پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در استان تهران با استفاده از مدل فازی

موسی عابدینی: دانشیار گروه جغرافیای طبیعی (گرایش ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی.
نازیلا یعقوب‌نژاد اصل *: دانشجوی دکتری مخاطرات ژئومورفولوژیک، دانشگاه محقق اردبیلی؛ Email:nazila.yaghoob.nejad@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۸
تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۱۸

چکیده

بخش‌های کوهستانی استان تهران بر روی سازندهای حساس به زمین‌لغزش احداث شده است و اگر حرکات لغزشی در این نواحی رخ دهد، چه بسا شاهد اثرات جبران‌ناپذیر در همه‌ی ابعاد آن باشیم. هدف این پژوهش بررسی و تحلیل زمین‌لغزش در استان تهران و پهنه‌بندی نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش است. این پهنه‌بندی از طریق مدل فازی با استفاده از ۸ شاخص کمی و کیفی شامل زمین‌شناسی، ارتفاع، شیب دامنه‌ها، جهت دامنه‌ها، فاصله از گسل‌ها، فاصله از رودخانه‌ها، کاربری زمین و بارش، به عنوان عوامل مؤثر در وقوع حرکات لغزشی در نرم‌افزار Arc GIS انجام شد. نتایج نشان داد در حدود ۱۳/۳۱ درصد از محدوده‌ی مورد مطالعه نیز در پهنه‌های با آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. حدود ۱۳/۷۱ درصد در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری متوسط و ۷۲/۹۴ درصد از مساحت استان تهران در پهنه‌ی با خطر وقوع کم و بسیار کم قرار گرفته است. پس از انجام مشاهدات میدانی از نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش و مقایسه‌ی آن با نقشه‌ی پهنه‌بندی به دست آمده صحت و کارایی مدل فازی تأیید می‌شود. پهنه‌های با آسیب‌پذیری بالا، عمدتاً نواحی کوهپایه‌ای و کوهستانی استان تهران هستند. علت آسیب‌پذیری بالا، عوامل توپوگرافی و انسانی هستند، هر چند مورفولوژی پهنه‌های در معرض خطر زمین‌لغزش، از عامل شیب تبعیت کرده است و این نشان‌دهنده‌ی نقش عامل شیب در وقوع حرکات لغزشی است.

واژه‌های کلیدی: *پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، مدل فازی، استان تهران*

Risk zonation of the landslides in Tehran province using Fuzzy Model

Mousa Abedini[1], Nazila Yaghoob Nejad Asl[2*]

Abstract

The mountainous parts of Tehran province is located on the formations where are susceptible to landslides and if the landslide occurres in these areas, we will be facing the irreparable effects in various aspects. The purposes of this study are investigation and analysis of landslide in Tehran province and zonation of those areas where are susceptible to landslide. This zonation is done by using 8 quantitative and qualitative indicators, including geology, elevation, slope, aspect, distance from the faults, distance from the rivers, land use and average annual precipitation as the factors in the occurrence of landslide in ArcGIS software. The result of the present study showed that about 13.31 percent of the study area is located in high and very high zones of potential vulnerability, 13.71 percent of the study area is located in moderate zone of potential vulnerability, and about 72.94 percent is located in low and very low zones of potential vulnerability as well. After conducting field observations of landslide -prone areas and comparing it with the zonation map, accuracy and efficiency of fuzzy model will be verified. High and very high zones of potential vulnerability are mainly foothills and mountainous areas of Tehran Province. We considered high vulnerability due to topography and human factors. However, risk of landslides morphology seems to be a function of slope, indicating the role of slope in landslide occurrence.

Keywords: *Zonation, Landslide, Fuzzy model, Tehran province*

Associate Professor of Department of Physical Geography (Geomorphology), Geomorphology University of Mohaghegh Ardabili.
PhD student of Geomorphological hazards, University of Mohaghegh Ardabili; Email: nazila.yaghoob.nejad@gmail.com

مقدمه

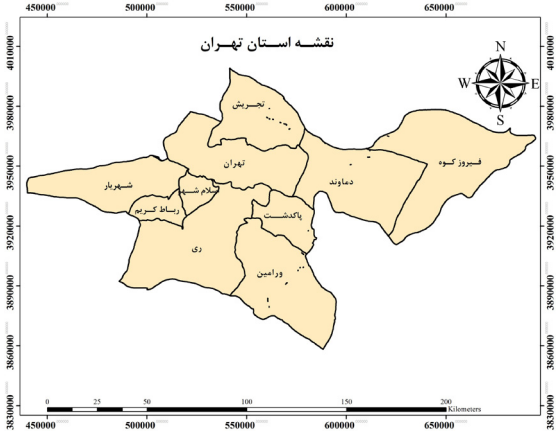
استان تهران یک منطقه‌ی استراتژیک از لحاظ فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی محسوب می‌شود. بسیاری از شهرها و روستاهای آن در دامنه‌ی کوه‌ها و تپه‌ماهورها احداث شده‌اند و از لحاظ زمین‌شناسی بر روی سازندهای حساس به حرکات توده‌ای مستقر شده‌اند. هنگامی که دامنه‌ی پرشیبی به شکل شطرنجی قطعه‌بندی می‌شود و یک لایه‌ی شهر بر روی آن ایجاد می‌گردد، می‌تواند به‌مثابه‌ی یک لایه‌ی سنگی قرار گرفته روی دامنه عمل نماید. تمام بخش‌های پای کوهی و کوهستانی این استان به همین شکل ساخته شده‌اند و اگر عوامل تشدیدکننده در وقوع حرکات لغزشی مانند گسلش و زمین‌لرزه در این نواحی رخ دهد، چه‌بسا شاهد اثرات جبران‌ناپذیر در همه‌ی ابعاد آن هستیم. برای مثال می‌توان به زمین‌لغزش جاده‌ی فشم به میگون در اسفند سال ۱۳۸۴ اشاره کرد که باعث تخریب نواحی مسکونی و راه‌های ارتباطی شد [۱]. متأسفانه علی‌رغم شناسایی رخداد زمین‌لغزش‌ها در نواحی کوهستانی این استان تاکنون مطالعات جامعی در این زمینه صورت نگرفته است. لذا شناخت نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش و تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر برای ارزیابی و پیش‌بینی مناطق آسیب‌پذیر از ضروریات است، زیرا از نقشه‌های تهیه‌شده‌ی حاصل از این روش می‌توان در زمینه‌ی مدیریت حرکات توده‌ای و زمین‌لغزش‌ها و برنامه‌ریزی منطقه‌ای استفاده کرد. در اینجا نقش ژئومورفولوژی در زمینه‌ی پتانسیل آسیب‌پذیری وقوع زمین‌لغزش‌ها آشکار می‌شود، زیرا حرکات توده‌ای از نوع زمین‌لغزش‌ها نوع خاصی از فرایندهای دامنه‌ای هستند که زاییده‌ی شرایط ژئومورفولوژیک، هیدرولوژیک و زمین‌شناسی محلی است [۲] و نقش ژئومورفولوژیست‌ها در این زمینه تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر است. پهنه‌بندی زمین‌لغزش یکی از روش‌هایی است که می‌توان به کمک آن مناطق بحرانی را تعیین کرده و از نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آمده در برنامه‌ریزی‌ها استفاده کرد [۳]. مطالعات وسیعی در زمینه‌ی شناخت عوامل مؤثر، طبقه‌بندی، پهنه‌بندی و مدل‌سازی زمین‌لغزش‌ها صورت گرفته است. ازجمله کارهای انجام‌شده در کشورهای دیگر و ایران می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: گر سوسکی[۱] و همکاران [۴] با استفاده از داده‌های زمین‌لغزش و مدل فازی و تئوری دمپس‌تر-شیفر، به بررسی عدم قطعیت زمین‌لغزش‌های غرب ایالت مونتانا پرداختند. ایشان در کارشان نشان دادند که استفاده از مدل مذکور دقت نقشه‌های زمین‌لغزش را بالا می‌برد و می‌تواند به‌طور دقیق برای مدیریت و برنامه‌ریزی مورد استفاده قرار گیرد. لی[۲] [۵] با استفاده از مدل فازی و مشاهدات میدانی نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش را در ناحیه‌ی کانگ نئونگ کشور کره بررسی نمود. او نشان داد که عملگر گامای ۰/۹ بهترین عملگر برای تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است. شهابی[۳] [۶] با مدل نسبت بسامد و داده‌هایی همچون عکس‌های هوایی و بررسی‌های میدانی به بررسی خطر زمین‌لغزش در جاده‌ی اصلی سقز - مریوان کردستان پرداخت. ایشان به تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش پرداخت و نواحی با آسیب‌پذیری بالا را شناسایی کرد. شریفی[۴] و همکاران [۷] با استفاده از مدل فازی به منطقه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شمال تهران پرداختند. ایشان نیز به تهیه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش پرداختند و پنج کلاس خطر را در محدوده‌ی مورد مطالعه‌شان نشان دادند. گمی تزی[۵] و همکاران [۸] با استفاده از عوامل محیطی و توابع عضویت فازی در نرم‌افزار جی‌آی‌اس، نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش در شهر ترس یونان را شناسایی کردند. ایشان نشان دادند که عواملی مانند زمین‌لغزش و زاویه‌ی شیب مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه است. راسلی[۶] و همکاران [۹] نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش را در بخش‌هایی از کشور مالزی با استفاده از روش‌های تحلیل عاملی و آماری شناسایی کردند. ایشان نشان دادند که عوامل فیزیکی ازجمله عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه‌ی مورد مطالعه‌شان است.

فتاحی اردکانی و همکاران [۱۰] کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز سد لتیان را ارزیابی کردند. ایشان از داده‌های زمین‌لغزش استفاده کردند و نشان دادند که تغییر کاربری زمین و احداث جاده‌های دسترسی روستایی بر روی دامنه‌های پرشیب، در سال‌های اخیر، وقوع چندین لغزش را موجب شده است. شریفی [۱۱] با روش نیل سن اصلاح‌شده به بررسی ارتباط آب‌های زیرزمینی با خطر زمین‌لغزش در بخشی از حوضه‌ی آبخیز سمنان پرداخت. ایشان دو روش نیل سون و نیل سون اصلاح‌شده را با هم مقایسه کرد و نتیجه گرفت که روش نیل سون اصلاح‌شده دقت بالاتری دارد. گروه فرسایش توده‌ای و تثبیت زمین‌لغزش [۱۲] اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های استان تهران کرد. ایشان کارشان را به صورت گزارش تهیه کردند. نصر آزادانی و شیرانی [۱۳] به مقایسه‌ی روش‌های پهنه‌بندی آماری دومتغیره در حوضه‌ی آبخیز دز علیا پرداختند. ایشان با استفاده از پارامترهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و GIS، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را تهیه کردند. ایشان نشان دادند که پارامترهای لیتولوژی، پوشش گیاهی و بارندگی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش هستند. همچنین ایشان نتیجه گرفتند که روش پهنه‌بندی ارزش اطلاعاتی نسبت به روش تراکم سطح برای منطقه‌ی مورد مطالعه مناسب‌تر بوده و ارجحیت دارد. عبد الخانی و جمالی [۱۴] با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و GIS، به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز منشاد یزد پرداختند. ایشان نشان دادند که روش ای اچ پی، روش مناسبی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است. همچنین ایشان نتیجه گرفتند که عوامل شیب، سنگ‌شناسی و کاربری ارضی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه هستند. مصفایی و همکاران [۱۵] کارایی مدل‌های تجربی و آماری پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را در آبخیز الموت رود مقایسه کردند. ایشان در نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تهیه‌شده نشان دادند که در تمامی مدل‌ها مقدار کای اسکوئر محاسبه‌شده در سطح ۰/۹۹ معنی‌دار بوده و تفکیک مناسبی بین کلاس‌های خطر زمین‌لغزش وجود دارد. متکان و همکاران [۱۶] با استفاده از مدل‌های منطق فازی و سنجش از

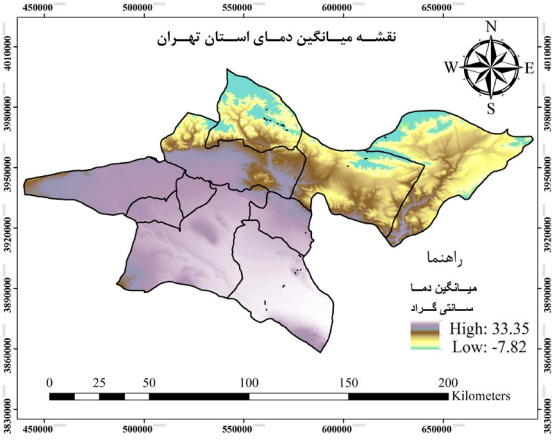
دور، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز لاجیم را انجام دادند. ایشان نشان دادند که عامل کاربری ارضی مهم‌ترین عامل در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه‌ی آبخیز لاجیم است. رهنما راد و همکاران [۱۷] با استفاده از فن تفسیر عکس‌های هوایی و بر اساس مشاهدات میدانی، ۱۲ معیار مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه را شناسایی کردند و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را در منطقه‌ی اسکل آباد خاش با استفاده از روش‌های آماری دومتغیره و سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام دادند. ایشان نشان دادند که روش آماری دومتغیره دقت بالایی در پیش‌بینی خطر رانش زمین در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد. بهشتی راد و همکاران [۱۸] با مدل رگرسیون چند متغیره و با استفاده از داده‌های زمین‌لغزش به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها در حوضه‌ی آبخیز باغ دشت قزوین پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند که مدل رگرسیون چند متغیره در حوضه‌ی آبخیز مذکور مناسب است. علایی طالقانی و رحیم‌زاده [۱۹] با استفاده از ۷ عامل تأثیرگذار بر حرکات توده‌ای منطقه‌ی مورد مطالعه در حوضه‌ی آبخیز جوانرود و با مدل تحلیل سلسله‌مراتبی احتمال وقوع لغزش را در حوضه‌ی آبخیز مذکور شبیه‌سازی کردند. ایشان نتیجه گرفتند که ۵۸ درصد از سطح حوضه‌ی جوانرود از نظر وقوع لغزش جزو منطقه‌ی بسیار پرخطر است که این مناطق منطبق بر گسترش سازندهای گورپی و رادیولاریتی است. همچنین ایشان نشان دادند که زه‌کش‌ها و احداث جاده از طریق زیر بری بر سازندهای مذکور باعث وقوع زمین‌لغزش‌ها شده است. قنواتی [۲۰] با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی خطر زمین‌لغزش در حوزه‌ی جاجرود را پهنه‌بندی کرد. ایشان نشان داد که بیش از ۶۲ درصد از مساحت حوزه‌ی جاجرود در پهنه‌های خطر زیاد و بسیار زیاد لغزشی واقع شده است. عابدینی و فتحی [۲۱] با استفاده از تلفیق مدل‌های ای اچ پی و فازی خطر زمین‌لغزش را در حوضه‌ی آبخیز خلخال چای ارزیابی کردندو عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه‌ی آبخیز خلخال چای را شناسایی کردند و نتیجه گرفتند که حدود ۲۱/۸۲ درصد از محدوده‌ی مورد مطالعه در زمره‌ی مناطق با خطر زمین‌لغزش زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است و برای ساخت‌وساز در این مناطق در شمال شرق و شرق حوزه مطالعات علمی و دقیق صورت گیرد. تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش به طراحان و مهندسان برای انتخاب مکان مناسب اجرای طرح‌های توسعه کمک بزرگی نموده و نتایج این‌گونه مطالعات می‌تواند به‌عنوان اطلاعات پایه‌ای برای کمک به مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی مورد استفاده قرار گیرد [۲۲]. در نهایت با شناسایی مکان‌هایی با پتانسیل بالای لغزش و دوری جستن از آن‌ها می‌توان از خطرات احتمالی جلوگیری نمود. همه‌ی این قبیل مسائل زمانی قابل تجزیه و تحلیل دقیق‌تر قرار می‌گیرند که مشخص شود خطر زمین‌لغزش عمدتاً کدام نواحی را در بر می‌گیرد و اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شود تا در کوتاه‌ترین زمان ممکن تمهیدات لازم برای برنامه‌ریزی صحیح کالبدی و مدیریت مخاطرات اقدام گردد. در این راستا هدف این پژوهش پهنه‌بندی نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش در استان تهران با استفاده از مدل فازی است.

محدوده و قلمرو پژوهش

استان تهران (تصویر ۱)، با وسعتی حدود ۱۳۱۰۶/۳ هزار کیلومتر مربع در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۹ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۹ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۱ دقیقه در جنوب مرکز رشته‌کوه‌های البرز واقع شده است. کمترین ارتفاع محدوده‌ی مورد مطالعه با مقدار ۷۶۵ متر منطبق بر دشت‌های استان است و بیشترین ارتفاع استان با میزان ۴۳۴۶ متر است که عمدتاً مشتمل بر بخش‌های کوهستانی این استان است. بررسی نقشه‌ی شیب استان نشان می‌دهد که حداقل شیب بین ۰- ۲۵ درجه مربوط به مناطق دشتی و بیشترین میزان شیب با مقدار ۶۸ درجه به نواحی پای کوهی و کوهستانی تعلق دارد. این استان از ارتفاعات بلند، زمین‌های مرتفع و زمین‌های نسبتاً پست و کم ارتفاع تشکیل شده است. استان تهران نسبت به سطح دریا در ارتفاع نسبتاً زیادی قرار گرفته است. در این استان ارتفاع زمین از شمال به جنوب کاهش می‌یابد به همین دلیل حتی در سطح شهر تهران نیز تفاوت ارتفاع محسوس است. به‌طور کلی میان بلندترین نقاط مرتفع استان تا پایین‌ترین نقاط آن حدود ۳۰۰۰ متر اختلاف ارتفاع وجود دارد که در تغییر دما و رطوبت در سطح استان بسیار مؤثر است. در قسمت‌های شمالی استان به علت وجود رشته‌کوه‌های مرتفع البرز و گسترش آن‌ها، دشت‌های وسیعی به چشم نمی‌خورد اما در قسمت‌های جنوبی به‌ویژه در



تصویر ۱: موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه



تصویر ۲: نقشه‌ی میانگین دمای استان تهران

جنوب غربی و شرق استان، دشت‌های حاصل‌خیزی نظیر ری و ورامین وجود دارند.

در یک نگاه کلی موقعیت زمین‌شناسی استان تهران به شرح زیر است: سنگ‌های آتش‌فشانی شامل آندزیت، توف، گرانیت، دیوریت، جریان‌های گدازه‌ای، کنگلومرا و ماسه‌سنگ، سنگ آهک، شیل، ژیپس و مارن، رسوبات آبرفتی، ماسه‌های بادی و گنبدهای نمکی. سازندهای زمین‌شناسی شامل کشف رود، شمشک، مبارک، لالون، زایگون، میلا، لار، قرمز بالایی، درود، زیارت، تیز کوه، دلی چای، کرج و الیکا است. از لحاظ اقلیمی حداقل دمای سالانه‌ی استان تهران۷/۸۲- درجه‌ی سانتی‌گراد است که مربوط به مناطق مرتفع و کوهستانی محدوده‌ی مورد مطالعه است و حداکثر دمای سالانه‌ی استان تهران ۳۳/۳۵ درجه‌ی سانتی‌گراد است که مربوط به مناطق دشتی است (تصویر ۲). حداکثر متوسط بارندگی سالیانه ۸۵۴/۹۷ میلی‌متر در مناطق مرتفع و کوهستانی است و حداقل آن ۱۳۵/۱۹ میلی‌متر در دشت‌ها است (تصویر ۳).

استان تهران با جمعیتی در حدود ۱۳۲۶۷۶۳۷ نفر جمعیت، ۱۶/۶۰ درصد جمعیت کل کشور را در خود جای داده است[۲۳].

روش تحقیق و ابزارها

در این پژوهش، ابتدا، از اسناد کتابخانه‌ای برای مطالعه‌ی پیشینه‌ی تحقیق استفاده شده است. داده‌های اولیه‌ی این پژوهش عبارت‌اند از مدل رقومی ارتفاع از محدوده‌ی مورد مطالعه با قدرت تفکیک ۸۵ متر [۲۴]، نقشه‌ی زمین‌شناسی [۲۵]، نقشه‌ی کاربری زمین [۲۶]، داده‌های اقلیمی [۲۷]. بعد از آن، نقشه‌های اقلیمی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و داده‌های اقلیمی ایستگاه‌هایی که در داخل و اطراف محدوده‌ی مورد مطالعه واقع شده‌اند (جدول ۱)، تهیه شدند. سپس ۸ معیار بحران‌زای مؤثر در رخداد زمین‌لغزش شامل شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، جهت دامنه، کاربری زمین، فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی و بارندگی شناسایی شدند (تصویر ۳). این معیارها با استفاده از توابع عضویت فازی، فازی‌سازی شدند و به صورت نقشه‌های فازی در آمدند (تصویر ۴). در نهایت، با تلفیق این نقشه‌ها با استفاده از عملگر بهینه‌ی گامای ۰/۹ (تصویر ۵) نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش به دست آمد. (تصویر ۶).

جدول ۱: ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه

ایستگاه	سال
تهران	۱۹۵۱- ۲۰۱۰
کرج	۱۹۸۵- ۲۰۱۰
فیروزکوه	۱۹۹۳- ۲۰۱۰
آبعلی	۱۹۸۳- ۲۰۱۰
دوشان‌تپه	۱۹۷۲- ۲۰۱۰
فرودگاه امام	۲۰۰۴- ۲۰۱۰

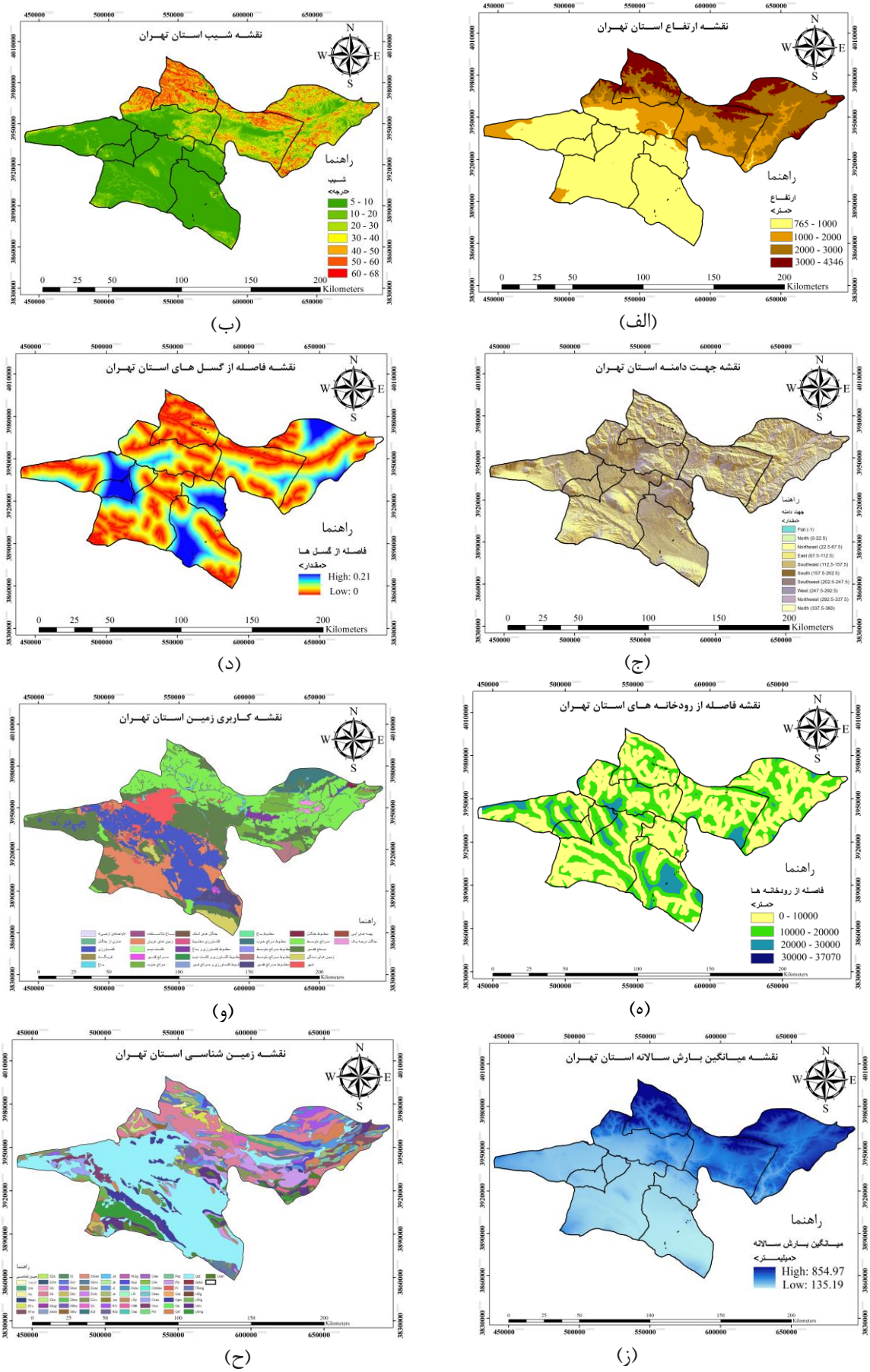
مبانی نظری تحقیق

دانشمندان علوم زمین و مهندسین همواره با در نظر گرفتن بسیاری از عوامل و شرایط توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، کاربری زمین و اقلیم، معیارهایی را برای تعیین چگونگی مناسب و یا نامناسب بودن یک محدوده‌ی مشخص در نظر می‌گیرند. هر معیاری می‌تواند با داده‌های جغرافیایی و نقشه‌های موضوعی نشان داده شود و برای برنامه‌ریزی و نقشه‌برداری اقدام به مدل‌سازی شود. مدل فازی یکی از این مدل‌هاست. منطق فازی اولین بار در پی تنظیم نظریه‌ی مجموعه‌های فازی به‌وسیله‌ی لطفی‌زاده (۱۹۶۵) در صحنه‌ی محاسبات نو ظاهر شد [۲۸]. واژه‌ی فازی[۷] به معنای غیردقیق، ناواضح و مبهم (شناور) است. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند صورت‌بندی ریاضی بخشیده و زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد [۲۹]. منطق فازی می‌تواند در زمینه‌ی تحلیل سایت‌ها و مکان‌ها مورد استفاده قرار گیرد. فن کار به صورت تلفیق و هم‌پوشانی داده‌های تصویری است. مکانیسم عمل این‌گونه است که ابتدا پارامترهای مؤثر در زمین‌لغزش‌ها شناسایی می‌شوند، سپس با استفاده از توابع عضویت فازی، فازی‌سازی می‌شوند. نحوه‌ی تعریف توابع به این صورت است که سایت‌هایی که در معرض رخداد لغزش هستند با کد ۱ مشخص می‌شوند و سایت‌هایی که در معرض زمین‌لغزش نیستند، کد صفر می‌گیرند (کد یک، به معنی اینکه زمین‌لغزش رخ می‌دهد و کد صفر به معنی اینکه زمین‌لغزش رخ نمی‌دهد). در نهایت با استفاده از شبکه‌ی استنتاج فازی مانند جمع جبری فازی، ضرب جبری فازی و عملگر گامای فازی با هم ترکیب می‌شوند. بعد از آنکه خروجی هر یک از عملگرها به دست آمد، آن‌ها را با هم مقایسه کرده و بر اساس اعداد به دست آمده نتیجه‌گیری و جمع‌بندی می‌کنند.

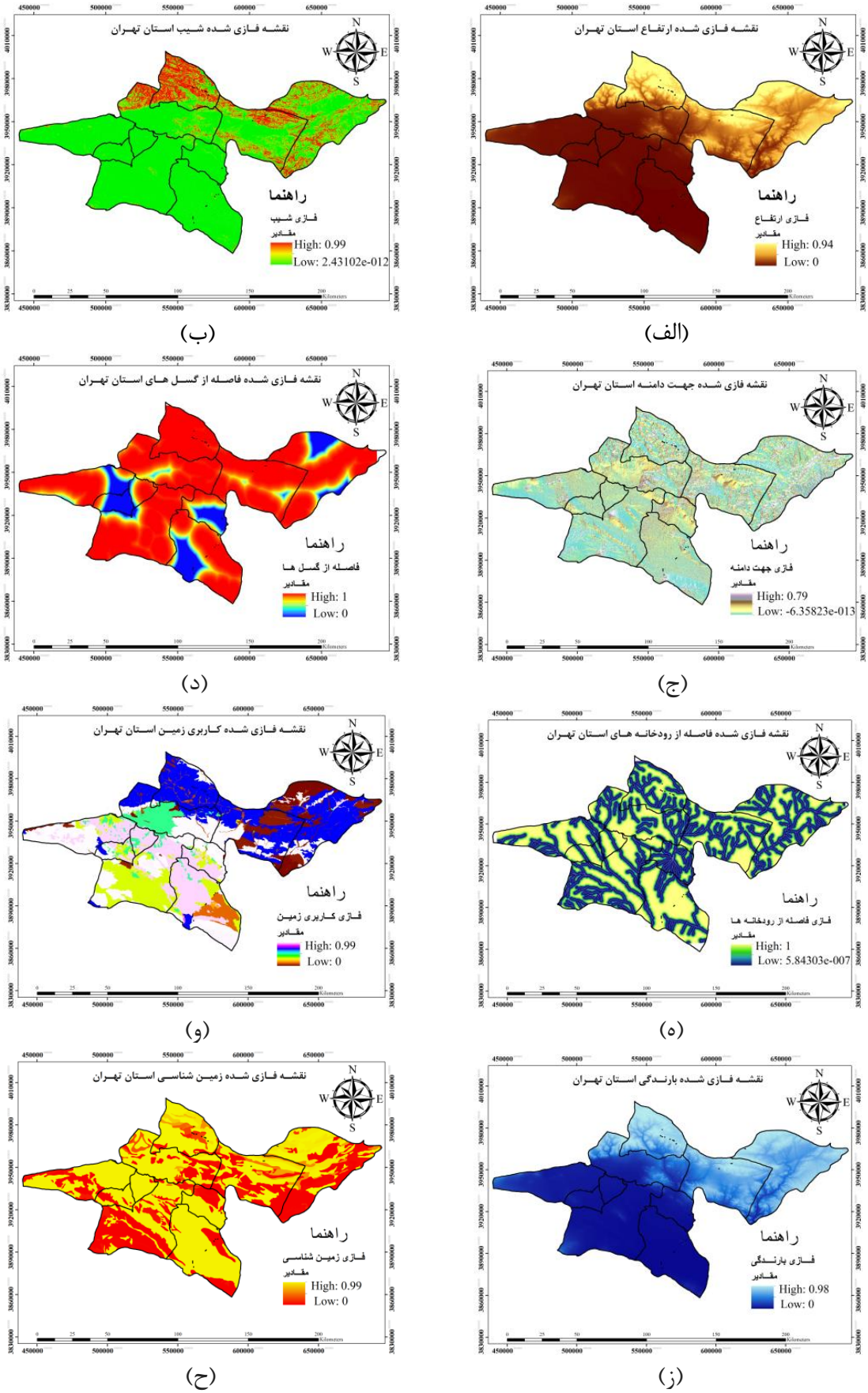
آگاهی به مسائل توپوگرافی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و شرایط اقلیمی محدوده‌ی مورد مطالعه هنگامی که با نرم‌افزار Arc GIS و مدل‌های زمین فضا مانند مدل فازی ترکیب شوند، می‌توانند با دقت نسبتاً بالا سایت‌های در معرض خطر زمین‌لغزش را شناسایی کنند و به صورت یک نقشه‌ی پهنه‌بندی ارائه دهند. استفاده از نرم‌افزار Arc GIS به همراه مدل‌های مختلف ابزارهای مفیدی برای پیش‌بینی و پهنه‌بندی در جهت برنامه‌ریزی فراهم می‌کند.

بحث و نتایج

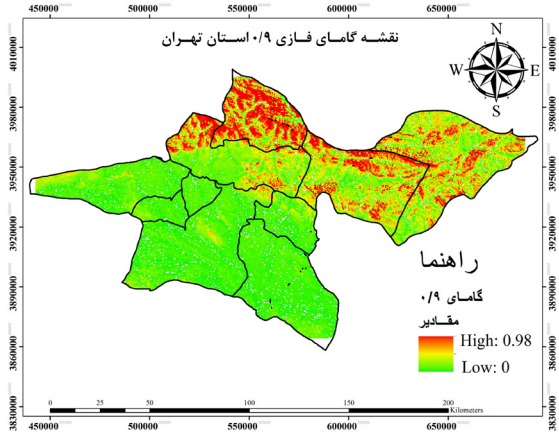
برای آنکه تحلیل مناسبی از روابط بین متغیرهای طبیعی و رخداد زمین‌لغزش به دست آید ابتدا همه‌ی نقشه‌های معیارها شامل ارتفاع، شیب، جهت دامنه، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، کاربری زمین، بارندگی و زمین‌شناسی با استفاده از توابع عضویت فازی، فازی‌سازی شدند و به صورت نقشه‌های فازی درآمدند (تصویر ۴).



تصویر ۳: نقشه‌های معیارها: الف. شیب؛ ب. ارتفاع؛ ج. فاصله از گسل؛ د. جهت دامنه؛ ه. کاربری زمین؛ و. فاصله از رودخانه؛ ز. زمین‌شناسی؛ ح. بارندگی



تصویر ۴: نقشه‌های فازی شده‌ی معیارها: الف. شیب؛ ب. ارتفاع؛ ج. فاصله از گسل؛ د. جهت دامنه؛ ه. کاربری زمین؛ و. فاصله از رودخانه؛ ز. زمین‌شناسی؛ ح. بارندگی



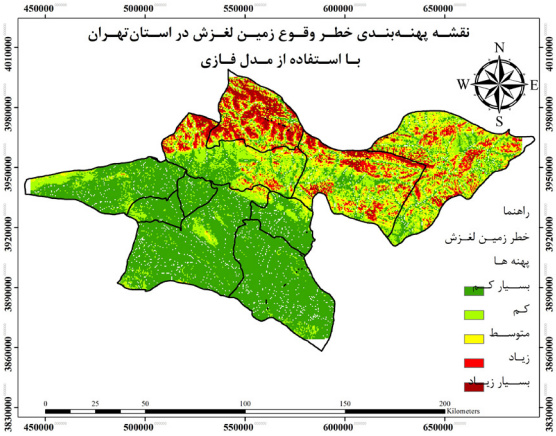
تصویر ۵: نقشه‌ی گامای ۰/۹ استان تهران

سپس از عملگر گامای ۰/۹ برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری استفاده شد (تصویر ۵). علت انتخاب گامای ۰/۹ همپوشانی چندین نقشه‌ی اصلی با نقشه‌ی پهنه‌بندی است. به‌طور مثال، نقشه‌های شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی و کاربری زمین با نقشه‌ی پهنه‌بندی همپوشانی شد و مشخص شد که بیشترین زمین‌لغزش‌ها با نواحی کوهپایه‌ای و کوهستانی، شیب‌های تند در زمین‌های با جنس آبرفت‌های کواترنر و در مراتع فقیر و متوسط انطباق دارد. با توجه به تصویر ۵ بعضی از شهرها، روستاها و جاده‌ها در پهنه‌هایی قرار گرفته‌اند که پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی از نظر رخداد حرکات لغزشی از خود نشان می‌دهند. به عبارت دیگر نواحی مذکور در پهنه‌هایی قرار گرفته‌اند که گامای فازی رقم ۰/۹۸ را نشان می‌دهد. این یعنی اینکه هرچه قدر رقم مذکور به عدد ۱ نزدیک‌تر می‌شود، احتمال رخداد زمین‌لغزش در نواحی مورد نظر وجود دارد. بنابراین از عملگر گامای فازی ۰/۹ برای تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش‌ها در استان تهران استفاده شد (تصویر ۶). در نهایت مساحت و درصد مساحت هر یک از پهنه‌های پتانسیل آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش در محدوده‌ی مورد مطالعه محاسبه شد که در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲: نتایج پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش‌های استان تهران

پهنه‌های خطر	کیلومتر مربع	درصد مساحت
بسیار کم	۶۸۶۱/۵	۵۲/۳۴
کم	۲۷۰۰/۶	۲۰/۶
متوسط	۱۷۹۷/۹۵	۱۳/۷۱
زیاد	۱۱۰۳/۳	۸/۴۱
بسیار زیاد	۶۴۲/۹۹	۴/۹
مجموع	۱۳۱۰۶/۳	۹۹/۹۶

نتایج این پهنه‌بندی نشان می‌دهد که در حدود ۵۲/۳۴ درصد از مساحت استان معادل با ۶۸۶۱/۵ هزار کیلومتر مربع در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری بسیار کم قرار دارند که شامل شهرها و روستاهای واقع در شهرستان‌های شهریار، رباط‌کریم، اسلام‌شهر، ری، ورامین، پاکدشت و بخش‌هایی از شهر تهران هستند. در حدود ۲۷۰۰/۶ کیلومتر مربع معادل ۲۰/۶ درصد در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری کم



تصویر ۶: نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استان تهران

قرار گرفته‌اند که باز هم مربوط به شهرها و روستاهای واقع در شهرستان‌های شهریار، رباط‌کریم، اسلام‌شهر، ری، ورامین، پاکدشت و بخش‌هایی از شهر تهران هستند. در حدود ۱۳/۷۱ درصد از مساحت استان، معادل با ۱۷۹۷/۹۵ هزار کیلومتر مربع در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری متوسط قرار گرفته است که شامل شهرها و روستاهای واقع در شهرستان‌های دماوند، تجریش و بخش‌های کوهستانی شمال غرب تهران هستند. حدود ۱۱۰۳/۳ هزار کیلومتر مربع، معادل ۸/۴۱ درصد نیز در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری زیاد قرار گرفته است. شهرها و روستاهای واقع در این پهنه‌ها عبارت‌اند از شهرها و روستاهای گیلان، دماوند، فیروزکوه، آبعلی، ارجمند، لواسان، افجه و در حدود ۶۴۲/۹۹ هزار کیلومتر مربع در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری بسیار زیاد قرار گرفته‌اند. این رقم حدود ۴/۹ درصد برآورد شده است. شهرها و روستاهای واقع در این پهنه فشم، میگون، امامزاده داوود و روستاهای کوهپایه‌ای و کوهستانی واقع در بخش‌های شمالی و شرقی استان تهران هستند. در مجموع می‌توان این‌طور استنباط کرد که در حدود ۱۳/۳۱ درصد از مساحت محدوده‌ی مورد مطالعه در پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش بسیار زیاد و زیاد قرار گرفته‌اند. در حدود ۱۳/۷۱ درصد از محدوده‌ی مورد مطالعه در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری متوسط قرار گرفته است و حدود ۷۲/۹۴ درصد از محدوده‌ی مورد مطالعه نیز در پهنه‌های با آسیب‌پذیری کم و بسیار کم قرار گرفته‌اند.

عوامل زیر به ترتیب اهمیت با توجه به تحقیقات انجام شده از دلایل زمین‌لغزش‌های محدوده‌ی مورد مطالعه به حساب می‌آیند:

۱. شیب: شیب عامل مهمی در رخداد حرکات لغزشی است. درواقع زمین‌لغزش‌ها تحت تأثیر این عامل به حرکت در می‌آیند. بررسی نقشه‌ی شیب (تصویر ۳، الف) نشان می‌دهد که بیشترین زمین‌لغزش‌ها در شیب‌های ۱۴ درجه تا ۶۸ درجه رخ داده‌اند. این شیب‌ها منطبق بر نواحی کوهپایه‌ای و کوهستانی هستند که باعث به حرکت درآوردن توده‌های لغزشی می‌شوند. به عبارت دیگر عامل شیب موجب افزایش نیروی ثقل و به حرکت درآوردن توده‌ی لغزشی می‌گردد. کمترین زمین‌لغزش‌ها هم در شیب‌های ۸ درجه و کمتر رخ داده‌اند. این نشان‌دهنده‌ی نقش این عامل در وقوع زمین‌لغزش‌ها است.

۲. ارتفاع: همپوشانی نقشه‌ی ارتفاع (تصویر ۳، ب) با نقشه‌ی پهنه‌بندی (تصویر ۶) نشان داد که بیشترین زمین‌لغزش‌ها در ارتفاعات ۱۹۸۰ متر تا ۴۳۴۶ متر رخ داده است. علت رخداد زمین‌لغزش در پهنه‌های با شدت زیاد و بسیار زیاد ناشی از این امر است که ارتفاع می‌تواند باعث افزایش بارندگی شود. یعنی با افزایش ارتفاع، بارندگی نیز بیشتر می‌شود، زیرا بارندگی بسیار زیاد و بیش از حد باعث شستشوی دامنه‌ها و گسیختگی آن‌ها می‌شود، ضمن اینکه ضربات ناشی از قطرات باران مخصوصاً در نقاطی که پوشش گیاهی تخریب یافته است، می‌تواند ذرات خاکدانه‌ها را تخریب کند و بدین‌گونه با سست کردن این خاک‌ها آن‌ها را مستعد وقوع حرکات لغزشی کند. همچنین در ارتفاعات بالا، فرایند هوازدگی و تخریب سنگ‌ها و خاک‌ها بیشتر است. در نتیجه مواد و مصالح مورد نیاز برای رخداد زمین‌لغزش فراهم می‌گردد.

۳. فاصله از گسل‌ها: نتیجه‌ی تقاطع نقشه‌ی طبقات فاصله از گسل‌های منطقه و حرکات لغزشی نشان می‌دهد که غالب زمین‌لغزش‌ها در پهنه‌هایی مشاهده شد که تراکم گسل‌ها بیشتر بوده است. وجود گسل‌های فعال در محدوده‌ی مورد مطالعه نشان‌دهنده‌ی فعال بودن این منطقه از نظر فعالیت‌های تکتونیکی است. لذا در صورت فعال شدن این گسل‌ها هنگام زلزله احتمال رخداد زمین‌لغزش وجود دارد. هر چقدر توده‌ی لغزشی فاصله‌ی بیشتری از گسل‌ها داشته باشد، کمتر تحت تأثیر فعالیت این گسل‌ها واقع می‌شود.

۴. جهت دامنه‌ها: جهت شیب نیز تأثیر زیادی در وقوع زمین‌لغزش‌ها دارد. انقطاع نقشه‌ی حرکت‌های لغزشی و نقشه‌ی جهت دامنه‌ها در بخش‌های کوهستانی نشان می‌دهد که همبستگی معناداری بین جهت دامنه‌ها و وقوع حرکات لغزشی وجود دارد (تصویر ۳، د). بر این اساس بیشتر زمین‌لغزش‌ها در جهات جنوبی شیب دامنه‌ها (جنوب، جنوب غربی و جنوب شرق) رخ داده‌اند. احتمال وقوع زمین‌لغزش‌ها در این جهات دامنه‌ای می‌تواند ناشی از این قضیه باشد که این دامنه‌ها در نیمکره‌ی شمالی آفتاب‌گیر هستند. با توجه به ماهیت کوهستانی منطقه و رقیق بودن هوا در ارتفاعات بالا، مخصوصاً در اواخر زمستان و اوایل بهار، تابش خورشید باعث ذوب برف‌های این نواحی می‌شود که این امر موجب مرطوب شدن خاک‌های این بخش از جهات دامنه‌ها می‌شود. به عبارت ساده‌تر آب به‌تدریج در زمین نفوذ می‌کند و موجب آب‌گیری آن می‌شود و تحت تأثیر نیروی ثقل در روی دامنه به حرکت در می‌آید. همچنین در این جهات دامنه‌ها با انبساط خاک‌ها هنگام روز و انقباض آن‌ها هنگام شب، زمینه‌ی ناپایداری و سست شدن این خاک‌ها فراهم می‌آید که این خود می‌تواند عامل دیگری برای رخداد زمین‌لغزش در این جهات دامنه محسوب شود.

۵. کاربری زمین: بررسی نقشه‌ی پوشش/کاربری زمین (تصویر ۳، ه) نشان می‌دهد که رخداد زمین‌لغزش در این منطقه در ارتباط با فقر پوشش گیاهی است. بررسی نقشه‌ی کاربری زمین و مطالعات میدانی در رابطه با پوشش زمین نشان داد که حرکات لغزشی در محدوده‌ی مورد مطالعه، در مراتع با پوشش گیاهی متوسط و فقیر رخ داده‌اند و همان‌طور که قبلاً بیان شد، تخریب پوشش گیاهی و فقدان آن نه‌تنها باعث سهولت در شستشوی دامنه‌ها هنگام بارندگی می‌شود، بلکه چون خاک دامنه‌ها در معرض مستقیم هوا قرار می‌گیرند، به سهولت دچار هوازدگی می‌شوند که این باعث ناپایدار شدن خاک‌های محدوده‌ی مورد مطالعه می‌شود. مشاهدات میدانی که از بخش‌هایی از محدوده‌ی مورد مطالعه انجام گرفت نشان از سست بودن خاک‌های منطقه در نتیجه تخریب پوشش گیاهی بومی منطقه داشت. لذا نقش پوشش گیاهی در حفظ و پایدارسازی دامنه‌ها احساس می‌شود.

۶. فاصله از رودخانه‌ها: بررسی نقشه‌ی فاصله از رودخانه‌ها نشان می‌دهد که بیشترین زمین‌لغزش‌ها در فاصله‌ی ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متری از رودخانه‌ها رخ داده‌اند (تصویر ۳، و). علت زمین‌لغزش‌های رخ‌داده یا در شرف وقوع می‌تواند ناشی از مرطوب ماندن دائمی خاک‌ها باشد. همچنین جریان رودخانه و شعبات آن می‌تواند باعث شستشوی خاک‌های پای دامنه‌ها و ناپایدار کردن آن‌ها شود. کمترین زمین‌لغزش‌ها در فاصله‌ی کمتر از ۱۰۰۰ متری از شبکه‌ی زه‌کش رخ داده‌اند. هر چقدر توده‌ی لغزشی از رودخانه فاصله‌ی بیشتری داشته باشد، کمتر تحت تأثیر شستشوی ناشی از آن قرار می‌گیرد. در نتیجه خاک‌های آن خشک‌تر باقی می‌مانند. جریان رودخانه‌ها و شعبات آن با مرطوب نگه داشتن خاک موجب آبگیری آن می‌شود و تحت تأثیر نیروی ثقل به حرکت در می‌آیند.

۷. زمین‌شناسی: با توجه به این شکل عمده حرکات لغزشی در رسوبات ژیپس، مارن، رسوبات آبرفتی و در سازندهای قرمز بالایی، سازند زیارت که منطبق بر مناطق کوهستانی هستند، احتمال وقوع دارند. بیشترین زمین‌لغزش‌ها در سازند کرج رخ داده‌اند. رسوبات این سازند حساسیت بالایی در مقابل رخداد حرکات لغزشی از خود نشان دادند که علت آن احتمالاً می‌تواند ناشی از سست شدن رسوبات این سازند در اثر هوازدگی باشد. با توجه به شرایط توپوگرافی محدوده‌ی مورد مطالعه و تخریب پوشش گیاهی آن، احتمال آن می‌رود که رسوبات این سازند در معرض مستقیم هوا قرار گیرند و دچار هوازدگی شوند. کمترین زمین‌لغزش‌ها در سازندهای آتش‌فشانی مانند آندزیت و بازالت رخ داده‌اند، زیرا این سازندها در مقابل عوامل فرسایشی و تخریب مقاوم‌اند.

۸. بارندگی: بررسی نقشه‌ی میانگین بارش سالانه (تصویر ۳، ح) نشان می‌دهد که بیشترین زمین‌لغزش‌ها در بارندگی بیشتر از ۳۰۰ میلی‌متر و بیشتر رخ داده‌اند. همان‌طور که قبلاً گفته شد بارندگی بسیار زیاد و بیش از حد باعث شستشوی خاک روی دامنه‌ها، مخصوصاً دامنه‌هایی که از پوشش گیاهی پاک شده است، می‌شود. بارندگی بسیار زیاد و بیش از حد باعث شستشوی خاک روی دامنه‌ها، مخصوصاً دامنه‌هایی که از پوشش گیاهی پاک شده است، می‌شود. با توجه به اینکه پوشش گیاهی در بخش اعظم محدوده‌ی مورد مطالعه از بین رفته است، و اینکه بارندگی نسبتاً زیادی در بخش کوهستانی محدوده‌ی مورد مطالعه رخ می‌دهد، بارندگی از طریق ایجاد گسیختگی در دامنه‌ها می‌تواند منجر به رخداد زمین‌لغزش در محدوده‌ی مورد مطالعه شود. کمترین زمین‌لغزش‌ها در بارندگی تقریباً با میزان ۳۰۰ میلی‌متر

و کمتر رخ داده‌اند، لذا خاک کمتر تحت تأثیر شستشوی ناشی از بارندگی قرار می‌گیرد و در نتیجه خشک باقی می‌ماند.

در کل می‌توان گفت که ارتفاع از طریق هوازدگی در سنگ‌ها و خاک‌ها مصالح مورد نیاز را برای رخداد حرکات لغزشی فراهم می‌کند. این عامل از طریق افزایش در میزان بارندگی موجب خیس و مرطوب ماندن دائمی خاک‌ها می‌شود. همچنین وجود رودخانه‌ها با مرطوب نگه داشتن خاک‌ها و توده‌های لغزشی می‌تواند به این امر کمک کند. در بخش‌های کوهپایه‌ای و کوهستانی از محدوده‌ی مورد مطالعه که جنس زمین از آبرفت‌های ناپایدار و سست باشد، تحت تأثیر عامل شیب به حرکت در می‌آیند. با توجه به وجود گسل‌های فعال در محدوده‌ی مورد مطالعه، در صورت رخداد زلزله این توده‌های لغزشی به سهولت در روی دامنه‌ها به حرکت در می‌آیند و در نتیجه می‌تواند باعث فجایع انسانی، خسارات اقتصادی و تخریب بیشتر محیط زیست شوند. ابعاد این فاجعه هنگامی شدیدتر می‌شود که پوشش گیاهی بومی منطقه در اثر تغییر کاربری زمین و چرای بیش از حد از بین رفته باشد. با توجه به توضیحات فوق و نقشه‌های تهیه شده مشخص گردید که وقوع زمین‌لغزش‌ها ارتباط قابل توجهی با هر یک از معیارهای مورد بررسی دارد.

استان تهران یک منطقه‌ی استراتژیک و قطب فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی محسوب می‌شود و بخش‌هایی از آن که عمدتاً مشتمل بر نواحی پای کوهی و کوهستانی هستند، مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای از نوع لغزش هستند. با توجه به اهمیت این منطقه‌ی استراتژیک اگر حرکات لغزشی در این منطقه رخ دهد می‌تواند پیامدها و عواقب ناگوار و جبران‌ناپذیری را در همه‌ی ابعاد به وجود آورد. لذا ضرورت پایدارسازی دامنه‌ها در این مناطق احساس می‌شود. بررسی پیشینه‌ی تحقیق در ارتباط با موضوع مورد نظر نشان داد که تاکنون در زمینه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش در مقیاس کلان و ماکرو با استفاده از مدل فازی یا مدل‌های دیگر کار علمی و پژوهشی چندانی انجام نشده است، در صورتی که با استفاده از پهنه‌بندی در مقیاس کلان می‌توان به برآورد عمومی از توزیع مکانی فاکتورها و پارامترهای مرتبط با زمین‌لغزش پرداخت. نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مناطق با خطر بالا و آسیب‌پذیر را به‌خوبی نشان می‌دهند که از این نقشه‌ها می‌توان برای برنامه‌ریزی در سطوح محلی، منطقه‌ای و ناحیه‌ای استفاده کرد.

در پژوهش حاضر برای ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش‌ها در مناطق مستعد از ۸ معیار استفاده شد و با استفاده از توابع عضویت فازی، فازی‌سازی شدند و بر اساس عملگر گامای فازی ۰/۹ نقشه‌ی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری تهیه گردید. نقشه‌ی نهایی (تصویر ۵) با نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های استان تهران که توسط گروه پایدارسازی حرکات توده‌ای و تثبیت زمین‌لغزش [۱۲] تهیه شد، مقایسه شد. نتایج این مقایسه نشان از انطباق بالای مدل به کار گرفته شده با نقشه‌ی مذکور دارد. از مزایای مدل فازی هنگامی که با سیستم اطلاعات جغرافیایی ترکیب شود، سرعت بالا در پردازش داده‌ها، کم‌هزینه بودن این روش و دقت بالای این مدل است و خطاهای احتمالی هم که در این نقشه‌ها با استفاده از این مدل به وجود می‌آید، مربوط به روش‌های مختلف فازی‌سازی لایه‌ها و نوع عملگر گامای فازی به کار رفته است. یکی دیگر از مزایای مهم این مدل کاربرد گامای فازی است که اطلاعات را به‌سرعت با هم ترکیب می‌کند. به دلیل ترکیب انعطاف‌پذیر نقشه‌های ورودی با عملگرهای Arc GIS می‌توان حالات مختلف زمین‌لغزش‌ها را مورد ارزیابی قرار داد. البته میزان دقت در محاسبه‌ی نواحی مستعد به وقوع زمین‌لغزش‌ها بستگی به کیفیت داده‌ها و دانش ما بر اساس روابط زمین‌لغزش - چشم‌انداز[۸]، تعریف صحیح توابع و آستانه‌ها دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا همه‌ی نقشه‌های معیارها شامل شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، جهت دامنه، کاربری زمین، فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی و بارندگی با استفاده از توابع عضویت فازی، فازی‌سازی شدند و به صورت نقشه‌های فازی در آمدند. سپس از عملگر گامای ۰/۹ برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری استفاده شد و با توجه به عملگر گامای ۰/۹، نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش برای استان تهران تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد که در حدود ۱۳/۳۱ درصد از محدوده‌ی مورد مطالعه نیز در پهنه‌های با آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. حدود ۱۳/۷۱ درصد در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری متوسط هستند. این مناطق عمدتاً بر نواحی کوهپایه‌ای و کوهستانی قرار گرفته‌اند. ۷۲/۹۴ درصد از مساحت استان تهران در پهنه‌ی با خطر وقوع کم و بسیار کم قرار گرفته است. این نواحی از لحاظ توپوگرافی و اقلیمی شامل شهرها و روستاهای واقع در دشت‌ها و با میزان بارندگی کمتر هستند. علت آسیب‌پذیری زیاد در مناطق کوهپایه‌ای و کوهستانی، عوامل شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، جهت دامنه، کاربری زمین، فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی و بارندگی هستند. بدین صورت که از یک طرف، ارتفاع از طریق هوازدگی در سنگ‌ها و خاک‌ها مصالح مورد نیاز را برای رخداد حرکات لغزشی فراهم می‌آورد، و از طرف دیگر، افزایش ارتفاع موجب افزایش در میزان بارندگی می‌شود که این خود باعث خیس و مرطوب ماندن دائمی خاک‌ها می‌شود. علاوه بر این، وجود رودخانه‌ها با مرطوب نگه داشتن خاک‌ها و توده‌های لغزشی می‌تواند به این امر کمک کند. در بخش‌های کوهپایه‌ای و کوهستانی این مواد هوازده، خیس و مرطوب که به صورت توده‌های لغزشی درآمده‌اند، تحت تأثیر شیب به حرکت در می‌آیند. با توجه به وجود گسل‌های فعال در محدوده‌ی مورد مطالعه، در صورت رخداد زلزله این توده‌های لغزشی به سهولت در روی دامنه‌ها به حرکت در می‌آیند و می‌توانند هر چه را که در سر راه خود قرار دارند مدفون و نابود سازند. ابعاد این فاجعه هنگامی شدیدتر می‌شود که پوشش گیاهی بومی منطقه در اثر تغییر کاربری زمین و چرای بیش از حد از بین رفته باشد. بنابراین، به منظور جلوگیری از این خسارات، بهترین راه دوری جستن از این نواحی و جلوگیری از ساخت و سازهای بی‌رویه است. اما از آنجایی که همیشه این امر امکان‌پذیر نیست، پیشنهاد می‌شود اقدام به پایدارسازی دامنه‌ها

از طریق احداث دیوارهای حایل، گابیون‌بندی و تقویت پوشش گیاهی شود.

در اینجا برای این‌که این نقشه‌های پهنه‌بندی با دقت بالا تهیه گردند پیشنهادهایی ارائه می‌گردد:

۱. دقت و صحت مرزها در نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به دقت نقشه‌های پایه بستگی دارد. لذا استفاده از داده‌های با دقت بالا توصیه می‌شود.

۲. به دلیل اینکه اکثر سیستم‌های ژئومورفولوژیک که در آن‌ها فرایندهای مخاطره‌آمیز مانند زمین‌لغزش‌ها روی می‌دهد، سیستم‌هایی پیچیده و غیرخطی هستند و پارامترها و شاخص‌های مربوط به زمین‌لغزش‌ها فازی هستند و همچنین قطعیتی در مرزهای این پهنه‌ها وجود ندارد، لذا استفاده از مدل‌ها و فن‌های جدیدی که پهنه‌ها را به صورت نسبی و تدریجی نشان دهند مانند مدل فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، روش رگرسیون چند متغیره و روش شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم[9] در این رابطه به جای استفاده از مدل‌های ریاضی کلاسیک توصیه می‌شود.

۳. دقت بالا در محاسبه‌ی نواحی مستعد به وقوع زمین‌لغزش‌ها بستگی به کیفیت دانش ما بر اساس روابط زمین‌لغزش -چشم‌انداز و همچنین توانایی نرم‌افزار Arc GIS دارد. لذا مشاهدات میدانی، بررسی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی در بالاتر بردن کیفیت این روش نقش بسزایی دارد.

نقشه‌های پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع زمین‌لغزش قابلیت استفاده در بسیاری از سازمان‌ها و نهادهای مرتبط با مدیریت و برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای را دارند، زیرا در این نقشه‌ها با شناخت نواحی مستعد انواع حرکت‌های لغزشی می‌توان از خسارات و مخاطراتی که کاربری‌های مختلف شهری (مسکونی، تجاری و یا صنعتی) را تهدید می‌کنند، ممانعت به عمل آورد.

۴. در زمینه‌ی ارزیابی خطر وقوع زمین‌لغزش علاوه بر پهنه‌بندی اقدام به روش‌های محاسبات اولیه‌ی ریسک مانند توابع احتمال خطر آسیب‌پذیری، در معرض قرارگیری و تابع (ارزش‌های المان‌های قرار گرفته در ریسک) توصیه می‌شود.

پی‌نوشت

1- Gorsevski
2- Lee
3- Shahabi
4- Sharifi
5- Gemitzi
6- Roslee
7. Fuzzy
8. Landscape- Landslide
9. Wireless Sensor Networks

منابع

۱. هادی مصلح، مژگان؛ خان لری، غلامرضا (۱۳۸۶). *بررسی رخداد سنگ لغزش در جاده‌ی فشم .میگون به روش تحلیل برگشتی*. چاپ در مجموعه مقالات پنجمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، ۴۰۴. ۳۹۷.

۲. پورقاسمی، حمیدرضا؛ مرادی، حمیدرضا؛ فاطمی عقدا، سید محمود؛ محمدی، مجید (۱۳۸۵). *مقدمه‌ای بر منطق فازی و کاربرد آن در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش*. مجموعه مقالات همایش منابع طبیعی توسعه‌ی پایدار در عرصه‌های جنوبی دریای خزر، ۸۵۰- ۸۵۸.

۳. عظیم‌پور، علیرضا؛ صدوق، حسن؛ دلال‌اوغلی، علی؛ ثروتی، محمدرضا (۱۳۸۸). ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزه (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز اهرچای). *مجله‌ی علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی*، شماره‌ی ۲۶ (۸)، ۷۱- ۸۷.

4. Gorsevski, Pece V., Piotr Jankowski, Paul., Gessler, E (2005). Spatial Prediction of Landslide Hazard Using Fuzzy k-means and Dempster-Shafer Theory, Transactions in GIS, Blackwell Publishing Ltd 9(4), 455- 474.

5. Lee, S (2007). Application and verification of fuzzy logic to landslide susceptibility mapping. *Journal of Environ Geol*, 52(4), 615- 623.

6. Shahabi. Himen (2010). Landslide Hazard Investigation in Saqqez Marivan main road in Kurdistan province, *The [1] st International Applied Geological Congress*, pp. 26-28.

7. Sharifi, R., Uromeihy, A., Ghorashi, M (2011). Fuzzy logic model in landslide hazard zonation based on expert judgment, *International Journal of Fundamental Physical Sciences*, 1(4), pp. 95-98.

8. Gemitzi, A., Falalakis, G., Petalas, C (2011). Evaluating Landslide Susceptibility Using Environmental Factors, *Fuzzy Membership Functions And GIS. Journal of Global NEST,* 13(1), pp.28- 40.

9. Roslee, Rodeano., Tajul., Jamaluddin, Anuar., Mustapa Abd, Talip (2012). Landslide Susceptibility Mapping (LSM) at Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia using Factor Analysis Model (FAM). *Journal of Advanced Science and Engineering Research*, 2(1), 80-103.

۱۰. فتاحی اردکانی، محمدعلی، غیومیان، جعفر، جلالی، نادر (۱۳۸۲). ارزیابی کار آیی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز سد لتیان. *مجله‌ی زمین‌شناسی مهندسی*، شماره‌ی ۱(۱)، ۲۵-۴۲.

۱۱. شریفی، رحمان (۱۳۸۳). *تحلیلی بر مقایسه‌ی دو روش نیل سون و اصلاح‌شده‌ی آن در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبخیز حسن‌آباد کال پوش شاهرود)*، چاپ در مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، ۲۰۳- ۲۱۳.

۱۲. گزارش گروه فرسایش و تثبیت حرکات توده‌ای (۱۳۸۶). ۱۴۱ صفحه.

۱۳. نصر آزادانی، احمد، شیرانی، کوروش (۱۳۸۸). *ارزیابی و مقایسه‌ی روش‌های پهنه‌بندی آماری دومتغیره، با استفاده از GIS (مطالعه‌ی*

موردی: حوضه‌ی آبخیز دز علیا)، چاپ در مجموعه مقالات شانزدهمین همایش ژئوماتیک ۸۸، ۵۰- ۶۵.

۱۴. عبد الخانی، علی؛ جمالی، علی‌اکبر (۱۳۸۸). *کاربرد GIS و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و مقایسه‌ی ارجحیت عوامل مؤثر در ایجاد لغزش (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز مشاد یزد)*، چاپ در مجموعه مقالات شانزدهمین همایش ژئوماتیک ۸۸، دانشگاه تهران، ۱۰۰- ۱۱۵.

۱۵. مصفایی، جمال؛ اونق، مجید؛ مصداقی، منصور؛ شریعت جعفری، محسن (۱۳۸۸). مقایسه‌ی کارایی مدل‌های تجربی و آماری پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه‌ی موردی: آبخیز الموت رود)، *مجله‌ی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، شماره‌ی ۴ (۱۶)، ۴۳-۶۱.

۱۶. متکان، علی‌اکبر، سمیعا، جلال، پور علی، سید حسین، صفایی، مهرداد (۱۳۸۸). مدل‌های منطق فازی و سنجش از دور جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز لاجیم. *فصلنامه‌ی زمین‌شناسی کاربردی*، شماره‌ی ۴ (۵)، ۳۱۸- ۳۲۵.

۱۷. رهنما راد، جعفر؛ یادگار زایی، محمدحسن؛ کنگی، عباس (۱۳۸۹). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه‌ی اسکل‌آباد خاش با استفاده از روش آماری دومتغیره و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *فصلنامه‌ی زمین‌شناسی کاربردی*، شماره‌ی ۴ (۶)، ۲۵۷- ۲۷۷.

۱۸. بهشتی راد، مسعود؛ فیض نیا، سادات؛ سلاجقه، علی؛ احمدی، حسن (۱۳۸۹). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها با مدل رگرسیون چند متغیره با استفاده از GIS. *فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی*، شماره‌ی ۷ (۳)، ۳۳- ۴۰.

۱۹. علایی طالقانی، محمود؛ رحیم‌زاده، زهرا (۱۳۸۹). شبیه‌سازی احتمال وقوع لغزش در حوضه‌ی آبخیز جوانرود با مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) با تأکید بر ویژگی‌های مورفولوژی. *مجله‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، شماره‌ی ۴ (۴۴)، ۵۳-۷۲.

۲۰. قنواتی، عزت‌الله (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر لغزش در حوضه‌ی جاجرود با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی. *نشریه‌ی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، شماره‌ی ۲۰ (۱۳)، ۵۱ - ۶۸.

۲۱. عابدینی، موسی؛ فتحی، محمدحسین (۱۳۹۳). پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز خلخال چای با استفاده از مدل‌های چند معیاره. *مجله‌ی پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، شماره‌ی ۴ (۸)، ۷۱- ۸۵.

22. Pradhan, B (2011). An Assessment of the Use of an Advanced Neural Network Model with Five Different Training Strategies for the Preparation of Landslide Susceptibility Maps. *Journal of Data Science, No. 9*, pp. 65- 81.

۲۳. گزیده نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۵، ۴۴ صفحه.

۲۴. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۹۱). مدل رقومی ارتفاع استان تهران.

۲۵. سازمان زمین‌شناسی تهران (۱۳۹۱). نقشه‌ی رقومی شده‌ی زمین‌شناسی استان تهران.

۲۶. سازمان جنگل‌ها و مراتع (۱۳۹۱). نقشه‌ی رقومی شده‌ی کاربری زمین استان تهران.

۲۷. سازمان هواشناسی کشور (۲۰۱۰). آمار ایستگاه‌های اقلیمی استان تهران.

28. Zadeh, Lotfi Askar (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338-353.

29. Farhudi, R., Pour Ahmad, A., Habibi, Q (2006). Using Fuzzy Logic and GIS for Site Selection of Solid Disposal, Fine Art Issue, No. 23, PP.15-24.