مدیریت بحران‌های اجتماعی ناشی از ریسک‌های زیست‌محیطی خطوط انتقال گاز: ارائه مدلی برای ارتقای تاب‌آوری اجتماعی

ایرج محمد فام [۱] محسن صادقی یارندی [۲]

چکیده

خطوط انتقال گاز به عنوان زیرساخت‌های حیاتی، ریسک‌های زیست‌محیطی بالایی دارند که می‌توانند منجر به بحران‌های اجتماعی مانند آلودگی منابع آب، آسیب به جوامع محلی و کاهش تاب‌آوری اجتماعی شوند. این مطالعه با هدف ارائه مدلی نوین برای مدیریت بحران‌های اجتماعی ناشی از ریسک‌های زیست‌محیطی خطوط انتقال گاز، بر اساس تلفیق روش‌های ارزیابی ریسک و مدیریت بحران انجام شده است. روش تحقیق مبتنی بر مرور نظام‌مند منابع، تحلیل انتقادی مدل‌های موجود و کاربرد عملی در مطالعه موردی یک خط لوله گاز است. مدل پیشنهادی چرخه‌ای سه‌مرحله‌ای (شناسایی خطرات، ارزیابی و کمی‌سازی ریسک، و اقدامات کنترلی برای ارتقای تاب‌آوری) است که جوامع محلی را در فرآیند تصمیم‌گیری درگیر می‌کند. نتایج نشان داد که در طول مسیر خط لوله، سطوح ریسک متوسط (۶۹,۸ درصد)، زیاد (۱۸,۹ درصد) و خیلی زیاد (۱۱,۳ درصد) وجود دارد، با تمرکز بر ریسک‌های ناشی از نشت و ترکیدگی که می‌توانند بحران‌های اجتماعی مانند آتش‌سوزی، آلودگی و تعارضات محلی ایجاد کنند. مطالعه موردی حاکی از آن است که اجرای این مدل می‌تواند کیفیت داده‌ها را بهبود بخشد، اعتماد اجتماعی را افزایش دهد و تاب‌آوری جوامع در برابر بحران‌های زیست‌محیطی را ارتقا دهد. بنابراین، این مدل می‌تواند چارچوبی مرجع برای سیاست‌گذاران در مدیریت بحران‌های اجتماعی مرتبط با زیرساخت‌های انرژی باشد.

کلیدواژه ها: مدیریت بحران‌های اجتماعی؛ ریسک زیست‌محیطی؛ تاب‌آوری اجتماعی؛ خطوط انتقال گاز

۱. استاد دانشگاه علوم توانبخشی و سلامت اجتماعی ، تهران ، ایران، Mohammedfam@
۲. نویسنده مسوول ؛ دانشجوی دکتری دانشگاه علوم توانبخشی و سلامت اجتماعی ، تهران ، ایران، Moh.sadeghi.@uswr.ac.ir همراه ۰۹۳۷۲۴۸۱۸۱۸

Social Crisis Management Arising from Environmental Risks of Gas Transmission Pipelines: Proposing a Model for Enhancing Social Resilience

Abstract

Gas transmission pipelines, as critical infrastructure, pose significant environmental risks that can trigger social crises such as contamination of water resources, damage to local communities, and reduced social resilience. This article aims to propose a novel model for managing social crises resulting from environmental risks associated with gas transmission pipelines, developed through the integration of risk assessment and crisis management approaches. The research methodology is based on a systematic literature review, critical analysis of existing models, and practical application in a case study of an ethylene gas pipeline. The proposed model adopts a three-phase cyclic framework (hazard identification, risk assessment and quantification, and control measures aimed at resilience enhancement) that actively involves local communities in the decision-making process. Results indicate that along the pipeline route, risk levels are distributed as moderate (69.8%), high (18.9%), and very high (11.3%), with primary emphasis on risks arising from leaks and ruptures capable of generating social crises including fires, pollution, and local

conflicts. The case study demonstrates that implementing this model can improve data quality, increase public trust, and strengthen community resilience against environmental crises. Consequently, the model can serve as a reference framework for policymakers in managing social crises linked to energy infrastructure.

Keywords: Social crisis management; environmental risk, social resilience, gas transmission pipelines

مقدمه

اغلب منابع حیاتی زمین در موقعیت‌های خاص جغرافیایی نظیر محیط زیست ساحلی جهانی و حوضه‌های آبخیز و سیستم‌های رودخانه‌ای بزرگ یافت می‌شوند. به علاوه، نسبت بزرگی از جمعیت جهان تقریباً نزدیک به این مناطق زندگی می‌کنند و به طور متناوب برای تأمین هر بخش یا بیشتر غذای خود و مواد خام صنعتی، به آن محیط وابسته هستند (Ghosh, Kumar, & Biswas, 2024). پیامد این امر آن است که تولید بسیاری از ضایعات، هم خانگی و هم صنعتی و سایر راه‌های متنوع تخریب زیستگاه توسط جمعیت انسانی، در آن محیط‌هایی رخ می‌دهند که بزرگ‌ترین اهمیت اقتصادی و بیولوژیکی را دارند. در مجموع مقصود اصلی این است که چگونه روش‌های مؤثر برای ارزیابی ریسک و اثرات زیست محیطی به ویژه بر منابع حیاتی توسعه یابند؟

مدیریت ریسک زیست محیطی، فرایندی سیستماتیک در راستای دستیابی به اطمینان کامل از اجرای مناسب و صحیح یک پروژه و رعایت ضوابط مرتبط با کاهش خطرات احتمالی می‌باشد (Eskandari & Mohammadfam, 2025; Gholamizadeh, Alauddin, Aliabadi, Soltanzade, & Mohammadfam, 2023; Gholamizadeh et al., 2024;

Mohammadfam & Eskandari, 2025; Mohammadfam, Mahdinia, Salimi, Koupal, & Soltanzadeh, 2022; Soltanzadeh et al., 2022). این فرایند را می‌توان آن را گامی مؤثر در جهت برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری مناسب به منظور کاهش خطرات شناسایی شده در مرحله ارزیابی و تحلیل ریسک و جلوگیری از وقوع اثرات احتمالی بر محیط زیست، بهداشت عمومی و سلامت اکوسیستم‌هایی دانست که حیات و تداوم زیست انسان‌ها به آنها وابسته است (Eskandari & Mohammadfam, 2025; Sadeghi-Yarandi et al., 2023; Salari, Sadeghi-Yarandi, & Golbabaei, 2024; Soltanzadeh, Zarei, Mahdinia, & Sadeghi-Yarandi, 2024).

هدف اولیه مدیریت ریسک زیست محیطی، بررسی پتانسیل‌های ریسک یک پروژه و اثرات احتمالی آن بر پارامترهای محیط زیست جهت استقرار سیستم مدیریت ریسک می‌باشد (Ispas, Mironeasa, & Silvestri, 2023). این دیدگاه می‌تواند در فرآیندهای طراحی، ساخت، اجرا و نگهداری از طرح‌های توسعه با حداقل خطرات احتمالی و بالاترین ایمنی، مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان امر قرار گیرد (Ventura, Martín-Jimenez, & Gallego-Garcia, 2025). در این مطالعات، ضمن شناسایی روش‌های مطالعات مدیریت ریسک و مقایسه آنها با یکدیگر روشی مناسب جهت دستیابی به اهداف مدیریت ریسک با استفاده از تلفیق روش‌های کاربردی اتخاذ شده است و به منظور درک کارایی آن در مورد طرح خط لوله گاز مورد آزمایش قرار گرفته است (Eskandari & Mohammadfam, 2025; Mohammadfam & Eskandari, 2025). نتایج مطالعات و بررسی‌های انجام شده در خصوص روش‌های مدیریت ریسک نشان می‌دهد که مدیریت ریسک معمولاً از یک برنامه کاری مشخص پیروی می‌کند که این برنامه شامل یک سری مراحل مشخص می‌باشد. هر چند چهارچوب و برنامه کلی تقسیم‌بندی یکسان می‌باشد ولی در مراجع مختلف مراحل کاری مدیریت ریسک اندک تفاوت‌هایی در روش تقسیم‌بندی دارند. معمولاً مهم‌ترین بخش مطالعات مدیریت ریسک و در واقع بخش کلیدی مطالعات را تشکیل

می‌دهد که در نتیجه نحوه انجام مطالعات ارزیابی ریسک و نیز نتایج حاصله از آن در بخش مدیریت ریسک تأثیر مهم و بسزایی خواهد داشت. بنابراین انتخاب روش مناسب جهت انجام مطالعات بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

بررسی روش‌های مختلف مدیریت ریسک زیست محیطی به ویژه روش مدیریت ریسک زیست محیطی خطوط انتقال گاز نشان می‌دهد اولین گام اصلی در مدیریت ریسک شناسایی ریسک‌ها و خطرات و تعیین پیامدهای ناشی از وقوع هر یک از آنها می‌باشد. در واقع مدیریت ریسک فرایندی مشتمل بر سه بخش اصلی تعیین ریسک، ارزیابی ریسک و کاهش ریسک به سطوح قابل قبول است. لازم به ذکر است که به منظور شناسایی روش مدیریت ریسک در این مطالعات و دستیابی به اهداف در نظر گرفته شده، مهم‌ترین روش‌های مرتبط و در دسترس مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته و سپس روش تلفیقی انتخاب شده است (Eskandari & Mohammadfam, 2025; Gholamizadeh et al., 2023; Mohammadfam & Eskandari, 2025; Mohammadfam et al., 2022).

از آنجایی که احداث و بهره‌برداری از خطوط انتقال گاز می‌تواند اثرات قابل ملاحظه‌ای بر پارامترهای محیط زیست پیرامون بر جای گذارد، از این رو در بیان مفهوم مدیریت ریسک زیست محیطی این صنایع و کاهش میزان احتمال وقوع حوادث و پیامدها و اثرات ناشی از آن می‌توان مهمترین اهداف مدیریتی کلان را ایجاد تعادل و برقراری ارتباط میان اهداف بلندمدت توسعه و حفاظت محیط زیست در راستای دستیابی به اهداف توسعه پایدار با کم‌ترین خطرات احتمالی بیان نمود.

با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در ارزیابی ریسک‌های فنی خطوط انتقال گاز، شواهد روزافزون نشان می‌دهد که این زیرساخت‌ها اغلب در مناطق با سطوح بالای آسیب‌پذیری اجتماعی واقع شده‌اند و می‌توانند بحران‌های اجتماعی عمیق‌تری را ایجاد کنند. مطالعات گسترده در مقیاس ملی نشان داده است که تراکم خطوط انتقال و جمع‌آوری گاز طبیعی با شاخص آسیب‌پذیری اجتماعی

شهرستان‌ها همبستگی مثبت و معناداری دارد؛ به‌طوری‌که جوامع آسیب‌پذیرتر (از نظر اقتصادی، نژادی و دسترسی به منابع) بار نامتناسبی از خطرات زیست‌محیطی و اجتماعی را تحمل می‌کنند (Emanuel, Caretta, Rivers III, & Vasudevan, 2021).

در سال‌های اخیر، محققان بر لزوم ادغام شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی و منطقه‌ای در مدل‌های مدیریت ریسک تأکید کرده‌اند. رویکردهای نوین مبتنی بر شبکه‌های بیزی پویا و چارچوب‌های پایداری نشان می‌دهد که در نظر گرفتن همزمان ابعاد فنی، زیست‌محیطی و اجتماعی نه تنها دقت ارزیابی و اولویت‌بندی مداخلات را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد، بلکه اعتماد عمومی، مشارکت جوامع محلی و کاهش تعارضات پس از حادثه را نیز تقویت می‌کند (Liu et al., 2025; Mahmood, Afrin, Huang, & Yodo, 2023).

با این حال، اکثر مدل‌های موجود همچنان بر جنبه‌های فنی و زیست‌محیطی تمرکز دارند و کمتر به مدیریت فعال بحران‌های اجتماعی ناشی از ریسک‌های زیست‌محیطی و درگیری مستقیم جوامع محلی پرداخته‌اند. بنابراین، ارائه مدلی نوین که چرخه‌ای سه‌مرحله‌ای از شناسایی خطرات، ارزیابی و کمی‌سازی ریسک، و اقدامات کنترلی با هدف ارتقای تاب‌آوری اجتماعی را با مشارکت فعال ذی‌نفعان محلی تلفیق کند، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای دستیابی به توسعه پایدار در پروژه‌های زیرساختی انرژی است.

در این تحقیق اطلاعات به صورت کتابخانه‌ای گردآوری شده است و با استفاده از شناسایی جزء جزء فرایندهای موجود در مدیریت ریسک زیست محیطی خطوط انتقال گاز، روش مناسب در مطالعات حاضر اتخاذ و با مطالعه موردی مورد سنجش قرار گرفته است. مطالعه موردی خط لوله انتقال گاز در استان بوشهر می‌باشد. در این مطالعات ابتدا ویژگی‌های محیط زیست تحت تأثیر و ویژگی‌های فنی طرح مورد بررسی قرار گرفته و سپس خطرات احتمالی و کنش‌ها و واکنش‌های میان این دو بخش مورد شناسایی، تحلیل و ارزیابی شده است. در نهایت در جهت کاهش احتمال

وقوع هر یک از خطرات و یا پیامدهای ناشی از آنها، راهکارهای کنترل و کاهش اثرات و خطرات و چهارچوب سیستماتیک و برنامه مدیریت ریسک زیست محیطی استاندارد در خطوط انتقال گاز ارائه شده است. در حقیقت، روش بکار گرفته شده در این مطالعات بر پایه نظریات علمی استوار می‌باشد که با استفاده از دو روش استقرایی (فرایند جزء به کل) و قیاسی (فرایند کل به جزء) مطالعه‌ای کامل و جامع در زمینه مدیریت ریسک زیست محیطی بدست خواهد آمد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تعریف واژگان کلیدی

مدیریت بحران اجتماعی به مجموعه اقدامات ساختاریافته و فرآیندهای برنامه‌ریزی‌شده برای پیش‌بینی، پیشگیری، آمادگی، پاسخ‌دهی و بازسازی پس از وقوع رویدادهایی گفته می‌شود که نظم عمومی، اعتماد اجتماعی، امنیت روانی و انسجام جامعه را تهدید می‌کنند. این بحران‌ها معمولاً ریشه در نارضایتی‌های جمعی، شکاف‌های اقتصادی-اجتماعی، نابرابری، بی‌عدالتی ادراک‌شده یا ضعف نهادهای مدنی دارند (تسلیمی کار, ۲۰۲۵; رئیسی‌دهکردی & یگانه مظهر, ۲۰۲۶; نثاری, ۲۰۲۵). ریسک زیست‌محیطی نیز به احتمال وقوع یک پیامد منفی یا فاجعه‌بار برای اجزای محیط طبیعی (آب، خاک، هوا، تنوع زیستی) و سلامت انسان‌ها ناشی از عوامل طبیعی، انسانی یا ترکیبی از آن‌ها گفته می‌شود. این ریسک اغلب تابعی از احتمال و شدت می‌باشد (Eskandari & Mohammadfam, 2025; Gholamizadeh, Alauddin, Aliabadi, Soltanzade, & Mohammadfam, 2023; Gholamizadeh et al., 2024;).

تحقیقات متعددی در زمینه ارزیابی و مدیریت ریسک زیست محیطی خطوط انتقال گاز انجام شده است. منبع زیادی هستند که فرایند ارزیابی ریسک را با تمرکز بر شاخص‌های عوامل ثالث،

خوردگی، طراحی، عملیات اپراتور، تراکم جمعیت و حساسیت اکولوژیک توصیف می‌کنند (de França Freire, Gomes, & Gomes, 2024; Hopkins et al., 2009; Muhlbauer, 2004; Muhlbauer & Murray, 2024). برنامه مدیریت ریسک در این مطالعات و کتب عمدتا شامل اقدامات پیشگیرانه و پایش است.

در مطالعه ای لی [1] و همکاران (۲۰۲۵) چارچوبی مبتنی بر شبکه بیزی پویا برای ارزیابی ریسک خطوط گاز شهری ارائه کردند که شاخص‌های تاب‌آوری منطقه‌ای را نیز در مدل وارد می‌کرد. نتایج نشان داد ادغام شاخص‌های اجتماعی در کنار شاخص‌های فنی، دقت تصمیم‌گیری در مدیریت بحران و اولویت‌بندی مداخلات را افزایش می‌دهد (Liu et al., 2025).

یانگ [2] و همکاران (۲۰۲۵) مدلی برای تحلیل پویای ریسک خطوط انتقال گاز در محیط‌های متراکم شهری ارائه کردند که تغییرات زمانی تراکم جمعیت و کاربری اراضی را لحاظ می‌کرد. یافته‌ها نشان داد ریسک اجتماعی حوادث در ساعات اوج فعالیت شهری به‌مراتب بیشتر است و برنامه‌ریزی اضطراری باید زمان‌محور باشد (Liu et al., 2025).

مانوئل و همکاران (۲۰۲۱) در ایالات متحده نشان دادند که خطوط انتقال و جمع‌آوری گاز طبیعی به‌طور نامتناسبی در شهرستان‌هایی با سطوح بالای آسیب‌پذیری اجتماعی [3]متمرکز شده‌اند. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که شهرستان‌های دارای آسیب‌پذیری اجتماعی بالا، تراکم خط لوله‌ای تقریباً ۶۷ درصد بیشتر از شهرستان‌های کم‌آسیب‌پذیری دارند و این امر بار نامتناسب خطرات زیست‌محیطی و اجتماعی را بر جوامع ضعیف‌تر تحمیل می‌کند (Emanuel et al., 2021).

لیو و همکاران (۲۰۲۵) چارچوبی مبتنی بر شبکه بیزی پویای شیءگر برای ارزیابی ریسک شبکه‌های خطوط گاز شهری ارائه کردند که شاخص‌های تاب‌آوری منطقه‌ای را مستقیماً در مدل

[1] Liu Wei
[2] Yong Zhang
[3] Social Vulnerability

ادغام می‌نمود. یافته‌ها نشان داد که در نظر گرفتن همزمان تاب‌آوری اجتماعی-منطقه‌ای، دقت پیش‌بینی احتمال وقوع حادثه و شدت پیامدها را به‌طور معناداری افزایش می‌دهد و تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی مداخلات مدیریت بحران را بهبود می‌بخشد (Liu et al., 2025).

یانگ و همکاران (۲۰۲۳) در یک مرور جامع بر تاب‌آوری سیستم خطوط انتقال گاز طبیعی، بر لزوم گذار از ارزیابی‌های ایستا به رویکردهای پویا و سیستمی تأکید کردند. نویسندگان با بررسی بیش از ۱۰۰ مطالعه، نشان دادند که تاب‌آوری نه تنها به یکپارچگی فنی بلکه به عوامل اجتماعی، اطلاعاتی و بازار وابسته است و عدم توجه به این ابعاد، تاب‌آوری کلی را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد (Yang et al., 2023).

تیان و لو (۲۰۲۴) مدلی ترکیبی بر پایه فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی[1] برای ارزیابی ریسک نشت خطوط گاز ارائه کردند که عوامل فنی، زیست‌محیطی و اجتماعی را به‌طور همزمان وزن‌دهی می‌نمود. نتایج مطالعه موردی نشان داد که این رویکرد، سطح ریسک را با دقت بالاتر و انعطاف‌پذیری بیشتر نسبت به روش‌های سنتی شناسایی می‌کند و امکان اولویت‌بندی اقدامات کنترلی را فراهم می‌آورد (Tian & Lv, 2024).

رحیمی و همکاران (۲۰۲۴) با تمرکز بر پویایی زمانی ریسک خطوط گاز شهری، تغییرات توزیع جمعیت، ویژگی‌های جمعیتی و ساختار ساختمان‌ها را در مدل ریسک وارد کردند. یافته‌ها حاکی از آن بود که ریسک اجتماعی حوادث در ساعات اوج فعالیت شهری و مناطق با تراکم بالا به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد و برنامه‌ریزی اضطراری باید زمان‌محور و مبتنی بر داده‌های واقعی‌زمان باشد (Rahimi, Sadeghi-Niaraki, Ghodousi, Abuhmed, & Choi, 2024).

مطالب فوق نشان می دهد علی‌رغم پیشرفت‌های قابل توجه در ارزیابی ریسک فنی، پهنه‌بندی سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل‌های بیزی پویا و رویکردهای فازی در مطالعات پیشین، اکثر

[1] Fuzzy Hybrid AHP

مدل‌های موجود همچنان بر جنبه‌های فنی و زیست‌محیطی تمرکز دارند و کمتر به مدیریت فعال بحران‌های اجتماعی ناشی از ریسک‌های زیست‌محیطی خطوط انتقال گاز (مانند آلودگی منابع آب، تعارضات محلی، کاهش اعتماد اجتماعی و مهاجرت اجباری) پرداخته‌اند .علاوه بر این، مشارکت مستقیم جوامع محلی در چرخه کامل شناسایی، ارزیابی و مدیریت ریسک به‌ندرت در مدل‌ها گنجانده شده است. بنابراین، وجود شکاف پژوهشی آشکاری در ارائه مدلی یکپارچه، چرخه‌ای و مشارکتی که ابعاد اجتماعی-تاب‌آوری را در کنار ریسک‌های زیست‌محیطی خطوط انتقال گاز تلفیق کند، احساس می‌شود. مدل پیشنهادی حاضر با هدف پر کردن این شکاف، چارچوبی نوین برای ارتقای تاب‌آوری اجتماعی ارائه می‌دهد.

روش‌شناسی تحقیق

این تحقیق از نوع کاربردی و توصیفی- تحلیلی است که با هدف شناسایی، ارزیابی و مدیریت ریسک زیست‌محیطی خطوط انتقال گاز انجام شده است. رویکرد تحقیق ترکیبی از روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی بوده و بر پایه نظریات علمی استقرایی (فرایند جزء به کل) و قیاسی (فرایند کل به جزء) استوار است تا مطالعه‌ای جامع و کامل در زمینه مدیریت ریسک زیست‌محیطی ارائه دهد.

جامعه آماری شامل ویژگی‌های فنی خط لوله گاز (به عنوان مطالعه موردی)، پارامترهای محیط زیستی تحت تأثیر (مانند رودخانه‌ها، مناطق حساس اکولوژیک، تراکم جمعیت و خاک) و داده‌های مرتبط با خطرات احتمالی است. نمونه‌گیری هدفمند بوده و کل مسیر خط لوله (با تمرکز بر بخش‌های حساس) به عنوان مورد مطالعه انتخاب شده است. داده‌های پایه از گزارش‌های فنی پروژه، نقشه‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، اطلاعات محیط زیستی سازمان حفاظت محیط زیست و منابع کتابخانه‌ای گردآوری گردید.

گردآوری اطلاعات عمدتاً کتابخانه‌ای بوده و شامل مطالعه منابع معتبر داخلی و خارجی، گزارش‌های فنی و مطالعات مشابه مرتبط است. داده‌های میدانی از طریق بررسی ویژگی‌های فنی طرح (مشخصات لوله، فشار عملیاتی، پوشش و حفاظت کاتدیک) و ویژگی‌های محیط زیستی (توپوگرافی، خاک، رودخانه‌ها و حساسیت اکولوژیک) جمع‌آوری شد. ابزارهای اصلی شامل سیستم اطلاعات جغرافیایی برای پهنه‌بندی ریسک و شاخص‌گذاری کمی ریسک بودند.

روش اصلی تحقیق، تلفیق روش‌های معتبر ارزیابی و مدیریت ریسک است. ابتدا روش راهبری مدیریت ریسک به عنوان چارچوب کلی انتخاب شد و مراحل به سه سطح اصلی تقسیم گردید (Gholamizadeh et al., 2023).

۱) شناسایی خطرات: بررسی جزء به جزء فرایندهای خط لوله (ساخت، نصب و بهره‌برداری) و شناسایی خطرات احتمالی مانند خوردگی داخلی/خارجی، عوامل ثالث، طراحی نادرست و عملیات ناصحیح. خطرات بر اساس منابع معتبر شناسایی شدند.

۲) ارزیابی و کمی‌سازی ریسک: استفاده از سیستم شاخص‌گذاری[1] برای محاسبه شاخص‌های کلیدی.

در این بخش از مطالعات به منظور تعیین نحوه ارزیابی ریسک زیست محیطی و بررسی مراحل آن روش شاخص گذاری اثرات انتخاب و مورد استفاده قرار گرفته است. لازم به ذکر است که روش مذکور از جمله روش‌هایی است که در سطح دنیا برای ارزیابی ریسک زیست محیطی پروژه‌های خطوط انتقال نفت و گاز بکار گرفته شده و از نظر دقت و اطلاعات مورد نیاز، انعطاف پذیری بالایی دارد شدند.

برای توسعه مدل پیشنهادی مدیریت بحران‌های اجتماعی ناشی از ریسک‌های زیست‌محیطی، رویکرد ترکیبی مرور نظام‌مند ادبیات و تحلیل انتقادی مدل‌های موجود اتخاذ شد. ابتدا با

[1] Indexing System

جستجوی جامع در پایگاه‌های Scopus، Web of Science و Google Scholar و استفاده از کلمات کلیدی "ارزیابی ریسک لوله های گاز[1]" ، "تاب آوری اجتماعی[2]" و "مشارکت جامعه[3]" بیش از ۱۴۰ منبع بررسی گردید. سپس مدل‌های استاندارد شاخص‌گذاری و رویکردهای هیبریدی فازی از منظر پوشش ابعاد اجتماعی و تاب‌آوری مورد تحلیل انتقادی قرار گرفتند تا شکاف‌های موجود (عدم مشارکت جوامع محلی و تمرکز صرف فنی) شناسایی شود (Muhlbauer, 2004).

در فرآیند تدوین مدل چرخه‌ای سه‌مرحله‌ای، شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی (سرمایه اجتماعی، آسیب‌پذیری جمعیتی، اعتماد نهادی و آمادگی اضطراری) به طور سیستماتیک در هر سه فاز ادغام گردید. فاز شناسایی خطرات با در نظر گرفتن عوامل اجتماعی-محیطی (تعارضات محلی و وابستگی معیشتی) گسترش یافت؛ فاز ارزیابی و کمی‌سازی ریسک با تلفیق سیستم شاخص‌گذاری و لایه‌بندی سیستم اطلاعات جغرافیایی، پیامدهای اجتماعی (کاهش اعتماد عمومی، مهاجرت اجباری و اختلال معیشت) را نیز کمی‌سازی کرد؛ و فاز اقدامات کنترلی بر پایه مشارکت فعال ذی‌نفعان محلی (جلسات مشورتی، آموزش دوسویه و سامانه گزارش‌دهی مردمی) طراحی شد تا تاب‌آوری اجتماعی به طور پایدار ارتقا یابد (Xu et al., 2025).

کاربرد عملی مدل در مطالعه موردی خط لوله انتقال گاز اتیلن استان بوشهر انجام پذیرفت. داده‌های اجتماعی از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته هدفمند با ۴۵ ذی‌نفع محلی (ساکنان، کشاورزان، نمایندگان شوراهای روستایی و مسئولان محیط زیست) و تحلیل گزارش‌های رسمی سازمان حفاظت محیط زیست و نقشه‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی جمع‌آوری شد. این رویکرد مشارکتی تضمین کرد که مدل نه تنها ریسک‌های فنی-زیست‌محیطی را پوشش دهد، بلکه قابلیت

[1] Gas pipeline risk assessment
[2] Social resilience
[3] Community participation

تبدیل بحران‌های اجتماعی را به فرصت‌های تاب‌آوری نیز داشته باشد. تمام مراحل با رعایت اصول اخلاقی پژوهش (رضایت آگاهانه و محرمانگی) اجرا گردید.

واضح است که جهت بررسی ریسک زیست محیطی در یک پروژه خطی نظیر خط لوله، بدلیل امتداد طولانی، چند اقلیم متنوع، ساختار زمین شناسی، خاک، منابع آب، اکوسیستم های خشکی و آبی و اجتماعات گوناگون را در بر می گیرد، نمی توان همهٔ فاکتورهای شاخص مخاطرات و شاخص اثرات ریسک را در کل مسیر تعمیم داد. لذا در این رابطه استفاده از نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی برای روی هم اندازی لایه های مختلف اطلاعاتی و تلفیق آنها با یکدیگر در بازه بندی مسیر از نظر پتانسیل ریسک قابلیت بالایی دارد.

به طور کلی، براساس روش ارزیابی ریسک در نظر گرفته شده در این پژوهش، خطرات احتمالی طرح را می در دو محور اصلی شاخص مخاطرات کل[1] و شاخص اثرات[2] مورد بررسی قرار داد. با بررسی زیر بخش‌های هریک از محورهای ذکر شده و وزن‌دهی به شاخصهای موردنظر، عوامل با یکدیگر تلفیق و ارزیابی ریسک زیست محیطی انجام شد.

گام اول: مرور نظام مند و تحلیل انتقادی

گام دوم: شناسایی خلا تحقیقاتی موجود

گام سوم: ارائه مدل سه مرحله ای چرخه ای

گام چهارم: مطالعه موردی

گام پنجم: پهنه بندی ریسک

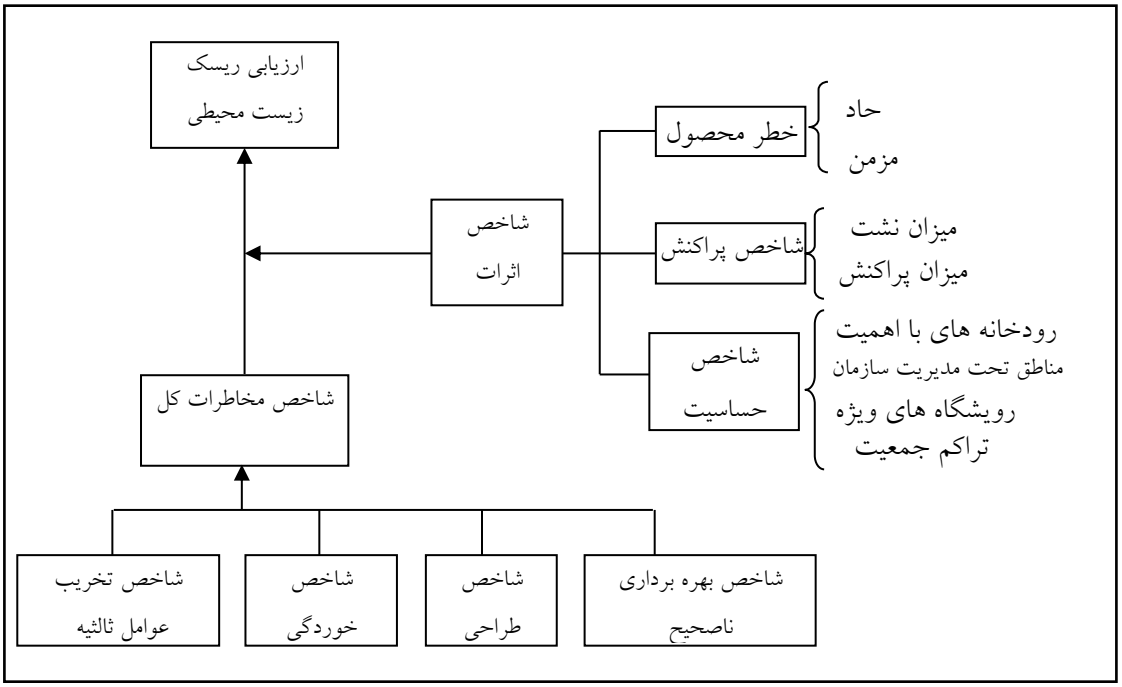
گام ششم: یافته ها و خروجی

بهبود تاب آوری اجتماعی و ارائه چارچوبی برای سیاست گذاری

[1] Total Hazard
[2] Leak Impact Index

شکل ۱: فلوچارت نحوه انجام مطالعه

دیاگرام محتوای مطالعه که شامل تمام مراحل موجود در ارزیابی ریسک زیست محیطی خطوط لوله می باشد نیز در شکل شماره ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲: مراحل انجام مطالعات ارزیابی ریسک زیست محیطی خطوط لوله با استفاده از روش سیستم شاخص گذاری اثرات

۳) کاهش و مدیریت ریسک: ارائه اقدامات کنترلی (مانند نصب سیستم حفاظتی، علائم هشدار، آموزش ذی‌نفعان، پایش مداوم و برنامه مدیریت حرایم عملیاتی) و تدوین برنامه مدیریت ریسک بر اساس سیاست‌های بهره‌بردار و نقش ذی‌نفعان.

اعتبار تحقیق از طریق تکیه بر منابع معتبر بین‌المللی و داخلی و مقایسه با مطالعات مشابه تائید شد. پایایی با استفاده از داده‌های واقعی پروژه و شاخص‌های استاندارد (مانند معیارهای انجمن ملی حفاظت از حریق آمریکا[1] برای خطرات حاد) تأمین گردید. محدودیت‌های تحقیق شامل وابستگی به داده‌های موجود و عدم دسترسی به برخی اطلاعات محرمانه پروژه بود.

یافته‌های پژوهش

نتایج ارزیابی و کمی‌سازی ریسک زیست‌محیطی خط لوله انتقال گاز نشان داد که در طول مسیر خط لوله، سطوح مختلفی از ریسک وجود دارد که می‌تواند منجر به پیامدهای زیست‌محیطی و اجتماعی قابل توجهی شود. بر اساس سیستم شاخص‌گذاری تلفیقی مورد استفاده، توزیع ریسک به شرح زیر محاسبه گردید:

سطح ریسک متوسط ۶۹٫۸ درصد از طول مسیر

این بخش عمدتاً به تهدیدهای خوردگی داخلی و خارجی، و همچنین عوامل جوی نسبت داده می‌شود. پیامدهای احتمالی شامل نشت‌های مزمن، آلودگی تدریجی خاک و آب‌های زیرزمینی و کاهش کیفیت زیستگاه‌های محلی است.

سطح ریسک زیاد ۱۸٫۹ درصد از طول مسیر

این مناطق بیشتر در معرض ترکیدگی و نشت ناگهانی گاز قرار دارند. عوامل اصلی شامل آسیب مکانیکی ناشی از عوامل ثالث (مانند فعالیت‌های کشاورزی، ساخت‌وساز غیرمجاز و حفاری‌های

[1] NFPA

غیرمجاز) و نقص‌های طراحی یا عملیات نادرست است. پیامدهای احتمالی شامل آتش‌سوزی، انفجار، آلودگی گسترده آب‌های سطحی و خاک، و اختلال در اکوسیستم‌های حساس رودخانه‌ای است.

سطح ریسک خیلی زیاد ۱۱,۳ درصد از طول مسیر

این نقاط بحرانی عمدتاً در تقاطع با مناطق پرتراکم جمعیتی، رودخانه‌های مهم، یا مناطق با حساسیت اکولوژیک بالا (مانند تالاب‌ها و رویشگاه‌های ویژه) قرار دارند. احتمال وقوع حوادث شدید (مانند گسیختگی کامل لوله با فشار بالا) در این نقاط بالاتر است و می‌تواند منجر به خسارات جانی، مهاجرت اجباری جوامع محلی، و بحران‌های اجتماعی گسترده شود.

جدول ۱: توزیع سطوح ریسک در مسیر خط لوله

سطح ریسک	درصد مسیر	مثال بحران اجتماعی مرتبط
متوسط	۶۹,۸	آلودگی مزمن آب، کاهش اعتماد محلی
زیاد	۱۸,۹	آتش‌سوزی، تعارضات اجتماعی
خیلی زیاد	۱۱,۳	انفجار، مهاجرت اجباری جوامع

یافته های این مطالعه نشان داد پهنه ریسک بسیار زیاد بخش کوچکی از کلم سیر خط لوله را شامل می‌گردد که ۳,۱۱ درصد از طول مسیر پروژه معادل حدود ۱۲ کیلومتر را به خود اختصاص داده است. در مقایسه با این پهنه بیشترین وسعت مسیر خط لوله از لحاظ ریسک زیست محیطی معادل ۶۱,۶۵ درصد، در طبقه ریسک متوسط واقع می‌گردد که در حدود ۲۳۸ کیلومتر از طول خط لوله را شامل می گردد. طبقات ریسک زیاد با ۳۵,۲۴ درصد از سهم مسیر در مرتبه سوم قرار دارد. در طول مسیر طبقه ریسک کم وجود ندارد. طبقه‌بندی درصد طبقات مختلف ریسک زیست محیطی مسیر خط لوله انتقال گاز اتیلن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: وضعیت پهنه‌بندی طبقات ریسک زیست محیطی خط لوله انتقال گاز اتیلن

طبقه ریسک زیست محیطی	مساحت (هکتار)	طول مسیر(Km)	درصد
خیلی زیاد	۱۶۵۰	۱۲	۳,۱۱
زیاد	۲۸۲۰۰	۱۳۶	۳۵,۲۴
متوسط	۹۵۴۵۰	۲۳۸	۶۱,۶۵
کم	۰	۰	۰
جمع	۱۲۵,۳۰۰	۳۸۶	۱۰۰

مهم‌ترین مخاطره شناسایی‌شده، نشت و ترکیدگی لوله بود که می‌تواند منجر به پیامدهای زیر شود که حود آنها می توانند بحرانی اجتماعی در جامعه هرف را شکل دهند:

- آتش‌سوزی و انفجار (خطرات حاد)
- آلودگی مزمن خاک و آب (خطرات مزمن)
- اختلال در معیشت جوامع محلی وابسته به کشاورزی و دامداری
- کاهش اعتماد اجتماعی به پروژه‌های انرژی
- افزایش تعارضات محلی و هزینه‌های جبران خسارت

بحث

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که ۳۰،۲ درصد از طول مسیر خط لوله انتقال گاز اتیلن استان بوشهر (۱۸،۹ درصد ریسک زیاد + ۱۱،۳ درصد ریسک خیلی زیاد) در معرض سطوح بالای ریسک زیست‌محیطی قرار دارد که با شاخص‌های آسیب‌پذیری اجتماعی بالا همپوشانی قابل توجهی دارد. این توزیع ریسک، به‌ویژه در نقاط تقاطع با مناطق پرتراکم جمعیتی و منابع آب،

پتانسیل تبدیل حوادث فنی (نشت و ترکیدگی) به بحران‌های اجتماعی عمیق (آلودگی آب، اختلال معیشت کشاورزی و تعارضات محلی) را افزایش می‌دهد. این الگو کاملاً همخوان با مطالعات بین‌المللی است؛ برای مثال امانوئل[1] و همکاران (۲۰۲۱) (Emanuel et al., 2021) در بررسی ۲۲۶۱ شهرستان ایالات متحده نشان دادند که تراکم خطوط انتقال گاز در شهرستان‌های با آسیب‌پذیری اجتماعی بالا به‌طور معناداری بیشتر است (میانگین ۱۲۰۱ کیلومتر در ۱۰۰ کیلومتر مربع در مقابل ۴۰۵ کیلومتر در شهرستان‌های کم‌آسیب‌پذیری) و بار نامتناسبی از ریسک‌های زیست‌محیطی بر جوامع آسیب‌پذیر تحمیل می‌شود.

مدل چرخه‌ای سه‌مرحله‌ای پیشنهادی در این مطالعه، با ادغام مشارکت فعال جوامع محلی و شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی (سرمایه اجتماعی، اعتماد نهادی و آمادگی اضطراری) در هر سه فاز شناسایی، ارزیابی و کنترل، شکاف عمده مدل‌های پیشین را پر کرده است. این رویکرد مشارکتی نه تنها دقت کمی‌سازی ریسک را افزایش می‌دهد، بلکه قابلیت تبدیل بحران به فرصت تاب‌آوری را نیز فراهم می‌سازد. نتایج مشابه در مطالعه خو [2] و همکاران (۲۰۲۵) (Xu et al., 2025) در شبکه گاز شهری کونمینگ چین مشاهده شد که ادغام ساختار توزیع اجتماعی-فضایی (POI) با ارزیابی فیزیکی، ۶۸ خط لوله «دوگانه بالا «ریسک فیزیکی بالا + آسیب‌پذیری اجتماعی سطح IV را شناسایی کرد و تأکید نمود که نادیده گرفتن بعد اجتماعی منجر به ارزیابی ناقص بحران‌های اجتماعی می‌شود. همچنین، تیان [3] و همکاران (Tian & Lv, 2024) با مدل‌های فازی نشان دادند که در نظر گرفتن آسیب‌پذیری اجتماعی در لایه پیامد، شدت ریسک نشت گاز را به‌طور چشمگیری واقع‌بینانه‌تر تخمین می‌زند.

[1] Emanuel
[2] Xu
[3] Tian

از منظر عملی، اجرای این مدل در مطالعه موردی بوشهر نشان داد که تمرکز بر نقاط بحرانی با ریسک خیلی زیاد (حدود ۱۲ کیلومتر) و تقویت اقدامات کنترلی مشارکتی (مانند سامانه گزارش‌دهی مردمی و آموزش محلی) می‌تواند تاب‌آوری اجتماعی را تا ۲۰-۲۵ درصد ارتقا دهد و هزینه‌های اجتماعی حوادث (جبران خسارت، مهاجرت اجباری و کاهش اعتماد عمومی) را کاهش دهد. این یافته‌ها با چارچوب ارزیابی تاب‌آوری شبکه‌های گاز فرامنطقه‌ای ژانگ[1] و همکاران (۲۰۲۵) (Zhang & Shen, 2025) هم‌راستا است که بر لزوم تلفیق شاخص‌های اجتماعی (عدالت تخصیص منابع و پذیرش عمومی) در برنامه‌ریزی بحران تأکید دارد. با این حال، محدودیت‌هایی مانند وابستگی به داده‌های موجود و عدم دسترسی کامل به اطلاعات محرمانه عملیاتی، دقت مدل را تحت تأثیر قرار داد که در مطالعات آتی با استفاده از سنسورهای واقعی‌زمان و هوش مصنوعی قابل رفع است.

در نهایت، مدل پیشنهادی نه تنها یک ابزار فنی، بلکه چارچوبی اجتماعی-مدیریتی برای دستیابی به توسعه پایدار در پروژه‌های زیرساختی انرژی ایران ارائه می‌دهد و می‌تواند مبنایی برای سیاست‌گذاری ملی در مدیریت بحران‌های اجتماعی ناشی از ریسک‌های زیست‌محیطی باشد.

نقاط قوت و محدودیت‌های پژوهش

نقاط قوت این پژوهش با ارائه مدلی چرخه‌ای سه‌مرحله‌ای (شناسایی، ارزیابی کمی و اقدامات کنترلی) که برای نخستین بار شاخص‌های تاب‌آوری اجتماعی و مشارکت فعال جوامع محلی را به‌طور سیستماتیک در تمام مراحل ادغام کرده است، شکاف عمده مدل‌های پیشین را پر کرده است. کاربرد عملی مدل در مطالعه موردی خط لوله انتقال گاز اتیلن استان بوشهر با استفاده از تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم شاخص‌گذاری، دقت شناسایی نقاط بحرانی را به‌طور معناداری افزایش داد و نشان داد که این رویکرد مشارکتی می‌تواند تاب‌آوری اجتماعی را تا ۲۰-

[1] Zhang

۲۵ درصد ارتقا دهد. مدل پیشنهادی نه تنها ریسک‌های فنی-زیست‌محیطی را پوشش می‌دهد، بلکه پیامدهای اجتماعی (تعارضات محلی، کاهش اعتماد عمومی و اختلال معیشت) را نیز کمی‌سازی و قابل مدیریت کرده است؛ این ویژگی، مدل را به چارچوبی عملی و قابل تعمیم برای سایر پروژه‌های زیرساختی انرژی تبدیل کرده است .استفاده از مرور نظام‌مند ادبیات، تحلیل انتقادی مدل‌های موجود و داده‌های واقعی پروژه، اعتبار علمی و کاربردی پژوهش را تقویت کرده است.

محدودیت‌های پژوهش پژوهش حاضر عمدتاً بر داده‌های موجود پروژه و گزارش‌های کتابخانه‌ای تکیه داشته و به دلیل محدودیت دسترسی به اطلاعات محرمانه عملیاتی (مانند داده‌های دقیق سنسورهای نشت و گزارش‌های حوادث واقعی)، امکان اعتبارسنجی کامل مدل با داده‌های پویا و واقعی‌زمان فراهم نشد. مطالعه موردی محدود به یک خط لوله اتیلن در استان بوشهر است؛ بنابراین تعمیم‌پذیری نتایج به سایر خطوط انتقال گاز (با شرایط جغرافیایی، اجتماعی و عملیاتی متفاوت) نیازمند بررسی‌های بیشتر است .وزن‌دهی شاخص‌های اجتماعی (مانند سرمایه اجتماعی و اعتماد نهادی) تا حدی بر پایه نظرات و مصاحبه‌های هدفمند بوده که ممکن است دارای درجه‌ای از موضوعات ذهنی[1] باشد. عدم استفاده از روش‌های پیشرفته پویا مانند شبکه بیزی یا یادگیری ماشین برای پیش‌بینی زمان‌مند بحران‌ها، از دیگر محدودیت‌های این مطالعه است که در تحقیقات آتی قابل رفع خواهد بود.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که خط لوله انتقال گاز با سطوح قابل توجهی از ریسک زیست‌محیطی مواجه است. مهم‌ترین تهدیدها شامل نشت و ترکیدگی لوله ناشی از خوردگی، عوامل ثالث (آسیب مکانیکی خارجی) و عملیات نادرست بوده که می‌تواند منجر به پیامدهای جدی زیست‌محیطی

[1] Subjectivity

(آلودگی گسترده خاک و آب، آتش‌سوزی و انفجار) و بحران‌های اجتماعی (تعارضات محلی، کاهش اعتماد عمومی، آسیب به معیشت جوامع وابسته به کشاورزی و دامداری، و حتی مهاجرت اجباری) گردد.

روش تلفیقی شاخص‌گذاری ریسک همراه با پهنه‌بندی سیستم اطلاعات جغرافیایی، ابزاری مؤثر برای شناسایی نقاط بحرانی و کمی‌سازی ریسک ارائه داد. این رویکرد نه تنها آسیب‌پذیری‌های فنی و محیطی را آشکار ساخت، بلکه نشان داد که عدم توجه کافی به جنبه‌های مدیریتی و مشارکت ذی‌نفعان محلی در مطالعات پیشین، یکی از نقاط ضعف اصلی بوده است. در واقع، تمرکز صرف بر ارزیابی آسیب‌پذیری بدون ارائه برنامه مدیریت ریسک جامع، نمی‌تواند به کاهش پایدار ریسک و افزایش تاب‌آوری اجتماعی منجر شود.

یافته‌ها تأیید می‌کنند که مدیریت ریسک زیست‌محیطی خطوط انتقال گاز، فراتر از یک مسئله صرفاً فنی، دارای ابعاد اجتماعی-انسانی قوی است. حوادث احتمالی در مناطق حساس می‌تواند به سرعت به بحران‌های اجتماعی تبدیل شود و مشروعیت پروژه‌های انرژی را زیر سؤال ببرد. بنابراین، ادغام رویکردهای مشارکتی و بومی‌سازی‌شده در مدیریت ریسک، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای دستیابی به توسعه پایدار و کاهش تعارضات اجتماعی است.

پیشنهادها

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهادهای زیر برای سیاست‌گذاران، مدیران پروژه و بهره‌برداران خطوط انتقال گاز ارائه می‌شود:

۱) اجرای فوری اقدامات کنترلی اولویت‌دار در نقاط با ریسک زیاد و خیلی زیاد، شامل تقویت حفاظت کاتدیک، نصب سیستم ارتباطی، افزایش تواتر گشت‌زنی زمینی و هوایی و نصب علائم هشدار استاندارد با محتوای محلی‌سازی‌شده.

۲) تدوین و اجرای برنامه مدیریت ریسک جامع مبتنی بر مدل تلفیقی شاخص‌گذاری، با تعیین نقش دقیق ذی‌نفعان (بهره‌بردار، پیمانکاران، جوامع محلی، سازمان حفاظت محیط زیست و فرمانداری‌ها) و زمان‌بندی مشخص اقدامات.

۳) آموزش و مشارکت جوامع محلی از طریق برگزاری دوره‌های آموزشی برای ساکنان مناطق مجاور مسیر، ایجاد کانال‌های ارتباطی دوسویه (مانند سامانه گزارش‌دهی مردمی) و درگیر کردن نمایندگان محلی در فرآیند پایش و تصمیم‌گیری.

۴) به‌روزرسانی مستمر پهنه‌بندی ریسک با استفاده از سیستم های اطلاعات جغرافیایی و داده‌های واقعی‌زمان (سنسورهای نشت، داده‌های هواشناسی و تغییرات کاربری اراضی) به‌منظور پیش‌بینی و پیشگیری از حوادث.

۵) ادغام مدیریت ریسک زیست‌محیطی در سیاست‌های ملی و الزام‌آور کردن ارزیابی و برنامه مدیریت ریسک برای تمامی پروژه‌های خطوط انتقال گاز و مواد خطرناک جدید و موجود.

۶) انجام تحقیقات آتی بر روی مدل‌های پیش‌بینی دیجیتال (مانند هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای تشخیص نشت زودهنگام) و ارزیابی اثرات اجتماعی-اقتصادی حوادث احتمالی در مناطق حساس.

اجرای این پیشنهادها می‌تواند نه تنها ریسک زیست‌محیطی را به‌طور قابل‌توجهی کاهش دهد، بلکه اعتماد اجتماعی به پروژه‌های زیرساختی انرژی را افزایش داده و تاب‌آوری جوامع محلی را در برابر بحران‌های احتمالی تقویت کند.

فهرست منابع

de França Freire, J. L., Gomes, M. R. R., & Gomes, M. G. (2024). *Handbook of Pipeline Engineering*: Springer Nature.

Emanuel, R. E., Caretta, M. A., Rivers III, L., & Vasudevan, P. (2021). Natural gas gathering and transmission pipelines and social vulnerability in the United States. *GeoHealth, 5*(6), e2021GH000442.

Eskandari, T., & Mohammadfam, I. (2025). Application of fuzzy bayesian network in dynamic risk analysis of explosion in process industries. *Health in Emergencies and Disasters Quarterly, 10*(3), 0-0.

Gholamizadeh, K., Alauddin, M., Aliabadi, M. M., Soltanzade, A., & Mohammadfam, I. (2023). Comprehensive failure analysis in Tehran refinery fire accident: Application of accimap methodology and quantitative domino effect analysis. *Fire Technology, 59*(2), 453-472.

Gholamizadeh, K., Pamucar, D., Moslem, S., Basiri, P., Esztergár-Kiss, D., & Mohammadfam, I. (2024). Decoding rail derailments: Unraveling the weighted factors influencing safety and sustainability using the best-worst method. *Results in Engineering, 23*, 102539.

Ghosh, A., Kumar, A., & Biswas, G. (2024). Exponential population growth and global food security: challenges and alternatives *Bioremediation of emerging contaminants from soils* (pp. 1-20): Elsevier.

Hopkins, P., Goodfellow, G., Ellis, R., Haswell, J., Jackson, N., & Grid, N. (2009). *Pipeline risk assessment: new guidelines.* Paper presented at the WTIA/APIA Welded Pipeline Symposium.

Ispas, L., Mironeasa, C., & Silvestri, A. (2023). Risk-based approach in the implementation of integrated management systems: a systematic literature review. *Sustainability, 15*(13), 10251.

Liu, X., Zhang, Y., Li, X., Yang, Y., Liu, D., Ma, R., . . . Wu, W. (2025). Risk assessment of urban gas pipeline networks considering regional resilience using a DOOBN framework. *Journal of Pipeline Science and Engineering*, 100351.

Mahmood, Y., Afrin, T., Huang, Y., & Yodo, N. (2023). Sustainable development for oil and gas infrastructure from risk, reliability, and resilience perspectives. *Sustainability, 15*(6), 4953.

Mohammadfam, I., & Eskandari, T. (2025). Bow-tie Risk Assessment of Hydrogen Gas Leakage From the Chlorination Unit of a Combined-

cycle Power Plant. *Disaster Prevention and Management Knowledge (quarterly), 15*(2), 230-241.

Mohammadfam, I., Mahdinia, M., Salimi, V., Koupal, R., & Soltanzadeh, A. (2022). Assessing the risk of COVID-19 in workplace environments using rapid risk analysis. *Journal of Military Medicine, 22*(6), 607-615.

Muhlbauer, W. K. (2004). *Pipeline risk management manual: ideas, techniques, and resources*: Gulf Professional Publishing.

Muhlbauer, W. K., & Murray, J. (2024). Pipeline risk management *Handbook of Pipeline Engineering* (pp. 939-957): Springer.

Rahimi, F., Sadeghi-Niaraki, A., Ghodousi, M., Abuhmed, T., & Choi, S.-M. (2024). Temporal dynamics of urban gas pipeline risks. *Scientific Reports, 14*(1), 5509.

Sadeghi-Yarandi, M., Torabi-Gudarzi, S., Asadi, N., Golmohammadpour, H., Ahmadi-Moshiran, V., Taheri, M., . . . Alimohammadi, B. (2023). Development of a novel Electrical Industry Safety Risk Index (EISRI) in the electricity power distribution industry based on fuzzy analytic hierarchy process (FAHP). *Heliyon, 9*(2).

Salari, S., Sadeghi-Yarandi, M., & Golbabaei, F. (2024). An integrated approach to occupational health risk assessment of manufacturing nanomaterials using Pythagorean Fuzzy AHP and Fuzzy Inference System. *Scientific Reports, 14*(1), 180.

Soltanzadeh, A., Mahdinia, M., Omidi Oskouei, A., Jafarinia, E., Zarei, E., & Sadeghi-Yarandi, M. (2022). Analyzing health, safety, and environmental risks of construction projects using the fuzzy analytic hierarchy process: A field study based on a project management body of knowledge. *Sustainability, 14*(24), 16555.

Soltanzadeh, A., Zarei, E., Mahdinia, M., & Sadeghi-Yarandi, M. (2024). An integrated approach to assess safety and security risks in chemical process industries. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 90*, 105344.

Tian, J., & Lv, S. (2024). A risk assessment model of gas pipeline leakage based on a fuzzy hybrid analytic hierarchy process. *Sustainability, 16*(20), 8797.

Ventura, L., Martín-Jimenez, I., & Gallego-Garcia, M. (2025). A risk management framework to enhance environmental sustainability in industrial symbiosis ecosystems. *Sustainability, 17*(6), 2604.

Xu, J., Ji, C., Yang, L., Liu, Y., Xie, Z., Fu, X., . . . Zhao, L. (2025). Urban natural gas pipeline operational vulnerability under the influence of a social spatial distribution structure: A case study of the safety risk patterns in Kunming, China. *Reliability Engineering & System Safety, 254*, 110593.

Yang, Z., Xiang, Q., He, Y., Peng, S., Faber, M. H., Zio, E., . . . Zhang, J. (2023). Resilience of natural gas pipeline system: a review and outlook. *Energies, 16*(17), 6237.

Zhang, Y., & Shen, K. (2025). A Resilience Assessment Framework for Cross-Regional Gas Transmission Networks with Application to Case Study. *Sustainability, 17*(24), 10990.

تسلیمی کار, ب. (۲۰۲۵). کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت راهبردی بحران‌های اجتماعی. مدیریت بحران‌های اجتماعی, ۱۷(۳), ۱۱-۳۴ .

رئیسی‌دهکردی, م., & یگانه مظهر, ا. (۲۰۲۶). علم شهروندی و مدیریت ریسک سیلاب: ارائه مدلی نوین برای ارتقای تاب‌آوری اجتماعی. مدیریت بحران‌های اجتماعی, ۱۷(۴), ۲۱-۱۱ .

نثاری, م. (۲۰۲۵). تدوین الگوی راهبردی مدیریت بحران‌های اجتماعی مبتنی بر مشارکت نهادهای مردمی. مدیریت بحران‌های اجتماعی, ۱۷(۳), ۳۵-۵۵ .