دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر

فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

دوره بیست و پنجم، شماره‌ی ۹۱

پاییز ۱۴۰۴، صفحات ۷۰-۵۳

علی اصغر تراهی [۱]

مرجان فیروزی نژاد [۲]

مدل‌سازی آسیب‌پذیری شبکه خطوط گازی پس از پدیده زمین لرزه در شهر تبریز

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۰۳/۲٤ تاریخ پذیرش:۱٤۰٤/۱۰/۲۳

چکیده

ایران به علت قرارگیری بر روی کمربند زلزله در برابر زمین‌لرزه بسیار آسیب‌پذیر می‌باشد. سامانه خطوط لوله گاز به‌عنوان یکی از مولفه‌های تاثیرگذار در کاهش یا افزایش خسارات بعد از زلزله می‌تواند در انفجارها و آتش‌سوزی‌ها، نقش کلیدی داشته باشد. هدف از این تحقیق، مدل سازی آسیب‌پذیری شبکه خطوط گازی تبریز بر اساس لایه‌های ورودی مختلف، با استفاده از منطق فازی و پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای است. با توجه به سازندهای زیرین شهر، مقاومت زمین در قسمت‌های مختلف از ابعاد گوناگون عبور خطوط لوله گاز و ساخت و سازها بر اساس مناطق پرخطر در پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای، موردبررسی قرار گرفت. در ادامه با استخراج لایه‌های خطر مختلف در شهر و تلفیق لایه‌ها، با چهار عملگر فازی نقشه خطرپذیری لوله‌های گاز تبریز بعد از زلزله، استخراج شد و علاوه بر برآورد آسیب‌پذیری خطوط لوله گاز در مناطق مختلف شهر به مقایسه این چهار عملگر پرداخته شد. در نهایت عملگر گاما به دلیل انطباق بیشتر با شرایط خطوط لوله‌های گاز و نقاط پیک جمعیتی و لرزه‌ای، به‌عنوان بهترین عملگر انتخاب گردید. نتایج این تحقیق نشانگر آسیب‌پذیری بیشتر مناطق مرکزی شهر تبریز بوده و بنابراین ایمنی و مقاوم‌سازی خطوط لوله‌های گاز در این منطقه، باید بیش از پیش از بررسی گردد. همچنین این مطالعه، قابلیت مناسب سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی را در مدل‌سازی آسیب‌های ایجاد شده به خطوط گاز پس از پدیده زمین لرزه را بیان می‌کند.

کلمات کلیدی: خطوط لوله گاز، آسیب‌پذیری، پهنه‌بندی، منطق فازی، تبریز

[۱] گروه سنجش از دور و جی آی اس، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران

[۲] دانشجوی دکتری مدیریت جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]

مقدمه

پرداختن به حوادث طبیعی و انسان‌ساخت به عنوان تهدیدی جدی برای جان انسان‌ها و زیرساخت‌ها از موضوعات مهم در جهان محسوب می‌شود که خسارات قابل توجهی به بار آورده است (Feizizadeh et al., 2022). در سال‌های اخیر، افزایش فراوانی و شدت بلایای طبیعی، نیاز به استراتژی‌های مؤثرتر و کارآمدتر مدیریت بلایای طبیعی را برجسته کرده است(Krichen et al., 2024). با توجه به واقع شدن ایران برروی یکی از دو کمربند زلزله خیز جهان و وجود گسل-های فراوان وقوع زلزله در مناطق مختلف آن امری طبیعی است(Hokmabadi et al., 2015). همچنین در مناطق شهری زلزله می‌تواند خسارت عظیمی به تاسیسات زیربنایی شهری مانند آب، برق، نیروگاه‌ها، خطوط لوله‌کشی و شبکه گاز وارد کند(Feizizadeh et al., 2022). در پهنه‌بندی نسبی خطر زمین‌لرزه در ایران، شهر تبریز یکی از شهرهای مهم ایران بوده و در خطر نسبی بسیار بالا قرار دارد(Rostami et al., 2014) همچنین این شهر یکی از شهرهای تاریخی شمال غرب ایران بوده که بنیاد آن به سده هشتم پیش از میلاد می‌رسد(Hatempour et al., 2021). از آنجایی که گسل شمالی تبریز جزو یکی از محله‌های شهر تبریز بوده (Kamel, 2011) و در نتیجه یکی از مناطق در معرض خطر بسیار بالای زلزله به لحاظ قرارگیری روی گسل می‌باشد. شبکه‌های توزیع گاز شهری نیز به عنوان منابع حیاتی انرژی اهمیت بالایی دارند، لذا توجه به لزوم پیشگیری از بحران پس از زلزله در شهرهای بزرگی مثل تبریز و حفاظت از شریان‌های حیاتی در برابر آسیب‌های ناشی از زلزله اهمیت بسیاری پیدا می‌کند. شبکه‌های گازرسانی شهری به دلیل اثر مستقیم و ویژه‌ای که در ایمنی شهروندان و اموال آنان دارد یکی از اولین اولویت‌های مقابله با بحران پس از زلزله تلقی می‌گردد. تجربیات زلزله‌های گذشته نشان میدهد اگر سیستم گازرسانی تحت تأثیر خسارات ناگهانی و شدید یک زلزله قرار گیرد، غفلت در زمان وقوع نشت گاز موجب آتش گرفتن گاز و گستردگی دامنه آتشسوزی و بروز انفجارهای مهیب گاز و به دنبال آن تلفات انسانی چشمگیر می‌گردد(Sadeghian et al., 2024). به‌طورکلی پژوهش‌های علمی و دانشگاهی در مورد مخاطرات طبیعی از دهه پایانی قرن بیستم (۱۹۹۰–۲۰۰۰) آغاز گردید. سازمان ملل دهه اخیر را، دهه تقلیل خسارات ناشی از بلایای طبیعی نام‌گذاری می‌نماید. در ایران نیز آغاز مطالعات در این زمینه مربوط به دهه ٤٠ بعد از وقوع زلزله بوئین‌زهرا می‌باشد. بعد از آن مطالعات دیگری از سوی پژوهشکده سوانح طبیعی و پژوهشکده زلزله انجام گردیده است (Ahmadi, 2011). ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی شهری در برابر زلزله با روش AHP و مقایسات زوجی و با استفاده از بکارگیری سیستم سامانه جغرافیایی(GIS) در در آذر شهر انجام شد(Mobaraki et al., 2019) که نتایج نشان داد با توجه به فاصله ۹ کیلومتری شهر از محل گسل و با در نظر گرفتن معیار های بررسی شده، این آسیب-پذیری در محدوده شهری متوسط رو به بالا بوده است. همچنین می‌توان به مطالعه بررسی مدیریت بحران زلزله در مرحله پیش از وقوع با استفاده از GIS اشاره نمود (Kamel, 2011) که در منطقه یک تبریز انجام شد و بر این اساس به ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در وضعیت کنونی با استفاده از اجرای سیستم‌های تصمیم‌گیری چند

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]

معیاره[3]و تلفیق آن با فناوری GIS پرداخته شد. در مطالعه ای دیگر روش آنالیز شبکه گاز پس از وقوع زلزله، با توجه به اصول اساسی مهندسی سیستم‌ها الگوریتم جامعی برای محاسبه خسارات وارده به شبکه گاز بررسی شد(Abdullahzadeh and sabbaghzadeh, 2011). در این پژوهش با معرفی ساختار شبکه گاز شهری، اهمیت کارکرد آن در مدیریت شهری، اثرات زلزله بر شبکه گاز و دیگر شریان‌ها شرح داده شد و در نهایت روش محاسبه میزان خسارت وارده به شبکه گاز را مشخص نموده و به کمک روش تریاژ در نقشه جامع شبکه گاز شهری، خسارات وارده را طبقه‌بندی کرده‌اند. همچنین مطالعاتی در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه گازرسانی در منطقه دهگلان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام شد(Ahmadi,2011). در این مطالعه شبکه گاز شهری دشت دهگلان را به‌عنوان یک شریان حیاتی مهم و آسیب‌پذیر در برابر زلزله را موردبررسی قرار گرفت. با بررسی میزان لرزه‌خیزی شهرستان دهگلان، پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای و پهنه‌بندی خطر نشست زمین صورت پذیرفت و با توجه به اطلاعات ژئوالکتریک دشت، مقاومت ویژه لایه‌ها در مناطق مختلف را مشخص شد و در نتیجه آسیب‌پذیری خطوط لوله گاز را برآورد شد و از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی برای پهنه‌بندی خطر زلزله در محیط GIS استفاده شد. در مطالعه‌ای مشابه، ارزیابی و پهنه‌بندی لرزه‌ای شهر تبریز با استفاده از منطق فازی با تلفیق AHP و TOPSIS در محیط ArcGIS انجام شد و مشخص گردید که شهر تبریز و شریان‌های حیاتی آن در برابر زلزله آسیب‌پذیری بالایی دارا می‌باشند (Hataminejad et al., 2012).

در پژوهشی دیگر، ارزیابی خسارت فیزیکی بر روی شبکه‌ی خطوط گاز محلی پس از زمین‌لرزه‌ی ششم آوریل ۲۰۰۹ در L'Aquila مورد بررسی قرار گرفت(Esposito et al., 2011). بدین‌صورت که فشار فیزیکی حاصل از زمین‌لرزه در اجزاء سیستم را برآورد شد و سپس تعمیرات و فعالیت‌های جابجایی پس از وقوع زمین‌لرزه توصیف ارزیابی شد.. به زلزله‌های ۱۹۰٦ سان‌فرانسیسکو نیز در بررسی اشاره می‌کنند که بیشتر خسارات و تلفات بعد از زلزله مربوط به آتش سوزی های ناشی از خرابی خطوط گاز شهری می باشد.

در مطالعه‌ای دیگر که توسط Sheng et al (2021) انجام شد، عوامل مختلف تهدیدکننده ایمنی خطوط لوله گاز شهری شناسایی و با استفاده از نظریه «اندازه‌گیری نامطمئن» یک مدل سه‌لایه برای ارزیابی ریسک شامل ۵ عامل اصلی و ۳٤ شاخص فرعی ارائه گردید. وزن هر عامل با روش تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین شد و چهار مدل اندازه‌گیری مختلف برای کاهش عدم قطعیت ریسک به‌کار گرفته شد. نتایج نشان داد که این روش می‌تواند عدم قطعیت در ارزیابی ریسک خطوط لوله گاز شهری را کاهش دهد و دقت ارزیابی را افزایش دهد.

هدف از این تحقیق، مدل سازی آسیب پذیری شبکه خطوط گازی تبریز بر اساس لایه‌های ورودی مختلف، با استفاده از منطق فازی و پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای است. استفاده از این روش در مدیریت پایدار شهری می‌تواند منجر به ایجاد شبکه‌ای یکپارچه و منسجم شود که تمام اطلاعات موردنیاز شبکه را در خود جای دهد. در این پژوهش مدل‌سازی

[3] MCDM

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]

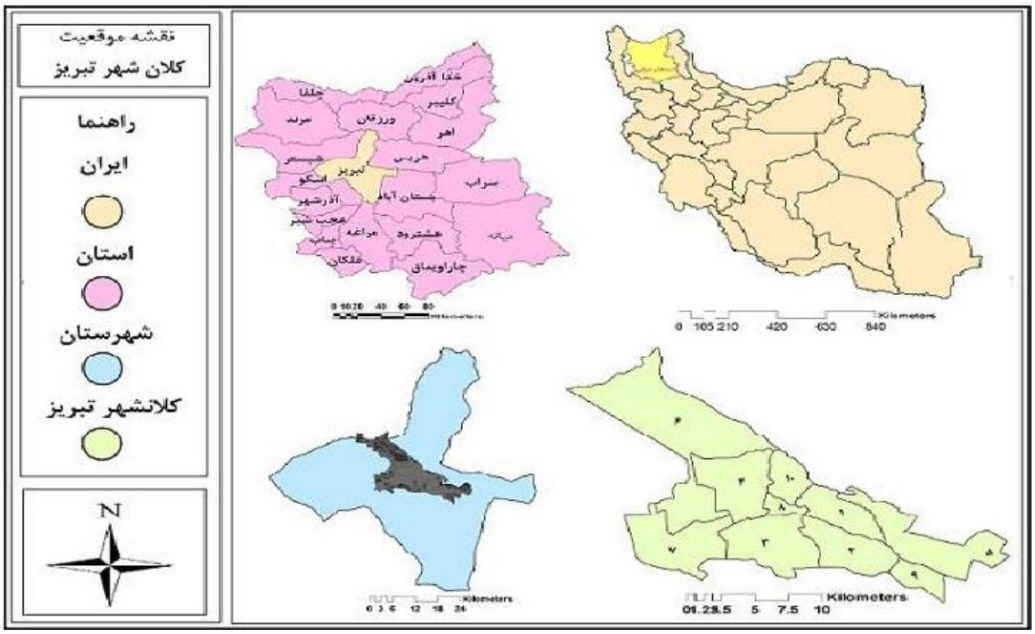
آسیب‌پذیری خطوط انتقال گاز شهر تبریز بعد از زلزله با استفاده از منطق فازی بررسی شد که روش مذکور، به پهنه‌بندی منطقه و ارزیابی میزان آسیب‌پذیری آن پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه موردمطالعه

شهر تبریز یکی از شهرهای بزرگ ایران است و مرکز استان آذربایجان شرقی است این شهر با ۲۷۳/۴۵ کیلومتر مربع مساحت، بزرگ‌ترین پایگاه جمعیتی شمال غرب ایران و مناطق آذری نشین است. شهر تبریز دارای گسلی به نام همین شهر است که یکی از مهم ترین ساختارهای زمین شناسی شمال غرب ایران است. امتداد این گسل تقریبا ۱۲۰ درجه است و از طریق انداره گیری های GPS، سرعت حرکت راستگردی آن حدود ۷ سانتی متردر سال اندازه گیری شده است. گسل شمال تبریز از چند تکه تشکیل شده است که طول آن ها مجموعا حدود ۲۱۰ کیلومتر است(Roustaei et al., 2011).

این شهر دارای یک میلیون و ۵۵۷ هزار و ۶۹۳ نفر جمعیت با نرخ رشد ۰/۸۳ درصد بر مبنای سال های ۱۳۹۵-۱۳۹۰ است(Pourmohammdi et al., 2019). شهر تبریز در غرب استان آذربایجان شرقی و در منتهی‌الیه شرق و جنوب شرق جلگه تبریز قرارگرفته است. شیب عمومی از شرق به غرب و از شمال به جنوب و به سمت مرکز شهر است. میانگین سالانه دما ۱۱/۹ درجه سانتی گراد است. میانگین بارندگی سالانه تبریز مانند بیشتر شهرهای ایران بسیار اندک و در حدود ۳۳۰/۱ میلی‌متر در سال است (Roustaei et al., 2011).



شکل۱: موقعیت شهر تبریز

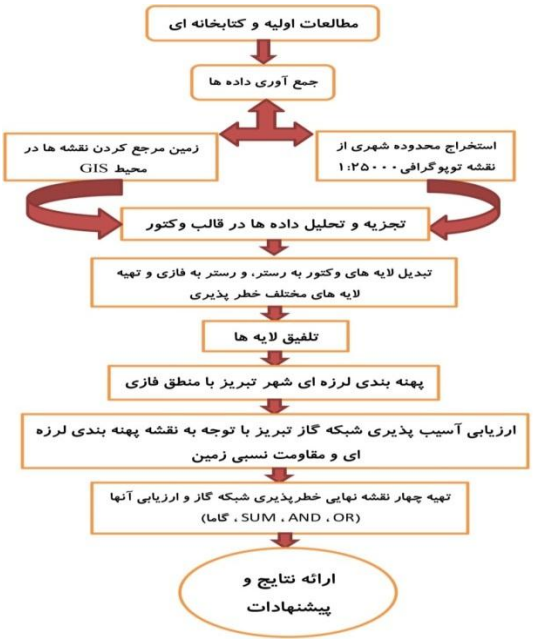
Figure 1: Location of Tabriz city

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]

روش انجام پژوهش

پیش‌بینی برآورد پتانسیل خطر زمین‌لرزه مستلزم تعیین برآیند اثر لایه‌ها یا عوامل مؤثر در وقوع پدیده در هر پهنه با روش مناسب است. در این پژوهش تحلیل خطر در دستگاه منطقی چند ارزشی فازی انجام‌شده است. در تهیه لایه‌های اطلاعاتی از منابع و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، داده‌های شهرداری و تصاویر ماهواره لندست استفاده‌شده است. اطلاعات موجود با پیمایش و برداشت‌های زمینی تکمیل و اصلاح شدند. بعد از تهیه منابع و اطلاعات لازم، کلیه مراحل پژوهش طی سه مرحله شامل: مرحله اول ساماندهی اطلاعات که در این مرحله عملیات تهیه، ورود و ساماندهی داده‌های مکانی مربوط به لایه‌های مورداستفاده در مدل‌ها شامل لایه‌های شیب، گسل، مراکز درمانی، تراکم جمعیتی، کاربری اراضی، خطوط گاز، خاک، زمین‌شناسی، معابر، ایستگاه‌های آتش‌نشانی، کانون لرزه‌ها که در قالب مدل‌های رستری و برداری وارد سیستم شد و سیستم مختصات آن‌ها یکسان‌سازی شده و تابع فاصله برای لایه‌های نقطه‌ای و خطی اجرایی و لایه‌های پلی گونی به رستر تبدیل گردید و سپس این لایه ها در سیستم ساماندهی شدند. مرحله دوم اجرای مدل‌ها و ارزیابی نتایج در سیستم اطلاعات جغرافیایی است که در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.2 و با استفاده از ابزار SDM Spatial Data Modeller Tools لایه‌های موردنظر به فرمت فازی تبدیل گردیدند. در مرحله سوم تجزیه و تحلیل نتایج نهایی که در این پژوهش عملیات پیش‌بینی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه با استفاده از عملگرهای چهارگانه OR، AND، SUM و گامای فازی انجام‌شده است. مراحل چگونگی انجام تحقیق به‌صورت دقیق و جزئی‌تر طی فلوچارتی در شکل(۲)، آورده شده است.



شکل۲: مراحل چگونگی انجام تحقیق

Figure 2: Flowchart of research

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]

تلفیق توابع عضویت فازی

برای یک مجموعه، با داشتن دو یا چند نقشه با توابع عضویت گنگ، می‌توان عملگرهای مختلفی را برای ترکیب مقادیر عضویت با یکدیگر مورداستفاده قرارداد. عملگرهای چهارگانهAND، OR، SUM و گامای فازی از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد که در زیر به آن‌ها پرداخته می‌شود.

عملگر فازیAND

این عملگر به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{com} = \min(\mu_A, \mu_B, \mu_C, ...)$$

رابطه ۱)

که در این رابطه :

μ_{com}: مقدار عضویت نقشه نهایی (حاصل از ترکیب دو یا چند نقشه)

μ_A : مقدار عضویت برای نقشه A در یک موقعیت به‌خصوص

μ_B : مقدار عضویت برای نقشه B می‌باشند (Ahmadi, 2011).

عملگر فازیSUM

این عملگر نتایجی شبیه OR فازی داشته، با این تفاوت که تمامی اعداد درنتیجه خروجی دخالت دارند. به عبارتی این عملگر خصوصیت افزایشی دارد. برای مثال اگر دو شاهد، مطلوب فرضیه موردنظر باشد نتایج خروجی بیشتر از هرکدام و حتی بزرگ‌تر از عدد حداکثر است(Yousefifar et al., 2012).

$$f_{ترکیب} = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - f_i)$$

رابطه ۲)

عملگر فازی گاما

این عملگر برحسب حاصل‌ضرب جبری فازی و حاصل جمع فازی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{com} = (\text{fuzzy total})^{\gamma} \times (\text{fuzzy product})^{1-\gamma}$$

رابطه ۳)

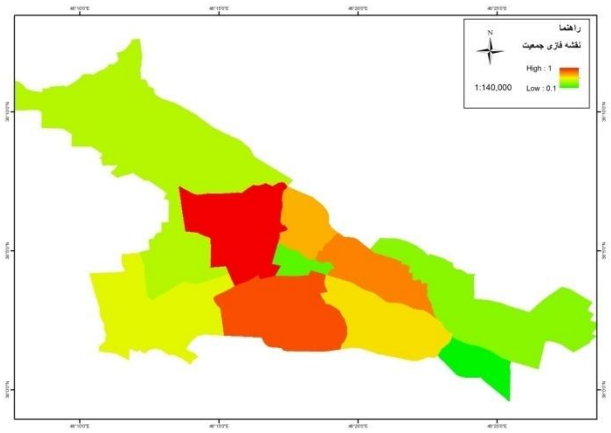
که در آن γ انتخاب‌شده در محدوده صفر و یک است. وقتی γ یک باشد ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و وقتی صفر باشد ترکیب برابر با حاصل‌ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه γ، مقدارهایی در خروجی به وجود می‌آورد که هر یک سازگاری قابل‌انعطافی میان گرایش‌های افزایشی جمع جبری فازی و اثرات کاهشی حاصل‌ضرب جبری فازی برقرار می‌کند.

لایه‌های فازی استفاده‌شده

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

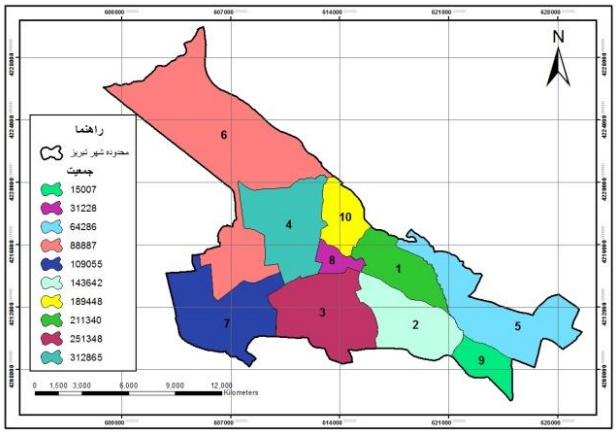
[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]

در این تحقیق از لایه‌های مختلفی جهت نیل به هدف تحقیق استفاده شده است که در زیر تعدادی از این لایه‌ها ارائه شده است که نتایج خروجی پردازش‌ها بر روی داده‌های مورد استفاده در این تحقیق هستند.



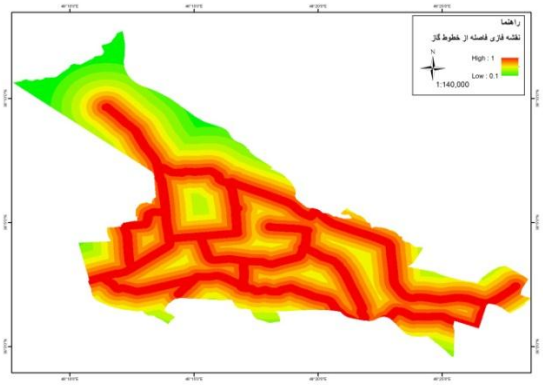
شکل ۳: لایه فازی جمعیت شهر تبریز

Figure 3: Tabriz city population fuzzy layer



شکل ٤: نقشه تراکم جمعیتی شهر تبریز

Figure 4: Population density map of Tabriz city

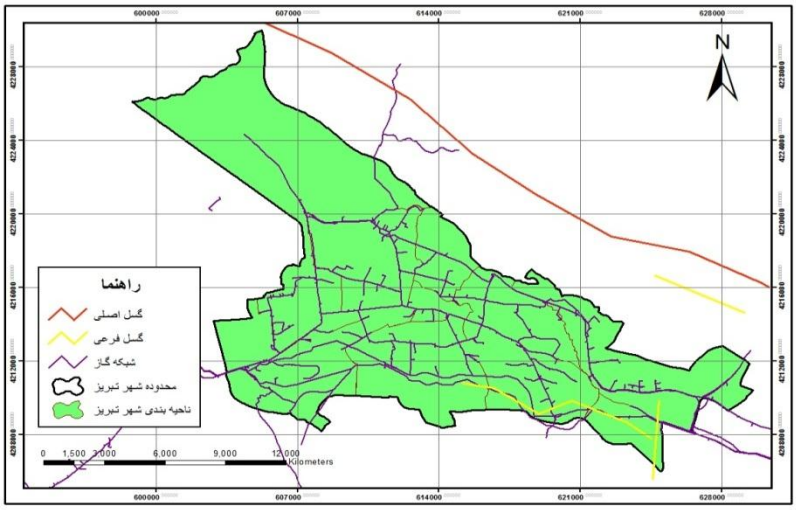


شکل۵ : لایه فازی فاصله از شبکه خطوط گاز

Figure 5: Distance fuzzy layer from the gas line network

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]



شکل٦ :نقشه تقاطع خطوط لوله گاز با گسل

Figure 6: Map of intersection of gas pipelines with faults



شکل ۷: مناطق شهرداری تبریز

Figure 7: Municipal areas of Tabriz

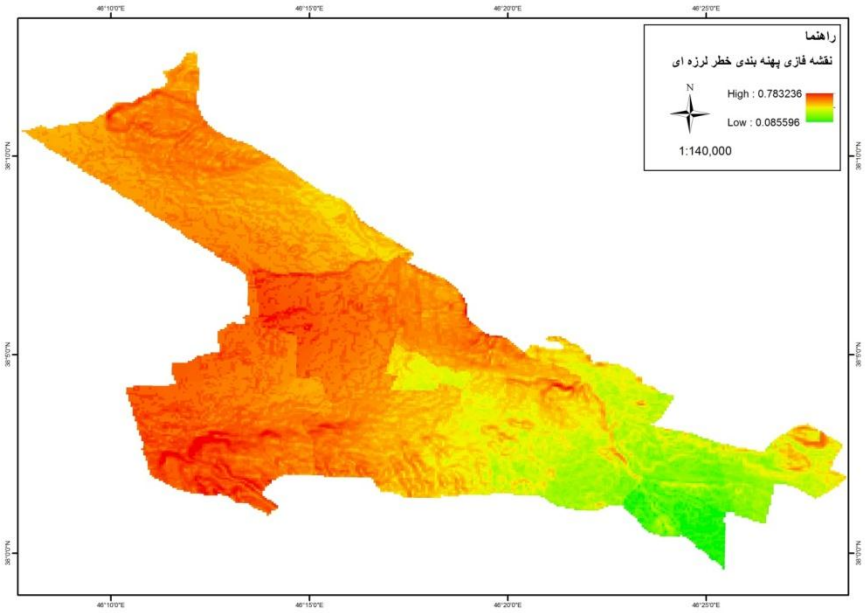
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]

نتایج و بحث

نقشه فازی پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای شهر تبریز

در نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله در ایران که توسط سازمان زمین‌شناسی در سال ۱۳۹۷ تهیه شد، بیشتر وسعت شهر تبریز در معرض خطر بالا قرار دارد که قسمت عمده آن شامل غرب و جنوب تبریز و قسمت‌های شمالی آن تا مرکز شهری است. به دلیل بالا بودن تراکم جمعیتی مناطق ۳ و ٤ این مناطق در محدوده قرمز خطر و آسیب‌پذیری قرارگرفته‌اند. اما منطقه ۹ در محدوده سبز و کم‌خطر قرار دارد. علت این امر که قسمت عمده مناطق پرخطر در مرکز به‌طرف غرب است، با توجه به سابقه لرزه های گذشته کانون زلزله ها در غرب تبریز قرار دارد. درنتیجه نمی‌توان با قطعیت گفت دوری یا نزدیکی به گسل عامل خطر زلزله برای یک منطقه است بلکه می‌تواند کانون زلزله در پیرامون و یا نواحی دورتر اتفاق رخ دهد که همین کانون لرزه‌هاست که خطر اصلی خرابی‌ها را به وجود می‌آورد.



شکل ۸: نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای شهر تبریز

Figure 8: Seismic risk zoning map of Tabriz city

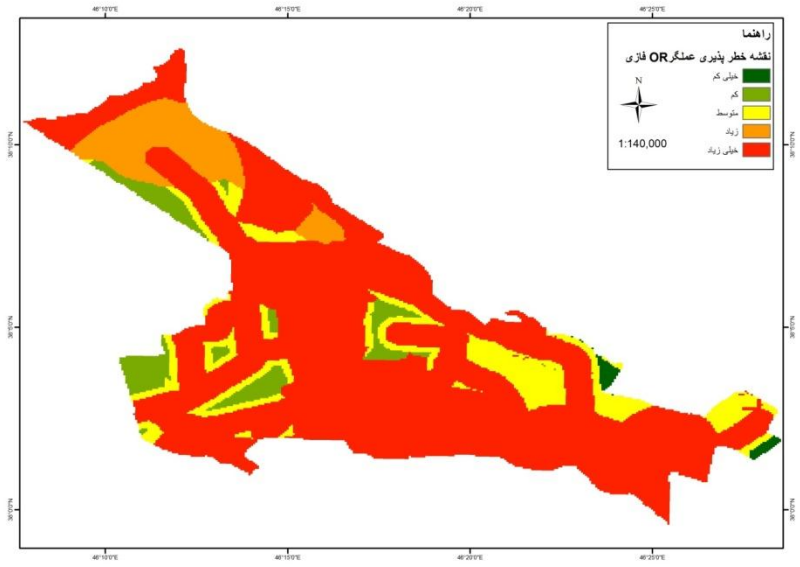
نقشه‌های نهایی آسیب‌پذیری خطوط لوله گاز تبریز

نقشه خطرپذیری لوله‌های گاز با عملگرOR فازی، نقشه خطرپذیری لوله‌های گاز شهری با عملگر AND فازی، نقشه خطرپذیری لوله‌های گاز شهری با عملگر SUM فازی و نقشه خطرپذیری لوله‌های گاز شهری با عملگر گامای فازی در شکل‌های ۹ تا ۱۲، آورده شده‌اند. در نقشه خطرپذیری لوله‌های گاز با عملگرOR فازی مناطقی که بعد از زلزله می‌توانند متحمل بیشترین آسیب‌پذیری شوند بارنگ قرمز و مناطق با آسیب‌پذیری خیلی کم بارنگ سبز پررنگ و کم‌رنگ مشخص‌شده‌اند. با توجه به نقشه خروجی این عملگر، بیشترین نواحی تبریز در معرض خطر و آسیب‌پذیری با

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]

درجه خیلی زیاد می‌باشند و قسمت‌هایی از مناطق ۵ در نزدیکی گسل و مناطق ٦، ۷ و ۸ درجه خیلی کم از آسیب‌پذیری را به خود اختصاص داده‌اند. تمامی منطقه ۳ و ٤ در این نقشه در محدوده خطر قرار دارند. بیشترین تراکم جمعیتی نیز در منطقه ۳ و ٤ واقع شده است، اما تراکم خطوط گاز بیشتر در مناطق ۷، ٤، ۳، ۸، ۱۰، ۱، ۲ و ۵ می‌باشد(شکل ۹).



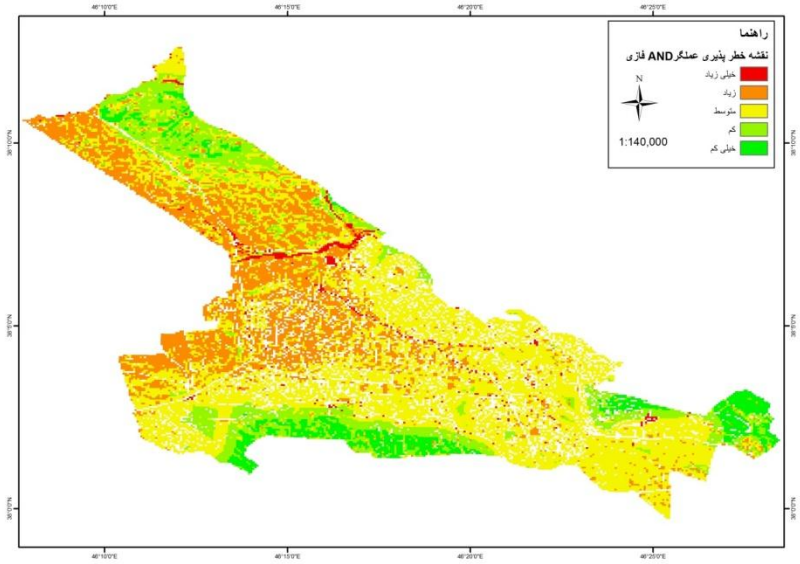
شکل ۹ : نقشه خطرپذیری لوله‌های گاز با عملگرOR فازی

Figure 9: Risk map of gas pipes with fuzzy OR operator

در نقشه خطرپذیری لوله‌های گاز شهری با عملگر AND فازی نیز رنگ قرمز به درجه خیلی زیاد و رنگ نارنجی به درجه زیاد میزان آسیب‌پذیری منطقه و رنگ سبز به درجه خیلی کم اختصاص داده‌شده است. رنگ زرد که بیشترین نواحی مرکزی شهر و مناطق ۱، ۲، ۹ و ۵ را بیشتر دربر می‌گیرد میزان آسیب‌پذیری متوسط منطقه را بعد از زلزله بازگو می‌کند. به‌طورکلی در این نقشه قسمت‌های جنوبی منطقه ٦ و منطقه ٤ بیشتر از سایر نواحی می‌توانند بعد از زلزله متحمل آسیب شوند و مناطق مرکزی و شمال تبریز به‌طرف شرق کمتر از نواحی ذکرشده متحمل آسیب خواهند شد. منطقه باریکی از جنوب تبریز و نواحی شمالی منطقه ٦ و منتهی‌الیه شرق تبریز در منطقه ۵ نیز بعد از زلزله دور از آسیب و در معرض خیلی کم‌خطر قرار دارند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

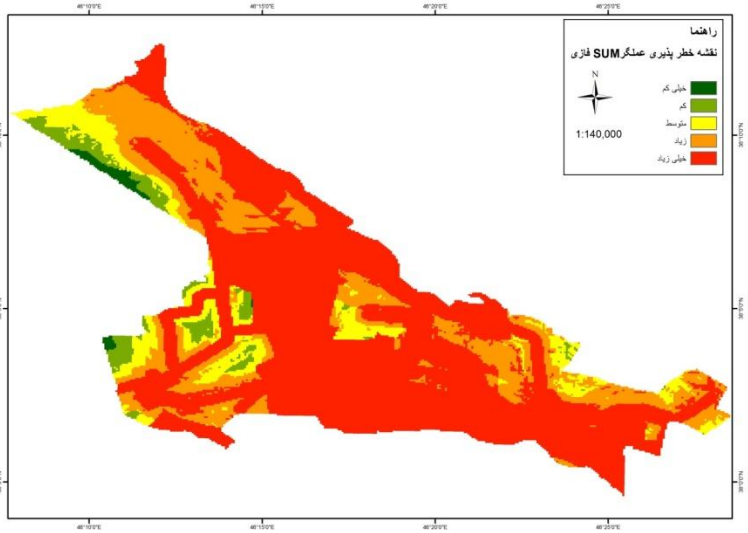
[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]



شکل ۱۰: نقشه خطرپذیری لوله‌های گاز شهری با عملگر AND فازی

Figure 10: Risk map of city gas pipes with fuzzy AND operator

در نقشه خطرپذیری لوله‌های گاز شهری با عملگر SUM فازی برخلاف عملگر OR، تمامی ورودی‌ها (داده‌ها) درنتیجه خروجی دخالت دارند. در این نقشه نیز مناطق در معرض آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد بعد از زلزله به رنگ قرمز و نارنجی نمایانگر می‌باشد که بیشترین مناطق تبریز با این دورنگ آورده شده است. و فقط قسمت اندکی در غرب و شرق و قسمتی در مرکز شهر رنگ‌های سبز و زرد با درجه آسیب‌پذیری کم و متوسط را به خود اختصاص داده‌اند. درنتیجه می‌توان گفت این عملگر خصوصیت افزایشی دارد و نتایج خروجی یک نتیجه اغراق‌آمیز است.



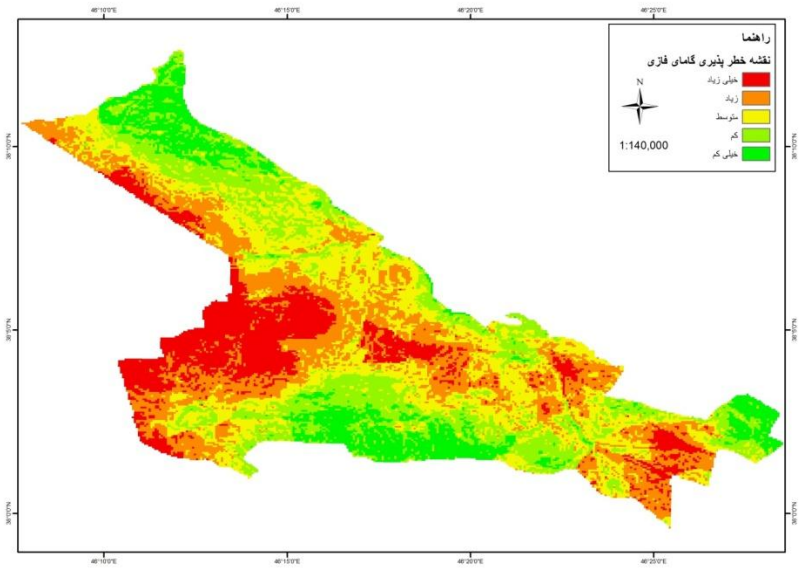
شکل ۱۱: نقشه خطرپذیری لوله‌های گاز شهری با عملگر SUM فازی

Figure 11: Risk map of city gas pipes with fuzzy SUM operator

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]

در نقشه خطرپذیری لوله‌های گاز شهری با عملگر گامای فازی، مناطقی که تراکم جمعیتی بالا است و خطوط انتقال گاز شهری بیشتری از آن مناطق عبور می‌کنند، با درجه آسیب‌پذیری بیشتری و بارنگ قرمز ، نارنجی و زرد نشان داده‌شده است که قسمت‌های شمالی، مرکزی و قسمت‌هایی از شرق و غرب تبریز را شامل می‌شود. درنتیجه از وقوع زلزله نواحی ذکرشده بیشترین آسیب را متحمل خواهند شد. چراکه دارای تراکم جمعیتی بالا بوده و آتش‌سوزی‌های احتمالی ناشی از لوله‌های گاز شهری می‌تواند تلفات زیادی را بر جای بگذارد. البته لازم به ذکر است که در این مناطق مراکز درمانی و ایستگاه‌های آتش‌نشانی کمتری موجود است. مناطق جنوبی تبریز و قسمت‌هایی از شمال منطقه شش به رنگ سبز و با درجه خطرپذیری کمتری نشان داده‌شده است. چراکه در این مناطق تراکم جمعیت و تراکم لوله‌های گاز شهری نیز کمتر می‌باشد (بخصوص در شمال منطقه شش).



شکل ۱۲: نقشه خطرپذیری لوله‌های گاز شهری با عملگر گامای فازی

Figure 12: Risk map of city gas pipes with fuzzy gamma operator

نتیجه گیری

در بین عملگرهای استفاده‌شده، عملگر گامای فازی برای نقشه خطرپذیری خطوط لوله گاز شهری تبریز، خروجی بهتری ارائه داده است. عملگر گاما، نه حساسیت بالای عملگر AND را دارد و نه حساسیت پایین SUM را دارد و با توجه به نقشه خطرپذیری گامای خطوط لوله گاز تبریز و نقشه پهنه‌بندی فازی خطر لرزه‌ای تبریز،به این نتیجه دست‌یافتیم که منطقه چهار نسبت به بقیه نقاط شهر بیشتر در معرض خطر و آسیب‌پذیری است. در نتیجه بهتر است بافت‌های فرسوده این منطقه اصلاح‌شده، از تراکم جمعیت در این منطقه جلوگیری شود و به معابر ، تعداد مراکز امدادرسانی و ایستگاه‌های آتش‌نشانی این ناحیه بیشتر توجه شود. اکثر لوله‌های بکار برده شده در شهر تبریز از جنس فولادی و پلی‌اتیلن با پوشش قیر اصلاح‌شده و کمی پلی یورتان می‌باشد. برای شهری مثل تبریز که با تراکم جمعیت بالا در معرض خطر زلزله نیز می‌باشد، استفاده از لوله‌های فولادی که کاملاً شکننده هستند اصلاً مناسب نمی‌باشد. پس خطوط لوله‌های گاز شهری

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]

مدفون و غیر مدفون در ناحیه پرخطر شهر نیز باید مقاوم‌سازی شوند، بدین ترتیب که با توجه به بررسی‌های انجام‌گرفته که ثابت‌شده لوله‌های از جنس پلی‌اتیلن سنگین نسبت به دیگر جنس لوله‌ها، از کیفیت و قیمت مناسبی برخوردارند و از هر نظر مناسب می‌باشند (مثلاً لوله‌های فولادی در برابر تنش‌ها کاملاً شکننده هستند)، جنس لوله‌ها در این قسمت شهر از پلی‌اتیلن سنگین انتخاب شود. تا در برابر خسارات احتمالی زمین‌لرزه‌ها بیشترین مقاومت را از خود نشان دهند و از آسیب‌های بعد از زلزله کاسته شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]

References

-Abdullahzadeh, Gh., & Sabbaghzadeh, H. (2011). Gas network analysis method after earthquake. National conference on Earthquake and Vulnerability of Structures and Life Line,Tehran, 1,1-8. https://civilica.com/doc/141453/.

-Ahmadi, F. (2011). Assessing the vulnerability of gas lines network to earthquakes using remote sensing and GIS (case study of Dehgolan city). Master's thesis. University of Kerman.

-Esposito, S., Iervolino, I., Elefante, L., & Giovinazzi, S. (2011). Post-earthquake physical damage assessment for gas networks. In Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering: Building an Earthquake-Resilient Society, Auckland, New Zealand. 34,14-16.

-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**, 32(11): 87-108. https://doi.org/10.22111/jneh.2021.36817.1740

-Hataminejad, H, Manouchehri, A, Ahar, H., & Salaki, M. (2011). Assessment and classification of seismic zones of the city of Tabriz with Fuzzy logic in Combining AHP and TOPSIS environment ARCGIS , Researches of human geography, 46(4):697-717. https://doi.org/10.22059/jhgr.2015.51251

-Hatempour, Z., Youssef Dekht, R., & Hatempour, A. (2021).The history of Tabriz from the beginning to the emergence of the Safavid dynasty The 9th National Conference on Modern Studies and Research in Humanities, Management and Entrepreneurship of Iran, Tehran, 9,1-15. https://civilica.com/doc/1562229. [In Persian].

-Hokmabadi, M., Sarani, A., Ahmadi, H., & Kalte, L. (2015). Iran's seismicity and crisis management solutions, a case study: (Geographic Information System), the first national conference on crisis management, safety, health, environment and sustainable development, Tehran,1,1-9. https://civilica.com/doc/490015. [In Persian].

-Kamel, B. (2011**). Earthquake crisis management in the pre-occurrence phase by using GIS (case study of Tabriz municipality region)**. Master's thesis,Geography faculty, University of Tabriz. [In Persian].

-Krichen, M., Abdalzaher, M. S., Elwekeil, M., & Fouda, M. M. (2024). Managing natural disasters: An analysis of technological advancements, opportunities, and challenges. **Internet of Things and Cyber-Physical Systems**, 4, 99–109. https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.09.002

-Mobaraki, O., Esmaeilpour, M., & Amini, S. (2019). Assessment of the physical vulnerability of Azarshahr city against earthquakes. **Journal of Resilient City**, 3(2), 1–15.. [In Persian].

-Pourmohammdi, M. R., Ghorbani, R., & Alizadeh, G. (2019). Investigating the vulnerability of Tabriz Metropolis under the influence of passive defense. **Journal of Urban Studies**, 30, 41–54. https://doi.org/10.34785/J011.2019.672.[In Persian].

-Rostami, S., Zamani, B., & Izadi Kian, L. (2015). Investigating the seismic capacity of the main parts of the North Tabriz fault using the Kijko method. **Zamin Sakht (Tectonics)**, 3(1), 1–13. https://doi.org/10.22077/jt.2016.400. [In Persian].

-Roustaei, S. (2011). Risk zoning of Tabriz fault for different urban land uses**. Geography and Development**, 21, 27–41. https://doi.org/10.22111/gdij.2011.579. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]

-Sadeghian, A., Omidvar, B., & Salehi, I. (2014). Analysis of the risk of fire after an earthquake in gas pipelines using Monte Carlo simulation (case study: District 20 of Tehran). **Journal of Civil and Environmental Engineering**, 45(4), 69–80. https://sid.ir/paper/522193/fa. [In Persian].

-Sheng, K., Lai, X., Chen, Y., Jiang, J., & Zhou, L. (2021). Risk assessment of urban gas pipeline based on different unknown measure functions. **Tehnički vjesnik / Technical Gazette**, 28(5), 1605–1614. https://doi.org/10.17559/TV-20201021110548

-Yousefifar, S., Khakzad, A., Asadi Harooni, H., Jafari, M. R., & Vosoughi Abedin, M. (2012). Using index overlay, fuzzy logic method and analytical hierarchy process in order to determine Au and Cu potential targets in north part of dali porphyry deposit. **Scientific Quarterly Journal of Geosciences**, 83,49-58. https://civilica.com/doc/1391125. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]

Vulnerability Modeling of the Urban Gas Pipeline Network after an Earthquake in Tabriz

Abstract

Iran is very vulnerable to earthquakes due to its location on the earthquake belt. The pipeline system plays a key role as one of the influential components in reducing or increasing damage after an earthquake, including explosions and fires. The purpose of this research is to model the vulnerability of Tabriz gas line network based on different input layers, using fuzzy logic and seismic risk zoning. According to the underlying structures of the city, the ground resistance in different parts of the various dimensions of gas pipelines and construction was investigated according to the high-risk areas in seismic risk zoning. In the following, by extracting different risk layers in the city and combining the layers, with four fuzzy operators, the hazard map of Tabriz gas pipes after the earthquake was extracted and In addition to estimating the vulnerability of gas pipelines in different areas of the city, these four operators were compared in the end, the gamma operator was chosen as the best operator due to its greater compliance with the conditions of gas pipelines and population and seismic peak points. The results of this research show that the central areas of Tabriz city are more vulnerable than other places and gas pipelines in this area should be given more attention in terms of safety and retrofitting. Also, the results of this research prove the capability of geographic information systems in modeling the damage caused to gas lines after the earthquake phenomenon.

Key words: gas pipelines, vulnerability, zoning, fuzzy logic, Tabriz

Introduction

Earthquakes are among the most destructive natural hazards, particularly in Iran, which lies on one of the world's major seismic belts and contains numerous active faults. Tabriz, a major and historic city in northwestern Iran, is located on the active North Tabriz Fault and is therefore exposed to a very high seismic risk. The urban gas distribution network, as a vital infrastructure, is highly vulnerable to earthquakes, where gas leakage can trigger extensive fires and explosions. Previous studies in Iran and other countries have used GIS, AHP, and fuzzy logic approaches to assess urban and gas network vulnerability to seismic events. The present study aims to model and map the vulnerability of Tabriz's gas network using fuzzy logic and multiple spatial data layers within a GIS framework. The study area, Tabriz city, covers about 273 km², has a population exceeding 1.5 million, receives an annual average precipitation of 330 mm.

Materials and Methods

In this study, earthquake hazard analysis was performed using fuzzy logic within a Geographic Information System (GIS) environment. The required data were collected from topographic and geological maps, municipal datasets, and Landsat satellite imagery, and were refined through field surveys. Spatial layers such as slope, faults, population density, land use, gas pipelines, soil, roads, and other vital infrastructures were prepared, standardized, and converted into raster format. These layers were then transformed into fuzzy format using the Spatial Data Modeller

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]

tools in ArcGIS 10.2. Finally, the earthquake hazard zoning was conducted by applying fuzzy operators including AND, OR, SUM, and fuzzy gamma to integrate the membership functions and generate the final vulnerability map.

Results

According to the earthquake hazard zonation map prepared by the Geological Survey of Iran (2018), most parts of Tabriz, particularly the western, southern, and central regions, are located within high-risk zones. The highest vulnerability corresponds to Districts 3 and 4, which have the greatest population density, while District 9 falls within the low-risk area. The results obtained from different fuzzy operators indicated that in the fuzzy OR map, a large portion of the city lies within the very high vulnerability zone, with Districts 3 and 4 showing the highest risk, whereas Districts 5, 6, 7, and 8 exhibit lower vulnerability. In the fuzzy AND map, the southern parts of District 6 and District 4 are the most affected areas, while the central and northern parts of Tabriz show lower risk levels. In the fuzzy SUM map, almost the entire urban area appeared within high and very high vulnerability classes**,** since the SUM operator has an additive property, and the resulting output tends to be exaggerated**.** In the fuzzy Gamma map, the northern, central, eastern, and western areas of Tabriz show the highest vulnerability due to high population density and the concentration of urban gas pipelines, while the southern areas and northern parts of District 6 are identified as low-risk zones. Overall, population density and the density of gas pipelines are the main factors contributing to the increased seismic vulnerability of Tabriz’s urban gas network

Conclusion

Among the fuzzy operators, the fuzzy Gamma operator provided the most reliable results for assessing the vulnerability of Tabriz’s urban gas pipelines, indicating that District 4 is the most susceptible area. Hence, strengthening the gas network using high-density polyethylene pipes instead of steel ones and improving emergency infrastructure in this district are recommended.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4079]