ارزیابی تاب‌آوری خط انتقال فاضلاب غرب تهران به تصفیه‌خانه فیروز بهرام

محمد ذوالفقاری : کارشناسی ارشد، مجتمع پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران،
علی قنبری نسب* : استادیار، مجتمع پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران،
محمدعلی نکویی :دانشیار، مجتمع پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران،
سید محمد حسینی : استادیار،دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران،

تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۲/۲۵ تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۱۱/۱ DOR : https://dorl.net/dor/20.1001.1.23453915.1402.12.1.1.5

چکیده

تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در برابر حوادث، قبل، حین و پس از بحران برای پاسخ و ترمیم حادثه ضروری است. جنبه‌های بحرانی تاب‌آوری مانند برنامه‌ریزی برای شرایط خطرناک و درگیرشدن با محاسبه وابستگی درونی با سایر زیرساخت‌ها باید درک شود تا مدیران بتوانند تاب‌آوری سیستم را ارتقای دهند. سامانه انتقال فاضلاب به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های حیاتی شهری محسوب می‌گردد. عملکرد بدون وقفه‌ی سامانه فاضلاب برای کلان‌شهر تهران باتوجه‌به حجم زیاد فاضلاب موجود از اهمیت بسزایی برخوردار است، این عملکرد در مواجه با حوادث غیرمترقبه تابع میزان تاب‌آوری آن سامانه است. در همین راستا هدف پژوهش حاضر، ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت خط انتقال فاضلاب کلان‌شهر تهران به تصفیه‌خانه فیروز بهرام است. از نظر روش‌شناسی پژوهش حاضر از نوع کاربردی بوده و روش گردآوری اطلاعات با استفاده از منابع کتابخانه‌ای و روش مصاحبه باز صورت پذیرفته است. به همین منظور باتوجه‌به انواع تهدیدات خط انتقال فاضلاب، فاکتورهای مؤثر در تاب‌آوری آن از متون ادبیات موضوع ارائه می‌شود و پس‌ازآن با کمک روش ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت (IRAM)، بومی‌سازی آن برای خط انتقال فاضلاب به تصفیه‌خانه فیروز بهرام انجام می‌گردد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که وضع موجود تاب‌آوری لازم را نداشته و حجم عظیمی از فاضلاب بر اساس سناریوها به محیط شهری و دیگر زیرساخت‌ها وارد و آسیب می‌رساند، به همین منظور در انتها راهکار «طرح اجرای بای‌پس فاضلاب به رودخانه کن» به‌منظور ارتقای سطح تاب‌آوری پیشنهاد گردید که بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده بعد از اعمال راهکار، سطح ارتقاء تاب‌آوری (اختلاف RDR اولیه و ثانویه) افزایش پیدا می‌نماید.

کلمات کلیدی:تاب‌آوری زیرساخت، خط انتقال، زیرساخت‌های حیاتی، تهدیدات، تصفیه‌خانه فاضلاب

Evaluation of resilience of West Tehran wastewater transmission line to Firooz Bahram treatment plant

Mohamad Zolfaghari[1], , Ali Ghanbari Nasab *[2], Mohammad Ali Nekoie[3], Seyed Mohammad Hosseini[4]

Abstract

Resilience is defined to enhance the ability of the community, planning and readiness to achieve and improve more success in dealing with adverse effects of catastrophes providing the view of repairing and improving the injured community. Resilience of critical infrastructure in the face of disasters, before, during and after a crisis is essential for proper response and recovery. Critical aspects of resilience, such as planning for hazardous situations and engaging with the calculation of infrastructures' interdependence must be understood so that managers can enhance system resilience. Sewage transmission and treatment system is considered as one of the important urban infrastructures. Due to the large volume of available wastewater, uninterrupted operation of the sewerage system for the metropolis of Tehran is really important. This performance in the face of unexpected events is a function of its system resilience. The purpose of the current study is to evaluate the resilience of the wastewater-transmission tunnel infrastructure of Tehran metropolitan to the treatment plant of Firooz Bahram. Also, methods of collecting data are based on library resources and face-to-face interview. Thus, considering the threats of the assets of the sewage transfer tunnel, the effective factors in its resilience are presented from the its literature. Then, with the help of Infrastructure Resilience Assessment Method (IRAM), its localization for the sewage-transmission line to Firooz Bahram treatment plant will be done. The results indicate that the current situation does not have the necessary resilience and a large volume of wastewater enters and damages the urban environment and other infrastructure based on scenarios (resilience costs). At the end to address the issue, the solution "Implementation plan of sewage bypass to Kan River" will be proposed and evaluated to improve the level of resilience. Evaluation of the results for implementation of the improve - resilience strategy (primary and secondary RDR difference) approves positive effect

Keywords: social resilience, vigilance and attention, thinking and attitude, knowledge and perception, creativity, emotional intelligence, sociability and self-efficacy

[1]*Master of Passive Defense, Malek ashtar University of Technology,Tehran, Iran*
[2]*Assistant professor, Department of Passive Defense, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.*
[3]Assistant Professor, Malek Ashtar University, Tehran, Iran .
[4]Assistant Professor, Tehran university, College of Farabi, Faculty of Management and Accountig, Tehran ,Iran.

مقدمه

معرفی سیستم‌های انتقال فاضلاب به‌عنوان شریان حیاتی بیانگر اهمیت عملکرد آن‌ها در حفظ ایمنی، سلامت و بهداشت عموم است. شریان‌های حیاتی ازجمله زیرساخت‌های فاضلاب در برابر تهدیدات مختلف مطابق شواهد گذشته آسیب‌پذیر هستند و می‌توانند سبب ایجاد بحران‌های سیاسی، اجتماعی و یا اقتصادی گردند[۱]. موضوع آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها از این نظر دارای اهمیت است که می تواند مشکلاتی نظیر بحران‌های مهم ازجمله تأثیر منفی بر بهداشت عمومی جامعه و انتشار بیماری‌های واگیردار، ایجاد بار فشار بر روی تجهیزات تصفیه‌خانه پایین‌دست و ایجاد مشکلات حاد براثر ورود فاضلاب به مناطق مسکونی به‌ویژه در مناطقی که دارای زمین‌های سنگی و غیرقابل نفوذ بوده و یا اینکه دارای سطح آب‌های زیرزمینی بالا می‌باشند ایجاد کند[۲]. به همین دلیل با توجه به اینکه زیرساخت‌های فاضلاب به‌صورت مستقیم با سلامت عامه مردم در ارتباط است نیاز به یک تداوم عملکردی داشته و این موضوع هم‌راستا با اهداف پدافند غیرعامل است. دو رویکرد کلی برای کاهش اثرات و پیامدها بر زیرساخت‌های شهری وجود دارد [۳]:

- مقاوم‌سازی تأسیسات و اجزای زیرساخت و کاهش پیامدها با اقدامات فیزیکی
- کاهش و کنترل پیامدها و فجایع با دیدگاه‌های کلان مدیریتی و تغییر در سیستم

برای هر دو نوع این اقدامات مدیران و بهره‌برداران نیاز به اولویت‌بندی صحیح اجزاء جهت تخصیص بودجه، تخمین نزدیک به واقعیت از میزان خرابی‌ها و همچنین میزان تأثیر اقدامات پیشگیرانه بر عملکرد مطلوب سیستم در برابر تهدیدات جهت سیاست‌گذاری صحیح دارند؛ لذا تدوین و ارائه شاخص‌هایی که در ضمن ساده و قابل‌فهم بودن، تصویر کامل و واضحی از عملکرد زیرساخت‌ها در مواجهه با تهدیدات به دست دهند، بسیار ضروری است. در میان زیرساخت‌های آب‌رسانی، شبکه فاضلاب شهری در بهره‌گیری از مفهوم تاب‌آوری در برابر تهدیدات (انسان‌ساخت و طبیعی) تاکنون سهم چندانی نداشته و در این حوزه ارائه شاخص‌های سنجش تاب‌آوری که هم دربرگیرنده پارامترهای اساسی تاب‌آوری باشد و هم کاربردی و عملیاتی باشد، مغفول مانده است. رویکرد اصلی پدافند غیرعامل در این خصوص ارتقای سطح تاب‌آوری سیستم است تا شرایط بغرنج ایجادشده در اثر هرگونه تهدیدی به‌سرعت به حالت اولیه بازگردد و اختلالی در راندمان ایجاد نگردد. عدم توجه به این موضوع می‌تواند خود سبب افزایش نارضایتی‌ها، مشکلات و عواقب ثانویه گردد[۴]. خطوط انتقال فاضلاب و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اصلی‌ترین دارایی ها در زیرساخت‌های شبکه فاضلاب محسوب می‌شوند که بخش عظیمی از فاضلاب را منتقل و تصفیه می‌نمایند. اعمال تهدیدات سخت نظامی، تروریستی و غیره می‌تواند سبب ازکارافتادگی یا مسدود شدن تونل انتقال فاضلاب گردد و به‌موازات آن علاوه بر ایجاد مشکلات زیستی، سبب خسارت‌های سنگین اقتصادی خواهد شد[۵]. با توجه به این موضوع که هیچ‌گونه تونل مازاد با ظرفیتی برابر تونل انتقال فاضلاب غرب تهران وجود نداشته و کل بار فاضلاب توسط این تونل در غرب تهران منتقل می‌گردد لذا عدم تاب‌آوری تونل انتقال فاضلاب غرب تهران می‌تواند سبب مسائل و مشکلات زیادی برای کلان‌شهر تهران ایجاد نماید[۶]. از سوی دیگر به‌واسطه رشد سریع جمعیت در کلان‌شهر تهران، روند رو به رشد تقاضای سالانه آب (شرب، صنعت، کشاورزی و...) و ارتقای سطح زندگی شهروندان و به‌تبع آن افزایش نسبی مصرف آب، در کنار توسعه صنایع و افزایش تقاضای بخش کشاورزی و همچنین فضای سبز شهری در کل سطح شهر تهران، مدیریت بهتر منابع آب محدود موجود امری ضروری بوده و دراین‌بین شبکه جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب نقش مهمی را ایفا می‌کند. محدودیت منابع آب در تهران، استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده باکیفیت مناسب و متناسب با نحوه مصرف را ضروری ساخته و همچنین ضمن بهبود شرایط زیست‌محیطی و کاهش فشار بر منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، اجرای سیستم جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب را نیز دارای اهمیت فراوان می‌نماید[۷].

تونل انتقال فاضلاب غرب تهران با طول تقریبی ۶۵ کیلومتر به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های کلیدی شهر تهران (از دو تونل انتقال مهم این شهر) در حوزه فاضلاب شناخته می‌گردد که به فاصله ۲۵ متر پایین‌تر از سطح زمین‌ساخته شده است و ۲۵ درصد جمعیت شهر تهران (بخش غربی از منطقه ۲۲ تا انتهای منطقه ۱۸) را تحت پوشش قرار می‌دهد. اجرای این طرح سبب می‌شود تا ۱۹۰ میلیون مترمکعب پساب حاصل از جمع‌آوری فاضلاب جایگزین منابع آب زیرزمینی می‌گردد که تا پیش‌ازاین برای آبیاری فضای سبز تهران استفاده می‌گردد[۸]. تداوم عملکرد این سامانه برای کلان‌شهر تهران (بخش غرب کل تهران) بسیار مهم بوده و هرگونه اختلال در آن و یا عدم برگشت‌پذیری به‌موقع سبب توقف عملیات گردد و نتایج جبران‌ناپذیری ازجمله خسارت مستقیم به سایر زیرساخت‌ها، بهداشت عمومی، محیط‌زیست و غیره وارد نماید. از طرفی روند رو به رشد منطقه غرب تهران که دارای روند سریع‌تری نسبت به دیگر مناطق داشته حساسیت توجه به موضوع تاب‌آوری را نشان می‌دهد. تاب‌آوری زیرساخت تونل انتقال فاضلاب غرب به تصفیه‌خانه جنوب از شاخه‌ها و موضوعات جدی برای حفظ پایداری و ارتقای توان دفاعی شهر تهران در شرایط عادی و بحرانی محسوب می‌گردد، چراکه هرگونه اخلال علاوه بر خسارات سنگین اقتصادی، می‌تواند آسیب‌های منفی ثانویه‌ای مانند کاهش توان در تسریع مدیریت بحران کلان‌شهر تهران و اندرکنش‌های منفی با دیگر زیرساخت‌های هم‌جوار، آسیب به تصفیه‌خانه‌های فیروز بهرام و جنوب تهران، ایجاد بیماری‌های مختلف و تهدیدات زیستی به دنبال داشته باشد. درروش انتقال فاضلاب به‌صورت سنتی، به سبب آنکه سیستم فاضلاب یکپارچه نبوده هیچ تهدیدی در زمان بروز جنگ‌ها برای آن متصور نبود و تنها در هنگام بروز حوادث طبیعی مشکلاتی در نحوه دفع بهداشتی فاضلاب فقط در منطقه حادثه‌دیده مطرح بود ولی در سامانه‌های دفاع فاضلاب جدید که فاضلاب‌های خانگی و صنعتی به‌وسیله شبکه‌هایی جمع‌آوری می‌شوند و به‌وسیله خطوط انتقال به تصفیه‌خانه منتقل می‌شوند[۹, ۱۰]. امروزه جوامع در تلاش هستند تا آمادگی خود را جهت مواجهه با حوادث و همچنین مقابله با آن و بازگشت سریع‌تر به وضعیت پایدار در پی وقوع شرایط اضطراری حفظ نماید. ازاین‌رو در سال‌های اخیر به موضوع تاب‌آوری توجه زیادی شده است[۱۱]. بر همین مبنا پایداری اهداف یک سیستم را به وجود می‌آورد و مفاهیم تاب‌آوری برای رسیدن به این اهداف مورداستفاده قرار می‌گیرند و برای یک سیستم پایدار استفاده می‌شود، همچنین فرایند طراحی آن نیاز به در نظر گرفتن آسیب‌پذیری‌های آن سیستم به اختلالات دارد. نشان می‌دهد که چگونه تاب‌آوری یک سیستم می‌تواند بر پایداری آن تأثیر بگذارد. این شکل پایداری را به‌عنوان بخشی از تاب‌آوری نشان می‌دهد که با سیستم پایدارتر قادر به جذب، بازیابی و سازگاری با اقتصاد، محیط‌زیست و اختلالات اجتماعی است. طرفداران این ساختار سازمانی ادعا می‌کنند که دستگاه‌هایی که تاب آور تر هستند، می‌توانند بهتر عملکردهای پایدار را به دست آورده و حفظ کنند [۱۲, ۱۳].

شکل ۱: رابطه بین تاب آوری و پایداری یک سیستم

پیشینه تحقیق

نکویی و همکاران، در کتاب امنیت و تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی به بررسی تهدیدات، آسیب‌پذیری‌ها و روش‌های ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی ازجمله روش ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت (IRAM) پرداخته و چگونگی محاسبه هزینه تاب‌آوری باتوجه‌به شرایط ایده آل و شرایط مورد انتظار سیستم مورد بررسی قرار گرفته است[۱۴].ابراهیمی در پژوهش خویش، تحت عنوان ارزیابی تاب‌آوری شبکه توزیع آب شهری به ارزیابی تاب‌آوری شبکه توزیع آب شهری در برابر زلزله و تدوین برنامه شبیه‌سازی هم‌زمان با تلفیق رویداد گسسته و هیدرولیکی بر اساس معیارهای تاب‌آوری پرداخته است. بر اساس برنامه ترکیبی ساخته‌شده، زمان برگشت‌پذیری سستم مشخص می‌گردد[۳]. Chris Sweetapple در پژوهشی با عنوان چارچوب طراحی سیستم قابل‌اعتماد، قوی و مقاوم با کاربرد در کنترل تصفیه‌خانه فاضلاب ، چارچوبی برای طراحی سیستم قابل‌اعتماد، قوی و انعطاف‌پذیر ارائه می‌دهد و نیاز به عملکرد قابل‌قبول را نه‌تنها برای ارائه در شرایط مورد انتظار، بلکه برای

حفظ و یا بازگشت سریع به زمانی که تهدیدها علیه سیستم عمل می‌کنند، برطرف می‌کند. این امر از طریق بهینه‌سازی چندمنظوره حاصل می‌شود[۱۵]. Cimellaro Paolo در کتاب خویش با عنوان تاب‌آوری شهری برای واکنش و بازیابی اضطراری ، با تأکید بر اهمیت بعد زیرساختی فیزیکی، چندین مثال از کاربردهای حمل‌ونقل، آب، گاز و شبکه‌های برق را ارائه می‌دهد. مشکل وابستگی متقابل و اثر دومینو نیز در طول تجزیه‌وتحلیل در نظر گرفته می‌شود. همچنین بر روش‌های مختلف برای بهبود آمادگی در برابر بلایا و استراتژی‌های کاهش آسیب پذیری مهندسی تمرکز دارد، درحالی‌که فصل آخر پلتفرم‌های مختلف رایانه‌ای موجود در بازار برای ارزیابی تاب‌آوری جامعه را شرح می‌دهد. این کتاب مفاهیم طراحی مبتنی بر تاب‌آوریRBDرا به‌عنوان توسعه طراحی مبتنی بر عملکرد معرفی می‌کند. این روش طیف وسیعی از روش‌های پیشرفته برای ارزیابی تاب‌آوری را در اختیار خوانندگان قرار می‌دهد و تفاوت بین تاب‌آوری، آسیب‌پذیری و پایداری را روشن می‌کند[۱۳]. اسماعیل زارعی و همکاران، در مقاله ای با عنوان چارچوبی برای ارزیابی تاب آوری در سیستم های فرآیندی با استفاده از یک مدل MCDMترکیبی فازی، از معیاره ترکیبی فازیMCDMبرای کمی و ارزیابی تاب آوری با استفاده از فرایند سلسله مراتب تحلیلی فازیF-AHPو تکنیک های VIKORفازیF-VIKORانجام شده است. برای ارائه قابلیت مدل، انعطاف پذیری یک پالایشگاه گاز به عنوان نمونه ای معمولی از سیستم های فنی و اجتماعی ارزیابی قرارگرفته است. یافته ها سطح عملکرد شاخص های تاب آوری را در تمام واحدهای پالایشگاه مورد مطالعه و آنها نشان می دهد. رتبه بندی بر اساس محاسبه مقدار شاخص Qiبا توجه به ارزش Qi، بهترین و بدترین عملکرد واحدها از دیدگاه تاب آوری مشخص شد. نتایج نشان می دهد که مدل پیشنهادی میتواند به عنوان یک رویکرد ارزیابی موثر در سیستم های پیچیده عمل می کند و می تواند برای طراحی موثر استراتژی ها مورد استفاده قرار گیرد[۱۶]. Leandro Iannacone در پژوهشی با عنوان مدل سازی قابلیت اطمینان متغیر در زمان و تاب آوری زیرساخت های وخیم، وسعت مکانی و زمانی اختلال در خدمات ارائه شده توسط زیرساخت ها در پی وقایع مخرب ، ارتباط مستقیمی با وضعیت لحظه ای زیرساخت ها و بازیابی آنها پس از اختلال دارد. این مقاله یک فرمول جدید برای مدل سازی اثرات تخریب زیرساخت ها بر توانایی متغیر زمان آنها برای بازیابی پس از وقایع مخرب ایجاد می کند. با یکپارچه سازی مدل های موجود برای خرابی و بازیابی ، مقاله یک فرمول کلی برای مدل سازی وضعیت فیزیکی و عملکرد زیرساخت های خراب در طول عمر مفید آن ارائه می دهد. همچنین انعطاف پذیری را برای کمی کردن تغییرات زمانی و مکانی توانایی زیرساخت ها برای بازیابی پس از وقایع مخرب توسعه می دهد. فرمول پیشنهادی دارای ساختار سلسله مراتبی است که امکان بهره برداری از داده های موجود را در سطح پایین تر از سلسله مراتب برای بهبود قابلیت پیش بینی مدل ها در سطح زیرساخت فراهم می کند. گنجانیدن قوانین فیزیکی حاکم در فرمول پیشنهادی ، سفارشی سازی مدل ها را برای شبیه سازی واقعیت تخریب و بازیابی زیرساخت ها امکان پذیر می سازد[۱۷]. Michel Bruneau در پژوهشی با عنوان چارچوبی برای ارزیابی کمی و افزایش تاب‌آوری لرزه‌ای جوامع چارچوب مفهومی برای تعریف تاب‌آوری لرزه‌ای و اقدامات کمی تاب‌آوری ارائه می‌دهد که می‌تواند برای یک تلاش تحقیقاتی هماهنگ با تمرکز برافزایش این تاب‌آوری مفید باشد. این چارچوب بر اقدامات تکمیلی تاب‌آوری شامل: کاهش احتمال شکست ، کاهش پیامدهای ناشی از شکست و کاهش زمان بهبودی متکی است. این چارچوب همچنین شامل اقدامات کمی برای اهداف ، استحکام ، سرعت و تدبیر است و این اقدامات را در چهار بعد تاب‌آوری جامعه – فنی، سازمانی، اجتماعی و اقتصادی – ادغام می‌کند[۱۸]. نسترن نصیری و دیگر همکاران در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی لرزه‌ای قابلیت اعتماد شبکه آب‌رسانی، به بررسی تأثیر سناریوهای مختلف زلزله در قابلیت اعتماد شبکه آب‌رسانی با استفاده از روش مونت‌کارلو پرداخته‌شده است. همچنین بررسی تفاوت قابلیت اعتماد شبکه آب‌رسانی با در نظرگیری هیدرولیک شبکه و نشت باحالتی که تنها گراف شبکه و پیوستگی میان گره‌ها منظور شده باشد یکی دیگر از اهداف این پژوهش است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در اکثر گره‌های شبکه آب‌رسانی منطقه مطالعاتی انتخاب‌شده، قابلیت اعتماد در حالتی که هیدرولیک شبکه در نظر گرفته‌شده است نسبت به حالت ماتریس پیوستگی کاهش‌یافته است و با افزایش بزرگی زلزله میزان تفاوت این دو روش افزایش می‌یابد[۱۹].

پدرام موسوی مبارکه و دیگر همکاران در پژوهشی با عنوان افزایش تاب‌آوری تأسیسات فاضلاب شهری در برابر تهدید سیل به بررسی اثرات منفی ناشی از هرگونه قطع و توقف در سرویس‌دهی سیستم فاضلاب، خواه ناشی از بحران‌های طبیعی و خواه ناشی از رخدادهای غیرطبیعی پرداخته به گونه ای که تأثیرات بهداشتی زیاد و گسترده ای را در سطح جامعه به همراه داشته و باعث گسترش نارضایتی در سطح جامعه گردد. در این راستا، در این مقاله راهکارهای پیشگیرانه برای افزایش تاب‌آوری تأسیسات فاضلاب ارائه‌شده است[۵].

روش تحقیق

روش تحقیق این پژوهش توصیفی و تحلیلی و بر پایه مطالعات و یافته‌های کتابخانه‌ای و یافته‌های علمی معتبر و جدید است. پژوهش حاضر ازنظر هدف کاربردی و ازنظر گردآوری داده‌ها یک تحقیق توصیفی است. انجام پژوهش حاصل مطالعات کتابخانه‌ای، مراجعه به سازمان‌های مرتبط جهت اخذ داده‌ها، مصاحبه با خبرگان، انجام بازدیدهای میدانی و جمع‌آوری و دسته‌بندی اطلاعات و تدوین و ارائه شاخص‌ها بر روی منطقه‌ای واقعی است. موضوع تاب‌آوری در این تحقیق صرفاً حالت کیفی نداشته و بررسی‌های کمی در خصوص تأثیر عملکرد برای طرح صورت‌گرفته است و ازآنجاکه این پژوهش مربوط به مسائل تاب‌آوری و پدافند غیرعامل تونل انتقال فاضلاب است؛ لذا جامعه آماری در نظر گرفته‌شده برای مصاحبه این مطالعه از میان خبرگان حوزه‌ی مهندسی عمران گرایش‌های آب و فاضلاب و پدافند غیرعامل است. همچنین برای تحلیل داده‌ها از روش ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت (IRAM) استفاده گردیده است[۱۴, ۲۰].

روش ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت

روش ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت از روش‌هایی است که به طور خاص برای پاسخ به سؤالات زیر از سوی تحلیل‌گران زیرساخت در ارتباط با تاب‌آوری طراحی‌شده است.

- اگر اختلالی رخداد داد آیا سیستم زیرساخت می‌تواند امکان تداوم خدمات حیاتی را فراهم کند؟ اگر چنین است در چه سطحی؟ کدام مشخصات سیستم محدودیت تداوم عملکرد را افزایش می‌دهند؟
- عواقب ناشی از کاهش عملکرد زیرساخت پس از اختلال شامل چه مواردی می‌شود؟ این سؤال معمولاً به روش‌های عملکرد محور ارزیابی تاب‌آوری اشاره دارد.
- هزینه منابع و محدودیت‌های مربوط به بازتوانی آن رویداد چیست؟
- راهبردهای مؤثر برای پاسخ به اختلال‌ها چیست؟
- چه آمادگی‌ها و سرمایه‌گذاری‌هایی باید قبل از وقوع یک اختلال انجام پذیرد؟
- چه موازنه‌ای باید میان هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های بازتوانی و هزینه ناشی از خسارات برای افزایش تاب‌آوری به‌ویژه در محیطی با محدودیت منابع برقرار شود؟
- هدف از طرح تمامی پرسش‌ها، پاسخ به سؤال اصلی تاب‌آوری زیرساخت است:
- نحوه عملکرد سیستم زیرساخت در حین اختلال چگونه است؟

وش ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت شامل اجزای اصلی ذیل است که برای پاسخ به این پرسش‌ها می‌توان از آن‌ها استفاده نمود:

- یک تعریف متمرکز اندازه‌گیری تاب‌آوری
- یک روش کمی بری برآورد تاب‌آوری
- رویکرد ساختاری تجزیه‌وتحلیل تاب‌آوری

فرایند انجام روش

شش گام این فرایند به شرح زیر است:

۱- تعریف سیستم (ها): در گام اول، تحلیل باید سیستم زیرساخت تحت بررسی را تعریف کند.

اگر تحلیلگر بخواهد چندین سیستم را مقایسه کند، می‌توان چند سیستم را در نظر گرفت. تحلیل‌گر نیاز دارد به سؤالات زیر پاسخ دهد:

- چه اجزایی سیستم را تشکیل می‌دهند و باید در تحلیل‌ها قرار گیرند؟
- اجزا چگونه به هم مرتبط هستند و وابستگی‌ها کدام‌اند؟ مرزهای سیستم کدام‌اند؟

۲- تعریف سناریوها: این گام نیز برای تعیین دامنه‌ی تحلیل مهم است. تحلیلگر سناریوی اختلالی را مشخص می‌کند که بر سیستم زیرساخت تحت بررسی تأثیر می‌گذارد. اگر تحلیلگر بخواهد حوادث مختلفی را مقایسه کند می‌تواند چندین سناریو در نظر بگیرد. تحلیلگر باید ببیند چطور حوادث یک سناریو، سیستم‌ها را مختل می‌کنند و کدام فرایندهای بازتوانی انجام‌شده‌اند. علاوه‌برآن حین این گام تحلیلگر باید عوامل موقتی را مانند زمان شروع و پایان اختلال در نظر بگیرد. سناریوهای قدیمی ممکن است بر پایه‌ی حوادث واقعی باشند، درحالی‌که سناریوهای ذهنی باید محتمل باشند، بااینکه لازم نیست حوادثی با احتمال وقوع بالا باشند. برای تعریف سناریوهای اختلال به سؤالات زیر باید پاسخ داده شود:

- چه اختلالاتی شامل این تحلیل می‌شوند؟
- اختلال چه زمانی رخ می‌دهد؟
- آیا کارکنان زیرساخت توجه ویژه دارند که اختلال روی خواهد داد؟
- کدام اجزای زیرساخت به طور مستقیم از اختلال اثر می‌پذیرند؟
- آیا اجزای در معرض اختلال، آسیب فیزیکی دیده‌اند و اگر چنین است در چه وسعتی؟
- سطح خسارت اجزای عملکردی آسیب‌دیده چقدر است؟
- چگونه اثرات منفی از منطقه‌ی تحت اثر مستقیم به سایر مناطق گسترش می‌یابد؟
- آیا اجزایی که از آسیب‌های فیزیکی یا به طور غیرمستقیم
- به دلیل عدم وابستگی رنج می‌برند، وجود دارند؟
- اثرات سناریوی اختلال چه مدت طول می‌کشد؟
- چه فعالیت‌های بازتوانی ممکن است در پاسخ به اختلال انجام شود؟
- معیارهای مورداستفاده در تعیین اینکه بازتوانی کاملاً در نظر گرفته‌شده است کدام‌اند؟

۳- تعریف شاخص‌ها و معیارها: در گام قبل، به طور کیفی عملکرد سیستم و تلاش‌های بازتوانی شناسایی شد. گام سوم نیاز به شناسایی معیارهایی دارد که این فرایندها را اندازه‌گیری کند. معیارها باید برای عملکرد سیستم، عملکرد ایده آل آن و تلاش‌های بازتوانی شناسایی شوند. به‌صورت تئوری تعداد زیادی از معیارها پیدا می‌شوند، اما در عمل یک معیار واحد برای عملکرد سیستم و چند معیار برای تلاش‌های بازتوانی معمول است.

۴- جمع‌آوری اطلاعات :جمع‌آوری اطلاعات عملکرد سیستم و بازتوانی برای محاسبات تاب‌آوری وابسته به بازتوانی است. اطلاعات می‌تواند از طریق مدل‌سازی و شبیه‌سازی، منابع کتابخانه‌ای و نظرات متخصصان جمع‌آوری می‌گردد.

۵- محاسبه هزینه تاب‌آوری: هزینه‌های تاب‌آوری، اندازه‌گیری برگشت‌پذیری نسبی یک اختلال است؛ سیستم یا سناریو با هزینه‌های بیشتر، تاب‌آوری کمتری از سیستم یا سناریوی با هزینه‌های تاب‌آوری کمتر دارد. برآورد هزینه‌های تاب‌آوری تابع دو مقدار عددی است: تأثیر سیستماتیک و تلاش برای بهبودی کامل

*تأثیر سیستمیک: اثر تجمعی که اختلال بر عملکرد سیستم دارد، با تعیین تفاوت میان سطح عملکرد موردنظر سیستم و عملکرد واقعی آن تحت اختلال در طول دوره زمانی بازتوانی اندازه‌گیری می‌شود. محاسبه تأثیر سیستمیک مستلزم آن است تا معیارهای عملکرد مناسبی برای عملکرد سیستم انتخاب شوند.

$$SI = \int_{t0}^{tf} [TSP(t) - SP(t)]dt$$

SI تأثیر سیستمیک

TSP سطح عملکرد موردنظر سیستم

SP عملکرد سیستم

تلاش برای بهبود کامل: استفاده کامل از منابع درنتیجه فعالیت‌های بازتوانی است که پس از وقوع اختلال شروع می‌شود. در رویدادی که مقادیر تلاش بازتوانی را بتوان به‌صورت توابع ریاضی یک‌بعدی وابسته به زمان پیوسته نشان داد، تلاش برای بهبود کامل با انتگرال‌گیری از تابع تلاش بازتوانی(RE)محاسبه می‌شود. معادله دوم برای رویدادهایی که چند معیار برای بازتوانی انتخاب‌شده‌اند استفاده می‌شود. در این محاسبهrk مقادیر مثبت وزن هستند وkنشان‌دهنده معیارهای مختلف تلاش بازتوانی است.

$$TRE = \int_{t0}^{tf} [RE(t)]dt$$

$$TRE = \int_{t0}^{tf} \{\sum_k r_k(t)[RE_k(t)]\}dt$$

تحلیل تاب‌آوری زیرساخت شامل دو برآورد هزینه تاب‌آوری برای نشان‌دادن این وابستگی است: هزینه‌های تاب‌آوری وابسته به بازتوانی و هزینه‌های تاب‌آوری بهینه. هزینه‌های وابسته به بازتوانی: تاب‌آوری کمیتی بی‌بعد است که کل هزینه‌های سیستم زیرساخت را در اختلالی خاص (d) تعیین می‌کند.

$$RDR(d.RE.SP(t_0)) = \frac{SI + \alpha * TRE}{Norm}$$

α مؤلفه وزن غیرمنفی که امکان مشخص‌کردن اهمیت نسبی و پارامترهای تأثیر سیستماتیک و تلاش برای بهبودی کامل را تعیین می‌کند.عامل بی‌مقیاس کننده یک عامل نُرم است که مقایسه میان تاب‌آوری سیستم و مقادیر مختلف سطوح عملکرد سیستم را ممکن می‌سازد.

$$Norm = \int_{t0}^{tf} |TSP(t)|dt$$

$$Norm = \int_{t0}^{tf} \{\sum_j q_j(t)|TSP_j(t)|\}dt$$

$$Norm = \int_{i=1}^{N} |TSP(t_i)|(t_i - t_{i-1})$$

$$Norm = \int_{i=1}^{N} \{\sum_j q_j(t_i)|TSP_j(t_i)|\}(t_i - t_{i-1})$$

هزینه تاب‌آوری بهینه

این هزینه‌ها شامل هزینه کل سیستم زیرساخت در یک اختلال خاص (d) است و زمانی که روش بازتوانی بهینه که ترکیب تأثیر سیستمیک و تلاش برای بهبودی کامل را به حداقل می‌رساند مورداستفاده قرار می‌گیرند.

$$OR(d.SP(t_0)) = \min_{RE} \frac{SI + \alpha * TRE}{Norm}$$

ازآنجایی‌که RDR و ORبه طور مؤثری اثر اختلال را بر سیستم زیرساخت اندازه‌گیری می‌کنند، این کمیت‌ها با تاب‌آوری رابطه معکوس دارند. به این دلیل مقادیر بزرگ‌تر RDR و ORتأثیرات بزرگ‌تری از اختلال و نیز تاب‌آوری کمتری را نشان می‌دهد. مقادیر کوچک‌تر از تاب‌آوری بیشتری برخوردارند.

مقادیر RDR و OR همچنین می‌توانند برای مقایسه تاب‌آوری سیستم مشابه در اختلالات گوناگون استفاده شوند. سیستمی در برابر اختلالات بیشترین تاب‌آوری را دارد که منجر به مقادیر کوچک‌تر RDR و ORمی‌شود. علاوه‌برآن می‌توان از هزینه‌های تاب‌آوری برای مقایسه تاب‌آوری یک سیستم در برابر یک اختلال در استراتژی‌های مختلف بازتوانی استفاده نمود. هر یک از استراتژی‌های بازتوانی منجر به مقادیر مختلف SI و TREمی‌شوند. استراتژی بازتوانی که منجر به کمترین مقدار RDR شود بیشینه تاب‌آوری سیستم را فراهم می‌کند. به‌علاوه هزینه‌های تاب‌آوری می‌تواند برای مقایسه تاب‌آوری سیستم قبل و بعد از سرمایه‌گذاری‌های تقویت تاب‌آوری استفاده شود. یک کاهش در مقدار RDRمی‌تواند منافع سرمایه‌گذاری را تأیید کند، مقدار کاهش مقدار سود را نشان خواهد داد. مقادیر RDR و OR زمانی برای ما مهم هستند که مقایسه آن‌ها انجام شود. به‌هرحال زمانی که مقادیر RDR و ORبه طور مقایسه‌ای استفاده می‌شوند، به روش‌های مختلفی می‌توانند مفید باشند[۲۱].

اجرای ارزیابی ساختاری

گام نهایی شناخت مشخصات ارتقای تاب‌آوری است که بر تاب‌آوری سیستم اثرمی گذارند و منجر به نتایج کمی می‌شوند. شناخت این مشخصات راهنمایی را درمورد چگونگی بهبود تاب‌آوری سیستم فراهم می‌کند. این گام ممکن است همچنین رفتارهایی از سیستم را که از پیش در تحلیل تاب‌آوری در نظر گرفته نشده بود خصوصاً شناخت تلاش‌های بازتوانی شناسایی کند و منجر به بازگشت به گام‌های قبل شود. به این دلیل که کاربرد فرایند ارزیابی و ارتقای تاب‌آوری زیرساخت می‌تواند یک فرایند چرخه‌ای باشد؛ تکمیل یک گام ممکن است باعث شود تحلیلگر برگردد و دوباره به گام قبل فکر کند.

نتایج و بحث : گام اول تعریف سیستم

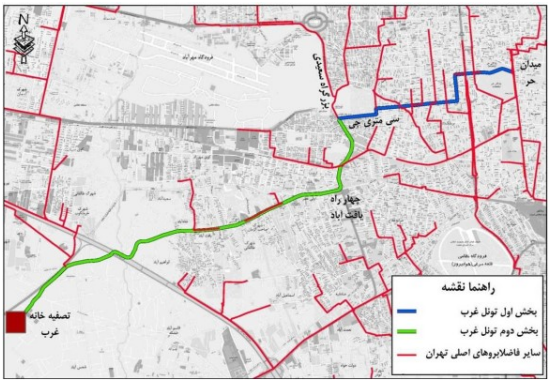
شبکه خطوط جمع‌آوری و انتقال واقع در محدوده تحت پوشش تصفیه‌خانه فاضلاب غرب و کاربری اراضی اطراف آن ارائه‌شده است. طول خطوط انتقال فاضلاب در این منطقه بیش از ۶۰ کیلومتر است که ۱۱. کیلومتر آن تونل با قطر ۳ متر، ۵ کیلومتر خطوط با اقطار ۱۸۰۰ (مانند خط کمیل، جی و آزادگان) و ۴۴ کیلومتر خطوط لوله فرعی با قطر ۱۶۰۰ میلی‌متر و کمتر است. دبی انتقالی توسط این شبکه معادل 217 m.m3/y است. باتوجه‌به اینکه تونل انتقال فاضلاب غرب اصلی‌ترین خط انتقال در این منطقه است، لذا در ادامه به بررسی فنی این مسیر پرداخته شده است [۸, ۲۲].

تونل غرب از دو بخش اصلی تشکیل شده است. بخش اول از میدان حر تا خیابان سی‌متری جی تقاطع بزرگراه سعیدی که دارای مقطعی شبه بیضوی با ارتفاع ۲. ۵ و حداکثر پهنای ۲.۰۲ متر و بخش دوم تا محل تصفیه‌خانه با مقطع دایروی به قطر ۳۰۰۰ میلی‌متر است [۲۳].

شکل ۲: خط انتقال فاضلاب غرب به تصفیه‌خانه فیروز بهرام

ردیف	نام کلکتور	تغییر قطر (mm)	عمق (m)	دبی کلکتور (m3/s)
۱	کارگر	از ۱۲۰۰ به ۱۸۰۰	۹.۵	۲.۹
۲	اسکندری	از ۱۰۰۰ به ۲۰۰۰	۶	۲.۱۴
۳	یادگار	از ۱۰۰۰ به ۲۰۰۰	۱۴	۰.۷۳
۴	جی	۲۰۰۰	۸	۴.۷
۵	بوتان	از ۱۲۰۰ به ۱۸۰۰	۶.۱	۲.۱
۶	۴۵ متری زرند	از ۱۰۰۰ به ۲۰۰۰	۶.۳۳	۰.۵۶
۷	الغدیر	از ۸۰۰ به ۳۰۰۰	۴	۰.۸۳
۸	غرب آزادگان	از ۲۲۰۰ به ۳۰۰۰	۶	۵.۱

جدول ۱: کلکتورهای اصلی تحت پوشش تصفیه‌خانه غرب تهران[۸]



شکل ۳: موقعیت و مسیر تونل غرب

گام دوم تعریف سناریو

در این بخش از سناریوهای محتمل ذهنی برای محاسبه و ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت مدنظر استفاده می‌شود. عدم وجود اطلاعات کافی، محاسبه و برآورد دقیق میزان تخریب و ارزش ریالی آن را غیرممکن می‌کند. ادامه کار با فرضیه‌های محتمل پیش می‌رود.

- سناریو اول: آسیب‌پذیری فیزیکی بخشی از تونل انتقال فاضلاب غرب
- سناریو دوم: آسیب‌پذیری فیزیکی تصفیه‌خانه فاضلاب فیروز بهرام
- سناریو سوم: مسدودشدن جریان توسط عملیات خرابکارانه و تروریستی
- سناریو چهارم: ورود مواد سمی، منفجره و خطرناک به داخل فاضلاب و آسیب به محیط‌زیست و دارایی‌های پایین‌دست

معیارها و استانداردهای مورداستفاده در برآورد تاب‌آوری باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که هم واحد بوده و امکان تجمیع و استفاده از آن‌ها درروش تحلیل ارزیابی زیرساخت و نتیجه‌گیری از آن‌ها وجود داشته باشد. به همین سبب بهترین واحد استفاده از حجم دبی است؛ یعنی هر معیاری را درنهایت به‌صورت میزان خسارت یا حجم دبی برآورد نماییم.

اجزای سامانه	بخش‌های آسیب‌پذیر	پتانسیل تهدید
تصفیه‌خانه	گسترده جغرافیای نسبتاً وسیع، دورافتاده و فاقد امنیت کافی	• تخریب یا ازکارانداختن تأسیسات • ورود مواد شیمیایی سمی به تصفیه‌خانه از طریق شبکه جمع‌آوری و منابع مخازن موجود در تصفیه
خط لوله	سامانه‌های بدون نظارت و با دسترسی آسان و زیاد	• استفاده به‌عنوان کانال انتقال سلاح و مواد منفجره • کارگذاری ادوات انفجاری بهینه شده در دریچه‌ها و آدم‌روها پرکردن خطوط لوله با مواد اشتعال‌زا

جدول ۲: ظرفیت تهدید سامانه های فاضلاب [۲۴, ۲۵]

پارامتر	معیار	تعریف	نحوه محاسبه
SI1	خدماتی	تفاضل میانگین مقدار برآورد شده روزانه فاضلاب توسط تونل از مقدار فاضلاب سرریز شده سمی و خطرناک	مترمکعب بر روز فاضلاب

جدول ۳: تعریف و نحوه‌ی محاسبه‌ی تأثیر سیستمیک SI

پارامتر	تعریف	نحوه محاسبه
RE1	هزینه فاضلاب تصفیه نشده، تصفیه‌خانه فیروز بهرام یا خسارت به اجزای تصفیه‌خانه	مقدار مترمکعب روزانه دبی فاضلاب تصفیه‌خانه
RE2	هزینه فاضلاب سرریز توسط سرریزها	هزینه خسارت بر اساس دبی فاضلاب سرریز شده (مترمکعب روزانه)
RE3	هزینه فاضلاب سوئیچ شده به تصفیه‌خانه جنوب	هزینه ورود فاضلاب (مترمکعب روزانه) فاضلاب به تصفیه‌خانه جنوب
RE4	هزینه فاضلاب منتقل‌شده در اثر تعمیر و نگهداری تونل انتقال فاضلاب	هزینه‌بر اساس تفاضل دبی عبوری از طریق سرریز کردن و انتقال به جنوب از (مترمکعب)

جدول ۴: تعریف و نحوه‌ی محاسبه‌ی تلاش‌های بازتوانی

گام پنجم محاسبه هزینه‌های تاب‌آوری

محاسبه SI و TRE

برای محاسبه مقدار هزینه‌های تاب‌آوری ابتدا باید مقادیر SI و TRE برای هر سناریو معلوم شود. تأثیر سیستمیک از مقدار SI1 محاسبه می‌شود و TRE نیز از مجموع تک‌تک تلاش‌های بازتوانی به دست آید.

$$SI = \int_{t0}^{tf} [TSP(t) - SP(t)]dt$$

سناریو	۱	۲	۳	۴
SI1	مترمکعب در روز ۴۲۷۶۸۰ = ۱۴۸۷۸۰۸-۱۹۱۵۴۸۸			

جدول ۵: تاثیر سیستمیک سیستم

محاسبه RE

RE1 بر اساس اطلاعات مقدار دبی روزانه فاضلاب تصفیه‌خانه فیروز بهرام معادل ۲۵۶۱۲۲ مترمکعب در روز است.

RE2 مقدار دبی سرریز شده فاضلاب معادل ۱۳۴۷۸۴۰ مترمکعب در روز است.

RE3 مقدار دبی منتقل‌شده به تصفیه‌خانه جنوب از طریق سوئیچ‌ها معادل ۱۳۷۳۷۶۰ مترمکعب روزانه

RE4 مقدار کاهش دبی عبوری معادل ۵۰ درصد دبی عبوری تونل برابر ۹۵۷۷۴۴ مترمکعب روزانه

سناریو	۱	۲	۳	۴
RE1			۲۵۶۱۲۲	
RE2				۱۳۴۷۸۴۰
RE3			۱۳۷۳۷۶۰	
RE4			۹۵۷۷۴۴	
TRE	۱۳۷۳۷۶۰	۱۶۲۹۸۸۲	۲۵۸۷۶۲۶	۲۹۷۷۷۲۲

جدول ۶: نتایج ارزیابی تلاش برای بهبودی کامل

محاسبه هزینه‌های تاب‌آوری

برای محاسبه هزینه‌های تاب‌آوری RDR نیاز به محاسبه عامل نرمال ساز Norm است که مجموع عملکرد سیستم در حال ایده آل است. (مقدار آلفا باتوجه‌به درنظرگیری سناریو های کیفی برابر یک در نظر گرفته‌شده است)

Norm=TSP+SI=3403296

SI= 427680

هزینه‌های تاب‌آوری برای

$$RDR(d.RE.SP(t_0)) = \frac{SI + \alpha * TRE}{Norm}$$

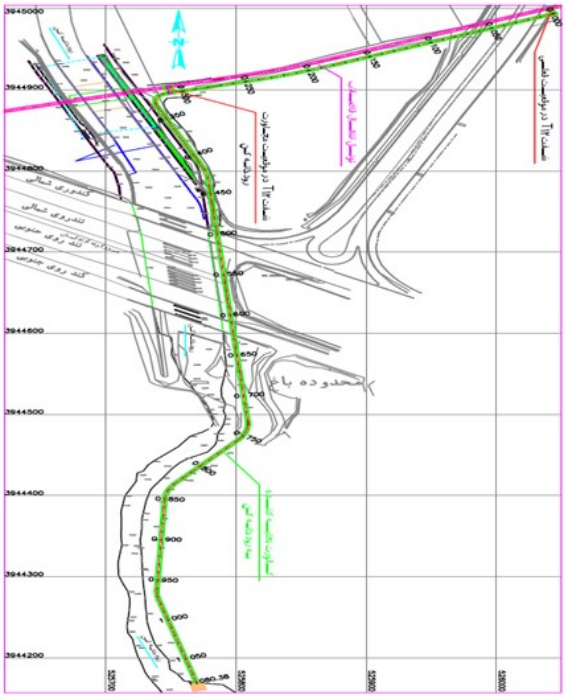
سناریو	۱	۲	۳	۴
RDR	۰.۵۲۹	۰.۶۰۴	۰.۸۸۵	۱.۰

جدول ۷: نتایج هزینه‌های تاب‌آوری

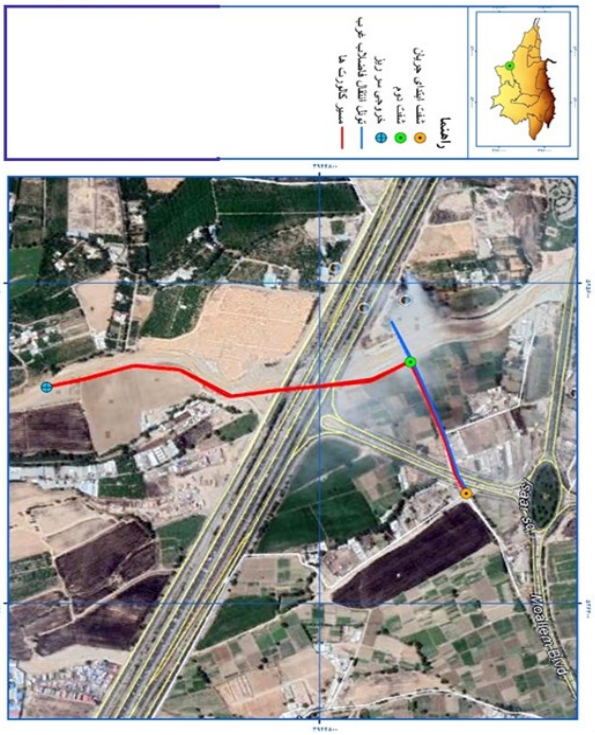
هر سناریو محاسبه‌شده است:

گام ششم ارزیابی ساختاری

رویکرد اندازه‌گیری هزینه‌ی تاب‌آوری IRAM، مکانیزمی را برای پاسخ به سؤال چگونه سیستم زیرساخت تاب‌آور می‌شود؟ ارائه می‌کند. نتیجه‌ی پاسخ به این پرسش این است که چرا سیستم زیرساخت درجه بالا یا پایینی از تاب‌آوری دارد؟مؤلفه‌ی تحلیل ساختاری کیفی IRAM ، مستقیماً با درنظرگرفتن ساختار، مشخصات و ویژگی‌های سیستم، به این سؤال پاسخ می‌دهد. در این گام راهکار طرح بای‌پس اضطراری به رودخانه کن برای مسیر تونل انتقال فاضلاب مورد ارزیابی قرار گرفته است. سرریز تونل غرب متشکل از دو شفت T12 در موقعیت‌های ابتدایی کانال و کنار رودخانه کن قرار گرفته است. شفت T12 باقابلیت دریافت جریان از خط کنارگذر به تونل اصلی و انتقال جریان به خط کنارگذر رودخانه است. تمامی مراحل ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت مجدداً برای راهکار پیاده‌سازی می‌گردد.



شکل ۴: پلان کالورت تخلیه کننده به رودخانه کن



شکل ۵: پلان جانمایی اجزای سرریز تونل غرب

با طرح بای‌پس اضطراری، میزان حجم فاضلابی که در هر RE بر حسب هر سناریو کاهش‌یافته است در جدول زیر ارائه گردیده است.

سناریو	۱	۲	۳	۴
RE1			۲۵۶۱۲۲	۲۵۶۱۲۲
RE2				
RE3				۱۳۷۳۷۶۰
RE4			۴۲۷۶۸۰	
TRE			۶۸۳۸۰۲	۱۶۲۹۸۸۲
RDR			۰.۳۲۶	۰.۶۰۴

جدول ۸: محاسبه هزینه‌های تاب‌آوری برای هر سناریو با اعمال راهکار

سناریو	۱	۲	۳	۴
RDR1	۰.۵۲۹	۰.۶۰۴	۰.۵۶۲	۰.۵۶۲
RDR2	۰.۱۲۵	۰.۱۲۵	۰.۳۲۶	۰.۶۰۴
RDRنهایی	۰.۰۴۰۴	۰.۴۷۹	۰.۲۳۶	۰
درصد	۲۴	۲۰	۵۸	۱۰۰

جدول ۹: تغییرات RDR حالت قبل و بعد از اعمال راهکار

محاسبه هزینه‌های تاب‌آوری بهینه OR

$$OR\left(d,SP(t_0)\right)=\min_{RE}\frac{SI+\alpha*TRE}{Norm}$$

از میان هزینه‌های تاب‌آوری هزینه‌های بهینه‌ی تاب‌آوری به معنای مقدار کمینه‌ی آن‌ها است.

نتیجه‌گیری

زیرساخت‌های حیاتی در هر کشور جزءلاینفک امنیت یک کشور محسوب می‌شود تا جایی که آسیب به آن‌ها موجب به‌وجودآمدن پیامدهای جبران‌ناپذیری می‌گردد. هرگونه اختلال در کارکرد یکی از زیرساخت‌ها می‌تواند منجر به ایجاد پیامدهای مخرب در سایر زیرساخت‌های وابسته و به‌تبع آن در کل جامعه گردد. ازاین‌رو، بحث حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی به یکی از اولویت‌های تحقیقاتی قرن بیست ویک تبدیل‌شده است. در کشور ما، مستحکم‌سازی زیرساخت‌های حیاتی و کاهش احتمال حملات عمدی، آسیب‌پذیری‌ها و پیامدهای مخرب، تنها با رعایت الزامات پدافند غیرعامل محقق می‌گردد. اهمیت موضوع تاب‌آوری به جهت اینکه سبب ارتقای پایداری کلی می‌گردد و شرایط بحرانی را با سه حالت تطبیق، جذب و بازیابی را تسهیل می‌بخشد یک رویکرد مهندسی با دیدگاه پدافند غیرعامل است. خطوط انتقال فاضلاب به دلایل متعددی ازجمله موارد ذیل ممکن است دچار اختلال عملکردی شوند:

- گرفتگی و انسداد خطوط فاضلاب‌رو
- مشکلات الکتریکی، مکانیکی و یا سازه‌ای
- خوردگی و یا شکستگی خطوط انتقال فاضلاب
- تجمع گازهای اشتعال‌زا در خطوط فاضلاب‌رو
- عدم تناسب ظرفیت خط انتقال با دبی فاضلاب
- سایر تخریب‌های جانبی

بر اساس شاخص‌های تهدیدات انسان‌ساخت، تهدیدات هوایی و موشکی، تهدیدات تروریستی و خرابکارانه با ابزارهای به ترتیب بمب و موشک و مواد سمی، خطرناک و منفجره بیشترین و محتمل‌ترین نوع تهدیدات تونل انتقال فاضلاب شناخته می‌گردند که می‌توانند سبب تخریب و یا انسداد تونل و تصفیه‌خانه پایین‌دست و همچنین ایجاد خسارات از طریق ورود مواد خطرناک به داخل محیط‌زیست گردند.

نتایج نشان می‌دهد که تاب‌آوری تونل انتقال فاضلاب غرب برای سناریوهای سوم و چهارم شامل ورود مواد سمی و خطرناک به داخل فاضلاب و مسدودشدن جریان توسط عملیات خرابکارانه و تروریستی تأثیر بسزایی دارند و در صورت هرگونه تهدید ظرفیت جذب، مقاومت و برگشت‌پذیری سیستم را افزایش دهند.

اگرچه ورود فاضلاب به محیط‌زیست و رودخانه‌ها اشتباه بود و از لحاظ مهندسی محیط‌زیست دارای ضوابط خاصی است و می‌تواند خسارات شدیدی به محیط‌زیست وارد نماید؛ اما ازآنجاکه مطابق کلیات پدافند غیرعامل، حفاظت وصیانت از مردم و زیرساخت‌های حیاتی در اولویت است و این موضوع در شرایط بحرانی اهمیت چندبرابری پیدا می‌نماید؛ لذا طرح بای‌پس اضطراری برای شرایط فوق شدید بحرانی در نظر گرفته‌شده است.

. در شبکه‌ها و تأسیسات شهری مانند شبکه توزیع آب، شبکه گاز، برق و حتی تلفن تدابیری برای قطع جریان در مواقع اضطراری وجود داشته و با تعبیه شیرها یا کلیدهای خاص، امکان قطع یا تغییر مسیر جریان وجود دارد، لیکن در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب که عموماً به‌صورت ثقلی طراحی می‌گردند هیچ‌گونه ابزار کنترلی پس از ورود فاضلاب به شبکه وجود نداشته و فاضلاب می‌بایست پس از ورود به شبکه، به تصفیه‌خانه منتقل گردد. این امر باعث می‌شود در شرایط مختلف در صورت بروز مشکل یا اختلال در شبکه، فاضلاب در خط انتقال پرشده و به‌اصطلاح پس بزند. تنها مورد کنترلی موجود در شبکه‌های فاضلاب، ایجاد سرریز اضطراری به‌منظور انحراف جریان از مسیر اصلی در مواقع اضطراری است. به‌گونه‌ای که فاضلاب از مسیر اصلی خود وارد شبکه دیگر گردد که این شبکه می‌تواند شامل مسیرهای در نظر گرفته‌شده بای‌پس یا مسیل‌ها و رودخانه‌ها باشد. در این حالت، تمام یا بخشی از فاضلاب درون لوله، در بالادست نقطه آسیب‌دیده به مسیرهای دیگر انتقال‌داده‌شده تا شرایط اصلاح و تعمیر مهیا گردد. همچنین در صورت ورود مواد سمی، خطرناک یا اشتعال‌زا، می‌توان در بالاترین نقطه و نزدیک‌ترین نقطه به محل ورود آلودگی، از سرریز به‌منظور خروج فاضلاب آلوده یاسمی به خارج از شبکه اقدام نمود تا کل شبکه و تصفیه‌خانه، دچار صدمات غیرقابل‌برگشت نگردند.

ter readiness," " Am. J. Community Psychol., vol. 41, no. 1–2, pp. 127–150, 2008.."
12. "G. P. Cimellaro, A. M. Reinhorn, and M. Bruneau, ""Framework for analytical quantification of disaster resilience,"" Eng. Struct., vol. 32, no. 11, pp. 3639–3649, 2010."
13. "G. P. Cimellaro, "Urban Resilience for Emergency Response and Recovery," vol. Fundamental Concepts and Applicationsspringer: Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering, 2016."
14. B. Betty, *The book Security and Resilience of Vital Infrastructure*. Malek Ashtar University of Technology Publications, 2019.
15. Chris Sweetapple; Guangtao Fu; and David Butler," Reliable, Robust, and Resilient System Design Framework with Application to Wastewater-Treatment Plant Control", Journal of Environmental Engineering /Volume 143 Issue 3 - March 2017."
16. "Esmaeil Zarei, Bahman Ramavandi, Amir Hossein Darabi, MohsenOmidva/ A framework for resilience assessment in process systems using a fuzzy hybrid MCDM model, Journal of Loss Prevention in the Process Industries , Volume 69, March 2021, 104375" (In Persian).
17. L. Iannacone and et.all, "Modeling Time-varying Reliability and Resilience of Deteriorating Infrastructure," 2014.
18. M. Bruneau and et.al, "A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities " *Journal Earthquake spectra,* 2003.
19. n. nasiri and a. safaei, "Seismic Assessment of Water Supply Network Reliability," *3rd Iranian Congress of Water and Wastewater Science and Engineering, Shiraz,* 2019 (In Persian).
20. Z. Taghipour.Ahangar, "Presenting a model for evaluating and improving resilience in hydroelectric dams with a passive defense approach," Master Thesis, Passive Defense Complex of Malek Ashtar University of Technology, Malek Ashtar University of Technology, Passive Defense University Complex, 2020 (In Persian).
21. "H. Hill, J. Wiener, and K. Warner, ""From fatalism to resilience: reducing disaster impacts through systematic investments," " Disasters, vol. 36, no. 2, pp. 175–194, 2012."
22. a. ardeshiri and a. nazem, "Reducing the costs and risks of the West Tehran sewage transfer project by changing the direction of

1. 2M. Pęciłło, "The resilience engineering concept in enterprises with and without occupational safety and health management systems," *Safety Science 82:190-198,* vol. Application of resilience engineering to OSH management systems, 2016.
2. A. Moghadam, A. Akbar, and M. Mollazadeh, "Crisis management of water and sewage distribution networks in natural disasters (floods)," *Fifth National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Management, Tehran,* 2017 (In Persian).
3. A. Hossein-Ebrahimi, "Thesis of resilience evaluation of urban water distribution network and development of simultaneous discrete and hydraulic event simulation program based on resilience criteria," *Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology,* 2017 (In Persian).
4. H. Mashhadi, "Develop and present a model for threat assessments, vulnerability and risk analysis of critical infrastructure with a focus on passive defense," *journal of emergency management,* 2015 (In Persian).
5. P. Mousavi, F. Bakhtiari, m. salehzadeh, and S. Bolandnazar, "Increasing the resilience of municipal sewage facilities against the threat of floods," *Sixth Comprehensive Conference on Crisis Management and HSE, Tehran,* 2018 (In Persian).
6. *Tehran ABFA Sewerage Company 2017, studies and design of hydraulic safety of Tehran Sewerage Network (first and second phase studies);* (In Persian).
7. M. Masoudnejad, B. Mahmoudi, and h. fatahi, "Risk assessment of Tehran municipal sewage projects," *National Conference on Health, Safety and Environment in the Construction Industry,* 2016 (In Persian).
8. "Socio-environmental studies of emergency overflows of Tehran sewerage network (November 2017)." (In Persian).
9. J. Krolikosawa, "Damage Evaluation Of A Towns sewage system in southern Poland by thepreliminary hazard analysis method," *Environment Protection Engineering, vol 47 no.9,* 2011.
10. *ISO/DIS 31000 (2009). Risk Management – Principles and Guidelines On Implemention. International Organization Standardization.*
11. "F. H. Norris, S. P. Stevens, B. Pfefferbaum, K. F. Wyche, and R. L. Pfefferbaum, ""Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disas-

23. "H. Hill, J. Wiener, and K. Warner, "“From fatalism to resilience: reducing disaster impacts through systematic investments,” " Disasters, vol. 36, no. 2, pp. 175–194, 2012."
24. a. ardeshiri and a. nazem, "Reducing the costs and risks of the West Tehran sewage transfer project by changing the direction of the tunnel and crossing the Tehran-Tabriz railway," *Conference on Resistance Economy Mining Experience, General Mechanics Company,* 2018 (In Persian).
25. *Aban Pajooh Company Website "West Tehran Sewerage Tunnel", http:// www.abanpazhouh.ir* (In Persian).
26. *ASCE, "American society of civil engineering," https://www.asce.org/2020.*
27. t. l. norman, *Risk Analysis and Security Countermeasure Selection*. CRC Press; 1st edition (December 18, 2009).