

GIS modeling of firebase of urban gas distribution networks and seismic effects in its intensification (Case study: District 1 of Tabriz Municipality)

Bakhtiar Feizizadeh^{1*}, Abolfazl Ghanbari², Ahdieh Musazadeh³

1. *Corresponding Author*, Associate professor, Remote Sensing and GIS Department, University of Tabriz, Iran.
2. Associate professor, Remote Sensing and GIS Department, University of Tabriz, Iran.
3. Master student of Remote Sensing and Geographic Information System, University of Tabriz, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 09 December 2020
Revised: 12 May 2021
Accepted: 12 June 2021

Keywords:

Fire,
city gas distribution networks,
fuzzy ANP.

ABSTRACT

Today, about 60% of the world's energy resources are oil and gas. Due to the different methods of transporting crude oil and its products, the largest share of the transfer of these resources is through the transmission pipeline lines. The present study aims to model the GIS model of fire-based urban gas distribution networks and the seismic effects of Tabriz in intensifying fire. For this purpose, multi-criteria decision-making methods (MCDA) with geographic information systems (GIS) were used. Also, to determine the importance of the relationship between criteria and sub-criteria and their relative importance coefficient, the FANP model was used. And 20 sub-criteria were studied to study the vulnerability to gas network fires. To determine the effect of seismicity of Tabriz city on fire in urban gas distribution networks, the seismic hazard zoning map of Tabriz city was compared with the output map of the present study and it was determined that the most vulnerability in both seismic hazard maps and fire zoning map The gas network is in the northern and northwestern part of the area, which is a worn and marginal part of the city. Residential use with 70.63 hectares with the most damage from the fire of urban gas distribution networks due to earthquake intensification is in the first place. Considering the high risk of fire in urban gas networks, in the region, especially the worn-out and marginal structures, it is necessary to organize these structures and carry out protective operations of gas transmission lines in the mentioned issues. Also, according to the results of the research, the complexity and length of gas transmission lines in the suburban fabric of the city are high, so it is recommended to use polyethylene pipes in these areas, which have a high resistance to steel pipes.

Cite this article: Feizizadeh, B., Ghanbari, A., Musazadeh, A. (2022). GIS modeling of firebase of urban gas distribution networks and seismic effects in its intensification (Case study: District 1 of Tabriz Municipality). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(32), 87-108. DOI: 10.22111/jneh.2021.36817.1740



© Bakhtiar Feizizadeh.

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2021.36817.1740

* Corresponding Author Email: Feizizadeh@tabrizu.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۲۲، تابستان ۱۴۰۱

مدلسازی GIS پایه آتش‌سوزی شبکه‌های توزیع گاز شهری و اثرات لرزه‌خیزی در تشدید آن (مطالعه موردی: منطقه یک شهرداری تبریز)

بختیار فیضی‌زاده^{۱*}، ابوالفضل قنبری^۲، عهدیه موسی‌زاده^۳

۱. دانشیار گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

۲. دانشیار گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز

۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	امروزه حدود ۶۰٪ از منابع انرژی در دنیا را نفت و گاز تشکیل می‌دهد. باتوجه به روش‌های مختلف حمل‌ونقل نفت خام و محصولات آن، بیشترین سهم جابه‌جایی این منابع با استفاده از خطوط لوله‌های انتقال می‌باشد. هدف از این پژوهش، مدلسازی GIS پایه آتش‌سوزی شبکه‌های توزیع گاز شهری و اثرات لرزه‌خیزی شهر تبریز در تشدید آتش‌سوزی می‌باشد. برای این منظور روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) به همراه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به کار گرفته شد، همچنین برای تعیین اهمیت روابط بین معیارها و زیر معیارها و ضریب اهمیت نسبی آن‌ها از مدل FANP استفاده شده است که در راستای هدف پژوهش از ۴ معیار و ۲۰ زیرمعیار برای مطالعه آسیب‌پذیری در برابر آتش‌سوزی شبکه‌های گاز پرداخته شد. برای مشخص کردن تأثیر لرزه‌خیزی شهر تبریز بر آتش‌سوزی شبکه‌های توزیع گاز شهری به مقایسه نقشه ریز پهنه‌بندی خطر زمین لرزه‌های شهر تبریز با نقشه خروجی حاصل از این پژوهش پرداخته شد و مشخص گردید، بیشترین آسیب‌پذیری هم در نقشه خطر زمین‌لرزه و هم در نقشه پهنه‌بندی آتش‌سوزی شبکه گاز در قسمت شمال و شمال غربی محدوده است که بافت فرسوده و حاشیه‌نشین شهر می‌باشد. کاربری مسکونی با ۷۰/۶۳ هکتار با بیشترین آسیب از آتش‌سوزی شبکه‌های توزیع گاز شهری در اثر تشدید زلزله در درجه اول قرار دارد. با توجه به برآورد خطر بالای آتش‌سوزی شبکه‌های گاز شهری، در سطح منطقه به خصوص بافت فرسوده و حاشیه‌نشین، سامان‌دهی این بافت‌ها و اجرای عملیات محافظتی از خطوط انتقال گاز در بافت‌های یادشده ضروری به نظر می‌رسد. همچنین باتوجه به نتایج حاصل از این پژوهش، پیچیدگی و طول خطوط انتقال گاز در بافت حاشیه‌نشین شهر زیاد می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در این قسمت‌ها از لوله‌های پلی اتیلن که دارای مقاومت بالا نسبت به لوله‌های فولادی می‌باشد، استفاده گردد.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۹	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۲	
واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، شبکه‌های توزیع گاز شهری، فازی ANP.	

استناد: فیضی‌زاده، بختیار، قنبری، ابوالفضل، موسی‌زاده، عهدیه. (۱۴۰۱). مدلسازی GIS پایه آتش‌سوزی شبکه‌های توزیع گاز شهری و اثرات

لرزه‌خیزی در تشدید آن (مطالعه موردی: منطقه یک شهرداری تبریز). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۲)، ۸۷-۱۰۸.

DOI: 10.22111/jneh.2021.36817.1740



© بختیار فیضی‌زاده^{*}، ابوالفضل قنبری، عهدیه موسی‌زاده.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

یکی از موضوع‌هایی که تمامی شهرهای جهان با آن دست‌به‌گریبان بوده و هستند، مسئله حوادث طبیعی و انسان-ساخت به‌خصوص آتش‌سوزی است. تقریباً ۵۰ درصد از جمعیت جهان در نواحی شهری زندگی می‌کنند. رشد سریع حاشیه‌های بدون دفاع شهری، تمرکز روز افزون جمعیت در محله‌های پرتراکم، برج‌سازی، باعث گسترش بی‌رویه شبکه‌های گازسانی شده که در این میان بی‌توجهی به احتمال وقوع زلزله، احتمال آتش‌سوزی را بیشتر کرده است (بکتاش و همکاران، ۱۳۹۷). مخاطرات طبیعی همانند زلزله همیشه تهدید جدی برای شهرهای لرزه‌خیز به‌خصوص در بافت فرسوده شهرهای قدیمی و بزرگ است، به طوری که در مناطق شهری خسارت‌های عظیمی در اثر وقوع زلزله شامل تلفیقی از ویرانی‌های کالبدی و اختلال عملکرد عناصر شهری نظیر ویرانی سازه‌ها و ساختمان‌های مسکونی، شبکه‌ی ارتباطی، تاسیسات زیربنایی شهر مانند آب، برق، نیروگاه‌ها، لوله‌کشی، خطوط ارتباطی تلفن و شبکه گاز از جمله آن هستند. سامانه‌های خطوط انتقال گاز به‌عنوان یکی از شریان‌های حیاتی در کاهش و افزایش خسارت‌ها و آسیب‌پذیری ناشی از خطرات زمین‌لرزه و دیگر سوانح احتمالی، نقش کلیدی خواهند داشت. خطوط توزیع گاز در اثر وقوع حوادث گوناگون علاوه بر اینکه خسارت‌های مستقیم اقتصادی، خسارت‌های ثانویه‌ای هم ایجاد می‌کنند (احمدی، ۱۳۹۸). شبکه‌های توزیع گاز شهری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین منبع تأمین انرژی از جمله شریان‌های حیاتی شهرهای کشورمان به شمار می‌رود. آسیب‌های خطوط لوله‌های گاز طبیعی شهری می‌تواند باعث اشتعال، انفجارهای شدید و خسارت‌های فراوان به زیرساخت‌ها، شهروندان و محیط‌زیست شود. باتوجه به مطالب یادشده، انتقال گاز طبیعی به خطوط ایمن و قابل‌اعتماد متکی است که هر گونه نشت یا شکستگی لوله‌های گاز به راحتی می‌تواند به حوادث فاجعه‌بار تبدیل شود و منجر به تلفات عظیم جان و مال در بافت شهری به‌خصوص بافت فرسوده شهری شود. پژوهش‌گران روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی به‌کار گرفته‌اند. باتوجه به این نکته که بیشتر داده‌های مربوط به زلزله و اثرات آن مکانی می‌باشد، بنابراین فناوری GIS^۱ می‌تواند به شکل سیستمی مؤثر، کارایی لازم را به جهت ارزیابی و پهنه‌بندی مخاطراتی از قبیل زلزله را داشته باشد. بدین ترتیب که همواره مدیریت مخاطرات طبیعی به کمک GIS شکل گرفته و توسعه این مدیریت نیز در گرو پیشرفت علم GIS است (قهرودی تالی، ۱۳۸۸)، در سال‌های اخیر نیز فنون و فن‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌همراه تحلیل‌های مکانی و شبکه‌ای GIS برای کمک مدیریتی و همچنین اولویت‌بندی معیارها، در شرایطی که با معیارهای گوناگون برای حل یک مسأله روبرو هستیم، استفاده می‌شود (مافی غلامی، ۱۳۹۵). در ارتباط با موضوع این پژوهش، پژوهش‌های متعددی در طی سال‌های اخیر در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است، به چند مورد از آنها در اینجا اشاره شده است.

رضائیان و همکاران (۱۳۹۳)، در پژوهشی به ارزیابی خطوط لوله‌های گاز طبیعی، نفت و فرآورده‌های نفتی با تلفیق روش سامانه شاخص‌گذاری و فرآیند سلسله‌مراتبی (AHP) پرداخته‌اند. نتایج نشان داد به‌کارگیری این دو روش می‌تواند به‌عنوان الگویی در ارزیابی ریسک زیست‌محیطی پروژه‌های خطوط لوله انتقال گاز مورد استفاده قرار گیرد. صادقیان و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی با روش تحلیلی - عددی آسیب‌پذیری لوله‌های گاز منطقه ۲۰ تهران در برابر سوانح احتمالی از جمله زلزله و آتش‌سوزی و همچنین تخمین احتمال وقوع اشتعال ناشی از شبکه توزیع برق و

¹ Geographic Information System

گاز را مورد بررسی قرار داده‌اند. سپس با استفاده از روش مونت کارلو برای عدم قطعیت در مراحل تحلیل حالات مختلف خسارت را شبیه‌سازی کرده‌اند. به این نتیجه رسیده‌اند که به‌طور متوسط وقوع ۲۰ نشت، ۷ شکست و ۹۰ اشتعال ناشی از آسیب لرزه‌ای خطوط لوله گاز محاسبه شده است که در نهایت راه‌کارهایی در جهت مقابله با آسیب‌پذیری لرزه‌ای خطوط لوله گاز پیشنهاد داده‌اند. خسروی (۱۳۹۶)، به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در شهرستان مرند و بررسی اثرات تخریبی آن بر روی شبکه‌های انتقال گاز پرداخته است و برای این منظور روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA)^۱ به‌همراه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را به‌کار گرفته است. همچنین برای ارزیابی عدم قطعیت موجود در مدل‌های GIS MCDA در پهنه‌بندی زمین لغزش، از روش‌ها و فن‌های زمین‌آماری استفاده نموده است. در نتیجه این برای کاهش منابع خطا روش‌های تحلیل حساسیت‌پذیری مکانی و عدم قطعیت (GSA) به کمک مدل ANP^۲ در این فرآیند مدل‌های تصمیم‌گیری GIS پایه با هم تلفیق شده و چهارچوبی برای ارتقای دقت مدل‌های تصمیم‌گیری GIS پایه ارائه شده است. احمدی و رنجبر (۱۳۹۸)، در پژوهشی با عنوان ارزیابی و پهنه‌بندی خطرپذیری خطوط انتقال گاز شهرستان دهگلان با انتخاب ۶ معیار، تقاطع خطوط گازرسانی با گسل‌ها، میزان سطح آب زیرزمینی، حریم رودخانه، حریم جاده و تراکم جمعیتی با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله-مراتبی (AHP) پرداختند و در ادامه با نقشه‌های فازی پارامترهای یادشده در محیط نرم‌افزار GIS به این نتیجه رسیده‌اند که خطوط لوله‌های گاز در معرض آسیب زلزله قرار دارند. اسکندری و همکاران (۱۳۹۵)، در مقاله‌ای آسیب‌پذیری زیر ساخت‌های حیاتی شهر نیشابور را در هنگام وقوع زلزله مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مقاله به‌علت حجم وسیع داده‌های مکانی و توصیفی با کد نویسی در محیط Visual Studio به تولید سامانه نرم‌افزاری با به-کارگیری یک پایگاه داده و با قابلیت‌های تحلیل و استنتاج مکانی بر مبنای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداخته‌اند که می‌تواند آسیب‌پذیری هر شریان را به لحاظ رتبه‌بندی به تفکیک هر عارضه برآورد کند.

جابری قره باغی و همکاران (۲۰۰۹)، در پژوهشی با استفاده از شاخص‌گذاری، الگوریتمی توسعه یافته است که بر بیشتر محدودیت‌ها غلبه می‌کند و یک فن مناسب برای ارزیابی ریسک جامع و مدیریت خطوط لوله است. علاوه بر این شاخص‌های ریسک نسبی نیز در تمام بخش‌های خط لوله تعیین شده و الگوریتم انجام شده که این الگوریتم شناسایی بیشتر شکست خط لوله را ممکن می‌سازد. هان و ونگ^۳ (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ای یک روش تحلیل ریسک کمی جامع برای شبکه خط لوله گاز طبیعی ارائه داده‌اند که این روش از ارزیابی احتمالی حوادث، تحلیل پیامدها و ارزیابی ریسک تشکیل شده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که این روش تحلیل کمی جامع برای شبکه خط لوله گاز طبیعی می‌تواند در کاربرد عملی استفاده شود. جمشیدی و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله‌ای، منطق فازی را برای مدلسازی عدم قطعیت موجود در مسئله ارزیابی خطر خط لوله توسعه داده‌اند. برای دستیابی به هدف، روش نمره نسبی (ITS) که یکی از رایج‌ترین فن‌ها در ارزیابی ریسک خط لوله است با منطق فازی ادغام می‌شود. مدل پیشنهادی بر روی جعبه ابزار منطق فازی MATLAB با استفاده از الگوریتم Mamdani انجام شده است. نتایج

^۱ - Multiple-Criteria Decision Analysis

^۲ - Analytical Network Process

^۳ - Han and Weng

حاصل از این پژوهش نشان داد که این مدل نتایج دقیق تری را ارائه می‌دهد به طوری که، می‌توان آن را به‌عنوان یک ابزار ارزیابی ریسک هوشمند در مشکلات مهندسی به کار گرفت.

لیو^۱ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی، روش ارزیابی ریسک جامع را با ترکیب یک ماتریس ریسک با مدل Bow-tie پیشنهاد می‌کنند. در این مطالعه یک خط لوله زیر آب حامل گاز طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است تا سودمندی نتیجه به دست آمده از مدل را تأیید کند. چنگ^۲ و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای با استفاده از یک مدل، آتش‌سوزی شبکه خط لوله گاز طبیعی و چارچوبی برای گسترش حریق شهری را با استفاده از فن‌آوری GIS بررسی کرده‌اند. نتایج به دست آمده نشان داد که با استفاده از این مدل، می‌توان مناطق کلیدی شهر را تعیین کرد که تحت تأثیر لوله گاز طبیعی است و ممکن است در آن گسترش آتش رخ دهد. گیو^۳ و همکاران (۲۰۱۶)، روشی برای ارزیابی ریسک جامع بر اساس مدل شبکه پتری فازی (FPN) برای خطوط لوله انتقال نفت و گاز پیشنهاد داده‌اند که دو مدل AHP و AM را ترکیب کرده‌اند. نتیجه حاصل از دو روش FPN است که می‌تواند برای مدیریت خط لوله‌های حمل و نقل نفت و گاز مورد استفاده قرار گیرد. یون^۴ و همکاران (۲۰۱۸)، به ارزیابی خطر لرزه‌ای شبکه‌های انتقال آب شهری پرداختند. در این مطالعه چارچوبی برای کمی کردن تأثیر زلزله بر اتصال انتقال آب شهری ارائه می‌کنند. با استفاده از این چارچوب‌ها، مراحل را برای پیش‌بینی آسیب ناشی از پیشنهاد کرده‌اند که قادر است خسارت‌های زلزله را پیش‌بینی کند و تصمیم‌گیری برای به حداقل رساندن وسعت آسیب را افزایش می‌دهد.

مطالعات پیشین نشان می‌دهد، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با تلفیق سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) ابزارهای کلیدی مناسب برای مدلسازی و ارزیابی اثرات زلزله‌خیزی در آتش‌سوزی شبکه‌های توزیع گاز شهری می‌باشد. در این پژوهش باتوجه به همجواری کلان‌شهر تبریز با گسل شمال تبریز و همچنین وجود بافت فرسوده و حاشیه‌نشین محدوده مورد مطالعه به همه معیارهای مربوط به کیفیت مسکن توجه شده است.

ایران نیز به‌عنوان کشوری زلزله‌خیز، طی دهه‌های گذشته آسیب‌های اجتماعی و اقتصادی فراوانی را بر اثر زلزله‌های فراوان متحمل شده است (زارع، ۱۳۸۰). در این میان به دلیل اینکه در محدوده و نزدیکی کلان‌شهر تبریز گسل‌های مهمی وجود دارد که در پهنه‌بندی نسبی خطر زمین‌لرزه در ایران، شهر تبریز تنها شهر مهم ایران است که در جایگاه پهنه‌بندی با خطر نسبی بسیار بالا قرار دارد (ولی‌زاده کامران، ۱۳۸۰). این امر می‌تواند نقش مهمی در تشدید آتش‌سوزی شبکه‌های گاز شهری پس از زلزله داشته باشد. هدف از این پژوهش باتوجه به کارکرد شبکه‌های توزیع گاز شهری به‌عنوان یکی از زیرساخت حیاتی شهر، شناسایی نقاطی است که بیشترین آسیب‌پذیری ممکن را در مواقع زلزله دارند. در این پژوهش تلاش شده است تا به این پرسش‌ها پاسخ داده شود که: ۱- آیا با تلفیق روش‌های سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و تحلیل‌های مکانی و شبکه‌ای GIS می‌توان نتایج مدلسازی خطر آتش‌سوزی شبکه‌های گاز شهری را با دقت مطلوبی عملیاتی نمود؟ ۲- خطر آتش‌سوزی در شبکه‌های گاز شهری در کدام قسمت از منطقه یک شهرداری تبریز بیشتر است و ارتباط آن با زلزله‌خیزی چگونه است؟

¹ - Lu

² - Cheng

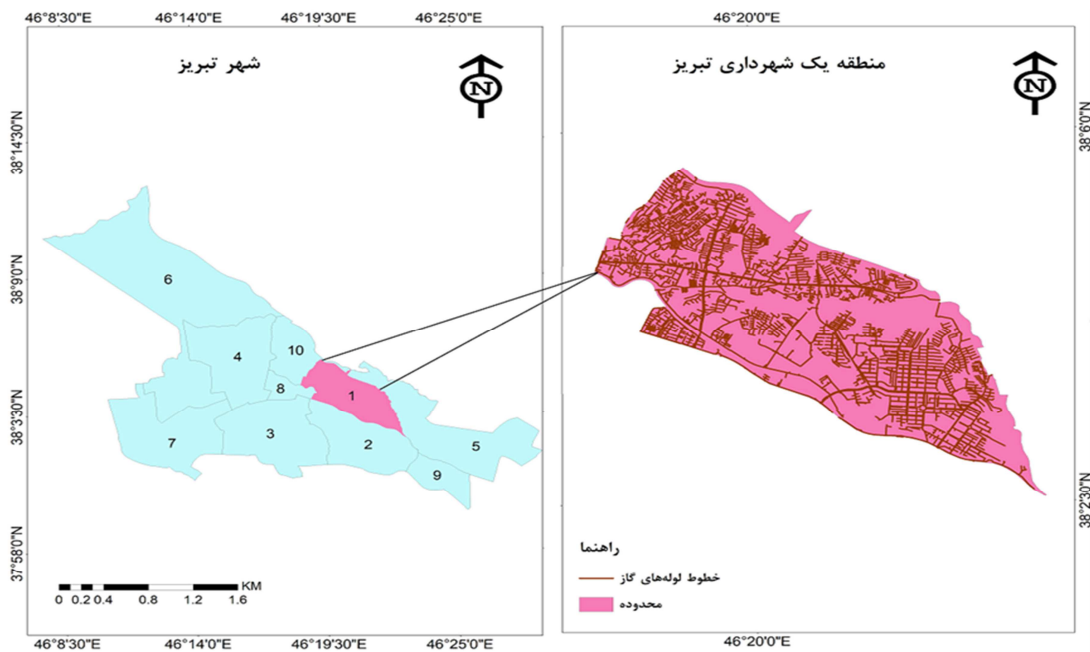
³ - Guo

⁴ - Yoon

داده‌ها و روش پژوهش

محدوده مورد مطالعه

شهر تبریز به‌عنوان بزرگ‌ترین متروپل شمال غرب در مرکز استان آذربایجان شرقی با مساحتی بالغ بر ۴۰۰ کیلومتر مربع واقع شده است. این شهر از نظر موقعیت جغرافیایی در ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و در ۳۸ درجه و ۰۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۰۷ دقیقه عرض شمالی در جلگه تبریز قرار گرفته است (زیست‌آ، ۱۳۸۳). طبق آخرین تقسیمات شهرداری‌ها، شهر تبریز دارای ۱۰ منطقه شهرداری است که منطقه یک شهرداری تبریز به‌عنوان محدوده‌ی مورد مطالعه در این پژوهش انتخاب گردید.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه. منبع: نگارندگان، سال ۱۳۹۹

مدل فازی ANP

برای پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی شبکه‌های توزیع گاز شهری از مدل فازی ANP که از بهترین روش‌ها برای تصمیم‌گیری در مواقعی که معیارهای مختلف و گاه متضاد وجود دارد، استفاده شده است. در سال‌های اخیر فنون و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای کمک مدیریتی و اولویت بندی معیارهای گوناگون توسعه یافته است. از جمله این روش‌ها می‌توان به فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی (FANP) اشاره کرد (مافی‌غلامی، ۱۳۹۵). ادغام GIS و تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در دو دهه اخیر مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. بنابراین روش‌های GIS MCDA چارچوبی برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده و ترکیب‌های مختلف از عناصر یک مسئله

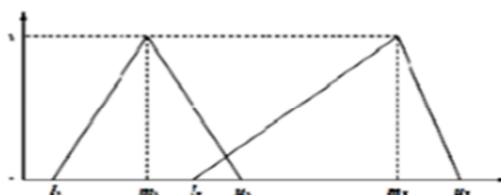
تصمیم‌گیری پیچیده را و برای سازماندهی آنها در یک ساختار سلسله‌مراتبی و همچنین بررسی روابط بین مؤلفه‌های مسئله را فراهم میکند (Malczewski, 1999). تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (GIS MCDA) به‌عنوان یک روش تجزیه و تحلیل فضایی مهم در فرآیند تصمیم‌گیری محسوب می‌شود، بنابراین اطلاعاتی را که از منابع مختلف به دست می‌آید ترکیب می‌کند (Feizizadeh and Blaschke, 2001; Feizizadeh and Blaschke, 2013a, 2012; Feizizadeh et al., 2012).

در ادامه با توجه به استفاده از روش فازی ANP، این روش به صورت خلاصه در زیر معرفی شده است. فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی از تلفیق فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و ماتریس تأثیرات وابستگی متقابل بین معیار به دست می‌آید که در ادامه به تشریح آن پرداخته می‌شود. ابتدا روش تحلیل سلسله‌مراتبی دیدگاه چانگ بیان می‌شود. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلثی فازی‌اند. مفاهیم و تعاریف فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی بر اساس روش تحلیل توسعه‌ای تشریح می‌شوند (عالم تبریز، باقرزاده آذر، ۱۳۸۸: ۱۷۴؛ مؤمنی، ۱۳۸۸: ۱۵۶). دو عدد مثلثی $M_1=(1_1, m_1, u_1)$ و $M_2=(1_2, m_2, u_2)$ که در شکل ۲ رسم شده‌اند را در نظر بگیرید. عملگرهای ریاضی آن به صورت روابط ۱، ۲ و ۳ تعریف می‌شوند.

$$M_1 + M_2 = (1_1 + 1_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (1)$$

$$M_1 * M_2 = (1_1 * 1_2, m_1 * m_2, u_1 * u_2) \quad (2)$$

$$M_2^{-1} = \left(\frac{1}{u_2}, \frac{1}{m_2}, \frac{1}{1_2}\right) M_1^{-1} = \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{1_1}\right) \dots \quad (3)$$



شکل ۲: روابط اعداد مثلثی

باید توجه داشت که حاصل ضرب ۲ عدد فازی مثلثی یا معکوس ۱ عدد فازی مثلثی، دیگر ۱ عدد فازی مثلثی نیست. این روابط، فقط تقریبی از حاصل ضرب واقعی ۲ عدد فازی مثلثی و معکوس ۱ عدد فازی مثلثی را بیان می‌کنند. در روش تحلیل توسعه‌ای، برای هر یک از سطرها ماتریس مقایسه‌های زوجی، مقدار s_k که خود یک عدد مثلثی است، به صورت رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$S_k = \sum_{j=1}^n M_{kj} \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1} \quad (4)$$

که k بیانگر شماره‌ی سطر است i و j به ترتیب گزینه‌ها و شاخص‌ها را نشان می‌دهند.

در روش تحلیل توسعه‌ای، پس از محاسبه‌ی S_k ‌ها، باید درجه‌ی بزرگی آنها را نسبت به هم به دست آورد. به طور کلی، اگر M_1 و M_2 دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه‌ی بزرگی M_2 بر M_1 که با $V(M_1 > M_2)$ نشان داده شده، به صورت رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود.

$$\begin{cases} V(M_1 \geq M_2) = 1 & \text{if } m_1 \geq m_2 \\ V(M_1 \geq M_2) = hgt(M_1 \cap M_2) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

همچنین داریم:

$$hgt(M_1 \cap M_2) = \frac{u_1 - 1_2}{(u_1 - 1_2) + (m_2 - m_1)}$$

زیر به دست می‌آید.

$$V(M_1 \geq M_2 \dots M_K) = V(M_1 \geq M_2) \dots V(M_1 \geq M_K) \quad (6)$$

برای محاسبه‌ی وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسه زوجی به صورت رابطه‌ی زیر عمل می‌شود.

$$W'(X_i) = \text{Min}\{V(S_i \geq S_k)\}, K = 1, 2, \dots, n, k \neq i \quad (7)$$

بنابراین، بردار وزن³ شاخص‌ها به صورت رابطه‌ی ۸ خواهد بود.

$$W'(X_i) = [W'(C_1) \cdot W'(C_2) \dots W'(C_n)]^T \quad (8)$$

که همان بردار ضرایب غیرنرمال فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی است. به کمک رابطه‌ی ۹ نتایج غیرنرمال به دست آمده از رابطه‌ی بالا نرمال می‌شوند. نتایج نرمال شده‌ی حاصل از رابطه‌ی^w نامیده می‌شوند.

$$W_i = \frac{w'_i}{\sum w'_i} \quad (9)$$

سیس، تأثیرات وابستگی متقابل بین معیارها تعیین می‌شود. اعضای گروه، تأثیر همه‌ی معیارها را بر هم دوباره از طریق مقایسه‌ای زوجی می‌سنجند. برای کمک به تسهیل فرآیند مقایسه، به مجموعه‌ای از سؤالاتی همچون "کدام معیار بیشتر بر معیار C3 تأثیر می‌گذارد: C1 یا C2؟ و چه قدر بیشتر؟" پاسخ داده می‌شود. برای هر معیار، ماتری‌هایی از مقایسه‌های زوجی تشکیل می‌شود. این ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی برای تعیین تأثیرات نسبی روابط وابستگی معیارها لازم‌اند. بردارهای ویژه اصلی نرمالیزه شده برای این ماتریس‌ها به صورت عناصر ستونی در ماتریس B مربوط به وابستگی وزن‌ها محاسبه و نشان داده می‌شوند. در این ماتریس، صفرها برای وزن‌های بردارهای ویژه معیارهایی در نظر گرفته می‌شوند که رابطه وابستگی با یکدیگر ندارند.

اکنون می‌توانیم وابستگی نسبی معیارها را با تلفیق نتایج حاصل از دو مرحله پیشین به دست آوریم. منظور از تلفیق در اینجا اعمال ضرایب ماتریس وابستگی متقابل (B) بر نتایج حاصل از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (W) است. تلفیق این دو همان فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی است.

$$\omega_c = B \cdot W$$

داده‌ها

به منظور بررسی و ارائه الگوی نظری از مطالعه کتابخانه‌ای (مطالعه کتب، پایان‌نامه و جست‌وجو در پایگاه‌های اینترنتی) و گردآوری داده‌های موردنیاز، به سازمان‌های مربوطه مراجعه گردیده است. جهت دستیابی به اهداف پژوهش، معیارهای مؤثر در آتش‌سوزی شبکه‌های گاز شهری با توجه به نظر ۱۵ کارشناس شامل ۴ معیار و ۲۰ زیر

معیار انتخاب شد. نقشه نهایی مربوط به ریز پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه‌های شهر تبریز نیز در این پژوهش که توسط وزارت مسکن و شهرسازی تهیه شده است، مورداستفاده قرار گرفت. پس از تهیه نقشه‌ی نهایی آتش‌سوزی شبکه‌های گاز شهری در منطقه یک شهرداری شهر تبریز، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه‌های شهر تبریز در نتیجه‌گیری نهایی مورداستفاده قرار داده شده است. جدول شماره ۱ معیارها، زیر معیارهای مورداستفاده در پژوهش، طبقه‌بندی داخلی زیر معیارهای پژوهش و میزان آسیب‌پذیری هر زیر معیار با تقسیم‌بندی داخلی مشخص شده است.

جدول ۱: معیارها و طبقه‌بندی داخلی زیر معیارهای پژوهش

معیارها	زیر معیارها	تقسیم‌بندی داخلی زیر معیارها	آسیب‌پذیری خیلی کم (۱)	آسیب‌پذیری کم (۲)	آسیب‌پذیری متوسط (۳)	آسیب‌پذیری زیاد (۴)	آسیب‌پذیری خیلی زیاد (۵)
شبکه گاز	جنس لوله	پلی اتیلن					
		فولادی					
	فشار لوله	۶۰ پوندی					
		۲۵۰ پوندی					
	سایز لوله	۲ و ۴ اینچ					
		۶ اینچ					
		۸ اینچ					
		۱۰					
			۱۲،۱۶،۲۴				
	تراکم علمک‌ها	تراکم خیلی کم					
تراکم کم							
تراکم متوسط							
تراکم زیاد							
تراکم خیلی زیاد							
تاسیسات شهری	ایستگاه‌های تقلیل فشار	تراکم خیلی کم					
		تراکم کم					
		تراکم متوسط					
		تراکم زیاد					
	تراکم خیلی زیاد						
			۱۶۰۰				
			۱۲۰۰ - ۱۶۰۰				
			۸۰۰ - ۱۲۰۰				
	پمپ‌های بنزین، گاز و پست برق	۴۰۰ - ۸۰۰					
		۰ - ۴۰۰					
شیرهای آتش‌نشانی	تراکم خیلی کم						
	تراکم کم						
	تراکم متوسط						
	تراکم زیاد						
بافت ناکارآمد	تراکم خیلی زیاد						
	حاشیه‌نشین						
کیفیت ابنیه	فرسوده						
	در حال ساخت						
	نوساز						
	قابل قبول						

					مرمتی		کیفیت مساکن
					تخریبی		
					برنامه‌ریزی شده	بافت شهری	
					ارگانیک	اسکلت	
					دارای سازه	ساختمانی	
					فاقد سازه		
					۱ - ۳	تعداد طبقات	
					۳ - ۷		
					۷ - ۱۲		
					۱۲ - ۱۷		
					۱۷ - ۲۱	سن ابنیه	
					۰ - ۱۰		
					۱۱ - ۳۰		
					بیشتر از ۳۰	دانه‌بندی ساختمان	
					بیشتر از ۳۰۰		
					۱۰۰ - ۲۰۰		
					۱۰۰		
					تراکم خیلی کم	تراکم جمعیت	
					تراکم کم		
					تراکم متوسط		
					تراکم زیاد		
					تراکم خیلی زیاد		
					خیلی کم	تراکم ساختمانی	
					کم		
					متوسط		
					زیاد		
					خیلی زیاد		
					۱	کاربری	
					۲		
					۳		
					۴		
					جمع و پخش کننده	شبکه معابر	
					شریانی جریان ۲		
					شریانی درجه ۱		
					تند راه	زمین‌شناسی	
					کنگلومرای نیمه-سخت		
					ماسه‌سنگ و مارن قرمز		
					۰ - ۵	شیب	
					۵ - ۱۵		
					۱۵ - ۳۰		
					۳۰ - ۴۵		
					بیشتر از ۴۵		

برای تعیین روابط بین زیر معیارها، از روش دیمتل و همچنین تعیین برای وزن‌های معیارها و زیر معیارها از نرم افزار Super Decision استفاده شده است. به عبارتی، لایه‌های موردنیاز در این نرم‌افزار باتوجه به نظر ۱۵ کارشناس و متخصص از طریق فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) وزن‌دهی و نسبت به هم ارزیابی شده‌اند و خروجی وزن نهایی مؤلفه‌ها و معیارها با ضریب ناپایداری ۰/۰۸ به صورت جدول ارائه شده است (جدول ۲).

جدول ۲: وزن معیارها و زیر معیارهای پژوهش بر اساس روش ANP

معیارها	وزن زیر-معیارها	وزن معیارها	وزن نهایی زیر معیارها	معیارها	وزن زیر-معیارها	وزن معیارها	
جنس لوله‌های گاز	۰/۳۰۰	۰/۲۷۹	۰/۰۹۷۴	اسکلت ساختمانی	۰/۳۳۴	۰/۰۳۲۸	
فشار لوله‌های گاز	۰/۲۴۰		۰/۱۳۳	تعداد طبقات		۰/۰۷۸۲	۰/۰۳۹۲
سایز لوله‌های گاز	۰/۲۰۰		۰/۰۹۰	سن ابنیه		۰/۰۶۵۱	۰/۰۲۶۸
تراکم علمک‌ها	۰/۲۵۸		۰/۱۱۱	دانه‌بندی ساختمان		۰/۰۸۳۹	۰/۰۳۲۹
فاصله از ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز	۰/۲۸۱	۰/۲۱۱	۰/۰۴۷۴	تراکم جمعیت	۰/۱۶۸	۰/۰۴۶۷	
فاصله از پمپ‌های بنزین، گاز و پست برق	۰/۴۳۷		۰/۱۹۸	تراکم ساختمانی		۰/۰۷۳۷	۰/۰۴۲۱
فاصله از شیرهای آتش‌نشانی	۰/۲۸۱		۰/۲۲۶	کاربری		۰/۰۴۷۴	۰/۰۴۷۸
بافت فرسوده و حاشیه‌نشین	۰/۱۸۹	۰/۲۷۹	۰/۰۵۵۸	معايير شهری	۰/۲۷۹	۰/۰۳۷۲	
کیفیت ابنیه	۰/۱۷۶		۰/۱۰۱	زمین‌شناسی		۰/۰۵۲۰	۰/۰۲۱۳
بافت برنامه‌ریزی شده و بافت ارگانیک	۰/۱۸۶		۰/۰۷۷	شیب		۰/۰۳۲۸	۰/۰۱۶۴

در این مرحله به ارائه نقشه‌های تحلیلی هر یک از شاخص‌های آتش‌سوزی خطوط انتقال گاز، شبکه گاز، تاسیسات شهری، کیفیت مسکن و جغرافیای شهری پرداخته شده است. نقشه‌های طبقه‌بندی شده هر یک از معیارها از ۱ تا ۲۰ شماره‌گذاری شده و از طریق شماره‌های هر یک از نقشه به آنها ارجاع داده شده است و در نهایت نقشه نهایی فازی شده حاصل از پهنه‌بندی آتش‌سوزی شبکه گاز منطقه ۱ شهرداری تبریز، از روی این شاخص‌ها به دست آمده است. بنابراین، با استفاده از تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و قابلیت تحلیل‌های مکانی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) اقدام به تحلیل داده‌ها و شناسایی مکان‌هایی در مواقع انفجار و آتش‌سوزی خطوط لوله‌های انتقال گاز شهری باعث آسیب و آتش‌سوزی در سطح شهر می‌شود، شناسایی شد.

شرح و تفسیر یافته‌های پژوهش

در این مرحله از پژوهش به طبقه‌بندی معیارها و تحلیل آنها و ارائه نقشه‌های معیار پرداخته شده است.

جنس لوله‌های گاز: جنس لوله‌های گاز شامل پلی اتیلن و فولادی است. لوله‌های پلی اتیلن، این لوله‌ها به علت سبکی وزن و انعطاف‌پذیری، عدم نیاز به تجهیزات زیاد برای نصب، مقادیر بسیار کم نشت گاز و قیمت مناسب این لوله‌ها نسبت به لوله‌های فولادی برتری دارند (پورتال شرکت ملی گاز ایران). در منطقه مورد مطالعه لوله‌های پلی اتیلن کمتری وجود دارد. لوله‌های پلی اتیلن فقط در قسمت جنوبی منطقه که شامل شهرک ولیعصر می‌باشد، بیشتر است و بالعکس در قسمت‌های شمالی و شمال غربی لوله‌های فولادی در شبکه گاز استفاده شده است که در اثر حوادثی نظیر آتش‌سوزی و انفجار و زلزله آسیب بیشتری نسبت به لوله‌های پلی اتیلن خواهد دید (شکل ۳ نقشه ۱).

فشار لوله‌های گاز: فشار لوله‌های گاز عبارتند از: ۱- لوله‌های تغذیه (۲۵۰ پوندی) ۲- لوله‌های توزیع (۶۰ پوندی). لوله‌های تغذیه (۲۵۰ پوندی) این خطوط، لوله گاز کاهش فشار یافته را از ایستگاه گاز دروازه شهر به ایستگاه‌های تقلیل فشار شهری منتقل می‌کنند که بسته به شرایط می‌توانند در درون شهر نیز واقع شوند. وظیفه خطوط لوله ۶۰ پوند بر اینچ انتقال گاز از ایستگاه‌های تقلیل فشار شهری به درب منازل است. (مهندسين مشاور نقش محیط، ۱۳۹۱:۸۵). در منطقه یک شهرداری تبریز لوله‌های ۶۰ پوندی دارای طول بیشتری می‌باشد. لوله‌های تغذیه (۲۵۰ پوندی) نسبت به لوله‌های ۶۰ پوندی در مقابل آتش‌سوزی و زلزله خطر بیشتری دارند و ممکن است با شعاع انفجار بیشتر باعث خسارت جانی و مالی در سطح منطقه شود (شکل ۳ نقشه شماره ۲).

سایز لوله‌های گاز: سایز لوله‌های گاز در آتش‌سوزی و شعاع انفجار شبکه گاز شهری تأثیر زیادی دارد. همچنین واحد اندازه‌گیری سایز لوله‌های خطوط گاز برای لوله‌های پلی اتیلن و فولادی متفاوت است. واحد ضخامت یا سایز لوله‌های پلی اتیلن میلی و لوله‌های فولادی اینچ می‌باشد و در محدوده مورد مطالعه ۹۵ درصد از لوله‌های خطوط انتقال گاز فولادی است. همچنین در محدوده ۶۵ درصد از لوله‌های گاز دارای سایز ۲ اینچ، ۴ اینچ، ۶ اینچ، ۸ اینچ و ۱۰ اینچ هستند، به عبارتی از سایز کمتری برخوردارند. لوله‌های با سایز بزرگ در مواقع خطر آتش‌سوزی در معرض خطر زیادی قرار دارند (شکل ۲ نقشه شماره ۳).

تراکم علمک‌ها: علمک‌ها یا انشعابات آخرین بخش از تأسیسات گاز می‌باشند که گاز مصرف‌کنندگان خانگی و تجاری را با فشار ۶۰ پوند تأمین می‌نمایند. (مهندسين مشاور نقش محیط، ۱۳۹۱:۱۰۶). در منطقه مورد مطالعه در قسمت شمال شرقی و بافت حاشیه‌نشین، شهر تراکم علمک‌ها زیاد می‌باشد و در سایر قسمت‌های محدوده از شدت تراکم علمک‌ها کاسته می‌شود. هرچه تراکم علمک در سطح شهر بیشتر باشد خطر انفجار و آتش‌سوزی هم بالا می‌رود (شکل ۳ نقشه شماره ۴).

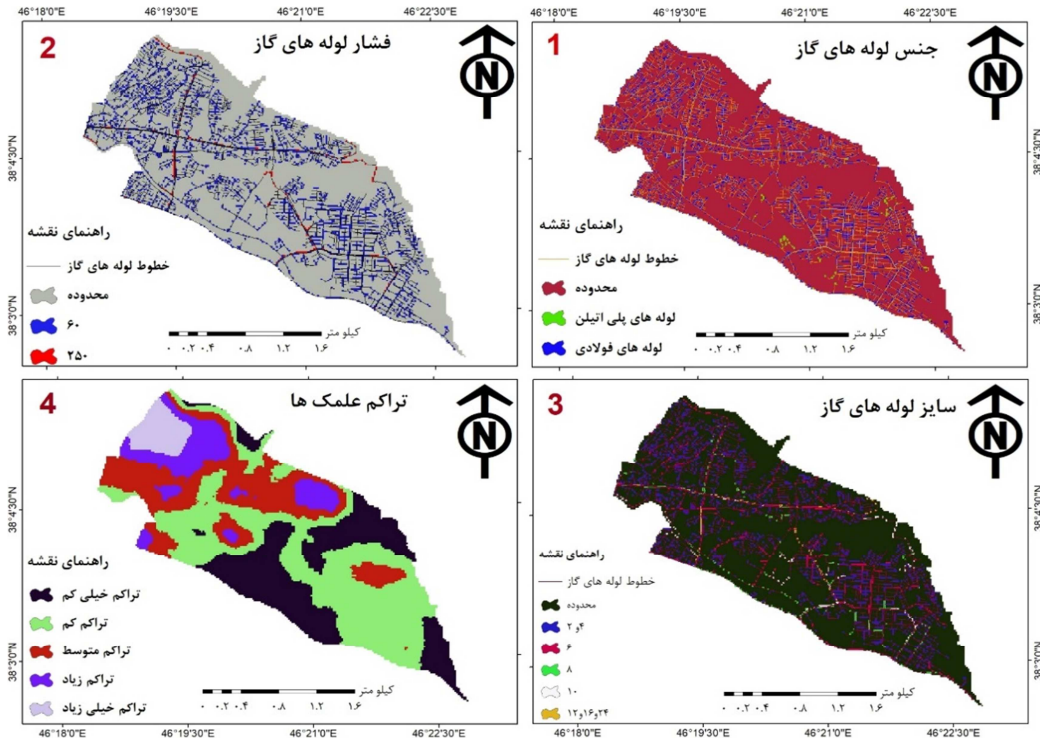
ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز (Town Border Station): شبکه گازرسانی شهری دارای تعدادی ایستگاه‌های تقلیل فشار می‌باشد که به صورت نقاط گرهی بین خطوط لوله تغذیه با فشار ۲۵۰ پوند بر اینچ و خطوط توزیع با فشار ۶۰ پوند بر اینچ مربع در محل انشعاب‌گیری عمل می‌نمایند. هر ایستگاه تقلیل فشار دارای شیر کنترل، رگلاتور، کنتور و لوله‌کشی رو زمینی در داخل ساختمان ایستگاه می‌باشد. در این پژوهش کمترین فاصله از این ایستگاه‌ها ۳۰۰ متر و بیشترین فاصله ۱۲۰۰ متر است. هر چه تعداد این ایستگاه‌ها زیاد باشد امکان آتش‌سوزی در شبکه گاز کم است. در شمال و شمال شرقی محدوده ایستگاه تقلیل فشار وجود ندارد؛ به عبارتی قسمت حاشیه‌نشین و بافت فرسوده شهر

تقریباً فاقد ایستگاه‌های تقلیل فشار می‌باشد و هر چقدر از تعداد ایستگاه‌ها کاسته شده و فاصله از آن‌ها زیاد شده است، به میزان خطر آسیب‌پذیری ناشی از آتش‌سوزی شبکه گاز افزایش می‌یابد (شکل ۴ نقشه ۵).

پمپ‌های بنزین، گاز و پست برق: پمپ‌های بنزین و گاز از جمله تاسیسات خطرناک‌تر می‌باشد. تاسیسات خطرناک به آن دسته از تاسیساتی گفته می‌شود که در ارتباط با مواد خطرناک قرار دارند. این تاسیسات می‌توانند باعث خطرهای ثانویه چون آتش‌سوزی و انفجار شوند. بنابراین استقرار کاربری‌های با پتانسیل آسیب‌پذیری در کنار سایر کاربری‌ها، میزان آسیب‌پذیری را افزایش می‌دهد (محمدی و جاوید مغوان، ۱۳۹۵: ۵۳). در قسمت‌های حاشیه‌نشین و بافت فرسوده تعداد پمپ‌های گاز و بنزین تقریباً کمتر از قسمت‌های دیگر محدوده می‌باشد. همچنین قسمت‌های شرق و جنوب‌شرقی منطقه فاصله از پمپ‌های بنزین، گاز و پست برق کمتر می‌باشد. حداقل فاصله برای این تاسیسات ۴۰۰ متر و حداکثر فاصله ۱۶۰۰ متر در نظر گرفته شده است. اگر فاصله از پمپ‌های بنزین، گاز و پست برق بیشتر باشد، در صورت آتش‌سوزی انفجارهای کمتری رخ می‌دهد و خسارت ناشی از آتش‌سوزی کاهش می‌یابد (شکل ۴ نقشه ۶).

شیرهای آتش‌نشانی: شیرهای آتش‌نشانی هیدرانت یکی از تجهیزات ثابت آتش‌نشانی است که در معابر و خیابان‌های شهر و محوطه اماکن و تاسیسات بزرگ صنعتی، تجاری یا مسکونی و... بر روی شبکه آبرسانی محل تعبیه شده و آب موردنیاز آتش‌نشانی در عملیات اطفای حریق از طریق آن برداشت می‌شود. بنابراین، شیرهای آتش‌نشانی از عوامل مهم در کاهش خسارت ناشی از آتش‌سوزی می‌باشند. در این پژوهش حداقل فاصله از شیرهای آتش‌نشانی ۳۰۰ متر و حداکثر فاصله ۱۲۰۰ متر در نظر گرفته شده است. پراکندگی شیرهای آتش‌نشانی نیز در قسمت‌های شمالی، بافت حاشیه‌نشین و بافت فرسوده کمتر و فاصله از آن‌ها نسبت به سایر قسمت‌های محدوده کمتر می‌باشد. همچنین فاصله از شیرهای آتش‌نشانی در شمال‌شرقی و مرکز منطقه بیشتر و تعداد شیرهای آتش‌نشانی کمتر است (شکل ۴ نقشه ۷). هرچه تعداد شیرهای آتش‌نشانی بیشتر و فاصله از آن‌ها کمتر باشد آسیب‌پذیری ناشی از سوانح کاهش می‌یابد.

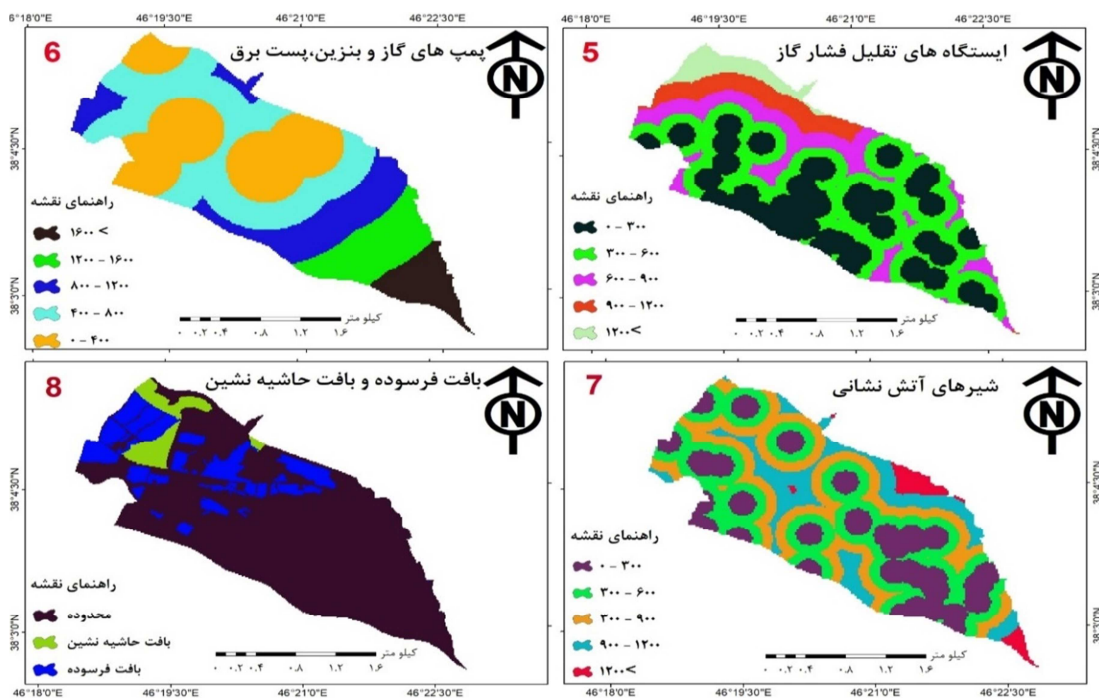
بافت فرسوده و بافت حاشیه‌نشین: بافت فرسوده به دلیل فرسودگی کالبدی و فقدان استانداردهای ایمنی، استحکام، خدمات و زیرساخت‌های شهری و همچنین عدم برخورداری مناسب از دسترسی سواره و تاسیسات آسیب‌پذیر است. در بافت حاشیه‌نشین به دلیل نداشتن پروانه ساختمان و تبعیت نکردن از برنامه‌ریزی‌های رسمی شهرسازی، ایجاد مسکن توسط حاشیه‌نشینان شتابزده بوده و مجموعه‌ای از ساختمان‌های نابسامان را به وجود می‌آورده‌اند. همچنین این بافت با کمبود شدید خدمات و زیربنای شهری و تراکم بالای جمعیتی مواجه است، در نتیجه در مقابل سوانح به شدت آسیب‌پذیر می‌باشد (عندلیب، ۱۳۸۵: ۲). بافت فرسوده و بافت حاشیه‌نشین در منطقه یک شهرداری شهر تبریز به طور چشمگیری دیده می‌شود. طول و پیچیدگی شبکه‌های توزیع گاز در این قسمت از شهر زیاد می‌باشد که این می‌تواند در صورت وقوع هر نوع مخاطره خسارت ناشی از آن را تشدید نماید (شکل ۴ نقشه ۸).



شکل ۳: نقشه جنس لوله‌های گاز (۱)، فشار لوله‌های گاز (۲)، سایز لوله‌های گاز (۳) و تراکم علمک‌ها (۴)

کیفیت ابنیه: کیفیت ارتباط مستقیمی با آسیب‌پذیری ناشی از زلزله و آتش‌سوزی دارد، هرچه کیفیت ساختمان بهتر باشد آسیب‌پذیری آن در مقابل بحران کمتر می‌شود. بررسی زلزله‌های گذشته در ایران و جهان نشان می‌دهد که هرچه عمر ساختمان بیشتر باشد، با توجه به افزایش فرسودگی و نیز استفاده از مصالح کم دوام در گذشته، مقاومت ساختمان‌ها در برابر زلزله کاهش می‌یابد (احد نژاد روشتی و جلیل‌پور، ۱۳۸۸: ۳۴). در محدوده مورد مطالعه حدود ۲۰ درصد از ابنیه دارای کیفیت مرمتی و تخریبی می‌باشد که این عامل می‌تواند در مواجهه با حوادث ناشی آتش‌سوزی شبکه‌های گاز نقش بسزایی داشته باشند (شکل ۵ نقشه شماره ۹).

بافت برنامه‌ریزی شده و بافت ارگانیک: محله‌های برنامه‌ریزی شده اجتماعی هستند که بر پایه برنامه‌های معین و از پیش طراحی شده پدید و سازمان یافته باشند؛ یعنی این نوع محلات بر پایه برنامه‌ریزی براساس شناخت نیازهای کوتاه مدت بلندمدت به وجود می‌آیند (سیف الدینی، ۱۳۸۵: ۲۷۸). منطقه مورد مطالعه دارای ۶۰ درصد بافت ارگانیک و ۴۰ درصد بافت برنامه‌ریزی شده است. چون این منطقه قسمت‌های زیادی از آن حاشیه‌نشین می‌باشد، بافت ارگانیک بیشتر از بافت برنامه‌ریزی شده در معرض آسیب می‌باشد (شکل ۵ نقشه شماره ۱۰).



شکل ۴: نقشه ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز (۵)، پمپ‌های بنزین و گاز، پست برق (۶)، شیرهای آتش‌نشانی (۷)، بافت فرسوده و حاشیه‌نشین (۸)

ویژگی‌های سازه‌های ساختمان و تعداد طبقات: در یک تقسیم‌بندی مصالح به‌کاررفته در اسکلت بنا را می‌توان به گروه ساختمانی، فاقد سازه (خشت و گل، آجر، آهن و...) و دارای سازه (بتنی، فلزی و...) تقسیم‌بندی کرد. تعداد طبقات نیز اگر با اصول ایمنی همراه نباشد قطعاً آسیب را بالا خواهد برد. حتی اگر افزایش ارتفاع با رعایت ضوابط و مقررات مناسب انجام گیرد، به‌هنگام تخلیه، جست‌وجو و نجات با سختی همراه است. بنابراین، افزایش طبقات یک عامل منفی محسوب می‌شود و آسیب‌پذیری را بالا می‌برد (حیبی و همکاران، ۱۳۸۶:۳۲). در محدوده مورد مطالعه بیش از ۶۰ درصد ساختمان‌ها فاقد سازه است، همچنین ۷۰ درصد از ساختمان‌ها تعداد طبقات بین ۱ تا ۷ قرار دارند. بنابراین، محدوده مورد نظر از لحاظ ویژگی‌های سازه‌ای در معرض آسیب متوسط تا زیاد و با افزایش تعداد طبقات نیز خطر آسیب‌پذیری ناشی از هر نوع مخاطره بیشتر می‌شود (شکل ۵ نقشه‌های شماره ۱۱ و ۱۲).

سن ابنیه: قدمت و سن سازه در افزایش ریسک آتش‌سوزی پس از زلزله، اهمیت بالایی دارد. در این خصوص، در ساختمان‌هایی که قبل از ابلاغ آیین‌نامه لرزه‌ای ۲۸۰۰ ایران و یا قبل از میث سوم مقررات ملی ساختمان و بدون تأمین الزامات مقاومت در برابر حریق ساخته شده‌اند، میزان خرابی بر اثر زلزله و ریسک آتش‌سوزی در ساختمان افزایش می‌یابد (قوچانی و همکاران، ۱۳۹۸:۲۹۸). ۱۸ درصد از ساختمان‌های محدوده بین ۰ الی ۱۰، ۵۱ درصد بین ۱۱ الی ۳۰، ۳۱ درصد بیشتر از ۳۰ سال سن دارند. بناهای با قدمت بالا ۳۱ درصد از کل بناها را شامل می‌شود که بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر آتش‌سوزی دارند (شکل ۶ نقشه شماره ۱۳).

دانه‌بندی ساختمان: تفکیک اراضی در ابعاد کوچک باعث خرد شدن فضاهای باز شده و عملاً از مفید بودن فضاهای باز برای گریز و پناه‌گیری و عملیات امدادی و اسکان موقت و غیره کاسته می‌شود. بنابراین هر چه مساحت قطعات تفکیکی باتوجه به نوع کاربری آن کوچک‌تر باشد، آسیب‌پذیری ناشی از زلزله بیشتر می‌شود (احدنژاد روشتی و

جلیل‌پور، (۱۳۹۱:۳۸). ۴۰ درصد از ساختمان‌های محدوده بیشتر از ۳۰۰ متر، ۳۵ درصد کوچک‌تر از ۱۰۰ متر و ۲۵ درصد ساختمان‌ها بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر قرار دارند. با کاهش دانه‌بندی ساختمان خطر آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد (شکل ۶ نقشه شماره ۱۴).

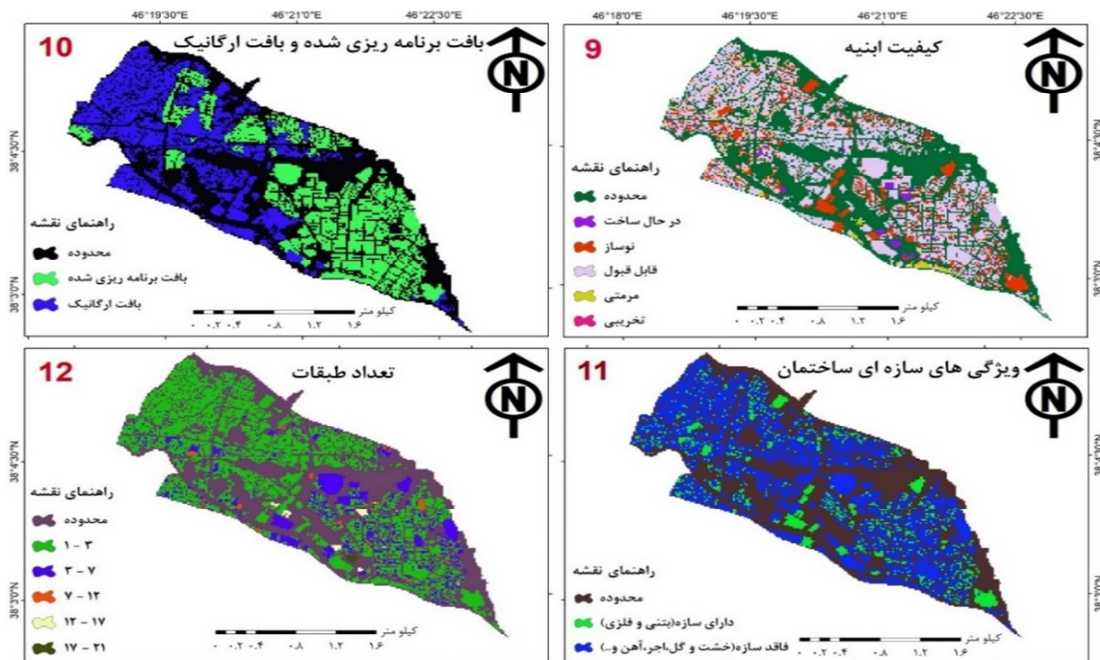
تراکم جمعیت و تراکم ساختمانی: تراکم جمعیتی یکی از فاکتورهای مؤثر در آسیب‌پذیری می‌باشد. هر چه تراکم جمعیتی بالاتر باشد در هنگام رخداد سوانح امکان امداد رسانی محدودتر می‌شود؛ چون ازدیاد جمعیت باعث کندی تردد و ترافیک می‌شود. تراکم جمعیتی بالا آسیب‌پذیری بیشتری را در مواجهه با آتش‌سوزی نسبت به تراکم جمعیتی پایین به دنبال خواهد داشت. با افزایش تراکم ساختمانی، تعداد واحد مسکونی و جمعیت‌پذیری شهر افزایش خواهد یافت و به این ترتیب سهم کاربری‌های خدماتی نسبت به جمعیت جدید شهر کاهش و به دنبال آن شهر با کمبود سطوح و سرانه‌های خدماتی مواجه خواهد شد (شعبی، ۱۳۸۱:۲۷ به نقل از قربانی، ۱۳۹۴:۲۵۹). تراکم ساختمانی در سطح منطقه در قسمت‌های شمال غربی و حاشیه‌نشین و بافت فرسوده بیشتر می‌باشد. همچنین تراکم جمعیت در قسمت شمال و شمال شرقی محدوده از تراکم خیلی زیادی برخوردار است (شکل ۶ نقشه‌های شماره ۱۵ و ۱۶).

کاربری: باتوجه به اینکه کاربری‌های متفاوت دارای بار حریق متفاوتی می‌باشند، برخی از کاربری‌ها به‌عنوان کاربری خطرناک، خود توانایی ایجاد خطر مضاعفی برای کاربری‌های مجاور هستند. برای مثال، وجود کاربری‌هایی مانند انبار مواد شیمیایی، کارخانجات صنعتی دارای سوخت با قابلیت شعله‌وری بالا، مخازن نگهداری سوخت و مراکز صنعتی تبدیل مواد شیمیایی در مناطق شهری، آسیب‌پذیری این مناطق را به شدت افزایش می‌دهد (قوچانی و همکاران، ۱۳۹۸:۲۹۸). در محدوده مورد مطالعه کاربری‌ها باتوجه به اهمیت‌شان طبقه‌بندی شده‌اند، به‌عبارتی کاربری‌های با عملکرد مشابه در یک طبقه قرار داده شده است که کاربری مسکونی و مسکونی - تجاری در کلاس خطر خیلی زیاد قرار گرفته‌اند (شکل ۷ نقشه شماره ۱۷).

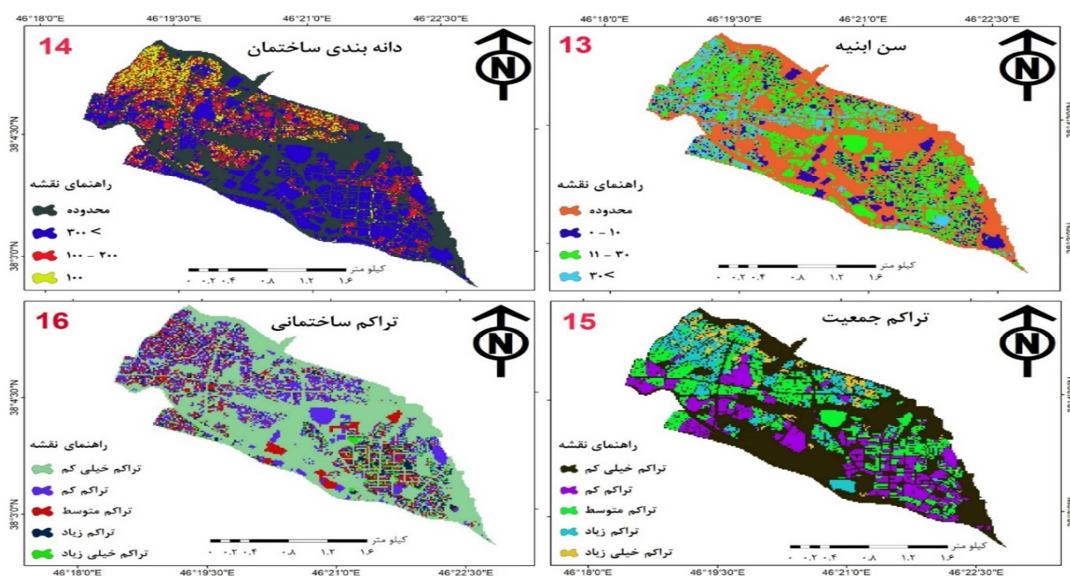
شبکه معابر شهری: دسترسی مناسب به شبکه معابر علاوه بر خدمات‌رسانی مناسب به آسیب‌دیده‌گان در زمان زلزله، در کاهش میزان آسیب‌پذیری نیز مؤثر است (قنبری و زلفی، ۱۳۹۳: ۶۴). شبکه معابر شهری به چهار طبقه تقسیم‌بندی شده است، تندرته و شریانی درجه یک می‌توانند بیشترین تأثیر در آتش‌سوزی شبکه‌های گاز داشته باشند؛ به دلیل اینکه در شریان‌های درجه یک و یا خیابان‌های اصلی سایز لوله‌های انتقال گاز بزرگ‌تر، و همچنین فشار لوله‌ها بیشتر است. در سطح منطقه، تندرته‌ها از نزدیک‌ترین معابر به لوله‌های تغذیه می‌باشند که می‌تواند از عوامل خیلی مؤثر در ایجاد خطر آتش‌سوزی شبکه‌های گاز باشد (شکل ۷ نقشه شماره ۱۸).

زمین‌شناسی و شیب: ساختمان‌هایی که بر روی رسوبات ناپیوسته ساخته شده‌اند، صدمه بیشتری را نسبت به ساختمان‌های ساخته‌شده بر روی سنگ‌های گرانیتی خواهند دید. همین‌طور ساختمان‌هایی که بر روی مواد ریز سیلتی دانه‌ریز و یا خاک‌های ماسه‌ای ساخته شده‌اند، از ساختمان‌هایی که بر روی لایه‌های کنگلومرا، ماسه‌سنگ و خاک‌های سفت ساخته شده‌اند، آسیب‌پذیری بیشتری را در وقوع یک زلزله خواهند دید (روستایی و جباری، ۱۳۸۶:۱۰۸). بنابراین می‌توان گفت شبکه‌های انتقال گاز شهری نیز در جاهایی که مدفون در زیر زمین هستند بی-تأثیر از ساختار زمین‌شناسی نیستند. در شیب‌های ۸ تا ۱۵ درصد هزینه ایجاد بسیاری از کاربری‌های شهری مانند زمین‌های ورزشی، معابر و نواحی صنعتی، به‌دلیل نیاز به خاک‌برداری و خاک‌ریزی و نیز طولانی‌شدن مسیر راه‌ها و

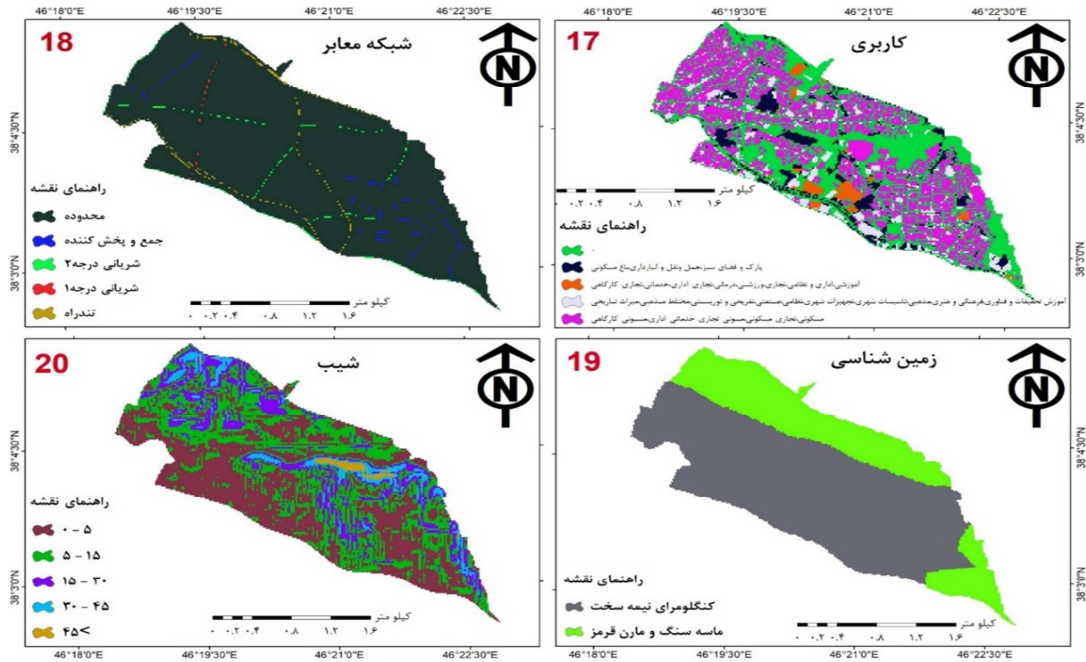
دیگر زیرساخت‌های مانند خطوط انتقال فاضلاب، آب و انرژی (گاز و برق) که در احداث آن‌ها قاعدتاً باید شیب زمین مناسب رعایت شود، بیشتر اما قابل تحمل‌تر است (شکل ۷ نقشه‌های شماره ۱۹ و ۲۰).



شکل ۵: نقشه کیفیت ابنیه (۹)، بافت برنامه‌ریزی شده و بافت ارگانیک (۱۰)، ویژگی‌های سازه‌ای ساختمان (۱۱)، تعداد طبقات (۱۲)



شکل ۶: نقشه سن ابنیه (۱۳)، دانه‌بندی ساختمان (۱۴)، تراکم جمعیت (۱۵)، تراکم ساختمانی (۱۶)

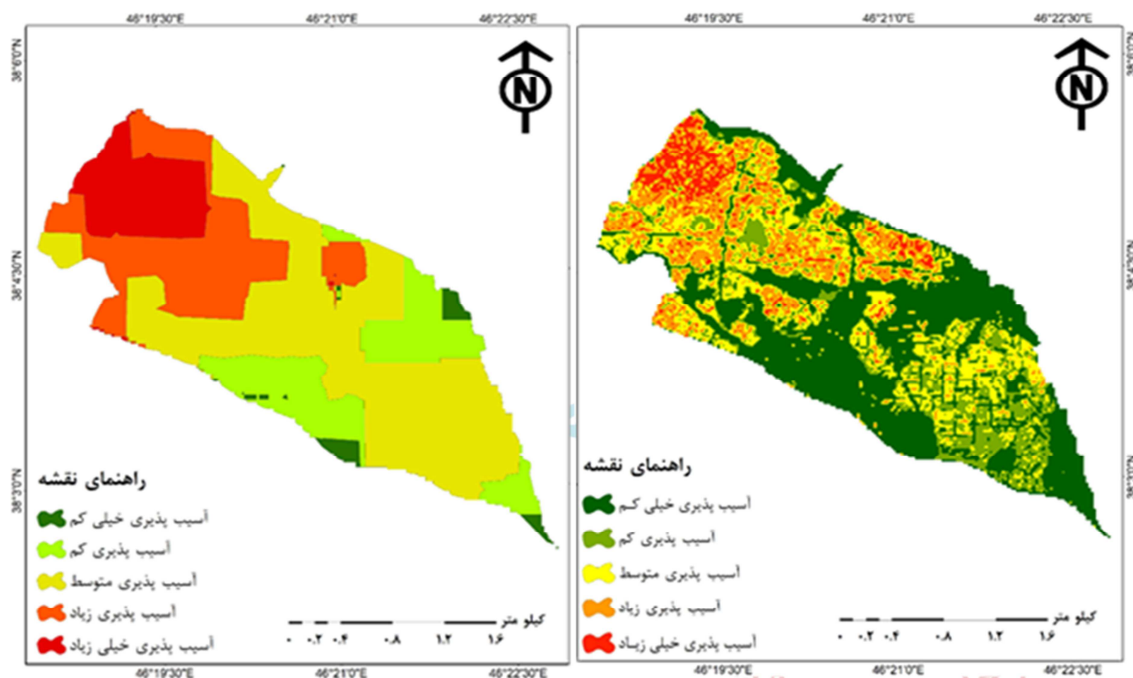


شکل ۷: نقشه کاربری (۱۷)، شبکه معابر (۱۸)، زمین‌شناسی (۱۹)، شیب (۲۰)

پس از استانداردسازی نقشه‌ها، تبدیل به نقشه‌های فازی شد. برای فازی کردن نقشه‌ها در این پژوهش از توابع فازی small و linear استفاده شده است. همچنین برای روی هم‌گذاری نقشه از تابع Fuzzy membership و عملگر GAMMA استفاده شده است. سپس وزن به دست آمده معیارهای مؤثر در آتش‌سوزی شبکه‌های توزیع گاز شهری از نرم‌افزار Super Decision ضرب در نقشه‌های فازی شده لایه‌های مورد نظر شد. همان‌گونه در جدول ۳ مشاهده می‌کنید نقشه نهایی خطر آتش‌سوزی در ۵ کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شده است. بر اساس این جدول، هرچه امتیاز افزایش می‌یابد مقدار آسیب‌پذیری نیز افزایش می‌یابد.

جدول ۳: طبقه‌بندی درجه آسیب‌پذیری نقشه نهایی پهنه‌بندی آتش‌سوزی

امتیاز	طبقات
۱	آسیب‌پذیری خیلی کم
۲	آسیب‌پذیری کم
۳	آسیب‌پذیری متوسط
۴	آسیب‌پذیری زیاد
۵	آسیب‌پذیری خیلی زیاد

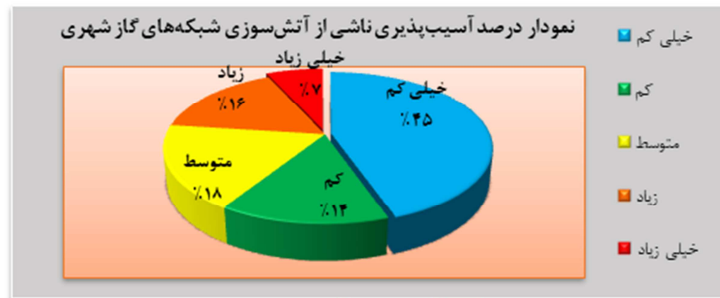


شکل ۹: نقشه خطر ریز پهنه‌بندی زمین لرزه‌های شهر تبریز محدوده

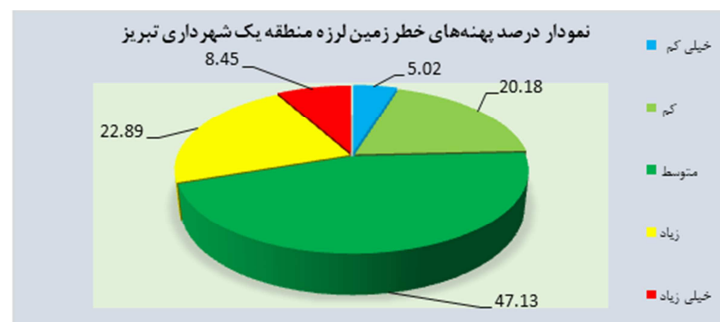
شکل ۸: نقشه خطر آتش‌سوزی شبکه‌های گاز شهری منطقه محدوده

همان‌طور که در نقشه نهایی پهنه‌بندی آتش‌سوزی مشاهده می‌کنید قسمت‌های شمال و شمال غربی محدوده مورد مطالعه مستعدترین نقاط در مقابل آتش‌سوزی می‌باشد و این قسمت از محدوده از آسیب‌پذیری خیلی زیاد برخوردار است و در قسمت‌های دیگر محدوده دارای آسیب‌پذیری خیلی کم تا آسیب‌پذیری زیاد قرار دارد. همچنین در صورت وقوع آتش‌سوزی در شبکه‌های گاز شهری در نقاط آسیب‌پذیر شبکه گاز خسارت‌های قابل توجهی به این مناطق وارد می‌کند (شکل ۸). بنابراین با مقایسه نقشه‌های شکل شماره (۸ و ۹) مشاهده می‌کنید نقشه خروجی آتش‌سوزی شبکه‌های گاز شهری با نقشه ریز پهنه‌بندی زمین لرزه‌های شهر تبریز شباهت‌های زیادی دارد. در هر دو نقشه بافت فرسوده و حاشیه‌نشین، تراکم ساختمان، تراکم جمعیت خیلی تأثیرگذار بوده است. اما در نقشه پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی علاوه بر معیارهای یادشده تراکم علمک‌ها، وجود لوله‌های فولادی و طول بیشتر شبکه گاز شهری تأثیر زیادی در آسیب‌پذیری منطقه دارند. در پاسخ به سوال اول (آیا با تلفیق روش‌های سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و تحلیل‌های مکانی و شبکه‌ای GIS می‌توان نتایج مدلسازی آتش‌سوزی شبکه‌های گاز شهری را با دقت مطلوب عملیاتی نمود؟) طبق نتایج به‌دست آمده از پژوهش، استفاده از سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با تلفیق روش‌های تحلیل‌های مکانی و شبکه‌ای GIS توانایی زیادی در مدلسازی آتش‌سوزی شبکه‌های گاز شهری داشتند. به دلیل اینکه سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره چارچوب مناسبی برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده و ترکیب‌های مختلف از عناصر و معیارها یک مسئله پیچیده در یک ساختار سلسله‌مراتبی و همچنین بررسی روابط بین مولفه‌ها را فراهم می‌کند و همچنین در پاسخ به سوال دوم پژوهش (خطر آتش‌سوزی در شبکه‌های گاز شهری در کدام یک از قسمت‌های محدوده مورد مطالعه بیشتر است و ارتباط آن با لرزه‌خیزی چگونه است؟) همان‌طور که بیان شد با توجه نقشه خروجی پژوهش، قسمت‌های حاشیه‌نشین و بافت فرسوده آسیب‌پذیرترین نقاط شهر می‌باشد.

نمودار (شکل ۱۰) نشان‌دهنده درصد آسیب‌پذیری ناشی از آتش‌سوزی شبکه‌های گاز شهری است که درصد آسیب‌پذیری هر طبقه از خطر آتش‌سوزی را نشان می‌دهد که کمترین آسیب‌پذیری ۴۵ درصد و بیشترین آسیب‌پذیری ناشی آتش‌سوزی شبکه‌های توزیع گاز شهری ۷ درصد می‌باشد.



شکل ۱۰: نمودار درصد آسیب‌پذیری ناشی آتش‌سوزی شبکه‌های توزیع گاز شهری



شکل ۱۱: نمودار درصد پهنه‌های خطر زمین‌لرزه در منطقه یک شهرداری تبریز

شکل ۱۱ نشان‌دهنده درصد خطر آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لرزه در منطقه یک شهرداری تبریز می‌باشد که بیشترین خطر آسیب‌پذیری ۸/۴۵ درصد و کمترین آسیب‌پذیری ۵/۰۲ درصد است. درصد آسیب‌پذیری خیلی زیاد در هر دو نقشه (نقشه ریز پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه‌های تبریز با نقشه خطر آتش‌سوزی شبکه‌های گاز شهری) نزدیک به هم بوده و در یک قسمت از محدوده قرار دارند. بنابراین، نتایج معنی‌دار بین این دو نقشه وجود دارد و نتیجه این پژوهش با خروجی نهایی نقشه کل طرح ریز پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه‌های شهر تبریز که توسط وزارت مسکن و شهرسازی تهیه شده، همخوانی زیادی دارد.

نتیجه‌گیری

یکی از پدیده‌های که معمولاً در جهان پس از زلزله رخ می‌دهد پدیده آتش‌سوزی و انفجار تأسیسات و زیرساخت‌های حیاتی شهر از جمله شبکه‌های گاز شهری است. به عبارت دیگر، زلزله می‌تواند نقش مستقیمی در تشدید آتش‌سوزی شبکه توزیع گاز شهری داشته باشد که نه تنها خسارت‌های مالی و جانی فراوانی را بر جای می‌گذارد، بلکه باعث وقفه

در زندگی روزمره سایر مردم می‌گردد. در این پژوهش ۲۰ معیار در قالب نقشه در محیط GIS برای مطالعه آسیب‌پذیری در برابر آتش‌سوزی شبکه‌های گاز ارائه گردید. هر کدام از شاخص‌ها به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت و اثر هر کدام از آنها با میزان آسیب‌پذیری ناشی از آتش‌سوزی شبکه‌های توزیع گاز شهری مشخص شد و نقشه آتش‌سوزی شبکه‌های گاز شهری منطقه یک شهرداری تبریز به روش فازی ارائه گردید. سپس برای مشخص کردن تأثیر لرزه‌خیزی شهر تبریز در تشدید آتش‌سوزی شبکه‌های توزیع گاز شهری به مقایسه نقشه ریز پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه‌های شهر تبریز با نقشه خروجی حاصل از این پژوهش پرداخته شد و مشخص گردید که شباهت‌های نزدیکی بین دو نقشه یادشده وجود دارد. با توجه به نقشه خطر پهنه‌بندی زمین‌لرزه‌های تبریز و همچنین خطر گسیختگی مستقیم در شهر تبریز گسلش در محدوده شهر و تأثیر حوزه نزدیک گسل (در منطقه یک شهرداری) در صورت وقوع زلزله‌ای بزرگ، خسارت فراوانی در سطح شهر پیش‌بینی می‌شود. بنابراین، اگر نقشه خروجی پهنه خطر آتش‌سوزی در سطح منطقه یک در نظر گرفته شود پس از زلزله آتش‌سوزی ناشی از شبکه‌های گاز شهری خسارت جانی و مالی زیادی به این منطقه وارد می‌شود. به دلیل اینکه بیشترین آسیب‌پذیری هم در نقشه خطر زمین‌لرزه و هم در نقشه پهنه‌بندی آتش‌سوزی شبکه گاز در قسمت شمال و شمال غربی محدوده می‌باشد، همان‌طور که اشاره شد این امر نشان‌دهنده این است که در صورت وقوع زلزله در محدوده مورد مطالعه آتش‌سوزی‌های ناشی از خطوط انتقال گاز چندین برابر خواهد شد. همچنین نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های چنگ و همکاران (۲۰۱۵)، در زمینه شناسایی نقاطی از شهر که در خطر آتش‌سوزی ناشی از لوله‌های گاز با روش AHP انجام داده‌اند، همخوانی دارد. در پژوهشی دیگر که بکتاش و همکاران (۱۳۹۷) انجام داده‌اند در زمینه تأثیر معیارهای تاسیسات شهری در آتش‌سوزی شبکه‌های گاز شهری همسویی دارد.

دست‌آورد کلی این پژوهش بیانگر آن است که سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های مدیران شهری در زمینه کاهش خطرپذیری آتش‌سوزی شبکه‌های توزیع گاز شهری و تأثیر لرزه‌خیزی در تشدید آتش‌سوزی، باید متکی به نقشه‌های خطر و متناسب با خطرات و خسارت‌های ناشی از آن باشد. از سوی دیگر، پیش‌بینی و اجرای تمهیداتی برای ایمنی کانون‌های شهری، تاسیسات و زیرساخت‌ها از طریق مقابله با حوادث و اجرای فنی متناسب با ضوابط و مقررات مدیریتی نیازمند مطالعه و شناخت مخاطره آتش‌سوزی و اثرات لرزه‌خیزی در تشدید آن می‌باشد. به همین دلیل پهنه‌بندی آتش‌سوزی شبکه‌های گاز شهری را می‌توان به‌عنوان یکی از نخستین گام‌ها برای مقابله با سوانح ناشی از آن تلقی نمود.

منابع

- اسکندری، محمد؛ مدیری، مهدی؛ امیدوار، محمد؛ آل شیخ، بابک؛ نکویی، علی اصغر؛ محمد علی، علیدوستی علی. (۱۳۹۵). مدل تحلیل خسارت لرزه‌ای زیر ساخت‌های حیاتی بر مبنای سیستم اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره ۲۵، شماره ۹۸، صص ۹۱-۱۱۱.
- احمدی، فردین؛ رنجبر، حجت اله. (۱۳۹۸). ارزیابی و پهنه‌بندی خطرپذیری خطوط انتقال گاز (مطالعه موردی: شهرستان دهگلان). رویکردهای پژوهشی در علوم زمین، شماره ۱۲، صص ۳۶-۴۸.

- احد نژاد روشتی، محسن؛ جلیل پور، شهناز. (۱۳۹۱). ارزیابی عوامل درونی تأثیرگذار در آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در برابر زلزله با استفاده از GIS (نمونه موردی: بافت قدیم شهر خوی). فصلنامه آمایش محیط، شماره ۲۰، صص ۵۲-۳۳.
- بکتاش، نوید؛ گیوه چی، سعید؛ نصرآبادی، مهناز. (۱۳۹۷). تبیین عوامل مؤثر در آتش‌سوزی مناطق شهری (مطالعه موردی: منطقه یک شهرداری تهران). دومین همایش بین‌المللی ایده‌های راهبردی در معماری، شهرسازی، جغرافیا و محیط‌زیست پایدار، مشهد.
- حبیبی، کیومرث؛ پور احمد، احمد؛ مشکینی، ابوالفضل. (۱۳۸۶). بهسازی و نوسازی بافت‌های کهن شهری، انتشارات دانشگاه کردستان.
- خسروی، رسا. (۱۳۹۶). تحلیل عدم قطعیت روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره GIS در پهنه‌بندی و مدلسازی خطر رانش زمین و اثرات تخریبی آن بر روی شبکه‌های انتقال گاز (مطالعه موردی: شهرستان مرند). استاد راهنما: بختیار فیضی‌زاده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- روستایی، شهرام؛ جباری ایرج. (۱۳۸۶). ژئومورفولوژی مناطق شهری، انتشارات سمت.
- رضائیان، علیرضا؛ حسینی، سید امیر حسین. (۱۳۹۴). انتخاب سیستم ساختمانی بهینه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری با تاکید بر سه روش AHP, SAW, TOPSIS. نشریه علمی - پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، سال دوم، شماره ۲، صص ۱۶-۲۷.
- زارع، مهدی. (۱۳۸۰). خطر زمین‌لرزه و ساخت‌وساز در حریم گسل شمال تبریز و حریم گسلش گسل‌های زمین‌لرزه‌ای ایران. پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، شماره ۲ و ۳، صص ۵۷-۴۶.
- زیستا، مهندسین مشاور معماری و شهرسازی. (۱۳۸۳). مطالعات حاشیه‌نشینی تبریز، اداره کل مسکن و شهرسازی استان آذربایجان شرقی.
- سیف‌الدینی، فرانک؛ زیاری کرامت‌الله؛ عظمی، آرزو. (۱۳۹۲). تحلیل شکاف جغرافیایی کیفیت مسکن مناطق ۲۲ گانه شهر تهران. فصل-نامه بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران، دوره جدید، سال یازدهم، شماره ۳۹، صص ۲-۲۱۲.
- ساری، عبدالرسول. (۱۳۹۶). لوله‌های فولادی انتقال نفت و گاز، انتشارات شرکت ملی گاز.
- شعبی، عباس. (۱۳۸۱). بررسی سیاست عرضه بازار مازاد تراکم ساختمانی در شهر تهران، مجله صفا، شماره ۳۴، صص ۴۲-۲۳.
- صادقیان، علیرضا؛ امیدوار، بابک؛ صالحی، اسماعیل. (۱۳۹۴). تحلیل خطر آتش‌سوزی پس از زلزله در خطوط لوله گاز با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو (مطالعه موردی منطقه ۲۰ شهر تهران). نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست، دوره ۴۵، شماره ۴، پیاپی ۸۱، صص ۶۹-۸۰.
- عندلیب، علیرضا. (۱۳۸۵). نوسازی بافت‌های فرسوده در شهر تهران. سازمان نوسازی شهر تهران-ری پور، صفحه ۳۶.
- عالم تبریز، اکبر؛ باقرزاده آذر، محمد. (۱۳۸۸). تلفیق ANP فازی و TOPSIS تعدیل‌شده برای گزینش تأمین‌کننده راهبردی. پژوهش‌های مدیریت، دوره ۲، شماره ۳، صص ۱۸۱-۱۴۹.
- قهرودی تالی، منیژه. (۱۳۸۴). کاربرد WebGIS در مدیریت یکپارچه مخاطرات طبیعی. دومین همایش علمی تحقیقی مدیریت امداد و نجات، تهران، مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی هلال ایران.
- قنبری، ابوالفضل؛ زلفی، علی. (۱۳۹۳). ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر زلزله با تاکید بر مدیریت بحران شهری در شهر کاشمر. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال اول، شماره پیاپی ۴، صص ۷۴-۵۹.
- قوچانی، محیا؛ تاجی، محمد؛ دربانیان، مجتبی. (۱۳۹۸). ارزیابی مولفه‌های مؤثر در افزایش ریسک خسارات ساختمان‌های شهری در آتش‌سوزی پس از بحران زلزله به روش AHP. فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره نهم، شماره سوم، صص ۳۰۶-۲۹۳.
- وزارت مسکن و شهرسازی. (۱۳۸۹). مقررات ملی ساختمان (لوله کشی گاز طبیعی).
- مهندسین مشاور نقش محیط. (۱۳۹۱). طرح توسعه و عمران (جامع) شهر تبریز، گزارش مطالعات کالبدی مرحله موجود، وزارت راه و شهرسازی، اداره کل راه شهرسازی استان آذربایجان شرقی.

محمدی، علیرضا؛ جاوید مغوان، بهمن (۱۳۹۵). سنجش میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیررسمی در برابر خطر وقوع زمین‌لرزه با استفاده از GIS (مطالعه موردی: محله زیر نهر تراب شهر پارس آباد). نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره ۳، صص ۶۴ – ۴۱.

مافی غلامی، داود؛ فقهی، جهانگیر؛ دانه کار؛ افشین. (۱۳۹۵). به‌کارگیری روش دلفی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) برای اولویت‌بندی عوامل منفی مؤثر بر جنگل‌های مانگرا استان هرمزگان، ایران، فصلنامه علمی و پژوهشی اکویولوژی تالاب-دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال هشتم، شماره ۲۷، صص ۱۰۰-۸۵.

ولی‌زاده کامران، خلیل. (۱۳۸۰). پهنه‌بندی خطر زلزله در شهرستان تبریز با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS. فصلنامه فضای جغرافیایی، شماره ۴، صص ۶۶-۴۹.

- Cheng, Liang., Li, Shuang., Ma, Lei., Li., Manchun., Ma. (2015). Fire spread simulation using GIS: Aiming at urban natural gas pipeline. *Safety Science*, 75, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.01.002>
- Guo, Y., Meng, X., Wang, D., Meng, T., Liu, S., He, R. (2016). Comprehensive risk evaluation of long-distance oil and gas transportation pipelines using a fuzzy Petri net model, *Journal of Natural Gas Science & Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.04.052>
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., 2001. Landslide risk assessment based on GIS multicriteria evaluation: a case Study Bostan Abad County Iran. *J. Earth Sci. Eng.* 1, 66–71.
- Feizizadeh, B., Blaschke T., 2012. Uncertainty analysis of GIS-based ordered weighted averaging method for landslide susceptibility mapping in Urmia Lake basin, Iran. In: Paper Presented at the Seventh International Geographic Information Science Conference, September 18–21, Ohio, Columbus, USA.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., 2012, GIS-based ordered weighted averaging and dempster Shafer methods for landslide susceptibility mapping in Urmia Lake basin Iran, *International Journal of Digital Earth*, Volume 7, 2014 - Issue 8, <https://doi.org/10.1080/17538947.2012.749950>.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., 2013a. GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: comparing three methods for the Urmia Lake basin Iran. *Nat. Hazard.* 65, 2105–2128. <https://doi.org/10.1080/17538947.2012.749950>.
- Han, Z. Y., Weng, W. G. (2010). An integrated quantitative risk analysis method for natural gas pipeline network. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23, 428–436. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2010.02.003>.
- Han, Z. Y., Weng, W. G. (2011). A comparison study on qualitative and quantitative risk assessment methods for urban natural gas pipeline network. *Journal of Hazardous Materials*, 189, 509–518. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.02.067>.
- Jamshidi, Ali., Yazdani Chamzini, Abdolreza., Haji Yakhchali, Siamak., Khaleghi, Sohrab. (2013). Developing a new fuzzy inference system for pipeline risk assessment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26, 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2012.10.010>.
- Lanzano, Giovanni., Salzano, Ernesto., Santucci, Magistris, Filippo., Fabbrocino, Giovanni. (2013). Reliability Engineering and System Safety, 117 -73–80. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2013.03.019>.
- Lu, Linlin., Liang, Wei., Zhang, Laibin., Zhang, Hong., Lu, Zhong., Shan, Jinzhi. (2015). A comprehensive risk evaluation method for natural gas pipelines by combining a risk matrix with a bow-tie model. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 25, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2015.04.029>.
- Yoon, Sungsik., Joo Leeb, Young., Jo Junga, Hyung. (2018). A comprehensive framework for seismic risk assessment of urban water transmission networks. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 983–994. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.09.002>.
- Malczewski, J. 1999. GIS and multi-criteria decision analysis, New York, John Wiley & Sons Inc.

References

References (in Persian)

- Ahadnejad Roshti, Mohsen; Jalilpour, Shahnaz (2012). Evaluation of internal factors affecting the vulnerability of urban buildings to earthquakes using GIS (Case study: the old fabric of Khoys). *Environmental Management Quarterly*, No. 20, pp. 52-23. . [In Persian].
- Ahmadi, Fardin; Ranjbar, Hujjatullah (2019). Risk assessment and zoning of gas transmission lines (Case study: Dehgolan city). *Research Approaches in Earth Sciences*, No. 12: 48-36. [In Persian].
- Alam Tabriz, Akbar; Baqerzadeh Azar, Mohammad (2009). Combining fuzzy ANP and modified TOPSIS for strategic supplier selection. *Management Research*, Volume 2, Number 3, pp. 181-149. [In Persian].
- Andalib, Alireza (2006). Renovation of worn tissues in Tehran. Tehran-Reypour Renovation Organization, page 36. . [In Persian].
- Baktash, Navid; Givchi, Saeed; Nasrabadi, Mahnaz (2018). Explaining the effective factors in urban fire (Case study: District 1 of Tehran Municipality). *The Second International Conference on Strategic Ideas in Architecture, Urban Planning, Geography and Sustainable Environment, Mashhad*. [In Persian].
- Department of Housing and Urban Development. (2010). National Building Regulations (Natural Gas Piping). . [In Persian].
- ESkandari, Mohammad; Modiri, Mehdi; Omidvar, Mohammad; Al-Sheikh, Babak; Nekouei, Ali Asghar; Muhammad Ali, Ali Dosti Ali (2016). Seismic damage analysis model of critical infrastructure based on GIS. *Sepehr Geographical Information Quarterly*, Volume 25, Number 98. pp: 91-111. [In Persian].
- Ghanbari, Abolfazl; Zolfi, Ali. (2014). Assessing urban vulnerability to earthquakes with emphasis on urban crisis management in Kashmir. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, First Year, No. 4, pp. 74-59. . [In Persian]. <http://ensani.ir/fa/article/362410>.
- Habibi, Kiomars; Poor Ahmad, Ahmad; Meshkini, Abolfazl (2007). Improvement and renovation of ancient urban textures, Kurdistan University Press. . [In Persian].
- Khosravi, Rasa. (2017). Uncertainty analysis of GIS multi-criteria decision-making methods in zoning and landslide risk modeling and its destructive effects on gas transmission networks (Case study: Marand city). Supervisor: Bakhtiar Feizizadeh, Master Thesis, University of Tabriz. . [In Persian].
- Mafi Gholami, David; Fiqh, Jahangir; Grain work; Afshin. (2016). Applying Delphi Method and Fuzzy Hierarchical Analysis Process (FAHP) to Prioritize Negative Factors Affecting Mangrove Forests in Hormozgan Province, Iran, *Wetland Ecobiography Quarterly - Islamic Azad University, Ahvaz Branch*, Year 8, No. 27. <http://jweb.iauahvaz.ac.ir/article-1-577-fa.html>. . [In Persian].
- Mohammadi, Alireza; Javid Moghvan, Bahman (2016). Assessing the Vulnerability of Informal Settlements to Earthquake Risk Using GIS (Case Study: Sub-Torab Neighborhood in Pars Abad). *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, Third Year, No. 3, pp. 64-41. . [In Persian].
- Qahroudi Tali, Manijeh. (2005). WebGIS user in integrated natural hazard management. The second scientific-research conference of rescue and rescue management, Tehran, Iran Crescent Institute of Higher Education. . [In Persian].
- Quchani, Mahya; Taji, Mohammad; Darbanian, Mojtaba. (2018). Evaluation of effective components in increasing the risk of damage to urban buildings in fires after earthquake crisis by AHP method. *Journal of Crisis Prevention and Management Knowledge*, Volume 9, Number 3, pp. 306-293. . [In Persian].
- Rezaian, Alireza; Hosseini, Seyed Amir Hossein (2015). Selection of optimal construction system using decision-making methods with emphasis on three methods TOPSIS, SAW, and AHP. *Scientific-Research Journal of Structural and Structural Engineering*, Second Year, No. 2: 16-27. . [In Persian].
- Rezaian, Alireza; Hosseini, Seyed Amir Hossein (2015). Selection of optimal construction system using decision-making methods with emphasis on three methods TOPSIS, SAW, and AHP. *Scientific-Research Journal of Structural and Structural Engineering*, Second Year, No. 2: 16-27. . [In Persian].
- Role Environmental Consulting Engineers (2012). Comprehensive Development Plan (the City of Tabriz, Physical Studies Report of the current stage, Ministry of Roads and Urban Development, General Directorate of Roads, East Azarbaijan Province). . [In Persian].
- Rustaei, Shahram; Jabbari Iraj. (2007). Geomorphology of urban areas, Samat Publications.
- Sadeghian, Alireza; Omidvar, Babak; Salehi, Ismail (2015). Post-earthquake fire risk analysis in gas pipelines using Monte Carlo simulation (Case study of District 20 of Tehran). *Journal of Civil and Environmental Engineering*, Volume, Number 45, Consecutive 8, pp:69-80. [In Persian].
- Saghaei, Mohsen (2017). Identification and prioritization of worn-out urban tissues to reduce earthquake vulnerability (Case study: Isfahan Region 5). *Scientific-Research Quarterly of Geographical Information (Sepehr)*, Volume 27, Number 105. . [In Persian].
- Saif al-Dini, Frank; Ziari Keramatullah; Great, wish. (2013). Analysis of the geographical gap in housing quality in 22 districts of Tehran. *International Quarterly Journal of the Geographical Society of Iran*, New Volume, Eleventh Year, No. 39: 2-212. . [In Persian].
- Sari, Abdul Rasool (2017). Steel pipes for oil and gas transmission, National Gas Company Publications. . [In Persian].

- Shoab, Abbas (2002). Investigating the supply policy of the building overcrowding market in Tehran, Sefeh Magazine, No. 34. [In Persian].
- Valizadeh Kamran, Khalil (2001). Earthquake risk zoning in Tabriz city using remote sensing and GIS. Geographical Space Quarterly, No. 4, pp. 66-49. . [In Persian].
- Zare, Mehdi. (2001). Earthquake hazard and construction in the area of North Tabriz fault and fault area of Iranian seismic faults. Journal of Seismology and Earthquake Engineering. No. 2 and 3, 57-46. [In Persian].
- Zista, Consulting Engineers in Architecture and Urban Planning. (2004). Suburban studies of Tabriz, General Department of Housing and Urban Development of East Azerbaijan Province. . [In Persian].

References (in English)

- Cheng, Liang., Li, Shuang., Ma, Lei., Li., Manchun., Ma. (2015). Fire spread simulation using GIS: Aiming at urban natural gas pipeline. Safety Science, 75, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.01.002>
- Guo, Y., Meng, X., Wang, D., Meng, T., Liu, S., He, R. (2016). Comprehensive risk evaluation of long-distance oil and gas transportation pipelines using a fuzzy Petri net model, Journal of Natural Gas Science & Engineering, <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.04.052>
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., 2001. Landslide risk assessment based on GIS multicriteria evaluation: a case Study Bostan Abad County Iran. J. Earth Sci. Eng. 1, 66–71.
- Feizizadeh, B., Blaschke T., 2012. Uncertainty analysis of GIS-based ordered weighted averaging method for landslide susceptibility mapping in Urmia Lake basin, Iran. In: Paper Presented at the Seventh International Geographic Information Science Conference, September 18–21, Ohio, Columbus, USA.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., 2012, GIS-based ordered weighted averaging and Dempster Shafer methods for landslide susceptibility mapping in Urmia Lake basin Iran, International Journal of Digital Earth, Volume 7, 2014 - Issue 8, <https://doi.org/10.1080/17538947.2012.749950>.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., 2013a. GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: comparing three methods for the Urmia Lake basin Iran. Nat. Hazard. 65, 2105–2128. <https://doi.org/10.1080/17538947.2012.749950>.
- Han, Z. Y., Weng, W. G. (2010). An integrated quantitative risk analysis method for natural gas pipeline network. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 23, 428–436. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2010.02.003>.
- Han, Z. Y., Weng, W. G. (2011). A comparison study on qualitative and quantitative risk assessment methods for urban natural gas pipeline network. Journal of Hazardous Materials, 189, 509–518. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.02.067>.
- Jamshidi, Ali., Yazdani Chamzini, Abdolreza., Haji Yakhchali, Siamak., Khaleghi, Sohrab. (2013). Developing a new fuzzy inference system for pipeline risk assessment. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 26, 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2012.10.010>.
- Lanzano, Giovanni., Salzano, Ernesto., Santucci, Magistris, Filippo., Fabbrocino, Giovanni. (2013). Reliability Engineering and System Safety, 117 -73–80. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2013.03.019>.
- Lu, Linlin., Liang, Wei., Zhang, Laibin., Zhang, Hong., Lu, Zhong., Shan, Jinzhi. (2015). A comprehensive risk evaluation method for natural gas pipelines by combining a risk matrix with a bow-tie model. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 25, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2015.04.029>.
- Yoon, Sungsik., Joo Leeb, Young., Jo Junga, Hyung. (2018). A comprehensive framework for seismic risk assessment of urban water transmission networks. International Journal of Disaster Risk Reduction, 31, 983–994. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.09.002>.
- Malczewski, J. 1999. GIS and multi-criteria decision analysis, New York, John Wiley & Sons Inc.