



پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی و تاپسیس در
پایین‌دست سد سنندج

اسد الله حجازی*¹، محمدحسین رضایی مقدم²، عدنان ناصری³

1- دانشیار گروه ژئومورفولوژی دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

2- استاد گروه ژئومورفولوژی دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

3- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تأیید نهایی مقاله: 1399/06/10

وصول مقاله: 1399/01/25

چکیده

نقشه‌های حساسیت وقوع زمین لغزش یکی از مهم‌ترین ابزارهای لازم برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران محیطی به‌ویژه در مناطق کوهستانی است. هدف تحقیق حاضر بررسی و مقایسه‌ی دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل تاپسیس در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه‌ی پایین‌دست سد سنندج است. بدین منظور 9 لایه‌ی ورودی شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، هیپسومتري، فاصله از عوامل آبراهه، جاده و گسل در محیط Arc GIS بکار گرفته شد. نقاط لغزشی و غیرلغزشی منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مشخص گردید. در هر دو مدل از وزن‌یابی درونی در تعیین وزن لایه‌ها استفاده شد. در مدل شبکه‌ی عصبی داده‌ها با استفاده از یک شبکه‌ی پرسپترون چندلایه با الگوریتم یادگیری آدام آموزش دیدند و از الگوریتم جستجوی شبکه‌ای به منظور بهینه‌سازی شبکه‌ی عصبی استفاده شد. ساختار شبکه دارای 9 نرون در لایه ورودی، 30 نرون در لایه میانی و 1 نرون در لایه خروجی است. در مدل تاپسیس پس از بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم از روش آنتروپی شانون برای وزن‌دهی به معیارها و به منظور تعیین فاصله نسبی از ایده‌آل مثبت و منفی، از فاصله‌ی اقلیدسی استفاده شد. پس از آماده‌سازی مدل‌ها و تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در 5 کلاس خطر لغزش در هر مدل تهیه شد. براساس مدل شبکه‌ی عصبی، حدود 31 درصد و مدل تاپسیس 30 درصد از منطقه در محدوده‌ی مناطق مطلوب جهت فعالیت‌های انسانی قرار دارد. همچنین براساس مدل شبکه‌ی عصبی حدود 39 درصد و مدل تاپسیس 42٪ از منطقه در محدوده‌ی مناطق نامطلوب و بسیار نامطلوب واقع شده‌اند. نتیجه تحلیل خطای مدل‌ها با استفاده از 5 روش محاسباتی میزان خطا نشان می‌دهد که مدل شبکه‌ی عصبی پرسپترون دارای خطای کمتر و انطباق بیشتری است و با جغرافیای منطقه سازگاری بهتری دارد.

کلمات کلیدی: زمین لغزش، پهنه‌بندی خطر، شبکه‌ی عصبی، تاپسیس، حوضه‌ی آبریز قشلاق سنندج.

1- مقدمه

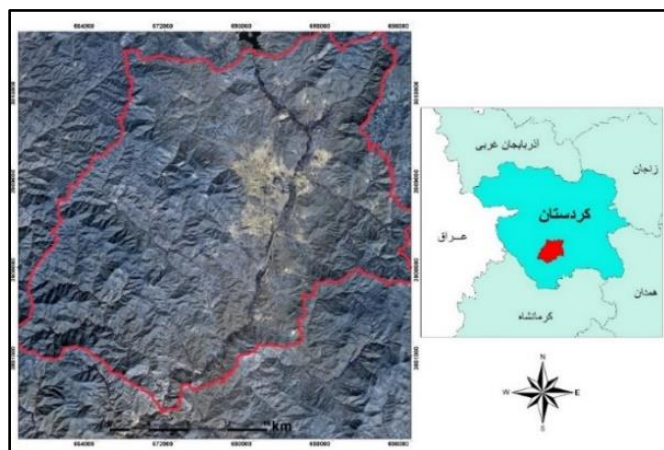
زمین لغزش یک فرآیند ژئومورفولوژیک است که به دلیل تاثیرات نسبتاً شدید آن بر سامانه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیرساخت‌ها، مخاطره‌ی طبیعی شاخص به شمار می‌آید (کرم و همکاران، 1389). این پدیده در نواحی کوهستانی یکی از فرآیندهای طبیعی و از مهم‌ترین عوامل بوجود آورنده‌ی چشم‌اندازها محسوب می‌شود (ون وستن¹، 1993: 2). زمین لغزش توسط مکانیزم‌های مختلفی مانند زمین‌لرزه، بارندگی و یا سایر عوامل ایجاد می‌شود که برخی از آنها هنوز ناشناخته‌اند (ونگ² و همکاران، 2017). 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 اثر نامطلوبی بر انسان و تعلقات وی می‌گذارد (روزنفلد³، 2004). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، استعدادهای بالقوه ناحیه را بهتر سنجیده و یک ناحیه را از نظر خطرپذیری به چند زیرناحیه تقسیم می‌کند تا کار برنامه‌ریز آسان‌تر گردد (یمانی و همکاران، 1391). همچنین پهنه‌بندی مناطق مخاطره‌آمیز با روش علمی و دقیق می‌تواند در راستای کاهش ریسک، مناسب‌ترین راه از نظر صرف هزینه و زمان باشد. استان کردستان با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از حرکات توده‌ای دارد. بر اساس آمارهای موجود و نیز پژوهش‌های (میرصانعی و همکاران، 1385)، استان کردستان سومین استان به لحاظ زمین لغزش بعد از مازندران و گلستان است. چنانچه ملاک رتبه‌بندی مساحت استانها باشد این استان در رتبه بالاتری قرار می‌گیرد (نیری و همکاران، 1397). همه ساله حرکات توده‌ای در منطقه پایین‌دست سد سنندج، موجب خسارت به راه‌ها، خطوط انتقال نیرو، شبکه‌ی شریان‌های حیاتی داخل شهر، مراتع و منابع طبیعی، مزارع و نقاط مسکونی می‌گردد و حجم فرسایش خاک را نیز در منطقه افزایش داده است. گسترش حاشیه‌نشینی و ایجاد شهرک‌های جدید در دامنه کوه‌ها که در موارد بسیار با شیب تند دامنه همراه می‌باشد، تغییر کاربری‌اراضی و ایجاد زمین‌های کشاورزی به صورت غیراصولی بر روی دامنه‌های پرشیب، از مسائل و مشکلات منطقه است. در این منطقه با توجه به ارتفاع و شیب زیاد دامنه‌ها، بارش‌های بهاری شدید و رواناب‌های سطحی، احداث جاده و زیربُری دامنه‌ها و ... حرکات توده‌ای کوچک و بزرگی شکل گرفته که بر روی سیستم‌های طبیعی، اقتصادی و اجتماعی منطقه تأثیرات مخربی داشته است. به دلیل کوهستانی بودن این حوضه، ریزش‌های سنگی و زمین لغزش در سطح دامنه‌ها، به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات ژئومورفولوژیکی در محدوده‌ی زیست انسان‌ها نمود پیدا کرده است. با توجه به نوع اقلیم و فرآیندهای مورفولوژیک، پارامترهای تاثیرگذار

1- Van Westen
 2- Wang et al
 3- Rosenfeld

جهت ایجاد زمین لغزش در جغرافیای منطقه فراهم می‌باشد. در حال حاضر ناپایداری دامنه‌ای به عنوان یک شکل مهم تخریب، در منطقه قابل بررسی است و هدف تحقیق حاضر نیز ارزیابی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از دو مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی و تاپسیس می‌باشد. این مقصود با تولید نقشه‌های پهنه‌بندی خطر و مقایسه نتایج دو مدل در منطقه صورت می‌گیرد. مطالعات بسیاری با موضوع پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در ایران و جهان انجام شده است که در اینجا به چند مورد اشاره می‌گردد. جیمنز پرالوارزا¹ و همکاران (2017) در پژوهشی به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از طریق ارزیابی چند تکنیک در بتیک اسپانیا پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که از هر 6 درصد لغزشی که در منطقه اتفاق می‌افتد 5 درصد آن دارای خطر متوسط تا بسیار زیاد است. لی و همکاران (2017) به مقایسه‌ی مدل‌های ANN و ماشین بردار پشتیبان در کره جنوبی پرداختند و نتایج نشان داد که مدل ANN با دقت 78٪ دارای عملکرد بهتری است. ونگ و همکاران (2017) مطالعه‌ای با عنوان کاربرد مدل ترکیبی شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک برای ارزیابی حساسیت به لغزش در منطقه‌ای از چین انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که بیشتر زمین لغزش‌ها در دامنه‌های محدب و در ارتفاع 100-150 متر با جهت شیب 135 تا 225 درجه و همچنین زاویه‌ی شیب 40 تا 60 درجه اتفاق می‌افتد. روستایی و همکاران (1395) در حوضه آبریز آیدوغموش چای آذربایجان شرقی به مقایسه‌ی عملکرد مدل ANN و AHP در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که مدل ANN با درصد لغزشی 97/22 روش کارآمدتری است. رضایی‌مقدم و همکاران (1396) دریافتند که در حوضه الشتر، بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با مدل ANN به ترتیب 44/37، 7/45، 8/93، 32/49، 6/76 درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. (رضوی ترمه و همکاران، 1397) در حوضه‌ی آبخیز فهلیان استان فارس با مدل تاپسیس و مقایسه آن با مدل‌های نسبت فراوانی و آنتروپی، اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نمود. نتایج نشان می‌دهد که دقت مدل آنتروپی بیشتر است. از دیگر کارهای انجام گرفته در خصوص پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. امیراحمدی و همکاران، (1396) با مدل آنتروپی در منطقه قوچان، رحیم‌پور و همکاران (1396) با مدل تحلیل سلسله مراتبی در حوضه‌ی سردول اردبیل، نوشادی و همکاران (1397) در مسیر پیرانشهر به سردشت با مدل تاپسیس، عمادالدین و مرادی (1397) با استفاده از مدل‌های شبکه‌ی عصبی و تحلیل سلسله مراتبی در محور جاده هراز، نیری و کرمی (1397) با استفاده از مدل‌های شبکه‌ی عصبی و تحلیل سلسله مراتبی در شهرستان بیجار، طاهری و همکاران (1398) پایان نامه دکتری با موضوع پهنه‌بندی و ارزیابی آسیب پذیری ناشی از زمین لغزش‌ها در حوضه‌های کوهستانی استان گلستان و ... نام برد.

2- مواد و روش

- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه: حوضه رودخانه قشلاق با روند شمالی-جنوبی یک منطقه کوهستانی است که در استان کردستان قرار دارد. این حوضه از نظر زمین ساختی بر پایه تقسیمات ساختاری رایج ایران، بر روی زون ساختاری سنندج - سیرجان قرار گرفته است (سازمان زمین‌شناسی کشور، 1369). منطقه‌ی مورد مطالعه به مساحت 970/7 کیلومتر مربع در پایین‌دست سد سنندج، به مختصات جغرافیایی 35 درجه و 5 دقیقه تا 35 درجه و 20 دقیقه عرض شمالی و 46 درجه و 45 دقیقه تا 47 درجه و 5 دقیقه طول شرقی می‌باشد (شکل 1). مرتفع‌ترین قله‌ی منطقه حدود 3000 متر از سطح دریا ارتفاع دارد. کم ارتفاع‌ترین منطقه در حاشیه‌ی رودخانه‌ی قشلاق واقع در خروجی حوضه است و 1300 متر از سطح دریا ارتفاع دارد. طول رودخانه قشلاق از محل سد تا تلاقی با گاو رود حدود 52/8 کیلومتر است. شهر سنندج به عنوان مرکز استان کردستان، در داخل منطقه‌ی مورد مطالعه قرار دارد.



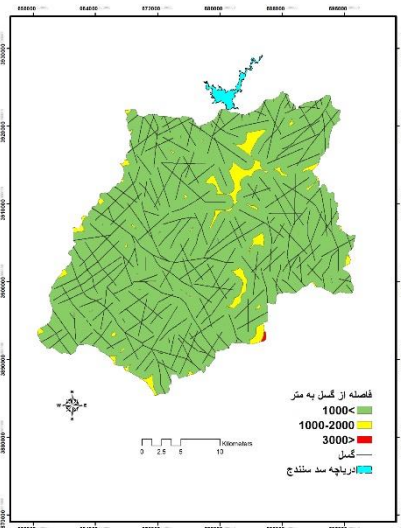
شکل (1): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure (1): Location map of the study area

- روش تحقیق: پژوهش حاضر شامل 5 مرحله‌ی بررسی پیشینه تحقیق و جمع‌آوری داده‌ها، تهیه لایه‌های اطلاعاتی، اجرای مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی و تاپسیس، تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه با مدل‌های مذکور و آزمون صحت‌سنجی مدل‌ها می‌باشد. در این مطالعه به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، اقلیمی و عوامل انسانی و زیست محیطی منطقه، 9 عامل موثر شامل شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، لیتولوژی، کاربری اراضی و بارش شناسایی و مورد بررسی قرار گرفتند. سپس لایه‌های اطلاعاتی

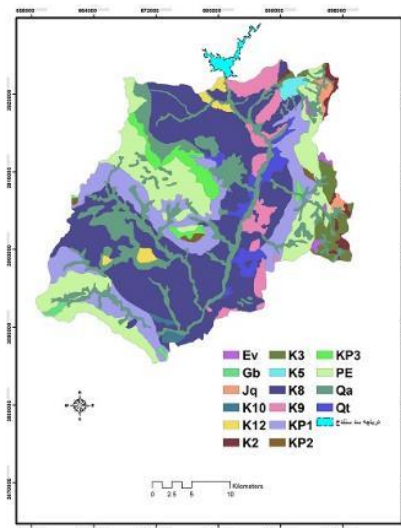
مورد نیاز در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.6 تهیه شدند. به این منظور از نقشه توپوگرافی 1:50000 (محدوده‌ی مورد مطالعه در چهارچوب 4 شیت نقشه‌ی توپوگرافی سنندج، سنندج قطعه 1، گلین و موجش)، نقشه‌ی زمین‌شناسی به مقیاس 1:100000، DEM سی متری SRTM منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده گردید. نقشه‌های شیب و طبقات ارتفاعی به وسیله‌ی نقشه‌ی رقومی ارتفاعی (DEM) تهیه شد. نقشه‌ی گسل از نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه و نقشه‌ی آبراهه از نقشه‌های توپوگرافی حاصل شد و سپس لایه-ی وکتوری آن تهیه شد. لایه‌ی جاده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه و لایه وکتوری جاده‌های کشور بدست آمد. نقشه‌ی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی Landsat 8 ETM+ سال 2016 با قدرت تفکیک مکانی 30 متر تهیه شد. نقشه‌ی بارش منطقه با توجه به داده‌های ایستگاه‌های بارانسنجی منطقه، (1377-1396) با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ حاصل شد (شکل 2 تا 10).

جدول (1): مشخصات واحدهای سنگ‌شناسی حوضه قشلاق
Table (1): Specifications of lithological units of Gheshlagh basin

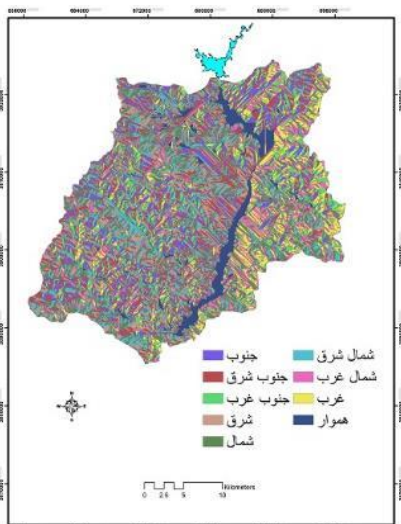
درصد مساحت	مساحت	مشخصات واحدهای لیتولوژیک	زمین‌شناسی
2.8	2.7	گابرو و دیوریت	Gb
2.6	25.6	آهک اوربیتولین دار خرد و شکسته	K3
0.7	6.7	کوارتزیت - شیل ژوراسیک	Jq
0.5	5.2	چینه‌های آهکی با دانه‌های کوارتز	K10
2.9	28.6	آهک اوربیتولین دار بلورین	KP3
1.2	11	آهک خاکستری دارای آمونیت‌های کرتاسه بالا	K12
0.9	9.3	شیل، سیلتستون، ماسه سنگ	K2
5	49.5	آتشفشانی پورفیری آندزیتی	K9
0.4	4	توف‌های آذر آواری	Ev
0.6	6.3	ماسه سنگ آهکی، آهک سیلیسی شیل و آتشفشانی آندزیتی	K5
0.4	3.8	شیل‌های ماسه‌ای با گدازه‌های آندزیتی	KP2
15.6	152	فلیش، شیل‌های آهکی و آمیخته‌ای، آمیزه رنگین افیولیت	PE
33.4	324	شیل خاکستری سنندج با عدسی‌های ولکانیکی	K8
13.7	133	شیل‌های ماسه‌ای تا آهکی با میان لایه‌های ولکانیک و آهک	KP1
18.7	182	نهشته‌های آبرفتی رودخانه، اراضی کشاورزی پادگانه‌های آبرفتی	Qa
2.7	26.3	پادگانه‌های آبرفتی قدیمی	Qt



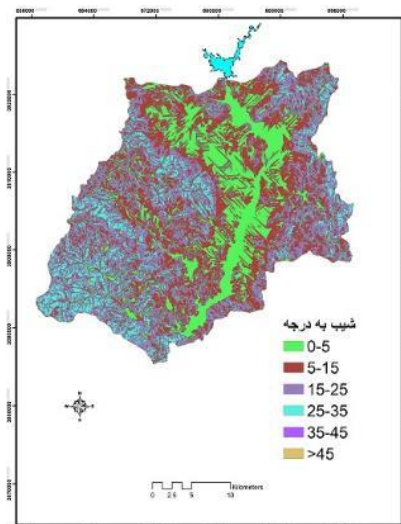
شکل (3): نقشه ی فاصله از گسل منطقه ی مورد مطالعه
 Fig (3): Distance map of the fault



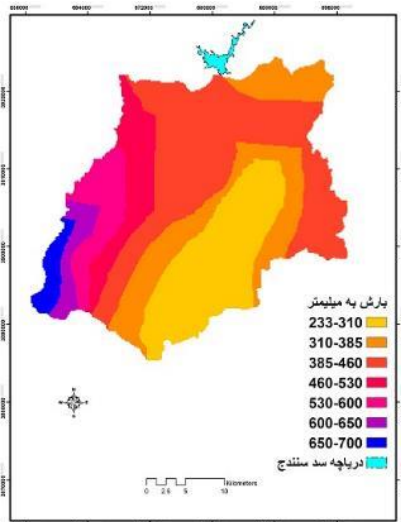
شکل (2): نقشه ی زمین شناسی منطقه ی مورد مطالعه
 Fig (2): Geological map of the study area



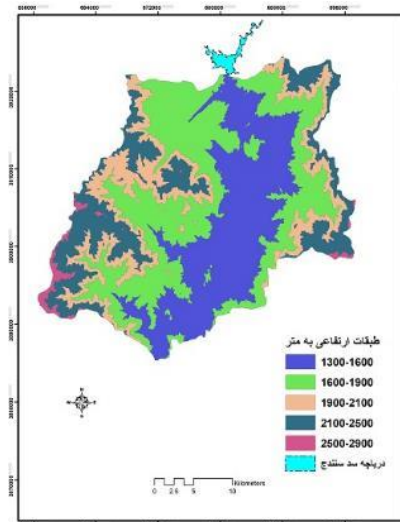
شکل (5): نقشه ی جهت شیب منطقه ی مورد مطالعه
 Fig (5): Aspect map of the study area



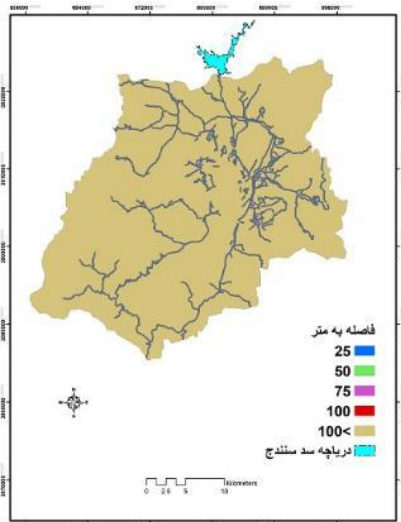
شکل (4): نقشه ی شیب منطقه ی مورد مطالعه
 Fig (4): Slope map of the study area



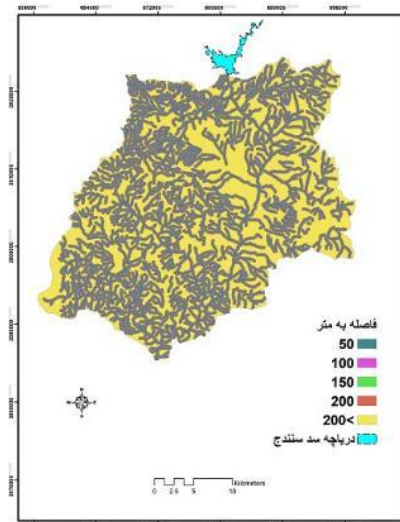
شکل (7): نقشه‌ی بارش منطقه‌ی مورد مطالعه
Fig (7): Precipitation map of the study area



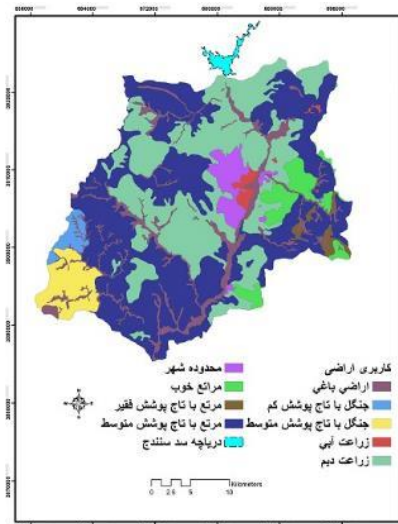
شکل (6): نقشه‌ی طبقات ارتفاعی منطقه
Fig (6): Elevation map of the study area



شکل (9): نقشه‌ی فاصله از جاده در منطقه
Fig (9): Distance Map from the road

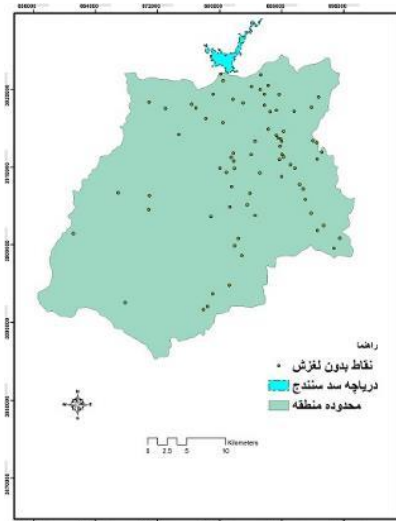


شکل (8): نقشه فاصله از شبکه‌ی زهکشی در منطقه
Fig (8): Distance Map from the Stream

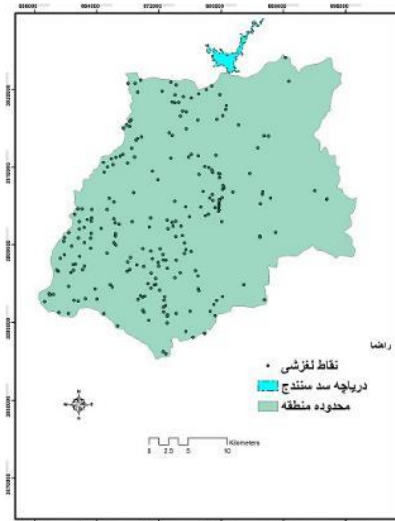


شکل (10): نقشه ی کاربری اراضی منطقه ی مورد مطالعه
Fig (10): land use map of the study area

پس از تهیه ی لایه های عوامل موثر در زمین لغزش های منطقه در محیط Arc GIS اقدام به شناسایی زمین لغزش های رخ داده در منطقه شد. با استفاده از تصاویر ماهواره ای Landsat 8 ETM+، نرم افزار Google Earth، مطالعات میدانی و داده های بدست آمده از اداره منابع طبیعی استان کردستان 237 نقطه لغزشی مشخص گردید (شکل 11). سپس مختصات نقاط لغزشی به نرم افزار Arc GIS منتقل و نقشه ی پراکنش زمین لغزش های منطقه در این محیط تهیه شد. همچنین در این تحقیق 89 نقطه ی غیر لغزشی، به منظور استفاده در مراحل آموزش و آزمایش شبکه ی عصبی پرسپترون در داخل شیب های کمتر از 5 درجه تهیه شد (شکل 12).



شکل (12): نقشه‌ی نقاط غیرلغزشی در منطقه
Fig (12): Non-slip points maps in the region



شکل (11): نقشه‌ی زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه
Fig (11): Map of landslides that occurred in the area

- مدل شبکه‌ی عصبی پرسپترون: شبکه‌های عصبی مصنوعی¹ از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده بهم پیوسته با نام نرون تشکیل شده که برای حل یک مسأله هماهنگ عمل می‌کنند و توسط ارتباطات الکترومغناطیسی² اطلاعات را منتقل می‌کنند. شبکه‌های عصبی با استفاده از الگوی داده‌های وارد شده به آنها شروع به یادگیری می‌کنند. یادگیری مدل‌ها که در واقع تعیین پارامترهای داخلی آنهاست، بر پایه‌ی قانون تصحیح خطا بنا شده است 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 می‌شوند. وقتی مناسب‌ترین وزن‌ها توسط مدل به دست آمد به این معنی است که مدل آموزش کافی را دیده است و این وزن‌های نهایی، بر داده‌های ورودی جدید که در قالب داده‌های مربوط به کارآیی مدل است اعمال می‌گردد و با مقایسه‌ی نتایج مدل با مقادیر مشاهده شده در مورد کارآیی مدل قضاوت می‌شود. نرون‌ها در قالب لایه ورودی، لایه خروجی و لایه پنهان یا میانی قرار می‌گیرند. نرون‌ها یا واحدهای ورودی وظیفه دریافت داده‌های ورودی را بر عهده دارند. لایه‌های میانی و خروجی شامل واحدهای پردازش اطلاعات هستند. در این واحدها عملیات جبری بر اطلاعات ورودی انجام و نتیجه 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 فعالسازگی گفته

1- Artificial Neural Network

2- Synapse

می‌شود یک خروجی را تولید می‌کند (مک‌کالک¹ و همکاران، 1990). شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه² یک شبکه پسخورنده³ با یک یا چند لایه پرسپترون بین لایه‌های ورودی و خروجی است. این مدل برای طراحی نیازمند 3 دسته داده آموزشی، آزمایشی و صحت سنجی است. داده‌های آموزشی به منظور پیدا کردن رابطه بین ورودیها و خروجی‌های مشاهده شده به وسیله مدل استفاده می‌شود. برای جلوگیری از دخل و تصرف لایه پنهان (میانی) به صورت پیش‌فرض نرم‌افزار انتخاب شد. از 70 درصد زمین لغزشهای رخ داده در منطقه‌ی مورد مطالعه جهت آموزش شبکه‌ی عصبی استفاده شد و همچنین از 30 درصد مابقی به عنوان داده‌های زمین مرجع جهت آزمایش و کالیبره کردن مدل استفاده شد. الگوریتم پس انتشار خطا از یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مشتق مینا برای بهینه‌کردن تابع هزینه در فرآیند آموزش شبکه‌ی عصبی استفاده می‌کند. داده‌ها با استفاده از یک شبکه پرسپترون چندلایه با الگوریتم یادگیری آدام⁴ آموزش دیدند. در مسائل یادگیری هوش مصنوعی منظور از تنظیم فرآیندها⁵ یا بهینه‌سازی فرآیندها⁶ الگوریتم یادگیری، انتخاب بهینه‌ترین پارامترها برای الگوریتم رسیدن به کمترین خطای ممکن در مدل است (کلاسن و همکاران، 2015). در این پژوهش از الگوریتم جستجوی شبکه‌ای به منظور بهینه‌سازی و تنظیم فرآیندها⁷ شبکه‌ی عصبی استفاده شده است. 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 شبکه‌ی عصبی برای مسئله مورد نظر به دست می‌آید. بدین منظور توابع انتقال مختلف در لایه میانی و خروجی مورد آزمایش قرار گرفت و به علت وجود روابط غیرخطی در پدیده زمین لغزش از توابع انتقال relu استفاده شد. تعداد نرون در لایه میانی از 10 تا 100 تغییر داده شد و با تعداد 30 نرون شبکه به کمترین خطا در مرحله آموزش و آزمایش رسید. ضریب یادگیری که میزان تغییر وزنها را کنترل می‌کند 0/01 می‌باشد. روش یادگیری شبکه MLP بر اساس الگوریتم پس انتشار خطا می‌باشد. به علت استفاده از تابع بهینه‌سازی آدام در فرآیند یادگیری شبکه، مقدار مومنتم به صورت انطباقی می‌باشد. در محیط برنامه‌نویسی پایتون تمامی مراحل و فرمول‌های مدل شبکه‌ی عصبی طراحی گردید. پس از تبدیل لایه‌ها به رستر، استخراج مقدار DN مربوط به هر لایه برای نقاط لغزشی و غیرلغزشی و ایجاد پایگاه داده⁷ از نقاط لغزشی و مقدار متناظر به هر لایه انجام گردید. در این محیط اقدام

1-McCulloch

2-Multilayer Perceptron's: MLP

3-feedforward networks

4-Adam

5- hyper parameter tuning

6- hyper parameter optimization

7- Point shape file

به سه مرحله‌ی پیش‌پردازش داده‌ها، پردازش داده‌ها و پس پردازش داده‌ها شد و سپس مقدار خطای شبکه بدست آمد.

– مدل تاپسیس^۱: واژه تاپسیس به معنی روش‌های ترجیح براساس مشابهت به راه‌حل ایده‌آل است. این مدل توسط هوانگ و یون در سال 1981 پیشنهاد شد. تاپسیس یک مدل تصمیم‌سازی بسیار تکنیکی و قوی برای اولویت‌بندی گزینه‌ها از طریق شبیه نمودن به جواب ایده‌آل است. در این روش، گزینه انتخاب شده بایستی کوتاه‌ترین فاصله را از جواب ایده‌آل و دورترین فاصله را از ناکارآمدترین جواب داشته باشد (دانگ، 2016). حل مسئله با این روش مستلزم طی مراحل زیر است.

در گام اول، ماتریس ارزیابی که شامل m گزینه و n شاخص است ساخته می‌شود. در این ماتریس x_{ij} مقدار عددی بدست آمده از تقاطع گزینه‌ها و شاخص‌هاست. ساختار این ماتریس به صورت رابطه‌ی (1) بیان می‌شود.

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

در گام دوم، ماتریس تصمیم با استفاده از روش‌های نرمال‌سازی، بی‌مقیاس می‌گردد. به این ترتیب هر کدام از مقادیر بر اندازه‌ی بردار مربوط به همان شاخص تقسیم می‌شود. نحوه‌ی بی‌مقیاس‌سازی بر اساس رابطه‌ی (2) می‌باشد.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n \quad (2)$$

در گام سوم، یک بردار وزن به مقادیر ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده اختصاص می‌یابد که در رابطه‌ی (3) نشان داده شده است.

$$V_{ij} = W_i r_{ij} \quad i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n \quad (3)$$

در گام چهارم، راه‌حل ایده‌آل مثبت (A^+) و راه‌حل ایده‌آل منفی (A^-) به ترتیب در رابطه‌های 4 و 5 محاسبه می‌گردد.

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} = \{(\max_j v_{ij} | i \in I^+), (\min_j v_{ij} | i \in I^+)\}, \quad (4)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} = \{(\min_j v_{ij} | i \in I^-), (\max_j v_{ij} | i \in I^-)\}, \quad (5)$$

در گام پنجم، فاصله بین هر گزینه n بعدی را می توان به روش اقلیدسی سنجید. فاصله از راه حل مثبت و راه حل منفی به ترتیب در رابطه های 6 و 7 نشان داده شده است.

$$s_i^+ = \sqrt{\sum_j^n V_{ij} - V_j^+} \quad (6)$$

$$s_i^- = \sqrt{\sum_j^n V_{ij} - V_j^-} \quad (7)$$

در گام ششم نزدیکی نسبی به راه حل های ایده آل محاسبه می گردد (رابطه ی 8).

$$c_i^+ = \frac{s_i^-}{s_i^+ + s_i^-} \quad 0 < c_i^+ < 1 \quad (8)$$

در نهایت رتبه بندی بین وزن های بدست آمده توسط مدل انجام می گیرد که مقادیر بزرگ تر نشان دهنده ی عملکرد بهتر و اولویت بالاتر می باشند.

3- یافته ها و بحث

در این پژوهش 9 عامل تأثیرگذار بر زمین لغزش به عنوان لایه ی ورودی به شبکه ی عصبی مصنوعی و ماتریس تصمیم تاپسیس معرفی گردید. ساختار نهایی شبکه ی عصبی پرسپترون ایجاد شده دارای 9 نرون در لایه ورودی، 30 نرون در لایه ی پنهان و 1 نرون در لایه ی خروجی است (جداول 2 و 3).

جدول (2): ورودی های جستجوی شبکه ایی یا گرید سرچ

Table (2): Network Search Entries of Grid Search

"lbfgs", "sgd", "adam"	تابع بهینه سازی
[10,100]	تعداد نرون های لایه ی پنهان
"logistic", "tanh", "relu"	تابع فعال سازی

جدول (3): بهترین معماری شبکه ی یافت شده توسط جستجوی شبکه ایی

Table (3): The best network architecture found by gGrid search

"adam"	تابع بهینه سازی
30	تعداد نرون های لایه ی پنهان
"relu"	تابع فعال سازی

جهت انجام مدل تاپسیس بعد از ایجاد لایه‌های رستری مورد نظر هر شاخص، یک لایه وکتوری - نقطه ای ایجاد گردید که به ازای هر پیکسل دارای یک سطر و به ازای هر شاخص دارای یک ستون می‌باشد، بدین ترتیب ماتریسی به ابعاد 9 در 1078555 در محیط برنامه نویسی پایتون ایجاد گردید. سپس با استفاده از تابع $extract\ value\ to\ point$ مقادیر متناظر هر پیکسل از لایه‌های رستری ایجاد شده در مراحل قبل استخراج گردید. هدف اصلی از این کار اجتناب از عدم هم پوشانی لایه‌های رستری ایجاد شده از منابع مختلف و بالا بردن دقت محاسباتی و جلوگیری از خطاهای احتمالی در مراحل بعدی می‌باشد. پس از بی‌مقیاس سازی ماتریس تصمیم از روش آنتروپی شانون برای وزن‌دهی به معیارها و همچنین روش نرم‌سازی برداری (وکتوری) به منظور نرمال کردن داده‌های ماتریس تصمیم استفاده شد. برای تعیین نقاط ایده‌آل مثبت و منفی از بهترین مقادیر موجود در ماتریس تصمیم نرمال شده وزنی و برای نرمال سازی داده‌ها از نرم دوم اقلیدسی استفاده شد. پس از آماده‌سازی مدل‌های شبکه‌ی عصبی و تاپسیس، منطقه مورد مطالعه با 970 کیلومتر مربع با 9 متغیر ورودی که تبدیل به داده‌های رستری به پیکسل‌های 30*30 شدند تحلیل شد. نتایج تحلیل به صورت نقشه ای با پنج طبقه خطر زمین لغزش برای هر مدل ترسیم گردید. (شکل 13 و 14). بر اساس نتایج حاصل از مدل شبکه‌ی عصبی طبقه با خطر زیاد که 31 درصد از مساحت حوضه را به خود اختصاص داده گسترده‌ترین کلاس خطر منطقه می‌باشد. پهنه خطر متوسط نیز بیش از 29 درصد منطقه را شامل شده و پس از آن پهنه خطر کم قرار دارد. نتایج حاصل از مدل تاپسیس نشان می‌دهد که طبقه با خطر زمین لغزش متوسط با 28 درصد وسعت، دارای بیشترین پراکندگی در منطقه می‌باشد، طبقه با خطر زیاد و بعد از آن طبقه کم در جایگاه بعدی قرار دارند (جدول 4).

جدول (4): مساحت طبقات خطر زمین لغزش با مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی و تاپسیس

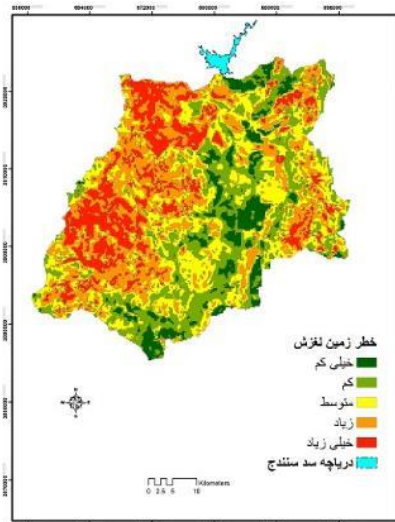
Table (4): Area of landslide risk classes with ANN and TOPSIS models

Topsis %	Topsis Km2	ANN %	ANN Km2	طبقه خطر
8.4	81.62	11/51	111/73	خیلی کم
21.23	206.5	19/66	190/82	کم
28	271.9	29/64	287/73	متوسط
26.9	261.2	31/03	301/22	زیاد
15.5	149.8	8/15	79/09	خیلی زیاد
100	970.7	100	970/7	مجموع

- بحث: جابه جایی توده‌ای مواد، از جمله زمین لغزش از فرایندهای دامنه‌ای مشکل‌آفرین در منطقه‌ی مورد مطالعه است. این پدیده تخریب اراضی جنگلی غرب حوضه و زمین‌های کشاورزی را به همراه داشته و برای

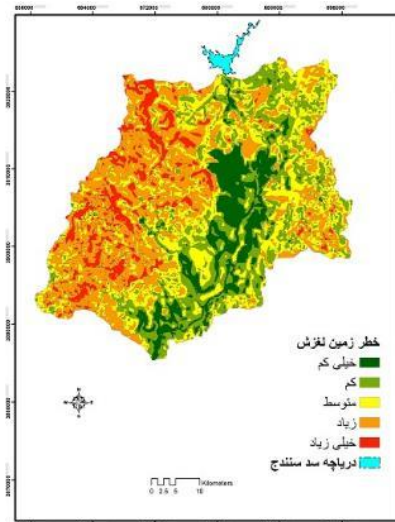
تردد جاده‌ای و سکونت‌گاه‌های انسانی منطقه نیز تهدید بزرگی می‌باشد. همچنین اثرات لغزش‌ها باعث برهم خوردن تعادل دامنه‌های منطقه شده است. ویژگی‌های طبیعی منطقه همانند آسیب‌پذیری بخش بزرگی از سازندهای زمین‌شناسی (شیل‌های ماسه‌ای و آهکی و واحدهای آبرفتی) آب و هوای نیمه‌مرطوب سرد، همراه با شیب تند دامنه‌ها، نوع کاربری اراضی و عوامل متنوع انسانی در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه تاثیرگذار است. نوسان شدید دما با بارش‌های قابل توجه بهاری، هوازدگی شدید لایه‌های شیلی و آهکی باعث تشکیل قشر ضخیم خاک بخصوص در بخش غرب و جنوب غرب منطقه شده است. کوهستان‌های اطراف که به صورت دو رشته نواری در حاشیه شرقی و غربی حوضه کشیده شده‌اند، دارای شیب‌های فشرده و دره‌های عمیق هستند و تحت حاکمیت شرایط فیزیوگرافی، مناطق مخاطره‌آمیزی را شکل داده‌اند. عملکرد گسل‌های منطقه از جمله گسل صلوات‌آباد در شرق حوضه که باعث ایجاد هورست و گرابن در منطقه شده در این امر نقش بارزی دارد. اختلاف ارتفاع چشمگیر واحد کوهستان با بستر رودخانه باعث ایجاد مخاطرات و تحول لندفرم‌های منطقه شده است. نتایج مدل‌های بکار رفته با واقعیت مخاطرات دامنه‌ای منطقه منطبق است و پهنه‌های با خطر بالا بر اساس مدل‌های کارشده اکثراً 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 دارند.

در هر دو مدل پهنه‌بندی روستاهای گرماش، کرجو، ژنان، ئارندان، درویشان و چندین روستای دیگر در بخش غربی حوضه در پهنه با خطر خیلی‌زیاد قرار گرفته‌اند و مساکن و زمین‌های کشاورزی این مناطق مورد تهدید حرکات توده‌ای است. حاشیه‌ی غربی شهر سنندج که در مرکز حوضه واقع شده نیز متأثر از زمین لغزش‌های متعددی بوده و در پهنه خطر زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی شده است. 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 همچنین افزایش وزن بار و زیربری دامنه‌ها بر اثر ساخت و سازهای شهری رخ داده‌اند. بخش مرکزی و جنوبی حوضه در امتداد رودخانه قشلاق تا خروجی حوضه در پهنه‌های با خطر خیلی کم و کم طبقه‌بندی شده است. این بخش به عنوان سایت مهم اقتصادی و کشاورزی منطقه محسوب می‌شود. بخش شرقی حوضه متأثر از حرکات توده‌ای بخصوص ریزش و جریان‌های واریزه‌ای است و در پهنه‌های با خطر متوسط به بالا تقسیم‌بندی شده است.



شکل (14): نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل تاپسیس

Fig (14): Landslide Hazard zoning map with TOPSIS model



شکل (13): نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل شبکه عصبی مصنوعی

Fig (13): Landslide Hazard zoning map with ANN model

- آزمون صحت‌سنجی: جهت ارزیابی نتایج از 5 روش برای تشخیص خطای مدل‌ها استفاده گردید و بر این اساس مورد قضاوت قرار گرفتند. نتیجه تحلیل خطای شبکه مدل، عددی است ما بین صفر و یک که هرچه مقدار این عدد به یک نزدیکتر باشد مدل از دقت بیشتری برخوردار است (جدول 5). ماتریس خطا ماتریسی مربعی است که از مقایسه تعداد داده‌های نمونه مرجع در هر کلاس با تعداد نمونه‌های خروجی از مدل برای هر کلاس ساخته می‌شود. ارزیابی خطا و برآورد دقت طبقه بندی از ماتریس خطا استخراج می‌شوند. بر اساس نتایج ماتریس خطای مدل‌های پژوهش، تعداد نمونه‌های نقاط لغزشی رخ داده در منطقه و نقاط بدون لغزش که به صورت دقیق توسط مدل طبقه‌بندی شده در مدل شبکه‌ی عصبی پرسپترون بیشتر از مدل تاپسیس است (جدول 5).

جدول (5): نتایج آماری صحت‌سنجی مدل‌های پژوهش

Table (5): Statistical results of validation of research models

مدل	دقت کلی	دقت تولید کننده	دقت مصرف کننده	امتیاز F1	ماتریس خطا	
					طبقه بندی شده	طبقه بندی با دقت کمتر
ANN	0/90	0/98	0/76	0/85	75	14
					234	3
Topsis	0/71	0/84	0/79	0/81	54	35
					198	39

4- نتیجه گیری

منطقه ی پایین دست سد سنندج یکی از فعال ترین مناطق استان کردستان و غرب کشور از نظر فعالیت های انسانی است. در این تحقیق برای اولین بار با استفاده از زبان برنامه نویسی پایتون، از مدل های شبکه ی عصبی پرسپترون و تاپسیس جهت شناسایی پهنه های خطر زمین لغزش در منطقه استفاده شد. در پهنه بندی خطر، مناطق مطلوب جهت فعالیت های انسانی (مناطق کم خطر و خیلی کم) و همچنین مناطق نامطلوب (مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد) مشخص شده اند. بر این اساس از مجموع 970 کیلومتر مربع مساحت منطقه، بر اساس مدل شبکه ی عصبی، حدود 31 درصد و مدل تاپسیس 30 درصد از منطقه در محدوده ی مناطق مطلوب جهت فعالیت های انسانی قرار دارد. همچنین بر اساس مدل شبکه ی عصبی حدود 39 درصد و مدل تاپسیس 42 درصد از منطقه در محدوده مناطق نامطلوب و بسیار نامطلوب قرار گرفته اند. وسعت مناطق نامطلوب در حوضه نشان می دهد که منطقه ی مورد مطالعه در مجموع پتانسیل بالایی برای وقوع زمین لغزش دارد و باید توسط مدیران در سیاست های توسعه منطقه در نظر گرفته شود. با توجه به حساسیت دامنه های ناپایدار منطقه هرگونه برنامه ریزی به منظور تغییر کاربری و ساخت و ساز که سبب افزایش وزن بار در دامنه های ناپایدار شود بایستی با لحاظ شرایط ژئومورفولوژی و زمین شناسی منطقه انجام پذیرد. مقایسه ی نتایج صحت سنجی مدل ها نشان می دهد که در این منطقه مدل شبکه ی عصبی پرسپترون دارای خطای کمتر و دقت بهتری نسبت به مدل تاپسیس است و با جغرافیای منطقه سازگاری بهتری دارد. بنابراین پیشنهاد می شود به منظور انجام هرگونه اقدامات اجرایی در منطقه نقشه ی حاصله به عنوان یک مبنا در نظر گرفته شود.

5- منابع

- Amirahmadi, A., Naemi Tabar, M. & Golkar, B. (2017). Prioritization and zoning of factors affecting landslide occurrence using entropy model (Case study: Bajgiran area, ghouchan), *Hydrogeomorphology*, 3(11)105-152.
- Claesen, M. & De moor, B. (2015). Hyperparameter search in machine learning. arXiv preprint arXiv, *The XI Metaheuristics International Conference* 1502.02127.
- Dong, S. (2016). *Comparisons between Different Multi-Criteria Decision Analysis techniques for Disease Susceptibility Mapping*. Student Thesis Series INES. Department of Physical Geography and Ecosystem Science Lund University Sölvegatan. Sweden 12 S-223 62.
- Emadadin, S & Moradi, A. (2016). Risk assessment of landslides using hierarchical analysis process and artificial neural network Field studies with risk reduction approach in Haraz road axis. *Quantitative Geomorphological Research*, 6(4), 190-172.
- Geological Map Description Sanandaj 1: 1000000. (1990) *Geological Survey of Iran*. Tehran. Iran.
- Jimenez-Peralvarez, J.D, El Hamdouni, R., Palenzeuela., J, A., Irigaray, C & Chason, J. (2017). Landslide hazard mapping through multi-technique activity assessment: an example from the betic cordillera (southern Spain), *Landslides*, 14(6): 1975-1991.
- Karam, A, (2007), Application of WLC Weight Linear Combination Model in Landslide Potential Zoning, *Geography and Development Quarterly*. (6) 131-146.
- Lee, S, Lee M, J& Jung, H, S. (2017). Data mining approaches for Landslide Susceptibility Mapping in Umyeonsan, Seoul, South Korea. *Applied Sciences*. 7(7). 683.
- 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.
- Mirsanei, R & Mehdifar, M. (2006). Optimal Methods and Criteria for Landslide Hazard Mapping, *Natural Disaster Research Institute*. 1-27.
- Naeri, R & Karami, M. (2018). Integration of Analytical Zoning Risk of Bijar Landslide Occurrence, *Journal of Engineering Geology*, 12(1), 153-182.
- Noshadi, M, Shahabi, H & Salari, M, (2018). *On Topic Identification of Geomorphological Hazards of Indices in Piranshahr Road to Sardasht with Topsis Model*. MSc in physical geography, Faculty of Natural resources, University of Kurdistan, 155p.

- Razavi terme, V & Shirani, K, (2019). Landslide hazard zonation using frequency ratio, entropy method and TOPSIS scission making method in Fahliyan, *Remote Sensing and Geographic Information Systems in Natural Resources*. 9 (4), 119-138.
- Neural Network Model in Landslide Risk Zoning of Aleshtar Basin. *Geography and Planning* (59).86-93.
- Rosenfeld, C, L. (2004). Geomorphological Hazard, *Encyclopedia of Geomorphology*, (1).423-426.
- Roustaei, SH, Valizadeh, K & Narimani, P. (2016). *Evaluation of Artificial Intelligence Model and Multi Criteria Decision Modeling in Landslide Risk Mapping in Idoghmoush*, M.Sc in Geomorphology, Faculty of Geography and Planning, University of Tabriz.
- Rahimpour, T., Roustaei SH. & Noxostin, M, (2017). Landslide hazard zoning using hierarchical analysis process and ArcGIS (Sardolchai watershed, Ardabil) *Hydrogeomorphology*. 3(13).1-20.
- Taheri, V. Karam, A & Safari, A. (2019). *Spreading and assessing the vulnerability caused by landslides in the mountainous basins of Golestan province*. PHD in Geomorphology. University of kharazmi. Tehran, 138p.
- Yamani, M, Ahmadabadi, A. & Zare, Gh. (2012). Assessing the efficiency of artificial intelligence techniques in landslide studies with emphasis on SVM algorithm. *Geography and environmental hazards*. 1(3). 125-142.
- Van Westen, C.J., (1993). Application of Geographic Information Systems in Landslide Hazard Zonation. *ITC publication*, P15.
- Wang, H.B, Li, J.M, Zhou, B Xhou, Y, Yuan, Z.Q, & Chen, Y.P. (2017). Application of a hybrid model of neural networks and genetic algorithms to evaluate landslide susceptibility, *Geo environmental Disasters* 4:15.