پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ آبخیز طالقان با استفاده از روش سیستم‌های هوشمند

(روش شبکهٔ عصبی مصنوعی مبتنی بر توابع پایه‌ای گوسی و شبکهٔ عصبی پرسپترون)

نرگس سلیمی*، سید محمود فاطمی‌عقدا؛
دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم زمین،
محمد تشنه‌لب؛
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی برق،
یوسف شرفی؛
دانشگاه آزاد اسلامی تهران، واحد علوم وتحقیقات، گروه کامپیوتر

تاریخ: دریافت ۹۳/۹/۲۶ پذیرش ۹۵/۲/۱

چکیده

زمین‌لغزش‌ها هر سال خسارت‌های مالی و جانی زیادی به‌بار می‌آورند. نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌توانند به کاهش این خسارت‌ها کمک کنند. حوزهٔ آبخیز طالقان از جمله حوزه‌های مستعد زمین‌لغزش است که بررسی شده است. در این مقاله به پهنه‌بندی خطر زمین-لغزش در این منطقه و در مقیاس ۱/۵۰۰۰۰، و با در نظر داشتن لایه‌های اطلاعاتی پراکندگی لغزش‌ها، شیب، برای شیب، زمین‌شناسی (لیتولوژی)، فاصله از گسل‌ها، فاصله از آبراهه‌ها، با روش شبکه‌های عصبی مصنوعی مبتنی بر توابع پایه‌ای گوسی (RBF) و شبکه‌های عصبی پرسپترون (MLP) می‌پردازیم. کلیات روش RBF تا حدود زیادی مشابه شبکه‌های عصبی پرسپترون (MLP) است که تا کنون قابلیت آن مشخص شده است و چندین تفاوت ساختاری در مؤلفه‌ها بین این دوروش شبکهٔ عصبی وجود دارد. از نتایج نهایی مشخص شد که نقشه‌های حاصل از هر دو روش قابل قبول هستند و روش MLP دقت بیش‌تری نسبت به‌روش RBF دارد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، طالقان، سیستم‌های هوشمند، شبکه‌های عصبی مصنوعی مبتنی بر توابع پایه‌ای گوسی، شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون، RBF، MLP

* **نویسنده مسئول** Narges.salimi69@gmail.com

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

مقدمه

بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های یک منطقه و پهنه‌بندی خطرهای حاصل از آن‌ها، کمک مؤثری در کاهش خسارت‌های این پدیده به لحاظ پیش‌بینی و پیش‌گیری و کاهش خطرهای زمین‌لغزش‌ها است [۱].

شبکه‌های عصبی مصنوعی الگویی برای پردازش اطلاعات هستند که با تقلید از شبکه‌های عصبی زندهٔ مغز انسان ساخته شده‌اند. شبکه‌های عصبی مصنوعی شاخه‌ای از سیستم‌های خبره‌اند. تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی با الهام‌گیری از عمل‌کرد مغز انسان و سیستم عصبی گسترش یافته است و این روش ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌های متناظرشان را پیدا می‌کند و در مسائل پیچیده که ارتباط بین متغیرها ناشناخته است روشی قوی برای پیش‌بینی است [٤]. روش شبکهٔ عصبی با توجه به این‌که مستقل از توزیع آماری داده‌ها است، به متغیر آماری مخصوصی احتیاج ندارد و دقت زیادی در پهنه‌بندی دارد [۳].

روش شبکهٔ عصبی مبتنی بر توابع پایه‌ای گوسی (RBF) و شبکهٔ عصبی پرسپترون (MLP) جزء شبکه‌های عصبی پیش‌رو، با الگوریتم پس انتشار خطا هستند و چنان‌که بیان شد در تعدادی از پارامترها و توابع با یک‌دیگر تفاوت دارند و همین امر سبب آموزش راحت‌تر و بسیار سریع‌تر شبکه‌های RBF نسبت به شبکه‌های MLP می‌شود.

در ارتباط با پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها با روش‌های هوشمند در خارج از کشور پژوهش‌های متعددی انجام گرفته است. در داخل کشور نیز پژوهش‌های زیادی انجام گرفته است که در اکثر این پژوهش‌ها از روش شبکه‌های عصبی پرسپترون و فازی استفاده شده است. از پژوهش‌های انجام شده در خارج از کشور می‌توان به پژوهش‌های فاطمی‌عقدا و همکاران (۱۹۹٤) [۲٤]، ارکانگو (۲۰۰۵) [۲۳]، یلماز (۲۰۰۹) [۲٦]، وانگ و همکاران (۲۰۱۳) [۲۵] و در داخل کشور نیز به پژوهش‌های ساریخانی (۱۳۸۰) [۱۰]، راکعی (۱۳۸۲) [۸]، زارع‌پور (۱۳۸٤) [۹]، سوری و همکاران (۱۳۹۰) [۱۲]، مرادی و همکاران (۱۳۹۱) [۱۸] و هم‌چنین زارع و همکاران (۲۰۱۲) [۲۷] اشاره کرد. در این پژوهش‌ها، به‌عنوان خروجی از لایه‌ای خروجی (صفرو یک)، که در واقع همان نقشهٔ پراکندگی موقعیت لغزش‌ها است و با عوامل ورودی شیب، جهت

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه و جاده و گسل، بارندگی و دو روش شبکه‌های عصبی MLP و RBF، برای پهنه‌بندی استفاده کردند و نهایتاً به این نتیجه رسیدند که شبکه‌های عصبی MLP دقت بیش‌تری دارد.

در حوزهٔ آبخیز طالقان، پژوهش‌های متعددی در رابطه با پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انجام شده است پژوهش‌های حق‌شناس (۱۳۷٤) [۷] از جمله آن پژوهش‌ها است که به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در منطقهٔ طالقان، با استفاده از روش‌های تحلیل مبین و رگرسیون چند متغیره و دو متغیره، با استفاده از چهار لایهٔ اطلاعاتی لیتولوژی و گسل و شیب و جهت شیب پرداخته است و به این نتیجه رسید که روش تحلیل مبین، با توجه به فراهم آوردن امکان قضاوت کمی در مورد احتمال وقوع لغزش کاراتر است.

جلالی (۱۳۸۱) [۵] که به ارزیابی تعدادی از روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزهٔ طالقان پرداخت و از شش روش مورا و وارسون، مورا و وارسون اصلاح شده، نیلسن، نیلسن اصلاح شده، روش قضاوت کارشناسی و روش آماری و ابزارهای GIS و ILWIS استفاده کرد و به این نتیجه رسید که روش آماری بهترین روش است.

ملک‌پور (۱۳۸۸) [۱۹] که از دو روش فازی و رگرسیونی و هم‌چنین با استفاده از لایه‌های جهت شیب اصلی، لیتولوژی، فاصله از گسل، تراکم پوشش گیاهی و کاربری اراضی به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزهٔ آبخیز طالقان پرداخته است هم‌چنین مشخص شد که هر دو روش می‌توانند دقت برابری در پهنه‌بندی خطر لغزش در منطقه داشته باشند.

در تحقیق حاضر، برای حوزهٔ آبخیز طالقان، لایه‌های اطلاعاتی نظیر پراکندگی محدودهٔ لغزش‌ها، شیب، جهت‌شیب، زمین‌شناسی(لیتولوژی)، فاصله از گسل‌ها و فاصله از آبراهه‌ها جمع‌آوری و به‌عنوان پارامترهای ورودی برای شبکهٔ عصبی در نظر گرفته شده است. به این منظور که هدف، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه و به‌عبارتی تعیین پهنه‌های خطر خیلی‌کم، خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی‌زیاد است، باید از هر یک از این پهنه‌ها نیز به تعداد برابر در اختیار شبکه عصبی قرار گیرد تا آموزش بهتری را ببیند. بدین‌منظور ابتدا از لایه‌های اطلاعاتی موجود نقشهٔ پهنه‌بندی ابتدایی به‌روش آماری (ارزش اطلاعاتی) به‌دست

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

آمد، سپس از پهنه‌های خطر موجود به تعداد برابر و به‌صورت تصادفی داده انتخاب شد و برای آموزش و آزمون در اختیار شبکه قرار داده شد. سپس با استفاده از نمونه‌های آموزشی و آزمونی منطقه، بهترین ساختار شبکه‌ها طراحی شد و خطا به کم‌ترین میزان خود کاهش یافت و نهایتاً از مدل طراحی شده برای پهنه‌بندی کل منطقهٔ طالقان استفاده شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقهٔ بررسی شده

حوزهٔ آبخیز طالقان یکی از زیرحوزه‌های مهم آبخیز سفیدرود به‌شمار می‌رود که در ارتفاعات جنوبی البرز مرکزی قراردارد [۲]. در حال حاضر طالقان، به مرکزیت شهر طالقان، از شهرستان‌های استان البرز است. منطقهٔ کوهستانی طالقان، به فاصلهٔ ۹۰ کیلومتری از کرج (مرکز استان البرز) و در بین دو رشته کوه واقع در طرفین آن (رشته کوه طالقان در جنوب و رشته کوه البرز مرکزی در شمال) گسترده است [۱۱].

این منطقه بین عرض‌های جغرافیایی ´۰٤ °۳٦ تا ´۲۰ °۳٦ و بین طول‌های جغرافیایی ´۳٦ °۵۰ تا ´۱٦ °۵۱ قرار دارد (شکل ۱) و به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع منطقه ٤۲۹۹ و ۱٦۷٤ متر و دارای وسعتی در حدود ۹۵۸ کیلومتر مربع است.

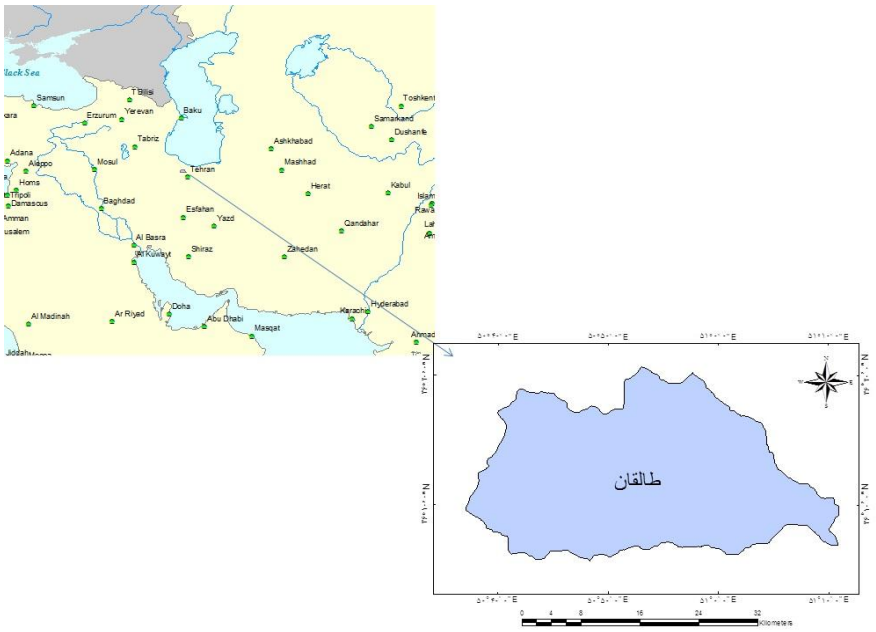
با توجه به توزیع منطقه‌ای باران و کاربرد آن در آب و هواشناسی، منطقه در زمرهٔ مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است.

با این حال وجود رشته‌کوه‌های البرز و دریای خزر عامل مذکور را تحت تأثیر قرار داده و منطقه را از وضعیت خاصی برخوردار کرده است [٦].

زمین‌شناسی عمومی منطقهٔ بررسی شده

برمبنای تقسیم‌بندی واحدهای مختلف زمین‌شناسی در ایران با توجه به پیشنهاد نبوی (۱۳۵۵)، منطقهٔ طالقان در محدودهٔ البرز مرکزی قرار می‌گیرد [۲۱].

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ بررسی شده

این حوزه شامل یک سری چین و راندگی‌های شرقی- غربی است. که به‌سوی شمال و جنوب روی هم رانده شده‌اند [۱۴]. به‌نظر می‌رسد که چین‌خوردگی مهمی قبل از تریاس فوقانی در منطقه وجود نداشته است [۱۷].

موقعیت سازندهای موجود در منطقهٔ بررسی شده در شکل ۲ (نقشهٔ شکران) و توصیفات سنگ‌شناسی آن‌ها در جدول ۱ قابل مشاهده است. بیش‌ترین گسترش مربوط به سازند کرج (شامل ماسه‌سنگ، سیلستون، گلسنگ، توف‌های اسیدی، گلسنگ‌های توفی، آگلومرای بازی و آهک)، سرخ بالایی(شامل سیلت سنگ، مارن قرمز، کنگلومرا و برش‌های خاکستری) و رسوبات عهد حاضر (شامل رسوبات حاصل از لغزش، یخ‌رفت، واریزه‌ها و بیش‌تر رسوبات رودخانه‌ای) است.

طبق نقشهٔ شکران، وجود ساختارهایی با روند شرقی-غربی(E-W) به‌طور چشم‌گیری در شمال طالقان‌رود و جنوب الموت‌رود بر سایر حوادث منطقه بعد از پرکامبرین غلبه داشته است که نتیجهٔ تأثیر این کوه‌زایی‌ها، تشکیل رسوبات با ضخامت‌های کم، یا عدم رسوب‌گذاری

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

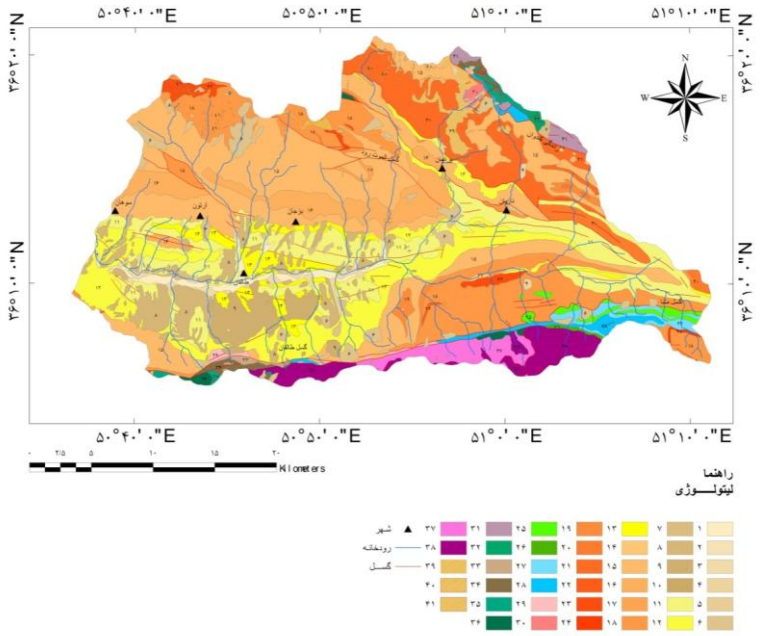
بوده‌است. این وضعیت به‌خوبی در سنگ‌های پالئوزوییک و پرکامبرین در محدودهٔ طالقان قابل مشاهده است [۲۲].

گسل‌های موجود در منطقه (شکل ۲) شامل گسل فشاری طالقان با راستای شرقی- غربی که درازای آن نزدیک به ٦۰ کیلومتر و شیب آن به‌سمت جنوب است، در راستای این گسل سازندهای پالئوزوئیک و مزوزوئیک جنوبی، روی سازند ائوسن کرج و رسوبات نئوژن درهٔ طالقان به‌سمت شمال رانده شده است. گسل پراچان، این گسل، با طول حداقل۲۰ کیلومتر و راستای شمال‌غربی–جنوب‌شرقی، از کنار پراچان می‌گذرد. شیب آن به‌سمت شمال شرقی است. راندگی کندوان که دارای راستای شمال‌غربی–جنوب‌شرقی و شیب به‌سوی شمال در نیمهٔ غربی است، که از قسمت شمال‌شرقی منطقهٔ بررسی شده عبور می‌کند، درازای این گسل نزدیک به ۷٦ کیلومتراست، بخش غربی گسل مشا با درازای نزدیک به ۲۰۰ کیلومتر به پهنه آبیک در خاور قزوین می‌رسد، شیب این گسله در این بخش به‌سمت شمال است و در راستای آن سنگ‌های پالئوزوئیک و مزوزوئیک، روی سازند ائوسن کرج، رانده شده‌اند. گسل‌های میانه که این گسل‌ها به‌خودی خود لرزه‌زا نیست، ولی ممکن است بتواند، در اثر زلزله‌های بزرگ‌تر که در فاصله‌ای از آن‌ها رخ می‌دهند، دچار لغزش و جابه‌جایی شوند و یا سرچشمهٔ لرزش‌های کوچک باشند، گسل شمال سدطالقان و گسل شمال شهرک از جمله این نوع گسل‌های میانه در منطقه ذکر شده‌اند. گسل فشاری الموت، این گسل که یال جنوبی دره الموت رود را می‌سازد، در راستای شمال‌غربی–جنوب‌شرقی و شیب به‌سمت جنوب است، در راستای این گسل، سازند ائوسن کرج روی مارن‌های نئوژن رانده شده‌اند [٦] ، [۱٦].

ساختار کلی شبکهٔ عصبی مصنوعی

تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی با الهام‌گیری از عمل‌کرد مغز انسان و سیستم عصبی گسترش یافته است و این روش ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌های متناظرشان را پیدا می‌کند و در مسائل پیچیده که ارتباط بین متغیرها ناشناخته است این روش برای پیش‌بینی روشی قوی است [۲۰].

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]



شکل ۲. نقشهٔ زمین‌شناسی محدودهٔ بررسی شده (۱۳۵۶)

عملکرد کلی شبکه‌های عصبی به این‌صورت است که اطلاعات ورودی از طریق گره‌های لایه‌های ورودی به شبکه وارد می‌شوند. این گره‌ها با رابط‌هایی وزن‌دار به‌هم ارتباط دارند. از این رو، هر رابط برای خود دارای وزن است و اطلاعات ورودی به‌وسیلهٔ این رابط‌ها از لایهٔ ورودی به لایهٔ میانی (لایهٔ پنهان) منتقل می‌شود. در این لایه گره‌ها مانند یک پردازش‌گر عمل می‌کنند یعنی از طریق رابطه‌ها با دریافت اطلاعات از لایه‌های ورودی روی آن عملیات انجام می‌دهند و از یک گره به گره لایهٔ بعدی می‌فرستند و نتیجه را به‌صورت لایهٔ خروجی از شبکه خارج می‌کنند [۱۳].

شبکه‌های عصبی مبتنی بر توابع پایه‌ای گوسی (RBF): روی‌کردی برای طبقه‌بندی اطلاعات است و در واقع ابعاد داده‌ها را از نظر توصیفی کاهش داده و توصیف اطلاعات را ساده‌تر و قاعده‌دارتر می‌کند. کاربرد اصلی شبکه‌های عصبی مبتنی بر توابع پایه‌ای گوسی، تقریب زدن پاسخ با استفاده از مقادیر توابع هسته‌ای است. این شبکه‌ها بر اساس یادگیری با سرپرست و تابع عملکرد آن بر مبنای توزیع گوسین است. فاصلهٔ اقلیدسی بین بردار ورودی و مرکز نورون

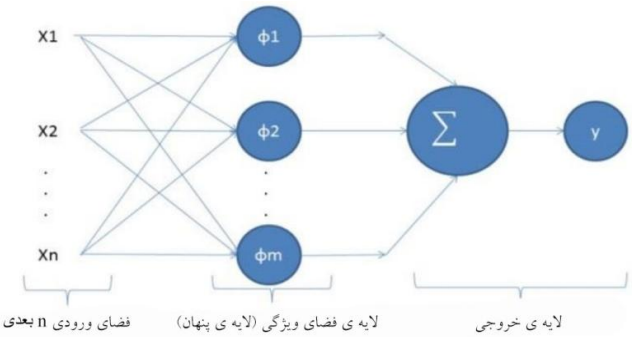
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

جدول ۱. توصیف زمین‌شناسی منطقهٔ بررسی شده

شماره	نماد	توصیف‌های سنگ شناسی	شماره	نماد	توصیف‌های سنگ‌شناسی
۱	Q_2^r	نهشته‌های رودخانه‌ای	۲۲	$Ektm^v$	گل سنگ توفی (با میان لایه‌هایی از گدازه‌های آندزیتی)
۲	Q_2^a	نهشته‌های دشت سیلابی	۲۳	$Ektm^l$	گل سنگ توفی (با میان لایه‌هایی از سنگ آهک)
۳	Q_2^f	گراول‌های دشت سیلابی	۲٤	PeE_z	سنگ آهک نومولیتی
٤	Q_2^s	واریزه‌های سنگی	۲۵	K_t	سنگ آهک خوب لایه‌بندی شده و شیلی
۵	Q_2^m	یخرفت	۲٦	k_1^v	سنگ‌های آتشفشانی متعلق به کرتاسهٔ زیرین
٦	Q_2^l	نهشته‌های لغزشی	۲۷	$J^{d,l}$	سازندهای دلیچای و لار تفکیک نشده (سازند دلیچای: سنگ آهک مارنی و نازک لایه، مارن و سازند لار : سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی)
۷	Q_1^y	نهشته‌های جوان‌تر پلیستوسن، عمدتاً گراول	۲۸	J^s	عمدتاً گل سنگ خاکستری خاکستری_قهوه‌ای
۸	Q_1^o	نهشته‌های قدیمی‌تر پلیستوسن، عمدتاً گراول	۲۹	P_r	سنگ آهک‌های خاکستری تا خاکستری تیره،
۹	Q_1^l	نهشته‌های حاصل از لغزش	۳۰	P_d	ماسه سنگ‌های خاکستری و عمدتاً کوارتزیتی
۱۰	Q_1^v	گدازه‌های تراکیتی	۳۱	O_1	عمدتاً شامل سنگ آهک‌های خاکستری
۱۱	Ng^m	گل سنگ قرمز رنگ و سیلتستون	۳۲	C^m	ماسه سنگ، شیل، سنگ آهک و مارن، کوارتزیت
۱۲	Ng^c	ماسه‌های برجا، برش و کنگلومرا	۳۳	D_v	گدازه های بازیکی
۱۳	Ng^{cgy}	ماسه‌های برجا، برش و کنگلومرا ، و به‌همراه میان لایه‌هایی از گلسنگ‌های ژیپس دار	۳٤	$\in O_m$	سنگ آهک، دولومیت، ماسه سنگ و شیل
۱٤	$Ektm^{gy}$	گل سنگ توفی (با میان لایه‌هایی از ژیپس)	۳۵	$\in_1$	ماسه سنگ، گل سنگ و سیلتستون، و کوارتز
۱۵	Ekv	گدازه‌های عمدتاً بازیکی	۳٦	$P \in_z$	ماسه سنگ، گل سنگ و سیلتستون
۱٦	Ekv^{vp}	گدازه‌های عمدتاً بازیکی، بازانیت با کانی‌های‌آنالیسم	۳۷	$P \in_S$	عمدتاً دولومیت های توفی توده‌ای
۱۷	Ekv^{ta}	گدازه‌های عمدتاً بازیکی، بازانیت با میان لایه‌هایی از توف‌های اسیدی	۳۸	$P \in_k$	ماسه سنگ، سیلستون و گل سنگ
۱۸	$Ekta$	عمدتاً توف‌های اسیدی	۳۹	I^m	آذرین نفوذی (اولیوین–مونزونیت، عمدتاً تراکیتی)
۱۹	$Ekta^{agb}$	عمدتاً توف‌های اسیدی ، با میان لایه‌هایی از آگلومرا	٤۰	I^{av}	آذرین نفوذی (کوارتز پورفیری، فلسیت و دایک‌های روشن)
۲۰	$Ekta^{va}$	عمدتاً توف‌های اسیدی ، با میان لایه‌هایی از ورقه‌های تراکیتی– آندزیتی	٤۱	I^b	آذرین نفوذی (بازالت، آندزیت و دایک‌های تیره)
۲۱	$Ektm$	گل سنگ توفی	–	–	–

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

متناظر را پردازش می‌کنند. در ضمن به‌طور توانی با استفاده از کاهش پارامترهای غیرخطی محلی، نگاشت ورودی-خروجی غیرخطی را به‌طور محلی تخمین می‌زند. نورون لایه مخفی این شبکه‌ها فقط برای آن ورودی‌هایی که نزدیک به مرکز هستند، مؤثر است، به‌همین دلیل به تعداد زیادی از نورون‌های مخفی برای پوشش کل فضای ورودی نیاز است [۲۰]. شکل ۳ ساختار کلی این شبکه‌های عصبی نمایش داده است و معادلات ۱ و ۲ بیان‌گر معادلات نمایش داده شده در شکل ۳ هستند.



شکل ۳. ساختار کلی از شبکه‌های عصبی مبتنی بر توابع پایه‌ای گوسی

$$y = W^T \varphi\,(x) \qquad (۱)$$

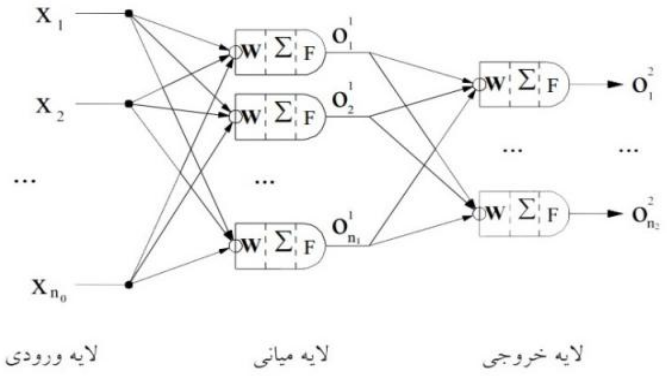
$$\sum_{i=1}^{m} w_i\,\varphi_i\,(x\,) \qquad (۲)$$

شبکه‌های عصبی پرسپترون (MLP): این دسته از شبکه‌های عصبی شامل یک یا چند لایهٔ میانی (پنهان) است که نورون‌های این لایه‌ها، نورون‌های مخفی نیز نامیده می‌شوند. با اضافه کردن چندلایه میانی، شبکه توانایی تجزیه و تحلیل‌هایی با درجهٔ پیچیدگی بیش‌تر را خواهد داشت. شکل ٤ ساختار شبکه عصبی پیش‌رو با دو لایه فعال و یک لایه مخفی (میانی) را نشان می‌دهد.

توابع فعال‌سازی در لایهٔ خروجی عمدتاً بر اساس نیاز کاربر انتخاب می‌شوند (اکثراً از توابع سیگموئید و دو قطبی سیگموئید استفاده می‌شود). هر نورون در هر لایه از شبکه به‌واسطهٔ یک وزن، به هر کدام از نورون‌های لایه بعدی خود متصل شده است. چنین ساختاری

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

را شبکه کامل متصل می‌گویند. حال چنان‌چه بخشی از این ارتباطات وجود نداشته باشند، آن را نیمه‌متصل می‌گویند.



شکل ٤. ساختار شبکهٔ عصبی چند لایه

لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده

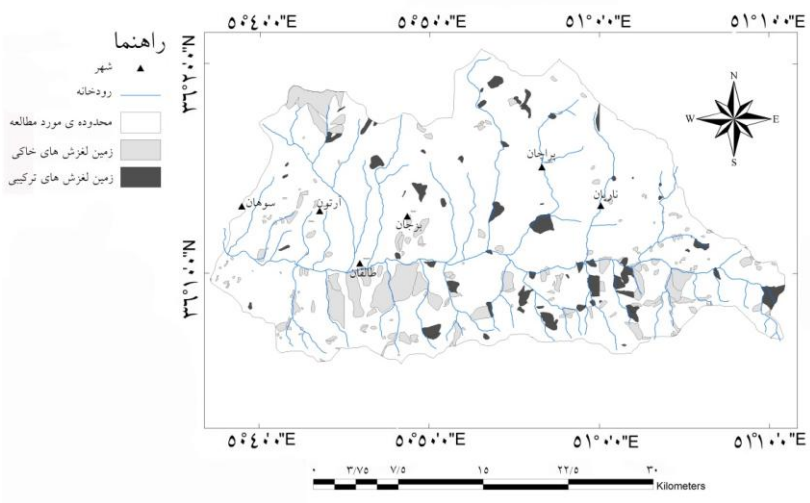
لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده در این پژوهش شامل نقشه‌های پراکندگی محدودهٔ لغزش‌ها، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی(لیتولوژی)، فاصله از گسل‌ها و فاصله از آبراهه‌ها در منطقه است. با استفاده از پراکندگی لغزش‌ها، لایه‌های اطلاعاتی دیگر طبقه‌بندی می‌شوند. با استفاده از محاسبهٔ تراکم لغزش‌ها در هر طبقه، رتبهٔ هر طبقه (به این‌صورت که طبقهٔ با وزن‌های زیاد رتبه‌های بالا و عکس این قضیه) و هم‌چنین وزن مخصوص هر طبقه (همانند روش ارزش اطلاعاتی (روش آماری رگرسیونی دو متغیره) با محاسبهٔ لگاریتم تراکم لغزش‌های هر طبقه) محاسبه می‌شوند (لازم به ذکر است که مناطقی که دارای ضریب تراکم صفر هستند به‌عنوان مناطق بدون خطر در نظر گرفته می‌شوند) و مجموع وزن‌های موجود برای هر واحد از منطقه در واقع بیان‌گر احتمال رخداد لغزش در آن واحد است.

۱. **پراکندگی محدودهٔ لغزش‌ها**: این نقشه از طریق سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کل کشور در اختیار این پژوهش قرار گرفت و سپس با بازدید صحرایی و اطلاعات حاصل از سنجش از راه دور تکمیل شد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

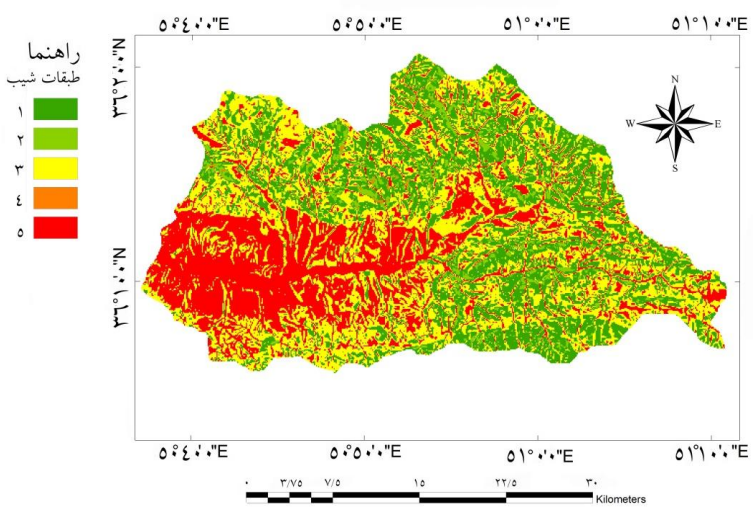
نقشهٔ تهیهٔ شدهٔ پراکندگی زمین‌لغزش‌های رخداده، شامل زمین‌لغزش‌های خاکی و ترکیب خاکی و سنگی هستند (شکل ۵). برای بررسی و ارزیابی نهایی نقشه‌های به‌دست آمده تعدادی از لغزش‌های منطقه (حدود ۳۰ درصد) به‌صورت تصادفی انتخاب شد و از ابتدا در وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی شرکت داده نشدند.

۲. **عامل شیب**: این عامل با استفاده از نقشهٔ ارتفاعی منطقه (DEM) با پیکسل اندازهٔ ۸۵ متر در ۸۵ متر و در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شده است. این عامل به‌روش فاطمی عقدا (۱۹۹٤) [۲٤]، طبقه‌بندی شده و سایر پارامترهای مورد نظر با قطع دادن نقشهٔ پراکندگی لغزش‌ها با این نقشه محاسبه شد، که اطلاعات آن در جدول ۲ مشخص است. شکل ٦، نقشهٔ شیب ترسیم شده بر مبنای رتبهٔ تعلق گرفته به هر طبقه و کلاس است.



شکل ۵. نقشهٔ پراکندگی محدودهٔ کل لغزش‌های خاکی و ترکیبی (خاکی و سنگی) موجود در محدودهٔ بررسی شده (بانک اطلاعاتی زمین‌لغزش‌های کشور، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کل کشور)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]



شکل ٦. نقشهٔ شیب رتبه داده شدهٔ منطقهٔ طالقان

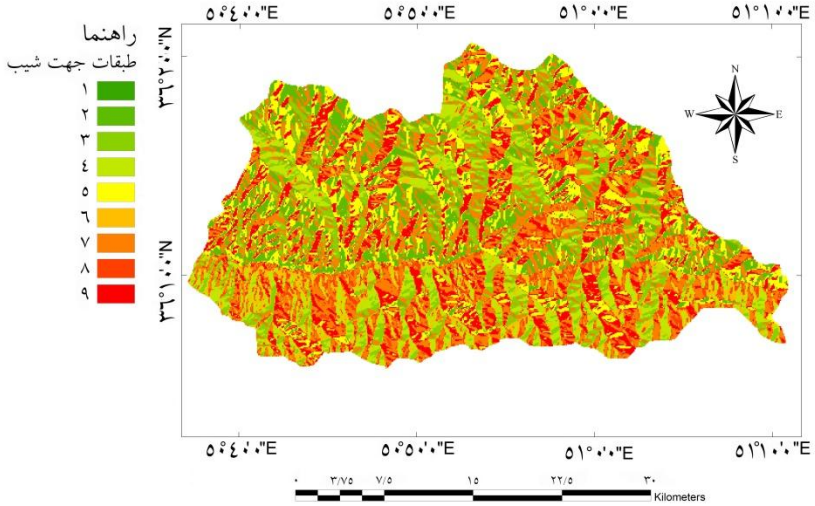
جدول۲. اطلاعات نقشهٔ شیب طبقه‌بندی شده

رتبه	وزن ارزش اطلاعاتی	تراکم لغزش (Dr)	درصد مساحت لغزش (S)	درصد مساحت پهنه (A)	شیب (درجه)
٥	۰/۱۸	۱/۲۰	۳٤/٦۹	۲۸/۹۸	۰ – ۱٥
۳	۰/۰٤	۱/۰٤	۳۹/۱۰	۳۷/٥۸	۱٥– ۲٥
۱	–۰/۲۸	۰/۷٥	۲۲/۰۳	۲۹/۳۰	۲٥ – ۳٥
۲	۰/۰۰٤	۱/۰۰	٤	۳/۹۸	۳٥– ٤٥
٤	۰/۱۷	۱/۱۹	۰/۱۷	۰/۱٥	x>٤٥

طبق جدول۲، بیش‌ترین تراکم در شیب‌های کم‌تر از ۱٥ درجه و بیش‌تر ٤٥ درجه مشاهده می‌شوند. با افزایش شیب، تراکم زمین‌لغزش‌ها نیز باید افزایش یابد ولی در این تحقیق مشاهده شد که بی‌نظمی‌هایی در طبقات شیب وجود دارد و تراکم زیاد لغزش‌ها در شیب‌های کم‌تر نیز وجود دارد. احتمالاً به‌این دلیل است که لغزش‌های ثبت شده، قدیمی هستند و مناطقی که دچار لغزش شده‌اند، دچار تعادل نیروها، هوازدگی و فرسایش و نهایتاً کاهش شیب در سطح خود نیز شده‌اند و به‌این سبب اکثر زمین‌لغزش‌ها در مناطقی که هم‌اکنون دارای شیب کم هستند قابل مشاهده‌اند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

۳. جهت شیب: این عامل با استفاده از نقشهٔ ارتفاعی منطقه (DEM) با پیکسل‌اندازهٔ ۸۵ متر در ۸۵ متر و در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شده است. این نقشه نظیر آن‌چه در جدول ۳ قابل مشاهده است، به‌روش سوری و همکاران (۱۳۹۰) [۱۲] طبقه‌بندی شده و سایر پارامترهای مورد نظر با قطع دادن نقشهٔ پراکندگی لغزش‌ها با این نقشه محاسبه شد، که اطلاعات آن در جدول ۲ مشخص است. شکل ۷ ، نقشهٔ جهت شیب ترسیم شده بر مبنای رتبهٔ تعلق گرفته به هر طبقه و کلاس است.



شکل۷. نقشهٔ جهت شیب رتبه داده شدهٔ منطقهٔ طالقان

جدول۳. اطلاعات نقشهٔ جهت شیب طبقه‌بندی شده

رتبه	وزن	ضریب تراکم (Dr)	درصد مساحت لغزش(S)	درصد مساحت پهنه(A)	جهت شیب
۱	–	۰	۰	۰/۰۰۲	مسطح
۷	۰/۱٦	۱/۱۷	۲۷/۸۳	۲۳/۸۲	شمال
۲	-۰/۵۸	۰/۵٦	۷/۸۳	۱٤/۰٤	شمال‌شرقی
٦	۰/۱۳	۱/۱٤	٦/۰٤	۵/۳۲	شرق
۳	-۰/۳٦	۰/۷۰	۷/۵۵	۱۰/۸۵	جنوب‌شرق
۸	۰/۳۱	۱/۳۷	۷/۱۸	۵/۲٦	جنوب
٤	-۰/۲۵	۰/۷۷	۸/۸۲	۱۱/٤٤	جنوب‌غرب
۵	-۰/۱۹	۰/۸۳	۱۱/۹۸	۱٤/٤۵	غرب
۹	۰/٤۳	۱/۵۳	۲۲/۷٦	۱٤/۸۳	شمال‌غرب

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

از نتایج به‌دست آمده، مشاهده می‌شود که دامنه‌های شمالی نسبت به سایر جهت‌ها لغزش‌های بیش‌تری دارند. علت این است که مناطق مذکور در معرض تابش خورشید قرار ندارند و همین امر سبب انباشته شدن بیش‌تر رطوبت و نیز افزایش رخداد لغزش می‌شود:

٤. **عامل زمین‌شناسی (لیتولوژی)**: این لایه، از نقشهٔ ۱/۱۰۰۰۰۰ شکران [۲۲] تهیه شده است. هریک از لیتولوژی‌ها به‌عنوان یک کلاس و طبقه در نظر گرفته شده‌است، موقعیت لیتولوژی‌ها در شکل ۲ قابل مشاهده است، سایر پارامترهای مورد نظر با قطع دادن نقشهٔ پراکندگی لغزش‌ها با این نقشه محاسبه شد، که اطلاعات آن در جدول ٤ مشخص است. بیشترین تراکم لغزش‌ها در سازندهای عهد حاضر (با محتوای عمدتاً رسوبات رودخانه‌ای و تخریبی و سست) و رخساره‌های ائوسن سازند کرج (با محتوای عمدتاً ماسه‌سنگ، سیلستون و گلسنگ) مشاهده گردید. رخساره‌های عمدهٔ این سازندها مقاومت کم و قابلیت فرسایش‌پذیری زیادی دارند [۱۵]. این نتایج نیز با اطلاعات ارائه شده سازمان جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری کل کشور، برای دسته‌بندی حساسیت به لغزش سازندهای زمین‌شناسی زون البرز، هم‌خوانی دارد.

۵. **عامل گسل**: نقشهٔ گسلی منطقهٔ بررسی شده از نقشهٔ زمین‌شناسی شکران [۲۲] تهیه و سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، نقشهٔ فاصله از گسل‌ها نیز آماده شد. این نقشه نظیر آن‌چه در جدول ۵ قابل مشاهده است، طبقه‌بندی شد (این نوع طبقه‌بندی برای این پارامتر در این منطقه با اجرای سناریوهای مختلف و روش سعی و خطا به‌عنوان بهترین طبقه‌بندی به‌دست آمد) و سایر پارامترهای مورد نظر، با قطع دادن نقشهٔ پراکندگی لغزش‌ها با این نقشه محاسبه شد. شکل ۸، نقشهٔ فاصله از گسل ترسیم شده بر مبنای رتبهٔ تعلق گرفته به هر طبقه و کلاس است. با افزایش فاصله از گسل میزان تراکم لغزش‌ها نیز کاهش می‌یابد. مناطقی که به گسل‌ها نزدیک‌تر هستند بیش‌تر نیز تحت تأثیر گسل‌ها قرار گرفته‌اند و کاهش مقاومت زمین در این مناطق بیش‌تر از مناطق دورتر است. از این رو، مناطق نزدیک‌تر برای رخداد زمین‌لغزش مستعدتر هستند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

جدول ٤. اطلاعات نقشهٔ زمین‌شناسی طبقه‌بندی شده

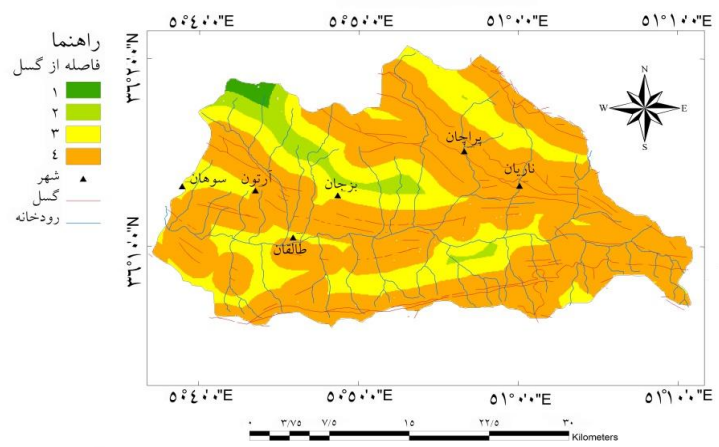
شماره	نماد زمین‌شناسی	درصد مساحت (A)	درصد مساحت لغزش(S)	ضریب تراکم	وزن	رتبه
۱	Q_2^r	۱/۳۸	۲/۹۰	۲/۱۱	۰/۷٤	۲۷
۲	Q_2^a	۰/۸۰	۱/۲٦	۱/۵۷	۰/٤۵	۲۱
۳	Q_2^f	۰/۰۲۹	۰	۰	–	۱
٤	Q_2^s	۰/۱۸	۰/۳۹	۲/۲۱	۰/۷۹	۱
۵	Q_2^m	۰/۰۱۵	۰	۰	–	۱
٦	Q_2^l	۳/۲۸	۵/٤۹	۱/٦۸	۰/۵۲	۲۳
۷	Q_1^y	۰/۰۷٤	۰	۰	–	۱
۸	Q_1^o	۵/۳٦	۳/۳۷	۰/٦۳	−۰/٤٦	۱۵
۹	Q_1^l	۲/۹۱	۱۳/۰٤۵	٤/٤۸	۱/۵۰	۳۳
۱۰	Q_1^v	۰/۰۱۰	۰	۰	–	۱
۱۱	Ng^m	۱۱/۸۱	۱۲/٤۸	۱/۰۵۷	۰/۰۵۵	۱۹
۱۲	Ng^c	۹/۷۰	۵/۹۷	۰/٦۲	۰/٦۲	۱٤
۱۳	Ng^{cgy}	۲/۸۰	٤/۸۵	۱/۷۳	۰/۵۵	۲٤
۱٤	$Ektm^{gy}$	۰/۱۱	۰/۳٦	۳/۳۱	۱/۲۰	۳۱
۱۵	Ekv	۲٤/٦۰	۸/۱۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۹
۱٦	Ekv^{vp}	۵/۲٤	۲/۰۵٤	۰/۳۹	−۰/۹٤	۱۲
۱۷	Ekv^{ta}	۰/۱۵	۰	۰	–	۱
۱۸	Ekta	۱۲/۳۱	۲۲/۹۱	۱/۸٦	۰/٦۲	۲۵
۱۹	$Ekta^{agb}$	۰/٦۹	۱/۲۹	۱/۸۸	۰/٦۳	۳٦
۲۰	$Ekta^{va}$	۱/۳۱	۰/۳۹	۰/۳۰	−۱/۲۱	۸
۲۱	Ektm	٦/٤۳	۲/٤۰	۰/۳۷	−۰/۹۸	۱۱
۲۲	$Ektm^v$	۰/۰۵۸	۰/۱۵	۲/۵۷	۱/۰۰	۳۰
۲۳	$Ektm^l$	۰/۸۸	٤/۱۵	٤/٦۹	۱/۵۵	۱
۲٤	PeE_z	۰/۰٦	۰	۰	–	۱
۲۵	K_t	۰/۷٤	۱/۲۱	۱/٦٤	۰/۵۰	۲۲
۲٦	k_1^v	۰/۱۲	۰	۰	–	۱
۲۷	$J^{d,l}$	۰/۸٦	۱/۹۰	۲/۲۱	۰/۸۰	۲۹
۲۸	J^s	۱/۰۰	۱/۲٤	۱/۲۳	۰/۲۱	۲۰
۲۹	P_r	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۸۰	−۰/۲۲	۱۷
۳۰	P_d	۰/۱۹	۰/۰۲۱	۰/۱۱	−۲/۲۱	٤
۳۱	O_1	۰/۰٤	۰	۰	–	۱
۳۲	C^m	۰/٤۹	۰/۰۹۹	۰/۲۰	−۱/٦۱	٦
۳۳	D_v	۰/۱۹	۰/۰۱٤	۰/۰۷۲	−۲/٦۲	۲
۳٤	$\in O_m$	۰/۳۹	۰/۰٤۲	۰/۱۱	−۲/۲۱	۳

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

رتبه	وزن	ضریب تراکم	درصد مساحت لغزش(S)	درصد مساحت (A)	نماد زمین‌شناسی	شماره
۱۰	-۱/۱۲	۰/۳۳	۰/۰۷۸	۰/۲۳	ϵ_1	۳۵
۷	۱/۳۵	۰/۲۶	۰/۰۶٤	۰/۲۵	$P\epsilon_z$	۳۶
۵	-۱/۹۷	۰/۱٤	۰/۲۰	۱/٤۱	$P\epsilon_S$	۳۷
۱۸	-۰/۰۰۰۱	۱/۰۰	۲/۱۸	۲/۱۸	$P\epsilon_k$	۳۸
۱۳	-۰/٤۹	۰/۶۱	۰/۷۹	۱/۲۹	I^m	۳۹
۱۶	-۰/٤۰	۰/۶۷	۰/۰۱٤	۰/۰۲	I^{av}	٤۰
۳۲	-۱/۲۹	۳/۶۲	۰/۳۲	۰/۰۹	I^b	٤۱

جدول ۵. اطلاعات نقشهٔ فاصله از گسل طبقه‌بندی شده

رتبه	وزن	ضریب تراکم	درصد مساحت	درصد مساحت	فاصله از گسل
٤	۰/۰٤٤	۱/۰٤	۷۲/۹٤	۶۹/۷۵	۰ -۱۵۰۰
۳	-۰/۰۸۵	۰/۹۲	۲۳/۰۹	۲۵/۱۳	۱۵۰۰ - ۳۰۰۰
۲	-۰/۱۸٤	۰/۸۳	۳/۵۹	٤/۳۲	۳۰۰۰ - ٤۵۰۰
۱	-۰/۷۵۲	۰/٤۷	۰/۳۸	۰/۸۰	x>٤۵۰۰



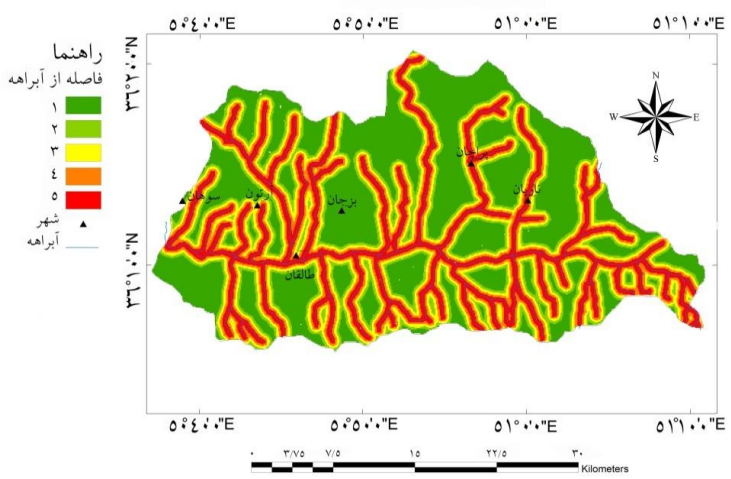
شکل ۷. نقشهٔ فاصله از گسل رتبه داده شدهٔ منطقهٔ طالقان

۶. عامل آبراهه: نقشهٔ فاصله از آبراهه‌ها نیز با نرم‌افزار ArcGIS، تهیه شد. این نقشه نیز به‌دلیل مرتبط شدن با پدیدهٔ زمین‌لغزش و سهولت در تهیهٔ فراوانی رخداد زمین‌لغزش‌ها، به ۵ رده تقسیم شده است (این نوع طبقه‌بندی برای این پارامتر در این منطقه با اجرای

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

سناریوهای مختلف و روش سعی و خطا به‌عنوان بهترین طبقه‌بندی به‌دست آمد)، که اطلاعات آن در جدول ٦ مشخص است. شکل ۹ نقشهٔ فاصله از آبراهه ترسیم شده بر مبنای رتبهٔ تعلق گرفته به هر طبقه و کلاس است.

تراکم لغزش‌ها با نزدیکی به آبراهه‌ها، به‌علت افزایش شرایط فرسایش و رطوبت افزایش می‌یابد.



شکل ۸. نقشهٔ فاصله از آبراههٔ رتبه داده شدهٔ منطقهٔ طالقان

جدول ٦. اطلاعات نقشهٔ فاصله از آبراههٔ طبقه‌بندی شده

رتبه	وزن	ضریب تراکم	درصد مساحت لغزش (S)	درصد مساحت پهنه (A)	فاصله از رودخانه (متر)
٥	۰/۱۷	۱/۱۹	۲۲/٤٤	۱۸/۹۰	۰–۲۰۰
٤	۰/۰۹۷	۱/۱۰	۱۵/۱۷	۱۳/۷۷	۲۰۰–٤۰۰
۳	۰/۰٦۹	۱/۰۷	۱۵/۱۲	۱٤/۱۱	٤۰۰–٦۰۰
۲	۰/۰٤٥	۱/۰٤	۱۲/۷۹	۱۲/۲۲	٦۰۰–۸۰۰
۱	–۰/۱۷	۰/۸٤	۳٤/٤٦	٤۰/۹۹	x>۸۰۰

واحدبندی منطقه

منطقهٔ مورد نظر محدوده‌ای به‌وسعت ۹۵۸ کیلومترمربع است. در این پژوهش پیکسل‌های استفاده شده، واحدهای در ابعاد ۸۵ در ۸۵ متر در نظر گرفته شد. واحدبندی منطقه و محدودهٔ

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

بررسی شده با سیستم‌های اطلاعاتی جغرافیایی انجام گرفته است و موقعیت این پیکسل‌ها، برای همهٔ لایه‌های اطلاعاتی ثابت است. از این‌رو، برای یک واحد (پیکسل) مشخص (با موقعیت ثابت)، اطلاعات و ارزش‌های تعیین شدهٔ عوامل مؤثر ثبت شده است. بدین‌ترتیب نهایتاً روی یک پیکسل تمامی اطلاعات از هر عامل و هم‌چنین وجود و عدم وجود زمین‌لغزش موجود است.

ساختار شبکهٔ عصبی استفاده شده در تحقیق

برای استفاده از روش شبکهٔ عصبی از اطلاعات حاصل از تحلیل پراکندگی لغزش‌ها (نظیر آن‌چه در جدول‌های قبلی قابل مشاهده است)، استفاده شد و چنان‌که در روش‌های استفاده شده بیان شد از روش شبکهٔ عصبی مبتنی بر توابع پایه‌ای گوسی و روش شبکهٔ عصبی پرسپترون استفاده شد.

این روش‌ها در محیط نرم‌افزار متلب اجرا شدند. در روش شبکهٔ عصبی مبتنی بر توابع پایه‌ای گوسی پارامترهایی نظیر ضریب یادگیری (در بازهٔ صفر تا یک)، تعداد هسته‌های لایهٔ میانی، بازهٔ وزن (از بازهٔ ۵- تا ۵+) و تعدد تکرار[1] و هم‌چنین در روش شبکهٔ عصبی پرسپترون پارامترهایی نظیر ضریب یادگیری (در بازهٔ صفر تا یک)، تعداد لایه‌های میانی، تعداد نورون‌های لایه‌های میانی، توابع تحریک و تعدد تکرار، برای آموزش بهتر تغییر یافت. شبکه‌ها برای چندین بار مورد تغییر و آموزش و آزمون قرار گرفتند و نهایتاً بهترین حالت با بیش‌ترین دقت به‌عنوان ساختار نهایی انتخاب شد.

برای آموزش صحیح و مناسب شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پهنه‌بندی لازم است از هر پهنه تعداد برابری نمونه در نظر گرفته شود. از این‌رو، از بین تعداد کل پیکسل‌های موجود در منطقه به‌صورت تصادفی ۲۵۸۰ نقطه انتخاب شد که ۱۷۲۰ داده برای آموزش و ۸٦۰ داده برای آزمون به‌صورت تصادفی تفکیک شدند.

با بررسی‌های انجام گرفته مشخص شد اگر در شبکه‌های عصبی به‌عنوان ورودی فقط از ۵ عامل (لایه‌های شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل) استفاده شود، شبکه توانایی خوبی در پیش‌بینی ارائه نمی‌دهد. ولی با افزودن لایهٔ دیگری به‌عنوان ورودی،

1. Epoch

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

باعنوان لایهٔ رخداد لغزشی، و بیان‌گر مناطقی است که دارای لغزش هستند (با عدد ۱ مشخص شده‌اند) و مناطقی که فاقد لغزش هستند (با عدد صفر نمایش داده می‌شوند)، شبکه‌ها قادر به ارائهٔ خروجی (نقشهٔ پهنه‌بندی) می‌شوند که مطلوبیت بهتری را دارند، این امر به‌علت توانایی زیاد شبکه در برقراری رابطهٔ متناسب بین عوامل ورودی‌ها و خروجی‌ها، در این حالت است.

بحث و بررسی و ارزیابی نتایج

نتایج حاصل از روش شبکهٔ عصبی مبتنی بر توابع پایه‌ای گوسی: نهایی‌ترین و بهترین ساختار برای هر دو مدل (با ۵ عامل ورودی و ٦ عامل ورودی) دارای مشخصاتی است که در جدول ۷ و ۸ قابل مشاهده است.

چنان‌که از نتایج صحت‌سنجی داده‌های مرحلهٔ آموزش و آزمون (جدول‌های ۷ و ۸) قابل درک است بهترین مدل و ساختار شبکه عصبی با ٦ ورودی است.

ضرایب هم‌بستگی برای مراحل آموزش و آزمون در شکل ۱۰ و ۱۱ آورده شده است.

- ضریب هم‌بستگی برای داده‌های مرحلهٔ آموزش برابر ۰/۹۸٦۷۷ است (شکل ۱۰).
- ضریب هم‌بستگی برای داده‌های مرحلهٔ آزمون برابر۰/۹۸۵۵ است (شکل ۱۱).

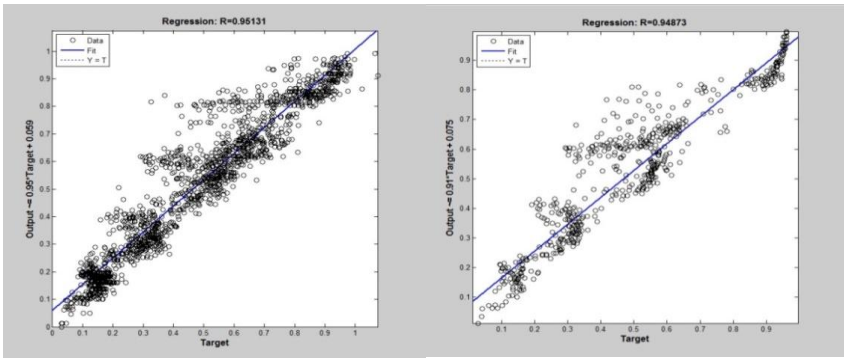
جدول ۷. مشخصات بهترین ساختار شبکهٔ عصبی مبتنی بر توابع پایه‌ای گوسی

تعداد ورودی	تعداد نورون‌های لایه مخفی	بازهٔ وزن‌ها	تعداد خروجی	میزان یادگیری	تابع تحریک نهایی	تکرار	میانگین مربعات خطای آزمایش	میانگین مربعات خطای آزمون
۵	۲۰	(۵- و ۵+)	۱	۰/۰۹	خطی	۳۰	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۸۳
٦	۱۵	(۰/۹- و ۰/۹+)	۱	۰/۱	خطی	۳۰	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۲۱

جدول ۸. صحت مدل‌های نهایی شبکهٔ عصبی مبتنی بر توابع پایه‌ای گوسی

تعداد ورودی	صحت داده‌های آزمایش	صحت داده‌های آزمون	شاخص مطلوبیت نقشهٔ حاصل
۵	٪۷۷/٦۷	٪۷٤/۰۱	۰/۷۷
٦	٪۸٤/۲٤	٪۸۳/۹۵	۲/۷۵

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]



شکل ۱۰. نمودار ضریب هم‌بستگی در مرحلهٔ آموزش در روش RBF

شکل ۱۱. نمودار ضریب هم‌بستگی در مرحلهٔ آزمون در روشRBF

نتایج حاصل از روش شبکهٔ عصبی پرسپترون: نهایی‌ترین و بهترین ساختار برای هر دو مدل (با ۵ عامل ورودی و ٦عامل ورودی) دارای مشخصاتی است که در جدول ۹ و ۱۰ قابل مشاهده است.

چنان‌که از نتایج صحت‌سنجی داده‌های مرحلهٔ آموزش و آزمون (جدول‌های ۹ و ۱۰) قابل درک است بهترین مدل و ساختار شبکه عصبی با ٦ ورودی است.

ضرایب هم‌بستگی برای مراحل آموزش و آزمون در شکل۱۲ و ۱۳ آورده شده است.

- ضریب هم‌بستگی برای داده‌های مرحلهٔ آموزش برابر۰/۹۵۱۳۱ است (شکل۱۲).
- ضریب هم‌بستگی برای داده‌های مرحلهٔ آزمون برابر۰/۹٤۸۷۳ است (شکل۱۳).

پس از آماده شدن شبکه‌های عصبی مناسب، اطلاعات کل منطقه وارد شبکه‌های آموزش دیده شد و خروجی با نرم‌افزار سیستم اطلاعاتی جغرافیایی (Arc GIS) وارد منطقه شد. نقشه نهایی حاصل از هر دو شبکه در شکل‌های ١٤ و ١٥ و اطلاعات هر کدام از نقشه‌ها در جدول‌های ۱۱و ۱۲ قابل مشاهده است.

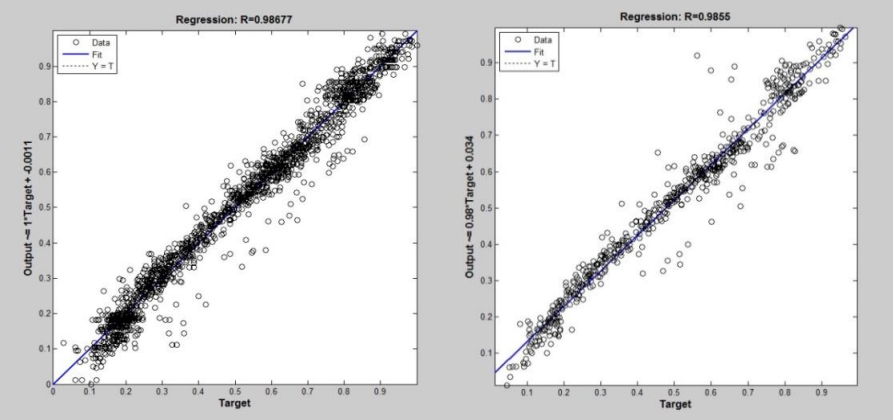
جدول ۹. مشخصات مدل نهایی شبکهٔ عصبی پرسپترون

تعداد ورودی	تعداد لایه میانی	تعداد نورون لایه‌های میانی به ترتیب			لایهٔ خروجی	نرخ یادگیری	تابع تحریک نهایی	تکرار	میانگین مربعات خطای آموزش	میانگین مربعات خطای آزمون
۵	۲	۸	۱۰		۵	۱	سیگموئید	۸۰۰	۰/۰۲۰۵	۰/۰۲۱۰
٦	۳	۱۱	۱۸	۲۵	۵	۰/۹	سیگموئید	٤۰۰	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰٦۹

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

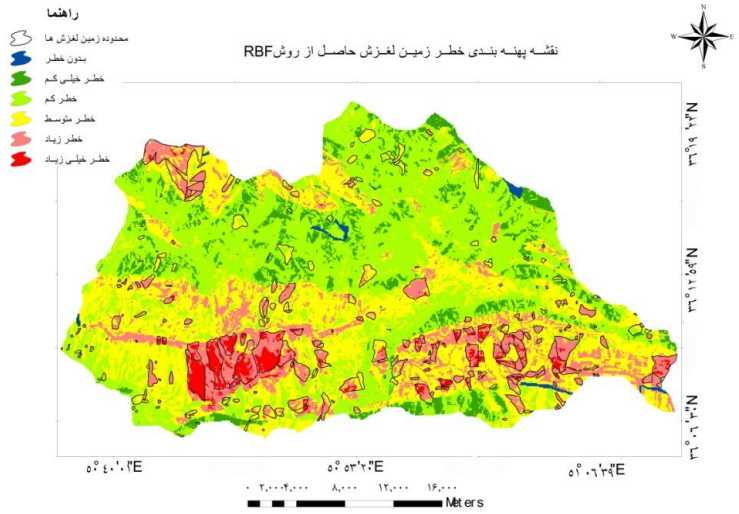
جدول ۱۰: صحت مدل‌های نهایی شبکهٔ عصبی پرسپترون

تعداد ورودی	صحت داده‌های آموزش	صحت داده‌های آزمون	شاخص مطلوبیت نقشهٔ حاصل
۵	%۶۵/۲۳	%۶۰/۸۱	۰/۶۶
۶	%۹۴/۰۷	%۹۳/۴۹	۲/۰۷



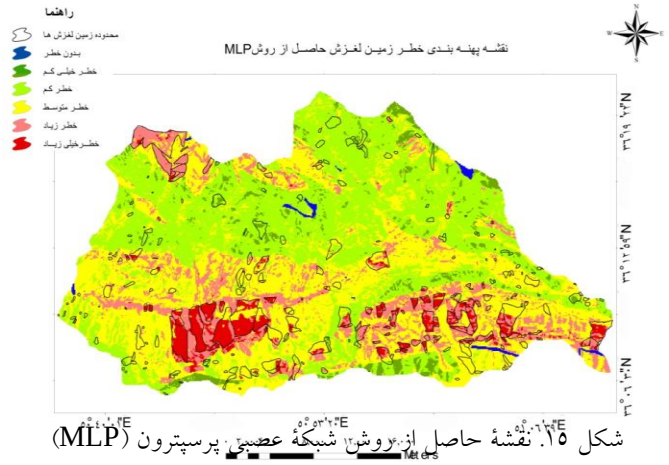
شکل ۱۳. نمودار ضریب هم‌بستگی در مرحلهٔ آزمون روشMLP

شکل ۱۲. نمودار ضریب هم‌بستگی در مرحلهٔ آموزش روشMLP



شکل ۱۴. نقشهٔ حاصل از روش شبکهٔ عصبی مبتنی بر توابع پایه‌ای گوسی (RBF)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]



شکل ۱۵. نقشهٔ حاصل از روش شبکهٔ عصبی پرسپترون (MLP)

جدول ۱۱. مشخصات نقشهٔ حاصل از روش شبکهٔ عصبی مبتنی بر توابع پایه‌ای گوسی

درصد مساحت منطقه	کلاس	پهنه خطر
۰/۵۰	۰	بدون خطر
۷/۹٤	۱	خطرخیلی‌کم
٤۰/٤۲	۲	خطرکم
۳۳/٤۲	۳	خطر متوسط
۱۵/۰۸	٤	خطر زیاد
۲/٦۳	۵	خطر خیلی زیاد

جدول ۱۲. مشخصات نقشهٔ حاصل از روش شبکهٔ عصبی پرسپترون

درصد مساحت منطقه	کلاس	پهنه خطر
۰/۵۰	۰	بدون خطر
۳/۷۲	۱	خطرخیلی‌کم
۳۸/۲۲	۲	خطر کم
۳۹/۲۱	۳	خطر متوسط
۱٤/۰۲	٤	خطر زیاد
۱٤/۳۲	۵	خطر خیلی‌زیاد

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

جدول ۱۳. مقایسه عملکرد نقشه‌ها در برابر مناطق لغزشی آزمایشی

روش / پهنه خطر	ضریب تراکم لغزش‌های مناطق آزمایشی در روش شبکه عصبی MLP	ضریب تراکم لغزش‌های مناطق آزمایشی در روش شبکه عصبی RBF
بدون خطر	۰/۰۹	۰/۰۹
خطر خیلی کم	۰/۳۶	۰/۲۰
خطر کم	۰/۱۸	۰/۲۹
خطر متوسط	۱/۱۸	۱/۴۳
خطر زیاد	۲/۹۲	۲/۴۲
خطر خیلی زیاد	۱/۰۴	۰/۹۶

نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که هر سال حرکات دامنه‌ای در مناطق مختلف کشور زیان‌ها و خسارت‌های زیادی به‌بار می‌آود، لازم است پژوهش‌ها و بررسی‌های ویژه‌ای برای شناسایی عوامل مؤثر در وقوع آن‌ها، تجزیه و تحلیل این عوامل، برآورد خطر وقوع این پدیده و پهنه‌بندی کشور بر مبنای پتانسیل خطر زمین‌لغزش صورت گیرد. نقشهٔ پهنه‌بندی اطلاعات با ارزشی را در مورد خطر و پراکندگی زمین‌لغزش‌ها به‌دست می‌دهد که می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مربوط به‌کاربری مناسب از زمین، خصوصاً در برنامه‌ریزی توسعهٔ شهری و روستایی، توسعهٔ شبکه‌های حیاتی و... استفاده شوند. از این رو، دقت و حساسیت در تهیهٔ نقشه‌ای که بیان‌گر وضعیت پایداری دامنه‌ها باشد، اجتناب‌ناپذیر است.

در این تحقیق نیز به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقهٔ طالقان با دو روش از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداخته شد. با تحلیل نقشه‌های حاصل شده از هر دو روش و با مشاهدهٔ پارامتر مطلوبیت نقشه‌های به‌دست آمده، ملاحظه می‌شود که با هم‌پوشانی مناطق لغزشی آزمایشی با نقشه‌های حاصل، بالای ۸۰ درصد مساحت آن‌ها در پهنه‌های خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی‌زیاد در هر دو نقشهٔ خطر قرار می‌گیرند که نسبتاً پاسخ خوبی است. از مزیت روش شبکهٔ عصبی مبتنی بر توابع پایهٔ گوسی نظیر هر آن‌چه در قسمت آموزش مشاهده شد این است که دارای آموزش راحت‌تر و سریع‌تری نسبت به شبکهٔ عصبی پرسپترون است و توان لازم در مواجهه با حجم زیاد اطلاعات و داده‌ها را نیز دارد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

با مقایسهٔ تراکم لغزش‌های آزمایشی در پهنه‌های خطر هر کدام از نقشه‌ها، نظیر هر آن‌چه در جدول ۱۳ قابل مشاهده است، چنین نتیجه می‌شود که مجموع ضریب تراکم برای پهنه‌های خطر متوسط به‌بالا در روش RBF برابر ٤/۸۱ و در روش MLP برابر ٥/۱٤ است و این نتایج به این معناست که نقشهٔ حاصل از روش شبکهٔ عصبی پرسپترون از دقت و عملکرد بهتری نسبت به نقشهٔ حاصل از روش شبکهٔ عصبی مبتی بر توابع پایه‌ای گوسی برخوردار است.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از آقای وحید باقری، آقای بهمن اکبری و خانم چترسیماب و کارمندان محترم سازمان جنگل‌ها مراتع و آبخیزداری کل کشور که در انجام این پژوهش تیم تحقیق را یاری کردند تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱. آزاد ف.، *عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن در حوزهٔ الموت رود*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی(۱۳۸٤).

۲. احمدی ح.، داوودی م. ح.، نظری سامانی ع.ا.، مشکوتی ا.، *مقایسهٔ عوامل تأثیر گذار در خطر زمین-لغزش در دو مقیاس (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز طالقان)*، مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری (۱۳۹۰).

۳. احسانی‌فر ف.، *مدل‌سازی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز تجن، استان مازندران)*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه مازندران (۱۳۹۰).

٤. الفتی س.، صفرپور ف.، محمودآبادی م.، *زمین‌لغزش‌ها و انواع روش‌های مطالعه*، مجلهٔ رشد آموزش جغرافیا، دوره ۲٦، شمارهٔ ٤ (۱۳۹۱).

٥. جلالی ن.، *ارزیابی تعدادی از روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزهٔ طالقان*، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری (۱۳۸۱).

٦. حسین‌نژاد ف.، *ارزیابی و توان‌سنجی پتانسیل‌های اکوتوریسم شهرستان طالقان*، دانشگاه خوارزمی (۱۳۹۰).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

۷. حق‌شناس ا.، *پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در منطقهٔ طالقان*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۷٤).

۸. راکعی ب.، *پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از سیستم شبکهٔ عصبی در منطقه سفیدار گلهٔ استان سمنان*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشکده علوم. دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۲).

۹. زارع پور س.، *پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقهٔ رودبار و منجیل با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشکدهٔ علوم، دانشگاه خوارزمی (۱۳۸٤).

۱۰. ساریخانی ر.، *پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی(مطالعهٔ موردی : منطقهٔ تالش-گیلان)*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشکده علوم. دانشگاه خوارزمی(۱۳۸۰).

۱۱. سایت فرمانداری طالقان (www.p-alb.ir)(۱۳۹۳).

۱۲. سوری س.، لشکری‌پور غ.ر، غفوری م.، *پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی مطالعهٔ موردی حوزهٔ کشوری (نوژیان)*، نشریهٔ زمین‌شناسی مهندسی، جلد ۵، شمارهٔ ۲ (۱۳۹۰).

۱۳. فاطمی‌عقدا س.،م.، ساریخانی ر.، تشنه لب م.، *پهنه‌بندی خطر رانش زمین در منطقهٔ طالش با استفاده از سیستم‌های هوشمند(شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون)*، مجلهٔ زمین‌شناسی مهندسی، جلد اول، شماره ۲ (۱۳۸۲) ۱۷۹-۱۹۲.

۱٤. قنواتی ع.، ضیائیان پ.، سردشتی م.، جنگلی ع.،ا.، *آشکارسازی تغییرات مورفودینامیک با استفاده از داده های سنجش از دور و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و منطق فازی (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز طالقان)*، مجلهٔ پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ٦۲ (۱۳۸٦) ۵۳-٤۱.

۱۵. قهرمانی ش.، ثروتی م.ر.، *مطالعهٔ ژئومورفولوژی و فرسایش در حوزهٔ آبریز الموت*، فصلنامهٔ جغرافیایی سرزمین، سال پنجم، شماره ۱۷ (۱۳۸۷)٦۱-٤۵.

۱٦. گرشاسبی پ.، *شناخت ژئو مورفولوژی کواترنر و بررسی قابلیت آن جهت توسعه کشاورزی، منابع طبیعی و حفاظت خاک در حوزهٔ آبخیز طالقان*، دانشگاه آزد واحد تهران مرکزی (۱۳۷۲).

۱۷. گزارش تماب، *مطالعات آبخیزداری حوزهٔ طالقان*، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تهران، جلد سوم (۱۳۷۲).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]

۱۸. مرادی ح.،ر.، سپهوند ع.ر.، عبدالمالکی پ.، *بررسی تأثیر تعداد عوامل ورودی در مقدار دقت شبکهٔ عصبی مصنوعی برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش (مطالعهٔ موردی : حوزهٔ آبخیز هراز)*، نشریهٔ مرتع و آبخیزداری. مجلهٔ منابع طبیعی ایران. دورهٔ ٦٥. شمارهٔ ۲ (۱۳۹۱)۲۳۱-۲٤۳.

۱۹. ملک پور ح.، *بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و روش پهنه‌بندی آن (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز طالقان)*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۸).

۲۰. منهاج م.ب.، *مبانی شبکه‌های عصبی*، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر (۱۳۸٤).

۲۱. نبوی م.ح.، *دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران در محدودهٔ البرز مرکزی*، سازمان زمین‌شناسی کشور(۱۳۵۵).

۲۲. نقشهٔ زمین‌شناسی (۱/۱۰۰۰۰۰ شکران)، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۵٦).

23. Ercanoglu M., "Landslide susceptibility assessment of SE Bartin (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks", Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 5 (2005) 979-992.

24. Fatemi Aghda S.M., Suzuki A., Kitazono Y., "Geological hazards risk analysis using multi criteria evaluation techniques", the faculty of engineering, kumamoto university, Japan, VOL.39, NO.2 (1994).

25. Wang H.B., Li J.W., Zhou B., Yuan Q., Chen Y.P., "Application of a hybrid model of neural networks and genetic algorithms to evaluate landslide susceptibility", Natural Hazards and Earth System Sciences (2013) 353-388.

26. Yilmaz I., "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 (2009)1125-1138.

27. Zare M., Pourghasemi H.R, Vafakhah M., Pradhan B., "Landslide susceptibility mapping at Vaz Watershed (Iran) using an artificial neural network model: a comparison between multilayer perceptron (MLP) and radial basic function (RBF) algorithms", Arab J Geosci. 6 (2013) 2873-2888.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.3.7.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.3.3601]