

Evaluating the Potential of Landslide Susceptible Areas Using FBWM Model: A Case Study of Tabriz City

Meisam Moharrami¹, Meysam Argany^{2*}

1. PhD Student, Faculty of Geography, University of Tehran, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: January 5, 2020; Accepted: May 20, 2020)

Abstract

Environmental hazards, which encompass a wide range of natural hazards and human hazards, are among the barriers to development in different areas. Landslide is one of the hazards affecting different natural and anthropogenic factors and is one of the barriers to socio-economic and constructive development in each region. In this study, considering the different criteria, the potential of landslide occurrence in Tabriz city has been evaluated using FBWM model. The criteria used in this study are slope, curvature, elevation, fault, geology, vegetation, river and creek, roads, aspect, and land use. FBWM model is used to weight the criteria. This model is one of the newest multi-criteria decision-making models that weigh the criteria by comparing the criteria with each other and generating a nonlinear optimization problem. Finally, after weighting the criteria and creating standard maps, the standard maps and weightings were merged together and overlaid to produce the final map of landslide susceptible areas in Tabriz City. Based on the results, the north and northeast areas of Tabriz have high potential for landslides; these areas correspond to Valiasr town, Baghmishah, Einali Mountains, Pasdaran highway and the surrounding areas. On the other hand, the southern regions of Tabriz have a low potential for landslides. According to the results, 2.5% of Tabriz territory is located in very low potential areas for landslide occurrence, 15.16% is located in low potential areas, 36.04% is located in moderate potential areas, 40.97% is located in high potential areas, and 5.33% is located in very high potential areas for landslide occurrence. The results of this study have implications for organizations and organs such as Tabriz Municipality, Ministry of Roads and Urban Development, the Geological Survey and Mineral Explorations of Iran (GSI), and other organizations related to environmental risks.

Keywords

Optimization, Tabriz, Landslide, Environmental hazards, FBWM model.

* **Corresponding Author, Email:** argany@ut.ac.ir

پتانسیل یابی مناطق مستعد زمین لغزش با استفاده از مدل FBWM (مطالعه موردی: شهر تبریز)

میثم محرمی^۱، میثم ارگانی^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. استادیار، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۳۱)

چکیده

مخاطرات محیطی، که طیف وسیعی از مخاطرات طبیعی و مخاطرات انسانی را شامل می‌شوند، از عوامل بازدارنده توسعه در مناطق مختلفاند. زمین لغزش از مخاطراتی است که عوامل مختلف طبیعی و انسانی در وقوع آن تأثیرگذار است و از موانع توسعه اقتصادی-اجتماعی و عمرانی در هر منطقه محسوب می‌شود. بر این اساس، در این تحقیق، با در نظر گرفتن معیارهای مختلف، پتانسیل وقوع زمین لغزش در شهر تبریز با استفاده از مدل FBWM بررسی شد. معیارهای استفاده شده در این تحقیق شامل: شیب، خمیدگی، ارتفاع، گسل، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، رودخانه و نهر، راه‌ها، جهت شیب، و کاربری اراضی بود. برای وزن‌دهی معیارها از مدل FBWM استفاده شد. این مدل از مدل‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره است که با مقایسه معیارها با یکدیگر و ایجاد یک مسئله بهینه‌سازی غیر خطی به وزن‌دهی معیارها می‌پردازد. در نهایت، پس از وزن‌دهی معیارها و ایجاد نقشه‌های معیار استاندارد شده، نقشه‌های استاندارد و وزن معیارها با یکدیگر تلفیق و روی هم‌گذاری شد تا نقشه نهایی مناطق مستعد زمین لغزش در شهر تبریز به دست آید. بر اساس نتایج به دست آمده، مناطق شمالی و شمال شرقی شهر تبریز از پتانسیل بالایی برای وقوع زمین لغزش برخوردارند. این مناطق منطبق با شهرک ولیعصر، باغمیشه، کوه‌های عینالی، اتوبان پاسداران، و نواحی اطراف آن هستند. از طرف دیگر، مناطق جنوبی شهر تبریز پتانسیل پایینی برای وقوع زمین لغزش دارند. بر این اساس، از لحاظ وقوع زمین لغزش در شهر تبریز، ۲/۵ درصد از شهر در مناطقی با پتانسیل بسیار کم، ۱۵/۱۶ درصد از شهر در مناطقی با پتانسیل کم، ۳۶/۰۴ درصد از شهر در مناطقی با پتانسیل متوسط، ۴۰/۹۷ درصد از شهر در مناطقی با پتانسیل زیاد، و ۵/۳۳ درصد از شهر در مناطقی با پتانسیل بسیار زیاد قرار دارند. نتایج این تحقیق دارای جنبه‌های کاربردی برای سازمان‌ها و ارگان‌هایی همچون شهرداری، مسکن و شهرسازی، زمین‌شناسی، و سایر ارگان‌های مربوط با مخاطرات محیطی است.

کلیدواژگان

بهینه‌سازی، تبریز، زمین لغزش، مخاطرات محیطی، مدل FBWM

* رایانامه نویسنده مسئول: argany@ut.ac.ir

مقدمه

به حرکت توده‌های سنگ و خاک به طرف پایین و روی شیب، بر اثر نیروی گرانشی، زمین‌لغزش می‌گویند (Guzzetti et al 2012: 48). زمین‌لغزش از مخاطراتی است که همه ساله خسارت‌های جانی و مالی فراوانی در مناطق کوهستانی و لرزه‌خیز به همراه دارد (شیرانی و سیف ۱۳۹۱: ۱۵۳). عوامل طبیعی از یک سو و عوامل انسانی از سوی دیگر باعث بروز این مخاطره می‌شوند (Bhattacharai et al 2004: 5). زمین‌لغزش ممکن است در مناطق مختلف رخ بدهد؛ از جمله جنگل‌ها، جاده‌ها، واحدهای مسکونی، و دیگر سازه‌هایی که بدون رعایت اصول فنی ساخته شده‌اند (پاشا و همکاران ۱۳۹۶: ۹۳). بر اساس آمار بانک اطلاعاتی زمین‌لغزش‌های کشور، خسارت ناشی از ۲۵۴۸ زمین‌لغزش بالغ بر ۱۰۷ کشته و ۳۸۶ میلیارد ریال بوده است (شیرانی و عرب‌عامری ۱۳۹۴: ۳۲۵). با توجه به اینکه پیش‌بینی دقیق زمان و مکان وقوع زمین‌لغزش مشکل است، شناسایی و پتانسیل‌یابی مناطق حساس به زمین‌لغزش اهمیت زیادی دارد (مصفايي و همکاران ۱۳۸۸: ۴۷). مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از جمله روش‌هایی هستند که برای پتانسیل‌یابی مناطق مستعد زمین‌لغزش به کار می‌روند. مدل FBWM یکی از این مدل‌هاست که با استفاده از آن می‌توان وزن معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در تصمیم‌گیری را محاسبه کرد. این مدل، با مقایسه معیارها با یک‌دیگر و ایجاد یک مسئله بهینه‌سازی غیر خطی، وزن معیارها و زیرمعیارها را به دست می‌آورد (Guo & Zhao 2017: 26). شهر تبریز، با داشتن توپوگرافی کوهستانی و گسل، شرایط مستعدی برای وقوع زمین‌لغزش دارد. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر پتانسیل‌یابی مناطق مستعد زمین‌لغزش در شهر تبریز با استفاده از مدل FBWM است. برای دستیابی به این هدف، باید به دو پرسش پاسخ داد:

۱. کدامیک از مناطق تبریز پتانسیل بیشتری برای وقوع زمین‌لغزش دارند؟
۲. کدامیک از معیارهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش بیشترین تأثیر را بر وقوع این پدیده می‌گذارند؟

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

به حرکت توده‌ای از مواد سطحی و سنگ‌ها، که در دامنه یک کوه یا صخره بر اثر شیب و سایر عوامل محیطی به سمت پایین حرکت می‌کنند، زمین‌لغزش می‌گویند (Guzzetti et al 2019: 2).

زمین‌لغزش از مخاطرات محیطی است که فراوانی وقوع آن بالاست و بر زندگی انسان‌ها و توسعه اقتصادی تأثیر منفی می‌گذارد. بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ میلادی، زمین‌لغزش در سرتاسر دنیا باعث مرگ ۴۹۱۴ نفر، بی‌خانمان شدن ۲۷۱۱۰ نفر، و ۲/۱ میلیارد دلار خسارت اقتصادی شده است (Wang et al 2020: 1). زمین‌لغزش یکی از مخاطرات طبیعی بسیار بزرگ در بسیاری از مناطق جهان محسوب می‌شود (Pourghasemi et al 2013: 755). با توسعه شهرنشینی، آثار مخرب ناشی از زمین‌لغزش بر انسان‌ها در حال افزایش است (Qiu et al 2018: 71). زمین‌لغزش نسبت به سایر مخاطرات طبیعی در مقیاس کوچک‌تری رخ می‌دهد. اما توزیع زیادی دارد و خطرات ناشی از آن در بسیاری از موارد زیاد است (Trigila et al 2015: 122). توسعه روش‌های کارآمد برای کاهش پیامدهای فاجعه‌بار ناشی از وقوع زمین‌لغزش ضروری است. نقشه‌هایی که نشان‌دهنده مناطق مستعد زمین‌لغزش‌اند و توزیع مکانی وقوع زمین‌لغزش را نشان می‌دهند می‌توانند ابزاری کارآمد به منظور کاهش آثار ناشی از زمین‌لغزش باشند (Chen et al 2018: 1125). تاکنون مدل‌های مختلفی به منظور مدل‌سازی مناطق مستعد زمین‌لغزش ارائه شده است که عمدتاً جزء مدل‌های فیزیکی یا اکتشافی یا آماری محسوب می‌شوند (Luo & Lio 2018: 468). کارایی هر یک از این مدل‌ها در مناطق مختلف متفاوت است. مدل FBWM از مدل‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره است که اولین بار ژو^۱ و ژائو^۲ در سال ۲۰۱۷ مطرح کردند. در این مدل، با ایجاد یک مسئله بهینه‌سازی غیر خطی، وزن معیارها و زیرمعیارهای مورد نظر محاسبه می‌شود و از آن می‌توان در مسائل مختلف تصمیم‌گیری و مدل‌سازی، از جمله مدل‌سازی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش، استفاده کرد.

تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه پتانسیل‌یابی مناطق مستعد زمین‌لغزش انجام شده است. در ادامه به مهم‌ترین تحقیقات داخلی و خارجی صورت گرفته اشاره می‌شود.

شیرانی و سیف (۱۳۹۱) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری در منطقه پیشکوه شهرستان فریدون‌شهر پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده، روش ارزش اطلاعات نسبت به روش تراکم سطح برتر و مطلوب‌تر است. روستایی و همکارانش (۱۳۹۴) پتانسیل وقوع زمین‌لغزش را در محدوده محور و سد قلعه‌چای بررسی کردند. آن‌ها بدین منظور از روش تحلیل

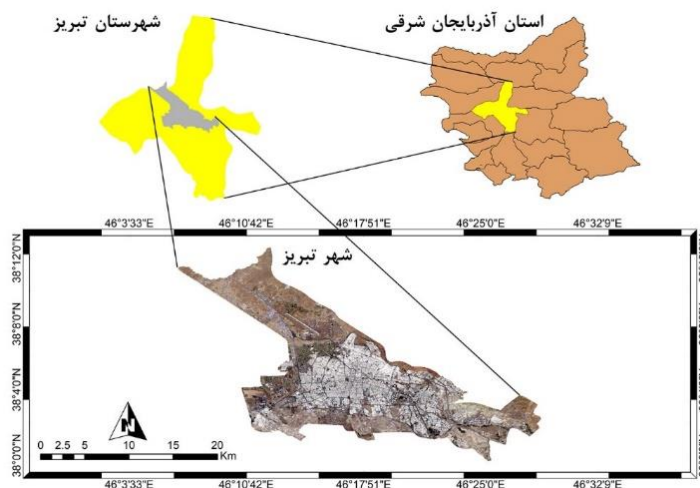
شبکه (ANP) استفاده کردند. بر اساس نتایج به دست آمده فرآیند تحلیل شبکه با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها ۶۷/۳۳ درصد تناسب دارد. پاشا و همکارانش (۱۳۹۶) به ارزیابی خطر زمین لغزش در منطقه چهارگوش قزوین-رشت پرداختند. در این تحقیق از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. نتایج نشان داد مستعدترین منطقه برای وقوع زمین لغزش مناطق جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه است. مقیم و نجابت (۱۳۹۸)، در حوزه آبخیز سد پارسیان استان فارس، مدل‌های نیلسون اصلاح شده و اثر نسبی در پهنه بندی خطر زمین لغزش را مقایسه کردند. بر این اساس، مدل اثر نسبی با جمع مطلوبیت ۱ و ضریب همبستگی ۰/۹۴۱ برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه مقبولیت و تناسب بالاتری دارد.

هووانگ^۱ و همکارانش (۲۰۱۷) نقشه مناطق مستعد زمین لغزش را، با استفاده از یادگیری ماشین، در کشور چین تهیه کردند. مدل‌های استفاده شده در این تحقیق شامل SOM، SVM، و ELM بود. بر اساس نتایج به دست آمده، مدل ترکیبی SOM-ELM بهترین نتایج را ارائه می‌دهد. شاهی^۲ و همکارانش (۲۰۱۹) نقشه مناطق مستعد زمین لغزش در جنوب غربی سوئد را، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، تهیه کردند. بر این اساس، مناطق مرکزی منطقه مورد مطالعه پتانسیل بالایی برای وقوع زمین لغزش دارد. جیائو^۳ و همکارانش (۲۰۱۹) عملکرد چهار مدل مبتنی بر GIS را به منظور تهیه نقشه مناطق مستعد زمین لغزش در جنوب غربی چین بررسی کردند. آن‌ها برای این کار از چهار مدل JVM، MaxEnt، Bioclim، و Domain استفاده کردند. بر اساس نتایج به دست آمده، بین مدل‌های استفاده شده، مدل MaxEnt بهترین عملکرد را دارد.

محدوده مورد مطالعه

تبریز، در مقام یکی از کلان‌شهرهای ایران، بر اساس آخرین آمار در سال ۱۳۹۵ جمعیتی بالغ بر ۱۵۵۸۶۹۳ نفر دارد. تبریز در شمال غرب کشور و در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۴ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). ارتفاع متوسط شهر تبریز از سطح دریا ۱۴۵۵ متر است.

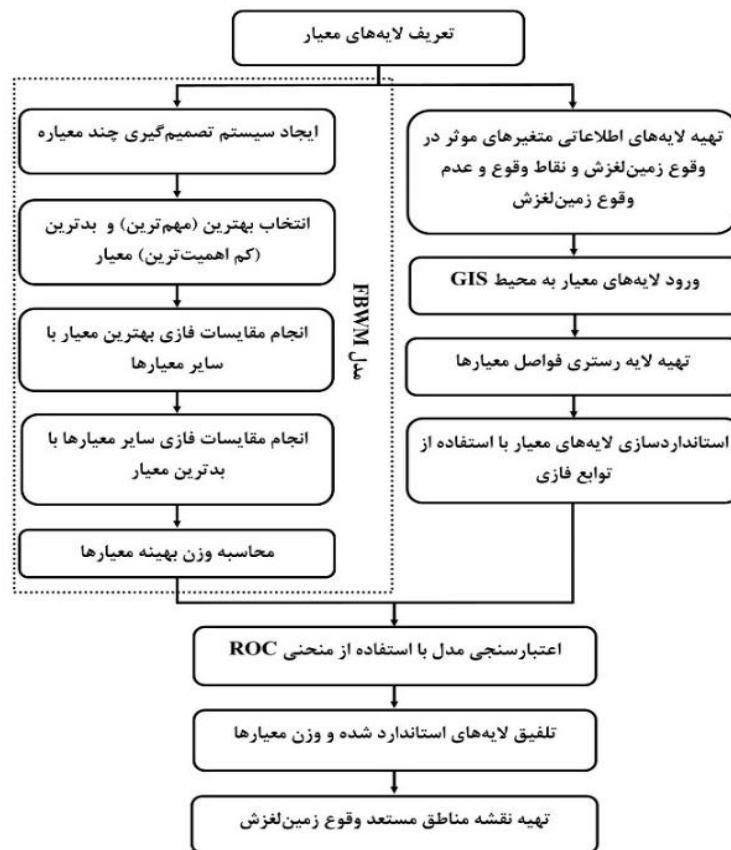
1. Huang
2. Shahri
3. Jiao



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش تحقیق

داده‌های استفاده‌شده در این تحقیق از منابع مختلف گردآوری شد. بدین منظور از ۱۰ معیار تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش استفاده شد؛ شامل: شیب، خمیدگی، ارتفاع، فاصله از گسل، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه و نهر، فاصله از راه‌ها، جهت شیب، کاربری اراضی. نقاط وقوع زمین‌لغزش نیز برای بررسی میزان دقت مدل به کار رفت. برای تهیه لایه‌های شیب و جهت شیب و خمیدگی از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری سنجنده ASTER استفاده شد. لایه‌های زمین‌شناسی و گسل از سازمان زمین‌شناسی استان آذربایجان شرقی گرفته شد. نقاط وقوع و عدم وقوع زمین‌لغزش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، و بازدیدهای میدانی تهیه شدند. سایر لایه‌ها نیز از شهرداری تبریز گرفته شد. به منظور تحلیل‌های مکانی از نرم‌افزار ArcGIS 10.5 و برای اجرای مدل FBWM از نرم‌افزار LINGO کمک گرفته شد. اعتبارسنجی مدل نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. روند کار شامل چهار مرحله کلی است شامل: ۱. آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی مربوط به متغیرهای مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش؛ ۲. اجرای مدل FBWM؛ ۳. اعتبارسنجی مدل با استفاده از منحنی ROC؛ ۴. تهیه نقشه نهایی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در شهر تبریز.



شکل ۲. روند مراحل کار

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق از ۱۰ معیار تأثیرگذار در وقوع زمین لغزش استفاده شد. در ادامه هر یک از معیارها توضیح داده می‌شود.

شیب: شیب یکی از عوامل مهم در وقوع زمین لغزش است. با افزایش شیب، احتمال وقوع زمین لغزش در منطقه افزایش پیدا می‌کند (Fayez et al 2018: 6850). مقدار شیب در شهر تبریز بین ۰ تا ۳۲/۵ درجه متغیر است؛ طوری که مناطق مرکزی و شمال غربی شهر تبریز شیب ملایم و مناطق شرقی و شمال شرقی شیب زیاد دارند.

خمیدگی: خمیدگی کنترل‌کننده رواناب سطحی و در نتیجه در وقوع زمین‌لغزش مؤثر است (Dou et al 2019: 337). بر این اساس، ۲۶/۱۴ درصد از مساحت شهر تبریز تقعر دارد که عمدتاً در قسمت‌های شرقی شهر واقع شده است. ۴۵/۲۸ درصد از مساحت شهر صاف و بدون خمیدگی است که عمدتاً در مرکز شهر قرار دارد. ۲۸/۵۸ درصد از مساحت شهر تحدب دارد که عمدتاً در مناطق جنوبی شهر واقع شده است.

ارتفاع: ارتفاع بر زمین‌لغزش تأثیر مستقیم ندارد. اما تأثیر آن بر سایر پارامترها، مثل بارش و تکنونیک، مشهود است (Pham et al 2018: 163). ارتفاع در شهر تبریز بین ۱۳۲۸ تا ۱۸۳۱ متر بالاتر از سطح دریا متغیر است. با حرکت به سمت شرق شهر تبریز بر ارتفاع شهر افزوده می‌شود و مناطق مرکزی و غربی شهر از ارتفاع کمتری برخوردار است.

گسل: گسل باعث ناپیوستگی خاک و سنگ و در نتیجه وقوع زمین‌لغزش می‌شود (Devkota et al 2013: 140). تبریز شهری لرزه‌خیز است که گسل اصلی شهر تقریباً سرتاسر قسمت‌های شمالی شهر را پوشش می‌دهد و در امتداد کوه‌های عینالی از شرق تا غرب تبریز امتداد دارد.

زمین‌شناسی: تلاقی عامل زمین‌شناسی با عامل خمیدگی و شیب تأثیر چشمگیری بر وقوع زمین‌لغزش می‌گذارد (Nguyen et al 2019: 157). شهر تبریز از ۷ لایه مختلف زمین‌شناسی تشکیل شده است که عبارت‌اند از: کنگلومرا، پیدمانت‌های سطح بالا، مارن قرمز، پیدمانت‌های سطح پایین، ماسه‌سنگ، آندزیت، مارن گچی. قسمت‌های عمده‌ای از شهر تبریز، که عمدتاً مناطق مرکزی شهر را شامل می‌شود، از پیدمانت‌های سطح بالا تشکیل شده است.

پوشش گیاهی: وجود پوشش گیاهی باعث تثبیت خاک در شیب‌ها و کاهش وقوع زمین‌لغزش می‌شود (Lee & Talib 2005: 985). در شهر تبریز، پوشش گیاهی، به طور غیر یکنواخت، نواحی مختلف را در بر گرفته است؛ طوری که مناطق شمال غربی و جنوبی غربی و شرق تبریز از پوشش گیاهی بیشتری نسبت به سایر مناطق برخوردار است.

رودخانه و نهر: آب رودخانه یکی از عوامل اصلی رطوبت خاک است. بنابراین، مجاورت با رودخانه یکی از عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش به شمار می‌رود (Pham et al 2018: 165). تلخه‌رود رودخانه اصلی تبریز است که از نواحی مرکزی شهر عبور می‌کند.

راه‌ها: بر اثر خاک‌برداری برای ایجاد راه‌ها در محل‌هایی که شیب آن بیش از ۱۰ درجه است بین خاک و سنگ ناپیوستگی ایجاد می‌شود و در نتیجه شرایط برای وقوع زمین‌لغزش در آن مناطق مساعد می‌شود (Ayalew & Yamagishi 2005: 20). راه‌ها و شریان‌های اصلی شهر تبریز شامل کنارگذر کسایی و پاسداران است که همچون کمربندی اطراف شهر تبریز را در بر گرفته است.

جهت شیب: در نیم‌کره شمالی، دامنه‌های جنوبی و غربی انرژی بیشتری دریافت می‌کنند و این وضعیت باعث مساعد شدن شرایط برای وقوع زمین‌لغزش در این مناطق می‌شود (علمی‌زاده ۱۳۹۰: ۸۱). بر این اساس، شیب‌های شمالی عمدتاً مناطق جنوبی شهر تبریز را پوشش می‌دهند و شیب‌های شرقی عمدتاً مناطق شرق تبریز را تشکیل می‌دهند. مناطق شمالی تبریز عمدتاً از شیب‌های جنوبی تشکیل شده‌اند. قسمت عمده‌ای از شهر تبریز دارای شیب‌های غربی است. کاربری اراضی: کاربری اراضی از عوامل مهم در وقوع زمین‌لغزش است. نواحی ساخته‌شده عمدتاً در مناطق مرکزی شهر تبریز قرار گرفته‌اند و حاشیه‌های شمالی، جنوبی، غربی، و شرقی شهر عمدتاً بایرند. فرودگاه شهید مدنی نیز در شمال غربی تبریز واقع شده است.

مدل FBWM

مدل FBWM از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که ژو و ژائو در سال ۲۰۱۷ ارائه کردند. این مدل با انتخاب بهترین و بدترین معیار و ایجاد یک مسئله بهینه‌سازی غیر خطی وزن معیارها را محاسبه می‌کند (Guo & Zhao 2017: 26). این مدل در واقع توسعه یافته مدل BWM است که جعفر رضایی، در سال ۲۰۱۵، مطرح کرده بود (Rezaei 2015: 53). اعداد فازی استفاده‌شده در این مدل اعداد فازی مثلثی‌اند (Wu et al 2019: 399). انتخاب بهترین و بدترین معیار در این روش موجب کاهش تعداد مقایسات و افزایش کارایی مدل می‌شود (Ghoushchi et al 2019: 98). تعداد مقایسات زوجی با فرض داشتن n معیار $2n-3$ مقایسه است (Mi & Liao 2019: 87). مدل FBWM شامل پنج مرحله است:

مرحله اول: ایجاد سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره (انتخاب معیارها)؛

مرحله دوم: انتخاب بهترین (مهم‌ترین) و بدترین (کم‌اهمیت‌ترین) معیار، بر اساس نظر کارشناسان؛

مرحله سوم: مقایسات فازی بهترین معیار (C_B) با سایر معیارها (C_i). در این مرحله با توجه به اصطلاحات زبانی (جدول ۱) اهمیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها مشخص می‌شود؛ رابطه ۱. بردار فازی مقایسه بهترین معیار و سایر معیارها

$$\vec{A}_B = (\vec{a}_{B1}, \vec{a}_{B2}, \dots, \vec{a}_{Bn}) \quad (1)$$

در رابطه ۱ نشان‌دهنده بردار فازی بهترین-سایر معیار است، \vec{a}_{Bj} نشان‌دهنده اولویت فازی بهترین معیار C_B نسبت به معیار j است، $j=1,2,\dots,n$.

مرحله چهارم: مقایسات فازی سایر معیارها (C_i) با بدترین معیار (C_W). در این مرحله باید با توجه به اصطلاحات زبانی (جدول ۱) اهمیت سایر معیارها نسبت به بدترین معیار مشخص شود؛ رابطه ۲. بردار فازی مقایسه سایر معیارها و بدترین معیار

$$\vec{A}_W = (\vec{a}_{1W}, \vec{a}_{2W}, \dots, \vec{a}_{nW}) \quad (2)$$

در رابطه ۲ نشان‌دهنده بردار فازی سایر-بدترین معیار است، \vec{a}_{iW} نشان‌دهنده اولویت فازی معیار i نسبت به بدترین معیار C_W است، $i=1,2,\dots,n$.

جدول ۱. قوانین تبدیل متغیرهای زبانی تصمیم‌گیرندگان

اصطلاحات زبانی	تابع عضویت
اهمیت یکسان (EI)	(۱،۱،۱)
اهمیت ضعیف (WI)	(۲/۳، ۱، ۳/۲)
نسبتاً مهم (FI)	(۳/۲، ۲، ۵/۲)
خیلی مهم (VI)	(۵/۲، ۳، ۷/۲)
کاملاً مهم (AI)	(۷/۲، ۴، ۹/۲)

(منبع: Guo & Zhao 2017: 24)

مرحله پنجم: استفاده از مسئله بهینه‌سازی غیر خطی زیر؛

رابطه ۳. مسئله بهینه‌سازی غیر خطی

$$\begin{aligned} \min \quad & \xi^* \\ \text{s. t.} \quad & \begin{cases} \left| \frac{(l_B^w, m_B^w, u_B^w)}{(l_j^w, m_j^w, u_j^w)} - (l_{Bj}, m_{Bj}, u_{Bj}) \right| \leq (k^*, k^*, k^*) \\ \left| \frac{(l_j^w, m_j^w, u_j^w)}{(l_{jW}, m_{jW}, u_{jW})} - (l_{jW}, m_{jW}, u_{jW}) \right| \leq (k^*, k^*, k^*) \\ \sum_{j=1}^n R(\tilde{w}_j) = 1 \\ l_j^w \leq m_j^w \leq u_j^w \\ l_j^w \geq 0 \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

در نهایت برای تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی از روش GMIR^۱ استفاده می‌شود. این روش برای تبدیل اعداد فازی مثلثی به اعداد قطعی به کار می‌رود.

رابطه ۴. روش GMIR

$$R_{(a_i)} = \frac{l_i + 4m_i + u_i}{6} \quad (4)$$

در رابطه ۴ l_i, m_i, u_i ارقام اول و دوم و سوم اعداد فازی مثلثی‌اند.

نسبت سازگاری (CR) در مدل FBWM با رابطه ۵ محاسبه می‌شود. نسبت سازگاری برای بررسی میزان سازگاری مقایسات زوجی فازی به کار می‌رود (Guo & Zhao 2017: 26).

رابطه ۵. نسبت سازگاری

$$\xi^2 - (1 + 2u_{B1W})\xi + (u_{B1W}^2 - u_{B1W}) = 0 \quad (5)$$

که در آن: $\xi = (l^\xi, m^\xi, u^\xi), \tilde{a}_{B1W} = (l_{B1W}, m_{B1W}, u_{B1W})$

جدول ۲. شاخص سازگاری برای مدل FBWM

اصطلاحات زبانی	اهمیت یکسان (EI)	اهمیت ضعیف (WI)	نسبتاً مهم (FI)	خیلی مهم (VI)	کاملاً مهم (AI)
\tilde{a}_{B1W} CI	(۱، ۱، ۱)	(۳/۲، ۱، ۲/۳)	(۵/۲، ۲، ۳/۲)	(۷/۲، ۳، ۵/۲)	(۹/۲، ۴، ۷/۲)
	۳	۳/۸	۵/۲۹	۶/۶۹	۸/۰۴

(منبع: Guo & Zhao 2017: 24)

1. Graded Mean Integration Representation

اعتبارسنجی مدل

به منظور اعتبارسنجی مدل FBWM از منحنی تشخیص عملکرد نسبی راک (ROC^1) و مساحت سطح زیر این منحنی (AUC^2) استفاده شد. این منحنی یکی از روش‌های کارآمد برای ارزیابی میزان دقت احتمالی است و می‌توان میزان دقت پیش‌بینی سیستم‌ها را به صورت کمی و کیفی با استفاده از آن ارزیابی کرد (مختاری و همکاران ۱۳۹۸: ۹۹). محور عمودی منحنی ROC نشان‌دهنده درصد Sensitivity یا حساسیت است و محور افقی آن نشان‌دهنده 100-Specificity یا ویژگی. مقدار AUC نشان‌دهنده احتمال این موضوع است که یک پیکسل انتخاب‌شده به طور تصادفی دارای پیش‌بینی صحیح باشد. بر این اساس، با افزایش میزان AUC صحت نتایج مدل نیز افزایش می‌یابد. به طور کلی، اگر مقدار AUC بین ۷۰ تا ۸۰ درصد باشد، به این معناست که مدل عملکرد خوبی داشته است. اگر این مقدار بین ۸۰ تا ۹۰ درصد باشد، یعنی مدل عملکرد بسیار خوبی داشته است. و اگر این مقدار بیش از ۹۰ درصد باشد، یعنی عملکرد مدل عالی بوده است (Pradhan et al 2014: 1025).

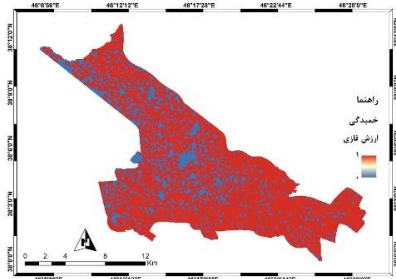
یافته‌های تحقیق

برای تحلیل‌های مکانی یکپارچه در محیط GIS لازم است همه لایه‌ها به ساختاری یکسان تبدیل شوند. بدین منظور در این تحقیق ابتدا همه لایه‌های خطی برداری (گسل، رودخانه، راه) با تابع Euclidean Distance به حالت رستر تبدیل شدند (شکل‌های ۳ تا ۱۲). در ادامه، لایه‌ها، با توجه به ارزش امتیازی (کد استاندارد) هر گزینه (جدول ۳)، در دسته‌های مختلف طبقه‌بندی مجدد^۳ شدند. در نهایت، برای میسر شدن مقایسه لایه‌های مختلف با یکدیگر، همه لایه‌ها (طبقه‌بندی‌مجددشده) با استفاده از توابع استانداردسازی فازی (Fuzzy Membership) استاندارد شدند.

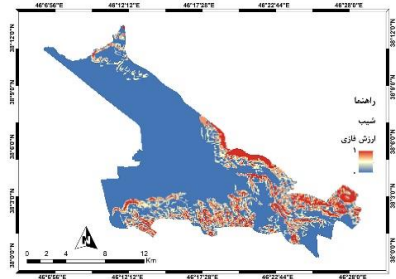
-
1. Receiver Operating Characteristics
 2. Area Under the ROC Curves
 3. Reclassify

جدول ۳. آستانه‌های اعمال شده در لایه‌های مختلف استفاده شده جهت تهیه نقشه زمین‌لغزش

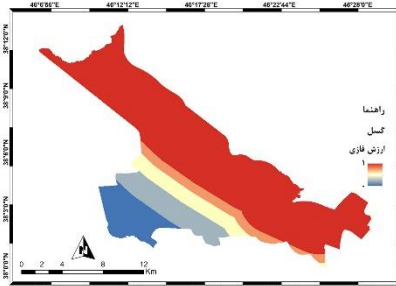
معیار	کلاس	کد استاندارد	معیار	کلاس	کد استاندارد
شیب (درجه)	۲-۰	۱	فاصله از راه (متر)	۵۰۰-۰	۵
	۵-۲	۲		۱۰۰۰-۵۰۰	۴
	۸-۵	۳		۱۷۰۰-۱۰۰۰	۳
	۱۵-۸	۴		۲۶۰۰-۱۷۰۰	۲
	بزرگتر از ۱۵	۵		بزرگتر از ۲۶۰۰	۱
خمیدگی	مقعر	۳	جهت شیب	مسطح	۱
	صاف	۱		شمالی	۲
	محدب	۳		شمال شرقی	۳
ارتفاع (متر)	۱۳۹۵-۱۳۲۸	۱	بزرگتر	شرقی	۲
	۱۴۷۵-۱۳۹۵	۲		جنوب شرقی	۴
	۱۵۶۰-۱۴۷۵	۳		جنوبی	۵
	۱۶۵۰-۱۵۶۰	۴		جنوب غربی	۴
	بزرگتر از ۱۶۵۰	۵		غربی	۵
فاصله از گسل (متر)	۱۳۹۰-۰	۵	کاربری اراضی	شمال غربی	۳
	۳۱۷۰-۱۳۹۰	۴		اراضی ساخته شده	۳
	۵۵۰۰-۳۱۷۰	۳		باغات	۱
	۸۳۵۰-۵۵۰۰	۲		اراضی بایر	۴
	بزرگتر از ۸۳۵۰	۱		فضای سبز	۲
زمین شناسی	آندزیت و داسیت	۴	بهره	کشاورزی	۲
	مارن قرمز و مارن گچی	۴		نظامی	۳
	مارن قهوه‌ای	۵		فرودگاه	۳
	مارن گچی	۳		رودخانه	۵
	پیدمانت‌های سطح بالا	۲		راه	۵
فاصله از نهر (متر)	پیدمانت‌های سطح پایین	۵	فاقد پوشش گیاهی	۵	
	پیروکلاستیک	۱		دارای پوشش گیاهی	۱
	۶۶۰-۰	۵	فاصله از نهر (متر)	۶۶۰-۰	۵
	۱۳۹۰-۶۶۰	۴		۱۳۹۰-۶۶۰	۴
	۲۱۷۰-۱۳۹۰	۳		۲۱۷۰-۱۳۹۰	۳
۳۰۰۰-۲۱۷۰	۲	۳۰۰۰-۲۱۷۰		۲	
بزرگتر از ۳۰۰۰	۱	بزرگتر از ۳۰۰۰	۱		



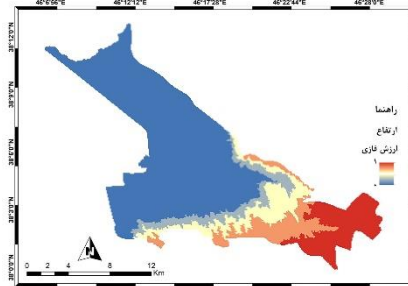
شکل ۴. لایه استاندارد شده خمدگی



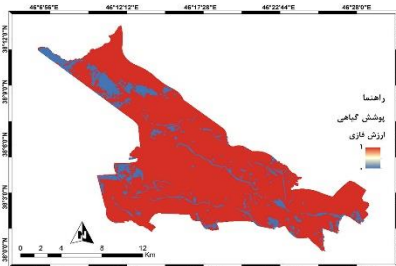
شکل ۳. لایه استاندارد شده شیب



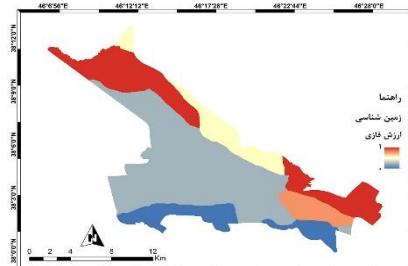
شکل ۶. لایه استاندارد شده گسل



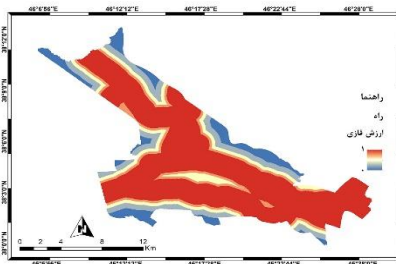
شکل ۵. لایه استاندارد شده ارتفاع



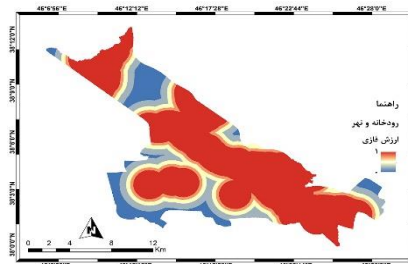
شکل ۸. لایه استاندارد شده پوشش گیاهی



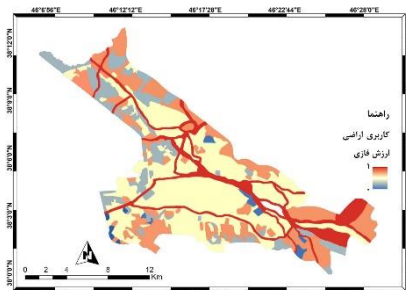
شکل ۷. لایه استاندارد شده زمین شناسی



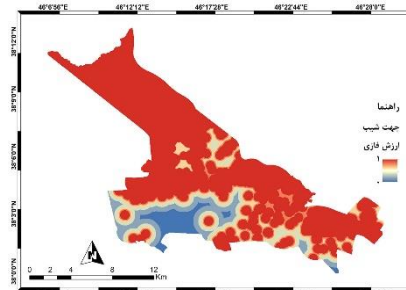
شکل ۱۰. لایه استاندارد شده راه



شکل ۹. لایه استاندارد شده رودخانه و نهر



شکل ۱۲. لایه استانداردشده کاربری اراضی

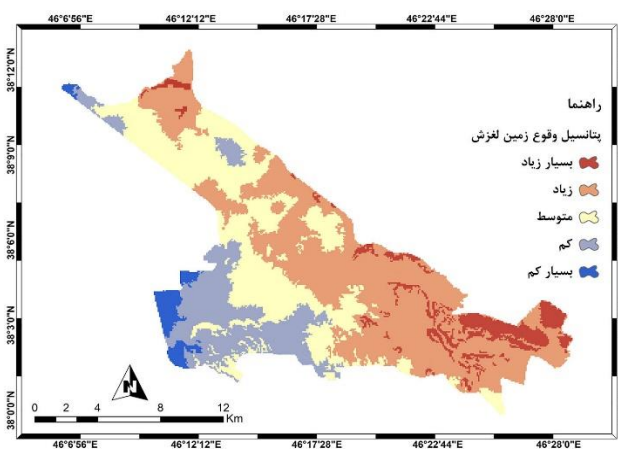


شکل ۱۱. لایه استانداردشده جهت شیب

در ادامه، با توجه به رابطه حجم جامعه و حجم نمونه در جدول مورگان، ۳۰ عدد پرسشنامه بین کارشناسان ژئومورفولوژی و هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی توزیع و با استفاده از مدل FBWM وزن معیارها محاسبه شد. برای این کار، ابتدا با استفاده از روش دلفی بهترین (مهم‌ترین) و بدترین (کم‌اهمیت‌ترین) معیار مشخص شد؛ که بر اساس نظر کارشناسان، معیار شیب به منزله بهترین (مهم‌ترین) و معیار ارتفاع به منزله بدترین (کم‌اهمیت‌ترین) معیار انتخاب شدند. در ادامه، پرسشنامه‌ها در دو بخش (بخش اول مقایسه بهترین معیار با سایر معیارها و بخش دوم مقایسه سایر معیارها با بدترین معیار) تنظیم و بین کارشناسان توزیع شدند تا بر اساس اصطلاحات زبانی معیارها را با یکدیگر مقایسه کنند. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها و بررسی میزان پایایی پرسشنامه‌ها با روش آلفای کرونباخ مشخص شد ضریب آلفا بین پرسشنامه‌های توزیع شده ۰/۷۶ است که عددی قابل اعتماد برای بررسی پایایی پرسشنامه‌ها به شمار می‌رود. در ادامه، با تبدیل اصطلاحات زبانی به توابع عضویت فازی، اعداد مربوطه وارد نرم‌افزار LINGO شدند تا با حل مسئله بهینه‌سازی غیر خطی وزن معیارها (جدول ۴) به دست آیند. بر این اساس، معیارهای شیب و گسل و پوشش گیاهی مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش و معیارهای ارتفاع و خمیدگی و راه معیارهایی که کمترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش دارند شناخته شدند. در ادامه، پس از به دست آمدن وزن معیارها، لایه‌های استاندارد معیار و وزن معیارها تلفیق شدند تا نقشه نهایی پتانسیل زمین‌لغزش در نقاط مختلف شهر تبریز به دست آید (شکل ۱۳).

جدول ۴. وزن معیارهای استفاده‌شده در تحقیق

معیار	وزن	معیار	وزن	معیار	وزن
خمیدگی	۰/۰۵۱	ارتفاع	۰/۰۴۴	رودخانه و نهر	۰/۰۹۳
شیب	۰/۱۷	پوشش گیاهی	۰/۱۳۴	کاربری اراضی	۰/۱۱
گسل	۰/۱۴	زمین‌شناسی	۰/۱۲۲	جهت شیب	۰/۰۸۱
راه	۰/۰۵۵			نسبت سازگاری (CI)	۰/۰۵۵



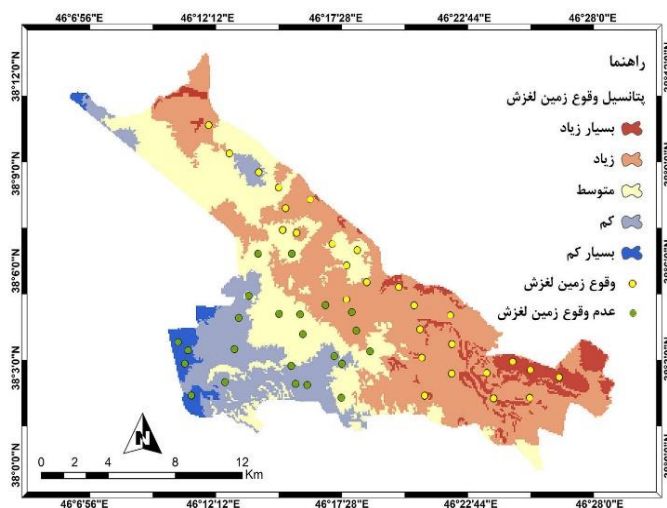
شکل ۱۳. نقشه پتانسیل زمین‌لغزش در شهر تبریز

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۱۳، مناطق قرمز رنگ پتانسیل بیشتری برای وقوع زمین‌لغزش دارند و هر چه به مناطق آبی‌رنگ نزدیک می‌شویم از این میزان کاسته می‌شود. بر این اساس، مناطق شمالی، به‌خصوص نواحی شمال شرقی شهر تبریز، بیشترین خطر را در رابطه با وقوع زمین‌لغزش دارند. این نواحی منطبق بر شهرک ولیعصر و باغمیشه و نواحی اطراف آن است. نواحی شمالی شهر تبریز نیز پتانسیل بالایی برای وقوع زمین‌لغزش دارند که این نواحی منطبق بر اتوبان پاسداران و کوه‌های عینالی است. در طرف مقابل، نواحی جنوبی شهر تبریز پتانسیل پایینی در رابطه با وقوع زمین‌لغزش دارند و خطر کمتری این نواحی را تهدید می‌کند. بر اساس جدول ۵، ۶/۲۸ کیلومتر مربع از سطح شهر پتانسیل بسیار کمی برای وقوع زمین‌لغزش دارند و ۳۸/۰۷ کیلومتر مربع دارای پتانسیل کم، ۹۰/۵۲ کیلومتر مربع دارای پتانسیل متوسط، ۱۰۲/۹ کیلومتر مربع دارای پتانسیل زیاد، و ۱۳/۳۶ کیلومتر مربع دارای پتانسیل بسیار زیاد برای وقوع زمین‌لغزش‌اند.

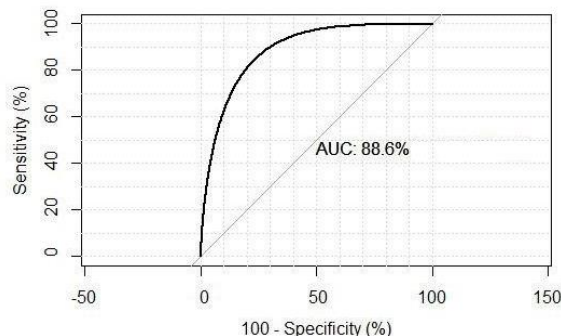
جدول ۵. اطلاعات مربوط به نقشه پتانسیل زمین لغزش در شهر تبریز

کلاس	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
پتانسیل بسیار زیاد	۱۳/۳۶	۵/۳۳
پتانسیل زیاد	۱۰۲/۹	۴۰/۹۷
پتانسیل متوسط	۹۰/۵۲	۳۶/۰۴
پتانسیل کم	۳۸/۰۷	۱۵/۱۶
پتانسیل بسیار کم	۶/۲۸	۲/۵

در نهایت، به منظور ارزیابی دقت و کارایی مدل FBWM برای مدل‌سازی خطر زمین لغزش، از منحنی ROC و سطح زیر منحنی AUC و تعدادی نقاط نمونه مربوط به وقوع و عدم وقوع زمین لغزش استفاده شد. بدین منظور نقاط برداشت شده و مقادیر عددی متناظر با آن‌ها در نقشه نهایی پتانسیل وقوع زمین لغزش وارد محیط نرم‌افزار SPSS شد و منحنی ROC و سطح زیر آن AUC محاسبه شد. بر این اساس، سطح زیر منحنی برابر با ۸۸/۶ درصد است که عملکرد بسیار خوب مدل و کارایی آن برای پتانسیل‌یابی وقوع زمین لغزش را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴. نقشه نقاط وقوع و عدم وقوع زمین لغزش



شکل ۱۵. منحنی ROC و مساحت سطح زیر منحنی مربوط به اعتبارسنجی مدل

نتیجه

زمین‌لغزش از مسائل ژئومورفولوژیکی است که بسیاری از فعالیت‌های بشری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. امروزه شهرها در نقاط مختلف دنیا، به دلایل مختلف، از جمله نوع مکان‌یابی و توسعه فیزیکی نامناسب و عدم رعایت استانداردهای لازم، در معرض مخاطرات مختلف محیطی، از جمله زمین‌لغزش، قرار دارند. شناسایی و پتانسیل‌یابی نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش می‌تواند گامی مهم در زمینه ارزیابی مخاطرات محیطی و مدیریت بحران باشد. بر این اساس، در این تحقیق، با توجه به ۱۰ معیار تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش و با استفاده از مدل FBWM، اقدام به پتانسیل‌یابی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در شهر تبریز شد. مدل یادشده از مدل‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره است که با در نظر گرفتن بهترین و بدترین معیار و مقایسه آن‌ها با معیارهای دیگر اقدام به ایجاد یک مسئله بهینه‌سازی غیر خطی می‌کند و بدین ترتیب وزن معیارها به دست می‌آید. بر این اساس، معیار شیب به منزله بهترین و معیار ارتفاع به منزله بدترین معیار انتخاب شد و در نهایت، با تلفیق وزن معیارها و نقشه‌های استانداردشده معیارها، نقشه نهایی پتانسیل‌یابی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در شهر تبریز به دست آمد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مناطق شمالی و شمال شرقی شهر تبریز مستعدترین مناطق برای وقوع زمین‌لغزش‌اند و مناطق جنوبی شهر تبریز پتانسیل کمتری در این زمینه دارند. همچنین، بررسی مساحت هر یک از کلاس‌ها نشان داد ۵/۳۳ درصد از مناطق شهر تبریز در محدوده پتانسیل بسیار زیاد از لحاظ وقوع زمین‌لغزش قرار دارند و ۴۰/۹۷ درصد در محدوده پتانسیل زیاد، ۳۶/۰۴ درصد در محدوده پتانسیل متوسط، ۱۵/۱۶ درصد در محدوده پتانسیل کم، و

۲/۵ درصد نیز در محدوده پتانسیل بسیار کم از لحاظ وقوع زمین لغزش واقع شده‌اند. نسبت سازگاری به دست آمده از مدل FBWM ۰/۰۵۵ است که سازگاری مناسب مقایسات را نشان می‌دهد. نتایج اعتبارسنجی مدل با استفاده از منحنی ROC نیز نشان‌دهنده سطح زیر منحنی (AUC) ۸۸/۶ درصد است که عملکرد بسیار خوب مدل به کاررفته را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده از وزن‌دهی معیارها مشخص شد معیارهای شیب و گسل و پوشش گیاهی مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار در وقوع زمین لغزش‌اند و معیارهای ارتفاع و خمیدگی و راه معیارهایی هستند که کمترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش دارند. این موضوع با تحقیق شاهری و همکارانش (۲۰۱۹) مطابقت دارد. آن‌ها در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که نوع خاک و شیب مهم‌ترین معیارها و ارتفاع و خمیدگی کم‌اهمیت‌ترین معیارها در وقوع زمین لغزش‌اند. نتایج این تحقیق تأییدکننده کار هو و همکارانش^۱ (۲۰۱۹) است که از روش FBWM برای ارزیابی تأمین‌کننده‌های سبز استفاده کردند و این مدل را برای وزن‌دهی به معیارها مناسب دانستند. همچنین، نتایج تحقیق کریمی و همکارانش^۲ (۲۰۱۹)، که از این مدل برای ارزیابی تعمیر و نگهداری در بیمارستان‌ها استفاده کردند، نشان داد این مدل از کارایی مناسبی برای ارزیابی و وزن‌دهی به معیارها برخوردار است. از آنجا که تا کنون تحقیقی در زمینه کاربرد مدل FBWM برای ارزیابی خطر زمین لغزش صورت نگرفته است، نتایج این تحقیق برای سازمان‌هایی همچون شهرداری، مسکن و شهرسازی، زمین‌شناسی، و سایر ارگان‌های مربوط با مخاطرات محیطی جنبه کاربردی دارد.

پیشنهاد

با توجه به اینکه تبریز از شهرهایی است که مخاطرات زیادی، از جمله زمین لغزش، آن را تهدید می‌کند، باید در برنامه‌ریزی‌های شهری به این موضوع توجه شود. اراضی بایر قسمت زیادی از محدوده شهر را پوشش می‌دهد و برخی از پهنه‌های پرخطر از لحاظ وقوع زمین لغزش در این اراضی قرار گرفته‌اند. پیشنهاد می‌شود از توسعه شهری در این مناطق اجتناب شود. همچنین، از تراکم جمعیت در مناطق پرخطر از لحاظ وقوع زمین لغزش کاسته شود. به طور کلی، جهت کاهش

1. Wu et al
2. Karimi et al

مخاطره زمین‌لغزش در شهر تبریز چند پیشنهاد ارائه می‌شود: ۱. اجرای طرح‌های توسعه شهری در مناطق جنوبی شهر؛ ۲. کاهش یا توقف طرح‌های توسعه شهری در مناطق شمالی و شمال شرق شهر؛ ۳. اجرای کمربند شهر در اطراف گسل شهر جهت کاستن از خطر زمین‌لغزش؛ ۴. تخلیه جمعیت از مناطق با خطر بسیار بالا و تغییر کاربری در محدوده‌های پرخطر؛ ۵. اجرای سیاست‌های تشویقی جهت تسهیل ساخت‌وساز در مناطق کم‌خطر و بالعکس اجرای سیاست‌های بازدارنده جهت کاهش ساخت‌وساز در مناطق پرخطر.

در رابطه با مدل به‌کاررفته در این تحقیق می‌توان گفت مدل FBWM از مدل‌های نوین تصمیم‌گیری است که در این تحقیق کارایی آن به تنهایی بررسی شد. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی از چندین مدل تصمیم‌گیری به طور هم‌زمان برای بررسی خطر زمین‌لغزش استفاده شود و عملکرد آن‌ها نسبت به یک‌دیگر مقایسه شود تا بتوان مدل‌های مختلف را از این حیث رتبه‌بندی کرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود از معیارها و زیرمعیارهای بیشتری به منظور مدل‌سازی خطر زمین‌لغزش استفاده شود تا بتوان با دقت بیشتری برای مدل‌سازی این مخاطره اقدام کرد.

منابع

- پاشا، امیرحسین؛ علی سربی؛ سعید بهزادی (۱۳۹۶). «ارزیابی خطر زمین لغزش در منطقه چهارگوش قزوین- رشت شمال ایران»، علوم زمین، س ۲۷، ش ۱۰۶، صص ۸۹ - ۹۸.
- روستایی، شهرام؛ لایلا خدایی؛ داود مختاری؛ خدیجه رضاطبع؛ فاطمه خدایی (۱۳۹۴). «کاربرد تحلیل شبکه ANP در بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش در محدوده محور و مخزن سد قلعه چای»، مخاطرات محیط طبیعی، س ۴، ش ۵، صص ۵۹ - ۷۴.
- شیرانی، کوروش؛ عبدالله سیف (۱۳۹۱). «پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش های آماری منطقه پیش کوه شهرستان فریدون شهر»، علوم زمین، س ۲۲، ش ۸۵، صص ۱۴۹ - ۱۵۸.
- شیرانی، کوروش؛ علی رضا عرب عامری (۱۳۹۴). «پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: حوضه دز علیا)»، علوم آب و خاک، ج ۱۹، ش ۷۲، صص ۳۲۱ - ۳۳۵.
- علمی زاده، هیوا (۱۳۹۰). «تحلیل مورفولوژی و شیب در ارتباط با فرسایش نمونه موردی حوضه نچی»، فصلنامه سپهر، س ۲۰، ش ۸۰، صص ۷۹ - ۸۳.
- مختاری، داود؛ حمید ابراهیمی؛ سعید سلمانی (۱۳۹۸). «مدل سازی خطر وقوع فرونشست زمین با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوزه آبریز دشت تسوج)»، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، س ۱۰، ش ۳، صص ۹۳ - ۱۰۵.
- مصفايي، جمال؛ مجید اونق؛ منصور مصداقی؛ محسن شریعت جعفری (۱۳۸۸). «مقایسه کارایی مدل های تجربی و آماری پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: آبخیز الموت رود)»، پژوهش های حفاظت آب و خاک، د ۱۶، ش ۴، صص ۴۳ - ۶۱.
- مقیم، حسن؛ مسعود نجابت (۱۳۹۸). «مقایسه کارآمدی مدل های نیلسون اصلاح شده و اثر نسبی در پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز سد پارسیان استان فارس»، مهندسی و مدیریت آبخیز، ج ۱۱، ش ۱، صص ۲۶۴ - ۲۷۲.

References

- Ayalew, L. & Yamagishi, H. (2005). "The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan", *Geomorphology*, 65(2), pp. 15-31.

- Bhattacharai, P., Tiwari, B., Marui, H., & Aoyama, K. (2004). "Quantitative slope stability mapping with ArcGIS: prioritize highway maintenance", In *Proceedings of ESRI's 24th Annual International User's Conference, San Diego. ESRI*.
- Chen, W., Peng, J., Hong, H., Shahabi, H., Pradhan, B., Liu, J., & Duan, Z. (2018). "Landslide susceptibility modelling using GIS-based machine learning techniques for Chongren County, Jiangxi Province, China", *Science of the total environment*, 626(5), pp. 1121-1135.
- 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), pp. 135-165.
- Dou, J., Yunus, A. P., Bui, D. T., Merghadi, A., Sahana, M., Zhu, Z., & Pham, B. T. (2019). "Assessment of advanced random forest and decision tree algorithms for modeling rainfall-induced landslide susceptibility in the Izu-Oshima Volcanic Island, Japan", *Science of the Total Environment*, 662(8), pp. 332-346.
- Elmizadeh, H. (2012). "Morphological and slope analysis in relation to erosion case study of the nach basin", *SEPEHR*, 20(80), pp. 79-83. (in Persian)
- Fayez, L., Pazhman, D., Pham, B. T., Dholakia, M. B., Solanki, H. A., Khalid, M., & Prakash, I. (2018). "Application of Frequency Ratio Model for the Development of Landslide Susceptibility Mapping at Part of Uttarakhand State, India", *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(9), pp. 6846-6854.
- Ghoushchi, S. J., Yousefi, S., & Khazaeili, M. (2019). "An extended FMEA approach based on the Z-MOORA and fuzzy BWM for prioritization of failures", *Applied Soft Computing*, 81(3), pp. 95-112.
- Guo, S. & Zhao, H. (2017). "Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications", *Knowledge-Based Systems*, 121(2), pp. 23-31.
- Guzzetti, F., Gariano, S. L., Peruccacci, S., Brunetti, M. T., Marchesini, I., Rossi, M., & Melillo, M. (2019). "Geographical landslide early warning systems", *Earth-Science Reviews*, 10(2), pp. 1-18.
- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., & Chang, K. T. (2012). "Landslide inventory maps: New tools for an old problem", *Earth-Science Reviews*, 112(1-2), pp. 42-66.
- Huang, F., Yin, K., Huang, J., Gui, L., & Wang, P. (2017). "Landslide susceptibility mapping based on self-organizing-map network and extreme learning machine", *Engineering Geology*, 223(5), pp. 11-22.
- Jiao, Y., Zhao, D., Ding, Y., Liu, Y., Xu, Q., Qiu, Y., & Li, R. (2019). "Performance evaluation for four GIS-based models purposed to predict and map landslide susceptibility: A case study at a World Heritage site in Southwest China", *Catena*, 183(2), pp. 104221-104235.
- Karimi, H., Sadeghi-Dastaki, M., & Javan, M. (2019). "A fully fuzzy best-worst multi attribute decision making method with triangular fuzzy number: A case study of maintenance assessment in the hospitals", *Applied Soft Computing*, 86(2), pp. 105882-105896.

- Lee, S. & Talib, J. A. (2005). "Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis", *Environmental Geology*, 47(7), pp. 982-990.
- Luo, W. & Liu, C. C. (2018). "Innovative landslide susceptibility mapping supported by geomorphon and geographical detector methods", *Landslides*, 15(3), pp. 465-474.
- Mi, X. & Liao, H. (2019). "An integrated approach to multiple criteria decision making based on the average solution and normalized weights of criteria deduced by the hesitant fuzzy best worst method", *Computers & Industrial Engineering*, 133(1), pp. 83-94.
- Moghim, H. & Nejabat, M. (2019). "Efficiency assessment of Modified Nilsson and Relative Effect Models in landslide hazard zonation case study Parsian dam Watershed", *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(1), pp. 264-272. (in Persian)
- Mokhtari, D., Ebrahimi, H., & Salmani, S. (2019). "Land subsidence susceptibility modeling using random forest approach Case study Tasuj plane catchment", *RS and GIS for Natural Resources*, 10(3), pp. 93-105. (in Persian)
- Mosaffaie, J., Ownegh, M., Mesdaghi, M., & Shariat Jafari, M. (2010). "Comparing the efficiency of statistical and empirical landslide hazard zonation models in Alamout watershed", *Journal of Water and Soil Conservation*, 16(4), pp. 43-61. (in Persian)
- Nguyen, V. V., Pham, B. T., Vu, B. T., Prakash, I., Jha, S., Shahabi, H., & Tien Bui, D. (2019). "Hybrid machine learning approaches for landslide susceptibility modeling", *Forests*, 10(2), pp. 157-170.
- Pasha, A. H., Sorbi, A., & Behzadi, S. (2018). "Landslide risk assessment in Qazvin-Rasht quadrangle zone (North of Iran)", *Scientific Quarterly Journal GEOSCIENCES*, 27(106), pp. 89-98. (in Persian)
- Pham, B. T., Bui, D. T., & Prakash, I. (2018). "Application of Classification and Regression Trees for Spatial Prediction of Rainfall-Induced Shallow Landslides in the Uttarakhand Area (India) Using GIS", In *Climate Change, Extreme Events and Disaster Risk Reduction*, 25(12), pp. 159-170.
- Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R., & Aghda, S. F. (2013). "Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances", *Natural hazards*, 69(1), pp. 749-779.
- Pradhan, B., Abokharima, M. H., Jebur, M. N., & Tehrany, M. S. (2014). "Land subsidence susceptibility mapping at Kinta Valley (Malaysia) using the evidential belief function model in GIS", *Natural hazards*, 73(2), pp. 1019-1042.
- Qiu, H., Cui, P., Regmi, A. D., Hu, S., Wang, X., & Zhang, Y. (2018). "The effects of slope length and slope gradient on the size distributions of loess slides: field observations and simulations", *Geomorphology*, 300(8), pp. 69-76.
- Rezaei, J. (2015). "Best-worst multi-criteria decision-making method", *Omega*, 53(1), pp. 49-57.
- Roostaei, Sh., Khodaei, L., Mokhtari, D., Rezatab, Kh., & Khodaei, F. (2015). "Application of Analytic Network Process (ANP) in the Investigation of Landslide Potential in the Axis Range and Reservoir of Ghaleh Chai Dam", *Journal of Natural Environmental Hazards*, 4(5), pp. 59-74. (in Persian)
- Shahri, A. A., Spross, J., Johansson, F., & Larsson, S. (2019). "Landslide susceptibility

- hazard map in southwest Sweden using artificial neural network”, *Catena*, (2), pp. 104225-104239.
- Shirani, K. & Arabameri, A. R. (2015). “Landslide Hazard Zonation Using Logistic Regression Method (Case Study:Dez-e-Oulia Basin)”, *Journal of Water and Soil Science*, 19(72), pp. 321-335. (in Persian)
- Shirani, K. & Seif, A. (2013). “Landslide Hazard Zonation by Using Statistical Methods (Pishkuh Region in Fereydonshahr Province)”, *Scientific Quarterly Journal GEOSCIENCES*, 22(85), pp. 149-158. (in Persian)
- Trigila, A., Iadanza, C., Esposito, C., & Scarascia-Mugnozza, G. (2015). “Comparison of Logistic Regression and Random Forests techniques for shallow landslide susceptibility assessment in Giampilieri (NE Sicily, Italy)”, *Geomorphology*, 249(3), pp. 119-136.
- Wang, Y., Feng, L., Li, S., Ren, F., & Du, Q. (2020). “A hybrid model considering spatial heterogeneity for landslide susceptibility mapping in Zhejiang Province, China”, *CATENA*, 188(5), pp. 1-15.
- Wu, Q., Zhou, L., Chen, Y., & Chen, H. (2019). “An integrated approach to green supplier selection based on the interval type-2 fuzzy best-worst and extended VIKOR methods”, *Information Sciences*, 502(2), pp. 394-417.