مقاله پژوهشی

Original Paper

چارچوب ارزیابی نقاط گلوگاهی شبکه توزیع آب برمبنای بحرانیت و خواص شبکه‌ای

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵
DOR : 20.1001.1.23453915.1403.13.3.4.9

زهرا محمّدپور[۱]، محمّدعلی نکوئی*[۲]، هادی ذاکری خطیر[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت بحران، مجتمع دانشگاهی پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
۲- دانشیار، مجتمع دانشگاهی پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران (nekooie@mut.ac.ir)
۳- استادیار، مجتمع دانشگاهی پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

چکیده

شبکه‌های آب‌رسانی یکی از زیرساخت‌های حیاتی کشور محسوب شده و تامین‌کننده مهم‌ترین نیازهای زیستی انسان و صنایع هستند. اختلال در عملکرد این شبکه‌ها، هرچند کوتاه‌مدت، منجر به آسیب جدی در اقتصاد، امنیت یا ایمنی جامعه می‌شود؛ بنابراین حفاظت از آن در برابر تهدیدات طبیعی و انسان‌ساخت بسیار حائز اهمیت است. در همین راستا هدف این پژوهش، ارائه الگو و چارچوبی مشخص و مدون، به‌منظور شناسایی و تعیین نقاط گلوگاهی شبکه توزیع آب شهری، به‌وسیله اولویت‌بندی نقاط در شبکه‌های توزیع، اولویت‌بندی نقاط گلوگاهی، مشخص نمودن سطح واقعی نقاط متعدد در شبکه و درنهایت کمک به بحث تخصیص صحیح منابع بر اساس اولویت‌های تعیین‌شده است. این مقاله، به تعیین نقاط گلوگاهی شبکه توزیع آب بر اساس روش کمّی و کیفی پرداخته که بخش کمّی با استفاده از نرم‌افزار Gephi و بخش کیفی با استفاده از روش AHP و وزن دهی توسط مصاحبه با خبرگان و متخصصین، در نرم‌افزار Expert Choise به شاخص و معیارهای ارائه‌شده است. ازنظر روش‌شناسی؛ پژوهش حاضر از نوع کاربردی بوده و روش گردآوری اطلاعات با استفاده از منابع کتابخانه‌ای و روش مصاحبه، صورت پذیرفته است. نتایج حاصل، نشان داد که از میان ۶۷ پهنه موجود در شبکه توزیع آب شهر موردنظر، هفت مورد آن، بحرانی و اهمیت آن در شبکه توزیع، گلوگاهی بوده و نیازمند توجه و اخذ تصمیمات پدافندی مناسب در راستای کاهش احتمال آسیب‌پذیری و افزایش میزان تاب‌آوری در برابر مخاطرات است.

واژه‌های کلیدی: شبکه توزیع آب، نقاط گلوگاهی، افزایش تاب‌آوری، مدیریت دارایی، نرم‌افزار گفی، اندرکنش

The Framework for Evaluating the Bottlenecks of the Water Distribution Network Based On Criticality and Network Properties

Zahra Mohammadpour[1], Mohammad Ali Nekooie*[2], Hadi Zakeri Khatir[3]

1. MSc. Student of Crisis Management, Dept. of Passive Defense, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
2. Assoc. Prof., Dept. of Passive Defense, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. (Correponding Author: nekooie@mut.ac.ir)
3. Assist. Prof., Dept. of Passive Defense, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

Abstract

Water supply networks are considered one of the country's critical infrastructures, providing the most essential needs for human life and industries. Any disruption in the performance of these networks, even for a short period, can lead to serious damage to the economy, security, or safety of the community. Therefore, protecting them against natural and man-made threats is of utmost importance. In this regard, the aim of this research is to present a specific and documented model and framework to identify and determine the bottlenecks of the urban water distribution network by prioritizing points in the distribution networks, prioritizing bottlenecks, determining the actual level of multiple points in the network, and ultimately assisting in the proper allocation of resources based on the determined priorities. This article addresses the identification of bottlenecks in the water distribution network based on quantitative and qualitative methods, with the quantitative part using Gephi software and the qualitative part using the AHP method, and weighting through interviews with experts and specialists in Expert Choice software to the presented indices and criteria. Methodologically, this research is of an applied type, and the information collection method has been conducted using library resources and interviews. The results showed that among the 67 zones in the city's water distribution network, seven of them are critical and their importance in the distribution network is bottlenecked, requiring attention and appropriate defensive decisions to reduce vulnerability and increase resilience against hazards.

Keywords: Water Distribution Network, Bottlenecks, Increase Resilience, Asset Management, Gephi, Interdependency.

Scanned with CamScanner

۱- مقدمه

زیرساخت‌ها جریانی به‌هم‌پیوسته از خدمات و پشتیبانی‌ها را برای تأمین نیازهای اساسی به جامعه ارائه می‌دهند و آسیب یا اختلال در عملکرد و کارکرد آنها می‌تواند قطع خدمات زیرساختی را در پی داشته باشد[۱]؛ بنابراین تداوم حیات و فعالیت یک کشور به تداوم فعالیت مستمر و بی‌نقص زیرساخت‌های حیاتی آن وابسته است [۲].

سیستم‌های آب‌رسانی به‌عنوان بخشی از سیستم‌های زیرساخت حیاتی هستند که امنیت زندگی و آسایش شهروندان را تضمین می‌کنند [۳]. به‌طورکلی سیستم آب‌رسانی یک سیستم پیچیده است که دارای عناصر ساختاری متعدد و وابسته به اجزایی بوده که شبکه توزیع آب که از عناصر مختلفی (مانند مخازن، ایستگاه‌های پمپاژ، لوله‌ها، تانک و شیرها) تشکیل‌شده است را، به‌عنوان یک جزء از آن می‌توان معرفی کرد [۴].

با توجه به اینکه شبکه‌های توزیع آب از عوامل مهم رفاه اجتماعی، رشد اقتصادی و سلامت عمومی در شهرها بوده، بنابراین حفظ عملکرد صحیح این شبکه‌ها به دلیل تأثیر مستقیم بر سلامت و ایمنی مردم و با توجه به هدف آنها که تأمین مقادیر کافی آب سالم و باکیفیت با رعایت استانداردها در شرایط مختلف به مصرف‌کنندگان است، همواره یکی از دغدغه‌های اصلی شهرها و شهرداری‌ها بوده است [۵، ۶ و ۷].

شبکه‌های توزیع آب که مرکز ثقل یک کشور را تشکیل می‌دهد در طول عمر خود، همواره با طیف وسیعی از خطرات که عملکرد آنها را مختل کرده و به‌طور بالقوه بقای انسان را تهدید می‌کند، مواجه هستند (جدول ۱). این مخاطرات که در حال افزایش هستند، آسیب‌پذیری شبکه‌های توزیع آب (WDNs) را نیز تحت تأثیر قرار داده و درنتیجه پیامدهای مخرب‌تری به دنبال خواهند داشت. این مخاطرات، طبیعی مانند سیل، زلزله، طوفان، رانش زمین و یا انسانی مانند حملات سایبری و فیزیکی، بیوتروریستی و اقدامات خرابکارانه می‌باشند، از همین رو می‌بایست اقدامات مناسب پیشگیرانه مدنظر قرار گیرد [۵ و ۸].

در کشور ما از دانش و مبانی پدافند غیرعامل در طراحی و اجراهای زیرساختی به‌خصوص زیرساخت آب که در تامین اصلی‌ترین نیاز بشر نقش داشته، استفاده‌نشده است. به همین علت سامانه‌های آبی همواره در برابر بحران آسیب‌پذیر هستند و غالباً به‌عنوان هدف جذاب و مناسبی برای مخاطرات انسانی بشمار می‌روند [۹].

موضوع بسیار مهم برای حفاظت و تداوم کارکرد زیرساخت‌های حیاتی در طول اختلالات، مدیریت دارایی‌های فیزیکی در زیرساخت‌های برخوردار از دارایی‌های فشرده است که وجود محدودیت‌های منابع، اغلب شرکت‌ها را از اجرای این طرح‌ها برای همه‌ی دارایی‌های خود بازمی‌دارد. با توجه به محدودیت‌های موجود در منابع و طبق دستورالعمل‌های موردحمایت ISO ۵۵۰۰۰ دارایی‌هایی که تأثیر قابل‌توجهی بر اهداف سازمانی دارند و برای ارائه خدمات به مشتریان ضروری هستند، دارایی‌های حیاتی تلقی می‌شوند) سازمان‌ها اغلب وظیفه اولویت‌بندی دارایی‌های فیزیکی خود را بر عهده می‌گیرند تا دارایی‌هایی که حیاتی‌تر هستند و نیاز به برنامه‌ریزی احتمالی دارند را شناسایی و اولویت‌بندی کنند [۱۰ و ۱۱].

پس درنتیجه باوجوداینکه برای تجزیه‌وتحلیل بحرانی بودن یک زیرساخت و یا دارایی هنوز روش جامعی مدون نشده است، اما حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی مستلزم ارزیابی میزان بحرانی بودن زیرساخت‌ها و اولویت‌بندی دارایی‌های حیاتی با هدف مشخص نمودن سطح واقعی آنها در زیرساخت‌های حیاتی و تخصیص صحیح منابع بر اساس اولویت‌های تعیین‌شده

Scanned with CamScanner

جدول ۱- مروری بر تهدیدات محتمل بر شبکه توزیع آب [۱۴]

نوع تهدید	تهدید	تاریخ وقوع	محل وقوع	توضیحات
تهدیدات طبیعی	طوفان	۱۴۰۲	مازندران	قطع شدن برق و ایجاد مکش منفی درنتیجه منجر به ورود بیش‌ازحد مجاز سموم به داخل شبکه آب شد.
	سیل	۱۴۰۱	مازندران	تخریب ۱۰/۷ کیلومتر شبکه توزیع و ۵۴۴ فقره شکستگی در خطوط انتقال و شبکه توزیع خانگی ۲۷۱ روستا.
		۱۴۰۰	سیستان و بلوچستان	آسیب به بخشی از شبکه‌های توزیع و تأسیسات دیگر در ۱۸۰ روستای این استان.
	فرونشست زمین	۱۴۰۰	اصفهان	بروز خسارت و تغییر شکل لوله جمع‌آوری و انتقال فاضلاب از جنس پلی‌اتیلن و قطر ۲۵۰ میلی‌متر در عمق چهار متری زمین در شهر نائین.
تهدیدات انسانی	حملات سایبری	۲۰۱۹	ایالات‌متحده	آسیب به تصفیه آب آشامیدنی در بخش توزیع آب.
		۲۰۱۵	یمن	آسیب مخازن آب در بخش توزیع آب توسط حملات هوایی.
	حملات فیزیکی	۲۰۰۸	نوار غزه	آسیب خطوط لوله در بخش توزیع آب توسط حملات هوایی.
	اقدامات خرابکارانه	۲۰۰۴	ایالات‌متحده	آسیب تصفیه‌خانه در بخش توزیع آب.
	حملات بیوتروریستی	۱۹۹۳	عراق	آسیب مخازن در بخش توزیع آب.

است [۱۲]. از همین رو در این پژوهش سعی شده به‌منظور اعمال توجه و تلاش‌های بیش‌تر در راستای افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری و تداوم فعالیت‌های ضروری، ارتقای پایداری ملّی و تسهیل مدیریت بحران در مقابل تهدیدات و اقدامات نظامی دشمن (که این خود ماهیت پدافند غیرعامل است)، چارچوبی را به‌منظور تعیین نقاط گلوگاهی و بحرانی شبکه‌های زیرساختی ارائه نموده و همچنین پهنه‌های (DMA) موجود در شبکه توزیع آب یک شهر را اولویت‌بندی و نقاط گلوگاهی را مشخص نمود [۱۳].

Scanned with CamScanner

تاکنون معیار و شاخص‌های گوناگونی توسط محققان مختلف در زمینه تعیین نقاط گلوگاهی و بحرانی ارائه‌شده است. در سال ۱۴۰۲ هشت معیار کلی به‌منظور سطح‌بندی مراکز ثقل کشور، طی دستورالعملی ابلاغ شده است که شامل: ۱) اهمیت اساسی ۲) گستره حوزه نفوذ ۳) عمق اثرگذاری در اداره کشور ۴) امکان جایگزینی ۵) منحصربه‌فرد بودن ۶) نقش‌آفرینی ۷) ارزش سرمایه‌ای ۸) تبعات آسیب دیدن (پیامد) است. در این دستورالعمل به‌منظور سطح‌بندی مراکز در دسته‌های حیاتی، حساس و مهم می‌بایست به تجمیع امتیازهای هر معیار مطابق با جدول مربوط خود پرداخته شود [۱۳].

آقا بگلو[1] و همکاران (۲۰۲۴) چارچوبی مبتنی بر روش ترکیبی فازی BWM-TOPSIS برای شناسایی دارایی‌های فیزیکی حیاتی پیشنهاد کردند. این چارچوب شامل: ۱) تجزیه‌وتحلیل تأثیر تجاری (BIA) برای تعیین محصولات ضروری، ۲) یک ماتریس ارزیابی ریسک دارایی فیزیکی (PARAM) برای ارزیابی دارایی‌های حیاتی بر اساس احتمال و تأثیر و ۳) یک مدل ریاضی برای برآورد پارامترهای تداوم دارایی است [۱۰].

گرزین و همکاران (۱۴۰۰) که شناخت و ارزیابی دارایی‌ها را به‌عنوان نخستین مرحله برای دستیابی به اهداف پنج‌گانه پدافند غیرعامل دانسته و به مشخص نمودن دارایی‌ها ازنظر ماهیت و اهمیت تأکید دارد برای تعیین دارایی‌های کلیدی سه معیار و ۷ زیر معیار، معرفی کرده‌اند: ۱) ارزش سرمایه‌ای با زیرمعیارهای؛ ارزش ذاتی، ارزش محیطی، ارزش عملکردی، ۲) منحصربه‌فرد بودن با زیرمعیارهای؛ وابستگی به خارج، امکان جایگزینی وترمیم، ۳) بهره‌برداران با زیرمعیارهای؛ کمیت و کیفیت بهره‌برداران [۱۵].

ERASMUS دارایی‌های شبکه توزیع آب را به‌منظور ارزیابی تاب‌آوری با استفاده از یک روش اکتشافی ساده بر اساس احتمال شکست (درجه آسیب‌پذیری) آنها دسته‌بندی می‌کند. احتمال شکست اختصاص داده‌شده به دارایی‌های شبکه در این مدل، تحت یک نوع خاص از رویدادهای مخرب به معیارهای خاصی بستگی دارد: ۱) ویژگی خود دارایی و نوع رویداد مخرب، ۲) انواع مختلف دارایی‌های مستعد در برابر یک رویداد مخرب، ۳) درجات مختلفی از حساسیت برای هر دارایی مستعد آسیب. سپس با فرض اینکه تمامی دارایی‌های یک گروه دارای احتمال شکست یکسانی هستند به هر گروه امتیازی بین ۰ تا ۱ داده می‌شود و این امتیاز نشان‌دهنده احتمال آسیب‌پذیری هر گروه از دارایی است [۱۶].

اسکندری و همکاران (۲۰۲۰)، به‌منظور اولویت‌بندی زیرساخت‌ها با توجه به معیارهای بالای جذابیت برای دشمنان و اعمال تهدید سخت نظامی هوایی، پنج معیار اصلی و تعدادی معیار فرعی به همراه شاخص‌های کمّی معرفی کردند: ۱) ملاحظات پدافندی، ۲) محیط پیرامونی زیرساخت، ۳) ماهیت بنیادی زیرساخت، ۴) پیامدهای مترتب با حمله هدفمند و ۵) نحوه‌ی وابستگی. در این الگو، هر زیرساخت با توجه به امتیازی که از هر یک از معیارها دریافت می‌کند، رتبه‌بندی شده و هر زیرساختی که امتیاز بالاتری کسب نماید، از رتبه‌ی بیش‌تری برای اعمال تهدید توسط دشمنان برخوردار است [۱۷].

CARVER به‌منظور شناسایی و اولویت‌بندی مهم‌ترین دارایی‌ها (ایالات‌متحده) به میزان حیاتی و مهم بودنشان، در سال ۲۰۰۶ طراحی شد. به این صورت که مجموع امتیازی که هر دارایی کسب می‌کند در شش دسته: ۱) حیاتی بودن، ۲) قابلیت دسترسی، ۳) قابلیت بازیابی، ۴) آسیب‌پذیری، ۵) قابلیت جاسوسی و ۶) افزونگی رتبه‌بندی می‌شوند. در CARVER برای تعیین

[1] Mohsen Aghabegloo at al

Scanned with CamScanner

اهمیت هر دارایی بر اساس شش معیار ذکرشده، از جداول ارائه‌شده و بر پایه‌ی نظر کارشناسان، برای هر دارایی به هر یک از معیارها اعدادی بین ۱ تا ۱۰ تخصیص داده می‌شوند [۱۸].

حسینعلی بیکی و همکاران[1] (۲۰۲۲)، به‌منظور ارزیابی و اعتبار یابی شاخص‌های حیاتی بودن زیرساخت‌های حیاتی و تعیین وزن به روش بهترین-بدترین (BWM) به هرکدام، از ۲۶ شاخص اولیه و بررسی روایی و پایایی آنها، به تأیید ۲۴ شاخص ذیل ۶ مؤلفه اصلی پرداختند: ۱) اقتصادی با وزن ۰/۲۸ شامل ارزش ریالی زیرساخت، استقلال اقتصادی، ثبات اقتصادی، اشتغال، درآمد اقتصادی، رشد اقتصادی، زیان وارده و امنیت غذایی. ۲) اجتماعی با وزن ۰/۱۵ شامل ثبات اجتماعی، شاخص جمعیتی و رفاه اجتماعی. ۳) ایمنی و سلامت با وزن ۰/۲۳ شامل؛ تأمین چرخه سلامت، پایداری زیست‌محیطی، امنیت آب و تعداد جمعیت در معرض خطر. ۴) سیاسی، نظامی-دفاعی با وزن ۰/۲۳ شامل؛ اعتبار سیاسی کشور، آسیب به ساختارها و نهادهای حکومتی، ثبات نظام سیاسی کشور، استقلال و تمامیت ارضی و توان دفاعی. ۵) فنی-عملکردی با وزن ۰/۱۱ شامل؛ ضروری بودن کالا و خدمات، قابلیت جایگزینی و بازسازی، مدت‌زمان جایگزینی و بازسازی و وابستگی با سایر زیرساخت‌ها. در میان این شاخص‌ها، شاخص «تعداد جمعیت در معرض خطر»، «استقلال و تمامیت ارضی» و «توان دفاعی» به ترتیب بیشترین وزن و اهمیت را بین شاخص‌ها به خود اختصاص دادند [۱۹].

در دیاگرام ذیل می‌توان خلاصه‌ای از شاخص‌های تعیین نقاط گلوگاهی ذکرشده را مشاهده کرد:

[1] Gholam Reza Hossein Ali Beyki at al

۲- داده و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

مطالعه موردی؛ شبکه توزیع آب یک شهر در ایران است که بنا به محدودیت‌های موجود در این مقاله شهرx ، نام‌گذاری شده است. شهر x دارای ۶۷ پهنه است. این شبکه توزیع آب با متراژ ۶۱۷/۷ کیلومتر از لوله‌هایی با جنس آزبست، فولادی، پلی‌اتیلن، چدن داکتیل و PVC تشکیل شده است.

در این پژوهش به‌منظور آنالیز بحرانی بودن نقاط در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از تحلیل کیفی و کمّی پهنه‌های موجود و تعیین نقاط گلوگاهی شبکه آب‌رسانی، روش AHP و وزن دهی به شاخص‌ها در نرم‌افزار اکسپرت چویس[2] و تعیین میزان اندرکنش با به‌کارگیری نرم‌افزار گفی[3]، انجام شد.

۳- روش‌شناسی

۳-۱- تحلیل کیفی

برای تحلیل کیفی و امتیازدهی به روشAHP، با توجه به مصاحبه‌های صورت گرفته و اخذ نظرات کارشناسان، معیارهایی برگرفته‌شده از شاخص‌های-FEMA ۴۵۲ و سازمان پدافند غیرعامل، درنهایت شاخص‌های ذیل برای تحلیل شبکه آب‌رسانی، انتخاب شد:

۱- دامنه اثرگذاری

۲- ارزش اقتصادی سازه و تجهیزات دارایی موردنظر

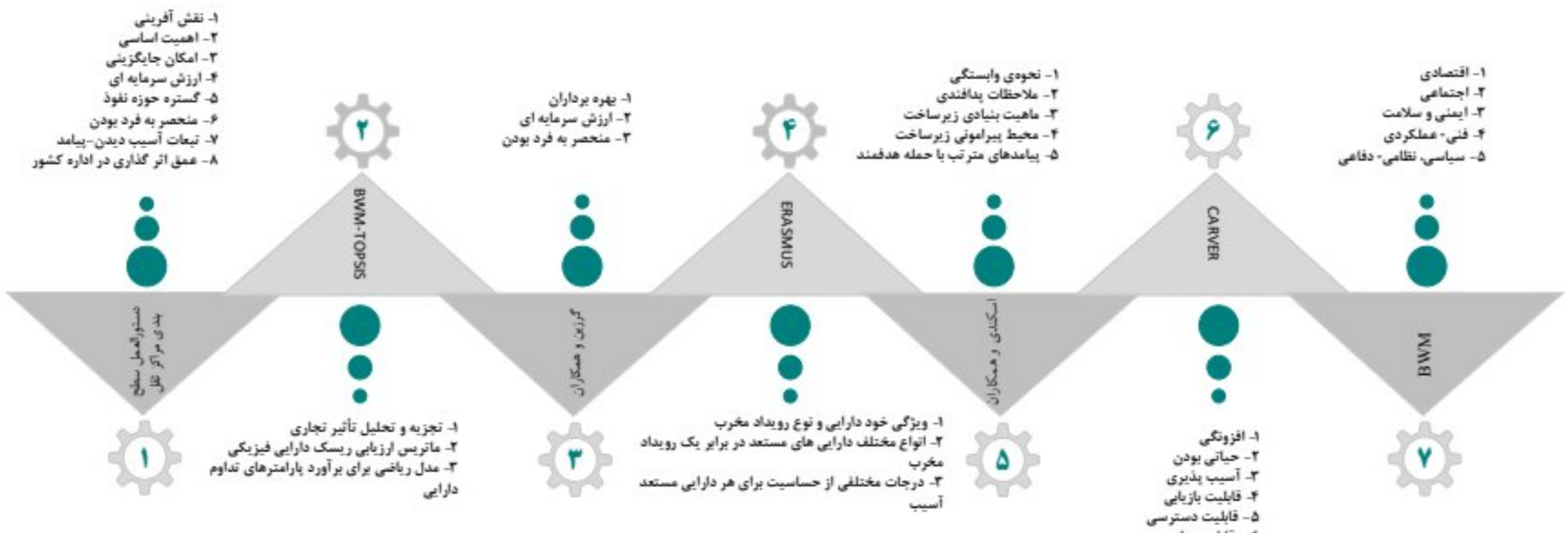
۳- میزان زمان لازم برای ترمیم و احیاء دارایی موردنظر

۴- میزان منحصربه‌فرد بودن تجهیزات دارایی موردنظر

۵- میزان جدید بودن فنّاوری به‌کاررفته در

[2] Expert Choice
[3] Gephi

Scanned with CamScanner



تصویر ۱- خلاصه‌ی شاخص‌های تعیین نقاط گلوگاهی

جدول ۲- اندرکنش عملکردی، فاکتور درجه تأثیرگذاری زیرساخت

مرتبه	توصیف	درجه
بسیار بالا	حذف دارایی موردنظر، کل شبکه آب شهر را تحت تأثیر قرار می‌دهد.	۸-۱۰
بالا	حذف دارایی موردنظر، چند پهنه از شبکه آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد.	۶-۸
متوسط	حذف دارایی موردنظر، یک پهنه از شبکه آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد.	۴-۶
کم	حذف دارایی موردنظر، تنها بخشی از یک پهنه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.	۲-۴
بسیار کم	حذف دارایی موردنظر، بر استمرار فعالیت بخش‌های عملیاتی تأثیری ندارد.	۱-۲

دارایی موردنظر

۶- جمعیت تحت پوشش دارایی که از عدم خدمت‌رسانی آن متأثر می‌شوند

۷- امکان استفاده از تجهیزات جایگزین دارایی

برای سنجش دقیق هریک از معیارها تعدادی شاخص ارائه شد که در ادامه به تشریح شاخص‌های هر یک از معیارها پرداخته می‌شود.

- **بررسی درجه تأثیرپذیری هر پهنه**

به منظور تعیین حوزه اثر هر دارایی می‌بایست مفهوم اندرکنش بررسی شود. به‌منظور بررسی اندرکنش عملکردی، فاکتور درجه تأثیرگذاری دارایی (پهنه) موردنظر بر کل شبکه آب در نظر گرفته می‌شود که با توجه به جدول ۲، مورد توجه قرار می‌گیرد.

- **بررسی ارزش اقتصادی دارایی‌ها**

ارزش اقتصادی سازه و تجهیزات دارایی‌های هر پهنه (در سال ۱۴۰۲) برای شهر x با توجه به نقشه پهنه‌بندی شهر، در جدول ۳ ارائه‌شده و نمرات آن در جدول ارزش دارایی‌های اصلی (جدول ۱۳) موجود در تأسیسات آورده شده است.

- **میزان جدید بودن فناوری به‌کاررفته در دارایی**

به دلیل بررسی میزان جدید بودن فناوری در دارایی به بررسی فرسودگی بافت هر محدوده پرداخته‌شده است. به عبارتی هرچقدر در هر پهنه جنس لوله‌های استفاده‌شده بیش‌تر از آزبست باشد، با توجه به عمر پایین این لوله به نسبت سایر جنس لوله‌های متداول آن بافت، فرسوده‌تر در نظر گرفته می‌شود. به این منظور مجموع مقدار طول لوله‌های استفاده‌شده از این جنس، در هر پهنه برحسب متر محاسبه شد و هر پهنه بر اساس اعداد به‌دست‌آمده امتیازدهی شد و این نمرات برای شهر موردنظر در جدول ۴، قابل

Scanned with CamScanner

جدول ۳- ارزش اقتصادی پهنه‌های شهر X

مرتبه	توصیف	درجه
بسیار بالا	هزینه ساخت سازه زیرساخت موردنظر بیش از ۱۲ میلیارد تومان است.	۱۰-۸
بالا	هزینه ساخت سازه زیرساخت موردنظر بین ۹ تا ۱۲ میلیارد تومان است.	۸-۶
متوسط	هزینه ساخت سازه زیرساخت موردنظر بین ۶ تا ۹ میلیارد تومان است.	۶-۴
کم	هزینه ساخت سازه زیرساخت موردنظر بین ۳ تا ۶ میلیارد تومان است.	۴-۲
بسیار کم	هزینه ساخت سازه زیرساخت موردنظر کمتر از ۳ میلیارد تومان است.	۲-۱

جدول ۴- میزان جدید بودن فناوری به‌کاررفته در هر پهنه شهر X

دسته‌بندی	امتیازات	بازه اعداد
خیلی زیاد	۱۰	۱۳۶۲-۳۷۵۶/۱
	۹	۳۷۵۶/۱-۶۱۵۰/۲
زیاد	۸	۶۱۵۰/۲-۸۵۴۴/۳
	۷	۸۵۴۴/۳-۱۰۹۳۸/۴
متوسط	۶	۱۰۹۳۸/۴-۱۳۳۳۲.۵
	۵	۱۳۳۳۲/۵-۱۵۷۲۶.۶
کم	۴	۱۵۷۲۶/۶-۱۸۱۲۰.۷
	۳	۱۸۱۲۰/۷-۲۰۵۱۴/۸
خیلی کم	۲	۲۰۵۱۴/۸-۲۲۹۰۸/۹
	۱	۲۲۹۰۸/۹-۲۵۳۰۲

مشاهده است.

• **میزان منحصربه‌فرد بودن تجهیزات پهنه**

با توجه به اینکه در حال حاضر لوله‌های با جنس آزبست کم‌تر از سایر لوله‌های مصرفی مورد استفاده قرار می‌گیرند و جایگزینی آنها به دلایلی مانند فرسودگی بافت شهری و غیره مشکل است، پهنه‌های دارای این جنس لوله منحصربه‌فرد محسوب می‌شود. همچنین هرچقدر قطر لوله‌های مصرفی در هر پهنه بیش‌تر باشد، آن پهنه منحصربه‌فردتر است. به منظور بررسی این شاخص بیش‌ترین قطر لوله‌ها در هر پهنه و متر طول لوله با جنس آزبست در نظر گرفته‌شده است. چگونگی امتیازدهی بر اساس جنس آزبست لوله‌ها در شاخص میزان جدید بودن فناوری، تشریح شد. جدول ۵، چگونگی امتیازدهی برحسب قطر لوله‌ها را نشان می‌دهد.

برای امتیازدهی نهایی، از مدل جمعِ وزن‌ها در تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شد؛ بنابراین وزن هر دو زیر معیار باهم برابر (۰/۵) در نظر گرفته شد. دسته‌بندی کیفی (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) نیز بر اساس امتیازات نهایی به‌دست‌آمده، بر مبنای جدول ۶، است.

• **میزان زمان موردنیاز به منظور ترمیم و احیاء دارایی**

برای بررسی زمان لازم برای ترمیم و احیاء دارایی مورد نظر در دارایی به بررسی جنس لوله‌های مورد استفاده‌شده در هر پهنه پرداخته شد. به عبارتی هرچقدر که در هر پهنه تنوع

Scanned with CamScanner

جدول ۵- نحوه نمره دهی شاخص منحصربه‌فرد بودن تجهیزات در شهر x

امتیاز	قطر لوله (D)
۱	۵۰≤ D ≤۱۰۰
۲	۱۰۰< D ≤۱۵۰
۳	۱۵۰< D ≤۲۰۰
۴	۲۰۰< D ≤۲۵۰
۵	۲۵۰< D ≤۳۰۰
۶	۳۰۰< D ≤ ۳۵۰
۷	۳۵۰< D ≤ ۴۰۰
۸	۴۰۰< D ≤ ۴۵۰
۹	۴۵۰< D ≤ ۵۰۰
۱۰	۵۰۰≤ D

جدول ۶- شاخص میزان منحصربه‌فرد بودن تجهیزات پهنه

دسته‌بندی کیفی بر اساس امتیازات نهایی	
میزان منحصربه‌فرد بودن تجهیزات دارایی	**امتیاز**
خیلی کم	۱≤ P <۳
کم	۳≤ P <۵
متوسط	۵≤ P <۷
زیاد	۷≤ P <۹
خیلی زیاد	۹≤ P

جنس لوله‌های استفاده‌شده بیش‌تر باشد، میزان زمان لازم برای ترمیم و احیاء دارایی موردنظر بیش‌تر خواهد شد. به این منظور تنوع لوله‌های مورد استفاده در سیستم شبکه آب‌رسانی شهر x مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد بیش‌ترین تنوع استفاده جنس لوله، ۵ نوع لوله است که امتیازبندی بر اساس ماکسیمم تنوع جنس لوله که ۵ است و همچنین روش محاسبه اهمیت دارایی که محدوده تقسیم‌بندی آن ۵ دسته است به شرح جدول ۷ است.

- **میزان تأثیر عدم خدمت‌رسانی دارایی‌ها بر جمعیت اطراف**

بررسی میزان تأثیر عدم خدمت‌رسانی دارایی بر جمعیت، با توجه به جمعیت مشترکین هر پهنه انجام می‌شود. با استفاده از جمعیت شهر x و تعداد مشترکین هر پهنه و بنا بر روش ارزیابی اهمیت دارایی، نمره دهی برای شهر x به شرح جدول ۸ است.

- **میزان سختی جایگزینی تأسیسات دارایی**

به دلیل بررسی میزان سختی جایگزینی تأسیسات در دارایی به تحلیل جنس لوله‌های آزبست در هر پهنه پرداخته شد.

Scanned with CamScanner

جدول ۷- میزان زمان لازم برای ترمیم و احیاء دارایی موردنظر

مرتبه	توصیف	درجه
بسیار بالا	جنس لوله‌های به‌کاربرده شده در هر پهنه ۵ لوله مختلف است.	۸-۱۰
بالا	جنس لوله‌های به‌کاربرده شده در هر پهنه ۴ لوله مختلف است.	۶-۸
متوسط	جنس لوله‌های به‌کاربرده شده در هر پهنه ۳ لوله مختلف است.	۴-۶
کم	جنس لوله‌های به‌کاربرده شده در هر پهنه ۲ لوله مختلف است.	۲-۴
بسیار کم	جنس لوله‌های به‌کاربرده شده در هر پهنه ۱ لوله مختلف است.	۱-۲

با توجه به اینکه امروزه استفاده از لوله‌هایی با جنس آزبست نامتداول‌تر از سایر لوله‌های مصرفی است و همچنین هرچه قطر لوله‌های مصرفی در هر پهنه بیش‌تر باشد، آن پهنه منحصربه‌فردتر است، به همین دلیل میزان سختی و جایگزینی آن نیز دشوارتر خواهد بود. در جدول ۹، چگونگی امتیازدهی برحسب قطر لوله‌ها نشان داده‌شده است.

جدول ۸- میزان تأثیر عدم خدمت‌رسانی دارایی بر جمعیت اطراف پهنه‌ها در شهر x

مرتبه	توصیف	درجه
بسیار بالا	۲۰۰۰< x <۲۵۰۰	۸-۱۰
بالا	۱۵۰۰< x <۲۰۰۰	۶-۸
متوسط	۱۰۰۰< x <۱۵۰۰	۴-۶
کم	۵۰۰< x <۱۰۰۰	۲-۴
بسیار کم	۰< x <۵۰۰	۱-۲

پس از تعیین معیارهای اولویت‌بندی دارایی‌ها، اهمیت هر یک از این معیارها را به کمک مصاحبه با تعدادی از خبرگان بخش پدافند غیرعامل و مدیریت بحران در نرم‌افزار Expert Choice مورد آنالیز قرار داده و به تعیین وزن هرکدام پرداخته می‌شود. درنهایت از مجموع امتیازهای هر شاخص، امتیاز نهایی هر پهنه به دست می‌آید.

جدول ۹- میزان سختی جایگزینی تأسیسات دارایی

دسته‌بندی	امتیازات	بازه اعداد
خیلی کم	۱	۱۳۶۲-۳۷۵۶.۱
	۲	۳۷۵۶/۱-۶۱۵۰/۲
کم	۳	۶۱۵۰/۲-۸۵۴۴/۳
	۴	۸۵۴۴/۳-۱۰۹۳۸/۴
متوسط	۵	۱۰۹۳۸/۴-۱۳۳۳۲.۵
	۶	۱۳۳۳۲/۵-۱۵۷۲۶.۶
زیاد	۷	۱۵۷۲۶/۶-۱۸۱۲۰.۷
	۸	۱۸۱۲۰/۷-۲۰۵۱۴.۸
خیلی زیاد	۹	۲۰۵۱۴/۸-۲۲۹۰۸.۹
	۱۰	۲۲۹۰۸/۹-۲۵۳۰۲

۲-۳- تحلیل کمّی

به‌منظور تحلیل کمّی، از نرم‌افزار گفی به‌عنوان ابزاری قدرتمند که به‌طور گسترده برای تجسم و آنالیز شبکه گراف کاربرد دارد (دارای ابزارهای زیادی برای آنالیزهای آماری شبکه داده)، استفاده می‌شود [۲۰]. به‌منظور ایجاد شبکه در این نرم‌افزار ابتدا پهنه‌های آبی شهر به‌صورت گره‌ها و در قالب خروجی نرم‌افزار اکسل در گفی فراخوانی می‌شود و سپس نحوه ارتباط و وابستگی میان پهنه‌ها در قالب خروجی اکسل به‌عنوان یال به نرم‌افزار شناسانده می‌شود.

شاخص‌های این شبکه شامل ضریب خوشه‌بندی، مرکزیت، درجه میانگین طول مسیر، قطر و غیره است [۲۱] که در این پژوهش با

Scanned with CamScanner

توجه به نظر کارشناسان مربوطه، از شاخص‌های درجه‌ی مرکزیت، مرکزیت بینابینی و ضریب خوشه‌بندی به بررسی نقاط گلوگاهی شبکه پرداخته شد. در ادامه به معرفی و تأثیری که این شاخص‌ها بر شناسایی نقاط گلوگاهی شبکه دارند پرداخته می‌شود.

• **مرکزیت**[1]

تعداد لینک‌هایی از سایر گره‌هاست که برای عبور باید از گره u بگذرند. درنتیجه به هر میزان که مرکزیت شبکه بالاتر باشد اهمیت آن شبکه بالاتر است؛ بنابراین بین مرکزیت شبکه و میزان گلوگاهی بودن آن رابطه مستقیمی وجود دارد. مرکزیت بر اساس شاخص‌های درجه، بینابینی و نزدیکی اندازه‌گیری می‌شود [۲۲ و ۲۳].

- درجه مرکزیت[2]: مجموع ارتباط یک‌سویه و دوسویه بدون بعد که یک دارایی در شبکه دارا است [۲۴].

- مرکزیت بینابینی[3]: جایگاه یک دارایی در درون شبکه زیرساختی برحسب توانایی آن برای ایجاد کوتاه‌ترین مسیر ارتباطی میان سایر دارایی‌ها در شبکه است [۲۴].

- نزدیکی مرکزیت[4]: کوتاه‌ترین فاصله میان یک دارایی با سایر دارایی‌ها در شبکه زیرساختی است [۲۴].

• **ضریب خوشه‌بندی**

ضریب خوشه‌بندی نسبت همسایگی گره‌ها به یکدیگر در شبکه را توصیف می‌کند [۲۵] که از میانگین ضریب خوشه‌بندی گره‌های شبکه به دست می‌آید به این معنی که گرهی که در اطرافش تعداد گره‌های بیش‌تری وجود داشته باشد ضریب خوشه‌بندی آن گره بالاتر است. با افزایش ضریب خوشه‌بندی در یک شبکه میزان اهمیت شبکه کاهش خواهد یافت؛ بنابراین بین ضریب خوشه‌بندی در شبکه و میزان گلوگاهی بودن آن ارتباط معکوسی وجود دارد.

پس از مدل‌سازی شبکه در نرم‌افزار گفی، می‌توان این مقادیر را برای هر گره شبکه به‌صورت خروجی اکسل به دست آورد. از میانگین هندسی این مقادیر، مقدار قابلیت اطمینان آن به دست می‌آید.

تصویر (۲) نمای کلی روش انجام تحقیق و پژوهش را نشان می‌دهد.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- به دست آوردن قابلیت اطمینان هر پهنه (تحلیل کمّی)

برای شهر x گره‌ها، همان پهنه‌ها (DMA) و یال‌ها به دلیل عدم وجود اطلاعات وابستگی پهنه‌ها، مجاورت پهنه‌ها در نظر گرفته‌شده است. در تصویر (۳)، خروجی شبکه‌ای نرم‌افزار گفی که از پهنه‌ها و مجاورت آنها ترسیم‌شده است، قابل‌ملاحظه است. درنهایت توپولوژی شبکه ایجاد و برای هر گره مقادیر ضرایب خوشه‌بندی، درجه و مرکزیت به دست آمد.

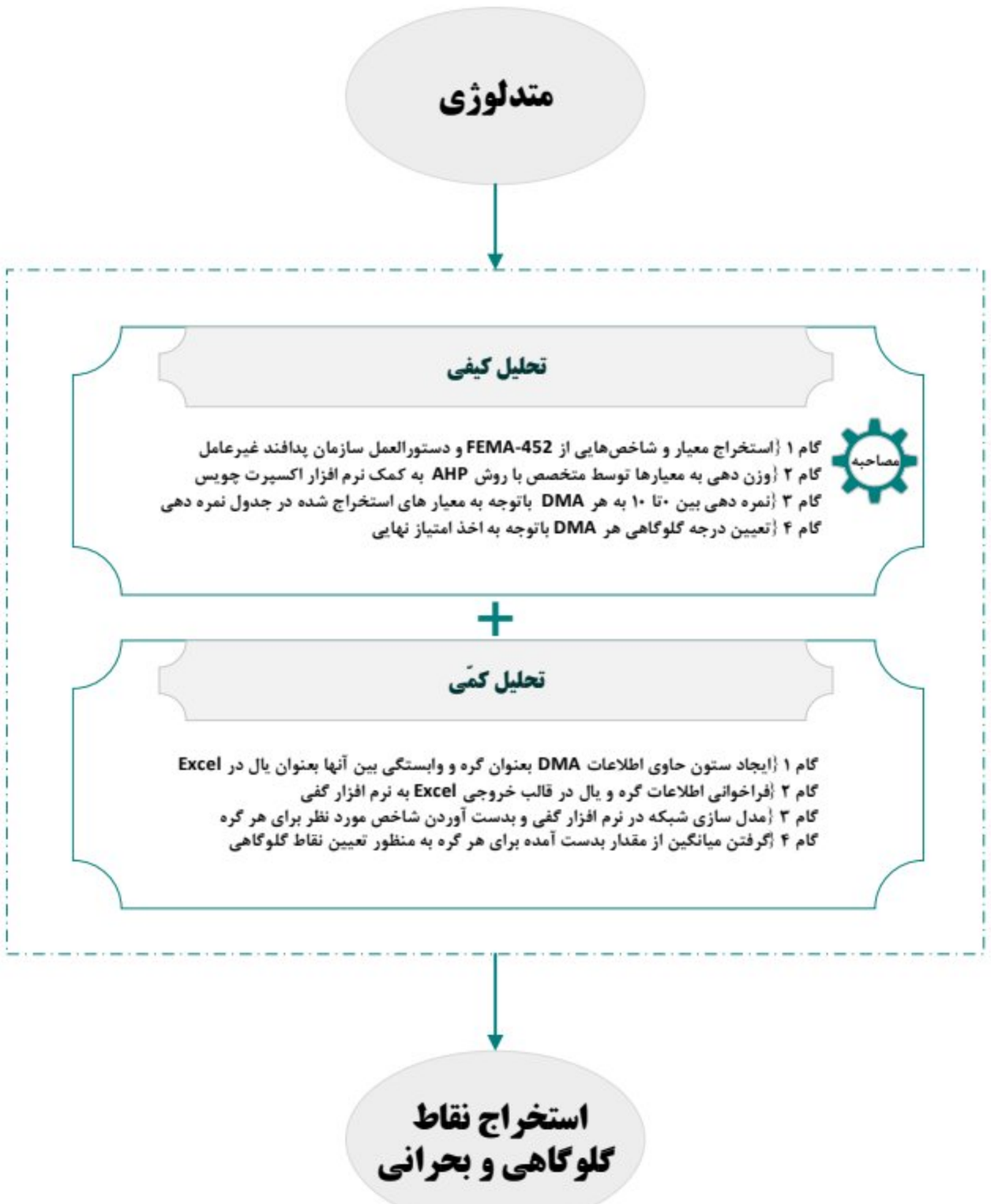
پس از مشخص شدن مقادیر آماری هر شاخص و تعیین میانگین هندسی این مقادیر برای هر گره شبکه توزیع آب، میزان گلوگاهی بودن گره با استفاده ازنظر کارشناسان و به شرح جدول ۱۰، تعیین شد.

مطابق با جدول ۱۰، میانگین هندسی گره‌ای که بین ۰-۲۰ درصد باشد، در دسته‌ای با بالاترین قابلیت اطمینان یعنی ۹۰ درصد و میانگین هندسی گره‌ای که بین ۱۰۰-۸۰ درصد باشد، در دسته‌ای با پایین‌ترین قابلیت اطمینان (۴۵ درصد) قرار دارد.

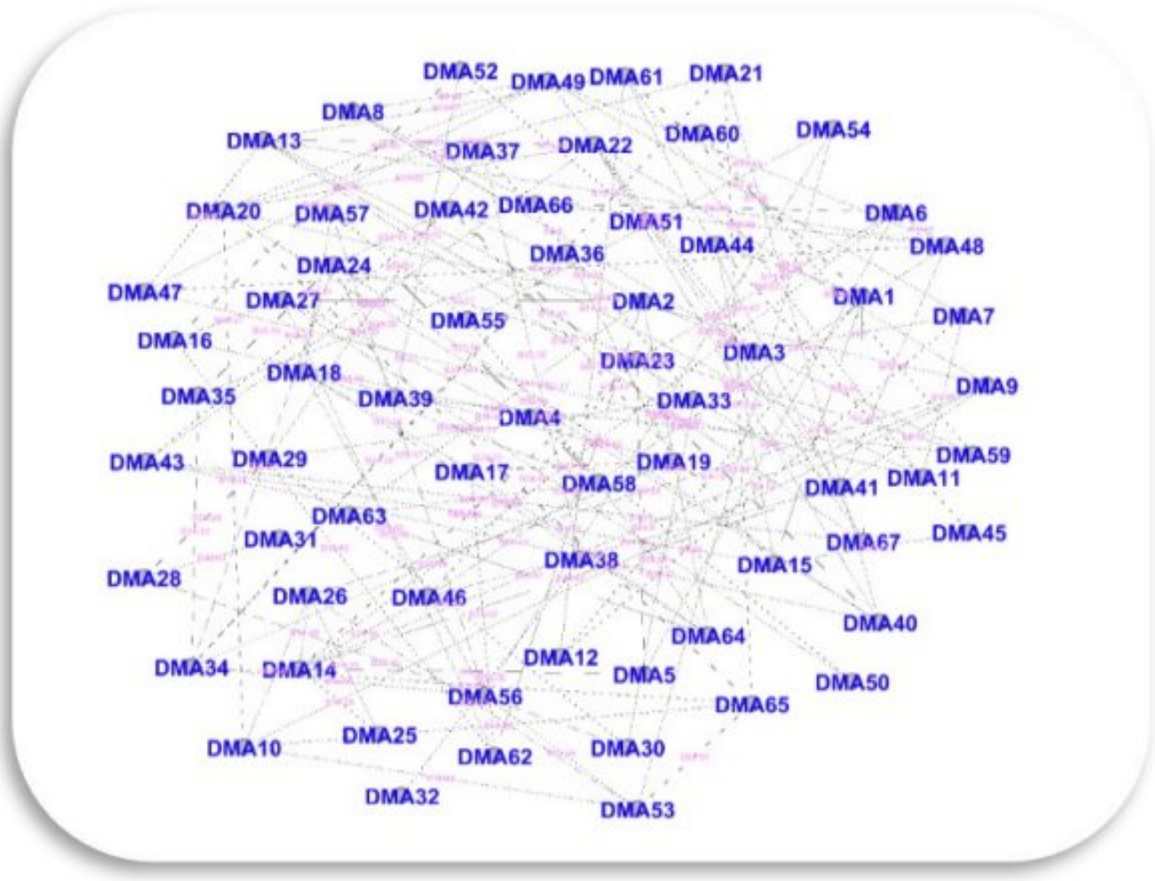
جدول ۱۱، میزان میانگین هندسی محاسبه‌شده و قابلیت اطمینان برای هر گره را نمایش می‌دهد.

[1] Closeness
[2] Degree centrality
[3] Betweenness centrality
[4] Closeness centrality

Scanned with CamScanner



تصویر ۲: نمای کلی از روش تحقیق



تصویر ۳: خروجی گرافیکی نرم‌افزار گفی

Scanned with CamScanner

جدول ۱۰- تعیین میزان گلوگاهی بودن گره‌ها در تحلیل کمی

میانگین هندسی[1] (درصد)	قابلیت اطمینان[2] (درصد)
۰ - ۲۰	۹۰
۲۰ - ۴۰	۷۵
۴۰ - ۶۰	۶۵
۶۰ - ۸۰	۵۵
۸۰ - ۱۰۰	۴۵

۲-۴- به دست آوردن میزان اهمیت هر پهنه (تحلیل کیفی)

در ابتدا، با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice میزان ضریب اهمیت هر یک از شاخص‌ها به شرح تصویر (۴)، به دست آمد.

سپس به هر یک از پهنه‌ها (بر اساس ۷ شاخص ارائه‌شده) امتیازی از ۰ تا ۱۰ اختصاص داده شد و درنهایت این امتیازها برای هر معیار جمع شده و امتیاز نهایی برای هر پهنه شبکه آب، محاسبه شد؛ که در جدول ۱۳، امتیاز تخصیص داده‌شده به ازای هر شاخص و میزان اهمیت هر پهنه نمایش داده‌شده است. همچنین میزان اهمیت پهنه به شرح جدول ۱۲ تعیین شد.

مطابق با جدول ۱۲، امتیاز گره‌ای که بین ۰-۲ باشد، در دسته‌ای با پایین‌ترین میزان اهمیت یعنی بسیار کم و امتیاز گره‌ای که بین ۸-۱۰ باشد، در دسته‌ای با بالاترین میزان اهمیت یعنی بسیار زیاد قرار دارد.

۳-۴- تعیین نقاط گلوگاهی

برای تعیین و اولویت‌بندی نقاط گلوگاهی حاصل از تحلیل کیفی و کمّی، نقاط یا پهنه‌هایی را می‌توان گلوگاهی یا بحرانی نامید که در هر دو روش تحلیل میزان اهمیت پهنه‌ها، مشترک بوده و درنتیجه در صورت آسیب به آن نقاط، خسارات جبران‌ناپذیری به وجود می‌آید. حاصل این پژوهش، تعیین هفت پهنه گلوگاهی از بین ۶۷ پهنه است. این پهنه‌ها که در دسته میزان اهمیت زیاد با قابلیت اطمینان ۵۵٪ می‌باشند، به ترتیب میزان گلوگاهی بودن آنها مطابق با جدول ۱۴ معرفی شدند.

[1] Geometric Mean
[2] *Reliability*

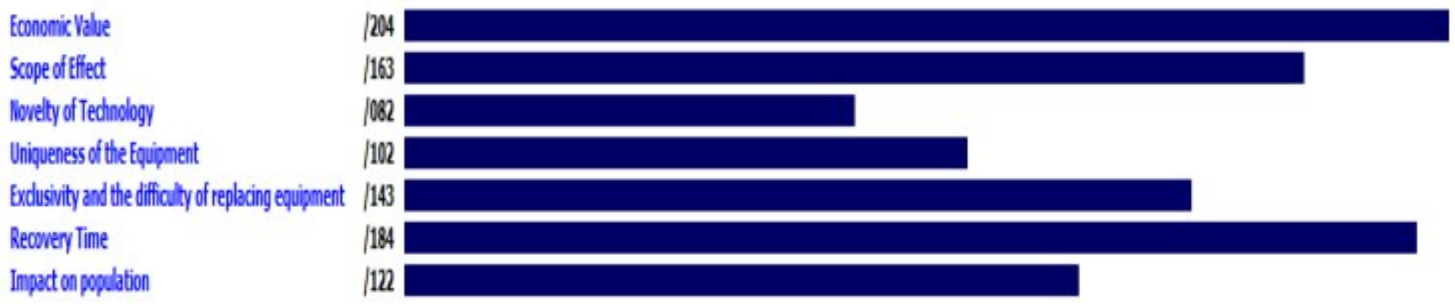
جدول ۱۱- میانگین هندسی و درصد قابلیت اطمینان گره‌ها

Nodes	Label	٪Geometric Mean	Reliability
۱	DMA۱	۶۲	۵۵
۲	DMA۲	۵۸	۶۵
۳	DMA۳	۵۱	۶۵
۴	DMA٤	۴۷	۶۵
۵	DMA٥	۵۰	۶۵
۶	DMA٦	۶۱	۵۵
۷	DMA۷	۵۷	۶۵
۸	DMA۸	۵۱	۶۵
۹	DMA۹	۷۰	۵۵
۱۰	DMA۱۰	۶۶	۵۵
۱۱	DMA۱۱	۵۶	۶۵
۱۲	DMA۱۲	۵۰	۶۵
۱۳	DMA۱۳	۷۱	۵۵
۱۴	DMA۱٤	۷۴	۵۵
۱۵	DMA۱٥	۶۳	۵۵
۱۶	DMA۱٦	۵۴	۶۵

Scanned with CamScanner

Nodes	Label	٪Geometric Mean	Reliability
۱۷	DMA۱۷	۶۲	۵۵
۱۸	DMA۱۸	۶۶	۵۵
۱۹	DMA۱۹	۵۹	۶۵
۲۰	DMA۲۰	۷۶	۵۵
۲۱	DMA۲۱	۶۲	۵۵
۲۲	DMA۲۲	۷۵	۵۵
۲۳	DMA۲۳	۵۵	۶۵
۲۴	DMA۲٤	۷۲	۵۵
۲۵	DMA۲۵	۴۴	۶۵
۲۶	DMA۲٦	۶۴	۵۵
۲۷	DMA۲۷	۵۷	۶۵
۲۸	DMA۲۸	۶۶	۵۵
۲۹	DMA۲۹	۷۹	۵۵
۳۰	DMA۳۰	۶۶	۵۵
۳۱	DMA۳۱	۴۱	۶۵
۳۲	DMA۳۲	۴۰	۶۵
۳۳	DMA۳۳	۶۸	۵۵
۳۴	DMA۳٤	۷۵	۵۵
۳۵	DMA۳۵	۵۳	۶۵
۳۶	DMA۳٦	۵۳	۶۵
۳۷	DMA۳۷	۷۰	۵۵
۳۸	DMA۳۸	۵۶	۶۵
۳۹	DMA۳۹	۵۳	۶۵
۴۰	DMA٤۰	۷۲	۵۵
۴۱	DMA٤۱	۶۹	۵۵
۴۲	DMA٤۲	۶۶	۵۵
۴۳	DMA٤۳	۶۵	۵۵
۴۴	DMA٤٤	۵۰	۶۵
۴۵	DMA٤۵	۴۳	۶۵
۴۶	DMA٤٦	۵۷	۶۵
۴۷	DMA٤۷	۵۷	۶۵
۴۸	DMA٤۸	۷۰	۵۵
۴۹	DMA٤۹	۶۹	۵۵
۵۰	DMA۵۰	۳۹	۷۵
۵۱	DMA۵۱	۳۳	۷۵
۵۲	DMA۵۲	۵۱	۶۵
۵۳	DMA۵۳	۶۵	۵۵
۵۴	DMA۵٤	۵۳	۶۵
۵۵	DMA۵۵	۵۰	۶۵
۵۶	DMA۵٦	۶۵	۵۵
۵۷	DMA۵۷	۵۷	۶۵
۵۸	DMA۵۸	۵۹	۶۵
۵۹	DMA۵۹	۵۹	۶۵
۶۰	DMA٦۰	۳۴	۷۵
۶۱	DMA٦۱	۶۰	۵۵
۶۲	DMA٦۲	۵۴	۶۵
۶۳	DMA٦۳	۴۷	۶۵
۶۴	DMA٦٤	۵۹	۶۵
۶۵	DMA٦۵	۶۷	۵۵
۶۶	DMA٦٦	۵۰	۶۵
۶۷	DMA٦۷	۶۳	۵۵

Scanned with CamScanner



تصویر ۴- وزن دهی با نرم‌افزار Expert Choice

جدول ۱۲: تعیین میزان اهمیت پهنه‌ها در تحلیل کیفی

امتیاز	میزان اهمیت
۰-۲	بسیار کم
۲ - ۴	کم
۴ - ۶	متوسط
۶ - ۸	زیاد
۸-۱۰	بسیار زیاد

جدول ۱۳- نمره دهی به شاخص‌های شهر X

نام پهنه	شاخص ۱: ارزش اقتصادی دارایی‌ها (میلیارد ریال)	شاخص ۲: دامنه اثر	شاخص ۳: میزان جدید بودن فناوری به‌کاررفته در دارایی‌ها (سال)	شاخص ۴: میزان منحصربه‌فرد بودن تجهیزات دارایی‌ها	شاخص ۵: انحصار و سختی جایگزینی دارایی‌ها	شاخص ۶: میزان زمان لازم برای ترمیم و احیاء دارایی‌ها	شاخص ۷: میزان تأثیر عدم خدمت‌رسانی دارایی‌ها بر جمعیت اطراف	میزان اهمیت کلی پهنه
ضرایب	۰/۲۰۴	۰/۱۶۳	۰/۰۸۲	۰/۱۰۲	۰/۱۴۳	۰/۱۸۴	۰/۱۲۲	نمره کل
DMA۱	۲	۶/۲۵	۹	۳	۱	۸	۶	۴/۸۲
DMA۲	۲	۶/۲۵	۸	۲/۵	۲	۶	۸	۴/۷۰
DMA۳	۶	۳/۷۵	۴	۵/۵	۶	۸	۸	۶/۰۳
DMA۴	۴	۳/۷۵	۵	۵	۵	۶	۸	۵/۱۴
DMA۵	۶	۳/۷۵	۳	۶/۵	۷	۸	۶	۵/۹۵
DMA۶	۲	۶/۲۵	۷	۴	۳	۶	۹	۵/۰۴
DMA۷	۹	۷	۲	۳	۸	۹	۹	۷/۳۵
DMA۸	۲	۳/۷۵	۸	۳/۵	۲	۶	۶	۴/۱۵
DMA۹	۵	۷/۵	۸	۴	۲	۸	۱۰	۶/۲۸
DMA۱۰	۲	۶/۲۵	۸	۳	۲	۱۰	۱۰	۵/۷۳
DMA۱۱	۲	۵	۸	۴/۵	۲	۶	۱۰	۴/۹۵
DMA۱۲	۲	۳/۷۵	۸	۳	۲	۶	۴	۳/۸۶
DMA۱۳	۲	۸/۷۵	۷	۳/۵	۳	۶	۷	۵/۱۵
DMA۱۴	۶	۱۰	۵	۶	۵	۸	۸	۷/۰۴
DMA۱۵	۵	۶/۲۵	۷	۵	۳	۱۰	۶	۶/۱۲
DMA۱۶	۵	۵	۶	۴	۴	۶	۱۰	۵/۶۳
DMA۱۷	۳	۶/۲۵	۶	۴	۴	۶	۸	۵/۱۸
DMA۱۸	۵	۷/۵	۶	۵/۵	۴	۶	۶	۵/۷۰
DMA۱۹	۵	۵	۷	۵	۳	۸	۷	۵/۶۷
DMA۲۰	۲	۸/۷۵	۹	۲	۱	۸	۶	۵/۱۲
DMA۲۱	۲	۵	۹	۲	۱	۸	۸	۴/۷۶
DMA۲۲	۲	۸/۷۵	۹	۳	۱	۸	۶	۵/۲۳
DMA۲۳	۲	۵	۹	۳	۱	۶	۸	۴/۴۹
DMA۲۴	۵	۷/۵	۷	۴/۵	۳	۱۰	۶	۶/۲۸
DMA۲۵	۲	۲/۵	۸	۳/۵	۲	۶	۴	۳/۷۱
DMA۲۶	۲	۶/۲۵	۸	۳/۵	۲	۱۰	۹	۵/۶۶
DMA۲۷	۲	۶/۲۵	۸	۴/۵	۲	۶	۱۰	۵/۱۵
DMA۲۸	۶	۳/۷۵	۶	۵/۵	۴	۸	۱۰	۶/۱۵
DMA۲۹	۲	۵	۹	۴	۱	۶	۱۰	۴/۸۴

Scanned with CamScanner

نام پهنه	شاخص ۱: ارزش اقتصادی دارایی‌ها (میلیارد ریال)	شاخص ۲: دامنه اثر	شاخص ۳: میزان جدید بودن فناوری به‌کاررفته در دارایی‌ها (سال)	شاخص ۴: میزان منحصربه‌فرد بودن تجهیزات دارایی‌ها	شاخص ۵: انحصار و سختی جایگزینی دارایی‌ها	شاخص ۶: میزان زمان لازم برای ترمیم و احیاء دارایی‌ها	شاخص ۷: میزان تأثیر عدم خدمت‌رسانی دارایی‌ها بر جمعیت اطراف	میزان اهمیت کلی پهنه
DMA۳۰	۲	۳/۷۵	۹	۳/۵	۱	۶	۶	۴/۰۹
DMA۳۱	۲	۱/۲۵	۸	۳	۲	۶	۴	۳/۴۵
DMA۳۲	۶	۱/۲۵	۵	۷/۵	۵	۱۰	۸	۶/۱۳
DMA۳۳	۲	۳/۷۵	۸	۳/۵	۲	۶	۱۰	۴/۶۴
DMA۳۴	۹	۸/۷۵	۱	۸/۵	۱۰	۱۰	۱۰	۸/۷۰
DMA۳۵	۲	۳/۷۵	۹	۲/۵	۱	۶	۱۰	۴/۴۸
DMA۳۶	۱	۳/۷۵	۹	۲/۵	۱	۶	۸	۴/۰۳
DMA۳۷	۲	۳/۷۵	۷	۵	۳	۶	۱۰	۴/۸۶
DMA۳۸	۵	۲/۵	۷	۵	۳	۸	۶	۵/۱۴
DMA۳۹	۶	۳/۷۵	۸	۴/۵	۲	۸	۵	۵/۳۲
DMA۴۰	۲	۷/۵	۹	۲/۵	۱	۱۰	۶	۵/۳۴
DMA۴۱	۳	۷/۵	۸	۲/۵	۲	۸	۵	۵/۱۱
DMA۴۲	۲	۶/۲۵	۷	۴	۳	۸	۸	۵/۲۹
DMA۴۳	۲	۶/۲۵	۸	۲/۵	۲	۸	۱۰	۵/۳۲
DMA۴۴	۲	۳/۷۵	۹	۴/۵	۱	۶	۹	۴/۵۶
DMA۴۵	۲	۲/۵	۹	۴	۱	۸	۱۰	۴/۸۰
DMA۴۶	۲	۵	۸	۳	۲	۱۰	۱۰	۵/۵۳
DMA۴۷	۲	۵	۸	۳/۵	۲	۶	۸	۴/۶۰
DMA۴۸	۲	۸/۷۵	۷	۳/۵	۳	۱۰	۸	۶/۰۱
DMA۴۹	۲	۷/۵	۷	۴	۳	۶	۱۰	۵/۳۷
DMA۵۰	۲	۲/۵	۹	۲/۵	۱	۶	۶	۳/۷۹
DMA۵۱	۲	۱/۲۵	۹	۲	۱	۶	۶	۳/۵۳
DMA۵۲	۹	۴/۷۵	۲	۲/۵	۸	۹	۹	۶/۹۳
DMA۵۳	۵	۶/۲۵	۸	۴/۵	۲	۸	۸	۵/۸۹
DMA۵۴	۲	۳/۷۵	۹	۴	۱	۶	۸	۴/۳۹
DMA۵۵	۲	۳/۷۵	۸	۴/۵	۲	۸	۱۰	۵/۱۱
DMA۵۶	۲	۶/۲۵	۹	۳	۱	۶	۸	۴/۶۹
DMA۵۷	۱	۵	۸	۳/۵	۲	۶	۸	۴/۴۰
DMA۵۸	۲	۶/۲۵	۶	۴/۵	۴	۶	۱۰	۵/۲۷
DMA۵۹	۲	۵	۸	۴/۵	۲	۶	۹	۴/۸۳
DMA۶۰	۱	۱/۲۵	۹	۲/۵	۱	۶	۶	۳/۳۸
DMA۶۱	۴	۶/۲۵	۶	۵/۵	۴	۸	۷	۵/۷۹
DMA۶۲	۲	۵	۸	۳	۲	۶	۸	۴/۵۵
DMA۶۳	۹	۴/۷۵	۲	۳/۵	۸	۱۰	۹	۷/۲۱
DMA۶۴	۳	۶/۲۵	۷	۵	۳	۸	۹	۵/۷۱
DMA۶۵	۲	۶/۲۵	۷	۳/۵	۳	۸	۱۰	۵/۴۸
DMA۶۶	۲	۳/۷۵	۸	۳/۵	۲	۴	۶	۳/۷۹
DMA۶۷	۲	۶/۲۵	۸	۵	۲	۶	۸	۴/۹۶

جدول ۱۴- معرفی پهنه‌های گلوگاهی شهر x

Number	Label	Reliability	Criticality
۱	DMA۳٤	۵۵	۸/۷۰
۲	DMA۱٤	۵۵	۷/۰۴
۳	DMA ۹	۵۵	۶/۲۸
۴	DMA۲٤	۵۵	۶/۲۸
۵	DMA۲۸	۵۵	۶/۱۵
۶	DMA۱۵	۵۵	۶/۱۲
۷	DMA٤۸	۵۵	۶/۰۱

Scanned with CamScanner

۵- نتیجه‌گیری

ازآنجایی‌کـه بـرای شـرکت‌های آب و فاضـلاب، مـدیریت کارآمـد دارایـی بـه‌منظور بهینه‌سـازی دارایی‌هایشان بسیار بااهمیت اسـت، آسـیب یـا از دست دادن دارایی‌های زیرساخت حیاتی، می‌تواند اثرات مخرب و پیامدهای جبران‌ناپذیری بـه خـود شرکت و زیرساخت‌های وابسـته و درنهایـت کـل جامعه وارد کند.

با شناسایی نقاط گلوگاهی، مسئولان مربوطـه می‌تواننـد فعالیت‌هـای تحقیقـاتی، برنامـه‌های نگهداری و برنامه‌های مالی را برای این دارایی‌هـا، مـورد توجـه بیش‌تـر قـرار داده و اصـلاح کننـد. ازاین‌رو با توجه به هدف این پژوهش، برای شبکه توزیع آب شهر x اقدامات لازم برای تعیـین نقـاط گلوگاهی، به‌منظور مشخص نمودن سـطح واقعـی نقـاط متعـدد در شـبکه و سـطح‌بندی آنهـا و همچنین اولویت‌بندی نقاط گلوگاهی، انجام شـد. نتایج تجزیه‌وتحلیل کیفی و کمّی ۶۷ پهنه موجود نشـان داد کـه بـا توجـه بـه نظـر کارشناسـان و متخصصین پهنه‌ها را می‌توان به پنج دسـته و یـا وضعیت تقسیم نمـود. ازنظـر تحلیـل کیفـی کـه اهمیت دارایی‌ها بر اساس امتیازهای دریافت شده به ۵ دسته (بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسـیار زیاد) تقسیم شدند، ۱۲ پهنـه بـا میـزان اهمیـت زیاد، ۴۹ پهنه با میزان اهمیت متوسط و ۶ پهنـه با میزان اهمیت کم تعیـین شـد و ازنظـر تحلیـل کمّی کـه قابلیـت اطمینـان دارایی‌هـا بـر اسـاس میانگین هندسی به‌دست‌آمده به ۵ دسـته (۹۰٪، ۷۵٪، ۶۵٪، ۵۵٪، ۴۵٪) تقسیم شدند، ۳۱ پهنه با قابلیت اطمینان ۵۵٪، ۳۳ پهنه با قابلیت اطمینان ۶۵٪ و ۳ پهنه با قابلیت اطمینـان ۷۵٪ مشـخص شد.

پهنه ۳۴، به دلیل کسب امتیاز بسیار زیاد، در معیارهای ارزش اقتصادی (هزینـه سـاخت سـازه زیرساخت بیش از ۱۲ میلیارد تومان)، دامنـه اثـر (حذف دارایی موردنظر برابر بـا تحـت تـأثیر قـرار دادن کل شـبکه آب شـهر)، منحصـربه‌فرد بـودن تجهیزات، انحصار و سختی جـایگزینی دارایی‌هـا، میزان زمـان لازم بـرای تـرمیم و احیـاء (بـه کـار گذاشته شـدن ۵ جـنس لولـه مختلـف) و میـزان تأثیر عـدم خدمت‌رسـانی دارایی‌هـا بـه جمعیـت اطراف (جمعیتـی بـیش از ۲۰۰۰ نفـر)، بـه‌عنوان اولین اولویت بر اساس گلوگاهی بودن انتخاب شد. سپس پهنه ۱۴، بـه دلیـل کسـب امتیـاز بـالا در معیارهای دامنه اثر (حذف دارایی موردنظر، تحت تأثیر قرار دادن کل شبکه آب شهر)، میزان زمـان لازم برای ترمیم و احیاء (به کار گذاشته شـدن ۴ جـنس لولـه مختلـف) و میـزان تـأثیر عـدم خدمت‌رسـانی دارایی‌هـا بـه جمعیـت اطـراف (جمعیتـی بـین ۱۵۰۰ تـا ۲۰۰۰ نفـر)، بـه‌عنوان دومین اولویت بر اسـاس گلوگـاهی بـودن تعیـین شد.

پهنه ۹ و پهنه ۲۴، با توجه به اخذ امتیـاز در معیارهای دامنه اثر (حذف دارایی موردنظر، تحت تاثیر قرار دادن چنـد پهنـه از شـبکه آب شـهر)، میزان جدید بودن فنـاوری بکـار رفتـه شـده (در پهنـه ۹، ۸۵۴۴/۳-۶۱۵۰/۲ متـر و در پهنـه ۲۴، ۸۵۴۴/۳-۱۰۹۳۸/۴ متـر لولـه از جـنس آزبسـت بکار رفته شـده)، میـزان زمـان‌ترمیم و احیـاء (در پهنـه ۹، بـه کـار گذاشـته شـدن ۴ جـنس لولـه مختلف و در پهنه ۲۴، بـه کـار گذاشـته شـدن ۵ جنس لوله مختلـف)، بـا میـزان اهمیـت یکسـان نسبت یکـدیگر، بـه‌عنوان اولویت‌هـای بعـدی بـر اساس گلوگاهی بودن انتخاب شدند.

در تحلیل کیفی پهنـه ۲۸، معیارهـای میـزان زمان لازم برای ترمیم و احیـاء (بـه کـار گذاشـته شدن ۴ جنس لوله مختلف) و میـزان تـأثیر عـدم خدمت‌رسـانی دارایی‌هـا بـه جمعیـت اطـراف (جمعیتـی بـالغ‌بر ۲۰۰۰ نفـر) از امتیـاز بـالایی برخوردار شدند که این باعث قرار گرفتن این پهنه به‌عنوان یکی از نقاط بحرانی در سـطح و اولویـت پنجم است.

Scanned with CamScanner

درنهایت پهنه ۱۵ و پهنه ۴۸ با برخـورداری از امتیاز بالا در معیارهای میزان جدید بودن فناوری بکار گرفته‌شـده در دارایـی (۱۰۹۳۸/۴-۸۵۴۴/۳ متر لوله از جنس آزبست)، میـزان زمـان لازم بـه منظور ترمیم و احیاء دارایی (به کار گذاشته شدن ۵ جنس لوله مختلف)، دامنه اثر (در صورت حذف پهنه ۱۵، تحت تأثیر قـرار دادن چنـد پهنـه و در صورت حذف پهنه ۴۸ تحت تأثیر قرار دادن کـل شبکه آب شهر) و میزان تأثیر عدم خدمت‌رسـانی پهنـه ۴۸ بـه جمعیـت اطـراف (جمعیتـی بـین ۲۰۰۰- ۱۵۰۰ نفر) به ترتیب در اولویت ششـم و هفتم سطح‌بندی نقاط حیاتی قرارگرفته شدند.

۶- منابع

۱- طرح راهبردی حفاظت از زیرساخت‌های کشور. ۱۴۰۱.

۲- شعفی، فرهنگ و محمدی، پیام، بررسی زیرساخت‌های حیاتی شبکه آب و فاضلاب در برابر زلزله و ارائه راه‌کارهای تاب‌آورسازی آن‌ها، ششمین کنفرانس بین‌المللی عمـران، معمـاری و شهرسـازی، تهـران، ۱۳۹۹. [Online]. Available: https://civilica.com/doc/1127106

3. P. Suchorab and D. Kowalski, Water Resources Protection by Controlling Water Supply Network Leakages, International Journal of Conservation Science, vol. 12, pp. 745–754, 2021.

4. U. Sangroula, K.-H. Han, K.-M. Koo, K. Gnawali, and K.-T. Yum, Optimization of water distribution networks using genetic algorithm based SOP–WDN program, Water, vol. 14, no. 6, p. 851, 2022.

5. A. Assad, O. Moselhi, and T. Zayed, A new metric for assessing resilience of water distribution networks, Water, vol. 11, no. 8, p. 1701, 2019.

6. M. Maiolo, D. Pantusa, M. Carini, G. Capano, F. Chiaravalloti, and A. Procopio, A new vulnerability measure for water distribution network, Water, vol. 10, no. 8, p. 1005, 2018.

7. Q. Shuang, H. J. Liu, and E. Porse, Review of the quantitative resilience methods in water distribution networks, Water, vol. 11, no. 6, p. 1189, 2019.

8. S. Roudbari, M. Nekooie, and R. Taherkhani, Evaluation of the vulnerability of components of the water supply system, Journal of Engineering & Construction Management, vol. 2, no. 1, pp. 32–36, 2017.

۹- محمدرضاپور طبری، محمود پور طبری و محسـن پـور طبری، حفاظت سامانه‌های آب‌رسـانی بـا رویکـرد پدافنـد غیرعامل، دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، شهرکرد. ۱۳۹۶. [Online]. Available: https://civilica.com/doc /661543.

10. M. Aghabegloo, K. Rezaie, S. A. Torabi, and M. Yazdani, Integrating business impact analysis and risk assessment for physical asset criticality analysis: a framework for sustainable operations in process industries, Expert Systems with Applications, vol. 241, p. 122737, 2024.

11. W. I. Al Mannai, Development of a decision support tool to inform resource allocation for critical infrastructure protection in Homeland Security, PhD Thesis, Monterey, California. Naval Postgraduate School, 2008. Accessed: Jan. 21, 2024. [Online]. Available: https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA483640.

12. M. Theoharidou, P. Kotzanikolaou, and D. Gritzalis, Risk-Based Criticality Analysis, in Critical Infrastructure Protection III, vol. 311, C. Palmer and S. Shenoi, Eds., in IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol. 311., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 35–49. doi: 10.1007/978-3-642-04798-5_3.

۱۳- دستورالعمل عمومی سطح‌بندی مراکز ثقـل. سـازمان پدافند غیرعامل کشور.

14. K. B. Boubaker, Water industry: a look back at twenty years of cyber attacks, Stormshield. Accessed: Jan. 21, 2024. [Online]. Available: https://www.stormshield.com/news/twenty-years-of-cyber-attacks-on-the-world-of-water

۱۵- گرزین، عبدالرضا، جلالی فراهانی، غلامرضا و کاووسی، حمیدرضـا، بررسـی روش ارزیـابی دارایی‌هـا در پدافنـد غیرعامل، هشتمین همایش ملی علوم و مهندسی دفاعی با رویکـرد تهدیـدات نوپدیـد، تهـران. ۱۴۰۰. [Online]. Available: https://civilica.com/doc/1577128.

16. L. F. Gay Alanis, Development of a resilience assessment methodology for networked infrastructure systems using stochastic simulation, with application to water distribution systems, PhD Thesis, Virginia Tech, 2013. Accessed: Jan. 21, 2024. [Online]. Available: https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/50595

17. M. Eskandari, B. Omidvar, M. Modiri, and M. A. Nekooie, Providing the Pattern for the Prioritization of Critical Infrastructures in Targeted Attacks, Emergency Management, vol. 8, no. 2, pp. 77–95, 2020.

18. B. Betty, The book Security and Resilience of Vital Infrastructure. Malek Ashtar University of Technology Publications, 2019.

19. H. A. Beyki, G. Reza, A. Akbarpoor Nikghalb Rashti, S. A. Hosseini, and H. Abbasian Jahromi, Classification, Prioritization, Intrinsic Value, Critical Infrastructure, Assets, Indices, Best-Worst, 2020, Accessed: Feb. 21, 2024. [Online]. Available: https://ges.iaun.iau.ir/article_687451_e20e3efe0989bb4ae5262597822e4adc.pdf

20. F. Rahmani, K. Muhammed, K. Behzadian, and R. Farmani, Optimal Operation of Water Distribution Systems Using a Graph Theory–Based Configuration of District Metered Areas, J. Water Resour. Plann. Manage., vol. 144, no. 8, p. 04018042, Aug. 2018, doi:

Scanned with CamScanner

10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000941.
21. T. G. Lewis, Network science: theory and practice, 2009.
۲۲- ساره رودباری، ارائه مدل تحلیل بومی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها با رویکرد احتمالی و شبکه گراف. ۱۳۹۵.
23. O. Ugurlu, Comparative analysis of centrality measures for identifying critical nodes in complex networks, Journal of Computational Science, vol. 62, p. 101738, 2022.
۲۴- نظام فنی و تخصصی حفاظت از زیرساخت‌های کشور. ۱۴۰۲.
25. P. Zhang, H. Yao, and Y. Liu, Virtual network embedding based on the degree and clustering coefficient information, IEEE Access, vol. 4, pp. 8572–8580, 2016.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Scanned with CamScanner