نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال اول، شماره پیاپی ۳، پاییز ۱۳۹۳
صفحات ٤٤-۲۹

# تحلیل و ارزیابی آسیب‌پذیری لغزشی در پهنه‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران

امیر صفاری، دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی[1]

دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۱/۲۰ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۵/۳۰

**چکیده:**

زمین‌لغزش نوعی حرکت دامنه‌ای است که نه‌تنها ساختارهای انسانی مثل جاده‌ها، خطوط راه‌آهن و مناطق مسکونی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد، بلکه تلفات جانی را هم در پی دارد. در این پژوهش، داده‌های لغزشی و شیب در حوضه‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و بررسی آسیب‌پذیری مناطق توسعه‌یافته در پهنه‌های پرخطر تحلیل شده است. این پهنه‌بندی با استفاده از تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در سیستم اطلاعات جغرافیایی و استفاده از ۸ عامل کمی و کیفی به منزله‌ی عوامل مؤثر در وقوع حرکات لغزشی منطقه انجام شد. وزن‌دهی به معیارهای مورد نظر از دو روش مدل نسبت فراوانی و مدل تحلیل سلسله‌مراتبی صورت گرفت. بعد از این مرحله، فازی‌سازی معیارهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه‌ی مطالعه، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با عملگرهای جمع فازی، ضرب فازی و گامای فازی با لانداهای ۰/۸ و ۰/۹ تهیه گردید. با انطباق نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حاصل از مدل فوق و نقشه‌ی مناطق شهری در حوضه‌های کوهستانی، مناطق شهرسازی شده به پهنه‌های با خطر بسیار زیاد تا پهنه‌های با خطر بسیار کم تفکیک شد. نتایج حاصله از تحلیل داده‌های لغزشی نشان داد که برخی از محدوده‌های کوهستانی کلان شهر تهران مستعد حرکات لغزشی با خطر متوسط به بالا هستند. مهم‌ترین راهکار برای کاهش خسارت‌های ناشی از وقوع زمین‌لغزش(به جز پایدارسازی مناطق ناپایدار) دوری جستن از این مناطق است.

واژگان کلیدی: توسعه‌شهری، آسیب‌پذیری، زمین‌لغزش، مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، کلان‌شهر تهران.

[1]- نویسنده‌ی مسئول Email: Saffari@khu.ac.ir



[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

**مقدمه**

امروزه مسائل مربوط به توسعه‌ی پایدار شهری و منطقه‌ای به صورت مسئله‌ای مهم در پیشروی سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان و متخصصین علوم گوناگون قرار دارد. شناخت خصوصیات ژئومورفولوژیکی شهرها و فرآیندهایی که از طریق این ویژگی‌ها شکل می‌گیرند و، همچنین، نحوه‌ی فعالیت‌های انسانی که باعث تغییر این فرآیندها شده‌اند جزء اساسی‌ترین مسائل برای چگونگی مدیریت شهر و کاربری و توسعه آن است. مطالعات جامع ژئومورفولوژیکی می‌تواند با تجزیه و تحلیل و استنتاج نتایج مقبولی برای ارزیابی امکانات رشد و توسعه شهر، تعیین جهات توسعه و تعیین معیارها و ضوابط توسعه‌ی شهری باشد. یکی از فعالیت‌های متخصصان ژئومورفولوژی شهری، درک و تشخیص فرآیندهای ژئومورفولوژیکی کنونی است که در شهر وجود دارد و یا بر اثر شهرنشینی و شهرگرایی تغییر می‌یابد. در شهرها فرآیندها متفاوت‌اند. این فرآیندها بسته به مکان شهر و وضعیت «زمینی» دارد که شهر بر روی آن بنا شده است. فرآیندهای دامنه‌ای، آبراهه‌ای، ساختمانی و رسوبی از جمله مهم‌ترین فرآیندهای ژئومورفولوژیکی شهرها هستند. پیش‌بینی تغییرات ژئومورفولوژیک آتی، که احتمال دارد از توسعه‌ی شهر ناشی شود، نیازمند شناخت گذشته، درک زمان حاضر و توان پیش‌بینی آینده است (مقیمی، ۱۳۸۵، ۶). تهران بزرگ‌ترین شهر ایران است. بر پایه سرشماری سال ۱۳۹۰ ، تقریباً ۰/۱۲ جمعیت کل کشور (۸۲۴۴۷۵۹ نفر) در آن اسکان دارد. اگر حادثه‌ای طبیعی در آن اتفاق بیفتد عواقب سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و... در سطح کشور خواهد داشت. از این رو، باید پیش‌بینی‌های لازم برای پایدارسازی و، همچنین، جلوگیری از حوادث و کاهش میزان خسارات طبیعی در آن صورت گیرد. مسئله‌ی شهر تهران ترکیبی از همه‌ی مسائلی است که در توسعه‌ی این کلان‌شهر ایفای نقش کرده است. ضرورت پژوهشی جامع در مورد بیان دیدگاه‌هایی که تاکنون در باره‌ی این شهر به صورت موردی انجام گرفته و ارائه‌ی شاخص‌های مناسب برای نظام تفکر حاکم بر توسعه‌ی شهر اجتناب ناپذیر است. در زمینه‌ی کاهش آسیب‌پذیری شهر تهران و به منظور توسعه‌ی آن(در صورت قابلیت) قبل از هرگونه برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری لازم است تصویر روشنی از قابلیت‌ها و محدودیت‌های طبیعی و از جمله مسائل ژئومورفولوژیکی آن به دست آید. حوضه‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران شامل حوضه‌های کن، وسک، فرحزاد، درکه، ولنجک، دربند، گلابدره، دارآباد، سوهانک و سرخه‌حصار به دلیل دارا بودن اوضاع سنگ‌شناسی، ساختار زمین‌شناختی، رسوبات هوازده، شیب زیاد، بارندگی و توسعه‌ی نامناسب شهری بر روی آن‌ها از جمله نواحی‌ای به شمار می‌آیند که وقوع زمین‌لغزش در آن‌ها به صورت فرآیند ژئومورفولوژیکی دامنه‌ای قابل مطالعه است. با توجه به این‌که وقوع زمین لغزش در پهنه‌ی کوهستانی کلان‌شهر تهران می‌تواند خسارات فراوانی به کاربری‌های گوناگون شهری از جمله مساکن، واحدهای صنعتی، خطوط انتقال نیرو و مراکز حساس وارد کند، مسئله بررسی عوامل مؤثر بر وقوع آن‌ها، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها و ارائه‌ی راهکارهایی برای کنترل و تثبیت دامنه‌ها در این محدوده به لحاظ امنیتی، سیاسی، اقتصادی و اجتماعی کاملاً ضروری است و می‌تواند تا حد فراوانی از بروز خسارات جانی و مالی بکاهد. بررسی ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی این شهر، امکان برآورد توان بالقوه زمین و سیستم دینامیکی پیچیده محیط طبیعی آن را میسر می‌سازد. چنین بررسی‌هایی به منظور چگونگی بهره‌برداری صحیح از اراضی گوناگون و منابع طبیعی موجود، اختصاص واحدهای ژئومورفولوژیکی به کاربری‌های گوناگون و، در نتیجه، برنامه‌ریزی‌های صحیح عمرانی و توسعه در پیوند با دیدگاه‌های اجتماعی، اقتصادی، کشاورزی و غیره ضروری است. هدف عام این پژوهش ساختارشناسی ژئومورفولوژیکی محدوده‌ی کوهستانی کلان‌شهر تهران است تا مدیریت جامع فرآیند توسعه‌ی شهری را با توجه به ملاحظات خاص این محدوده از نظر حرکات دامنه‌ای صورت دهد و بیشترین نتیجه و بهره‌وری را حاصل کند.



[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

چنین شناختی باید در بستر ملاحظات اداری حاکم و نیز ملاحظات مربوط به برنامه‌ریزی و توسعه و ایمنی شهر و الزامات ناشی از تعامل این دو را دربر گیرد.

تحقیقات فراوانی با موضوع ژئومورفولوژی شهری و نقش آن در توسعه و، همچنین، درباره‌ی مخاطرات ژئومورفولوژیکی در مناطق شهری صورت گرفته است. بررسی‌های اولیه نشان داد که ماهیت این تحقیقات با دو دیدگاه شناخت واحدهای ژئومورفولوژیکی پهنه‌ی شهری و، همچنین، شناخت و بررسی فرآیندهای ژئومورفیک مؤثر بر پهنه‌ی شهری و زندگی شهروندان صورت گرفته است. در میان مطالعات انجام شده برخی از محققین به ارائه‌ی روش و مدل‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها پرداخته‌اند و برخی نیز این فرآیند را در کتب و مقالات خود بررسی کرده‌اند. کوماک (Komac, ۲۰۰۶) نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و روش آماری چند متغیره تهیه کرد. ژانگ فانیو ( Zhang fanyu,۲۰۰۷) با استفاده از روش ارزش اطلاعاتی برای منطقه‌ی لانگنن در چین نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش را تهیه کرد. استفاده‌ی یالسین ( Yalcin, ۲۰۰۸) Y از سه روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، فاکتور وزنی و شاخص آماری در حوضه‌ی آردیس ترکیه برای تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش از دیگر کارهای صورت گرفته در این زمینه است (گرایی، ۱۳۸۹). صفاری (۱۳۸۷) در بررسی قابلیت‌ها و محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی کلان شهر تهران پهنه‌های خطر لغزشی در حوضه‌های کوهستانی شهر را با استفاده از مدل LIM تعیین کرد و نتیجه گرفت که بخش‌هایی از محدوده‌ی شمالی این کلان‌شهر در مناطق لغزشی با خطر بسیار قرار دارد. یمانی و همکاران (۱۳۸۹) پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز توتکابن با استفاده از مدل‌های کمی را انجام دادند و نتیجه گرفتند که احداث سازه‌هایی نظیر راه‌های ارتباطی، بناها و ساخت و سازهای مسکونی و روستایی باید با توجه به ضریب پایداری دامنه‌ها صورت گیرد. شهابی و همکاران (Shahabi, et.al. , ۲۰۱۲) در تحقیقی نقشه‌ی خطر زمین‌لغزش را برای حوضه‌ی زاب مرکزی در استان آذربایجان غربی با استفاده از تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه کردند. همچنین، در تحقیق دیگری پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS در شهرستان خرم‌آباد صورت گرفت. نتیجه‌ی این تحقیق نشان داد که در بین عوامل مؤثر، زیر معیارهای فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه مهم‌ترین عوامل در ایجاد زمین‌لغزش منطقه‌ی مطالعاتی هستند (حاتمی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۱). از جمله روش‌هایی که در بررسی عوامل مؤثر در زمین‌لغزش و یا پهنه‌بندی آن در حوضه‌های گوناگون استفاده شده است، روش آماری دو متغیره تراکم سطح است. این روش، که ابتدا (Vanwasten, ۱۹۹۳ and ۱۹۹۷)از آن استفاده کرد، بر پایه‌ی تأثیر متقابل هر عامل یا متغیر تأثیرگذار بر وقوع لغزش (به عنوان متغیر مستقل) با پدیده‌ی لغزش (به عنوان متغیر وابسته) به طور مستقل بنا شده است (علایی طالقانی، ۱۳۹۰). مقیمی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه به ارزیابی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار استان گیلان پرداخته‌اند و، پس از تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی، به این نتیجه رسیده‌اند که فرآیند زمین‌لغزش در محدوده‌ی شهری درصد فراوانی دارد و نقش عوامل شیب و حساسیت لیتولوژیکی در ایجاد این فرآیند مهم است.فیضی زاده و همکاران (Feizizadeh, et.al., ۲۰۱۴) در تحقیقی آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش را برای حوضه‌ی رودخانه‌ی ایذه، در جنوب غربی ایران، با استفاده از تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی فازی و تحلیل سلسله مراتبی بررسی و ارزیابی کردند. فرجی سبک دست و همکاران ( Faraji Sabokdast, et. al. , ۲۰۱۴) نیز با استفاده از روش‌های آنالیز ALS[۲] و GWPCA[۳] آسیب‌پذیری زمین‌لغزش‌های احتمالی را با اپراتورهای مدل منطق فازی

[۲] - Alternating least squares analysis

[۳] - Geographically-weighted principal component analysis

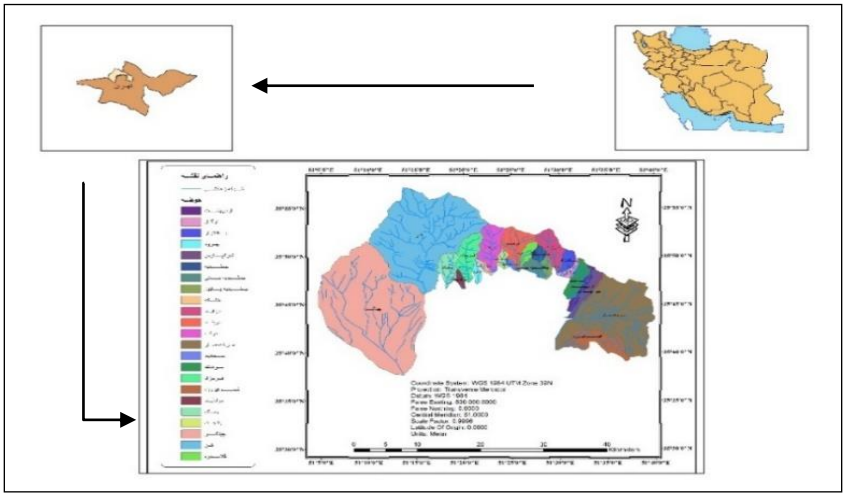


[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که روش‌های جدید می‌تواند در بهبود کیفیت تجزیه و تحلیل مربوط به فرایندهای لغزشی و ارزیابی حساسیت و آسیب‌پذیری و خطر این فرایندها مؤثر باشد. Dragićević و همکارانش (۲۰۱۵) نیز در تحقیقی وقوع رانش زمین را با استفاده از منطق فازی مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که این تحقیقات می‌تواند در کاهش تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی این فرایند و اهداف مربوط به برنامه‌ریزی‌های کلان مؤثر باشد. در تحقیقی دیگر علیمحمدلو و همکارانش (Alimohammadlou, et.al., ۲۰۱۴) نیز تأثیر میزان بارش‌های سنگین بر وقوع فرایند زمین‌لغزش در محدوده استان آذربایجان غربی با استفاده از روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی و خوشه‌بندی فازی را مورد ارزیابی قرار دادند. هدف اصلی این مقاله تأکید بر بررسی پهنه‌های با خطر لغزشی متوسط به بالا در بخش‌های توسعه‌یافته شهری در محدوده‌ی حوضه‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران است.

## داده‌ها و روش کار

محدوده‌ی مطالعه با مساحت حدود ۸۴۰۰۰ هکتار در موقعیت جغرافیایی ″۳۴ ´۴۰ °۵۱ تا ″۰۴ ´۴۰ ۵۱ طول شرقی و ″۴۱ ´۳۷ °۳۵ تا ″۱۰ ´۵۷ °۳۵ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). حداقل ارتفاع از حدود ۱۱۰۰ متر در جنوبی‌ترین نقطه تا حداکثر ۳۹۰۰ متر در مرتفع‌ترین بخش شمالی حوضه‌ها متغیر است.



**شکل ۱. موقعیت منطقه‌ی مطالعه.**

حوضه‌های آبخیز با استفاده از روش تفکیک و طبقه‌بندی و، همچنین، بازدیدهای میدانی به دو صورت شهری و کوهستانی در نظر گرفته شده و به زیر حوضه‌ها و یا واحدهای هیدرولوژیک کوچک‌تر تقسیم شده‌اند. این حوضه‌ها، به همراه شبکه‌ی آبراهه‌ای، با استفاده از روش مقایسه‌ای و به کمک نقشه‌های توپوگرافی ۱۰۰۰۰ :۱ سال ۱۳۴۳ و نقشه‌های توپوگرافی ۲۵۰۰۰ :۱ سال ۱۳۸۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و عکس‌های هوایی ۵۵۰۰۰ :۱ سال ۱۳۳۵ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و ۴۰۰۰۰ :۱ سال ۱۳۸۱ سازمان نقشه‌برداری کشور و، همچنین، نقشه‌ی زمین شناسی ۱۰۰۰۰۰ :۱ محدوده‌ی مطالعاتی ترسیم شدند.

بخش کوهستانی با گسترش گدازه‌های آتشفشانی و رسوبات آذرآواری با رو راندگی ملایم به‌صورت رورفتگی توفیت‌های ائوسن بر روی تپه‌ماهورهای نئوژن اطراف تهران مشخص است. بخش تپه‌ماهوری (بخش آنتی البرز) نیز در پای‌کوه‌های البرز و کوه‌های پراکنده جنوب شرقی تهران قرار دارد (علایی طالقانی، ۱۳۸۲، ۱۰۹). با استناد به آمارهای سازمان هواشناسی رژیم بارندگی کلان‌شهر تهران از رژیم مدیترانه پیروی می‌کند، یعنی منطقه دارای فصلی مرطوب (از اواسط پاییز تا اواسط بهار) و فصلی خشک



[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

(از اواسط بهار تا اواسط پاییز) است. طبق آمار ایستگاه سینوپتیک مهرآباد حداکثر بارش‌ها مربوط به فصول پاییز و زمستان است. مقدار بارش سالانه این ایستگاه از ۱۰۰ تا حدود ۴۰۰ میلی‌متر در نوسان است.

خصوصیات مورفومتری هر یک از حوضه‌ها از طریق نرم‌افزار مورد استفاده (Arc GIS) محاسبه گردید. در جدول شماره ۱ مشخصات فیزیوگرافی ۲۳ حوضه‌ی زهکشی در محدوده‌ی کوهستانی کلان‌شهر تهران آورده شده است.

**جدول ۱. مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌های زهکشی محدوده‌ی کوهستانی کلان‌شهر تهران**

| نام حوضه | مساحت (Km) | محیط (Km) | طول حوضه (Km) | حداقل ارتفاع (m) | حداکثر ارتفاع (m) | نام حوضه | مساحت (Km) | محیط (Km) | طول حوضه (Km) | حداقل ارتفاع (m) | حداکثر ارتفاع (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| چیتگر | ۲۷۱/۸ | ۶۹/۲۱ | ۲۰/۰۴ | ۱۱۳۰ | ۲۷۰۰ | جمشیدیه | ۵/۲ | ۹/۴۰ | ۳/۵۸ | ۱۷۷۰ | ۳۱۰۰ |
| کن | ۲۱۰/۳ | ۶۶/۸۳ | ۲۰/۸۳ | ۱۳۰۰ | ۳۷۵۰ | جمشیدیه میانی | ۷/۵ | ۱۲/۰۸ | ۴/۴۰ | ۱۵۲۰ | ۲۲۵۰ |
| وسک | ۱۴/۹ | ۱۷/۵۲ | ۷/۰۵ | ۱۵۵۰ | ۲۷۵۰ | جمشیدیه پایین | ۵/۶ | ۱۲/۰۳ | ۵/۳۸ | ۱۵۰۰ | ۲۵۵۰ |
| فرحزاد | ۲۳ | ۲۴/۴۱ | ۹/۹۱ | ۱۶۰۰ | ۳۴۰۰ | دارآباد | ۱۹/۳ | ۲۱/۵۶ | ۸/۶۵ | ۱۵۸۵ | ۳۵۳۰ |
| درکه | ۲۵/۵ | ۲۴/۱۲ | ۹/۳۸ | ۱۷۰۰ | ۳۸۰۰ | باقلازار | ۷/۶ | ۱۲/۸۴ | ۵/۰۷ | ۱۶۰۰ | ۲۸۰۰ |
| مرادآباد | ۳/۴ | ۹/۱۴ | ۴/۰۳ | ۱۵۶۵ | ۲۵۲۰ | ازگل | ۴/۸ | ۱۲/۰۶ | ۴/۸۱ | ۱۵۷۰ | ۲۵۳۰ |
| بهرود | ۴ | ۱۰/۸۳ | ۴/۸۹ | ۱۶۲۸ | ۲۷۹۰ | سوهانک | ۱۴/۸ | ۱۹/۶۰ | ۸/۲۳ | ۱۴۱۰ | ۲۵۳۰ |
| خشکه | ۲/۸ | ۹/۱۵ | ۳/۷۵ | ۱۶۵۰ | ۲۷۰۰ | اردیبهشت | ۸/۴ | ۲۲/۶۶ | ۹/۵۰ | ۱۳۳۰ | ۲۱۵۰ |
| ولنجک | ۴/۵ | ۱۰/۳۲ | ۳/۹۶ | ۱۷۵۰ | ۲۹۴۰ | تهرانپارس | ۱۱/۳ | ۲۴/۵۳ | ۱۰/۶۳ | ۱۲۸۰ | ۱۹۸۰ |
| سعدآباد | ۲/۴ | ۸/۱۸ | ۳/۴۰ | ۱۶۰۰ | ۲۴۰۰ | سرخه حصار | ۱۳۲/۵ | ۶۳/۴۵ | ۲۲/۷۶ | ۱۱۷۰ | ۲۲۰۰ |
| دربند | ۲۳/۱ | ۲۳/۶۷ | ۸/۷۵ | ۱۶۰۰ | ۳۹۰۰ | قصرفیروزه | ۲۸/۰۷ | ۳۳/۸۸ | ۱۱/۸۵ | ۱۱۷۰ | ۲۱۰۰ |
| گلابدره | ۶/۹ | ۱۴/۴۷ | ۶/۴۳ | ۱۶۰۰ | ۳۳۵۰ | | | | | | |

مطالعه‌ی زمین‌لغزش‌ها با توجه به اهداف و مقیاس مطالعات و، همچنین، شرایط جغرافیایی و زمین‌شناسی مناطق گوناگون می‌تواند بسیار متفاوت باشد. بر این اساس، مقیاس مطالعات می‌تواند از ارزیابی میزان پایداری شیبی در یک واحد دامنه‌ای (بزرگ‌مقیاس) با استفاده از روش‌های متفاوت تحلیل پایداری تا بررسی‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها در محدوده‌ی کشوری (کوچک‌مقیاس) و تعیین خطر نسبی مناطق گوناگون متغیر باشد. در این تحقیق، با هدف تحلیل ژئومورفولوژیکی توسعه‌ی شهری و آسیب‌پذیری ناشی از حرکات زمین‌لغزش در حوضه‌های کوهستانی کلان شهر تهران، پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها با استفاده از تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفت. پس از بررسی در مورد ویژگی‌های طبیعی حوضه‌های مطالعاتی؛ بازدیدهای میدانی؛ مطالعه‌ی زمین‌لغزش‌های رخ داده در آن‌ها؛ تهیه‌ی پایگاه داده‌های جغرافیایی با توجه به اهداف تحقیق و استفاده از تجارب متخصصین، ۸ عامل و متغیر مستقل شامل عوامل سنگ‌شناسی، ارتفاع، شیب دامنه‌ها، جهت دامنه‌ها، میانگین بارش‌های سالانه، حداکثر بارش ۲۴ ساعته (شدید)، فاصله از گسل‌ها و فاصله از شبکه‌ی زهکشی به عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه انتخاب و به شکل نقشه‌های عاملی در نرم افزار استفاده (Arc GIS) شدند (جدول ۲).

پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها بر اساس مدل فازی و روش تحلیل سلسله‌مراتبی(AHP) صورت می‌گیرد. از این رو، لازم است ابتدا لایه‌های عاملی با توجه به هدف تحقیق فازی‌سازی شوند. برای این منظور با استفاده از مدل نسبت فراوانی وزن هر یک از عوامل و



[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

کلاس‌های مرتبط با آن از رابطه‌ی FR=A/B محاسبه گردید که در آن A درصد پیکسل‌های لغزشی، B درصد پیکسل‌های فاقد لغزش و FR نسبت فراوانی است. برای تجزیه و تحلیل‌های فازی در ابتدا وزن‌های به دست آمده از روش نسبت فراوانی، نرمال‌سازی (بین صفر و یک) و، سپس، وارد نرم افزار Arc GIS ۱۰ شد و هرکدام از نقشه‌های مذکور فازی گردید.

**جدول۲. نقشه‌های مربوط به متغیرهای مستقل و وابسته برای تحلیل ، مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش**

| متغیرها | عوامل | عنوان نقشه‌ها | نوع متغیر | | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | کمی | کیفی | |
| مستقل | زمین‌شناختی | ۱- سنگ‌شناسی و نهشته‌های سطحی | * | | ۲۰ طبقه‌ی کیفی از سازندهای متأثر در حوضه‌ها |
| | | ۲- فاصله از گسل‌ها (متر) | * | | ۷ طبقه‌ی کمی فاصله ازگسل‌ها |
| | هیدرولوژی | ۳- فاصله از شبکه‌ی زهکشی (متر) | * | | ۸ طبقه‌ی کمی فاصله از بستر آبراهه‌ها |
| | توپوگرافی | ۴- طبقات ارتفاعی (متر) | * | | ۸ طبقه‌ی کمی از طبقات ارتفاعی |
| | | ۵- طبقات شیب (درجه) | * | | ۸ طبقه‌ی کمی از طبقات شیب |
| | | ۶- جهت شیب دامنه‌ها | | * | ۹ طبقه‌ی کیفی از جهت دامنه‌ها |
| | اقلیمی | ۷- میانگین بارش‌های سالانه (میلی‌متر) | * | | ۸ طبقه‌ی کمی از طبقات با بارش میانگین سالانه |
| | | ۸- حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته (میلی‌متر) | * | | ۵ طبقه‌ی کمی از طبقات حداکثر بارش |
| وابسته | حرکت‌های لغزشی | پراکنش همه‌ی حرکت‌های لغزشی | | * | یک طبقه‌ی کیفی با ارزش صفر (بی‌حرکتی) و یک طبقه‌ی کیفی با ارزش یک (وجود حرکت) ساخته شده است. |

## شرح و تفسیر نتایج

پس از انقطاع نقشه‌های عاملی کلاسه‌بندی شده با نقشه زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته، وزن هر واحد از نقشه‌های عاملی با مدل نسبت فراوانی بین صفر تا یک تعیین می‌شود. در این مدل مقادیر وزنی هر واحد از هر عامل مؤثر بر اساس تراکم لغزش‌ها در آن واحد تعیین می‌گردد و متغیرهای کیفی به متغیرهای کمی تبدیل می‌شود. جدول‌های شماره‌ی ۳ تا ۱۰ وزن محاسبه شده مهم‌ترین طبقات و یا واحدهای نقشه‌های عاملی را در ارتباط با حرکت‌های لغزشی نشان می‌دهند. با الحاق داده‌های ردیف وزن نهایی واحدهای هر یک از نقشه‌های عاملی به جدول اطلاعات توصیفی آن‌ها، نقشه‌های فازی لایه‌های عاملی تهیه شد.

**جدول ۳. وزن مهم‌ترین واحدهای سنگ‌شناسی در زمینه‌ی حرکت‌های لغزشی**

| ردیف | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| نشانه‌ی واحد | Eb۱ | Etc۳ | Et۲ | Ea۱ | Er۱ | Ed | Esh۳ | Eb۳ | Ess۳ | Etsv۱ |
| وزن واحد | ۱ | ۰/۹۱۷ | ۰/۷۴۱ | ۰/۷۰۳ | ۰/۶۹۸ | ۰/۶۳۴ | ۰/۵۱۵ | ۰/۴۲۱ | ۰/۴۱۹ | ۰/۲۷۶ |

**جدول ۴. وزن طبقات فاصله از گسل در زمینه‌ی حرکت‌های لغزشی**

| ردیف | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| طبقات فاصله از گسل (متر) | ۰ -۱۰۰ | ۱۰۰ -۳۰۰ | ۳۰۰ -۵۰۰ | ۵۰۰ -۱۰۰۰ | ۱۰۰۰ -۲۰۰۰ | ۲۰۰۰ -۷۰۰۰ |
| وزن واحد | ۱ | ۰/۹۳ | ۰/۸۰ | ۰/۶۱ | ۰/۴۱ | ۰ |



[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

**جدول ۵. وزن طبقات فاصله از شبکه‌ی زهکشی در زمینه‌ی حرکت‌های لغزشی**

| ردیف | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طبقات فاصله از شبکه‌ی زهکشی (متر) | ۰ -۱۰۰ | ۱۰۰ -۲۰۰ | ۲۰۰ -۳۰۰ | ۳۰۰ -۴۰۰ | ۴۰۰ -۵۰۰ | ۵۰۰ -۱۰۰۰ | ۱۰۰۰ -۲۰۰۰ | ۲۰۰۰ -۲۵۰۰ | ۲۵۰۰ -۲۷۰۰ |
| وزن واحد | ۱ | ۰/۷۶ | ۰/۵۴ | ۰/۵۲ | ۰/۵۹ | ۰/۵۵ | ۰/۹۶ | ۰/۷۹ | ۰ |

**جدول ۶. وزن طبقات ارتفاعی در زمینه‌ی حرکت‌های لغزشی**

| ردیف | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طبقات ارتفاعی (متر) | ۱۶۰۰ -۱۱۰۰ | ۱۷۰۰ -۱۶۰۰ | ۱۸۰۰ -۱۷۰۰ | ۱۹۰۰ -۱۸۰۰ | ۲۰۰۰ -۱۹۰۰ | ۲۵۰۰ -۲۰۰۰ | ۳۰۰۰ -۲۵۰۰ | ۳۹۰۰ -۳۰۰۰ |
| وزن واحد | ۰/۰۶ | ۰/۳۸ | ۰/۴۷ | ۰/۵۱ | ۱ | ۰/۶۸ | ۰/۰۷ | ۰ |

**جدول ۷. وزن طبقات شیب در زمینه‌ی حرکت‌های لغزشی**

| ردیف | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طبقات شیب (درجه) | ۳- ۰ | ۶- ۳ | ۱۰ -۶ | ۱۵ -۱۰ | ۲۰ -۱۵ | ۲۵ -۲۰ | ۴۰ -۲۵ | ۶۰ -۴۰ |
| وزن واحد | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۳ | ۰/۷ | ۱ | ۰/۹ | ۰/۹ |

**جدول ۸. وزن طبقات جهات شیب در زمینه‌ی حرکت‌های لغزشی**

| ردیف | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طبقات جهت شیب | شمال | شمال شرق | شرق | جنوب شرق | جنوب | جنوب غرب | غرب | شمال غرب | بدون جهت |
| وزن واحد | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۸ | ۱ | ۰/۲ |

**جدول ۹. وزن طبقات میانگین بارش سالانه در زمینه‌ی حرکت‌های لغزشی**

| ردیف | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طبقات میانگین بارش سالانه (میلی‌متر) | ۲۶۰ -۲۴۰ | ۲۸۰ -۲۶۰ | ۳۰۰ -۲۸۰ | ۳۲۰ -۳۰۰ | ۳۴۰ -۳۲۰ | ۳۶۰ -۳۴۰ | ۳۸۰ -۳۶۰ | ۴۰۰ -۳۸۰ |
| وزن واحد | ۱ | ۰/۵ | ۰/۶ | ۰/۳ | ۰/۱ | ۰ | ۰ | ۰ |

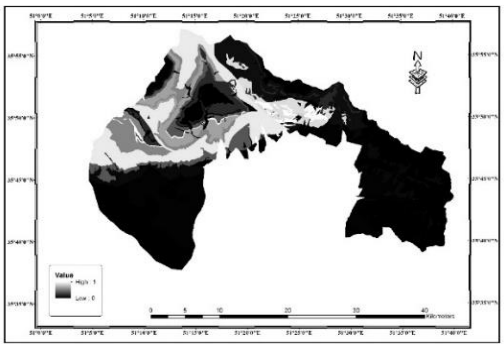
**جدول ۱۰. وزن طبقات میانگین بارش شدید در زمینه‌ی حرکت‌های لغزشی**

| ردیف | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ |
|---|---|---|---|---|
| طبقات میانگین بارش شدید (میلی‌متر) | ۶۱ -۵۵ | ۶۶ -۶۱ | ۷۳ -۶۶ | ۸۱ -۷۳ |
| وزن واحد | ۱ | ۰/۹ | ۰/۲ | ۰ |

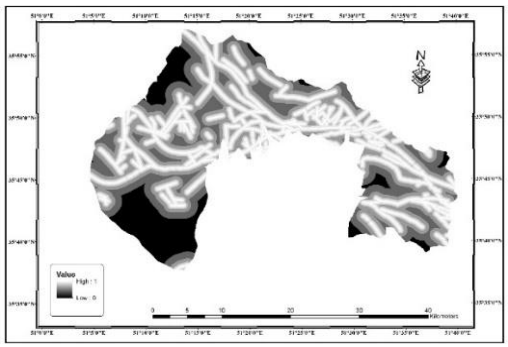
برای فازی‌سازی معیارهای مورد نظر به منظور پهنه‌بندی، ابتدا هر کدام از آن‌ها طبقه‌بندی(Reclassify) شدند. سپس، نقشه‌ی طبقه‌بندی شده با نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها انطباق داده شد. به این صورت تعداد پیکسل‌های لغزشی و فاقد لغزشی در هرکدام از طبقات مشخص گردید. ارزش فراوانی هر طبقه از رابطه‌ی نسبت فراوانی به دست آمد. در مرحله بعد، هر کدام از ارزش‌های به دست آمده را بر بزرگ‌ترین نسبت فراوانی تقسیم شد و ارزش فازی هر طبقه مشخص گردید. سرانجام، در نرم‌افزار Arc GIS نقشه‌ی فازی شده معیارها تهیه گردید (شکل‌های ۳ تا ۱۰).



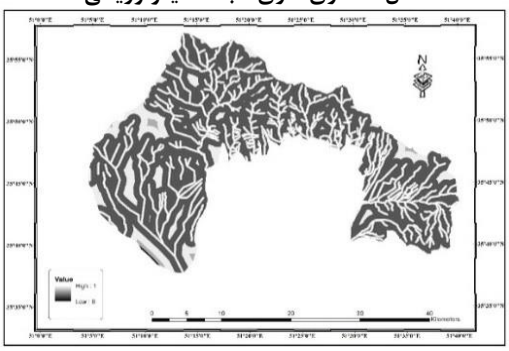
[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]



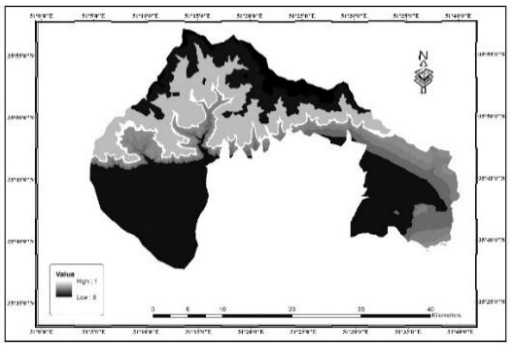
شکل ۳. فازی‌سازی طبقات لیتولوژیکی.



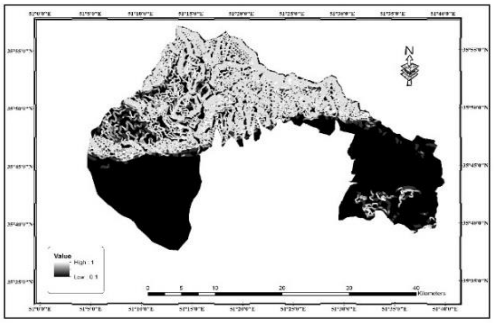
شکل ۴. فازی‌سازی طبقات فاصله از گسل.



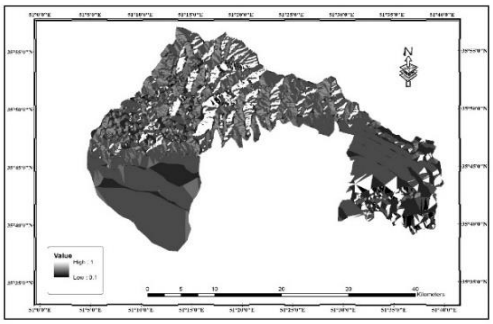
شکل(۵) فازی‌سازی طبقات فاصله از شبکه‌ی زهکشی.



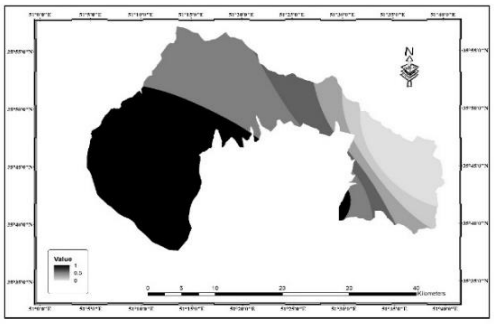
شکل(۶) فازی‌سازی طبقات ارتفاعی.



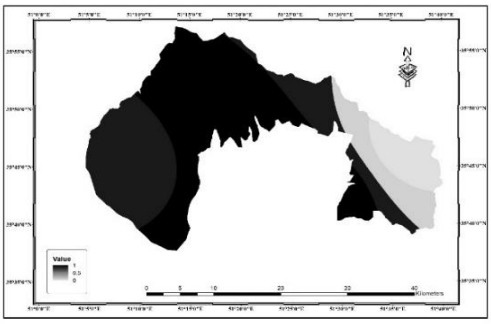
شکل ۷. فازی‌سازی طبقات شیب.



شکل ۸. فازی‌سازی طبقات جهات شیب.



شکل ۹. فازی‌سازی طبقات بارش سالانه.

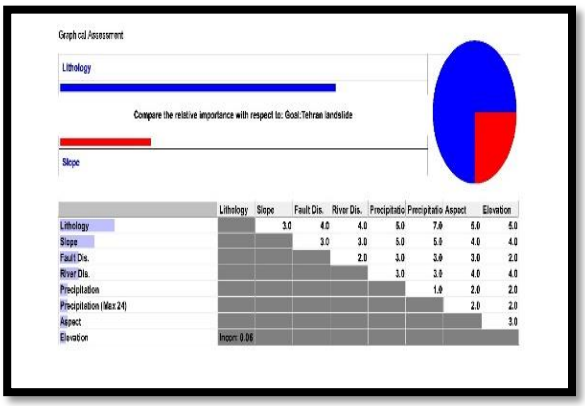


شکل ۱۰. فازی‌سازی طبقات ۲۴ ساعته (شدید).

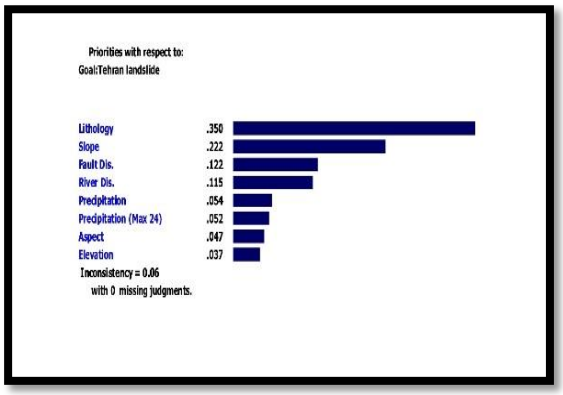


[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

در مرحله بعد، معیارهای مورد نظر با توجه به اهمیت نسبی هر کدام نسبت به وقوع پدیده زمین‌لغزش و روابط بین آن‌ها در محیط نرم افزاری Expert choice، به صورت زوجی و به روش ماتریسی مقایسه شدند. بعد از مشخص شدن وزن‌های نهایی، مقدار سازگاری به دست آمد (۰/۰۶) و به این دلیل که کمتر از ۰/۱ بود صحت آن تأیید شد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲).




**شکل ۱۱. امتیازهای تعلق گرفته به هر کدام از معیارها.**

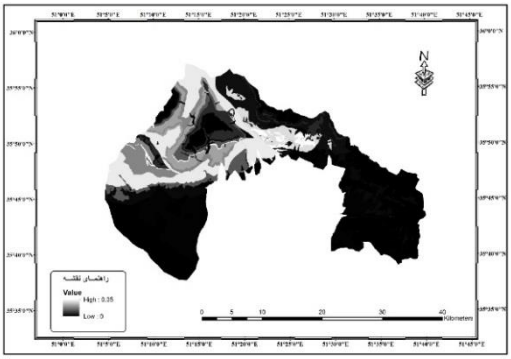



**شکل ۱۲. محاسبه‌ی وزن نسبی معیارها.**

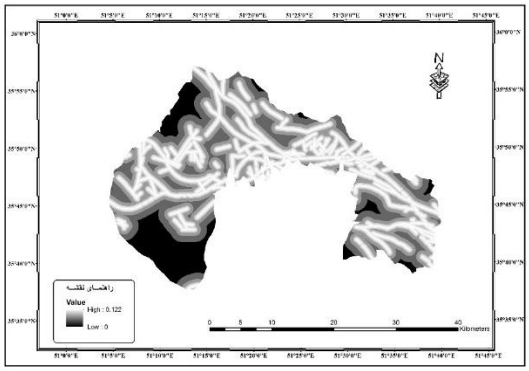
در مرحله‌ی قبل، لایه‌های مورد نظر فازی شدند و این فرآیند بر روی هر یک از معیارها صورت گرفت. در این حالت، از اهمیت تک‌تک معیارها نسبت به هم صرف نظر شد. به عبارت دیگر، طبقه‌بندی بر روی هرکدام از معیارها انجام گرفت و ارزش هرکدام از آن‌ها با استفاده از روش فازی معین شد. در این مرحله، وزن‌های مشخص شده برای معیارها با مدل AHP در هرکدام از لایه‌های فازی تأثیر داده شد. در این حالت، لایه‌های اطلاعاتی فازی شده با اعمال ضرایب حاصل از مقایسه‌ی زوجی مدل تحلیل سلسله‌مراتبی با استفاده از نرم‌افزار Expert choice لایه‌های استاندارد وزن‌دار را تشکیل می‌دهند (شکل‌های۱۳ تا ۲۰).



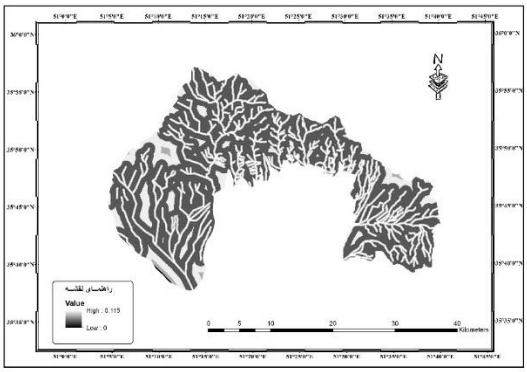
[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]



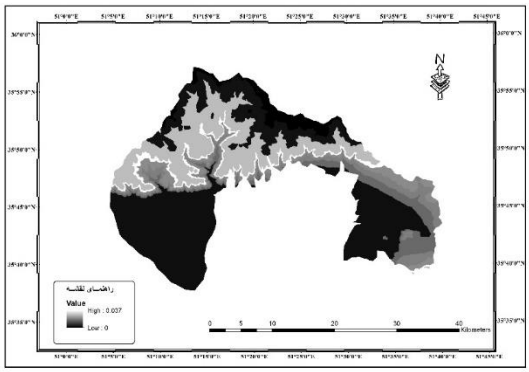
در نقشه‌ی AHP شکل ۱۳. تأثیر وزن مدل فازی‌سازی شده‌ی طبقات لیتولوژیکی.



در نقشه‌ی AHP شکل ۱۴. تأثیر وزن مدل فازی‌سازی شده‌ی طبقات فاصله از گسل



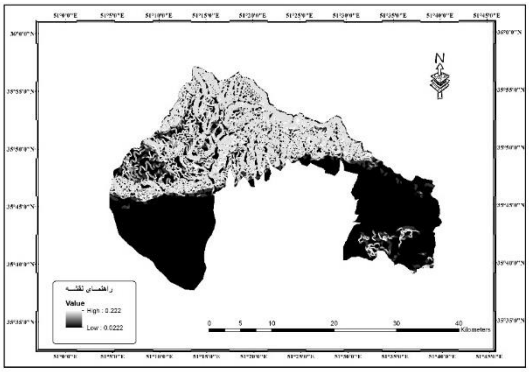
در نقشه‌ی AHP شکل ۱۵. تأثیر وزن مدل فازی‌سازی شده‌ی طبقات فاصله از شبکه‌ی زهکشی.



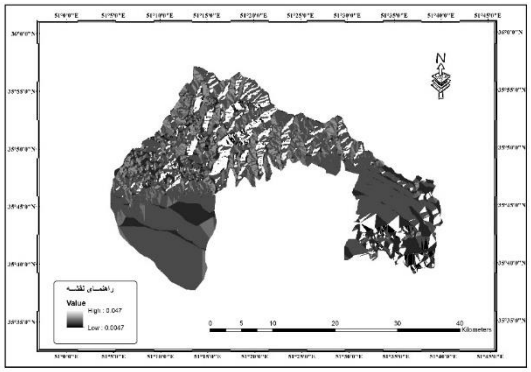
در نقشه‌ی AHP شکل ۱۶. تأثیر وزن مدل فازی‌سازی شده‌ی طبقات ارتفاعی.



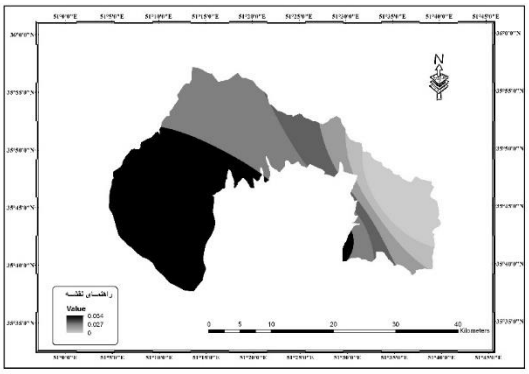
[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]



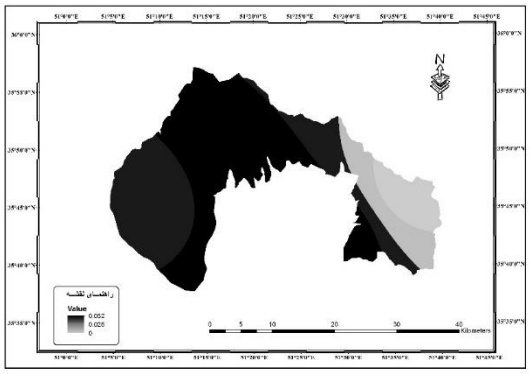
**در نقشه‌ی AHP شکل ۱۷. تأثیر وزن مدل فازی‌سازی شده‌ی طبقات شیب.**



**در نقشه‌ی AHP شکل ۱۸. تأثیر وزن مدل فازی‌سازی شده‌ی طبقات جهات شیب.**



**در نقشه‌ی AHP شکل ۱۹. تأثیر وزن مدل فازی‌سازی شده‌ی طبقات بارش سالانه.**



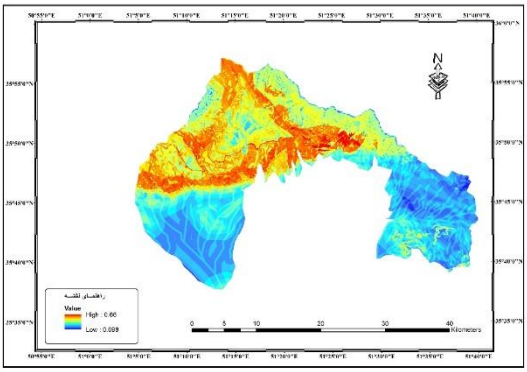
**در نقشه‌ی AHP شکل ۲۰. تأثیر وزن مدل فازی‌سازی شده‌ی طبقات بارش ۲۴ ساعته (شدید).**

برای پهنه‌بندی نهایی، تک‌تک لایه‌ها در محیط فازی Overlay فراخوانی و، سپس، از آن‌ها نقشه‌های جمع فازی، ضرب فازی و، نهایتاً، به دلیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب و دقت کم عملگر جمع، از فازی گاما استفاده و نقشه‌های گامای ۰/۸ و ۰/۹ تهیه شد. با توجه به نتایج و شناختی که از منطقه وجود داشت، نقشه‌ی گامای ۰/۸ به صورت بهترین نقشه انتخاب و، سپس، طبقه‌بندی شد (شکل‌های ۲۱ تا ۲۴). این نقشه با توجه به دامنه‌ی وزن پیکسل‌ها و بر اساس تغییرات منحنی هیستوگرام آن به صورت آماری و با استفاده از روش طبقه‌بندی نقاط شکست[۴] به پنج کلاس پتانسیل خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم طبقه‌بندی گردید (شکل ۲۵).

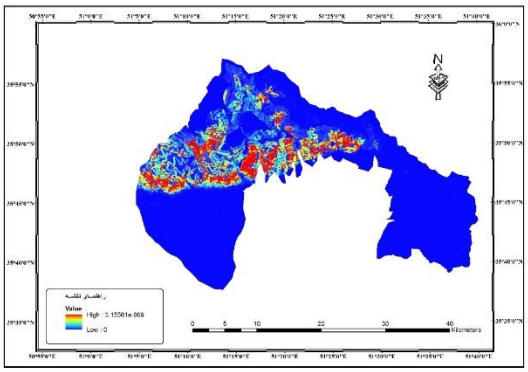
[۴] - Natural Breaks Method (jenks)



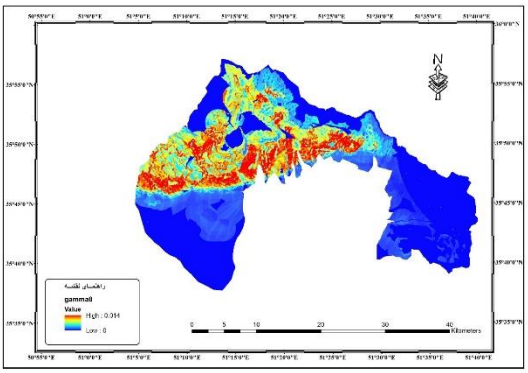
[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]



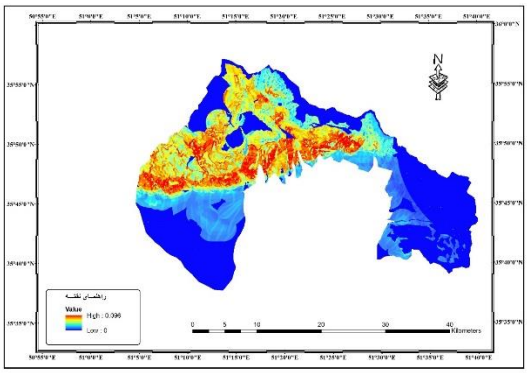
**شکل ۲۱. نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با عملگر جمع فازی.**



**شکل ۲۲. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با عملگر ضرب فازی.**



**شکل ۲۳. نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با عملگر گامای فازی ۰/۸.**



**شکل ۲۴. نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با عملگر گامای فازی ۰/۹.**

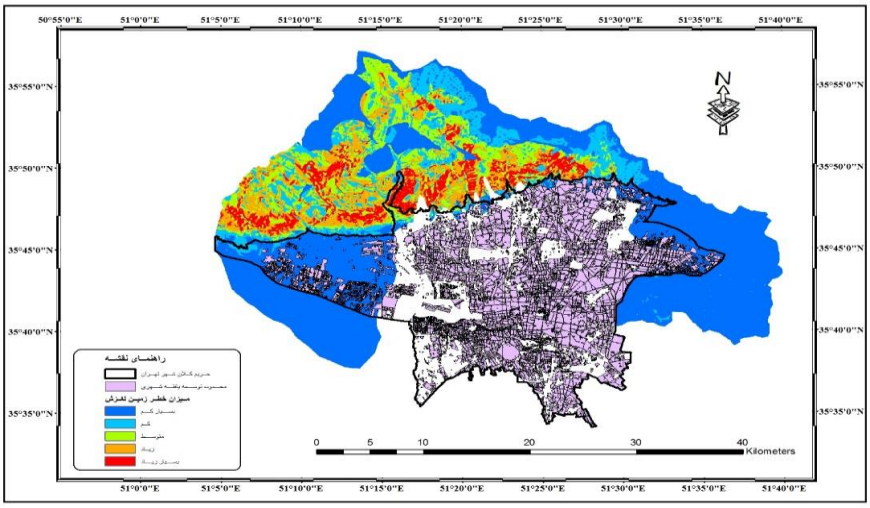
با توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش، در جدول شماره‌ی ۱۱ توصیف مفهوم کاربردی هر یک از طبقات خطر در امر توسعه‌ی شهری ارائه شده است.

**جدول ۱۱. مفهوم کاربردی هر یک از طبقات پتانسیل خطر زمین‌لغزش در توسعه‌ی شهری**

| طبقه | پتانسیل خطرزمین‌لغزش | مفهوم کاربردی هر یک از طبقات در توسعه‌ی شهری |
|---|---|---|
| ۱ | بسیار کم(VLH) | برای توسعه‌ی شهری کاملاً مطمئن است. |
| ۲ | کم(LH) | برای طرح‌های توسعه‌ی شهری کاملاً مطمئن است. |
| ۳ | متوسط(MH) | مستعد ناپایداری است و به راهکارهای اطمینان‌بخش نیازمند است. |
| ۴ | زیاد(HH) | برای طرح‌های توسعه‌ی شهری اطمینان کمی وجود دارد و باید استانداردهای لازم را در نظر گرفت. |
| ۵ | بسیار زیاد(VHH) | برای توسعه‌ی شهری محل نامطمئنی است و ویژه‌ی کاربری‌های خاص نظیر ایجاد فضای سبز و... است و با توجه به شرایط طبیعی و انسانی توسعه‌ی شهری کاملاً ممنوع است. |



[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]




**شکل ۲۵. نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدوده‌ی کوهستانی کلان‌شهر تهران.**

تحلیل داده‌های لغزشی و شیب در محدوده‌های دامنه‌ای کلان‌شهر تهران مشخص کرد که برخی از بخش‌های این محدوده‌ها مستعد حرکات لغزشی‌اند. بررسی‌های سنگ‌شناختی نشان داد که بیشتر لغزش‌های این حوضه‌ها در مناطق پوشیده شده از سازند کرج رخ داده‌اند. در این بین، حدود ۴۵/۷۶ درصد از کل واحدهای دارای حرکت لغزشی در نواحی با «سنگ‌های کریستال لیتیک توف و خاکستر توف سبزرنگ همراه با میان لایه‌های سنگ آهک» (واحد Et۲) از بخش توف میانی این سازند رخ داده است. حدود ۱۱/۶ درصد از این حرکت‌ها در لایه‌های «شیل با میان لایه‌های ماسه سنگ توفی و سیلتستون» (واحدEsh۳)، حدود ۸/۲۵ درصد در لایه‌های «تناوب شیل و سیلتستون توفی» (واحدEss۳) هر دو از بخش شیل آسارای سازند کرج، حدود ۶/۸۷ درصد در لایه‌های «توف ریولیتی و جریان‌های گدازه» (واحدEr۱) و حدود ۵/۶۷ درصد در نواحی با «گدازه‌های برش- آندزیتی و جریان‌های گدازه» (واحدEb۱) هر دو از بخش شیل زیرین در سازند کرج رخ داده‌اند.

نتیجه‌ی حاصل از انقطاع نقشه‌ی طبقات فاصله از گسل‌ها با نقشه‌ی تراکم زمین‌لغزش‌ها نشان داد که در حدود ۳۳/۱۷ درصد زمین‌لغزش‌ها تا فاصله‌ی ۲۰۰ متری از خطوط گسلی رخ داده است. همچنین، مشخص شد که تقریباً به همین میزان یعنی ۳۱/۸۲ درصد این حرکات در فاصله بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ متری و در حدود ۳۵ درصد در فاصله بیش از ۵۰۰ متری (حداکثر تا ۲۰۰۰ متری) به وقوع پیوسته است.

نتیجه‌ی تقاطع نقشه‌ی طبقات فاصله از شبکه‌ی آبراهه‌ای و حرکات لغزشی حاکی از آنست که ۷۸/۴۶ درصد از زمین‌لغزش‌ها در فاصله‌ی کمتر از ۵۰۰ متری شبکه‌ی زهکشی رخ داده‌اند. این نتیجه نقش شبکه‌ی آبراهه‌ای را در فرسایش و زیرشویی پای شیب‌ها و دامنه‌ها نشان می‌دهد که با جریان‌های پرسرعت سیلابی و روان‌آب‌های سطحی و جریان‌های رودخانه‌ای به وجود آمده‌اند.

بخش عمده‌ی حرکت‌های لغزشی (۶۰/۲۶ درصد) در طیف ارتفاعی ۱۹۰۰ تا ۲۵۰۰ متری و حدود ۳۵/۳۲ درصد از این نوع حرکات در طیف ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۱۹۰۰ متری رخ داده است. عامل ارتفاع به طور غیرمستقیم تعیین‌کننده‌ی بسیاری از عوامل مسبب زمین‌لغزش‌ها مانند مقدار بارش سالانه، بارش‌های شدید و رگباری، تغییرات دما و یخبندان و ذوب یخ است. با وجود این، ارتفاع می‌تواند عاملی بسیار مهم و اثرگذار در وقوع زمین‌لغزش مطرح باشد.



[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

در این حوضه‌ها حدود ۸۱/۶۸ درصد از حرکت‌های لغزشی در شیب‌های بین ۱۵ تا ۴۰ درجه (۲۶/۸ تا ۸۳/۹ درصد) و حدود ۱۷/۶۲ درصد در شیب‌های کمتر از ۱۵ درجه (۲۶/۸ درصد) رخ داده است. تغییر در شیب دامنه‌ها، که ممکن است طبیعی یا مصنوعی (مثلاً توسعه‌ی شهری) ایجاد شده باشد، سبب افزایش گرادیان شیب و، در نتیجه، افزایش تنش‌های درونی توده‌های سنگی و ایجاد شرایط آستانه‌ای لغزش‌ها با تغییر نیروهای برشی خواهد شد.

به لحاظ وجه شیب دامنه‌ها، حرکت‌های لغزشی این حوضه‌ها عمدتاً به ترتیب در دامنه‌های جنوب غربی (حدود ۲۳/۲۲ درصد)، جنوبی (حدود ۱۷/۵۶ درصد)، غربی (حدود ۱۶/۶۴ درصد)، جنوب شرقی (حدود ۱۲/۷۷ درصد)، شمال غربی (حدود ۱۱/۳۳ درصد) رخ داده است.

از نظر اقلیمی، به دلیل اثرگذاری سایر عوامل و متغیرهای مستقل حدود ۸۸/۹۴ درصد حرکت‌های لغزشی در نواحی با میانگین بارش سالانه ۲۴۴ تا ۲۸۰ میلی‌متری رخ داده‌اند، در حالی که در نواحی با میانگین بارش سالانه ۳۰۰ تا ۳۴۰ میلی‌متر، با وجود بارش نسبی بیشتر، این نوع حرکات کمتر به وقوع پیوسته‌اند (در حدود ۴ درصد). همچنین، حرکت‌های لغزشی بیشتر در نواحی دیده می‌شوند که حداکثر بارش‌های شدید ۲۴ ساعته در آن‌ها حدود ۶۰ تا ۶۵ میلی‌متر باشد.

مطالعات میدانی درباره‌ی پوشش زمین نشان داد که حرکت‌های لغزشی این حوضه‌ها بیشتر در نواحی مرتعی با برون‌زده‌های سنگی (حدود ۹۹/۹۸ درصد) رخ داده‌اند، ضمن آن که در حدود ۰/۰۲ درصد آن‌ها نیز در بخش‌های با کاربری اراضی مسکونی و شهری به وقوع پیوسته‌اند.

بر اساس نقشه‌ی پهنه‌بندی مشخص شد که ۱۲ درصد از مساحت حوضه‌های کوهستانی (معادل ۱۰۰۵۷ هکتار) در پهنه‌ی خطر بسیار زیاد، ۳۳ درصد (معادل ۲۷۷۲۳ هکتار) در پهنه‌ی خطر زیاد، ۲۰/۵ درصد (معادل ۱۷۱۴۳ هکتار) در پهنه‌ی خطر متوسط، ۳۰/۷ درصد (معادل ۲۵۶۷۲ هکتار) در پهنه‌ی خطر کم و ۳/۸ درصد از مساحت این حوضه‌ها (معادل ۳۱۷۲ هکتار) در پهنه‌ی خطر بسیار کم قرار دارند. این نتیجه بیانگر حساسیت زیاد حوضه‌های کوهستانی به این فرآیند دامنه‌ای است (جدول ۱۲).

**جدول ۱۲. مساحت و درصد هرکدام از پهنه‌ها با پتانسیل خطر متفاوت به پدیده‌ی زمین‌لغزش در حوضه‌های کوهستانی**

| کلاس پهنه‌بندی | پتانسیل بسیار زیاد | پتانسیل زیاد | پتانسیل متوسط | پتانسیل کم | پتانسیل بسیار کم | مجموع |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مساحت (هکتار) | ۱۰۰۵۷ | ۲۷۷۲۳ | ۱۷۱۴۳ | ۲۵۶۷۲ | ۳۱۷۲ | ۸۳۷۶۷ |
| درصد | ۱۲ | ۳۳ | ۲۰/۵ | ۳۰/۷ | ۳/۸ | ۱۰۰ |

به منظور تحلیل بین آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش‌ها، نقشه‌ی رستری مناطق مسکونی در حوضه‌های کوهستانی و کوهپایه‌ای با نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انقطاع داده شد. نتایج این انقطاع نشان داد که حدود ۲/۵ هکتار (معادل ۰/۰۵ درصد) از طبقات شهری در پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش بسیار زیاد، حدود ۵۱/۵ هکتار (معادل ۱ درصد) در پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش زیاد و حدود ۸۲۱ هکتار (معادل ۱۶/۲۵ درصد) در پهنه‌های با خطر متوسط زمین‌لغزش واقع و گسترش یافته‌اند.

پس از هر پهنه‌بندی بهتر است روش پهنه‌بندی مورد آزمون قرار گیرد (رضایی، ۱۳۸۱). به منظور آزمون مدل به‌کار گرفته شده در پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها و حصول اطمینان از صحت نتایج، نقشه‌ی پهنه‌بندی (شکل ۲۵) با نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های موجود و برداشت شده انقطاع داده شد. نتیجه‌ی این انقطاع در جدول شماره‌ی ۱۳ آورده شده است که دلالت بر مناسب بودن و دقت بالای مدل تلفیقی فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دارد.



[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

**جدول ۱۳. ارزیابی کارایی مدل تلفیقی فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش محدوده‌ی مطالعه.**

| کلاس پهنه‌بندی | پتانسیل بسیار زیاد | پتانسیل زیاد | پتانسیل متوسط | پتانسیل کم | پتانسیل بسیار کم | مجموع |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تعداد پیکسل‌ها | ۱۴۹۳۳ | ۱۰۲۲۰ | ۷۱۰ | ۲۷ | ۰ | ۲۵۸۹۰ |
| مساحت(هکتار) | ۱۳۴۴ | ۹۱۹/۸ | ۶۳/۹ | ۲/۴ | ۰ | ۲۳۳۰/۱ |
| درصد | ۵۷/۷ | ۳۹/۵ | ۲/۷ | ۰/۱ | ۰ | ۱۰۰ |

بر اساس مدل و پهنه‌بندی مذکور ۵۷/۷ درصد از زمین‌لغزش‌های مشاهده شده، در پهنه‌ی با پتانسیل خطر بسیار زیاد، ۳۹/۵ درصد در پهنه‌ی با پتانسیل خطر زیاد، ۲/۷ درصد در پهنه‌ی با پتانسیل خطر متوسط و ۰/۱ درصد در پهنه‌ی با پتانسیل خطر کم قرار گرفته‌اند. هیچ‌کدام از زمین‌لغزش‌های برداشت شده در پهنه با پتانسیل خطر خیلی کم به وقوع نپیوسته است.

## نتیجه‌گیری

کاهش آسیب‌پذیری ناشی از حرکات لغزشی می‌تواند با تدوین دستورالعمل‌های ویژه ساخت و ساز در مناطق کوهپایه‌ای و کوهستانی، توجه به نقش فرآیندهای ژئومورفولوژیکی در توسعه و قابلیت‌ها و محدودیت‌هایی که این عوامل در تعیین جهات توسعه‌ی آتی دارند و، همچنین، توجه به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها، رعایت الزامات مربوط به پایدارسازی دامنه‌های پرخطر و اجرای مطالعات ویژه با به کارگیری افراد متخصص و باتجربه در مراکز تصمیم‌گیری، حاصل شود. نقشه‌های پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع حرکت‌های لغزشی قابلیت استفاده در بسیاری از سازمان‌ها و نهادهای مرتبط با مدیریت و برنامه‌ریزی شهری را دارند، زیرا در این نقشه‌ها با شناخت نواحی مستعد انواع حرکت‌های لغزشی می‌توان از خسارات و مخاطراتی که کاربری‌های گوناگون شهری را تهدید می‌کنند جلوگیری کرد. همچنین، این نقشه‌ها می‌توانند مبنایی برای برنامه‌ریزی‌های مطمئن و ایمن مربوط به توسعه‌ی فیزیکی کاربری‌های گوناگون شهری(مسکونی، تجاری یا صنعتی) باشند. در خصوص این نقشه‌ها توصیه می‌شود که پهنه‌بندی با مقیاس‌های بزرگ و متناسب با وضعیت هر منطقه صورت بگیرد تا بتوان امکان وقوع حرکت‌های لغزشی را با دقت بیشتری پیش‌بینی کرد. این بررسی‌ها بایستی به صورت تفصیلی و با نظر متخصصین گوناگون علوم زمین صورت گیرد تا از این طریق بتوان راهکارهای مناسب برای مقابله با آن‌ها را انتخاب کرد. این مقیاس باید به گونه‌ای باشد تا وضعیت انواع کاربری‌ها درباره‌ی حرکات لغزشی حداقل در سطح ناحیه‌ای شهری (به لحاظ تقسیمات شهرداری) به‌خوبی مشخص باشد.

**تقدیر و تشکر:**

این مقاله حاصل طرح پژوهشی مصوب قطب علمی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی دانشگاه خوارزمی است. بدین وسیله از حمایت های مادی و معنوی این مرکز تشکر و قدردانی می کنم.

**منابع**

حاتمی‌فرد، رامین؛ سیدحجت موسوی و مسعود علیمرادی. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS در شهرستان خرم‌آباد. مجله‌ی *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، **۳**: ۶-۴۳.

رضایی، خلیل و بهروز رفیعی. ۱۳۸۱. *راهنمای کاربری نرم‌افزار ILWIS از سری نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی*، انتشارات ناقوس.

سازمان برنامه و بودجه کشور. ۱۳۷۵. *دستورالعمل مطالعات فیزیوگرافی درحوضه‌های آبخیز*. نشریه شماره **۱۶۰**.



[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

سازمان تحقیقات منابع آب. ۱۳۸۶. *آمار حداکثر آبدهی ایستگاه‌های آب‌سنجی تهران*.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. ۱۳۳۵. *عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ تهران*.

سازمان زمین‌شناسی کشور، *نقشه‌های زمین‌شناسی۱:۱۰۰۰۰۰ تهران* (۲ برگ).

سازمان نقشه‌برداری کشور. ۱۳۸۱. *عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ تهران*.

ـــــــــــــــــ ۱۳۴۳. *نقشه‌های توپوگرافی۱:۱۰۰۰۰ تهران*، (۲۵ برگ).

ـــــــــــــــــ ۱۳۸۰. *نقشه‌های توپوگرافی۱:۲۵۰۰۰ تهران* (۱۳ برگ).

سازمان هواشناسی کشور. ۱۳۸۵. *آمار دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی تهران*.

صفاری، امیر. ۱۳۸۷. *قابلیت‌ها و محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی کلان‌شهر تهران به منظور توسعه و ایمنی*. رساله‌ی دکتری. دانشگاه تهران.

علایی طالقانی، محمود. ۱۳۸۲. *ژئومورفولوژی ایران*. چاپ دوم. نشر قومس.

ـــــــــــــــــ ؛ زهرا رحیم‌زاده و عباس امینی. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی حساسیت دامنه‌ها به ناپایداری (لغزش) در حوضه‌ی آبخیز جوانرود با استفاده از مدل آماری دو متغیره تراکم سطح، مجله‌ی *جغرافیا و توسعه*، **۲۲:** ۷۲-۵۷.

گرایی، پرویز و حاجی کریمی.۱۳۸۹. تعیین مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام. فصلنامه‌ی *تحقیقات جغرافیایی*، **۹۶:** ۱۲۷-۱۰۲.

مرکز آمار ایران. ۱۳۹۰. *سرشماری عمومی نفوس و مسکن*. انتشارات مرکز آمار ایران. تهران.

مقیمی، ابراهیم. ۱۳۸۵. *ژئومورفولوژی شهری*. انتشارات دانشگاه تهران.

ـــــــــــــــــ ؛ مجتبی یمانی و سعید رحیمی هرآبادی. ۱۳۹۲. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه. فصلنامه‌ی *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، **۴**: ۱۱۸-۱۰۳.

یمانی، مجتبی؛ ابوطالب محمدی و سعید نگهبان. ۱۳۸۹. پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز توتکابن با استفاده از مدل‌های کمی. مجله‌ی *جغرافیا و توسعه*، **۱۹**: ۹۸-۸۳.

Alimohammadlou, Y.; Najafi, A. and Gokceoglu, C. ۲۰۱۴. Estimation of rainfall-induced landslides using ANN and fuzzy clustering methods: A case study in Saeen Slope, Azerbaijan province, Iran. *CATENA*, **۱۲۰**: 149-162.

Dragićević, V.; Lai, T. and Balram, S. ۲۰۱۵. GIS-based multicriteria evaluation with multiscale analysis to characterize urban landslide susceptibility in data-scarce environments. *Habitat International*, **45**: 114-125.

Faraji Sabokbar, H.; Shadman Roodposhti, M. and Tazik, E. ۲۰۱۴. Landslide susceptibility mapping using geographically-weighted principal component analysis. *Geomorphology*, **226**: 15-24.

Feizizadeh, B.; Shadman Roodposhti, M.; Jankowski, P. and Blaschke, T. ۲۰۱۴. A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. *Computers & Geosciences*, **73**: 208-221.

Komac, M. ۲۰۰۶. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in per alpine Slovenia. *Geomorphology*, **۲۴**: ۱۷-۲۸.

Shahabi,M.; khezri, s.; ahmad,B.B and Allahvirdiasi, h. ۲۰۱۲. Application of satellite images and fuzzy set theory in landside hazard mapping in central zab basin. *IOSR Journal of applied physics*, **۱**: ۱۷-۲۴.

Van Westen, C.J. and Terlien, M.T.J. ۱۹۹۶. An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS: A case study from Manizales (Colombia). *Earth surface processes and landforms*, **۲۱**: ۸۵۳-۸۶۸.

Zhang fanyu, L. ۲۰۰۷. Study on Landslide susceptibility Mapping Based on GIS and With Bivariate statistics a case study in London area highway ۲۱۲. Science paper online.

Yalcin, A. ۲۰۰۸. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Catena*, **۷۲**: ۱-۱۲.



[ Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]