



ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ترکیبی FUZZY-AHP در راستای توسعه و امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه یک کلان‌شهر تهران)

مرتضی کریمی^{۱*}، اسماعیل نجفی^۲

۱- *نویسنده مسئول: عضو هیئت علمی، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، mkarimi35@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه خوارزمی، کرج، najafi.geo@gmail.com

چکیده

کلان‌شهرهای امروزی، در نقاط مختلف دنیا به دلایل متعدد همواره در معرض آسیب ناشی از مخاطرات طبیعی قرار دارند، یکی از انواع ناپایداری‌های دامنه‌ای که هر ساله خسارات مالی و جانی فراوانی را بر سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی وارد می‌کند، زمین‌لغزش است. در حال حاضر نیز هر ساله ده‌ها زمین‌لغزش در نقاط مختلف کشور رخ می‌دهد و مناطق مسکونی، راه‌ها و تأسیسات بسیاری را مورد تهدید قرار می‌دهد. روش تحقیق بر پایه روش توصیفی-تحلیلی و با انجام مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی و استفاده از GIS و مدل ترکیبی (FUZZY-AHP) و به کمک نرم‌افزار Expert Choice به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه یک شهر تهران پرداخته شده است و به دنبال پاسخ به این سؤال است که فرآیندها و مخاطرات ژئومورفولوژیک زمین‌لغزش محدودکننده توسعه و امنیت منطقه یک کلان‌شهر تهران کدام هستند؟ نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نشان می‌دهد که در آن، مناطق دارای خطر کم و خیلی کم که ۵۰ درصد محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد، بیشتر منطبق بر محدوده شهری منطقه یک و خط القعر آبخیزهای منطقه یک می‌باشند. ولی مناطق دارای خطر خیلی زیاد و زیاد بیشتر منطبق بر قسمت‌های شمالی و مرکزی محدوده و مناطق دامنه‌ای مسلط بر منطقه یک می‌باشند. به طور کلی، هر چه از بالادست و شمال حوضه‌ها به سمت پایین‌دست و جنوب آبخیزهای منطقه یک، حرکت کنیم از میزان خطر زمین‌لغزش کم می‌شود. با توجه به نقشه نهایی به دست آمده از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و در راستای توسعه و امنیت شهری باید از ساخت و ساز در محدوده با خطر بسیار زیاد و زیاد و آبخیزهای دارای دامنه‌های پرشیب و دارای پتانسیل زمین‌لغزش و همچنین حریم رودها در منطقه یک ممانعت به عمل آید و بایستی همه کاربری‌های مختلف شهری از جمله کاربری‌های مسکونی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مهندسی پایدار شوند.

واژه‌های کلیدی:

ارزیابی، خطر زمین‌لغزش، مدل ترکیبی FUZZY-AHP، امنیت، منطقه یک

۱- مقدمه

زمین لغزش^۱ و حرکت‌های توده‌ای^۲ خاک و مواد دامنه‌ای، شکلی از فرآیندهای ژئومورفولوژیکی هستند و از دیدگاه مدیریت مخاطرات طبیعی^۳ نوع خاصی از سوانح طبیعی قلمداد می‌شوند. وقوع این نوع پدیده‌ها هر ساله در بخش‌هایی از کشور ما و همچنین سایر نقاط جهان، خسارات جانی، مالی و زیست‌محیطی قابل‌توجهی را به همراه دارد. حرکت توده‌ای شامل کلیه جابجایی‌ها و جداشدگی‌های خاک و مواد سنگی به سمت پایین دامنه‌هاست و انواع مختلفی دارد که لغزش‌ها یکی از رایج‌ترین آن‌هاست.

کلان‌شهرهای امروزی، در نقاط مختلف دنیا به دلایل متعدد همواره در معرض آسیب ناشی از مخاطرات طبیعی قرار دارند. این مخاطرات که آسیب‌های جانی و مالی فراوانی را با خود به همراه دارند، نیازمند پیشگیری‌ها و اقدامات فوری می‌باشند. بر مبنای برنامه استراتژیک بین‌المللی کاهش بلایای سازمان ملل متحد^۴، کلیه مخاطرات دو منشأ متفاوت دارند: الف) مخاطرات طبیعی، (ب) مخاطرات ناشی از فناوری یا مخاطرات ناشی از فعالیت انسان (ساسان‌پور و موسیوند، ۱۳۸۹؛ Mose & Pathranakul, 2006). یکی از انواع ناپایداری‌های دامنه‌ای که هر ساله خسارات مالی و جانی فراوانی را بر سیستم‌های اقتصادی- اجتماعی و زیست‌محیطی وارد می‌کند، زمین‌لغزش است. در حال حاضر نیز هر ساله ده‌ها زمین‌لغزش در نقاط مختلف کشور رخ می‌دهد و مناطق مسکونی، راه‌ها و تأسیسات بسیاری را مورد تهدید قرار می‌دهد. استان‌های گیلان، مازندران، اردبیل، فارس، چهارمحال بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، لرستان و تهران از مهم‌ترین مناطق وقوع زمین‌لغزش در کشور هستند. حجم سنگین خسارات و تلفات ناشی از لغزش‌ها که به خاطر رشد و توسعه فعالیت‌های بشری در سال‌های اخیر، مسأله پیش‌بینی و کنترل این پدیده مخرب را پیچیده نموده و آن را در اولویت کاری بسیاری از کشورها قرار داده است. به همین خاطر چگونگی ارزیابی خطر زمین‌لغزش و روش‌های مختلف آن در منابع متعدد مورد بررسی قرار گرفته است. در اغلب منابع زمین‌لغزش را مترادف با حرکات توده‌ای قلمداد می‌کنند (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۸۹). بنابراین با شناسایی و پهنه‌بندی مناطق پرمخاطره می‌توان تا حدی از خطر وقوع و خسارات زمین‌لغزش‌ها کاست. شهر تهران به عنوان یک کلان‌شهر و پایتخت ایران، با جمعیتی در حدود ۱۲ میلیون نفر می‌باشد که با قرارگیری در معرض ارتفاعات و گسل‌ها دارای مخاطرات و محدودیت‌های ژئومورفولوژیک متنوعی می‌باشد و در این پژوهش با رویکرد توصیفی- تحلیلی، به ارزیابی خطر زمین‌لغزش در منطقه یک کلان‌شهر تهران، پرداخته می‌شود، و به دنبال پاسخ به این سؤال است که فرآیندها و مخاطرات ژئومورفولوژیک زمین‌لغزش محدودکننده‌ی توسعه و امنیت منطقه یک کلان‌شهر تهران کدام هستند؟

پیشینه پژوهش

بیناهی^۵ و همکاران (۱۹۹۸)، در ایتالیا با استفاده از دو روش فاکتور اطمینان و تئوری فازی به ارزیابی و مقایسه خطر لغزش پرداختند. در این مطالعه ۶ عامل موثر بر زمین‌لغزش از قبیل زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، جهت، فاصله از گسل و فاصله از شبکه آبراهه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که دو روش فوق پتانسیل بالایی در تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش

^۱ Land slide^۲ Mass Movement^۳ Natural Hazard^۴ International Strategy For Disaster Reduction^۵ Binaghi

به خصوص در مناطق با لایه‌های اطلاعاتی محدود، دارا می‌باشند. مقایسه این دو روش نشان داد که مدل فاکتور اطمینان با تعیین ۸۷،۸۸ درصد در ارزیابی خطر زمین لغزش با ضریب Kappa ۰،۸۷۱ از تئوری فازی Dempster-Shafer با ۸۸،۳۳ درصد در ارزیابی خطر لغزش با ضریب Kapps ۰،۷۸۳ کارایی بالاتری برخوردار است.

ژيانگ^۶ و همکاران (۲۰۰۱)، با استفاده از مدل‌های فازی (FCA^۷) و (SFC^۸) و (FSM^۹) در مالزی به ارزیابی خطر بلایای طبیعی از جمله سیل پرداختند و نشان دادند که استفاده از روش‌های فازی فوق برای ارزیابی آسان و موثر خطر سیل می‌تواند مطلوب باشد.

کای^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۲)، در کشور کره به منظور تهیه نقشه خطر زمین لغزش از منطق فازی استفاده کردند. در این تحقیق از شبکه‌های استنتاج فازی با عملکردهای مختلف، به ویژه ترکیبی از عملکردهای Or و γ (گاما) استفاده گردید. اعتبارسنجی مدل بر روی بخش کوچکی از منطقه مورد مطالعه انجام و سپس شبکه‌های استنتاج فازی مختلف در انتخاب مقادیر گاما مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که تئوری مجموعه فازی با روش‌های کمی پهنه‌بندی و ترسیم نقشه خطر زمین لغزش تفاوت زیادی داشته و از انعطاف‌پذیری نسبت به آن برخوردار است.

کلایر^{۱۱} و دیگران (۲۰۰۲)، در بریتیش کلمبیا، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی را برای پیش‌بینی نواحی درگیر با زمین لغزش مورد استفاده قرار دادند و نشان دادند که استفاده از این روش می‌تواند نقشه‌های استانداردتری به منظور دسترسی به مدل صحیح برای مطالعه زمین لغزش‌ها به دست دهد.

ارکان اوقلو و گوکسی اقلو^{۱۲} (۲۰۰۲)، در شمال غربی ترکیه به ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش با استفاده از مجموعه‌های فازی و قوانین اگر-آنگاه پرداختند. در این تحقیق، ابتدا با مطالعات صحرایی لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه ثبت گردید. سپس هر یک از پارامترهای موثر در وقوع لغزش از قبیل درجه شیب، کاربری اراضی، عمق هوازدگی، سطح ایستایی و ارتفاع از سطح دریا وزن‌دهی و نقشه‌های هر یک از عوامل بر اساس منطق فازی تهیه گردید. با همپوشانی نقشه‌های مذکور، نقشه نهایی خطر زمین لغزش به دست آمد. نتایج نشان داد که ۵۳ درصد لغزش‌های اتفاق افتاده در کلاس‌های حساسیت بالا به خطر لغزش قرار دارند.

ارکان اوقلو و گوکسی اقلو (۲۰۰۴)، در ترکیه از روابط فازی در تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش برای مناطق مستعد به لغزش استفاده کردند. در این تحقیق ابتدا با مطالعات صحرایی و عکس‌های هوایی مناطق لغزشی را شناسایی و پس از تهیه نقشه هر یک از پارامترهای مؤثر بر لغزش، داده‌ها وارد برنامه کامپیوتری FULLSA گردید. این برنامه به طور اتوماتیک و با توجه به روابط فازی موجود نقشه حساسیت به زمین لغزش منطقه را ارائه می‌دهد. نتایج نشان داد که ۶،۹ درصد از منطقه

² Jiong

³ Fuzzy comprehensive assessment

⁴ Simple fuzzy classification

⁵ Fuzzy similarity method

⁶ Chi

⁷ klayer

⁸ Arkanoglu and Gokceoglu Ercanoglu

حساسیت خیلی بالا، ۱۰،۳ درصد حساسیت بالا، ۸،۹ درصد متوسط، ۲۷،۵ درصد حساسیت کم و ۴۳،۸ درصد حساسیت بسیار کمی به لغزش دارند.

ژوو^{۱۳} و همکاران (۲۰۰۴)، در سه منطقه چین به تهیه نقشه حساسیت به خطر زمین لغزش با استفاده از GIS، قضاوت کارشناسی و منطق فازی پرداختند. در این تحقیق، مفاهیم منطق فازی به منظور تهیه نقشه خطر لغزش به صورت مقادیر عضویت فازی (کلاس های مختلف حساسیت پذیری به لغزش) ارائه و از موتور استنتاج فازی به منظور تخمین درجه عضویت فازی برای عوامل موثر بر لغزش از قبیل زمین شناسی، توپوگرافی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی استفاده گردید. نتایج نشان داده که درجه عضویت تخمین زده شده در تهیه نقشه خطر لغزش بسیار مناسب بوده، اگرچه می بایست خاطرنشان کرد که کارایی عضویت فازی در ارائه نقشه لغزش تا حد زیادی به دانش متخصصان و به کارگیری تکنیک های سنجش از دور سیستم اطلاعات جغرافیایی در بررسی شرایط زیست محیطی دارد.

اسهرنتر^{۱۴} (۲۰۰۵)، در منطقه ریوپلانگو کشور نیکاراگوئه به آنالیز و تهیه نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی پرداخت. در این تحقیق توپوگرافی، زمین شناسی، بافت خاک و پوشش گیاهی به عنوان عوامل موثر بر زمین لغزش انتخاب و با استفاده از عملگر فازی گاما وزن دهی گردیدند. مقادیر مختلفی از عملگر فازی گاما (۰،۵، ۰،۷ و ۰،۸) برای تهیه نقشه خطر لغزش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملگر فازی گاما با مقدار $\Omega = ۰،۸$ بهترین شکل نقشه حساسیت به لغزش را در منطقه مورد مطالعه نشان داده است.

گورسوسکی^{۱۵} و همکاران (۲۰۰۶)، به منظور تهیه نقشه خطر زمین لغزش، از منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. در این تحقیق از مقایسه دو به دو و متعاقب آن اجتماع توابع ترکیب وزنی خطی و وزنی متوسط مرتب شده جهت تهیه نقشه خطر زمین لغزش استفاده گردید. استانداردسازی داده ها با روش فازی و وزن دهی معیارها با روش تحلیل سلسله مراتبی صورت گرفت. نتایج نشان داد که این روش به علت انعطاف پذیری و دقت بالایی که دارد، می تواند به عنوان یک ابزار در تصمیم گیری و تهیه نقشه خطر لغزش موثر واقع شود.

کانونگو^{۱۶} و همکاران (۲۰۰۶)، در کوه های هیمالیا جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش از شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی و ترکیب عصبی-فازی در وزن دهی به هر یک از عوامل موثر بر زمین لغزش منطقه استفاده نمودند. در این تحقیق عوامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، پوشش گیاهی و کاربری اراضی به عنوان عوامل موثر بر خطر زمین لغزش در منطقه مشخص و وزن دهی به هر یک از عوامل با روش های مذکور صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که نقشه خطر زمین لغزش تهیه شده با روش عصبی-فازی به مراتب دقت بیشتری از دو روش شبکه عصبی و منطق فازی داشته است و ۲،۳٪ از کل مناطق در پهنه های خطر خیلی زیاد قرار گرفته اند که محتوای ۳۰،۶٪ از لغزش های موجود در منطقه بوده است.

¹ Zhu

² Schernthanner

³ Gorsevski

¹ Kanungo

سری^{۱۷} و همکاران (۲۰۰۶)، با استفاده از روش منطق فازی اقدام به ارزیابی مناطق مستعد زمین لغزش در دامنه‌های شمالی آلپ در فرانسه نموده است و استفاده از روش منطق فازی را به علت دقت بالا و سنجش خروجی با عملگرهای منطق فازی مناسب معرفی، و ترکیب عملگر sum و عملگر γ برای تولید نقشه زمین لغزش را به عنوان بهترین ترکیب معرفی می‌کند.

یالسین^{۱۸} (۲۰۰۷)، در پهنه‌بندی و تهیه نقشه مناطق مستعد زمین لغزش در منطقه آردسن ترکیه با استفاده از AHP به این نتیجه رسیده است که پهنه‌بندی با مدل AHP بیش‌ترین تطابق را با واقعیات موجود دارد.

در سطح ایران

کرم (۱۳۸۳)، از طریق تفسیر عکس‌های هوایی و بررسی‌های میدانی، زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه سرخون در شهرستان اردل در استان چهارمحال و بختیاری شناسایی کرده و با استفاده از ۱۰ معیار مؤثر در لغزش زمین (شامل شیب زمین، جهت دامنه، پوشش زمین، فاصله تا گسل‌های اصلی، شاخص سبزینگی، شاخص تراکم پوشش گیاهی، بارش سالانه، جنس زمین، فاصله با راه‌های اصلی و فاصله با رودخانه) پتانسیل وقوع زمین لغزش در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و با مدل ترکیب خطی وزن، ارزیابی کرده و نقشه‌ی پهنه‌بندی وقوع زمین لغزش در حوزه آبخیز سرخون را به صورت کمی مدل‌سازی و پهنه‌بندی کرده است. برای استانداردسازی داده‌ها از روش فازی و برای وزن‌دهی به معیارها از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرده است. یافته‌های حاصل از پهنه‌بندی نشان می‌دهد که حدود ۳۸ درصد از اراضی محدوده مورد بررسی، پتانسیل بالایی برای وقوع زمین لغزش دارا بوده‌اند.

شادفر و همکاران (۱۳۸۴)، با در نظر گرفتن عواملی همچون، شیب، جهت دامنه، طبقات ارتفاعی، گسل‌ها، شبکه آبراهه‌ای، راه‌های ارتباطی و سنگ‌شناسی، حوضه آبخیز چالکرو تنکابن را با استفاده از روش AHP از نظر خطر وقوع زمین لغزش پهنه‌بندی نموده و پس از تطبیق مدل تهیه‌شده با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها بیان داشته‌اند که این روش به دلیل دخالت دادن تعداد زیادی از عوامل در مقایسه با سایر روش‌های پهنه‌بندی نتیجه بهتری را ارائه می‌دهد.

فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۴)، با توجه به خصوصیات ژئومورفولوژیکی منطقه رودبار عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در منطقه انتخاب و با استفاده از منطق فازی به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه رودبار پرداخته است و استفاده از روش فازی را به دلیل دقت بالای آن توصیه کرده‌اند.

پیریایی (۱۳۸۵)، در پهنه‌بندی خطر حرکات دامنه‌ای در حوضه جاجرود به روش رگرسیون لجستیک و GIS توانسته به کمک این روش آماری در منطقه و حوضه مورد مطالعه عوامل مؤثر بر حرکات دامنه‌ای را بررسی و مطالعه و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را تهیه نماید.

پورقازی و همکاران (۱۳۸۶)، با استفاده از نظریه مخروط افت مسیر جاده چالوس (پل زنگوله مرزن‌آباد) را مورد ارزیابی خطر سنگ‌ریزش قرار دادند. آن‌ها برای ارزیابی بهتر و دقیق‌تر سنگ‌ریزش در مسیر راه، منطقه مورد مطالعه را به سه قسمت تقسیم کردند و از ۴۷ ایستگاه برداشت در طول مسیر استفاده نمودند و همچنین از ۵۳ محل برخورد سنگ ریزش ثبت‌شده در مسیر

² Thierry

³ Yalcin

راه به عنوان نقاط شاهد استفاده کردند. برای دو زاویه بحرانی ۴۰ و ۴۵ درجه نقشه پهنه‌بندی خطر سنگ ریزش را تهیه نمودند. نتایج نشان داد که خطر سنگ ریزش رابطه مستقیمی با شیب دامنه‌های سنگی و شرایط توپوگرافی آن دارد.

احمدی و همکاران (۱۳۸۷)، به شبیه‌سازی ارزیابی آورد رودخانه با استفاده از نظام استنتاج فازی در برآورد رسوب معلق در حوضه طالقان که سال به منظور دستیابی به تخمینی نزدیک به واقعیت از میزان رسوبات حمل شده توسط رودخانه‌ها انجام شد در این کار محققان از روش فازی بهره جستند و نشان دادند که روش فازی توان تشخیص محدوده‌ی زمانی و وقوع تغییرات رژیم رسوبی را در رودخانه دارا می‌باشد و می‌تواند به عنوان طریقی مؤثر و کارآمد جهت تصمیم‌گیری در خصوص مسایل رسوب‌گذاری و فرسایش حوضه آبخیز مورد استفاده قرار گیرد.

متکان و همکاران (۱۳۸۸)، با استفاده از پارامترهایی چون زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، ارتفاع، جهت شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، پوشش گیاهی و کاربری اراضی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز لاجیم-رود پرداخته‌اند و وزن پارامترهای مؤثر جهت استخراج توابع عضویت فازی، از روش فراوانی نسبی وقوع زمین‌لغزش محاسبه شده است در این تحقیق مشخص شده است که مدل گامای فازی و مدل میانگین وزنی مرتب شده‌ی فازی دارای کمترین تغییرپذیری و انحراف از معیار در مدل‌سازی نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشند.

پورقاسمی و همکاران (۱۳۸۸)، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی فازی بخشی از حوضه آبخیز هراز را مورد ارزیابی خطر زمین‌لغزش قرار داد. آن‌ها در این ارزیابی عوامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده را به عنوان عوامل مؤثر در خطر زمین‌لغزش مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد ۲۹,۴۲ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای حساسیت خیلی زیاد، ۳۲,۱۹ درصد حساسیت زیاد، ۳۰,۳۶ درصد متوسط و ۸,۰۴ درصد حساسیت کمی را از نظر پتانسیل بروز زمین‌لغزش دارند.

شمسی‌پور (۱۳۸۹)، طی مطالعه‌ای تحت عنوان پهنه‌بندی مناطق حساس و آسیب‌پذیر محیطی در غرب استان فارس با استفاده از داده‌های حاصل از مدل‌سازی معیارها و لایه‌های مؤثر محیطی با روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و طبقه‌بندی با روش فازی با کمک قابلیت‌های مدل‌سازی و تحلیل‌های مکانی بالای GIS میزان آسیب‌پذیری منطقه از لحاظ استعداد بروز زمین‌لغزش را مورد مطالعه و در نهایت اقدام به پهنه‌بندی استعداد بروز زمین‌لغزش در این منطقه نمود.

ساسان‌پور و همکاران (۱۳۹۰)، با هدف تحلیل ژئومورفولوژیکی توسعه شهری و آسیب‌پذیری ناشی از حرکات زمین‌لغزش با استفاده از مدل وزن‌دهی چند معیاره در حوضه رود دره فرحزاد توسعه کاربری‌های شهری در مناطق لغزشی را تحلیل کردند نقشه نهایی حاصل از مدل نشان داد که شرایط ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی دامنه‌های پرشیب در امر توسعه شهری تهران لحاظ نشده است.

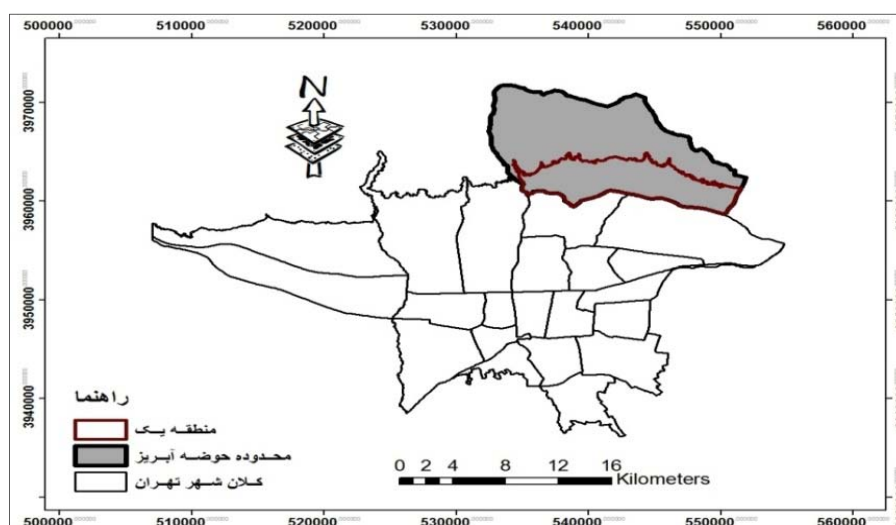
قنواتی (۱۳۹۰)، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی حوضه جاجرود را پهنه‌بندی نمود. او در این پهنه‌بندی عوامل شیب، جهت شیب، مدل ارتفاعی راقومی، زمین‌شناسی، فاصله از گسل و بارندگی را به عنوان عوامل مؤثر در خطر زمین‌لغزش مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل نشان داد که بیش از ۶۲٪ از مساحت حوضه جاجرود در پهنه‌های خطر زیاد و بسیار زیاد لغزش واقع شده‌اند.

صفاری و اخدر (۱۳۹۱)، با استفاده از مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی، جاده ارتباطی مریوان- سنجند را مورد پهنه‌بندی خطر زمین لغزش قرار دادند. به این منظور معیارهای، ارتفاع، شیب، فاصله از گسل، واحدهای سنگ‌شناسی، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از جاده، نوع کاربری اراضی، پوشش گیاهی، خاک و بارش را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که از میان دو روش مورد بحث، استفاده از مدل نسبت فراوانی به دلیل فازی‌سازی مناسب هر معیار با استناد به نقشه‌های پراکنش زمین لغزش‌های رخ داده و نحوه تفکیک روش مناسب‌تری برای پهنه‌بندی زمین لغزش‌ها در این جاده ارتباطی محسوب می‌شود.

۲- مواد و روش

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر تهران در ۵۱ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد بین ۱۸۰۰ متر در شمال تا ۱۲۰۰ متر در مرکز و ۱۰۵۰ متر در جنوب متغیر است. تهران در بین دو وادی کوه و کویر و در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز گسترده شده است. از جنوب به کوه‌های ری و بی‌شهریان و دشت‌های هموار شهریار و ورامین و از شمال توسط کوهستان محصور شده است (مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، ۱۳۸۷). منطقه یک شهرداری تهران با مساحت ۳۶۰۴ هکتار، شمالی‌ترین منطقه تهران به شمار می‌رود به طوری که مرز شمالی آن بر مرز شمال تهران (خطوط ارتفاعی ۱۸۰۰ متر) منطبق است. این منطقه از غرب توسط رود - دره درکه با منطقه ۲، از جنوب توسط بزرگراه چمران، مدرس و صدر با منطقه ۳ و از جنوب شرقی توسط بزرگراه ازگل با منطقه ۴ شهرداری تهران هم مرز است. کاربری عمده در منطقه یک مسکونی است و حضور کاربری‌های فرامنطقه‌ای و فراشهری به ویژه کاربری‌های دیپلماتیک و گردشگری در منطقه از اهمیت برخوردار می‌باشد و جمعیت آن همواره در حال افزایش است (مهندسین مشاور بافت شهر، ۱۳۸۴: ۲). این منطقه از عوارض طبیعی چون رود دره، تپه و کوه‌هایی برخوردار می‌باشد که از جهات گوناگون اسباب عدم توسعه و امنیت و یا در مواردی توسعه را فراهم آورده است (شکل ۱).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

روش پژوهش توصیفی-تحلیلی، با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای (اسناد، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، عکس هوایی و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth) و میدانی از طریق مدل ترکیبی FUZZY- AHP و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه یک شهر تهران پرداخته شده است. معیارهای به کار گرفته‌شده جهت ارزیابی و پهنه‌بندی شامل، کاربری اراضی، شیب، ارتفاع، فاصله از شبکه زهکشی، زمین‌شناسی (لیتولوژی)، فاصله از گسل‌ها و فاصله از زمین‌لغزش‌های قدیمی می‌باشند.

۲-۲- پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه یک کلان شهر تهران

پهنه‌بندی از جمله تحلیل‌های مکانی است که تأثیر فراوانی در کاهش هزینه‌های ایجاد و راه‌اندازی فعالیت‌های مختلف دارد به همین دلیل یکی از مراحل مهم و اثرگذار در پروژه‌های اجرایی به شمار می‌رود. برای اجرای یک پهنه‌بندی موفق، لازم است کلیه عوامل مؤثر در سطح منطقه مطالعاتی بررسی شود و پهنه‌های مناسب در قالب خروجی فرآیند پهنه‌بندی در اختیار مدیران و تصمیم‌گیرندگان نهایی قرار گیرد تا این افراد نیز بر اساس سیاست‌های موجود و اولویت‌های هر یک از نتایج، گزینه‌های مناسب را انتخاب می‌کنند. تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی به عنوان نظریه‌ای ریاضی برای مدل‌سازی و صورت‌بندی ریاضی ابهام و عدم دقت موجود در فرآیندهای شناختی انسانی ابزارهای بسیار کارآمد و مفیدی برای این منظور به شمار می‌رود (Lootsma, 2005). این نظریه که نخستین بار توسط پروفسور لطفی‌زاده دانشمند ایرانی‌الاصل دانشگاه کالیفرنیا در سال ۱۹۶۵ مطرح شد، حوزه‌های بسیار از علوم مختلف و به ویژه دانش برنامه‌ریزی شهری و شهرسازی را فرا گرفته است (امینی فسخودی، ۱۳۸۴). فرایند تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP) یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری چندگانه است. چرا که این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد (قدسی پور، ۱۳۸۵). فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از روش‌های ارزیابی و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاری است که کاربرد وسیعی در علوم زمین و برنامه‌ریزی فضا و محیط دارد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی در دهه‌ی ۷۰ میلادی به وسیله ساتی ابداع شد (Saaty, 1980) و بعدها به وسیله سایر محققین در ارزیابی‌ها و برنامه‌ریزی‌ها مورد استفاده قرار گرفت (کرم و محمدی، ۱۳۸۸).

برای بررسی و مطالعه دقیق‌تر و ارزیابی خطر زمین‌لغزش در منطقه یک کلان‌شهر تهران، از ترکیب دو مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و منطق فازی استفاده شده است. مراحل این دو مدل به شرح زیر است:

۱- تعیین معیارها و زیر معیارهای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه یک کلان‌شهر تهران

۲- ارزش‌دهی به معیارها و زیرمعیارها

۳- ساخت لایه‌های اطلاعاتی برای زیر معیارها

¹ Analytic Hierarchy Process

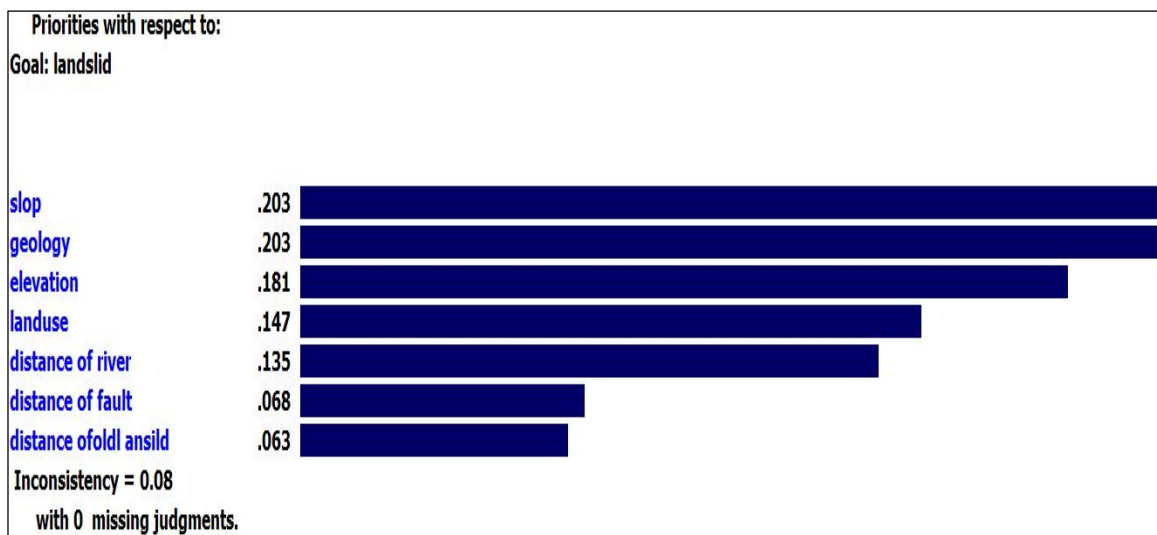
۴- بهینه سازی (استاندارد سازی یا فازی سازی) لایه های اطلاعاتی بر اساس منطق فازی

۵- اعمال وزن نهایی به معیارها و ترکیب با لایه های فازی شده

۶- پهنه بندی نهایی خطر زمین لغزش در منطقه یک کلان شهر تهران.

بر اساس مطالعات و پژوهش های صورت گرفته در مورد خطر زمین لغزش، عوامل بسیاری در آن نقش دارند. بر اساس نظر کارشناسان این مخاطره و با توجه ویژگی های منطقه یک شهرداری تهران مهم ترین عواملی که زمینه بروز خطر زمین لغزش در این منطقه را فراهم می کنند شامل، کاربری اراضی، شیب، ارتفاع، فاصله از شبکه زهکشی، زمین شناسی (لیتولوژی)، فاصله از گسل ها و فاصله از زمین لغزش های قدیمی می باشند. با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با استفاده از مقایسه های زوجی و تحلیل آن به کمک نرم افزار Expert Choice (انتخاب خبره) وزن نهایی شکل (۲) و جدول مقایسات زوجی (جدول ۱) هر یک از اجزای عناصر موثر در پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه یک شهر تهران شناسایی گردید، که در ادامه آمده اند. فازی سازی لایه های پهنه بندی خطر زمین لغزش، با استفاده از نرم افزار Arc GIS10 و از مسیر زیر در محیط این نرم افزار انجام شده است:

Arc Map > Spatial analyst tools > overlay > fuzzy membership > linear



شکل ۲- وزن نهایی به دست آمده برای شاخص های پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه یک کلان شهر تهران

جدول ۱- مقایسات زوجی به دست آمده برای شاخص‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه یک کلان‌شهر تهران

	slop	geology	landuse	elevation	distance of fault	distance of oldl ansild	distance of river
slop		1.0	3.0	1.0	3.0	3.0	1.0
geology			3.0	1.0	3.0	3.0	1.0
landuse				1.0	1.0	3.0	3.0
elevation					3.0	5.0	1.0
distance of fault						1.0	3.0
distance of oldl ansild							1.0
distance of river	Incon: 0.08						

۳- نتایج

۳-۱- فازی‌سازی لایه‌ها

فازی‌سازی لایه ارتفاع: برای فازی‌سازی لایه ارتفاع، بر اساس اینکه با افزایش میزان ارتفاع میزان خطر زمین‌لغزش بیشتر می‌شود و نوع تابع برای فازی‌سازی آن خطی افزایش می‌یابد، ولی باید گفت که ارتباط بین افزایش ارتفاع و زمین‌لغزش تا ارتفاع مناسب و نه چندان زیاد است که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل ۳ زیر آمده است.

فازی‌سازی لایه شیب: برای فازی‌سازی لایه شیب، با توجه به اینکه با افزایش میزان شیب، میزان خطر زمین‌لغزش بیشتر می‌شود و نوع تابع برای فازی‌سازی آن خطی افزایش می‌یابد، ولی ارتباط بین افزایش شیب و زمین‌لغزش تا ارتفاع و شیب نه چندان زیاد است که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل ۴ زیر آمده است.

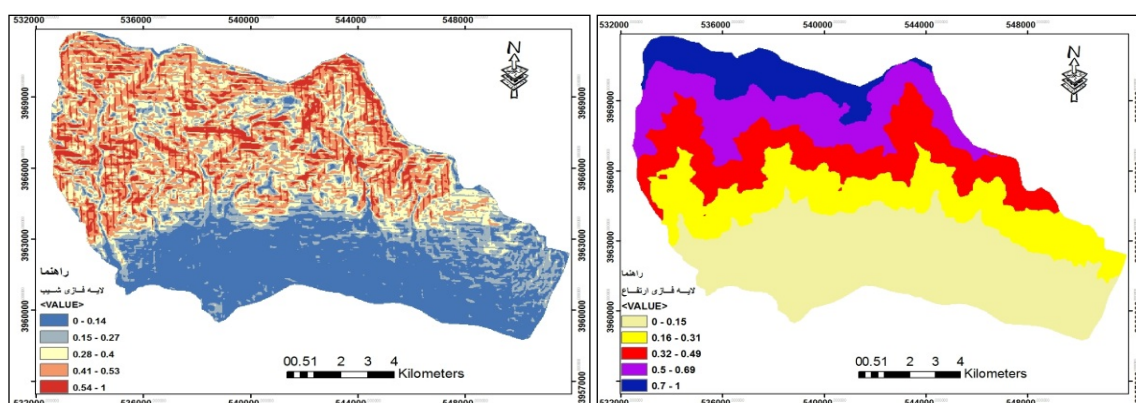
فازی‌سازی لایه زمین‌شناسی: برای فازی‌سازی لایه زمین‌شناسی، بر اساس اینکه با افزایش میزان و مقاومت سازندها، خطر زمین‌لغزش کمتر می‌شود، نوع تابع برای فازی‌سازی آن خطی کاهش یافته شده که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل ۵ آمده است.

فازی‌سازی لایه فاصله از شبکه زهکشی: برای فازی‌سازی لایه فاصله از شبکه زهکشی، بر اساس اینکه با افزایش فاصله از شبکه زهکشی، میزان خطر زمین‌لغزش کمتر می‌شود، و بنابراین امتیاز کمتری داده می‌شود. نوع تابع برای فازی‌سازی آن خطی کاهش یافته می‌باشد، که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل ۶ آمده است.

فازی‌سازی لایه کاربری اراضی: برای فازی‌سازی لایه کاربری اراضی، بر اساس اینکه با افزایش کاربری‌های شهری و پوشش گیاهی و باغی و جنگلی، میزان خطر زمین‌لغزش کمتر می‌شود، نوع تابع برای فازی‌سازی آن خطی کاهش یافته می‌باشد، که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل ۷ آمده است.

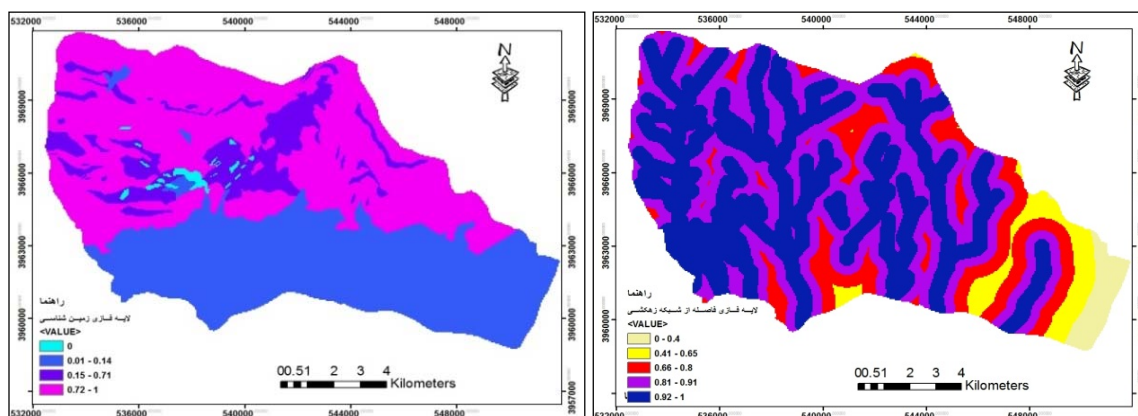
فازی سازی لایه فاصله از زمین لغزش های قدیمی: برای فازی سازی این لایه، بر اساس اینکه با افزایش فاصله از زمین لغزش های قدیمی، میزان خطر زمین لغزش کمتر می شود، نوع تابع برای فازی سازی آن خطی کاهشی می باشد، که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل ۸ آمده است.

فازی سازی لایه فاصله از گسل ها: برای فازی سازی لایه فاصله از گسل ها، بر اساس اینکه هر چه فاصله به گسل ها نزدیک تر باشد، میزان خطر زمین لغزش بیشتر می شود، بنابراین بیشترین امتیاز داده می شود. نوع تابع برای فازی سازی آن خطی افزایشی می باشد، که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل ۹ آمده است.



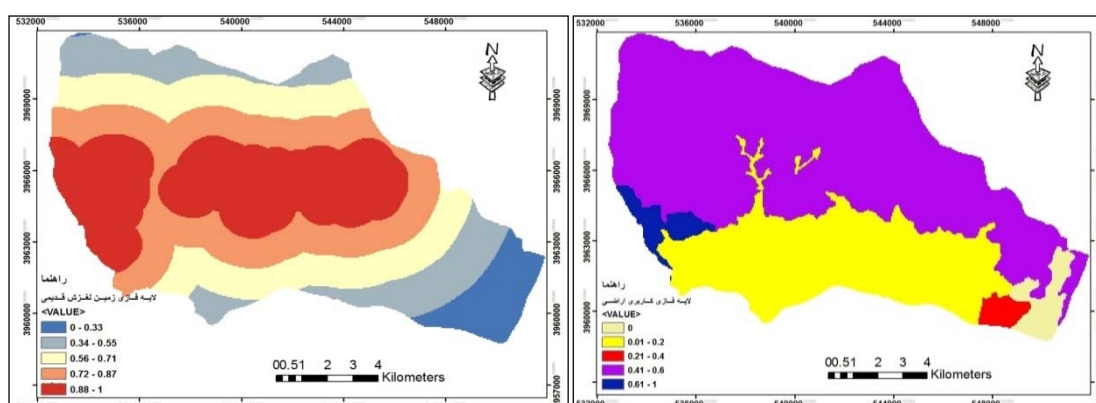
شکل ۴- فازی سازی لایه شیب

شکل ۳- فازی سازی لایه ارتفاع



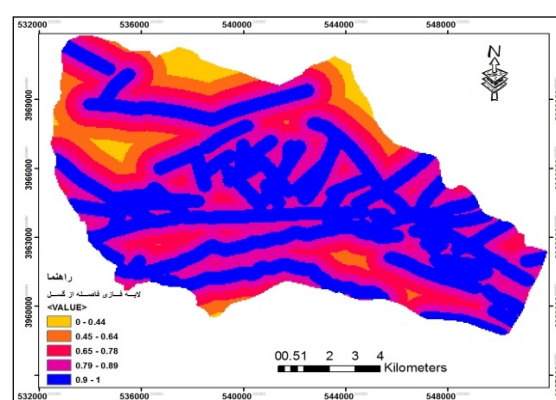
شکل ۶- فازی سازی لایه زمین شناسی

شکل ۵- فازی سازی لایه فاصله از شبکه زهکشی



شکل ۷- فازبندی لایه کاربری اراضی

شکل ۸- فازبندی لایه فاصله از زمین لغزش‌های قدیمی



شکل ۹- فازبندی لایه فاصله از گسل‌ها

۳-۲- پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و تحلیل آن

با استفاده از دستور spatial analyze و با استفاده از raster calculator نتایج را محاسبه می‌کنیم. سپس re class می‌کنیم، در نهایت این لایه را به پنج طبقه تقسیم می‌کنیم و به این ترتیب نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست می‌آید.

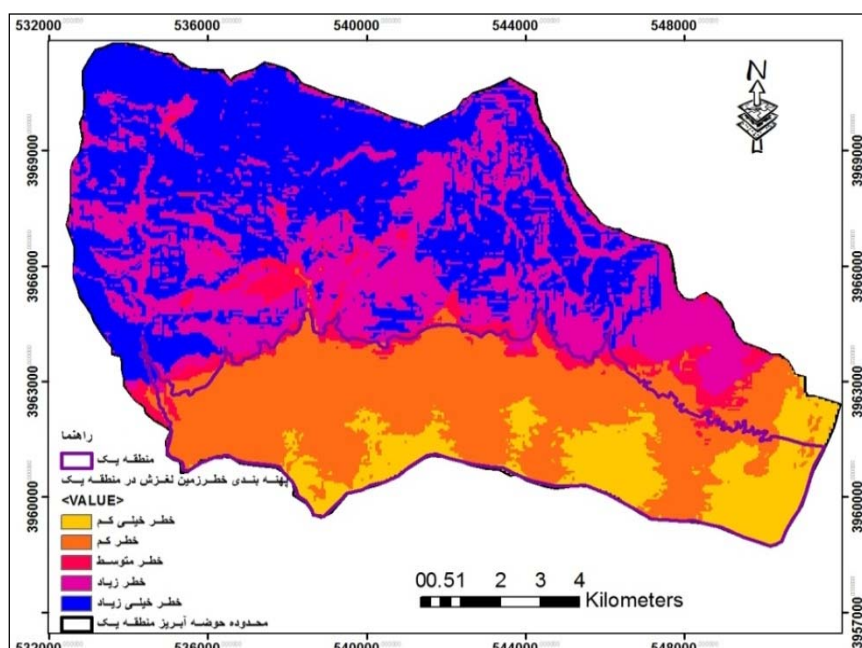
$$([dem] * 0.181) + ([finalfault] * 0.068) + ([geology] * 0.203) + ([landuse] * 0.147) + ([river] * 0.135) + ([oldland] * 0.063) + ([slop] * 0.203)$$

همان‌گونه که در جدول (۲) و شکل (۱۰) آمده است، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نشان می‌دهد که مناطق دارای خطر کم و خیلی کم که ۵۰ درصد محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد، بیشتر منطبق بر محدوده شهری منطقه یک و خط القعر دره‌های حوضه‌های آبریز منطقه یک می‌باشند. ولی مناطق دارای خطر خیلی زیاد و زیاد بیشتر منطبق بر قسمت‌های شمالی و مرکزی محدوده و مناطق دامنه‌ای مسلط بر منطقه یک می‌باشند.

به طور کلی، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش هر چه از بالادست و شمال حوضه‌ها به سمت پایین دست و جنوب حوضه‌های آبریز منطقه یک، حرکت کنیم از میزان خطر زمین لغزش کم می‌گردد. با توجه به نقشه نهایی به دست آمده از پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و در راستای توسعه و امنیت شهری باید از ساخت و ساز در محدوده با خطر بسیار زیاد و زیاد و حریم مسیل‌ها و رود- دره‌های متعدد در منطقه یک (درکه، ولنجک، دربند، سعدآباد، گلابدره، جمشیدیه، جمشیدیه میانی و پایین، دارآباد، باقلا زار و ازگل) ممانعت به عمل آید و توصیه می‌شود که اماکن و سفره‌خانه‌های سنتی که در این حوضه‌ها که بر دامنه‌های پرشیب و دارای پتانسیل زمین لغزش دایر شده‌اند (شکل ۱۱)، به دلیل اینکه وزن این تأسیسات و ساختمان‌ها در بروز خطر زمین لغزش دخیل هستند، آن‌ها را به مکان‌های کم خطرتر انتقال داد. طبق بررسی صورت گرفته که توسط مقیمی و صفاری (۱۳۸۹)، نشان می‌دهد که برخی از محدوده‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران مستعد حرکات لغزشی با خطر متوسط به بالا هستند، که در حدود ۸۷۵ هکتار (معادل ۱۷/۳ درصد) از مناطق مسکونی محدوده‌های کوهستانی شهر در پهنه‌های با خطر متوسط به بالا توسعه یافته‌اند. انطباق خط حریم فعلی کلان‌شهر تهران با مرز پهنه‌های کم خطر و پرخطر (خطر متوسط به بالا) نشان می‌دهد که این دو خط انطباق خوبی با یکدیگر ندارند. محدوده‌های بین حوضه درکه تا حوضه سوهانک می‌بایست از نظر حرکات لغزش به عنوان محدوده‌های ویژه مورد توجه قرار گیرند و از توسعه شهر در پهنه‌های پر خطر این محدوده جلوگیری به عمل آید. همچنین بایستی کلیه کاربری‌های مختلف شهری از جمله کاربری‌های مسکونی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مهندسی پایدار شوند.

جدول ۲- مساحت طبقات خطر زمین لغزش

طبقات خطر زمین لغزش	مساحت km	درصد مساحت
خطر خیلی کم	۱۵	۷
خطر کم	۳۷	۱۸
خطر متوسط	۸۰	۳۵
خطر زیاد	۳۷	۱۷
خطر خیلی زیاد	۴۶/۵	۲۳



شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه یک تهران



شکل ۱۱- تصویری از ساخت‌وساز بر دامنه‌های مستعد زمین لغزش در منطقه یک

پیامدهای امنیتی زمین لغزه

به طور کلی شهری که در آن پدیده زمین لغزه رخ می‌دهد، علاوه بر صدمات جانی و مالی و عمرانی و خدماتی از جنبه سیاسی و امنیتی نیز آسیب پذیراست. اگر بخش‌هایی از شهر که اشاره گردید زمین لغزه رخ داده جزء پایتخت یا کلان‌شهر سیاسی باشد، آسیب‌پذیری سیاسی و امنیتی آن شدت می‌یابد، به طوری که هر گونه نقصان مدیریتی، آن را با بحران‌های عمیق سیاسی و امنیتی مواجه خواهد کرد. وقوع زمین لغزه مخرب در کلان‌شهر تهران، پیامدهای سیاسی و امنیتی شهری

گسترده‌ای به دنبال خواهد داشت. منظور از این پیامدها، پیامدهایی است که در اثر اخلاص‌های ایجاد شده در کارکردهای نظام شهری، سیستم سیاسی را مورد تهدید قرار می‌دهند و امنیت شهری را به مخاطره می‌اندازد. شهر تهران مهم‌ترین مرکز تصمیم و بازخوردهای سیستم سیاسی کشور است و بنابراین وقوع یک زمین لغزه در آن ممکن است از بُعد کارکردهای نظم شهری، نظام سیاسی را به شدت تحت تأثیر قرار دهد و پیامدهای امنیتی ناگواری را به دنبال داشته باشد. وضعیت اجتماعی و نظام شهری تهران دارای ظرفیت‌های بحران‌زایی گسترده‌ای است، از همین رو در صورت بروز یک حادثه غیرمنتظره طبیعی مثل زمینلغزه در آن، بحران‌های متعددی می‌تواند دامن‌گیر نظام سیاسی شود. فائق آمدن بر این بحران‌ها مستلزم انجام یک سری اقدامات مدیریتی کوتاه مدت شامل اقدامات مدیریتی قبل از وقوع، حین وقوع زمینلغزه و پس از آن و اقدامات مدیریتی بلندمدت در ابعاد سیاسی امنیتی است. یکی از جنبه‌های مهم مدیریتی در تأمین امنیت شهری شناخت از میزان آسیب‌پذیری های شهری است که مدیران سیاسی و امنیتی نباید از آن غافل شوند در این تحقیق تا حدودی ابعاد مختلف زمین لغزه مورد کنکاش قرار گرفت و وضعیت زمین لغزه مشخص گردید. در ادامه تحقیق بایستی راهکارهای اجرایی پیشگیری از پیامدهای امنیتی در شهر تهران، قبل، حین و بعد از آن مورد بحث قرار گیرد در صورت عدم مدیریت در این زمینه در شهر بزرگی مانند تهران پیامدهای امنیتی فوق‌العاده‌ای را به دنبال خواهد داشت.

۴- نتیجه‌گیری

مخاطرات محیطی همواره موجب تغییراتی در شرایط زیست‌محیطی سکونتگاه‌های انسانی شده و خسارت‌های گسترده‌ای را بر جوامع بشری تحمیل می‌نماید. هم‌جواری سامانه‌های شهری با مناطق پای کوهی و شیب‌های تند طبیعی در حوضه‌های کوهستانی، آسیب‌پذیری ناشی از حرکات دامنه‌ای از نوع لغزشی را افزایش داده است. حوضه کوهستانی مسلط بر منطقه یک از مناطق شهری- کوهستانی کلان‌شهر تهران هستند که در معرض آسیب‌پذیری ناشی از حرکات دامنه‌ای از نوع لغزشی قرار دارد. هم‌جواری سامانه‌های شهری با مناطق پای‌کوهی و شیب‌های تند طبیعی در حوضه‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران، آسیب‌پذیری ناشی از حرکات دامنه‌ای از نوع لغزشی را در گستره شمالی این کلان‌شهر افزایش داده است. عدم ارزیابی دقیق سطوح مختلف این خطر، سبب گسترش ساخت‌وساز در پهنه‌های ناامن نیز شده است. در این بخش‌ها به علت وجود شیب‌های تند، تغییرات شدید توپوگرافی، فعالیت‌های زمین‌ساختی، گسلش و وجود زون‌های خردشده، بارندگی و آب‌های سطحی فراوان، آب و هوای سرد و یخبندان‌های زمستانی و وزن زیاد ساختمان‌ها، خطر وقوع انواع مختلف زمین‌لغزش‌ها بسیار زیاد است. با توجه به این مسائل و در صورت رخداد زمین‌لغزش که می‌تواند موجب ایجاد خسارت و تخریب زیرساخت‌ها در منطقه یک کلان‌شهر تهران گردد و می‌تواند به عنوان مانع و محدودکننده توسعه و امنیت، رفاه و آسایش شهروندان گردد. با توجه به نقشه نهایی به دست آمده از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و در راستای توسعه و امنیت شهری، ضمن شناسایی پهنه‌های خطر، باید از ساخت و ساز در محدوده با خطر بسیار زیاد و زیاد و حریم مسیل‌ها و رود- دره‌های متعدد در منطقه یک (درکه، ولنجک، دربند، سعدآباد، گلابدره، جمشیدیه، جمشیدیه میانی و پایین، دارآباد، باقلا زار و ازگل) ممانعت به عمل آید و بایستی همه کاربری‌های مختلف شهری از جمله کاربری‌های مسکونی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مهندسی پایدار شوند.

همان‌گونه که در شکل (۱۰) و جدول (۲) آمده است، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نشان می‌دهد که مناطق دارای خطر کم و خیلی کم که ۵۰ درصد محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد، بیشتر منطبق بر محدوده شهری منطقه یک و خط القعر دره‌های حوزه‌های آبخیز منطقه یک می‌باشند. ولی مناطق دارای خطر خیلی زیاد و زیاد بیشتر منطبق بر قسمت‌های

شمالی و مرکزی محدوده و مناطق دامنه‌ای مسلط بر منطقه یک می‌باشند. بنابراین با توجه مبانی نظری ارائه‌شده و تحلیل نقشه‌ها و نتایج به دست آمده موارد ذیل را در غالب عناوین راهکار و پیشنهاد ارائه می‌گردد؛

(۱) از روش‌ها و راهکار اساسی تثبیت و کنترل دامنه‌های دارای حرکات زمین لغزش می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- اصلاح هندسه و شکل دامنه
- زهکشی آب‌های سطحی و عمقی دامنه
- احداث دریای آزاده پایدارکننده

(۲) ارائه پیشنهادها

- شناسایی پتانسیل خطر در دامنه‌ها از طریق پهنه بندی
- پرهیز از توسعه در مناطق با خطر متوسط به بالا
- استفاده از راهکارهای مهندسی در دامنه‌های دچار گسیختگی
- مدیریت خاص شهری در مناطق آسیب‌پذیر
- تدوین دستورالعمل‌های ویژه ساخت‌وساز در مناطق کوهپایه‌ای و کوهستانی
- تعیین مأموریت برای نهادهای مسئول از جمله شهرداری‌ها، سازمان‌های خدماتی مثل: بهداشت، درمان، آتش‌نشانی و نهادهای انتظامی و امنیتی و ایمنی و نیروهای مسلح.
- تشکیل ستادهای بحران و قانونی کردن مقابله با بحران، تعیین کردن نقش و مسئولیت مدیران شهری، منطقه‌ای و حتی کشوری برای کاهش آسیب‌های مختلف از جمله آسیب‌های امنیتی.
- ایمن‌سازی مکان و مقاوم‌سازی آن در مقابل هر حادثه طبیعی، این امر شامل بناهای مؤسسات پولی و مالی و محل نگهداری اسناد و دارایی‌های مالی در مقابل تخریب، فشار و حریق خواهد بود.
- به‌کارگیری متخصصان و افراد باتجربه در مراکز تصمیم‌گیری مرتبط با زمین لغزش.

۵- مراجع

- ۱- احمدی، ا.، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مطالعه موردی حوضه آبخیز چلاو، نشریه جغرافیا، انجمن جغرافیای ایران سال هشتم، شماره ۲۷ زمستان ۱۳۸۹.
- ۲- امینی فسخودی، ع.، ۱۳۸۴. کاربرد استنتاج منطق فازی در مطالعات برنامه‌ریزی و توسعه منطقه‌ای، مجله دانش و توسعه، شماره ۱۷، نیمه دوم سال ۱۳۸۴.
- ۳- پورقاسمی، ح.ر.، ۱۳۸۸. ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۸، صص ۵۱-۶۲.
- ۴- پورقاسمی، ن.، ۱۳۸۴. استفاده از نظریه مخروط افت در ارزیابی خطر سنگ ریزش در مسیر جاده چالوس (پل زنگوله مرزن‌آباد، مجله علوم زمین، شماره ۶۱، صص ۱۶۹-۱۶۰).
- ۵- پیریایی، ز.، ۱۳۸۵. پهنه‌بندی خطر حرکات دامنه‌ای در حوزه جاجرود به روش رگرسیون لجستیک و GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- ۶- تاریخچه تهران، ۱۳۸۷، ویرایش دوم، تهران، موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی.
- ۷- ساسان‌پور، ف.، و ع.ج. موسیوند.، ۱۳۸۹. تأثیر عوامل انسان‌ساخت در تشدید پیامدهای مخاطرات طبیعی در محیط‌های کلان‌شهری با کاربرد Fuzzy Logic و GIS (مطالعه موردی: منطقه ۵ تهران)، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۳، شماره ۱۶، بهار ۱۳۸۹.
- ۸- شادفر، ص.، م. یمانی، ج. قدوسی، و ج. غیومیان.، ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی حوضه آبخیز چالکرو تنکابن)، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ش ۷۵، صص ۱۱۷-۱۲۶.
- ۹- صفاری، ا.، ۱۳۷۸. قابلیت‌ها و محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی کلان‌شهر تهران به منظور توسعه و ایمنی، رساله دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران.
- ۱۰- فاطمی‌عقدا، س.م.، ۱۳۸۴. بررسی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی منطقه رودبار)، مجله علوم دانشگاه تهران جلد ۳۲ شماره ۱ صفحه ۴۳-۶۴.
- ۱۱- قدسی‌پور، س.ح.، ۱۳۸۱. مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ص ۵.
- ۱۲- قنوتی، ع.، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر لغزش در حوضه جاجرود با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۲۰، صص ۵۱-۶۸.
- ۱۳- کرم، ا.، و ا. محمدی.، ۱۳۸۸. ارزیابی و پهنه‌بندی تناسب زمین برای توسعه فیزیکی شهر کرج و اراضی پیرامونی بر پایه فاکتورهای طبیعی و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال اول، شماره ۴، صص ۷۴-۵۹.
- ۱۴- کرم، ع.، ۱۳۸۳. کاربرد مدل ترکیب خطی وزین (WLC) در پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش مطالعه‌ی موردی، منطقه‌ی سرخون در استان چهارمحال و بختیاری، مجله جغرافیا و توسعه، پاییز و زمستان ۱۳۸۳.
- ۱۵- مقیمی، ا.، ا. صفاری.، ۱۳۸۹. ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری در قلمروی حوضه‌های زهکشی سطحی مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۴، شماره ۱، بهار ۱۳۸۹.
- ۱۶- مهندسین مشاور بافت شهر.، ۱۳۸۴. تهیه الگوی توسعه و طرح تفصیلی منطقه و همکاری با شهرداری منطقه یک، معاونت شهرسازی و معماری شهرداری تهران.
- ۱۷- متکان، ع.ا.، ۱۳۸۸. مدل‌های منطق فازی و سنجش از دور جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه‌ی آبخیز لاجیم، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی ۱۳۸۸، سال پنجم شماره ۴، صص ۳۱۸-۳۲۸.



- 18- Binaghi, E., L. Luzi., P. Madella., F. Pergalani., and A. Rampini., 1998. Slope instability zonation: a comparison between certainty factor and fuzzy dempster-shafer approaches. *Natural Hazards*, 17: 77–97
- 19- Chi, K.H., N.W. Park., and C.J. Chung., 2002. Fuzzy logic integration for landslide hazard mapping using spatial data from Boeun, Korea. Symposium Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa, 2002. 6pp.
- 20- Ercanoglu, M., and C. Gokceoglu., 2004. Assessment of landslide susceptibility or a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology*, 41: 720-730.
- 21- Ercanoglu, M., C. Gokceoglu., and W.J. Van Asch., 2004. Landslide susceptibility zoning of North of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques, *Natural Hazard*, 32: 1–23.
- 22- Kanungo, D.P., M.K. Arora., S. Sarkar., and R.P. Gupta., 2006. Acomparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weightin procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. *Engineering Geology*, 85:347-366.
- 23- Lootsma, F.A., 2005. Fuzzy Logic for Planning and Decision Making. Dordrecht, kluwer Academic Publisher.
- 24- Mose, T.L., and P. Pathranakul., 2006. An Integrated Approach to Natural Disaster Prevention and management, Vol 15, No 3, Emerald Group Publishing Limited.
- 25- Saaty, T., 1980. The analytical hierarchical process: planning, priority setting resource allocation. NEW YORK. Mc Graw-Hill, pages 1-20.-Thiery Yannick, -Philippe Malet Jean, Maquaire Olivier - Test of Fuzzy Logic Rules for Landslide Susceptibility Assessment SAGEO'2006.
- 26- Schernthanner, H., 2005. Fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping (Rio Blanco, Nicaragua). M.Sc. Thesis, Institute of Geography, NAWI, ParisLodron University Salzburg, PP. 94.
- 27- Zhu, A.X., R.X. Wang., J.P. Qiao., Y.B. Chen., Q.G. Cai., and C.H. Zhou., 2004. Mapping landslide susceptibility in the three gorges area, China using GIS, expert knowledge and fuzzy logic. GIS and Remote Sensing in Hydrology, Water Resources and Environment (Proceedings of ICGRHWE held at the Three Gorges Dam, China, and September 2003). IAHS Publ. 289, 2004, 385-391.
- 28- Yalcin. A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy Process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Journal of Catena*, No: 72; Pp. 1 – 12.



Quarterly Journal of
Environmental Erosion Researches
No. 8, winter 2013, pp: 77-95
www.magazine.hormozgan.ac.ir

Landslide Risk Assessment Using with AHP-FUZZY Combined Model in Order to Urban Development and Safety (Case Study: Region1 of Tehran Metropolitan)

Karimi. M^{1*}, Najafi. E²

1- *Corresponding Author: Academic Member, Imam Hossein University, Tehran

2- PhD Student, Kharazmi University, Karaj

Abstract

Metropolises of today, in different parts of the world for various reasons, are often prone to damage from natural hazards, one of the slope instability that cause to plenty financial and human losses in each year on the systems of socio - economical and environment is landslide. We also have tens of landslides occur in different parts of country each year, and it led to more residential areas, roads and facilities are threatened. Research method is descriptive - analytical with using a library and field study and AHP-Fuzzy models and GIS to Landslide risk zonation, in region 1 of metropolitan Tehran. And try to answer this question that landslide processes and geomorphological hazards that limiting development and safety in Region1 of Tehran metropolitan which are they? Landslide risk zonation map shows, areas with low and very low risk, includes 50% of the study area, located in the urban area of Region1 and valley talwegs of its basin. But areas with much and very much risk located in northern parts of the area and dominated slopes. In general, whatever we goes to the upstream and the downstream of basins of the watershed area the rate of landslides risk will reduce. With consideration of final Landslide risk map zonation in order to development and safety urban should be prevent of constructions in much and very much areas of Landslide risk that located in streams margin and stream-valleys and areas that have potential of Landslide in Region1 of Tehran, and should be all urban land uses includes residential land uses with engineering techniques are stable.

Keywords:

Assessment, Landslide Risk, AHP-FUZZY Combined Model, Safety, Regional