجم‌های بالای آب آشامیدنی، منطقی آن است که مخازن خیلی کوچکتر برای آلوده کردن با توکسین‌ها انتخاب شوند. بنابراین حملات بیوتروریستی به منابع آب، بیشتر احتمال دارد که روی منابع خیلی کوچک آب آشامیدنی (مثل یک تانکر آب شرب که در مناطق نظامی کاربرد دارد روی دهد (Donaghy, 2006). با توجه به این امر که در این تحقیق شبکه آبرسانی شهری مورد نظر است و در این شبکه در مرحله تصفیه از کلر استفاده می‌شود. در سناریوها فقط از پاتوژن‌های پایدار در آب و مقاوم به کلر استفاده شده است. پاتوژن‌های انتخاب شده در دوزهای پایین هم بسیار خطرناک بوده و قابلیت ایجاد بیماری و مرگ و میر را دارند همچنین این پاتوژن‌ها از پایداری بالای در آب برخوردار هستند و مقاومتی زیادی در مقابل دوزهای بالای کلر دارند که این خصوصیات موجب ایجاد خطر و آسیب‌پذیری بیشتر شبکه آبرسانی خواهد شد. از این رو این پنج پاتوژن برای تشکیل سناریوها استفاده شده‌اند.

۱-۲-۱- باسیلوس آنتراسیس

باسیلوس آنتراسیس یک باکتری گرم مثبت و عامل بیماری سیاه‌زخم است. این باکتری سال‌ها در آب قابلیت ادامه حیات دارد و اگر در شرایط غیرمناسب محیطی مانند دمای ۳۲ درجه و بالاتر قرار گیرد، از شکل رویشی که قدرت تکثیر و تقسیم شدن دارد، به شکل مقاوم در آمده و در این حالت می‌تواند به مدت طولانی در محیط باقی بماند (Shahpari, 2017). مرگ و میر سیاه زخم



باسیل‌های گرم منفی هستند. عفونت‌های شیگلا تقریباً همواره محدود به سیستم گوارشی هستند و تهاجم آنها در گردش خون کاملاً نادر است. ارگانسیم‌های شیگلا به شدت مسری هستند (Riedel et al., 2019).

بیماری زائیی سوش‌های مختلف آن متفاوت و به اشکال تنفسی، تیفوئیدی، چشمی، غده‌ای و احشایی دیده می‌شود. بیماری تولارمی می‌تواند برای مقاصد جنگ میکروبی و بیوتروریسمی به صورت انتشار افشانه‌ای به کار گرفته شود (Amirkhani, 2010).

۲- مواد و روش‌ها

۱-۱- سناریوها

با توجه به تنوع زیاد آلاینده‌ها و تفاوت در خصوصیات مختلف آن‌ها و متفاوت بودن هریک از مراحل سیستم آب‌رسانی از نظر پارامترهای مطرح در پدافند غیرعامل در این تحقیق هریک از مراحل آب‌رسانی با ۵ آلاینده انتخاب شده در جدول ۳ (سناریوهای حملات بیولوژیک به شبکه آب‌رسانی) سناریوهای حملات بیولوژیک به شبکه آب‌رسانی را تشکیل داده‌اند و با استفاده از معیارهای مختلف و با در نظر گرفتن نظر تصمیم‌گیران به کمک نرم‌افزار GFDMM میزان خطر هر سناریو محاسبه شده است.

۱-۲-۴- ویبریو کلرا

بیماری وبا یکی از بیماری‌های عفونی است که در اثر خوردن غذا یا آب آلوده به باکتری گرم منفی، به نام *Vibrio cholera* ایجاد می‌شود. حالت شدید بیماری با از دست دادن مقادیر فراوان از آب و الکترولیت‌ها و در نتیجه ایجاد اسیدوز و کاهش فشار خون و در نهایت بی‌حالی، کما و مرگ رخ می‌دهد (Ataai et al., 2005).

۱-۲-۵- شیگلا

مسکن طبیعی شیگلا محدود به روده انسان است که در آنجا اسهال، خونی باسیلی را موجب می‌شود. ارگانسیم‌های جنس شیگلا،

جدول ۳- سناریوهای حملات بیولوژیک به شبکه آب‌رسانی

Table 3. Scenarios of biological attacks on the water supply network

Scenario	Water supply network stage	
Scenario1	water supply sources (dams)	Bacillus anthracis
Scenario2	water supply sources (dams)	Cryptosporidiosis
Scenario3	water supply sources (dams)	Francisella Tularensis
Scenario4	water supply sources (dams)	Vibrio cholerae
Scenario5	water supply sources (dams)	Shigella
Scenario6	Raw water tanks	Bacillus anthracis
Scenario7	Raw water tanks	Cryptosporidiosis
Scenario8	Raw water tanks	Francisella Tularensis
Scenario9	Raw water tanks	Vibrio cholerae
Scenario10	Raw water tanks	Shigella
Scenario11	refinery	Bacillus anthracis
Scenario12	refinery	Cryptosporidiosis
Scenario13	refinery	Francisella Tularensis
Scenario14	refinery	Vibrio cholerae
Scenario15	refinery	Shigella
Scenario16	Purified water transmission line	Bacillus anthracis
Scenario17	Purified water transmission line	Cryptosporidiosis
Scenario18	Purified water transmission line	Francisella Tularensis
Scenario19	Purified water transmission line	Vibrio cholerae
Scenario20	Purified water transmission line	Shigella
Scenario21	Purified water tanks	Bacillus anthracis
Scenario22	Purified water tanks	Cryptosporidiosis
Scenario23	Purified water tanks	Francisella Tularensis
Scenario24	Purified water tanks	Vibrio cholerae
Scenario25	Purified water tanks	Shigella
Scenario26	distribution network	Bacillus anthracis
Scenario27	distribution network	Cryptosporidiosis
Scenario28	distribution network	Francisella Tularensis
Scenario29	distribution network	Vibrio cholerae
Scenario30	distribution network	Shigella

که در آن مقدار نرمال موزون عملکردگزینه i ام از دید معیار j ام است. v_{ij}^* و v_{ij}^- به ترتیب مقدارهای آرمانی و نامطلوب برای معیار j ام هستند. رتبه بندی گزینه‌ها با استفاده از محاسبه نزدیکی نسبی C_i^* هر گزینه به جواب ایده‌آل به دست می‌آید (Zarghami and Szidarovszky, 2011)

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}, \text{ for } i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

مراحل انجام آنالیز چندمعیاره با کمک نرم افزار GFDM
در این پژوهش از دو گروه متخصص استفاده شده است. گروه اول، چهار نفر از مسئولین و استادان دانشگاه هستند که گروه تصمیم‌گیر را تشکیل می‌دهند و برای تکمیل جدول ۵ از نظرات آنها استفاده شد. گروه دوم شامل مجموعه‌ای از متخصصان، استادان، کارشناسان، نویسندگان مقالات و کتاب‌های علمی هستند که متناسب با هر یک از بخش‌های هر گزینه، انتخاب شده‌اند و در هر بخش متفاوت هستند، تا امتیاز هر سناریو در جدول ۴ مشخص شود.

در ابتدا برای انجام آنالیز چندمعیاره با در نظر گرفتن شرایط هر یک از مراحل شبکه آبرسانی و خصوصیات آلاینده‌ها مختلف اقدام به تعریف ۳۰ سناریو برای مراحل آبرسانی شد. سپس ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل شده و امتیاز هر گزینه نسبت به زیرمعیار مشخص شده محاسبه شد. امتیاز هر بخش به این صورت است که یک امتیاز به صورت بیانی از بین گزینه‌های خیلی کم، کم، نسبتاً کم، متوسط، زیاد، نسبتاً زیاد و خیلی زیاد، توسط استادان متخصص، و نویسندگان مقالات و کتاب‌های علمی انتخاب می‌شود. نظر هر یک از کارشناسان برای هر بخش مشخص شده و میانگین نظرات، امتیاز آن بخش در نظر گرفته می‌شود. همچنین برای محاسبه در برخی از بخش‌ها امتیازات بیانی به صورت عددی، از ۱ تا ۷، در نظر گرفته شد. در ضمن، نقد مقالات و کتاب‌ها به پرسشنامه انتقال داده شده است. در مرحله بعدی قدرت هر تصمیم‌گیر از گروه تصمیم‌گیران با توجه به مسئولیت، سابقه کاری، تجربه و تحصیلات عالی هر تصمیم‌گیرنده، مشخص شد. سپس نظرات هر تصمیم‌گیر نسبت به میزان اهمیت هر زیرمعیار برای تصمیم‌گیری مشخص شد. در نهایت با نظر تصمیم‌گیران و با کمک نرم افزار GFDM امتیاز هر سناریو مشخص گردید.

۲-۲- آنالیز چند معیاره

آنالیز تصمیم، علم و هنر طراحی و یا انتخاب بهترین گزینه بر اساس اهداف و ترجیحات تصمیم‌گیرنده است. تصمیم‌گیری مستلزم آن است که گزینه‌های دیگری نیز جهت انتخاب موجود باشد. در چنین مواردی، نیازی نیست تا تمامی گزینه‌های ممکن شناسایی شود، اما لازم است بهترین مورد انتخاب شود که متناسب با اهداف، خواسته‌ها، شیوه زندگی، ارزش‌ها و غیره باشد. به عبارت دیگر، تصمیم‌گیری، علم انتخاب است. به عنوان مثال، انتخاب بهترین فناوری برای تأمین آب شهری، تدوین راهکارهای حفاظت از سیل و یا بهینه‌سازی عملکرد مخزن، همگی از مشکلات تصمیم‌گیری و انتخاب هستند (Zarghami and Szidarovszky, 2011).

۲-۲-۱- روش جمع وزنی ساده

این روش ساده‌ترین و پرکاربردترین روش تحلیل چندمعیاره است. در این روش، همه معیارها به یک مقیاس متعارف تبدیل می‌شوند. این مقیاس، معمولاً بین صفر و یک اختیار می‌شود که عدد یک، نمایانگر بهترین عملکرد است. انتخاب گزینه‌ها بر اساس مقدار S_i^- است که به صورت زیر تعریف می‌شود

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_j r_{ij}}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (1)$$

که در آن

w_j وزن معیار j ام و r_{ij} امتیاز نرمال گزینه i ام از دید معیار j ام است که با معادله ۷ محاسبه می‌شود

۲-۲-۲- روش تاپسیس

در این روش گزینه انتخابی باید کوتاه‌ترین فاصله از جواب ایده‌آل و بیشترین فاصله از جواب غیرایده‌آل را داشته باشد. مقدار فاصله هر گزینه با جواب‌های ایده‌آل S_i^* و غیرایده‌آل S_i^- که به ترتیب زیر نشان داده می‌شوند

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \text{ for } i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \text{ for } i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$



جدول ۴- ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل داده شده در نرم‌افزار GFDM برای مشخص کردن میزان خطر هر یک از سناریوها

Table 4. Decision matrix formed in GFDM software to determine the risk level of each scenario

Number	Index name	Access rate	The amount of time to prevent contamination from reaching the consumer	Extent of pollution	Infectious dose of the pollutant	Stability in water	Chlorine resistance	The possibility of removal in the next stages of purification
		explanatory w:0.7766	explanatory w:0.6641	explanatory w:0.6947	explanatory w:0.7005	explanatory w:0.7284	explanatory w:0.6265	explanatory w:0.6047
1	Scenario1	Much	very much	very much	medium	Much	Much	Low
2	Scenario2	Much	very much	very much	Much	medium	very much	very little
3	Scenario3	Much	very much	very much	very much	Relatively much	Relatively much	Relatively little
4	Scenario4	Much	very much	very much	very much	very much	very little	Relatively much
5	Scenario5	Much	very much	very much	Relatively much	Relatively little	medium	medium
6	Scenario6	very much	Much	Much	medium	Much	Much	Low
7	Scenario7	very much	Much	Much	Much	medium	very much	very little
8	Scenario8	very much	Much	Much	very much	Relatively much	Relatively much	Relatively little
9	Scenario9	very much	Much	Much	very much	very much	very little	Relatively much
10	Scenario10	very much	Much	Much	Relatively much	Relatively little	medium	medium
11	Scenario11	Low	medium	Relatively much	medium	Much	Much	Low
12	Scenario12	Low	medium	Relatively much	Much	medium	very much	very little
13	Scenario13	Low	medium	Relatively much	very much	Relatively much	Relatively much	Relatively little
14	Scenario14	Low	medium	Relatively much	very much	very much	very little	Relatively much
15	Scenario15	Low	medium	Relatively much	Relatively much	Relatively little	medium	medium
16	Scenario16	Relatively much	Relatively little	Relatively much	medium	Much	Much	Low
17	Scenario17	Relatively much	Relatively little	Relatively much	Much	medium	very much	very little
18	Scenario18	Relatively much	Relatively little	Relatively much	very much	Relatively much	Relatively much	Relatively little
19	Scenario19	Relatively much	Relatively little	Relatively much	very much	very much	very little	Relatively much
20	Scenario20	Relatively much	Relatively little	Relatively much	Relatively much	Relatively little	medium	medium
21	Scenario21	very much	Low	medium	medium	Much	Much	Low
22	Scenario22	very much	Low	medium	Much	medium	very much	very little
23	Scenario23	very much	Low	medium	very much	Relatively much	Relatively much	Relatively little
24	Scenario24	very much	Low	medium	very much	very much	very little	Relatively much
25	Scenario25	very much	Low	medium	Relatively much	Relatively little	medium	medium
26	Scenario26	Much	very little	medium	medium	Much	Much	Low
27	Scenario27	Much	very little	medium	Much	medium	very much	very little
28	Scenario28	Much	very little	medium	very much	Relatively much	Relatively much	Relatively little
29	Scenario29	Much	very little	medium	very much	very much	very little	Relatively much
30	Scenario30	Much	very little	medium	Relatively much	Relatively little	medium	medium

همچنین، در این پژوهش سعی شده از تصمیم‌گیران متخصص و با تجربه در بخش‌های مرتبط با مطالعه پیش رو کمک گرفته شود. معیارهای اصلی برای تصمیم‌گیری در ۳ معیار اصلی و زیرمعیارها عنوان شده‌اند که از این قرارند:

در انتخاب معیارها تلاش شده است از معیارها و زیر معیارهای که بیشترین نقش را در میزان آسیب‌پذیری در مقابل حملات بیولوژیکی دارند استفاده شود، همچنین معیارها و زیر معیارهای انتخاب شده عمومیت داشته و در بیشتر شبکه‌های آب رسانی شهرها و کشورهای جهان صدق می‌نماید. در انتخاب معیارها و زیر معیارهای مربوط به آلاینده‌های مورد استفاده در حملات بیولوژیکی تلاش شده است معیارهای که بیشترین اهمیت را در مورد تأثیر آلاینده را در صورت حمله بیولوژیکی دارند انتخاب شود.

میزان آسیب‌پذیری هر یک از مراحل آبرسانی: میزان قابلیت دسترسی، میزان زمان برای جلوگیری از رسیدن آلاینده به مصرف‌کننده، میزان گستردگی آلودگی در صورت پخش آلاینده. میزان قدرت آسیب‌رسانی آلاینده: پایداری در آب، مقاومت در برابر کلر، دوز عفونی.

میزان ایجاد خطر آلاینده در هر یک از مراحل آبرسانی: امکان حذف آلاینده در مراحل بعدی آبرسانی و تصفیه

- تنظیمات نرم افزار GFDM

در جدول ۴ (ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل داده شده در نرم‌افزار GFDM برای مشخص کردن میزان خطر هر یک از سناریوها) ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل یافته و سناریوها و مقادیر هر معیار برای تمامی سناریوها وارد شده است. مقادیر وارد شده به نرم‌افزار، براساس تحقیقات در منابع علمی معتبر و نظر اساتید متخصص انجام گرفته است. همچنین زیرمعیارهایی که تأثیر منفی بر ارزیابی دارند، با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند. تأثیر منفی بدین معنی است که افزایش مقدار آنها سبب کاهش مطلوبیت آن معیار می‌شود؛ لذا با تغییر نحوه محاسبه آن به ارائه ماتریس مذکور پرداخته شد. در جدول ۵ (نظرات تصمیم‌گیران و وزن هر یک) نیز نظر هر تصمیم‌گیرنده برای هر معیار و همچنین وزن هر تصمیم‌گیرنده، به صورت مقادیر بیانی آورده شده است (نام تصمیم‌گیران به صورت حروف الفبای انگلیسی آورده شده است). با توجه به مسئولیت،

برای استفاده از نظر تصمیم‌گیران در نرم‌افزار GFDM، سیستم به صورت زیر عمل می‌کند

(الف) تبدیل ورودی‌های بیانی به عددی: بسیاری از تصمیم‌گیران در ارزیابی گزینه‌ها و معیارها ترجیح می‌دهند که نظرات خود را با عبارات بیانی ارائه کنند. ولی برای انجام محاسبات، نیاز به معادل‌سازی آن‌ها است.

(ب) نرمال‌سازی داده‌ها: مقادیر ارزیابی معیارهای مختلف، ابعاد متفاوتی خواهند داشت. برای جمع این داده‌ها نیازمند نرمال‌سازی هستیم. البته روش نرمال‌سازی تأثیر بسیار زیادی روی نتایج استفاده از روش‌های تحلیل چند معیار دارند؛ بنابراین این روش باید یکسان باشد. در این مطالعه از معادله ۵ استفاده می‌شود که در آن r_{ij} نرمال داده و x_{ij} داده ورودی می‌باشد (Safari et al., 2021)

$$\left\{ \begin{array}{l} r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\text{Max } x_{ij}} \quad \text{برای معیار مثبت} \\ r_{ij} = \frac{\text{Min } x_{ij}}{x_{ij}} \quad \text{برای معیار منفی} \end{array} \right. \quad (5)$$

- نرم‌افزار GFDM

برای ارزیابی هرچه بهتر گزینه‌های پیشنهادی، از نرم‌افزار تصمیم‌گیری چند معیاره فازی گروه (GFDM) استفاده شده است. این نرم‌افزار با توجه به تصمیم‌گیری‌های تصمیم‌گیران، ابتدا اقدام به تعیین وزن معیارها کرده و سپس با مقایسه روش‌های ارائه‌شده، براساس روش موجود، نتایج حاصل را، براساس اولویت و اهمیت معیارها، برای تصمیم‌گیران مشخص می‌کند. در این بخش نرم‌افزار از روش‌های TOPSIS و جمع وزنی ساده استفاده کرده است. در واقع ابتدا به کمک یک سیستم هوشمند بین دو روش ذکر شده، انتخاب صورت گرفت. این انتخاب با یک قانون اگر-آنگاه بوده و به صورت ذیل است:

اگر در ماتریس تصمیم‌گیری تعداد گزینه‌ها کمتر از نصف تعداد معیارها باشد، آنگاه روش جمع وزنی ساده، به‌خاطر عملکرد بهتر، انتخاب می‌شود. در غیر این صورت، از روش TOPSIS برای انجام محاسبات استفاده می‌شود (Ardakanian and Zarghami, 2010)



جدول ۵- نظرات تصمیم گیران و وزن هر یک

Table 5. Decision makers' opinions and weight of each

Rank	Decisive name Decisive power	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
		Much	very much	Relatively much	very much
1	Access rate	very much	very much	very much	Much
2	The amount of time to prevent contamination from reaching the consumer	Much	Much	Much	Relatively much
3	Extent of pollution	very much	Relatively much	Much	Much
4	Infectious dose of the pollutant	Relatively much	Relatively much	very much	very much
5	Stability in water	very much	Much	very much	Much
6	Chlorine resistance	medium	Relatively much	Much	Much
7	The possibility of removal in the next stages of purification	Much	medium	Low	Much

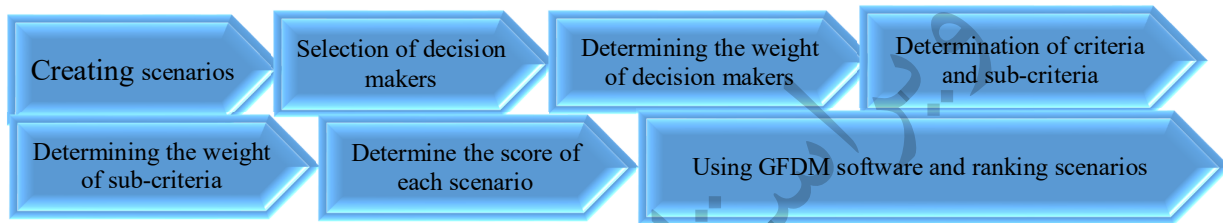


Fig. 1. Flowchart

شکل ۱- روند نما

می دهد. این پاتوژن در آب پایدار است و در مقابل کلر مقاومت زیادی دارد، از طرفی با ورود آلاینده به شبکه توزیع به دلیل زمان بسیار کم برای تشخیص و جلوگیری از انتشار آلودگی و نبود تصفیه در مراحل بعدی، بیشترین خطر را دارد. سناریو ۲۷ رتبه بعدی را با اختلاف کمی دارا می باشد که با وارد کردن کریپتوسپوریدیوزیس به شبکه توزیع رخ می دهد که دارای مقاوتی خوبی در مقابل کلر می باشد اما پایداری آن نسبت به باسیلوس آنتراسیس کمتر است. سناریو ۲۱ رتبه سوم را دارا می باشد که آلوده کردن مخازن آب تصفیه شده با باسیلوس آنتراسیس می باشد، مخازن آب تصفیه شده به دلیل اینکه دسترسی به آنها بیشتر بوده و در مراحل بعدی تصفیه انجام نمی گیرد و به دلیل نبود زمان کافی برای جلوگیری از رسیدن آلودگی به مصرف کننده یکی از آسیب پذیرترین مراحل شبکه آبرسانی می باشد.

با دقت به نتایج به دست آمده میزان خطر در مراحل بعدی تصفیه بیشتر از مراحل قبلی می باشد که به دلیل زمان کمتر برای

سابقه کاری، تجربه و تحصیلات عالی هر تصمیم گیرنده، وزن هر تصمیم گیرنده عنوان شده است.

- روند نما

در شکل ۱ (روندنامه) کل روش تحقیق به صورت شماتیک و در قالب فلوجارت نشان داده شده است.

۳- نتایج و بحث

نتایج آنالیز، در جدول ۶ (جدول امتیازدهی گزینه ها) مشخص شده است. این نتایج حاکی از آن است که سناریو ۲۶، بیشترین امتیاز را، براساس نظرات تصمیم گیران کسب کرده است که با بیشتر تحقیقات علمی همچون (Nasimi et al., 2019) در این زمینه همخوانی دارد. این سناریو خطرناک ترین حمله بیولوژیکی به شبکه آبرسانی در بین سناریوها بوده که با وارد کردن پاتوژن باسیلوس آنتراسیس که عامل بیماری سیاه زخم است در شبکه توزیع رخ

جدول ۶- جدول امتیازدهی گزینه‌ها
Table 6. Scoring table of options

Number	Scenarios	Score
1	Scenario26	R: 73.25
2	Scenario27	R: 72.33
3	Scenario21	R: 70.71
4	Scenario22	R: 69.87
5	Scenario17	R: 68.10
6	Scenario28	R: 66.74
7	Scenario16	R: 66.45
8	Scenario23	R: 66.10
9	Scenario18	R: 61.04
10	Scenario7	R: 60.01
11	Scenario29	R: 58.93
12	Scenario24	R: 58.29
13	Scenario6	R: 58.08
14	Scenario2	R: 56.40
15	Scenario12	R: 56.00
16	Scenario1	R: 54.28
17	Scenario8	R: 53.51
18	Scenario11	R: 53.50
19	Scenario30	R: 49.94
20	Scenario3	R: 49.74
21	Scenario25	R: 49.08
22	Scenario13	R: 48.00
23	Scenario19	R: 46.10
24	Scenario20	R: 45.93
25	Scenario9	R: 42.68
26	Scenario10	R: 41.63
27	Scenario4	R: 40.14
28	Scenario5	R: 38.44
29	Scenario14	R: 37.20
30	Scenario15	R: 34.04

آسیب‌های وارده و تلفات احتمالی از اهمیت بالایی برخوردار است که با نتایج تحقیقاتی مانند (Ahmadi and Soleimanian, 2020) همخوانی دارد.

۴- نتیجه‌گیری

شبکه آبرسانی شهری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های مرتبط با بقای جوامع به‌دلیل برخی خصوصیات از قبیل فراگیر بودن، قابلیت دسترسی فراوانی دارد. حملات بیولوژیکی و وارد کردن آلاینده‌های مختلف می‌تواند سلامت مصرف‌کنندگان را

جلوگیری از رسیدن آلودگی به مصرف‌کننده و نبود مراحل تصفیه بعدی و دسترسی بالا به این مراحل می‌باشد. از طرفی بعضی از آلاینده‌ها در مقابل کلر مقاومت چندانی ندارند و همچنین پایداری پایین آنها موجب کاهش نگرانی آلوده شدن شبکه با این آلاینده‌ها می‌شود. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد در دسترس بودن آزمایش‌ها و روش‌های تشخیص آلاینده‌های خطرناکی مانند باسیلوس آنتراسیس و کریپتوسپوریدیوزیس در مراحل آبرسانی آسیب‌پذیرتر مانند شبکه توزیع و مخازن آب تصفیه‌شده ضروری بوده و ایجاد آمادگی در صورت وجود آلاینده جهت کاهش



تصفیه شده و شبکه توزیع) استفاده شده‌اند بیشترین خطر را برای مصرف کننده خواهند داشت. با توجه به مقاومت کم گروهی از آلاینده‌ها به کلر در صورت آلوده شدن شبکه به وسیله این آلاینده‌ها خطر کمتری سلامت مصرف کنندگان را تهدید می‌کند. بهترین روش برای پیشگیری از ایجاد حملات بیولوژیکی کاهش امکان دسترسی به مراحل مختلف شبکه آبرسانی می‌باشد، اما با در نظر گرفتن شرایط موجود شناخت و محاسبه میزان خطر سناریوهای مختلف می‌تواند موجب آمادگی و افزایش سرعت عمل در واکنش با حملات بیولوژیک احتمالی گردد.

۵- قدردانی

نویسندگان این پژوهش از حمایت‌های و زحمات، پژوهشکده محیط زیست دانشگاه تبریز و کلیه محققانی که با نظرات ارزشمند خود در غنای مطالب حاضر ما را یاری کردند، کمال تقدیر و تشکر را دارند.

به صورت جدی به خطر اندازد، شناخت نقاط ضعف شبکه آبرسانی و آمادگی برای برخورد با آلودگی و حملات بیولوژیکی احتمالی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و از اقدامات پدافند غیرعامل می‌باشد. در این تحقیق سعی شده میزان خطر مراحل مختلف شبکه آبرسانی با آلاینده‌های بیولوژیکی مختلف رتبه بندی گردد. با توجه به نتایج تحقیق میزان آسیب پذیری مراحل انتهایی شبکه آبرسانی (مخازن آب تصفیه شده و شبکه توزیع) به دلیل نزدیکی به مصرف کننده و نبود زمان برای جلوگیری از رسیدن آلودگی به مصرف کننده و نبود مراحل تصفیه بعدی بیشتر است همچنین منابع تأمین آب به دلیل گستردگی و دسترسی بالا در صورت آلودگی می‌تواند مشکلات زیادی را برای تأمین آب ایجاد کند قابل ذکر است برای آلوده کردن منابع تأمین آب به مقدار زیادی آلاینده با دوز عفونی بالا نیاز می‌باشد. همچنین آلاینده‌ای که مقاومت بیشتر به کلر را دارند و دارای پایداری بیشتر در آب هستند خطر بیشتری دارند. در سناریوهای که در آنها این آلاینده‌ها در مراحل انتهایی (مخازن آب

References

- Ahmadi, A. & Soleimanian, J. 2020. Pollution of drinking water sources with biological toxins; potential threat of bioterrorism. *Journal of Marine Medicine*, 1, 182-189. (In Persian)
- Amirkhani, A. 2010. Epidemiology of tularemia and its role in bioterrorism. *Journal of Knowledge and Health*, 5.
- Ardakanian, R. & Zarghani, 2010. Management of water resources development projects. University jihad publishing organization, 104.
- Ataii, R., Mehrabi-Tavana, A. & Ghorbani, G. 2005. Analysis of the cholera epidemic in the summer of 2005 in Iran. *Military med j*, 7, 177-185.
- Azadi, N., Mir Hosseini, S. M. A. & Torkfar, A. 2020. Designing sport guild complex with a passive defense approach to provide shelter during occurring earthquake in kerman province. *Geography (Regional Planning)*, 10, 1-22. (In Persian)
- Bakhshi Shadmehri, F., Zarghani, S. H. & Kharzmi, O. A. 2016. Analysis of passive defense considerations in urban infrastructure with an emphasis on water infrastructure. *Geographical Researches*, 31, 103-117. (In Persian)
- Bigdelou, M. & Malakoutikhah, A. 2012. Bioterrorism, Shirazi Martyr General Sayad Shirazi Educational and Research Center.
- Bitarafan, M., Joneidi, M. & Laleh Arefi, Sh. 2015. *Urban Water Supply Network Design: with Passive Defense Approach*, Emarat Pars, Tehran, Iran. (In Persian)
- Burrows, W. D. & Renner, S. E. 1999. Biological warfare agents as threats to potable water. *Environmental Health Perspectives*, 107, 975-984.



- Chandler, D. & Landrigan, I. 2004. Bioterrorism: a journalist's guide to covering bioterrorism, Radio and Television News Directors Foundation.
- Cicirello, H., Kehl, K., Addiss, D., Chusid, M., Glass, R., Davis, J., et al. 1997. Cryptosporidiosis in children during a massive waterborne outbreak in Milwaukee, Wisconsin: clinical, laboratory and epidemiologic findings. *Epidemiology and Infection*, 119, 53-60.
- Donaghy, M. 2006. Neurologists and the threat of bioterrorism. *Journal of the Neurological Sciences*, 249, 55-62.
- Doost Hosseini, E. & Khanjani, M. J. 2011. How to spread pollution in the urban water supply system. *The Third National Conference on Civil Engineering*. Isfahan, Iran. (In Persian)
- Ghazizadeh, A., Jalili Ghazizadeh, M. & Ghane, A. A. 2008. Evaluation of water supply system components from the perspective of passive defense. *2nd National Conference on Operation and Maintenance of Water and Waste Water Systems (NCWW02)*. Tehran, Iran. (In Persian)
- Habibi, M. 2018. Application of hard set method in detecting intentional contamination of urban water distribution systems. M.Sc., Islamic Azad University East Tehran, Iran.
- Hope King, W. 2010. Bioterrorism may pose threat to water supplies: can pou/poe technology aid the war on bioterrorism. *Water's Right*.
- Kroll, D. 2006. Securing our water supply: protecting a vulnerable resource. Pennwell publishers. Tulsa, ok.
- Mohammadian, M., Hosieni, S. A. & Hajiaghaei Kamrani, M. 2019. Analysis of the role of passive defense in Tabriz with crisis management approach. *Journal of Research and Urban Planning*, 9(35), 69-82. (In Persian)
- Nasimi, Z., Zarghani, S. H. & Kharazmi, O. A. 2019. The analysis of risk and likelihood of bioterrorism attacks on urban water infrastructure. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 9, 125-146. (In Persian)
- Rashidi, Y. 2014. Design of a strategic plan for passive defense in municipal and industrial water and wastewater forecasting 2025 (case study: Ferdous City). M.Sc., Thesis University of Birjand, Iran. (In Persian)
- Rice, E. W. 2011. Microbial Issues in Drinking Water Security. In: Clark, R. M., Hakim, S. & Ostfeld, A. ed. *Handbook of Water and Wastewater Systems Protection*. Springer. 151-161.
- Riedel, S., Morse, S. A., Mietzner, T. A. & Miller, S. 2019. *Jawetz melnick & adelbergs medical microbiology* 28 e, McGraw Hill Professional.
- Safari, S., Zarghami, M., Yegani, R. & Mosaferi, M. 2021. Fuzzy multi-criteria group decision making on water treatment methods for a university complex. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, 6, 30-40.
- Shahpari, M. 2017. Introduction to bioprotection, Boostan Hamid.
- Tavakoli, H. R., Sarafpour, R. & Samadi, M. 2005. Water and food bioterrorism.
- Tzipori, S. & Ward, H. 2002. Cryptosporidiosis: biology, pathogenesis and disease. *Microbes and Infection*, 4, 1047-1058.
- Zarghami, M. & Szidarovszky, F. 2011. *Multicriteria analysis: applications to water and environment management*, Springer Science & Business Media.

