

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در پایین دست سد سنندج

عدنان ناصری*: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

اسدالله حجازی: دانشیار دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

محمدحسین رضایی‌مقدم: استاد دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۷

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۹)

چکیده

بررسی موقعیت و ارزش محیط‌های انسانی آسیب‌پذیر در برابر مخاطرات ژئومورفیک، از وظایف مهم دانش ژئومورفولوژی است. هدف تحقیق حاضر، امکان‌سنجی و ارزیابی خطر وقوع زمین‌لغزش با تولید نقشه‌های پهنه‌بندی خطر و درجه‌بندی حساسیت این پهنه‌ها به عنوان یکی از مخاطرات ژئومورفیک در منطقه‌ی پایین دست سد سنندج است. در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS و زبان برنامه‌نویسی پایتون، از مدل شبکه عصبی پرسپترون برای شناسایی پهنه‌های خطر زمین‌لغزش در منطقه استفاده شد؛ بدین منظور، ۹ لایه‌ی ورودی درجه‌ی شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، ارتفاع، فاصله از عوامل آبراهه، جاده و گسل در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بررسی شد. نقاط لغزشی و غیر لغزشی منطقه نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، بازدیدهای میدانی و ... مشخص شد. در مدل شبکه عصبی، از وزن‌یابی درونی در تعیین وزن لایه‌ها استفاده شد. داده‌ها با استفاده از شبکه‌ی پرسپترون چندلایه با الگوریتم یادگیری آدام آموزش دیدند. از الگوریتم جستجوی شبکه‌ای نیز به منظور بهینه‌سازی و تنظیم فرامترهای شبکه عصبی استفاده شد. ساختار نهایی شبکه دارای ۹ نرون در لایه ورودی، ۳۰ نرون در لایه میانی و ۱ نرون در لایه خروجی است. از ۵ روش محاسبه‌ی میزان خطای مدل‌ها (امتیاز F1، دقت کلی، خطای تولیدکننده، خطای کاربر و ماتریس خطا) نیز برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد. در نهایت، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در ۵ کلاس خطر تهیه شد. بر اساس این پهنه‌بندی ۱۱/۵ درصد از مساحت منطقه در کلاس خطر خیلی کم، ۱۹/۷ درصد در کلاس خطر کم، ۲۹/۶ درصد در طبقه متوسط، ۳۱ درصد در طبقه زیاد و ۸/۱ درصد در طبقه خیلی زیاد قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج صحت‌سنجی مدل نیز مشخص شد مدل شبکه عصبی پرسپترون با دقت ۹۱/۴۹ درصد، در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انطباق مناسبی با جغرافیای منطقه دارد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی خطر، زمین‌لغزش، شبکه عصبی، مدل.

* نویسنده مسئول: adnannasari@yahoo.com

۱- مقدمه

زمین‌لغزش به عنوان یک رفتار مورفولوژیکی مخاطره‌آمیز، حاصل عملکرد عوامل طبیعی و محیطی است که همانند دیگر بی‌نظمی‌های مورفولوژیکی به تأسیسات، زیرساخت‌ها و دارایی‌های انسان خسارت وارد می‌سازد. یکی از کارهای عملی و قابل توجه علم ژئومورفولوژی، شناسایی لندفرم‌های پایدار و مکان‌هایی با حداقل احتمال گرفتاری به پدیده‌های کاتاستروفیک یا آرام ناشی از فرآیندهای محیطی است که به نوعی بر زندگی انسان اثر نامطلوبی می‌گذارد (Rosenfeld, 2004). از آنجایی که حرکات توده‌ای در نواحی کوهستانی، یکی از فرآیندهای طبیعی و از مهم‌ترین عوامل به وجود آورنده‌ی چشم‌اندازها محسوب می‌شود (Van Westen, 1993)؛ از این رو، پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش یکی از ابزارهای اساسی در مدیریت مخاطرات و تصمیم‌گیری می‌باشد (Dahal, 2008). حرکات توده‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه هر ساله به راه‌ها، خطوط انتقال نیرو، شبکه شریان‌های حیاتی داخل شهر، مراکز و منابع طبیعی، مزارع و نقاط مسکونی خسارت وارد می‌سازد و حجم فرسایش خاک را در منطقه افزایش می‌دهد. استان کردستان با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت‌های تکتونیکی زیاد و وضعیت متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، دارای عمده شرایط طبیعی برای ایجاد طیف وسیعی از حرکات توده‌ای است. براساس آمارهای موجود و پژوهش‌های Mirsanie و همکاران (۲۰۰۶)، استان کردستان بعد از استان‌های مازندران و گلستان، سومین استان از نظر زمین‌لغزش است. چنانچه ملاک رتبه‌بندی، مساحت استان‌ها باشد؛ استان کردستان در رتبه‌ی بالاتری قرار می‌گیرد (Nairi and Karami, 2018). ارزیابی و پهنه‌بندی مناطق مخاطره‌آمیز با روش علمی و دقیق می‌تواند در راستای کاهش ریسک، مناسب‌ترین راه از نظر صرف هزینه و زمان باشد؛ از این رو، مطالعات بسیاری در خصوص پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در ایران و جهان انجام شده‌است که در اینجا به چند مورد اشاره می‌شود.

Ermini و همکاران (۲۰۰۵)، دو ساختار متفاوت از شبکه عصبی با عناوین MLP و PNN را با یکدیگر مقایسه کردند و به این نتیجه دست یافتند که مدل MLP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش کارایی بهتری دارد. Pradhan و همکاران (۲۰۱۰)، از مدل شبکه عصبی انتشاری برگشتی مبتنی بر ArcGIS برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مالزی استفاده کردند. Caniani و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی به تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری زمین‌لغزش در منطقه‌ی پیتزا واقع در ایتالیا پرداختند. Conforti و همکاران (۲۰۱۴) به منظور طبقه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه‌ی رودخانه‌ی توبولو در کشور ایتالیا، از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه استفاده کردند. سپس ۱۰ عامل را به عنوان عوامل اصلی زمین‌لغزش شناسایی و با استفاده از ابزارهای ArcGIS، لایه‌های مربوط به آنها را تولید کردند. نتایج تحقیقات Conforti نشان می‌دهد که تولید نقشه‌ی طبقه‌بندی شده‌ی خطر زمین‌لغزش با دقت ۸۷ درصد ممکن می‌باشد و حدود ۴۶ درصد از منطقه، خطر زمین‌لغزش بالا دارد.

Roustaei و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از ۹ عامل مؤثر، به ارزیابی عملکرد مدل هوش مصنوعی و تصمیم‌گیری چند معیاره در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز آیدوغموش‌چای آذربایجان شرقی پرداختند. در مدل شبکه عصبی، از لایه‌های تهیه شده و لایه هدف (زمین‌لغزش‌های رخ داده) برای آموزش و آزمایش شبکه استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد مدل شبکه عصبی مصنوعی با درصد لغزشی ۹۷/۲۲، روش کارآمدتری نسبت به مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای است.

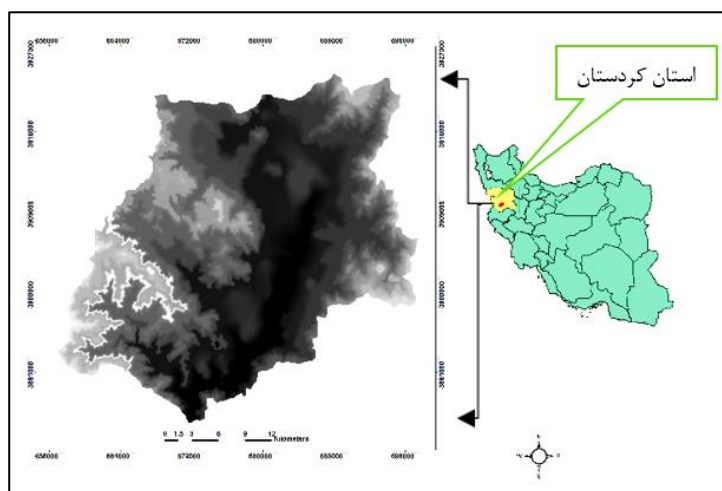
Rezaei Moghadam و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی نتایج مدل شبکه عصبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز الشتر پرداختند. در این پژوهش از مدل شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم پس انتشار خطا و تابع فعال-سازی سیگموئید استفاده شد. ساختار نهایی شبکه دارای ۷ نرون در لایه ورودی، ۱۱ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی است. دقت شبکه نیز ۹۳/۸۵ درصد می‌باشد.

از دیگر پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه، می‌توان به Ranjbar و همکاران (۲۰۱۴) در منطقه‌ی تجریش تهران، Fatemi و همکاران (۲۰۱۵) در منطقه‌ی طالقان، Zarepour (۲۰۰۵) در منطقه‌ی رودبار و منجیل، Rakei (۲۰۰۵) در حوزه‌ی سفیدارگله سمنان، Emadeddin و همکاران (۲۰۱۷) در حوضه آبخیز هراز، Sourı (۲۰۱۱) در حوزه‌ی نوژیان خرم‌آباد، Rajabi و همکاران (۲۰۱۴) در حوزه‌ی گیوی‌چای آذر شهر و ... اشاره کرد.

با توجه به مطالب فوق و اهمیت تأثیر پدیده‌ی زمین‌لغزش بر محیط، همچنین اهمیت بالای منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر فعالیت‌های انسانی و وجود پدیده‌ی زمین‌لغزش به عنوان یکی از بلایای طبیعی زیان‌آور در این منطقه، هدف از این پژوهش شناسایی پهنه‌های خطر زمین‌لغزش در منطقه پایین‌دست سد سنندج با استفاده از داده‌ها و اطلاعات موجود و تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر با استفاده از مدل شبکه عصبی پرسپترون است.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی رودخانه‌ی قشلاق، منطقه‌ای کوهستانی با روند شمالی - جنوبی است که در غرب ایران و در استان کردستان واقع شده‌است. این حوضه از نظر زمین‌ساختی، بر روی زون ساختاری سنندج - سیرجان قرار دارد (Geological Survey of Iran, 1990). منطقه‌ی مورد مطالعه به مساحت ۹۷۰/۷ کیلومتر مربع، از اراضی شهرستان سنندج است و در پایین‌دست سد سنندج به مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی واقع می‌شود. مرتفع‌ترین قله‌ی منطقه حدود ۲۹۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. کم ارتفاع‌ترین قسمت منطقه نیز به خروجی حوضه به ارتفاع ۱۳۰۰ متر بازمی‌گردد. طول رودخانه‌ی قشلاق از محل سد تا تلاقی با گاوهرود، حدود ۵۲/۸ کیلومتر است. میانگین شیب کل منطقه نیز ۱۴/۷۵ درجه می‌باشد که معادل ۲۶/۳۳ درصد از مساحت کل حوزه است. شهر سنندج مرکز استان کردستان در داخل منطقه‌ی مورد مطالعه قرار دارد. با توجه به نوع اقلیم و فرآیندهای مورفولوژیک، پارامترهای تأثیرگذار برای ایجاد زمین‌لغزش در جغرافیای منطقه فراهم می‌باشد. در نواحی کوهستانی، اثرات لغزش‌ها در سطح دامنه‌ها و ریزش‌های سنگی به عنوان دو پدیده‌ی مهم طبیعی در محدوده‌ی زیست انسان‌ها نمود یافته‌است. اینک ناپایداری دامنه‌ای به عنوان شکلی مهم از تخریب محیط قابل بررسی است و اثرات آن در آینده نیز چشمگیر خواهد بود.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

۳- مواد و روش

در این مطالعه به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، اقلیمی و عوامل انسانی و زیست محیطی منطقه، ۹ عامل مؤثر شامل شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، لیتولوژی، کاربری اراضی و بارش شناسایی و بررسی شد. سپس لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.6 تهیه شد؛ به این منظور از نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ (محدوده‌ی مورد مطالعه در چهارچوب ۴ شیت نقشه‌ی توپوگرافی سنندج، سنندج قطعه ۱، گلین و موچش)، نقشه‌ی زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و DEM سی متری SRTM منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده شد. نقشه‌های شیب، جهت شیب و طبقات ارتفاعی به وسیله‌ی نقشه‌ی رقومی ارتفاعی (DEM) فراهم شد. نقشه‌ی گسل از نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه و نقشه‌ی آبراهه نیز از نقشه‌های توپوگرافی تهیه و لایه وکتوری آن فراهم شد. لایه جاده نیز از نقشه‌های توپوگرافی منطقه و لایه وکتوری جاده‌های کشور به دست آمد. در ادامه، نقشه‌ی کاربری اراضی از سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور تهیه شد. نقشه‌ی بارش منطقه نیز با توجه به داده‌های هواشناسی در طی ۳۰ سال گذشته (سال‌های ۷۷ تا ۹۶) و با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ حاصل شد. ویژگی پارامترهای مؤثر در ارزیابی خطر و نحوه‌ی طبقه‌بندی آنها به شرح ذیل انجام شده‌است.

زمین‌شناسی: خصوصیات لیتولوژیک منطقه از مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش است. لیتولوژی، نوع سنگ، درجه‌ی هوازدگی و نوع و مقدار ماده‌ی پرکننده را در بر می‌گیرد که هرکدام از این عوامل در مکانیزم پایداری شیب‌ها نقش بسزایی دارد. سازندها و واحدهای چینه‌سنگی موجود در داخل منطقه از قدیم به جدید شامل ۱۶ رخساره سنگی و رسوبی متعلق به سه دوران مزوزوئیک، سنوزوئیک و کواترنری است (جدول ۱).

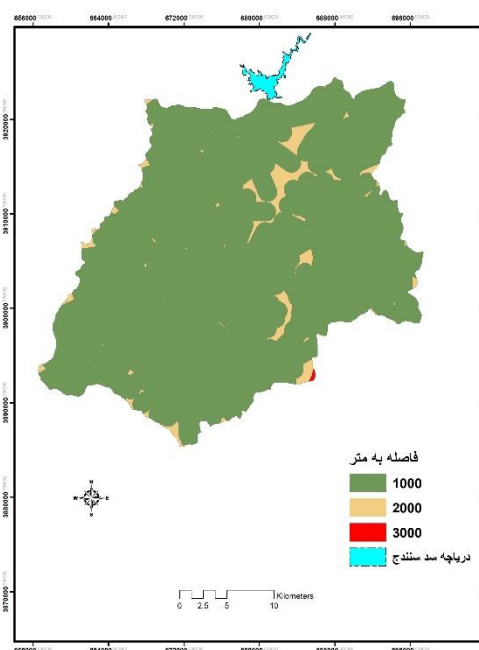
جدول ۱: ویژگی‌های لیتولوژیک و مشخصات تعداد نقاط زمین‌لغزش‌های رخ داده در آنها

زمین‌شناسی	مشخصات واحدهای لیتولوژیک	مساحت	درصد مساحت طبقه	تعداد نقاط لغزشی	درصد نقاط لغزشی
Gb	گابرو و دیوریت	۲.۷	۲.۸	۰	۰
K3	آهک اوریتولین دار خرد و شکسته	۲۵.۶	۲.۶	۰	۰
Jq	کوارتزیت - شیل ژوراسیک	۶.۷	۰.۷	۰	۰
K10	چینه‌های آهکی با دانه‌های کوارتز	۵.۲	۰.۵	۳	۱.۲
KP3	آهک اوریتولین دار بلورین	۲۸.۶	۲.۹	۱۲	۵
K12	آهک خاکستری دارای آمونیت‌های کرتاسه بالا	۱۱	۱.۲	۵	۲.۱
K2	شیل، سیلتستون، ماسه‌سنگ	۹.۳	۰.۹	۲	۰.۸
K9	آتشفشانی پورفیری آندزیتی	۴۹.۵	۵	۵	۲.۱
Ev	توف‌های آذر آواری	۴	۰.۴	۱	۰.۴
K5	ماسه‌سنگ آهکی، آهک سیلیسی شیل و آتشفشانی آندزیتی	۶.۳	۰.۶	۱	۰.۴
KP2	شیل‌های ماسه‌ای با گدازه‌های آندزیتی	۳.۸	۰.۴	۰	۰
PE	فلش، شیل‌های آهکی و آمیخته‌ای، آمیزه رنگین افیولیت	۱۵۲	۱۵.۶	۳۴	۱۴.۳
K8	شیل خاکستری سنج با عدسی‌های ولکانیکی	۳۲۴	۳۳.۴	۱۰۲	۴۳
KP1	شیل‌های ماسه‌ای تا آهکی با میان لایه‌های ولکانیک و آهک	۱۳۳	۱۳.۷	۴۶	۱۷
Qa	نهشته‌های آبرفتی بستر رودخانه‌ها، اراضی باغی و کشاورزی بر روی پادگانه‌های آبرفتی	۱۸۲	۱۸.۷	۲۲	۹.۳
Qt	پادگانه‌های آبرفتی قدیمی	۲۶.۳	۲.۷	۴	۱.۷

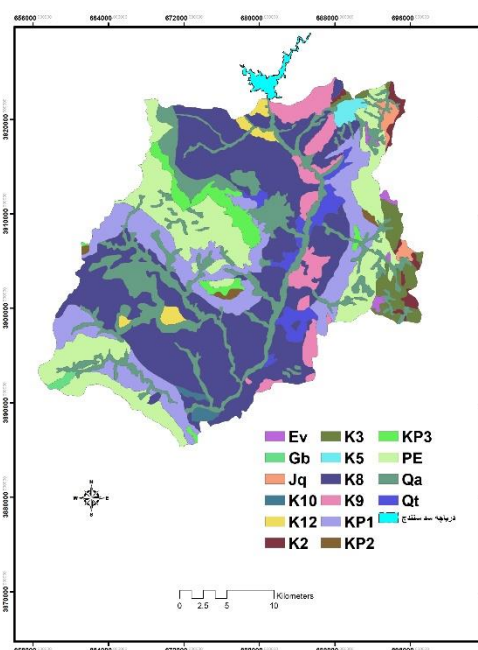
فاصله از گسل: مهم‌ترین گسل‌های منطقه عبارتند از: گسل اصلی زاگرس، گسل صلوات‌آباد، روراندگی یوسف سیاه، گسل گندمان، گسل کرجو، گسل دویسه و گسل آب شیروان. گسل اصلی زاگرس در جنوب غربی گستره‌ی آبخیز قشلاق قرار دارد و در واقع، گروه و مجموعه‌ای از گسل‌های با روند شمال غربی - جنوب شرقی است. گسل صلوات‌آباد یکی دیگر از گسل‌های مهم با روند شمالی - جنوبی در حوضه می‌باشد که هورست و گرابن عمل کرده؛ به طوری که قسمت شرقی آن بخش، بالا آمده و برجسته و قسمت غربی آن، حالت فرونشست تدریجی داشته‌است و دارد. شهر سنج درون این فرونشست قرار گرفته‌است (Geological Survey of Iran, 1990). فاصله‌ی منتخب تا یک کیلومتری، بیشترین مساحت حوضه را در خود جای داده و الزاماً اکثر زمین‌لغزش‌های حوضه نیز در این فاصله از گسل‌ها رخ داده‌است.

جدول ۲: مشخصات طبقات فاصله از گسل در منطقه‌ی مورد مطالعه

کلاس به متر	۰-۱۰۰۰	۱۰۰۱-۲۰۰۰	۲۰۰۱-۳۰۰۰	۳۰۰۱-۴۰۰۰	۴۰۰۰<
مساحت به KM2	۹۳۶.۱	۳۴.۱	۰.۴۳	۰	۰
مساحت به درصد	۹۶.۴	۳.۵	۰.۰۴	۰	۰
تعداد نقاط لغزشی	۲۲۹	۷	۱	۰	۰
درصد نقاط لغزشی	۹۶.۶	۲.۹	۰.۴۲	۰	۰



شکل ۳: نقشه‌ی فاصله از گسل منطقه‌ی مورد مطالعه



شکل ۲: نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

شیب: ۶۵ درصد از وسعت منطقه، شیب ۵ تا ۲۵ درجه دارد که این موضوع بیانگر پتانسیل بالای منطقه برای ایجاد ناپایداری - در صورت مساعد بودن سایر شرایط (عوامل ثانویه) - خواهد بود. حد شیب‌های حوضه بین ۰ تا ۷۵/۲ درجه می‌باشد. بیشترین مساحت شیب حوضه نیز به طبقه‌ی ۵ تا ۱۵ درجه بازمی‌گردد که معادل ۳۵ درصد از مساحت حوضه می‌باشد. در این منطقه به دلیل قرارگیری شهر سنج و شهرک‌های اقماری وابسته، شهرک‌های صنعتی، تأسیسات شهری، وجود جاده‌های مختلف و ... تغییرات شدیدی در شیب و فیزیوگرافی منطقه رخ می‌دهد.

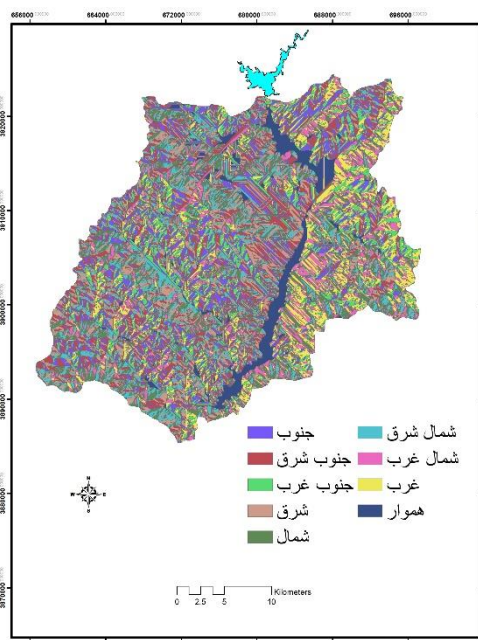
جدول ۳: مشخصات طبقات شیب در منطقه‌ی مورد مطالعه

شیب به درجه	۵-۰	۱۵-۵	۲۵-۱۵	۳۵-۲۵	۴۵-۳۵	۴۵<
مساحت به KM2	۲۰۱.۵	۳۴۰	۲۸۹.۱	۱۲۴.۱	۱۱.۶	۱.۰
مساحت به درصد	۲۰.۸	۳۵.۲	۳۰	۱۲.۸	۱.۲	۰.۱
تعداد نقاط لغزشی	۲۱	۸۹	۷۷	۳۸	۱۲	۰
درصد نقاط لغزشی	۸.۹	۳۷.۵	۳۲.۵	۱۶	۵.۱	۰

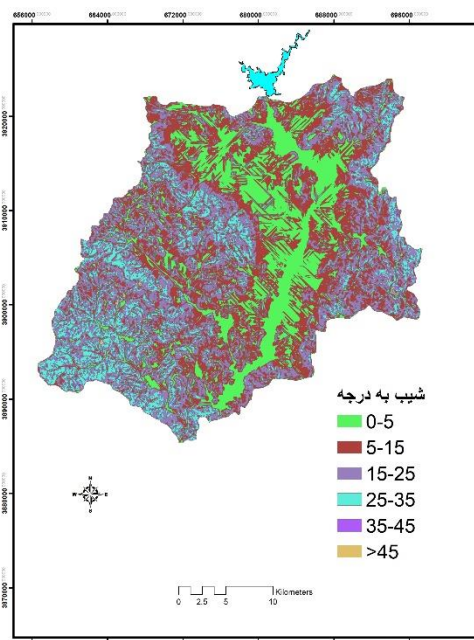
جهت شیب: از جمله عوامل ذاتی است که به طور مستقیم و غیر مستقیم، لایه‌هایی مانند ضخامت خاک، پوشش گیاهی، رطوبت و ... را منعکس می‌سازد. در این مطالعه دامنه‌های رو به خورشید نیز درصد قابل توجهی از زمین لغزش‌ها را به خود اختصاص داده‌است که علت آن را می‌توان با فعالیت‌های محرک شیب (جاده‌سازی، افزایش بار دامنه، فعالیت گسل‌ها و ...) مرتبط دانست. بیشترین درصد زمین لغزش رخ داده نیز در جهت شیب شمال اتفاق افتاده‌است.

جدول ۴: جهات شیب و تعداد نقاط لغزشی در حوضه قشلاق

کلاس	هموار	شمال	شمال شرقی	شرق	جنوب شرقی	جنوب	جنوب غربی	غرب	شمال غربی
مساحت به KM2	۴۹.۴	۹۶	۱۰۸.۳	۱۳۶.۸	۱۱۹	۱۲۰.۶	۱۱۳.۲	۱۲۵	۹۹.۶
مساحت به درصد	۵.۱	۹.۹	۱۱.۲	۱۴.۱	۱۲.۳	۱۲.۵	۱۱.۷	۱۲.۹	۱۰.۳
تعداد نقاط لغزشی	۲۱	۴۸	۲۹	۲۶	۱۳	۳۱	۲۵	۱۶	۲۸
درصد نقاط لغزشی	۸.۹	۲۰.۳	۱۲.۲	۱۱	۵.۵	۵.۵	۱۰.۶	۶.۸	۱۱.۸



شکل ۵: نقشه‌ی جهت شیب منطقه‌ی مورد مطالعه



شکل ۴: نقشه‌ی شیب منطقه‌ی مورد مطالعه

طبقات ارتفاعی: تغییر ارتفاع در بسیاری موارد به تغییر اقلیم در مقیاس میکرو و تغییر فرآیندهای حاکم بر مورفوزن با افزایش ارتفاع منجر می‌شود. در نتیجه، مظاهر حیات با تغییر ارتفاع تغییر می‌یابد و به تبع آن، لغزش و اصول حاکم بر آن نیز ممکن است دچار تغییر شود. منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر توپوگرافی نیز بسیار ناهموار است؛ حداکثر ارتفاع آن حدود ۲۹۰۰ متر و حداقل ارتفاع در خروجی حوضه حدود ۱۳۰۰ متر می‌باشد. تعداد نقاط لغزشی در طبقه ارتفاعی استاندارد شده ۱۶۰۰ تا ۱۹۰۰ متر، بیشترین تراکم لغزشی را دارد و پس از آن طبقه ۱۳۰۰ تا ۱۶۰۰ متر قرار می‌گیرد.

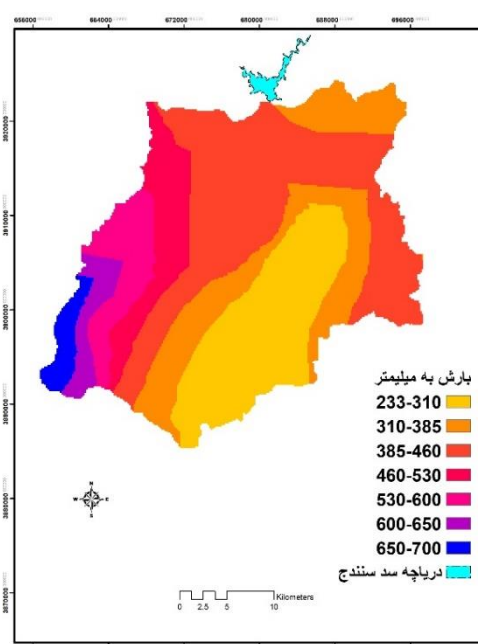
جدول ۵: طبقات ارتفاعی و تعداد نقاط لغزشی در حوزه قشلاق

طبقات ارتفاعی	۱۶۰۰-۱۳۰۰	۱۹۰۰-۱۶۰۰	۲۱۰۰-۱۹۰۰	۲۵۰۰-۲۱۰۰	۲۹۰۰-۲۵۰۰
مساحت به KM2	۲۹۱.۵	۳۴۵.۲	۱۵۴.۹	۱۶۴.۳	۱۴.۸
مساحت به درصد	۳۰	۳۵.۶	۱۶	۱۶.۹	۱.۵
تعداد نقاط لغزشی	۶۲	۸۶	۳۰	۵۱	۸
درصد نقاط لغزشی	۲۶.۲	۳۶.۳	۱۲.۷	۲۱.۵	۳.۴

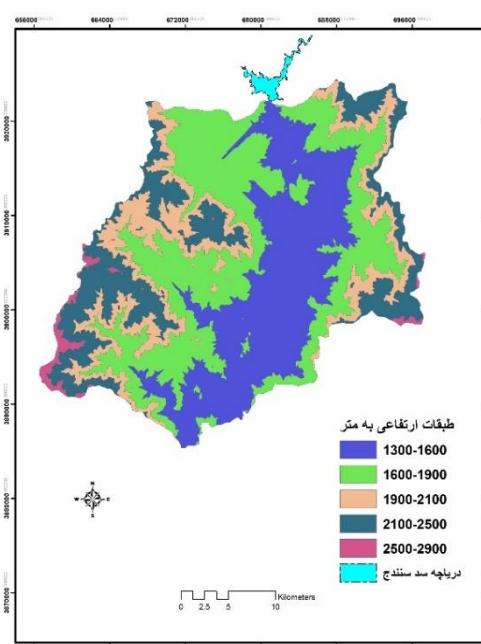
بارش: برای به دست آوردن میزان بارش در نواحی پست و مرتفع، از معادله‌ی گرادیان بارش منطقه استفاده شد. میزان بارش با عامل ارتفاع همبستگی مثبتی دارد؛ به این ترتیب که با افزایش ارتفاع، بارندگی نیز افزایش می‌یابد. بر همین اساس با به دست آوردن معادله‌ی گرادیان بارش، مقدار بارش در ارتفاعات مختلف برآورد و در ۷ کلاس طبقه‌بندی شد. بر اساس نتایج به دست آمده (جدول ۶)، مناطق با بارندگی ۳۸۵ تا ۵۳۰ میلیمتر دارای بیشترین تعداد زمین‌لغزش در حوزه می‌باشد.

جدول ۶: مشخصات طبقات بارش منطقه‌ی مورد مطالعه

کلاس	۲۳۳-۳۱۰	۳۱۰-۳۸۵	۳۸۵-۴۶۰	۴۶۰-۵۳۰	۵۳۰-۶۰۰	۶۰۰-۶۵۰	۶۵۰-۷۰۰
مساحت به KM2	۲۴۲	۲۲۷	۱۹۱	۱۵۶	۷۹	۶۰	۱۵
درصد مساحت طبقه	۳۰	۲۳.۴	۱۹.۷	۱۶.۱	۸.۱	۶.۲	۱.۶
تعداد نقاط لغزشی	۰	۰	۸۰	۸۰	۳۸	۲۲	۱۷
درصد نقاط لغزشی	۰	۰	۳۳.۸	۳۳.۸	۱۶	۹.۳	۷.۲



شکل ۷: نقشه‌ی بارش منطقه‌ی مورد مطالعه



شکل ۶: نقشه‌ی طبقات ارتفاعی منطقه‌ی مورد مطالعه

شبکه زهکشی: حوضه رودخانه‌ی قشلاق از شمال با حوضه رودخانه‌ی سفیدرود، از سمت شرق با حوضه رودخانه‌ی گاوهرود و از سمت غرب نیز با حوضه رودخانه‌ی سیروان هم مرز می‌باشد. منشأ اصلی جریان‌ات حوضه اکثراً به صورت برف است که در فصل بهار ذوب می‌شود و همراه با بارش‌های بهاری به ایجاد جریان‌های سیلابی در رودخانه‌ها منجر می‌شود. از آنجایی که آبراهه‌های آبرفتی از مواد رسوبی فرسایش‌پذیر تشکیل شده و فشارهای وارده از نیروی جریان آب بیش از مقاومت رسوب‌های آبرفتی است؛ بنابراین، وقوع زمین‌لغزش‌های دره‌ای در نزدیکی آبراهه‌های اصلی دره‌های منطقه قابل‌پیش‌بینی می‌باشد. با توجه به فصلی بودن اکثر سرشاخه‌های رودخانه‌های منطقه، فاصله‌ی بیش از ۲۰۰ متر دارای بیشترین تعداد زمین‌لغزش می‌باشد.

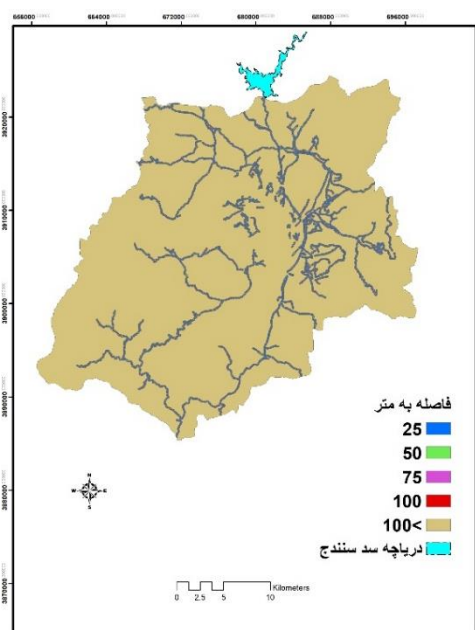
جدول ۷: طبقات فاصله از رودخانه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه

کلاس به متر	۰-۵۰	۵۱-۱۰۰	۱۰۱-۱۵۰	۱۵۱-۲۰۰	۲۰۰<
مساحت به km2	۱۵۵.۴	۱۵۳.۶	۱۴۳	۱۲۴.۷	۳۹۴
درصد مساحت طبقه	۱۶	۱۵.۸	۱۴.۷	۱۲.۸	۴۰.۶
تعداد نقاط لغزشی	۹	۹	۹	۱۰	۲۰۲
درصد نقاط لغزشی	۳.۸	۳.۴	۳.۴	۴.۲	۸۵.۳

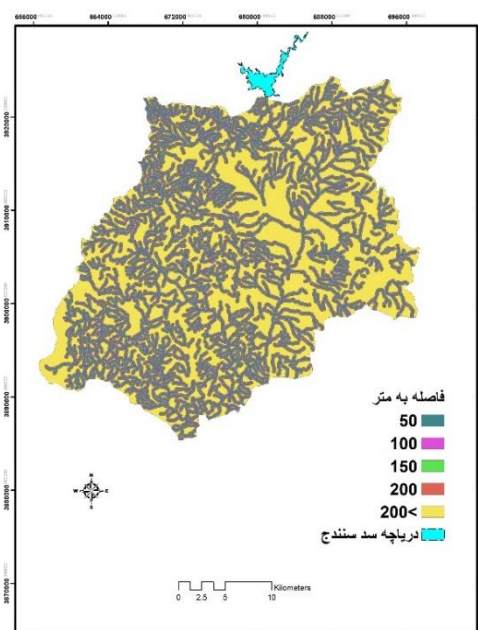
فاصله از جاده: به دلیل قرارگیری شهرستان سنندج در منطقه، راه‌های ارتباطی اصلی استان کردستان در این منطقه واقع شده‌است. از جمله مهم‌ترین راه‌های ارتباطی، جاده‌ای با امتداد شمالی - جنوبی است که مراکز استان‌های غربی را به هم متصل و از این منطقه عبور می‌کند. همچنین جاده‌ی ارتباطی سنندج - همدان و سنندج - مریوان از دیگر جاده‌های مهم منطقه به شمار می‌رود. بسیاری از جاده‌های روستایی نیز پیچ و خم فراوان دارد و در ارتفاعات منطقه قرار گرفته؛ به نحوی که ستیغ‌ها و دامنه‌های بسیاری را بریده و چهره‌ی طبیعی منطقه را دستخوش تغییرات زیادی ساخته‌اند. دسترسی به حاشیه‌ی شهر سنندج و شهرک‌های صنعتی و زمین‌های کشاورزی و باغداری نیز از طریق کمربندی‌های اطراف شهر فراهم شده‌است. با توجه به فقدان دسترسی به اطلاعات جاده‌های منطقه، از جاده‌های آسفالت و اصلی برای پارامتر فاصله از جاده استفاده شده‌است. براساس نتایج به دست آمده در (جدول ۸)، اکثر زمین‌لغزش‌ها در طبقه‌ی بیش از ۱۰۰ متر فاصله از جاده و بعد از آن در فاصله‌ی ۰ تا ۲۵ متر - که این مورد بیشتر به دلیل پدیده‌ی زیربری و جاده‌سازی در منطقه می‌باشد - رخ داده‌است.

جدول ۸: مشخصات طبقات فاصله از جاده و زمین‌لغزش‌های رخ داده

کلاس	۰-۲۵	۲۶-۵۰	۵۱-۷۵	۷۶-۱۰۰	۱۰۰<
مساحت به km2	۲۳.۶	۲۲.۱	۲۱.۲	۲۰.۵	۸۸۳.۲
مساحت به درصد	۲.۴	۲.۳	۲.۲	۲.۱	۹۱
تعداد نقاط لغزشی	۱۸	۱۶	۸	۳	۱۹۲
درصد نقاط لغزشی	۷.۶	۶.۸	۳.۴	۱.۳	۸۱



شکل ۹: نقشه‌ی فاصله از جاده در منطقه‌ی مورد مطالعه

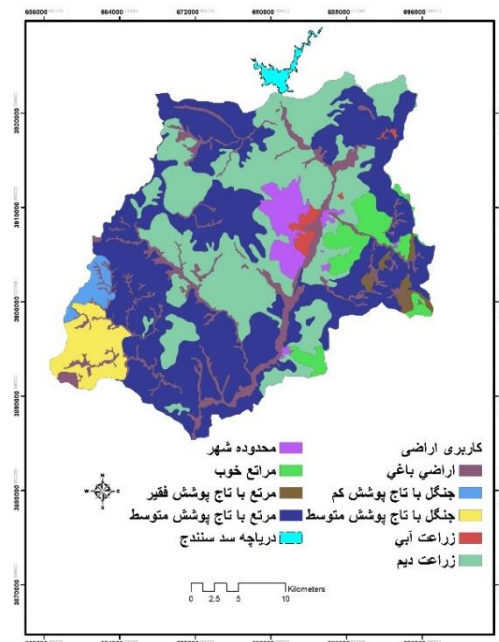


شکل ۸: نقشه‌ی فاصله از شبکه زهکشی در منطقه‌ی مورد مطالعه

کاربری اراضی منطقه: این منطقه با افزایش حاشیه‌نشینی در اطراف شهر سنندج، تبدیل اراضی کشاورزی به مسکونی، افزایش جمعیت روستاهای اطراف و در پی آن افزایش مساکن سبب شده‌است که ساخت و سازهای سکونتگاه‌ها به شیب‌های بیش از حد مجاز نیز برسد. از طرفی، سال‌هاست که باغداری در قسمت پایین‌دست دره‌ها رواج دارد، ولی طی دو دهه‌ی اخیر کشیده شدن باغ‌ها به سمت شیب‌های تند کوهستانی و گسترش اراضی دیم، به تشدید عوامل آنتروپوژنیک منجر شده‌است. تلفیق نقشه‌ی کاربری اراضی با لغزش‌های منطقه نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی لغزش در محدوده‌ی مرتع با تاج پوشش کم رخ داده است و پس از آن در مناطقی که زراعت دیم دایر می‌باشد.

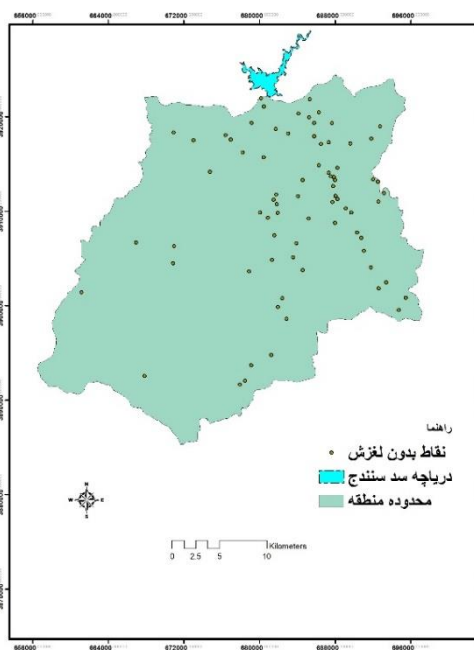
جدول ۹: مشخصات کاربری اراضی منطقه و زمین‌لغزش‌های رخ داده

نوع کاربری	اراضی باغی	جنگل با تاج پوشش کم	جنگل با تاج پوشش متوسط	زراعت آبی	زراعت دیم	محدوده شهر	مراتع با تاج پوشش خوب	مرتع با تاج پوشش فقیر	مرتع با تاج پوشش متوسط
مساحت به KM2	۸۸.۳	۱۴.۶	۴۳.۵	۸.۸	۳۰۱.۸	۳۳.۶	۴۳	۹.۵	۴۲۶
درصد مساحت	۹.۱	۱.۵	۴.۴	۰.۹	۳۱.۱	۳.۵	۴.۴	۱	۴۴
تعداد نقاط لغزشی	۲۱	۱۴	۹	۱۰	۵۶	۱۳	۱۱	۸	۹۵
درصد نقاط لغزشی	۸.۹	۵.۹	۳.۸	۴.۲	۲۳.۶	۵.۵	۴.۶	۳.۴	۴۰.۱

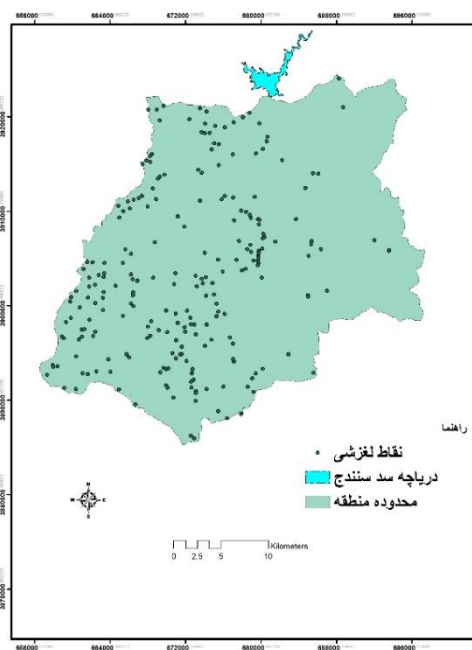


شکل ۱۰: نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه

پس از تهیه‌ی لایه‌های عوامل مؤثر در زمین‌لغزش‌های منطقه در محیط Arc GIS، به شناسایی زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه پرداخته شد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 ETM+ سال ۲۰۱۶ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، نرم‌افزار Google Earth، مطالعات میدانی و داده‌های به دست آمده از اداره منابع طبیعی استان کردستان، ۲۳۷ نقطه‌لغزشی تشخیص داده شد (شکل ۱۱). سپس مختصات نقاط لغزشی به نرم‌افزار Arc GIS منتقل و نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه در این محیط تهیه شد. همچنین در این تحقیق ۸۹ نقطه‌ی غیرلغزشی به منظور استفاده در مراحل آموزش و آزمایش شبکه عصبی پرسپترون در داخل شیب‌های کمتر از ۵ درجه تهیه شد (شکل ۱۲).



شکل ۱۲: نقشه‌ی نقاط غیر لغزشی در منطقه‌ی مورد مطالعه



شکل ۱۱: نقشه‌ی زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه‌ی مورد مطالعه

در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و زبان برنامه‌نویسی پایتون^۱، از مدل شبکه عصبی پرسپترون برای شناسایی پهنه‌های خطر زمین‌لغزش در منطقه استفاده شد. شبکه‌های عصبی مصنوعی^۲ از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده به هم پیوسته با نام نرون تشکیل شده‌است که برای حل یک مسأله به صورت هماهنگ عمل می‌کند و توسط سیناپس‌ها (ارتباطات الکترومغناطیسی) اطلاعات را منتقل می‌سازد. شبکه‌های عصبی با استفاده از الگوی داده‌های وارد شده به آنها، به یادگیری می‌پردازند. یادگیری مدل‌ها که در واقع تعیین پارامترهای داخلی آنهاست، برپایه‌ی قانون تصحیح خطا بنا شده که تعمیم روش مشهور حداقل میانگین مربعات است. در حقیقت در این روش با تصحیح مرتب خطا، بهترین وزن‌ها – که صحیح‌ترین خروجی را برای شبکه ایجاد می‌کند – شناسایی می‌شود. وقتی مناسب‌ترین وزن‌ها توسط مدل به دست آمد؛ به این معنی است که مدل آموزش کافی را دیده‌است و این وزن‌های نهایی بر داده‌های ورودی جدید که در قالب داده‌های مربوط به کارایی مدل است، اعمال می‌شود. سپس با مقایسه‌ی نتایج مدل با مقادیر مشاهده شده، در مورد کارایی آن قضاوت می‌شود. نرون‌ها در قالب لایه ورودی، لایه خروجی و لایه پنهان یا میانی قرار می‌گیرند. نرون‌ها یا واحدهای ورودی، وظیفه‌ی دریافت داده‌های ورودی را بر عهده دارند. لایه‌های میانی و خروجی نیز شامل واحدهای پردازش اطلاعات است. در این واحدها، عملیات جبری بر اطلاعات ورودی اجرا و نتیجه‌ی آنها به صورت یک ورودی جدید به واحدهای دیگر در لایه‌های بعدی ارسال می‌شود. نرون، اساس واحد پردازش در شبکه‌های عصبی است. یک نرون، یک گره به حساب می‌آید که تمام ورودی‌ها را دریافت و بر اساس تابع انتقال خود که به آن تابع فعالسازی گفته می‌شود، یک خروجی را تولید می‌کند (McCulloch and Pitts, 1990). شبکه عصبی پرسپترون چند لایه^۳، شبکه‌ای پس – خورنده^۴ با یک یا چند لایه پرسپترون بین لایه‌های ورودی و خروجی است. این مدل برای طراحی به ۳ دسته داده‌ی آموزشی، آزمایشی و صحت‌سنجی نیازمند می‌باشد. از داده‌های آموزشی برای یافتن رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های مشاهده شده به وسیله‌ی مدل استفاده می‌شود.

در محیط برنامه‌نویسی پایتون نیز تمامی مراحل مدل شبکه عصبی طراحی شد. پس از تبدیل لایه‌ها به رستر، استخراج مقدار DN مربوط به هر لایه برای نقاط لغزشی و غیر لغزشی و ایجاد پایگاه داده^۵ از نقاط لغزشی و مقدار متناظر به هر لایه انجام شد. در این محیط به سه مرحله‌ی پیش‌پردازش داده‌ها، پردازش داده‌ها و پس‌پردازش داده‌ها پرداخته شد، سپس مقدار خطای شبکه حاصل شد.

۴- یافته‌ها (نتایج)

در این پژوهش ۹ عامل تأثیرگذار بر زمین‌لغزش به عنوان لایه ورودی به شبکه عصبی مصنوعی معرفی شد. برای جلوگیری از دخل و تصرف لایه پنهان (میانی) به صورت پیش فرض نرم‌افزار انتخاب شد. از ۷۰ درصد زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه‌ی مورد مطالعه نیز برای آموزش شبکه عصبی و از ۳۰ درصد باقی به عنوان داده‌های زمین مرجع برای آزمایش و کالیبره کردن مدل استفاده شد. الگوریتم پس انتشار خطا از یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مشتق مبنا برای

^۱ پایتون (Python): یک محیط یکپارچه‌ی توسعه‌ی نرم‌افزار همه منظوره، شیء‌گرا، اسکریپتی و متن باز است که توسط خیدوفان روسوم در سال ۱۹۹۱ در کشور هلند طراحی شد.

^۲ Artificial Neural Network

^۳ Multilayer Perceptron's: MLP

^۴ feedforward networks

^۵ Point Shape file

بهینه کردن تابع هزینه در فرآیند آموزش شبکه عصبی استفاده می‌کند. داده‌ها با استفاده از یک شبکه‌ی پرسپترون چندلایه با الگوریتم یادگیری آدام^۱ آموزش دیدند. در مسائل یادگیری هوش مصنوعی منظور از تنظیم فرامپارامترها^۲ یا بهینه‌سازی فرامپارامترها^۳ الگوریتم یادگیری، انتخاب بهینه‌ترین پارامترها برای الگوریتم رسیدن به کمترین خطای ممکن در مدل است (Claesen and De Moor, 2015). در این پژوهش از الگوریتم جستجوی شبکه‌ای^۴ به منظور بهینه‌سازی و تنظیم فرامپارامترهای شبکه عصبی استفاده شده‌است. با تغییراتی که به صورت سعی و خطا بر روی توابع انتقال، تعداد نرون‌های میانی و عوامل مؤثر در تغییر وزن‌ها اعمال می‌شود، مناسب‌ترین مدل شبکه عصبی برای مسئله‌ی مورد نظر به دست می‌آید؛ بدین منظور، توابع انتقال مختلف در لایه میانی و خروجی آزمایش شد و به علت وجود روابط غیرخطی در پدیده‌ی زمین‌لغزش، از توابع انتقال relu ^۵ استفاده شد. در این تحقیق تعداد نرون در لایه میانی از ۱۰ تا ۱۰۰ تغییر یافت و با تعداد ۳۰ نرون، شبکه به کمترین خطا در مرحله‌ی آموزش و آزمایش رسید. ضریب یادگیری که میزان تغییر وزن‌ها را کنترل می‌کند، ۰/۰۱ می‌باشد. روش‌های یادگیری شبکه MLP نیز بر اساس الگوریتم پس انتشار خطاست. به علت استفاده از تابع بهینه‌سازی آدام در فرآیند یادگیری شبکه، مقدار مومنتم به صورت انطباقی می‌باشد. ساختار نهایی شبکه دارای ۹ نرون در لایه ورودی، ۳۰ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی است (جداول ۱ و ۲).

جدول ۱۰: ورودی‌های جستجوی شبکه‌ای یا گرید سرچ

"lbfgs", "sgd", "adam"	تابع بهینه‌سازی
[10,100]	تعداد نرون‌های لایه پنهان
"logistic", "tanh", "relu"	تابع فعالسازی

جدول ۱۱: بهترین معماری شبکه یافت شده توسط جستجوی شبکه‌ای

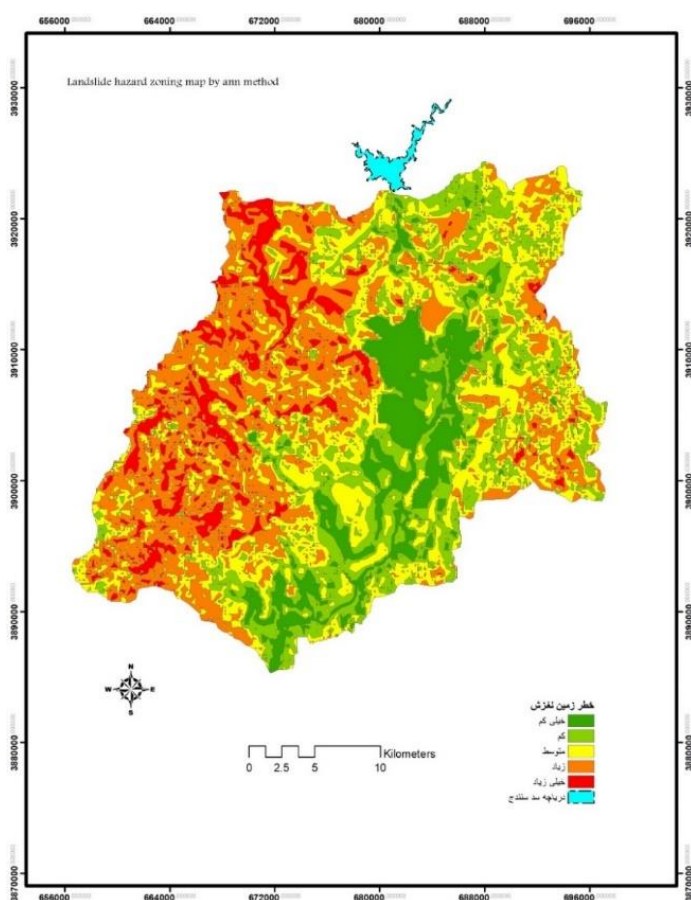
"adam"	تابع بهینه‌سازی
30	تعداد نرون‌های لایه پنهان
'relu'	تابع فعالسازی

پس از آماده‌سازی شبکه عصبی، منطقه‌ی مورد مطالعه با ۹۷۰ کیلومتر مربع با ۹ متغیر ورودی – که تبدیل به داده‌های رستری به پیکسل‌های ۳۰*۳۰ شدند – تحلیل شد. نتایج تحلیل به صورت نقشه‌ای با پنج طبقه خطر زمین‌لغزش ترسیم شد (شکل ۱۳). براساس نتایج به دست آمده طبقه خطر زیاد با ۳۱ درصد از مساحت حوضه، گسترده‌ترین طبقه خطر به استناد مدل شبکه عصبی پرسپترون می‌باشد. پهنه خطر متوسط نیز بیش از ۲۹ درصد منطقه را شامل می‌شود و پس از آن پهنه خطر کم قرار دارد (جدول ۱۲).

^۱ Adam^۲ hyper parameter tuning^۳ hyper parameter optimization^۴ Grid search^۵ در این تابع، اگر مقدار X بزرگ‌تر از صفر باشد، خروجی X است و اگر مقدار X کوچک‌تر یا مساوی صفر باشد، خروجی آن صفر است.

جدول ۱۲: درصد مساحت طبقات خطر زمین‌لغزش با مدل شبکه عصبی مصنوعی

طبقه	مساحت به km2	درصد مساحت
خیلی کم	۱۱۱/۷۳	۱۱/۵۱
کم	۱۹۰/۸۲	۱۹/۶۶
متوسط	۲۸۷/۷۳	۲۹/۶۴
زیاد	۳۰۱/۲۲	۳۱/۰۳
خیلی زیاد	۷۹/۰۹	۸/۱۵
مجموع	۹۷۰/۷	۱۰۰



شکل ۱۳: نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی

برای ارزیابی نتایج، از ۵ روش برای تشخیص دقت و خطای مدل استفاده شد و بر این اساس مدل شبکه عصبی مورد قضاوت قرار گرفت. نتیجه‌ی تحلیل خطای شبکه مدل، عددی است ما بین صفر و یک که هر چه مقدار این عدد به یک نزدیک‌تر باشد، مدل از دقت بیشتری برخوردار است (جدول ۱۳).

ماتریس خطا، ماتریسی مربعی است که از مقایسه‌ی تعداد داده‌های نمونه مرجع در هر کلاس با تعداد نمونه‌های خروجی از مدل برای هر کلاس ساخته می‌شود. ارزیابی خطا و برآورد دقت طبقه‌بندی از ماتریس خطا استخراج می‌شود (جدول ۱۳). پاسخ‌های خروجی ماتریس خطا نشان می‌دهد که شبکه عصبی ایجاد شده می‌تواند از میان ۲۳۷ نقطه‌ی

لغزشی، ۲۳۴ مورد را به درستی گزارش کند که این بیانگر حساسیت تشخیص به مقدار ۹۸.۷۳ درصد می‌باشد. همچنین از میان ۸۹ نقطه‌ی غیرلغزشی، شبکه توانست به تشخیص ۷۵ مورد از نقاط پیردازد که این بیانگر ویژگی تشخیص به مقدار ۸۴.۲۶ درصد است. بنابراین، دقت کلی شبکه ۹۱.۴۹ درصد می‌باشد.

جدول ۱۳: نتایج آماری صحت‌سنجی مدل شبکه عصبی پرسپترون

دقت کلی	دقت تولیدکننده	دقت مصرف‌کننده	امتیاز F1	ماتریس خطا
۰/۹۰	۰/۹۸	۰/۷۶	۰/۸۵	طبقه‌بندی شده طبقه‌بندی با دقت کمتر
				۱۴ ۷۵
				۳ ۲۳۴

۵- بحث و نتیجه‌گیری

منطقه‌ی پایین‌دست سد سنندج، یکی از فعال‌ترین مناطق استان کردستان و غرب کشور از نظر فعالیت‌های انسانی است. جابه‌جایی توده‌ای مواد از جمله زمین‌لغزش، از فرایندهای دامنه‌ای مشکل‌آفرین در منطقه‌ی مورد مطالعه به شمار می‌رود. در این پژوهش برای نخستین بار با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون، از مدل شبکه عصبی پرسپترون برای تحلیل پایداری دامنه‌ها و شناسایی پهنه‌های خطر زمین‌لغزش در منطقه استفاده شد. در نقشه‌های پهنه‌بندی خطر، مناطق مطلوب برای فعالیت‌های انسانی (مناطق خیلی کم و کم‌خطر) و مناطق نامطلوب (مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد) مشخص شده‌اند. بر اساس مدل شبکه عصبی پرسپترون از مجموع ۹۷۰ کیلومتر مربع مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه، حدود ۳۱ درصد در محدوده‌ی مناطق مطلوب برای فعالیت‌های انسانی قرار دارد. همچنین حدود ۳۹ درصد، در محدوده‌ی مناطق نامطلوب و بسیار نامطلوب قرار گرفته‌است.

زمین‌لغزش، باعث برهم خوردن تعادل در دامنه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه شده‌است. ویژگی‌های طبیعی منطقه همانند آسیب‌پذیری بخش بزرگی از سازندهای زمین‌شناسی (شیل‌های ماسه‌ای و آهکی و واحدهای آبرفتی)، آب و هوای نیمه مرطوب سرد همراه با شیب تند دامنه‌ها، نوع کاربری اراضی و عوامل متنوع انسانی، در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه تأثیرگذار می‌باشد. نوسان شدید دما با بارش‌های قابل توجه بهاری، هوازدگی شدید لایه‌های شیلی و آهکی به تشکیل قشر ضخیم خاک به خصوص در بخش غرب و جنوب غرب حوضه منجر شده‌است. کوهستان‌های اطراف که به صورت دو رشته نواری در حاشیه‌ی شرقی و غربی کشیده شده‌اند، دارای شیب‌های فشرده و دره‌های عمیق هستند و تحت حاکمیت شرایط فیزیوگرافی، مناطق مخاطره‌آمیزی را شکل داده‌اند؛ گسل‌های منطقه از جمله گسل صلوات‌آباد در شرق حوضه - که باعث ایجاد هورست و گرابن شده‌است - در این امر نقش بارزی دارد. اختلاف ارتفاع چشمگیر واحد کوهستان با بستر رودخانه نیز به ایجاد مخاطرات و تحول لندفرم‌های منطقه منجر شده‌است. نتایج مدل شبکه عصبی پرسپترون مطابق با واقعیت مخاطرات دامنه‌ای منطقه است و پهنه‌های با خطر بالا، اغلب در غرب و جنوب غرب حوضه واقع شده‌اند. این مناطق منطبق بر واحد کوهستان و شیب زیاد است. زراعت دیم و زمین‌های مرتعی با تاج پوشش متوسط نیز در این قسمت گسترش زیادی دارد. روستاهای گرماش، کرجو، ژنان، ئارندان، درویشان و چندین روستای دیگر در بخش غربی منطقه، در پهنه‌ی با خطر خیلی زیاد قرار گرفته‌اند و مساکن و زمین‌های کشاورزی این

مناطق از سوی حرکات توده‌ای تهدیدپذیر می‌باشد. حاشیه‌ی غربی شهر سنندج - که در مرکز حوضه واقع شده‌است - نیز تحت تأثیر زمین‌لغزش‌های متعددی بوده و در پهنه‌ی خطر زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شده‌است. این بخش بر روی واحدهای لیتولوژی KP1 و KP3 که شامل شیل‌های ماسه‌ای تا آهکی و آهک فسیل‌دار می‌باشند، قرار دارد و عموماً با توجه به شیب زیاد دامنه، همبستگی مثبت بارندگی و عامل ارتفاع، در هنگام بارش‌های شدید بهاری و افزایش وزن بار و زیربری دامنه‌ها بر اثر ساخت و سازهای شهری رخ داده‌اند. بخش مرکزی و جنوبی حوضه در امتداد رودخانه‌ی قشلاق تا خروجی حوضه نیز در پهنه‌های با خطر خیلی کم و کم طبقه‌بندی شده‌است. این بخش به عنوان سایت مهم اقتصادی و کشاورزی منطقه محسوب می‌شود. بخش شرقی حوضه متأثر از حرکات توده‌ای به خصوص ریزش و جریان‌های واریزه‌ای است و در پهنه‌های با خطر متوسط به بالا تقسیم‌بندی شده‌است.

نتایج صحت‌سنجی پهنه‌بندی خطر نشان می‌دهد که در این منطقه مدل شبکه عصبی پرسپترون با دقت ۹۱.۴۹ درصد دقت بسیار خوبی دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود به منظور هر گونه اقدامات اجرایی در منطقه، نقشه‌ی حاصل شده به عنوان نقشه‌ای مبنا در نظر گرفته شود. وسعت مناطق نامطلوب در حوضه نشان می‌دهد که در مجموع، منطقه‌ی مورد مطالعه پتانسیل بالایی برای وقوع زمین‌لغزش دارد و باید توسط مدیران در سیاست‌های توسعه‌ی منطقه قابل توجه قرار گیرد. با توجه به حساسیت دامنه‌های ناپایدار منطقه، هر گونه برنامه‌ریزی به منظور تغییر کاربری و ساخت و ساز - که سبب افزایش وزن بار در دامنه‌های ناپایدار شود - بایستی با در نظر گرفتن شرایط ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی منطقه صورت گیرد.

منابع

1. Caniani, D.; Pascale, S.; Sdao, F.; & A. Sole, 2008. Neutral networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza, *Natural Hazards*, 45, 55-72.
2. Claesen, M., & B. De Moor., (2015). Hyperparameter search in machine learning. Arxiv preprint arxiv. 1502.02127.
3. Conforti, M.; Pascale, S.; Robustelli, G.; & F. Sdao, 2014. Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (Northern Calabria, Italy), *Catena*, 113, 236-250.
4. Dahal, R. K.; Hasegawa, S.; Nonomura, A.; Yamanaka, M.; Dhakal, S.; & P. Paudyal, 2008. Presictive Modeling of Rainfall - induced, *Geomorphology*, 102, 496-510.
5. Ermini, L.; Catani, F.; & N. Casagli, 2005. Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment, *Geomorphology*, 66.
6. Emadeddin, S., & A. Moradi., 2017. Landslide Hazard Assessment Using Hierarchical Analysis Process, Artificial Neural Network Analysis, and Field Studies with Risk Reduction Approach at Haraz Road. *Quantitative Geomorphology Research*. 6, 190-172. (in Persian).
7. Fatemi Aghda, M., & N. Salimi., (2015). Landslide hazard zonation using artificial neural networks (Case study: Taleghan Watershed. Unpublished Master's Thesis. Tarbiat Moallem University. Tehran. Iran. (in Persian).
8. Geological Survey of Iran, 1990. Description of 100000: 1 Quadrilateral Geology of Sanandaj. (in Persian).
9. Karam, A. S., 2007. Application of WLC Weighted Linear Model in Slip Potential Zoning, *Geography and Development*, Fall and Winter, 16, 131-146. (in Persian).
10. Lootsma, F., 1989. Conflict resolution via pairwise comparison of concessions, *European Journal of Operational Research*, 40(1), 109-116.

11. McCulloch, W. S., & W. Pitts., (1990). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of mathematical biology*. 52(1-2), 99-115.
12. Mirsanie, R., & M. Mehdifar., (2006). Optimal Methods and Criteria for Landslide Hazard Mapping, *Natural Disaster Research Institute*. (in Persian).
13. Nairi, H., & M. Karami., (2018). Integration of Analytical Hierarchy Process Model and Neural Networks to Zoning Risk of Bijar Landslide Occurrence. *Engineering Geology*. 12, (1), 153-182. (in Persian).
14. Pradhan, B., & S. Lee., (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.
15. Rajabi, M., & M. Feyzollahpour., (2014). Zoning of landslide-prone areas in the Givi Chay River Basin using Artificial Neural Networks Model. *Geography and Development*. 36. (in Persian)
16. Rakei, B., 2005. Application of Artificial Neural Network System in Landslide Risk Mapping, Case Study: Sefidarleg Area in Semnan Province, *Journal of Science*, 11, 42 - 35. (in Persian)
17. Ranjbar, M., & A. S. Falak., (2014). Investigation and analysis of AHP and ANN models in landslide hazard zonation of southern Alborz slopes (Tajrish area of Tehran). *Geographical Land Quarterly*. 3(43), 85-97. (in Persian).
18. Rezaei Moghaddam, M.; Valizadeh, KH.; Nikoo, M.; & M. Balavasi, 2017. Application of Artificial Neural Network Model in Landslide Risk Zoning of Alushtar Basin, *Geography and Planning*, 59, 86-93. (in Persian).
19. Rosenfeld, C. L., 2004. Geomorphological Hazard, *Encyclopedia of Geomorphology*, 1, 423-426.
20. Roustaei, SH.; Valizadeh, KH.; & S. Narimani, 2016. Evaluation of Artificial Intelligence Model and Multi Criteria Decision Modeling in Landslide Risk Mapping (Case Study: Idoghmush Chai Basin), Unpublished M.Sc., University Tabriz. Iran. (in Persian).
21. Sour, S., 2011. Landslide hazard zonation using artificial neural network, Case study of Nojian watershed, *Engineering Geology*, 5(2), 103-86. (in Persian)
22. Van Westen, C. J., 1993. Application of Geographic Information Systems in Landslide Hazard Zonation, ITC publication, P15.
23. Zarepour, Q., 2005. Landslide zonation in Roudbar and Manjil area using artificial neural network, unpublished dissertation M.Sc. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (in Persian).

Landslide hazard zonation using artificial neural network model downstream of Sanandaj Dam

Adnan Naseri¹: PHD Candidate in Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz

Asadollah Hejazi: Associate Professor, Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University. Tabriz

Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam: Professor, Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University. Tabriz

Article History (Received: 2020/03/19

Accepted: 2020/06/6)

Extended abstract

1- Introduction

Landslide as a morphological risk factor is the result of the operation of natural and environmental factors that, like other morphological irregularities, causes damage to human facilities, infrastructure, and property. One of the most significant works of geomorphology is the identification of stable landforms and places with minimal potential for catastrophic or lethal phenomena caused by environmental processes that have a detrimental effect on humans and their affinities (Rosenfeld, 2004, p. 423). Mass movements in mountainous areas are one of the natural processes and one of the most important causes of landscapes (Van Westen, 1993, p. 2) Landslide sensitivity zoning is one of the essential tools in risk management and decision making (Dahal, 2008, p 496). The purpose of this study is to identify landslide hazard zones in the downstream basins of Sanandaj Dam with an area of 970 km². Annually, mass movements in the area cause damage to roads, power lines, rangelands and natural resources, farms and residential areas and increase the amount of soil erosion in the area. This basin is located on Sanandaj-Sirjan structural zone based on common structural divisions of Iran. Kurdistan mainly with mountainous topography, high tectonic activity, diverse geological and climatic conditions, has the major natural conditions for creating a wide range of mass movements. According to available statistics and also the research of MIRSANIE et al (2006), Kurdistan province is the third most landslide province after Mazandaran and Golestan. If it is a criterion for the ranking of the provinces, it will be ranked higher. NAIRI and KARAMI, 2018).

2- Methodology

In this study, in order to map the landslide hazard according to geological, geomorphological, hydrological, climatic and human and environmental factors of the area, 9 effective factors include slope, slope direction, distance from fault, distance from road, distance from Waterways, lithology, land use and precipitation were identified and evaluated. The required information layers were then prepared in Arc GIS 10.6 software environment. The first step in zoning is to identify the landslides that have occurred in the area. Using the 2016 Landsat 8 ETM + satellite imagery with a spatial resolution of 30 meters, Google Earth software and field studies identified 237 landslides. In this study, 89 non-slip points were prepared for using in training and testing stages of perceptron neural network in slopes of less than 5 degrees. Artificial neural networks have been created from a number of limitations of advanced content management services to the top walkway called Neuron, which works for problem solvers and can select information through synapses. Neural networks begin to learn using the data pattern entered into them. The learning of models, which in fact determine their

¹ Corresponding Author: adnannaseri@yahoo.com

internal parameters, is based on the error correction law, which is the generalization of the well-known least squares method. In fact, in this method, by regularly correcting the error, the best weights that provide the most accurate output for the network are identified. The neurons fall into the input layer, the output layer, and the hidden or middle layer.

3- Results

By default, the software was selected to prevent interference and capture of the hidden layer. 70% of landslides in the study area were used to train the neural network and the remaining 30% were used as reference land data for testing and calibrating the model. Data were trained using a multilayer perceptron network with Adam's learning algorithm. In this study, a network search algorithm was used to optimize and adjust neural network meta-parameters. Because of nonlinear relationships in landslide phenomenon, relu transfer functions were used. The coefficient of learning that controls the amount of weight change is 0.01. The final network structure has 9 neurons in the input layer, 30 neurons in the hidden layer and 1 neuron in the output layer. After preparing the neural network, the study area was analyzed with 970 square kilometers with 9 input variables that were converted to raster data in 30 x 30 pixels. The results of the analysis were plotted with five categories of landslide hazard. It uses 5 methods for model error detection

4- Discussion & Conclusions

The downstream area of Sanandaj Dam is one of the most active areas of Kurdistan province in terms of human activities. In the risk zoning maps, the optimal areas for human activities (very low and low risk areas) as well as the unfavorable areas (high and very high-risk areas) are identified. According to the neural network model, about 31% are in the range of desirable areas for human activity. Also, about 39% are in the area of undesirable and very undesirable areas. The natural features of the region affect the occurrence of landslides in the region. The results of the neural network model are in line with the realities of the region's wide-risk hazards, and high-risk areas are often located in the west and southwest of the basin. These areas correspond to the mountain unit and the steep slope. The western outskirts of Sanandaj have been affected by landslides and have been classified as high-risk and high-risk. The central and southern parts of the basin are arranged along the Qashlaq River to the exit of the basin in the areas with very low and low risk. The eastern part of the basin is affected by mass movements, especially precipitation and inflows, and is divided into areas with medium to high risk. The results of risk zoning validation show that in this region, the neural network model with 91.49% accuracy has very good accuracy. It is suggested that the resulting map be considered as a base map in order to carry out any executive actions in the area. The vastness of unfavorable areas in the basin indicates that the study area in general has a high potential for landslides.

Key Words: hazard zoning, landslide, model, neural network.