

## Original article

## Risk Identification and Assessment in Drinking Water Supply System in Taleghan Using the Failure Modes and Effects Analysis Method in 2020

Hossein Masoumbeigi<sup>1,2</sup>

Mahdi Sadat Rasul<sup>1,2</sup>

Ghader Ghanizadeh<sup>2,3\*</sup>

- 1- Assistant Professor, Department of Environmental Health, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
- 2- Associate Professor, Environmental Health Research Center, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran
- 3- BSc student of Environmental Health Engineering, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

\*Corresponding author: Ghader Ghanizadeh, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Email: Qanizadeh@yahoo.com

Received: 17 September 2021

Accepted: 25 October 2021

### ABSTRACT

**Introduction and purpose:** The importance of drinking water resources and their infrastructure for human health has made these resources one of the most vulnerable targets of terrorist attacks. The present study aimed to identify and assess the risks posed to drinking water facilities in Taleghan, Iran, using the failure modes and effects analysis (FMEA) method.

**Methods:** This descriptive-analytical study was conducted in all water facilities in Taleghan, Iran, in 2020. The types of potential hazards and threats of water facilities were identified by reviewing the necessary documents, field visits, observation, interviews, and opinion polls of water supply experts in Alborz province. Thereafter, risk assessment was performed, risks were prioritized, and necessary solutions to reduce the risks were presented using the FMEA technique.

**Results:** The present study identified 40 potential risks. The majority of risks belonged to water wells (37.5%). The identified risks were 7.5%, 40%, and 52.5%, respectively, related to the quantity, quality, as well as exploitation and maintenance of water facilities. The highest risk priority number were 576, 392, and 343, respectively, related to the critical threats caused by point source pollution around water wells, poor protection and security of the pumping station, as well as fluctuations in water flow in the distribution network and reservoirs. Furthermore, 42.5, 35, and 22.5% of the risks were at the critical, moderate, and non-critical levels.

**Conclusion:** As evidenced by the obtained results, water infrastructure in terms of exploitation and maintenance in the supply, treatment, and distribution sectors is vulnerable to various identified threats; therefore, it is necessary to make the needed adjustments based on the set priorities to prevent possible incidents.

**Keywords:** Drinking water, Failure modes and effects analysis, Risk assessment, Water quality, Water security

► **Citation:** Masoumbeigi H, Sadat Rasul M, Ghanizadeh GH. Risk Identification and Assessment in Drinking Water Supply System in Taleghan Using the Failure Modes and Effects Analysis Method in 2020. Journal of Health Research in Community. Winter 2022;7(4): 1-14.

## مقاله پژوهشی

## شناسایی و ارزیابی ریسک در تأسیسات آب شرب شهر طالقان به روش FMEA (حالات شکست و آنالیز خطرات) در سال ۱۳۹۹

## چکیده

حسین معصومی بیگی<sup>۱\*</sup>  
 مهدی سادات رسول<sup>۲\*</sup>  
 قادر غنی زاده<sup>۳\*</sup>

**مقدمه و هدف:** اهمیت منابع آب شرب و تأسیسات زیربنایی آن برای سلامت انسان، این منابع را به یکی از آسیب پذیرترین اهداف حملات تروریستی تبدیل کرده است. این مطالعه با هدف شناسایی و ارزیابی ریسک تأسیسات آب شرب شهر طالقان به روش FMEA انجام شد.

**روش کار:** این مطالعه از نوع توصیفی تحلیلی است که در سال ۱۳۹۹ در کل تأسیسات آب شرب طالقان انجام شد. شناسایی و تعیین انواع خطرات و تهدیدات بالقوه تأسیسات آبی با بررسی مستندات لازم، بازدیدهای میدانی، مشاهده، مصاحبه و نظرخواهی از متخصصان آبفای استان البرز انجام شد. در ادامه به کمک روش FMEA ارزیابی ریسک و اولویت بندی خطرات انجام و راهکارهای لازم برای کاهش خطر ارائه شد.

**یافته‌ها:** در این مطالعه ۴۰ خطر بالقوه شناسایی شد. بیشترین خطرات به چاه‌های آب (۳۷/۵ درصد) متعلق بود. خطرات شناسایی شده ۷/۵، ۴۰ و ۵۲/۵ درصد به ترتیب مرتبط با کمیت، کیفیت آب و بهره‌برداری و نگهداری بودند. بالاترین عدد اولویت ریسک به ترتیب ۵۷۶، ۳۹۲ و ۳۴۳ مرتبط با تهدیدات بحرانی متعلق به آلودگی ناشی از منابع نقطه‌ای آلودگی اطراف چاه آب، حفاظت و امنیت ضعیف ایستگاه پمپاژ و نوسانات جریان آب در شبکه توزیع و مخازن بود. به ترتیب ۴۲/۵، ۳۵ و ۲۲/۵ درصد از ریسک‌ها در سطح بحرانی، متوسط و غیر بحرانی بودند.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این مطالعه نشان داد زیرساخت آب از نظر بهره‌برداری و نگهداری در بخش‌های تأمین، تصفیه و توزیع تحت تأثیر تهدیدات مختلف شناسایی شده آسیب پذیر هستند و انجام اصلاحات لازم بر اساس اولویت‌های تعیین شده، برای پیشگیری از بروز حوادث احتمالی ضروری است.

**کلمات کلیدی:** ارزیابی ریسک، امنیت آب، حالات بالقوه خطر و تحلیل اثرات، کیفیت آب

۱. دانشیار، مرکز تحقیقات بهداشت نظامی، پژوهشکده سبک زندگی اسلامی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله، تهران، ایران
۲. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله، تهران، ایران
۳. استاد، مرکز تحقیقات مدیریت سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله، تهران، ایران

\* نویسنده مسئول: قادر غنی زاده، مرکز تحقیقات بهداشت نظامی، پژوهشکده سبک زندگی اسلامی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله، تهران، ایران

Email: Qanizadeh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۳

◀ **استناد:** معصومی بیگی، حسین؛ سادات رسول، مهدی؛ غنی زاده، قادر. شناسایی و ارزیابی ریسک در تأسیسات آب شرب شهر طالقان به روش FMEA (حالات شکست و آنالیز خطرات) در سال ۱۳۹۹. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، زمستان ۱۴۰۰؛ ۷(۴): ۱۴-۱.

## مقدمه

تأسیسات آب شرب یکی از منابع و زیرساخت‌های بسیار مهم و حیاتی برای رفاه انسان و از نظر تولید تا مصرف، آسیب پذیر

و فقط کنترل تصفیه‌خانه و منابع آب کافی نیست [۱۱]. تا به حال مطالعات گسترده‌ای در این رابطه در داخل و خارج از کشور انجام شده است که در ادامه به بعضی از آن‌ها اشاره می‌کنیم.

شیخعلی و همکاران در مطالعه ارزیابی آسیب‌پذیری تأسیسات آبرسانی شهر تهران گزارش کردند در بین تأسیسات مطالعه‌شده، بر اساس معیارهای تعریف‌شده، بیشترین آسیب‌پذیری مربوط به سد لتیان و کمترین آن مربوط به مخازن ذخیره و شبکه توزیع است [۴]. شادمهری و همکاران با بیان اینکه زیرساخت‌های شهری همیشه در معرض تهدیدات طبیعی و انسان‌ساخت هستند، تهدیدات زیرساخت‌های نه‌گانه شهری را مطالعه و ۱۷ تهدید آسیب‌رسان به عناصر زیرساخت آب را در سه بخش تأمین، تصفیه و توزیع شناسایی و گزارش کردند. این تأسیسات آبی نسبت به سه نوع تهدید تروریستی شامل تروریسم سایبری، بیوتروریسم و تروریسم انتحاری آسیب‌پذیر هستند [۱۲]. میرمحمدصادقی و همکاران گزارش کردند تعیین وضعیت ایمنی و شناسایی و ارزیابی ریسک‌های موجود در تأسیسات آبی سبب می‌شود تهدیدات و ریسک‌های بحرانی به موقع شناسایی شود و مسئولان ذیربط اصلاح آن را در اولویت قرار دهند. از این طریق با صرف هزینه‌های کمتر، از خسارات، تلفات و هزینه‌های بیشتر ناشی از وقوع مخاطرات پیشگیری خواهد شد. هزینه انجام اقدامات اصلاحی به موقع، همیشه به مراتب کمتر از اقدامات بعد از بروز حادثه است [۱۳]. Cioffi گزارش کرد امنیت نقش اساسی در سیستم آبرسانی ایفا می‌کند. به همین علت است که آن را به یک هدف جذاب برای تروریست‌ها تبدیل می‌کند. به خصوص که زیرساخت‌های آب به طور قابل توجهی در برابر تهدیدات مختلف مثل تهدیدات بیولوژیکی، شیمیایی، سایبری و فیزیکی آسیب‌پذیر هستند و ضروری است وضعیت امنیتی آن‌ها به‌دقت ارزیابی و اصلاح شود [۱۴].

کلاهدوزی و همکاران گزارش کردند داشتن یک برنامه خوب ایمنی و استفاده از روش‌های جدید ارزیابی ریسک و کنترل و نظارت بر مشاغل، تجهیزات، ماشین‌آلات و رفتار کارکنان

است [۱]. امروزه بیش از دوسوم تهدیدات متوجه زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی است و نقش مهم این شریان‌های حیاتی از یک سو و ارزش اقتصادی آن‌ها از سوی دیگر باعث شده است توجه ویژه‌ای به آن‌ها شود [۲]. بیشتر بخش‌های کلیدی به دلیل قابل دسترس بودن و آسیب‌پذیری، ریسک شکست زیادی در برابر تهدیدات طبیعی و غیرطبیعی دارند [۱،۲]؛ بنابراین، دفاع جامع پیشگیرانه از زیرساخت‌های حیاتی هر جامعه از پیش‌فرض‌های تعیین‌کننده بقای آن است [۳،۴]. سامانه‌های تأمین و توزیع آب شهری شامل منابع تأمین، خطوط انتقال اصلی، تصفیه‌خانه‌ها، مخازن ذخیره و شبکه توزیع آب به دلیل خدمات‌رسانی به همه مردم جزء زیرساخت‌های اساسی هر شهری هستند. بروز حوادث طبیعی و غیرطبیعی موجب شکل‌گیری بحران‌های ثانویه مثل تخریب اجزای این سامانه‌ها، قطع دسترسی به آب کافی، آلودگی آب، شیوع بیماری‌ها و مرگ‌ومیر ناشی از مصرف آب آلوده می‌شود [۵،۶]. لذا لازم است در مکان‌یابی، ساخت و مدیریت این مراکز و تأسیسات، اصول و ملاحظات خاص دفاعی و امنیتی مورد توجه قرار گیرد [۷]؛ چون ممکن است طی عملیات خرابکاری، مورد هدف قرار گیرند که در این صورت منجر به آسیب جدی به جامعه و بعضاً ایجاد بحران‌های امنیتی می‌شود [۸].

تأمین آب کافی، سالم، با کیفیت مناسب و استاندارد، حفاظت و مراقبت جدی از تأسیسات آبرسانی و تأمین سطح بالایی از امنیت در مقابل تهدیدات نظامی و تروریستی بسیار ضروری است [۷]. تجارب حاصل از جنگ‌های گذشته نشان داده است کشور مهاجم به‌منظور درهم شکستن اراده ملت و تضعیف توان کشور مورد تهاجم، استراتژی اصلی و انهدامی خود را صرف حمله به مراکز حیاتی، حساس و مهم می‌کند [۹]. برای نمونه، آمریکا و متحدانش در جنگ خلیج فارس، با شناسایی منابع و تأسیسات حیاتی عراق به‌خصوص منابع و تأسیسات آب، این استراتژی را اجرا کردند [۱۰]. امروزه مهم‌ترین اهرم کنترل و نظارت در صنعت آب آشامیدنی، پایش و کنترل تمام اجزای سیستم تأمین، تصفیه و توزیع آب است

روش‌های کنترل ریسک‌های بالقوه، حذف حوادث احتمالی نامطلوب و کاهش خسارات احتمالی است. در نتیجه ارزیابی ریسک با رویکرد پیشگیرانه در تاسیسات مهم و حیاتی برای ممانعت از خسارات و تحمیل هزینه‌های زیاد یک ضرورت است تا تصمیم‌گیری‌ها به جای قضاوت‌های فردی، بر اساس یک روش علمی و فنی باشد [۱۹].

با توجه به اهمیت زیاد این مطالعات و ضرورت انجام مطالعات مشابه در تمام شهرها، چون تا به حال چنین مطالعه‌ای در این شهر انجام نشده است و با توجه به اعلام نیاز و موافقت اداره آب و فاضلاب استان البرز و شهر طالقان، مطالعه حاضر با هدف شناسایی و ارزیابی ریسک در تاسیسات آب شرب شهر طالقان به روش FMEA در سال ۱۳۹۹ انجام شد.

## روش کار

### نوع مطالعه

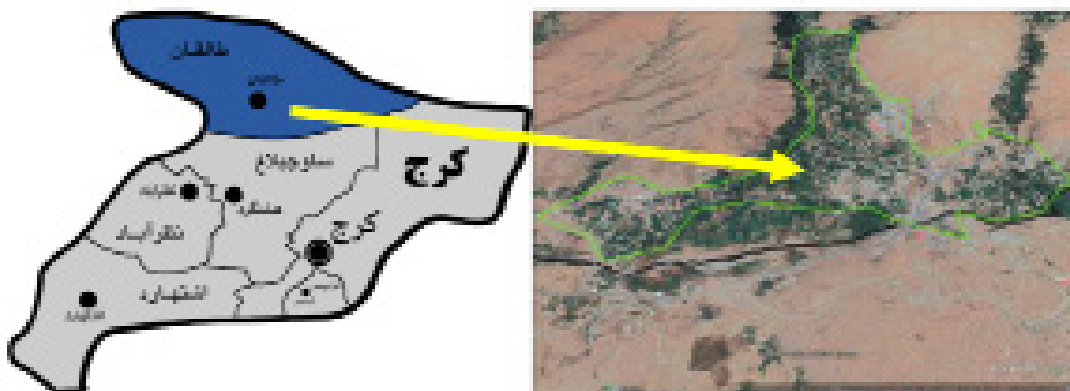
این مطالعه از نوع توصیفی تحلیلی است.

### منطقه مورد مطالعه

شهر طالقان جمعیت ثابت ۲۷ هزار نفر و در تابستان ۴۰ هزار نفر جمعیت دارد. این شهر در غرب استان تهران و استان البرز واقع شده و از نظر آب‌وهوایی، کوهستانی است. طالقان در ارتفاع ۱۸۸۰ متر از سطح دریا و بین طول جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه و عرض شمالی ۵۰ درجه و ۴۷ دقیقه قرار دارد (شکل ۱). به منظور انجام این پژوهش، ابتدا برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز از وضعیت امنیت و تهدیدات احتمالی موجود در تاسیسات آب شرب این شهر، مجوزهای لازم از اداره آبفای استان البرز گرفته شد و در سال ۱۳۹۹ کل تاسیسات آبی فعال این شهر شامل ۵ چاه آب عمیق تانیمه عمیق، ۱ ایستگاه پمپاژ و ۲ مخزن و شبکه توزیع تحت پوشش این مطالعه قرار گرفت.

مثل روش FMEA، بسیار مؤثر و راهگشا است [۱۵]. Tsitsifli و همکاران با مرور وضعیت برنامه‌های ایمنی آب مانند HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) تمام خطرات احتمالی و وقایع خطرناک را شناسایی کردند که ممکن است در تاسیسات آبی مانند منابع آب، تصفیه‌خانه، شبکه توزیع و مخازن آب آشامیدنی رخ دهد و با استفاده از ابزارهای پیشگیری و مدیریت ریسک، خطرات و تهدیدات احتمالی را با تأکید ویژه بر اجرای HACCP و WSP بررسی کردند [۱۱]. Fajrul و همکاران در مطالعه خود گزارش کردند شناسایی و ارزیابی خطرات بخشی از برنامه ایمنی و بهداشت شغلی در مرحله مدیریت ریسک است و در این مطالعه ۲۲ ریسک احتمالی بالقوه را در فرایند تصفیه آب به روش مشاهده و مصاحبه شناسایی و پیامدهای آن را تعیین کردند که ۲ ریسک در حد خیلی بالا، ۹ ریسک در حد بالا، ۱۰ ریسک در حد متوسط و یک ریسک در حد ضعیف ارزیابی شدند [۱۶].

Golkhani و همکاران با استفاده از روش FMEA و AHP نسبت به شناسایی منشأ و عوامل زمینه‌ساز خطرات و علل وقوع آن‌ها و همچنین معرفی راه‌حل برای کاهش این خطرات در صنایع و تاسیسات مهم و حیاتی مثل فولاد اقدام کردند و خطرات را به دو دسته قابل قبول و غیرقابل قبول تقسیم کردند [۱۷]. Dino و همکاران در مطالعه تحلیل ریسک فرایند تصفیه آب شرب در اندونزی و Szpakl در مطالعه تجزیه و تحلیل و ارزیابی ایمنی مصرف‌کنندگان آب به منظور شناسایی و آگاهی از خطرات احتمالی در فرایند تصفیه آب و انتخاب و اولویت‌بندی اقدامات لازم، مطالعه ارزیابی ریسک‌های موجود را به روش FMEA انجام دادند و مهم‌ترین خطرات و روش مناسب کنترل آن‌ها را معرفی کردند [۱۸، ۱۹]. در استاندارد، روش FMEA به خوبی توصیف شده است [۲۰]. از مزایای این روش که یک روش ارزیابی ریسک پیشگیرانه است، کمک به شناسایی نقاط ضعف و ریسک‌های موجود، ارزیابی شدت و پیامد ریسک، احتمال کشف نقاط ضعف سیستم مطالعه‌شده، معرفی راه‌حل‌ها و



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهر طالقان در استان البرز

### روش جمع‌آوری داده‌ها

تهدیدات احتمالی بر اساس تهدیداتی که بیشتر متصور و مورد تأکید بودند و با استفاده از نتایج سایر مطالعات لیست شدند [۲۱-۲۳]. سپس شناسایی و تعیین انواع خطرات و تهدیدات بالقوه تأسیسات آبی شهر طالقان در سه بخش کمیت آب، کیفیت آب و بهره‌برداری و نگهداری، از طریق بررسی مستندات لازم، بازدیدهای میدانی و مشاهده (بازدید از نزدیک به همراه مسئولان آبنمای شهر طالقان و تکمیل لیست تهدیدات موجود و تهیه تصویر در موارد لازم)، مصاحبه و نظرخواهی از متخصصان آبنمای استان و شهر طالقان انجام شد (تمام کارشناسان و مسئولان صنعت آب استان و شهر طالقان مطلع از وضعیت تأسیسات آبی در این مطالعه همکاری داشتند).

### روش انجام تحقیق

در این مطالعه به کمک روش FMEA ارزیابی ریسک و اولویت‌بندی تهدیدات انجام شد [۱۹]. این روش به‌طور گسترده در تجزیه و تحلیل اثرات نقاط شکست و بررسی ایمنی محصولات و فرایندهای مختلف فنی و صنعتی کاربرد دارد. ابتدا احتمال وقوع یا رخداد با اختصاص نمره یک (کمترین احتمال خطر) تا ۱۰ (بیشترین احتمال خطر) به ترتیب بر اساس نظرات افراد خبره تعیین شد. سپس وخامت یا شدت پیامد بر نیروی انسانی و تجهیزات با اختصاص نمره

بین ۱ (بدون اثر) تا ۱۰ (خطر مرگ و تخریب) تعیین شد. در ادامه رتبه‌بندی احتمال کشف خطر که نوعی ارزیابی از میزان توانایی در شناسایی یک علت یا مکانیزم وقوع خطر یا به عبارت دیگر احتمال کشف خطر قبل از رخداد است، با نمره یک (حتماً قابل کشف است) تا ۱۰ (قابل کشف نیست) تعیین شد. در ادامه مقادیر عدد اولویت ریسک (Risk Priority Number: RPN) و سطح ریسک هر خطر محاسبه و بر اساس آن ارزیابی و اولویت‌بندی خطرات به شرح ذیل انجام و اقدامات کنترلی و مدیریتی لازم بر اساس اولویت و سطح بحرانی تعیین شد.

### تعیین سطح ریسک و محاسبه RPN

RPN عددی بین ۱ و ۱۰۰۰ و حاصل ضرب سه عدد رخداد (O)، وخامت (S) و احتمال کشف (D) است که با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$O \times S \times P = RPN \quad \text{رابطه ۱:}$$

در این رابطه RPN عدد اولویت ریسک، O رخداد، S وخامت یا شدت اثر و P احتمال کشف خطر است. برای تعیین ریسک‌های نیازمند اقدامات اصلاحی، از عدد ریسک معیار استفاده شد. ریسک معیار شاخصی برای جداسازی میزان

## یافته‌ها

### ریسک‌ها و مخاطرات شناسایی شده

ریسک‌های شناسایی شده که با کمیت و کیفیت آب و شرایط بهره‌برداری و نگهداری از تأسیسات آبی مطالعه شده مرتبط بود، عبارت‌اند از: احتمال حملات فیزیکی، ضعف حفاظت فیزیکی و عدم رعایت حریم تأسیسات آبی، انتخاب محل استقرار نامناسب بعضی از تأسیسات، منابع نقطه‌ای آلودگی مؤثر در آلودگی آب چاه‌ها، شرایط خاک منطقه، تجاوز به حریم چاه‌ها، فعالیت‌های جنگل‌داری و کشاورزی و دام‌پروری، عدم بهسازی و آب‌بندی نامناسب چاه‌ها، جداسازی نامناسب چاه‌ها، تغذیه مصنوعی چاه‌ها با پساب‌های آلوده و افزایش میزان سختی و کل جامدات محلول، فعالیت‌های صنعتی و معدنی، نوسانات فشار و تغییر میزان جریان، آلوده‌سازی عمده‌ی آب توسط عوامل خرابکار، کمبود تجهیزات هشداردهنده و پایش هنگام بروز مشکلات و حوادث، فرسایش و خوردگی تأسیسات زیربنایی و فرسودگی اتصالات و خطوط لوله‌ها، بالا بودن عمر شبکه توزیع، فاصله کم لوله‌های آب با شبکه جمع‌آوری و چاه‌های فاضلاب، انشعابات غیرقانونی و غیرمجاز، عملکرد ضعیف و ناقص سیستم گندزدایی، شست‌وشوی دیربهدیر مخازن، انبار کردن نامناسب مواد شیمیایی و بالا بودن عمر شبکه انتقال برق اضطراری.

در این مطالعه در مجموع ۴۰ خطر و تهدید بالقوه احتمالی در چاه‌ها، مخازن و شبکه توزیع و ایستگاه پمپاژ شناسایی شد (نمودار ۱). نمودار ۱ فراوانی و درصد خطرات بالقوه مرتبط با کمیت و کیفیت آب و نگهداری و بهره‌برداری از تأسیسات آبی را نشان می‌دهد که بیشترین خطرات یعنی ۵/۵۲ درصد به شرایط نگهداری و بهره‌برداری از تأسیسات آبی مربوط است.

### خطرات بالقوه مرتبط با چاه‌های مطالعه شده

خطرات بالقوه مرتبط با چاه‌های مطالعه شده ۱۵ مورد با دامنه

ریسک قابل قبول و غیر قابل قبول است. هر ریسکی که عدد RPN آن بیشتر از ریسک معیار بود، غیر قابل قبول و اگر کمتر از ریسک معیار بود، قابل قبول معرفی شد. برای تعیین میزان ریسک معیار برای هر جزء بر اساس عدد RPN و سطح بحران آن جزء، نمودار نقطه‌ای ترسیم شد. با توجه به نمودار، اولین نقطه‌ای که در سطح بحران ۳ قرار گرفت، به‌عنوان ریسک معیار در نظر گرفته شد.

سطوح بحرانی و تصمیمات مدیریتی لازم عبارت بودند از:

سطح ۱: سطح عادی که در آن عدد هر سه فاکتور RPN، کمتر از ۶ است؛ یعنی نیاز به اقدامات پیشگیرانه احساس نمی‌شود.

سطح ۲: سطح نیمه‌بحرانی که در آن حداکثر عدد یک فاکتور از سه فاکتور RPN، مقادیر بیشتر از ۶ است، ولی عدد RPN کم است. در این صورت اقدامات پیشگیرانه ضروری است.

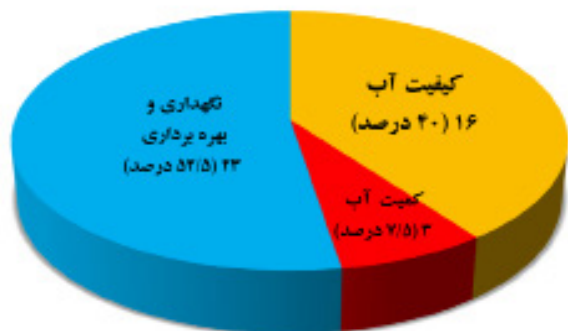
سطح ۳: سطح بحرانی که در آن حداقل عدد دو فاکتور از سه فاکتور RPN، مقادیر بیشتر از ۶ است و عدد RPN نیز زیاد است. مسلم است که این سطح نیاز به اقدامات پیشگیرانه فوری دارد.

پس از مشخص شدن سطح ریسک با کمک روش FMEA در هر یک از اجزای شبکه، بر اساس ریسک‌ها و نقاط ضعف هر یک از بخش‌ها، پیشنهادات لازم به‌منظور کنترل، اصلاح یا کاهش و تقلیل احتمال مخاطرات و تهدیدات ارائه شد [۱۹].

### تجزیه و تحلیل آماری

برای وارد کردن داده‌ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد و به کمک روش‌های آمار توصیفی، پردازش اطلاعات انجام و نتایج بر اساس درصد فراوانی و میانگین امتیازات کسب شده و خطرات بالقوه مرتبط با کمیت و کیفیت آب و نگهداری و بهره‌برداری تأسیسات آبی گزارش شد. در بخش ارزیابی خطر نیز به کمک روش FMEA طبق شرح فوق، تهدیدات در سطوح بحرانی، نیمه‌بحرانی و غیربحرانی تقسیم‌بندی و اقدامات اصلاحی لازم معرفی شد.

نمودار ۳، حداقل RPN و معیار ریسک برای انواع تهدیدات مؤثر بر مخازن و شبکه توزیع آب ۲۴۵ و مرتبط با نقص و نبود تجهیزات هشداردهنده و پایش هنگام بروز مشکلات و حوادث و بیشترین



نمودار ۱: فراوانی و درصد خطرات بالقوه مرتبط با کمیت و کیفیت آب و نگهداری و بهره‌برداری از تاسیسات آبی

میانگین امتیازات ۱ تا ۷ شناسایی و RPN و سطح بحرانی هر خطر محاسبه و تعیین شد (جدول ۱). طبق نتایج جدول ۱ و نمودار ۲، حداقل RPN و معیار ریسک برای انواع خطرات چاه‌های آب ۱۴۷ و مرتبط با آلوده‌سازی عمدی آب توسط عوامل خرابکار است (اولین نقطه‌ای که در سطح ریسک و بحران ۳ قرار دارد) و بیشترین RPN ۵۷۶ و مربوط به فعالیت‌های شهری، دفع منابع نقطه‌ای آلودگی مانند فاضلاب خانگی و خروجی سپتیک‌ها به محیط زیست است.

### خطرات بالقوه مرتبط با مخازن آب و شبکه توزیع

خطرات بالقوه مرتبط با مخازن آب و شبکه توزیع ۱۴ مورد با دامنه میانگین امتیازات ۱ تا ۵ شناسایی و RPN و سطح بحرانی هر خطر محاسبه و تعیین شد (جدول ۲). طبق نتایج جدول ۲ و

جدول ۱: RPN خطرات بالقوه مؤثر بر شش چاه آب مطالعه‌شده

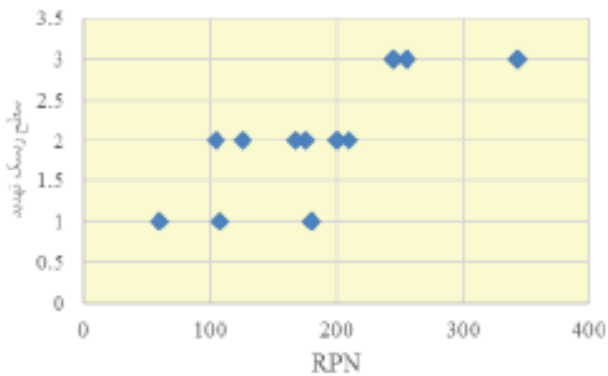
ردیف	عوامل تهدیدکننده تاسیسات	احتمال وقوع	شدت اثر	قابلیت کشف	RPN	نوع سطح بحرانی
۱	فعالیت‌های شهری / دفع منابع نقطه‌ای آلودگی مانند فاضلاب خانگی، خروجی سپتیک‌ها	۸	۸	۹	۵۷۶	بحرانی
۲	شرایط خاک منطقه	۷	۷	۸	۳۹۲	بحرانی
۳	قرارگیری چاه‌ها در کنار بزرگراه‌ها، جاده‌ها، اجتماعات و مسیرهای پررفت‌وآمد	۶	۸	۸	۳۸۴	بحرانی
۴	عدم رعایت حریم، تجاوز از حریم چاه‌ها	۷	۶	۸	۳۳۶	بحرانی
۵	فعالیت‌های جنگل‌داری و کشاورزی	۸	۵	۷	۲۸۰	بحرانی
۶	حملات فیزیکی	۵	۶	۸	۲۴۰	نیمه‌بحرانی
۷	فعالیت‌های دامپروری / دامداری	۷	۶	۵	۲۱۰	نیمه‌بحرانی
۸	عدم حفاظت سر چاهی مناسب	۵	۵	۷	۱۷۵	نیمه‌بحرانی
۹	حفاظت پیرامونی و فیزیکی ناکافی	۵	۵	۶	۱۵۰	نیمه‌بحرانی
۱۰	عدم بهسازی و آب‌بندی نامناسب چاه‌ها / خوردگی یا کامل نبودن جداره چاه	۵	۷	۵	۱۵۰	نیمه‌بحرانی
۱۱	آلوده‌سازی عمدی آب توسط عوامل خرابکار	۳	۷	۷	۱۴۷	بحرانی
۱۲	آبخوان نامحدود و آلوده و افزایش میزان سختی و کل جامدات محلول ناشی از تخلیه پساب تصفیه‌خانه فاضلاب به چاه برای تغذیه مصنوعی	۳	۶	۷	۱۲۶	نیمه‌بحرانی
۱۳	فعالیت‌های صنعتی و معدنی	۴	۶	۵	۱۲۰	نیمه‌بحرانی
۱۴	آبخوان نامحدود و آلوده و ورود مواد معدنی سمی به درون آب ناشی از تخلیه پساب تصفیه‌خانه فاضلاب به چاه برای تغذیه مصنوعی آبخوان	۲	۷	۶	۸۴	نیمه‌بحرانی
۱۵	توزیع مستقیم آب چاه به شبکه	۳	۳	۴	۳۶	غیر بحرانی

RPN ۳۴۳ و مرتبط با نوسانات فشار و تغییر جریان بود.

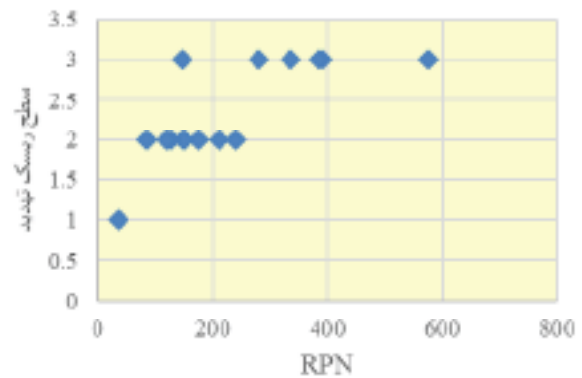
خطرات بالقوه مرتبط با ایستگاه پمپاژ

خطرات بالقوه مرتبط با تأسیسات ایستگاه پمپاژ ۱۱ مورد با دامنه

میانگین امتیازات ۱ تا ۸ شناسایی و RPN و سطح بحرانی هر خطر محاسبه و تعیین شد (جدول ۳). طبق نتایج جدول ۳ و نمودار ۴، حداقل RPN و معیار ریسک برای انواع تهدیدات مؤثر بر ایستگاه پمپاژ ۱۶۸ و مرتبط با آلوده‌سازی عمدی آب توسط عوامل خرابکار



نمودار ۳: معیار ریسک تهدیدات احتمالی مؤثر بر مخازن و شبکه توزیع آب بر اساس RPN در روش FMEA



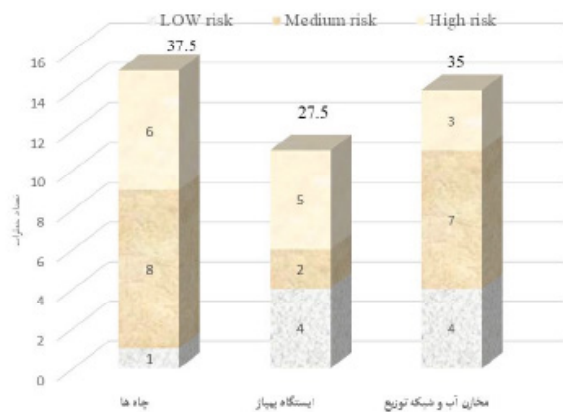
نمودار ۲: میزان معیار ریسک تهدیدات احتمالی مؤثر بر چاه‌های آب مطالعه شده بر اساس RPN در روش FMEA

جدول ۲: RPN تهدیدات بالقوه مؤثر بر مخازن و شبکه توزیع آب

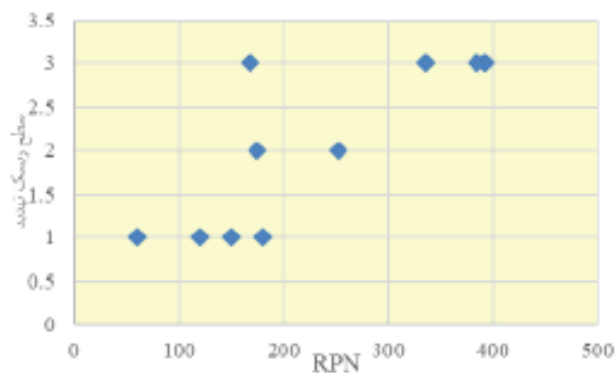
ردیف	عوامل تهدیدکننده مخازن	احتمال وقوع	شدت اثر	قابلیت کشف	RPN	نوع بحرانی
۱	نوسانات فشار و تغییر ریان	۷	۷	۷	۳۴۳	بحرانی
۲	آلوده‌سازی عمدی آب توسط عوامل خرابکار	۴	۸	۸	۲۵۶	بحرانی
۳	نقص و نبود تجهیزات هشداردهنده و بایش هنگام بروز مشکلات و حوادث	۵	۷	۷	۲۴۵	بحرانی
۴	فرسایش و خوردگی تأسیسات زیربنایی و فرسودگی اتصالات و خطوط لوله‌ها	۵	۶	۷	۲۱۰	نیمه‌بحرانی
۵	حملات فیزیکی (سرقت)	۵	۵	۸	۲۰۰	نیمه‌بحرانی
۶	حفاظت پیرامونی و فیزیکی ناکافی	۵	۸	۵	۲۰۰	نیمه‌بحرانی
۷	بالا بودن عمر شبکه توزیع	۵	۶	۶	۱۸۰	غیر بحرانی
۸	فاصله بسیار نزدیک لوله‌های آب با شبکه‌ها و چاه‌های فاضلاب	۶	۵	۶	۱۸۰	غیر بحرانی
۹	قرارگیری مخازن و تأسیسات در کنار بزرگراه‌ها و جاده‌ها و اجتماعات و مسیرهای پررفت‌وآمد	۵	۵	۷	۱۷۵	نیمه‌بحرانی
۱۰	انشعابات غیرقانونی و غیرمجاز	۴	۶	۷	۱۶۸	نیمه‌بحرانی
۱۱	عملکرد ضعیف و نقص در سیستم گندزدایی و گندزدایی ناکافی	۳	۷	۶	۱۲۶	نیمه‌بحرانی
۱۲	شست‌وشوی دیربهدیر مخازن	۳	۶	۶	۱۰۸	غیر بحرانی
۱۳	مخازن سرویس‌دهی حفاظت‌نشده و دارای نشئی	۳	۷	۵	۱۰۵	نیمه‌بحرانی
۱۴	انبار کردن نامناسب مواد شیمیایی	۳	۴	۵	۶۰	غیر بحرانی

جدول ۳: RPN تهديدات بالقوه مؤثر بر ايستگاه پمپاژ

ردیف	عوامل تهديد کننده مخازن	احتمال وقوع	شدت اثر	قابليت كشف	RPN	سطح بحراني
۱	حفاظت پيراموني و فيزيكي ناکافي	۸	۷	۷	۳۹۲	بحراني
۲	قرارگيري در کنار بزرگراه‌ها و جاده‌ها و اجتماعات و مسيرهاي پرفت‌وآمد	۸	۷	۷	۳۹۲	بحراني
۳	تأسيسات سرويس‌دهي حفاظت‌نشده و روباز و داراي نشئي	۸	۸	۶	۳۸۴	بحراني
۴	نوسانات فشار و تغيير در جريان	۸	۷	۶	۳۳۶	بحراني
۵	فاصله بسيار نزديک لوله‌هاي آب با شبکه‌ها و چاه‌هاي فاضلاب	۷	۶	۶	۲۵۲	نيمه‌بحراني
۶	فرسايش و خوردگي تأسيسات زيربنايي و فرسودگي اتصالات و خطوط لوله‌ها	۶	۵	۶	۱۸۰	غير بحراني
۷	حملات فيزيكي (سرقت)	۷	۵	۵	۱۷۵	نيمه‌بحراني
۸	آلوده‌سازي عمدی آب توسط عوامل خرابکارانه	۳	۸	۷	۱۶۸	بحراني
۹	نقص / نبود تجهيزات هشداردهنده و پايش هنگام بروز مشکلات و حوادث	۶	۵	۵	۱۵۰	غير بحراني
۱۰	برق اضطراري	۵	۶	۴	۱۲۰	غير بحراني
۱۱	بالا بودن عمر شبکه انتقال	۴	۳	۵	۶۰	غير بحراني



نمودار ۵: درصد فراواني و سطح خطرات بالقوه تاسيسات آبي



نمودار ۴: میزان معيار ريسک تهديدات احتمالي مؤثر بر ايستگاه پمپاژ بر اساس RPN در روش FMEA

شرب شهر طالقان را در سه سطح با ريسک کم، متوسط و زياد نشان می‌دهد. بيشتري خطرات احتمالي بحراني و نيمه‌بحراني متعلق به چاه‌ها (۵/۳۷ درصد) و سپس مخازن آب و شبکه توزيع (۳۵ درصد) و سپس ايستگاه پمپاژ (۵/۲۷ درصد) است.

و بيشتري RPN ۳۹۲ و مرتبط با ضعف حفاظت پيراموني و فيزيكي و قرارگيري تأسيسات در کنار بزرگراه‌ها و جاده‌ها و اجتماعات و مسيرهاي پرفت‌وآمد است. نمودار ۵ فراواني و درصد خطرات بالقوه انواع تأسيسات آبي

## بحث و نتیجه گیری

زیست محیطی است. این خطرات بحرانی بالقوه شناسایی شده در صورت بالفعل شدن، بر کیفیت آب چاه‌های منطقه تأثیر منفی دارد و کنترل پیشگیرانه آن‌ها ضروری است.

ضروری‌ترین اقدامات لازم برای کنترل تهدیدات بحرانی مذکور، در مرحله اول تهیه شناسنامه پدافند غیرعامل و ایمنی یا بازبینی‌های فنی لازم برای کنترل وضع موجود هر بخش از تاسیسات است. در ادامه افزایش بازدیدهای مرتب میدانی و نظارت کارشناسان و متخصصان صنعت آب بر عملکرد بخش‌های خصوصی و دولتی و صنایع موجود در منطقه ضروری است تا از دفع غیرقانونی آلاینده‌هایی مثل فاضلاب و زباله به محیط زیست پیشگیری شود. همچنین پیگیری‌های قانونی و آموزش و اطلاع‌رسانی به مردم نیز لازم است تا بتوان از اجرای قوانین و مقررات و رفع ریسک‌ها و مشکلات شناسایی شده و در نتیجه از حفظ و ارتقای کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه در حد مطلوب اطمینان حاصل کرد.

به منظور کنترل و رفع تهدیدات اول تا پنجم، انجام این اقدامات ضروری توصیه می‌شود: ۱- قوانین زیست محیطی مربوط به کنترل و دفع آلاینده‌ها به محیط زیست و استانداردهای دفع پساب با بازدیدهای میدانی کافی اعمال شود. ۲- سخت‌گیری و نظارت بیشتری بر منابع نقطه‌ای دفع آلودگی اعمال و مانع از دفع چنین آلاینده‌هایی در حوزه آبریز چاه‌ها شود. ۳- حداقل فاصله منابع دفع آلودگی از چاه‌ها به شعاع ۵۰ متر با توجه به سطح تراز آب‌های زیرزمینی رعایت شود. ۴- تغییرات کیفیت آب چاه‌ها ناشی از برداشت بی‌رویه و افت سطح تراز آب به خصوص در فصول گرم سال مورد توجه قرار گیرد و در صورت افزایش کل جامدات محلول از حد استاندارد باید بهره‌برداری از چاه متوقف و از چاه‌ها و سایر منابع ذخیره و جایگزین استفاده شود. ۵- هرگونه تغذیه آب‌های زیرزمینی با استفاده از پساب‌ها باید با اعمال کنترل‌های بهداشتی لازم بر کیفیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب چاه‌های منطقه اطراف، به خصوص چاه‌های پایین دست منطقه تغذیه باشد.

حمله به تاسیسات آبی و تهدید آن به خاطر اهمیت زیاد آن، سابقه طولانی در تاریخ دارد و مسئله جدیدی نیست. آنچه اهمیت دارد و قابل توجه و جدید است، انواع تهدیدات در حال تغییر و تحول و به‌روز شدن است. به دلیل وابستگی تاسیسات آبی به فناوری‌های روز و ضرورت کنترل هوشمند آن‌ها، متناسب با میزان و نوع و سطح تهدیدات، آسیب‌پذیری آن‌ها زیاد شده و نیازمند دقت و مراقبت‌های بیشتر و ارزیابی ریسک وضع موجود برای شناسایی خطرات (ناشی از تخریب‌ها و حملات فیزیکی تا قبل از سال ۲۰۰۰ یا آلوده کردن آب که در سال‌های اخیر بیشتر شده است) و انجام اصلاحات پیشگیرانه لازم است. بی‌توجهی نسبت به این موضوع مهم ممکن است تسهیل‌کننده و محرک دشمنان بالقوه برای آسیب رساندن به این تاسیسات و سبب غیر قابل شرب شدن آب، به خطر افتادن سلامت جامعه و نگرانی و ایجاد هراس عمومی شود [۱۹، ۱۴]. به همین علت مطالعه حاضر به منظور ارزیابی ریسک تاسیسات آب شهر طالقان برای اولین بار طراحی و اجرا شد. هم‌زمان مطالعه مشابهی در شهر هشتگرد انجام و بعد از ارزیابی ریسک، تهدیدات در سطوح بحرانی و نیمه‌بحرانی شناسایی و اولویت‌بندی شد و اقدامات لازم اصلاحی توصیه شد [۲۴].

در این مطالعه، در کل تاسیسات مطالعه شده ۴۰ خطر بالقوه و ۱۴ ریسک در سطح بحرانی و ۱۷ خطر در سطح نیمه‌بحرانی (نمودار ۱ و ۵) شناسایی و اقدامات لازم برای کاهش اثر یا حذف آن‌ها پیشنهاد شد. در شهر طالقان چاه‌های آب زیرزمینی به‌عنوان منابع اصلی آب شهر هستند. در بررسی RPN و تعیین سطح تهدیدات بالقوه متوجه چاه‌های آب، ۶ تهدید در سطح بحرانی قرار گرفتند (جدول ۱ و نمودار ۲). علت این ریسک‌ها معمولاً از یک طرف ناشی از ضعف نظارت و پیگیری لازم مسئولان صنعت آب برای اجرای قوانین موجود، سهل‌انگاری و کمبود نیروی کارشناس و از طرف دیگر ناشی از نداشتن آگاهی کافی مردم از قوانین و مقررات

آب کافی و منبع جایگزین در شرایط مواجهه با کمبود به‌خصوص در فصل تابستان، تشدید اقدامات مراقبتی و حفاظت فیزیکی چندلایه در عمق به‌صورت آشکار و پنهان و در اطراف مخازن و تقویت سازه‌ها و تغییر سیستم ارتباطی تأسیسات از رادیویی به سیم کارت در منطقه ضروری است. معصوم‌بیگی و همکاران هم در مطالعه تأسیسات آبی شهر هشترگرد ۸ تهدید را در سطح بحرانی گزارش و تشدید اقدامات مراقبتی و حفاظت فیزیکی را عامل مؤثری در کاهش وقوع و تحقق احتمالی حوادث و تهدیدات بحرانی توصیه کردند [۲۴].

در بررسی RPN و تعیین سطح تهدیدات ایستگاه پمپاژ و شبکه توزیع ۵ مورد از تهدیدات در سطح بحرانی قرار گرفتند (جدول ۳ و نمودار ۴). کنترل تهدید اول، دوم، سوم و پنجم نیازمند ایجاد حفاظت فیزیکی چندلایه کافی در عمق به‌صورت آشکار و پنهان است که قبلاً توضیح داده شد. در خصوص تهدید دوم هم تشدید اقدامات مراقبتی و حفاظت فیزیکی و تقویت سازه‌ها ضروری است. البته با توجه به انتخاب نامناسب محل احداث ایستگاه کار زیادی نمی‌توان انجام داد. به همین علت ارتباط و هماهنگی مناسبی باید بین طراح و کارفرما و پیمانکار وجود داشته باشد تا چنین مشکلاتی هنگام بهره‌برداری ایجاد نشود. ساختمان‌ها و اماکن داخل یک سایت مثل تأسیسات تصفیه آب یا ایستگاه پمپاژ باید به امکانات لازم برای جلوگیری از ورود خرابکاران و تأمین برق اضطراری مجهز باشد تا شبکه توزیع آب تحت پوشش ایستگاه‌های پمپاژ در اثر قطع برق دچار قطعی جریان آب نشوند. باید درب‌ها، پنجره‌ها، دیوارها و نورگیرها در مقابل ورود غیرمجاز امنیت کافی داشته باشد. برای به حداقل رساندن خرابی‌های تأسیسات و انجام به‌موقع اقدامات تعمیراتی لازم، وجود یک سیستم مدیریت ایمنی و پدافند غیرعامل به‌منظور ثبت دقیق سوابق و داده‌های مربوط به تأسیسات آبی ضروری است؛ زیرا در تصمیم‌گیری‌ها برای ارتقای سطح ایمنی موجود به‌خصوص کنترل تهدیدات بحرانی بسیار مؤثر است [۲۷]. مشکلات هماهنگی برای ورود به تأسیسات آبی و نبود امکان

این اقدامات شرایط را برای به حداقل رساندن ریسک‌های شناسایی‌شده و تقلیل اثرات و پیامدهای آن‌ها در صورت وقوع فراهم می‌کند. Nijhawan و همکاران هم به اهمیت منابع آلودگی نقطه‌ای و تهدید آلودگی آب از این طریق و ضرورت پایش مداوم کیفیت آب منابعی تأکید کردند که از این طریق در معرض تهدید هستند [۲۵]. بدیعی‌نژاد و همکاران نیز در پژوهش خود تأثیر آلودگی منابع نقطه‌ای اطراف تأسیسات آبی را بر منابع آب زیرزمینی گزارش کردند [۲۶].

کنترل تهدید سوم و ششم نیازمند ایجاد حفاظت فیزیکی چندلایه کافی در عمق به‌صورت آشکار و پنهان در اطراف چاه است. محیط پیرامونی مراکز باید با ایجاد دیوار یا حفاظ مناسب و پیش‌بینی درب‌های کافی و مناسب و در دسترس برای آن، کاملاً محصور شود. معصوم‌بیگی و همکاران نیز در مطالعه خود بر ضرورت اعمال حفاظت فیزیکی چندلایه برای تأسیسات آبی شهرها تأکید کردند [۲۴].

در شهر طالقان مخازن ذخیره آب به دلیل احداث در مناطق دورافتاده، نسبت به حملات احتمالی آسیب‌پذیر هستند و توجه بیشتر در تأمین امنیت پایدار برای آن مراکز نیاز است. در بررسی RPN و تعیین سطح تهدیدات مخازن و شبکه توزیع سه مورد از تهدیدات در سطح بحرانی قرار گرفتند (جدول ۲ و نمودار ۳). علت این ریسک‌ها ممکن است ناشی از عدم عملکرد صحیح ایستگاه پمپاژ به دلیل ضعف در بهره‌برداری و نگهداری از تأسیسات مربوطه و کمبود منابع مالی لازم برای خرید و نصب تجهیزات هشداردهنده متناسب با فناوری روز باشد. از طرفی، رعایت نکردن بعضی نکات فنی مثل انتخاب نامناسب محل احداث این تأسیسات از ابتدای طراحی هم اهمیت دارد و سبب شده است هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری افزایش یابد.

به‌منظور کنترل و رفع تهدیدات مذکور، انجام اقداماتی از قبیل شناسایی نقاط با افت فشار شدید و جبران آن از طریق تقویت پمپاژ یا ایجاد ایستگاه جدید برای پیشگیری از نوسانات جریان و تأمین

پمپاژ به عنوان یک راهکار کنترل تهدید تأکید کردند [۲۸]. در شهر طالقان نیز یکی از تاسیسات آبی نیازمند توجه ایستگاه پمپاژ و شبکه توزیع بود که توصیه‌های لازم برای کاهش ریسک و خطرات احتمالی ارائه شد.

با توجه به یافته‌های این مطالعه، ضروری است انجام اصلاحات و توصیه‌های زیر در اولویت کاری مسئولان صنعت آب قرار گیرد:

- ۱- رعایت حریم و ایجاد محوطه مجزا به منظور افزایش امنیت و غیر قابل دسترس کردن اطاقک هر چاه؛ ۲- بازنگری در چارچوب درب‌ها، قفل‌ها و نصب قفل‌های ضد برش؛ ۳- ایجاد و رعایت فاصله امن از برخی خطوط انتقال انرژی و منابع انتشار آلودگی خانگی در هر دو شهر برای هریک از تاسیسات آبی مذکور؛ ۴- تثبیت خاک بستر در منطقه طالقان؛ ۵- طراحی و نصب حفاظ‌های مناسب و رفع نقایص موجود؛ ۶- به‌روزرسانی سیستم‌های ارتباط رادیویی در منطقه کوهستانی طالقان؛ ۷- تأمین و نصب سیستم‌های برق اضطراری (ژنراتورهای تولید برق) در تاسیسات علی‌الخصوص چاه‌ها؛ ۸- آماده‌سازی بستر تأمین آب جایگزین به‌خصوص در شهر طالقان؛ ۸- شناسایی و رفع مشکلات تأمین فشار کافی آب در شبکه به‌منظور رفع ضرورت استفاده مردم از پمپ‌های خانگی؛ ۹- ثبت دقیق سوابق تمام حوادث احتمالی و تعمیرات و اقدامات انجام‌شده برای استفاده در آینده.

نتایج این تحقیق نشان داد اجرای یک برنامه فعال برای کاهش سطح خطرات و تهدیدات بحرانی موجود در تاسیسات آبی شهر طالقان ضروری است و باید با استفاده از برنامه‌های ایمنی و انجام اصلاحات ضروری، تهدیدات موجود خنثی و برطرف شود. علاوه بر توصیه‌های فوق، رهنمودهای اصلاحی ارائه‌شده به ترتیب اولویت زیر باید مورد توجه جدی مسئولان صنعت آب این شهر قرار گیرد:

اولویت اول: برگزاری دوره‌های آموزشی تخصصی کافی برای کارکنان و کارشناسان شاغل در صنعت آب و هم‌زمان با توجه به تهدیدات متصور تعیین‌شده در سطح بحرانی، افزایش بازدیدها و نظارت‌های میدانی محسوس و غیرمحسوس و پنهان و آشکار و

تعیین وزن و سطح‌بندی اطلاعات و توان تخصصی کارشناسان شرکت‌کننده در این مطالعه از محدودیت‌های مطالعه بود. در مطالعات مشابه زیادی روش FMEA برای شناسایی و ارزیابی ریسک و معرفی اقدامات کنترلی استفاده شده است که مؤید روش استفاده‌شده در تحقیق حاضر است. Golkhani و همکاران با استفاده از روش FMEA و AHP نسبت به شناسایی منشأ، عوامل زمینه‌ساز خطرات، علل وقوع آن‌ها و معرفی راه‌حل برای کاهش این خطرات در صنایع و تاسیسات مهم و حیاتی مثل فولاد اقدام کردند. آن‌ها شکستن فلنج‌ها به دلیل فشار زیاد آب و کمبود نور برای نصب تجهیزات و تعمیرات لازم را از جمله خطرات مهم معرفی کردند [۱۷]. نتایج این مطالعه و مطالعه حاضر نشان می‌دهد ارزیابی ریسک با رویکرد پیشگیرانه در تاسیسات مهم و حیاتی برای ممانعت از خسارات و تحمیل هزینه‌های زیاد یک ضرورت است تا تصمیم‌گیری‌ها به جای قضاوت‌های فردی، بر اساس روش علمی و فنی باشد.

Dino و همکاران به‌منظور شناسایی و آگاهی از خطرات احتمالی در فرایند تصفیه آب و انتخاب و اولویت‌بندی اقدامات لازم، مطالعه ارزیابی ریسک به روش FMEA را انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد مهم‌ترین خطرات مرتبط با تجهیزات، نیروی انسانی، روش کار و نحوه مصرف مواد خام اولیه بود که نقش مؤثری در بهره‌برداری و نگهداری از تاسیسات دارد. بیشترین سطح خطر و عدد RPN ۸۸۳ مربوط به مصرف نادرست غلظت مواد شیمیایی مصرفی و ۸۰۹ مربوط به عدم نگهداری دوره‌ای پمپ‌ها و تجهیزات بود. در این تحقیق برای پیشگیری از خطرات احتمالی، اقدامات لازم و مناسب معرفی شدند [۱۸]. در مطالعه حاضر ۵/۵۲ درصد از خطرات و ریسک‌ها به بخش بهره‌برداری و نگهداری از تاسیسات آبی مطالعه‌شده مربوط بود (نمودار ۲). Carneiro و همکاران با استفاده از دستورالعمل‌های برنامه ایمنی آب (Water Safety Plan: WSP) به شناسایی و ارزیابی خطرات و بهینه‌سازی تاسیسات آبی EPAL پرداختند. پس از ارزیابی، ۵۹۹ تهدید در حوضه‌های آبریز تا شیر مصرف نهایی شناسایی و بر ضرورت بازسازی زیرساخت ایستگاه

برای درک بهتر اهمیت و ضرورت انجام اصلاحات توصیه شده و ادامه مطالعات مشابه در سایر شهرها باشد.

### قدردانی

بدین وسیله از معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌الله (عج) برای همکاری و تصویب طرح تحقیقاتی با کد ۹۹۰۰۰۵۴۰ و کد اخلاق (IR.BMSU.REC.1399.470) و همچنین از کمیته اخلاق دانشگاه و مسئولان محترم آبفای استان البرز و شهر طالقان تشکر و قدردانی می‌شود.

### نقش نویسندگان

نویسندگان در ارائه ایده و طرح اولیه، جست‌وجوی منابع و بررسی مقالات، نگارش اولیه مقاله و بازنگری آن سهیم بودند و با تأیید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می‌پذیرند.

### تعارض در منافع

نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

برنامه‌ریزی شده و تصادفی از تأسیسات آبی. Fajrul و همکاران هم در مطالعه خود ضمن معرفی مهم‌ترین خطرات بالقوه در تصفیه‌خانه آب، بر ضرورت آموزش کارکنان و تقویت برنامه‌های ایمنی و بهداشت شغلی تأکید کردند [۱۶].

اولویت دوم: لازم است با توجه به میزان بودجه تخصیصی و امکانات و توانمندی سازمان آب منطقه‌ای، ابتدا به منظور اصلاح و حذف یا کاهش تهدیدات در سطح بحرانی مخازن آب و شبکه توزیع (چون به مصرف‌کننده نزدیک‌تر است و در صورت بروز حمله خرابکارانه، اثرات سوء آن بیشتر است) و سپس به ترتیب تهدیدات بحرانی متصور بر ایستگاه‌های پمپاژ و چاه‌های آب مورد استفاده و فعال اقدام شود. در ادامه هم اصلاحات لازم برای رفع تهدیدات دارای سطح نیمه‌بحرانی انجام شود که برای تأسیسات آبی هر شهر شناسایی و معرفی شده‌اند؛ چون لازم است حتی تهدیدات در حد متوسط و نیمه‌بحرانی هم جدی گرفته و اصلاحات لازم انجام شود. بر اساس طرح ایمنی آب سازمان جهانی بهداشت، انجام مطالعات ارزیابی ریسک و تهدیدات متصور بر تأسیسات آبی شهرها، جزئی از برنامه و طرح جامع ایمنی آب است و باید هر ۲ تا ۵ سال یک بار یا متناسب با شرایط بحرانی پیش‌آمده انجام شود. لذا پیشنهاد می‌شود مطالعات مشابه برای سایر شهرها به خصوص شهرهای بزرگ مرزی در اولویت و مورد حمایت مسئولان صنعت آب کشور قرار گیرد. ان‌شاءالله این مطالعه و مطالعه مشابه انجام شده برای شهر هشتگرد مشوق خوبی

## References

- Gleick PH. Water and terrorism. *Water Policy* 2006; 8(6): 481-503.
- Washington AS. All-hazards risk and resilience: Prioritizing critical infrastructures using the RAMCAP Plus [hoch] SM approach. ASME innovative technologies institute llc; 2009.
- Eskandari H E. *Introductory Undergraduate Defense*. 2nd ed. Tehran Boustan; 2010.
- Sheykhali M, Asadollahfardi G, Emamzadeh S. Evaluation of the vulnerability of water supply facilities with the AHP and RAMCAP combined methods. *Amirkabir J Civil Eng* 2020; 52(5): 1205-20 (Persian).
- Brashear JP, Jones JW. *Risk analysis and management for critical asset protection (RAMCAP plus)*. Wiley 2010; 2: 1-5.

6. Bakhshi Shadmehri F, Zarghani SH, Kharazmi OA. The position of passive defense in the security of urban infrastructure with emphasis on water infrastructure. National Conference on Passive Defense and Sustainable Development. Ministry of Interior; 2016.
7. Masoumbeigi H, Ramavandi B. Security of water supply facilities from source to consumption. Baqiyatallah University Press; 2014.
8. Ghazizadeh AR, Jalili Ghazizadeh MR, Ghaneh AA. Evaluation of water supply system components from the perspective of passive defense. The Second National Conference on Water and Wastewater with an operation approach; 2008.
9. Movahhedinia G. Principles and foundations of passive defense. First ed. Tehran: Malek Ashtar University of Technology Publications; 2008.
10. Moteff J, Copeland C, Fisher J. Critical Infrastructures: What makes on Infrastructure. Report for Congress. The Library of Congress Washington D.C; 2002.
11. Tsitsifli S, Tsoukalas DS. Water Safety Plans and HACCP implementation in water utilities around the world: benefits, drawbacks and critical success factors. Environ Sci Pollut Res Int 2021; 28(15): 18837-49.
12. Shadmehri F, Zarghani H, Kharazmi A. Vulnerability analysis of urban water infrastructure elements against terrorist threats. Int Q Geopolit 2020; 16(2): 57-32 ( Persian).
13. Mirmohammadsadeghi SO, Nabavianpour M. Investigating the Risk of Garmsar Water Distribution Network through Binary and TOPSIS Methods Using GIS. J Sustain Dev 2019; 6(1): 15-22 (Persian).
14. Cioffi G. The terror risk to current water infrastructure systems. [Master's Thesis]. Canada; York University; 2015.
15. Kolahdouzi M, Halvani GH, Nazaripour Abdehghah E, Rostami M, Yazdani M. Use of Failure Mode and Effects Analysis in Improving Safety: A Case Study in An Oil Company. J Community Health Res 2017; 6(2): 85-92.
16. Fajrul F, Onny S. Hazard identification and risk assessment in water treatment plant considering environmental health and safety practice. E3S Web Conf 2018; 31: 1-5.
17. Golkhani F, Ghotbi Ravandi MR, Baesmat S, Abasi Balochkhane F. The use of failure mode effects analysis (FMEA) and analytic hierarchy process (AHP) methods to determine the most important safety hazards. Health Educ Health Promot 2018; 6(1): 17-21.
18. Rimantho D, Hatta M. Risk analysis of drinking water process in drinking water treatment using fuzzy FMEA Approach. ARPN J Eng Appl Sci 2018; 13(8): 1-11.
19. Szpak D. Method of water consumer's safety analysis and assessment. E3S Web Conf 2017; 17: 1-8.
20. IEC 60812 Technical Committee. Analysis techniques for system reliability-procedure for failure mode and effects analysis (FMEA). IEC 60812; 2006.
21. Adibzadeh AH, Tavakoli H, Parj H. Investigating and evaluating the threats of drinking water and providing a solution to promote the health and safety of drinking water in Semnan city with passive defense approach. [Master's Thesis]. Birjand University of Medical Sciences; 2020.
22. Masoumbeigi H, Ghanizadeh Gh, Rasul M. Assessment the security status of drinking water facilities of Hashtgerd City with passive defense approach. J Police Med 2021; 2(1): 267-76 (Persian).
23. Ghahrchi M, Sepehrniya B, Bazrafshan E, Jahanara T, Barjasteh F, Sarmadi M. Investigation of Drinking Water Quality in Torbat Heydariyeh with IWQIS in 2018. J Health Res Commun 2019; 5(3): 73-82 ( Persian).
24. Masoumbeigi H, Sadat Rasul SM, Ghanizadeh Gh. Risk identification and Assessment in Hashtgerd city drinking water facilities by FMEA method. J Mar Med 2022; 3(4): 218-28 (Persian).
25. Nijhawan A, Jain P, Sargaonkar A, Labhasetwar PK. Implementation of water safety plan for a large-piped water supply system. Environ Monit Assess 2014; 186(9): 5547-60.
26. Badieinejad A, Gholami M, Junidi JA, Ameri A. Investigation of factors affecting nitrate concentration of Shiraz groundwater drinking water resources using geographic information system (GIS). Tolo Behdasht J 2012; 11(2): 47-56 (Persian).
27. Pietrucha-Urbanik K, Tchórzewska-Cieślak B. Approaches to failure risk analysis of the water distribution network with regard to the safety of consumers. Water 2018; 10: 1-21.
28. Carneiro RN, Damiao S, Benoliel MJ. Water safety plans at EPAL's water supply system-tool to prioritize investments and mitigation actions. Water Sci Technol 2015; 15(5): 1106-14.