ISSN: 2538-4384; Geographical Researches. 2021;36(2):217-232. DOI: 10.29252/geores.36.2.217

GEOGRAPHICAL RESEARCHES JOURNAL

A Spatial Model for Assessing Urban Sewage Network Accidents in Cities with Historical Context: A Case Study of Isfahan.

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Katiraei F.[1] *Msc,*
Gharagozlu A.*[2] *PhD,*
Alesheikh AA.[3] *PhD,*
Hemmasi AH.[4] *PhD*

How to cite this article
Katiraei F, Gharagozlu A, Alesheikh AA, Hemmasi AH. A Spatial Model for Assessing Urban Sewage Network Accidents in Cities with Historical Context: A Case Study of Isfahan. Geographical Researches. 2021;36(2):217-232.

[1]Department of GIS and RS, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[2]Department of Geotechnics and Transportation, Faculty of Civil, water and environmental engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
[3]Department of Geospatial Information System, Faculty of Geodesy and Geomatic Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
[4]Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources & Environment, Science & Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Correspondence
Address: Shahid Beheshti University, Shahid Shahriari Square, Evin, Tehran, Iran. Postal Code:1983969411.
Phone: +98 (21) 73932450
Fax: +98 (21) 77313062
a_gharagozlo@sbu.ac.ir

Article History
Received: December 09, 2020
Accepted: February 20, 2021
ePublished: June 16, 2021

ABSTRACT

Aims The expansion of cities in recent years has led to an increase in uncontrolled construction around historic buildings and as a result has caused problems such as moisture leakage into the foundations of historic buildings. Isfahan province with more historic buildings It is the first city in 400 years that the sewerage network has been implemented. In recent years, some of these works have been exposed to moisture from old and dilapidated facilities. Therefore, overcoming this problem requires designing a spatial model based on smart technology in the operation of the municipal sewage network.

Methodology This model was designed based on the combination of the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS) based on the Getis ord GI* index. After combining the results of this combination with statistical analysis, using non-parametric Kendall and Spearman tests, wastewater accidents and their probability of occurrence in the context of historical regions were evaluated.

Findings This model is capable of evaluating previous sewage accidents and predicting the possibility of future accidents in the historical regions of the cities. Such a model has an empirical nature and as a result, can be updated in the event of an accident in the future. The combination of the Analytical hierarchy process and the Getis ord Gi* index is a special feature of this research.

Conclusion In the study area, soil type, inappropriate infrastructure, worn sewer pipes, small diameter pipes, and population density were identified as the most important causes of accidents in the sewerage network.

Keywords Spatial Model; Sewerage Network; Geographic Information System; Historical Region; Getis ord Gi*Index

CITATION LINKS

[Abedini A, Karimi R; 2019] Assessment of the effective ...; [Aryafar A, et al; 2019] GIS-based comparative ...; [Asefi H, et al; 2010] Pressure management of urban ...; [Asghari E, et al; 2018] Site selection for Shahindezh ...; [Chen W, et al; 2016] Effect of inorganic silicate consolidation ...; [Crawford D, Hung M; 2012] Implementing a utility geographic ...; [Delavar M, et al; 2009] Accident management model ...; [De Moura EN, Procopiuck M; 2020] GIS-based spatial analysis ...; [Eskan news; 2018] Humidity lurks in the first ...; [Fars news; 2018] The story of the humidity of ...; [Ferrara C, Matteo Barone P; 2015] Detecting moisture damage ...; [Foroughi F; 2017] Tasnim News Agency: Moisture ...; [Ghaed Amini A, et al; 2020] Assessing tourism potentials ...; [Ghalenoei M, et al; 2019] Assessing the prioritization of ...; [Hasibi A, et al; 2014] Presenting the principles ...; [Irankhahi SA, et al; 2017] Combination of GISFM and TOPSIS ...; [Karimi M, et al; 2018] Qualitative risk assessment ...; [Katiraei F, Ghadirian P; 2016] Wastewater collection network ...; [Katiraei F, et al; 2014] Designing a model for assessing and ...; [Katiraei F, et al; 2019] A GIS model for urban ...; [Marzouk M, Othman A; 2020] Planning utility infrastructure ...; [McNeil BE, et al; 2002] Implementation and application ...; [Moayedfar S, Rafie S; 2018] Planning urban secure ...; [Moeeni R, et al; 2018] Number of blockage prediction ...; [Mohammadi A, et al; 2018] Spatial analysis of urban ...; [Omidipoor M, et al; 2013] A GIS-based decision support ...; [Pirak M, et al; 2015] Investigation of the mechanism ...; [Rahman F, et al; 2010] Sewerage network design ...; [Riyahipur M, et al; 2020] Crisis management ...; [Saremi H, et al; 2020] Study of spatial ...; [Schaefli B, et al; 2011] HESS Opinions: Hydrologic ...; [Shakeri M, et al; 2013] Design of a road ...; [Shevlyakova MI, Atkina LI; 2019] Application of GIS technologies ...; [Stimers MJ, et al; 2019] Archaeological site ...; [Tabibian M, et al; 2020] Historic Urban Landscape ...; [Taghvaei M, Jozi khamslooei A; 2019] Vulnerability analysis and prioritization ...; [Torkashvand A, et al; 2016] Recognition of the components ...; [Yan D, et al; 2019] Characteristics, sources ...; [Yang S, et al; 2020] The spatial distribution ...

Copyright© 2021, the Authors | Publishing Rights, ASPI. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

طراحی مدل مکانی ارزیابی حوادث شبکه فاضلاب شهری در شهرهای دارای بافت تاریخی مطالعه موردی: شهر اصفهان

فرهاد کتیرایی Msc
گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران.
علیرضا قراگوزلو* PhD
گروه ژئوتکنیک و حمل و نقل، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
علی‌اصغر آل شیخ PhD
گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
امیرهومن حمصی PhD
گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحدعلوم و تحقیقات، تهران، ایران

چکیده
اهداف: گسترش شهرها در سال‌های اخیر باعث افزایش ساخت‌وسازهای بی‌رویه در اطراف بناهای تاریخی شده و در نتیجه سبب بروز مشکلاتی از قبیل نشت رطوبت به داخل پی بناهای تاریخی شده است. استان اصفهان با دارا بودن بناهای تاریخی با قدمت بیش از ٤٠٠ سال اولین شهری است که شبکه فاضلاب در آن اجرا شده است. در سالیان اخیر برخی از این آثار در معرض رطوبت ناشی از تاسیسات قدیمی و فرسوده قرار گرفته‌اند؛ بنابراین غلبه بر این مشکل نیازمند طراحی یک مدل مکانی مبتنی بر فناوری هوشمند در بهره برداری از شبکه فاضلاب شهری است.
روش‌شناسی: این مدل براساس تلفیق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) براساس شاخص Getis ord GI* طراحی گردید. پس از ترکیب نتایج حاصل از این تلفیق با انجام تحلیل آماری، با استفاده از آزمون‌های غیرپارامتری کندال و اسپیرمن، حوادث فاضلاب و احتمال وقوع آنها در محدوده بافت‌های تاریخی مورد ارزیابی قرار گرفت.
یافته‌ها: این مدل قابلیت ارزیابی حوادث فاضلاب قبلی و پیش‌بینی احتمال وقوع حوادث آینده در بافت تاریخی شهرها را دارا است. چنین مدلی یک ماهیت تجربی (Empirical) دارد و در نتیجه در صورت وقوع هرگونه حادثه در آینده قابل به روزرسانی خواهدبود. همچنین این مدل قابل تعمیم به کلیه شهرهای دارای بافت تاریخی است که نفوذ نم و رطوبت ناشی از شبکه‌های فاضلاب شهری باعث آسیب‌دیدگی بناهای تاریخی آنها شده است. تلفیق شاخص Getis ord Gi* و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، نوآوری ویژه این پژوهش محسوب می‌شود.
نتیجه‌گیری: در منطقه مورد مطالعه، نوع خاک، زیرساخت‌های نامناسب، لوله‌های فاضلاب فرسوده قطر کم لوله‌ها و تراکم جمعیت به عنوان مهم‌ترین عوامل وقوع حوادث در شبکه فاضلاب در منطقه مطالعاتی تعیین گردید.
کلیدواژه‌ها: مدل مکانی، شبکه فاضلاب، سیستم اطلاعات جغرافیایی، بافت تاریخی، شاخص Getis ord Gi*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۲
*نویسنده مسئول: a_gharagozlo@sbu.ac.ir

مقدمه

گسترش سریع شهرنشینی در سرتاسر جهان، چالش‌های قابل توجهی از قبیل کمبود فضای ساخت‌وساز، افزایش بافت فرسوده، ترافیک، کمبود امکانات زندگی و آلودگی محیط زیست را به دنبال داشته‌است. دلیل اصلی وقوع مشکلات ذکر شده، ازدحام بیش‌ازحد جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی در مناطق شهری است، که فراتر از ظرفیت فعلی شهرها است[Irankhahi *et al.,* 2017]. فضاهای شهری می‌توانند در انسان حس گم‌گشتگی ایجاد نمایند یا انسان را به خود جلب نمایند، به‌گونه‌ای که مردم این فضاها را به عنوان بستری مناسب برای زندگی اجتماعی خود می‌یابند. اگر مردم فضایی را به دلیل عدم امنیت استفاده نکنند، این عرصه عمومی از بین می‌رود [Moayed far *et al.,* 2018] شهرها موجودات زنده و فعالی هستند که محدوده تاریخی آنها در حکم قلب این موجود زنده عمل می‌کند. بنابراین محدوده تاریخی شهرها بیانگر هویت تاریخ و معماری و شهرسازی دوران گذشته شهر است [Abedini *et al.,* 2019]. نواحی و محلات تاریخی شهری به عنوان بخشی از سیستم شهری عرصه سکونت، کار و فعالیت‌های روزمره، گستره وسیعی از افراد و ذینفعان از قبیل بازدیدکنندگان، پیمانکاران، سازندگان و استفاده‌کنندگان است. این نواحی در معرض فشار فزاینده ناشی از تامین نیازهای استفاده‌کنندگان و فرآیندهای اجتناب ناپذیر توسعه شهری هستند [Saremi *et al.,* 2020]. تهیه برنامه‌های حفاظت از "شهرهای تاریخی و فرهنگی" بخش مهمی از سیستم حفظ شهرهای تاریخی است. این طرح‌ها معمولا دارای یک سند قانونی هستند که نظارت برحسن اجرای قوانین و مقررات مربوط به حفظ میراث فرهنگی را به عهده دارند و به عنوان یک راهنمای فنی، اجرایی برای برنامه‌ریزی توسط مدیران شهری محسوب می‌شوند [Tong *et al.,* 2019]. محدوده کهن و تاریخی یک شهر، شکل شکل یافته زنده‌ای از واقعیت تاریخی آن شهر است که به شیوه‌های گوناگون و بصورت لایه‌های مختلف به زبان معماری در طول زمان بیان شده است. هر لایه از این محدوده مبین یک نوع زندگی، اندیشه و فرهنگ است [Hasibi *et al.,* 2014]. از این رو میراث شهری را نمی‌توان به‌عنوان یک واقعیت مجزا و محدوده محصور بدون ارتباط با کلیت شهر تصور نمود [Tabibian *et al.,* 2020]. میراث فرهنگی هر کشوری، بیانگر پیشینه تاریخی و هویت یک ملت در طول ادوار مختلف است. میراث معماری و شهرسازی در این میان با داشتن تجسم کالبدی، دارای ارزش‌های مختلفی است که از آن جمله می‌توان به ارزش‌های اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی آن اشاره کرد [Ghalenooei *et al.,* 2019]. شهرسازی و تمدن شهرنشینی، حفظ هویت و اصالت شهری و تبیین حیات شهری براساس شواهد و مدارک علمی، همواره مورد توجه بوده است [Torkashvand *et al.,* 2016]. حفاظت از بناهای تاریخی ارزشمند در بحران‌های طبیعی و انسانی در قالب برنامه‌های مدیریت بحران، امداد و نجات و تخلیه اضطراری جمعیت و اموال ارزشمند، فرآیندی حساس و حیاتی است [Chen *et al.,* 2016]. این فرآیند زمانی دشوارتر می‌گردد که بناهای تاریخی کاربری‌های متفاوتی مانند مسکونی، اداری، موزه و غیره داشته باشند. برآورد

میزان آسیب‌پذیری کاربری‌های تاریخی در محیط‌های شهری به سه معیار مهم ماهیت خطر یا بحران و شدت آسیب‌های ناشی از آن، میزان ضعف و ناپایداری بناهای تاریخی بر اثر عوامل مختلف انسانی و طبیعی و در نهایت میزان قرارگیری این بناها در معرض خطرات اولیه و ثانویه ناشی از بحران بستگی دارد [Taghvaei *et al.*, 2019]. نمای خارجی بناها به خصوص بناهای خشتی، آجری، سنگی نمونه‌های بارز و مشهودی هستند کـه در صـورت قرار گرفتن در شرایط رطوبتی، عـلاوه بر اینکه از نظر ظاهر و زیبایی، منظر نامطلوبی بـه خود می‌گیرند، از لحاظ ایستایی نیـز دچار مشکلات فراوانی می‌شوند؛ به طوری‌که اگر تبلور نمک‌ها در داخل خلل و فرج و در فاصله معینی در زیر لایه‌های سطحی اتفاق بیافتد، موجب بیشترین آسیب‌رسانی و عدم یکپارچگی در ساختار مواد و مصالح می‌شود که در اصطلاح، این پدیده را نهان شکفتگی می‌گویند. مواد و مصالح سازنده یک بنای تاریخی، الگوهای تخریبی متفاوتی را همچون پوسته‌شدن، ورقه‌شدن، پولکی‌شدن، پودری‌شدن و زبر و ناهموارشدن بروز می‌دهند؛ لذا شناسایی عوامل مخل و تعیین و تشخیص این آسیب‌ها، در پیشگیری و درمان مواد و مصالح و حفاظت از بناهای تاریخی حائز اهمیت خواهد بود [Pirak *et al.*, 2015].

در سالیان اخیر رشد و توسعه شهری و افزایش جمعیت شهرنشین سبب پیچیدگی هرچه بیشتر فرآیند برنامه‌ریزی، طراحی و بهره‌برداری از شبکه‌های تاسیسات شهری گردیده‌است. باتوجه به این پیچیدگی روزافزون، روش‌های سنتی فرآیند برنامه‌ریزی، طراحی و بهره‌برداری از شبکه‌ها، دیگر پاسخگوی نیازهای امروز شهرها نهستند و استفاده از فناوری‌های جدید و هوشمند را می‌طلبد.

اولین گام جهت برنامه‌ریزی و طراحی شبکه‌های شهری، برداشت داده‌های مکانی مورد نیاز است. پروژه‌های GIS در زمینه خدمات شهری به منظور تهیه اطلاعات، جهت امور طراحی و مهندسی و مدیریت خدمات شهری و نیز تهیه اطلاعات مرتبط با برنامه‌ریزی شهری به اجرا در می‌آیند و ضمن جلوگیری از انباشته شدن اطلاعات تکراری در مکان‌های مختلف و جمع‌آوری یکپارچه آنها، امکان دست‌یابی سریع به اطلاعات را فراهم کرده و در نهایت باعث افزایش راندمان می‌شوند. همچنین GIS می‌تواند نقش بسیار موثری را در مکانیزه نمودن روند برنامه‌ریزی و بهره‌برداری از تاسیسات شهری ایفا نماید. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدت‌هاست به عنوان ابزاری ارزشمند برای مدیریت، تفسیر و نگهداری بهتر منابع و همچنین سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی شهری به ویژه بافت تاریخی شهرها مورد استفاده قرار می‌گیرند [Mcneil *et al.*, 2002]. هدف از طراحی مدل‌های مکانی نشان دادن اثربخشی روش‌هایی است که براساس استفاده از محتویات GIS موجود، نظیر منابع اداری، نقشه‌های شهری (Google Map) و شاخص‌های مکانی از دیدگاه حفظ میراث فرهنگی طراحی شده است [Shevlyakova *et al.*, 2019].

GIS ابزاری قدرتمند برای مدیریت، پردازش و تحلیل داده‌های مکانی بوده و در ترکیب با تکنیک‌های آماری، می‌تواند به عنوان ابزاری پشتیبان در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای عمل کند [Nunes de Moura *et al.*, 2020]. GIS به عنوان یک سیستم مبتنی بر رایانه، قادر به ضبط، ذخیره‌سازی و بازیابی، تجزیه و تحلیل و نمایش داده‌های مکانی و همچنین ابزاری مناسب برای ساختن نقشه‌های مختلف توزیع فضایی است [Aryafar *et al.*, 2019].

زیرساخت داده مکانی (Spatial Data Infrastructure) با ایجاد بستری مناسب برای همکاری بین سازمان‌های مختلف تولیدکننده داده، نقش کلیدی در به اشتراک‌گذاری داده‌های مکانی ایفا می‌نماید. زیرساخت داده مکانی، چارچوبی از سیاست‌ها، استانداردها و فناوری‌هایی است که قابلیت کاربران را در دسترسی به اطلاعات سازمان‌های مختلف و تلفیق اطلاعات مکانی ناهمگون توزیع یافته، افزایش می‌دهد [Alesheikh *et al.*, 2013]. از این رو به اشتراک گذاری داده‌های مربوط به بافت‌های تاریخی آسیب دیده ناشی از شبکه‌های تاسیسات شهری از سوی سازمان میراث فرهنگی کشور با سازمان‌های مرتبط با شبکه‌های تاسیسات شهری می‌تواند گام مهمی در تلفیق اینگونه داده‌ها و شناسایی نواحی آسیب دیده از شریان‌های حیاتی فرسوده شهری محسوب شود. مدیریت میراث فرهنگی با استفاده از داده‌های مکان مبنا یک دانش پایه با رشد سریع است، که منجر به پیکربندی‌های مناسب شهری و جلوگیری از گسترش بی حد و حصر کاربری زمین به روش‌های غیرقابل پیش‌بینی می‌گردد [Stimers *et al.*, 2019]. از طرفی با رشد سریع شهرنشینی، لزوم هوشمندسازی شهرها بیشتر احساس می‌شود و نیاز شهرها به برنامه‌ریزی دولت‌ها برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار و شکل‌گیری شهرهای هوشمند افزایش می‌یابد [Marzouk *et al.*, 2020]. رشد و توسعه روزافزون تکنولوژی نیز، قابلیت‌های زیادی را برای برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت بهره‌برداری شبکه‌های شهری فراهم آورده‌است. به‌عنوان مثال استفاده از سنسورهای مختلف امکان پایش وضعیت شبکه فاضلاب را بصورت آنی (Real time) فراهم آورده‌است. همچنین تکنولوژی بررسی و پایش لوله‌های فاضلاب بازرسی دوره‌ای لوله‌هایی که در معرض فرسایش و خوردگی قرار دارند را امکان پذیر نموده‌است. شبکه اینترنت هم در فراهم آوردن ارتباط بین سنسورها و حتی شبکه‌های مختلف تاسیسات شهری نقش کلیدی ایفا می‌نماید. نهایتا"، بسیاری از شرکت‌های ارائه دهنده خدمات و تاسیسات شهری با استفاده از شبکه اینترنت امکان برقراری ارتباط با مشترکین شبکه را فراهم آورده‌اند و از مراجعات غیرضروری مردم به ادارات به نحو قابل ملاحظه‌ای کاسته شده است [Katiraei *et al.*, 2016]. ارائه یک ساختار مناسب که بتواند براساس محدودیت‌های موجود، تسهیلاتی را برای نوسازی محدوده‌های فرسوده شهری براساس الگوی ساخت‌وساز در بافت فرسوده شهری فراهم سازد، ضرورتی اجتناب ناپذیر است. در این رابطه وجود شاخص‌ها و معیارهای مختلف مکانی و غیرمکانی در فرآیند نوسازی محدوده‌های فرسوده پیچیدگی‌هایی را برای این الگو تحمیل می‌کند. نوسازی نواحی

فرسوده شهری در بهبود شرایط نامطلوب اجتماعی، اقتصادی، کالبدی و فرهنگی این نواحی نقش مهمی را ایفا می‌کند. امکان نوسازی در این نواحی بدون مشارکت بخش خصوصی، دولتی و جامعه محلی میسر نیست. از این‌رو مدیران شهری همواره درصدد هستند که یک چارچوب نوسازی مشارکتی و شهروند محور را در نواحی فرسوده شهری پیاده نمایند [Omidipoor *et al.,* 2019]. بخشی از این فرآیند نوسازی، شامل اصلاح و بازسازی شبکه‌های تاسیسات شهری است که به دلیل قدمت و فرسودگی به‌ویژه در نواحی مرکزی شهر و در مجاورت بافت‌های تاریخی نیاز به ترمیم و اصلاح دارند. استفاده از چنین مدلی که حاصل تلفیق یک مدل جغرافیایی و یک مدل تصمیم‌گیری است می‌تواند در سایر شبکه‌های تاسیسات شهری مورد توجه قرار گرفته و مناطق آسیب دیده از شبکه‌های فرسوده تاسیسات شهری را که در مجاورت بافت تاریخی شهر هستند با در نظر گرفتن عوامل موثر در بروز حوادث مدیریت نماید. استفاده از کانال‌های دفع رطوبت و همچنین دستگاه‌های رطوبت سنج تاکنون برای حل این مشکل انجام شده است. اما این‌گونه اقدامات صرفا به طور مقطعی توانسته مشکل نم‌زدگی آثار تاریخی را حل کند. لذا نیاز به بهره‌گیری از تکنولوژی‌های نوین و فناوری‌های جدید به منظور پیشگیری از وقوع چنین آسیب‌هایی در آینده، اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد [Katiraei *et al.,* 2016].

نشت رطوبت از شبکه‌های آب‌وفاضلاب شهری یکی از عواملی است که در طول سالیان اخیر در اثر گسترش شهرها و ساخت‌وسازهای بی‌رویه در اطراف آثار تاریخی آسیب‌های جبران ناپذیری را به بناهای تاریخی وارد نموده‌است. در شهرهای تاریخی که دارای شبکه جمع‌آوری فاضلاب هستند، مناطق نزدیک به بناهای تاریخی و مناطقی که دارای لوله‌های در معرض فرسایش هستند از جمله مکان‌هایی هستند که تعیین موقعیت و اصلاح شبکه‌های فاضلاب در آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [Ferrara *et al.,* 2015]. ایجاد رطوبت در دیواره‌ها و کف برخی از بناهای قدیمی به دلایل مختلف، یکی از معضلاتی است که در سالیان اخیر در برخی از شهرهای دارای پیشینه تاریخی رخ داده‌است.

اصفهان یکی از شهرهای کهن و تاریخی ایران است. این شهر در دوره‌های سلجوقیان و صفویان به‌عنوان پایتخت سیاسی ایران انتخاب شد. شهر اصفهان در روزگار اوج شکوه خود ۱۳۷ کاخ، ۱۶۲ مسجد، ٤٨ مدرسه، ۲۷۳ حمام و ۱۲ گورستان داشت [Haghighatian *et al.,* 2019]. بافت تاریخی شهر اصفهان، با وجود بناهای شاخص تاریخی و پتانسیل‌های لازم برای جذب گردشگر با مشکلاتی از قبیل تراکم بالای جمعیت، ترافیک سنگین، کاربری‌های ناسازگار و غیره مواجه است. به‌طوری که علاوه بر ساختار کالبدی، هویت فرهنگی و تاریخی شهر نیز در معرض خطر نابودی قرار گرفته‌است [Ebrahimzadeh *et al.,* 2020]. یکی از آسیب‌هایی که در سالیان اخیر به بناهای تاریخی اصفهان وارد شده است، نم‌زدگی این گونه بناها بوده است.

شکل ۱) نم‌زدگی ایجاد شده در دیوارهای مسجد امام اصفهان در سال ۱۳۹۵

عوامل موثر در ایجاد نم و رطوبت در بناهای تاریخی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- عوامل محیطی: در این نوع عوامل انسان دخالت مستقیم ندارد. از جمله این عوامل محیطی می‌توان به خوردگی طبیعی و تدریجی لوله‌های شبکه‌های تاسیسات شهری و جنس اسیدی خاک اطراف لوله‌ها اشاره نمود.

۲- عوامل انسانی: در وقوع چنین عواملی، انسان به طور مستقیم دخیل است. از جمله این عوامل می‌توان به انداختن اجسام خارجی در حوضچه‌های فاضلاب اشاره نمود [Katiraei *et al.,* 2016].

حوادث شبکه فاضلاب در منطقه مورد مطالعه از نظر نوع به دو دسته

اصلی تقسیم می‌شوند:

۱-حوادث مربوط به خوردگی و ریزش لوله‌ها در شبکه فاضلاب

۲-حوادث مربوط به گرفتگی و پس‌زدگی شبکه فاضلاب

به‌عنوان نمونه موردی این گونه آسیب‌ها چنانکه در شکل ۱ مشاهده می‌شود می‌توان به نم‌زدگی دیوارهای مسجد تاریخی امام (مسجدجامع عباسی) اصفهان اشاره نمود. (ماخذشکل: fars news, 2017)

مشخص نمودن محل بالازدگی نم و رطوبت می‌تواند به عنوان راهکاری برای حفظ آثار تاریخی و جلوگیری از تخریب آنها مورد توجه قرارگیرد [Katiraei *et al.*, 2019].

شکل ۲ شکاف‌های ایجادشده در اثر نم‌زدگی بخشی از سقف و دیوارهای راهرو و مغازه‌های میدان جلفای اصفهان را نشان می‌دهد. در زیر این محوطه یک فضای خالی متعلق به ٤٠٠ سال قبل وجود دارد که باعث هدایت آب باران به زیر مغازه‌ها و ایجاد رطوبت در دیواره آنها می‌شود [Katiraei *et al.*, 2019].

شکل‌های ۳ و ٤ ریزش آجرها و کاشی‌ها در اثر رطوبت در مسجد تاریخی آقانور در محله تاریخی در دشت اصفهان را نشان می‌دهند. (ماخذ شکل: Tasnim News Agency, 2017)

شکل ۲) رطوبت ایجاد شده در سقف راهرو و مغازه‌های میدان جلفای اصفهان در سال ۱۳۹٦

شکل ۳) رطوبت ایجاد شده در دیوار شبستان مسجد تاریخی آقانور در محله تاریخی در دشت اصفهان در سال ۱۳۹۵

شکل ٤) متورم‌شدن دیوار شبستان مسجد تاریخی آقانور در اثر رطوبت در سال ۱۳۹۵

همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود دیوار سمت محراب، به دلیل وجود نم، متورم شده و حالت قوسی و انحنا شکل به خود گرفته‌است.

از طرف دیگر همین دیوار، جدای از ریزش کاشی و آجر در اثر فرسودگی زیاد در حال کنده‌شدن و خالی‌شدن است. در واقع خالی‌شدن و گودی دیوار گواه این است که بنای مذکور سال‌های متمادی است که با فرسودگی و نم در حال دست و پنجه نرم‌کردن است.

محراب مسجد جامع اصفهان متعلق به قرن دوم هجری با پیشروی رطوبت در دیواره‌های گنبد خواجه نظام الملک دچار آسیب و ریزش شده است. شکل ٥ نمایی از این محراب را نشان می‌دهد. (ماخذ شکل: Eskan News, 2018)

شکل ٥) نم‌زدگی در محراب مسجد جامع اصفهان در سال ۱۳۹۷

باتوجه به نمونه‌های موردی فوق، توسعه یک مدل برای پیش‌بینی احتمال وقوع حوادث شبکه فاضلاب شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل تصمیم‌گیری AHP ضروری به نظر می‌رسد. با طراحی این مدل، علاوه بر پیش‌بینی احتمال وقوع حوادث، از بروز حوادث احتمالی در آینده با تعریف مشخصات هریک از لایه‌های اطلاعاتی شبکه تا حد امکان پیشگیری می‌شود. مدل‌سازی از نقاط ضعف شبکه و تعیین روش مناسب برای تغییر شرایط یا به حداقل رساندن اتفاقات در نقاط بحرانی شبکه با تاکید

خاصی روی بافت‌های تاریخی شهر، از اهداف مهم این مطالعه است. این مدل در محیط GIS و بر مبنای تحلیل اطلاعات موجود در سیستم حوادث شبکه فاضلاب شهر اصفهان طراحی می‌گردد.

باتوجه به حوادث چندسال گذشته در حوزه شبکه فاضلاب شهری و ضرورت شناسایی سریع نقاط آسیب‌دیده و تعمیر بخش آسیب‌دیده شبکه در کمترین زمان ممکن، ضرورت انجام این امر بیش از پیش احساس می‌شود. صرفه‌جویی در وقت و هزینه از مزایای این مدل است.

تحقیقاتی در خصوص ارزیابی شبکه‌های تاسیسات شهری با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری کم و بیش قبلا انجام گرفته‌است. اما طراحی مدلی بر پایه GIS به منظور ارزیابی و پیش‌بینی احتمال وقوع حوادث شبکه‌های فاضلاب شهری در محدوده بافت‌های تاریخی، کمتر انجام شده است.

کلانتری و همکاران [Kalantari *et al.,* 2020] با مطالعه در حوزه مدیریت بحران در تاسیسات آب شهری یاسوج، با استفاده از تحلیل‌های GIS و مدل ارزیابی SWOT طرح راهبردی بهسازی و نوسازی سیستم تاسیسات آب شرب شهر یاسوج را با تاکید بر پدافندغیرعامل مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش استفاده از روش‌های استتار و ساخت مخازن انحرافی در جهت فریب دشمن، افزایش دوربین‌های امنیتی و ارتقای سیستم‌های تله متری چاه‌ها و مخازن در سطح شهر و مکان‌یابی دقیق آنها برای پوشش کامل تاسیسات آب به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان راهکارهای موثر در مدیریت بحران ارائه گردید. در این مطالعه، ضمن تاکید بر پدافند غیرعامل در شبکه آب شهری راهکارهایی به منظور ارتقای امنیت اینگونه شبکه‌ها ارائه گردید که می‌توان از راهکارهای مذکور به منظور پیشگیری از آن دسته از حوادث شبکه فاضلاب شهری که عامل انسانی سبب بروز آنها شده است بهره جست.

معینی و همکاران [Moeeni *et al.,* 2018] با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک تعداد گرفتگی‌ها در شبکه فاضلاب شهر اصفهان در سال‌های ۹۴ و ۹۵ را بررسی کرده و نتایج آن را با نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی مقایسه نمودند. پارامترهایی نظیر سن، طول، شیب و عمق دفن لوله‌ها به عنوان ورودی و تعدادگرفتگی‌ها به‌عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شد و برتری روش برنامه‌ریزی ژنتیک نسبت به شبکه عصبی برای این منظور مشخص گردید.

کریمی و همکاران [Karimi *et al.,* 2018] با برآورد ریسک خطوط انتقال گاز با استفاده از روش سامانه شاخص گذاری در محیط GIS را در نزدیکی شهر برازجان انجام دادند. در این تحقیق سامانه شاخص‌گذاری با توانایی‌های سامانه GIS یکپارچه گردید و با بکارگیری تحلیل‌های مکانی، موقعیت، وضعیت و نحوه تغییرات مکانی هر فاکتور در مجاورت خط لوله بررسی شد. این روش به برآورد ریسک با استفاده از دو شاخص مخاطرات کل و اثرات نشتی پرداخت که هریک از شاخص‌ها متشکل از چندین زیرشاخص بوده و نشان‌دهنده عوامل عمده بروز حوادث در شبکه خطوط لوله گاز بود. برای پیاده سازی روش سامانه شاخص‌گذاری خط لوله انتخاب شده به ۵۲ قسمت با طول ثابت ۱۰۰۰ متر تقسیم گردید و سپس فرآیند برآورد ریسک برای هر قسمت از خط لوله انجام گرفت. *رزماری هارمان* [Schaefli *et al.,* 2011] از مدل‌سازی حوادث جهت بهبود طراحی شبکه‌های فاضلاب استفاده نمود. وی با طراحی سیستمی براساس عواملی چون دقت، مدل تصمیم‌گیری، داده‌ها، نمایش تصمیم، ظرفیت هیدرولیکی و داده‌های ویدیویی مدلی جدید برای پیش‌بینی حوادث آینده طراحی نمود. *آسفی و همکاران* [Asefi *et al.,* 2010] با تقسیم شبکه توزیع آب به چندین ایزوله و اندازه‌گیری مقادیر دبی لحظه‌ای ورودی به هر ایزوله و اندازه‌گیری فشار در شبکه و تغییر شرایط و مقادیر خروجی شیرهای فشارشکن، تاثیر تغییرات فشار در میزان تغییرات حداقل جریان شبانه و تأثیر آن روی میزان نشت از شبکه توزیع آب را نشان دادند. هدف از این تحقیق، ارزیابی روش جدید مدیریت پیشگیرانه فشار، در شبکه‌های آبرسانی و تعمیم آن بوده است. *دلاور و همکاران* [Delavar *et al.,* 2009] کاربرد GIS را در مدیریت حوادث و اتفاقات شبکه‌های توزیع آب شهری در شهر همدان مورد بررسی قرار دادند. هدف از این مطالعه ارایه یک مدل مدیریت حوادث در شبکه‌های توزیع آب شهری براساس سیستم اطلاعات جغرافیایی بود. در این تحقیق، روشی برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به حوادث در شبکه‌های آبرسانی، ارایه شده و با استفاده از امکانات ثبت تلفیق و تحلیل داده‌های مکان مرجع در سیستم‌های نرم‌افزاری GIS و تحلیل‌های آماری مختلف، اطلاعات حوادث در یک دوره شش ماهه در شهر همدان مورد پردازش قرار گرفت. سیستماتیک نمودن ذخیره و استفاده از اطلاعات تجهیزات شبکه توزیع و عملیات ترمیم حوادث، بالا بردن سرعت تعمیر حوادث و پایین آوردن تلفات فیزیکی آب، امکان کاهش تعداد حوادث، صرفه‌جویی اقتصادی، پایین آوردن هزینه‌های ترمیم و رفع حوادث، از جمله مزایای این سیستم بوده است. *آل‌شیخ و همکاران* [Alesheikh *et al.,* 2010] با بررسی روش‌های طراحی شبکه فاضلاب شهری در شهرک نبوت ایلام و با استفاده از اطلاعات مرتبط با ویژگی‌های توپوگرافی آب و هوایی و اطلاعات آماری مانند جمعیت و سرانه‌های آب‌وفاضلاب روش‌های صحیح طراحی شبکه‌های فاضلاب‌شهری جهت به حداقل رساندن حوادث در این نوع شبکه‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. *کرافورد* [Craw ford *et al.,* 2012]، از مدل‌سازی حوادث جهت بهبود طراحی شبکه‌های فاضلاب در ایالت جرجیای امریکا استفاده نمود. وی با طراحی سیستمی براساس عواملی چون دقت، مدل تصمیم‌گیری، داده‌ها، نمایش تصمیم، ظرفیت هیدرولیکی و داده‌های ویدیویی مدلی جدیدی برای پیش‌بینی حوادث آینده طراحی نموده است.

تقوایی وهمکاران [Taghvaei *et al.,*2019] با مطالعه کاربری‌های تاریخی شهر اصفهان و با در نظر گرفتن تمرکز این کاربری‌ها در مناطق مرکزی شهر در کنار عواملی مانند دسترسی نامناسب، معابر تنگ و باریک، فرسایش تدریجی بنا و فقدان برنامه‌ریزی مدون در این کاربری‌ها با تاکید بر روش مشاهده میدانی

و مدل AHP به تحلیل آسیب‌پذیری این کاربری‌ها و اولویت‌بندی آنها در عملیات تخلیه اضطراری پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که منطقه سه شهر اصفهان با وزن ٤۹% در شاخص‌های بنیادین و وزن ۵۳% در شاخص‌های مدیریتی در صدر مناطق با کاربری‌های تاریخی آسیب‌پذیر قرار دارند. *محمدی و همکاران* [Mohammadi *et al.,* 2018] با انجام تحلیل فضایی بر روی حوادث شبکه فاضلاب شهری در شهر اردبیل تعداد ۷۲۲ مورد، اتفاق را در شبکه فاضلاب شهر اردبیل تا پایان سال ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار دادند. برای تحلیل داده‌ها از روش‌های رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR)، تراکم (Kernel) و روش تعیین الگوی پراکنش عوارض استفاده شد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که بیشترین اتفاقات فاضلاب در محله‌های مرکزی، سکونتگاه‌های پرجمعیت و غیررسمی و بافت‌های قدیمی شهر رخ داده‌اند.

هدف از انجام تحقیق حاضر، طراحی یک مدل مکانی به منظور ارزیابی خطرات ناشی از حوادث شبکه فاضلاب شهری در بافت تاریخی شهرها است. این مدل مکانی از تلفیق فرآیند سلسله مراتبی، سیستم اطلاعات جغرافیایی و شاخص Getis ord Gi* ایجاد می‌گردد و قابلیت پیش‌بینی احتمال وقوع حوادث در شبکه‌های فاضلاب شهری و ارزیابی اینگونه حوادث در بافت تاریخی شهرها را دارا است. این مدل یک مدل تجربی (Empirical) بوده و قابلیت به روزرسانی مداوم با افزایش تعداد حوادث شبکه فاضلاب شهری را دارد. همچنین این مدل قابلیت تعمیم به سایر تاسیسات شهری و شریان‌های حیاتی در بافت تاریخی شهرها را دارا است.

روش‌شناسی

در این پژوهش ابتدا از طریق مطالعات کتابخانه‌ای با بررسی اسناد و مدارک مربوط به موضوع، اقدام به گردآوری اطلاعات و داده‌های مورد نیاز شد. با انجام بازدیدهای میدانی متعدد، لوله‌ها و حوضچه‌های فاضلاب موجود شناسایی و موقعیت هریک از آنها تعیین شده و به نرم‌افزار ArcGIS منتقل گردید. اطلاعات توصیفی مربوط به حوادث و اتفاقات با استفاده از بانک اطلاعاتی حوادث اداره آب‌وفاضلاب شهر اصفهان اخذ شده و در جداول اطلاعاتی ثبت گردید. با اتصال پایگاه داده زمینی حاوی اطلاعات توصیفی به نقشه شبکه فاضلاب منطقه با فرمت SHP. داده‌های اولیه آماده‌سازی گردید. در مرحله اول مشخصات نقاط حادثه‌خیز شهر در منطقه‌ای از اصفهان که در پنج سال گذشته بیشترین سابقه حوادث را داشته‌اند به صورت مکان‌مند گردآوری شد و این نقاط برروی نقشه GIS منطقه مطالعاتی جانمایی گردید. با مشخص نمودن محل قرارگیری لوله‌های شبکه‌های تاسیسات شهری در شهرهای تاریخی و فاصله آنها نسبت به آثار تاریخی با استفاده از نقشه‌های GIS می‌توان بحران ناشی از نم‌زدگی و رطوبت در اینگونه آثار را مدیریت نمود. در جدول اطلاعات توصیفی نقشه، مشخصات نقاط دارای سابقه حوادث درج گردید. این مشخصات شامل آدرس دقیق، نوع حادثه، قطر، عمق و جنس لوله‌ها، جنس خاک، سال اجرا، تاریخ وقوع حادثه و عامل احتمالی وقوع حادثه است. سپس با استفاده از شاخص Getis ord Gi* نقاط داغ حوادث شناسایی و در نقشه GIS منطقه مطالعاتی، جانمایی گردید. *گتیس و اورد* [Getis and Ord] شاخص آماری Getis ord GI* را به منظور نمایش الگوهای مکانی عوارض توسعه دادند و شاخص Gi* ارائه گردید. به عبارت دیگر Gi* یک شاخص محلی است که نشان‌دهنده تراکم بالا یا پایین یک ساختار خوشه‌ای است. ابزار تجزیه و تحلیل نقطه داغ آماره Getis-Ord Gi* بیان می‌کند که آیا نقاط با تراکم بالا و یا نقاط با تراکم کم اطراف منطقه مورد مطالعه وجود دارد یا خیر. اساس این شاخص، تراکم نقاط همسایگی است. اگر ارزش یک نقطه به همراه ارزش نقاط همسایگی بالا باشد، آن منطقه بخشی از یک نقطه داغ است. بنابراین مجموع محلی برای یکی از نقاط و همسایه‌های آن نسبت به مجموع تمام نقاط محاسبه می‌شود. فرمول‌ها و فرآیند محاسبه این شاخص به ترتیب در روابط ۱، ۲ و ۳ بیان شده است.

رابطه (۱)
$$G_i^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_{i,j}x_j - \bar{x}\sum_{j=1}^{n} w_{i,j}}{S\sqrt{\frac{[n\sum_{j=1}^{n} w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^{n} w_{i,j})^2]}{n-1}}}$$

رابطه (۲)
$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_j}{n}$$

رابطه (۳)
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} x_j^2}{n} - (\bar{x})^2}$$

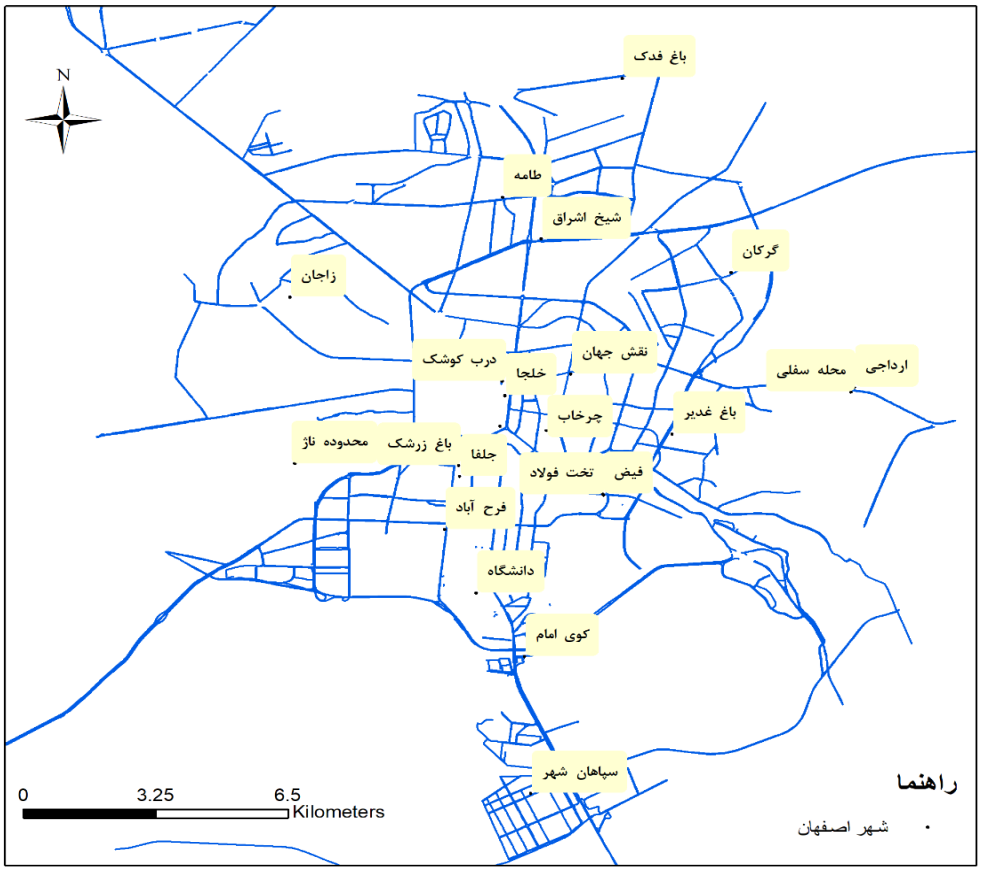
در این رابطه، Gi* ضریب همبستگی حادثه I از n حادثه است. W فاصله مکانی بین نقطه I و j است. Xi یک مقدار توصیفی برای نقطه یا عارضه I است [yang *et al.,* 2020].

در طراحی مدل ارزیابی و پیش‌بینی حوادث در شبکه فاضلاب شهری می‌توان از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به عنوان یک مدل تصمیم‌گیری سودمند استفاده نمود. در این تحقیق برای مقایسه میزان تاثیر حوادث اتفاق افتاده در شبکه فاضلاب شهری از مدل تصمیم گیری AHP (Analytical Hierarchy Process) استفاده می‌شود و با اختصاص دادن وزن‌های مناسب به هریک از حوادث براساس اهمیت حادثه مذکور، بنا به نظر کارشناسان صنعت آب‌وفاضلاب نتایج، باهم مقایسه می‌گردد. روش AHP یکی از جامع‌ترین فرآیندهای طراحی شده برای تصمیم‌گیری‌های چند متغیره است. زیرا با این روش امکان فرموله کردن مساله بصورت سلسله مراتبی فراهم می‌شود. روند این مدل به این صورت است که به منظور رتبه‌بندی عوامل مختلف و متغیرها و تبدیل آنها به مقادیر کمی نظرسنجی از کارشناسان انجام می‌شود و تخصیص امتیازات عددی براساس مقایسه زوجی انجام می‌شود [Asghari *et al.,* 2018].

در این پژوهش از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) جهت مقایسه وزن‌های حوادث در شبکه فاضلاب استفاده می‌شود که با توجه به قابلیت‌های ویژه این مدل کمک شایانی به بررسی نتایج

مربوط به حوادث اتفاق افتاده در منطقه خواهد نمود. قابل ذکر اینکه مبنای تحلیل، سیستم اطلاعات جغرافیایی خواهد بود و از AHP صرفا جهت کمک به تحلیل نتایج بدست آمده از سوابق حوادث قبلی استفاده خواهد شد. براساس اوزان حاصل از روش AHP که در محیط نرم‌افزار Expert Choice بدست آمده و براساس عاملی که تخمین زده می‌شود در بروز حادثه موثر باشد در مدل وزن دهی صورت می‌گیرد.

نقشه محلات قدیمی و بافت تاریخی شهر اصفهان به عنوان منطقه مطالعاتی در شکل ٦ نمایش داده شده است.



شکل ٦) نقشه بافت تاریخی شهر اصفهان

چنانکه مشاهده می‌شود بافت تاریخی اصفهان شامل میدان نقش جهان، درب کوشک، خلجا و تخت فولاد در بخش مرکزی شهر و به سمت شمال اصفهان واقع شده است و تمرکز آثار تاریخی در این بخش از شهر باعث متمرکز شدن حوادث شبکه فاضلاب در این قسمت به دلیل قدیمی و فرسوده‌بودن شبکه فاضلاب و عبور و مرور بیش از حد وسایط نقلیه در این بخش شده است.

با استفاده از مدل ارزیابی حوادث، تعداد حوادث شبکه فاضلاب در ساعات مختلف شبانه روز و ماه‌های مختلف سال متفاوت و قابل بررسی است. این حوادث در لوله‌های با جنس متفاوت، قطرهای مختلف و طول‌های گوناگون ارزیابی می‌شود. همچنین عمر آنها قابل بررسی است. با داشتن تعداد حوادث سالیانه در چند سال متوالی می‌توان روند تغییرات حوادث را مورد بررسی قرار داد. معمولا روند تغییرات حادثه در هر سال به علت افزایش عمر لوله‌ها و شرایط متغیر هیدرولیکی به صورت صعودی است. [Delavar *et al.*, 2009]. باتوجه به سوابق حوادث قبلی و نظرات استخراج شده از پرسشنامه‌های توزیع شده بین جامعه‌ای متشکل از ده نفر از اساتید و کارشناسان صنعت آب‌وفاضلاب براساس مقایسه زوجی بین عوامل و با توجه به تجربیات قبلی این افراد و استفاده از نظرات خبرگی در زمینه اجرای شبکه‌های فاضلاب، از کارشناسان ذیربط خواسته شد که ارجحیت معیارهای مذکور را نسبت به یکدیگر مشخص نمایند. در نهایت وزن‌های بدست آمده از نتایج پرسشنامه در مدل تصمیم گیری AHP استفاده گردید و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice وزن نهایی تعیین شد. پس از میانگین‌گیری از نتایج بدست آمده عوامل موثر در بروز حوادث در منطقه مطالعاتی به چهار عامل مهم به شرح زیر طبقه‌بندی گردید:

۱- اجرای نادرست: این عامل می‌تواند شامل نامرغوب‌بودن جنس لوله، بستر سازی نادرست، نامناسب‌بودن قطر لوله، نامناسب‌بودن عمق حوضچه، جنس خاک و طراحی نامناسب باشد. ۲- قدمت: براساس قدمت شبکه فاضلاب می‌توان آن را به چهار گروه اصلی تقسیم بندی نمود که شامل لوله‌های دارای قدمت بیش از ۳۰ سال، لوله‌های دارای قدمت بین ۲۰ تا ۳۰ سال، لوله‌های دارای قدمت بین ۱۰ تا ۲۰ سال و نهایتا لوله‌های دارای قدمت بین ۰ تا ۱۰ سال هستند.

۳- بهره‌برداری نامطلوب شامل دو عامل عدم شست‌وشو و عدم همسطح‌سازی دریچه‌ها است. ٤- عامل انسانی شامل تخریب، انداختن جسم خارجی در حوضچه، اصابت بیل مکانیکی به لوله و تغییر اسیدیته فاضلاب در اثر تراکم جمعیت است [Katiraei *et al.*,2016]. عوامل موثر در شکستگی و نشت لوله‌های آب‌وفاضلاب در شهرها براساس نظرات کارشناسان صنعت آب‌وفاضلاب در جدول ۱ تشریح شده‌اند که شامل چهار عامل اصلی و سیزده عامل فرعی زیر مجموعه این عوامل هستند.

جدول ۱) عوامل موثر در بروز نشت در لوله‌های آب و فاضلاب

عامل حادثه	عامل انسانی	بهره‌برداری نامطلوب	قدمت	اجرای نادرست
۱	انداختن اجسام خارجی در حوضچه	عدم شست‌وشو	بیش از ۳۰ سال	بسترسازی نادرست
۲	اصابت بیل مکانیکی به لوله	عدم همسطح‌سازی دریچه	بین ۳۰-۲۰ سال	نامرغوب‌بودن جنس لوله
۳	تغییر اسیدیته فاضلاب	عدم تعویض دریچه‌های فاضلاب معیوب	بین ۲۰-۱۰ سال	نامناسب‌بودن قطر لوله
٤	تخلیه غیرمجاز فاضلابهای صنعتی به داخل منهول‌ها-	مسدود شدن سوراخ‌های منهول-	بین ۱۰-۰ سال	نامناسب‌بودن عمق لوله

چنانکه قبلا اشاره شد برخی از عوامل موثر در وقوع حوادث در شبکه‌های فاضلاب شهری عوامل انسانی هستند. در بین این عوامل برخی از زیرمعیارها نظیر نامناسب‌بودن قطر لوله، عدم شستشوی منهول و انداختن جسم خارجی در حوضچه هرچند عواملی کیفی هستند اما با توجه به اینکه نامناسب‌بودن قطر لوله به علت عدم جوابگویی قطر موجود به جمعیت منطقه، عدم شستشو به علت محبوس شدن گاز سولفید هیدروژن در منهول‌ها و انداختن جسم خارجی در حوضچه باعث گرفتگی منهول و در نتیجه وقوع حادثه می‌گردد. اینگونه عوامل نیز به عنوان زیر معیار در نظر گرفته می‌شوند.

یافته‌ها

در نقشه GIS شبکه فاضلاب شهر اصفهان، موقعیت نقاط حادثه‌خیز براساس سوابق قبلی حوادث موجود در بانک اطلاعاتی حوادث جانمایی گردید. در جدول اطلاعات توصیفی نقشه نیز مشخصات توصیفی نقاط دارای سابقه حوادث درج می‌شود. این مشخصات شامل آدرس دقیق، نوع حادثه، قطر، عمق و جنس لوله‌ها، جنس خاک، سال اجرا، تاریخ وقوع حادثه و عامل احتمالی وقوع حادثه است. حوادث مکانمند گردآوری شده در یک دوره پنج ساله شامل، اطلاعات اولیه و جانمایی سوابق حوادث قبلی به تعداد ۱٤٥۹ حادثه در شکل ۷ نمایش داده شده است.

این سوابق از سامانه ۱۲۲، واحد حوادث شرکت آب‌وفاضلاب اخذ شده است. چنانکه ملاحظه می‌شود خیابان‌هایی که در یک محدوده از شهر واقع شده‌اند دارای احتمال وقوع حادثه یکسان و یا نزدیک به هم بوده و محدوده‌هایی از شهر که دارای شرایط یکسان از لحاظ جنس خاک، قدمت شبکه، قطر و عمق لوله‌ها، شیوه بسترسازی و غیره هستند دارای اوزان مشابه و در نتیجه احتمال وقوع حوادث یکسان بوده و در کلاس‌های مشابه طبقه‌بندی می‌شوند.

در مرحله بعد، وزنه‌ای حاصل از روش AHP به تمامی لوله‌هایی که شرایط مشابهی از قبیل عمق قطر و جنس یکسان در شبکه دارند اختصاص داده می‌شود. در نتیجه می‌توان گفت که مناطق موجود در حوالی محل حادثه دیده نیز از همین شرایط تبعیت می‌کنند. بنابراین سابقه حوادث قبلی به منزله نمونه‌های موردی تلقی می‌شوند. هریک از اوزان بدست آمده نشان دهنده اهمیت عامل موردنظر و میزان تاثیر آن در وقوع حادثه در شبکه فاضلاب شهری است.

اوزان بدست آمده برای هریک از عوامل با استفاده از روش AHP برحسب درصد در جدول ۲ نشان داده شده است.

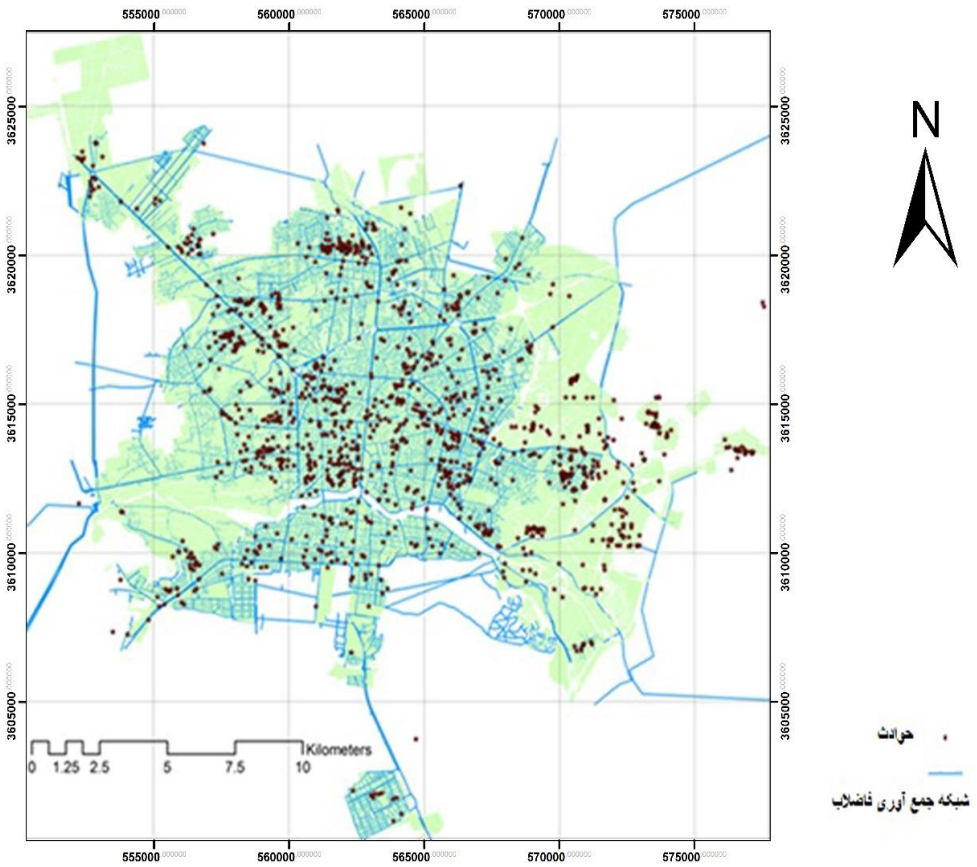
باتوجه به تمرکز برخی از آثار تاریخی شهر اصفهان در یک محدوده و نزدیکی این آثار به یکدیگر نظیر ابنیه موجود در میدان نقش جهان اصفهان می‌توان گفت از نظر احتمال نم‌زدگی و وقوع حادثه اینگونه ابنیه از شرایط یکسانی برخوردار هستند.

بنابراین مدل ارزیابی و پیش‌بینی حوادث می‌تواند برای مجموعه‌ای از ابنیه نزدیک به یکدیگر با رویکردی مشابه طراحی و پیاده‌سازی شود. در نتیجه نقاطی از شهر که در یک محدوده قرار گرفته‌اند می‌توانند دارای بیشترین نزدیکی از نظر شرایط و مستعدبودن برای وقوع حوادث در آینده باشند. به عنوان مثال در شهر اصفهان با توجه به تجمع بخشی از آثار تاریخی در محدوده میدان نقش جهان و خیابان‌های اطراف آن این محدوده از نظر مدیریت بحران، استراتژی‌های مشترکی را می‌طلبد که خود کمک بزرگی به حفظ میراث فرهنگی در این شهر و بافت‌های تاریخی مشابه در سایر شهرها می‌نماید. به کمک فرآیند تحلیل شبکه (Network Analysis) در نرم‌افزار ArcGIS مسیر جریان فاضلاب در داخل شبکه مشخص شده و با استفاده از این فرآیند می‌توان در صورت وقوع حادثه در شبکه فاضلاب سریعا مکان‌هایی که احتمال بالا زدن فاضلاب در آنها وجود دارد براساس جهت جریان فاضلاب مشخص نمود.

جدول ۳، نتایج حاصل از ارزیابی حوادث باتخمین علل وقوع آنها در موقعیت‌های مختلف جغرافیایی شهر اصفهان را نشان می‌دهد.

سوابق حوادث شبکه فاضلاب شهری در محدوده بافت‌های تاریخی شهر و عوامل موثر در وقوع این حوادث نشان داد که در کدام مناطق، احتمال وقوع حوادث شبکه فاضلاب بیشتر است و چه عواملی می‌توانند در وقوع این حوادث تاثیرگذار باشند. توجه به این دوعامل می‌تواند در آینده امکان پیش بینی حوادث را در چنین مناطقی فراهم سازد. بدین ترتیب که مناطقی از شهر که دارای شرایط مشابهی با نقاط دارای سابقه حادثه هستند طبعا احتمال وقوع

حوادث در آنها بیشتر است. از مزایای این مدل این است که قابل تسری به سایر شهرهای دارای شبکه فاضلاب بوده و می‌توان آن را به مناطق دیگر نیز تعمیم داد. تعیین روش مناسب برای تغییر شرایط یا به حداقل رساندن اتفاقات در نقاط بحرانی شبکه راهکاری است که پس از طراحی این مدل به ما این امکان را می‌دهد که بدانیم در کدامیک از مناطق و به چه علت حوادث اتفاق افتاده است و با تعمیم آن به مناطق اطراف دارای شرایط مشابه، از بروز حوادث فاضلاب در آینده جلوگیری نماییم.



شکل ۷) نقشه جانمایی سوابق حوادث شبکه فاضلاب در یک دوره پنج ساله در شهر اصفهان در سال ۱۳۹۸

جدول ۲) اوزان بدست آمده برای هریک از عوامل، با استفاده از روش AHP برحسب درصد در شهر اصفهان در سال ۱۳۹۸

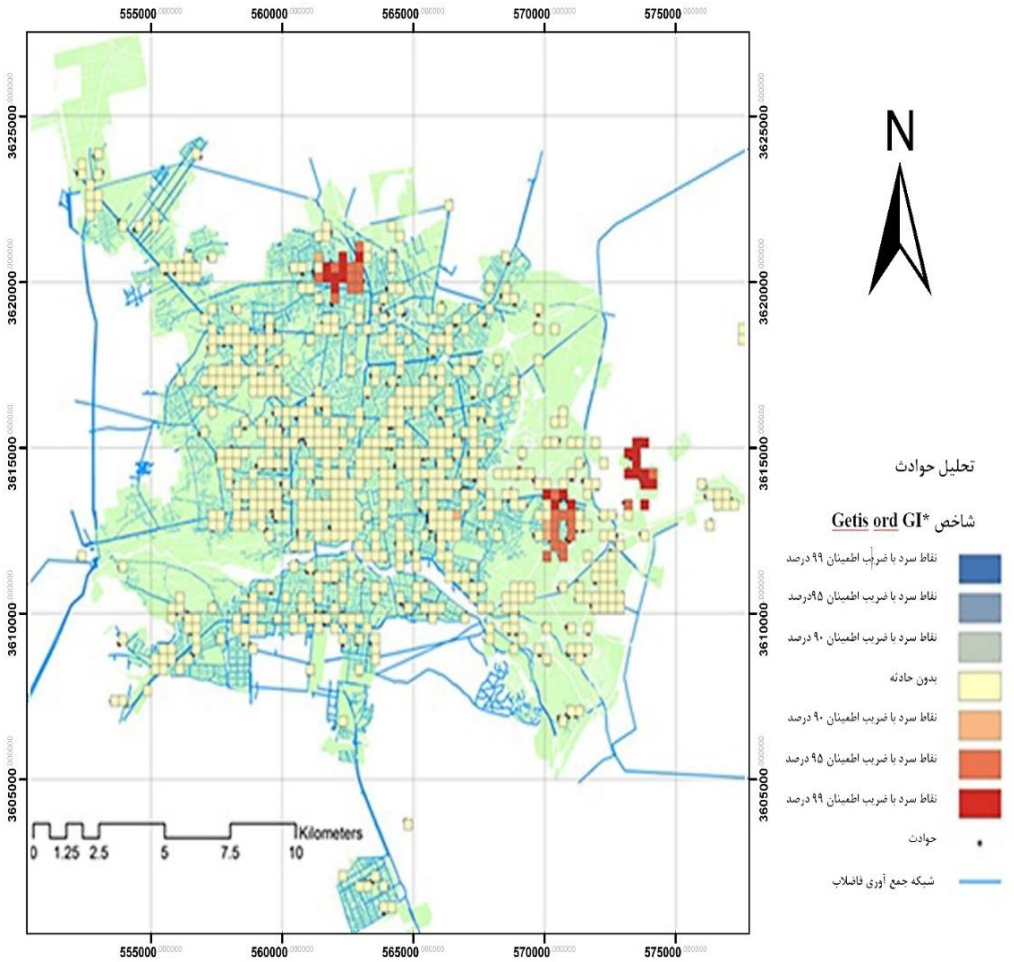
ردیف	عامل موثر در بروز حادثه	وزن AHP
۱	بسترسازی نامناسب	۱۸/۲
۲	قدمت بیش از سی سال	۱۶/۲
۳	تخریب	۵/۷٤
٤	عوامل انسانی	۵/۷۰
۵	نامناسب بودن قطر لوله	۵/٤۰
٦	عدم شستشو	۵/۳۰
۷	طراحی نامناسب	۵/۲۸
۸	نامناسب بودن قطر حوضچه	۵/۰۵
۹	قدمت بین بیست تا سی سال	۵
۱۰	انداختن جسم خارجی در منهول	٤/۹٦
۱۱	جنس خاک	٤/۹۱
۱۲	قدمت بین ده تا بیست سال	٤/۹۰
۱۳	عدم همسطح‌سازی دریچه‌ها	٤
۱٤	نامرغوب بودن جنس لوله‌ها	۳/۹۰
۱۵	تغییر اسیدیته فاضلاب	۳
۱٦	قدمت بین صفر تا ده سال	۲/٤٦

جدول ۳) تخمین علل وقوع حوادث در بخش‌های مختلف شهر اصفهان در سال ۱۳۹۸

علت وقوع حادثه	موقعیت جغرافیایی
قدمت شبکه، املاح زیاد خاک، عمق زیاد لوله	بخش مرکزی
عدم همسطح‌سازی دریچه	بخش شمالی
قدمت شبکه، ناکافی بودن قطر لوله	بخش غربی
املاح زیاد خاک، ناکافی بودن قطر لوله	بخش شرقی

در زمینه اجرای نادرست شبکه‌های فاضلاب شهری، استفاده از لوله‌های با جنس نامرغوب، بسترسازی نامناسب، نامناسب بودن قطر و عمق لوله، طراحی نامناسب و جنس خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بودند.

در سطح منطقه مطالعاتی، جنس خاک و بسترسازی نادرست به عنوان دو عامل شاخص مشاهده گردید. در زمینه قدمت شبکه با تقسیم‌بندی عمرشبکه فاضلاب به چهار گروه، مشخص شد که آن دسته از مناطقی که در آنها لوله‌ها از قدمت بیشتری برخوردار بوده‌اند و در گروه‌های ۲۰ تا۳۰ سال یا بیش از ۳۰ سال طبقه بندی شده‌اند، از احتمال بیشتری در زمینه وقوع حوادث برخوردار بوده‌اند. در زمینه بهره‌برداری نامطلوب، عدم همسطح‌سازی دریچه‌ها، به ویژه در شمال منطقه مطالعاتی به عنوان مهم‌ترین عامل، در وقوع حادثه به شمار می‌رود. زیرا با محبوس شدن گاز H2S احتمال خوردگی لوله‌ها افزایش می‌یابد. چنانکه ملاحظه می‌شود عدم همسطح‌سازی دریچه‌ها در بخش شمالی شهر عامل مهمی در بروز حادثه در شبکه فاضلاب بوده است. در بخش‌های مرکزی و غربی شهر نیز، قدمت شبکه به عنوان عاملی مهم در وقوع حوادث مشخص شده است.



شکل ۸) نقشه نقاط داغ حوادث شبکه فاضلاب براساس خروجی شاخص Getid ord Gi* در شهر اصفهان ۱۳۹۸

علاوه بر آن، مناطق مرکزی شهر نیز به علت وجود املاح زیاد در خاک و عبور و مرور زیاد وسایط نقلیه و فشارهای وارده بر دریچه منهول‌ها و همچنین جمعیت زیاد ساکن در این محدوده مستعد وقوع حوادث فاضلاب هستند. در بخش‌های غربی و شرقی شهر نیز به علت ساخت‌وسازهای جدید و عدم جوابگویی قطر لوله‌های موجود، وقوع حوادث در اینگونه شبکه‌ها افزایش یافته است.

شکل ۸ نقشه نقاط داغ حوادث براساس خروجی شاخص Geti ord Gi* در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. نقاط آبی رنگ نقاط کم حادثه (نقاط سرد) و نقاط قرمز رنگ نقاط دارای بیشترین حادثه (نقاط داغ) در شبکه فاضلاب شهری را نشان می‌دهند.

در نقاط مرکزی شهر که بافت تاریخی و قدیمی وجود دارد و همچنین تردد وسایط نقلیه بیشتر است میزان حوادث شبکه فاضلاب هم بیشتر بوده است. اینگونه حوادث شامل ریزش دریچه‌های فاضلاب، خوردگی لوله‌ها، ورود ریشه گیاهان به داخل شبکه فاضلاب و نشت فاضلاب به داخل پی و دیواره‌های بناهای تاریخی بوده است. با انجام تحلیل آماری و ادغام نتایج حاصل از نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS و نرم‌افزار ArcGIS 10.3 روند حوادث فاضلاب براساس قطر و عمر لوله‌های شبکه فاضلاب بررسی گردید. در این پژوهش به علت محدودبودن جوامع آماری اقطار و عمر لوله‌ها از آزمون‌های ناپارامتری کندال و اسپیرمن (Kendall & Spearman) استفاده شد.

الف- بررسی رابطه بین حوادث و قطر لوله‌ها

براساس داده‌های مربوط به تعداد حوادث در هر قطر لوله، رابطه بین قطر لوله‌ها و تعداد حوادث به صورت رابطه ٤ نمایش داده می‌شود:

رابطه (٤)

$$Y=-0.0275X+22.44$$

براساس آزمون‌های آماری انجام شده طبق جدول ٤ مشخص می‌شود که قطر لوله‌ها و حوادث با یکدیگر نسبت عکس دارند.

جدول ٤) نتایج حاصل از آزمون‌های آماری جهت تعیین رابطه بین قطر لوله‌ها و حادثه در شهر اصفهان در سال ۱۳۹۸

آزمون	عوامل	پارامترهای هبستگی	قطر	حادثه
کندال	قطر	ضریب همبستگی	۱	-۰/۹۰۵
		مقدارمعنی‌داری		۰/۰۰٤
		تعداد	۷	۷
کندال	حادثه	ضریب همبستگی	-۰/۹۰۵	۱
		مقدارمعنی‌داری	۰/۰۰٤	
		تعداد	۷	۷

ب- بررسی رابطه بین حوادث و عمر لوله‌ها

در منطقه مورد مطالعه رابطه بین تعداد حوادث و عمر لوله‌ها، براساس داده‌های مربوط به سابقه حوادث، در بازه سنی بیست تا چهل سال، در منطقه مطالعاتی به صورت رابطه ٥ نمایش داده می‌شود:

رابطه (٥)

$$Y=0.0225X2-1.0423X+20.791$$

جدول ٥ نتایج حاصل از آزمون‌های آماری را نشان می‌دهند. آزمون آماری رابطه مستقیم بین عمر لوله‌ها و تعداد حوادث را نشان می‌دهد.

جدول ٥) نتایج حاصل از آزمون‌های آماری جهت تعیین رابطه بین عمر لوله‌ها و حادثه در شهر اصفهان در سال ۱۳۹۸

آزمون	عوامل	پارامترهای هبستگی	قطر	حادثه
کندال	عمر لوله	ضریب همبستگی	۱	۰/۸
		مقدار معنی‌داری		۰/۰٥
		تعداد	٥	٥
	تعداد حوادث	ضریب همبستگی	۰/۸	۱
		مقدار معنی‌داری	۰/۰٥	
		تعداد	٥	٥
اسپیرمن	عمر لوله	ضریب همبستگی	۱	۰/۹
		مقدار معنی‌داری		۰/۳۷
		تعداد	٥	٥
	تعداد حوادث	ضریب همبستگی	۰/۹	۱
		مقدار معنی‌داری	۰/۰۳۷	
		تعداد	٥	٥

بحث

هدف از انجام این پژوهش، طراحی یک مدل مکانی به منظور ارزیابی حوادث شبکه‌های فاضلاب شهری در بافت تاریخی شهرها بود. در این مقاله نقاط حادثه‌خیز و محدوده‌های بحرانی شبکه فاضلاب شهری با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی مشخص گردید و نشان داده شد که روش‌های تحلیل مبتنی بر موقعیت مکانی، ابزارهایی قدرتمند جهت بهره‌برداری بهتر از شبکه‌های تاسیسات شهری هستند [Delavar *et al.*, 2009] در مطالعه *تقوایی و همکاران* [Taghvaei *et al.*, 2019] صرفا تحلیل آسیب‌پذیری کاربری‌های تاریخی در مناطق مرکزی شهر اصفهان با استفاده از مدل AHP صرفا تحلیل آسیب‌پذیری کاربری‌های تاریخی در مناطق مرکزی شهر مورد بررسی قرار گرفت و منطقه سه شهر که به عنوان بالاترین وزن آسیب‌پذیری مشخص شد در واقع بخشی است که بیشترین آثار تاریخی شهر اصفهان در آن واقع شده است. اما در تحقیق حاضر همان کاربری‌ها در رابطه با شبکه‌های تاسیسات شهری و حوادث مربوط به آنها تحلیل و ارزیابی گردید. در مطالعه *معینی و همکاران* [Moeeni *et al.*, 2018] صرفا تعداد حوادث مربوط به گرفتگی شبکه فاضلاب در سال‌های ۹٤ و ۹٥ مورد مطالعه قرار گرفت و به حوادث مربوط به ریزش شبکه فاضلاب پرداخته‌نشد. در تحقیق حاضر هر دو نوع حادثه شبکه فاضلاب شامل گرفتگی و ریزش شبکه در یک دوره پنج ساله مورد ارزیابی قرارگرفت. در مطالعه *محمدی و همکاران* [Mohammadi *et al.*, 2018] با انجام

تحلیل فضایی بر روی حوادث شبکه فاضلاب شهری صرفا از طریق روش‌های آماری انجام گرفت و نتیجه حاصل از آن، که مربوط به تمرکز مناطق پر حادثه در محله‌های مرکزی و بافت‌های قدیمی بود با نتیجه آماری پژوهش حاضر مطابقت داشت. در مطالعه *کریمی و همکاران* [Karimi *et al.,* 2018] ریسک خطوط انتقال گاز به عنوان یکی دیگر از شریان‌های حیاتی شهرها مورد مطالعه قرار گرفت و احتمال ریسک برای هر قسمت از لوله‌ها به طور جداگانه مورد بررسی قرارگرفت که با توجه به تعدد لوله‌ها در شبکه‌هایی نظیر فاضلاب این امکان در اینگونه شبکه‌ها از قابلیت اجرایی کمتری برخوردار است. اما با توجه به زیربنای جغرافیایی روش مذکور نتایج تحقیق حاضر نیز می‌تواند به سایر حوادث شبکه‌های تاسیسات شهری از قبیل گاز، برق، مخابرات و غیره تعمیم داده شود. در پژوهش *دلاور و همکاران* [Delavar *et al.,* 2009] یک مدل مدیریتی با استفاده از GIS در مدیریت حوادث و اتفاقات شبکه‌های توزیع آب شهری ارائه شد که با توجه به حوزه پژوهش مذکور که شبکه توزیع آب را دربر می‌گرفت، مباحث صرفه جویی و فشار هم در آن مورد توجه قرار گرفت. با تلفیق روش مذکور با روش تحقیق حاضر همانند تحقیق حاضر این مدل می‌تواند در کاهش حوادث درشبکه آب شهری نیز موثر واقع شود. در تحقیق حاضر نه تنها ارزیابی حوادث پیشین براساس سابقه وقوع آنها انجام گرفت بلکه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و شاخص‌های آماری روشی برای پیش‌بینی احتمال وقوع حوادث شبکه‌های فاضلاب شهری در مناطق دارای بافت تاریخی پیشنهاد شد. تحلیل عوامل موثر در وقوع حوادث در بافت‌های تاریخی شهر و میزان تاثیر هریک از این عوامل و مشخص نمودن مناطق دارای بیشترین احتمال وقوع حادثه در شهر تاریخی اصفهان از یافته‌های مهم این پژوهش به شمار می‌رود. تلفیق مدل *Getis ord Gi به عنوان یک مدل جغرافیایی با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به عنوان نوآوری پژوهش حاضر به شمار می‌رود. در مدل ارزیابی و پیش‌بینی حوادث شبکه فاضلاب شهری که قبلا توسط *کتیرایی و همکاران* [Katiraei *et al.,* 2014] طراحی گردید شاهین شهر به عنوان همسایه شمالی اصفهان مورد مطالعه قرار گرفت. باتوجه به اینکه شاهین شهر به عنوان یکی از شهرهای جدید کشور به شمار می‌رود و برخلاف شهر اصفهان دارای بافت تاریخی قابل توجهی است، مطالعه پیشین صرفا به عنوان یک کار پایلوت و آزمایشی انجام گرفت

یکی از ویژگی‌های مهم مدل مکانی ایجادشده در این پژوهش تجربی (Empirical) بودن آن است. بدین معنا که در هر زمان با به روزآوری اطلاعات، سوابق حوادث و همچنین افزودن بانک اطلاعاتی حوادث جدید به آن امکان به روزرسانی مدل فراهم است.

همواره مدیریت اطلاعات حوزه میراث فرهنگی به دلیل ماهیت چند لایه داده‌ها، قالب‌های متنوع منابع، ناهمگونی اطلاعات و تولید اسناد متعدد تاریخی در طول زمان دشوار بوده است [Ferreira-Lopes *et al.,* 2018]. یکی از محدودیت‌های مهم این تحقیق نیز، عدم وجود بانک اطلاعاتی کامل از میزان آسیب پذیری بافت‌های تاریخی شهر اصفهان در اثر رطوبت ناشی از حوادث شبکه فاضلاب شهری بود. استفاده از روش‌های سنتی برداشت داده‌های مکانی همچون نقشه‌برداری زمینی یا فتوگرامتری علی‌رغم دقت بالا، به جهت هزینه بسیار زیاد و زمان طولانی برداشت داده‌ها تا تبدیل و تهیه نقشه‌ها پاسخگوی نیاز چنین شبکه‌های وسیعی است. تکنولوژی جدید، روش‌های نوینی را همچون لیدار (Lidar) و لیزر اسکن Scanning (Laser) برای برداشت سریع داده‌های مکانی برای عوارض زمینی و GPR برای تشخیص و برداشت عوارض زیرزمین و همچنین بخش‌های داخلی یک سازه بادقت مورد نیاز فراهم نموده‌است. [Matteo Barone *et al.,* 2015] همچنین هواپیماهای UAV و بالگردهای سبک DRONE که در ارتفاع کم پرواز می‌کنند به تازگی قابلیت‌های بسیار خوبی را برای برداشت سریع و دقیق اطلاعات مکانی ارائه می‌نمایند. [Katiraei *et al.,* 2014]

اقدامات زیر جهت پیش گیری از وقوع نم‌زدگی در آثار تاریخی ضروری به نظر می‌رسند:

- تدوین بانک اطلاعاتی منظم از سابقه نم‌زدگی و رطوبت در آثار تاریخی
- به روزرسانی مدل‌های جغرافیایی مرتبط با میراث فرهنگی در بافت‌های تاریخی شهرها به منظور کمک به سازمان‌های شهری در مدیریت آسیب‌ها و مالکیت‌های اینگونه بناها
- فرهنگ‌سازی جهت پیش‌گیری از تخریب‌هایی که در اثر عوامل انسانی رخ می‌دهد.
- استفاده از سنسورها و دوربین‌های ثابت و متحرک و دستگاه‌های نشت‌یاب در شبکه آب‌وفاضلاب شهری جهت مانیتورینگ و ارزیابی وضعیت لوله‌های شبکه به‌ویژه در اطراف بناهای تاریخی
- بسترسازی مناسب هنگام اجرای لوله‌های شبکه‌های آب‌وفاضلاب
- طراحی مناسب لوله‌های شبکه آب‌وفاضلاب با قطر و عمق مناسب
- اصلاح شبکه‌های آب‌وفاضلاب در مناطق دارای شبکه‌های قدیمی و فرسوده و اطراف آثار تاریخی
- استفاده از لوله‌های با عمر طولانی از قبیل لوله‌های سفالی و پلی‌اتیلن به‌ویژه در اطراف بناهای تاریخی
- ایجاد مدیریت یکپارچه شهری از طریق زیرساخت داده‌های مکانی (SDI) و ارتباط بین سازمان‌های مرتبط با شبکه‌های تاسیسات‌شهری و سازمان میراث فرهنگی

نتیجه‌گیری

دو نتیجه مهم زیر در مورد ارتباط لوله‌های شبکه آب و فاضلاب با حوادث بااستفاده از تحلیل‌های آماری فوق حاصل گردید:

۱- هرچه قطر لوله‌ها کمتر باشد احتمال وقوع حوادث در آنها بیشتر خواهد بود. علت این امر ساخت‌وسازهای اخیر مجتمع‌های مسکونی و در نتیجه تراکم جمعیت در اطراف آثار تاریخی و عدم جوابگویی قطر لوله‌های موجود در منطقه مطالعاتی بوده است.

۲- با افزایش عمر لوله‌های در شبکه و قدمت آنها احتمال وقوع نشت و رطوبت به دلیل فرسودگی لوله‌های موجود افزایش یافته است.

با پیش‌بینی احتمال وقوع نم زدگی در آثار تاریخی شهری در اثر وقوع حوادث و رسیدن به نتایج مفید و امیدوارکننده قابلیت گسترش و تعمیم مدل مذکور به مناطقی که از نظر تاریخی دارای ارزش بالایی هستند، امکان‌پذیر بوده و باتوجه به اهمیت ویژه شهر اصفهان از نظر میراث فرهنگی ایجاد یک بانک اطلاعات فضایی منظم از داده‌های شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی و فاضلاب شهری و مشخصات شبکه و همچنین سوابق و گزارشات حوادث قبلی به ویژه در اطراف بناهای تاریخی ضروری به نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی: از کلیه دست اندر کارانی که در تهیه این مقاله همکاری کرده‌اند سپاسگزاری می شود.

تاییدیه اخلاقی: این مقاله تاکنون در هیچ‌یک از مجلات داخلی و خارجی به چاپ نرسیده‌است.

تعارض منافع: این مقاله فاقد هرگونه تعارض با منافع ارگان‌ها و اشخاص است و هدف از نگارش آن صرفا گسترش مرزهای دانش در حوزه سیستم اطلاعات جغرافیایی و بهره‌برداری از شبکه‌های تاسیسات شهری در بافت تاریخی شهرها بوده است.

سهم نویسندگان: فرهاد کتیرایی (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی، نگارنده روش شناسی (۳۰%)؛ علیرضاقراگوزلو (نویسنده دوم)، نگارنده مقدمه و بحث (۳۰%)؛ علی‌اصغر آل‌شیخ (نویسنده سوم)، تحلیلگر آماری (۲۰%)، امیرهومن حمصی (نویسنده چهارم)، پژوهشگر کمکی (۲۰%).

منابع مالی: این مقاله مستخرج از رساله مقطع دکتری رشته سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران با عنوان "طراحی مدل مکانی ارزیابی خطرات زیست محیطی حوادث شبکه فاضلاب شهری" است که در نوبت اخذ مجوز دفاع قرار دارد و منابع مالی آن از هزینه شخصی دانشجو تامین شده است.

منابع

[Internet] Fars news: The story of the humidity of the Imam Mosque of Isfahan [Published 2018, 28 February]

Abedini A, Karimi R (2019). Assessment of the effective factors to determine the capacity of building density in historical areas, Case study: Urmia city. Geographical Research in Urban Planning. 6(4):809-826. [Persian]

Aryafar A, Khosravi V,·Hooshfar F (2019). GIS‐based comparative characterization of groundwater quality of Tabas basin using multivariate statistical techniques and computational intelligence. International Journal of Environmental Science and Technology. 16(10):6277-6290.

Asefi H, Zalnori E, Nozaripour A, Moradi Gh (2010). Pressure management of urban water distribution networks and proper use of water resources. The first Regional Conference on Civil Engineering of Islamic Azad University of Khomeinishahr. [Persian]

Asghari E, Barzegari Gh, Azarmi R, Shahbazi A (2018). Site selection for Shahindezh city landfill using AHP and GIS. Journal of Geography and Planning. 22(66):23-44. [Persian]

Chen W, Dai P, Yuan P, Zhang J (2016). Effect of inorganic silicate consolidation on the mechanical and durability performance of sandstone used in historical sites. Construction and Building Materials. 121:445-452.

Crawford D, Hung M (2012). Implementing a utility geographic information system for water sewer and electric: Case study of city of Calhoun, Georgia. A Thesis Presented to The Department of Geology and Geography in Candidacy for the Degree of Master of Science

De Moura E.N, Procopiuck M (2020). GIS-based spatial analysis: basic sanitation services in parana state, Southern Brazil. Environ Monit Assess. 192:96.

Delavar M, Tabesh M, Jafari H (2009). Accident management model of water distribution networks using geographic information systems (GIS). Journal of Water and Wastewater. 20(70):2-15.

Eskan news,(2018),Humidity lurks in the first historic altar of the Isfahan Grand Mosque,2018.8.7

Ferrara C, Matteo Barone P (2015). Detecting moisture damage in archaeology and cultural heritage: A brief introduction, International Journal of Archaeology. 3(1-1): 57-61.

Ghaed Amini A, Ebrahimzadeh R, Sadeghi M (2020). Assessing tourism potentials to recreate the historical fabric of the city (case study: Isfahan). Quarterly Journal of Urban Management Studies. 12(41):63-77. [Persian]

Ghalenoei M, pirbabaei M, Soltan Ahmadi E, Haghighi Nasrin M (2019). Assessing the prioritization of cultural and urban heritages values of Naghshe-Jahan square. Journal of Conservation and Architecture in Iran. 1(16):39-50. [Persian]

Hasibi A, Fallah farbod S, Laghaei H (2014). Presenting the principles and strategies for revitalizing parks in the old contexts of the city, while preserving the historical and cultural identity (Case study: Shahr Park located in Sangalaj neighborhood of Tehran. Quarterly Journal of Environmental Science and Technology. 16(3):137-154.

Irankhahi, S. A. Jozi, P. Farshchi, S. M. Shariat, H. Liaghati (2017). Combination of GISFM and TOPSIS to evaluation of Urban Environment Carrying Capacity (Case study: Shemiran City, Iran) Int. J. Environ. Sci. Technol. 8-2:229-250.

Karimi M, Rezaei nodeh F, Jabari Gharebagh M (2018). Qualitative risk assessment of Gas pipelines by using of indexing system method in GIS environment. Journal of Geospatial Information Technology. 7(1):91-105. [Persian]

Katiraei F, Ghadirian P (2016). Wastewater collection network utilization, using the intelligent technology based on event predictive analysis and GIS. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE). 11-4:128-130.

Katiraei F, Ghadirian P, Al-Modarresi A, Eslamian S (2014). Designing a model for assessing and predicting accidents in the urban wastewater network using GIS and hierarchical analysis process. Environment and Green Industry Conference. University of Isfahan. [Persian]

Katiraei F, Gharagozlu A, Alesheikh AA, Hemmasi AH (2019). A GIS model for urban sewage network operations to maintain cultural heritage “A case study about Isfahan”. Geospatial Conference. University of Tehran, Karaj, Iran.

texture of the 12th district of Tehran based on the indicators of urban sustainability regeneration. Quarterly of Order & Security Gaurds. 11(4):95-124. [Persian]
Schaefli B, Harman C.J, Sivapalan M, Schymanski S.J (2011). HESS Opinions: Hydrologic predictions in a changing environment: behavioral modeling. Hydrology and Earth System Sciences. 15(2):635-646.
Shakeri M, Alimohammadi A, Sadeghi Niaraki A, Alesheikh A (2013). Design of a road transport system using a combination of voluntary spatial information (VGI) and spatial data infrastructure (SDI). Journal of Transportation Engineering. 6(1):83-98. [Persian]
Shevlyakova MI, Atkina LI (2019). Application of GIS technologies in inventories of cultural heritage objects by the example of Kharitonov garden, Yekaterinburg. IOP conference series: Earth and Environmental Science.
Stimers M.J, Fernando W.P, Lenagal S.K (2019). Archaeological site impacts in the Hambantota district, Sri Lanka: Markov Chain/GIS/RS-based analysis of land use and change detection, 1972-2014. International Journal of Applied Science. 5(2):88-110
Tabibian M, Jafarpour Nasser S, Esfanjary Kenari E (2020). Historic Urban Landscape Approach: A New Tool for Urban Heritage Management. The Culture of Islamic Architecture and Urbanism. 5(1):183-199. [Persian]
Taghvaei M, Jozi khamslooei A (2019). Vulnerability analysis and prioritization of historical uses of Isfahan metropolis in crisis management and emergency evacuation. Quarterely Journal of the Iranian Geographical association. 17(62):123-139. [Persian]
Torkashvand A, Jahanbakhsh H, Karimi nezhad A (2016). Recognition of the components affecting the formation of collective identity and memory in urban spaces around historic bridges. Journal of Iranian Architecture and Urbanism. 13:5-14. [Persian]
Yan D, Wu S, Zhou S, Tong G, Li F, Wang Y, Li B (2019). Characteristics, sources and health risk assessment of airborne particulate PAHs in Chinese cities: A review, Environmental Pollution. 248: 804-814.
Yang S, Ge M, Li X, Pan C (2020). The spatial distribution of the normal reference values of the activated partial thromboplastin time based on ArcGIS and GeoDA. International Journal of biometeorology. 64(5):779-790.
Marzouk M, Othman A (2020). Planning utility infrastructure requirements for smart cities using the integration between BIM and GIS. Sustainable Cities and Society. 57.
McNeil B.E, JASPER J.D, Luchsinger DA, Rainsmier M.V (2002). Implementation and application of GIS at timpanogos cave national monument, UTAH. Journal of Cave and Karst Studies. 64(1):34-37.
Moayedfar S, Rafie S (2018). Planning urban secure spaces with emphasis on tourism development (Case study: Meybod Historical texture). Journal of Geography and Urban Space Development. 5(1):131-152. [Persain]
Moeeni R, Hoseingholi P, Zare MR (2018). Number of blockage prediction for sanitary sewer networks (Case study: Isfahan region 2). Journal of Water and Wastewater. 31(1):86-98. [Persian]
Mohammadi A, Pishgar E, Nouri S (2018). Spatial analysis of urban sewage network events using GIS (Case study: Ardabil city). Journal of Urban Research and Planning. 9(34):105-118. [Persian]
Negin Foroughi [Internet] Tasnim News Agency: Moisture that weakens the foundations of Isfahan's historical Mosque [Published 2017, 1 January].
Omidipoor M, Jelokhani-Niaraki M, Moeinmehr A, Sadeghi-Niaraki A, Choi S M (2019). A GIS-based decision support system for facilitating participatory urban renewal process. Land Use Policy. 88:104-150.
Pirak M, Abdullah Khan Gorji M, Vahidzadeh R, Bahadori R (2015). Investigation of the mechanism of degradation due to soluble salts in historical buildings. Journal of Bastansanji. 1(2):51-73. [Persian]
Rahman F, Javid AH, Hassani AH, AleSheikh AA (2010). Sewerage network design using ArcGIS tool and computational software. Journal of Environmental Science and Technology. 11(1):209-218. [Persian]
Riyahipur M, Kalantari M, Piri I (2020). Crisis management and planning in urban water supply facilities using passive defense approach (Case study: Yasouj city). Jouranl of Water and Wastewater. 31(2):130-136. [Persian]
Saremi h, Amini M, Ghalibaf MB (2020). Study of spatial distribution and human casualty model In the worn-out