



A Risk Analysis Model for Security Management in Water Treatment Plants, Case Study: Salman Farsi Water Treatment Plant

M.R. Nikoo^{1*}, R. Kerachian²
and N. Khorramshokouh³

Abstract

Passive defense measures are used to preserve equipment and vital installations of a country from the financial damages and prevent or minimize human loss. In this study, a risk analysis model was prepared and applied to Salman Farsi treatment plant as the case study, in order to select and rank the considerations of passive defense in water treatment plants. In other words, risks of all threatening factors to water treatment plants were designated separately, based on Fuzzy AHP method. Then, the contribution of each unit of Salman Farsi water treatment plant in total risk was determined. Obtained results of the proposed model indicates that the factor of earthquake has a threatening risk of 13.7% in Salman Farsi water treatment system which is the highest risk percent. Also, the chlorine gas storage tanks have the highest contribution in total risk of Salman Farsi water treatment plant system.

Keywords: Passive Defense, Risk Analysis, Fuzzy Set Theory, AHP, Salman Farsi Water Treatment Plant.

Received: November 5, 2017

Accepted: January 29, 2018

یک مدل تحلیل ریسک به منظور مدیریت ایمنی در تصفیه‌خانه‌های آب، مطالعه موردی: تصفیه‌خانه آب سلمان فارسی

محمد رضا نیکو^{۱*}، رضا کراچیان^۲ و نفیسه خرم‌شکوه^۳

چکیده

پدافند غیرعامل به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌گردد که با اجرای آن‌ها می‌توان از وارد شدن خسارات مالی به تجهیزات و تأسیسات حیاتی و حساس یک کشور و تلفات انسانی جلوگیری نموده و میزان این خسارات را به کمینه مقدار ممکن کاهش داد. در این مقاله، یک مدل تحلیل ریسک برای انتخاب و رتبه‌بندی ملاحظات مدیریت ایمنی و پدافند غیرعامل در تصفیه‌خانه‌های آب و در قالب مطالعه موردی تصفیه‌خانه آب سلمان فارسی تدوین گردیده است. به بیان دیگر، ریسک هر یک از عوامل تهدیدکننده سیستم تصفیه‌خانه آب به طور مجزا و توسط روش فازی AHP^۱ مشخص شده است. سپس، میزان مشارکت هر یک از واحدهای سیستم تصفیه‌خانه سلمان فارسی در ریسک کل سیستم تعیین گردیده است. نتایج حاصله از مدل پیشنهادی، بیان‌کننده این مطلب می‌باشد که زلزله با ۱۳/۷٪، بیشترین درصد ریسک را به‌عنوان یک عامل تهدیدکننده سیستم تصفیه‌خانه سلمان فارسی در پی دارد. هم‌چنین، مخازن نگه‌داری گاز کلر، بیشترین میزان مشارکت را در میزان ریسک کل سیستم تصفیه‌خانه آب سلمان فارسی داشته‌اند.

کلمات کلیدی: پدافند غیرعامل، تحلیل ریسک، تئوری مجموعه‌های فازی، AHP، تصفیه‌خانه آب سلمان فارسی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۸/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۱۱/۹

1- Associate Professor, School of Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran. Email: nikoo@shirazu.ac.ir

2- Professor, School of Civil Engineering and Center of Excellence for Engineering and Management of Civil Infrastructures, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

3- Graduated M.Sc., School of Agriculture, Department of Water Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشیار، بخش مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز.
۲- استاد دانشکده مهندسی عمران و قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.
۳- دانش‌آموخته کارشناس ارشد سازه‌های آبی، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

سلامت عمومی و پایداری فنی (Abrishamchi et al., 2005)، ارزیابی ریسک آلودگی میکروبیولوژیکی سامانه‌های آبرسانی شهری با استفاده از یک مدل کمی‌ساز ریسک (Ashbolt et al., 2006)، ارائه الگوریتمی بر مبنای منطق فازی مبتنی بر آنتروپی برای ارزیابی فن‌آوری‌های مختلف تصفیه‌خانه آب با استفاده از یک روش تجمع معیارها (Chowdhury and Husain, 2006)، بررسی آسیب‌پذیری بیش از ۳۰ تصفیه‌خانه در ایالت Quebec کانادا در برابر افت سطح آب رودخانه در اثر خشکسالی‌های محتمل ۱۰۰ ساله ناشی از پدیده تغییر اقلیم (Carrière et al., 2007)، تصمیم‌گیری در مدیریت آب تحت شرایط عدم قطعیت (Xu and Tung, 2008)، پیشنهاد یک رویکرد تحلیل ریسک به منظور ارزیابی عملکرد سامانه‌های فرآیندی با ترکیب رویکرد درخت خطای پویا (DFTA^۴) و شبیه‌سازی مونت کارلو (Rao et al., 2009) و سیستم خبره فازی سلسله‌مراتبی^۵ جهت ارزیابی خرابی مخازن آب (Fares and Zayed, 2010) اشاره نمود.

همچنین مطالعات مرتبط دیگری نیز توسط محققان مختلف صورت پذیرفته است. در این زمینه، (Tavakolifar 2008) روشی را به منظور ارزیابی و افزایش آمادگی تصفیه‌خانه‌های آب شهری در برابر شرایط بحرانی و حوادث ارائه کرد. از دیگر فعالیت‌های مرتبط در این زمینه می‌توان به بررسی راهکارهای اجرایی در خصوص گذر از شرایط بحرانی و اضطراری ناشی از وقوع حوادث طبیعی در تصفیه‌خانه‌های آب (Atayifar, 2009)، محاسبه شاخص وضعیت تصفیه‌خانه‌های آب شرب شهرها با در نظر گرفتن پارامترهای اقتصادی، فیزیکی، زیست‌محیطی و عملکردی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (Rahman and Zayed, 2009)، استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره به منظور تعیین اهمیت و ارزش بخش‌های مختلف تصفیه‌خانه‌های آب با به کارگیری روش میانگین وزنی مرتب شده (OWA^۶) (Behboodian et al., 2011)، ارزیابی و ارائه سناریوهای بهینه برای مدیریت سیستم آب شهری با استفاده از تحلیل و مدیریت ریسک (Roozbahani, 2012)، مدل ارزیابی آسیب‌پذیری فازی یکپارچه جهت امکانات بحرانی در مقابله با تروریسم (Akgun et al., 2010)، مدل‌سازی و ارزیابی تحلیل ریسک گاز کلر در تصفیه‌خانه‌های آب (Artimani et al., 2012)، ارزیابی پروژه‌های تصفیه فاضلاب بر مبنای ریسک (Mirabi et al., 2014)، تدوین الگوریتمی برای تحلیل و مدیریت ریسک در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب (Tabesh et al., 2015)، ارزیابی ریسک و مدیریت مجموعه فاضلاب و سیستم‌های تصفیه با استفاده از روش‌های FMADM^۷ (Asgarian et al., 2013) اشاره نمود.

ضرورت و حساسیت حفظ و بقای زیرساخت‌های کشور در شرایط وقوع بحران، برهیج کسی پوشیده نیست. بلایای طبیعی، جنگ‌ها، اقدامات خرابکارانه و تروریستی، مشکلات ناشی از عدم عملکرد صحیح و مشکلات موجود در بهره‌برداری، از جمله این بحران‌ها محسوب می‌شوند. تصفیه‌خانه‌های آب شهری، از جمله تأسیساتی هستند که در صورت مواجه شدن با بحران، می‌توانند عواقب غیرقابل جبرانی را به بار آورند. این امر بدین دلیل است که آب خروجی از تصفیه‌خانه‌های آب شرب، مستقیماً با مردم در ارتباط است و نیازهای اولیه از جمله آشامیدن و بهداشت، متأثر از آن‌ها می‌باشند. با توجه به این که تأسیسات، اهداف مناسبی برای مهاجمان محسوب می‌گردند، ارتقاء و افزایش قابلیت بقاء و مقاومت در برابر تهاجمات، امری ضروری تلقی می‌گردد. به همین منظور اقداماتی برای تأسیسات در دست مطالعه و همچنین تأسیسات موجود، باید صورت گیرد تا الزامات بیان شده، تأمین شود. اقداماتی مهندسی که برای افزایش قابلیت بقاء در حین بحران و کاهش آسیب‌پذیری، در زمان‌هایی غیر از وقوع بحران صورت می‌پذیرد و در اصطلاح، مجموعه این اقدامات تحت عنوان پدافند غیرعامل شناخته می‌شوند. با توجه به اهمیت پدافند غیرعامل در بخش زیرساخت‌های مهندسی آب، کمیته‌هایی برای ساماندهی امور در این زمینه در شرکت‌های آب منطقه‌ای و شرکت‌های آب و فاضلاب ایجاد شده‌اند. از اهداف اصلی این کمیته‌ها می‌توان به تدوین و اجرای طرح‌های ایمنی و مقاوم‌سازی، تعیین الگوی مصرف اضطراری آب و تدوین برنامه آموزش عمومی برای آشنایی مردم با محدودیت‌های مصرف آب در شرایط بحرانی اشاره کرد. در ادامه به مرور تعدادی از مطالعات پیشین مرتبط پرداخته شده است.

(Fujiwara and Chen 1993) قابلیت اطمینان سیستم تأمین آب شهری را با در نظر گرفتن عملکردهای اطمینان‌پذیری تصفیه‌خانه‌های آب مورد بررسی قرار دادند و ریسک شکست سیستم تصفیه‌خانه را در تأمین کمی و کیفی آب با استفاده از شاخص قابل اطمینان ساده محاسبه نمودند. در این زمینه فعالیت‌های دیگری نیز انجام شده است که از جمله می‌توان استفاده از ابزار شبیه‌ساز شبکه‌های عصبی در بهره‌برداری از سیستم تصفیه‌خانه (Adgar et al., 2000)، ارزیابی قابلیت اطمینان فرآیند تصفیه‌خانه‌های آب با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مکانیکی و هیدرولیکی (Eisenberg et al., 2001)، استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره PROMETHEE^۸ به منظور رتبه‌بندی سناریوهای مدیریت ریسک در سامانه تأمین آب (Simon et al., 2004)، ارزیابی گزینه‌های مختلف تأمین آب شهر با استفاده از برنامه‌ریزی سازشی^۹ با لحاظ ملاحظات اقتصادی، اجتماعی،

یک مدل تحلیل ریسک جامع برای ارزیابی سامانه تأمین آب ارائه کردند. در این مطالعه، اجزای کلی سامانه تأمین آب از مبدأ تا مقصد مد نظر قرار گرفت اما در آن، جزییات مربوط به پدافند غیرعامل و نیز اجزای مختلف تصفیه‌خانه در نظر گرفته نشده.

علاوه بر موارد ذکر شده، اجرای اتاق جلوگیری از پخش گاز کلر در تصفیه‌خانه شماره یک (تصفیه‌خانه جلالیه) تهران، ایجاد موانع دید مستقیم در تصفیه‌خانه‌های شماره یک و دو تهران، راه‌اندازی سامانه جدید تله‌متری تأسیسات توزیع آب تهران، ایجاد سامانه‌های تله‌متری و مونیورینگ تأسیسات آب شهرهای پارسین، بندرعباس و حاجی‌آباد، تأسیس و راه‌اندازی آزمایشگاه مجهز مرکزی آب و فاضلاب بندرعباس، بررسی کیفیت آب منابع سطحی و زیرزمینی از لحاظ شیمیایی و هسته‌ای را می‌توان از جمله اقدامات اجرا شده در کشور در بخش پدافند غیرعامل، در بخش آب عنوان کرد. همانطور که مطرح گردید، تدوین دستورالعمل‌های لازم، اولین اقدام در اجرای اصول و سیاست‌های پدافند غیرعامل است. این دستورالعمل‌ها لازم است برای حفاظت از کلیه زیرساخت‌ها و تأسیسات حیاتی و ارائه راهکارهایی عمومی و تخصصی برای جلوگیری از افت کارایی یک سیستم تصفیه و انتقال آب و نیز کاهش خسارات در اثر یک حمله احتمالی نظامی یا تروریستی تدوین شوند و ملاحظات پدافند غیر عامل در طراحی تصفیه‌خانه‌ها، مخازن، ایستگاه‌های پمپاژ و خطوط انتقال آب اعمال گردند. از آنجایی که انتخاب همه راه‌کارها، هزینه‌های اعمال ملاحظات پدافند غیرعامل را افزایش می‌دهد؛ بنابراین، مهندس طراح باید مجموعه‌ای از راه‌کارهای مناسب را با توجه به موقعیت مکانی طرح، اهمیت اقتصادی و اجتماعی طرح، مشخصات تهدیدهای اصلی نظامی و تروریستی انتخاب نماید. تاکنون یک روش کاربردی برای انتخاب بهترین ملاحظات پدافند غیرعامل مبتنی بر تحلیل ریسک برای تصفیه‌خانه‌های آب شرب با توجه به محدودیت‌های اقتصادی برمبنای مدل‌های تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و استنتاج شهودی^۸ ارائه نشده است؛ بنابراین در این پژوهش به این موضوع مهم پرداخته خواهد شد. علاوه بر این، نحوه انتخاب و رتبه‌بندی ملاحظات پدافند غیرعامل در تصفیه‌خانه‌های آب (تصفیه‌خانه سلمان فارسی به عنوان مطالعه موردی) برمبنای تحلیل ریسک ارائه شده است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- بازدید میدانی تصفیه‌خانه آب جهت بررسی چالش‌های موجود

به‌منظور بررسی دقیق‌تر چالش‌های موجود از منظر ملاحظات پدافند غیرعامل، بخش‌های مختلف عملکردی تصفیه‌خانه سلمان فارسی

برمبنای بررسی میدانی از تصفیه‌خانه تشریح شده است. مراحل اصلی تصفیه و پالایش آب در تصفیه‌خانه آب سلمان فارسی عبارتند از:

۱. ورود و کنترل آب
۲. پیش‌تصفیه
۳. کلرزی اولیه و نمونه‌گیری
۴. انعقاد و لخته‌سازی
۵. ته‌نشینی اولیه (اختلاط کند و لجن)
۶. فیلتراسیون شنی
۷. کلرزی ثانویه
۸. پمپاژ
۹. ذخیره‌سازی در مخزن
۱۰. انتقال
۱۱. خطوط انتقال آب

بر اساس بازدیدهای انجام‌شده، برخی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در تصفیه‌خانه سلمان فارسی از نظر ملاحظات پدافند غیرعامل به شرح زیر می‌باشند:

● سیستم تصفیه‌خانه آب سلمان فارسی عملاً در حالت مقادیر کمتر از ظرفیت اسمی تصفیه‌خانه در حال تأمین نیازهای آبی منطقه می‌باشد؛ اما به علت عدم وجود یک سیستم موازی پشتیبان برای تأمین آب در شرایط عدم کارکرد تصفیه‌خانه، هیچ ظرفیت پشتیبانی در سیستم وجود ندارد.

● سیستم پایش کیفیت آب خودکار در تصفیه‌خانه آب سلمان فارسی وجود ندارد. سیستم پایش غیراتوماتیک تصفیه‌خانه نیز که توسط مدیریت آزمایشگاه انجام می‌گردد، تنها متغیرهای کیفی محدودی مانند سختی، کلر باقیمانده، PH و کدورت را پایش می‌کند. حتی آزمایشگاه‌های شرکت آب و فاضلاب نیز آزمایش‌های لازم برای تعیین سموم ناشی از حملات تروریستی محتمل را انجام نمی‌دهند.

● بسیاری از واحدهای تصفیه‌خانه آب سلمان فارسی کاملاً به صورت سری کار می‌کنند و در صورت وجود یک مشکل جدی در یکی از بخش‌های هر واحد، امکان از کار افتادن کل تصفیه‌خانه وجود خواهد داشت.

● ملاحظات اولیه پدافند غیرعامل در طراحی تصفیه‌خانه موجود سلمان فارسی رعایت نشده است. به‌عنوان مثال در صورت سرریز آب یا انفجار هریک از واحدهای تصفیه‌خانه، آب رها شده در محوطه، ممکن است به سمت محل قرارگیری پمپ‌ها در زیرزمین حرکت کند که منجر به غرق‌شدن سریع پمپ‌ها می‌گردد.

● از آنجا که گاز کلر بسیار سمی است و نیز به علت سنگین‌تر بودن از هوا در سطح زمین باقی می‌ماند. نشت گاز کلر می‌تواند خسارات جانی در پی داشته باشد. بنابراین حفاظت از محل‌های نگهداری

کارکنان یک مجموعه و یا منابع^۹، می‌تواند مانع انجام تحلیل ریسک سیستماتیک و کمی شوند. در این مواقع، رویکرد فازی می‌تواند به‌عنوان یک راه‌حل مناسب برای تبدیل ارزیابی ریسک کیفی^{۱۰} به مقادیر فازی^{۱۱} و متعاقباً ارزیابی کمی ریسک در قالب توسعه یک مدل ارزیابی ریسک تجمیعی^{۱۲}، مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق، از عدد فازی مثلثی^{۱۳} (TFN) به‌منظور تعیین و کمی‌سازی مقادیر فازی داده‌های کمی^{۱۴} استفاده شده است. هم‌چنین از ترم‌های زبانی^{۱۵} جهت استنتاج تقریبی^{۱۶} استفاده گردیده است. در هنگام تحلیل ریسک، شدت^{۱۷} خرابی و احتمال^{۱۸} ریسک، می‌بایست در نظر گرفته شود. در این تحقیق، شدت خرابی مشخص‌کننده‌ی ماهیت خطر است، که نشان‌دهنده‌ی تأثیر مضر و منفی ریسک مورد نظر می‌باشد. شدت خرابی، خود حاصل شدت^{۱۹} و میزان آسیب‌پذیری^{۲۰} ریسک می‌باشد. احتمال ریسک، اشاره به شانس وقوع ریسک دارد و اثرات ناشی از وقوع ریسک بر پایه تاریخچه موجود از عملکرد سیستم موردنظر یا دیگر سیستم‌های مشابه آن استوار می‌باشد. در این تحقیق، مقیاس‌های کیفی با استفاده از TFNs بیان می‌شوند تا شامل ابهام در ماهیت زبانی از تعاریف خطر باشد. جدول ۱ این مقیاس‌های کیفی زبانی را برای شدت و احتمال وقوع ریسک بیان می‌کند. توابع عضویت برای مقیاس‌های کیفی در ۱۱ سطح ارائه شده در جدول ۱، در معادله ۱ توضیح داده شده‌اند. نمونه‌ای از کاربردهای دیگر این رویکرد را می‌توان در مطالعه Lee (1990) در مدل ارزیابی ریسک مشاهده نمود.

$$\mu_{N1}(x) = \begin{cases} 1 - 10x, & 0 \leq x \leq 0.1, \\ 0, & 0.1 \leq x \leq 1.0 \end{cases}$$

$$\mu_{N1}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq (n-2)/10 \\ 10x - (n-2), & (n-2)/10 \leq x \leq (n-1)/10 \\ n - 10x, & (n-1)/10 \leq x \leq n/10 \\ 0, & n/10 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

$$n = 2, 3, \dots, 10$$

$$\mu_{N11}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 0.9, \\ 10x - 9, & 0.9 \leq x \leq 1.0 \end{cases}$$

برای تعیین مقدار^{۲۱} و درجه^{۲۲} خطر، دو عامل احتمال و شدت خرابی خطر در یکدیگر ضرب می‌شوند تا ارزیابی ریسک به‌دست آید. حاصل ضرب دو تابع عضویت TFN، نیز فازی است، اما لزوماً از نوع مثلثی نمی‌باشد. برای ساده‌سازی محاسبات ضرب، تقریب استاندارد استفاده شده است. تقریب استاندارد به شرح زیر تعریف می‌شوند:

$$B \rightarrow \langle b_1, b_2, b_3 \rangle$$

$$C = A \otimes B \quad (2)$$

$$C \rightarrow \langle a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3 \rangle$$

برای اطمینان از دقت ارزیابی، ارزیابی ریسک گروهی در مدل استفاده شده است.

کپسول‌های گاز کلر و محل تزریق گاز کلر به آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در حالی که در تصفیه‌خانه سلمان فارسی این بخش‌ها در روی زمین و در ساختمان‌هایی معمولی قرار دارند. موضوع حفاظت ویژه محل نگهداری کپسول‌های گاز کلر و کلرزی بسیار مهم است. این بخش‌ها باید زیرزمینی و مقاوم احداث شوند.

● عدم وجود سیستم‌های کنترل اتوماتیک برای مخازن و ایستگاه‌های پمپاژ به‌طوری که ممکن است به‌دلیل اشتباهات بهره‌بردار، مشکلات متعددی حاصل گردد. به‌عنوان مثال به علت خواب ماندن یک مسئول تلمبه‌خانه، آب از مخزن، می‌تواند سرریز گردد. در نتیجه این امر، پمپ‌ها زیر آب غرق می‌گردند و ممکن است به مدت نسبتاً طولانی، پمپ‌ها از مدار خارج و تأمین آب به مدت زیادی قطع گردد.

● به‌لحاظ سازه‌ای، در مجموعه تأسیسات موجود امکان تأمین ایمنی کامل در برابر تهدیدات نظامی عملاً وجود ندارد و هر بخشی از مجموعه که مورد هدف واقع شود، ضمن از بین رفتن کامل آن بخش، آسیب قابل توجهی به حد وسیعی از سازه‌های اطراف وارد خواهد شد.

● با توجه به اهمیت تصفیه‌خانه، بهتر است سازه‌های موجود، در برابر تهدید زلزله مجدداً کنترل و در صورت نیاز مقاوم‌سازی شوند.

● لازم است در طراحی ساختار جدید تأسیسات به این نکته توجه شود که کمینه بخش‌های ضروری و حیاتی تأسیسات در سازه‌هایی قرار گیرند که در صورت اصابت مستقیم تهدید، آسیب کمتری ببینند و شرایط استتار در آن‌ها رعایت شده باشد. مشخص است که نمی‌توان تصفیه‌خانه‌ای مقاوم در برابر حملات نظامی طراحی کرد و اصولاً این کار از نظر اقتصادی و مهندسی، منطقی نیست. توصیه اصلی این است که یک تصفیه‌خانه اضطراری با فاصله از تصفیه‌خانه اصلی احداث شود و در صورت بحران، آن تصفیه‌خانه وارد مدار شود. تصفیه‌خانه اضطراری فقط کار گندزدایی آب را انجام خواهد داد.

● ارتعاشات شدید ناشی از انفجار و حرکت زمین می‌تواند سبب شکستگی اتصالات تأسیسات موجود و یا آسیب آن‌ها گردد. از اینرو، ارائه تمهیدات لازم در این خصوص، ضروری می‌باشد. به‌عنوان مثال، بر اساس ملاحظات پدافند غیرعامل، تأسیسات دارای حساسیت بیشتر، نمی‌بایست دارای تابلوی نشان‌دهنده محل احداث باشند.

۲-۲-۲- مدل‌های تحلیل ریسک پایه

در این بخش، جزئیات دقیق مربوط به مدل تحلیل ریسک سلسله‌مراتبی فازی تدوین شده برای ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه سلمان فارسی ارائه شده است.

۲-۲-۱- کاربرد تئوری فازی در ارزیابی ریسک

در بسیاری از حالات، محدودیت‌ها در کیفیت داده‌ها، و نیز در زمان،

Table 1- Linguistic classification of hazard factors and corresponding triangular fuzzy numbers

جدول ۱- طبقه‌بندی زبانی نمرات عوامل خطر و اعداد فازی مثلثی متناظر

Level ranking	Qualitative explanation for degree of risk severity (s)	Qualitative explanation for degree of risk probability (I)	Fuzzy triangular numbers (TFNs)
1	Definitely mild	Definitely low	(0.0,0.0,0.1)
2	Very mild	Very low	(0.0,0.1,0.2)
3	Nearly mild	Nearly low	(0.1,0.2,0.3)
4	Mild	Low	(0.2,0.3,0.4)
5	Slightly mild	Slightly low	(0.3,0.4,0.5)
6	Medium	Medium	(0.4,0.5,0.6)
7	Slightly severe	Slightly high	(0.5,0.6,0.7)
8	Severe	High	(0.6,0.7,0.8)
9	Nearly severe	Nearly high	(0.7,0.8,0.9)
10	Very severe	Very high	(0.8,0.9, 1.0)
11	Definitely severe	Definitely high	(0.9,1.0,1.0)

رسیدگی به مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است. در روش معمولی AHP، مقایسه دوجه‌دو با استفاده از مقیاس نه نقطه‌ای^{۲۸} صورت می‌پذیرد؛ که ترجیحات انسان را به گزینه‌های در دسترس از جمله مساوی، متوسط، شدید، بسیار شدید و یا بسیار ارجح تبدیل می‌کند. برای مثال، اگر برای دو عنصر فرض شود که به یک اندازه مهم هستند، در مقایسه، مقیاس ۱ به آن‌ها تعلق می‌گیرد. یا مثلاً برای یک عنصر که نسبتاً از دیگری مهم‌تر است، در تجزیه و تحلیل، مقیاس ۳ به آن‌ها تعلق می‌گیرد. پس از آن، مقیاس‌های ۵، ۷ و ۹ به ترتیب برای توصیف به‌شدت مهم‌تر، بسیار به‌شدت مهم‌تر و فوق‌العاده مهم‌تر استفاده می‌شوند. معکوس اعداد مذکور، یعنی ۱، ۱/۲، ۱/۳، ... و ۱/۹ نیز برای مقایسه معکوس استفاده می‌شوند. مقایسه دوجه‌دو از صفات در هر سطح در ساختار سلسله مراتبی، در یک ماتریس متقابل مرتب می‌گردند (Saaty, 1980). به‌طور کلی، ماتریس‌های مقایسه به صورت $A = (a_{ij})$ که A یک ماتریس متقابل به فرم $a_{ij} = 1/a_{ji}$ است، تعریف می‌شوند. وزن نسبی عناصر در هر سطح در مقایسه با عنصر دیگر به‌عنوان اجزای بردار ویژه نرمال در ارتباط با بزرگترین مقدار ویژه از ماتریس مقایسه‌ای A محاسبه می‌شوند. روش‌های زیادی وجود دارد تا بردار اولویت‌ها را برای ماتریس به‌دست آورد. جدول ۲ به‌عنوان مثال، با استفاده از AHP به‌منظور برآورد وزن، برای پنج معیار اصلی در ساختار زنجیره تأمین، با روش نرمال کردن میانگین هندسی سطح‌ها را نشان می‌دهد. هنگام انجام مقایسه دوجه‌دو، ارزیابان می‌توانند دانش و تجربه خود را در انتخاب یک منبع خاص با در نظر گرفتن ماهیت محصول و محیط بازار به کار گیرند. در این پژوهش، پس از انجام بازدیدهایی از وضعیت موجود در تصفیه‌خانه سلمان فارسی و همچنین گردآوری اطلاعات از کارشناسان آبفای فارس و مسئولین تصفیه‌خانه به منظور ارائه راهکارهای کاربردی و مشاوره با اساتید دانشگاه‌های شیراز و تهران، مجموعه‌ای جامع از راهکارهای اجرایی در قالب پرسشنامه تهیه و تدوین شد. پس از اخذ نظرات کارشناسان،

ابتدا، یک تیم (گروه) ارزیابی ریسک تشکیل می‌شود. با ارجاع به جدول ۱، مجموعه‌ای از اعداد صحیح (از ۱ تا ۱۱) به دو عنصر برای هر مورد خطر در مدل سلسله مراتبی توسط ارزیابان با توجه به تجزیه و تحلیل خود از خطر داده می‌شود. با استفاده از میانگین هندسی فازی، هر دو درجه‌بندی فازی برای شدت (\tilde{S}_i) و احتمال (\tilde{I}_i) هر مورد را می‌توان با استفاده از معادلات (۳) و (۴)، به ترتیب، به‌دست آورد:

$$\tilde{S}_i = (\tilde{S}_{i1} \otimes \tilde{S}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{S}_{in})^{1/n} \quad (3)$$

$$\tilde{I}_i = (\tilde{I}_{i1} \otimes \tilde{I}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{I}_{in})^{1/n} \quad (4)$$

با درجه‌بندی فازی، سطح خطر شناسایی شده را می‌توان به‌صورت جداگانه به شرح زیر محاسبه نمود:

$$\tilde{g}_i = \tilde{S}_i \otimes \tilde{I}_i = (Lg_i, Mg_i, Ug_i) \quad (5)$$

که Lg_i ، Mg_i و Ug_i نشان‌دهنده مقادیر پایین‌تر، متوسط و بالا از درجه فازی از آیتام نام خطر هستند. از آنجا که محاسبات تاکنون شامل متغیرهای فازی می‌باشند، گام بعدی این است که درجات، غیرفازی^{۲۳} شوند تا آمار و ارقام معنی‌دار برای تجزیه و تحلیل به‌دست آیند (به عنوان مثال رتبه‌بندی). بدین منظور، با وجود روش‌های متعدد در تایخچه مطالعاتی، در این پژوهش از روش مرکز سطح^{۲۴} استفاده گردید:

$$g_i = \frac{[(Ug_i - Lg_i) + (Mg_i - Lg_i)]}{3} + Lg_i \quad (6)$$

هرچه مقدار حاصل از معادله ۶ بیشتر باشد، سطح خطر ارزیابی شده، بیشتر خواهد بود.

۲-۲-۲- تجزیه و تحلیل وزن‌های معیارها با AHP

برای گنجاندن همه معیارهای در نرخ خطر تجمیع شده^{۲۵}، ضروری است که بدانیم اهمیت نسبی یک معیار^{۲۶} یا زیر معیار^{۲۷} نسبت به سایر معیارها چقدر می‌باشد. به عبارت دیگر، ارزیابان خطر می‌بایست برای معیارهای اصلی، وزن‌هایی در نظر بگیرند. AHP به‌طور گسترده برای

این نظرات به کمک روش استنتاج شهودی، به صورت امتیازی از یک تا صفر برای هر راهکار تبدیل می‌شود (یک برای کمترین اولویت و صفر برای بیشترین اولویت). برای نمونه، در جدول ۳ امتیازهای ده مورد از مهمترین راهکارهای مورد نظر، ارائه گردیده است.

۳- نتایج و بحث

در این بخش، جزئیات دقیق مربوط به ریسک خطرها و بخش‌های مختلف عملکردی سیستم تصفیه‌خانه آب مورد بحث قرار خواهند گرفت.

۳-۱- تحلیل کلی ریسک هر یک از عوامل تهدیدکننده

تحلیل ریسک کلی هر یک از عوامل تهدیدکننده، بر مبنای مدل تحلیل ریسک تدوین شده، صورت پذیرفته است. درصد مشارکت هر یک از عوامل در ریسک کل سیستم، در جدول ۴ ارائه شده است.

بر اساس نتایج به دست آمده از تحلیل داده‌ها، مخاطره‌آمیزترین عوامل به ترتیب عبارتند از:

۱. زلزله
۲. انفجار ناشی از حملات نظامی

۳. عمر قطعات
 ۴. عدم نصب سیستم مونیترینگ و بازرسی
 ۵. شکست تجهیزات
 ۶. نیروی انسانی ناکافی / ناکارآمد
- موارد اشاره شده در بالا همگی بیش از ۱۰ درصد ریسک کل را شامل می‌شوند.

۳-۲- تحلیل کلی ریسک برای هر یک از واحدهای تصفیه‌خانه
در این قسمت، جمع‌بندی مربوط به درصد مشارکت هر یک از واحدها به صورت نمودار میله‌ای، در شکل ۱ نمایش داده شده است.

۳-۳- تحلیل ریسک برای هر یک از عوامل تهدیدکننده (خطرات)

در ادامه به ارزیابی هر یک از عوامل تهدیدکننده سیستم تصفیه‌خانه آب سلمان فارسی پرداخته می‌شود. برای این سیستم بر اساس نظر کارشناسان و تهیه‌کنندگان این گزارش، ۱۳ عامل تهدیدکننده کیفیت و یا کمیت سیستم تصفیه‌خانه آب را می‌توان متصور بود. این ۱۳ عامل تهدیدکننده کیفیت یا کمیت آب عبارتند از:

Table 2- An example of pairwise comparison of main criteria for determining their weights using AHP method

جدول ۲- نمونه‌ای از مقایسه دو به دو معیارهای اصلی برای تعیین وزن آن‌ها به روش AHP

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	Weights
C ₁	1	2	1.3	2	1.2	0.149
C ₂	1.2	1	1.5	1	1.3	0.082
C ₃	3	5	1	5	2	0.438
C ₄	1.2	1	1.5	1	1.3	0.082
C ₅	2	3	1.2	3	1	0.250

Table 3- Prioritizing strategies and scores assigned to them

جدول ۳- اولویت‌بندی راهکارها و امتیازهای مختص به آنها

Rank	Score	Approach
1	0.112	Immunization and sealing the buildings, rooms and stores that are not used steadily
2	0.116	Investigating the possibility of using guard dogs
3	0.130	Determining the sampling frequency of water qualitative indicators
4	0.134	Locking all the electrical panels
5	0.137	Data analysis
6	0.141	Distance from borders and seas (as far as possible)
7	0.143	Separate entrance for clients' vehicles
8	0.145	Reporting and alert
9	0.146	Installing a shield in the air inlet and outlet ducts in the ventilation system
10	0.146	Establishing security units for sensitive installations (such as disinfection units)

Table 4- Risk of each of the threatening factors as percent of the total risk

جدول ۴- درصد ریسک هر یک از عوامل تهدید کننده سیستم از ریسک کل

Threatening factors	Participation rate (%)
Cyber attacks	4.1
Explosion caused by military attacks	11.5
Chemical and biological hazards caused by water contamination	6
Earthquake	13.7
Water contamination	5.4
Landslide	4.8
Drought	3.2
Equipment failure	9.5
Lack of installation of monitoring and inspection system	9.9
Lifetime of parts	10.8
Growth of organisms and chemical leakage	5.1
Design problems	6.8
Inadequate / inefficient manpower	9.2
Total	100

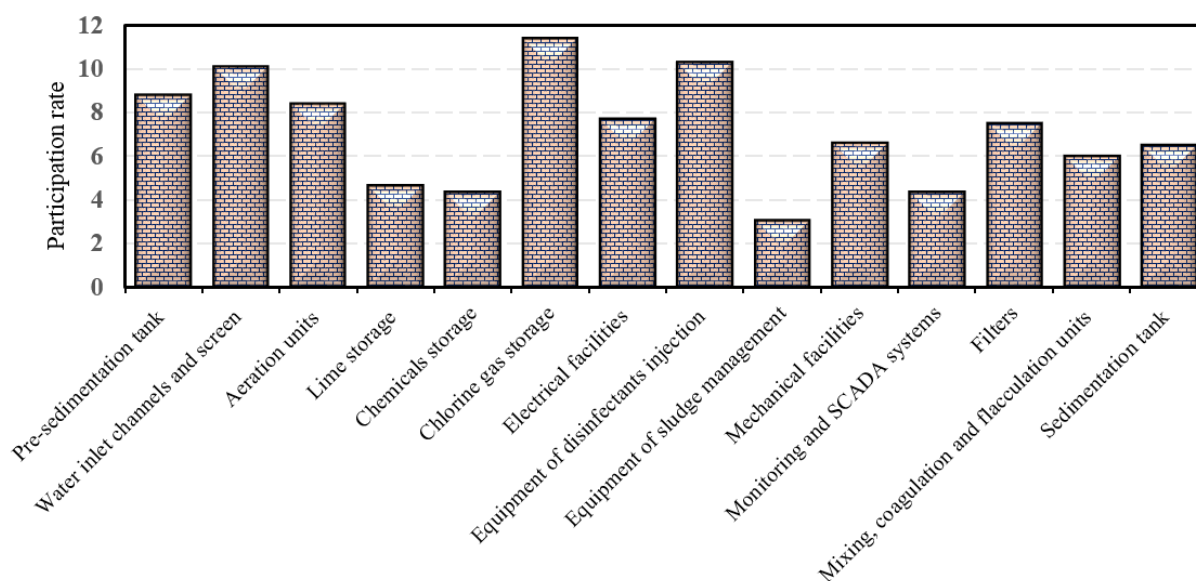


Fig. 1- Percentage of the effective risk contribution to each unit of the water treatment plant in the overall risk

شکل ۱- درصد سهم ریسک مؤثر بر هر یک از واحدهای تصفیه خانه در ریسک کل

- | | |
|--|--|
| ۹. عدم نصب سیستم پایش و بازرسی | ۱. حملات سایبری |
| ۱۰. عمر قطعات | ۲. انفجار ناشی از حملات نظامی |
| ۱۱. رشد ارگانیسمها و نشت مواد شیمیایی | ۳. خطرات شیمیایی و بیولوژیکی ناشی از آلوده کردن آب |
| ۱۲. اشکالات طراحی | ۴. زلزله |
| ۱۳. نیروی انسانی ناکافی / ناکارآمد | ۵. آلودگی آب |
| بر اساس مدل تحلیل ریسک پایه، می توان ریسک هر یک از این | ۶. رانش زمین |
| عوامل تهدید کننده سیستم را به طور مجزا مشخص نمود. در ادامه | ۷. خشکسالی |
| | ۸. شکست تجهیزات |

میزان خطر چهار مورد نخست از عوامل تهدیدکننده به تفصیل ارائه شده است.

۳-۳-۱- حملات سایبری

یکی از عوامل تهدیدکننده سیستم، حملات سایبری می‌باشد. از آن‌جا که برخی از قسمت‌های پایش و کنترل سیستم به‌صورت الکترونیک می‌باشند، امکان وقوع حملات سایبری در سیستم وجود دارد. اگرچه نحوه ارتباط این سیستم با مرکز به‌صورت شبکه داخلی می‌باشد، با این حال امکان حملات سایبری همانند ویروس "استاکس نت" که در سال ۲۰۱۰ میلادی علیه تأسیسات هسته‌ای ایران از سوی کشورهای غربی مورد استفاده قرار گرفت، وجود دارد. در شکل ۲ نتایج حاصل از تحلیل نظرات کارشناسان در خصوص اهمیت حملات سایبری ارائه شده است. لازم به ذکر است که با ترکیب شدت احتمال و آسیب‌پذیری، ریسک سیستم تعیین گردیده است. همان‌طور که در شکل ۲a مشاهده می‌شود بر اساس نظر کارشناسان، بیشترین ریسک حملات سایبری در قسمت خیلی کم (VL) می‌باشد (نزدیک به ۴۰ درصد). با توجه به این شکل، قسمت اعظم ریسک در نیمه سمت چپ نمودار قرار گرفته است (محدوده‌ی امن). درصد مشارکت این عامل در ریسک کل

سیستم تصفیه‌خانه سلمان فارسی، همان‌طور که در جدول ۴ ارائه شده است، مقدار به نسبت کمی می‌باشد (نزدیک به ۴ درصد از ریسک کل). لازم به ذکر است که روند انجام محاسبات و سهم ریسک هر بخش، بر مبنای توضیحات ارائه شده در بخش ۲-۲-۱ می‌باشد.

۳-۳-۲- انفجار ناشی از حملات نظامی

از دیگر عواملی که می‌تواند تأمین آب را به مخاطره بیندازد و به‌نوعی تهدیدی برای سیستم تأمین آب باشد، حملات نظامی به قسمت‌های مهم تصفیه‌خانه می‌باشد. به دنبال حملات نظامی امکان تخریب کامل یا بخشی از سیستم تصفیه‌خانه وجود دارد. در شکل ۲b نتایج حاصل از تحلیل نظرات کارشناسان نسبت به حملات نظامی ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۲b نشان داده شده است، کارشناسان خطر قابل توجهی برای حملات نظامی متصور شده‌اند. به همین دلیل قسمت اعظم نظرات در نیمه راست نمودار (خطر با ریسک بالا) قرار گرفته است. بعد از جمع‌بندی نظر کارشناسان، حدود ۱۲ درصد از ریسک کل سیستم برای حملات نظامی در نظر گرفته شده است (طبق جدول ۴). از این رو حملات نظامی، دومین پدیده مخاطره‌آمیز برای تصفیه‌خانه سلمان فارسی می‌باشد.

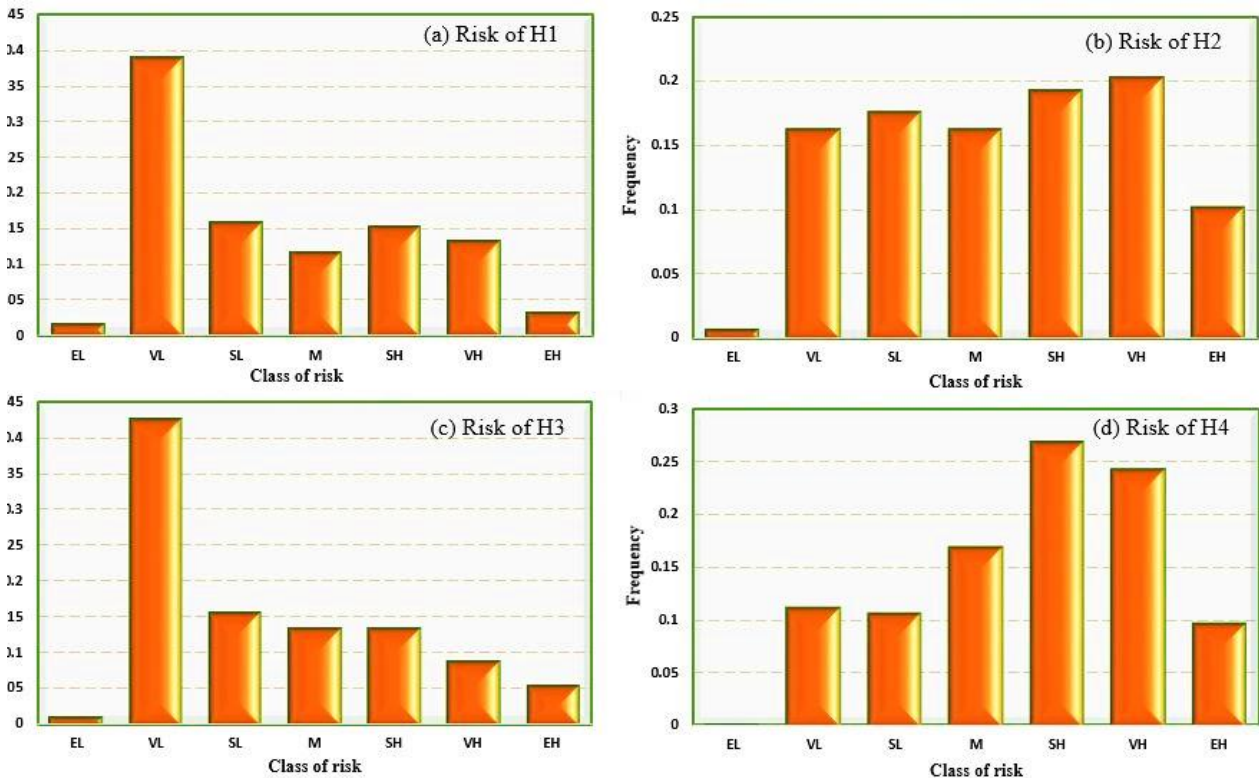


Fig. 2- Risks of: cyber attacks (a-H1), Explosion caused by military attacks (b-H2), Chemical and biological hazards caused by water contamination (c-H3), and Earthquake (d-H4)

شکل ۲- ریسک حملات سایبری در تصفیه‌خانه (a-H1)، ریسک حملات نظامی در تصفیه‌خانه (b-H2)، ریسک خطرات شیمیایی و بیولوژیکی ناشی از آلوده کردن آب در تصفیه‌خانه (c-H3)، ریسک زلزله در تصفیه‌خانه (d-H4)

تمهیدات خاصی برای طراحی تصفیه‌خانه و واحدهای آن در نظر گرفته شود (به علت اینکه این تصفیه‌خانه وظیفه تأمین آب جنوب استان فارس را برعهده دارد). این اهمیت نیز در نظر کارشناسان قابل مشاهده است. بر اساس نظر کارشناسان، بالاترین سهم از ریسک کل را عامل زلزله به خود اختصاص داده است. این سهم حدود ۱۴ درصد از ریسک کل را شامل می‌شود (جدول ۴). به همین دلیل، ارزیابی مجدد پایداری سازه‌ها و تأسیسات مکانیکی موجود در برابر زلزله‌های شدید از اهمیت زیادی برخوردار است.

در این پژوهش برای تجمیع نظرات شش کارشناس، از روش دلفی استفاده شده است. در شکل ۳، نظر تمامی کارشناسان و صاحب‌نظران پس از تجزیه و تحلیل قابل مشاهده است. بر اساس تجمیع نظر کارشناسان، عمر قطعات در تأسیسات مکانیکی، خطر مواد شیمیایی و بیولوژیکی در حوضچه پیش‌ته‌نشینی و یا کانال‌های ورودی آب، آلودگی آب در حوضچه پیش‌ته‌نشینی و یا کانال‌های ورودی آب، عدم نصب سیستم مونیتورینگ و بازرسی در واحدهای هوادهی و به طور کلی زلزله در اکثر واحدها، بیان‌کننده مشکلات موجود در منطقه شماره ۳ (با شدت تخریب و احتمال بیشتر از پنجاه درصد) از میان ۴ منطقه موجود در نمودار می‌باشند. با توجه به شکل ۳، از مجموع ۱۸۲ عامل مخاطره‌آمیز، نقاط قرمز رنگ بیانگر عواملی با شدت تخریب و احتمال رخداد بیشتر از پنجاه درصد می‌باشند، همچنین نقاط آبی رنگ، نقاطی با احتمال رخداد کمتر از پنجاه درصد و شدت بیشتر از پنجاه درصد می‌باشند. این مسأله نیاز به ملاحظات پدافندی را بویژه برای عوامل مخاطره‌آمیز مشخص شده با نقاط قرمز رنگ (نقاطی که احتمال وقوع بالایی داشته ولی در طراحی مد نظر قرار نگرفته‌اند) مطرح می‌سازد.

به علت ماهیت تصفیه‌خانه که وظیفه تأمین آب شرب را برعهده دارد، لازم است که قبل از طراحی تصفیه‌خانه با کارشناسان نظامی در خصوص محل قرارگیری و یا نحوه اختفای تصفیه‌خانه مشورت‌های لازم به عمل آید.

۳-۳-۳- خطرات شیمیایی و بیولوژیکی ناشی از آلوده کردن آب

از دیگر عوامل مخاطره‌آمیز می‌توان به خطرات شیمیایی و بیولوژیکی ناشی از آلوده کردن آب اشاره نمود. نظر کارشناسان در شکل ۲c ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۲c نشان داده شده است، نظر کارشناسان بیشتر در نیمه چپ نمودار قرار گرفته است که نشان از خطر پایین این عامل تهدیدکننده می‌باشد. این عامل دارای درصد مشارکت کم‌تری نسبت به سایر عوامل می‌باشد. میزان سهم این عامل در ریسک کل سیستم طبق جدول ۴، در حدود ۶ درصد می‌باشد.

۳-۳-۴- زلزله

از دیگر عوامل مخاطره‌آمیز می‌توان به وقوع زلزله در محل تصفیه‌خانه اشاره نمود. با توجه به شرایط جغرافیایی محل تصفیه‌خانه که در نزدیکی منطقه قیر و کارزین واقع شده است، این امر بیش از پیش روشن می‌گردد. از آنجا که در این منطقه در سال ۱۳۵۱، زلزله‌ای به بزرگی ۶/۶ در مقیاس ریشتر رخ داده است که یکی از بزرگترین زمین‌لرزه‌های کشور می‌باشد، طراحی لرزه‌ای این تصفیه‌خانه از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. نتایج تحلیل نظر کارشناسان در شکل ۲d نشان داده شده است. همان‌طور که اشاره شده است، تصفیه‌خانه سلمان فارسی در محلی با خطر لرزه‌ای بالا ساخته شده است که می‌بایست

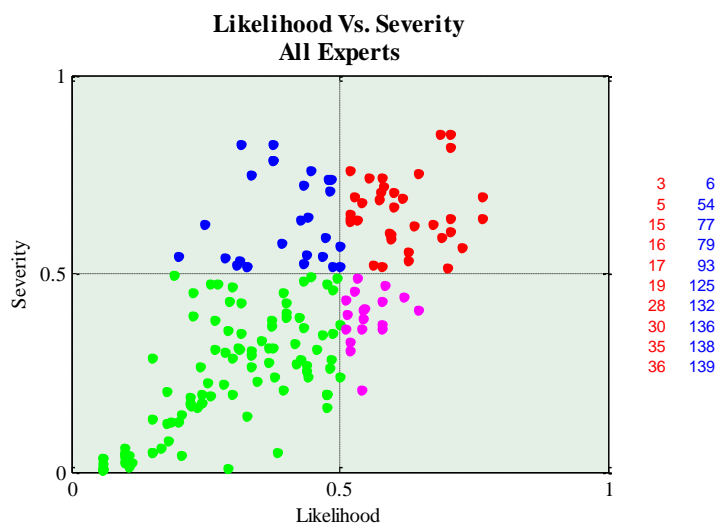


Fig. 3- Consensus opinion of experts
شکل ۳- اجماع نظر کارشناسان

۳-۴- ملاحظات و راهکارهای جامع

راهکارهای لازم برای کاهش ریسک تصفیه‌خانه، در زیر ارائه شده است. این راهکارها برای قسمت‌های مختلف تصفیه‌خانه توضیح داده شده است.

الف- حفاظت محیط پیرامونی: ساده‌ترین راه ورود افراد بیگانه به محیط تصفیه‌خانه از راه زمینی می‌باشد؛ لذا محافظت از محیط اطراف آن از اولین اقدامات لازم می‌باشد.

ب- حفاظت محوطه (فضای مابین تأسیسات و محیط پیرامون): پس از حفاظت از محیط پیرامونی تصفیه‌خانه باید محوطه مابین تأسیسات و ساختمان‌ها به گونه‌ای باشد که نگهبان‌ها به راحتی دید کافی داشته باشند و بتوانند تمام نقاط محوطه را بخصوص در شب ببینند. همچنین حفاظت باید به گونه‌ای باشد که نگهبانان در شب با امنیت بتوانند در محوطه حضور یابند و خطر سقوط در کانال یا تأسیسات آن‌ها را تهدید نکنند.

ج- حفاظت ساختمان، تأسیسات و خطوط لوله: پس از حفاظت‌های اولیه محیطی، باید به جزئیات بیشتری برای حفاظت پرداخته شود. بدین صورت که در مرحله احداث و اجرای تصفیه‌خانه نیز باید به نکات حفاظتی مهم دقت شود.

د- اصول طراحی تصفیه‌خانه آب: در طراحی تصفیه‌خانه آب با توجه به تأسیسات مورد نیاز و اهمیت تأمین آب شرب، باید نکات مهمی در نظر گرفته شوند تا عواملی مانند گرفتگی لوله‌ها، برگشت آب، خرابی یک قسمت از تصفیه‌خانه، آب‌گرفتگی یا قطع شدن ناگهانی برق مانع عملکرد درست سیستم نشوند. لذا در ادامه، برخی نکات مهم ذکر شده‌اند تا هنگام طراحی، مد نظر مهندسان و طراحان تصفیه‌خانه قرار گیرند:

۱. طراحی به صورتی که قطعات حساس قابل جداسازی و جابجایی باشند،

۲. جلوگیری از برگشت آب در خطوط انتقال آب با استفاده از شیرهای یکطرفه،

۳. طراحی یک واحد تصفیه مجزا برای حالت اضطراری (تنها شامل واحدهای آشغالگیری و گندزدایی)،

۴. ایجاد شیرهای مجزاسازی واحدهای مختلف تصفیه‌خانه به صورت خودکار،

۵. مدفون سازی واحدهای حساس با توجه به سطح تهدید مورد نظر (مانند مخازن کپسول‌های گاز کلر)،

۶. استفاده از جامدات کلردار به جای گاز کلر در سطح تهدید زیاد،

۷. جامع‌نگری در طراحی تصفیه‌خانه‌ها و خطوط انتقال شهرها به طوری که امکان تأمین آب، به صورت کمینه از دو منبع یا دو تصفیه‌خانه وجود داشته باشد،

۸. ذخیره‌سازی جامدات کلردار برای جایگزینی گاز کلر در مواقع اضطراری،

۹. ایجاد سیستم تولید برق پشتیبان برای تأسیسات مهم (مانند ایستگاه‌های پمپاژ بسیار مهم)،

۱۰. استفاده حداکثر از شیب طبیعی زمین برای کاهش نیاز به پمپاژ،

۱۱. استفاده از تجهیزاتی که به راحتی قابل خرید و جایگزینی هستند و یا پیش‌بینی قطعات یدکی مناسب

ه- اصول مکان‌یابی و چیدمان واحدها: یکی از اقدامات اساسی در پدافند غیر عامل، انتخاب محل مناسب می‌باشد. تا جایی که شرایط ایجاب می‌کند، باید از ساخت تأسیسات حساس و حیاتی در دشت‌های مسطح و یا نسبتاً هموار اجتناب کرد؛ زیرا تأسیسات احداث شده در چنین محل‌هایی، دارای ضریب آسیب‌پذیری بسیار بالایی بوده و قاعدتاً نمی‌توان آنها را از دید و تیر دشمن مخفی نمود. ایجاد تأسیسات یادشده در کنار بزرگراه‌ها و جاده‌های اصلی، کنار رودخانه‌ها و سواحل دریاچه‌ها، باعث سهولت شناسایی و هدف‌گیری توسط هواپیماهای دشمن خواهد شد. در زیر به تعدادی نکات مهم جهت انتخاب محل مناسب برای احداث تصفیه‌خانه اشاره شده است:

۱. تصفیه‌خانه و تأسیسات آن در صورت امکان نباید در نزدیکی نقاط مشخص (اتوبان، رودخانه و ...) قرار داشته باشند تا در حملات هوایی به راحتی موقعیت آن مشخص نشود،

۲. نزدیک بودن به مراکز نظامی یا ایجاد هماهنگی با نیروهای انتظامی،

۳. استفاده مناسب از عوارض طبیعی زمین برای اختفاء تأسیسات،

۴. ایجاد پراکندگی برای تأسیسات و تجهیزات به منظور کاهش آسیب‌پذیری در مقابل حملات،

۵. دور بودن از مرزها و دریاها تا حد امکان

و- حفاظت سیستم تولید و توزیع برق: با توجه به اهمیت تأمین آب شرب و انتقال آن و رضایت مصرف‌کنندگان ضروری است که تدابیر اساسی در رابطه با جلوگیری از هرگونه قطع شدن برق و از کار افتادن تأسیسات تصفیه‌خانه صورت گیرد.

ز- پیاده‌سازی سیستم ایمنی عمومی: به منظور افزایش ایمنی عمومی در تصفیه‌خانه، لازم است که آموزش کافی به کارکنان داده شود و امکانات مورد نیاز برای مواقع حساس مانند حریق، انفجار یا حمله تأمین شوند و در دسترس کارکنان باشند.

ح- طراحی و اجرای سیستم پایش: به منظور افزایش دقت کنترل تأسیسات و پایش شاخص‌های مدنظر برای تصفیه آب، توصیه می‌شود که از یک سیستم پایش استفاده شود. در زیر، مواردی که با اجرای سیستم پایش باید مدنظر قرار گیرد ذکر شده است:

۱. محافظت از حسگرها و تأسیسات انتقال اطلاعات،

۲. طراحی سامانه پایش کیفیت آب به صورت On-line و Off-line

1. Analytical Hierarchy Process
2. Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
3. Compromise Programming
4. Dynamic Fault Tree Analysis
5. Hierarchical Fuzzy Expert System
6. Ordered Weighted Average
7. Fuzzy Multi-Attribute Decision-Making Techniques
8. Evidential Reasoning
9. Constraints in Data Quality, Time, Personnel or Resources
10. Qualitative Risk Evaluation
11. Fuzzy Values
12. Aggregative Risk Assessment Model
13. Triangular Fuzzy Number
14. Characterize the Fuzzy Values of Quantitative Data
15. Linguistic Terms
16. Approximate Reasoning
17. Severity
18. Likelihood
19. Severity
20. Vulnerability
21. Magnitude
22. Intensity
23. Defuzzify
24. Center of Area
25. Aggregated Risk Rate
26. Criterion
27. Sub-Criterion
28. Nine-Point Scale

۵- مراجع

- Abrishamchi A, Ebrahimian A, Tajrishi M, Marino MA (2005) Case study: Application of multi criteria decision making to urban water supply. *Journal of Water Resources Planning and Management* 131(4):326-335
- Adgar A, Cox CS, Bohme TJ (2000) Performance improvements at surface water treatment works using Annbased automation schemes. *Chemical Engineering Research and Design* 78(7):1026-1039
- Akgun I, Kandakoglu A, Ozok AF (2010) Fuzzy integrated vulnerability assessment model for critical facilities in combating the terrorism. *Expert Systems with Applications* 37(5):3561-3573
- Artimani JS, Arjmand M, Kalaei MR (2012) Modeling and assessing risk analysis of chlorine gas in water treatment plants. *European Journal of Experimental Biology* 2(6):2151-2157
- Asgarian Maedeh, Tabesh M, Roozbahani A, Badali Bavani E (2017) Risk assessment and management of wastewater collection and treatment systems using

۳. انتخاب متغیرهای کیفی شاخص (مانند سموم، کلر باقیمانده، مواد رادیواکتیو و ...)

۴. تعیین فراوانی نمونه برداری برای متغیرهای کیفی شاخص،

۵. تعیین سیستم اصلی و پشتیبان انتقال داده‌ها،

۶. تحلیل داده‌ها،

۷. گزارش دهی و هشدار

ط- تدوین برنامه مدیریت شرایط اضطراری: در بحث مدیریتی در یک تصفیه‌خانه، هم در شرایط عادی و هم اضطراری و بحرانی نیاز است که سناریوها و اقدامات از قبل پیش‌بینی شوند تا در هنگام نیاز، با رجوع به آنها در سریع‌ترین زمان، بهترین اقدام صورت گیرد. در زیر، به عوامل اصلی که باید از قبل تعیین شوند و در دسترس بهره‌بردار یا مجری قرار گیرند اشاره شده است:

۱. تدوین سناریوهای محتمل،

۲. تعیین شرح وظایف سازمان‌ها و بخش‌ها،

۳. پیش‌بینی و تأمین نیروی انسانی، تجهیزات و دیگر منابع مورد نیاز

به منظور انجام مطالعات تکمیلی در خصوص تحلیل ریسک تصفیه‌خانه‌های آب، می‌توان از رویکرد تلفیق وزن‌دهی مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای تعیین وزن معیارها و مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره Fuzzy PROMETHEE به منظور ارائه یک مدل کاملاً فازی تلفیقی از نقاط قوت دو مدل سلسله‌مراتبی و PROMETHEE استفاده نمود. همچنین پیشنهاد می‌گردد که عملکرد تصفیه‌خانه از منظر کیفیت آب خروجی از آن در قالب مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولیکی و کیفی مناسب، شبیه‌سازی گردیده و مدلی به منظور بهینه‌سازی موقعیت سنسورهای تشخیص آلودگی‌های خطرناک ورودی به تصفیه‌خانه و بهینه‌سازی ترتیب اجرای اقدامات امنیتی قابل اجرا ارائه گردد که در صورت تشخیص آلودگی ورودی به تصفیه‌خانه زمان اجرای راه‌اندازی مجدد تصفیه‌خانه و نیز میزان آلودگی خروجی از آن (با تشخیص به موقع و خارج کردن آلودگی از مدار تصفیه‌خانه در حداقل زمان) کمینه گردند.

۴- سپاسگزاری

مقاله حاضر، برگرفته از بخشی از یک طرح پژوهشی، به سفارش و حمایت شرکت آب و فاضلاب استان فارس می‌باشد. بدین وسیله از کلیه مدیران و کارکنان این شرکت تشکر و قدردانی می‌گردد.

- Mirabi M, Mianabadi H, Zarghami M, Sharifi MB, Mostert E (2014) Risk-based evaluation of wastewater treatment projects: A case study in Niasar city, Iran. *Resources, Conservation and Recycling* 93:168-177
- Rahman S, Zayed T (2009) Condition assessment of water treatment plant components. *Journal of Performance of Constructed Facilities* 23(4):276-287
- Rao KD, Gopika V, Sanyasi Rao VVS, Kushwaha HS, Verma AK, Srividya A (2009) Dynamic fault tree analysis using Monte Carlo simulation in probabilistic safety assessment. *Reliability Engineering & System Safety* 94(4):872-883
- Roobahani A (2012) Decision system based on risk for managing the urban water supply systems. Ph.D. Thesis, Tehran University, Tehran, Iran (In Persian)
- Roobahani A, Zahraie B, Tabesh M (2013) Integrated risk assessment of urban water supply systems from source to tap. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 27(4):923-944
- Saaty TL (1980) *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill, New York
- Simon U, Bruggemann R, Pudenz S (2004) Aspect of decision support in water management-example Berlin and Potsdam (Germany) I-spatially differentiated evaluation. *Water Research* 38(7):1809-1816
- Tabesh M, Badali Bavani E, Asgarian M, Rouzbahani A (2015) An algorithm for risk analysis and management of wastewater treatment plants. *Iran-Water Resources Research* 3(10):53-65 (In Persian)
- Tavakolifar H (2008) Providing the assessment algorithm and improving preparedness of urban water treatment plants against crises. M.Sc. Thesis, Tehran University, Tehran, Iran (In Persian)
- Xu YP, Tung YK (2008) Decision-making in water management under uncertainty. *Water Resources Management* 22(5):535-550
- FMADM methods. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering* 1-17, DOI:10.1007/s40996-017-0062-3
- Ashbolt NJ, Petterson SR, Roser DJ, Westrell T, Ottoson J, Schönning C, Stenström TA (2006) Microbial risk assessment tool to aid in the selection of sustainable urban water systems. In: *Proc. of 2nd IWA Leading-Edge on Sustainability in Water-Limited Environments Conference*, Eds: Beck MB, Speers A, IWA Publishing, London
- Atayifar H (2009) Passing the crisis and emergencies in water treatment plants. In: *3rd National Congress of Water and Wastewater*, Tehran (In Persian)
- Behboodian S, Tabesh M, Mirabi M, Dehghani M (2011) Using OWA to determine the different parts of water treatment plants. In: *International Conference of Water and Wastewater*, Tehran, Iran (In Persian)
- Carrière A, Barbeau B, Cantin JF (2007) Vulnerability of drinking water treatment plants to low water levels in the St. Lawrence River. *Journal of Water Resources Planning and Management* 133(1):33-38
- Chowdhury S, Husain T (2006) Evaluation of drinking water treatment technology: An entropy-based fuzzy application. *Journal of Environmental Engineering* 132(10):1264-1271
- Eisenberg D, Soller J, Sakaji R, Aoliveri A (2001) A methodology to evaluate water and wastewater treatment plant reliability. *Water Science and Technology* 43(10):91-99
- Fares H, Zayed T (2010) Hierarchical fuzzy expert system for risk of failure of water mains. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice* 1(1):53-62
- Fujiwara O, Chen HJ (1993) Reliability analysis of water supply systems integrating with treatment plant operations. *Reliability Engineering & System Safety* 42(1):47-53
- Lee CC (1990) Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller, part I and II. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 20(2):404-435