Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Landslide and debris flow risk analysis in Haraz and Lavasanat roads

Niloofar Mohammadi[1], Farzaneh Sasanpour[2*]

[1] M.Sc. Student, Department of Geomorphology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
[2] Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

Abstract

Introduction
Landslide occurrence is caused by severe ground movement and fault fractures that lead to structural damage, road blockage, human death, and significant damage to other features. Landslide is one of the most destructive natural phenomena that can cause great damage to property and human loss. One of the basic measures to reduce potential damage is to identify landslide-prone areas. Due to the location of most cities in the mountainous and foothill areas and the topographic, geological, and geomorphological features, the natural conditions are vulnerable to a wide range of landslides. Tehran, as the largest city in Iran, has almost 12% of the total population of the country and is partly located in the foothills and mountainous areas. Tehran, has many important infrastructures, including crowded roads, and a large population, therefore, determining areas prone to future landslides is an important management issue. Also, debris flow is one of the main factors that cause serious damage to properties. Thus quantitative assessment and management are required to reduce the possible damages. In addition, technologies are needed to assess disaster prevention facilities and structures in disaster-prone areas. Therefore, using combined methods for landslide susceptibility areas can be very effective in managing the risk of reducing casualties.

Materials and Methods
In this study, the effective factors on landslide occurrence such as rainfall, earthquake, vegetation, land use, geology, river, fault, slope and aspect, and roads are employed using an integrated approach. Then, spatial analysis was performed in ArcGIS using Euclidean distance and Curvature functions. The Haraz and Lavasanat roads were selected as a case study, and each of the criteria was examined and classified using the Euclidean distance method and inverse distance weighted (IDW) technique.

Results and Discussion
The results showed that the areas facing northeast and southwest parts were ranked 1st and the rest of the area was ranked 0. The areas with slope values higher than 50%, had a higher risk of landslide. The curvature of the selected main and secondary roads was located in convex hillslopes indicating the areas at a high-risk level. These Haraz and Lavasan roads are at risk of slipping during rain, earthquakes, and other hazards. According to the area obtained from the regional statistical properties.

Conclusion
The mountainous roads of Tehran are vulnerable to landslide and debris flows due to the geographical location, and the existence of faults. The excessive interference in the nature and increase of additional load on the slopes and excessive influence on agricultural and road use are important reasons for instability in the slope and increasing the debris flow in these land uses. The controlling of landslide and debris flow phenomena depends on a comprehensive management plan. Factors such as population growth, land-use change, and climate change are intensifying the landslide and debris flow occurrence. Since rainfall is one of the accelerating the occurrence of natural disasters, the existence of a management system such as an early warning to the endangered population is necessary.

Keywords: Crisis management, Debris flow, Natural hazards, Spatial analysis.

Article Type: Research Article

[*]Corresponding Author, E-mail: sasanpour@khu.ac.ir

Citation: Mohammadi, N., & Sasanpour, F. (2021). Landslide and debris flow risk analysis in Haraz and Lavasanat roads. *Water and Soil Management and Modeling*, 1(4), 14-29.
DOI: 10.22098/MMWS.2021.9138.1023
DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.4.2.6

Received: 02 July 2021; Accepted: 22 August 2021
Water and Soil Management and Modeling, Year 2021, Vol. 1, No. 4, pp. 14-29.
Publisher: University of Mohaghegh Ardabili © Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵٤٦-۲۷۸۳

تحلیل ریسک وقوع زمین‌لغزش و واریزه در جاده‌های هراز و لواسانات

نیلوفر محمدی[۱]، فرزانه ساسان پور[۲*]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
[۲] دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکدهٔ علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده

از آن‌جا که زمین‌لغزش‌ها نسبت به سایر بلایا دارای قابلیت بیش‌تری برای مدیریت هستند، شناخت این پدیده در جهت جلوگیری از خسارات از اهمیت زیادی برخوردار است. هم‌چنین، باتوجه به گستردگی و تنوع فراوانی مخاطرات طبیعی در ایران مطالعهٔ حاضر با هدف شناخت نحوهٔ مدیریت کاهش مخاطرهٔ طبیعی زمین‌لغزش در استان تهران انجام شد. به‌همین منظور، ابتدا معیارهای مؤثر بر ناپایداری‌ها، مانند بارش، زلزله، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، رودخانه، گسل، تندی و جهت شیب و راه‌های ارتباطی استان تهران با رویکرد واریزه بررسی شدند. سپس، تحلیل مکانی در محیط ArcGIS با استفاده از توابع فاصلهٔ اقلیدسی و تعیین انحنا صورت پذیرفت. بدین‌صورت که ابتدا جاده‌های هراز و لواسانات به‌صورت نمونه انتخاب شدند و هرکدام از معیارها با استفاده از روش فاصله‌ای برای لایه‌های خطی و وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) برای لایه‌های پلیگون بررسی و طبقه‌بندی شدند. هم‌چنین، میزان ریزش و انحنا بررسی شده و به هریک از نقشه‌های انحنا و جهت شیب رتبهٔ بین صفر و یک داده شد. به این‌صورت که مناطقی که رتبهٔ یک هستند دارای خطر بالا و مناطقی که دارای رتبهٔ صفر هستند می‌توانند خطرآفرین باشند. نتایج این مطالعه نشان داد مناطقی که رو به جهت شمال شرق و جنوب غرب بودند رتبهٔ یک و مابقی رتبهٔ صفر دارند. هم‌چنین، مناطقی که بالای ۵۰ درصد شیب رو به شمال داشتند از خطر ریزش بیش‌تری برخوردار هستند. در رتبه‌بندی به مناطقی که مقعر و هرچه مثبت‌تر بودند رتبهٔ یک داده شده و در این مناطق انحنای جاده‌های اصلی و فرعی منتخب منفی بودند و دارای جهت محدب نشان داده شده که این مساحت، دارای مخاطره است. این مناطق در جادهٔ هراز و لواسانات از نظر زمین‌لغزش در هنگام بارندگی و زلزله و سایر مخاطرات در معرض خطر بوده و پیشنهاد توجه به ساخت و ساز و وجود سیستم هشدار از حیطهٔ مدیریت بحران در این مناطق الزامی است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل مکانی، حرکت‌های دامنه‌ای، مخاطرات محیطی، مدیریت بحران، واریزه

نوع مقاله: پژوهشی

[*] مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sasanpour@khu.ac.ir

استناد: محمدی، ن.، و ساسان‌پور، ف. (۱۴۰۰). تحلیل ریسک وقوع زمین‌لغزش و واریزه در جاده‌های هراز و لواسانات. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۴)، ۱۴-۲۹.

DOI: 10.22098/MMWS.2021.9138.1023
DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.4.2.6

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۳۱
مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۰، دوره ۱، شماره ۴، صفحه ۱۴ تا ۲۹
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

سیمای سرزمین به‌عنوان سیستمی پیچیده، حاصل تعامل فرآیندهای جغرافیایی، اقلیمی، بوم‌شناختی و انسانی است. رشد کالبدی بدون رعایت اصول برنامه‌ریزی شهری و ساخت‌وساز بدون در نظر گرفتن پتانسیل مخاطرات، آسیب‌پذیری و خسارت‌ها را تشدید می‌کند. این‌ها عواملی هستند که با تغییر در چگونگی ساختار و کارکرد توپوگرافی طبیعی و میکرواقلیم، به‌ویژه در محیط‌های انسان‌ساخت، زمینه‌ساز ایجاد مخاطراتی نظیر زمین‌لغزش، سیلاب شهری، زلزله و فرونشست می‌شود (Fanni and Ghashami, 2019). از طرفی رشد سریع و افسارگسیخته شهرها و افزایش بی‌سابقهٔ جمعیت در دهه‌های گذشته موجب استفاده بیش‌تر بشر از منابع طبیعی شده است. کمبود منابع و عرصه‌های طبیعی مناسب برای شهرسازی موجب افزایش آسیب‌پذیری شهرها در برابر سوانح طبیعی به‌ویژه اسکان جمعیت در مناطق شهری از جمله زمین‌لغزش و زلزله است (Hosseinzadeh, 2014).

زمین‌لغزش از جمله متداول‌ترین پدیده‌های طبیعی تغییر شکل‌دهندهٔ سطح زمین است که در تمامی دوران‌های زمین‌شناسی به‌وقوع پیوسته و امروزه به‌عنوان یکی از بلایای طبیعی مورد توجه است. اهمیت آن به‌علت نام‌گذاری دههٔ ۲۰۲۰ به‌عنوان دههٔ مقابله با بلایای طبیعی و کاهش خطرات ناشی از آن دوچندان شده است. زمین‌لغزش یکی از طبیعی‌ترین بلایای مخرب به‌ویژه در مناطق کوهستانی است (National Disaster Management Organization of Iran, 2020). خسارت‌های ناشی از زمین‌لغزش به حرکت شدید زمین و شکستگی گسل برمی‌گردد که منجر به تخریب سازه‌ها، مسدود شدن جاده‌ها، مرگ انسان و آسیب قابل توجه به سایر تأسیسات می‌شود (Khalaj et al., 2020). زمین‌لغزش یکی از پدیده‌های مخرب طبیعی که می‌تواند صدمات زیادی به اموال و تلفات جانی وارد کند. به‌طوری که جریان‌های ناشی از زمین‌لغزش‌ها یکی از خطرناک‌ترین نوع مخاطرات است. که عمدتاً به‌طور ناگهانی رخ می‌دهد که می‌تواند خسارات بسیار هنگفتی را به‌بار آورد. این جریان‌ها از جمله مخاطرات طبیعی مناطق پرشیب و کوهستانی سراسر جهان بوده که دارای بار رسوبی زیادی است. یکی از اقدامات اساسی برای کاهش آسیب احتمالی، شناسایی مناطق مستعد رانش و زمین‌لغزش زمین از طریق دانش و روش‌های مختلف است (Bahrami et al., 2020). در ایران به‌دلیل مکان‌گزینی اغلب شهرها در نواحی کوهستانی و کوهپایه‌ای فلات ایران، ویژگی‌های توپوگرافیکی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی محیط‌های جغرافیایی به‌طور ذاتی شرایط طبیعی برای وقوع طیف وسیعی از زمین‌لغزش‌ها وجود دارد (Shamaei et al., 2017).

از آن‌جا که یکی از نقش‌ها و کاربردهای جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی شهری و چگونگی توسعهٔ شهری و کنترل مخاطرات طبیعی، شناسایی دقیق پهنه‌های زمین‌ساختی از لحاظ زمین‌لغزش است، امروزه در برنامه‌ریزی‌های توسعهٔ شهری از جمله طرح‌های جامع و تفضیلی مطالعات جغرافیای طبیعی هم‌چون شناسایی پهنه‌های خطر زمین‌لغزش به‌منظور وقوع حوادث ناگوار زمین‌لغزش از اهمیت خاصی برخوردار است (Sasanpour et al., 2018). به‌طوری‌که امروزه مخاطرات طبیعی تهدیدهای خود را بیش‌تر بر سایه شهرها و محیط‌های پرتراکم انسانی گسترانده و توسعه آن را بیش از پیش آسیب‌پذیر نموده است (Shayan et al., 2017). پژوهش‌گران بسیاری در مناطق گوناگون دنیا به مطالعات و پژوهش در خصوص واریزه و زمین‌لغزش با روش‌های گوناگون پرداخته‌اند. که به‌برخی از آنان اشاره می‌گردد در راستای پژوهش‌های مرتبط با زمین‌لغزش در مطالعه‌ای Kamranzadeh et al. (2015) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان تهران با استفاده از روش‌های داده–محور و تحلیل سلسله‌مراتبی از میان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش شش عامل مقدار شیب، جهت شیب، جنس مصالح، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، شتاب زلزله و میزان بارندگی که تهیهٔ داده‌های آن امکان‌پذیر بود، استفاده کردند. هم‌چنین، Asadi et al. (2019) در پژوهشی دریافتند که در نوار شمالی، قسمت‌هایی از شرق و جنوب استان تهران و شمال و غرب استان البرز خطر زمین‌لغزش با احتمال بسیار بالا، بالا و متوسط وجود دارد. توسعهٔ عناصر کالبدی–زیرساختی استان تهران و البرز در این محدوده‌ها سبب آسیب‌پذیری بالا و متوسط این محدوده شده است. متعاقب آن احتمال رخدادهای ثانویه مانند انفجار و آتش‌سوزی، بالا و متوسط ارزیابی شده است. باتوجه به احتمال رخداد زمین‌لغزش در شهرها و شهرک‌های واقع در استان‌های تهران و البرز، لازم است در وهلهٔ اول، کاهش آسیب‌پذیری عناصر کالبدی–زیرساختی موجود، در برابر زمین‌لغزش در اولویت برنامه‌ریزان و مسئولان شهری و منطقه‌ای قرار گیرد. هم‌چنین، هرگونه برنامه‌ریزی و توسعهٔ آتی عناصر کالبدی، زیرساختی شهری و منطقه‌ای در این محدوده‌ها، باید باتوجه به احتمال سانحهٔ زمین‌لغزش انجام گیرند. در پژوهشی دیگر Salehipour Milani and Yamani (2018) نیز در مطالعهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ آبریز رامیان استان گلستان از چهار متغیر اصلی سنگ‌شناسی، پوشش‌گیاهی، جهت دامنه و فاصله از گسل استفاده کرده‌اند. نتیجهٔ پژوهش ایشان نشان داد که مناطق مورد مطالعهٔ پتانسیل بالای

زمین‌لغزش در این حوضه را دارد و هم‌پوشانی بسیار خوبی برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش نشان داده است.

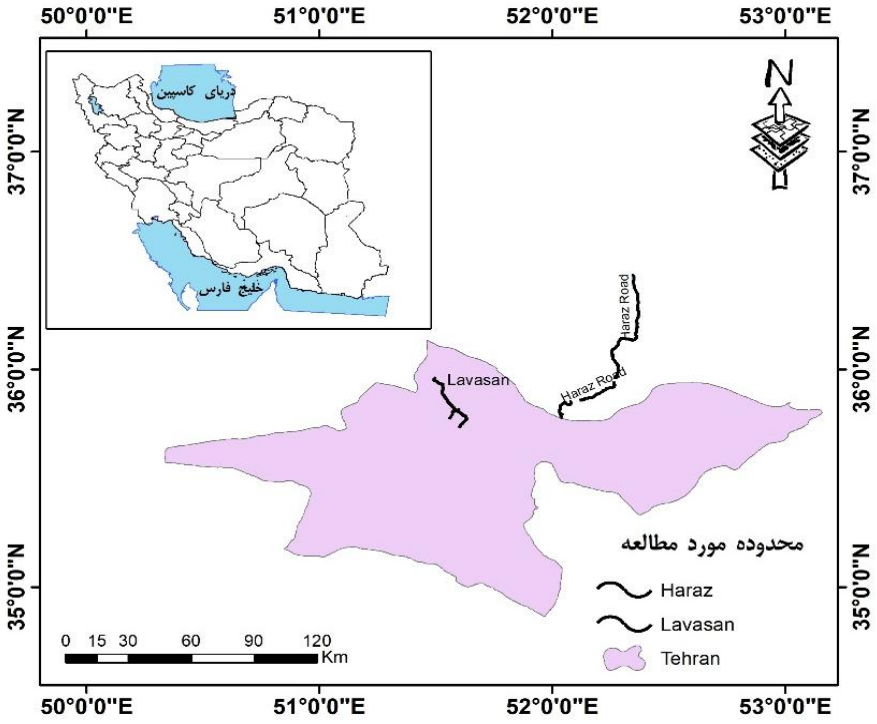
در مطالعه‌ای دیگر Yavari et al. (2019) به تهیهٔ نقشهٔ مخاطرهٔ زمین‌لغزش با استفاده از شبکه‌های مصنوعی و رگرسیون لجستیک در سمیرم استان اصفهان پرداختند. آن‌ها از ۱۱ لایهٔ اطلاعاتی برای به‌دست آوردن شیب و جهت شیب، انحنا، انحنای پلان، فاصله از گسل‌ها، جاده‌ها، رودخانه و کاربری اراضی بهره گرفتند. نتایج نشان داد که استفاده از شبکه‌های عصبی از عملکرد بهتری نسبت به لجستیک برخوردار است و می‌توان به‌عنوان روشی مناسب برای نقشه‌برداری مخاطرهٔ زمین‌لغزش در مناطق مستعد به زمین‌لغزش استفاده کرد. در پژوهش Pun et al. (2020) ابتدا عناصر اصلی برای احداث یک سیستم ایمنی دامنه در هنگ‌کنگ مورد بررسی قرار گرفت. سپس فعالیت‌های توسعهٔ فنی در مدیریت ریسک زمین‌لغزش، اخطار زودرس و سیستم اضطراری رانش‌زمین را برای بهبود مقاومت در برابر سیستم ایمنی دامنه پیشنهاد دادند. در همین راستا، Leonardi et al. (2020) در پژوهش خود بیان نمود که بی‌ثبات‌سازی دامنه در مقیاس بزرگ می‌تواند به‌دلیل توسعه شهری سریع و تقاضای روزافزون پروژه‌های مهندسی مانند سدها، تونل‌ها، پل‌ها و جاده‌های گسترده‌تر تشدید شود. Wubalem (2021) تحت عنوان استفاده از نقشه‌های مناطق مستعد زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری در حوضهٔ اواتزاو واقع در شمال‌غربی اتیوپی پرداخته است. نتایج نشان داده است که منطقهٔ اواتزاو مستعد خطر زمین‌لغزش بوده و به کلاس‌های خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد طبقه‌بندی شده است. تهیهٔ این نقشه‌ها و به‌کارگیری روش‌آماری به‌خوبی حساسیت منطقه به زمین‌لغزش و واریزه را شناسایی کرده است؛ لذا، از آن‌ها می‌توان برای بررسی زمین‌لغزش در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای استفاده کرد. Nanehkaran et al. (2021) در پژوهشی تحت عنوان روش‌های تصمیم‌گیری فازی برای حساسیت و ارزیابی خطر زمین‌لغزش در تبریز از روش منطق فازی تحت برنامه‌نویسی در MATLAB و ArcGIS بهره گرفتند، نتایج حساسیت خطر، تبریز را یک منطقه با حساسیت بالا در قسمت‌های شمالی نسبت به زمین‌لغزش و واریزه‌ها نشان داده است. از آن‌جا که تهران به‌عنوان بزرگ‌ترین شهر ایران تقریباً ۱۲ درصد از جمعیت کل کشور را در خود جای داده است، که بخشی از این جمعیت در مناطق کوهپایه‌ای و کوهستانی استقرار یافته‌اند. بنابراین اگر در این نواحی فرایندهای دامنه‌ای از نوع زمین‌لغزش روی دهند، علاوه بر وارد آمدن خسارت جانی و مالی چه بسا عواقب سیاسی، اجتماعی، و محیط زیستی در سطح کشور داشته باشد (Saffari and Moghimi, 2010). از طرفی کلان‌شهری هم‌چون تهران همیشه به‌دلایل متعددی در معرض آسیب‌های ناشی از این نوع مخاطرات و رشد سریع شهرها قرار گرفته است (Khodadadi et al., 2021). تهران دارای بسیاری از زیرساخت‌های مهم از جمله مناطق متراکم از نظر جمعیتی و جاده‌های پرتردد است. لذا، تعیین مناطق مستعد زمین‌لغزش‌های آینده مسألهٔ مهمی از جهت مدیریت به‌شمار می‌آید. واریزه یکی از اصلی‌ترین عواملی است که آسیب جدی به سازه‌ها وارد می‌کند. برای کاهش چنین خسارت ناشی از واریزه‌ها، ارزیابی و مدیریت کمی نیاز است. علاوه بر این، فن‌آوری‌هایی برای ارزیابی امکانات و ساختارهای پیش‌گیری از بلایا در مناطق مستعد فاجعه مورد نیاز است (Nam et al., 2019).

بنابراین، طبق بیش‌تر مطالعات انجام شده وقوع رخداد زمین‌لغزش در برنامه‌ریزی شهری و جاده‌ای حائز اهمیت است. مطالعاتی که تاکنون انجام گرفته است بیش‌تر به‌صورت سلسله مراتبی با یک نتیجه‌گیری تجربی بوده است. در این پژوهش از مدل ترکیبی علاوه بر این که لایه‌ها و معیارها بین پژوهش‌های پیشین مشترک است از روش آماری استفاده شده که نسبت به سایر پژوهش‌ها، جدیدتر و نتایج قابل اعتمادتر و دقیق است. بدین‌جهت استفاده از روش‌های ترکیبی برای مناطق حساس به زمین‌لغزش و واریزه (به‌صورت همزمان) برای مدیریت خطر زمین‌لغزش و واریزه در راستای کاهش خسارات و تلفات جانی می‌تواند بسیار کارآمد باشد. باتوجه به اهمیت موضوع در مطالعهٔ حاضر سعی شده است که با استفاده از روش تحلیل مکانی در محیط Arc Map معیارهای زمین‌لغزش برای مدیریت کاهش مخاطره طبیعی زمین‌لغزش مورد بررسی قرار گیرد. مدل آمار منطقه‌ای مدل ترکیبی از روش‌های هم‌پوشانی، فاصله، وزن‌دهی و روش تعیین انحناست. از آن‌جا که تاکنون پژوهشی در رابطه با ریزش با استفاده از مدل آمار منطقه‌ای در استان تهران صورت نگرفته است؛ لذا، هدف از این مطالعه بررسی مخاطرهٔ واریزه با استفاده از مدل آمار منطقه‌ای و فاصلهٔ اقلیدسی با اهداف مدیریتی است.

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

استان تهران بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجهٔ عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجهٔ طول شرقی قرارگرفته است. زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ در دوران پیلوسین و سنوزوئیک و روی رسوبات اخیر و کواترنر توسعه پیدا کرده است که آبرفت‌های پیلوسین و نهشته‌های یخ‌رفتی و کواترنری بیش‌تر در دشت تهران گسترش یافته است که متشکل از رخساره‌های دولومیت، شیل سیلتی و ماسه‌سنگ و ورقه‌های‌آهکی و کنگلومرا و نهشته‌های کولابی است و دارای یک سازند هزاردره است که این سازند دارای دره‌های فرسایشی فراوان و با تراکم زیاد در سطح آن است.

توپوگرافی عمدتاً کوهستانی ایران، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد و وضعیت متنوع و زمین‌شناسی و اقلیمی، شرایط‌طبیعی را برای طیف وسیعی از زمین‌لغزش‌ها ایجاد می‌کند. در این میان کوهپایه‌های شهر تهران به‌دلیل مجاورت با سامانه‌های گسل فعال و شیب نسبتاً زیاد شرایط مناسب را برای زمین‌لغزش دارند. به‌سبب رشد جمعیت در دهه‌های اخیر، ساخت و ساز در مناطق کوهپایه‌ای و تپه‌ماهوری بخش‌های شمالی و شمال شرقی شهر با سرعت زیادی صورت گرفته است (Saffari and Moghimi, 2010). در این قسمت و قسمت‌های شمالی به‌دلیل شیب‌های تند، تغییرات شدید توپوگرافی، فعالیت‌های زمین‌ساختی، بارندگی و آب‌های سطحی فراوان، آب و هوای نسبتاً سرد و یخبندان‌های زمستانی، خطر وقوع انواع مختلف زمین‌لغزش (واریزه) بسیار زیاد است (شکل ۱).



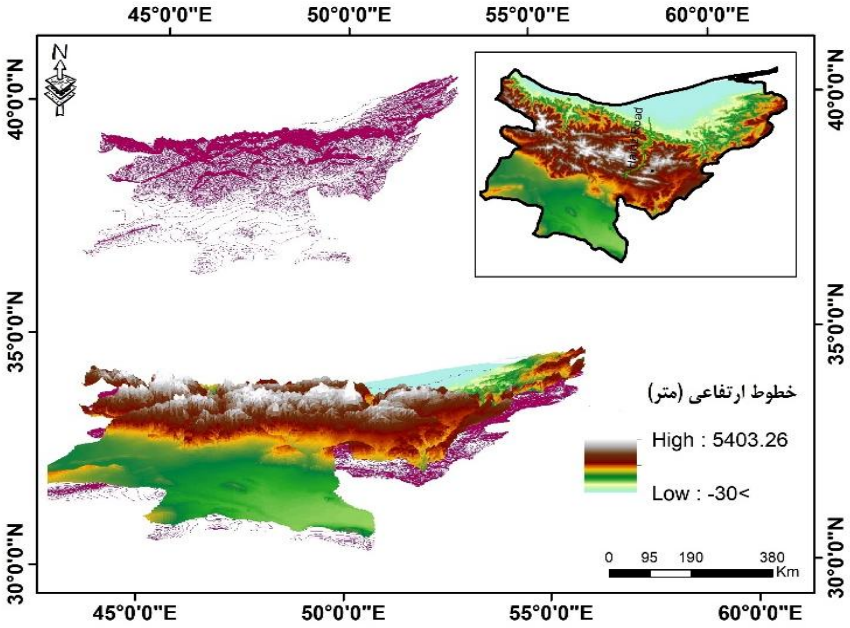
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان تهران

Figure 1- Geographical location of Tehran Province

۲-مواد و روش‌ها

در این پژوهش ابتدا از داده‌های اسنادی و کتابخانه‌ای برای مطالعهٔ پیشینهٔ پژوهش و از روش ترکیبی، آمار منطقه‌ای در GIS استفاده شده است و پایش میدانی انجام شده است. نمونه‌برداری نقاط صورت گرفته نشده که جز هدف این پژوهش نبود، اما اطلاعات و داده‌ها طبق آخرین مطالعات انجام گرفته تعیین شده است. در ادامهٔ مطالعه از معیارهای منتخب بر اساس استعداد ناپایداری، برای وارد کردن در نرم‌افزار ArcGIS لایه‌هایی طبق آخرین به‌روزرسانی از سازمان‌های هواشناسی، زمین‌شناسی، نقشه‌برداری، منابع‌طبیعی، جنگل‌ها و مراتع در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ جمع‌آوری شدند. این لایه‌های اطلاعاتی عبارتند از: ۱) بارش‌های شدید در محدوده، برای بررسی میزان بارش دریافتی در ایستگاه‌های سینوپتیک، زیرا بارندگی‌های شدید ناشی از تغییراقلیم که زمان مشخصی هم ندارند به وقوع پیوسته و می‌توانند منجر به ترسیب رسوب در بستر کانال و یا حتی موجب انسداد پل جاده‌ای، منطقه‌ای و در نتیجه آب‌گرفتگی مناطق مجاور و شهری شود، ۲) زلزله، هرجا زلزله رخ دهد، امکان وقوع زمین‌لغزش بیش‌تر است همانند زمین‌لغزش روستای زیارت، ۳) پوشش‌گیاهی، ۴) کاربری اراضی، ۵) زمین‌شناسی، معیاری مهم برای میزان درجه نرمی و سختی رسوبات و سنگ‌ها است که در میزان حساسیت به زمین‌لغزش نقش مهمی دارند، ۶) رودخانه، یکی از معیارهای مهمی که باتوجه به رطوبت موجود در اطراف رودخانه نواحی اطراف منطقه را مستعدتر برای وقوع ریزش و زمین‌لغزش می‌نماید، ۷) گسل، یکی دیگر از معیارهایی است که اگر در کنار محدودهٔ گسل فعال باشد امکان زلزله و زمین‌لغزش ایجاد می‌کند، ۸) شیب و جهت شیب، که میزان محدب و مقعر

بودن در راستای عمود بر کوه‌ها کمک شایانی به‌وقوع رخداد واریزه می‌نماید، ۹) راه‌های ارتباطی، استان تهران که باتوجه به ساخت و سازها و امکان تفریحی جاده‌ای. در این پژوهش جاده‌های هراز و لواسانات انتخاب شده است (Zali and Shahedi, 2021). در ادامه تمامی این اطلاعات مکانی و توصیفی وارد نرم‌افزار ArcGIS شد. در این پژوهش هر عامل محیطی، به‌عنوان یک لایهٔ جداگانه که در رخداد لغزش می‌تواند مؤثر باشد در محیط ArcMap مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. برای تحلیل محدودهٔ مورد نظر تمام لایه‌های معیار، ابتدا رقومی و آماده شد و سپس از یک لایهٔ رستری تهران برای تفکیک سلولی مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین، از یک نقشهٔ DEM، با دقت ۱۲/۵ متر استان تهران استفاده شد. در ادامه از توابع آماری IDW-Euclidean distance-Curvature استفاده شده است. از فاصلهٔ اقلیدسی نیز بر اساس کوتاه‌ترین فاصله برای محاسبهٔ لایه‌های زلزله، رودخانه، گسل و جاده‌ها استفاده شد. سپس رتبه‌بندی و طبقه‌بندی بر اساس اهمیت و ارزشی که هر لایه دارد، وزن‌دهی شد و در مرحلهٔ تحلیل برای رتبه‌دهی ابتدا با استفاده از ابزارهای شیب و جهت شیب تهران و جاده‌ها به‌دست آمد. پس از آن به‌طور تقریبی حداقل ارتفاعات بالای ۱۰۰۰ متر تهران با استفاده از ابزار Raster value تعیین و با میانگین ارتفاع ۱۵۲۲ متر مشخص شد. برای درک بهتر نقشهٔ سه‌بعدی و منحنی میزان به فواصل ۵۰ متری در Arc Scene ترسیم شد (شکل ۲).



شکل ۲- نقشهٔ سه‌بعدی و منحنی میزان استان تهران با Arc Scene

Figure 2- 3D map and contour lines of Tehran Province with Arc Scene

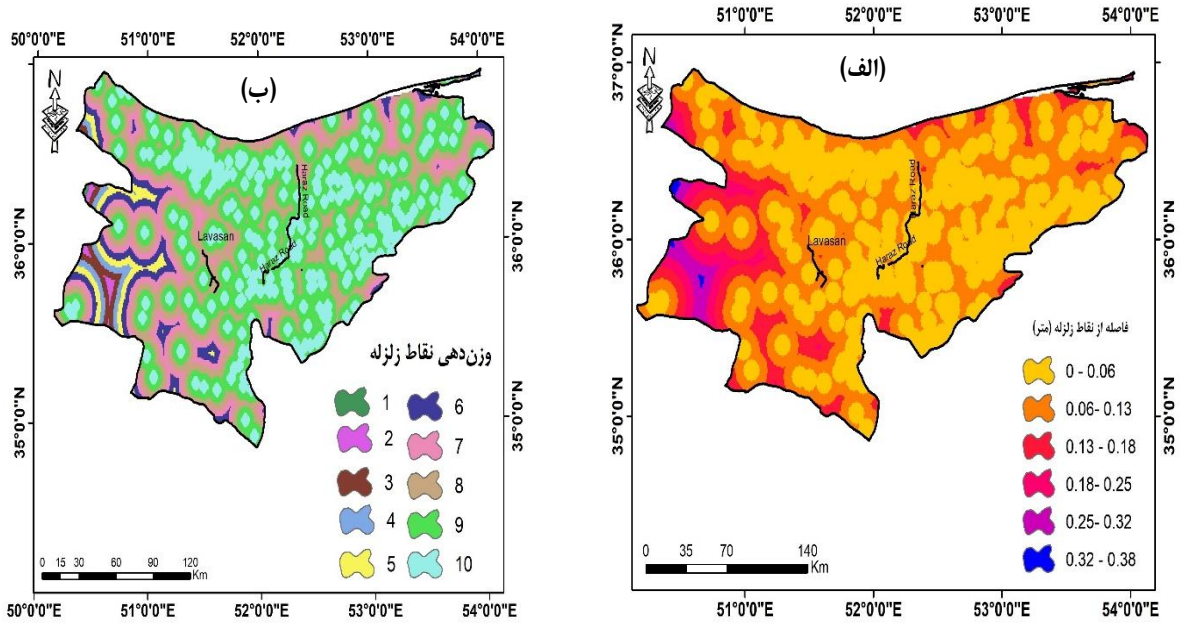
پس از انجام با ابزار Curvature میزان انحنای ریزش مشخص شد و سپس انحنای به‌دست آمده با جهت شیب با ابزار Raster Calculator تلفیق شد. با اضافه شدن لایه‌های راه‌های تهران و ابزار بافر حد فاصل میزان ریزش در ۵۰ متری مشخص شد. در نهایت، جدول آمار منطقه‌ای محاسبه شد.

روش انحنا: از این ابزار طبق رابطهٔ ۱، برای تعیین (محدب، مقعر) بودن و برای توصیف و شناسایی خصوصیات فیزیکی مناطق مستعد به زمین‌لغزش، حوضه‌های‌زهکشی، تخمین فرسایش منطقه ناشی از رواناب‌ها استفاده می‌شود.

$$\text{انحنا} = -۲(D + E) * ۱۰۰ \quad (۱)$$

درون‌یابی با وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) با استفاده از یک ترکیب وزنی خطی که مجموعه‌ای از نقاط نمونه است بهره گرفته شده است (Zeverbergen et al., 1987). سپس تمامی لایه‌ها بر اساس درجهٔ اهمیت و ارزش طبقه‌بندی شدند. از ابزار Raster Calculator برای تلفیق نقشهٔ جهت شیب و انحنا با استفاده از ضریب استفاده شده است. این ابزار یکی از عملگرهای تحلیل مکانی است که روی دو لایه یا بیش‌تر اعمال می‌شود. در نهایت، از ابزار فاصلهٔ اقلیدسی[۱] رابطهٔ هر پیکسل با مجموعه‌ای از منابع دیگر بر اساس فاصلهٔ نزدیک‌ترین فاصلهٔ مستقیم بهره گرفته شده است (Philip, 1982). در شکل ۳، فاصلهٔ از نقاط زلزله (الف) و وزن‌دهی نقاط زلزله (ب) نشان داده شده است.

[۱] Euclidean distance



شکل ۳- الف) نقشهٔ معیار فاصله از نقاط زلزله و ب) نقشهٔ وزن‌دهی شده

Figure 3- a) Measurement map of distance from earthquake points, and b) weighting map

شناسایی پهنه‌های مستعد لغزش و پهنه‌بندی پتانسیل رخداد زمین لغزش بسیار ضروری و با اهمیت است، از این جهت که فعالیت لغزش در هنگام زلزله می‌تواند افزایش داشته باشد؛ بنابراین، برای بررسی اثر معیار نقاط زلزله بر اساس فاصله در وقوع زمین‌لغزش کم‌ترین فاصله صفر تا ۰/۳۸متر را نشان داد بدین‌جهت که هرجا زلزله رخ داده باشد امکان زمین‌لغزش و ریزش جاده‌ای بیش‌تر است. در شکل ۴ فاصله از راه‌های ارتباطی (الف) و وزن‌دهی راه‌های ارتباطی (ب) نشان داده شده است.

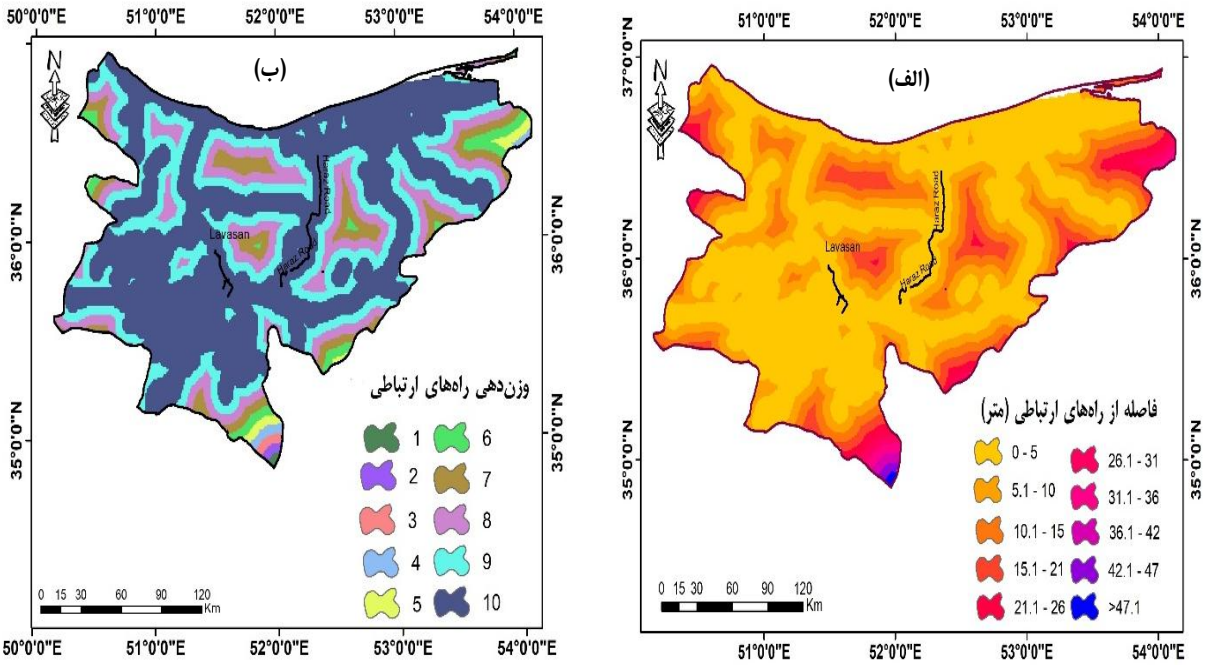
در شکل ۴ معیار راه‌های ارتباطی نیز بررسی شد. این معیار همراه با عامل شیب نقش به‌سزایی در رخداد زمین‌لغزش می‌تواند داشته باشد. به‌طوری‌که هرچه راه‌ها نزدیک‌تر به مناطق شیب‌دار باشد رخداد زمین‌لغزش بیش‌تر است و نتایج این لایه، مقادیر بین صفر تا بالای ۴۷/۱ متر را نشان داد. در شکل ۵ فاصله از رودخانه (الف) و وزن‌دهی رودخانه (ب) نشان داده شده است.

از آن‌جا که یکی از معیارهای مؤثر بر زمین‌لغزش رودخانه است. بنابراین، هرجا شرایط رطوبت فراهم باشد، امکان مخاطرهٔ زمین‌لغزش بیش‌تر است، رطوبت بالا در کنار رودخانه می‌تواند نشان از بارش‌های شدید هم باشد که در این رابطه فاصلهٔ بین صفر تا بالای ۴۱/۱ هزار متر برآورد شده است. در شکل ۶ فاصله از گسل (الف) و وزن‌دهی گسل (ب) نشان داده شده است.

معیار بعدی گسل‌ها هستند عامل فاصله از گسل به‌عنوان عامل محرک در وقوع زمین لغزش تعیین شده است که در مناطقی که گسل فعال و نزدیک به منطقه باشد امکان وقوع رخداد زلزله و فراهم شدن زمین‌لغزش و واریزه بیش‌تر خواهد بود، و از عوامل ساختاری زمین‌شناسی در منطقه به‌شمار می‌آید. در نقشهٔ به‌دست آمده فاصلهٔ بین صفر تا بیش‌تر از ۲۶/۱ هزار متری را نشان داده شده است و هر چه فاصله از منطقه به گسل نزدیک‌تر باشد از درجهٔ اهمیت بالاتر و خطر بیش‌تر است و هرچه از این فاصلهٔ منطقه از گسل دورتر باشد از میزان خطر کاسته می‌شود. این معیار هم با فاصلهٔ اقلیدسی محاسبه شده است؛ بنابراین، نتایج به‌دست آمده در معیارهای ذکر شده با پژوهش (Zali and Shahedi, 2021) مطابقت دارد. در شکل ۷ نقشهٔ پهنه‌بندی زمین‌شناسی (الف) و وزن‌دهی زمین‌شناسی (ب) نشان داده شده است.

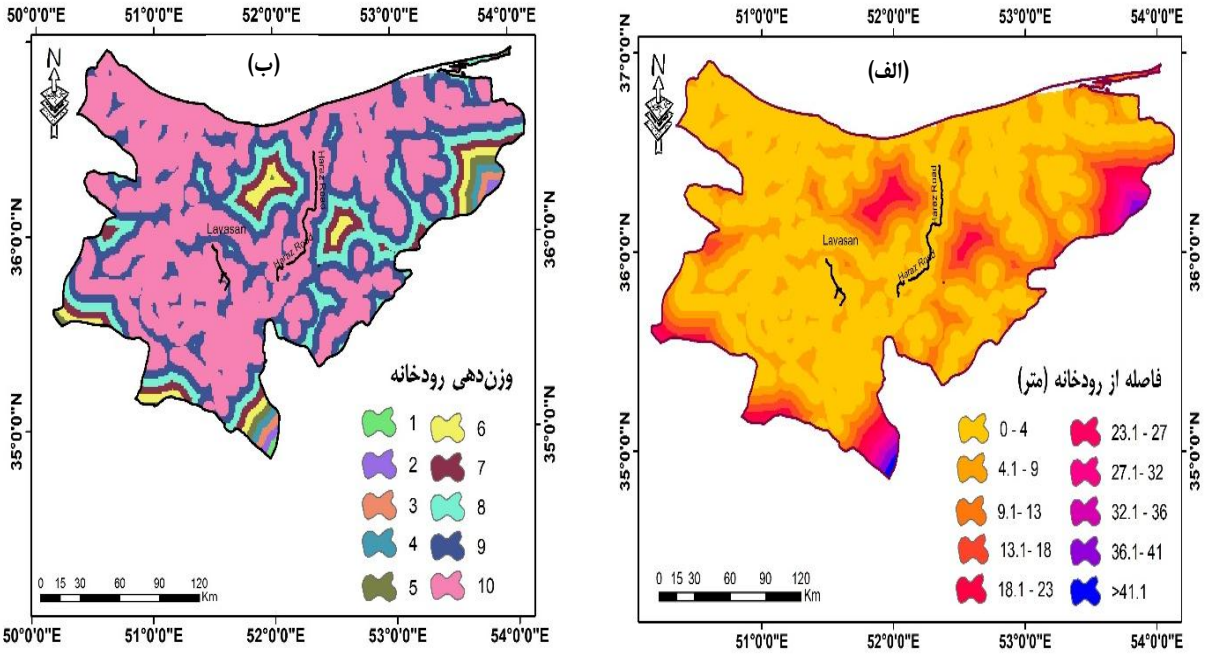
کشور ایران به لحاظ موقعیت خاص جغرافیایی دارای پهنه‌های مختلف زمین‌شناسی است و همواره تحت تنش و تغییر شکل بوده که انواع ساختارهای تکتونیکی، چین‌ها و گسل‌ها و شکستگی‌ها همواره گسترش یافته است. چنین تغییر شکل‌هایی موجب کاهش مقاومت توده‌سنگ و افزایش توده‌های ریزشی و آواری است که سرازیر می‌شود که این لایه هم به سه رتبهٔ کم، متوسط و زیاد بر اساس میزان نفوذپذیری کدبندی شده است برای دوره‌های زمین‌شناسی کواترنر و آئوسن با داشتن سنگ کنگلومرا و ماسه سنگ و رسوبات تراس دره به رتبه نفوذپذیری بالا و به دوره زمین‌شناسی دورهٔ اول کرتاسه تا تریاس با داشتن ماسه سنگ با رتبهٔ نفوذپذیری متوسط و برای رتبهٔ نفوذپذیری کم با داشتن توف سبز با بستر خوب و شیل، آندزیت و بازالت

اختصاص یافته است. در شکل ۸، نقشهٔ پهنه‌بندی کاربری اراضی (الف) و وزن‌دهی کاربری اراضی (ب) نشان داده شده است.



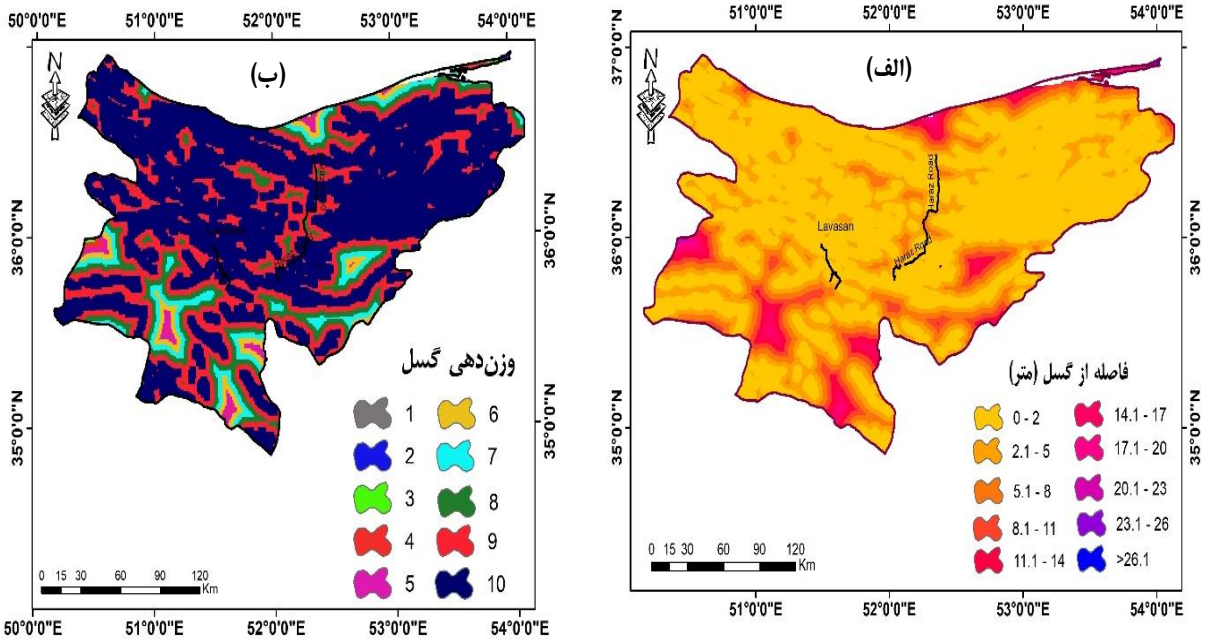
شکل ۴- الف) نقشهٔ معیار فاصله از راه‌های ارتباطی و ب) نقشهٔ وزن‌دهی شده

Figure 4- a) Criterion map of distance from communication roads, and b) Weighting map



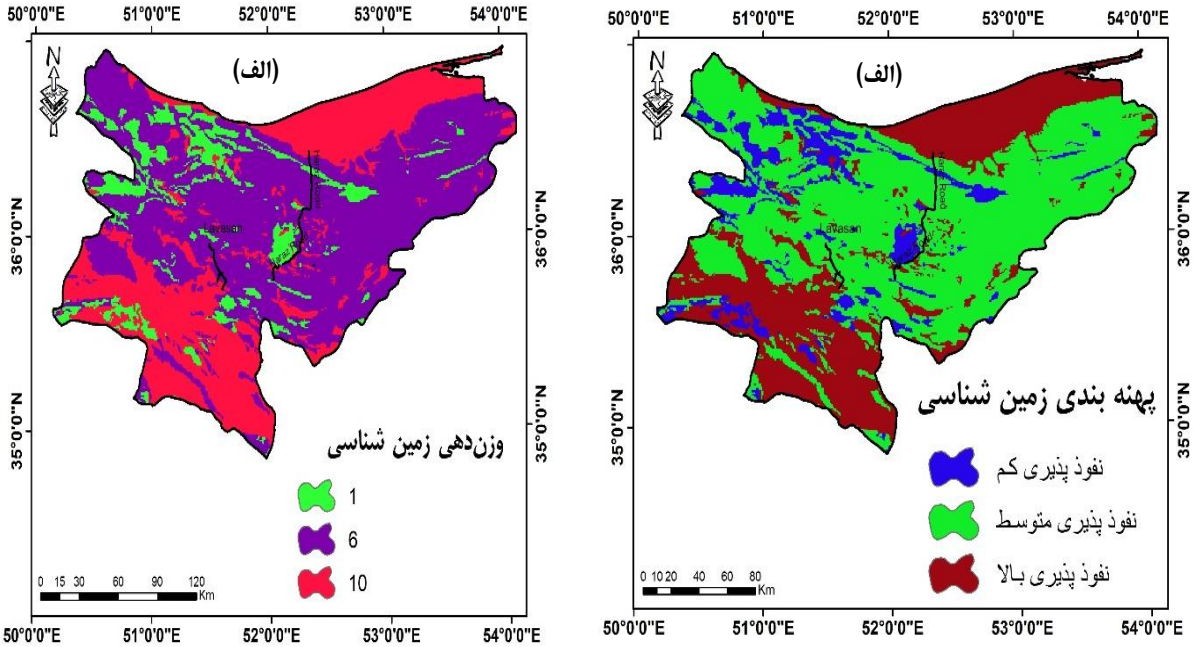
شکل ۵- الف) نقشهٔ معیار فاصله از رودخانه و ب) نقشهٔ وزن‌دهی شده

Figure 5- a) The measure map of the distance from the river, and b) Weighting map



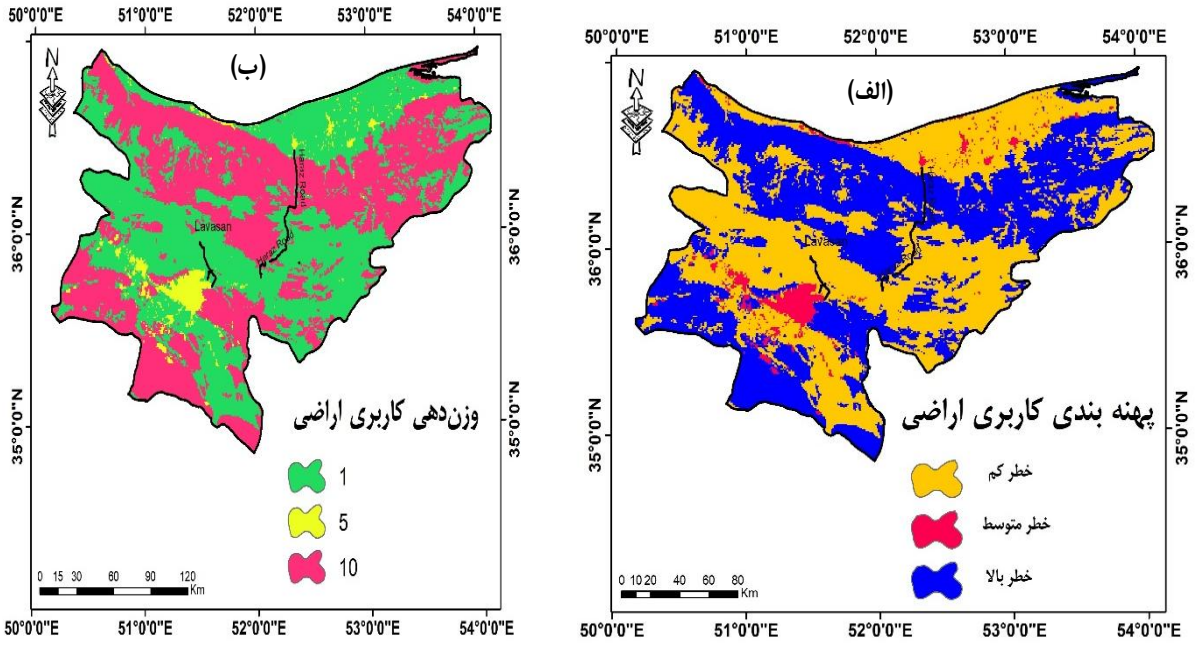
شکل ۶- الف) نقشهٔ معیار فاصله از گسل و ب) نقشهٔ وزن‌دهی شده

Figure 6- a) Criterion map of distance from the fault, and b) Weighting map



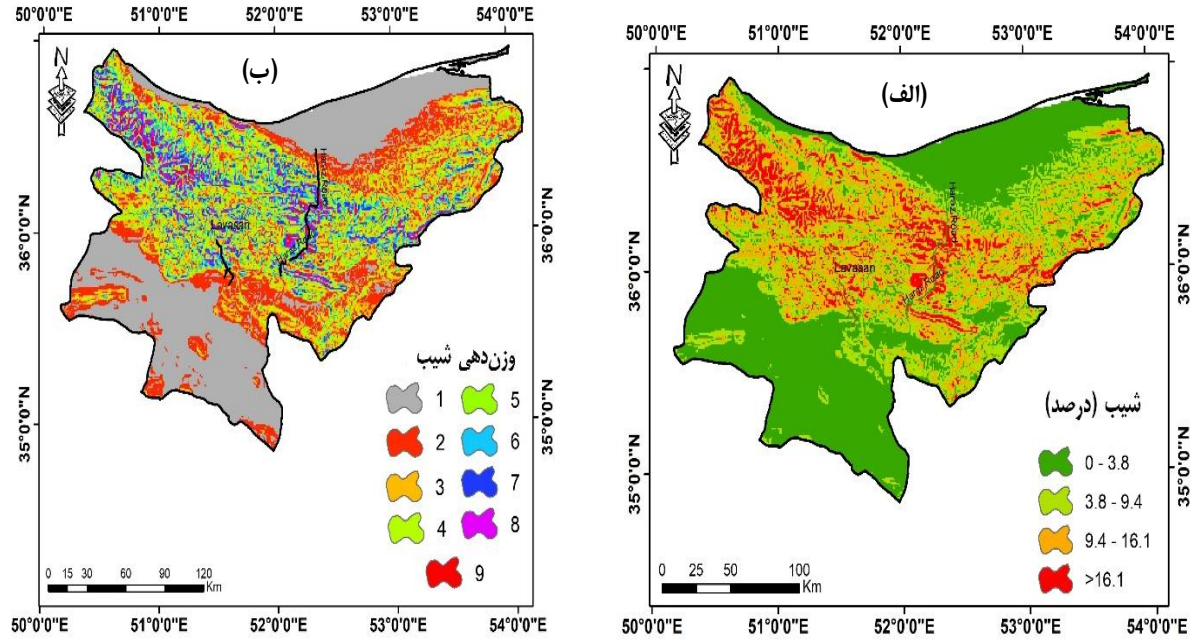
شکل ۷- الف) نقشهٔ پهنه‌بندی زمین‌شناسی و ب) نقشهٔ وزن‌دهی شده

Figure 7- a) Geological zoning map, and b) Weighting map



شکل ۸- الف) نقشهٔ پهنه‌بندی کابری اراضی و ب) نقشهٔ وزن‌دهی شده

Figure 8- a) Land use zoning map, and b) Weighting map



شکل ۹- الف) نقشهٔ معیار شیب و ب) نقشهٔ وزن‌دهی شده

Figure 9- a) Slope criterion map, and b) Weighting map

معیار مورد بررسی دیگر کاربری اراضی و پوشش گیاهی است که در این بررسی به پوشش گیاهی که بیش‌تر از نوع باغات و جنگل‌های انبوه بودند رتبهٔ یک یعنی کم‌خطر و رخداد خطر ضعیف داده شد؛ زیرا مناطقی که دارای پوشش‌گیاهی باشد احتمال وقوع زمین‌لغزش کم‌تر است و به نواحی شهری که بیش‌تر از نوع مسکونی و تجاری بودند رتبهٔ دو و به مناطق دارای کاربری‌های آبی که بیش‌تر از نوع دریاچه و استخرهای مصنوعی بودند رتبهٔ سه اختصاص داده شد، با شدت بیش‌تر؛ زیرا مناطقی که دارای آب و محدوده‌های آبی باشند از درجهٔ اهمیت بیش‌تری برخوردارتر هستند و احتمال وقوع سیل وجود دارد و سیل هم

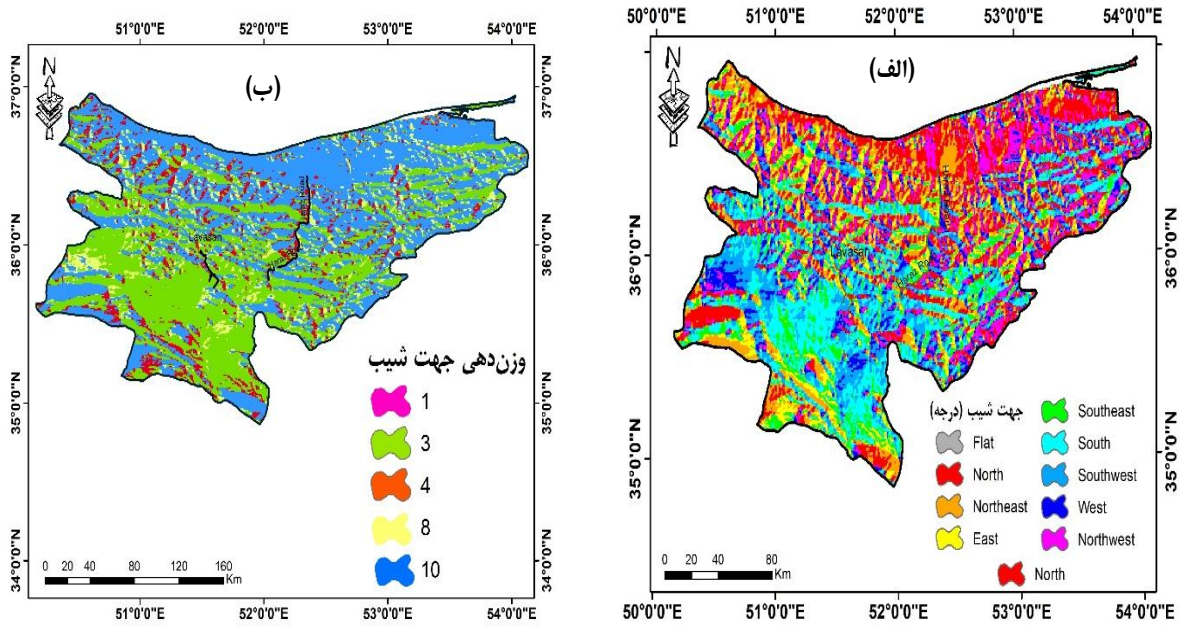
می‌تواند ایجاد زمین‌لغزش و واریزه نماید. در شکل ۹، نقشه‌های شیب (الف) و وزن‌دهی (ب) نشان داده شده است.

برای رخداد مخاطرهٔ واریزه، شیب یکی از مهم‌ترین معیارها بوده که از ارزش بالایی برای خطر برخوردار است، به‌طوری‌که شیب دامنه همواره با افزایش دامنهٔ تنش برشی هم افزایش خواهد یافت و پتانسیل ناپایداری شیب افزایش پیدا می‌کند. بنابراین، در این مطالعه استفاده از این لایه می‌تواند تا حد زیادی اثرپذیر واقع شود در ادامه برای تجزیه و تحلیل واریزه از میان راه‌های اصلی و جاده‌ای تهران جاده‌های هراز و لواسانات به‌عنوان جاده‌های نمونه انتخاب شده بود و بعد در نقشهٔ شیب محدوده تهران از کم‌ترین رتبه به شیب‌های کم ارتفاع صفر تا ۹/۴ هزار متر تا بیش‌ترین رتبه که با بالاترین شیب ۹/۴ هزار متری به بالا نشان داده شده است. در مکان‌های بالای ۵۰ درصد شیب بیش‌تر هستند، احتمال دچار خطر لغزش وجود دارد نتایج معیارهای این پژوهش با مطالعه Keshavarzbakhshaish and Fallah (2016) مطابقت دارد. در شکل ۱۰، نقشهٔ جهت شیب (الف) و وزن‌دهی شیب (ب) نشان داده شده است.

در این پژوهش جهت شیب هم به‌طور غیرمستقیم جزء عواملی است که در لایه‌هایی هم‌چون پوشش‌گیاهی، رطوبت، ضخامت خاک و غیره اثرگذار است. جهت شیب با توجه به توده‌های باران‌زا و به‌دلیل شیب دامنه با شیب لایه‌ها می‌تواند دارای درجهٔ اهمیت بالاتری باشد؛ بنابراین، طبق رتبه‌بندی جهت شیب، به جهت‌های شیب شمال شرق و جنوب غربی رتبهٔ یک داده شده است، این مناطق از خطر بیش‌تر برخوردار هستند و به‌سایر جهت‌ها رتبهٔ صفر داده شد. در هر دو جاده هراز و لواسانات رتبه‌های شماره یک که در موقعیت رو به جهت شمال شرق و جنوب غرب بوده‌اند از خطر بالای لغزش قرار دارند. در شکل ۱۱ و جدول ۱، نقشهٔ رتبه‌بندی انحنا (الف) و تلفیق جهت شیب و انحنا (ب) نشان داده شده است.

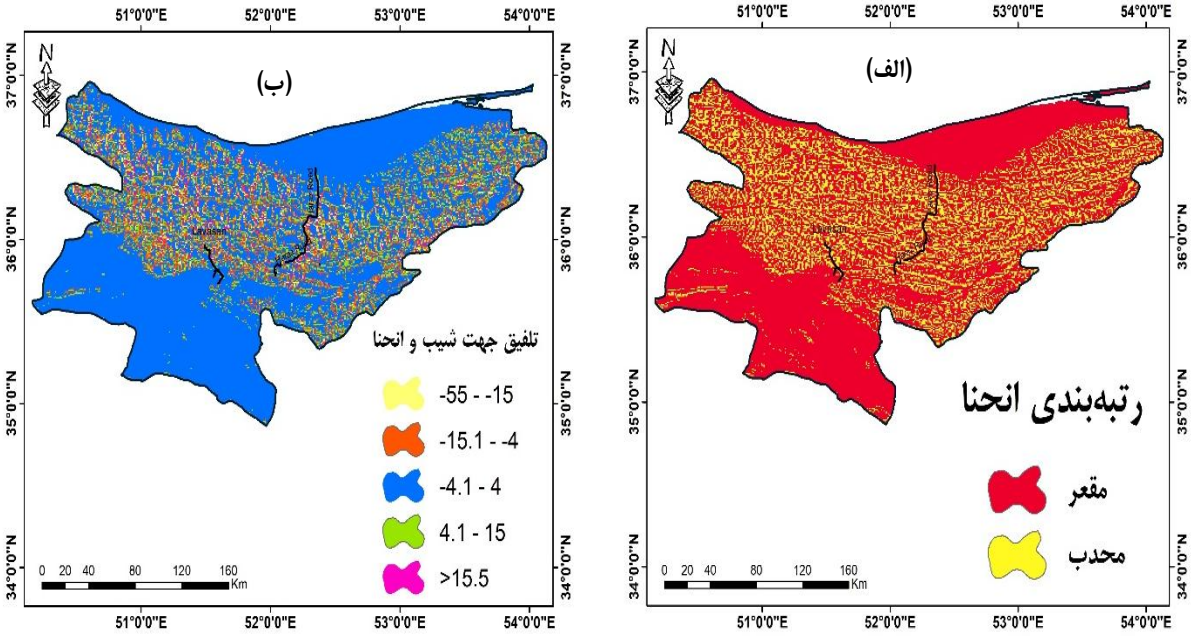
در تحلیل و کلاسه‌بندی انحنا بر اساس پروفیل در جهت حداکثر شیب و بر اساس پلان عمود در جهت حداکثر شیب در نظر گرفته شده است. بنابراین، برای تحلیل انحنا هم بین صفر و یک جاده هراز و لواسانات به اعداد هرچه رو به مثبت‌تر و به‌سمت بالا بودند رتبهٔ یک داده شده است و به اعداد هرچه منفی‌تر رتبهٔ صفر داده شد و هرچه اعداد مثبت باشد میزان خطر واریزه جاده‌ای بیش‌تر است. این روش میزان انحنا را به دو صورت جهت حداکثر و جهت عمود حداکثر شیب نشان می‌دهد. خروجی منفی نشان می‌دهد که سطح محدب است و سطح در آن سلول که محدب است منفی بر مقدار یک شده است، و خروجی مثبت دلیل بر مقعر بودن است و نمایش عدد در رتبه‌بندی صفر است. این روش برای نشان دادن فرسایش ناشی از آبراهه‌ها و سیل و تعیین انحنا برای وقوع پدیده واریزه و زمین‌لغزش مورد استفاده است، برای تحلیل جدول باید مقادیر منطقی برای خروجی تپه‌ای بین ۰/۵- تا ۰/۵ باشد و در حالی‌که برای مناطق کوهستانی شیب‌دار و ناهموار بین ۴- و ۴ متغیر باشد که در این‌جا برای جاده‌های اصلی و فرعی لواسانات منفی و مقعر بودن را در مجموع مساحت نشان داده و برای جاده اصلی هراز مجموع مساحت را مثبت و محدب بودن را نشان داده است از طرفی در نقشهٔ تلفیق مساحت واریزه و جهت شیب نمایش داده شده که در آن هرچه اعداد به شیب نزدیک باشد بیان‌گر این است که مساحت بیش‌تری از جاده در مخاطره واریزه قرار می‌گیرد. در نقشهٔ جهت شیب که در نه کلاس قرار گرفت، از کم‌ترین شیب به بین صفر و ۴۲/۰۷ هزار متر به جهت شمال بیش‌ترین شیب را دارد. طبق نقشهٔ حریم جاده‌ای، حریم جاده‌ای ۵۰ متر و نقاط سبز در جهت شمال شرق و جنوب غرب تهران در جاده هراز و لواسانات تهران این جاده‌ها در هنگام زلزله و بارش شدید و دیگر مخاطرات در معرض خطر زمین‌لغزش (واریزه) قرار دارد. همانند جاده هراز در نزدیکی روستای زیارت دماوند و زمین‌لغزش اردیبهشت ۱۳۹۹ در اثر زلزله، و سپس در تحلیل تلفیق لایه‌های واریزه و جهت شیب به هر دو رتبهٔ یک داده شد که یافته‌ها نشان داد هر دو دارای خطر واریزه هستند. در انتها برای کلیه معیارهای مؤثر وزن‌دهی صورت گرفته است بر اساس ارزش کدبندی شده است و در رنگ‌های متفاوت نشان داده شده است هرچه رتبهٔ این اعداد بیش‌تر باشد از خطر بیش‌تری برخوردار است. در شکل ۱۲ نقشهٔ خروجی پهنه‌بندی زمین‌لغزش استان تهران تهیه شده با استفاده از ارزش رستری را نشان داده است.

در نهایت خروجی آخر نقشهٔ پهنه‌بندی زمین‌لغزش بر اساس ارزش هر لایهٔ سلولی، که ضریب شده در خود مقدار معیار نشان داده شده است. در نتیجه، طبق رتبه‌بندی بر اساس ارزش بخش‌هایی که خطر بسیار بالا و بالا قرار دارد، احتمال رخداد ریزش و زمین‌لغزش بیش‌تر خواهد داشت. از این جهت نتایج استفاده از روش‌های ترکیبی جدید برای بررسی خطر و پهنه‌بندی زمین‌لغزش با پژوهش‌های (Yavari et al., 2019, Mohammadi et al., 2019, Baharvand et al., 2017, Faiznia et al., 2005) هم‌خوانی دارد. نتایج به‌دست آمده نشان دهنده این امر است که مدل‌های آماری و ترکیبی از دقت بالا در مقایسه با روش و مدل‌های تصمیم‌گیری است. نتایج این پژوهش می‌تواند به‌منظور مدیریت ریسک زمین‌لغزش و واریزه در مناطق آسیب‌پذیر و کاهش خسارات مورد استفاده باشد.



شکل ۱۰- الف) نقشهٔ معیار جهت شیب و ب) نقشهٔ وزن‌دهی شده

Figure 10- a) Aspect criterion map, and b) Weighting map



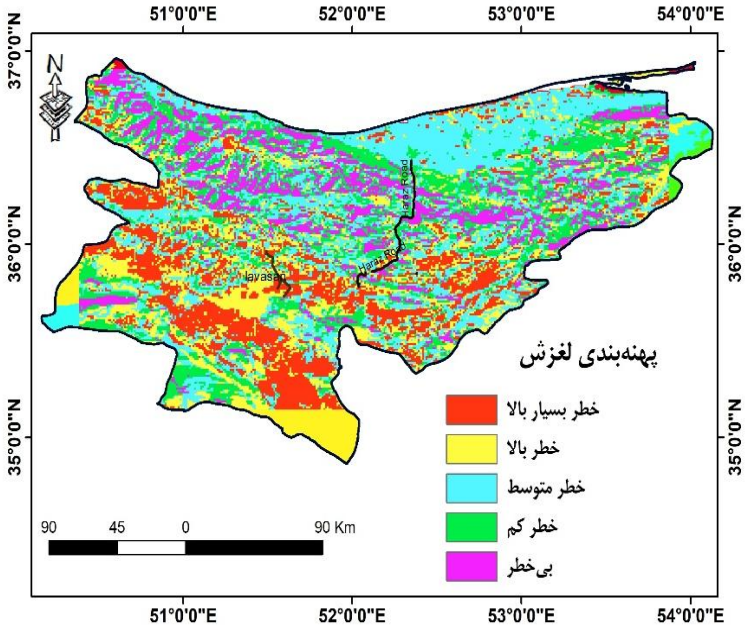
شکل ۱۱- الف) نقشهٔ رتبه‌بندی انحنا و ب) نقشهٔ تلفیق جهت شیب و انحنا

Figure 11- a) Curvature ranking map, and b) Combination map for slope and curvature

جدول ۱- بررسی مساحت دارای مخاطره در جاده هراز و لواسانات با استفاده از آمار منطقه‌ای

Table 1- Investigation of hazardous area on Haraz and Lavasanat roads using regional statistics

نوع واحد	نوع جاده		
	اصلی- لواسان	فرعی- لواسان	اصلی- هراز
مساحت (متر)	7897340	4307640	1435880
حداقل (متر)	-37023	-19378	-0.133
حداکثر (متر)	6972	0.692	10719
دامنه (متر)	43996	20070	1204
میانگین (متر)	-12233	-5075	0.469
انحراف معیار (متر)	13408	6708	0.602
مجموع (متر)	-134571	-30455	0.938



شکل ۱۲- خروجی نقشهٔ پهنه‌بندی زمین‌لغزش استان تهران

Figure 12- Output of landslide zoning map of Tehran Province

۴- نتیجه‌گیری

ناپایداری شیب از جمله مخاطرات طبیعی است که موجب خسارت‌های مالی، جانی، تخریب منابع و مناطق مسکونی می‌شود و در نتیجه آن زمین‌لغزش و واریزه‌ها می‌توانند در زمین‌های مستعد، حرکت‌های توده‌ای را به‌وجود آورند. از طرفی ارزش اقتصادی خسارت‌های زمین‌لغزش‌ها و واریزه‌ها در ابعاد حتی کوچک در منطقه‌های حساس مانند جاده‌ها و یا اماکن مسکونی و کشاورزی بسیار چشم‌گیر است. عدم توجه خسارات سنگینی را در پی خواهد داشت، بر اساس تجزیه و تحلیل جاده‌های نزدیک به استان تهران جادهٔ لواسانات در خطر بیش‌تر واریزه و زمین‌لغزش قرار دارد.

این ناحیه به تفکیک رتبه‌بندی، بیش‌تر در معرض کاربری بدنه‌های آبی بوده و هم از لحاظ رخداد سیل و زلزله نسبت به هراز مساحت بیش‌تری از خطر را به خود اختصاص داده است. رتبهٔ دوم متعلق به جادهٔ هراز است که بیش‌تر تحت تأثیر زلزله و ریزش واریزه قرار دارد. طبق مساحت به‌دست آمده از جدول آمار منطقه‌ای، جدول ۱ تمامی محاسبات آماری نشان داده شده است، که از این میان مجموع هر پیکسل ضریب در اندازهٔ سلولی ۱۲/۵*۱۲/۵ شده است که میزان مساحت جاده هراز را ۱۵۶/۲۵ هزار متر نشان داده که هم جاده‌های کوهستانی از لحاظ انحنا مثبت به سمت بالا و محدب است و هم این مکان در جوار مخاطره قرار دارد. در جدول ۱ جادهٔ لواسانات جاده‌های اصلی ۲۱/۰۱- هزار متر و جاده فرعی ۴/۷۵- هزار متر را گزارش داده است، که نشان از انحنا منفی و مقعر است و محدودهٔ نقاطی است که بر حسب اندازهٔ سلولی لایهٔ سلولی برآورد شده و نقاط دارای مخاطره است.

در مجموع نتیجه‌گیری می‌شود در جاده‌های کوهستانی تهران با توجه به موقعیت تهران و وجود گسل‌ها این جاده‌ها

آسیب‌پذیر هستند و در مجموع لازم به ذکر است دخالت‌های بیش از حد در طبیعت و افزایش بار اضافی در دامنه‌ها و نفوذ بیش از حد در کاربری کشاورزی و جاده‌ای از دلایل مهم ناپایداری در دامنه و افزایش واریزه در این نوع کاربری‌ها را به همراه دارد. کنترل اصولی پدیدهٔ واریزه در گرو یک برنامه جامع مدیریتی است، که به تدابیر و فعالیت‌های ضروری برای پیش‌گیری، کنترل و ترمیم خسارات ناشی از زمین‌لغزش و واریزه بستگی دارد. مدیریت جامع این مخاطرات، به‌میزان قابل ملاحظه‌ای زیان‌های ناشی از واریزه را می‌تواند به‌حداقل برساند، از جهاتی هم تفاوت‌هایی در مدیریت مخاطرات واریزه‌ها وجود دارد، از دستورالعمل کاربردی بسیار پیچیده در سطح کشور گرفته تا واکنش متقابل قبل از وقوع فاجعه برای کاهش واریزه و زمین‌لغزش استفاده شود. عواملی نظیر افزایش جمعیت و تغییرات کاربری و تغییر اقلیم هر کدام به نوعی در این امر دخیل هستند و پژوهش‌گران می‌توانند برای کاهش این نوع مخاطره برای آینده از تکنیک‌ها و مدل‌های ترکیبی و یا سنجش از دور برای مدیریت ریسک در دوره‌های طولانی‌مدت استفاده نمایند. باتوجه به افزایش مخاطرات محیط زیستی ناشی از عوامل مختلفی از جمله تغییرات اقلیمی و شیب بالا و کوهستانی بودن منطقهٔ مدیریت و کاهش فاجعه بسیار مهم می‌شود. از آن‌جا که باتوجه به عوامل زمین‌لغزش از جمله بارندگی یکی از ویران‌گرترین بلایای طبیعی است که علاوه‌بر اراضی تپه‌ای مناطق شهری به‌ویژه جاده‌ها را هم درگیر خواهد کرد. بنابراین، وجود یک سیستم مدیریتی مانند هشدار سریع با رویکرد مدیریتی و با هدف آگاه‌سازی جمعیت ساکن در این نواحی می‌توان تلفات مربوط به این واریزه و زمین‌لغزش‌ها را کاهش داد و باید در مناطقی که مستعد واریزه هستند، توسعه یابد. پیشنهاد می‌شود برای ساخت و ساز و ایجاد مراکز تفریحی به این تحلیل‌ها توجه بیش‌تری صورت گیرد. تحلیل طبق نتایج مشخص شد که هر دو جاده هراز و لواسانات در معرض خطر واریزه قرار دارد، لذا برای کاهش خطر واریزه، توجه به ساخت و ساز، محافظت و هشدار برای مناطق مسکونی در کنار جاده‌ها و در مناطق تحت خطر زمین‌لغزش، کاشت درخت و درختچه‌های مختلف در نواحی مستعد خطر و استفاده از مطالعات تخصصی در مدیریت بحران و توجه به اقلیم جدید تهران برای پیش‌گیری قبل از وقوع خطر واریزه و زلزله و سیلاب و راهکار جهت کاهش زمین‌لغزش و جلوگیری از ساخت و ساز ضروری است.

منابع

حسین‌زاده، م. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه در دامنه‌های شمالی تهران. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

خدادادی، ف.، انتظاری، م.، و ساسان‌پور، ف. (۱۳۹۸). تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفولوژیک (لغزش و سیل) استان البرز با استفاده از مدل‌های VIKOR-AHP و FR. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۱(۱)، ۱۸۳-۱۹۹.

سازمان ملی مدیریت بلایای طبیعی ایران (۱۳۹۹). سند ملی راهبرد مدیریت بحران ایران. ۲۰ صفحه.

ساسان‌پور، ف.، شماعی، ع.، افسر، م.، و سعیدپور، ش. (۱۳۹۶). بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر در برابر مخاطرات طبیعی (زلزله) (مطالعهٔ موردی: محلهٔ محتشم کاشان). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۶(۱۴)، ۱۰۳-۱۲۲.

شایان، س.، و عمونیا، ح. (۱۳۹۶). تحلیل توسعهٔ پایدار شهری در کلان شهر تهران از دیدگاه مخاطرات ژئومورفولوژیک (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ یک شهرداری). *دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۷ (۲)، ۶۸-۸۴..

صالحی‌پور میلانی، ع.، و یمانی، م. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضهٔ آبریز رامیان (استان گلستان). *دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۸(۲)، ۱۶۱-۱۷۲.

صفاری، ا.، و مقیمی، ا. (۱۳۸۸).ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری و آسیب پذیری ناشی از زمین لغزش در دامنه های کوهستانی کلان شهر تهران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۶۷، ۵۳-۷۱.

فنی، ز.، و قشمی، س.م. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی و تحلیل فضایی حساسیت مخاطرات چهارگانه محیطی زمین‌لغزش، سیل، زلزله و فرونشست مورد پژوهی: مناطق ۲۲ گانهٔ شهر تهران. *اطلاعات جغرافیایی*، ۲۷(۱۰۸)، ۷۷-۸۹.

فیض‌نیا، س.، و محمدی، ع. (۱۳۸۷). پهنه‌بندی حرکت‌های لغزشی با بهره‌گیری از درونیابی ویژه و درصددهی به هر یک از زیر عامل ها در حوزه آبخیز دماوند. *منابع طبیعی ایران*، ۶۱(۱)، ۲۹-۴۲.

کامران‌زاد، ف.، محصل‌افشار، ع.، مجرب، م.، و معماریان، ح. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان تهران با استفاده از روش‌های داده محور و تحلیل سلسله مراتبی. *علوم زمین*، ۲۵(۹۷)، ۱۰۱-۱۱۴.

محمدی، م.، و نور، ح. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش ترکیبی جدید در محیط GIS. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۱(۱۲)، ۱۳۵-۱۴۶.

References

Asadi, S., Sharghi, A., & Atefi, M. (2019). Zoning of physical and infrastructural vulnerability to landslides using GIS, Settlements Located in Tehran and Alborz. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 9(4), 329-340.

Baharvand, S., Saroei, H., & Souri, S. (2017). Landslide hazard zoning using weighted linear combination method (Case Study: Deh Sefid Basin, Lorestan Province). *Natural Geography*, 10(35), 75-86.

Bahrami, Y., Hassani, H., & Maghsoudi, A. (2020). Landslide susceptibility mapping using AHP and fuzzy methods in the Gilan Province, Iran. *GeoJournal*, 86, 1797-1816.

Fanni, Z., & Qeshmi, S.M. (2019). Zoning and spatial analysis of the susceptibility of four environmental hazards: Landslide, flood, earthquake and subsidence (Case study: 22 Districts of Tehran). *Geographical Data*, 27(108), 77-89 (in Persian).

Faiznia, S., & Mohammadi, A. (2008). Landslide hazard zonation using specific interpolation and giving percentage to each subfactors in Damavand drainage basin. *Iranian Journal of Natural Resources*, 61(1), 29-42 (in Persian).

Foudi, S., & Osés-Eraso, N. (2014). Flood risk management: Assessment for prevention with hydro-economic approaches. Pp. 317-334. In: Handbook of the Economics of Climate Change Adaptation, 1st Edition, Routledge.

Hosseinzadeh, M. (2014). Zoning of landslides caused by earthquakes in the northern slopes of Tehran. M.Sc. Thesis, Shahroud University of Technology Central Campus (in Persian).

Keshavarzbakhshaish, M., & Fallah, M. (2016). Landslide hazard zoning in the foundation and reservoir of Pelrud Dam by analytic hierarchy process (AHP). *Journal of Engineering Geology*, 10(2), 3483-3500.

Kamranzad, F., Mohasel Afshar, E., Mojarab, M., & Memarian, H. (2015). Landslide hazard zonation in Tehran Province using data-driven and AHP methods. *Geo Sciences*, 25(97), 101-114 (in Persian).

Khalaj, S., BahooToroody, F., Abaei, M.M., BahooToroody, A., De Carlo, F., & Abbassi, R. (2020). A methodology for uncertainty analysis of landslides triggered by an earthquake. *Computers and Geotechnics*, 117, 103262.

Khodadadi, F., Entezari, M., & Sasanpour, F. (2021). Analysis of geomorphologic hazards of landslide and flood using VIKOR-AHP and FR models in the Alborz Province. *Physical Geography Research Quarterly*, 51(1), 183-199 (in Persian).

Leonardi, G., Palamara, R., & Suraci, F. (2020). A fuzzy methodology to evaluate the landslide risk in road lifelines. *Transportation Research Procedia*, 45, 732-739.

Mohammadi, M., & Noor, H. (2019). Landslide susceptibility zoning using a new hybrid method in the GIS environment. *Environmental Science and Technology*, 21(12), 135-146 (in Persian).

National Disaster Management Organization of Iran (2020). National crisis management strategy document of Iran. 20 p (in Persian).

Nam, D.H., Kim, M.I., Kang, D.H., & Kim, B.S. (2019). Debris flow damage assessment by considering debris flow direction and direction angle of structure in South Korea. *Water*, 11(2), 328.

Nanehkaran, Y.A., Mao, Y., Azarafza, M., Kockar, M.K., & Zhu, H.H. (2021). Fuzzy-based multiple decision method for landslide susceptibility and hazard assessment: A case study of Tabriz, Iran. *Geomechanics and Engineering*, 24(5), 407-418.

Pun, W.K., Chung, P.W.K., Wong, T.K.C., Lam, H.W.K., & Wong, L.A. (2020). Landslide risk management in Hong Kong-Experience in the past and planning for the future. *Landslides*, 17(1), 243-247.

Philip, G.M., & Watson, D.F. (1982). A Precise Method for Determining Contoured Surfaces. *Australian Petroleum Exploration Association Journal*, 22, 205-212.

Sasanpour, F, Shamaei, A, Afsar, M., & Saeedpour, Sh. (2018). Vulnerability City buildings against natural disasters (Earthquakes) (Case Study: Mohtasham Neighbourhood Kashan). *Journal of Environmental Hazards*, 6(14), 103-122 (in Persian).

Saffari, A., & Moghimi, A. (2010). Geomorphological assessment of urban development and landslide vulnerability in the mountain slopes of Tehran. *Physical Geography Research*, 67, 53-71 (in Persian).

Shayan, S., & Amoniah, H. (2017). Analysis of sustainable urban development in Tehran metropolis from the perspective of geomorphological risks of Region 1 of the Municipality. *Crisis Prevention and Management*, 7(2), 68-84 (in Persian).

Shamai, A., Karam, A., Yaghoob Nejad Asl, N., & Lotfi Moghadam, S. (2018). Spatial analysis and zonation of landslide vulnerability in North West slopes of Tehran Metropolitan. *Journal of Geography and Regional Development*, 15(2), 119-148.

Wubalem, A. (2021). Landslide susceptibility mapping using statistical methods in Uatzau catchment area, northwestern Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*, 8(1), 1-21.

SalehiPour Milani, A., & Yamani, M. (2018). Landslide hazard zoning in Ramian Basin

(Golestan Provinces). *Disaster Prevention and Management Knowledge (quarterly)*, 8(2), 161-172 (in Persian).

Yavari, H., Pahlavani, P., & Bigdeli, B. (2019). Landslide hazard mapping using a radial basis function neural network model: A case study in Semirom, Isfahan, Iran. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 1085-1090.

Zeverbergen, L.W., & Thorne, C.R. (1987). Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12, 47-56.

Zali, M., & Shahdi, K. (2021). Landslide sensitivity assessment using fuzzy logic approach and GIS in the watershed. *Water and Soil Management and Modeling*, 1(1), 65-79.