

مخاطرات فرسایش آبراهه‌ای بر روی خط لوله گاز نهم سراسری با استفاده از روش ANP- PRSM*

ابراهیم مقیمی** - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
منصور جعفریگلو - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
مهران مقصدی - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشیار، دانشگاه تهران
نولبرتو مونیر - دانشگاه پلی‌تکنیک والنسیا، اسپانیا
امیر احمدی - دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۱۳

چکیده

فرسایش آبراهه‌ای و رودخانه‌ای همواره یکی از فاکتورهای اصلی مخاطرات خطوط انتقال انرژی و لوله‌های نفت و گاز است. در این مقاله با استفاده از ماتریکس ریسک خط لوله (PRSM)^۱ و مدل ANP به بررسی مخاطرات فرسایش آبراهه‌ای در خط لوله گاز نهم سراسری در محدوده استان خوزستان با طول ۱۷۰ کیلومتر پرداخته شده است. برای این منظور با استفاده از مدل ANP چهار معیار اصلی شامل «وضعیت خطوط لوله نسبت به آبراهه‌ها»، «هیدروژئومورفولوژی»، «ژئومورفولوژی» و «دیگر عوامل محیطی» بررسی شد. سپس، با استفاده از مدل PRSM و پرسش‌نامه به امتیازدهی معیارها و زیرمعیارها در نرم‌افزار Superdecision پرداخته شد و در آخر نقشه کلاس‌بندی مخاطرات خط لوله و محور ریسک تهیه شد. نتایج نشان داد که معیار «وضعیت خط لوله نسبت به آبراهه‌ها و رودخانه‌ها» دارای بیشترین وضعیت ریسک و واکنش نسبت به مخاطرات خط لوله در میان چهار معیار بالاست. زیرمعیارهای مهم و دارای بیشترین وضعیت ریسک برای خط لوله گاز نهم شامل روش ساخت خط لوله، واحد کوهستان، و جابه‌جایی آبراهه‌ها و رودخانه‌ها و زمین‌شناسی است.

واژگان کلیدی: فرسایش آبراهه‌ای، لوله گاز نهم سراسری، ماتریکس ریسک خط لوله، مخاطرات، مدل ANP

مقدمه

در دنیا بیشترین کارهای انجام‌گرفته در مطالعه و پژوهش زمین - مخاطرات خط لوله (لوله‌های نفت و گاز) به ترتیب در امریکا، کانادا، و روسیه است. نخستین مطالعات مربوط به مخاطرات خط لوله برای پروژه‌هایی مانند خط لوله ترنس - آلاسکا^۲ و گاز شمال آلاسکا با طول بیش از ۱۲۰۰ کیلومتر در بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۷۷ انجام داد. آن‌ها مطالعات هیدرولوژیکی و رودخانه‌ای کامل را برای این منظور ضروری دانسته‌اند که این اسناد و مطالعات مهندسی اولین از نوع خود در تاریخ خط لوله است (ولدمن، ۱۹۸۳). بعد از خط لوله نفت آلاسکا، خط لوله نفت ساحلین در شرق روسیه (۱۹۹۴) یکی دیگر از خطوط نفت و گاز با دو خط لوله جداگانه بود که در طول مسیر با بیش از ۱۱۰۰ رودخانه و آبراهه تقاطع داشته است که برای جلوگیری از آسیب‌های احتمالی در آن مطالعات رودخانه‌ای و ژئومورفولوژیکی انجام گرفته است (شرکت

* این مقاله با حمایت و پشتیبانی شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران اجرا شده است.

** نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۳۳۹۲۷۹۰

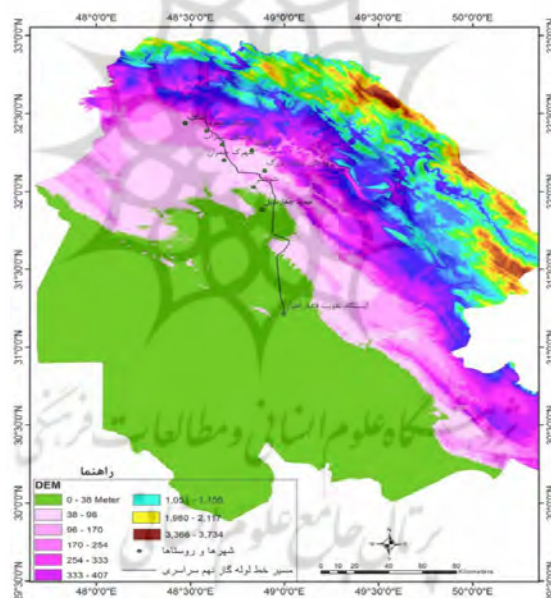
سرمایه‌گذاری انرژی ساخالین، ۲۰۰۳، ۲۰۰۶). مؤسسه آی. ان. جی. آی. آی^۱ (۱۹۹۸) در یک پروژه به نام «مطالعه عبور (لوله‌ها) از رودخانه‌ها و زهکش‌ها» درباره گذر خطوط لوله از گذرگاه‌های رودخانه‌ای و زهکش‌ها مانند شیب بستر، پهنای بستر، ویژگی‌های دیواره رودخانه، اندازه ذرات رسوبی، سرعت جریان و وضعیت پیچان‌رودی رودخانه را از عوامل اساسی مطالعه برای گذر عبور خطوط لوله می‌داند. انجمن استانداردهای کانادا^۳ (سی. اس. آی^۴، ۲۰۰۷) در بخش سیستم استانداردهای لوله‌های نفت و گاز و در ارتباط با گذر لوله‌های نفت و گاز از رودخانه‌ها توجه به فاکتورهای فیزیکی رودخانه‌ای شامل ترکیب جنس و مواد بستر و دیواره رودخانه، امواج، جریان‌های آبی، شست‌وشو و فرسایش، سیل، چگالی آب، هر عامل رودخانه‌ای را که سبب تأثیر ناخوشایند در خط لوله شود لازم می‌داند. مبین و گرینوف (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای با نام «ساخت و عملیات پروژه‌های خطوط لوله در پاکستان- در پیوند با ریسک و راه‌حل آن‌ها» در نتایج کار خود در پیوند با مخاطرات ریسک رودخانه برای خط لوله مهم‌ترین فاکتور آسیب‌رسان را سیلاب می‌دانند که در ماه‌های خرداد تا مرداد رخ می‌دهد. کتاب طراحی زمین- زیست‌محیطی خط لوله و مدیریت زمین- مخاطرات^۵، اثر ریز کالا (۲۰۰۸) از کانادا، تنها کتاب مرجع بین‌المللی در ارتباط با زمین- مخاطرات خطوط لوله، به بیان فرسایش و شست‌وشوی رودخانه‌ای، رسوب‌گذاری، فرسایش دیواره رودخانه، پسروری دیواره‌ها، و جابه‌جایی و تغییر مسیر کانال رودخانه در ارتباط با خطوط لوله پرداخته است. انجمن مهندسی مکانیکی آمریکا^۶ (ای. اس. آی. ام، ۲۰۱۲) مهم‌ترین عوامل زمین- مخاطره خطوط لوله‌های گاز را شست‌وشو، سیلاب، خاک‌های ناپایدار، زمین‌لغزش، و زمین‌لرزه نام برده است. در ارتباط با رودخانه و مخاطرات آن برای لوله‌های گاز، شست‌وشو و فرسایش، تغییر بستر کانال، سرعت جریان، ژرفای رودخانه، و دیواره رودخانه را مهم‌ترین عوامل مخاطرات رودخانه‌ای ذکر کرده‌اند. از دیگر مطالعات انجام‌شده می‌توان به کارهای اوگوو (۲۰۱۱) در ارتباط با چالش‌های شبکه‌های خطوط نفت و گاز در نیجریه و نقش برنامه‌ریزان در آن اشاره کرد. او بی‌توجهی طراحان به فاکتورهای محیطی مانند رودخانه‌ها را عامل آسیب‌های اجتماعی، اقتصادی، و زیست‌محیطی دانسته است. دستگیر (۲۰۱۳) نیز در مطالعه مدل‌سازی خط لوله در بخش خشکی در کشور کنیا به این نتیجه رسیده است که ۲۴ درصد از مخاطرات خط لوله در کنیا مربوط به سیلاب و رودخانه‌هاست. انجمن انرژی خط لوله کانادا سی. آی. پی. آی^۷ (۲۰۱۴)، در بررسی مطالعه عبور (لوله‌ها) از رودخانه‌ها و زهکش‌ها در کانادا، رعایت استانداردهای مهندسی رودخانه را الزامی دانسته است. آئی‌فووز و همکاران (۲۰۱۴) در ارزیابی ممانعت از برخورد خطوط لوله‌های نفت با رودخانه‌ها با استفاده از ارزیابی اثرهای محیطی یا EIA در نیجریه، اجرای برنامه‌های مدیریتی خط لوله به‌ویژه درون رودخانه را الزامی دانسته‌اند. گلاس و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی راهنمای برای نظارت مؤثر بر گسترش خطوط لوله‌های گاز در آب‌های سطحی و ذخایر زیرزمینی، رودخانه‌ها، و زهکش‌ها همراه با مناطق کارستی را مهم‌ترین تهدیدات در ویرجینیای آمریکا دانسته‌اند. گروه مرکزی پژوهش‌های مشترک اروپا^۸ (۲۰۱۵) نیز در مطالعه «درس‌های آموخته‌شده از رخداد‌های خطوط لوله‌های نفت و پیشنهادهایی برای توسعه و بهبود طرح‌ها و سناریوها» در اتحادیه اروپا حدود ۲۰ درصد مخاطرات خط لوله اروپا را مسائل هیدرولوژی مانند سیلاب دانسته‌اند. ثورن و همکاران (۲۰۱۵) در «ماتریکس خطر ریسک پروژه برای مدیریت و باسازی آبراهه‌ها» در آمریکا راجع به مخاطرات

1. INGAA
2. River and Stream Crossings Study
3. Canadian Standards Association
4. CSA
5. Pipeline Geo-Environmental Design and Geohazard Management
6. The American Society of Mechanical Engineer
7. CEPA
8. JRC

خطوط لوله و آبراهه‌ها پرداخته‌اند. این ماتریکس برای برآورد خطر ریسک خطوط لوله در مسیر آبراهه‌ها طراحی شده است. کاسترو (۲۰۱۰)، و ثورن و همکاران (۲۰۱۵) در ماتریکس خطر ریسک پروژه برای مدیریت و باسازی آبراهه‌ها در امریکا و کلور (۲۰۱۰) نیز در ارتباط با ریسک و برآورد ریسک برای مدیریت رودخانه و باسازی آن در امریکا کارهای ارزشمندی انجام داده‌اند. در ایران، مطالعه جامع و مدونی درباره تأثیر ژئومورفولوژیکی مخاطرات فرسایش آبراهه‌ای- به‌واسطه آسیب‌هایی که برای خطوط لوله با توجه به پیشینه بیش از ۱۱۰ سال صنعت نفت و گاز ایجاد می‌کنند- انجام نشده است. در این مقاله هدف شناسایی معیارهای اصلی و تأثیر گذار بر خط لوله و برآورد واکنش و پاسخ آبراهه‌ها نسبت به آن و همچنین برآورد وضعیت ریسک و افزایش پاسخ آبراهه‌ها و رودخانه‌هاست.

منطقه مورد مطالعه

خط لوله گاز نهم سراسری ۵۶ اینچ عسلویه (استان بوشهر)- دهگلان (استان کردستان) با طول ۱۲۰۰ کیلومتر از فازهای ۱۹، ۲۲، ۲۳، و ۲۴ عسلویه برای تأمین بخشی از نیازهای گاز شمال کشور و همچنین صادرات گاز به اروپا از طریق ترکیه و مرز بازرگان است. این خط لوله به موازات کوه‌های زاگرس در استان خوزستان از شهرستان‌های اهواز، باوی، شوشتر، گتوند، و دزفول با طول تقریبی ۱۷۰ کیلومتر (اهواز- دزفول) عبور می‌کند (شکل ۱).



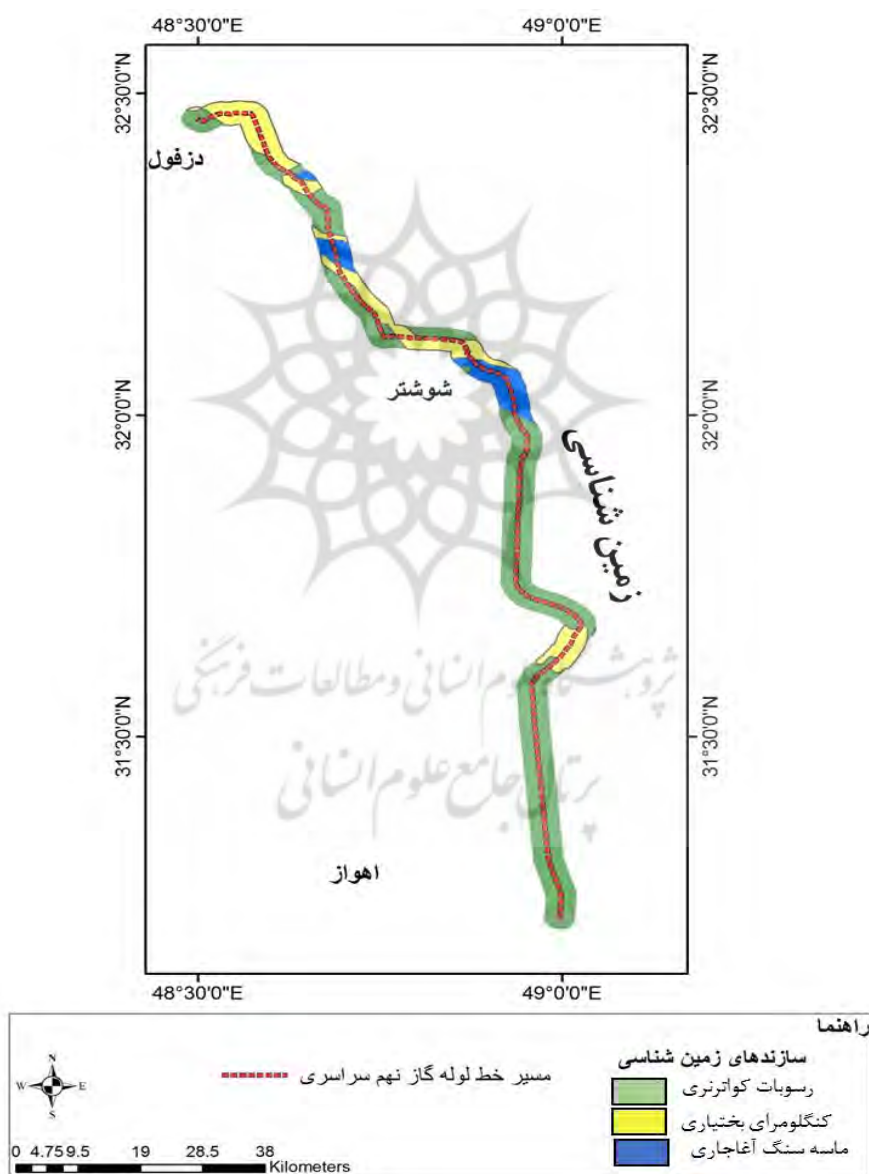
شکل ۱. خط لوله گاز سراسری عسلویه- دهگلان و منطقه مورد مطالعه

خط لوله مزبور در استان خوزستان از اهواز تا دزفول با رودخانه‌های کارون (شاخه گرگر)، کارون بزرگ، رودسر گتوند- سبزاب، سنگسرا، و رودخانه دز برخورد دارد. خط لوله گاز نهم سراسری از شهرستان‌های اهواز، باوی، شوشتر، گتوند، و دزفول و با طول ۱۷۰ کیلومتر گذر می‌کند.

زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی

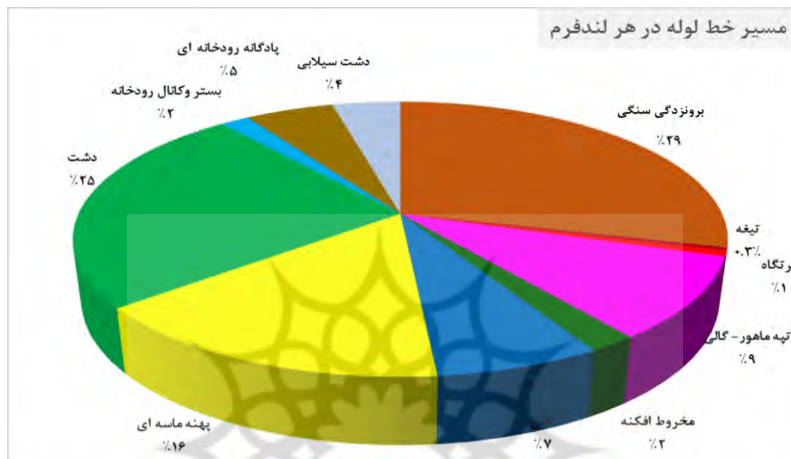
سازندهای واقع در مسیر خط لوله گاز نهم سراسری شامل رسوبات کواترنری، ماسه‌سنگ آجاجاری، و کنگلومرای بختیاری است. ماسه‌سنگ آجاجاری از لایه‌های ماسه‌سنگی آهکی با ضخامت ۲ تا ۵ متر همراه با میان لایه‌های مارنی

فرسایش‌پذیر تشکیل شده است (مطیعی، ۱۳۷۲؛ آقاباتی، ۱۳۸۳) که در مواردی نیز تا ۷ متر ضخامت لایه ماسه‌سنگی است (احمدی، ۱۳۹۱)؛ سازند کنگلومرای بختیاری به‌طور دگرشیب این سازند را پوشانده است (تهرانی، ۱۳۷۴). رسوبات کواترنری شامل ماسه بادی، رسوبات آبرفتی و رودخانه‌ای، و مخروط‌افکنه‌های جدید و پویاست (شکل ۲). در مسیر خط لوله گاز نهم سراسری از اهواز تا دزفول بیشترین پهنه مربوط به رسوبات کواترنری عهد حاضر مانند رسوبات بادی و آبرفتی است که گستره غالب با رسوبات آبرفتی از جمله رسوبات دشت سیلابی و رودخانه‌ای است. مسیر خط لوله گاز ۵۰ درصد در پهنه رسوبات کواترنری عهد حاضر واقع شده است. دومین سازند از نظر گستره فراوانی در مسیر خط لوله گاز نهم سراسری سازند کنگلومرای بختیاری است و در مجموع حدود ۴۰ درصد از مسیر خط لوله را اشغال کرده است. سومین سازند در مسیر خط لوله، سازند ماسه‌سنگی آغاچاری است که در مجموع حدود ۵ درصد کل مسیر است.

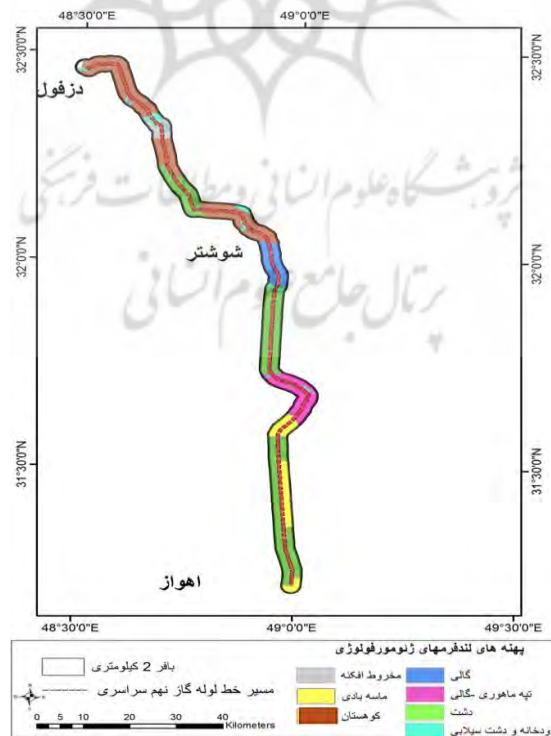


شکل ۲. سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

در مسیر خط لوله گاز نهم سراسری از اهواز تا دزفول سه واحد ژئومورفولوژیکی کوهستانی (۳/۵۱ درصد)، تپه ماهوری (۵/۱۸ درصد)، و دشت (۸/۲۹ درصد) دیده می‌شود. در منطقه مورد مطالعه مناطق کوهستانی در بخش شمالی واقع‌اند که از سازندهای ماسه‌سنگ آغاچاری و کنگلومرای بختیاری تشکیل شده‌اند. در واحد کوهستان سه نوع لندفرم (برونزدگی سنگی، تیغه، و پرتگاه) و در واحد دشت شامل چهار نوع لندفرم - تلماسه، دشت سیلابی، بستر، و پادگانه‌های رودخانه‌ای - دیده می‌شوند (شکل ۳). براساس داده‌های به‌دست آمده (شکل ۴)، واحد دشت در بخش جنوبی و مرکزی خط لوله دیده می‌شود. بخش تپه ماهور در مسیر خط لوله در شرق شهرستان شوشتر واقع است. بخش تپه ماهور در مارن‌های سازند آغاچاری واقع است. این بخش دارای شیب بسیار کمی است و در بین تپه‌ها آبراهه‌های زیادی وجود دارد.

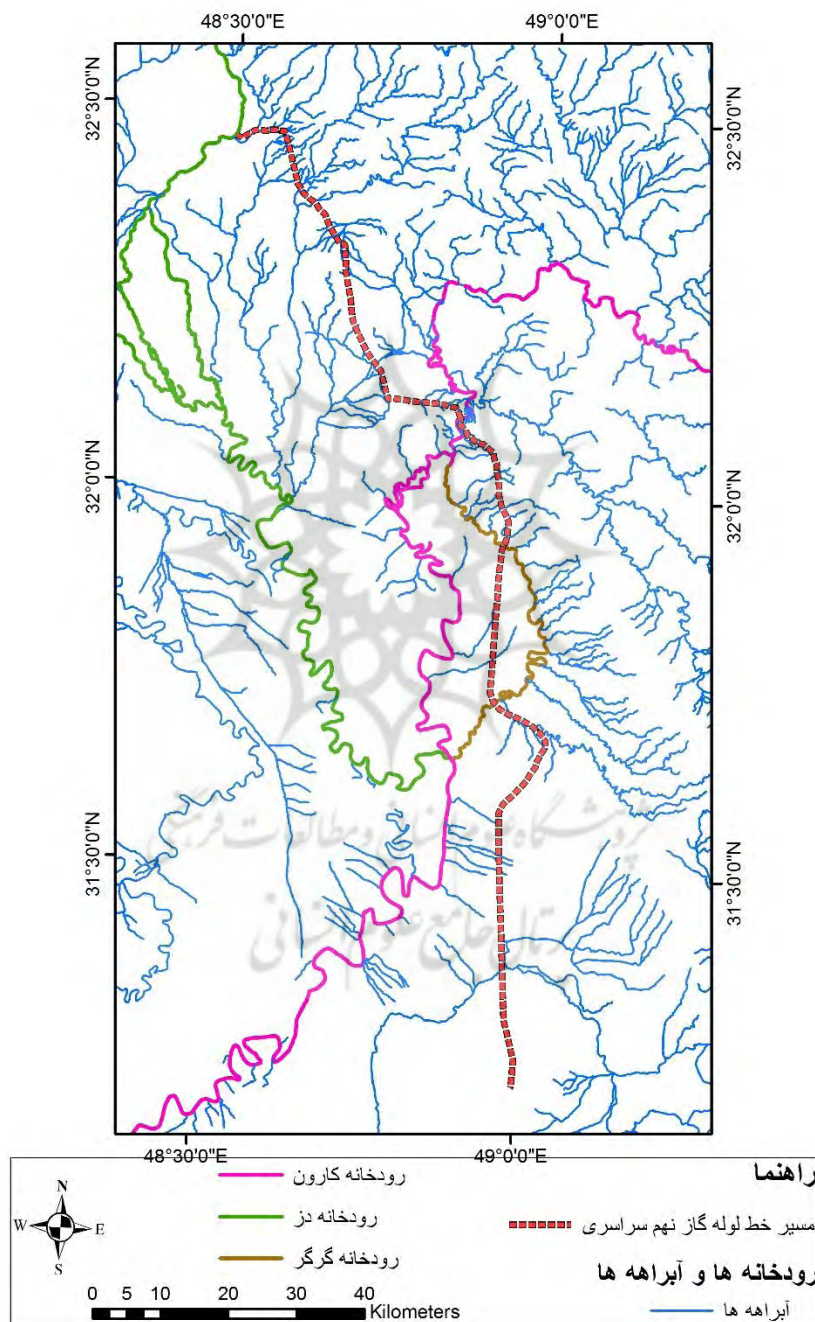


شکل ۳. درصد لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی در مسیر خط لوله



شکل ۴. پهنه‌های لندفرمی عمده ژئومورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه

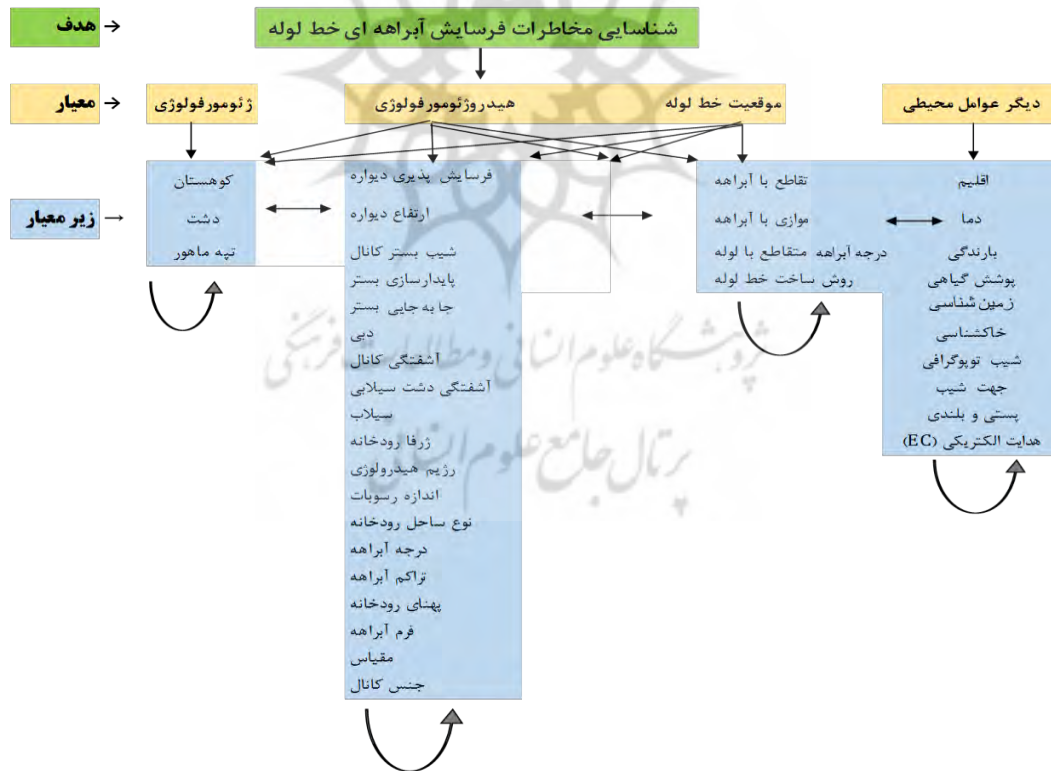
عمده رودخانه‌هایی که در مسیر خط لوله گاز نهم سراسری‌اند به دلیل شیب عمومی منطقه، همراستا با شیب ساختمانی و رواندگی صفحه زاگرس با جهت شمال شرقی- جنوب غربی‌اند (شکل ۵). در مسیر خط لوله گاز منطقه مورد مطالعه مجموعاً ۳۰ آبراهه و رودخانه بررسی شده است. این رودخانه‌ها تنها در فصل سرد سال جریان آب در آن‌ها جاری است که نشان از رژیم هیدرولوژی بارانی و رگباری است. فقط رودخانه کارون، گرگر، و دز دارای جریان آب دائمی‌اند.



شکل ۵. موقعیت آبراهه‌ها در مسیر خط لوله و روند عمومی جهت شمال شرقی- جنوب غربی

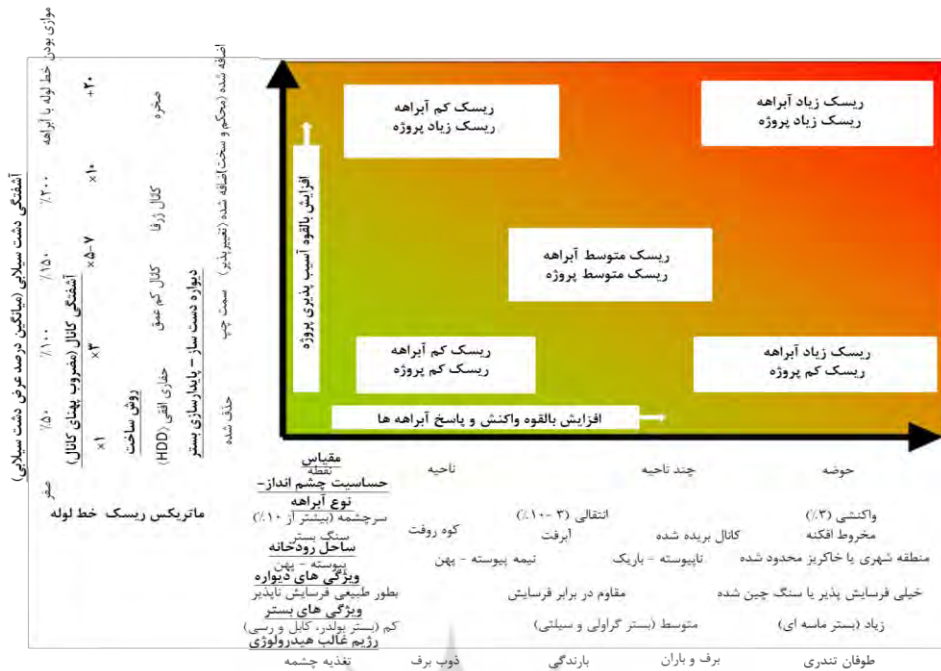
مواد و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از مدل تحلیل شبکه ANP و همچنین ماتریکس نمایش ریسک خط لوله (PRSM) به بررسی مخاطرات فرسایش آبراهه‌ای خط لوله گاز نهم سراسری پرداخته شده است. در مدل ANP ابتدا چهار معیار اصلی شامل ژئومورفولوژی، هیدروژئومورفولوژی، موقعیت خط لوله، و دیگر عوامل محیطی با مجموع ۳۶ زیرمعیار مقایسه زوجی شد (شکل ۶). سپس، بعد از مقایسه زوجی زیرمعیارها، معیارها مورد مقایسه و بررسی واقع شدند. برای این منظور، نخست لایه رستری زیرمعیارها مانند دبی، سیلاب، و اندازه رسوب ... تهیه و سپس بعد از کلاس‌بندی واحد هر زیرمعیار لایه‌ها فازی‌سازی شدند و لایه‌های فازی‌سازی شده در ضرایب وزنی نرمال هر زیرمعیار ضرب شدند. برای تهیه نقشه نهایی مخاطرات، کل لایه‌های وزن‌دار روی هم انداز^۲ و نقشه مخاطرات تهیه شد. بعد از به‌دست‌آوردن نقشه مخاطرات مسیر خط لوله، محور ماتریکس ریسک به واکنش و پاسخ رودخانه و آبراهه‌ها با استفاده از ۱۸ زیرمعیار هیدروژئومورفولوژی ترسیم شد. در این محور با استفاده از ماتریکس نمایش ریسک خط لوله به کلاس‌بندی وضعیت ریسک آبراهه‌ها در مسیر خط لوله پرداخته شد. محور ماتریکس ریسک آبراهه‌ها و رودخانه‌ها نیز از نظر ریسک به سه دسته - ریسک کم، ریسک متوسط، و ریسک زیاد- تقسیم شد (شکل ۷). همچنین، به‌منظور تهیه نقشه‌های مورد استفاده در این پژوهش از ۱۰ متر و عکس‌های هوایی ۱/۵۰۰۰۰ سال ۱۳۳۴ و ۱/۱۰۰۰۰ سال ۱۳۸۴، همچنین تصاویر ماهواره‌ای Landsat 2018 استفاده شد. نرم‌افزارهای مورد استفاده در این مقاله شامل GIS و Superdecision و Googlemapper است.



شکل ۶. ساختار شبکه‌ای معیارها و زیرمعیارهای در مدل ANP در نرم‌افزار Superdecision

1. Criteria
2. Overlay



شکل ۷. وضعیت ریسک و واکنش و پاسخ آبراهه‌ها نسبت به خط لوله (برگرفته از تورن و همکاران، ۲۰۱۵ و با کمی تغییر)

یافته‌های تحقیق

نخست به منظور شناسایی و اولویت‌بندی مخاطرات و همچنین شناخت فاکتورهای تأثیرگذار فرسایش آبراهه‌ای در مسیر خط لوله گاز نهم سراسری، بعد از مشخص شدن معیارها و زیرمعیارها (شکل ۶)، سپس، برای نمره‌دهی و امتیازدهی به آن‌ها از طریق ماتریکس ریسک خط لوله (PRSM) و همچنین با استفاده از نظر کارشناسان اجرایی خط لوله و ژئومورفولوژی از طریق پرسش‌نامه (شکل ۸) نتایج زیر به دست آمد:

1. Choose		2. Node comparisons with respect to "هیدروژئومورفولوژی" cluster																					
Node	Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct																	
Choose Node	هیدروژئومورفول	Comparisons wrt "هیدروژئومورفولوژی" node in "هیدروژئومورفولوژی" cluster																					
Cluster: Criteria		انتظافکی کمانال is equally as Preference as انتظافکی دشت سیلانی																					
Choose Cluster	هیدروژئومورفول	انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	انتظافکی دشت سیلا
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	ارتفاع میوه‌ها
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	فرافه آبراهه
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	چاهیبی آبراهه
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	چمن آبراهه
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	خط سافل روهفده
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	کین
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	رته آبراهه
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	رژده هیدروفولزی
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	سایب
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	شیب بستر
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	فره آبراهه
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	نعلین
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	چاه‌رسانی آرا
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	پنلانی فرسایش
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	پهنای آبراهه
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	زردای روهفده
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	ارتفاع میوه‌ها
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	فرافه آبراهه
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	چاهیبی آبراهه
		انتظافکی دشت سیلا	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	چمن آبراهه

شکل ۸. نمونه‌ای از پرسش‌نامه تکمیل شده در محیط نرم‌افزار Superdecision

ضرایب وزنی نرمال

ضرایب وزنی به‌دست‌آمده از بررسی چهار معیار موردبررسی مربوط به وضعیت خطوط لوله نسبت به آبراهه‌ها با نمره ۰/۴۶ شامل زیرمعیارهای تقاطع با آبراهه، درجه آبراهه، روش ساخت، و موازی‌بودن خط لوله با آبراهه است. سپس، به‌ترتیب دیگر معیارها شامل واحدهای ژئومورفولوژی (نمره ۰/۲۵)، هیدروژئومورفولوژی (۰/۲۲)، و دیگر عوامل محیطی (۰/۰۵) است (شکل ۹).

عوامل دیگر محیطی	0.05737
هیدروژئومورفولوژی	0.22203
واحدهای ژئومورفولوژی	0.25466
وضعیت خط لوله نسبت به آبراهه‌ها	0.46594

شکل ۹. ضرایب وزنی نرمال حاصل از بررسی معیارهای اصلی در ANP-PRSM

در ادامه وضعیت ضرایب وزنی نرمال هر یک از معیارها همراه زیرمعیارها شامل واحدهای ژئومورفولوژی، هیدروژئومورفولوژی آزمایشگاهی، و دیگر عوامل محیطی جداگانه بررسی می‌شود.

معیار ژئومورفولوژی

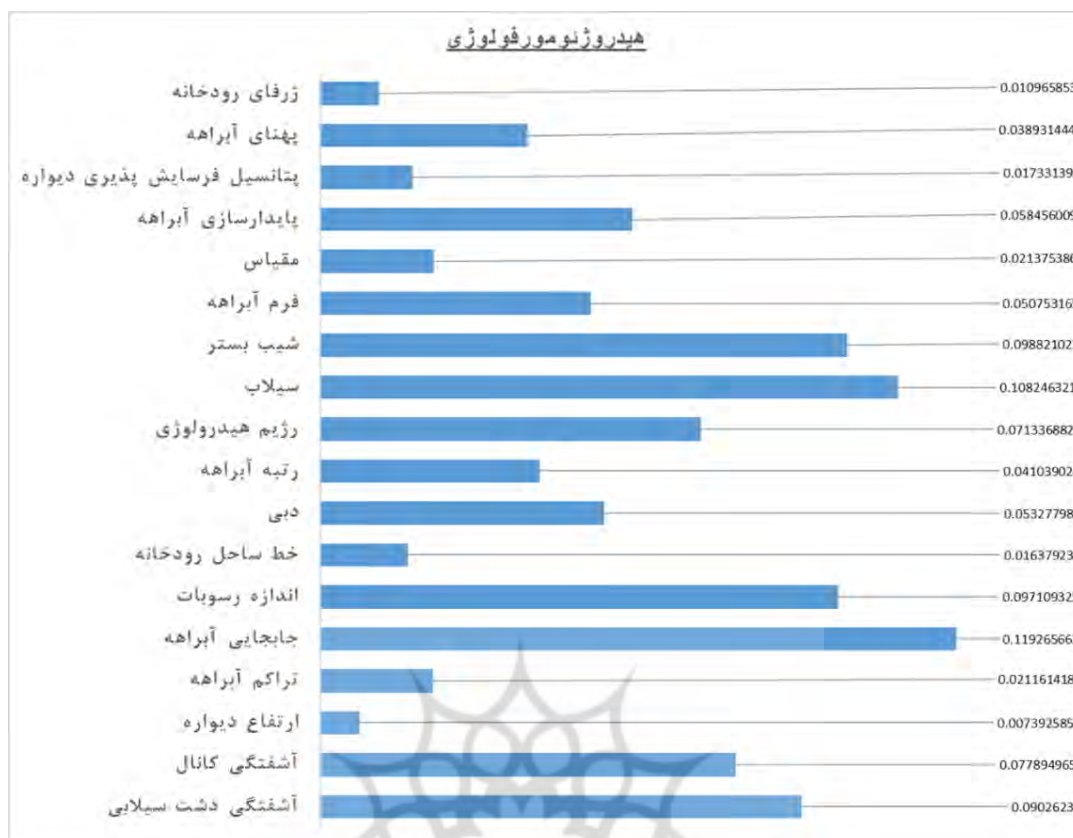
زیرمعیارهای ژئومورفولوژی از سه بخش به‌ترتیب واحد کوهستان (۰/۷۴)، تپه ماهور (۰/۱۹)، و دشت (۰/۰۶) است؛ به‌طوری‌که واحد کوهستان دارای بیشترین وزن و دشت دارای کمترین اهمیت از نظر مخاطرات فرسایش آبراهه‌ای در مسیر خط لوله است (شکل ۱۰).

تپه ماهور	0.19332
دشت	0.06007
کوهستان	0.74661

شکل ۱۰. ضرایب وزنی نرمال حاصل از بررسی زیرمعیارهای ژئومورفولوژی نسبت به خط لوله در ANP-PRSM

معیار هیدروژئومورفولوژی

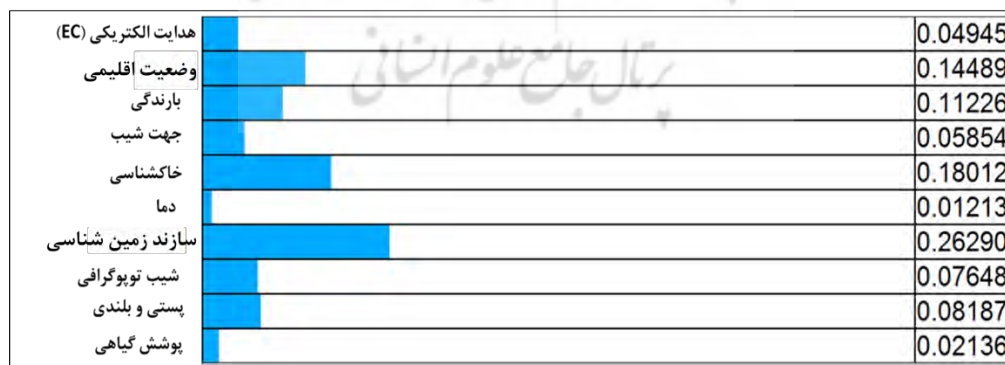
بررسی ضرایب وزنی نرمال حاصل از ۱۸ زیرمعیار هیدروژئومورفولوژی نشان از بالاترین وزن اهمیت جابه‌جایی آبراهه (۰/۱۱)، سیلاب (۰/۱)، شیب بستر (۰/۰۹۸)، اندازه رسوبات (۰/۰۹۷)، آشفستگی دشت سیلابی (۰/۰۹)، آشفستگی کانال (۰/۰۷۷)، رژیم هیدرولوژی (۰/۰۷۱)، و دیگر زیرمعیارهای هیدروژئومورفولوژی مانند پایدارسازی آبراهه، دبی، فرم آبراهه، پهنای رودخانه، رتبه آبراهه، مقیاس، تراکم آبراهه، پتانسیل فرسایش‌پذیری دیواره، خط ساحل رودخانه، ژرفای رودخانه، و ارتفاع دیواره است. همان‌طور که دیده می‌شود، سه زیرمعیار جابه‌جایی آبراهه، سیلاب، و شیب بستر در میان ۱۸ زیرمعیار بررسی‌شده دارای بیشترین اهمیت از نظر مخاطرات فرسایش آبراهه‌ای در مسیر خط لوله است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. ضرایب وزنی نرمال حاصل از بررسی زیرمعیارهای هیدروژئومورفولوژی در ANP-PRSM

معیار دیگر عوامل محیطی

از شمار و تعداد ده زیرمعیار ضرایب وزنی نرمال «دیگر عوامل محیطی» به ترتیب زمین‌شناسی (۰/۰۲۶)، خاک‌شناسی (۰/۱۸)، و وضعیت اقلیمی^۱ (۰/۱۴) دارای بیشترین وزن و اهمیت و همچنین دما و پوشش گیاهی دارای کمترین اهمیت از نظر تأثیر بر مسیر خط لوله از جنبه فرسایشی‌اند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. ضرایب وزنی نرمال حاصل از بررسی زیرمعیارهای «دیگر عوامل محیطی» در ANP-PRSM

۱. منظور از اقلیم در این مقاله وضعیت اقلیمی منطقه است که بخش جنوبی و مرکزی منطقه دارای اقلیم گرم خشک و بخش شمالی آن اقلیم نیمه‌خشک است.

معیار وضعیت آبراهه‌ها نسبت به خط لوله

ضریب وزنی نرمال حاصل از زیرمعیارهای موقعیت خط لوله نسبت به آبراهه‌ها به ترتیب اهمیت به شرح زیر می‌باشند: روش ساخت خط لوله (۰/۵۶)، درجه آبراهه (مقاطع با خط لوله) (۰/۲۷)، آبراهه یا رودخانه موازی با خط لوله (۰/۱۱)، و آبراهه‌ها و رودخانه‌های متقاطع با خط لوله (۰/۰۵). از این رو، زیرمعیار روش ساخت خط لوله، که از چهار روش کانال کم عمق، کانال عمیق، پل، و روش حفاری تشکیل شده است، دارای بیشترین اهمیت از نظر فرسایش آبراهه‌ای‌اند (شکل ۱۳).

تقاطع آبراهه	0.05259
درجه آبراهه	0.27033
روش ساخت	0.56304
موازی آبراهه	0.11404

شکل ۱۳. ضرایب وزنی نرمال حاصل از بررسی زیرمعیارهای وضعیت آبراهه‌ها نسبت به خط لوله در ANP-PRSM

وضعیت ریسک و واکنش آبراهه‌ها و رودخانه‌ها

از نظر وضعیت ریسک مسیر خط لوله، ۱۸ فاکتور هیدروژئومورفولوژی بررسی شد (شکل ۱۰). فاکتورهای شیب بستر، جابه‌جایی بستر، آشفته‌گی کانال، اندازه رسوبات و آشفته‌گی دشت سیلابی و سیلاب دارای بیشترین ریسک در مسیر خط لوله نهم گاز سراسری‌اند. فاکتورهای مقیاس، ویژگی‌های دیواره (شامل ارتفاع و فرسایش‌پذیری دیواره)، پایدارسازی بستر، درجه آبراهه، دبی، کرانه رودخانه، پهنای رودخانه، رژیم هیدرولوژی، و شکل آبراهه در وضعیت ریسک متوسط و فاکتور جنس آبراهه و تراکم آبراهه در وضعیت ریسک کم قرار دارند (شکل ۱۴).

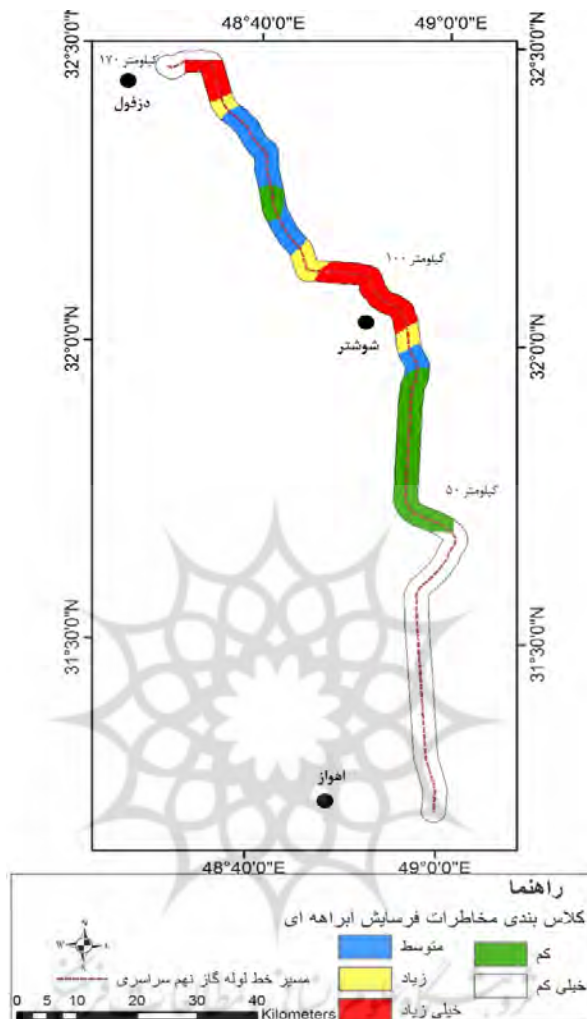


شکل ۱۴. وضعیت ریسک و واکنش و پاسخ آبراهه‌ها نسبت به خط لوله

نتیجه‌گیری

پس از اجرای روی هم اندازی کردن ۳۶ لایه ANP-PRSM موجود، نقشه کلاس‌بندی خطر در پنج کلاس - خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، و خیلی زیاد - به دست آمد. در بخش جنوبی مسیر خط لوله از کیلومتر صفر تا کیلومتر ۹۰، در جنوب شوشتر، از نظر وضعیت ریسک، دارای ریسک خیلی کم و کم است. از کیلومتر ۹۰ مسیر خط لوله تا کیلومتر ۱۱۰، که در محدوده شمالی شوشتر و کوه فدک است، وضعیت ریسک دارای کلاس با ریسک زیاد و خیلی زیاد است. این وضعیت

نیز برای محدوده ۱۰ کیلومتری پایان خط لوله (کیلومتر ۱۵۰-۱۶۵) و در شرق دزفول نیز همین وضعیت ریسک را داراست. وضعیت ریسک در بخش کیلومتر ۱۲۰-۱۵۵ دارای کلاس متوسط است (شکل ۱۵).



شکل ۱۵. نقشه کلاس بندی مخاطرات خط لوله گاز نهم سراسری

به طور کلی، چنین نتیجه می‌شود که از چهار معیار بررسی شده (معیار وضعیت خطوط لوله نسبت به آبراهه‌ها، هیدروژئومورفولوژی، ژئومورفولوژی، و دیگر عوامل محیطی) با استفاده از روش ANP-PRSM، معیار وضعیت خط لوله نسبت به آبراهه‌ها و رودخانه‌ها دارای بیشترین وضعیت ریسک و واکنش نسبت به مخاطرات خط لوله است. سپس، سه معیار دیگر به ترتیب ژئومورفولوژی، هیدروژئومورفولوژی، و دیگر عوامل محیطی در مراحل بعد قرار دارند. مهم‌ترین زیرمعیارهای مهم و دارای بیشترین وضعیت ریسک و پاسخ آبراهه‌ای و رودخانه‌ای از چهار معیار گفته شده نیز زیرمعیار روش ساخت، کوهستان، جابه‌جایی آبراهه، و سازندهای زمین‌شناسی است. از این رو، کیلومتر ۹۰+ تا ۱۱۰+ در محدوده شمال شوشتر و کیلومتر ۱۵۰+ تا ۱۶۵+ در شرق دزفول خط لوله گاز نهم سراسری دارای بیشترین وضعیت ریسک و همچنین افزایش واکنش آبراهه‌ای و رودخانه‌ای‌اند که در واحد ژئومورفولوژی کوهستان واقع است که نیازمند اقدامات مدیریتی-ژئومورفولوژی و همچنین بازنگری مجدد طرح از نظر مدیریت مخاطرات فرسایش آبراهه‌ای و رودخانه است.

منابع

- آقاباتی، سیدعلی (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران، تهران: انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات کشور.
- احمدی، امیر (۱۳۹۱). مکانیسم شکل‌زای کواترنری بر روی ماسه‌سنگ آغاچاری در شمال غرب مسجد سلیمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- احمدی، علی‌حسین (۱۳۹۳). شناسایی پهنه‌های آسیب‌پذیر مسیر خطوط انتقال نفت و گاز با تأکید بر پارامترهای ژئومورفولوژیکی (مطالعه موردی: محدوده شمال غربی مسجد سلیمان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، تهران، خسرو (۱۳۷۴). چینه‌شناسی ایران، انتشارات کلیدر.
- مطیعی، همایون (۱۳۷۲). زمین‌شناسی ایران: چینه‌شناسی زاگرس، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- Aghanabati, S.A. (2003). *Iran Geology*, Public by Geological Survey & Mineral Explorations of Iran (GSI).
- Ahmadi, A. (2013). Quaternary morphogenesis of mechanism on Aghajari sandstone in Northwest Masjed - soleyman. MS, University of Tehran.
- Ahmadi, A.; Moghimi, E.; Zamanzadeh, S.M. and Motamed, R. (2015). The Effect of Sandstone Composition on Distribution of Tafoni Landforms in the Aghajari Sandstone, Northwest of Masjed Soleyman, Iran, *Hindawi Publishing Corporation Advances in Geology*, Article ID 862714: 10.
- American Society of Mechanical Engineers (ASME) (2012). *Gas Transmission and Distribution Piping Systems*, ASME Code for Pressure Piping, B31.
- Anifowose, B.; Lawler, D.; Horst, D. and Champion, L. (2014). Evaluating interdiction of oil pipelines at river crossings using Environmental Impact Assessments, *Area*, 46.1, 4-17, doi: 10.1111/area.12065.
- Canadian energy pipeline association (2014). Calgary, Alberta, Canada.
- Canadian Standards Association, Oil and gas pipeline systems. Z662-07. (2007). Copyright © Canadian Standards Association.
- Castro, J.M. (2010). Pipelines & Stream Crossings: a new tool for determining relative risk, Presented at: Department of the Interior, *Conference on the Environment*, April 26th-30th, 2010.
- Castro, J.M. (2011). Should I be concerned? Screening projects using RiverRAT, Presented at: *Salmon Recovery Funding Board, Salmon Recovery Conference*, April 26th-27th, 2011, Grand Mound, Washington.
- Cluer, B.; Thorne, C.R.; Castro, J.M.; Pess, G.; Beechie, T.; Shea, C. and Skidmore, P. (2010). Tools and Science Base for Evaluating Stream Engineering, Management, and Restoration Proposals, *Proceedings of the Federal Interagency Sediment Conference 2010*, Las Vegas, Nevada (June 2010).
- Dastgir, N. (2013). *Geohazard Modelling of Onshore Pipelines in Kenya*, Natural Hazard for insurers.
- Girgin, S. and Krausmann, E. (2015). Lessons learned from oil pipeline natech accidents and recommendations for natech scenario development, Institute for the Protection and Security of the Citizen. Elisabeth Krausmann, Address: Joint Research Centre, Via E. Fermi 2749, 21027 Ispra (VA), Italy. Joint Research Centre.

- Glass, M.; Hatcher, K.; Betcher, M. and Hansen, E. (2016). *Guidance for Monitoring Effects of Gas Pipeline Development on Surface Water and Groundwater Supplies*, Published by downstream strategy.
- INGAA Foundation (1998). *River and Stream Crossings Study* (Phase I). Copyright © 1998.
- Mobin, S. and Goryainov, U.A. (2007). *Constraction and operation of pipeline projects in Pakistan – associate risk and their solution*, Oil and Gas Business.
- Motiei, H. (1993). *Stratigraphy of Zagros*, Tehran: Geological Survey of Iran.
- Ogwu, F.A. (2011). Challenges of Oil and Gas Pipeline Network and the role of Physical Planners in Nigeria, *FORUM Ejournal*, 10: 41-51.
- Rizkalla, M. (2008). *Pipeline geo-environmental design and geohazard management American Society of Mechanical Engineers (ASME)*, USA: New York.
- Sakhalin Energy Investment Company LTD. (2003). Comparative Environmental Analysis of the Piltun-Astokh Field Pipeline Route Options, BM Code: EP.17.03.07.03.
- Sakhalin Energy Investment Company LTD. (2006). Comparative Environmental Analysis of the Piltun-Astokh Field Pipeline Route Options, BM Code: EP.17.03.07.03.
- Sakhalin Energy Investment Company LTD. (2006). Comparative Environmental Analysis of the Piltun-Astokh Field Pipeline Route Options, BM Code: EP.17.03.07.03.
- Tehrani, K. (1994). *Iran stratigraphy*, Public, Klidar. 250 pp.
- Thorne, C.; Castro, J.; Cluer, B.; Skidmore, P. and Shea, C. (2015). Project risk screening matrix for river management and restoration, River research and applications, *River Res. Applic*, 31: 611-626.
- Veldman, W.M. (1983). *Arctic Pipeline River Crossings, Design Trends and Lessons Learned, Prepared for the American Society of Civil Engineers, Specialty Conference on Pipelines in Adverse Environments*, San Diego, California.