

مدل‌سازی حرکات دامنه‌ای محدوده مخزن سد ستارخان اهر با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی‌کننده لجستیک و شبکه عصبی

صغری اندریانی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
نسرین سمندر* - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
محمدرضا نیکجو - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۳

وصول: ۱۳۹۵/۰۱/۱۵

چکیده

ناپایداری‌های دامنه‌ای، مخاطرات مهمی برای فعالیت‌های انسانی هستند، این مخاطرات، در شیب‌های طبیعی و یا شیب‌هایی که به دست انسان تغییر یافته‌اند، اتفاق می‌افتد. پژوهش حاضر با هدف شناسایی عوامل مؤثر در ایجاد پدیده ناپایداری دامنه‌ای با استفاده از مدل‌های آماری رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی در حوضه سد ستارخان اهر انجام گردیده است. هدف از این پژوهش، تعیین مناطق دارای پتانسیل وقوع ناپایداری و نهایتاً تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر با استفاده از مدل‌های آماری برای منطقه مورد مطالعه است. بدین منظور، ابتدا مهم‌ترین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش مانند شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، بارندگی، فاصله از جاده، گسل و شبکه زهکشی، کاربری اراضی و سنگ‌شناسی بررسی و خصوصیات هر یک از آنها شناسایی و با روش فازی، استانداردسازی گردیدند. مبنای استانداردسازی روش هیستوگرام با استفاده از قطع طبقات هر لایه با زمین‌لغزش‌های رخ داده بوده که پراکنش زمین‌لغزش‌ها از طریق انجام عملیات میدانی و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه و رقومی گردیده و به عنوان نقاط آموزش‌دهنده مدل‌ها نیز مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مدل‌ها نشان داد درصد پهنه‌هایی با خطر بسیار بالا در مدل شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک به ترتیب ۷/۲۴٪ و ۵/۵۶٪ است که عمدتاً محدوده‌های نزدیک به سد ستارخان را شامل می‌گردد. از لحاظ لیتولوژی، این مناطق در محدوده‌هایی با میزان مقاومت پایین قرار گرفته‌اند که روش آماری لجستیک نیز نشان‌دهنده تأثیر بسیار زیاد فاصله از گسل و لیتولوژی بر وقوع پدیده لغزش در منطقه مورد مطالعه است. همچنین مقدار شاخص ROC برای مدل‌های شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۸۱ به دست آمد؛ می‌توان گفت روش شبکه عصبی، مدلی کارآمدتر جهت پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش است؛ بنابراین، هرگونه برنامه‌ریزی و ساخت و ساز می‌بایست متناسب با شرایط ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی منطقه باشد تا متحمل حداقل خسارات جانی و مالی نگردد.

واژگان کلیدی: مدل رگرسیون لجستیک، شبکه عصبی، فازی‌سازی، زمین‌لغزش، سد ستارخان.

مقدمه

ارزیابی ناپایداری‌های دامنه‌ای مانند بسیاری از موضوعات مخاطرات محیطی از پیچیده‌ترین مسائل است که به دلیل تنوع عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری دامنه‌هاست. وجود عدم قطعیت که ناشی از گنگی، کامل نبودن و ابهام شرایط و مفاهیم مرتبط با پارامترهایی نظیر زمین‌شناسی، هیدرولوژی، تکتونیک، پوشش گیاهی، بارندگی، فرسایش، نوسان‌های درجه حرارت، تأثیر یخبندان و... در بروز ناپایداری دامنه‌ای، هستند؛ لزوم استفاده از روش‌های دقیق و مناسب را در بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای، منطقی می‌کنند (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۴). پهنه‌بندی خطر، به مفهوم تقسیم‌بندی سطح زمین به بخش‌های مختلف و رده‌بندی این بخش‌ها بر اساس درجه خطر (استعداد) زمین‌لغزش‌ها به کار می‌رود (وارنس^۱، ۱۹۷۸)؛ 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 (وان وسترن^۲، ۲۰۰۶). لزوم پیش‌بینی وقوع و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، به منظور مدیریت و تعدیل خطر به توسعه مدل‌های تجربی و آماری فراوانی با تأکید بر استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی منجر شده است (نفسلی‌اوغلو^۳ و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۷۱). استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزار پایه بررسی در پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش با هدف مدیریت داده‌های مکانی و به همراه برخی مدل‌های مناسب بسیار مؤثر است. تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر دانش پیچیده حرکت‌های شیب و عوامل کنترل‌کننده آنها استوار است.

فرایند تشکیل این نقشه‌ها، مستلزم روش‌های کیفی و کمی زیادی است. برخی روش‌های کیفی بر دسته‌بندی و وزن‌دهی عوامل مؤثر استوارند که می‌توانند به روش‌های نیمه‌کمی در طبیعت تحول یابند. از جمله می‌توان به تحلیل سلسله‌مراتبی^۴ (کلارستاقی و احمدی، ۲۰۰۹) و روش ترکیب وزنی خطی^۵ (آیلوو و یاماگیشی^۶، ۲۰۰۵: ۹۵) اشاره کرد. روش‌های کیفی یا نیمه‌کمی از آنجا که بسته به دانش کارشناس تغییر می‌کند، اغلب برای مطالعات منطقه‌ای مناسب هستند (گوزتی^۷ و همکاران، ۱۹۹۹: ۱۸۲). روش‌های کمی بر پایه بیان عددی ارتباط میان عوامل مؤثر و زمین‌لغزش‌ها استوارند. روش‌های آماری از جمله روش‌های کمی هستند. روش آماری دو متغیره مستلزم مقایسه نقشه پراکنش زمین‌لغزش با نقشه عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش به منظور رتبه‌بندی طبقات متناظر و مطابق با نقش آنها در تشکیل زمین‌لغزش‌هاست. از جمله روش‌های آماری چند متغیره نیز می‌توان آنالیز تشخیصی (کارارا^۸ و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۱۲۵)، شبکه عصبی مصنوعی (کواباتا و باندیباس^۹، ۲۰۰۹)، منطق فازی (کانونگو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۶: ۳۴۷) و رگرسیون لجستیک (گوزتی و همکاران، ۱۹۹۹: ۱۸۲) را برای تهیه نقشه‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش نام برد. تحقیقات گسترده‌ای در ایران در زمینه مدل‌سازی خطر زمین‌لغزش‌ها انجام شده است؛ اما دانش استفاده

1- Varnes

2- Van Westen

3- Nefeslioglu

4- Analytical Hierarchy Process (AHP)

5- Weighted Linear Combination (WLC)

6- Ayalew & Yamagishi

7- Guzzetti

8- Carrara

9- Kavabata & Bandibas

10- Kanungo

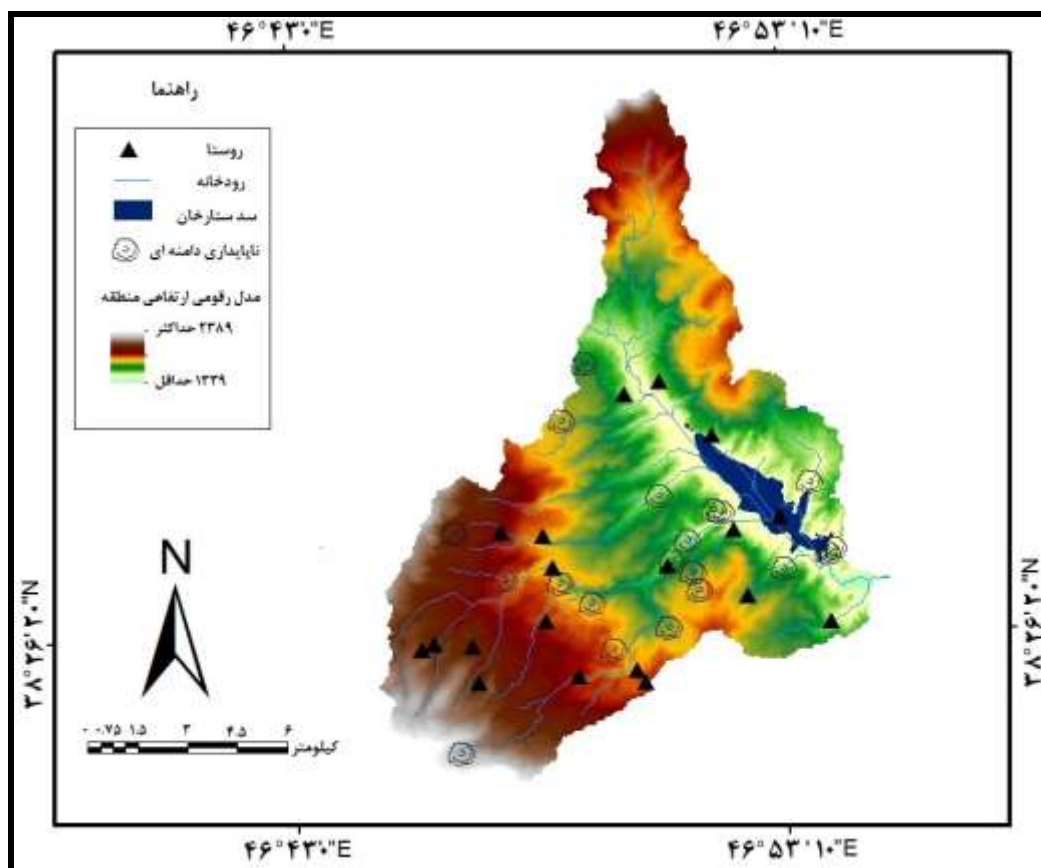
از روش‌های آماری جدید مانند رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی به دلیل مزیت استفاده از این مدل‌ها، نسبت به سایر تحلیل‌های آماری است که نیاز به فرضیات کمتر و عدم نیاز به وجود توزیع نرمال میان متغیرها، عدم لزوم رابطه خطی میان متغیر وابسته با متغیرهای مستقل است. این روش‌ها کاملاً کمی است و میزان تأثیر هر یک از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته را به صورت کمی و از ضرایب و آنتی لگاریتم ضرایب مشخص می‌کند (انریکه^۱ و همکاران، ۲۰۰۸؛ لاملاس^۲ و همکاران، ۲۰۰۸) بدین منظور، بسیار مورد استقبال پژوهشگران خارجی و داخلی از جمله قهرودی تالی و همکاران (۲۰۱۱)، یلماز^۳ (۲۰۰۹)، وانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۵)، هانگ^۵ و همکاران (۲۰۱۵)، سوری و همکاران (۱۳۹۰) عابدینی و همکاران (۱۳۹۳) و همچنین ثروتی و همکاران (۱۳۹۳) بوده است. در تمامی این پژوهش‌ها، میزان موفقیت و صحت مدل‌های به کار رفته نسبت به مدل‌های کیفی بسیار بالا بوده و این مدل‌ها، به عنوان مدل‌های کارآمد در پیش‌بینی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش معرفی شده‌اند؛ لذا با توجه به پیشینه مدل‌های انتخابی، انجام این پژوهش در محدوده سد ستارخان اهر که پدیده‌های حرکات دامنه‌ای به وفور در آن دیده شده است و منطقه‌ای مستعد است، با به‌کارگیری این مدل‌ها به میزان اعتبار نتایج اطمینان حاصل نمود. بر این اساس، هدف از پژوهش حاضر، بررسی میزان تأثیر عوامل مؤثر با استفاده از مدل‌های آماری چند متغیره لجستیکی و شبکه عصبی به منظور پیش‌بینی مکانی احتمال وقوع زمین لغزش‌ها در حوضه آبریز اطراف سد ستارخان اهر در استان آذربایجان شرقی است.

مواد و روش‌ها

واحد مطالعاتی اطراف سد ستارخان با وسعتی معادل ۱۴۷/۴۸ کیلومترمربع در ۱۱ کیلومتری غرب شهرستان اهر واقع شده است. این حوضه، بخشی از حوضه آبریز رودخانه اهرچای است که در محدوده ۴۷°، ۴۳'، ۴۶ تا ۴۱°، ۵۳'، ۴۱ طول شرقی و ۲۰°، ۲۶'، ۳۸ تا ۵۷°، ۲۹'، ۳۸ عرض شمالی واقع گردیده است. حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه به ترتیب ۲۳۸۹ و ۱۳۳۹ متر از سطح مبنا است. راه اصلی دسترسی به این منطقه جاده اصلی تبریز - اهر می‌باشد که این جاده از کنار سد ستارخان در راستای شرقی - غربی از محدوده مورد مطالعه خارج می‌گردد. سد ستارخان، از نوع خاکی با هسته ناتراوای رسی، به ارتفاع ۷۵ متر از روی سنگ بستر می‌باشد؛ این سد، در سال ۱۳۷۷ به بهره‌برداری رسیده است و عملیات رسوب‌سنجی آن برای اولین بار در سال ۱۳۸۸ صورت گرفته است (گزارش منابع آب آذربایجان شرقی، ۱۳۸۹: ۷۴). شکل ۱، موقعیت منطقه و سد ستارخان، مناطق سکونتی، ارتفاع منطقه بر حسب متر و ناپایداری‌های رخ داده در حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در پژوهش حاضر نیز برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه اطراف مخزن سد ستارخان اهر از دو روش شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون لجستیک استفاده گردید. مدل شبکه عصبی مکانیسم محاسباتی است که قادر است با گرفتن اطلاعات و محاسبه آنها، مجموعه‌ای اطلاعات جدید ارائه دهد (لی^۶ و همکاران، ۲۰۰۶).

- 1- Enrique
- 2- Lamelas
- 3- Yilmaz
- 4- Wang
- 5- Hung
- 6- Lee



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز سد ستارخان و لغزش‌های رخ داده در حوضه مذکور

این مدل، نسبت به روش‌های دیگر دارای مزیت‌هایی است؛ از جمله اینکه شبکه عصبی مصنوعی از توزیع آماری داده‌ها مستقل است و به متغیرهای آماری مخصوصی نیاز ندارد، همچنین این روش برای آنالیز صحت داده‌ها به بررسی کمتری در قیاس با روش‌های آماری نیاز دارد (کانیانی^۱ و همکاران، ۲۰۰۸). مدل شبکه عصبی چند لایه مکانیسمی محاسباتی است که می‌تواند با گرفتن اطلاعات و محاسبه آنها، مجموعه‌ای اطلاعات جدید ارائه دهد (لی و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۰۰۰). در شبکه عصبی سعی بر این است که ساختاری مشابه ساختار بیولوژیکی مغز انسان و شبکه اعصاب بدن ساخته شود تا همانند مغز قدرت یادگیری، تعمیم‌دهی و تصمیم‌گیری داشته باشد (گومز و کاوازوغلو^۲، ۲۰۰۵). افزون بر آن، این روش، نسبت به روش‌های دیگر دارای مزیت‌هایی است؛ از جمله اینکه شبکه 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 با روش‌های آماری نیاز دارد، همچنین به واسطه قابلیت منحصر به فرد شبکه عصبی در تعمیم عمومیت‌های حاکم در پایگاه داده در حین آموزش، از شبکه عصبی می‌توان برای تصمیم‌گیری در موارد جدید که قبلاً در اختیار شبکه قرار نگرفته استفاده کرد (کانیانی و همکاران، ۲۰۰۸).

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 رابطه خطی میان متغیر وابسته با متغیرهای مستقل است.

1- Caniani

2- Gomez & Kavzoglu

این روش کاملاً کمی است و میزان تأثیر هر یک از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته را به صورت کمی و از ضرایب و آنتی‌لگاریتم ضرایب مشخص می‌کند (انریکه و همکاران، ۲۰۰۸؛ لاملاس و همکاران، ۲۰۰۸). این مدل، حضور و عدم حضور متغیر مستقل را در ارتباط با متغیرهای وابسته تحلیل و بررسی می‌کند (ایسوار^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). متغیر وابسته متغیر کیفی دو حالتی است و فقط ارزش ۱ و ۰ دارد. هدف از رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش، یافتن بهترین مدل برازش داده شده برای تشریح حضور و عدم حضور زمین‌لغزش به همراه متغیرهای مستقل است. متغیرهای مستقل همان عوامل مؤثر در وقوع لغزش، شامل شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه و... است. این مدل، احتمال وقوع لغزش را بر اساس پیکسل‌ها یا نقاط با ارزش ۰ و ۱ بیان می‌کند و برای ارزیابی ناپایداری شیب‌ها بسیار مناسب است (موسوی خطیر و همکاران، ۲۰۱۰؛ چاو و چان^۲، ۲۰۰۵)؛ بنابراین، به‌کارگیری این دو مدل و ارزیابی نتایج به دست آمده از مدل‌ها، اطلاعات خوبی را در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد. برای استفاده از مدل‌های رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی به استفاده از یکسری داده‌ها نیاز است، این داده‌ها، شامل دو گروه داده‌های اسنادی و میدانی هستند. داده‌های اسنادی شامل مطالعات کتابخانه‌ای، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی اهر با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ثبت نقاط زمین‌لغزش از روی تصویر ماهواره کویک ببرد^۳، سامانه گوگل ارث^۴ و داده‌های حاصل از مشاهده میدانی و عکسبرداری از زمین لغزش‌های رخ داده. لایه رقومی ارتفاعی استر^۵ با اندازه پیکسل ۳۰ متری و داده‌های هواشناسی و کليماتولوژی سازمان آب.

برای انجام روش‌های ذکر شده در پژوهش حاضر، ابتدا بر اساس مقیاس، موقعیت منطقه مطالعاتی و روش پهنه‌بندی استفاده‌شده، مجموعاً ۱۰ عامل شامل حرکات توده‌ای، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، ارتفاع، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از جاده، نقشه هم‌بارش و تراکم شبکه زهکشی مورد استفاده و مطالعه قرار گرفته است. در ابتدا، نقاط لغزشی حوضه را از طریق تصاویر ماهواره‌ای و تطبیق آنها با گوگل ارث ثبت و وارد آرک جی‌آی‌اس^۶ و نقشه حرکات توده‌ای از این روش‌ها تهیه گردید. در مرحله بعد، با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه، وضعیت زمین‌شناسی منطقه به خوبی بررسی، سپس با مطالعه و بررسی دقیق، اقدام به تهیه نقشه واحدهای سنگی در محیط نرم‌افزار گردید. نقشه‌های لیتولوژی، تراکم شبکه زهکشی، فاصله از گسل و آبراهه به همین ترتیب در محیط آرک جی‌آی‌اس تهیه گردید. به منظور تهیه نقشه شیب و جهت شیب از مدل ارتفاعی رقومی^۷ استفاده شد. لایه حرکات توده‌ای به عنوان متغیر وابسته در مدل، مهم‌ترین لایه مورد استفاده در این مدل است. پراکندگی حرکات توده‌ای در منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. عامل سنگ‌شناسی به عنوان یکی از پارامترهای (متغیر مستقل) در ایجاد حرکات توده‌ای به شمار می‌رود. به منظور بررسی تغییرات مکانی بارندگی و به دست 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 نیست، ولی در اکثر موارد از جمله ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه این پدیده صادق است، بین متوسط بارندگی سالانه ایستگاه‌های خداآفرین ارس، اهر، تازه‌کند اهر، وردین، بستان‌آباد، نهند،

1- Iswar

2- Chau & Chan

3- Quick Bird

4- Google Earth

5- Advanced Space Borne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)

6- Geographical Information System (ArcGIS)

7- Digital Elevation Model (DEM)

سعیدآباد، تبریز، ارشتاب، دوست بیگلو، سینوپتیک اهر، سینوپتیک تبریز، کلیماتولوژی اهر، خلعت پوشان، سارانی و کسانق و ارتفاع ایستگاه‌های مذکور از سطح دریا (با حذف ایستگاه‌های پرت) رابطه همبستگی برقرار گردید.

فازی‌سازی فاکتورهای مؤثر

در پژوهش حاضر، به منظور استانداردسازی فاکتورهای پیوسته و گسسته از مجموعه فازی معرف کاربر^۱ استفاده گردید (اسچوموخر^۲، ۱۹۸۲: ۷؛ بوروق^۳، ۱۹۸۹). 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 به صورت تدریجی است؛ بنابراین، مجموعه فازی به وسیله 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 است؛ به عبارت دیگر، وزن ۱ به زیرمعیار دارای تناسب بیشتر با رخداد زمین لغزش و وزن صفر به کمترین تناسب در رخداد مذکور داده شد. بدین منظور، با استفاده از روش هیستوگرام و تحلیل مکانی منطقه در هر ۱۰ لایه به کلاس‌هایی طبقه‌بندی شد و در تک تک کلاس‌های معیارها با لایه وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه قطع داده شدند تا میزان امتیاز دقیق هر لایه مشخص شده و سپس لایه‌های آماده‌شده وارد محیط نرم‌افزار شدند تا برای استفاده در مرحله بعدی فازی‌سازی شوند.

رگرسیون لجستیک^۴ از جمله روش‌های آماری پیش‌بینی‌کننده است که با استفاده از متغیرهای مستقل، روند گسترش متغیر وابسته را پیش‌بینی می‌کند. در پژوهش حاضر که رویکردهای سیستم اطلاعات جغرافیایی به کار گرفته شد معیارهای مستقل و وابسته به صورت رستری (تصویر که جزء کوچک آن را پیکسل تشکیل می‌دهد) تبدیل گردید. متغیر وابسته به عبارتی زمین لغزش‌های روی داده به صورت یک لایه باینری (صفر و یک) و متغیرهای مستقل (عوامل مؤثر در زمین رخداد زمین لغزش) به صورت لایه‌های استانداردشده فازی (صفر تا یک) و یا طبقه‌بندی شده در نظر گرفته شد. البته لازم به ذکر است که متغیر وابسته با کلاس یک دنبال‌کننده منحنی لجستیک است (اندریانی، ۱۳۹۳: ۷۹). در نهایت، لایه‌های آماده‌سازی شده در نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس و فازی‌شده در محیط ادریسی سلوا^۵ به روش لجستیک پهنه‌بندی شدند (شکل ۵).

برای اعتبارسنجی مدل رگرسیون لجستیک از شاخص ROC^۶ استفاده گردید. در ضمن، لازم به ذکر است برای بررسی عملکرد رگرسیون لجستیک و به منظور اعتبارسنجی مدل رگرسیونی ۱۰٪ 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 است. دامنه عددی آن بین صفر تا یک متغیر بوده به طوری که عدد یک نشان‌دهنده برازش کامل و عدد ۰/۵ نشان‌دهنده برازش تصادفی است (اندریانی، ۱۳۹۳: ۱۴۸).

پیش‌بینی شبکه عصبی پرسپترون

در بیشتر پیش‌بینی‌ها، شبکه‌های عصبی پرسپترون سه لایه با توجه به کاربرد زیاد آن مورد استفاده قرار

- 1- User Defined
- 2- Schmucker
- 3- Burrough
- 4- Logistic Regression
- 5- Idrisi Selva
- 6- Relative Operating Characteristic (ROC)

می‌گیرد. خروجی شبکه، با مقدار مطلوبی که از آن انتظار می‌رود مقایسه شده و با تغییر در نرون‌های ارتباط‌دهنده، شبکه تعدیل می‌شود که برای این کار، از الگوریتم پس‌انتشار^۱ 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^۲ به عنوان تابع غیرخطی استفاده می‌کند و از آنجا که قاعده^۳ پس‌انتشار به مشتق‌گیری نیاز دارد تابع سیگموئیدی به سبب داشتن خاصیت مشتق‌پذیری این شرایط را فراهم می‌آورد. این الگوریتم، دارای دو گام اساسی انتشار رو به جلو^۴ و عقب‌می‌باشد. انتشار رو به جلو با رابطه^۱ قابل بیان است (شالکوف^۵، ۱۹۹۷: ۵۶۵).

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

O_j خروجی برای ورودی λ_j 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 داده‌شده 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^۳ پس‌انتشار می‌شود از رابطه^۳ قابل بیان است. این فرایندها همواره تکرار می‌گردد تا خطاهای شبکه به حداقل یا مقدار قابل قبول برسد (آتکینسون و تاتنال^۶، ۱۹۹۷).

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

η ضریب یادگیری^۷، δ_j شاخص نرخ تغییر در خطا، α ضریب شتاب^۸.

در پیش‌بینی با استفاده از روش شبکه^۳ عصبی پرسپترون چندلایه عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش به عنوان نرون‌های ورودی و متغیر مستقل همچنین لایه^۳ وقوع زمین‌لغزش به عنوان لایه^۳ وابسته و آموزش‌دهنده^۳ شبکه وارد محیط نرم‌افزار ادیسی گردید. به این ترتیب که لایه‌های آماده‌سازی شده و فازی شده با نرم‌افزار، وارد محیط ادیسی شده و مدل شبکه^۳ عصبی بر روی آنها اعمال شد، نتیجه در شکل ۶ نشان داده شده است. همچنین میزان اعتبار هر یک از مدل‌ها و نتیجه^۳ به دست آمده از آنها با روش ROC که روشی کارآمد برای تعیین میزان اعتبارسنجی نتایج است استخراج شد (شکل ۷).

نتایج

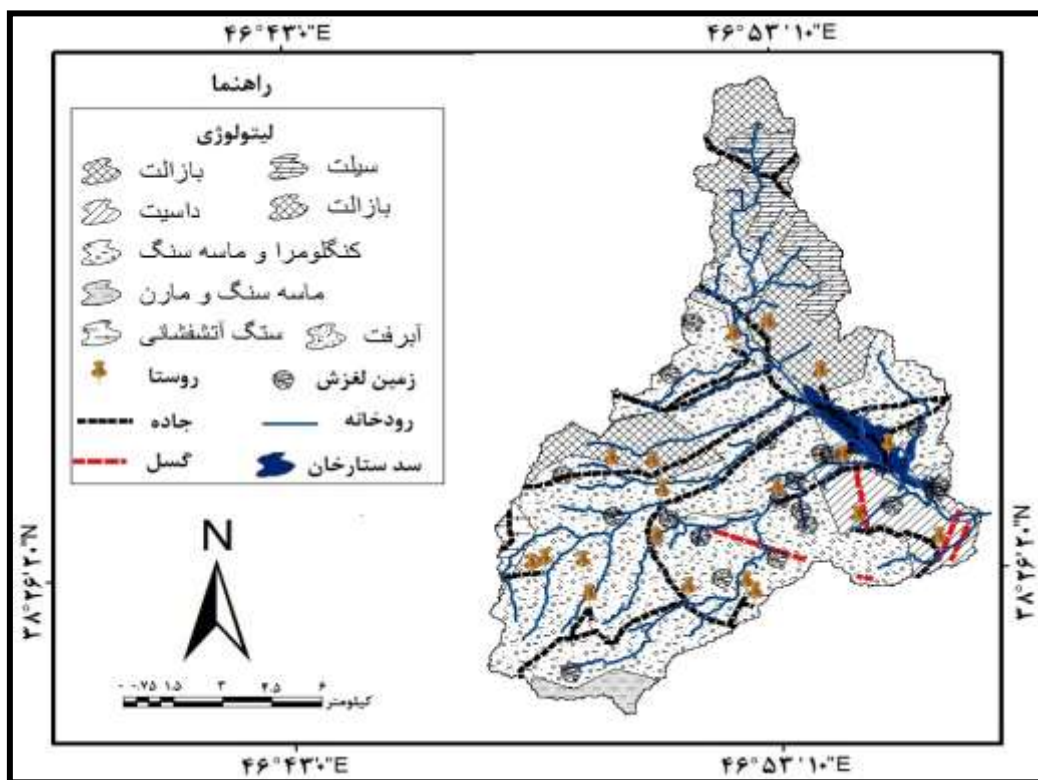
در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، سطح زمین به نواحی مجزایی از درجات مختلف خطر کم تا بسیار زیاد تقسیم می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۹۹؛ شادفر و همکاران، ۱۳۹۰: ۴۷) این فرایند، بر مبنای شناخت ویژگی‌های

- 1- Back Propagation
- 2- Sigmoid
- 3- Forward Propagation
- 4- Backward Propagation
- 5- Shalkoff
- 6- Atkinson & Tatnall
- 7- Learning Rate
- 8- Momentum Rate

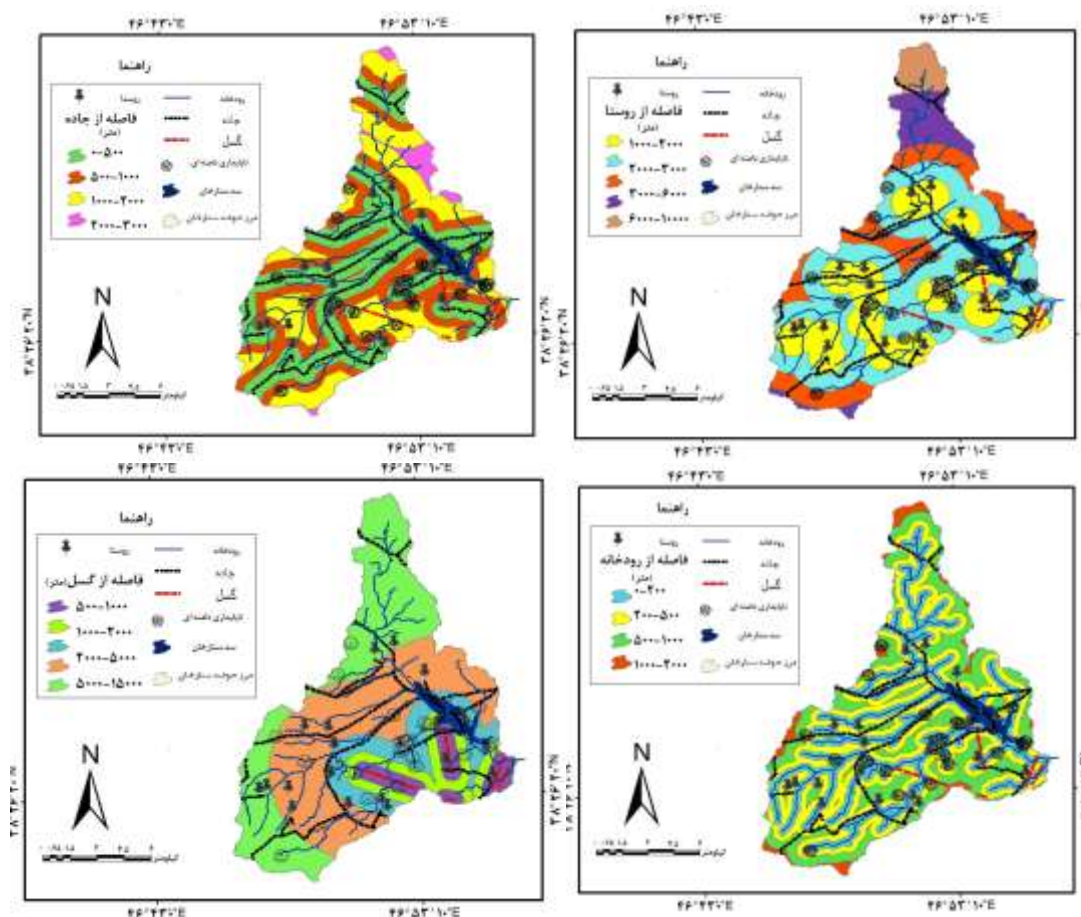
طبیعی و مدل سازی کمی بر پایه داده های ناحیه موجود صورت می گیرد. روش های متعددی برای پهنه بندی خطر زمین لغزش وجود دارد ولی به طور کلی، به دو دسته روش های مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می شوند. روش های مستقیم پهنه بندی بر اساس قضاوت های متکی بر مناطق لغزش یافته صورت می گیرد و روش های غیر مستقیم که پژوهش اخیر نیز از آن جمله است، بر اساس شناسایی عوامل کنترل کننده و تلفیق این عوامل به عنوان معرف های پتانسیل زمین لغزش می باشد (راکعی و همکاران، ۱۳۸۶: ۲۱). زمین لغزش از خطرناک ترین نوع فرسایش است که می تواند علاوه بر خطرات جانی فراوان، دارای زیان های اقتصادی زیادی نیز باشد. ارزیابی خطرات این پدیده مانند بسیاری از موضوعات زمین شناسی محیطی به دلیل تنوع عوامل مؤثر در وقوع آن، مسئله ای پیچیده است. وجود عدم قطعیت که ناشی از گنگی، ناکامل و مبهم بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با پارامترهایی نظیر زمین شناسی، هیدرولوژیکی، تکتونیک، پوشش گیاهی، بارندگی، فرسایش، نوسانات درجه حرارت و... در بروز ناپایداری دامنه ای، است، لزوم استفاده از روش های دقیق و مناسب را در بررسی ناپایداری های دامنه ای، منطقی می سازد (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۴؛ علی پور و ملکیان، ۱۳۹۴). برای پهنه بندی خطر زمین لغزش می بایست لایه های عوامل مؤثر در وقوع پدیده ناپایداری دامنه ای را تهیه کرد؛ عوامل مؤثر با توجه به بررسی های صورت گرفته بالغ بر ۱۰ عامل اصلی است که در این پژوهش برای ترسیم نقشه پهنه بندی و مناطق حساس منطقه مورد مطالعه در حوضه اطراف مخزن سد ستارخان اهر از دو روش شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون لجستیک استفاده شده است. این مدل ها مکانیسم محاسباتی هستند که قادر می باشند با گرفتن اطلاعات و محاسبه آنها، مجموعه ای اطلاعات جدید ارائه دهند. در این پژوهش، ابتدا عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش های رخ داده در منطقه مورد مطالعه برای ورود به مدل ها به ترتیب زیر تهیه گردید:

زمین شناسی منطقه به عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در وقوع پدیده زمین لغزش به شمار می رود و تنوع آن اغلب باعث اختلاف در پایداری و مقاومت سنگ ها و همچنین تنوع جنس خاک می شود (آیلو و یاماگیشی، ۲۰۰۵). با توجه به نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه، لایه لیتولوژی منطقه با توجه به مقاومت سنگ های موجود تهیه گردید که شکل ۲، به عنوان لایه مؤثر در زمین لغزش در نظر گرفته شد. همچنین گسل های منطقه نیز از نقشه زمین شناسی منطقه رقوم سازی شده و فاصله از گسل های موجود در شکل ۳ نشان داده شده است. نقشه ارتفاع با استفاده از نقشه توپوگرافی لایه رقوم ارتفاعی، لایه شیب، جهت شیب، لایه زهکشی منطقه مورد مطالعه استخراج گردید که شکل ۳ به ترتیب نقشه لایه های ذکر شده را نشان می دهد. تمامی لایه های زیر در مدل ها مورد استفاده قرار گرفته است و رابطه ای از مدل رگرسیون لجستیک استخراج گردیده است که میزان تأثیر و اهمیت هر یک از لایه ها را نشان می دهد (رابطه ۴).

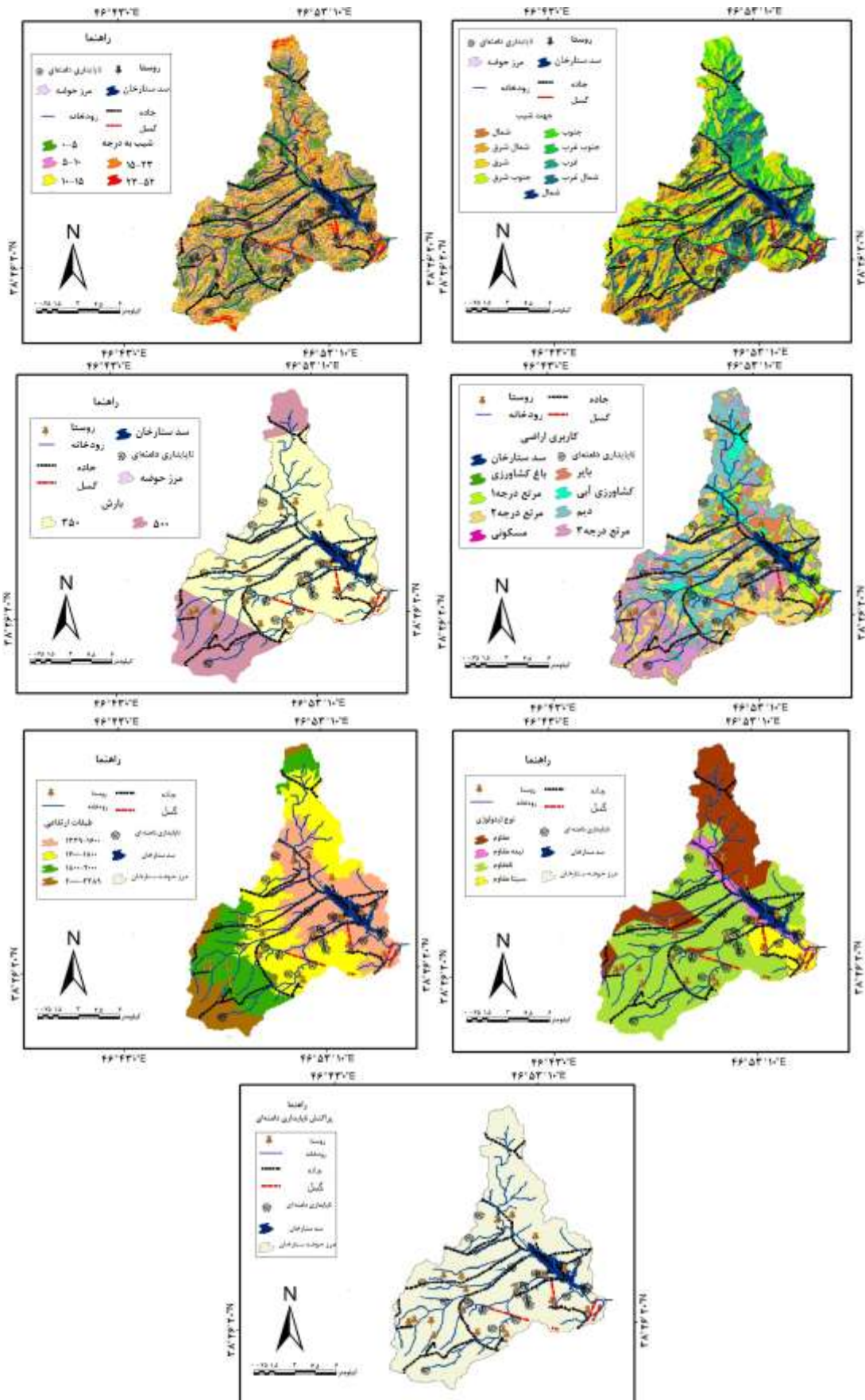
با توجه به جدول ۱ بر روی لایه های موجود، طبقه بندی مجدد سپس فازی سازی هر یک از طبقات لایه ها صورت گرفت که آن گویای تأثیر طبقات در هر فاکتور است. پس از استخراج تمامی لایه ها، در مرحله بعدی کار، تک تک لایه های استخراج شده با لایه حرکات توده ای رخ داده قطع داده شد و بر اساس هیستوگرام و مساحت وقوع حرکات توده ای در هر یک از طبقات لایه ها در برخی لایه ها مانند جهت شیب، طبقه بندی مجدد صورت گرفت؛ به عبارت دیگر، بر اساس هیستوگرام وقوع ناپایداری دامنه ای در هر یک از طبقات موجود، فازی سازی انجام گرفت (شکل ۴).



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی حوضه سد ستارخان



شکل ۳. فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و زیرمعیارهای هر لایه



ادامه شکل ۳. فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و زیرمعیارهای هر لایه

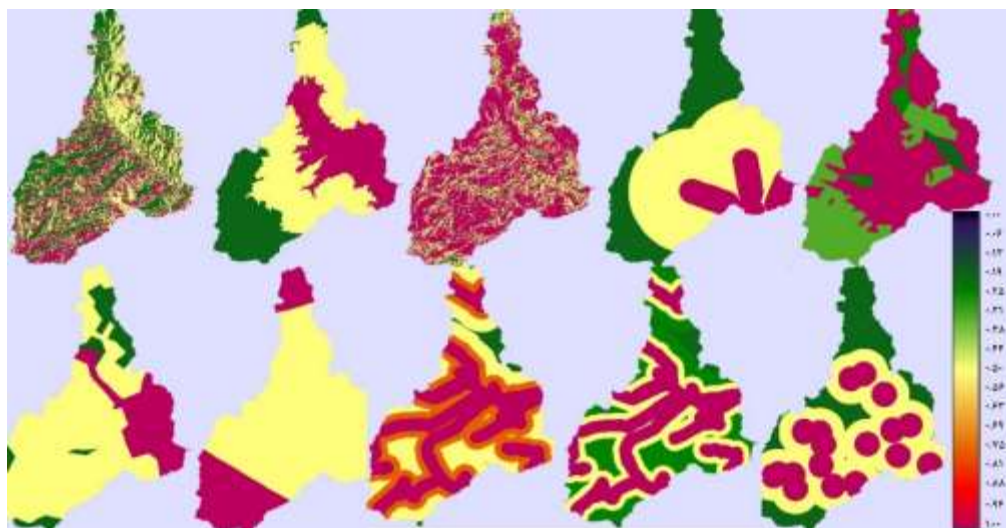
جدول ۱. تعریف طبقات هر فاکتور، میزان مساحت زمین‌لغزش‌های رخ داده در هر طبقه (در واحد کیلومترمربع) و استانداردسازی

فازی آنها

فاکتور	طبقات	مساحت لغزش‌های رخ داده	شماره طبقه	وزن فازی سازی (۰-۱)
	۱۳۳۹-۱۶۰۰	۲/۲۹	۱	۱
	۱۶۰۰-۱۷۰۰	۲/۳۱	۱	۱
ارتفاع (متر)	۱۷۰۰-۱۹۰۰	۱/۹۴	۲	۰/۵
	۱۹۰۰-۲۳۸۹	۱/۳۴	۳	۰/۳۳
	شمال	۲/۵۲	۱	۱
	شمال شرق	۱/۳۸	۲	۰/۵
جهت شیب	شرق	۱/۱۴	۲	۰/۵
	جنوب شرق	۰/۹۹	۳	۰/۳۳
	جنوب	۰/۴۷	۴	۰/۲۵
	جنوب غرب	۰/۱۷	۵	۰/۲
	غرب	۰/۳۵	۴	۰/۲۵
	شمال غرب	۰/۶۵	۳	۰/۳۳
	۰-۵	۲/۵۷	۱	۱
	۵-۱۰	۲/۸۰	۱	۱
شیب (درجه)	۱۰-۱۵	۱/۵۷	۲	۰/۵
	۱۵-۲۳	۰/۷۲	۳	۰/۳۳
	۲۳-۵۲	۰/۲۰	۴	۰/۲
	مقاوم	۰	۴	۰/۲
	نیمه مقاوم	۰/۰۰۵	۳	۰/۲۵
لیتولوژی	نسبتاً مقاوم	۷/۷۸	۱	۱
	نامقاوم	۰/۳۱	۲	۰/۵
	۰-۲۰۰	۳/۴۲	۱	۱
	۲۰۰-۵۰۰	۳/۱۲	۱	۱
فاصله از رودخانه (متر)	۵۰۰-۱۰۰۰	۱/۱۸	۲	۰/۵
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۰/۱۶	۳	۰/۲
	۰-۳۵۰	۵/۵۸	۱	۱
بارش (میلی‌متر)	۳۵۰-۵۰۰	۲/۳۱	۲	۰/۵
	آب	۰	۴	۰/۲
کاربری زمین	کشاورزی	۰/۱۹	۳	۰/۳۳
	مرتع درجه ۱	۰/۳۸	۳	۰/۳۳
	مرتع درجه ۲	۱/۹۵	۲	۰/۵
	مرتع درجه ۳	۲/۹۹	۱	۱
	مرتع دیم	۲/۳۳	۱	۱
	مسکونی	۰	۴	۰/۲
	بایر	۰/۰۲	۴	۰/۲
	۰-۱۰۰۰	۱/۱	۲	۰/۵
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۶/۵	۱	۱
فاصله از روستا (متر)	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۱/۱	۲	۰/۵

ادامه جدول ۱. تعریف طبقات هر فاکتور، میزان مساحت زمین لغزش‌های رخ داده در هر طبقه (در واحد کیلومتر مربع) و استانداردسازی

فازی آنها			
۰/۲	۳	۰	۳۰۰۰-۶۰۰۰
۰/۲	۳	۰	۶۰۰۰ <
۰/۳۳	۳	۰/۷۵	۰-۱۰۰۰
۰/۳۳	۳	۰/۷۵	۱۰۰۰-۲۰۰۰
۰/۵	۲	۰/۷۸	۲۰۰۰-۵۰۰۰ (فاصله از گسل (متر))
۱	۱	۵/۰۵	۵۰۰۰ <
۰/۵	۱	۲/۶۹	۰-۵۰۰
۰/۳۳	۲	۲/۳۳	۵۰۰-۱۰۰۰
۱	۳	۲/۸۶	۱۰۰۰-۲۰۰۰ (فاصله از جاده (متر))
۰/۲	۴	۰	۲۰۰۰-۳۰۰۰



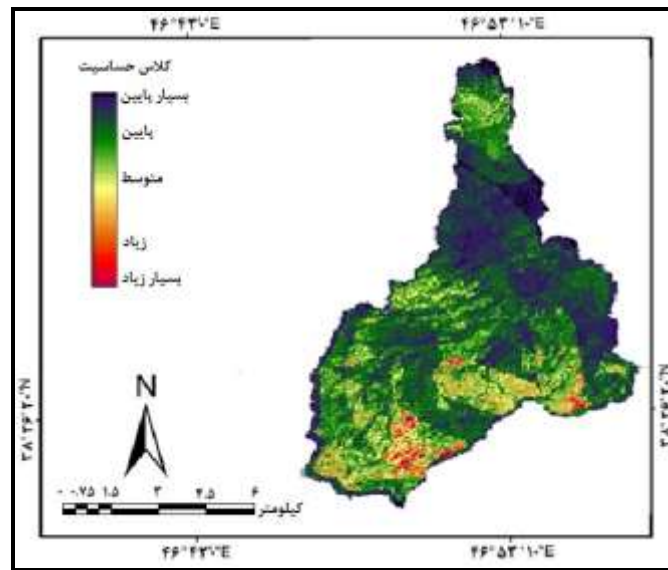
شکل ۴: فازی‌سازی لایه‌های مؤثر در وقوع زمین لغزش

لایه‌های فازی‌سازی شده بر اساس رابطه ۴ مستخرج شده از مدل رگرسیون لجستیک مدل‌سازی گردید. شکل ۵ نتیجه حاصل از پهنه‌بندی مناطق حساس به وقوع زمین لغزش را نشان می‌دهد.

رابطه ۴

$$\text{Logit} = -۶/۹۰۸۳ + ۰/۸۲۹۹۲۰ * \text{جهت شیب} - ۰/۸۱۳۷۷۶ * \text{ارتفاع} + ۱/۷۴۲۱۱۲ * \text{فاصله از} \\ + ۵/۵۵۴۲۳۴ * \text{بارش} + ۰/۹۷۵۷۴۷ * \text{لیتولوژی} - ۳/۵۵۹۳۵۹ * \text{کاربری اراضی} - ۰/۰۰۷۹۰۳ * \text{گسل} \\ - ۰/۹۷۹۳۳۰ * \text{فاصله از روستا} - \text{شیب} * ۱/۱۹۵۳۶۲ + \text{فاصله از جاده} * ۰/۱۷۲۹۶۹ - \text{فاصله از رودخانه}$$

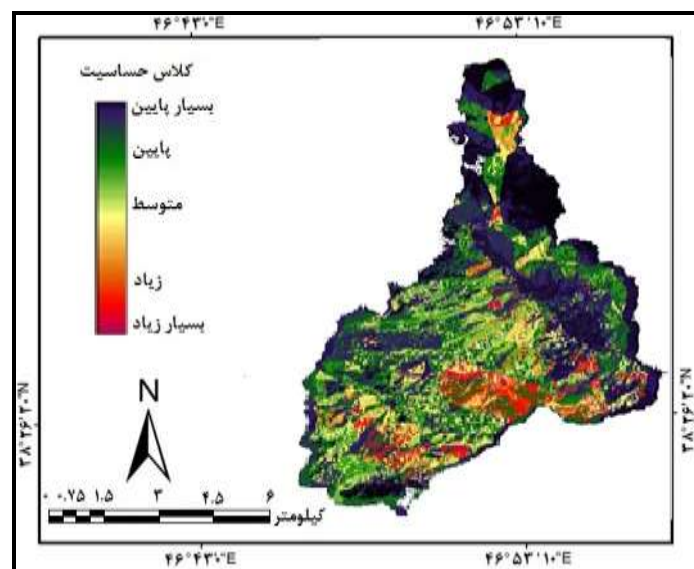
با توجه به رابطه بالا، به ترتیب فاصله از رودخانه، لیتولوژی، فاصله از گسل، شیب و جهت شیب زمین مؤثرترین نقش را در ایجاد ناپایداری‌های دامنه‌ای منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. میزان اعتبارسنجی مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از شاخص ROC در شکل ۵ نشان داده شده است. به عبارتی میزان موفقیت مدل نسبت به خطا را نشان می‌دهد. همچنین مقدار صحت‌سنجی این شاخص برابر با ۰/۸۱ برآورد گردید که نشان از دقت نسبتاً بالای مدل دارد در واقع هر چقدر عدد به دست آمده از شاخص ROC به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده دقت و صحت مدل مورد استفاده است.



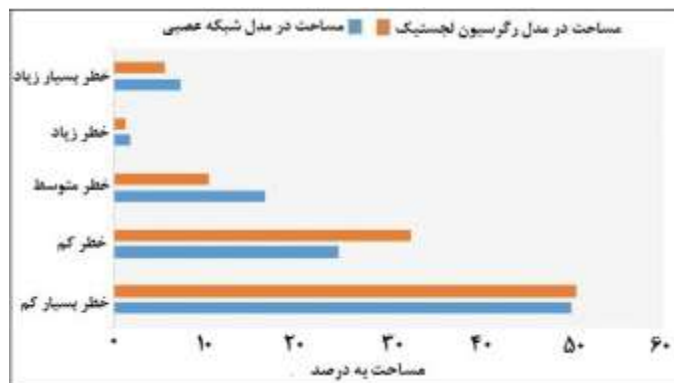
شکل ۵. نتیجه حاصل از پهنه‌بندی مناطق حساس به وقوع زمین‌لغزش در حوضه ستارخان با مدل رگرسیون لجستیک برای دستیابی به شبکه بهینه و بالاترین صحت نقشه پیش‌بینی مناطق حساس به ناپایداری‌های دامنه‌ای در روش شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم پرسپترون چندلایه مقادیر متفاوتی برای شاخص‌های شبکه در نظر گرفته شد و صحت آنها با استفاده از آزمون و خطا ارزیابی گردید. در نهایت مقادیر شاخص‌های بهینه، طبق جدول ۲ مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۶، نتیجه حاصل از پهنه‌بندی با استفاده از مدل شبکه عصبی را نشان می‌دهد و در شکل ۷ مساحت پهنه‌های زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های لجستیک و شبکه عصبی نشان داده شده است.

جدول ۲. مقادیر شاخص‌های مورد استفاده در الگوریتم پرسپترون چندلایه

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



شکل ۶. پهنه‌بندی مناطق حساس به وقوع زمین‌لغزش در حوضه ستارخان با مدل شبکه عصبی مصنوعی

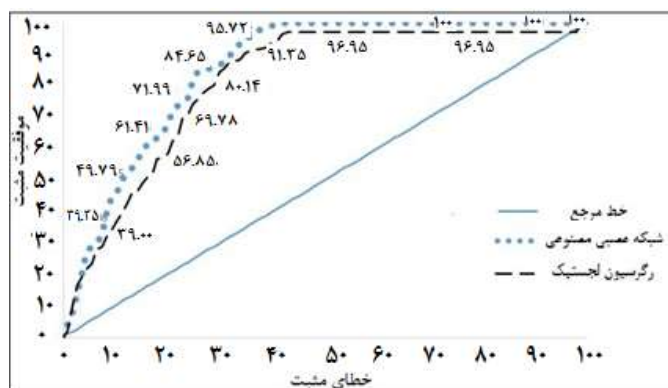


شکل ۷. مساحت پهنه‌های زمین لغزش با استفاده از مدل‌های مورد استفاده

شکل ۸ نمودار حاصل از آزمون مدل با استفاده از شاخص ROC را نشان می‌دهد که فراوانی سطح زیر منحنی دلیلی بر موفقیت مدل به کار گرفته شده در منطقه مورد مطالعه است. در مقایسه مدل‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر با استفاده از مدل آماری ROC مدل شبکه عصبی با میانگین عددی ۰/۸۵ نسبت به مدل رگرسیون لجستیک با میانگین ۰/۸۱ مدلی کارآمدتر معرفی می‌گردد. هرچند که صحت مدل‌های به کار گرفته شده نزدیک به هم هستند؛ اما با مقایسه نتایج هر دو مدل، می‌توان گفت به دلیل اینکه مدل شبکه عصبی سطح بیشتری از زیر منحنی را می‌پوشاند؛ لذا برای منطقه مورد مطالعه این پژوهش مدل شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی زمین لغزش پیشنهاد می‌گردد.

بحث

عوامل متعددی می‌توانند در وقوع زمین لغزش نقش داشته باشند. در این پژوهش، برای پهنه‌بندی خطر ناپایداری‌های دامنه‌ای منطقه، ۱۰ عامل بررسی شد. این عوامل شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی، بارش، فاصله از گسل (نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰)، فاصله از آبراهه، فاصله از روستا و فاصله از جاده هستند که طبق بررسی‌های انجام گرفته از سایر پژوهش‌ها از جمله عابدینی و همکاران (۱۳۹۳) و سوری و همکاران (۱۳۹۰)، این عوامل و لایه‌ها مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین لغزش‌ها است. در این پژوهش، عامل فاصله از رودخانه، لیتولوژی، فاصله از گسل و شیب، نقش پررنگ‌تری را در ایجاد زمین لغزش‌های منطقه ایفا می‌کنند. در این تحقیق، از اطلاعات ۱۵۰۰ پیکسل لغزشی و غیر لغزشی برای آموزش و آزمایش شبکه استفاده شده است که از این تعداد، ۱۰۰۰ پیکسل برای آموزش و ۵۰۰ پیکسل برای آزمایش شبکه به کار رفته است. همچنین برای به حداقل رساندن مقدار خطا با استفاده از روش آزمون و خطا



شکل ۸. نمودار منحنی ROC برای مدل‌های رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی

تعداد ۱۰۰۰۰ کمترین مقدار خطا به دست آمد و از ۱۰۰۰۰ به بعد خطا شروع به افزایش کرد که در پژوهش صورت‌گرفته توسط سوری و همکاران (۱۳۹۰) تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ به عنوان بهترین تعداد تکرار با کمترین مقدار خطا در مرحله آموزشی استفاده شده است؛ و همچنین تعداد ۱ نرون با کمترین مقدار خطا برای تعیین لایه پنهان به دست آمد.

بر اساس پارامترهای تعیین شده با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای کل منطقه وزنی بین ۱-۰ تعیین شد، بر اساس نتایج به دست آمده از پهنه‌بندی حوضه سد ستارخان اهر با شبکه عصبی، نسبت یادگیری، یکی از پارامترهایی است که به وسیله آزمون و خطا مشخص می‌شود. معمولاً الگوریتم پس انتشار با نسبت یادگیری پایین، بهترین جواب را می‌دهد. نسبت ممنتم برای الگوریتم پس انتشار خطا معمولاً ۰/۹ در نظر گرفته می‌شود (سوری و همکاران، ۱۳۹۰) که در این پژوهش نیز با نسبت یادگیری ۰/۱ و نسبت ممنتم ۰/۹ بهترین جواب به دست آمد؛ در نهایت، نقشه پهنه‌بندی منطقه با پهنه‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد به ترتیب ۰/۴۹/۹۲، ۰/۲۴/۵۳، ۰/۱۶/۴۷، ۰/۱/۷۴ و ۰/۷/۲۴ از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۷ و ۶). برای مدل رگرسیون لجستیک هم لایه‌های شبکه عصبی به کار گرفته شد و نتیجه به دست آمده در بررسی کارایی مدل با دیگر مطالعات هماهنگی دارد؛ از جمله پژوهش ثروتی و همکاران (۱۳۹۳) در حوضه سیکان که مدل رگرسیون لجستیک را به عنوان کارآمدترین مدل معرفی نموده و همانند پژوهش حاضر عامل فاصله از رودخانه، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل و شیب تأثیر بیشتری دارند؛ لذا استفاده از این مدل، در ارزیابی خطرپذیری زمین لغزش با استفاده از عوامل مؤثر آن، توانمند است. نقشه 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، به ترتیب ۰/۵۰/۵، ۰/۳۲/۳۵، ۰/۱۰/۳۱، ۰/۱/۲۸ و ۰/۵/۵۶ را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۵).

نواحی پرخطر عمدتاً در زمین‌هایی با لیتولوژی نامقاوم بوده؛ لذا در بررسی‌های مربوط به ایجاد تأسیسات و ساخت‌وسازها بایستی به این موارد دقت شود. در نهایت داده‌های به دست آمده از مدل‌سازی و ارزیابی دقت و صحت نقشه‌های خروجی از مدل‌ها با شاخص ROC نشان‌دهنده دقت بالای هر دو مدل در منطقه مورد مطالعه است. بالا بودن مقدار ROC و نزدیکی آن به عدد یک نشان‌دهنده آن است که ناپایداری‌های دامنه‌ای منطقه مورد مطالعه، رابطه‌ای قوی با مقادیر احتمال حاصل از مدل رگرسیون لجستیک و مدل شبکه عصبی مصنوعی دارد. با توجه به اینکه مساحت سطح زیر منحنی در مدل شبکه عصبی برابر با ۰/۸۵ و مدل رگرسیون لجستیک برابر با ۰/۸۱ است، در نهایت می‌توان گفت با توجه به ماهیت حرکت توده‌ای به‌ویژه زمین لغزش‌ها، مدل شبکه عصبی مدلی مناسب‌تر جهت پهنه‌بندی احتمال وقوع حرکات توده‌ای در منطقه مورد مطالعه به‌ویژه در کنار خطوط ارتباطی و مناطق مسکونی (در امر برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های عمرانی) به شمار می‌رود هر چند که هر دو مدل به کار رفته درصد اطمینان بالایی را نشان دادند و این نتایج با یافته‌های پژوهشگران از جمله یلماز (۲۰۰۹)، سوری و همکاران (۱۳۹۰) و ثروتی و همکاران (۱۳۹۳) که در پژوهش‌های خود به کارایی بالای مدل رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی به عنوان مدل‌های آماری و کمی نسبت به مدل‌های کیفی اشاره کرده‌اند، همخوانی دارد. در نهایت می‌توان گفت با توجه به پیشینه مدل‌ها و نتایج به دست آمده در این پژوهش چنین استنباط می‌شود که به کارگیری این نوع مدل‌های آماری در منطقه مورد مطالعه نسبت به سایر مدل‌های کیفی که بیشتر کارشناس محور هستند مناسب‌تر بوده و نتایج حاصل از آنها همخوانی بالایی با واقعیت دارد؛ لذا در تحقیقات آتی استفاده از مدل‌های آماری برای دسترسی به نتایج واقعی‌تر توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به خسارت‌هایی که زمین لغزش‌ها به زمین‌های کشاورزی و منابع طبیعی و اقتصادی وارد می‌سازند، ضرورت تحقیق و برنامه‌ریزی برای جلوگیری از وقوع و یا کاهش خسارت ناشی از آنها اهمیت می‌یابد. این برنامه‌ریزی‌ها نیز در صورتی ثمربخش خواهد بود که ناپایداری‌های دامنه‌ای، زمین لغزش‌ها و عوامل ایجادکننده آنها به موقع شناسایی شود؛ بنابراین، شناخت مناطق حساس به زمین لغزش برای ساکنان منطقه، مورد اهمیت است و ضرورت دارد تا مناطق پرخطر شناسایی شوند. در این پژوهش، پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ای به منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل لغزش در حوضه آبریز اطراف سد ستارخان اهر انجام گرفته است.

به دلیل اهمیت منطقه مورد مطالعه به لحاظ دارابودن پتانسیل حرکات توده‌ای و همچنین خساراتی که به دنبال این حرکات به تأسیسات از جمله سد ستارخان وارد می‌شود که به موجب آن کاهش طول عمر مفید سد و پرشدن سریع آن را به دنبال دارد؛ لذا انجام این پژوهش در این منطقه ضروری است تا عملیات اقدامات لازم جهت جلوگیری و پیشگیری از حرکات توده‌ای توسط سازمان‌های مربوطه صورت پذیرد. بدین منظور، پژوهش حاضر با استفاده از روش‌های رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی در منطقه سد ستارخان اهر با هدف شناسایی مناطق با پتانسیل بالای زمین لغزش، انجام شده است؛ بدین ترتیب، هدف از این مطالعه، شناخت عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های حوضه آبریز اطراف سد ستارخان اهر و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع آن است ضرایب به دست آمده از مدل‌ها بیانگر این است که وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر عوامل فاصله از رودخانه، لیتولوژی، فاصله از گسل، شیب و جهت شیب زمین هستند.

بررسی‌های انجام‌شده در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که در دامنه‌های متشکل از مارن و ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ و کنگلومرا بیشترین ناپایداری‌ها رخ داده به‌ویژه در دامنه‌هایی که رو به شمال و شمال شرق هستند؛ به خاطر برخورداری از رطوبت بیشتر، تعداد حرکت توده‌ای بیشتر بوده و بیشترین وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای در شیب‌های ۱۰-۵ درجه در دامنه شمال غربی با تأثیر بیشتر و شیب‌های شمال و غرب با تأثیر کمتر را نیز می‌توان در وقوع ناپایداری دامنه‌ای مؤثر دانست. سهم دامنه‌های شرقی و جنوبی به علت دریافت تابش آفتاب در مدت‌زمان بیشتر، خشک‌تر بوده و پتانسیل کمتری را جهت وقوع ناپایداری زمین دارند و بیشترین فراوانی وقوع حرکات توده‌ای در کلاس‌های زراعت دیم و مرتع درجه ۳ با تراکم ضعیف و مرتع با تراکم متوسط یا مرتع درجه ۲ است؛ همچنین بیشترین فراوانی زمین لغزش محدوده بارش ۳۵۰ میلی‌متری و در سازندهای مستعد لغزش یعنی مارن، ماسه‌سنگ، شیل و آبرفت است. از کل ۷/۹ کیلومترمربع مساحت ناپایداری‌های منطقه ۷/۷۸ کیلومترمربع در محدوده‌ای با لیتولوژی نسبتاً نامقاوم که عمدتاً پوشیده از کنگلومرا، مارن و ماسه‌سنگ به همراه شیل است. این‌گونه بررسی‌ها با استفاده از مدل هیستوگرام و بر اساس فراوانی داده‌های تعلیمی در هر یک از پارامترها صورت گرفته و فازی‌سازی نیز مبنی بر این عملکرد بوده است.

بعد از استانداردسازی هر یک از پارامترها، ۱۰ فاکتور به عنوان متغیر مستقل و زمین لغزش‌های رخ داده نیز به صورت یک لایه صفر و یک باینری و به عنوان متغیر وابسته برای مدل رگرسیون لجستیک، همچنین فاکتورهای استانداردشده به عنوان نرون‌های ورودی و زمین لغزش‌های رخ داده به عنوان آموزش‌دهنده مدل شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم پرسپترون چندلایه معرفی گردید. با توجه به نقشه خروجی پهنه‌بندی خطر احتمال وقوع حرکات دامنه‌ای در هر دو مدل کارشده مناطق با ویژگی‌های بالا در محدوده خطر بسیار زیاد هستند؛ لذا پتانسیل ناپایداری در این مناطق بسیار بالاست و نیاز ضروری به برنامه‌ریزی و اقدامات کنترلی را

می‌طلبد به طوری که میزان مناطق با خطر بسیار بالا در مدل لجستیک ۵۶/۵٪ و در مدل شبکه عصبی ۲۴/۷٪ است.

به عنوان نتیجه‌گیری نهایی پژوهش می‌توان گفت افزون بر عوامل طبیعی، برخی عوامل انسانی از جمله جاده‌سازی غیر اصولی 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 تا متحمل حداقل خسارات جانی و مالی در منطقه شوند. در بررسی‌های تکنیکی مناطق از لحاظ پتانسیل حرکات توده‌ای بایستی تناسب مدل و تعداد معیارها با توجه به منطقه مورد مطالعه صورت پذیرد از آنجا که مدل‌های به کار رفته در این پژوهش دارای معیارها و زیرمعیارهای زیادی هستند و امکان تجزیه و تحلیل دقیق هم در مدل و هم در لایه‌ها وجود دارد و نتایج به دست آمده از مدل‌ها از صحت بالایی برخوردارند؛ لذا این مدل‌ها در منطقه ستارخان بسیار خوب جواب دادند و با توجه به ویژگی مدل‌ها و سایر پژوهش‌های صورت گرفته حاکی از آن است که امکان نتیجه‌گیری بالا و تطابق مدل با نواحی مختلف وجود داشته و قابل استفاده هستند.

منابع

- اندریانی، صغری (۱۳۹۳) کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در بررسی تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر دبی رودخانه (مطالعه موردی: صوفی چای)، پایان نامه کارشناسی ارشد RS & GIS، استاد راهنما: دکتر محمدحسین رضایی مقدم، دانشگاه تبریز، تبریز.
- ثروتی، محمدرضا؛ نصرتی، کاظم؛ حسونودی، شیما؛ میرباقری، بابک (۱۳۹۳)، پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز رودخانه سیکان با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک، مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، ۶۷ (۱)، صص. ۲۹-۱۷.
- راکعی، بابک؛ خامه‌چیان، ماشاله؛ عبدالملکی، پرویز؛ گیاه‌چی، پانته‌آ (۱۳۸۶). کاربرد شبکه عصبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: ناحیه سفیدار گله در استان سمنان)، مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۳ (۱)، صص. ۶۴-۵۷.
- فاطمی عقدا، سید محمود؛ غیومیان، جعفر؛ تشنه‌لب، محمد؛ اشقلی فراهانی، عقیل (۱۳۸۴) بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه رودبار)، مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۱ (۱)، صص. ۶۴-۴۳.
- عابدینی، موسی؛ قاسمیان، بهاره؛ شیرزادی، عطا... (۱۳۹۳) مدل‌سازی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک مطالعه موردی: استان کردستان، شهرستان بیجار، جغرافیا و توسعه، ۱۲ (۳۷)، صص. ۱۰۲-۸۵.
- علی‌پور، حمید؛ ملکیان، آرش (۱۳۹۴) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز جهان اسفراین خراسان شمالی، جغرافیا و توسعه، ۱۳ (۳۹)، صص. ۱۸۰-۱۶۵.
- سوری، سلمان؛ لشکری‌پور، غلام‌رضا؛ غفوری، محمد؛ فرهادی‌نژاد، طاهر (۱۳۹۰) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مطالعه موردی: حوضه کشوری (نوربان)، زمین‌شناسی مهندسی، ۵ (۲)، صص. ۱۲۸۶-۱۲۶۹.
- شادفر، صمد؛ یمانی، مجتبی؛ نمکی، سید محمد (۱۳۹۰) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRE در حوضه چالکرو، مهندسی و مدیریت آبخیز، ۳ (۱)، صص. ۴۷-۴۰.

گزارش منابع آب آذربایجان شرقی (۱۳۸۹) گزارش تکنیکی از عملیات هیدروگرافی و توپوگرافی رسوبات سده ستارخان، شرکت مشاور دریا ترسیم، صص. ۷۴.

- Atkinson, P. M., Tatnall, A. R. L. (1997) Introduction Neural Networks in Remote Sensing, **International Journal of Remote Sensing**, 18 (4), pp. 699-709.
- Ayalew, L., Yamagishi, H. (2005) Slope Failures in the Blue Nile basin, as Seen from Landscape Evolution Perspective, **Geomorphology**, 57 (1-2) . pp. 95-116.
- Burrough, P. A. (1989). Fuzzy Mathematical Methods for Soil Survey and Land Evaluation, **Soil Science**, 40 (93), pp. 477-492.
- Caniani, D., Pascale, S., Sdao, F., Sole, A. (2008) Neural Networks and Landslide Susceptibility: A Case Study of the Urban Area of Potenza, **Natural Hazards**, 45 (1), pp. 55-72.
- Carrara, A., Crosta, G. P, (2003) Geomorphological and Historical Data in Assessing Landslide Hazard, **Earth Surface Proc. and Landforms**, 28 (10), pp. 1125-1142.
- Chau, K. T., Chan, J. E. (2005) Regional Bias of Landslide Data in Generating Susceptibility Maps Using Logistic Regression for Hong Kong Island. **Landslides**, 2 (94), pp. 280-290.
- Enrique, A., Castellanos Abella, A., Cees, J., Van Westen, B. (2008) Qualitative landslide Susceptibility Assessment by Multicriteria Analysis: A Case Study from San Antonio Del Sur, Guantánamo, Cuba, **Geomorphology**, 94 (3-4), pp. 453-466.
- Ghohrodi Tali, M., Alae Taleghani, M., Servati, M. R. (2011) Application of Logistic Regression Model in Evaluations Landslide Potent Tial (Case Study: Nuzhian Drainage Basin), **Geographical Environment**, (1), pp. 1-13.
- Gomez, H., Kavzoglu, T., (2005) Assessment of Shallow Landslide Susceptibility Using Artificial Neural Networks in Jabonosa River Basin, Venezuela, **Engineering Geology**, 78 (1-2), pp. 11-27.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P. (1999) Landslide Hazard Evaluation: A Review of Current Techniques and Their Application in a Multi-Scale Study, Central Italy, **Geomorphology** 31 (1-4), pp. 181-216.
- Hong, H., Pradhan, B., Xu., C., Tien Bui, D. (2015) Spatial Prediction of Landslide Hazard at the Yihuang Area (China) Using Two-Class Kernel Logistic Regression, Alternating Decision Tree and Support Vector Machines, **Catena**, 133, pp. 266-281.
- Dasa, I., Sanhoob, S., Van Westena, C., Steina, A., Hacka, R. (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(4) , pp. 627-637.
- Kavabata, D., Bandibas, J. (2009) Landslide Susceptibility Mapping Using Geological Data, a DEM from ASTER Image and an Artificial Neural Network (ANN), **Geomorphology**, 113 (1-2), pp.97-109
- Lamelas, M.T., Marinoni, O., Hoppe, A., De La Riva, J. (2008) Doline Probability Map Using Logistic Regression and GIS Technology in the Central Ebro Basin (Spain), **Environmental Geology**, 54 (5), pp. 963-977.
- Kelarestaghi, A., Ahmadi, H. (2009) Landslide Susceptibility Analysis with a Bivariate Approach and GIS in Northern Iran, **Arabian Journal of Geosciences**, 2 (1), pp. 95-101.
- Kanungo, D. P., Arora, M. K., Sarkar, S., Gupta, R. P. (2006) A Comparative Study of Conventional, ANN Black Box, Fuzzy and Combined Neural and Fuzzy Weighting Procedures for Landslide Susceptibility Zonation in Darjeeling Himalayas, **Engineering Geology**, 85 (3-4), 347-366.
- 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), pp. 199-220.
- Mosavi Khatir, S. Z., Kavian , A., Soleimani, A. K.(2010) Landslide Susceptibility Mapping in Sajaroud Basin Using Logistic Regression Model, **Science and Technology of**

- Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science**, 14 (53), pp. 99-112.
- Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., Sonmez, H. (2008) An Assessment on the Use of Logistic Regression and Artificial Neural Networks with Different Sampling Strategies for the Preparation of Landslide Susceptibility Maps, **Engineering Geology**, 97 (3-4), pp. 171-191.
- Schmucker, K. J. (1982) **Fuzzy Sets, Natural Language Computations and Risk Analysis**, Computer Science Press.
- Shalkoff R.J. (1997) **Artificial Neural Networks**, M. C Graw-Hill Companies Pub.
- Van Westen, C. J., Van Asch., Th. W. J.(2006) **Landslide Hazard and Risk Zonation-Why is it so Difficult? Bull Eng Geol Environ**, 65 (2), pp. 167-184.
- Varnes, D. J. (1978) Slope Movement and Types and Processes, **in Landslides Analysis and Control**, Washington Spec. 176, 11-33.
- Wanga, L. J., Guob, M., Sawadab, K., Lina, J., Zhanga, J. (2015) Landslide Susceptibility Mapping in Mizunami City, Japan: A Comparison between Logistic Regression, Bivariate Statistical Analysis and Multivariate Adaptive Regression Spline Models, **Catena**, 135, pp. 271-282.
- Yilmaz, I., (2009) Landslide Susceptibility Mapping Using Frequency Ratio, Logistic Regression, Artificial Neural Networks and Their Comparison: A Case Study from Kat Landslides (Tokat-Turkey), **Computers and Geosciences**, 35 (6), pp. 1125-1138.

