دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۶
تابستان ۱۳۹۸، صفحات ۹۷-۷۷

*نسرین سمندر[۱]
سیداسدالله حجازی[۲]

ارزیابی عملکرد روش‌های آماری رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی چندلایه پرسپترون در پیش‌بینی وقوع حرکات توده‌ای (حوضه آبریز کمانج‌چای علیا)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٦/۰۹/۰۸

چکیده

این پژوهش با هدف شناسایی عوامل مؤثر در ایجاد پدیده ناپایداری دامنه‌ای، تعیین مناطق دارای پتانسیل ناپایداری‌های دامنه‌ای و تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع ناپایداری در حوضه کمانج‌چای علیا که از حوضه‌های مهم شمال شهرستان تبریز می‌باشد، با استفاده از مدل‌های رگرسیون لجستیک و شبکه‌ی عصبی مصنوعی انجام شده است. این حوضه به دلیل شرایط توپوگرافی، تکتونیک، زمین‌شناسی، چینه‌شناسی و اقلیم مستعد انواع ناپایداری‌های دامنه‌ای است و همواره این پدیده اتفاق می‌افتد. با توجه به هدف پژوهش متغیرهایی چون: ارتفاع، شیب، جهت شیب، جنس سازند، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از جاده، به عنوان متغیر مستقل و پراکنش ناپایداری دامنه‌ای به‌عنوان متغیر وابسته با استفاده از مدل‌های رگرسیون لجستیک و شبکه‌ی عصبی مصنوعی تحلیل شد. نتایج نشان داد مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای در حوضه به‌ترتیب عامل ارتفاع، فاصله از رودخانه، لیتولوژی، فاصله از گسل، شیب و جهت شیب می‌باشند. بیش از ۵۰ درصد ناپایداری‌های دامنه‌ای منطقه‌ی مورد مطالعه در ارتفاع ۱۸۵۰-۱۵۲۰ در شیب ۳۲-۱۷ درجه، در فاصله‌ی حداکثر ۲۰۰ متری از آبراهه و حداکثر ۵۰۰ متری از گسل رخ داده‌اند، در کل ۰/۵ درصد (۱۸۳۱ پیکسل لغزشی) محدوده‌ی مورد مطالعه را ناپایداری‌های دامنه‌ای تشکیل

*۱- دانشجوی دکتری دانشگاه تبریز، گروه ژئومورفولوژی. (نویسنده مسئول). E- mail: Samandar_nasrin@yahoo.com
۲- گروه ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

می‌دهند. با توجه به نتایج مدل‌ها درصد پهنه‌هایی با خطر بسیار بالا در مدل شبکه‌ی عصبی و رگرسیون لجستیک به‌ترتیب برابر با ۵/٦ و ۸/۳ درصد می‌باشد که عمدتا محدوده‌های نزدیک به شبکه‌های زهکشی را شامل می‌گردد که از لحاظ لیتولوژی نیز این مناطق در محدوده‌هایی با میزان مقاومت پایین قرار گرفته‌اند که روش آماری لجستیک نیز نشان دهنده تاثیر بسیار زیاد فاصله از گسل و لیتولوژی بر وقوع پدیده زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد ارزیابی مدل‌ها با شاخص ROC نشان داد که میزان دقت مدل رگرسیون لجستیک برابر با ۰/۸۹٤ و مدل شبکه‌ی عصبی ۰/۸۲٦ می‌باشد. در واقع هر دو مدل مقدار بالایی را نشان می‌دهد و حاکی از آن است که حرکات توده‌ای و ناپایداری-های دامنه‌ای مشاهده شده، رابطه قوی با مقادیر احتمال حاصل از مدل‌های رگرسیون لجستیک و مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی دارد. نتایج این مطالعه می‌تواند در مدیریت خطر ناپایداری‌های دامنه‌ای و کنترل عوامل تشدیدکننده مفید باشد.

کلید واژه‌ها: مدل رگرسیون لجستیک، شبکه عصبی، فازی سازی، زمین لغزش، کمانج چای.

مقدمه

بررسی ناپایداری دامنه‌ای و خطر زمین‌لغزش مانند بسیاری از موضوعات زمین‌شناسی موضوعی بسیار پیچیده به دلیل تنوع عوامل مؤثر در وقوع آن است. مبهم بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با پارامترهایی نظیر زمین‌شناسی، هیدرولوژیک، تکتونیک، پوشش گیاهی، بارندگی و فرسایش در بروز ناپایداری دامنه‌ای، لزوم استفاده از روش‌های دقیق و مناسب را در بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای منطقی می‌نماید. لزوم پیش‌بینی وقوع و تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به‌منظور مدیریت و تعدیل خطر به توسعه‌ی مدل‌های تجربی و آماری فراوانی با تاکید بر کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی منجر شده است (Mosavi, 2008: 99). ثبات دامنه‌ها در مناطق کوهستانی بسیار شکننده و کلیه تأسیسات انسانی مستقر بر روی دامنه‌های ناپایدار آسیب‌پذیر هستند. مطالعه و ارزیابی میزان آسیب‌پذیری در مناطق کوهستانی، اولین قدم در کاهش میزان اثرات لغزش‌ها و ایجاد اطمینان لازم برای برنامه‌ریزی‌ها و انجام کارهای عمرانی است (Bayati khatibi, 2010: 2)؛ به عبارت دیگر ارزیابی خطر، اولین مرحله از مدیریت و کاهش خطر است. ارزیابی خطر زمین‌لغزش احتمال وقوع زمین‌لغزش‌ها را در یک مکان با یک دوره برگشت برآورد می‌کند (Van Westen et al., 2006: 168). آمار ثبت شده توسط وزارت جهاد کشاورزی نشان می‌دهد که تا اوایل سال (۱۳۷۸)، وقوع حدود ۲۵۹۰ حرکت توده‌ای و لغزش در کشور باعث مرگ ۱٦۲ نفر، تخریب ۱۷٦ خانه و ایجاد خسارات مالی به میزان ۱۸٦٦ میلیارد ریال، تخریب ٦۷٦ هکتار جنگل و تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی شده است (Rafatnia at al., 2011: 54) در این تحقیق از تحلیل آماری لجستیک و شبکه‌ی عصبی استفاده شده است. مزیت استفاده از مدل رگرسیون لجستیک نسبت به سایر تحلیل‌های آماری، نیاز به فرضیات کم‌تر و عدم نیاز به وجود توزیع نرمال میان متغیرها، عدم لزوم رابطه‌ی خطی میان متغیر وابسته با متغیرهای مستقل است. این روش کاملا کمی است و میزان تاثیر هر یک از متغیرهای

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

مستقل بر متغیر وابسته را به‌صورت کمی و از ضرایب و آنتی لگاریتم ضرایب مشخص می‌کند (Yilmaz, 2009: 2؛ Lamelas et al., 2008: 453؛ Enrique et al., 2008). این مدل حضور و عدم حضور متغیر مستقل را در ارتباط با متغیرهای وابسته تحلیل و بررسی می‌کند (Iswar, 2010: 629).

متغیر وابسته متغیر کیفی دوحالته است و فقط ارزش ۱ و ۰ دارد. هدف از رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش پیدا کردن بهترین مدل برازش داده شده برای تشریح حضور و عدم حضور زمین‌لغزش به همراه متغیرهای مستقل است. متغیرهای مستقل همان عوامل موثر در وقوع لغزش، شامل شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه و غیره است. این مدل احتمال وقوع لغزش را براساس پیکسل‌ها یا نقاط با ارزش ۰ و ۱ بیان می‌کند و برای ارزیابی ناپایداری شیب‌ها بسیار مناسب است (Mosavi et al., 2005؛ Chau et al., 2010). مدل شبکه‌ی عصبی چند لایه مکانیسمی محاسباتی است که قادر است با گرفتن اطلاعات و محاسبه کردن آن‌ها مجموعه‌ای اطلاعات جدید ارائه دهد (Lee et al., 2006: 200). در شبکه‌ی عصبی سعی بر این است که ساختاری مشابه ساختار بیولوژیکی مغز انسان و شبکه‌ی اعصاب بدن ساخته شود تا همانند مغز قدرت یادگیری، تعمیم‌دهی و تصمیم‌گیری داشته باشد (Gomez and Kavzoglu, 2005: 12). علاوه بر آن این روش نسبت به روش‌های دیگر دارای مزیت‌هایی است، از جمله این‌که شبکه‌ی عصبی مصنوعی از توزیع آماری داده‌ها مستقل است و به متغیرهای آماری مخصوصی نیاز ندارد. این روش برای آنالیز صحت داده‌ها به بررسی کم‌تری در قیاس یا روش‌های آماری نیاز دارد (Caniani et al., 2008: 60). همچنین به‌واسطه‌ی قابلیت منحصربه‌فرد شبکه‌ی عصبی در تعمیم دادن عمومیت‌های حاکم در پایگاه داده در حین آموزش، از شبکه‌ی عصبی می‌توان برای تصمیم‌گیری در موارد جدید که قبلا در اختیار شبکه قرار نگرفته استفاده کرد؛ بنابراین به‌کارگیری این دو مدل و ارزیابی نتایج به‌دست آمده از مدل‌ها اطلاعات خوبی را در اختیار محققان قرار می‌دهد.

پیشینه پژوهش

با توجه به اهمیتی که مخاطرات محیطی از دیرباز بر روی شهر وزندگی شهروندان داشته و حرکات توده‌ای از جمله مخاطرات مهم و خطرناک برای محیط و زندگی افراد است، لذا این موضوع از دیرباز بسیار مورد توجه بوده ولی هرچه به زمان حال نزدیک می‌شویم مطالعات انجام شده بیش‌تر شده و پژوهشگران سعی کرده‌اند از ابعاد و جنبه‌های وسیع‌تری این موضوع را مورد بررسی قرار دهند. در زیر نمونه‌هایی از تحقیقات انجام شده که در داخل و خارج از کشور انجام شده آورده شده است:

Ghaumian et al (2002) پژوهشی با عنوان "پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند مشخصه فازی (مطالعه موردی منطقه رودبار گیلان)" انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که به‌کارگیری ریاضیات و منطق فازی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش به دلیل طبیعت و ماهیت این پدیده و داده‌های مورد استفاده در ارزیابی آن

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

که همواره با نوعی ابهام و عدم قطعیت همراه است و به دلیل قابلیت در فرموله نمودن دانش بشری در قالب ریاضی ابزاری سودمند برای ارزیابی خطر زمین لغزش به‌شمار می‌رود.

Shadfar (2005) در رساله دکتری خود با عنوان "ارزیابی تحلیلی مدل‌های کمی زمین‌لغزش به‌منظور دستیابی به مدلی مناسب برای حوزه آبخیز چالکرود" انجام دادند. این حوضه را که در استان مازندران واقع شده، با استفاده از عملگرهای منطق فازی پهنه‌بندی نمود. صحت نقشه‌ها با استفاده از نمایه جمع کیفی (QS) مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج نشان داد عملگر فازی گامای ۰/۸ مناسب‌ترین عملگر جهت پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوزه مورد مطالعه می‌باشد.

Sabuya et al (2006) برای ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها در ریودوژانیروی برزیل از مدل منطق فازی استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که چون در این مدل کارشناس می‌تواند بین صفر تا یک طبقات عوامل مختلف را وزن‌دهی نماید بنابراین نتایج بهتری نسبت به سایر مدل‌ها به‌دست می‌آید.

Mohammad Nia et al (2016) در پژوهشی با عنوان "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه جاغرق و دررود (مسیر پیشنهادی جدید طرقبه–دررود" در این تحقیق، به منظور ارائه راهکاری جهت پیشگیری از مخاطرات جانی و مالی، سعی شده است مخاطره زمین لغزش در مسیر جاده پیشنهادی طرقبه–درود با استفاده از روش بیزین پهنه‌بندی گردد. لذا با جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از پراکندگی لغزش‌ها در منطقه، ضمن تهیه نقشه پراکندگی زمین‌لغزش‌ها، به تهیه ۱۳ لایه اطلاعاتی اقدام شد. در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با ١٤ رویکرد استفاده از تمام عوامل موثر و حذف تک‌تک عوامل، با استفاده از تئوری بیزین برای منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. سپس میزان دقت و صحت نقشه‌ها با استفاده از منحنی ROC و ۳۰٪ نقاط لغزشی صورت گرفت و مشخص گردید که دقت مدل احتمالاتی تهیه شده با حذف عامل فاصله از گسل در منطقه، با دقت (۰/۸٦/۵ خیلی خوب) برآورد گردید. با استفاده از نقشه ارائه شده می‌توان مناطق ناپایدار را شناسایی و در اجرای برنامه‌های عمرانی و بخصوص احداث راه به آن استناد نمود.

Juang and et al (1996)، نوعی روش ارزیابی کمی را با استفاده از منطق فازی برای نواحی دارای استعداد زمین‌لغزش در هنگ‌کنگ ارائه نمودند و با استفاده از این مدل منطقه مورد مطالعه را به پنج پهنه خطر از خیلی ناپایدار تا خیلی پایدار تقسیم‌بندی نمودند.

Ghohrudi and Gholizade (2016) در مقاله "پتانسیل حرکات دامنه‌ای در حوضه رودخانه زنگمار شهر ماکو" روش انجام پژوهش شامل برداشت‌های میدانی و تعریف متغیرهای موثر در وقوع حرکات توده‌ای است. نتایج به‌دست آمده از تعیین عضویت سطوح مختلف متغیرها نشان داد که با افزایش ارتفاع و شب احتمال وقوع حرکات توده‌ای بیش‌تر در نزدیکی گسل‌ها، در واحد کوهستان و در سنگ‌های سخت یکپارچه اتفاق می‌افتد. همچنین از انطباق ۸۳ درصد از نمونه‌های برداشت شده با سطوح خطر زیاد و خیلی زیاد، می‌توان نتیجه گرفت که رخداد فرآیند حرکات توده‌ای می تواند، توابع انتخابی در نحوه ترکیب عوامل را توجیه نماید.

با توجه به تحقیقات انجام شده پیشین، ارزیابی خطر وقوع حرکات توده‌ای در مناطق کوهستانی بسیار حائز اهمیت می‌باشد و این حوضه به دلیل شرایط توپوگرافی، تکتونیک، زمین‌شناسی، چینه‌شناسی و اقلیم مستعد انواع ناپایداری‌های

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

دامنه‌ای است و همواره این پدیده اتفاق می‌افتد. در این پژوهش سعی می‌شود با استفاده از دو مدل آماری رگرسیون لجستیک و شبکه‌ی عصبی مصنوعی که قبلا هیچ بررسی با این مدل‌ها بر روی منطقه مورد مطالعه صورت نگرفته است، انجام خواهیم داد.

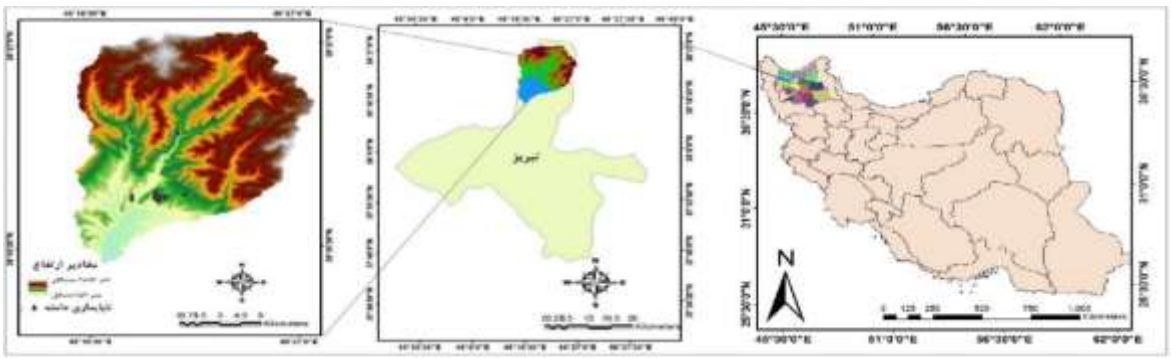
مبانی نظری

شناسایی مناطق مستعد حرکات توده‌ای از جمله زمین‌لغزش از طریق مدل‌سازی خطر با مدل‌های مناسب و کارا، یکی از اقدامات اساسی در کاهش خسارت احتمالی و مدیریت خطر است. زمین‌لغزش به‌عنوان یکی از انواع حرکات توده‌ای فرآیند پیچیده‌ای است که تحت تأثیر پارامترهای داخلی و خارجی روی می‌دهد که شناخت این پارامترها و میزان تأثیرشان در وقوع مخاطرات و استفاده از ابزاری مناسب برای کمی‌سازی، برنامه‌ریزان و مدیران را در برنامه‌ریزی های توسعه و مدیریت بهینه منطقه به‌ویژه مناطق کوهستانی در مقیاس‌های منطقه‌ای و محلی یاری می‌کند (Andaryani et al., 2016). پارامترهای داخلی موثر در پایداری دامنه‌ای از جمله فاکتورهای زمین‌شناسی (لیتولوژی یا نوع خاک)، شکل دامنه (جهت شیب و ارتفاع) و کاربری و پوشش اراضی می‌باشد (Wang & Niu, 2009: 2060).

عمده پارامترهای خارجی موثر نیز زمین لرزه‌ها، بارش (Collison et al., 2000: 217) و فعالیت‌های انسانی می‌باشد. مطالعه و ارزیابی میزان آسیب‌پذیری در مناطق کوهستانی، اولین قدم در کاهش میزان اثرات لغزش‌ها و ایجاد اطمینان لازم برای برنامه‌ریزی‌ها و انجام کارهای عمرانی است (Bayati Khatibi, 2005: 32). به عبارت دیگر ارزیابی خطر، اولین مرحله از مدیریت و کاهش خطر است.

محدوده‌ی مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوضه کمانج علیا می‌باشد که در فاصله ۳۳ کیلومتری تبریز واقع شده است. این حوضه فاقد پوشش گیاهی می‌باشد و دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. طول جغرافیایی حوضه مورد مطالعه "۳۰، ۱۶َ، ۴۶ْ تا "۰، ۲۷َ، ۴۶ْ و عرض جغرافیایی "۰، ۲۷َ، ۳۸ْ تا "۳۰، ۱۶َ، ۳۸ْ است. ارتفاع بالاترین و پایین‌ترین نقطه به‌ترتیب ۲۸۱۷ و ۱۵۲۰ متر است. موقعیت جغرافیایی این حوضه در استان آذربایجان‌شرقی در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه ایران-تبریز- حوضه‌ی کمانج چای علیا

Figure 1: Location of the studied area- Iran- Tabriz- Komanaj chay olya basin

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

مواد و روش‌ها

روش تحقیق پژوهش حاضر، از لحاظ هدف کاربردی و رویکرد حاکم بر آن روش توصیفی-تحلیلی می‌باشد. آمار و اطلاعات مورد نیاز شامل داده‌های اسنادی مشتمل بر مطالعات کتابخانه‌ای، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی اهر با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، ثبت نقاط زمین‌لغزش حوضه از روی تصاویر ماهواره‌ای به دلیل دقت بالای تصاویر و وضوح زیاد و نهایتا تطبیق داده‌ها با سامانه Google Earth و داده‌های حاصل از مشاهده میدانی و عکس‌برداری از زمین‌لغزش‌های رخ داده. لایه رقومی ارتفاعی استر[3] با اندازه پیکسل ۳۰ متری و داده‌های هواشناسی و کلیماتولوژی سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی. برای انجام روش‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر ابتدا نقشه‌های عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش تهیه و استخراج گردید. به منظور بررسی تغییرات مکانی بارندگی و به‌دست آوردن گرادیان بارندگی منطقه با عنایت به این موضوع که با افزایش ارتفاع میزان بارندگی افزایش خواهد داشت، اگرچه این موضوع لزوماً در همه جا صادق نمی‌باشد، ولی در اکثر موارد از جمله ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه این پدیده صادق است، بین متوسط بارندگی سالانه ایستگاه‌های اطراف منطقه‌ی مورد مطالعه و ارتفاع ایستگاه‌ها از سطح دریا (با حذف ایستگاه‌های پرت) رابطه همبستگی برقرار گردید.

- فازی‌سازی فاکتورهای موثر

در تحقیق حاضر به منظور استانداردسازی فاکتورهای پیوسته و گسسته از مجموعه فازی معرف کاربر[4] استفاده گردید (Burrof, 1989, 481؛ Schmucke, 1982: 7). با توجه به این‌که در این مجموعه‌ها مرز کاملاً مشخصی وجود ندارد، به عبارت دیگر تبدیل آن‌ها بین عضویت و عدم عضویت در یک مجموعه به‌صورت تدریجی است، بنابراین مجموعه فازی به‌وسیله درجه عضویت فازی آن مشخص شده و دامنه‌ای بین ۰ تا ۱ به آن‌ها تعلق گرفت که این دامنه نشانگر افزایش پیوسته از عدم عضویت به سمت عضویت کامل می‌باشد؛ به عبارت دیگر وزن ۱ به زیرمعیار دارای تناسب بیش‌تر با رخداد زمین‌لغزش و وزن صفر به کم‌ترین تناسب در رخداد مذکور داده شد. بدین منظور با استفاده از روش هیستوگرام و تحلیل مکانی، تک‌تک کلاس‌های معیارها با لایه وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه قطع داده شدند (Andaryani, 2005: 83). رگرسیون لجستیک[5] از جمله روش‌های آماری پیش‌بینی کننده می‌باشد که با استفاده از متغیرهای مستقل، روند گسترش متغیر وابسته را پیش‌بینی می‌کند. در تحقیق حاضر که رویکردهای سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌کار گرفته شد معیارهای مستقل و وابسته به صورت رستری (تصویر که جزء کوچک آن را پیکسل تشکیل می‌دهد) تبدیل گردید. متغیر وابسته به عبارتی زمین‌لغزش‌های روی داده به‌صورت یک لایه باینری (صفر و یک) و متغیرهای مستقل (عوامل موثر در زمین رخ داد زمین لغزش) به‌صورت لایه‌های استاندارد شده فازی (صفر تا یک) و یا طبقه‌بندی شده در نظر گرفته شد. البته لازم به ذکر است که متغیر وابسته با کلاس یک دنبال کننده منحنی لجستیک

3- Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer
4- User Defined
5- Logistic Regression

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

می‌باشد (Andaryani, 2005: 24). برای اعتبارسنجی مدل رگرسیون لجستیک از شاخص ROC[6] استفاده گردید. در ضمن لازم به ذکر است برای بررسی عملکرد رگرسیون لجستیک و به منظور اعتبارسنجی مدل رگرسیونی ۱۰ درصد از کل پیکسل‌های تصویر که به صورت تصادفی سیستماتیک انتخاب گردیده بود در برازش این مدل مورد استفاده قرار گرفت. ROC شاخص آماره برتری برای اندازه‌گیری برازش نیکویی رگرسیون لجستیک می‌باشد. دامنه عددی آن بین صفر تا یک متغیر بوده طوری که عدد یک نشان‌دهنده برازش کامل و عدد ۰/۵ نشان‌دهنده برازش تصادفی است (Andaryani, 2005: 24).

- پیش‌بینی شبکه عصبی پرسپترون

در اکثر پیش‌بینی‌ها، شبکه‌های عصبی پرسپترون سه لایه با توجه به کاربرد زیاد آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. خروجی شبکه، با مقدار مطلوبی که از شبکه انتظار می‌رود مقایسه شده و با تغییر در نرون‌های ارتباط دهنده نرون‌ها در شبکه تعدیل می‌شود که برای این کار از الگوریتم پس انتشار[7] خطا استفاده می‌کند تا با استفاده از گرادیان تابع هزینه، وزن‌های شبکه را برای کاهش میزان خطای شبکه تعدیل کند و تا خطای موجود به ازای تمامی نمونه‌های آموزشی به یک مقدار حداقل که برای شبکه از قبل تعیین شده نرسد، این کار ادامه می‌یابد. این الگوریتم از تابع سیگموئیدی[8] به‌عنوان تابع غیرخطی استفاده می‌کند و از آن جایی که قاعده پس انتشار به مشتق‌گیری نیاز دارد تابع سیگموئیدی به علت داشتن خاصیت مشتق‌پذیری این شرایط را فراهم می‌آورد. این الگوریتم دارای دو گام اساسی انتشار رو به جلو[9] و رو به عقب[10] می‌باشد. انتشار رو به جلو با رابطه ۱ قابل بیان است (Shalkoff, 1997: 565).

$$O_j = 1 / (1 + e^{-\lambda net_j}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

O_j خروجی برای ورودی j، λ شیب تابع تبدیل و net_j از رابطه (۲) بیان می‌شود.

$$net_j = \sum_i w_{ij} o_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

w_{ij} وزن داده شده از واحد j تا i و خروجی واحد i هرگونه اختلاف به عبارتی خطا در شبکه، بین خروجی شبکه با خروجی مورد انتظار که به شبکه پس انتشار می‌شود از رابطه (۳) قابل بیان است. این فرآیندها مکرر تکرار می‌گردد تا خطاهای شبکه به حداقل یا به مقدار قابل قبول برسد (Atkinson et al., 1997: 700).

$$\Delta w_{ij}(t+1) = \eta\left(\delta_j O_i\right) + \alpha \Delta w_{ij}(t) \quad \text{رابطه (۳)}$$

η: ضریب یادگیری[11]، δ_j: شاخص نرخ تغییر در خطا، α: ضریب شتاب[12]

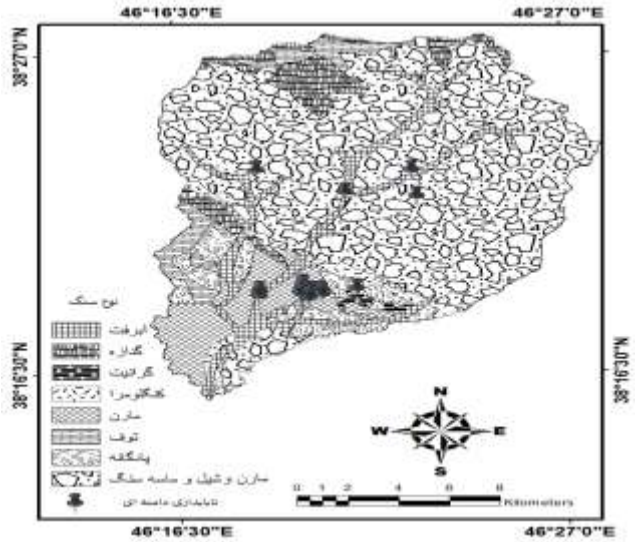
6- Relative Operating Characteristic
7- Back Propagation
8- Sigmoid
9- Forward Propagation
10- Backward Propagation
11- Learning Rate
12- Momentum Rate

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

در پیش‌بینی با استفاده از روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش به‌عنوان نرون‌های ورودی و متغیر مستقل همچنین لایه وقوع زمین‌لغزش به عنوان لایه وابسته و آموزش دهنده شبکه وارد محیط نرم‌افزار ادریسی گردید.

یافته‌ها و بحث

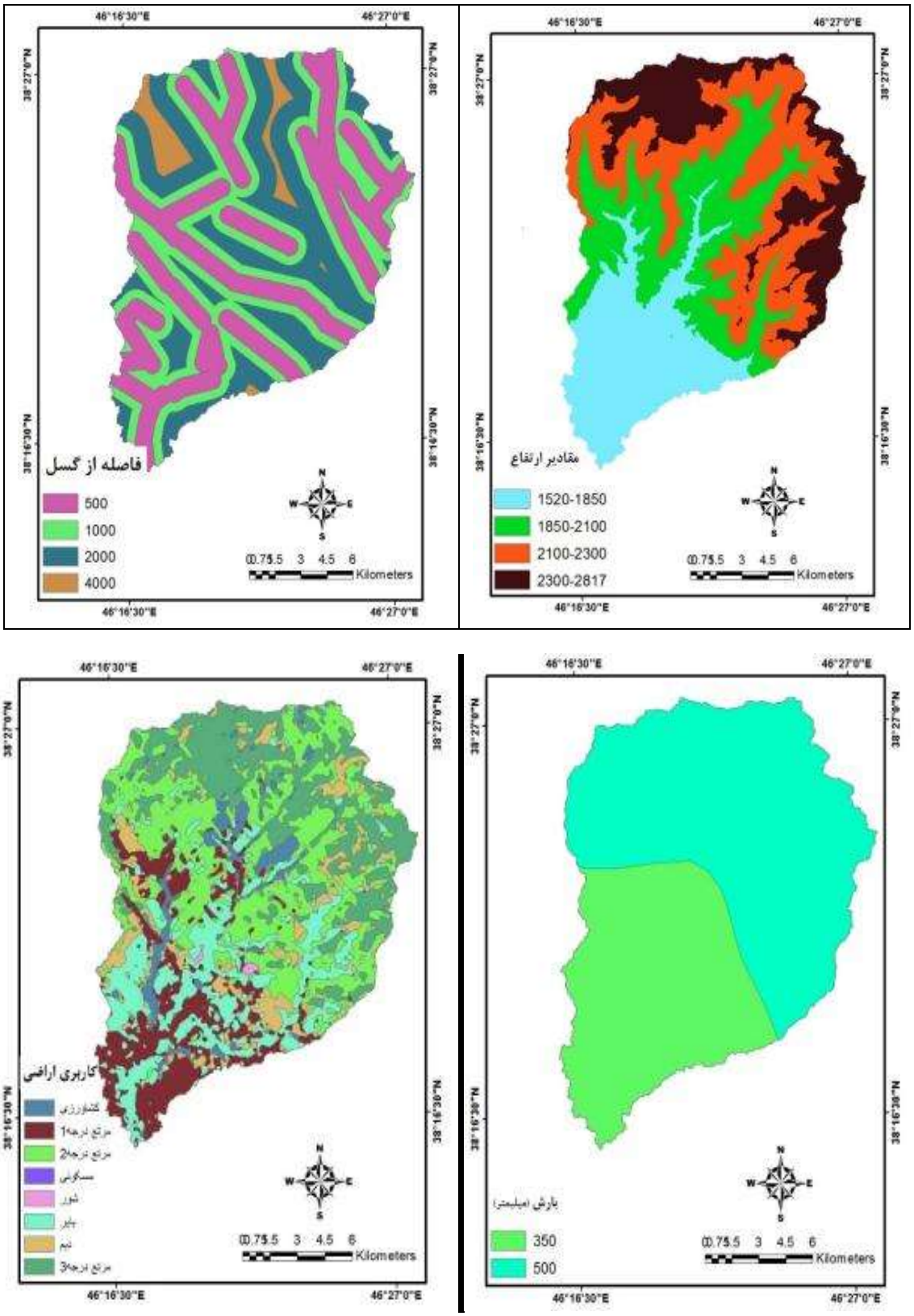
ابتدا عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه برای ورود به مدل‌ها به‌ترتیب زیر تهیه گردید: زمین‌شناسی منطقه به‌عنوان یکی از پارامترهای موثر در وقوع به‌شمار می‌رود و تنوع آن اغلب باعث اختلاف در پایداری و مقاومت سنگ‌ها و همچنین تنوع جنس خاک می‌شود (Apolo &Yamagishi, 2005: 15). با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه لایه لیتولوژی منطقه با توجه به مقاومت سنگ‌های موجود تهیه گردید (شکل ۲). با توجه به نقشه‌ی زمین‌شناسی بیش از ۵۰ درصد از منطقه را مارن، شیل و ماسه‌سنگ تشکیل می‌دهد و در طبقه‌بندی واحدهای لیتولوژی براساس مقاومت مبتنی بر مقیاس پروتودیاکونوف (Memarian, 2013: 82) در طبقه‌بندی میزان مقاومت سنگ‌ها جزء سنگ‌هایی با مقاومت کم می‌باشند بنابراین می‌توان چنین استنباط کرد که بیش‌تر مناطق کم مقاوم و مستعد ناپایداری دامنه‌ای می‌باشند. سایر سنگ‌های تشکیل دهنده منطقه شامل کنگلومرا، توف، گرانیت، مارن، آبرفت و پادگانه‌ها می‌باشند. با توجه به نوع سنگ‌های منطقه ۳۵ درصد از منطقه نیز دارای لیتولوژی نامقاوم می‌باشد و بیش‌ترین ناپایداری‌های رخ داده در منطقه نیز در این قسمت اتفاق افتاده است. در کل می‌توان گفت منطقه مستعد وقوع ناپایداری در اکثر قسمت‌ها می‌باشد. شکل (۳) به عنوان لایه‌های موثر در زمین‌لغزش در نظر گرفته شد. همچنین گسل‌های منطقه نیز از نقشه زمین‌شناسی منطقه رقومی سازی شده و فاصله از گسل‌های موجود در شکل (۳) نشان داده شده است. نقشه ارتفاع: با استفاده از نقشه توپوگرافی لایه رقومی ارتفاعی، لایه شیب، جهت شیب، لایه زهکشی منطقه مورد مطالعه استخراج گردید. شکل‌های (۳) به ترتیب نقشه لایه‌های ذکر شده را نشان می‌دهند.



شکل ۲: نقشه‌ی زمین‌شناسی کمانج چای علیا

Figure 2: Geology map of Komanaj chay olya basin

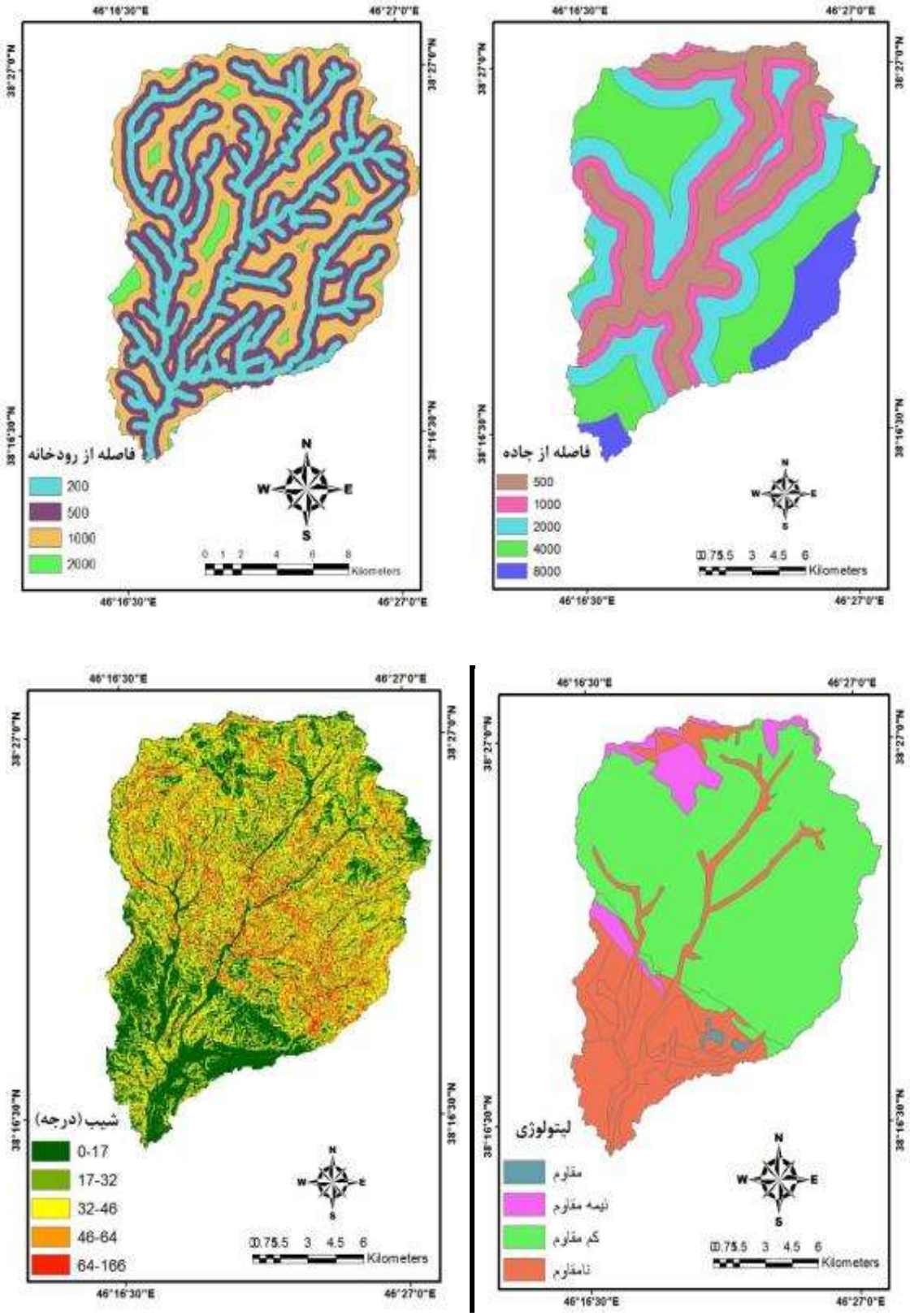
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]



شکل ۳: متغیرهای مورد استفاده در مدل لجستیک و شبکه‌ی عصبی

Figure 3: Variables used in the logistic model and neural network model

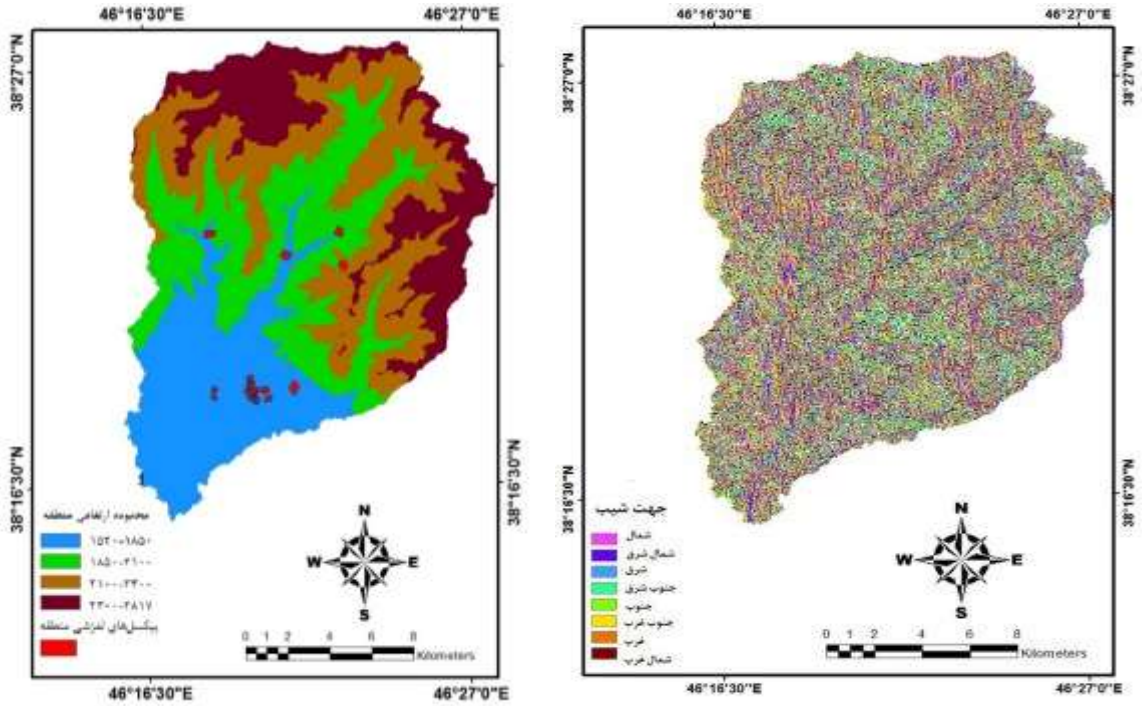
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]



ادامه شکل ۳: متغیرهای مورد استفاده در مدل لجستیک و شبکه‌ی عصبی

Continue Figure3: Variables used in the logistic model and neural network model

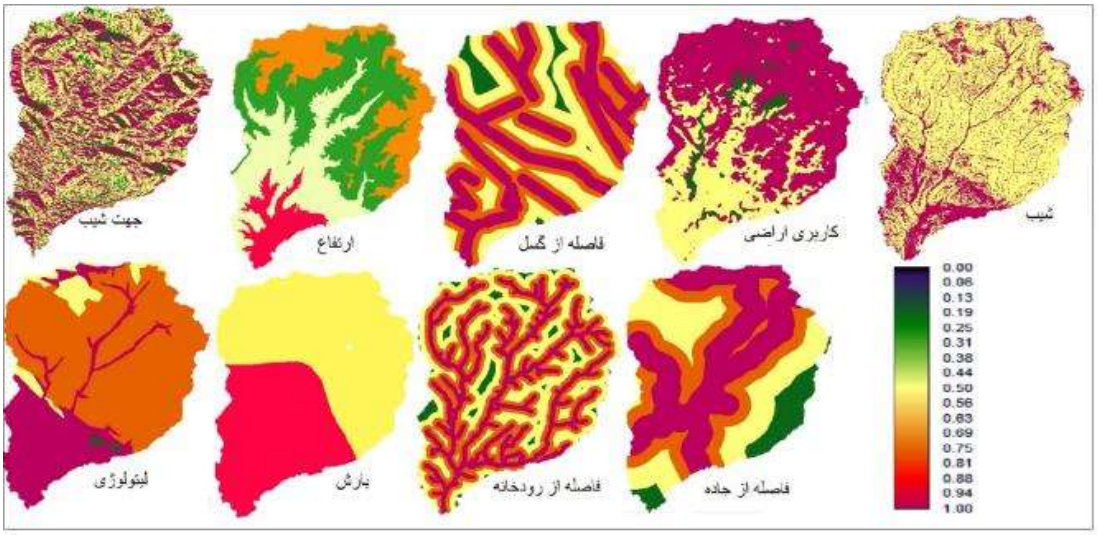
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]



ادامه شکل ۳: متغیرهای مورد استفاده در مدل لجستیک و شبکه‌ی عصبی

Continue Figure 3: Variables used in the logistic model and neural network model

پس از استخراج تمامی لایه‌ها در مرحله بعدی کار، تک‌تک لایه‌های استخراج شده با لایه زمین‌لغزش‌های رخ داده قطع داده شد و بر اساس هیستوگرام و مساحت وقوع زمین‌لغزش‌ها در هر یک از طبقات لایه‌ها در برخی لایه‌ها مانند جهت شیب طبقه‌بندی مجدد صورت گرفت. به عبارتی بر اساس هیستوگرام وقوع زمین‌لغزش‌ها در هر یک از طبقات موجود، فازی‌سازی انجام گرفت (شکل ٤) نتیجه فازی سازی هریک از طبقات در لایه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ٤: فازی سازی لایه‌های موثر در وقوع ناپایداری دامنه

Figure 4: Fuzzy effective layers in the occurrence of domain instability

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

جدول ۱- تعریف طبقات هر فاکتور، میزان مساحت زمین‌لغزش‌های رخ داده در هر طبقه (در واحد کیلومترمربع) و استانداردسازی فازی آن‌ها
Table 1- Definition of the classes of each factor, the amount of land slide area in each class (inkm2) and their fuzzy standardization

فاکتور	طبقات	مساحت لغزش‌های رخ داده	شماره طبقه	وزن فازی سازی (۱ - ۰)
	۱۵۲۰-۱۸۵۰	۱	۱	۱
	۱۸۵۰-۲۱۰۰	۰/۳۸	۲	۱
ارتفاع (متر)	۲۱۰۰-۲۳۰۰	۰	۳	۰/۵
	۲۳۰۰-۲۸۱۷	۰	٤	۰/۲
	شمال	۰/۲۵	۱	۱
	شمال‌شرق	۰/۱۷	۱	۱
جهت شیب	شرق	۰/۹	۲	۰/۵
	جنوب‌شرق	۰/٦	۳	۰/۲
	جنوب	۰/۱	۳	۰/۲
	جنوب‌غرب	۰/۳	۳	۰/۲
	غرب	۰/۲۲	٤	۱
	شمال‌غرب	۰/٤۰	۱	۱
	۰-۱۷	۰/۳۵	۲	۰/۵
	۱۷-۳۲	۰/٦۰	۱	۱
شیب (درجه)	۳۲-٤٦	۰/۲۹	۲	۰/۵
	٤٦-٦٤	۰/۱۰	۳	۰/۵
	٦٤-۱٦٦	۰/۲	۳	۰/۲
	مقاوم	۰	۱	۰
	نیمه مقاوم	۰	۲	۰
لیتولوژی	کم مقاوم	۰/۳۸	۳	۰/۵
	نامقاوم	۱	٤	۱
	۰-۲۰۰	۰/۵۸	۱	۱
	۲۰۰-۵۰۰	۰/۳۳	۱	۱
فاصله از رودخانه (متر)	۵۰۰-۱۰۰۰	۰/۲٦	۲	۰/۵
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۰	۳	۰/۲
	۰-۵۰۰	۱	۱	۱
	۵۰۰-۱۰۰	۰/۹	۲	۱
فاصله از جاده (متر)	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۰/۵	۳	۰/۵

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

ادامه جدول ۱ - تعریف طبقات هر فاکتور، میزان مساحت زمین‌لغزش‌های رخ داده در هر طبقه (در واحد کیلومتر مربع) و استانداردسازی فازی آن‌ها

Continue Table 1- Definition of the classes of each factor, the amount of land slide area in each class (inkm2) and their fuzzy standardization

فاکتور	طبقات	مساحت لغزش‌های رخ داده	شماره طبقه	وزن فازی سازی (۱-۰)
فاصله از جاده (متر)	>۴۰۰۰	۰	٤	۰/۲
بارش (میلی‌متر)	۰-۳۵۰	۱	۱	۱
	۳۵۰-۵۰۰	۰/۳۸	۲	۰/۵
	۰-۵۰۰	۰/۷۹	۱	۱
	۵۰۰-۱۰۰۰	۰/۲٦	۲	۰/۵
فاصله از گسل (متر)	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۰/۲۰	۳	۰/۵
	۲۰۰۰-٤۰۰۰	۰	٤	۰/۲

با توجه به (جدول ۱) بر روی لایه‌های موجود، طبقه‌بندی مجدد سپس فازی سازی هریک از طبقات لایه‌ها صورت گرفت. (شکل ٤) نتیجه فازی سازی هریک از طبقات در لایه‌ها را نشان می‌دهد. لایه‌های فازی سازی شده بر اساس رابطه ٤ مستخرج شده از مدل رگرسیون لجستیک مدل‌سازی گردید. شکل (۵) نتیجه حاصل از پهنه‌بندی مناطق حساس به وقوع ناپایداری دامنه با مدل لجستیک و شکل (٦) نتیجه‌ی حاصل از پهنه‌بندی مناطق حساس به وقوع ناپایداری دامنه با مدل شبکه‌ی عصبی را نشان می‌دهد.

رابطه (٤)

۱/۳۳۷۸۰۹ + ۹/۲٤/٦۸- شیب زمین +*۱/۰۸۲۸۱٤ فاصله از جاده +*۱/۸۱۳۹۹۸ فاصله از رودخانه

* ۱/۰٤۹۸ میزان بارش *۱/۵۱۷٦۷۳ لیتولوژی + *۰/٤٤٤٤۷۱کاربری و پوشش زمین + *۱/۳۷۸۱۳۲ فاصله از گسل

*۳/٤۳٤۱٦۳ ارتفاع + *۱/۳۵۳۸۵۹ جهت شیب

جدول ۲- داده‌های استخراج شده از نتایج مدل لجستیک

Table 2- Data extracted from logistic model results

Logistic Regression Results:

Regression Equation:

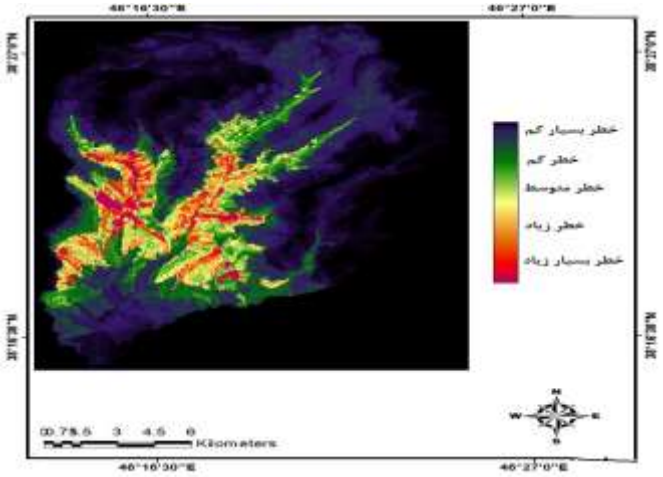
Logit (regres_landslid) =-9.6824 + 1.337809* slope + 1.082814* road + 1.813998* river - 1.049866* rain - 1.517673* lito + 0.444471* landuse + 1.378132* gosal + 3.434163* dem + 1.353859* aspect

Individual Regression Coefficient

Variables	Coefficient
Intercept	= -9.6824
slope	1.337809
road	1.082814
river	1.813998
rain	-1.049866
lito	- 1.517673
landuse	0.444471
gosal	1.378132
dem	3.434163
aspect	1.353859

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

با توجه به رابطه فوق به‌ترتیب ارتفاع، فاصله از رودخانه، لیتولوژی، فاصله از گسل، شیب و جهت شیب زمین موثرترین نقش را در ایجاد ناپایداری‌های دامنه‌ای منطقه‌ی مورد مطالعه داشته‌اند. به‌ویژه عامل ارتفاع که نقش آن در مقابل سایر عوامل موثر در ناپایداری بسیار بیش‌تر و بارزتر است. میزان اعتبارسنجی مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از شاخص ROC در نمودار زیر نشان داده شده است. به عبارتی میزان موفقیت مدل نسبت به خطا را نشان می‌دهد. همچنین مقدار صحت سنجی این شاخص برابر با ۰/۸۹ آمد که نشان از دقت بالای مدل می‌باشد درواقع هر چقدر عدد به‌دست آمده از شاخص ROC به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان دهنده‌ی دقت و صحت مدل مورد استفاده می‌باشد.



شکل ۵: نتیجه حاصل از پهنه‌بندی مناطق حساس به وقوع ناپایداری دامنه با مدل لجستیک

Figure 5: The result of zoning sensitive areas of domain instability with the logistic model

برای دستیابی به شبکه بهینه و بالاترین صحت نقشه‌ی پیش‌بینی مناطق حساس به ناپایداری‌های دامنه‌ای در روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی با الگوریتم پرسپترون چندلایه مقادیر متفاوتی برای شاخص‌های شبکه در نظر گرفته شد و صحت آن‌ها با استفاده از آزمون و خطا ارزیابی گردید. در نهایت مقادیر شاخص‌های بهینه طبق جدول (۲) مورد استفاده قرار گرفت. عوامل متعددی می‌توانند در وقوع زمین‌لغزش نقش داشته باشند. در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر ناپایداری‌های دامنه‌ای منطقه ۹ عامل بررسی شد. این عوامل شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی، بارش، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده هستند که طبق بررسی‌های انجام گرفته از سایر پژوهش‌ها این عوامل و لایه مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش‌ها می‌باشد. در این پژوهش عامل ارتفاع، فاصله از رودخانه، لیتولوژی، فاصله از گسل، شیب و جهت شیب زمین نقش پررنگ‌تری را در ایجاد زمین‌لغزش‌های منطقه ایفا می‌کنند. در این تحقیق از اطلاعات ۱۵۰۰ پیکسل لغزشی و غیرلغزشی برای آموزش و آزمایش شبکه استفاده شده است که از این تعداد ۱۰۰۰ پیکسل برای آموزش و ۵۰۰ پیکسل برای آزمایش شبکه به‌کار رفته است. همچنین برای به حداقل رساندن مقدار خطا با استفاده از روش سعی و خطا تعداد ۱۰۰۰۰ کم‌ترین مقدار خطا به‌دست آمد و از ۱۰۰۰۰ به بعد خطا شروع به افزایش یافتن کرد که در پژوهش صورت گرفته توسط Suri et al (2012: 1282) تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ به‌عنوان بهترین تعداد تکرار با کم‌ترین مقدار خطا در مرحله‌ی آموزشی استفاده

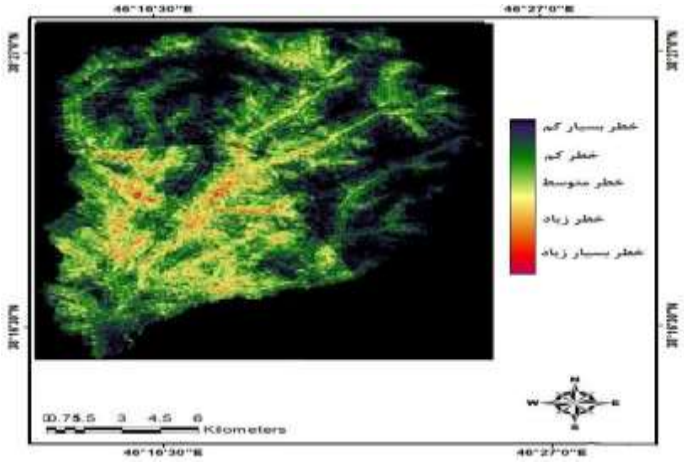
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

شده است؛ و همچنین تعداد ۱ نرون با کم‌ترین مقدار خطا برای تعیین لایه پنهان به‌دست آمد. همچنین براساس پارامترهای تعیین شده با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای کل منطقه وزنی بین ۰-۱ تعیین شد، براساس نتایج به‌دست آمده از پهنه‌بندی حوضه‌ی کمانج‌چای علیا با شبکه‌ی عصبی، نسبت یادگیری یکی از پارامترهایی است که به‌وسیله‌ی سعی و خطا مشخص می‌شود. معمولا الگوریتم پس انتشار با نسبت یادگیری پایین بهترین جواب را می‌دهد. نسبت ممنتم برای الگوریتم پس انتشار خطا معمولا ۰/۹ در نظر گرفته می‌شود که در این تحقیق نیز با نسبت یادگیری ۰/۱ و نسبت ممنتم ۰/۹ بهترین جواب به‌دست آمد؛ در نهایت نقشه‌ی پهنه‌بندی منطقه با پهنه‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد به‌ترتیب ۲۲/٤، ۲۸/۱، ۲۵/۵، ۱۸/٤ و ۵/٦ درصد از منطقه را به‌خود اختصاص داده‌اند. (شکل ۸ و ٦). برای مدل رگرسیون لجستیک هم لایه‌های شبکه‌ی عصبی به‌کار گرفته شد و نتیجه‌ی به‌دست آمده در بررسی کارایی مدل با دیگر مطالعات هماهنگی دارد از جمله پژوهش Servati and et al (2014) در حوضه‌ی سیکان که مدل رگرسیون لجستیک را به‌عنوان کارآمدترین مدل معرفی نموده و همانند پژوهش حاضر عامل ارتفاع، فاصله از رودخانه، لیتولوژی، فاصله از گسل، شیب و جهت شیب زمین تاثیر بیش‌تری دارند لذا استفاده از این مدل در ارزیابی خطرپذیری زمین‌لغزش با استفاده از عوامل موثر آن؛ توانمند است. نقشه‌ی پهنه‌بندی مدل لجستیک نیز به ۵ طبقه با خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد و هر کدام از این طبقات به‌ترتیب ۲٤/۱، ۳۸/٤، ۱۷/۹، ۱۱/۲ و ۸/۳ درصد را به‌خود اختصاص داده‌اند (شکل ۸). نواحی پرخطر عمدتا در زمین‌هایی با لیتولوژی نامقاوم بوده؛ لذا در بررسی‌های مربوط به ایجاد تاسیسات و ساخت‌وسازها بایستی به این موارد دقت شود.

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های مورد استفاده در الگوریتم پرسپترون چندلایه

Table 3- The values of the indices used in the multi-layer perceptron algorithm

شاخص‌ها	متوسط پیکسل‌های آموزشی	متوسط پیکسل‌های آزمایشی	تعداد لایه‌های پنهان	گره‌های لایه‌ها پنهان	نرخ یادگیری	ضریب شتاب	میزان تکرار
مقادیر	۱۰۰۰	۵۰۰	۱	۹	۰/۰۱	۰/۵	۱۰۰۰۰

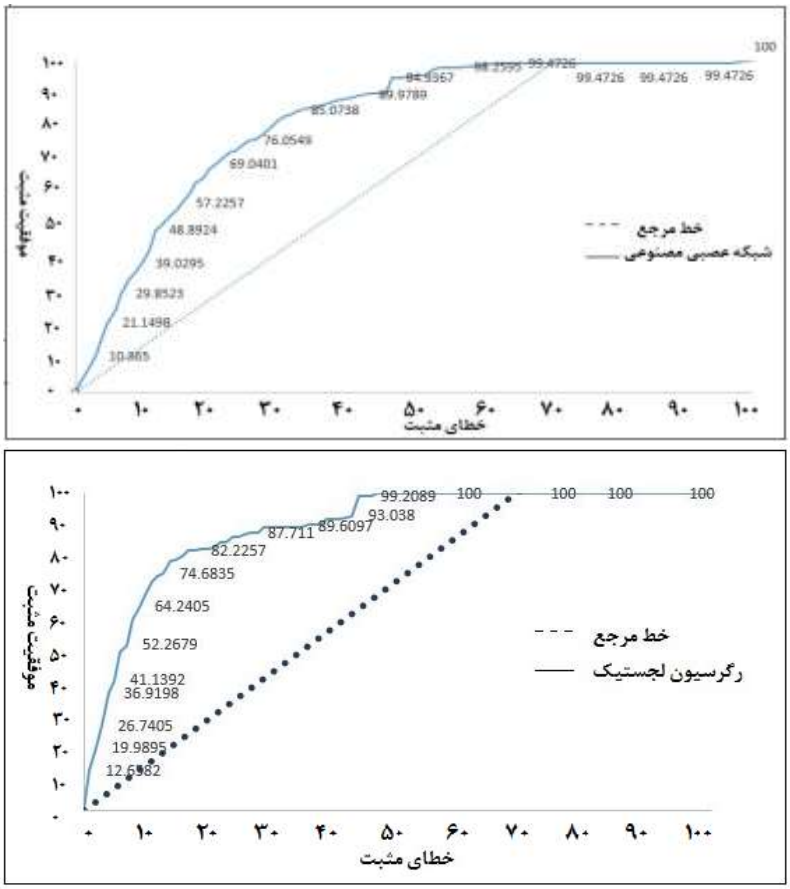


شکل ٦: نتیجه حاصل از پهنه‌بندی مناطق حساس به وقوع ناپایداری دامنه با مدل شبکه‌ی عصبی

Figure 6: The result of zoning sensitive areas of domain instability with the neural network model

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

صحت سنجی مدل‌های رگرسیون لجستیک و شبکه‌ی عصبی مصنوعی با شاخص ROC در شکل (۷) نشان داده شده است. این شکل میزان موفقیت مدل نسبت به خطا را نشان می‌دهد که نتیجه‌ی تحلیل‌های مبتنی بر طبقه‌بندی آماری می‌باشد. داده‌های به‌دست آمده از مدل‌سازی و ارزیابی دقت و صحت نقشه‌های خروجی از مدل‌ها با شاخص ROC نشان دهنده‌ی دقت بالای هر دو مدل در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. بالا بودن مقدار ROC و نزدیک بودن آن به عدد یک نشان دهنده‌ی آن است که ناپایداری‌های دامنه‌ای منطقه‌ی مورد مطالعه، رابطه‌ای قوی با مقادیر احتمال حاصل از مدل رگرسیون لجستیک و مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی دارد. با توجه به این‌که مساحت سطح زیر منحنی در مدل رگرسیون لجستیک برابر با ۰/۸۹ و مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی برابر با ۰/۸۲ می‌باشد، در نهایت می‌توان گفت با توجه به ماهیت حرکت توده‌ای به خصوص زمین‌لغزش‌ها مدل آماری رگرسیون لجستیک مدلی مناسب جهت پهنه‌بندی احتمال وقوع حرکات توده‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد.



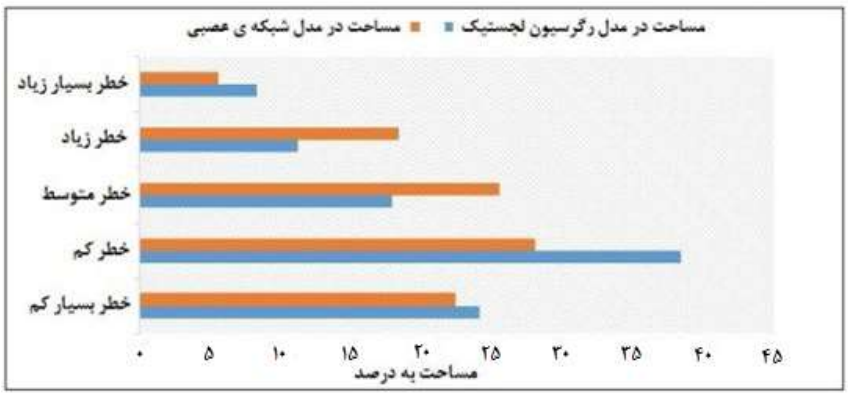
شکل ۷: نمودارهای منحنی ROC برای مدل‌های رگرسیون لجستیک و شبکه‌ی عصبی مصنوعی

Figure 7: ROC curve graphs for logistic regression models and neural network

در مقایسه‌ی مدل‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر با استفاده از مدل آماری ROC مدل رگرسیون لجستیک یا میانگین عددی ۰/۸۹ نسبت به مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی با میانگین ۰/۸۲ مدلی کارآمدتر معرفی می‌گردد. هر چند

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

که صحت مدل‌های به‌کار گرفته شده بسیار نزدیک به هم می‌باشند اما با مقایسه‌ی نتایج هر دو مدل، می‌توان گفت با توجه به این‌که مدل رگرسیون لجستیک سطح بیش‌تری از زیر منحنی را می‌پوشاند بنابراین برای منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی این پژوهش مدل مناسب‌تری می‌باشد.



شکل ۸: مساحت پهنه‌های زمین‌لغزش در مدل‌های مورد استفاده

Figure 8: Area of landslide zones in used models

جدول ٤- جدول نتایج حاصل از برازش ROC برای هر دو مدل لجستیک و شبکه عصبی

Table 4- Table of results from the ROC fit for both logistic and neural network models

MLP	Result	Of	ROC**				
	AUC	=	0.824				
**********							
The	Following	section	List	Detailed	statistics	for	each threshold
**********							
With	Each	threshold	The	Following	2x2	Contingency table	is calculated
	Reality	(reference	(image)				
Simulated	By	threshold	1	0			
	1	A(number	Of	(cells)	B (number	Of	cells)
	0	C	D				
For	The	given	Reference	image:	A+C=1896	B+D=561729	

ogestic	Result	Of	ROC**				
	AUC	=	0.893				
**********							
The	following	section	List	Detailed	statistics	for	each threshold.
**********							
With	Each	threshold	The	Following	2x2	contingency table	is calculated
	Reality	(reference	image)				
Simulated	by	threshold	1	0			
	1	A(number	Of	cells)	B(number	of	cells)
	0	C	D				
For	the	given	Reference	image:	A+C=1896	B+D=561729	

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

نتیجه‌گیری

زمین‌لغزش‌ها و ناپایداری‌های دامنه‌ای مخاطرات مهمی هستند که موجب زیان‌های اقتصادی می‌شوند لذا بررسی و شناسایی مناطق مستعد حرکات توده‌ای از عوامل بسیار اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در این پژوهش به پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ای با استفاده از روش‌های رگرسیون لجستیک و شبکه‌ی عصبی مصنوعی در منطقه کمانج‌چای علیا پرداخته شده است. تعداد کل پیکسل‌های مورد بررسی در این پژوهش ۳۶۳۷۳۰ می‌باشد که از این تعداد ۱۸۳۱ پیکسل لغزشی و بقیه به‌عنوان پیکسل‌های غیرلغزشی وارد مدل‌ها شدند. ضرایب به‌دست آمده از مدل‌ها بیانگر این است که وقوع حرکات توده‌ای در منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر عوامل شیب، ارتفاع ، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، جهت شیب و لیتولوژی می‌باشند. براساس بررسی‌های انجام شده در منطقه‌ی مورد مطالعه در دامنه‌های متشکل از مارن که رو به شمال هستند به خاطر برخورداری از رطوبت بیش‌تر، تعداد حرکت توده‌ای بیش‌تر بوده و بیش‌ترین وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای در شیب‌های ۳۲-۱۷ درجه در دامنه‌های شمال‌غربی با تأثیر بیش‌تر و شیب‌های شمال و غرب با تأثیر کم‌تر رخ داده است. سهم دامنه‌های شرقی و جنوبی به علت دریافت تابش آفتاب در مدت زمان بیش‌تر، خشک‌تر بوده و پتانسیل کم‌تری را جهت وقوع ناپایداری زمین دارند، و بیش‌ترین فراوانی وقوع حرکات توده‌ای در کلاس‌های زراعت دیم، مرتع با تراکم ضعیف و مرتع با تراکم متوسط و زمین‌های بایر می‌باشد همچنین بیش‌ترین فراوانی زمین‌لغزش محدوده‌ی بارش ۳۵۰ میلی‌متری و در سازندهای مستعد لغزش یعنی مارن، ماسه‌سنگ، شیل و آبرفت در کلاس شیب ۳۲-۱۷ می‌باشد. نهایتا داده‌های به‌دست آمده از مدل‌سازی و ارزیابی دقت و صحت نقشه‌های خروجی از مدل‌ها با شاخص ROC نشان دهنده‌ی دقت بالای هر دو مدل در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. بالا بودن مقدار ROC و نزدیک بودن آن به عدد یک نشان دهنده‌ی آن است که ناپایداری‌های دامنه‌ای منطقه‌ی مورد مطالعه، رابطه‌ای قوی با مقادیر احتمال حاصل از مدل رگرسیون لجستیک و مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی دارد. با توجه به اینکه مساحت سطح زیر منحنی در مدل رگرسیون لجستیک برابر با ۰/۸۹ و مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی برابر با ۰/۸۲ می‌باشد، در نهایت می‌توان گفت با توجه به ماهیت حرکت توده‌ای به‌خصوص زمین‌لغزش‌ها مدل آماری رگرسیون لجستیک مدلی مناسب جهت پهنه‌بندی احتمال وقوع حرکات توده‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه به‌ویژه در کنار خطوط ارتباطی و مناطق مسکونی (در امر برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های عمرانی) به‌شمار می‌روند. به‌عنوان نتیجه‌گیری نهایی تحقیق می‌توان گفت علاوه بر عوامل طبیعی برخی عوامل انسانی از جمله جاده سازی غیراصولی نقش مهمی را بر وقوع ناپایداری دامنه‌ای دارد،که جهت کاهش نسبی خطرات و افزایش میزان پایداری دامنه‌ها با توجه به شرایط حاکم بر منطقه لازم است از تغییر اکوسیستم و کاربری اراضی موجود اجتناب نموده و هرگونه سیاست سازه‌گذاری به منظور احداث‌ها باید متناسب با شرایط ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

References

- Andaryani, S., Samadnar, N., Nikjoo, M., (2016), "Modeling of the range motion of the Sattarkhan dam Ahar reservoir using logistic predictive models and neural network", ***Journal of Geography and Environmental Sustainability***, 20: 19-37. [In Persian].
- Atkinson, P. M., Tatnall, A., (1997), "Introduction neural networks in remote Sensin", ***International Journal of Remote Sensing***, 18 (4): 699-709.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., (2005), "Slope failures in the Blue Nile basin, as seen from landscape evolution perspective", ***Geomorphology***, 57: 95-116.
- Bayati Khatibi, M., (2010), "Evaluation and zoning of landslide hazard in the Garangu Chay basin using two statistical variables", ***Journal of geography and planning***, 32: 1-27. [In Persian].
- Caniani, D., Pascale, S., Sdao, F., Sole, A., (2008), "Neutral networks and landslide susceptibility: A case study of the urban area of Potenza", ***Natural Hazards***, 45: 55-72.
- Chau, K.T., Chan, J. E., (2005), "Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression for Hong Kong Island (2005)", ***Rock Mechanic***, 41 (2): 280-290.
- Collison, A., Wade, S., Griffiths, J., Dehn, M., (2000), "Modelling the impact of predicted climate change on landslide frequency and magnitude in SE England", ***Engineering Geology***, 55: 205-218.
- Enrique, A., Castellanos Abella, A., Cees, J., Van Weston, B., (2008), "Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba", ***Geomorphology***, 94: 453-466.
- Gohrudi tali, M., Gholizade, A., (2016), "The potential of slopes in the Zangmar river basin (Maku city)", ***Journal of Geographical Space***, 55: 257-272. [In Persian].
- Gomez, H., Kavzoglu, T., (2005), "Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa river basin, Venezuela", ***Engineering Geology***, 78(1-2): 11-27.
- Ghayumian, J., Fatemi oghada, M., Oshgoli Farahani, A., Teshne Lab, M., (2002), "Landslide hazard zonation by using several fuzzy criteria decision making (case study of Roodbar Gilan area)", ***Journal of Research and construction***, 56: 67-80. [In Persian].
- Iswar, D., Sashikant, S., Cees, V. W., Alfred, S. Robert, H., (2010), "Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas, India", ***Geomorphology***, 114: 627-637.
- Juang, C. H, Huuang, X. H., Holtz, R. D., Chen, J. W., (1996), "Determining of relative density of sands from CPT using fuzzy sets", ***Journal of Geotechnical Engineering***, 122 (1): 1-16.
- Lamelas, M. T., Marinoni, O., Hoppe, A., Riva, J., (2008), "Doline probability map using logistic regression and GIS technology in the central Ebro Basin (Spain)", ***Environmental Geology***, 54: 963-979.
- Lee, S., Ryu, J. H., Lee, M. J., Won, J. S., (2006), "The application of artificial neural networks to landslide susceptibility mapping at Janghong", ***Korea, Mathematical Geology***, 38 (2): 199-220.
- Memarian, H., (2013), "***Engineering Geology***", Tehran: Tehran University Press. [In Persian].
- Mohamad Nia, M., Amir Ahmadi, A., Akbari, E., Bahrami, Sh., (2016), "Landslide hazard zoning in the Jagh rog basin (new route proposed by Torghabeh-Dorrud", ***Journal of Geographical Space***, 55: 217-238. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

- Mosavi, Z., (2008), "Modeling and landslide occurrence zonation use logistic multi regression (case study: Sajaroud watershed)", M.Sc, thesis, Natural resources faculty, Mazandran university. [In Persian].
- Mosavi, Z., Kavian, A., Soleimani, K., (2010), "Landslide susceptibility mapping in Sajaroud basin using logistic regression model", ***Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources***, 14 (33): 99-111. [In Persian].
- Rafatnia, N., Kaviyanpur, M. K., Ahmadi, T., (2011), "Investigating the causes of landslide phenomenon in Glendrood forest", ***Journal of Natural Resources Science and Technology***, 1: 53-63. [In Persian].
- Sabuya, F, M., Alves, G., Pinto, W. D., (2006), "Assessment of failure susceptibility of soil slops sing fuzzy logic", ***Engineering Geology***, 14: 102-122.
- Schmucker, K. J., (1982), "***Fuzzy sets, natural language computations and risk analysis***", Computer Science Press: London.
- Servati, M., Nosrati, K., Hasanvandi, Sh., Mir Bagheri, B., (2014), "Landslide hazard prediction in the Sikan river catchment area using logistic regression statistical model", ***Journal of Natural Resources of Iran***, 1: 17-29. [In Persian].
- Suri., S., Lashkari, Gh., Ghafuri., (2011), "Landslide hazard zonation using artificial neural network Case Study: National Basin (Nojian)", ***Geological engineering***, 16: 1269-1286. [In Persian].
- Shadfar, S., (2005), "Analytical evaluation of landslide quantitative models in order to achieve a suitable model for Chalkarud watershed", PhD thesis, Faculty of Geography, University of Tehran. [In Persian].
- Shalkoff, R. J., (1997), "***Artificial neural networks***", Graw-Hill Companies Pub: New York.
- Van Westen, C. J., Van Asch, T. H., Soeters, W. J., (2006), "Landslide hazardand risk zonation", ***Bulletion of Engineering Geology and the Environment***, 65: 167-184.
- Wang, X., Niu, R., (2009), "Spatial forecast of landslides in three gorges based on spatial data mining", ***Sensors***, 9: 2035-2061.
- Yilmaz, I., (2009), "Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial Neural network sand their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat Turkey)", ***Computers & Geosciences***, 56: 1-14.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]