

تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل شبکه عصبی

پرسپترون چند لایه از نوع پیش خور پس انتشار

سید رضا حسین زاده^۱

دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

مسعود مینایی

استادیار GIScience، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

حمید نژاد سلیمانی

دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

مهوش نداف سنگانی

دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

هدف نهایی از این پژوهش ارائه نقشه خطر زمین لغزش جهت ارزیابی وقوع آن با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی می باشد. جهت ارزیابی شبکه عصبی ایجاد شده، داده های ۳۲ زمین لغزش اتفاق افتاده به سیستم ارائه گردید. این پایگاه داده شامل اطلاعات مربوط به شیب، جهت شیب، لیتولوژی، مدل ارتفاع رقومی (DEM)، نقشه هم باران، فاصله از گسل و کاربری اراضی می باشد. این داده ها جهت تغذیه به شبکه عصبی ایجاد شده، بر اساس بزرگترین مقدار موجود هر داده در بانک اطلاعاتی بین صفر و یک نرمالیزه گردید. سپس داده های نرمالیزه شده به یک شبکه عصبی پرسپترون سه لایه تغذیه شونده به جلو (Feed forward) با الگوریتم پس انتشار خطا (Back error propagation) تغذیه گردید. داده های فوق ابتدا در شبکه آموزش دیده و سپس مورد آزمایش قرار گرفتند. ساختار نهایی شبکه دارای ۷ نرون در لایه ورودی، ۲۰ نرون در لایه میانی و یک نرون در لایه خروجی می باشد. در این بین ۸۰ درصد اطلاعات برای آموزش و ۲۰ درصد باقیمانده برای آزمایش در نظر گرفته شد. دقت شبکه در مرحله آزمایش ۹۱/۲۵ درصد برآورد گردید. خروجی به دست آمده از شبکه عصبی با اختلاف ۰/۲ به پنج پهنه تقسیم بندی شد. بر اساس این پهنه بندی ۸/۵۰، ۱۱/۵۲، ۱۷/۹۲، ۳۹/۴۵، ۲۲/۶۱ درصد از مساحت منطقه به ترتیب در کلاس های خطر پایدار، کم خطر، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان داد که ساختار زمین شناسی تشکیل یافته از مارن های خاکستری با میان لایه های آهکی (سازند دلیچای) و همچنین فعالیت های تکتونیکی گسل های منطقه باعث شده که حوضه آبخیز بار از قابلیت بالایی در رخداد زمین لغزش برخوردار شود.

^۱ - شماره تماس: ۰۹۱۵۳۱۱۷۳۲۵ Email: srhosseinzadeh@yahoo.com

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، حساسیت، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، حوضه آبخیز بار نیشابور.

مقدمه

ناپایداری دامنه‌های طبیعی یکی از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی است که در تغییر شکل سطح زمین نقش مؤثری دارد (ویتوریو^۲، ۲۰۱۱: ۵). زمانی که این فرآیند فعالیت‌های انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به پدیده‌ای خطرناک تبدیل می‌شود (پائولتی و همکاران^۳، ۲۰۱۳: ۱۴۷). زمین لغزش به عنوان یکی از انواع حرکت‌های توده‌ای شامل حرکت کند یا تند مواد سنگی، خاکی یا مجموع هر دو در روی دامنه به سمت پایین تحت تأثیر نیروی جاذبه است (کراستا^۴، ۲۰۰۹: ۷۶). زمین لغزش پدیده‌ای است که به علت از بین رفتن تعادل بین نیروهای مقاوم در مقابل نیروهای محرک لغزش، در شیبها و دامنه‌ها اتفاق می‌افتد (معماریان، ۱۳۸۴: ۸۲۵). عوامل اصلی وقوع زمین لغزش‌ها را سنگ بستر، توپوگرافی (شیب، جهت، انحناء شیب)، ارتفاع، عمق و نوع خاک، کاربری زمین و شبکه زهکشی معرفی شده است. بارش‌های شدید، زمین لرزه و فعالیت‌های آتشفشان از متغیرهای اتفاقی هستند که در وقوع انواع زمین لغزش‌ها نقش دارند (کرمی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۴۰). این پدیده جزو آن دسته از پدیده‌های ژئومورفولوژی است که اکثراً به عنوان یکی از بزرگترین عوامل مزاحم برنامه‌های عمرانی در کلیه زمینه‌ها از جمله در ایجاد و توسعه شبکه‌های ارتباطی زمینی به شمار می‌رود (رجایی، ۱۳۷۳: ۳۰۱). شناسایی و طبقه‌بندی نواحی مستعد زمین لغزش و پهنه‌بندی آنها گامی مهم در ارزیابی مخاطرات طبیعی محسوب می‌شود (ساکر^۵ و همکاران، ۱۹۹۵: ۳۰۱). پهنه‌بندی زمین لغزش شامل تقسیم‌بندی زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی کردن این مناطق بر اساس درجه واقعی یا قابلیت مخاطره‌ای ناشی از بروز زمین لغزش بر روی شیب دامنه‌ها می‌باشد (شریعت جعفری، ۱۳۷۵: ۱۴۸). رویکردهای مختلفی برای مطالعه زمین لغزش‌ها توسعه یافته‌اند که می‌توان آن‌ها را به چهار دسته، تجزیه و تحلیل از موجودی لغزش^۶، روش اکتشافی یا شاخص^۷، رویکرد آماری^۸ و روش ژئوتکنیک^۹

²- Vittorio

³- Paoletti et al

⁴- Crosta

⁵- Saker

⁶- Analysis of landslide inventories

⁷- The heuristic or index

⁸- Statistical approach

⁹- Geotechnical

تقسیم‌بندی کرد (گازتی^{۱۰} و همکاران، ۱۹۹: ۱۸۱). تحقیقات زیادی با استفاده از این روش‌ها پیرامون زمین‌لغزش در سالهای اخیر صورت گرفته است. در مدل شبکه عصبی مصنوعی، ارمینی و همکاران (۲۰۰۵)، دو ساختار متفاوت از شبکه عصبی را با عنوان های MLP^{۱۱} و PNN^{۱۲} با یکدیگر مقایسه کرده و به این نتیجه دست یافتند که مدل MLP در پهنه بندی زمین لغزش از قابلیت خوبی برخوردار است. نفیسلو اغلو^{۱۳} (۲۰۰۸)، در تحقیقی نشان داد که مدل ANN^{۱۴} نسبت به مدل رگرسیون لجستیک به نتایج بهتری دست یافته است این در حالی است که مالچیوره^{۱۵} (۲۰۰۸)، با استفاده از تحلیل خوشه‌ای قابلیت ANN را نسبت به سایر مدل‌ها بهبود بخشید. کانینانی^{۱۶} و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری زمین لغزش در منطقه پیتزا واقع در ایتالیا را تهیه کرد. یلماز^{۱۷} (۲۰۰۹) با استفاده از سه روش، شبکه عصبی مصنوعی، نسبت فراوانی و رگرسیون لجستیک به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه کت (توکت - ترکیه) پرداخت. پرادهان^{۱۸} و همکاران (۲۰۱۰) مدل شبکه عصبی انتشاری برگشتی مبتنی بر (GIS) را برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در مالزی استفاده کردند. در ایران نیز تحقیقات ارزشمندی پیرامون زمین لغزش با استفاده از مدل شبکه عصبی صورت گرفته است. فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۲)، با استفاده از سیستم شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در منطقه طالش را تهیه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات کاربری آراضی، زیرشویی دامنه‌ای و فعالیت‌های تکتونیکی از مهمترین عوامل ایجاد لغزش در منطقه مورد مطالعه است. راکعی و همکاران (۱۳۸۶)، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه سفیدار گله استان سمنان نمود. هم‌چنین می‌توان به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در بخشی از زیر حوضه‌ی هراز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به وسیله سپهوند (۱۳۸۹) اشاره کرد. سوری و همکاران (۱۳۹۱) اقدام به پهنه‌بندی خطر

¹⁰- Guzzetti

¹¹- Multi layer perceptron

¹²- Probable neural network

¹³- Nefesliolu

¹⁴- Artificial neural network

¹⁵- Melchiorre

¹⁶- Caniani

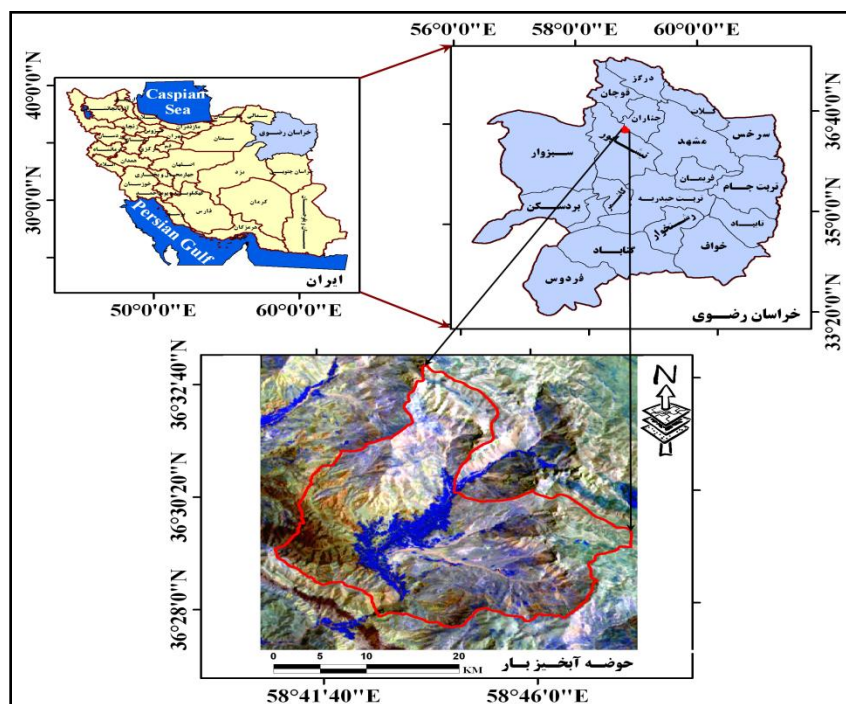
¹⁷- Yilmaz

¹⁸- Pradhan

زمین لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در حوضه آبخیز کشوری (نورثیان) نمود. نتایج به دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی نشان دهنده ساختار ۱-۱۱-۹ برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در این حوضه است. با وجود پیچیدگی در ساختار و رفتار زمین، این پدیده قابل پیش بینی ترین خطر زمین شناختی به شمار می رود و مدیریت پذیری بالایی دارد. در حال حاضر در کشورهای درگیر با مسئله زمین لغزش تمایل فزاینده ای به ارزیابی و پهنه بندی خطر و خسارات این پدیده فراگیر با ابداع مدل های متنوع و شاخص سازی متناسب با شرایط و نیازها وجود دارد تا از نتایج آن بتوان در هدایت برنامه های توسعه اقتصادی و اجتماعی استفاده نمود. نظر به تأثیر نامطلوبی که این پدیده بر روی سیستم های اجتماعی، اقتصادی و طبیعی دارد، شناخت نواحی مستعد لغزش در سطح کشور بسیار ضروری است و خروجی حاصل از تحقیق نقش زیادی در مدیریت محیطی پایدار داشته و می تواند به عنوان یک سند جهت برنامه ریزی های آتی برای توسعه اقدامات زیر ساختی مورد استفاده قرار گیرد. در دوره کواترنر انواع نهشته های آبرفتی، ریزشی و لغزشی و مواد بجا مانده از هوازدگی در اشکال مختلف، تحت تأثیر فرآیندهای مورفوکلیما، مورفوژنز و مورفوتکتونیک منطقه، در قسمت های مختلف به ویژه در پهنه های مشرف به ارتفاعات و برخی سطوح مرتفع با شیب اندک، گسترش و پراکندگی دارد. به همین دلیل این منطقه به عنوان مناطق مستعد لغزش می باشد (شرکت مهندسی مشاور آب و خاک خراسان، ۱۳۸۹). به دلیل وجود سد بار در حوضه، قرارگیری استقرارگاه ها و سکونتگاه های انسانی و جنبه گردشگری در این حوضه شناسایی نقاطی که مستعد لغزش هستند از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از این پژوهش استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه از نوع پیش خور پس انتشار (BP) برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز بار نیشابور در استان خراسان رضوی می باشد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز بار با فاصله ۴۰ کیلومتری در شمال غرب شهرستان نیشابور و ۱۸ کیلومتری شمال شهرستان فیروزه و از نظر موقعیت ریاضی بین ۲۷° ۳۶' تا ۳۳° ۳۳' عرض شمالی و ۴۴° ۴۰' تا ۵۸° ۴۶' طول شرقی در دامنه های جنوبی ارتفاعات بینالود واقع شده است. مساحت حوضه ۵۳/۹۹ کیلومتر مربع و دارای ارتفاع متوسط ۲۰۶۴/۵۵ متر می باشد. محدوده مطالعاتی بخشی از زون ساختاری بینالود- آلاداغ است که در نتیجه تحولات زمین ساختی واقع در آن، انواع واحدهای سنگی و رسوبی دوران دوم و سوم زمین شناسی بر روی آن گسترش یافته است. حد آبخیز حوضه بار از شمال شرق، شرق و جنوب به ارتفاعات ستیغ ساز سازند آهکی لار، از غرب به شیل های ژوراسیک و از شمال غرب به مارن های سازند دلیچای محدود می شود (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز بار نیشاپور (مأخذ: نگارندگان)

مواد و روش‌ها

اولین قدم برای پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش، تعیین زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه می‌باشد. با استفاده از نقاط لغزشی بانک اطلاعات زمین‌لغزش کشور، ۳۲ زمین‌لغزش و پهنه لغزشی تشخیص داده شد که از اطلاعات مربوط به این مناطق در آموزش و آزمایش شبکه استفاده گردید (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، گروه مطالعه امور زمین‌لغزش‌ها، ۱۳۸۹). مرحله بعدی شامل تهیه پایگاه اطلاعاتی از عوامل مؤثر در زمین‌لغزش می‌باشد. در این مرحله ۷ عامل مؤثر مورد بررسی قرار گرفت. این عوامل عبارت است از شیب، جهت شیب، لیتولوژی، مدل ارتفاع رقومی (DEM^{۱۹})، خطوط هم‌باران، فاصله از گسل و کاربری اراضی می‌باشد. این عوامل توسط نرم افزار (GIS) تهیه و برای آموزش شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفت. سپس برای انجام تحقیق با استفاده از داده‌های فوق و بر اساس الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون چند لایه^{۲۰} پهنه‌های حساس به زمین‌لغزش حوضه آبریز بار مشخص گردید. شبکه‌های عصبی الگوریتم‌های کامپیوتری هستند که می‌توانند روابط مهم ما بین تعداد زیادی پارامتر خطی و غیر خطی را از یک بانک داده استخراج نموده و همچنین قادر هستند این دانش را به منظور پیشگویی یا طبقه‌بندی یک مورد جدید همانند

¹⁹- Digital Elevation Model

²⁰- Multi-layer Perceptron

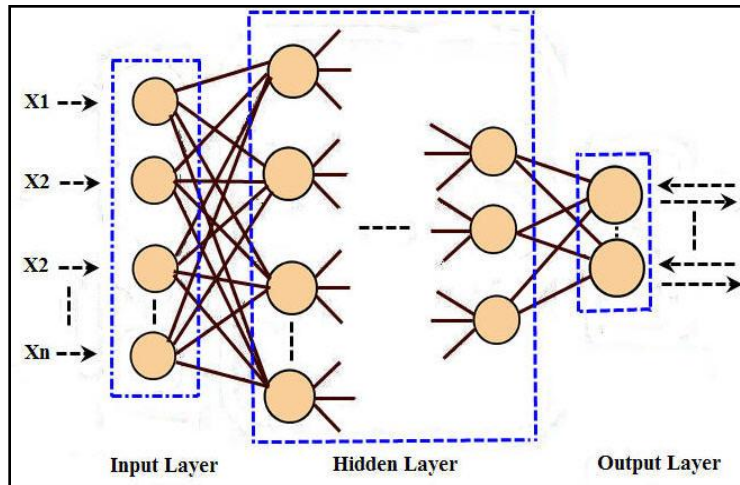
یک سیستم خیره به کار ببندند (منهاج، ۱۳۷۹: ۲۶۸). شبکه‌های عصبی از لایه‌های شامل اجزا ساده پردازشگری به نام نرون تشکیل شده‌اند که به صورت موازی با هم عمل می‌کنند. لایه اول، لایه ورودی است که می‌تواند پارامترهای آماری یا مؤلفه‌های حاصل از تبدیلات ریاضی روی توابع باشند. لایه دوم، لایه‌های پنهان هستند که اساس ساختار یک شبکه را تشکیل می‌دهند. کار اصلی این لایه، استخراج اطلاعات دسته‌بندی شده از داده‌های موجود می‌باشد. لایه آخر یا لایه خروجی بر اساس انتظارات کاربر تعیین می‌شود. هر لایه دارای وزنی است که بیانگر تأثیر دو نرون بر یکدیگر است (شکل ۲). در این حالت پس از یادگیری شبکه و یافتن ارتباط تابعی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها، شبکه می‌تواند به عنوان یک مدل برای پیش بینی یک پاسخ، مطابق با یک الگوی ورودی جدید استفاده شود (ورنر^{۲۱} و همکاران، ۲۰۰۳: ۹) و نتیجه را به صورت لایه خروجی از شبکه خارج کند، همان‌گونه که در شکل شماره (۲) نشان داده شده است تمامی این لایه‌ها اطلاعات را به صورت هم‌زمان پردازش می‌کنند (بورگر^{۲۲} و همکاران، ۲۰۰۰: ۱۵۸). در گام آزمایش، شبکه بر اساس برآوردهای حاصل از مرحله آموزشی، داده‌های آزمایشی را پیش‌بینی می‌کند (اسمیت^{۲۳}، ۲۰۰۹: ۱۷۹). یکی از الگوریتم‌های یادگیری، الگوریتم پس‌انتشار خطا است. مبانی نظری این الگوریتم، همان مبانی نظری روش‌های معمول مبتنی بر مشتقات جزئی گوس- نیوتون و رافسون است (سابسیا^{۲۴} و همکاران، ۲۰۰۵: ۹۱). در این پژوهش برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه از مدل شبکه عصبی پرسپترون سه لایه با الگوریتم یادگیری پس‌انتشار خطا استفاده گردید. به این منظور لایه‌های به دست آمده بر اساس رقومی کردن عوامل مؤثر در زمین‌لغزش بایستی برای برآورد وزن هر پارامتر واحدبندی شوند.

²¹- Werner

²²- Burger

²³- Smith

²⁴- Subasia



شکل ۲: ساختار کلی یک شبکه عصبی چند لایه با واحدهای پردازش کننده

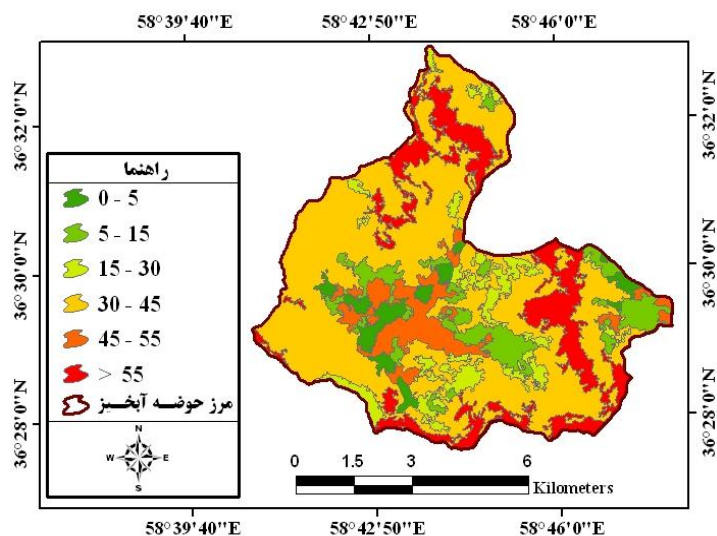
(مأخذ: Caniani et al,2008:58)

بحث و نتایج

در این بخش هر یک از پارامترهای مورد استفاده در پهنه‌بندی زمین‌لغزش تشریح شده است و لایه‌های مربوط به منظور ورود به شبکه عصبی مصنوعی ترسیم شد.

— شیب

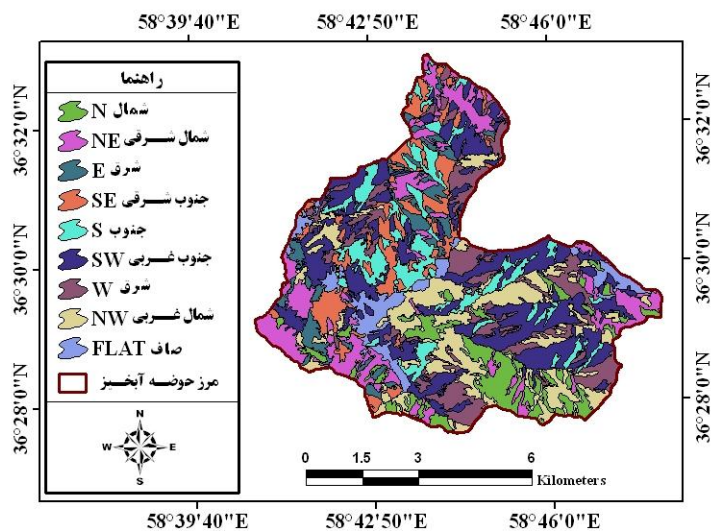
جهت تولید شیب از مدل ارتفاع رقومی (DEM) با اندازه سلول ۱۰ متر استفاده شده است. با افزایش شیب، احتمال لغزش افزایش می‌یابد تا به حدود ۶۰ درجه برسد. از این شیب به بعد کاهش شدیدی در زمین‌لغزش‌ها دیده می‌شود. شیب منطقه مورد مطالعه مطابق شکل (۳) در ۷ کلاس تهیه گردید.



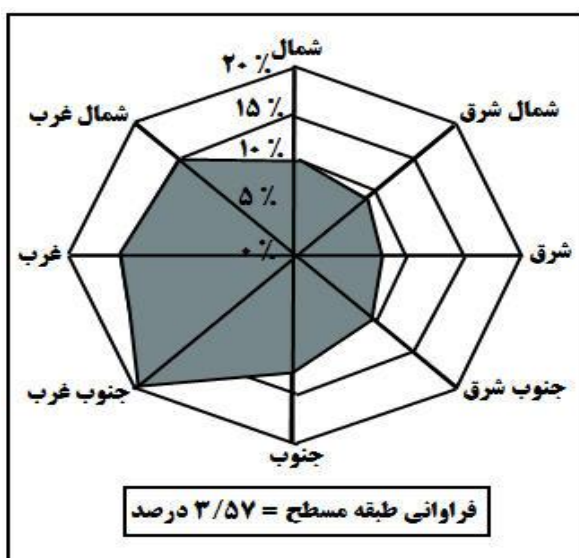
شکل ۳: شیب حوضه آبخیز بار نیشابور (مأخذ: نگارندگان)

— جهت شیب

با توجه به اهمیت این موضوع در پدیده لغزش منطقه به ۹ کلاس، شمال (۲۲/۵-۰ و ۳۶۰-۳۳۷/۵)، شمال شرقی (۶۷/۵-۲۲/۵)، شرق (۱۱۲/۵-۶۷/۵)، جنوب شرقی (۱۵۷/۵-۱۱۲/۵)، جنوب (۲۰۲/۵-۱۵۷/۵)، جنوب غربی (۲۴۷/۵-۲۰۲/۵)، غرب (۲۴۷/۵-۲۹۲/۵)، شمال غرب (۳۳۷/۵-۲۹۲/۵) و مناطق مسطح طبقه‌بندی شد (شکل ۴). روند غالب شیب در منطقه مورد مطالعه جنوب غربی است. جدول (۱) درصد و مساحت طبقات جهت شیب و شکل (۵) فراوانی طبقات جهت شیب در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۴: جهت شیب در حوضه آبخیز بار نیشابور (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۵: فراوانی طبقات جهت شیب حوضه آبخیز بار

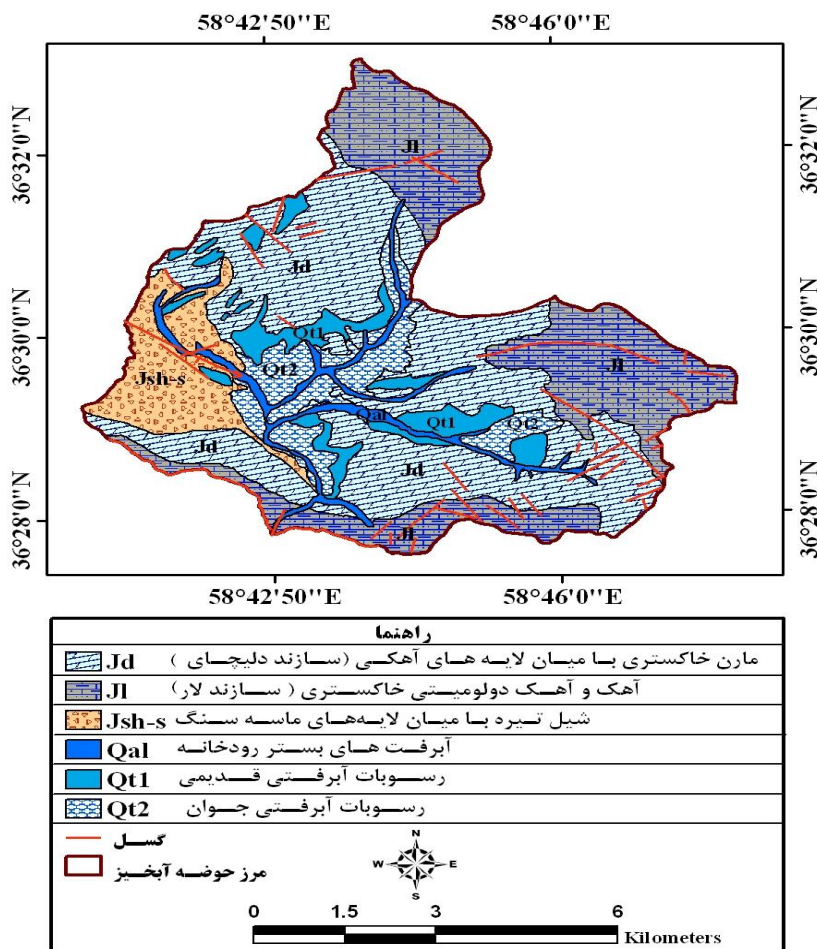
جدول ۱: درصد و مساحت طبقات جهت شیب در حوضه آبخیز بار

ردیف	جهت کلاس	مساحت	
		فراوانی (KM ²)	درصد
۱	مسطح	۱/۹۳	۳/۵۷
۲	شمال	۵/۲۲	۹/۶۶
۳	شمال شرق	۴/۷۶	۸/۸۱
۴	شرق	۴/۰۱	۷/۴۳
۵	جنوب شرق	۵/۰۹	۹/۴۳
۶	جنوب	۶/۷۲	۱۲/۴۴
۷	جنوب غرب	۱۰/۳۱	۱۹/۰۹
۸	غرب	۸/۳۲	۱۵/۴۰
۹	شمال غرب	۷/۶۵	۱۴/۱۷
جمع		۵۳/۹۹۶	۱۰۰

– لیتولوژی

منطقه مورد مطالعه از لیتولوژی متنوعی برخوردار است و این عامل که شاید بتوان آن را مهمترین عامل بر شمرد، تأثیر به سزایی در پهنه‌بندی زمین لغزش دارد. بیشترین حساسیت به لغزش در مناطقی است که سازندها حاوی سنگ‌های مارنی و آهکی هستند که در اثر جذب آب و رطوبت در کانیهای رسی، علاوه بر افزایش وزن، انبساط حجم پیدا کرده و موجب اکثر لغزش‌ها در منطقه می‌شوند. لیکن از حدود ۳۲ لغزش رخ داده در حوضه ۱۷ زمین لغزش در این سازند

شناسایی شده است. واحدهای چینه شناسی سنگی^{۲۵} به ترتیب از قدیمی ترین تا جوان ترین آن از نظر لیتولوژی و چینه شناسی شامل سازند آهکی لار (Lar Formation)، سازند دلیچای (Dlichai Formation)، شیل و ماسه ژوراسیک (J^{sh.s})، رسوبات آبرفتی قدیمی (Q^{I1})، رسوبات آبرفتی جدید (Q^{I2}) و رسوبات بستر رودخانه ها (Q^{al}) است (شکل ۵). درصد و مساحت هر یک از سازندهای منطقه مورد مطالعه در جدول شماره (۲) آمده است.



شکل ۶: لیتولوژی حوضه آبخیز بار نیشاپور (مأخذ: نگارندگان)

جدول ۲: وسعت و درصد گسترش واحدهای زمین شناسی حوضه بار نیشاپور

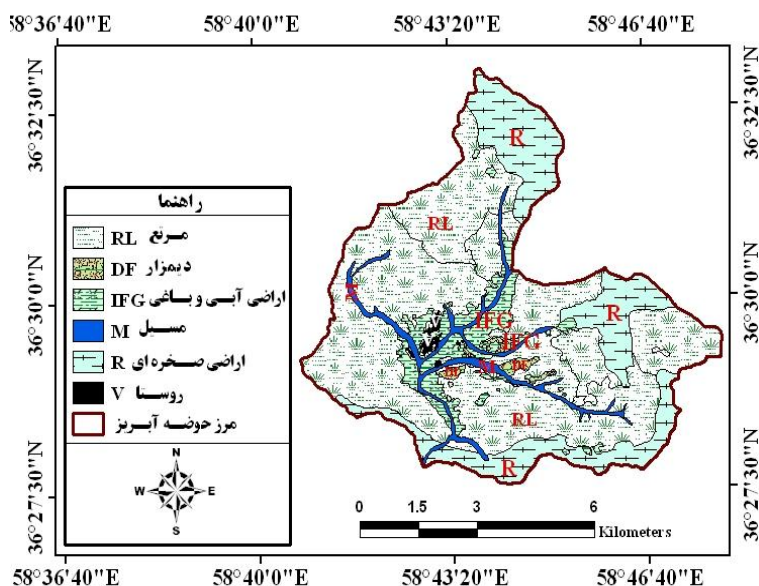
واحد زمین شناسی	مساحت (کیلو مترمربع)	در صد گسترش
-----------------	----------------------	-------------

²⁵- Litho stratigraphic unit

۴۱/۵	۲۲/۳۹۴	Jd
۲۸/۸	۱۵/۵۶۰	Jl
۹/۲	۴/۹۷۸/	J ^{sh.s}
۴/۴	۲/۳۸۲	Q ^{al}
۷/۳	۳/۹۱۸	Q ^{t1}
۸/۸	۴۷۶۳۰/۲	Q ^{t2}
۱۰۰	۵۳۹۹۷۴۳۳	مجموع

– کاربری اراضی

بر اساس مطالعات صورت گرفته ۶ نوع عمده از کاربری را با عنوان‌های مرتع (RL)، دیم‌زار (Df)، اراضی آبی و باغی (IFG)، مسیل (M)، اراضی صخره‌ای (R) و روستا (V) را در این منطقه می‌توان تشخیص داد (شکل ۶). به طور کلی کاربری اصلی رایج در منطقه مورد مطالعه، مرتع می‌باشد که ۳۴/۴۳۶ کیلومتر مربع معادل ۶۳/۸ درصد از مساحت کل حوضه را در بر می‌گیرد. مساحت هر یک از کاربری اراضی مورد مطالعه در جدول شماره (۳) آمده است.



شکل ۷: کاربری اراضی حوضه آبخیز بار نیشابور (مأخذ: نگارندگان)

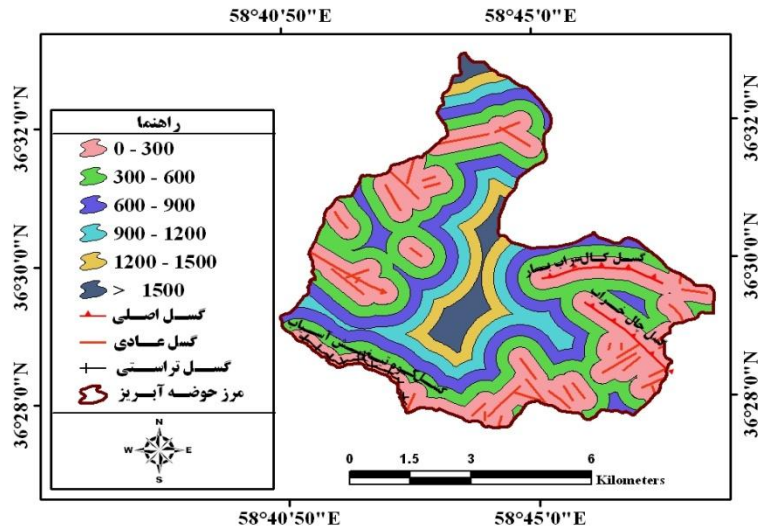
جدول ۳: درصد و مساحت کاربری اراضی حوضه بار نیشابور

نوع کاربری	مساحت به هکتار	درصد مساحت
مرتع	۳۴۴۳/۶	۶۳/۸

دیمزار	۶۶/۱	۱/۲
اراضی آبی و باغی	۴۱۳/۳	۷/۷
مسیل	۲۳۸/۶	۴/۴
اراضی صخره‌ای	۱۲۱۷/۵	۲۲/۵
آبادی و روستا	۲۰/۶	۰/۴
جمع کل اراضی	۵۳۹۹/۷	۱۰۰

– فاصله از گسل

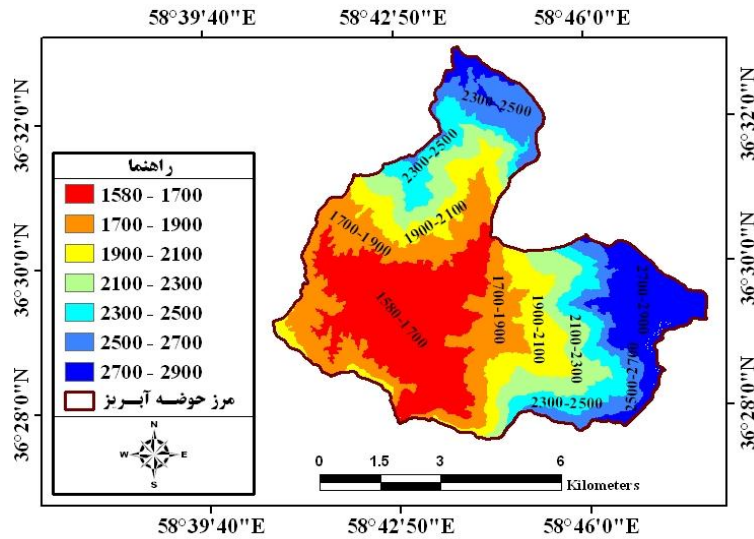
از جمله اصلی‌ترین گسل‌های موجود در محدوده منطقه مورد مطالعه می‌توان به موارد فوق اشاره کرد؛ الف) گسل عادی کال سراب بار: گسل فوق با راستای غربی - شرقی بر روی نهشته‌های آهکی سازند لار، امتداد دارد. طول تقریبی آن حدود ۴ کیلومتر است. قسمتی از امتداد غربی این گسل بر روی سازند دلیچای کشیده شده است و کنتاکت این دو سازند را به صورت گسلی نشان می‌دهد. موقعیت قرارگیری این گسل در بخش غربی حوضه می‌باشد. ب) گسل عادی چال خراب: راستای این گسل شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد که به طول کمتر از ۴ کیلومتر در جنوب غرب حوضه، بر روی نهشته‌های سازند لار و دلیچای گسترش دارد. تحت تأثیر عملکرد این گسل، گسل‌های فرعی دیگری نیز در منطقه فعال شده‌اند که دره‌های گسلی پدیده آمده در منطقه را می‌توان از آن جمله برشمرد. همچنین برخی از مناطق مستعد لغزش در اثر فعالیت این گسل‌ها به مناطق حساس به لغزش با خطر ریسک بالا تبدیل شده‌اند. ج) گسل تراستی کوه تیغ پیش آسیاب: راستای عملکرد این گسل شمال شرقی - جنوب غربی است که به طول تقریبی ۵ کیلومتر در جنوب حوضه و کاملاً منطبق بر مرز حوضه فعال می‌باشد. د) گسل‌های فرعی: طول این گسل‌ها کم می‌باشد و بیشتر در لایه‌های زمین‌شناسی سازند لار و دلیچای به وجود آمده است. به علت تناوب لایه‌های سخت و نرم و عدم پایداری شیب‌ها و دامنه آبراهه‌ها، گسل‌های کوچکتری نیز در نتیجه زمین‌لغزش‌ها ایجاد گردیده است. به طور کلی، بررسی دیاگرام امتداد طولی گسل‌ها و سیستم‌های شکستگی اصلی این مناطق، حاکی از این واقعیت است که روند شمال غرب، جنوب شرق، روند غالب است و منطبق با ساختمان‌های چین خورده حوضه می‌باشد. در این پژوهش فاصله از گسل (بافر گسل) تهیه و به ۶ کلاس با فواصل ۳۰۰ متر طبقه بندی گردید (شکل ۷). این تقسیم‌بندی به وسیله گومز (۲۰۰۲) به کار برده شده است.



شکل ۸: فاصله از گسل در حوضه آبخیز بار نیشابور (مأخذ: نگارندگان)

– مدل ارتفاع رقومی (DEM)

مدل ارتفاع رقومی را به بیانی ساده می‌توان یک رقومی دانست که حاوی ارتفاع نقاط منطقه تحت پوشش خود است (طاهری‌کیا، ۱۳۷۶: ۸۹). برخی از محققین از ارتفاع به عنوان یک عامل کنترلی در وقوع زمین‌لغزش‌ها استفاده می‌کنند (یلماز^{۲۶}، ۲۰۰۹: ۱۱۲۷). این عامل، جهت آبراهه‌ها و میزان تراکم زهکشی را کنترل می‌کند و در میزان رطوبت خاک و میزان شیب دامنه‌ها تأثیر قابل توجهی دارد (حسین زاده و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۹). به منظور بیان ارتباط بین عامل ارتفاع و زمین‌لغزش‌های رخ داده، نقشه مدل ارتفاع رقومی منطقه در ۷ کلاس در محیط نرم افزاری (GIS) تهیه گردید (شکل ۸).



شکل ۹: مدل ارتفاع رقومی (DEM) حوضه آبخیز بار نیشابور

– همباران

برای تعیین تغییرات بارندگی متوسط سالانه نسبت به ارتفاع در منطقه مورد مطالعه، مقادیر متوسط سالانه بارندگی و ارتفاع ۱۷ ایستگاه باران سنجی مورد استفاده قرار گرفت و رابطه همبستگی ارتفاع و بارندگی در سطح معنی داری ۰/۰۰۱ به دست آمد (نمودار ۱). سپس با استفاده از معادله گرادیان بارندگی سالیانه خطوط همباران در محیط (GIS) با اختلاف ۵۰ میلی متر ترسیم گردید (شکل ۱۰).

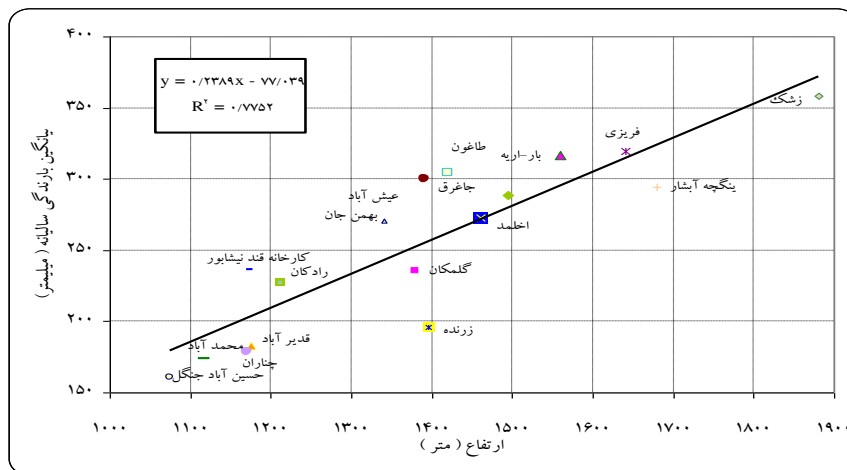
$$P = 0 / 2389H - 77 / 039$$

$$R^2 = 0 / 7752$$

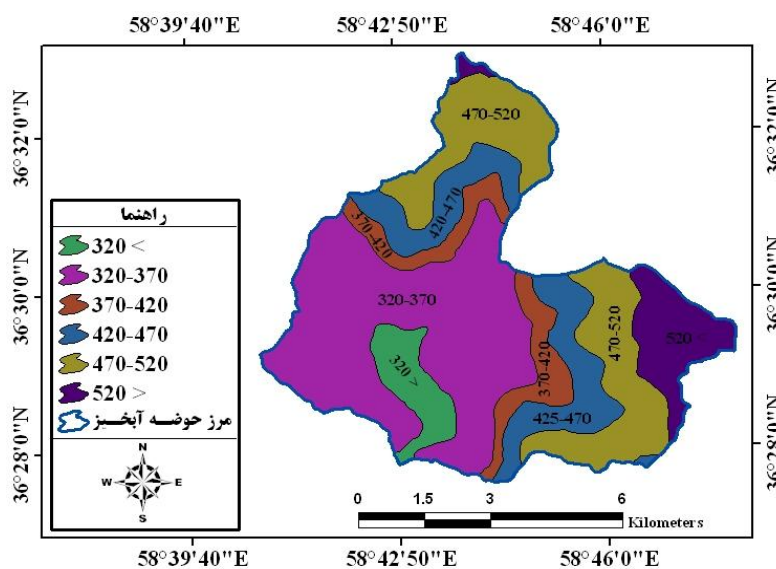
$$n = 17$$

رابطه (۱)

که در این رابطه؛ H: ارتفاع متوسط از سطح دریا (متر)، P: بارندگی سالانه (میلیمتر)، R: ضریب همبستگی، n: تعداد ایستگاههای مشارکت کننده در گرادیان باران می باشد.



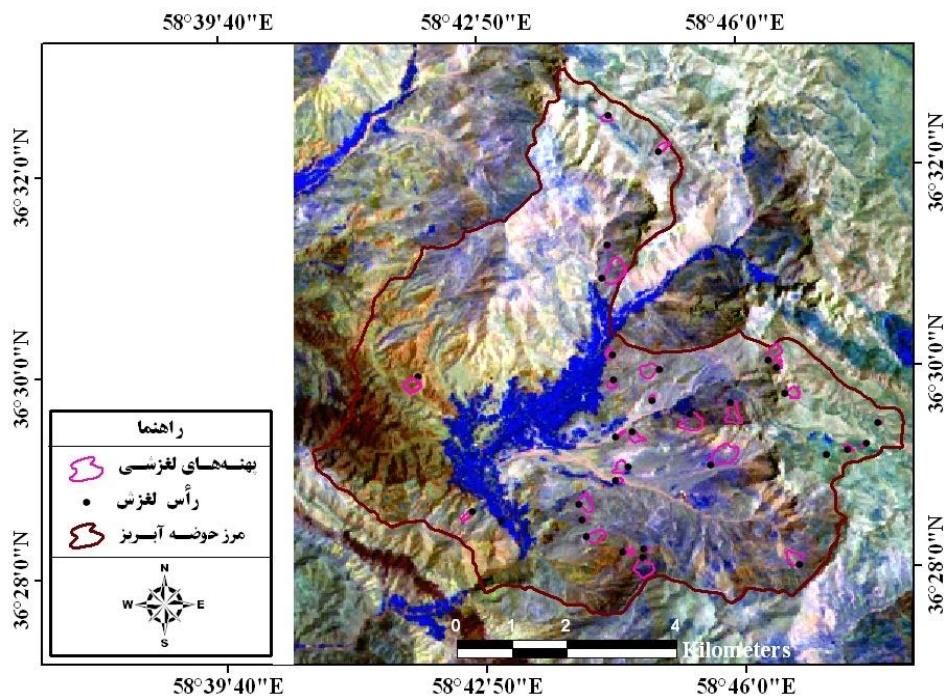
نمودار ۱: همبستگی بین ارتفاع و بارندگی سالانه در حوضه آبخیز بار نیشابور



شکل ۱۰: خطوط هم‌باران حوضه آبخیز بار نیشابور

بررسی زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه

برای بررسی ارتباط عوامل تأثیر گذار بر وقوع لغزش در حوضه آبخیز بار بعد از تهیه نقشه‌های این عوامل و با تلفیق این نقشه‌ها با نقشه نقاط لغزشی منطقه، پراکندگی نقاط لغزشی نسبت به عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش در محیط نرم افزار (ArcGIS) بررسی شده است (جدول ۳).



شکل ۱۱: پراکنش زمین لغزش‌ها در حوضه آبخیز بار نیشابور

جدول ۴: بررسی ارتباط بین عوامل مؤثر بر زمین لغزش با نقاط لغزشی در حوضه آبخیز بار نیشابور

شیب	کلاس	۰-۵	۵-۱۰	۱۵-۳۰	۳۰-۴۵	۴۵-۵۵	>۶۰	--	--
	درصد لغزش	۰	۸/۷۲	۱۹/۲۲	۵۷/۲۷	۱۲/۳۱	۲/۴۸	--	--
جهت شیب	کلاس	۰-۲۲/۵	۲۲/۵-۶۷/۵	۶۷/۵-۱۱۲/۵	۱۱۲/۵-۱۵۷/۵	۱۵۷/۵-۲۰۲/۵	۲۰۲/۵-۲۴۷/۵	۲۴۷/۵-۲۹۲/۵	۲۴۷/۵-۲۹۲/۵
	درصد لغزش	۴/۷۲	۱۲/۳۷	۸/۳۶	۲/۷۵	۱/۰۵	۱۰/۱۲	۲۸/۱۱	۳۲/۵۲
لیتولوژی	کلاس	Jd	Jl	J ^{sh.s}	Q ^{sl}	Q ^{tl}	Q ^{l2}	--	--
	درصد لغزش	۳۷/۱۶	۵۳/۱۸	۳/۶۵	۱/۰۸	۰	۴/۹۳	--	--
کاربری اراضی	کلاس	RL	Df	IFG	M	R	V	--	--
	درصد لغزش	۵۶/۳۷	۱۳/۳۱	۱۵/۱۲	۳/۰۸	۱۲/۱۴	۰	--	--
فاصله از گسل	کلاس	۰-۳۰۰	۳۰۰-۶۰۰	۶۰۰-۹۰۰	۹۰۰-۱۲۰۰	۱۲۰۰-۱۵۰۰	> ۱۵۰۰	--	--
	درصد لغزش	۴۷/۸۵	۲۷/۸۱	۱۷/۱۲	۵/۱۱	۲/۱۱	۰	--	--
(DEM)	کلاس	۱۵۸۰-۱۷۰۰	۱۷۰۰-۱۹۰۰	۱۹۰۰-۲۱۰۰	۲۱۰۰-۲۳۰۰	۲۳۰۰-۲۵۰۰	۲۷۰۰-۲۹۰۰	۲۷۰۰-۲۹۰۰	--
	درصد لغزش	۳/۷۲	۱۵/۱۲	۹/۱	۸/۶۱	۱۰/۹۲	۱۷/۷۶	۳۴/۷۷	--
همباران	کلاس	۳۲۵-۳۷۵	۳۷۵-۴۲۵	۴۲۵-۴۷۵	۴۷۵-۵۲۵	۵۲۵-۵۷۵	--	--	--
	درصد لغزش	۱۸/۳۱	۱۲/۳۶	۸/۷۲	۲۹/۲	۴۱/۳۱	--	--	--

شبکه بندی منطقه

برای استفاده از فاکتورهای تأثیر گذار در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در شبکه عصبی مصنوعی باید خصوصیات آنها تعیین شود. برای تعیین خصوصیات هر نقشه، باید آن را به پیکسل‌هایی با اندازه مشخص تقسیم کرد. هر چه واحدبندی منطقه با ابعاد کوچکتر صورت گیرد اطلاعات موجود در پایگاه از دقت بیشتری برخوردار می‌شود. نتایج نشان داد در مقادیر بزرگ برای واحدها دقت مشخصات عوامل خیلی کم و در مقادیر خیلی کوچک نیز میزان اطلاعات در پایگاه داده‌ها فوق العاده زیاد و پردازش آنها مشکل و وقت گیر می‌گردد. در این پژوهش ابعاد واحدها از ۲۰۰ متر تا کمتر از ۱۵ متر تغییر داده شد و مقدار ۳۰ متر مناسب تشخیص داده شد. لذا برای تغذیه این اطلاعات به شبکه عصبی، منطقه مورد مطالعه با واحدهای مربع شکل با اضلاع 30×30 متری شبکه‌بندی گردید. بدین ترتیب کل منطقه به ۳۱۵۱ واحد تقسیم شد، که در ۱۹۷ پیکسل آن زمین لغزش رخ داده است اطلاعات موجود در هر واحد نشانگر مشخصات عوامل مؤثر در آنها می‌باشد و شامل ۷ لایه اطلاعاتی است که از این اطلاعات برای استفاده در شبکه عصبی و پهنه‌بندی نهایی استفاده شده است.

شبکه عصبی مورد استفاده در پهنه‌بندی زمین لغزش

بعد از انتخاب عوامل و تهیه نقشه‌های رقومی شده آنها، دو سری اطلاعات برای تحلیل در سیستم شبکه عصبی مصنوعی به کار گرفته می‌شود، که این اطلاعات برای آموزش شبکه عصبی ضروری هستند.

الف) مناطقی که لغزش در آن مناطق اتفاق افتاده بود، که همان پراکنش زمین لغزش‌ها می‌باشد. پراکنش زمین لغزش‌های موجود در منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا این مبنای تصمیم‌گیری‌های بعدی است.

ب) مناطقی که احتمال لغزش در آن مناطق خیلی کم در نظر گرفته شد. این مناطق در شیب کمتر از ۵ درجه و در داخل آبراهه‌ها قرار می‌گیرند (گومز^{۲۷} و همکاران، ۲۰۰۲: ۲۷۶). برای تعیین شاخص حساسیت زمین لغزش (LSI^{28}) هر یک از طبقه‌بندی‌های عوامل مختلف، از مدل احتمالی نسبت فراوانی^{۲۹} استفاده شد زیرا کاربرد آن ساده و نتایج آن خیلی قابل اطمینان هستند (لی و همکاران^{۳۰}، ۲۰۰۶: ۸۵۳). بدین منظور شاخص حساسیت به خطر زمین لغزش بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد (پرادهان^{۳۱} و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۰۴۲).

1- Gomez

²⁸ - Landslide Susceptibility Index

²⁹ - Frequency Ratio

³⁰ - Lee

³¹ - Pradhan

$$LSI = \sum Fr \quad \text{رابطه (۲)}$$

LSI: شاخص حساسیت به خطر زمین لغزش در هر طبقه و Fr: نسبت فراوانی وقوع زمین لغزش در هر طبقه است. در این رابطه هر چه مقدار (Fr) زیادتر باشد، میزان حساسیت به وقوع لغزش آن طبقه زیاد است. جهت تسهیل در همگرایی شبکه عصبی، مقادیر مربوط به نرون‌های ورودی نرمالیزه شدند. برای نرمالیزه کردن داده‌ها از رابطه (۳) استفاده شد.

$$x_i = z_i - z_i(\min) / z_i(\max) - z_i(\min) \quad \text{رابطه (۳)}$$

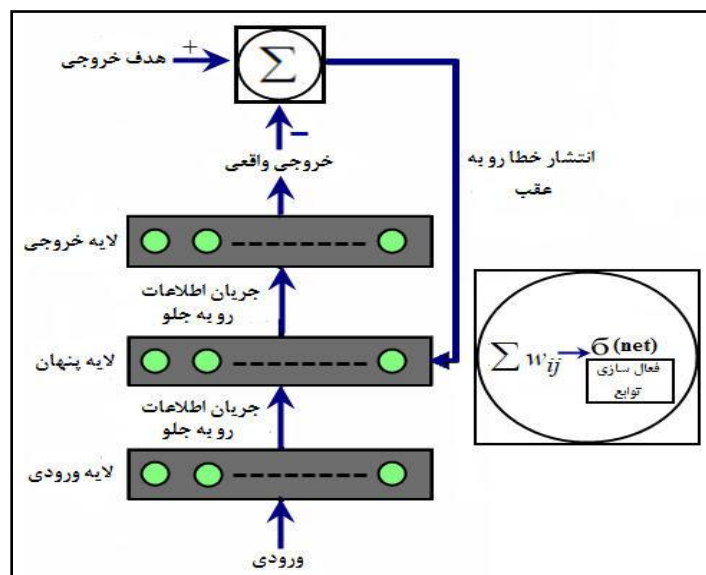
که در آن (z_i) برابر با وزن پیکسل مورد نظر، $z_i(\min)$ برابر با کم‌ترین وزن فاکتور مورد نظر، $z_i(\max)$ برابر با بیشترین وزن فاکتور مورد نظر و x_i برابر با وزن نرمال شده فاکتور مورد نظر است. برای مرحله آموزش شبکه از تعداد ۲۵۲۰ نمونه که حدود ۸۰ درصد از اطلاعات را شامل می‌شد استفاده گردید و ۶۳۱ نمونه باقی برای مرحله آزمایش شبکه مورد استفاده قرار گرفت. به منظور آموزش بهتر و سریع‌تر همه وزن‌های شبکه به صورت تصادفی بین ۰/۲۵- تا ۰/۲۵ وزن دهی شدند. سپس در مرحله آموزش هر عامل دارای وزن جدیدی می‌شوند که این وزن‌ها برای پیش بینی میزان خطر در دیگر پیکسل‌ها استفاده می‌شوند (سپهوند، ۱۳۸۹: ۱۲۵). از برنامه (MATLAB) برای تهیه برنامه آموزشی و آزمایشی شبکه استفاده شده است که منطق آن بر اساس شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (mlp) و روش آموزش، پس‌انتشار (Bp) است. تابع سیگموئید^{۳۲} (لجستیک) به عنوان تابع فعال‌سازی برای هر واحد پردازشگر در شبکه انتخاب گردید. در تمام شبیه‌سازی صورت پذیرفته شاخص مجذور خطا^{۳۳} به عنوان یک شاخص رهنما که بیانگر کارایی شبکه در یادگیری الگوهای موجود بود، استفاده گردید. در قانون یادگیری پس‌انتشار^{۳۴} (Bp) هیچ ارتباطی بین نرون‌های یک لایه وجود ندارد ولی خروجی هر نرون به ورودی نرون‌های لایه بعد متصل می‌شود (شکل ۱۲). زمانیکه مقادیر معلوم در مسئله (x_i) به لایه‌های ورودی ارائه می‌شود، در وزن اتصال‌های بین لایه ورودی و لایه بعد (w_{ij}) ضرب شده و نرون‌های لایه بعدی منتقل می‌شود. در لایه بعدی ورودی‌های هر نرون با هم جمع شده ضمن اینکه می‌توان مقدار ثابتی به عنوان بایاس (w_0) نیز به این مقدار اضافه کرد (رابطه ۴) لازم به ذکر است که افزودن بایاس موجب می‌شود تا استفاده از شبکه پرسپترون با سهولت بیشتری انجام شود. در نهایت مجموع بدست آمده از یک تابع به نام تابع فعالیت می‌گذرد تا خروجی نرون بدست آید.

³²- Sigmoid function

³³- Main Square error

³⁴- Back propagation learning

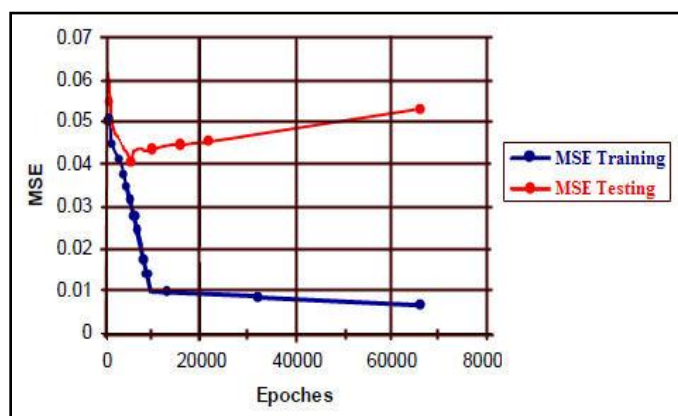
$$f(\text{net}_j) = f\left(\sum_{i=1}^n w_{ij}x_i + w_0\right) \quad \text{رابطه (۴)}$$



شکل ۱۲: عملکرد قاعده پس انتشار خطا (BP) (مأخذ: Yilmaz,2009:1127)

پس از عرضه نمونه‌های آموزشی به شبکه، وزن‌های شبکه به گونه‌ای اصلاح می‌شوند که تفاوت پاسخ مطلوب و خروجی واقعی شبکه کمینه شود. این فرآیند با نمونه‌های ورودی تکرار می‌شود تا اینکه شبکه به حالت پایداری برسد و تغییر قابل توجهی در وزن‌ها اتفاق نیافتد. مدل بهینه زمانی حاصل می‌شود که شبکه عصبی بهترین پردازش را با کمترین خطا انجام دهد. در این پژوهش تعداد نرون در لایه میانی از ۵ تا ۲۵ تغییر داده شد و با تعداد ۲۰ نرون، شبکه به کمترین خطا در مرحله آموزش و آزمایش رسید. ضریب یادگیری که میزان تغییر وزن‌ها را در کنترل دارد، از ۰/۱ تا ۰/۲ مورد بررسی قرار گرفت و با مقدار ۰/۲ شبکه به بهترین یادگیری دست یافت. همچنین مقدار مومنتم^{۳۵} نیز ۰/۹۵ در نظر گرفته شد. مطلبی که در کار با شبکه‌های عصبی از اهمیت فراوانی برخوردار است، جلوگیری از یادگیری بیش از حد شبکه است زیرا در این حالت شبکه به جای یادگیری و درک روابط بین پارامترها شروع به از بر کردن اطلاعاتی می‌کند که در اختیار آن گذاشته می‌شود (گومز و همکاران، ۲۰۰۲: ۲۷۸). برای جلوگیری از این خطا بایستی در تکرارهای مشخصی شبکه را با اطلاعات دیگری مورد آزمایش قرار داد در این حالت بایستی با کاهش میزان خطا در مرحله آموزش، میزان خطا در مرحله آزمایش نیز کاهش یابد. تعداد تکرار بهینه جایی است که میزان خطا در مرحله آموزش شروع به افزایش

می‌کند (شکل ۱۳). با بررسی پاسخ‌های خروجی شبکه عصبی مصنوعی در مرحله آزمایش، مشخص گردید که شبکه عصبی ایجاد شده قادر است از میان ۱۹۷ مورد پیکسل لغزشی، ۱۷۹ مورد را به درستی گزارش دهد که نشان دهنده حساسیت تشخیص معادل ۹۱ درصد می‌باشد. همچنین از میان ۱۹۷ مورد پیکسل غیر لغزشی، شبکه قادر به تشخیص ۱۸۰ مورد از نمونه‌های آزمایشی گردید که بیانگر ویژگی تشخیص معادل ۹۱/۵ درصد می‌باشد (جدول ۵). بنابراین دقت کل شبکه برابر با ۹۱/۲۵ درصد محاسبه گردید.



شکل ۱۳: منحنی مربوط به بهینه تکرار

جدول ۵: میزان درجه حساسیت شبکه عصبی مورد استفاده

کلاس بندی	درجه حساسیت	پیکسل‌های به درستی پهنه بندی شده	پیکسل‌های به اشتباه پهنه بندی شده	تعداد کل
غیر لغزشی	۹۱/۵ درصد	۱۸۰	۱۷	۱۹۷
لغزشی	۹۱ درصد	۱۷۹	۱۸	۱۹۷

نقشه نهایی پهنه بندی خطر زمین لغزش

بعد از مشخص کردن ساختار اصلی شبکه عصبی و فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز برای آموزش شبکه عصبی، همچنین رسیدن به خطای قابل قبول، شبکه آماده شده است تا تحلیل مناطقی را که قبلاً با آنها مواجه نشده است انجام دهد. به این منظور با در دست داشتن وزن‌های مرحله پایانی مربوط به آموزش شبکه، کل منطقه که مشتمل بر ۳۱۵۱ پیکسل بود در اختیار شبکه قرار گرفت. خروجی که از این شبکه بدست می‌آید بین صفر و یک قرار دارند با دسته بندی مقادیر بدست آمده از شبکه، می‌توان منطقه را به نواحی متفاوت از نظر خطر زمین لغزش تقسیم بندی کرد. در نهایت

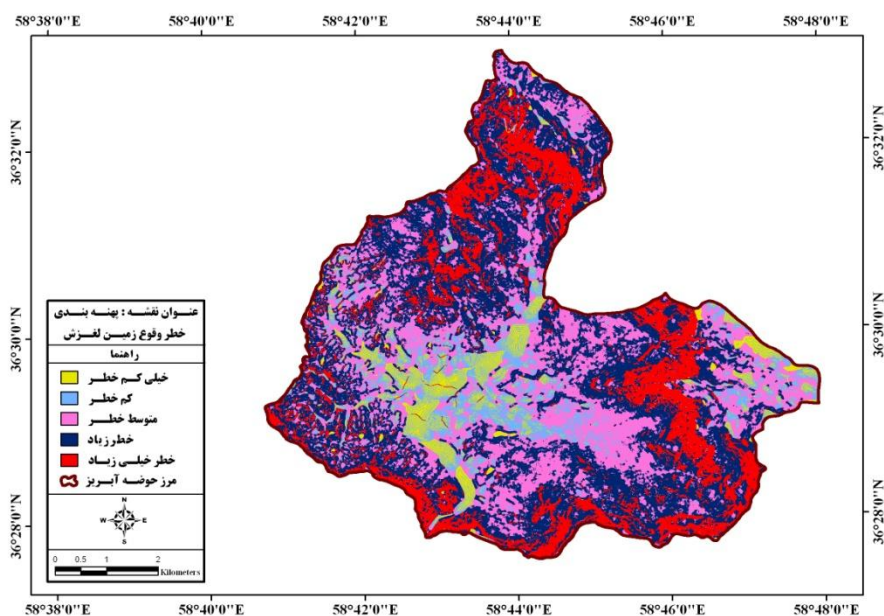
نقشه نهایی پهنه‌بندی حوضه آبخیز بار (شکل ۱۴) با بهره‌گیری از برنامه نوشته شده در محیط (MATLAB) به پنج پهنه مطابق جدول (۶) تقسیم‌بندی شد.

جدول ۶: مقادیر متناظر با درجه خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز بار نیشابور

مبنای تقسیم‌بندی	۰-۰/۲	۰/۲-۰/۴	۰/۴-۰/۶	۰/۶-۰/۸	۰/۸-۱
درجه خطر	خیلی کم خطر	کم خطر	متوسط خطر	خطر زیاد	خطر خیلی زیاد

جدول ۷: درصد و مساحت هر یک از پهنه‌های لغزشی در حوضه آبخیز بار نیشابور

کلاس‌های خطر	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد پهنه‌های لغزشی
خیلی کم خطر	۴/۵۱	۸/۵۰
کم خطر	۶/۲۲	۱۱/۵۲
متوسط خطر	۹/۶۸	۱۷/۹۲
خطر زیاد	۲۱/۳۷	۳۹/۴۵
خطر خیلی زیاد	۱۲/۲۱	۲۲/۶۱
مجموع	۵۳/۹۹	۱۰۰



شکل ۱۴: پهنه‌بندی زمین لغزش در حوضه آبخیز بار نیشابور بر اساس مدل شبکه عصبی مصنوعی

نتیجه‌گیری

در این پژوهش زمین لغزش‌های حوضه آبخیز بار مورد بررسی و عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها مشخص و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مورد ارزیابی قرار گرفتند. با بررسی پاسخ‌های خروجی شبکه عصبی مصنوعی در مرحله آزمایش، مشخص شد که شبکه عصبی ایجاد شده قادر است از میان ۱۹۷ پیکسل لغزشی، ۱۷۹ مورد را به‌درستی گزارش دهد که نشان دهنده حساسیت تشخیص معادل ۹۱ درصد است. هم‌چنین از میان ۱۹۷ پیکسل غیر لغزشی، شبکه قادر به تشخیص ۱۸۰ مورد از نمونه‌های آزمایشی شد که بیانگر ویژگی تشخیص معادل ۹۱/۵ درصد می‌باشد بنابراین دقت کل شبکه ۹۱/۲۵ درصد محاسبه گردید. با توجه به نتایج پژوهش مشخص گردید که سیستم شبکه عصبی طراحی شده را می‌توان به عنوان یک مدل قطعی پیش‌بینی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز بار محسوب کرد. به‌خصوص این‌که، این سیستم می‌تواند از روی تاریخچه عملکرد سیستم، ساختار آن را به‌گونه‌ای مشخص نماید که با ارائه ورودی‌های لازم، خروجی‌های مورد نظر حاصل شود. در منطقه مورد مطالعه، با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، مشخص گردید که ۸/۵۰، ۱۱/۵۲، ۱۷/۹۲، ۳۹/۴۵، ۲۲/۶۱ درصد از مساحت منطقه به‌ترتیب در کلاس‌های خطر پایدار، کم خطر، متوسط، خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است که نشان می‌دهد حوضه آبریز بار با ۶۲/۰۶ درصد جزء مناطق پرخطر از نظر زمین لغزش است و مهم‌ترین عوامل مؤثر در ناپایداری شیب‌های منطقه ساختار زمین‌شناسی شکل گرفته از مارن‌ها و فعالیت‌های تکتونیکی منطقه است. با بررسی‌های انجام شده در حوضه آبخیز بار نیشابور مشاهده می‌شود که در بخش‌های مرکزی و غربی حوضه گستره وسیعی در اشغال سازندهای مارنی است که به دلیل وجود خمیده رسی بالا و سخت‌شدگی نسبتاً کم، استعداد رانش و زمین لغزش زیادی در دامنه‌های شیب دار دارد. هم‌چنین وجود گسل کال سراب بار و گسل چال خراب از اهمیت بالایی در ایجاد زمین لغزش برخوردار است که وجود زمین لغزش‌های متعدد در طرفین این گسل دلالت بر فعالیت آن در کوتاه‌تر و نقش مخرب آن در ناپایداری شیب‌ها دارد. هم‌چنین نتایج خطر محاسبه شده توسط سیستم شبکه عصبی مصنوعی برای منطقه قابل قبول است (دقت کل شبکه ۹۱/۲۵) و می‌توان از این روش جهت ارزیابی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه استفاده کرد.

منابع

۱- پی. ای. بارو (۱۳۷۶)، سیستم اطلاعات جغرافیایی، ترجمه‌ی حسن طاهرکیا، چاپ اول، انتشارات سمت، ۲۲۰ص.

- ۲- راکعی، بابک، خامه‌چیان، ماشاله، عبدالملکی، پرویز، گیاهیچی، پانته‌آ (۱۳۸۶)، کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۳۳، صص ۵۷-۶۴.
- ۳- رجایی، عبدالحمید (۱۳۷۳)، کاربرد ژئومورفولوژی در آمایش سرزمین و مدیریت محیط، نشر قومس، ۳۳۴ ص.
- ۴- سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (۱۳۸۶)، فهرست زمین‌لغزش‌های کشور، گروه مطالعه امور زمین‌لغزش‌ها، شه‌ریور ماه ۱۳۸۹.
- ۵- سپهوند، علیرضا (۱۳۸۹)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در بخشی از حوزه آبخیز هراز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۶- مرادی، محمد، بازیار، محمد حسین، محمدی، ضرغام (۱۳۹۰)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان دنا بر اساس سیستم GIS با استفاده از روش (AHP)، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.
- ۷- کرمی، فریبا، رجیبی، معصومه (۱۳۸۸)، بررسی خطر زمین‌لغزش و تحلیل ریسک‌پذیری آن در نواحی روستایی، (مطالعه موردی: دامنه شمالی توده کوهستانی سهند، نشریه انجمن جغرافیایی ایران، ش ۱۸ و ۱۹، پاییز و زمستان ۱۳۸۸، صص ۱۵۴-۱۳۹).
- ۸- سوری، سلمان، لشکری پور، غلامرضا، غفوری، محمد (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: حوضه‌ی کشوری (نوژیان)، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، پاییز و زمستان ۱۳۹۰، صص ۱۲۸۵-۱۲۶۹).
- ۹- شریعت جعفری، محسن (۱۳۷۵)، زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی)، تهران، انتشارات سازه، ۲۱۸ ص.
- ۱۰- فاطمی عقدا، سید محمود، ساریخانی، رامین (۱۳۸۲)، پهنه‌بندی خطر رانش زمین در منطقه طالش با استفاده از سیستم‌های هوشمند (شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون)، مجله زمین‌شناسی مهندسی، ش ۲، تابستان ۱۳۸۲، صص ۱۹۲-۱۷۹.
- ۱۱- معماریان، حسین (۱۳۸۴)، زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۹۰ ص.
- ۱۲- منهاج، باقر (۱۳۹۱)، مبانی شبکه‌های عصبی (هوش محاسباتی)، دانشگاه امیرکبیر، چاپ هشتم، ۷۱۸ ص.
- ۱۳- مهندسین مشاور آب و خاک خراسان (۱۳۸۹)، گزارش عملیات میدانی حوزه بار نیشابور، مرحله اول، خرداد.
- ۱۴- نیازی، یعقوب، اختصاصی، محمد رضا، طالبی، علی، آرخی، صالح، مختاری، محمد حسین (۱۳۸۹)، ارزیابی کارایی مدل آماری دو متغیره، در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه‌ی سد ایلام)، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ش ۱۰، بهار ۱۳۸۹، صص ۲۰-۹.
- 15-Burger C., Richard O., (2000), "Appling Neural Networks to Risk Assesement" Traver Ph.D, University of Illionois, Oct. 2000.
- 16-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.
- 17-Chauhan S., Sharma M., Arora M. K., Gupta n.k., (2010), "Landslide susceptibility zonation through ratings deraived from Artificial neural network", International Jornal of Applied Earth observation and Geoinformation, 12: 340-350.
- 18-Crosta, B.G., (2009), "Dating, triggering, modeling and hazard assessment of large landslides", Geomorphology, Vol103, 1-4.

- 19-Ermini, L., Catani, F., Casagli, N., (2005), "Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment", *Geomorphology*, 66: 327-34.
- 20-Gomez, H.,(2002). *Modelling Landslide Potential in the Venezuelan Andes*. PhD Thesis, The University of Nottingham, UK.
- 21-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: 181-216.
- 22-Komac M., (2006), "A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia", *Geomorphology*, 74(1-4): 17-28.
- 23-Lee S., Sambath T., (2006), "Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models", *Environmental Geology*, 50 (6): 847-856.
- 24-Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A., Zanchi, A., (2008). "Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation", *Geomorphology* 94: 379-400.
- 25-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: 171-191.
- 26-Pradhan B., Lee S., (2010), "Delineation of landslide hazard areas on penang island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and Artificial neural network models", *Environmental Earth Sciences* 60(5): 1037-1054.
- 27-Paoletti, V., Tarallo, D., Matano, F., Rapolla A., (2013), "susceptibility zoning on seismic-induced landslides: An application to Sannio and Irpinia areas, Southern Italy". *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol63, 147–159.
- 28-Sakar, S., Kanungo, D.P.,Mehrotar, G.S, (1995), "Landslide zonation: A case in garhwal Himalaya, India", *Mountain Research and Development*, Vol15, No4: 300-301.
- 29-Smith M,(2009) , "Neural Networks for Statistical Modeling", New York: John Wiley & Sons, Inc., ISBN: 00442013108.
- 30-Subasia A, Ercelebib E.,(2005), "Classification of EEG signals using neural network and logistic regression", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*; 78(2): 87-99.
- 31-Vittorio De Blasio, F., (2011). "Introduction to the physics of landslides", Springer, Vol13, 1-38.
- 32-Werner D, Francisco J A.,(2003), "Artificial intelligence in the life sciences", *Artif Intell Rev*; 20: 7-11.
- 33-Yilmaz L, (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: 1125-1138.

Landslide susceptibility mapping by using multi-layer perceptron neural network model of back error propagation (Case Study: Bar Basin of Neyshabour)

Abstract

With regard to the capabilities of the artificial neural networks, applying them in a variety of engineering and geologic fields has been developed remarkably. In this study, for landslide zoning across Bar Basin in Neyshabour, the multi-layer perceptron model of back propagation (BP) were used. In order to assess the neural network created, data of 32 landslides were entered into the system. This database include information about slopes, aspects, lithology, digital elevation model (DEM), map isohyets, distance from the fault, and landuse. To feed these data to the created neural network, they were normalized based on the highest rate of each data in the database between zero and one. Then, normalized data were fed to a three-layer feed forward perceptron neural network with back error propagation algorithm. The abovementioned data were primarily trained in the network and then were tested. The final structure of the network has seven neurons in the middle layer and one neuron in the external layer. Among them, 80 Percent of the data were used for training and the remaining 20 Percent for tests. Finally, considering the external weight, zoning map of landslide were drawn in five ranks from very high risk, high risk, medium risk, low and very low. The results show that the geologic structure developed due to the grey marls with lime layers (Delichai construction) and also the faults of the tectonic area caused the Bar basin to have a high capability in terms of landslide formation.

Key words: landslide, susceptibility, artificial neural network, multi-layer perceptron.