

## ارزیابی ریسک گذر خطوط لوله گاز از محدوده‌های کوهستانی و بررسی تهدید آنها توسط لغزش‌های دامنه‌ای با استفاده از بکارگیری الگوریتم‌های هیبریدی- فازی (مطالعه موردی: خط سوم تهران)

مریم بیاتی خطیبی\* - استاذ ژئومورفولوژی، گروه سنجش و جی‌ای‌اس، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز. سمیه حسن‌پور - دانش‌آموخته ارشد سنجش و جی‌ای‌اس، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز. بختیار فیضی‌زاده - دانشیار جی‌ای‌اس، گروه سنجش و جی‌ای‌اس، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۰۶ تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۰۹/۰۴

### چکیده

خط لوله گاز به عنوان خط حیات در اقتصاد ملی و توسعه اجتماعی بوده و از ضروریات زندگی امروز محسوب می‌شود. با توجه به ویژگی‌های اشتعال‌پذیری، انرژی زیاد و فشار، کار مداوم، گسترده‌گی مکانی و وجود شرایط متفاوت محیطی در هر محدوده جغرافیایی، مکان‌یابی، حفظ و نگهداری از آن پیچیده‌هایی زیادی دارد. یکی از مهمترین خطرات محیطی وقوع لغزش در محدوده‌های شیب‌دار است. در این محدوده‌ها، خط لوله‌های مدفون شده می‌توانند در معرض حرکات لغزشی قرار گرفته و منجر به آسیب‌های زیادی به این خطوط شوند. این مطالعه با هدف بررسی تهدیدات خطوط لوله گاز توسط لغزش‌ها و ارزیابی کارآمدی الگوریتم‌های هیبریدی- فازی در مدل‌سازی ریسک شبکه‌های انتقال گاز در بخش‌هایی از استان تهران و قم انجام شد. در این پژوهش با استفاده از سیستم‌های هوشمند، شامل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، جنگل تصادفی، فازی - تحلیل شبکه، فازی و فرآیند تحلیل شبکه، به منظور ارزیابی ریسک خط لوله گاز ۳۶ اینچ استفاده گردید. برای ارزیابی ریسک خط لوله گاز (با در نظر گرفتن ۱۱ متغیر)، از مدل‌های Fuzzy، ANP، Fuzzy\_ANP، MLP و RF استفاده گردید. پس از اجرای مدل‌ها، مقادیر بدست آمده از هر مدل مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج مطالعات نشان داد که شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با توجه به ساختار غیر خطی و توانمند، در مدل‌سازی با کمترین خطا، از کارایی بالاتری برخوردار است. در مدل پرسپترون چند لایه ای، خطای سیستماتیک  $0.02812$ ، خطای مطلق  $0.42168$  و خطای جذر میانگین مربعات با  $0.5020$  بهترین نتیجه را در ارزیابی ریسک نشان داد. تهیه نقشه‌های کیفی حاصل از پهنه‌بندی زمین لغزش در مدل MLP نشان داد که محدوده شمالی از آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به سایر مناطق برخوردارند. بر اساس نتایج و استفاده از مدل MLP، و با در نظر گرفتن تهدیدات توسط زمین لغزش می‌توان گفت که  $9/78$  درصد منطقه در کلاس کم‌خطر،  $47/17$  درصد در کلاس خطر متوسط،  $36/95$  درصد در کلاس نسبتاً زیاد و  $6/10$  درصد در کلاس با خطر زیاد می‌باشد. نتایج همچنین نشان داد که اکثر محدوده مورد مطالعه و خط لوله با توجه به معیارهای بیان شده در این پژوهش از آسیب‌پذیری متوسط و نسبتاً زیاد برخوردارند. با توجه به نتایج حاصل می‌توان توصیه نمود که در محدوده مورد مطالعه و در مناطق با ریسک زیاد، باید از لوله‌های با کلاس بالاتر استفاده شود و در محدوده‌های آسیب‌پذیر، مطالعات دوره‌ای از مسیر عبور به طور مداوم صورت گیرد و ارزیابی‌های دقیق از عوامل فیزیکی و محیطی برای کاستن از میزان آسیب‌پذیری شبکه لوله‌ها انجام گردد.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی ریسک، شبکه انتقال گاز، الگوریتم‌های هیبریدی- فازی، پرسپترون چند لایه، فازی، جنگل تصادفی.

## مقدمه

دامنه های کوهستانی برای استقرار تمامی تاسیسات، به عنوان محدوده های ناپایدار محسوب می شوند. شیب های دامنه ها اصولاً در اثر دستکاری های انسانی در اغلب موارد، تعادل طبیعی خود را از دست می دهند و بطور کلی وجود انرژی لازم و کافی در دامنه ها برای شروع بسیاری از مخاطرات، برای ایجاد هر گونه تاسیسات مستقر به عنوان تهدید محسوب می شوند. برای کاهش میزان آسیب های وارد برای تاسیسات مستقر در چنین محدوده هایی، لازم هست عوامل تهدید کننده در مکان بطور دقیق شناسایی شوند و نتایج حاصل از بررسی ها در مکان یابی مناسب و یا در اتخاذ تدابیری در جهت کاهش خسارات، بکار گرفته شوند. امروزه افزایش مصرف گاز، سبب افزایش تراکم شبکه های خط لوله های انتقال گاز و در نتیجه افزایش در ریسک های بالقوه آن در محدوده های گذر شده است. ارزیابی ریسک، امروزه به عنوان روشی در جهت مدیریت و اتخاذ تدابیر امنیتی به منظور کاهش خطرات ناشی از وقوع حوادث مختلف باید مد نظر قرار گیرد. ارزیابی ریسک می تواند به عنوان یک روش منطقی برای تعیین ارزش کیفی و کمی خطرات و بررسی پیامدهای احتمالی حوادث بر روی افراد، محصولات، تجهیزات، مواد و محیط زیست تعریف شود (قندهاری و همکاران، ۱۳۹۸، اسپوسیتو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۵).

ارزیابی میزان ایمنی خطوط لوله گاز طبیعی در محل گذر، نه تنها برای اقتصاد بسیار حائز اهمیت است، بلکه با توجه به خاصیت اشتعال پذیری گاز طبیعی، امنیت اجتماعی را نیز تحت تأثیر قرار می دهد. به طور کلی ریسک خط لوله به صورت تابع ریاضی از احتمال ایجاد خرابی خط لوله و بزرگی میزان مرگ و میر و آسیب های ناشی از آن از جمله خسارت های زیست محیطی و جانی تعریف می شود (اجه و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۸). گام نخست در تجزیه و تحلیل ریسک، شناسایی عوامل مؤثر در بروز حادثه و خرابی بر روی خط لوله می باشد. با توجه به محیط اطراف خط لوله عوامل مختلفی سبب خرابی خط لوله و بروز حادثه می گردند. پس از شناسایی عوامل خرابی، میزان آسیب ناشی از هر یک محاسبه می گردد و نتایج آن در قالب میزان ریسک بیان می شود (ما و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۸) می توان ارتباطی بین فرآیند برآورد ریسک و سامانه های اطلاعات جغرافیایی برقرار نمود و پهنه بندی های مناسبی را با بکارگیری مدل ها و سامانه اطلاعات جغرافیایی مشخص کرد (دوکوتا و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۳ و دمیر<sup>۵</sup>، ۲۰۱۶). با ارزیابی ریسک خطوط لوله گازی می توان اطلاعات ارزشمندی از مؤلفه های مخاطره آمیز را تعیین نموده و با کسب اطلاعات لازم از واکنش یک پدیده مخاطره آمیز، استراتژی مناسب برای کاهش و یا حتی حذف آن اتخاذ نمود. برای دستیابی به این هدف، بکارگیری تکنیک مناسب نیاز هست که بتواند خطرات موجود را دقیق و مطمئن ارزیابی کند، و با استفاده از نتایج حاصل از ارزیابی ها برنامه ریزان و مدیران بتوانند با افق دید وسیع تر و ضریب ریسک پایین تری نسبت به مدیریت بهینه خطوط انتقال گاز اقدام نمایند. با توجه به گستردگی خطوط گاز در استان تهران و همچنین قم و با عنایت به ویژگی های محیطی و طبیعی دو استان ارزیابی میزان آسیب بسیار مهم است. گذر خطوط گاز از محدوده های کوهستانی می تواند با مسایل عمده محیطی و اجتماعی همراه باشد که برای کاهش اثرات تخریبی محیط بر خطوط لوله و برعکس باید محیط و میزان خطرات و تهدیدات مورد شناسایی دقیق قرار گیرند. از این رو در این تحقیق فرآیند برآورد ریسک محیط زیستی با سامانه های اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از الگوریتم های هیبریدی - فازی مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اهمیت ارزیابی ریسک شبکه انتقال خطوط گاز و تهدید خطرات ناشی از گذر خطوط گاز از محیط های پرخطر، محققین مختلف در مورد ارزیابی ریسک شبکه های انتقال گاز مطالعات زیادی در داخل و خارج انجام داده اند و از ابعاد مختلف موضوع را مورد بررسی قرار داده اند. گاه از دیدگاه شاخصه های شیمیایی خطرناک به بحث

1. Esposito et al.,

2. Ece et al.,

3. Ma et al.,

4. Devkota et al.,

5. Demir

و بررسی پرداخته اند (جباری قره باغ، ۱۳۸۷) و در مواردی از دیدگاه تاثیر مخاطرات ژئومورفیک به مساله عبور خط لوله توجه نموده اند (جعفریگلو و دیگران، ۱۳۹۷). برای بررسی برآورد خطر عبور لوله های گاز از مدل ها و روش های مختلفی در ارزیابی خطر ریسک استفاده شده است. برای مثال، حیرانی و بقایی (۱۳۹۴) در پژوهش خود برای ارزیابی ریسک خطوط لوله انتقال نفت و گاز از روش tie<sup>1</sup>-Bow بهره گیری کرده اند. یافته های این محققین با استفاده از این روش مشخص کرده است که عوامل آسیب شخص ثالث، نقص اولیه در مواد و ساخت خط لوله با احتمال شکست ۰/۰۴۸۴ دارای بالاترین درصد اهمیت (معادل ۱۲٪/۳۲) در تخریب خط لوله های انتقال گاز و نفت می باشند. امامزاده (۱۳۹۳) در پژوهشی که انجام داده اند، یک مدل هیبریدی شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک جهت شبیه سازی و پیش بینی هدایت هیدرولیک اشباع خاک را با استفاده از روش های MLP و RBF توسعه داده اند. این محققین با توجه به اینکه تعیین ساختار شبکه عصبی MLP و تعیین ورودی های مورد نیاز به صورت آزمون و خطا می باشد، لذا از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی استفاده نموده اند. محققین دیگری هم هستند که مانند قندهاری و دیگران (۱۳۹۸) به منظور شناسایی و ارزیابی کمی ریسک خطوط لوله گاز شهری و همچنین تعیین مناطق حساس، مدل های تلفیقی ارائه داده اند و با بخش بندی شبکه خطوط در منطقه مورد نظر، با شاخص های مناسب، سناریوهای حوادث مختلف در رابطه با نشت گاز به روش FMEA و ETA را شناسایی و احتمالات و پیامد های نهایی این سناریوها را در ابعاد مختلف به دست آورده اند. تعداد منابع خارجی در مورد ارزیابی خطر خطوط انتقال گاز نیز زیاد است. به عبارت دیگر تحقیقات زیادی در این زمینه توسط محققین خارجی صورت گرفته است. آنها هم از مدل های مختلف و روش های متنوع برای بررسی و ارزیابی ریسک و برآورد خطر استفاده کرده و الگوریتم هایی را بکار گرفته اند. برای مثال در مواردی برای بررسی خطر و ریسک گذر لوله های گاز از یک مدل TOPSIS گسترده با مجموعه های فازی برای اولویت بندی خطرات استفاده نمودند (اجه و همکاران، ۲۰۱۵، اسپیتو و همکاران، ۲۰۱۵، و توکتاس<sup>۲</sup>، ۲۰۱۸) و یا پژوهش خود را با استفاده از روش های رگرسیون ماشین بردار پشتیبانی انجام داده اند. برخی از محققین با استفاده از روش تنظیم پارامتر قوی و با بکارگیری الگوریتم ژنتیک و یا FTA به مطالعه خطرات ناشی از خطوط گذر لوله در محیط های پرخطر پرداخته اند (لاهیرو گانتا<sup>۳</sup>، ۲۰۱۸، لی و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۸، ۲۰۰۹، و ۲۰۱۶).

جمعیت تهران و استان های همجوار آن در حال افزایش است. نیاز روز افزون مراکز مسکونی و همچنین کارخانجات به انرژی، مسئله گسترش خطوط انتقال انرژی بدون رخداد های خطرناک در مسیر را مورد توجه قرار داده است. خط سوم گذر انتقال گاز تهران از جمله این خطوط است که به اجبار از محدوده های شیب دار عبور می کند و خواه ناخواه خطر ناپایداری دامنه ها را در اثر گذر لوله ها و تاثیر این خطرات را به شبکه انتقال به مسئله قابل تامل و بررسی تبدیل می کند. با توجه به اهمیت ارزیابی خطر ریسک خط لوله سوم در مسیر تهران قم که از محدوده های شیب دار عبور می کند و مشکل ناپایداری دامنه ها را مطرح می کند، در این مطالعه سعی شده است خطر گذر این شبکه انتقال انرژی مورد بررسی قرار گیرد و با هدف ارزیابی ریسک، کارآمدی الگوریتم های هیبریدی - فازی در مدل سازی ریسک شبکه های انتقال گاز نیز در خط سوم تهران و در محدوده های خطر مشخص گردد.

## مواد و روش ها

### محدوده مورد مطالعه

این پژوهش بر روی خط لوله ی سوم تهران با طول ۱۱۰ کیلومتر، در راستای جنوب به شمال از استان های قم و تهران می گذرد. خط انتقال گاز مورد مطالعه در مختصات جغرافیایی "۳۴°۴۷'۰۰" عرض شمالی و "۵۰°۳۹'۴۹" طول شرقی در

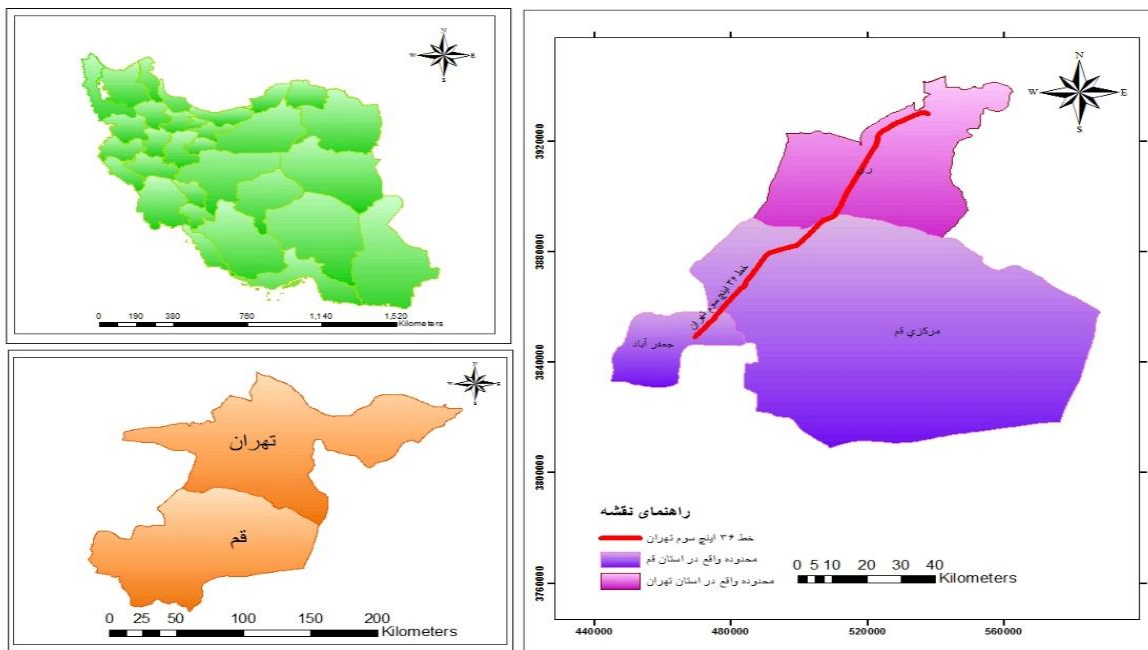
1. Bow\_Tie

2. Toktas

3. Lahir, and Ghanta

4. Li, et al

ارتفاع تقریبی ۱۰۶۰ متر از سطح دریا در استان قم آغاز می گردد. نقطه پایانی خط لوله مورد مطالعه دارای مختصات  $35^{\circ}30'44''$  عرض شمالی و  $51^{\circ}24'51''$  طول شرقی و ارتفاع تقریبی ۱۲۳۰ متر از سطح دریا در استان تهران واقع شده است. بخشی از خط لوله از محدوده های کوهستانی استان تهران عبور می کند. ارتفاع مسیر عبور بسیار متفاوت است. ارتفاع تهران از سطح دریا در حدود ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متر است. این استان در پهنه ای بین کویر کوه در دامنه های جنوبی البرز قرار گرفته و دارای ۳ منطقه طبیعی است. وجود رسوبات دانه درشت و دانه ریز در مخروط افکنه ها در کوهستان های شمالی تهران که ارتفاعی بیش از ۱۵۰۰ متر دارند، موجب نفوذ آب به زیرزمین و تشکیل سفره های زیرزمینی آب شده است. سازند های مختلف زمین شناسی در این استان وجود دارند که بیشترین وسعت زمین ها متعلق به کواترنری و پس از آن دوره ترشیاری است. استان قم در محدوده زون ساختمانی ایران مرکزی قرار گرفته است و کلیه نمودهای زمین ساختی آن متأثر از رفتارهای این منطقه ساختمانی است. در منطقه قم رسوبات حوضه قم معرف تشکیلات سنوزونیک است و این رسوبات در جهت شمال غربی جنوب شرقی گسترش دارند.



شکل ۱: موقعیت منطقه خط لوله مورد مطالعه

### داده های تحقیق

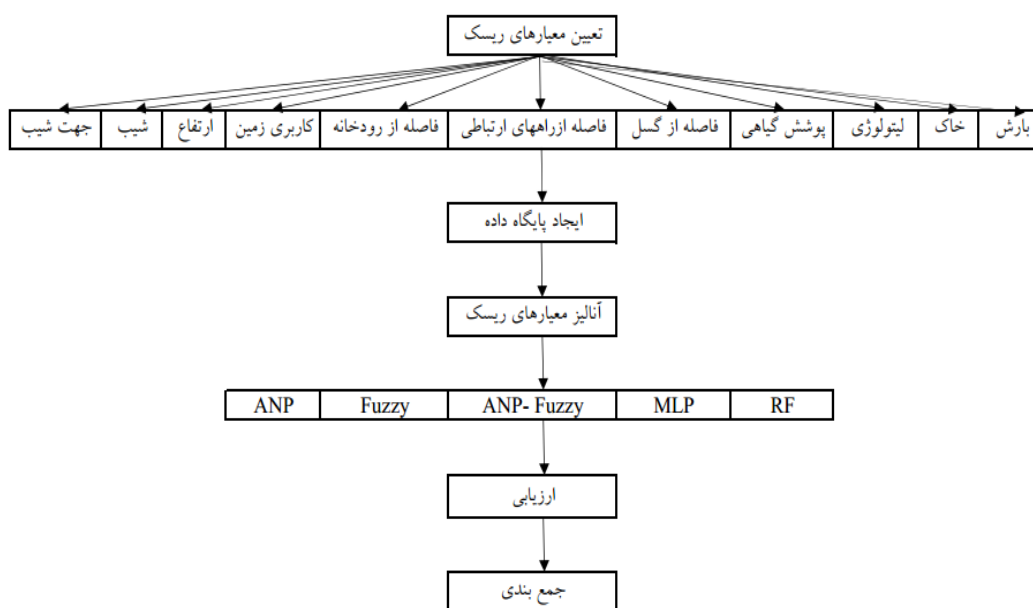
در این پژوهش برای رسیدن به اهداف پژوهش، پس از تعیین نوع متغیرهای تاثیرگذار در تهدید مسیر گذر خطوط لوله، در ابتدا یک پایگاه داده از لایه ها و اطلاعات مورد نیاز در قالب یک Geodatabase ایجاد گردید. برای ارزیابی خطر زمین لغزش در مسیر خط لوله ۱۱ متغیر (مانند شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، خاک، فاصله از جاده، بارش، پوشش زمین و ارتفاع، فاصله از گسل و لیتولوژی) در نظر گرفته شد و داده های مربوطه از منابع مختلف تهیه گردید. برای ارزیابی ریسک، مدل تحلیل شبکه ای، تحلیل فازی، شبکه ای \_ فازی، پرسپترون چند لایه و روش جنگل تصادفی مورد استفاده قرار گرفت و نتیجه گیری ها بر اساس مدل های بکار گرفته صورت گرفت (شکل ۲). نرم افزارهای مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از: نرم افزار Arc GIS 10.5، برنامه های محاسباتی (متلب ۲۰۱۹)، نرم افزار AutoCAD Civil 3D، Super decision، برای تهیه لایه بارش آمار ماهیانه ایستگاه های و نواحی مجاور در بازه زمانی یکسال از سازمان هواشناسی اخذ گردیده است. سپس این داده ها در محیط ArcGIS به صورت Shapefile درآمده و با استفاده از ابزار  $Spatial Analyst > IDW^1$  داده ها

<sup>1</sup>. Inverse Distance Weighting

مورد پردازش قرار گرفته و نقشه بارش منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. در این روش مقادیر سلول‌ها با استفاده از وزن همسایگی نقاط نمونه و فاصله آنها تخمین زده می‌شود که از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه  $Z(s_i)$  مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیت  $i$  ام است و  $\lambda_i$  وزن مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیت  $i$  ام است.  $s$  موقعیت پیش‌بینی و  $N$  تعداد نقاط اندازه‌گیری شده یا معلوم می‌باشد.



شکل ۲: فلوجارت مراحل تحقیق

## روش‌ها و مدل‌ها

در این تحقیق یکی از روش‌های مورد استفاده، تحلیل شبکه بود. به منظور مدلسازی ریسک خط لوله با استفاده از مدل ANP از نرم افزار SuperDecisions جهت وزن دهی و اولویت بندی معیارها استفاده شد. با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP) وزن معیارها و همچنین نرخ ناسازگاری ماتریس (رابطه ۲) مقایسات زوجی با استفاده از نرم افزار SuperDecisions به دست آمد؛ ضریب ناسازگاری در این مطالعه ۰/۹۸۱ می‌باشد.

$$CR = \frac{\lambda_{max} - n}{RI(n-1)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

پس از آنکه وزن هریک از عوامل موثر در زمین لغزش به دست آمد در نرم افزار ArcGIS معیارهای استاندارد شده در وزن مخصوص به خود ضرب شدند. در این منطقه جهت بررسی احتمال وقوع خطر و شدت اثر در مزارع کشاورزی، خطوط ارتباطی و تقاطع با رودخانه‌ها و جاده‌ها حریم تا ۱۰۰۰۰ متر در نظر گرفته شد. یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده، روش Fuzzy بود. جهت تحلیل فازی ابتدا لایه‌های موثر در پهنه بندی ریسک خط لوله استاندارد شدند. هریک از معیارها براساس تاثیر نسبی که در تعیین ریسک خطوط انتقال گاز دارند، با استفاده از منطق فازی وزن دهی شدند. در هر نقشه فاکتور فازی،

ارزش هر یک از معیارها، با درجات عضویت فازی حد واسط بین صفر تا یک نشان داده شد. به منظور تهیه نقشه های فاکتور فازی در این پژوهش با تعریف توابع عضویت خطی و با توجه به تاثیر منفی و یا مثبت هر پارامتر و با در نظر گرفتن معیارها و با استفاده از ابزار Raster Calculator در نرم افزار ArcGIS اجرا گردید. خروجی حاصل از مراحل به صورت لایه رستری بود که برای هر لایه اطلاعاتی براساس طبقه بندی و ضوابط، ارزش های بین صفر و یک در نظر گرفته شد. برای تبدیل ارزش های هر کلاس به امتیاز، باید ارزش ها با یکی از توابع فازی سازی به امتیاز استاندارد شده، تبدیل شوند. با استفاده از ابزار Overlay و دستور Fuzzy membership لایه های اطلاعاتی را فراخوانی کرده و با استفاده از توابعی همچون linear و small با توجه به اثر کاهنده و افزایش معیارها، نقشه های فازی هر یک استخراج گردید. پس از آماده سازی نقشه های معیارها و تعیین وزن آنها با روش Fuzzy، این نقشه ها با استفاده از نرم افزار ArcGIS با یکدیگر تلفیق شدند. روش تحلیل شبکه ای \_ فازی Fuzzy به عنوان یکی از روش های تصمیم گیری چند معیاره، در این تحقیق از آن استفاده شد. هدف اصلی در این مدل ها انتخاب و رتبه بندی بین گزینه های مشخص و معلوم می باشد (ملکیان و دیگران، ۱۳۹۱). برای انجام مقایسات زوجی در حالت عدم قطعیت از مقایسات فازی که حالت های ابهام را مدلسازی می کند، بهره برداری می شود. روش پرسپترون چند لایه (MLP) از دیگر روش های مورد استفاده در این پژوهش بود که به لحاظ اعتبار و اهمیت آن از آن بهره گیری شد (حیدری و دیگران، ۲۰۱۹ و دو و سوامی، ۲۰۰۶). با توجه به اینکه براساس قضیه کولموگوروف<sup>۳</sup>، MLP با یک لایه پنهان می تواند هر عملکرد پیوسته را تخمین بزند (جینکو<sup>۴</sup>، ۱۹۸۹ و کانگو و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶)، تعداد گره های ورودی و لایه های پنهان براساس مدل انتخاب شده و برای داده های تست تعیین گردید. شایان ذکر هست که، هدف کلی در این مدل، یافتن یک سیستم جهت به حداقل رساندن خطای کل برای داده های آموزشی مربوطه می باشد. شبکه های بین این لایه ها با مقادیر وزنی متفاوت در بازه [۱-] می باشند. حاصل مقادیر ورودی، مقادیر وزنی و مقادیر بایاس بر اساس عملکرد جمع بندی شده از رابطه (۳) بدست می آید (فاریز و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۶).

$$S_j = \sum_{i=1}^n \omega_{ij} I_i + \beta_j \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه  $n$ ، مجموع تعداد نقاط ورودی،  $I_i$  متغیر ورودی،  $\beta_j$  مقدار بایاس،  $\omega_{ij}$  وزن اتصال را نشان می دهد. برای اینکه فضای تصمیم گیری به صورت غیرخطی از هم جدا شوند لازم است هر سلول واحد بصورت یک تابع غیرخطی تعریف شود (حیدری و دیگران، ۲۰۱۹). تابع سیگموئید یکی از پرکاربردترین توابع می باشد که از رابطه (۴) بدست می آید.

$$f_j(x) = \frac{1}{1+e^{-S_j}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه، خروجی نهایی نورون  $j$  از رابطه (۵) بدست می آید.

$$Y_j = f_j(\sum_{i=1}^n \omega_{ij} I_i + \beta_j) \quad \text{رابطه (۵)}$$

پس از ساخت ساختار نهایی شبکه عصبی، فرآیند یادگیری جهت استخراج مقادیر بردارهای وزن با مقادیر تقریبی، نتایج آبدیت و خطای کل شبکه بهینه شد. مراحل انجام الگوریتم پرسپترون چند لایه به صورت شکل ۳ قابل نمایش است.

1. Multi Layer Perceptron

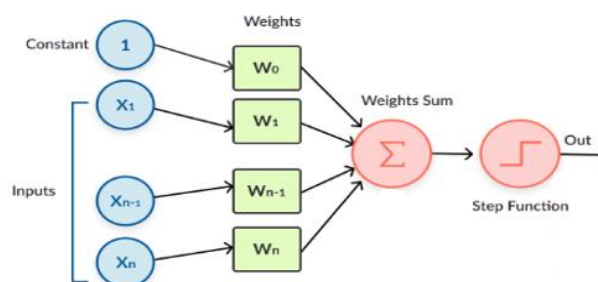
2. Du- Swamy, 2006

3. Kolmogorov

4. Cybenko

5. Kanungo et al,

6. Faris et al



شکل ۳: خلاصه مراحل روش MLP (محقق و دیگران، ۱۹۹۶):

در این تحقیق به منظور ارزیابی ریسک خط لوله گاز با استفاده از مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، از نرم افزار متلب ورژن ۲۰۱۹ استفاده شد. با توجه به این که تعداد گره های ورودی و لایه های پنهان در محدوده مشخص شده متنوع هستند، تعداد بهینه گره های ورودی و لایه های پنهان به وسیله معیارهای انتخاب (model selection) بر روی داده های تست تعیین شد و از مدل<sup>۱</sup> WIC استفاده گردید. به دلیل وجود ۱۱ معیار در این تحقیق، ۱۱\*۱۱ حالت ایجاد شد. همچنین در این تحقیق، لایه ورودی دارای ۶ نرون و ۱ نرون در لایه پنهان و الگوریتم مورد استفاده با توجه به هدف تحقیق و دقت بالا، Levenberg-Morquardt می-باشد. در این مدل تعداد ۷۴۰ داده وجود داشت که ۷۰٪ داده ها جهت آموزش، ۱۵٪ جهت تست و ۱۵٪ جهت ارزیابی<sup>۲</sup> مورد استفاده قرار گرفت. برای ارزیابی ریسک، معیارها به روش VIA<sup>۳</sup> وزن دهی گردیدند. در این روش با استفاده از فرآیند feature eliminate در هر مرحله یک معیار حذف شده و خطای شبکه اندازه گیری گردید و در نهایت پراهمیت ترین معیار بیشترین خطای شبکه را ایجاد نمود.

در این پژوهش، علاوه از مدل MLP، از جنگل تصادفی (مدل Random Forest) بهره گیری شد. نمونه های خود راه انداز ابتدا از نمونه های آموزشی گرفته شده و سپس طبقه بندی و رگرسیون بدون هرس درخت (CART) از هر نمونه خود راه انداز - که در آن تنها یکی از ویژگی ها به صورت تصادفی برای تقسیم در هر گره از درخت (CART) انتخاب شده بود - بزرگ شد. در پایان خروجی طبقه بندی براساس اکثریت آراء پیش بینی ها از همه درختان آموزش دیده به صورت جداگانه ایجاد گردید. در این روش، برآوردی از میزان خطای طبقه بندی می تواند براساس داده های آموزش حاصل شود. تعداد درختان باید به اندازه کافی باشد تا نرخ خطا پایداری شود (هورنینگ<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰) و شاخص اضافی که در روش RF ایجاد می شود (ویئر و لیاو<sup>۵</sup>، ۲۰۰۲)) برای تخمین اهمیت ویژگی ابتدا مولفه های OOB در میان درختان اجرا می شوند و آرا را برای طبقه بندی صحیح شمارش می کنند. سپس دقت پیش بینی باره پس از تغییر تصادفی تمام مقادیر این ویژگی در حالی که تمام ویژگی های دیگر یکسان هستند به دست می آید. به منظور ارزیابی ریسک خط لوله گاز با استفاده از مدل جنگل تصادفی از نرم افزار متلب ورژن 2019b و از مدل Regression و تابع Regression RF استفاده گردید. در این مدل انتخاب داده های آموزش و تست به صورت تصادفی بوده و ۷۴۰ نقطه به عنوان نمونه<sup>۶</sup> می باشند که ۸۰٪ شامل داده های آموزش و ۲۰٪ داده های تست می باشند. در این مدل تعداد درختان تصمیم که از تابع tree bagger استفاده شده، ۵۰۰ می باشد.

<sup>1</sup> weighted information criterion

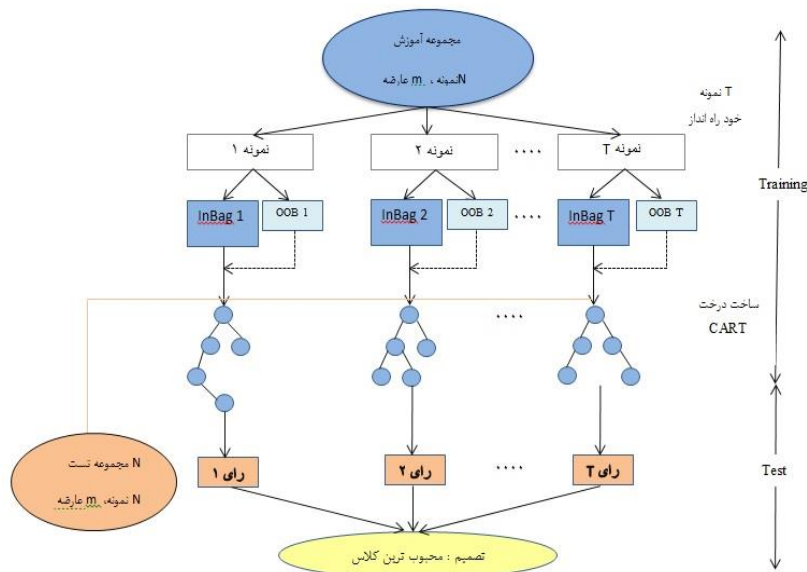
<sup>2</sup> Validation

<sup>3</sup> Variable Important Analysis

<sup>4</sup> Horning

<sup>5</sup> Liaw, Wiener

<sup>6</sup> Sample



شکل ۴: گردش کار طبقه بندی جنگل تصادفی (گو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱)

جدول ۱: وزن نهایی نرمال شده مدل های مختلف

معیار	وزن نهایی نرمال شده مدل ANP	وزن نرمال شده RF	وزن نرمال شده MLP
بارش	0.21627	0.1524712	0.0950912210
فاصله از راههای ارتباطی	0.18217	0.1264926	0.0950912167
ارتفاع	0.10119	0.1229478	0.0950912162
فاصله از رودخانه	0.1201	0.1219988	0.0950912145
فاصله از گسل	0.07649	0.1175094	0.09509120793
پوشش گیاهی	0.04806	0.1138342	0.0950871229
جهت شیب	0.0661	0.098354	0.0950739287
شیب	0.04729	0.091814	0.0950308442
لینتولوژی	0.04487	0.0225724	0.0808202385
کاربری زمین	0.0497	0.02115	0.0798077664
خاک	0.04776	0.0108556	0.0787240229

### سنجش دقت مدل ها

برای بررسی اعتبار مدل ها از مقادیر برآوردی حاصل از شبکه ها و مقادیر اندازه گیری شده در مرحله آزمون استفاده شد. برای اعتبار سنجی مدل از شاخص های آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، متوسط خطای سوء گیری (MBE)، خطای متوسط مطلق (MAE) استفاده گردید. روابط این شاخص ها به صورت زیر می باشد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (P_i - O_i)^2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^t (P_i - O_i)}{t} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^t |P_i - O_i|}{t} \quad \text{رابطه (۸)}$$

<sup>1</sup>. Guo et al



در روابط فوق  $O_i$  و  $P_i$  مقادیر مشاهداتی و تخمینی در زمان  $i$  و  $t$  تعداد داده‌ها هستند. مقدار MBE نشان دهنده مثبت یا منفی بودن خطای محاسباتی بوده و در صورت مثبت و منفی بودن نمایانگر این است که مقادیر تخمینی به ترتیب بیشتر یا کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده هستند. هر چه مقدار RMSE کمتر باشد، نشان دهنده دقت بیشتر تخمین مدل است. مقدار MAE نیز نشان دهنده متوسط خطای مطلق بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده می‌باشد و هر چه مقدار آن کمتر باشد نشان دهنده دقت بیشتر مدل است.

## بحث و یافته‌ها

### ارزیابی تاثیر معیارهای انتخابی در زمین لغزش

یکی از پارامترهای مهم که در این مطالعه مد نظر قرار گرفت، عامل توپوگرافی است. نقشه ارتفاع و شیب منطقه بر اساس مدل رقومی ارتفاعی با پیکسل سائز<sup>۱</sup> ۳۰ متری از تصاویر SRTM در سیستم مختصات UTM<sup>۲</sup>، زون ۳۹ از سایت زمین شناسی آمریکا<sup>۳</sup> (USGS) استخراج گردید. برطبق مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه دارای ارتفاعی بین ۷۹۵ تا ۱۶۵۷ می‌باشد (شکل ۵). نقشه ترسیمی نشان می‌دهد که ارتفاع در محدوده مورد مطالعه از ۷۹۲ متر تا ۱۶۷۶ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۵). بیشتر منطقه دارای شیبی بین ۰ تا ۱۲ درجه می‌باشد. با توجه به این که عمده ترین طبقات شیبی که در زمین لغزش موثرند، شیب‌های بالای ۲۵ درصد در منطقه هستند، بنابراین تاثیر شیب بر میزان خطر لغزش در محدوده مورد مطالعه کم می‌باشد، ولی در نواحی غربی حساسیت بیشتر است. با توجه به اینکه ارتفاع به طور غیر مستقیم با تاثیر به روی عوامل موثر دیگر تاثیر زیادی بر لغزش دارد، مناطق با ارتفاع بالاتر حساسیت بیشتری ایجاد می‌کنند (پانت و پاچوری<sup>۴</sup>، ۱۹۹۲). معتقدند که هر چه ارتفاع بیشتر شود، حساسیت به وقوع زمین لغزش در منطقه بیشتر می‌شود که علت آن را می‌توان افزایش نزولات به صورت برف، ماندگاری بیشتر آن و تسریع عمل یخبندان و آب در ارتفاعات بالا دانست (ایلانلو و دیگران، ۱۳۸۹). مکانیسم این پدیده در محدوده مورد مطالعه به این گونه است که عامل بارش با نفوذ در میان سازندهای سست و نفوذپذیر سبب می‌شود که این گونه سازندها آب را جذب کرده و رطوبت جذب شده سبب می‌شود که خاک سنگین شود و حالتی خمیری پیدا کند در نتیجه از توده اصلی جدا شده و بر اثر نیروی ثقل در روی دامنه حرکت کند، طبق نقشه ترسیمی، قسمت‌های شمالی محدوده مورد مطالعه، بارش بیشتر و نواحی نزدیک به دریاچه نمک کمترین میزان بارش را داشته‌اند (شکل ۵). جهت شیب در ناهمواری‌های منطقه به دلیل حفظ رطوبت، بارندگی (درجه اشباع)، دریافت میزان انرژی از خورشید، وجود پوشش گیاهی از عوامل تاثیرگذار بر زمین لغزش می‌باشد. دریافت بیشتر انرژی خورشید در دامنه‌های رو به آفتاب و کاهش آن در دامنه‌های پشت به آفتاب، باعث ایجاد هوازدگی مکانیکی می‌گردد. از طرفی دامنه‌های رو به توده‌های باران آور رطوبت بیشتری جذب می‌کنند که باعث مستعدتر شدن منطقه به زمین لغزش می‌گردد. جهت شیب اراضی غالباً شمال به جنوب می‌باشد (شکل ۵). بنابراین با توجه به شرایط توپوگرافی و شناختی نسبت به شرایط منطقه مورد مطالعه، مناطقی که به رنگ آبی و سبز می‌باشند، نسبت به زمین لغزش حساس تر می‌باشند (شکل ۵). بررسی نوع کاربری‌ها هم نشان می‌دهد که در محدوده مورد مطالعه پنج نوع کاربری مسکونی، زراعی، زمین‌های خالی، محدوده مرطوب و عوارض آبی وجود دارد. بیشترین محدوده متعلق به زمین‌های خالی است که باعث تشدید فرسایش شده است (شکل ۵). رودخانه‌ها گاه عامل اصلی تحریک دامنه‌ها به ناپایداری هستند. به همین دلیل این عامل مورد بررسی قرار گرفت و برای تهیه لایه فاصله از رودخانه از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ استفاده گردید. با توجه به نتایج بررسی در منطقه

1. Cell size

2. Universal Transverse Mercator

3. United States Geological Survey

4. Pachauri, Pant

می توان گفت که به طور کلی با کاهش فاصله از رودخانه ها احتمال وقوع زمین لغزش افزایش می یابد (شکل ۵). شبکه رودخانه ها و مسیل ها با افزایش سطح رطوبت خاک موجب بالارفتن احتمال وقوع زمین لغزش در اطراف خط لوله می شوند. از طرفی زیرشویی و فرسایش دامنه هاو پای شیب ها به وسیله جریان های سیلابی و رودخانه ای فرایندی است که بر روی زمین لغزش موثر می باشدوهر چه منطقه ای به رودخانه نزدیکتر باشد مقدار آب گرفتگی و از هم پاشیدگی ساختمان خاک بیشتر است و در نتیجه میزان احتمال لغزش افزایش می یابد. با توجه به نقشه ترسیمی از وضعیت منطقه مورمطالعه می توان گفت که،نقاطی که به رودخانه ها نزدیک می باشد، تیره تر و دارای آسیب پذیری بیشتر می باشد(شکل ۵). خاک و خصوصیات خاک از عوامل مستعدکننده زمین لغزش می باشند.وجود ماده آلی در پیوستگی و انسجام خاک نقش مهمی دارد. میزان ماده آلی خاک بسته به کاربری و پوشش گیاهی متفاوت است. این مواد در خاک با جذب آب و به هم پیوستن خاک دانه ها و ایجاد ساختمان قوی نقش دارند.بررسی های میدانی هم نشان می دهدکه اراضی شیبداری که ماده آلی سطحی خوبی دارا باشند از جابجایی توده ای کمتری برخوردارند. با توجه به اهمیت خاک در وقوع لغزش و تهدید محدوده گذر لوله گاز،خاک مورد مطالعه قرارگرفته و لایه خاک منطقه از موسسه تحقیقات آب و خاک وابسته به جهاد کشاورزی تهیه گردیده است(جدول ۲ و شکل ۵).با توجه به وزن معیار بدست آمده مناطق تیره تر که از نوع Bad Lands و زمین های نمکی می باشند دارای حساسیت بیشتری نسبت به زمین لغزش در مقایسه با سایر مناطق می باشند.

جدول ۲: لایه خاک منطقه

واحد خاک	نام انگلیسی	مساحت (مترمربع)
Ard	Aridisols	201175138.9
XUR	Urban	34844900.65
XRO/inc	Rock Outcrops/Inceptisols	368290.4882
ent/ard	Entisols/Aridisols	445303503.3
XRM	Rocky Lands	52108263.33
XBL	Bad Lands	365698143.5
XZA	Salt Flats	21372364.87
XPL	Playa	124983582.4

در کنار خاک، پوشش گیاهی از جمله عوامل مهم در بررسی میزان ثبات دامنه ها محسوب می شوند. در این مطالعه به منظور استخراج پوشش گیاهی و میزان تراکم پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه، از باندهای طیفی در سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ استفاده شد و با شاخص NDVI از رابطه (۹) محاسبه صورت گرفت.

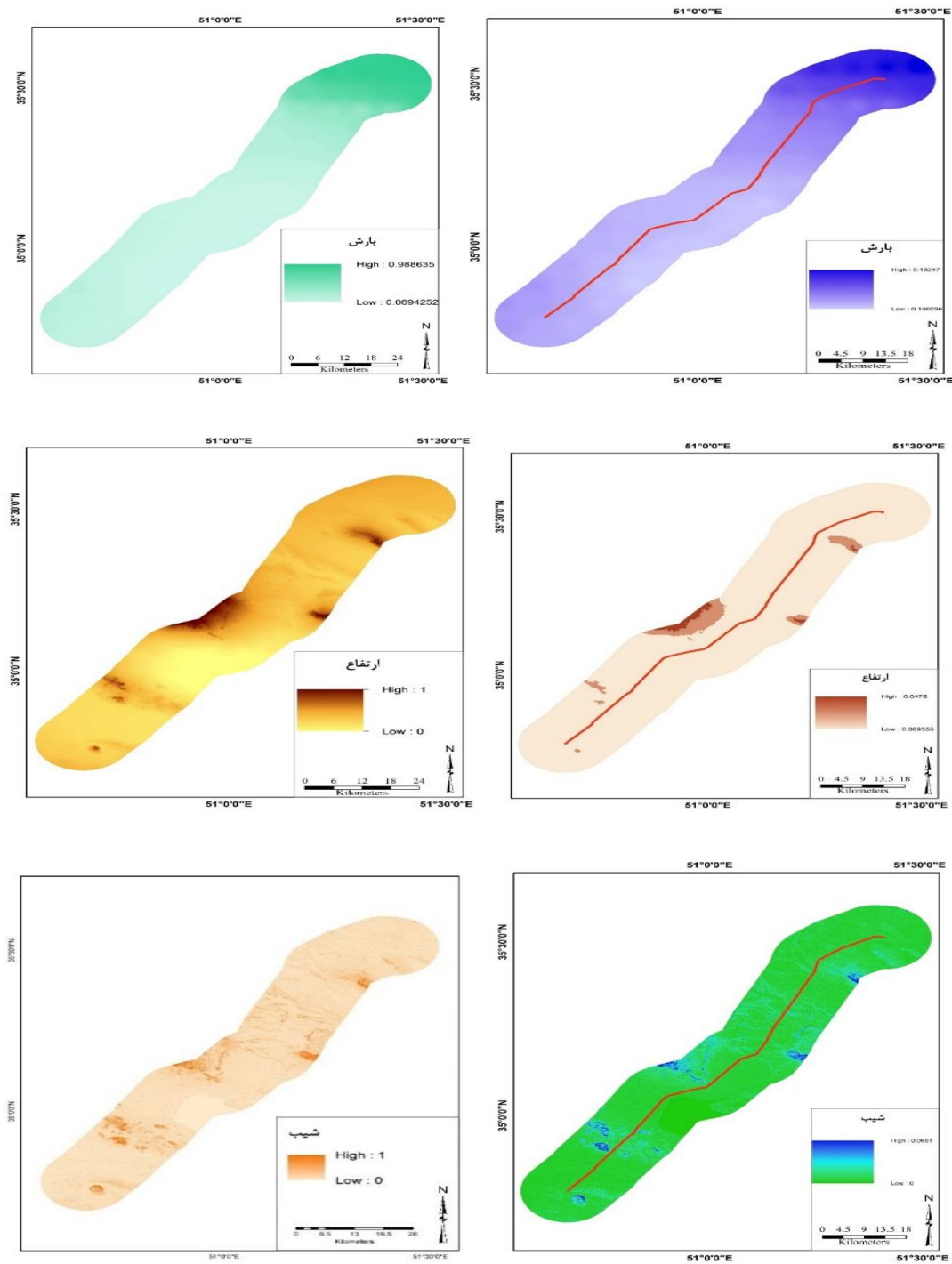
$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در آن NIR بازتاب در باند فرورسرخ نزدیک و قرمز، انعکاس در باند سرخ است(کوگان<sup>۱</sup>، ۱۹۹۳). از دیدگاه نظری مقدار این شاخص در محدوده +۱ و -۱ می باشد.نقشه ترسیمی نشان می دهد که مناطقی که دارای پوشش متراکم تر هستند در منطقه مورد مطالعه محدود می باشد و صرفاچند نقطه در شمال را شامل می شود(شکل ۵). این محدوده ها که وزن بیشتری به خود اختصاص دادند و نشان از حساسیت بیشتر دارند. بنابراین می توان گفت که مناطق با پوشش گیاهی ضعیف سطح وسیعی از منطقه را شامل می شوند.ساخت جاده در کنار دامنه موجب افزایش شیب می شود که در نتیجه سبب افزایش تنش برشی در شیب و توسعه ترک ها می شود (دوکوتا و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲). به لحاظ این که جاده و راه های ارتباطی از عوامل تاثیر گذار در لغزش و تهدیدکننده خطوط لوله هستند، لایه مسیرهای ارتباطی از نقشه های ۱:۵۰۰۰۰ و تصویر ماهواره ای منطقه استخراج گردید(شکل ۵). در این مطالعه و در محدوده مورد نظر، راههای ارتباطی شامل آزادراه،

1. Kogan

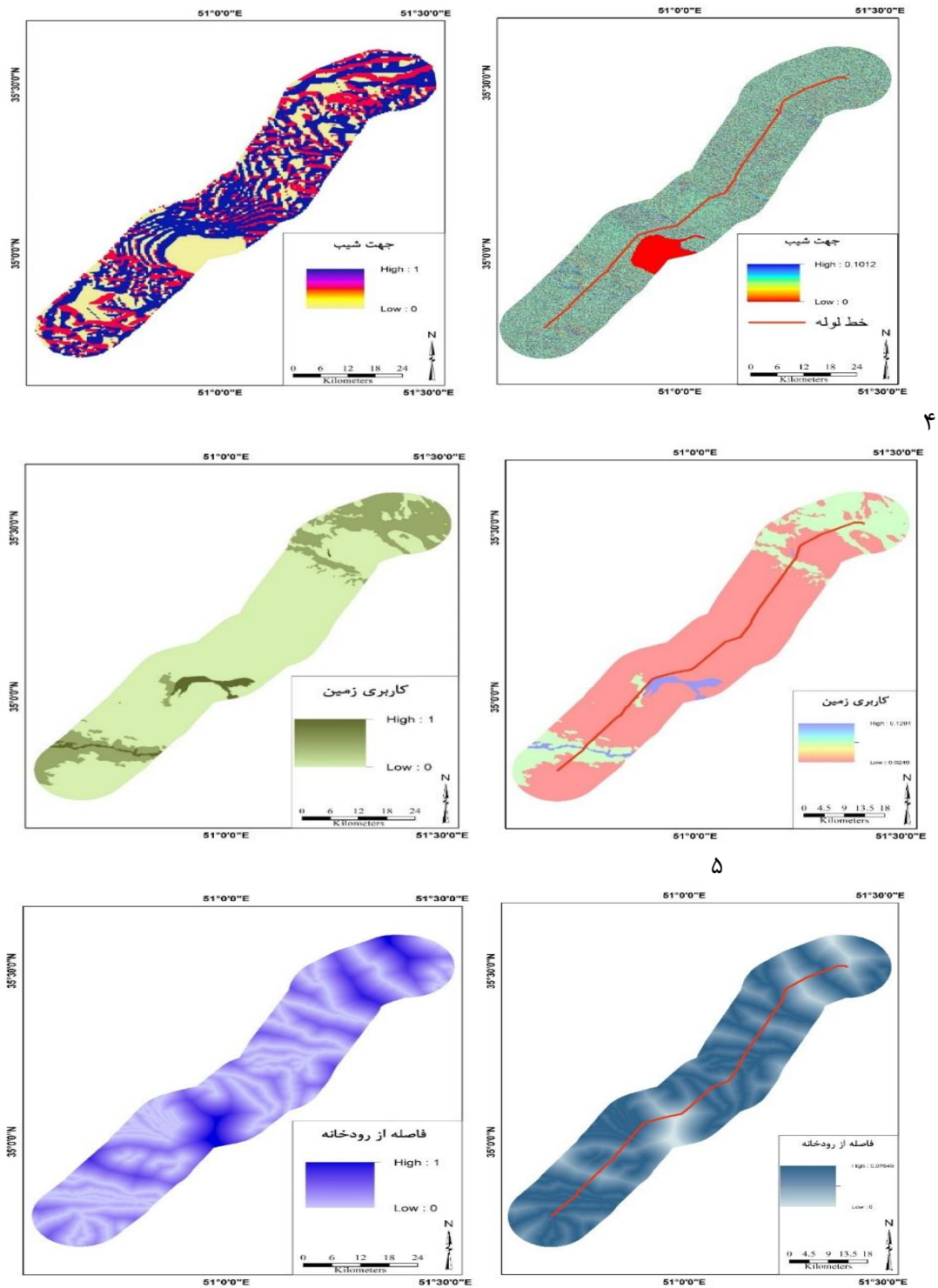
2. Devkota et al.,

بزرگراه، جاده آسفالت درجه ۱، ۲ و ۳ بوده و بیشترین فاصله ۱۵۰۴۸ متر می باشد. در محدوده مورد مطالعه طبق بررسی ها و با استناد به نقشه های ترسیمی می توان گفت که، معیار فاصله از راههای ارتباطی و فواصل نزدیک دارای ناپایداری بیشتری می باشند و با افزایش فاصله اثر لغزشی کمتری بر روی خط انتقال دارند(شکل ۵).

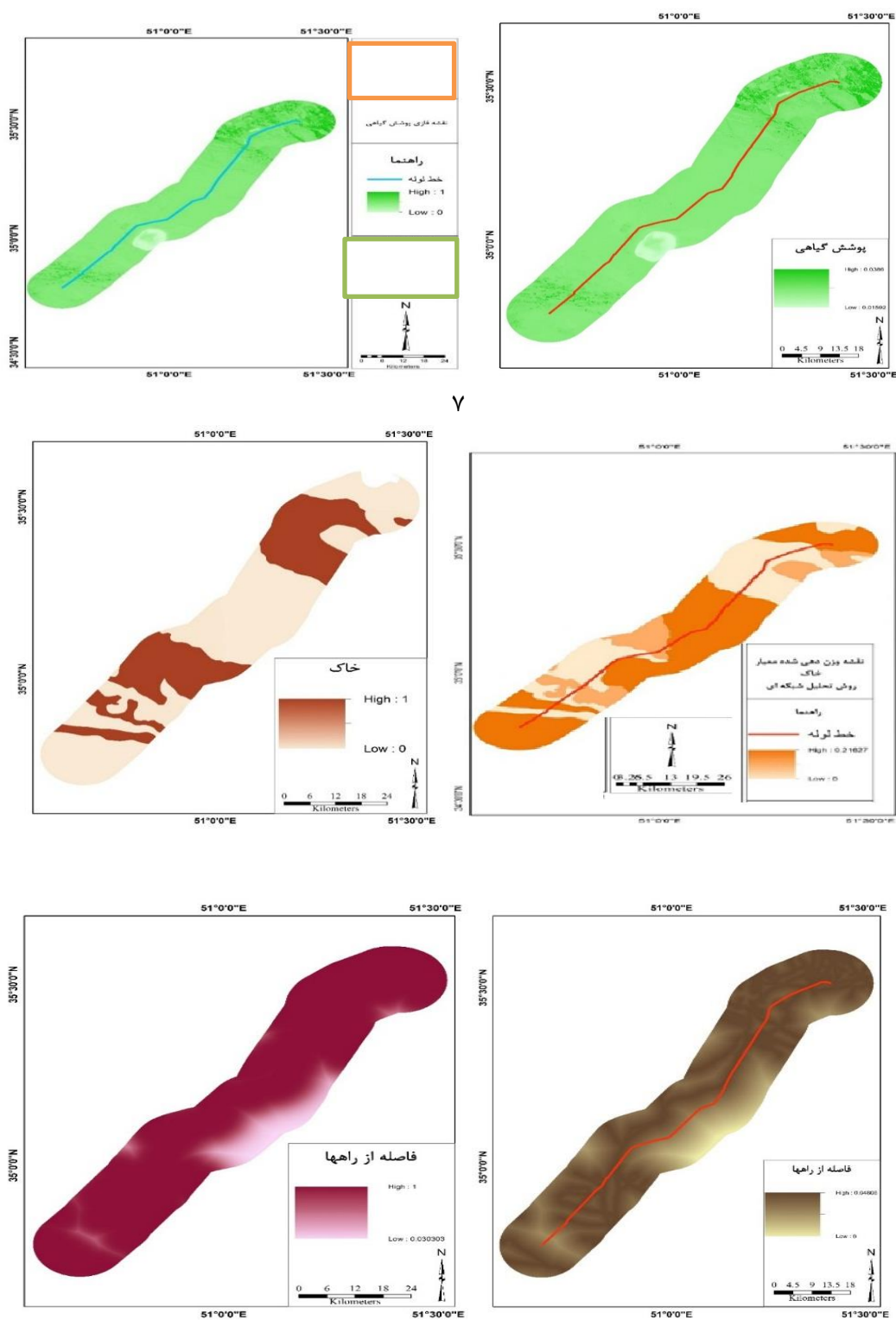


۳

شکل ۵: نقشه های معیارانتخابی(راست)وزن دهی شده (وسط) و فازی شده (چپ) ۱-بارش ۲-ارتفاع و ۳-شیب



ادامه شکل ۵: ۴-جهت شیب، ۵-کاربری و ۶-فاصله از رودخانه



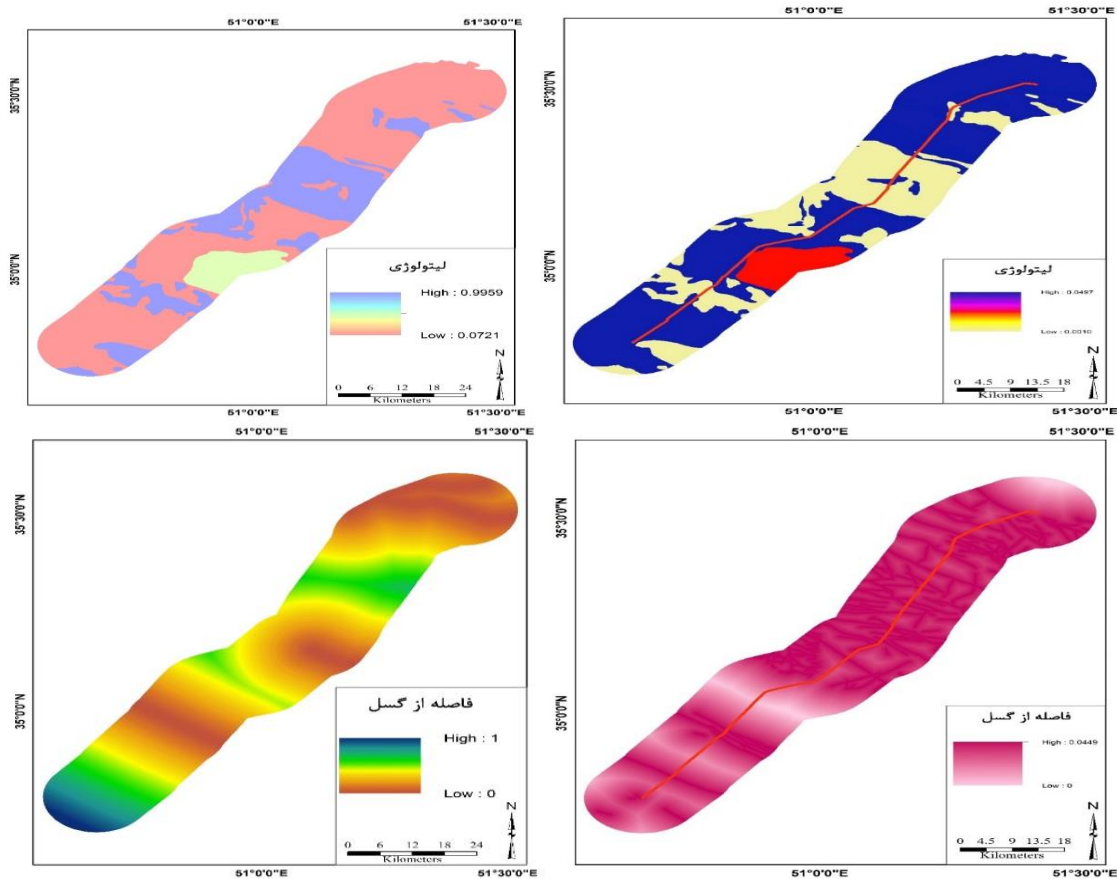
۷

۸

۹

ادامه شکل ۵: ۷- پوشش گیاهی، ۸- خاک و ۹- فاصله از راههای ارتباطی

۱۰



۱۱

ادامه شکل ۵: ۱۰- لیتولوژی و ۱۱ فاصله از گسل

بارش از جمله محرکه های اصلی برای جابجایی مواد بر روی دامنه ها و از علل اصلی ناپایداری دامنه ها است. در این تحقیق به این دلیل به عنوان یکی از پارمترهای اصلی در نظر گرفته شده است (شکل ۵). بارش از جمله معیار مهم در بررسی دامنه های مستعد به لغزش محسوب می شود. با توجه به اهمیت و تاثیر گذاری آن بر روی ناپایداری دامنه ها در این پژوهش نیز به عنوان یک معیار اصلی در نظر گرفته شد. نتایج بررسی ها نشان می دهد که بارش همبستگی بالایی با زمین لغزش دارد. همانطور که در این نقشه ملاحظه می شود محدوده شرق و جنوب شرقی دارای بارش کمتر و مناطق شمالی و جنوبی دارای شدت بارش بیشتر می باشند و این امر با توجه به تاثیر عوامل دیگر می تواند از موارد موثر در زمین لغزش در این محدوده بشمار آید (شکل ۵). همانطور که در نقشه نشان داده شده است مناطق مرطوب دارای بیشترین حساسیت به زمین لغزش می باشند و بررسی پوشش گیاهی هم نشان می دهد که، سطح وسیعی از منطقه زمین های خالی می باشد که این نشان دهنده پوشش ضعیف و لغزش بیشتر می باشد (شکل ۵). نتایج بررسی ها حاکی از این است که، تشکیلات نرم در سازندهای زمین شناسی مقاومت کمی نسبت به ناپایداری دارند. با توجه به نقشه حاصل از لایه های زمین شناسی و لیتولوژی، مناطقی که از نوع پادگانه های آبرفتی (Qft2) بوده و به رنگ آبی تیره می باشند، خطر لغزش بیشتری را نشان می دهند و مناطق مارن ژیبس دار (Murmg) که به رنگ روشن می باشد خطر لرزش کمتری دارند (شکل ۵) در کنار لیتولوژی، خطوط گسل نیز در تحریک دامنه ها به لغزش چه به صورت مستقیم و چه به صورت غیر مستقیم دارند. با افزایش فاصله

از گسل، اثر این معیار کاهش یافته و در فواصل دور نزدیک به صفر می باشد. براساس خروجی نرم افزار لایه خاک بیشترین وزن و لایه فاصله از گسل کمترین وزن را دارا می باشند. جدول (۱) وزن معیارها را به صورت کلی نمایش می دهد.

### ارزیابی خطر زمین لغزش در مسیر خط لوله گاز با تلفیق مدل های مختلف

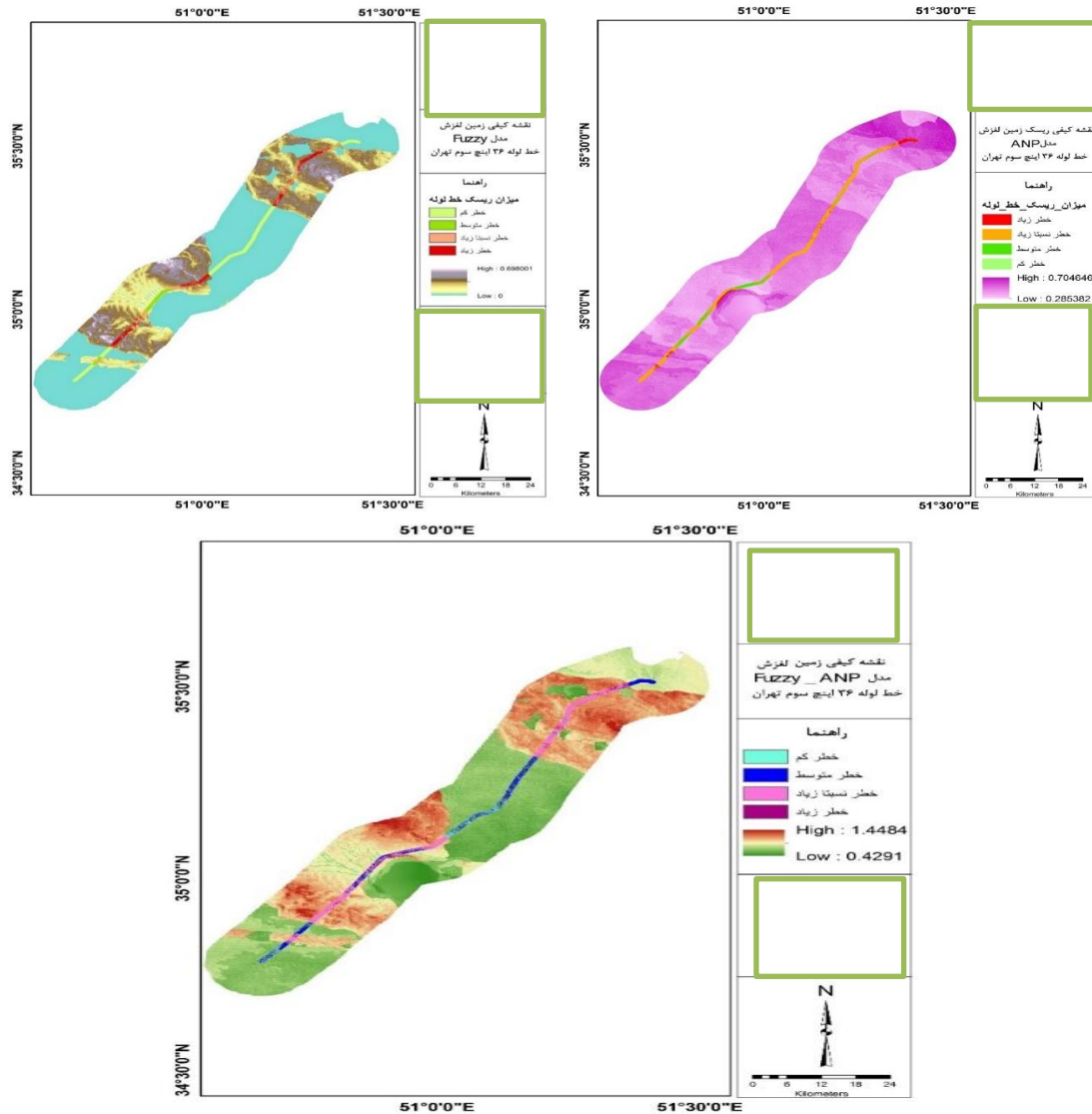
برای ارزیابی و تعیین خطر زمین لغزش در مسیر خط لوله، مهمترین مرحله شناسایی و بررسی عواملی است که موجب لغزش می شوند. معیارهای موثر در زمین لغزش که مورد بررسی قرار گرفت، نشان می دهد که بر اساس میزان تاثیر پذیری زمین از عوامل دخیل در ناپایداری، قسمت های شمالی محدوده آسیب پذیری بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند. بر اساس نتایج شاخص زمین لغزش مدل ANP، ۰ درصد منطقه در کلاس کم خطر، ۱۷/۲۸ درصد در کلاس خطر متوسط، ۷۳/۱۴ درصد در کلاس نسبتا زیاد و ۹/۵۸ درصد در کلاس با خطر زیاد می باشد. بنابر این می توان گفت که ۱۹/۰۰۸ کیلومتر از محدوده مورد بررسی در قسمت هایی با آسیب پذیری متوسط، ۸۰/۴۵۴ کیلومتر با آسیب پذیری نسبتا زیاد و ۱۰/۵۳۸ کیلومتر با آسیب پذیری زیاد قرار دارند (شکل ۶). برای ارزیابی و تعیین خطر زمین لغزش در مسیر خط لوله، مهمترین مرحله شناسایی و بررسی عواملی است که موجب لغزش می شوند که در این مطالعه، ۱۱ معیار در نظر گرفته شد. بررسی ها و نقشه ها تهیه شده نشان داد که زمین لغزش محدوده میانی آسیب پذیری بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند. بر اساس نتایج شاخص زمین لغزش مدل Fuzzy، ۴۱/۸۵ درصد منطقه در کلاس کم خطر، ۱۱/۶۰ درصد در کلاس خطر متوسط، ۲۲/۵۲ درصد در کلاس نسبتا زیاد و ۲۴/۰۳ درصد در کلاس با خطر زیاد می باشد. بر اساس معیار زمین لغزش و نتایج حاصل از مدل Fuzzy می توان گفت که ۴۶/۰۳۵ کیلومتر با آسیب پذیری کم، ۱۲/۷۶ کیلومتر با آسیب پذیری متوسط، ۲۴/۷۷۲ کیلومتر با آسیب پذیری نسبتا زیاد و ۲۶/۴۳۳ کیلومتر با آسیب پذیری زیاد می باشد.

### تلفیق نتایج فازی و تحلیل شبکه ای زمین لغزش

یکی از مهمترین گام های این مطالعه این بود که دو نتیجه حاصل از مدل Fuzzy - ANP تلفیق گردد تا تحلیل دقیق تری صورت گیرد (شکل ۶). نتایج حاصل از این تلفیق در این مطالعه نشان می دهد که محدوده سبز رنگ که در محدوده های میانی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته اند، دارای ریسک کمتری نسبت به سایر نقاط مورد مطالعه هستند. بر اساس نتایج شاخص زمین لغزش مدل Fuzzy - ANP، ۱۴/۲۳ درصد منطقه در کلاس کم خطر، ۳۴/۸۴ درصد در کلاس خطر متوسط، ۴۷/۲۹ درصد در کلاس نسبتا زیاد و ۳/۶۴ درصد در کلاس با خطر زیاد می باشد. با توجه به این نتایج بیشتر منطقه در کلاس نسبتا زیاد قرار دارد. بر اساس معیار زمین لغزش نتایج مدل Fuzzy - ANP به این صورت حاصل گردید که ۱۵/۶۵۳ کیلومتر با آسیب پذیری کم، ۳۸/۳۲۴ کیلومتر با آسیب پذیری متوسط، ۸۰/۴۵۴ کیلومتر با آسیب پذیری نسبتا زیاد و ۱۰/۵۳۸ کیلومتر با آسیب پذیری زیاد می باشد.

### تلفیق معیارهای زمین لغزش مدل MLP

تهیه نقشه های کیفی حاصل از پهنه بندی زمین لغزش در مدل MLP نشان می دهد که محدوده شمالی آسیب پذیری بیشتری نسبت به سایر مناطق نشان می دهد. بر اساس نتایج شاخص زمین لغزش مدل MLP، ۹/۷۸ درصد منطقه در کلاس کم خطر، ۴۷/۱۷ درصد در کلاس خطر متوسط، ۳۶/۹۵ درصد در کلاس نسبتا زیاد و ۶/۱۰ درصد در کلاس با خطر زیاد می باشد. بر اساس نتایج مدل، بیشترین کلاس خطر در محدوده مورد مطالعه متوسط می باشد و می توان گفت که ۱۰/۷۵۸ کیلومتر با آسیب پذیری کم، ۵۱/۸۸۷ کیلومتر با آسیب پذیری متوسط، ۴۰/۶۴۵ کیلومتر با آسیب پذیری نسبتا زیاد و ۶/۷۱ کیلومتر با آسیب پذیری زیاد می باشد. بر اساس نتایج به دست آمده پوشش گیاهی دارای بیشترین وزن و فاصله از گسل کمترین وزن را به خود اختصاص دادند.

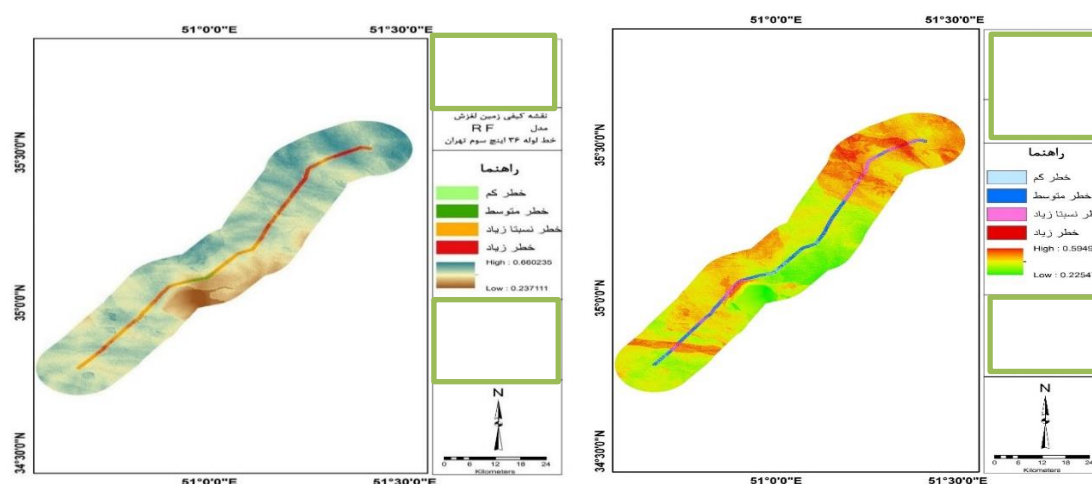


شکل ۶: نقشه بالا سمت راست (ANP) و نقشه سمت چپ بالا (Fuzzy) مدل کیفی پهنه بندی زمین لغزش با مدل تلفیقی Fuzzy – ANP

### تلفیق معیارهای زمین لغزش با مدل Random Forest

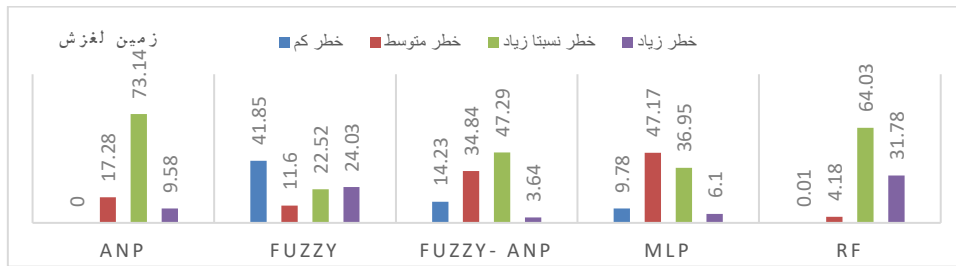
بر اساس نتایج حاصل از شاخص مدل RF، زمین لغزش ۰/۰۱ درصد منطقه در کلاس کم خطر، ۴/۱۸ درصد در کلاس خطر متوسط، ۶۴/۰۳ درصد در کلاس نسبتاً زیاد و ۳۱/۷۸ درصد در کلاس با خطر زیاد می باشد. بر اساس نتایج مدل RF به این صورت حاصل گردید که ۰/۱۱ کیلومتر با آسیب پذیری کم، ۴/۵۹۸ کیلومتر با آسیب پذیری متوسط، ۶۷/۱۳۳ کیلومتر با آسیب پذیری نسبتاً زیاد و ۳۴/۹۵۸ کیلومتر با آسیب پذیری زیاد می باشد. بر اساس نتایج به دست آمده معیار بارش دارای بیشترین وزن و خاک کمترین وزن را به خود اختصاص دادند (شکل ۷و۸).



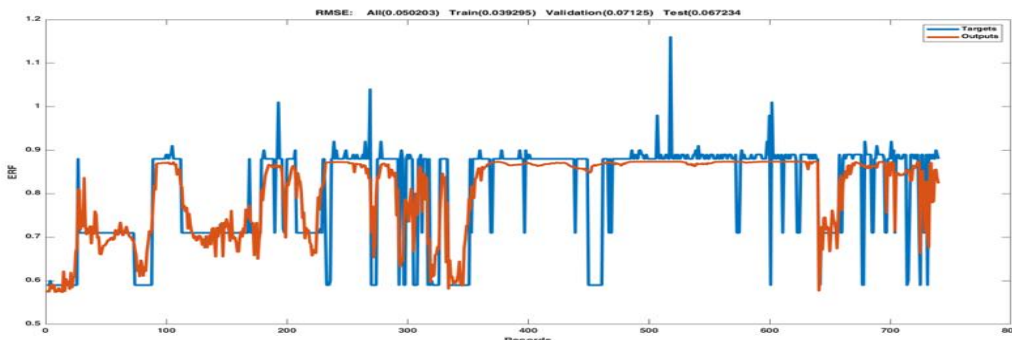


شکل ۷: نقشه کیفی پهنه بندی زمین لغزش مدل MLP و مدل RF

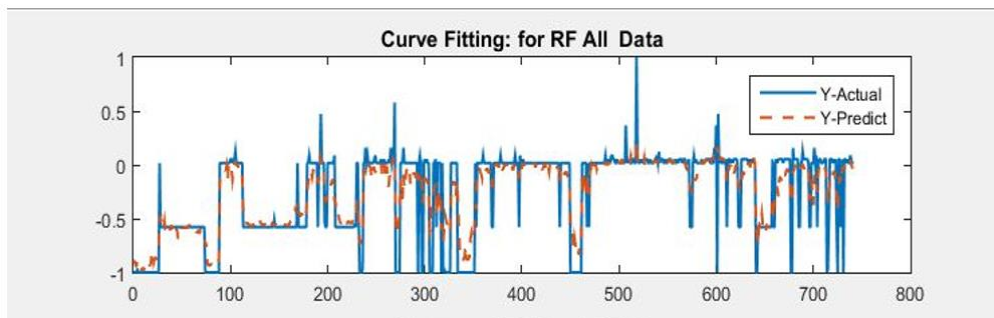
با توجه به این که ارزیابی مدل‌ها با برآورد میزان خطاها امکان پذیر هست، در این تحقیق نیز به این طریق به ارزیابی‌ها پرداخت شده است (شکل ۹). نمودار ترسیمی بیانگر تفاوت مقادیر خروجی مدل (خطوط قرمز) و مقادیر حاصل از پیگرانی هوشمند (خطوط آبی) به عنوان نقاط هدف جهت ارزیابی مدل می باشد (شکل ۹). خطای MBE نشان می دهد که خطای مدل در حالت کلی مثبت و یا منفی است. به عبارتی آیا مدل داده‌ها را بیشتر از مقادیر واقعی و یا کمتر تخمین می زند. این خطا جز خطاهای سیستماتیک می باشد که افزایش نقاط نمونه تأثیری بر کاهش یا افزایش خطا ندارد. خطای سیستماتیک (MBE) مدل MLP،  $0.002812$  می باشد. خطای مطلق مدل  $42168$  /  $0$  می باشد. میزان خطای RMSE  $0.0520$  /  $0$  است. شکل (۱۰) بیانگر تفاوت مقادیر خروجی مدل (خطوط قرمز) و مقادیر حاصل از پیگرانی هوشمند (خطوط آبی) به عنوان نقاط هدف جهت ارزیابی مدل می باشد. خطای MBE نشان می دهد که خطای مدل در حالت کلی مثبت است یا منفی، به عبارتی آیا مدل داده‌ها را بیشتر از مقادیر واقعی تخمین می زند یا کمتر از مقادیر واقعی. این خطا شامل هرگونه خطای منظم در طراحی، جمع آوری، تجزیه و تحلیل، تفسیر و انتشار داده‌ها بوده است که منجر به برآورد نادرست می شود. این خطا جز خطاهای سیستماتیک می باشد که افزایش نقاط نمونه تأثیری بر کاهش یا افزایش خطا ندارد. خطای سیستماتیک (MBE) مدل RF  $0.151848$  /  $0$  می باشد. خطای مطلق مدل  $179101$  /  $0$  می باشد. میزان خطای RMSE  $0.10329$  /  $0$  حاصل گردید. شکل (۱۱) بیانگر تفاوت مقادیر خروجی مدل (خطوط قرمز) و مقادیر حاصل از پیگرانی هوشمند (خطوط آبی) به عنوان نقاط هدف جهت ارزیابی مدل می باشد. مدل Fuzzy-ANP حاصل تلفیق نتایج مدل NP و Fuzzy می باشد. خطای MBE نشان می دهد که خطای مدل در حالت کلی مثبت است یا منفی، به عبارتی آیا مدل داده‌ها را بیشتر از مقادیر واقعی تخمین می زند یا کمتر از مقادیر واقعی. این خطا شامل هرگونه خطای منظم در طراحی، جمع آوری، تجزیه و تحلیل، تفسیر و انتشار داده‌ها بوده است که منجر به برآورد نادرست می شود. خطای سیستماتیک (MBE) مدل Fuzzy-ANP  $0.16893$  /  $0$  می باشد. خطای مطلق مدل  $170337$  /  $0$  می باشد. میزان خطای RMSE  $12262$  /  $0$  حاصل گردید. با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته از نتایج مدل ANP، خطای سیستماتیک (MBE) این مدل  $0.20336$  /  $0$  می باشد. خطای مطلق مدل  $209895$  /  $0$  می باشد. میزان خطای RMSE  $131107$  /  $0$  است و نتایج مدل Fuzzy، خطای سیستماتیک (MBE) این مدل  $0.23687$  /  $0$  می باشد. خطای مطلق مدل  $25511$  /  $0$  و میزان خطای RMSE  $162122$  /  $0$  حاصل گردید (شکل ۱۲).



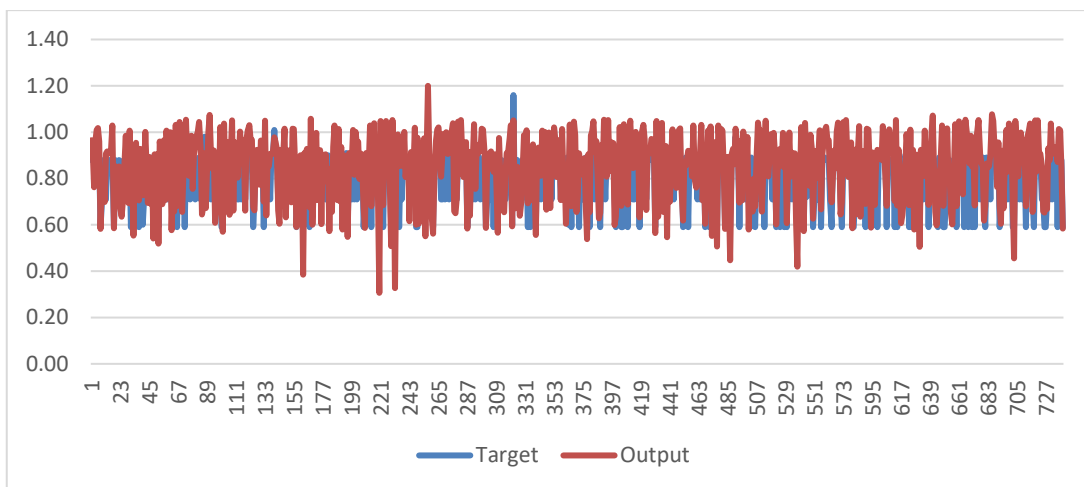
شکل ۸: نمودار درصد مساحت پهنه زمین لغزش محدوده مورد مطالعه



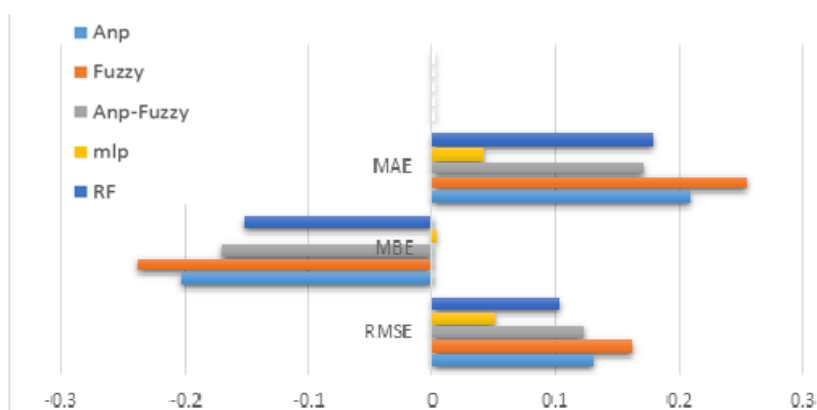
شکل ۹: مقادیر پهنه بندی معیارها در مدل MLP و نتایج پیگرانی



شکل ۱۰: مقادیر پهنه بندی معیارها در مدل RF و نتایج پیگرانی



شکل ۱۱: مقادیر پهنه بندی معیارها در مدل Fuzzy-ANP و نتایج پیگرانی



شکل ۱۲: نتایج شاخص‌های MAE، MBE، RMSE

### نتیجه‌گیری

مخاطرات محیطی همچون زمین لغزش بر اساس شرایط و عوامل تاثیرگذار در مناطق مختلف عملکرد و نتایج متفاوتی به وجود می‌آورند که لزوم به کارگیری انواع راهکارها برای بهبود مدیریت را ایجاب می‌نماید. هدف از استفاده از رویکرد مبتنی بر ریسک این است که فعالیت‌ها بر اساس توانایی آنها در اندازه‌گیری و مدیریت صریح تهدیدات برای سیستم خط لوله انتخاب و برنامه‌ریزی شوند و اطمینان حاصل شود که ریسک‌های مرتبط با آنها قابل استفاده است. ایمنی خطوط لوله گاز طبیعی نه تنها برای اقتصاد بسیار حائز اهمیت است بلکه با توجه به خاصیت اشتعال‌پذیری گاز طبیعی، امنیت اجتماعی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. در فرآیند ارزیابی ریسک، ابهامات زیادی وجود دارد. بنابراین انتخاب روش‌های ارزیابی ریسک مناسب برای مدیریت ایمنی خطوط لوله گاز دارای اهمیت است. بدین منظور ضرورت مدیریت و کنترل خطوط انتقال گاز که از مهمترین سازه‌های انسانی است، بیش‌تر نمایان می‌شود. یکی از تهدیدهای اساسی در این سازه‌ها، مخاطرات طبیعی و محیطی می‌باشد. در این پژوهش سعی شد تا با استفاده از تحلیل‌های مکانی GIS و مدل‌های مختلف قسمت‌هایی از خط لوله انتقال گاز سوم تهران که در معرض تهدید مخاطرات طبیعی همچون زمین لغزش شناسایی و مورد ارزیابی قرار گیرند. با انتخاب معیارهای تاثیرگذار و با استفاده از مدل‌های پیشنهادی این پژوهش، آسیب‌پذیری خط لوله سوم تهران مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس خط لوله مورد نظر و محدوده مورد مطالعه بر مبنای میزان آسیب‌پذیری در برابر زمین لغزش به چهار محدوده با آسیب‌پذیری کم، متوسط، نسبتاً زیاد و زیاد طبقه‌بندی شدند. نتایج نشان می‌دهد اکثر محدوده مورد مطالعه و خط لوله با توجه به معیارهای بیان شده در این پژوهش از آسیب‌پذیری متوسط و نسبتاً زیاد برخوردارند. در مناطق با ریسک زیاد باید از لوله‌های با کلاس بالاتر، مطالعات دوره‌ای و بررسی عوامل فیزیکی و محیطی موثر بر ایجاد آسیب‌ها برای کاستن از میزان آسیب‌پذیری آن‌ها انجام گردد. همچنین توسعه راهکار مدیریتی و فراهم آوردن گزینه‌های انتخابی برای مدیران با در نظر گرفتن زیرساخت‌های مناسب جهت ایجاد سیستم تصمیم‌گیری و پشتیبان در فرآیند اجرا و توسعه دانش مدیریت بحران در مناطق با ریسک بالا می‌باشد. نتایج حاصل از مدل‌های پژوهش نشان داده است که بکارگیری منطق فازی به همراه تحلیل فضایی GIS در تلفیق با روش تحلیل شبکه به عنوان ابزاری کارآمد در پهنه‌بندی ریسک خطوط انتقال گاز مورد استفاده قرارگیرد. در این تحقیق برای ارزیابی ریسک خط لوله ۱۱ عامل مورد ارزیابی گردید بررسی کارآمدی الگوریتم‌های هیبریدی - فازی جهت بررسی ریسک خطوط انتقال گاز بود. که میزان ریسک خط لوله انتقال گاز سوم تهران با استفاده از داده‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی با بهره‌گیری از مدل‌های هوش مصنوعی شامل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP)، جنگل تصادفی (RF) برآورد گردید. علاوه بر مدل‌های هوش مصنوعی با استفاده از مدل تحلیل شبکه و مدل فازی و تلفیق این دو مدل نتایج قابل قبولی بدست آمد. علاوه بر مدل‌های هوش مصنوعی با استفاده از تکنیک‌های هیبریدی - فازی با لحاظ کردن روابط معیارها و نزدیک بودن

مقایسه ها میان معیارها به تفکر انسانی نتایج قابل قبولی به دست آمد. مدل MLP در بین مدل ها بهترین نتایج را داشته است. مدل RF نیز با توجه به شاخص ها دارای نتایج مطلوبی می باشد. روش جنگل تصادفی دارای خواص موازی سازی است و می تواند به راحتی در جهت گسترش پذیری و بهبود کارایی موازی سازی شود. مقدار خطای کل در روش Fuzzy\_ANP نشان می دهد تلفیق دو روش نتایج به مراتب بهتری را نشان می دهد. در این مطالعه برای ارزیابی ریسک خط لوله گاز از مدل های Fuzzy، Fuzzy\_ANP، ANP، MLP و RF استفاده گردید. پس از اجرای مدل ها، مقادیر بدست آمده توسط هر مدل مقایسه گردید. شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با توجه به ساختار غیر خطی و توانمند، در مدل سازی از کارایی بالاتری برخوردار است. با استفاده از نتایج تحلیل شاخص های آماری، مدل پرسپترون چند لایه با کمترین خطا به عنوان مدل با کارایی بهتر می باشد. پس از مدل MLP، مدل RF، مدل فازی - تحلیل شبکه، مدل تحلیل شبکه و مدل فازی در اولویت های بعدی قرار دارند.

## منابع

- ایلانلو، م.، مقیمی، ا.، ثروتی، م. ر.، قهرودی تالی، م.، ۱۳۸۹. پهنه بندی خطر حرکات توده ای با استفاده از روش منطق فازی، مطالعه موردی: حوزه آبریز سیرا، مجله چشم انداز جغرافیایی، سال پنجم، شماره ۱۱، صص ۱۲-۲۶.
- کرمی، ف.؛ بیاتی خطیبی، م.؛ ملکی، ش.، ۱۳۹۶. بررسی مخاطرات ناشی از زلزله اهر ورزقان در حوضه سرندچای و پیرامون آن، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ششم، شماره ۱۴، صص ۱۵۳-۱۶۸.
- جباری قره باغ، موسی، ۱۳۸۷. ارزیابی و مدیریت ریسک خطوط لوله حمل و نقل محصولات نفت و گاز و پتروشیمی، اولین کنفرانس حمل و نقل مواد خطرناک و اثرات زیست محیطی آن، تهران.
- جعفر بیگلر، م.؛ مقیمی، ا.؛ مقصودی، م.؛ مونیر، ن.؛ احمدی، ا.، ۱۳۹۷. تاثیر مخاطرات ژئومورفولوژیک آبراهه ای بر خطوط انتقال انرژی با استفاده از مدل ریسک خط لوله، مطالعه موردی: خط لوله گاز نهم سراسری، مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)، دوره ۵، شماره ۲، صص ۲۱۶ - ۱۹۹.
- شمس کیا، قل، ا.، ۱۳۹۹. تحلیل ریسک در پژوهش های خطوط لوله انتقال گاز استان گیلان با رویکرد حفاظت و اثرات زیست محیطی، مدیریت بحران، شماره ۵۷، صص ۶۷-۵۷.
- صفاری، ا.؛ مقیمی، ا.، ۱۳۸۸. ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری و آسیب پذیری ناشی از زمین لغزش در دامنه های کوهستانی کلان شهر تهران، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۱، شماره ۶۷، صص ۵۷-۷۱.
- صادق ب، کاظمی، م.، آذر، ع.، اصغری زاده، ع.، ۱۴۰۰. ارائه مدل پیش بینی ریسک های بحرانی شبکه انتقال گاز با استفاده از الگوریتم های، داده کاوی، چشم انداز مدیریت صنعتی، شماره ۴۶، صص ۵۶-۷۶.
- صادقی، ع.؛ طالبی، ع.؛ زارعی، پ.، ۱۴۰۱. تعیین آستانه بارش بحرانی در وقوع زمین لغزش های سطحی بر اساس مدل فرایند محور (مطالعه موردی: منطقه ی جوانرود، استان کرمانشاه). پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۰، شماره ۴، صص ۱۵۵-۱۳۸.
- قندهاری، م.؛ مومنی، م.؛ مهرگان، م.، ۱۳۹۹. شناسایی و ارزیابی کمی ریسک خطوط لوله گاز شهری و تعیین مناطق حساس با ارائه مدل تلفیقی، پژوهش های نوین در تصمیم گیری، دوره ۴، شماره ۱، صص ۱۰۲-۱۲۲.
- ملکیان، آ.؛ افتادگان خوزانی، ا.؛ عشورنژاد، غ.، ۱۴۰۰. پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه اخترباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، فصلنامه پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۴، شماره ۴، صص ۱۵۲-۱۳۱.
- مددی، ع.؛ پیروی، ا.، ۱۴۰۲. پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه بالادست سد یامچی استان اردبیل، با استفاده از روش های تصمیم-گیری چند معیاره *MARCOS* و *CODAS*، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۲، شماره ۱، صص ۹۴-۷۳.

- مختاری، ل، نامعی تبار، ل، ۱۴۰۱. مدل سازی و پیش بینی مکانی مخاطره زمین لغزش با استفاده از الگوریتم های پیشرفته داده کاوی (مطالعه موردی: شهرستان کلات). پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۰، شماره ۴، صص ۱۱۶-۱۳۷.
- Ballabio, C., & Sterlacchini, S. (2012). Support vector machines for landslide susceptibility mapping: the Staffora River Basin case study, Italy. *Mathematical geosciences*, 44(1), 47-70.
- Amiri I, M., Asgari, H., Pourghasemi, H., Chooghi Bairam Komaki. 2022. Efficiency of maximum entropy algorithm and GIS in assessing the landslide susceptibility, *Journal of Water and Soil Conservation*, 33(2), 53-76.
- Devkota, K. C., Regmi, A. D., Pourghasemi, H. R., Yoshida, K., Pradhan, B., Ryu, I. C., ... & Althuwaynee, O. F. 2013. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling-Narayanghat road section in Nepal Himalaya. *Natural hazards*, 65(1), 135-165.
- -Cybenko, G. 1989. Approximation by superpositions of a sigmoidal function. *Mathematics of Control, Signals, and Systems (MCSS)*, 2(4), 303-314.
- -Du, K. L.; Swamy, M. N. S. 2006. *Neural Networks in a Softcomputing Framework*, Springer London, 2006.
- -Ece Oz, Nurdan; Mete, Suleyman; Serin, Faruk; Gul, Muhamme. 2018. Risk assessment for clearing and grading process of a natural gas pipeline project.
- Esposito, Simona; Iervolino, Iunio; d'Onofrio, Anna; Santo Antonio. 2015. Simulation-Based Seismic Risk Assessment of Gas Distribution Networks. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 30 (2015) 508-523.
- -Faris, H; Aljarah, I; Al-Madi, N; Mirjalili, S. 2016. Optimizing the learning process of feedforward neural networks using lightning search algorithm. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 25(06), 1650033.
- -Heidari, Ali Asghar; Faris, Hossam; Mirjalili, Seyedali; Aljarah, Ibrahim; Mafarja, Majdi. 2019. Ant Lion Optimizer: Theory, Literature Review, and Application in Multi-layer Perceptron Neural Networks, *Nature-Inspired Optimizers, Studies in Computational Intelligence* 811,
- -Horning, N. 2010. Random Forests: An algorithm for image classification and generation of continuous fields data sets, *Proceeding of International Conference on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences*, 2010.
- -Kanungo, D.P; Arora, M.K; Sarkar, S; Gupta, R. P. 2006. A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. *Engineering Geology*, 85(3), 347-366.
- Kogan, F.N. 1993. United States droughts of late 1980's as seen by NOAA polar orbiting satellites. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium* 1:197-199.
- Demir, G. 2016. Landslide susceptibility assessment of the part of the North Anatolian Fault Zone, 2 (Turkey) by GIS-based frequency ratio and index of entropy models, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, doi:10.5194/nhess-2016-327, 2016 Manuscript under review for journal *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* Published: 18 October 2016. 1-17.
- Lahiri, S.K., and Ghanta, K.C. 2008. Prediction of Pressure Drop of Slurry Flow in Pipeline by Hybrid Support Vector Regression and Genetic Algorithm Model, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 16(6) 841-848.
- Wang, L, Guo, M., Sawada, K., Lin, L. 2015. A comparative study of landslide susceptibility maps using logistic regression, frequency ratio, decision tree, weights of evidence and artificial neural network, *Geosciences Journal*, DOI 10.1007/s12303-015-0026-1.

- Li, Feng, Wang, Wenhe, Dubljevic, Stevan, Khand, Faisal, Xua, Jiang and Yia, Jun. 2019. *Analysis on accident-causing factors of urban buried gas pipeline network by combining DEMATEL, ISM and BN methods, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 61 (2019) 49–57.*
- Li-, Feng, Wang, Wenhe, Xu, Jiang, Yi, Jun and Wang, Qingsheng .2018. *Comparative Study on Vulnerability Assessment for Urban Buried Gas Pipeline Network Based on SVM and ANN Methods, Process Safety and Environment Protection.*
- Liaw, A; Wiener, M .2002. *Classification and Regression by Random Forest,* R News, 2, 18–22.
- Pachauri, A. K., Pant, M. 1992. *Landslide hazard mapping based on geological attributes. Engineering geology, 32(1-2), 81-100.*