نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۲ شماره ۵، سال ۱۳۹۹، صفحات ۱۲۰۵ تا ۱۲۲۰
DOI: 10.22060/ceej.2019.15289.5873

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

مجید شیخعلی، غلامرضا اسدالله فردی*، سیدشهاب امامزاده

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

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

تاریخچه داوری:
دریافت: ۲۳-۰۸-۱۳۹۷
بازنگری: ۰۳-۱۰-۱۳۹۷
پذیرش: ۱۵-۱۱-۱۳۹۷
ارائه آنلاین: ۲۷-۱۱-۱۳۹۷

کلمات کلیدی:
آسیب پذیری
تحلیل سلسله مراتب
رمکپ
زیرساخت
منابع آب

۱- مقدمه

به‌طورکلی سامانه‌های آب شرب از نقطه تحویل آب تا محل دریافت آب، توسط مصرف‌کنندگان شامل اجزای مختلف و خطرپذیری است [۱]. امروزه بیش از دوسوم تهدیدات معطوف به زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی است و نقش مهم شریان‌های حیاتی در فرآیند مدیریت جامع بحران شهری و ارتباط تنگاتنگ این شبکه‌ها باهم از یک‌سو و ارزش اقتصادی آن‌ها از سوی دیگر باعث می‌شود که توجه ویژه‌ای به آن‌ها شود [۲]. بنابراین دفاع از زیرساخت‌های حیاتی هر جامعه از پیش‌فرض‌های تعیین‌کننده‌ی بقای آن جامعه است. دفاع غیرعامل در شریان‌های حیاتی، مجموعه تمهیداتی است که چنین مراکزی را در برابر تهدیدات انسان‌ساخت عمدی محافظت می‌نماید. ارزیابی آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی و رعایت اصول پدافند غیرعامل تنها ضامن نجات آن‌ها در برابر

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

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

تهدیدها هست [۳ و۴]. سامانه های تأمین و توزیع آب شهری شامل منابع تأمین، خطوط انتقال اصلی، تصفیه خانه ها، مخازن ذخیره و سیستم توزیع آب به طیف وسیعی از مصرف‌کنندگان خدمات‌رسانی می کنند و ازاین‌رو جزو زیرساخت های اساسی در هر شهری به شمار می روند. بروز حوادث طبیعی و غیرطبیعی می تواند موجب شکل گیری بحران های مختلفی همچون تخریب اجرای این سامانه ها، کمبود آب و انتشار آلاینده های شیمیایی و بیولوژیکی شود که ممکن است پیامدهایی از قبیل بیماری و مرگ انسان ها براثر مصرف آب آلوده یا قطع دسترسی به آب کافی را به دنبال داشته باشد [۵]. اکثر این بخش‌های کلیدی گفته‌شده قابل‌دسترس هستند به این دلیل آسیب‌پذیری بالا و ریسک شکست بالایی در برابر تهدیدات طبیعی و غیرطبیعی دارند. حوادث طبیعی شامل سیل، طوفان، زلزله در این پژوهش بحث نشده است. دسته دیگر از تهدیدات، تهدیدات غیرطبیعی از نوع عمدی (انسان‌ساز) است [۱]. این تهدیدات انسان‌ساز می تواند به‌صورت حملات انفجاری مستقیم بوده و یا به‌صورت ورود آلودگی به منابع ذخیره آب شرب باشد [۲]. به‌کارگیری تمهیدات پدافند غیرعامل به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها، ارتقای پایداری ملی، حفاظت از مردم و منابع ملی کشور و تضمین تداوم خدمات به آنان در راستای تکمیل چرخه دفاع غیرنظامی، خواهد بود [۴]. تاریخچه برخی از حملات تروریستی و نظامی علیه تأسیسات آبی عبارت است از :سال ۱۹۷۷: در شمال کارولینا یک مخزن آب با عوامل باکتریایی آلوده‌شده بود.سال ۱۹۸۷: در فیلیپین ۱۹ نفر از پلیس‌های تازه استخدام‌شده بعد از دریافت و نوشیدن آب از افراد ناشناس مردند، و حدود ۱۴۰ نفر هم در بیمارستان بستری شدند [۲]. عراق در طول جنگ تحمیلی و بخصوص عملیات کربلای ۸ برای اولین بار، به‌وسیله موشک‌های کاتیوشا، از گاز سمی علیه اهداف غیرنظامی مثل تصفیه‌خانه آب استفاده نمود و طی آن حمله، اکثر کارکنان تصفیه‌خانه آب خرمشهر مسموم و شهید شدند [۶]. سال ۱۹۹۱: هنگام جنگ خلیج‌فارس، آمریکائی‌ها سامانه‌های تأمین آب بغداد، از قبیل تأسیسات آبی و سدهای روی فرات را هدف قراردادند و عراقی‌ها هم متقابلاً آب‌شیرین‌کن‌های کویت را هدف قراردادند [۶]. سال ۱۹۹۹، در منطقه کوزوو چاه‌های آب به‌وسیله صرب‌ها آلوده شد. سال ۲۰۰۶، حملات گسترده رژیم اشغالگر قدس در جنگ ۳۳روزه، به تأسیسات زیر بنائی و زیرساخت‌های مهم لبنان از قبیل بیمارستان‌ها و تأسیسات آب‌رسانی خسارات گسترده‌ای به آن‌ها وارد نمود [۶]. خسارت وارده به سد و نیروگاه شهید عباس پور در زمان جنگ ایران و عراق که چهار بار موردحمله واقع شد. خسارت وارده به سد و نیروگاه دز در زمان جنگ ایران و عراق، این نیروگاه در سال‌های ۱۹۸۶ و ۱۹۸۷ موردحمله واقع گردید. همچنین ازجمله حوادث عمدی(انسان‌ساز) در این سامانه که درگذشته موجب آسیب‌دیدگی شده است، مسمومیت منابع آب ایالت متحده آمریکا در سال ۲۰۰۲ در دنور توسط اعضای القاعده بوده است [۳]. همچنین آلودگی به‌عمد مخزن آب با علف هرز آلوده در سال ۲۰۰۶ در انگلستان، کشف یک طرح جهت مسموم کردن منابع آبی در سال ۲۰۱۱، مسمومیت دو مخزن بزرگ ۵۰۰۰ لیتری در سال ۲۰۱۱ و مسمومیت ۱۰۰ کودک به علت مسمومیت آب آشامیدنی مدرسه در سال ۲۰۱۲ نمونه هایی از این قبیل به شمار می آیند [۴]. تاریخچه برخی تحقیقات انجام‌گرفته در این زمینه عبارت اند از:

Patterson و همکاران در سال ۲۰۰۷ طی مطالعه‌ای با عنوان شناسایی مناطق بحرانی زیرساخت ها در برابر اقدامات تروریستی که در دانشگاه MIT[1] صورت گرفت، با استفاده از رویکرد احتمالی و با در نظر گرفتن شاخص عملکرد و همچنین شاخص اهمیت مناطق بحرانی با تکنیک‌های تجزیه‌وتحلیل فضایی در یک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مناطق بحرانی ازلحاظ قابل‌دسترس‌تر بودن، برای اقدامات تروریستی را شناسایی کرد [۷].

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

1 Massachusetts Institute Of Technology

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

Ezell در سال ۲۰۰۷ روشی به نام ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت (I-VAM[1]) ارائه نمودند. مدل ارائه‌شده برای یک سیستم آب آشامیدنی به‌اندازه متوسط اعمال شد. در این مدل از کارشناسان متخصص برای ارزش‌دهی، وزن دهی و ارزیابی اقدامات حفاظتی سیستم استفاده شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده I-VAM می‌تواند برای اندازه‌گیری آسیب‌پذیری به سایر زیرساخت‌ها، سامانه‌های نظارت بر کنترل و جمع‌آوری داده‌ها (SCADA[2]) و سامانه‌های کنترل توزیع استفاده شود [۹].

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

Lee در سال ۲۰۰۹ مشابه تحقیق قبلی، کاربرد رویکرد تحلیل ریسک فازی سلسله مراتبی را در ارزیابی تهدیدات کیفیت آب یکی از سامانه‌های تأمین و توزیع آب شهری در کشور آمریکا موردبررسی قرار داده و به تحلیل حساسیت نتایج نسبت به تغییر احتمال و اثر خطرات پرداخته است [۱۱].

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

Tchorzewska در سال ۲۰۱۱روشی را برای تحلیل ریسک سامانه های آب‌رسانی بر مبنای ساخت قوانین فازی بر مبنای ارتباط احتمال، شدت و آسیب‌پذیری ارائه داده‌اند و کاربرد آن را در شبکه ای در کشور لهستان به کار گرفته اند [۱۳].

Nardo و همکاران در سال ۲۰۱۳ در مطالعه ای با عنوان حفاظت از شبکه آب در برابر آلودگی عمدی توسط سیستم تقسیم‌بندی، شبکه آب شهری را از مقیاس بزرگ به کوچک تقسیم کرده و نحوه گسترش آلودگی در مقیاس بزرگ و کوچک را موردبررسی قراردادند. نتایج نشان‌دهنده کاهش خسارت جانی و مالی در صورت تقسیم‌بندی مناسب بود [۱۴].

Maiolo و Pantusa در سال ۲۰۱۸ در تحقیقی به‌عنوان « شاخص آسیب‌پذیری زیرساخت‌های سامانه‌های آب آشامیدنی برای حمله تروریستی» یک مدل برای آسیب‌پذیری زیرساخت سیستم توزیع آب آشامیدنی باهدف ارائه ابزار مدیریت برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیستم در برابر اقدامات تروریستی احتمالی و همچنین افزایش امنیت ارائه دادند. این مدل با استفاده از مجموعه‌ای از شاخص‌ها با اشاره به بخش‌های ساختاری سامانه به دست آمده است و هر دو آلودگی عمدی و آسیب فیزیکی را در نظر گرفته است. در این مدل از روند تحلیل سلسله مراتبی برای محاسبه وزن شاخص ها استفاده شد. این مدل برای سه طرح آب در استان کرتونه (جنوب ایتالیا)[3] انجام شد [۱۵].

عسگری و همکاران در سال ۱۳۹۲ به منظور برنامه ریزی برای مدیریت عملکرد شبکه در شرایط بحرانی، مانند بروز خطرات طبیعی و انسان ساز، الگویی برای ارزیابی ریسک شبکه های فاضلاب در مواجهه با بحران ها تدوین نمودند در این الگو پارامترهای ریسک که احتمال وقوع تهدیدات، شدت اثر آن ها و آسیب پذیری اجزای شبکه بودند، با استفاده از روش های تصمیم گیری چند شاخصه فازی، از طریق پرسشنامه و تعریف معیارهایی برای سنجش اثر آن ها اندازه گیری شدند [۱۶].

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

1 Infrastructure Vulnerability Assessment Model
2 Supervisory Control and Data Acquisition
3 Kartune (southern Italy)

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

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

نخعی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه ی با عنوان ارزیابی ریسک سامانه آبرسانی به روش RAMCAP به ارزیابی ریسک این سامانه پرداخته اند. در بخشی از نتایج که مرتبط با موضوع پژوهش حاضر است به ارزیابی آسیب پذیری سامانه آبرسانی نیز پرداخته شده است که نتایج نشان دهنده آسیب پذیری سدها و تصفیه خانه ها به ترتیب اولویت بیان شده بود [۱۹].

تابش و همکاران در سال ۱۳۹۷ طی ارائه مقاله ای به عنوان ارزیابی خطرپذیری تصفیه خانه های آب یا استفاده از تحلیل درخت خطای فازی (مطالعه موردی تصفیه خانه جلالیه تهران) به ارزیابی ریسک تصفیه خانه با روش تحلیل ریسک درخت خطا با دو رویکرد فازی و ساده پرداخته اند. رویداد نامطلوب شناسایی شده در این مقاله کمیت و کیفیت نامناسب آب بود. با رتبه بندی تهدیدات پایه مشخص شد خرابی تجهیزات برق رسانی، تعمیر و نگهداری نامناسب پمپ ها بیشترین سهم را در رویکرد و عملکرد تصفیه خانه دارند [۲۰].

با آنچه بیان گردید حفظ و نگهداری سیستم تهیه آب شهری شامل مخازن شبکه توزیع آب و تصفیه‌خانه‌ها، تلمبه‌خانه‌ها، سدها، چاه ها ضروری است و به‌عنوان مسئله عمده‌ای در حفظ جان انسان‌ها به شمار می‌آید. لذا این مسئله نیاز به ارزیابی و مطالعه به‌صورت کامل و جامع دارد. بنابراین در پژوهش حاضر موضوع آسیب پذیری تأسیسات آب‌رسان شهری که شامل سدها، تصفیه خانه ها، تلمبه‌خانه ها، مخازن ذخیره و چاها و رودخانه ها در برابر تهدیدات انسان‌ساز و تروریستی موردبررسی قرارگرفته و ضمن ارائه الگویی مناسب جهت ارزیابی آسیب‌پذیری ، تأسیسات با هدف بدست آوردن مقدار آسیب پذیری هر دارایی به صورت کمی مورد ارزیابی قرار گرفته و براساس معیارهای تعریف شده از لحاظ آسیب پذیری رتبه بندی گردیده. مطالعه موردی این پژوهش تأسیسات آب رسانی شهر تهران است.

۲- مواد و روش ها

برای رسیدن به اهداف موردنظر هر پژوهش، استفاده از یک روش تحقیق علمی و نظام‌مند ضروری است. روش پژوهش مورداستفاده در این پژوهش «توصیفی- تحلیلی» است که از تلفیق دو روش RAMCAP[1] و فرایند تحلیل سلسله مراتبیAHP[2] که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری است، بهره گرفته‌شده است. بدین منظور، سعی گردیده از روش های کمی و کیفی به‌صورت توأمان استفاده شود. نمونه موردی انتخاب‌شده برای این پژوهش تأسیسات آب‌رسان شهری تهران با توجه به تراکم جمعیت و موقعیت استراتژیکی فرهنگی و اجتماعی و سیاسی و همچنین ارزش دارایی سامانه آب‌رسان این شهر است. در گردآوری اطلاعات و داده ها به ترتیب از مراجع ذی‌ربط زیر کمک گرفته شد. مرکز مطالعات پدافند غیرعامل کشور و مدیریت بحران، شرکت آب و فاضلاب استان تهران، شرکت های آب منطقه ای تهران، شرکت مدیریت منابع آب ایران، موسسه تحقیقات آب، شرکت ساختمان سد و تأسیسات آبیاری (سابیر)، شرکت مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، گروه پدافند غیرعامل دانشگاه امام حسین، گروه پدافند غیرعامل و سازه های دفاعی دانشگاه صنعتی مالک اشتر و دانشگاه دفاع ملی. در اولویت نخست به دلیل ماهیت موضوع، از روش توزیع قالب پرسشنامه خبره[3]، بین افراد واجد شرایط برای تکمیل پرسشنامه استفاده شد. در ادامه از روش های مصاحبه گزینشی هدفمند و بررسی کتابخانه ای و اسنادی نیز برای تکمیل مطالب استفاده شد. در این پژوهش از روش نمونه‌گیری غیر تصادفی هدفمند (از پیش تعیین‌شده) از نوع نمونه‌گیری ساده استفاده شده است. در پژوهش حاضر افرادی که توانایی پر کردن پرسشنامه خبره تدوین‌شده رادارند و درواقع در طبقات سهمیه ای نحوه نمونه‌گیری انتخاب شدند، می‌بایست دارای شرایط زیر باشند:

۱) کارشناسی، کارشناس ارشد یا دکتری عمران باسابقه

1 Risk Analysis and Management for Critical Asset Protection
2 Analytic hierarchy process
3 Questionnaire template expert

جدول ۱. افراد مورد پرسش قرار گرفته از نظر تحصیلات

Table 1. People interviewed in terms of education

عنوان مدرک	تعداد
کارشناسی	۲۲
کارشناسی ارشد	۱۳
دکترا	۷

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

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

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

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

Table 3. Criteria for achieving the goal[23]

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

فعالیت در حوزه پدافند غیرعامل و مدیریت بحران

۲) کارشناسی، کارشناسی ارشد یا دکتری عمران باسابقه فعالیت در حوزه آب، تصفیه خانه ها، سد و شبکه، سازه های هیدرولیکی، مدیریت ساخت، مطالعات اجتماعی، مطالعات زیست‌محیطی، مطالعات اقتصادی و...

۳) افراد باتجربه بالا و سابقه تحقیقات درزمینه مربوط،مدیران رده‌های اجرایی درزمینه پدافند غیرعامل، مدیریت بحران و صنعت مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی

برای تعیین تعداد افراد، روش AHP قاعده کلی را تعریف نکرده است اما کیفیت را نسبت به کمیت در اولویت قرار داده است [۲۱]. با بررسی منابع مختلف معیار پایدارسازی در رتبه‌بندی، ملاک انتخاب تعداد افراد خبره قرارگرفته شد [۲۲]. در این پژوهش تعداد افراد خبره شناسایی‌شده با ویژگی های تعریف‌شده ۴۲ نفر بودند که به‌عنوان جامعه آماری محسوب شده اند. تقسیم‌بندی درجات علمی کارشناسان خبره به‌صورت جدول ۱ انجام شد.

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

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

جدول ۴. معیارهای شاخص ضعف بخش [۲۳]

Table 4. Weakness Index Criteria[23]

معیار	امتیاز
هدف در برابر کلیه تسلیحات به‌شدت آسیب‌پذیر است	۹
هدف در برابر اغلب تسلیحات آسیب‌پذیر است	۷
هدف در برابر تعدادی از تسلیحات متعارف آسیب‌پذیر است	۵
هدف در برابر تسلیحات متعارف مقاوم است و خسارت به آن نیاز به تسلیحات ویژه دارد	۳
هدف در برابر تسلیحات مختلف آسیب‌پذیر نبوده و به‌سختی می‌توان آسیب وارد کرد	۱

جدول ۵. معیارهای شاخص قابلیت بازسازی [۲۳]

Table 5. Reconstruction Capability Index Criteria[23]

معیار	امتیاز
جایگزینی، تعمیر و مرمت به یک ماه یا بیشتر زمان نیاز دارد	۹
جایگزینی، تعمیر و مرمت به یک هفته تا یک ماه زمان نیاز دارد	۷
جایگزینی، تعمیر و مرمت به۷۲ ساعت تا یک هفته زمان نیاز دارد	۵
جایگزینی، تعمیر و مرمت به۲۴ ساعت تا۷۲ ساعت زمان نیاز دارد	۳
جایگزینی، تعمیر و مرمت در همان روز انجام می‌گیرد	۱

معیارها عبارت‌اند از:

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

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

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

براساس جدول ۵ میزان آسیب پذیری دارایی ها بر مبنای میزان زمانی (در صورتی که دارایی آسیب ببیند) که لازم است تا تعمیر و جایگزینی صورت بگیرد ارزش گذاری می شوند. برای به دست آوردن عدد اولویت بندی آسیب‌پذیری به‌صورت کمی، از روش AHP با مدل‌سازی در نرم‌افزار Super Decisions نسخه ۲/۸ (۲۰۱۵) استفاده شد [۲۴]. در ابتدا پرسشنامه‌ای مبتنی بر روش RAMCAP بر اساس شش معیار گفته‌شده در جدول ۲ تا ۷ طراحی شد و در بین خبرگان ذی‌ربط توزیع و نظرات جمع‌آوری شد. در ادامه برای به دست آوردن عدد اولویت بندی آسیب‌پذیری دارایی ها، داده های پرسشنامه برای مدل‌سازی به روش AHP، وارد نرم‌افزار Super Decisions نسخه ۲/۸ (۲۰۱۵) شد.

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

$$A=\begin{bmatrix} ۱ & a_{۱۲} & \cdots & a_{۱n} \\ \frac{۱}{a_{۱۲}} & ۱ & \cdots & a_{۲n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{۱}{a_{۱n}} & \frac{۱}{a_{۲n}} & \cdots & ۱ \end{bmatrix} \quad (۱)$$

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

$$a'_{ij}=\left(\prod_{\substack{i=۱\\ j=۱}}^{n} a_{ij}\right)^{۱/n} \quad (۲)$$

وزن های هر سطر ماتریس شاخص ها و معیارها به ترتیب از روابط ۳ و ۴ حاصل می شوند:

$$w_i=\frac{\left(\prod_{i=۱}^{n} a_i\right)^{۱/n}}{\sum_{i=۱}^{n}\left(\prod_{i=۱}^{n} a_i\right)^{۱/n}}, i=۱,۲,\ldots,n \quad (۳)$$

$$w_j=\frac{\left(\prod_{j=۱}^{m} a_j\right)^{۱/m}}{\sum_{j=۱}^{m}\left(\prod_{j=۱}^{m} a_j\right)^{۱/m}}, j=۱,۲,\ldots,m \quad (۴)$$

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

$$w_{end\ i}=w_i\times w_j+\ldots+w_i\times w_m \quad (۵)$$

w_i= وزن خالص شاخص i ، $i=۱,۲,\ldots n$: n = تعداد شاخص ها

w_j= وزن معیار j ، $j=۱,۲,\ldots m$: m = تعداد معیارها

$w_{end\ i}$= وزن نهایی شاخص i

جدول ۶. معیارهای شاخص آسیب‌های ثانویه [۲۳]

Table 6. Secondary Injury Index Criteria[23]

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

مقادیر وزن نهایی هر معیار حاصل نظرسنجی جمعی ازرابطه ۶ محاسبه می شود:

$$w'_j=\sqrt[k]{w_{j۱}\times w_{j۲}\times\cdots\times w_{jk}} \quad (۶)$$

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

k = تعداد خبرگان

w_{jk}= وزن نهایی معیار j بر مبنای نظر خبره k ام

وزن نهایی هر شاخص حاصل نظر تجمعی از رابطه (۷) محاسبه می شود:

$$w'_{end\ i}=\sqrt[k]{w_{end\ ۱}\times w_{end\ ۲}\times\cdots\times w_{end\ k}} \quad (۷)$$

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

با مقایسه‌های زوجی دارایی ها توسط نرم‌افزار Super Decisions، نسخه ۲/۸ (۲۰۱۵) عدد آسیب پذیری هر دارایی به دست می آید. اعداد نهایی از ترکیب عدد آسیب پذیری هر دارایی برمبنای هر یک از شش معیار تعریف شده در جدول های ۲ تا ۷ به

جدول ۷. معیارهای شاخص اثرات هم‌افزا [۲۳]

Table 7. Synergistic Effects Index Criteria[23]

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

جدول ۸. عدد ارجحیت [۲۱]

Table 8. Preference number[21]

ارزش	وضعیت مقایسه i نسبت به j	توضیح
۱	ترجیح یکسان	شاخص i نسبت به j اهمیت برابر دارد و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
۳	کمی ارجح	گزینه یا شاخص i نسبت به j کمی مهم‌تر است.
۵	خیلی ارجح	گزینه یا شاخص i نسبت به j مهم‌تر است.
۷	خیلی زیاد ارجح	گزینه i دارای ارجحیت خیلی بیشتری از j است.
۹	کاملاً ارجح	گزینه i از j مطلقاً مهم‌تر و قابل‌مقایسه با j نیست.
۶-۴-۲	بینابین	ارزش‌های بینابین را نشان می‌دهد مثلاً ۸، بیانگر اهمیتی زیادتر از ۷ و پایین‌تر از ۹ است.

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

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

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

جدول ۱۰. حروف اسمی معیارهای آسیب پذیری

Table 10. Names of vulnerability criteria

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

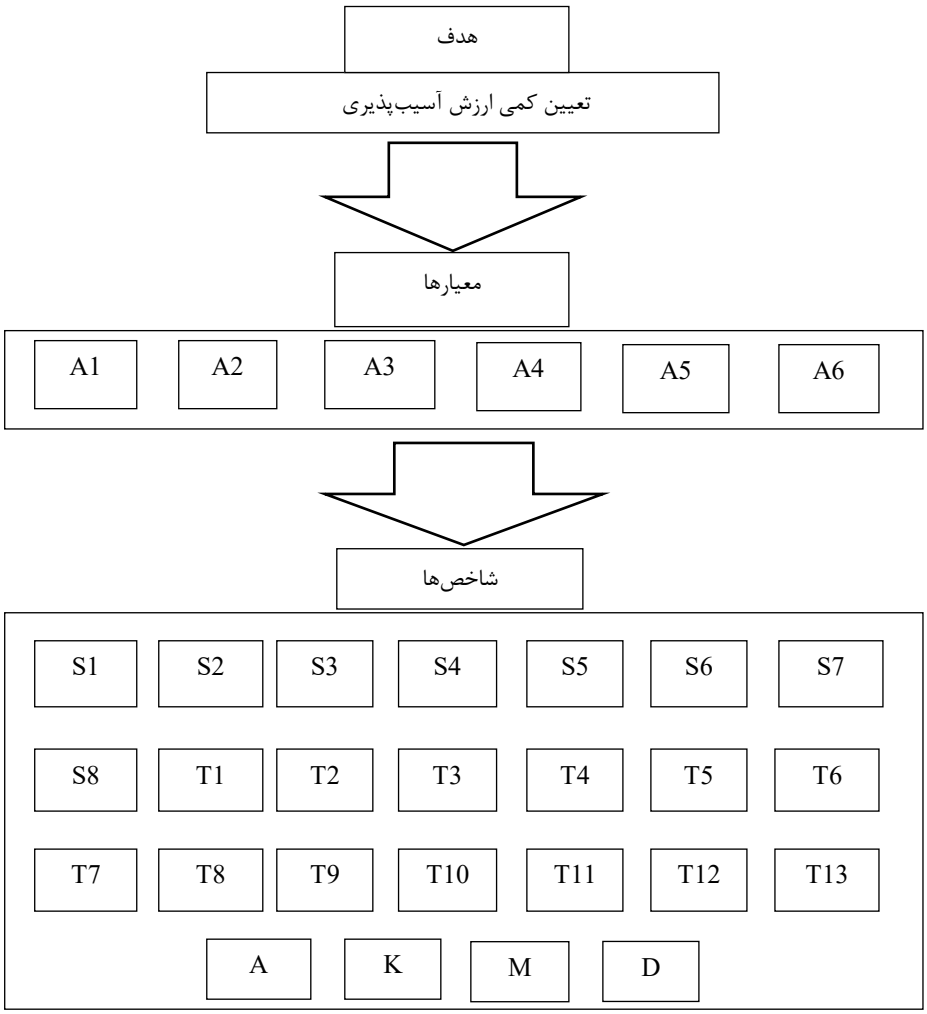
دست می آید. در نهایت بردار ویژه وزن نهایی آسیب پذیری دارایی ها به صورت زیر حاصل می شود:

$$\begin{bmatrix} w'_{end\,1} \\ w'_{end\,2} \\ w'_{end\,3} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ w'_{end\,n} \end{bmatrix} \qquad (۸)$$

برای تهیه پرسشنامه خبره از مقایسه زوجی دارایی های شناسایی شده استفاده شد. برای حصول نظرات دقیق‌تر، داده های جداول ۲ تا ۷ در اختیار هرکدام از خبرگان قرار داده شد. برای امتیازدهی از مقیاس نه درجه ساعتی[1] (بنیان‌گذار AHP) به‌صورت جدول ۸ استفاده شد:

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

1 Saaty



شکل ۱. مدل کلی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تعیین ارزش آسیب‌پذیری داراییها در نرم‌افزار Super Decisions نسخه ۲/۸

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

مدل کلی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین آسیب‌پذیری دارایی ها در نرم‌افزار مربوطه در شکل ۱ مشاهده می شود.

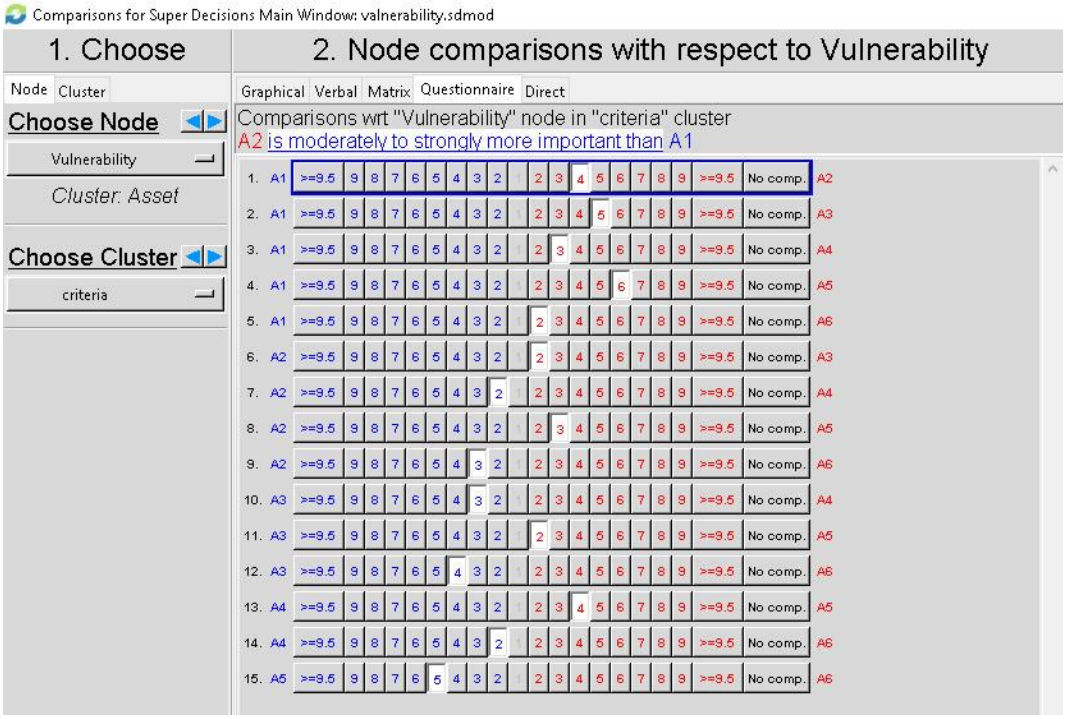
بعد از طرح سلسله مراتبی که طراحی شد، شروع به طرح پرسشنامه خبره گردید. ابتدا معیارها به صورت شکل ۲ در اختیار خبرگان قرار داده شد و از فرد پرسش شونده خواسته شد ارجحیت هرکدام از معیارها در تعیین عدد آسیب پذیری دارایی ها را تعیین کند. هر کدام از معیارها به صورت شکل ۲ دو به دو با هم مقایسه شدند و در نهایت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

در ادامه بر اساس هر یک از معیارها مقایسه های زوجی هر یک از دارایی ها با تمام دارایی های دیگر به‌صورت دوبه‌دو توسط فرد متخصص انجام شد. نمونه مقایسه زوجی آسیب‌پذیری دارایی سد امیرکبیر (S1) با سایر دارایی ها بر اساس معیار جدول ۲ (معیارهای شاخص قابلیت کشف و شناسایی(A1)) در ادامه مشاهده می شود. تمام دارایی به روش گفته‌شده باهم دیگر مقایسه شدند. در ادامه به روش مشابه قبل برای هریک از معیارهای دیگر نیز همین رویه ادامه یافت تا درنهایت تمام مقایسات انجام شد. سؤالاتی که از خبرگان شد:

میزان اهمیت هریک از زیرمعیارهای مربوط به معیار A1 را با توجه به جدول A1 و جدول عدد ارجحیت نسبت به یکدیگر تعیین کنید.

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

میزان اهمیت هریک از زیرمعیارهای مربوط به معیار A3 را با



شکل ۲. نمونه مقایسه زوجی معیارها

Fig. 2. Example of pairwise comparison of criteria

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

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

میزان اهمیت هریک از زیرمعیارهای مربوط به معیار A5 را با توجه به جدولA5 و جدول عدد ارجحیت نسبت به یکدیگر تعیین کنید.

میزان اهمیت هریک از زیرمعیارهای مربوط به معیارA6 را با توجه به جدول A6 و جدول عدد ارجحیت نسبت به یکدیگر تعیین کنید.

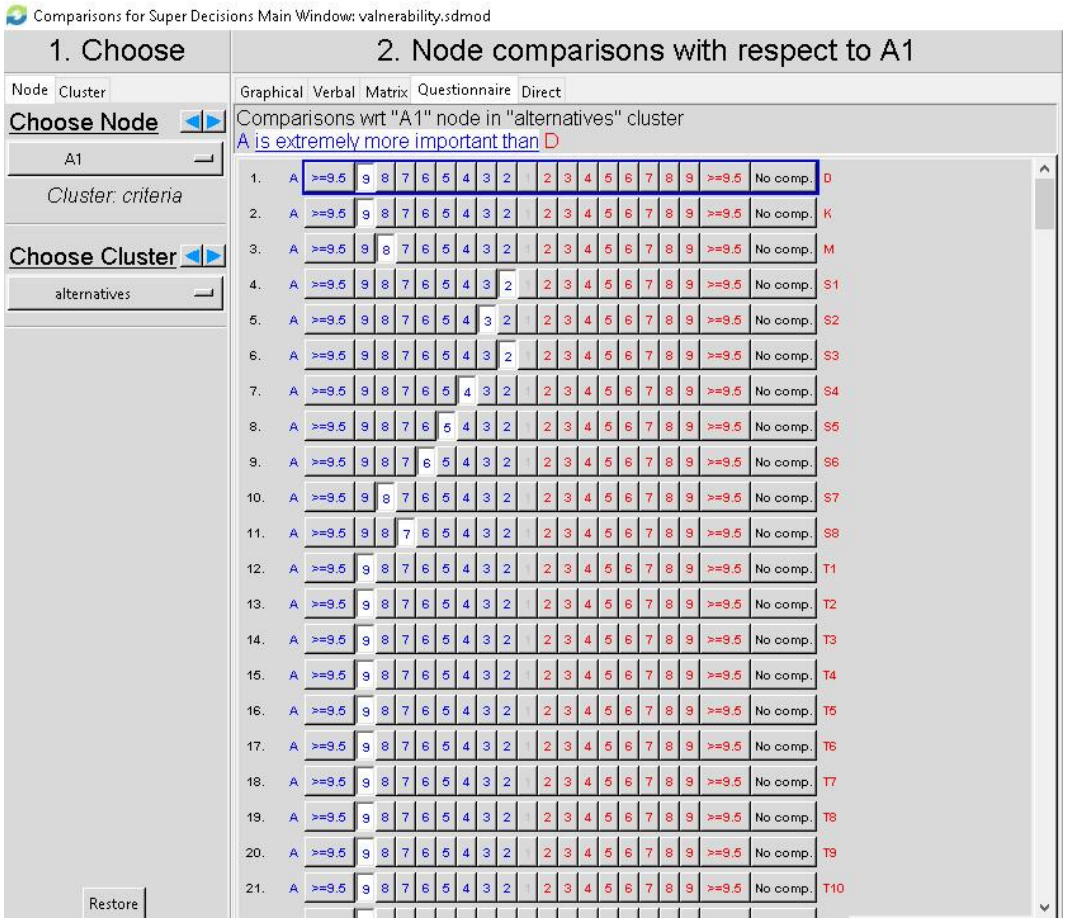
مقایسه زوجی هر یک از دارایی ها بر طبق هر معیار نیز به صورت شکل ۳ انجام شد. به عنوان نمونه در شکل ۳ تمامی دارایی ها به صورت دو به دو با هم براساس معیار شاخص قابلیت کشف و شناسایی مقایسه شدند. سایر مقایسه‌ها براساس هر کدام از معیارها مانند همین بخش انجام شد.

داده های پرسشنامه به‌صورت کمی برای به دست آوردن ارزش آسیب‌پذیری هر یک از دارایی ها بر اساس معیارهای تعریف‌شده، در نرم‌افزار مربوطه وارد شدند. در ابتدا معیارها به‌صورت دوبه‌دو باهم مقایسه شدند سپس هر یک از دارایی ها بر اساس هر یک از معیارهای آسیب‌پذیری با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. همان‌طور که در بخش قبلی توضیح داده شد، اکزل و ساعتی (۱۹۸۳) استفاده از میانگین هندسی را بهترین روش برای ترکیب مقایسه‌های زوجی معرفی کرده‌اند [۲۷]، بنابراین برای تشکیل بردار ویژه آسیب‌پذیری دارایی ها بر مبنای هر معیار از داده‌های هر سطر میانگین هندسی گرفته شد.

۳-نتایج و بحث

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

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



شکل ۳. نمونه مقایسه‌های زوجی بر مبنای معیار A1

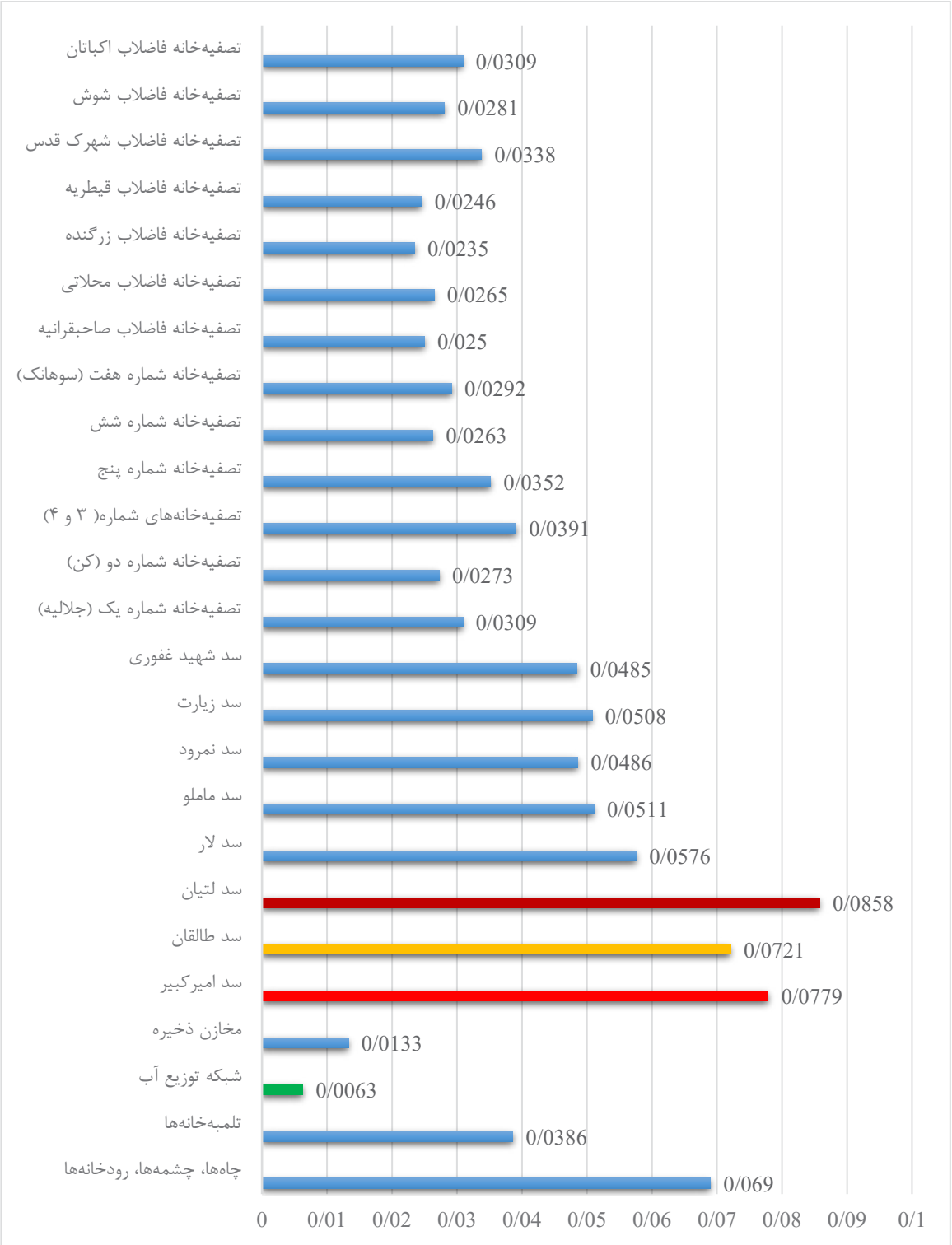
Fig. 3. Example of pairwise comparisons based on criterion A1

که با عدد اسیب پذیری به ترتیب ۰/۰۸۵۸ و ۰/۰۷۷۹ و ۰/۰۷۲۱ بیشترین آسیب پذیری را دارند. مخازن ذخیره و شبکه توزیع نیز با عدد آسیب پذیری به ترتیب ۰/۰۱۳۳ و ۰/۰۰۶۳ دارای کمترین آسیب پذیری براساس معیارهای تعریف شده در جدول های ۲ تا ۷ می باشند. تمامی اعداد بدست آمده از نتایج روش به صورت نرمال شده می باشند. اعداد آسیب پذیری متوسط نیز مربوط به تصفیه خانه ها است که از عدد آسیب پذیری تصفیه خانه زرگنده با ۰/۰۲۳۵ تا تصفیه خانه شماره ۳ و ۴ تهران پارس با عدد آسیب پذیر ۰/۰۳۹۱ متغیر می باشند.

الگوی پیشنهادی برخلاف دیگر روش‌ها سعی دارد که با معرفی زیرساخت و اجـزای آن، نقش و جایگاه هر دارایی را در فرایند مربوط بیان کند. از دیگر وجوه تمایز الگوی پیشنهادی با دیگر روش ها تأکید برکمی کردن مباحث توصیفی است به این معنا که با وزن دهی به شاخص های علمی درصدد به دست آوردن نتایجی مهندسی و کاربردی است.

روش های دیگری که در این زمینه مطرح‌شده‌اند غالباً بدون توجه به تحلیل جامع از دارایـی هـا و تنها با تأکید بر تهدیدات محتمل به بررسی زیرساخت مربوط می پردازند و حال‌آنکه الگوی پیشنهادی مبتنی بر درک درست محیط زیرساخت، آسیب‌پذیری‌ها، آن‌هم با یک چارچوب کاملاً ریاضی گونه و کاربردی است که درنهایت پیش‌بینی رفتار دشمن و فهم وضعیت بحرانی ناشی از وقوع تهدید را آسان می کند.در ادامه مقایسه الگو طرح شده در این پژوهش با پژوهش های که از نظر محتوای قابل مقایسه اند، انجام شد.

Tchorzewska در سال ۲۰۱۱ روشی را برای تحلیل ریسک سامانه های آب‌رسانی بر مبنای ساخت قـوانین فـازی بـر مبنـای ارتبـاط احتمـال، شدت و آسیب‌پذیری‌ای ارائـه داده‌اند و کـاربرد آن را در شـبکه ای در کشور لهستان به کار گرفته اند. این مدل ریسک را به صورت احتمال وقوع در شدت خسارت با اعداد فازی[۰و۱] محاسبه



شکل ۴. نمودار آسیب‌پذیری داراییها

Fig. 4. Asset Vulnerability Chart

نمودند. اگر چه ریسک را به صورت عددی و کیفی بیان می کند اما معیار دقیقی برای محاسبه شدت خسارت بخش های مختلف سامانه ارائه نداده است. نبود همین معیارها سبب می شود که نتوان به جواب نهایی اعتماد لازم را داشت. در صورتی که در الگو به کار رفته در مطالعه حاضر همانطور که در مقایسه بالا ذکر گردید برای هر بخش معیارهای کلیدی معرفی شده است و می توان تا درصد بالایی به

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

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

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

در سال ۲۰۱۸، Maiolo و Pantusa، طی ارائه مقاله ای یک شاخص خطر آسیب پذیری زیرساخت برای سیستم توزیع آب آشامیدنی را با هدف ارائه ابزار مدیریت برای ارزیابی آسیب پذیری سیستم در برابر اقدامات تروریستی احتمالی و با هدف افزایش امنیت ارائه دادند. این شاخص با استفاده از مجموعه ای از شاخص ها با اشاره به بخش های ساختاری سیستم به دست آمده است و هر دو آلودگی عمدی و آسیب فیزیکی را در نظر گرفته است. این شاخص از یک ساختار سلسله مراتبی استفاده می کند و سیستم را به اجزایی تجزیه می‌کند و از روند تحلیلی سلسله مراتبی برای محاسبه وزن استفاده می‌کند. استفاده از این شاخص برای سه طرح آب در استان کرتونه (جنوب ایتالیا) انجام شد. این الگو معیاری برای تعیین آسیب پذیری به صورت جامع و کامل ندارد. در حالی که در الگوی به کار رفته در این پژوهش برای هر بخش به صورت جداگانه و کارشناسانه معیارهای برای تعیین وزن و اولویت بندی تعریف شده است. معیارهای تعریفی الگوی پژوهش حاضر به صورت کمی و کیفی بیان شده و این باعث می شود کارشناس به صورت دقیق در مراحل وزن دهی نظر دهد در صورتی که در الگوی این محققین به این مسئله اشاره نشده است. تفاوت قابل توجه دیگر الگوی پژوهش حاضر پرداختن به آسیب پذیری کل سامانه تأمین آب است چرا که این سامانه به صورت زنجیره وار به اجزای درونی بستگی دارد و آسیب دیدگی هر بخش می تواند کل سامانه را تحت تأثیر قرار دهد [۱۵].

۴- نتیجه‌گیری

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

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

مراجع

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

[12] Fares, H., T.J.J.o.P.S.E. Zayed, and Practice, Hierarchical fuzzy expert system for risk of failure of water mains. 2010. 1(1): p. 53-62.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

INFRASTRUCTURES BY CARVER METHOD: CASE STUDY–İZMİR. 2017. 8(3): p. 199-208.

[24] Liu, R., et al., Introduction to the ANP Super Decisions Software and Its Application [J]. 2003. 8: p. 024.

[25] Saaty, T.L.J.M.s., An exposition of the AHP in reply to the paper "remarks on the analytic hierarchy process". 1990. 36(3): p. 259-268.

[26] Saaty, T.L.J.E.j.o.o.r., How to make a decision: the analytic hierarchy process. 1990. 48(1): p. 9-26.

[27] Golden, B.L., et al., The analytic hierarchy process. 1989.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

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

DOI: 10.22060/ceej.2019.15289.5873

این صفحه عمداً خالی است