نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هفتم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۸

Vol.7, No.1, Spring 2019

۹۱-۱۰۵

مقاله پژوهشی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی نقشه برداری

این مقاله در نخستین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی به‌عنوان مقاله برگزیده انتخاب شده است که پس از تکمیل، داوری مجدد و اخذ پذیرش در این شماره از نشریه به چاپ می‌رسد.

برآورد ریسک خطوط انتقال گاز با استفاده از روش سامانه شاخص‌گذاری در محیط *GIS*

فریده رضایی نوده[1*]، محمد کریمی[2]، موسی جباری قره باغ[3]

۱- - دانشجوی کارشناسی ارشد *GIS*، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

۲- استادیار گروه *GIS*، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

۳- استادیار گروه ایمنی صنعتی، دانشکده سلامت، ایمنی و محیط زیست *(HSE)* دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۰۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۲۹

چکیده

رشد بی‌سابقه‌ی شهرها، سبب بالاتر رفتن میزان مصرف گاز و در نتیجه، افزایش تراکم شبکه‌ی خط لوله‌ی گاز شده است. با گسترش و متراکم‌تر شدن شبکه‌ی خط لوله، حوادث ناشی از نشت گاز نیز افزایش می‌یابد. بنابراین خطوط لوله عامل خطری برای محیط و جامعه‌ی پیرامون خود می‌باشند. برای برآورد ریسک خطوط لوله‌ی گاز معمولاً از روش سامانه شاخص‌گذاری استفاده می‌شود. این روش به برآورد ریسک با استفاده از دو شاخص مخاطرات کل و شاخص اثرات نشتی می‌پردازد. هریک از شاخص‌ها متشکل از چندین زیرشاخص است که نشان‌دهنده‌ی عوامل عمده‌ی بروز خرابی در شبکه‌ی خط لوله‌ی گاز می‌باشند. در این تحقیق، برای افزایش دقت مطالعات، سامانه شاخص‌گذاری با توانایی‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی*(GIS)* یکپارچه شده است. با به کارگیری تحلیل‌های مکانی موقعیت، وضعیت و نحوه‌ی تغییرات مکانی هر فاکتور را در مجاورت خط لوله بررسی شد. همچنین از سامانه اطلاعات جغرافیایی، به‌عنوان یک موتور محاسباتی برای تولید امتیاز برای هر شاخص استفاده شده است. مدل توسعه داده شده بر روی ۴۰ کیلومتر از خط لوله‌ی پنجم سراسری گاز ترش، ۷ کیلومتر از خط لوله ششم سراسری گاز شیرین و ۱۱ کیلومتر از خط لوله گاز شهری پیاده‌سازی شد. نتایج نشان می‌دهد که بالاترین بازه‌ی امتیاز ریسک نسبی در فاصله‌ی ۳۵۷-۱۷۸ و مربوط به خط لوله‌ی شماره‌ی ۱ می‌باشد که به‌دلیل کسب امتیاز مناسب از دیدگاه مخاطرات کلی احتمالی و پایین بودن خطرات اثرات نشت گاز در این خط می‌باشد. پایین‌ترین امتیاز ریسک نسبی مربوط به خط لوله‌ی شماره ۳ و در بازه‌ی ۱۱-۳ می‌باشد. قطر بالای این خط و فشار زیاد گاز درون خط لوله سبب افزایش مخاطرات نشت گاز سمی در محیط مجاور خط لوله شده‌اند که در این خصوص لازم است اقدامات کنترلی و پیشگیری مناسب در جهت کاهش ریسک صورت گیرد. پیاده‌سازی این تحقیق در محیط *GIS*، سبب افزایش دقت فرآیند برآورد ریسک شده است.

کلیدواژه‌ها: خط لوله گاز، شاخص مخاطرات کل، شاخص اثرات نشتی، ریسک نسبی، تحلیل‌های مکانی.

*نویسنده مکاتبه کننده: تهران، تقاطع ولیعصر و میرداماد، دانشکده عمران و نقشه برداری خواجه نصیرالدین طوسی، گروه *GIS*

تلفن: ۰۹۱۱۳۷۱۵۰۱۲

Email: faride.rezaee68@gmail.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]

۱- مقدمه

همزمان با رشد بی‌سابقه‌ی شهرها و توسعه‌ی صنعت، گاز یکی از پر مصرف‌ترین منابع انرژی گشته و در نتیجه شبکه‌ی خط لوله‌ی گاز متراکم‌تر شده است. با گسترش و متراکم‌تر شدن شبکه‌ی خط لوله، حوادث ناشی از نشت گاز نیز افزایش یافته، از این جهت در سال‌های اخیر مساله‌ی امنیت و ریسک خط لوله بسیار مورد توجه قرار گرفته است. اگر خط لوله دچار حادثه‌ای شود، پیامدهایی از قبیل آتش‌سوزی، انفجار و انتشار گازهای سمی را در پی خواهد داشت، که تهدیدی برای امنیت انسان‌ها، صنایع، زیرساخت‌ها، املاک و محیط زیست می‌باشند. واضح است که پیشگیری بهتر از درمان است. بنابراین، به‌منظور جلوگیری و کاهش خسارات ناشی از این گونه حوادث، ارائه یک روش تجزیه و تحلیل ریسک ضروری است. چنین روشی به شناسایی مناطق با احتمال وقوع حوادث گاز بالا و افراد تحت تاثیر این حوادث کمک می‌نماید [۱].

عموما ریسک به صورت احتمال ایجاد ضرر توسط یک رویداد و مقدار بالقوه‌ی آن ضرر، تعریف می‌شود [۲]. بر طبق این تعریف، ریسک زمانی افزایش می‌یابد که احتمال آن رویداد و یا میزان ضرر ناشی از آن، افزایش می‌یابد. در مدل‌سازی ریسک خط لوله، معمولاً دو دیدگاه برآورد ریسک در دو مرحله‌ی طراحی و بهره‌برداری خط لوله لحاظ می‌شود. در دیدگاه اول ارزیابی ریسک پایه و اساس علمی برنامه‌ریزی ایمن برای طراحی خط لوله‌ی جدید می‌باشد و هدف حفظ فاصله‌ی ایمنی بین خط لوله‌ی گاز و مناطق حساس، در جهت به حداقل رساندن میزان ریسک می‌باشد. در دیدگاه دوم، شبکه‌ی انتقال گاز یک زیرساخت درحال بهره‌برداری است که تغییر ساختار آن دشوار است. از طرفی مشخصات خط لوله و محیط اطراف در طی زمان در حال تغییر است، بنابراین بهره‌برداران باید درجهت پایش خطوط لوله اقدام کنند و نحوه‌ی تغییرات فاکتورهای تاثیرگذار در بروز سوانح خط لوله را، در گذر زمان بررسی نمایند [۳]. در این تحقیق دیدگاه دوم مورد توجه قرار گرفته است. در حال حاضر برای ارزیابی ریسک خطوط لوله‌ی گاز، دو روش کیفی و کمی بیشتر مورد توجه می‌باشد. روش کمی به برآورد ریسک با استفاده از شبیه‌سازی عددی، شامل محاسبات کمی احتمالات وقوع سوانح مختلف و پیامدهای آن‌ها می‌پردازد. نتایج این روش دقیق‌تر است ولی محاسبات مقادیر ریسک زمان‌برتر است. در روش کیفی مقدار عددی ریسک، با استفاده از یک سیستم شاخص مبتنی بر داده‌های اولیه‌ی خط لوله برآورد می‌شود. منظور از داده‌های اولیه، طول خط لوله، قطر، مداخلات خارجی، مشخصات گاز دورن خط لوله و غیره می‌باشد. خروجی این روش مقدار کیفی ریسک می‌باشد. این روش عوامل شکستگی بیشتری را مدنظر می‌گیرد و نیاز به داده‌های اولیه‌ی بیشتری نیز دارد [۴]. در این تحقیق روش کیفی مورد توجه قرار گرفته است. برای ارزیابی کیفی ریسک خطوط لوله، روش‌های متعددی از جمله فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[۵]، منطق فازی [۶ و ۷]، مدل درخت خطا[1] [۸] و تحلیل پوششی داده‌ها [۹] پیشنهاد شده است. با این حال، این روش‌ها بیشتر بر روی شناسایی عوامل نشت گاز متمرکز است و برای ارزیابی ریسک قابل استفاده نمی‌باشند.

مالبایر[2] در سال ۲۰۰۴ روش سامانه‌ی شاخص‌گذاری را برای برآورد ریسک خطوط لوله‌ی انتقال گاز ارائه نمود که خروجی آن نمره‌ی ریسک نسبی می‌باشد. در این روش، ابتدا پتانسیل شکستگی خط لوله در قالب دو فاکتور مخاطرات کل و فاکتور اثرات نشتی برآورد شده است. هر یک از فاکتورها دارای چندین زیرفاکتور می‌باشند که به هر کدام، یک مقدار عددی طبق نظر کارشناس نسبت داده می‌شود.

[1] FTM
[2] . Muhlbauer

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]

مقدار نهایی ریسک از تقسیم نمایه‌ی مخاطرات کل بر نمایه‌ی اثرات نشتی محاسبه می شود. ضعف این روش نمره‌دهی ذهنی توسط کارشناس خبره می‌باشد [۲]. هنسلد و همکارانش در سال ۲۰۰۵ یک روش ارزیابی ریسک خطوط پرفشار انتقال مایعات بر مبنای ماتریس ریسک ارائه نمودند که مطالعه انجام شده به دلیل محدودیت تعداد شاخص های در نظر گرفته شده از دقت بالایی برخوردار نمی باشد[۱۰]. امیرات و همکارانش در سال ۲۰۰۶ مطالعه ای بر روی خرابی خطوط لوله در گذر زمان انجام دادند که در این تحقیق فقط شاخص خوردگی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان می دهد که در طول ۱۰۰ سال بهره‌برداری از خط لوله ضخامت خط لوله تا نصف اندازه اولیه آن کاهش می یابد [۱۱].

تحقیقات بسیاری در زمینه بررسی فعالیت های شخص ثالث در مجاورت خط لوله انجام شده است که از اهم آن‌ها می توان به مطالعه تام باجکار و همکارانش و همچنین مطالعه یانگ دو در سال ۲۰۰۸ اشاره نمود که فعالیت های شخص ثالث را عامل افزایش ریسک برای جمعیت انسانی ساکن در اطراف خطوط لوله دانسته‌اند [۱۲ و ۱۳]. جباری و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۸ از روش نمایه‌سازی برای برآورد ریسک خطوط لوله‌ی کلر ماهشهر استفاده نمودند [۱۴] جمشیدی و همکارانش یک سیستم استنتاج فازی را برای برآورد ریسک خط لوله‌ی گاز، توسعه دادند. هدف آن‌ها، ارائه‌ی یک روش جدید بر اساس ترکیب روش‌های امتیاز خطر نسبی و سیستم استنتاج فازی، به‌منظور ایجاد یک مدل مطمئن و دقیق‌تر برای کنترل ریسک خط لوله می‌باشد [۷]. معتمد زاده و همکارانش در سال ۲۰۰۹ خط لوله نفت کرمانشاه به سنندج را با استفاده از روش شاخص گذاری ارزیابی نمودند که یکی از نکات ضعف این مطالعه امتیازدهی عددی با نگاه جامع و عدم تحلیل الگوهای جمعیتی و تغییرات مکانی در فواصل مختلف از خط لوله می باشد [۱۵].

ایران خواهی و همکارانش در سال ۱۳۸۹ الگویی به‌منظور ارزیابی ریسک زیست محیطی خط لوله انتقال گاز تسوج سلماس ارائه نمودند. در این مطالعه روش سامانه شاخص گذاری با تحلیل سلسله مراتبی تلفیق شده است [۱۶].

در اکثر تحقیقات گذشته تنها یک خط لوله مورد مطالعه قرار گرفته است در حالی که روش سامانه شاخص گذاری یک روش کیفی و نسبی است و نتایج ارزیابی ریسک با روش مذکور بر روی چندین خط به‌صورت همزمان، شهودی‌تر و کاربردی‌تر است. بنابراین این مطالعه هم زمان بر روی سه خط لوله انجام شد و اثرات تجمعی خطوط مجاور نیز در محاسبات لحاظ گردید. از طرفی در اکثر مطالعات انجام شده، فاکتورهای موثر در ریسک با توجه به نظریات خبرگی امتیازدهی شده‌اند و فقط یک عدد ثابت که حاکی از ارزش آن فاکتور در میزان ریسک می‌باشد، به هر قسمت از خط لوله نسبت داده شده است. در واقع مقدار دهی بصورت کریسپ بوده و نحوه‌ی تغییرات فاکتورهای مکانی با افزایش فاصله از خط لوله بررسی نشده است. فاکتورهای موثر در ریسک خطوط لوله‌ی گاز، جابجایی زمین، بهره برداری نادرست، خوردگی، نقص ساختاری و مداخلات شخص ثالث می‌باشند، که ماهیت مکانی دارند. از این رو با به‌کارگیری تحلیل‌های مکانی می‌توان موقعیت، وضعیت و نحوه‌ی تغییرات مکانی هر فاکتور را در مجاورت خط لوله بررسی نمود و برآورد ریسک خط لوله‌ی گاز را ارتقا داد.

در این تحقیق، برای افزایش دقت مطالعات، سامانه شاخص گذاری با توانایی های سیستم اطلاعات مکانی (GIS[1]) یکپارچه شده است. همچنین از GIS، به‌عنوان یک موتور محاسباتی برای تولید امتیاز برای هر شاخص استفاده شده است. مدل توسعه داده شده بر روی

1 Geographic Information System

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]

۴۰ کیلومتر از خط لوله‌ی پنجم سراسری گاز ترش، ۷ کیلومتر از خط لوله ششم سراسری گاز شیرین و ۱۱ کیلومتر از خط لوله گاز شهری پیاده‌سازی شد. در ادامه ابتدا به مبانی نظری برآورد نسبی ریسک پرداخته شده است. در این خصوص پس از بررسی منطقه مورد مطالعه، روش سامانه شاخص‌گذاری و دو شاخص مخاطرات کل و اثرات نشتی با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است. سپس در بخش سوم مراحل پیاده‌سازی بر روی خطوط لوله‌ی انتقال گاز سراسری تشریح شده و در انتها نتایج تحقیق آورده شده است.

۲- مواد و روش‌ها

ارزیابی کیفی ریسک، فرآیند تحلیل نسبی پتانسیل‌های ایجاد خرابی در خط لوله و میزان بالفعل شدن ریسک‌های موجود در پروژه و همچنین حساسیت‌سنجی و بررسی میزان آسیب‌پذیری محیط پیرامون می‌باشد. این روش شامل شناسایی محیط زیست تحت تاثیر نشت گاز، شبیه‌سازی زمانی و مکانی پخش شدن گاز، بررسی و ارزیابی اجزای مهم اکولوژیک با در نظر گرفتن حساسیت‌های محیط زیستی، تضمین کمیت ریسک بر طبق استانداردهای موجود و شناسایی اقدامات کاهش پتانسیل خرابی خط لوله می‌باشد. در ادامه به مبانی روش سامانه شاخص‌گذاری پرداخته شده است [۲ و ۴].

۲-۱- مبانی روش سامانه شاخص‌گذاری در برآورد ریسک خط لوله

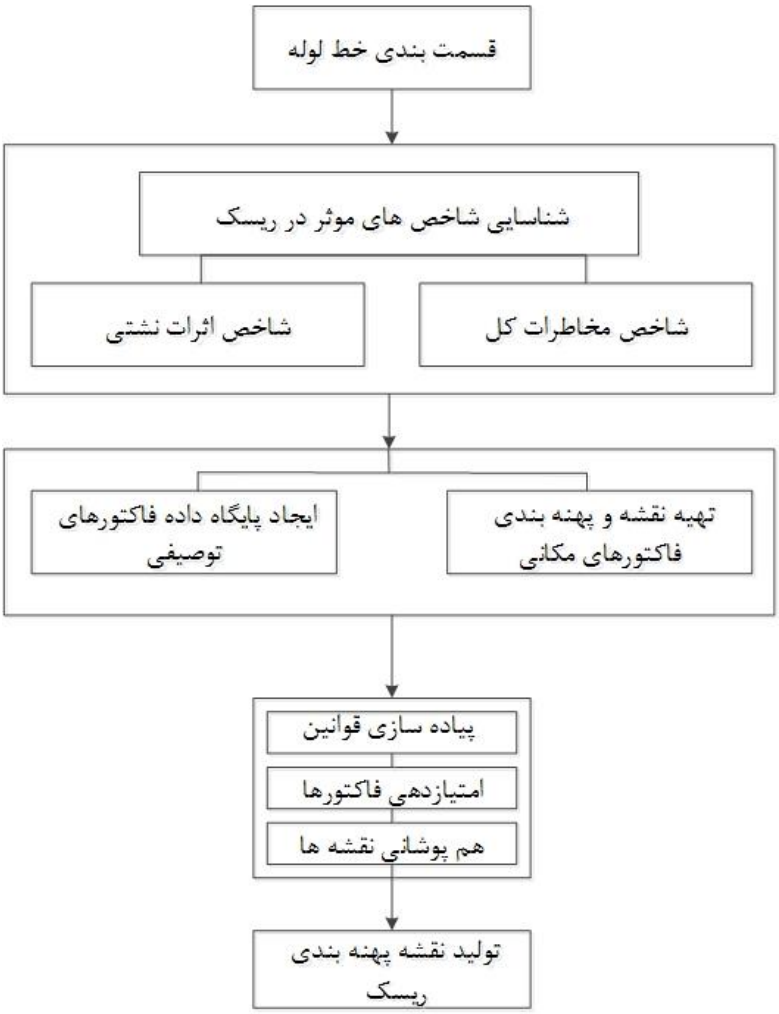
مرحله‌ی نخست در ارزیابی ریسک با استفاده از روش سامانه شاخص‌گذاری، شناسایی عوامل خرابی خط لوله می‌باشد. پتانسیل خرابی خط لوله را می‌توان در چند گروه شاخص دسته‌بندی نمود. عوامل مرتبط با ویژگی‌ها و مشخصات طراحی، پارامترهایی از قبیل فشار، قطر و ضخامت دیواره‌ها می‌باشند که سبب نقص ساختاری خط لوله می‌گردند. این عوامل در قالب شاخص طراحی و بهره‌برداری نادرست قرار گرفته‌اند. همچنین گروه عوامل بیرونی و محیطی شامل پارامترهایی از قبیل کاربری زمین، تراکم جمعیت و عوامل موثر در خودگی در قالب شاخص مداخلات شخص ثالث و خوردگی قرار داده شده است. هر یک از شاخص‌ها از چندین زیرشاخص تشکیل شده است. برای هر زیرشاخص یک بازه‌ی امتیازدهی طبق نظر کارشناسی اختصاص داده شده است. امتیازات نسبت داده شده به هر زیرشاخص بیانگر میزان اثرگذاری آن در بروز سوانح در هر قسمت از خط لوله می‌باشد. خروجی این روش مقدار عددی ریسک نسبی برای هر قسمت از خط لوله می‌باشد[۲ و ۱۵]. در این روش هر قسمت از خط لوله، نتایج برآورد ریسک مخصوص به خود را خواهد داشت. از این رو قسمت‌بندی خط لوله نیاز ضروری در فرآیند برآورد ریسک می‌باشد، که در بخش ۲-۲-۱ به آن پرداخته شده است.

۲-۲- مدلسازی برآورد ریسک خط لوله

بر اساس بررسی‌های انجام شده، تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی ریسک شامل ۳ مرحله‌ی اصلی است که به اختصار در شکل (۱) آورده شده است. ابتدا خط لوله قسمت‌بندی شده و عوامل خرابی خط لوله شناسایی می‌شوند. این عوامل در دو گروه مخاطرات کل و اثرات نشتی دسته‌بندی می‌شوند. سپس با توجه به نوع فاکتور مکانی و یا توصیفی، قوانین امتیازدهی بر روی آن پیاده‌سازی می‌شود و نقشه‌ی پهنه‌بندی ریسک تولید می‌شود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]



شکل ۱۶: فلوچارت روش سامانه شاخص‌گذاری

مراحل اصلی روش برآورد کیفی ریسک با جزئیات بیشتر، به شرح ذیل بررسی شده است.

۲-۲-۱- قسمت‌بندی خط لوله

برخلاف اکثر تاسیسات دیگر، معمولا خط لوله پتانسیل خطر ثابتی در طول کل مسیر خود ندارد و با تغییر شرایط در طی مسیر خط لوله، میزان ریسک نیز متغیر است. بنابراین در برآورد ریسک، بهتر است یک خط لوله‌ی طولانی را به بخش‌های کوتاه‌تر قسمت‌بندی نمود. از این رو اتخاذ یک استراتژی مناسب به‌منظور تقسیم‌بندی خط لوله برای محاسبه‌ی دقیق‌تر ریسک، ضروری است. بدین ترتیب نتایج برآورد ریسک در هر بخش متفاوت خواهد بود و برای هر بخش تکرار می‌شود. روش‌های مختلفی از قبیل قسمت‌بندی طول ثابت، دستی و پویا وجود دارد [۲].

۲-۲-۲-شناسایی شاخص‌ها

پس از قسمت‌بندی خط لوله نوبت به امتیازدهی شاخص‌های موثر در ریسک می‌رسد. همانطور که در بخش ۲-۲ گفته شد، پتانسیل خرابی خط لوله را می‌توان در چند گروه شاخص طبقه‌بندی نمود. انتخاب شاخص‌ها بر اساس پایگاه داده‌ی حوادث خط لوله در گذشته و شرایط منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در این روش عوامل خرابی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]

خط لوله، در قالب یک سیستم شاخص در سه سطح طبقه‌بندی شده است، که جزئیات بیشتر آن در شکل (۲) آورده شده است. بر اساس شکل (۲)، شاخص مخاطرات کل و شاخص اثرات نشتی، شاخص‌های سطح اول می‌باشند. شاخص‌ها به منظور توصیف فاکتورهای موثر در احتمالات وقوع سوانح و پیامدهای آن‌ها بر خط لوله استفاده می‌شوند [۲]. جزئیات بیشتر در رابطه با نحوه امتیازدهی به شاخص‌های سطح سوم درکتاب مالبایر تشریح شده است [۲].

شاخص مخاطرات کل نشان‌دهنده‌ی علت وقوع حوادث بر روی خط لوله و چگونگی آن می‌باشد. احتمال شکستگی خط لوله با توجه به شرایط محیطی متفاوت در طول خط لوله متغیر است. بنابراین شاخص‌های سطح دوم این شاخص شامل فاکتورهایی از قبیل مداخلات خارجی، خوردگی، بهره‌برداری نادرست و نقص در طراحی می‌باشد [۲].

در قسمت دوم شاخص دیگری با نام اثرات نشتی، در نظر گرفته می‌شود که شامل فاکتورهای خطرات بالقوه محصول، میزان نشت، پراکنش گاز رها شده و محیط اطراف می‌باشد. این شاخص جهت اندازه‌گیری میزان نسبی پیامدهای ناشی از خرابی خط لوله بر جمعیت و محیط اطراف آن تنظیم شده‌است. در این قسمت، تجزیه و تحلیل بسیار دقیقی از اثرات بالقوه و پیامدهای هر یک از عیوب رخ داده در خط لوله انجام می‌گیرد. خصوصیات محصول، شرایط عملیاتی و موقعیت مکانی خط لوله در دستیابی به فاکتور پیامد مورد توجه قرار می‌گیرد و در نهایت مقدار این فاکتور با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود.

$$LIF = PH \times L \times D \times R \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه بالا، PH خطر محصول، L حجم نشتی، D شاخص پراکنش و R دریافت کننده‌های موجود در اطراف خط هستند.

پس از انتخاب شاخص‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها، اقدام به تخمین و کمی‌سازی ریسک‌های شناسایی شده در دو محور اصلی شاخص مخاطرات کل و شاخص اثرات نشت می‌شود. در این راستا، مقادیر عددی (امتیاز) به شرایط مهم و فعالیت‌هایی در سیستم خط لوله که در ریسک مشارکت دارند، نسبت داده می‌شود. امتیازدهی بر اساس یک سری قوانین برای هر شاخص انجام می‌شود. قوانین امتیازدهی از اطلاعات پایگاه داده‌ی حوادث تاریخی، خصوصا تجزیه و تحلیل چگونگی اتفاق افتادن حوادث و پیامدهای ناشی از آن‌ها، استانداردهای موجود، تجارب فنی و مهندسی کارشناس خبره به‌دست آمده‌اند [۲].

تفاوت در بازه‌ی امتیازی در نظر گرفته شده برای هر زیر شاخص حاکی از تفاوت در میزان اثرگذاری آن شاخص در مقدار نهایی ریسک می‌باشد و به نوعی وزن آن زیر شاخص را نشان می‌دهد. در این روش امتیاز عددی یکسانی برای دو شاخص سطح اول مخاطرات کل و اثرات نشتی در نظرگرفته شده است که حاکی از برابری اهمیت آن‌ها می‌باشد [۱۷ و ۱۸]. لازم به ذکر است که نقشه‌های هر یک از زیرشاخص‌های مورد بررسی در نتیجه‌ی تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مربوطه به‌دست می‌آید.

۲-۳-محاسبه ریسک نسبی

در مرحله‌ی بعد، کار روی هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی و در نتیجه پهنه‌بندی ریسک در طول مسیر خط لوله انجام می‌شود. با تلفیق نقشه‌های زیرشاخص‌های مولفه مخاطرات کل و شاخص اثرات، نقشه‌ی نهایی شاخص مخاطرات کل که نشان دهنده‌ی احتمال وقوع خطر و شاخص اثرات که مبین شدت اثرات نشت گاز است، تولید می‌شود. پس از تولید نقشه‌ی فاکتور نهایی برای دو شاخص سطح اول، امتیاز ریسک نسبی با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]

شکل ۱۷: چهارچوب روش سامانه شاخص‌گذاری برای برآورد ریسک خط لوله

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]

رابطه (۲) $$RRS = \frac{IS}{LIF}$$

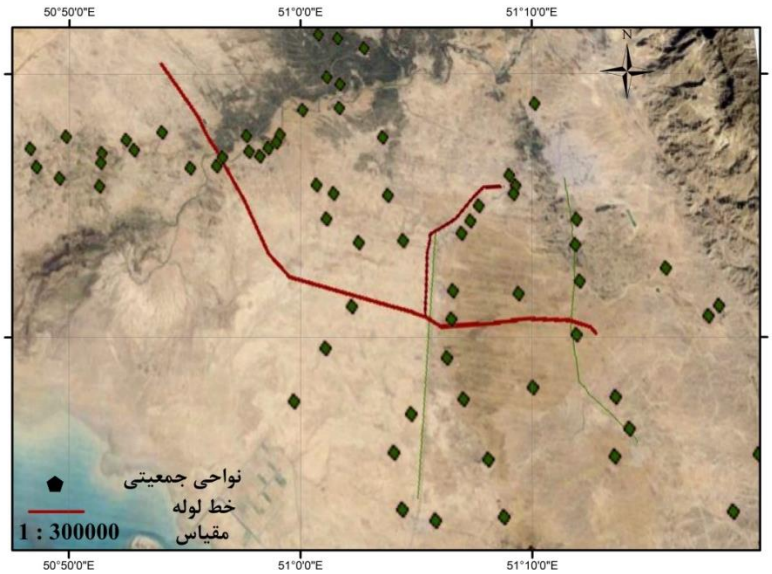
در این رابطه IS مجموع امتیازات شاخص‌های مخاطرات کل و LIF امتیاز به‌دست آمده از شاخص اثرات نشتی می‌باشد. بدین ترتیب با استفاده از رابطه(۲) نقشه‌ی پهنه‌بندی ریسک به‌دست می‌آید. نمره‌ی نهایی نسبی ریسک از بالاترین نمره‌ی آن یعنی ایمن‌ترین حالت (۲۰۰۰ امتیاز) تا پایین‌ترین حالت آن، یعنی نا ایمن‌ترین شرایط (۰ امتیاز)، متغیر است. این روش برای هر قطعه از خط لوله تکرار می‌گردد. نتیجه نهایی این روش، مقدار عددی ریسک نسبی در هر پیکسل از مسیر خط لوله برای هر یک از بخش‌های خط لوله خواهد بود. سپس در مرحله‌ی بعد، بخش‌های مختلف خط لوله بر اساس امتیازات نسبی به منظور الویت‌بندی برای تعمیرات، بازرسی و دیگر اقدامات کاهش ریسک، رتبه‌بندی می‌شوند.

۳-پیاده‌سازی

در ادامه به معرفی منطقه مورد مطالعه و امتیازدهی شاخص‌ها و تهیه نقشه پرداخت می شود.

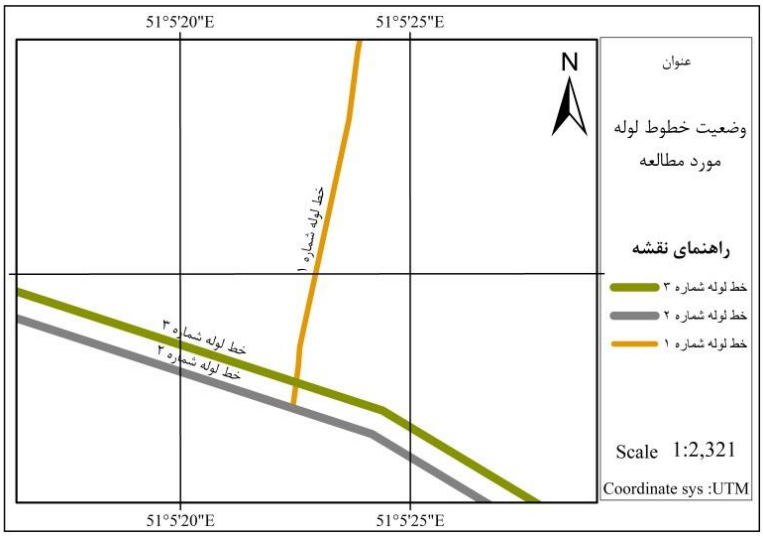
۳-۱-منطقه مورد مطالعه

خط لوله‌ی پنجم سراسری گاز به‌عنوان بزرگ‌ترین خط لوله انتقال گاز ترش ایران شامل دو بخش است که بخش اول به طول ۵۰۴ کیلومتر، گاز ترش فازهای ۶ تا ۸ پارس جنوبی را در مسیر عسلویه ـ بوشهر ـ اهواز به منطقه آغاجاری منتقل خواهد کرد. این مطالعه بر روی ۴۰ کیلومتر از این بخش با قطر ۵۶ اینچ انجام شده‌است. این خط ۵ ایستگاه تقویت فشار دارد که شامل دو ایستگاه واقع در عسلویه، ایستگاه سردشت، ایستگاه خورموج و ایستگاه آب‌پخش است. همچنین تعداد ۲۴ ایستگاه تقلیل فشار در طی مسیر خط لوله وجود دارد. همچنین قسمتی به طول ۷ کیلومتر از خط لوله‌ی‌ششم سراسری ۵۶ اینچ گاز شیرین (گاز شهری) در راستای شرق به غرب و به‌موازات و فاصله‌ی ۱۵ متر از خط لوله‌ی گاز ترش و قسمت دیگری به طول ۱۱ کیلومتر از خط لوله ۱۲ اینچ با طول ۱۰ کیلومتر در راستای جنوب به شمال برای پیاده‌سازی روش کیفی برآورد ریسک انتخاب شده‌اند. شکل (۳) منطقه مورد مطالعه که در نزدیکی شهر برازجان قرار دارد و پراکندگی روستاهای اطراف خطوط لوله را نشان می‌دهد. به‌دلیل نزدیکی خطوط برای تمایز بیشتر نمای نزدیکتری از وضعیت قرارگیری خطوط لوله در شکل (۴) آورده‌شده‌است.



شکل ۱۸: موقعیت خط لوله‌ی مورد مطالعه در استان بوشهر

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]



شکل ۴: وضعیت قرارگیری خطوط موردمطالعه نسبت به یکدیگر

۳-۲- امتیازدهی شاخص‌ها و تهیه نقشه‌ی فاکتور

برای پیاده‌سازی روش سامانه شاخص‌گذاری، ابتدا خط لوله‌ی انتخاب شده به پنجاه و دو قسمت با طول ثابت ۱۰۰۰ متر تقسیم شده و سپس فرآیند برآورد ریسک برای هر قسمت از خط لوله انجام شده است. پس از شناسایی فاکتورهای موثر و انتخاب شاخص‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه، نوبت به امتیازدهی هر یک از فاکتورها می‌رسد. امتیازدهی بر طبق مقررات حریم خطوط لوله‌ی گاز، مصوب شرکت ملی گاز ایران و با استفاده از تجربیات متخصصین امر و نظریات خبرگی صورت پذیرفته است. در این مطالعه شاخص‌ها در دو دسته‌ی شاخص‌های مکانی و توصیفی دسته‌بندی شده است که در مجموع از ۱۲ شاخص مکانی و ۴۲ شاخص توصیفی استفاده شده است. برای شاخص‌های توصیفی که توانایی نمایش و پهنه‌بندی نداشتند، امتیاز نسبی با استفاده از فرمول و استانداردهای مربوط به آن شاخص محاسبه شده و به‌صورت عدد ثابت به کل قسمت مورد نظر از خط لوله نسبت داده شده است.

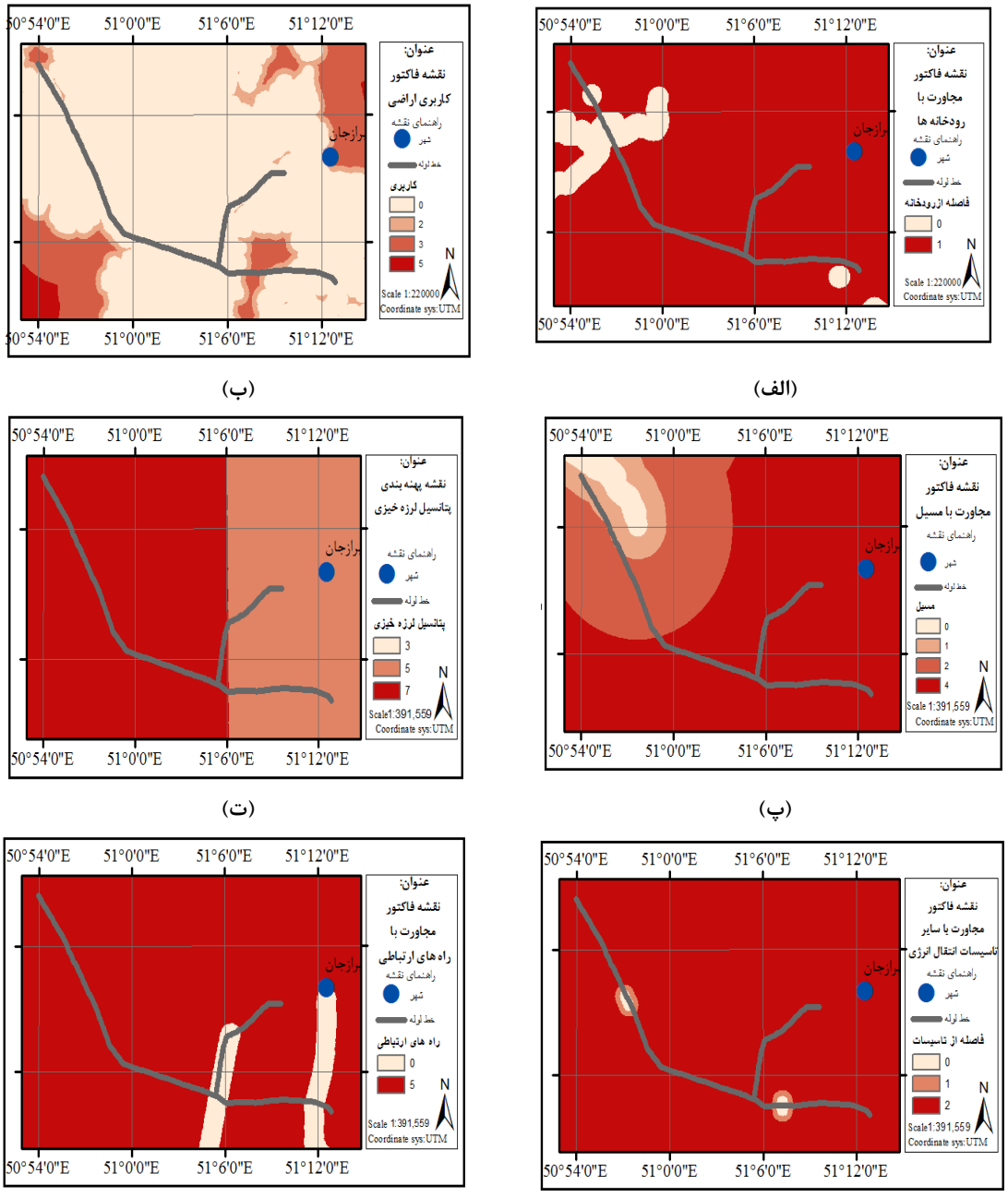
برای تولید نقشه‌های مورد نیاز مربوط به شاخص‌های مکانی و همچنین تشریح وضعیت موجود منابع محیط زیستی منطقه‌ی مورد مطالعه از GIS استفاده شد. برای‌هر شاخص مکانی لایه‌ای حاوی عوارض آن شاخص تولید می‌شود. سپس برای هر شاخص نقشه‌ی پهنه‌بندی تهیه شده است. برای این منظور از ابزار اندازه‌گیری فاصله بر روی عارضه‌ی مورد نظر با اندازه پیکسل ۵۰ متر استفاده شده است. پس از پهنه‌بندی هر متغیر موثر در ریسک، با استفاده از تابع ریکلسیفای[1] به هر بازه از نقشه‌ی پهنه‌بندی مقدار امتیاز آن شاخص در آن بازه، طبق نظر کارشناسی نسبت داده می‌شود. بنابراین نقشه‌ی رستری به‌دست آمده دارای ارزش پیکسل مطابق با امتیاز هر شاخص در هر پهنه می‌باشد. با استفاده از این روش تغییرات فاکتورهای مکانی با جزئیاتی بیشتری بررسی شده و سبب افزایش دقت در امتیازدهی هر شاخص شده است.

همانطور که در شکل (۵ و ۶) نشان داده شده است، وضعیت خط لوله از لحاظ مجاورت و نزدیکی با رودخانه و کاربری زمین‌های اطراف خط لوله و سایر فاکتورهای موثر، بررسی و امتیازدهی شده است. در ادامه‌ی کار روی هم گذاری لایه‌ها با استفاده از تابع رستر کلکیولیتر[2] انجام یافت. بدین‌ترتیب همان‌طور که

1 reclassify
2 raster calculator

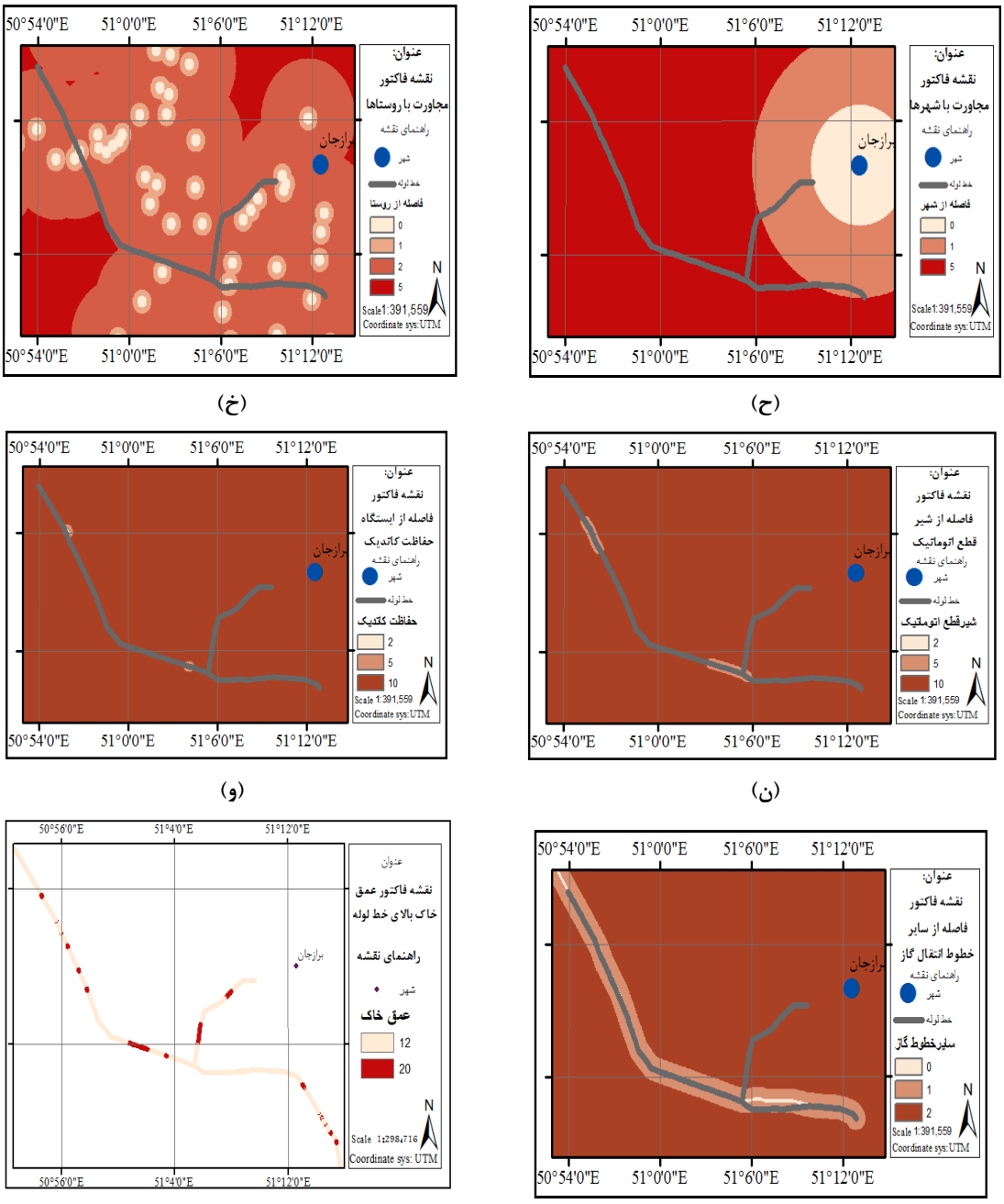
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]

در شکل (۷) نسان داده شده است، نقشه‌ی امتیاز نیز تهیه شد.
نمایه‌ی مخاطرات کل و نقشه‌ی فاکتورهای اثرات نشتی



شکل ۵: (الف)نقشه فاکتور مجاورت با رودخانه‌ها، (ب) نقشه فاکتور کاربری اراضی، (پ) نقشه فاکتور مجاورت با مسیل، (ت) نقشه فاکتور پتانسیل لرزه خیزی، (ج) نقشه فاکتور مجاورت با سایر تاسیسات انتقال انرژی، (چ) نقشه فاکتور مجاورت با راه‌های ارتباطی

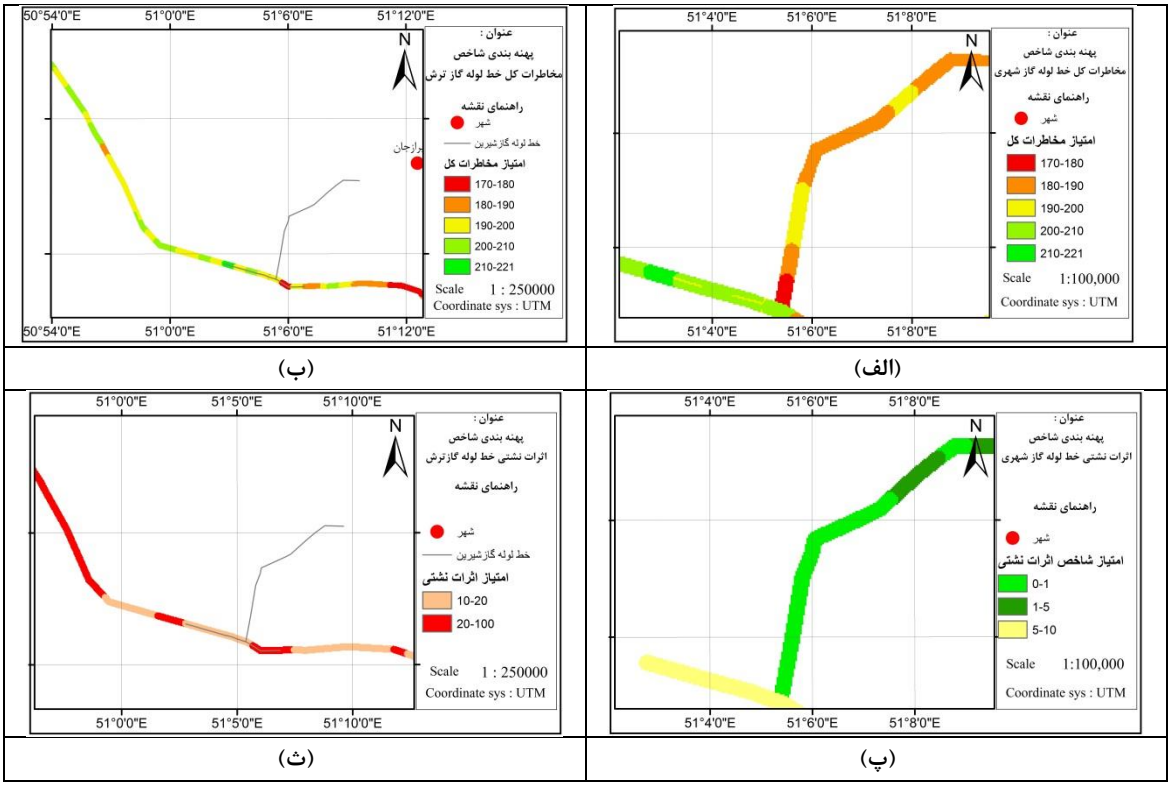
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]



شکل ۶: (ح) نقشه فاکتور مجاورت با شهرها، (خ) نقشه فاکتور مجاورت با روستاها، (ن) نقشه فاکتور فاصله از شیرقطع اتوماتیک، (و) نقشه فاکتور فاصله از ایستگاه حفاظت کاتدیک، (ه) نقشه فاکتور فاصله از سایر خطوط انتقال گاز، (ی) نقشه فاکتور عمق خاک بالای خط لوله

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

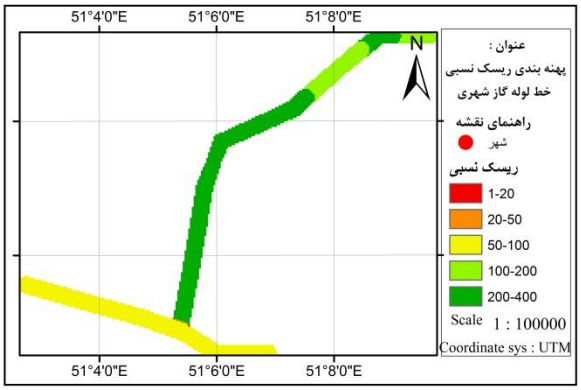
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]



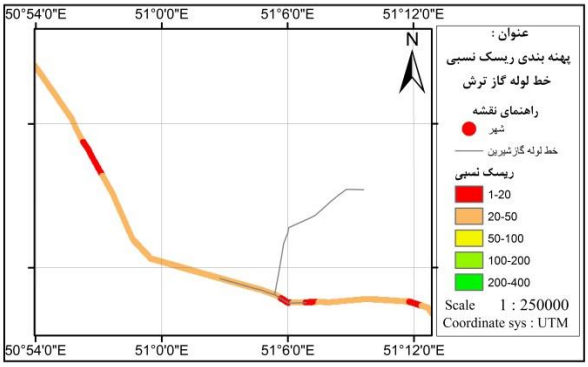
شکل ۷: (الف) نقشه پهنه بندی شاخص مخاطرات کل خط لوله گاز شهری، (ب) نقشه پهنه بندی شاخص مخاطرات کل خط لوله گاز ترش، (پ) نقشه پهنه بندی شاخص اثرات نشتی خط لوله گاز شهری، (ث) نقشه پهنه بندی شاخص اثرات نشتی خط لوله گاز ترش

در محاسبه‌ی فاکتور اثرات نشتی، خطر محصول با توجه به خطرات حاد (اشتعال‌پذیری، واکنش‌پذیری و سمیت) و خطرات مزمن ناشی از رهاسازی ماده‌ی شیمیایی محاسبه گردید. برای محاسبه‌ی خطرات مزمن از مقیاس انجمن ملی حفاظت از حریق آمریکا استفاده شد. امتیاز حجم نشتی نیز بر اساس فشار و قطر خط لوله و جرم مولکولی گاز خروجی تعیین شد و برای محاسبه‌ی امتیاز میزان پراکنش از جرم مولکولی و مقدار ماده‌ی رهاسازی شده، استفاده شد. امتیاز دریافت کننده‌ها بر اساس میزان صدمه به جمعیت انسانی بر اساس طبقه‌بندی بخش حمل و نقل ایالات متحده‌ی تعیین گردید. مقادیر نهایی ریسک مطابق رابطه (۲) محاسبه گردید. مقادیر عددی به‌دست آمده برای قسمت از خط لوله با شماره ۱-۵۲ در پنج گروه با سطح ریسک خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و ناچیز و با امتیازات به ترتیب (۲۰-۱)، (۵۰-۲۰)، (۱۰۰-۵۰)، (۲۰۰-۱۰۰) و (۴۰۰-۲۰۰) مطابق شکل (۸) طبقه‌بندی شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]



(الف)



(ب)

شکل ۸: پهنه‌بندی ریسک نسبی خط لوله‌ی انتقال گاز

۳-۳- نتایج و بحث

روش سامانه شاخص‌گذاری متشکل از یک سیستم شاخص می‌باشد که انتخاب شاخص‌ها بر مبنای تحلیل آماری داده‌های حوادث گذشته و یا نظر کارشناسان انجام شده است. مزیت بزرگ این روش در این است که، عوامل خرابی بیشتری را در نظر می‌گیرد. همچنین ارائه راهکارهایی به‌منظور برطرف نمودن شاخص‌های کاهش دهنده امتیازات و تلاش جهت دستیابی به شاخص های افزایش دهنده امتیازات، یکی از مهم‌ترین خصوصیات ارزیابی به روش مالبایر است. اشکال عمده‌ی این روش نمره‌دهی ذهنی آن می‌باشد و تلاش‌هایی زیادی برای ایجاد هماهنگی و سنخیت در نمره‌دهی به شاخص‌ها، باید صورت گیرد. برای حل این مساله، در این مطالعه، GIS به‌عنوان یک چهارچوب برای تحلیل تغییرات فاکتورهای مکانی در محیط اطراف خط لوله و امتیازدهی بر اساس این تغییرات، به‌کار گرفته شده که سبب افزایش دقت برآورد ریسک شده است.

بررسی یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که امتیاز شاخص مخاطرات کل در خط لوله‌ی ۵۶ اینچ گاز شیرین (خط شماره‌ی ۲) در بازه‌ی ۲۱۹-۱۸۷ می‌باشد که بالاترین بازه در مقایسه با خطوط دیگر مورد مطالعه است. بالاتر بودن امتیاز شاخص مخاطرات کل به معنی بهتر بودن وضعیت نسبی خط لوله می‌باشد. دلیل این امر مواردی ازجمله بالاتر بودن امتیاز شاخص طراحی و شاخص خوردگی، مطابقت داشتن با استانداردهای ساخت و طراحی، قرار گرفتن در پهنه‌ی کم‌خطر لرزه خیزی در این قسمت از خط لوله می‌باشد.

امتیاز شاخص مخاطرات کل در خط لوله‌ی ۵۶ اینچ گاز ترش (خط شماره ۳)، بین ۲۱۴-۱۶۹ می‌باشند و

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]

این امتیاز نشان‌دهنده‌ی ریسک بیشتر در مقایسه با خط شماره‌ی ۲ می‌باشد. دلیل این امر پایین‌تر بودن امتیاز شاخص طراحی و خوردگی در این قسمت از خط لوله و تغییرات در عمق خاک بالای خط لوله می‌باشد. همچنین امتیاز شاخص مخاطرات کل برای خط لوله‌ی ۱۲ اینچ (خط شماره‌ی ۱) بین ۱۷۵ تا ۱۹۷ می‌باشد. پایین‌تر بودن ریسک مخاطرات کل در خط لوله‌ی ۱۲ اینچ در مقایسه با سایر خطوط، به‌دلایلی ازجمله کوچک‌تر بودن قطر خط لوله، کم‌تر بودن ضخامت دیواره‌ها، کسب امتیاز پایین‌تر در قانون بارلو و قرار گرفتن در پهنه‌ی پرخطرتر لرزه‌خیزی می‌باشد.

بررسی‌های انجام‌شده در رابطه با شاخص اثرات نشتی نشان می‌دهد که بالاترین امتیاز در بازه‌ی ۵۴-۱۹ بوده و مربوط به خط لوله‌ی ۵۶ اینچ گاز ترش(خط شماره‌ی ۳) می‌باشد. بالاتر بودن امتیاز در شاخص اثرات نشتی به معنی بالاتر بودن خطرات نشت گاز در خط لوله‌ی موردمطالعه می‌باشد. بالاتر بودن امتیاز در این خط لوله به‌دلیل حجم زیاد گاز نشت یافته در شبیه‌سازی نشت گاز در مدت‌زمان ۱۰ دقیقه، نسبت به سایر خطوط می‌باشد که ناشی از بالاتر بودن قطر و فاصله‌ی زیاد از شیر قطع خودکار در اکثر قسمت‌های این خط می‌باشد. همچنین بالاتر بودن خطرات حاد و خطرات مزمن گاز هیدروژن سولفید موجود درون خط لوله سبب افزایش خطرات نشت گاز شده است.

شاخص اثرات نشتی برای خط لوله‌ی ۵۶ اینچ گاز شیرین (خط شماره‌ی ۲)، امتیاز بین ۵-۲ را نشان می‌دهد. دلیل این امر پایین‌تر بودن حجم گاز نشتی و مخاطرات کمتر گاز شهری در مقایسه با گاز ترش می‌باشد. همچنین شاخص اثرات نشتی برای خط لوله‌ی ۱۲ اینچ (خط شماره‌ی ۱)، امتیاز بین ۲-۰ را نشان می‌دهد که به دلیل کم‌تر بودن حجم گاز نشتی در مقایسه با سایر خطوط و کم‌خطر بودن گاز شیرین می‌باشد.

بالاترین بازه‌ی امتیاز ریسک نسبی در فاصله‌ی ۳۵۷-۱۷۸ و مربوط به خط لوله‌ی شماره‌ی ۱ می‌باشد. که به‌دلیل کسب امتیاز مناسب از دیدگاه مخاطرات کلی احتمالی و پایین بودن خطرات اثرات نشت گاز در این خط می‌باشد. امتیاز ریسک نسبی برای خط لوله‌ی شماره‌ی ۲ در بازه‌ی ۵۰-۴۲ قرار دارد. دلیل کم‌تر شدن امتیاز این خط در مقایسه با خط شماره‌ی ۱، بیشتر بودن مخاطرات نشت گاز می‌باشد. پایین‌ترین امتیاز ریسک نسبی مربوط به خط لوله‌ی شماره ۳ و در بازه‌ی ۱۱-۳ می‌باشد. قطر بالای این خط و فشار زیاد گاز درون خط لوله سبب افزایش مخاطرات نشت گاز سمی در محیط مجاور خط لوله شده‌اند. همچنین گاز هیدروژن سولفید موجود درون خط لوله گازی بسیار سمی، خطرناک و کشنده می‌باشد که در غلظت‌های بالای ppm ۲۰۰۰ مرگ آنی را در پی دارد. از این‌رو خط لوله‌ی شماره‌ی ۳ دارای بالاترین بازه‌ی ریسک در میان خطوط مورد مطالعه می‌باشد که در این خصوص لازم است اقدامات کنترلی و پیشگیری مناسب در جهت کاهش ریسک صورت گیرد.

با توجه به اینکه نتایج حاصل از این مطالعه، نقشه‌ی قسمت‌های دارای ریسک‌های بالقوه در طول مسیر خطوط لوله می‌باشد، لذا به‌منظور تهیه برنامه کنترل ریسک می‌توان با مراجعه به نقشه‌های تولیدشده، خط لوله دارای مخاطرات بالا و اثرات نشتی زیاد، را شناسایی و برحسب موقعیت مکانی آن، برنامه پیشگیری و کنترلی مناسب با شرایط و وضع موجود محیط اطراف خط لوله، ارائه نمود.

تشکر و قدردانی

این مطالعه با حمایت وپشتیبانی شرکت ملی گاز ایران اجرا شده است. لذا صمیمانه از همکاری و حمایت این نهاد کمال تشکر را دارم.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]

مراجع

[1] L. Ma, L. Cheng, and M. Li, "Quantitative risk analysis of urban natural gas pipeline networks using geographical information systems", Journal of Loss Prevention in the Process Industries 26(6), 1183-1192, 2013.

[2] W. K. Muhlbauer, Pipeline risk management manual: ideas, techniques, and resources, USA, Gulf Professional Publishing, 2004.

[3] M. Najafi, and M. Baosong, "ICPTT 2009: Advances and Experiences with Pipelines and Trenchless Technology for Water, Sewer, Gas, and Oil Applications." ASCE, 2009.

[4] Z. Han, and W. Weng, "Comparison study on qualitative and quantitative risk assessment methods for urban natural gas pipeline network", Journal of hazardous materials, 189(1): 509-518, 2011.

[5] E. Cagno, F. Caron, M. Mancini, F. Ruggeri, "Using AHP in determining the prior distributions on gas pipeline failures in a robust Bayesian approach", Reliab. Eng.Syst. Saf. 67, 275–284, 2000.

[6] A.S. Markowski, M.S. Mannan, "Fuzzy logic for piping risk assessment", J. Loss Prev. Process Ind. 22, 921–927, 2009.

[7] A. Jamshidi. , A. Yazdani-Chamzini, S. Yakhchali, and S. Khaleghi, "Developing a new fuzzy inference system for pipeline risk assessment", Journal of Loss Prevention in the Process Industries 26(1): 197-208, 2013.

[8] Y. Dong, D. Yu, "Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis", J. Loss Prev, Process Ind. 18, 83–88, 2005.

[9] D. Hawdon," Efficiency, performance and regulation of the international gas industry a bootstrap DEA approach", Energy Policy 31, 1167–1178, 2003.

[10] F. Henselwood, and G. Phillips, "A matrix-based risk assessment approach for addressing linear hazards such as pipelines", Journal of loss prevention in the process industries, 19(5), 433-441,2006.

[11] A. Amirat, A. Mohamed-Chateauneuf, and K. Chaoui. "Reliability assessment of underground pipelines under the combined effect of active corrosion and residual stress." International Journal of Pressure Vessels and Piping 83.2: 107-117, 2006.

[12] T. Bajcar, B. Sirok, F. Cimerman, and M. Eberlinc. "Quantification of impact of line markers on risk on transmission pipelines with natural gas". Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 21(6), 613-619, 2008.

[13] Y. D. Jo, and D. A. Crowl, "Individual risk analysis of high-pressure natural gas pipelines. Journal of Loss Prevention in the Process Industries", 21(6), 589-595, 2008.

[14] M.J. Gharabagh, H. Asilian, S.B. Mortasavi, A.Z. Mogaddam, E.Hajizadeh, and A. Khavanin, "Comprehensive risk assessment and management of petrochemical feed and product transportation pipelines", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 22(4), pp.533-539, 2009.

[15] M. Motamedzadeh, I. Mohamadfam, Y. Hamidi. "Health, safety and environment risk assessment in gas pipelines by indexing method: case of Kermanshah Sanandaj oil pipeline", Iran Occupational Health Journal. 6 (3) :58-66, 2009

[16] S. Rezaian, M. Irankhahi, Jouzi, S. A, "Presenting a risk assessment model for gas transmission projects using the indexing system", Journal of oloum va technology mohit zist,16(3), 2014

[17] H. Montiel, J. Vílchez, J. Arnaldos, and J. Casal, "Historical analysis of accidents in the transportation of natural gas" Journal of Hazardous Materials 51(1): 77-92, 1996.

[18] L. Ma, Y. Li, L. Liang, M. Li, and L. Cheng, "A novel method of quantitative risk assessment based on grid difference of pipeline sections", Safety science 59: 219-226, 2013.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.7 No.1, Spring 2019

Research Paper

Qualitative Risk Assessment of Gas Pipelines by Using of Indexing System Method in GIS environment

Faride Rezaei Nodeh*[1], Mohammad Karimi [2]. Moosa Jabari Gharebaq [3]

1-Ms.c student of GIS in Department of Geomatics, KNT University of Engineering
2- Assistant professor in Department of Geomatics, KNT University of Engineering
3- Assistant professor in Department of HSE, Shahid Beheshti University of Medical Sciences

Abstract

Nowadays the urbanization is developing rapidly, and it leads to growing demand for gas; which resulted in denser pipeline network, by the following increase in the pipeline network congestion, accidents will become inevitable. So Pipelines are a remarkable source of hazard for their adjacent society. Usually Indexing system method is used for pipe line risk assessment. This method assesses risk by using an index system, which includes a sum index and a leak impact index. Each index is made up of several sub factors which represent the major cause of failure in the network of gas pipelines. Using spatial analysis, changes in position, status and location of every factor in the vicinity of the pipeline can be checked and it helps to improve pipeline risk assessment.

To increase accuracy of result, in this research, an indexing system method, is integrated with abilities of GIS. GIS can also be used as a calculating engine for produce risk scores. The developed model is implemented on a part with 52 km length of greatest Iranian hydrogen sulfide pipeline. The results show that the highest risk rating is 3 and the lowest number is 42. 12 sections of pipeline have low or moderate relative risk due to low leak impact index and lower hazard after gas leakage in these sections. 42 sections of pipeline have lower scores than 10 that show potential failure. In this regard, it is necessary to take measures to reduce risk. The implementation of this research in GIS, increase the accuracy of the risk calculation.

Key words : *Gas Pipeline, Sum Index, Leak Impact Index, Spatial analysis, 5th Iranian pipeline.*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.91]

Correspondence Address*: GIS Group, Department of Geomatics, KNT University of Engineering g, Tehran, Iran.*
Tel*: : +98 9113715012.*
Email : *faride.rezaee68@gmail.com*