نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هشتم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰

صفحات ۵۵ – ۷۰

پهنه بندی احتمال وقوع زمین لغزش در پایین دست سد سنندج

اسدالله حجازی[1]؛ دانشیار گروه ژئومورفولوژی دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

محمدحسین رضایی مقدم؛ استاد گروه ژئومورفولوژی دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

عدنان ناصری؛ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۹/۰۷/۱۵ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۰۲/۱۸

چکیده

هدف تحقیق حاضر ارزیابی خطر وقوع زمین‌لغزش با تولید نقشه های پهنه‌بندی خطر و مقایسه دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از نرم افزار ARCGIS و زبان برنامه نویسی پایتون در منطقه پایین دست سد سنندج است. بدین منظور از ۹ لایه ورودی شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، ارتفاع، فاصله از عوامل آبراهه، جاده و گسل، استفاده شد. نقاط لغزشی و غیر لغزشی منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره ای مشخص گردید. وزن‌دهی لایه ها در مدل ANN بر اساس وزن یابی درونی و در مدل AHP بر اساس نظر کارشناسی انجام گرفت. از مدل AHP برای اولویت بندی عوامل موثر بر وقوع لغزش استفاده شد. مدل ANN با استفاده از یک شبکه پرسپترون چندلایه با الگوریتم یادگیری آدام آموزش دید. پس از آماده سازی مدلها، منطقه مورد مطالعه با ۹۷۰ کیلومتر مربع با ۹ متغیر ورودی که تبدیل به داده‌های رستری به پیکسل های ۳۰*۳۰ شدند تحلیل شد. نتایج تحلیل به صورت نقشه ای با پنج طبقه خطر زمین‌لغزش برای هر مدل ترسیم گردید. از ۵ روش محاسبه میزان خطا جهت صحت سنجی مدلها استفاده شد. با انجام تحقیقات صورت گرفته و آزمونهای صحت سنجی مشخص گردید مدل شبکه عصبی پرسپترون دارای خطای کمتر و انطباق بیشتر با جغرافیای منطقه است. همچنین بر اساس روش AHP پارامترهای شیب، لیتولوژی و کاربری اراضی بیشترین نقش را در وقوع زمین‌لغزش منطقه دارند.

واژه های کلیدی :پهنه‌بندی خطر، زمین‌لغزش، شبکه عصبی، AHP، حوزه آبریز قشلاق سنندج

۱-نویسنده مسئول: Email: s.hejazi@tabrizu.ac.ir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]

مقدمه

زمین‌لغزش یک فرآیند ژئومورفولوژیک است که به دلیل تاثیرات نسبتاً شدید آن بر سامانه های اجتماعی ، اقتصادی و زیر ساختها، مخاطره طبیعی شاخص به شمار می‌آید (کرم و همکاران، ۱۳۸۹). این پدیده در نواحی کوهستانی یکی از فرآیندهای طبیعی و از مهمترین عوامل بوجود آورنده چشم اندازها محسوب می‌شود (Van Westen, ۱۹۹۳: ۲). زمین‌لغزش توسط مکانیزم های مختلفی مانند زمین لرزه، بارندگی و یا سایر عوامل ایجاد می‌شود که برخی از آنها هنوز شناخته شده نیست (Wang et.al., ۲۰۱۷). یکی از کارهای عملی و قابل توجه علم ژئومورفولوژی شناسایی لندفرمهای پایدار و مکان هایی با حداقل احتمال گرفتاری به پدیده های کاتاستروفیک یا آرام ناشی از فرآیندهای محیطی است که به نوعی اثر نامطلوبی بر انسان و تعلقات وی می گذارد (Rosenfeld, ۲۰۰٤). شناخت عوامل موثر و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استعداد های بالقوه ناحیه را بهتر سنجیده و یک ناحیه را از نظر خطر پذیری به چند زیر ناحیه تقسیم می کند تا کار برنامه ریز آسان تر گردد (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱). لذا پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش یکی از ابزارهای اساسی در مدیریت مخاطرات و تصمیم‌گیری است (Dahal, ۲۰۰۸).

زمین‌لغزشها در دهه های اخیر با مدلهای متفاوت بارها مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفته‌اند. ارزیابی و پهنه‌بندی مناطق مخاطره آمیز با روش علمی و دقیق می تواند در راستای کاهش ریسک، مناسب ترین راه از نظر صرف هزینه و زمان باشد. علاوه بر آن شناسایی مناطق مستعد خطر به همراه تولید نقشه های پهنه‌بندی از موضوعات مهم برای مطالعات مدیریت خطر است. از آنجا که شناسایی مناطق مستعد یکی از مراحل اصلی پردازش در تجزیه و تحلیل است، بنابراین انتخاب روش پیش بینی مناسب نقش مهمی در مطالعه روند پهنه های حساس دارد (Colkesen et al., ۲۰۱۶).

همه ساله حرکات توده ای در منطقه مورد نظر موجب خسارت به راهها، خطوط انتقال نیرو، شبکه 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 حاشیه نشینی و ایجاد شهرک های جدید در دامنه کوهها که در موارد بسیار با شیب تند دامنه همراه می‌باشد، تغییر کاربری اراضی و ایجاد زمینهای کشاورزی به صورت غیراصولی بر روی دامنه های با شیب زیاد از مسائل و مشکلات منطقه است. در این منطقه با توجه به ارتفاع و شیب زیاد دامنه ها، عامل بارش، روانابهای سطحی، احداث جاده و زیربری دامنه ها و ... حرکات توده ای بزرگ و کوچکی شکل گرفته که باعث تاثیرگذاری بر روی سیستمهای طبیعی، اقتصادی و اجتماعی منطقه شده است. استان کردستان با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیتهای تکتونیکی زیاد، وضعیت متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از حرکات توده ای دارد. بر اساس آمارهای موجود و نیز پژوهش های (میرصانعی و همکاران، ۱۳۸۵)، استان کردستان سومین استان به لحاظ زمین‌لغزش بعد از مازندران و گلستان است. چنانچه ملاک رتبه بندی مساحت استان ها باشد این استان در رتبه بالاتری قرار می گیرد (نیری و همکاران، ۱۳۹۷).

ارزیابی و پهنه‌بندی مناطق مخاطره آمیز با روش علمی و دقیق می تواند در راستای کاهش ریسک، مناسب ترین راه از نظر صرف هزینه و زمان باشد. از اینرو مطالعات بسیاری در خصوص پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در ایران و جهان انجام شده است که در اینجا به چند مورد اشاره می گردد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]

(Ermini et al., ۲۰۰۵) دو ساختار متفاوت از شبکه عصبی را با عناوین MLP و PNN با یکدیگر مقایسه کرده و به این نتیجه دست یافتند که مدل MLP در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش کارایی بهتری دارد. بیسواجد و همکاران (Biswajeet et al,. ۲۰۱۰) در تحقیقی به استفاده از داده‌های سنجش از دور و GIS در تحلیل مخاطرات لغزش در منطقه سلانگور در مالزی با استفاده از شبکه عصبی پرداختند. موقعیت لغزشها با مطالعه عکسهای هوایی و مشاهدات میدانی بدست آمده است. زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره ای در تحلیلهای GIS استفاده شده است. نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی از صحتی معادل ۹۲.۸۲ درصد برخوردار است.

کانفورتی و همکاران (Conforti et al., ۲۰۱٤) به منظور طبقه بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه رودخانه توبولو در کشور ایتالیا، از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپرتون چند لایه استفاده کردند. ۱۰ عامل به عنوان عوامل اصلی زمین‌لغزش شناسایی و با استفاده از ابزارهای ArcGIS لایه های مربوط به آنها تولید شده است. نتایج نشان می دهد که توانایی تولید نقشه طبقه بندی شده خطر زمین‌لغزش با این مدل با دقت ۸۷ درصد می‌باشد و حدود ۴۶ درصد منطقه مورد مطالعه دارای خطر زمین‌لغزش بالا است.

فیضی زاده و همکاران (Feizizadeh et al,. ۲۰۱٤) با استفاده از سه مدل تصمیم‌گیری چند متغیره AHP,WLC و OWA اقدام به طبقه بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه دریاچه ارومیه کرده‌اند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد که مدل AHP در طبقه بندی خطر زمین‌لغزش از دقت بالاتری نسبت به دو مدل دیگر بر خوردار است، همچنین، انتخاب مدل مورد مطالعه در طبقه بندی در دقت نقشه حاصل تاثیرگذار است.

روستایی و همکاران (۱۳۹۵) درحوضه آبریز آیدوغموش چای آذربایجان شرقی اقدام به ارزیابی عملکرد مدل هوش مصنوعی و مدل تصمیم‌گیری چند معیاره در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نمودند. در این تحقیق از ۹ عامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش استفاده گردید. در مدل شبکه عصبی از لایه های تهیه شده و لایه هدف (زمین‌لغزش های رخ داده) جهت آموزش و آزمایش شبکه استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که مدل شبکه عصبی مصنوعی با درصد لغزشی ۹۷/۲۲ درصد روش کارآمدتری نسبت به مدل فرآیند تحلیل شبکه ای است.

رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۶) در حوضه الشتر اقدام به کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نمودند. در این پژوهش مدل شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم پس انتشار خطا و تابع فعال سازی سیگموئید به کار گرفته شد. ساختار نهایی شبکه دارای ۷ نرون در لایه ورودی، ۱۱ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی می‌باشد. دقت شبکه ۹۳/۸۵ درصد محاسبه شد. بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته به ترتیب ۴۴/۳۷، ۷/۴۵، ۸/۹۳، ۳۲/۴۹، ۶/۷۶ درصد از مساحت منطقه در کلاس های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفت.

از دیگر کارهای انجام گرفته در این موضوع می توان به مقایسه مدلهای ANN و AHP در محور جاده هراز (عمادالدین و مرادی، ۱۳۹۷)، همچنین تلفیق این دو مدل در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان بیجار (نیری و کرمی، ۱۳۹۷) و بررسی و تحلیل این دو مدل در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه تجریش تهران (رنجبر و فلک، ۱۳۹۳) نام برد.

با توجه به مطالب فوق و اهمیت تاثیر پدیده زمین‌لغزش بر روی محیط و همچنین اهمیت بالای منطقه مورد مطالعه از نظر فعالیتهای انسانی و اینکه زمین‌لغزش به عنوان یکی از ناپایداریهای دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه وجود

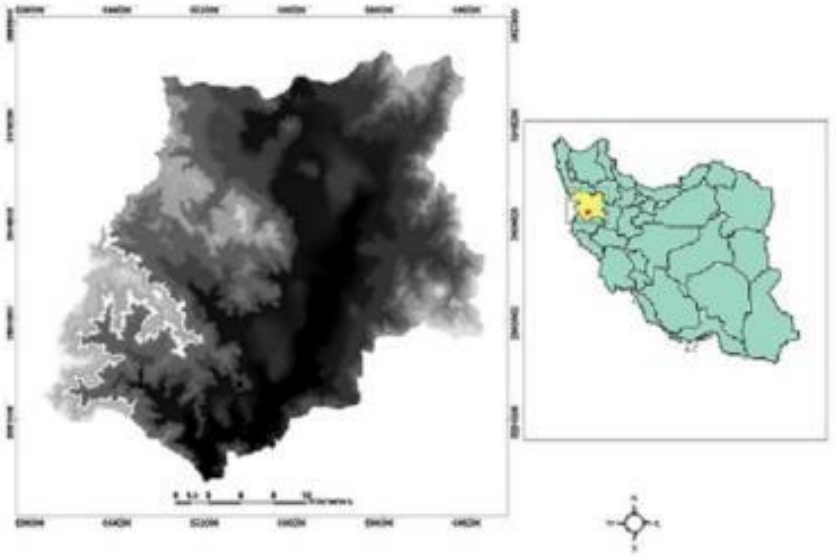
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]

دارد، لذا هدف از این پژوهش، شناسایی و مقایسه پهنه‌های خطر زمین‌لغزش با مدلهای شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل سلسله مراتبی و همچنین معرفی عوامل موثر بر رخداد زمین‌لغزش در حوضه های پایین دست سد سنندج است.

داده ها و روش کار

حوضه رودخانه قشلاق یک منطقه کوهستانی با روند شمالی – جنوبی در استان کردستان واقع است. این حوضه از نظر زمین ساختی بر پایه تقسیمات ساختاری رایج ایران، بر روی زون ساختاری سنندج - سیرجان واقع شده است(سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۶۹). منطقه مورد مطالعه به مساحت ۹۷۰/۷ کیلومتر مربع در پایین دست 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 می باشد (شکل ۱). مرتفع‌ترین قله منطقه حدود ۳۰۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. کم ارتفاع‌ترین منطقه در حاشیه رودخانه قشلاق واقع در خروجی حوضه است و ۱۳۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. طول رودخانه قشلاق از محل سد تا تلاقی با گاوه رود حدود ۵۲/۸ کیلومتر است. شهر سنندج در داخل منطقه مورد مطالعه قرار دارد با توجه به نوع اقلیم و فرآیندهای مورفولوژیک، پارامترهای تاثیرگذار جهت ایجاد زمین‌لغزش در جغرافیای منطقه فراهم می‌باشد. در نواحی کوهستانی، اثرات لغزشها در سطح دامنه ها و ریزشهای سنگی به عنوان دو پدیده مهم طبیعی و همچنین به عنوان یکی از مهمترین مخاطرات ژئومورفولوژیکی در محدوده زیست انسانها نمود پیدا کرده است. در حال حاضر ناپایداری دامنه ای به عنوان یک شکل مهم تخریب محیط قابل بررسی است و اثرات آن در آینده نیز چشمگیر خواهد بود.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

- **تهیه بانک اطلاعاتی:**

دراین مطالعه به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، اقلیمی و عوامل انسانی و زیست محیطی منطقه، ۹ 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 لایه های اطلاعاتی مورد

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]

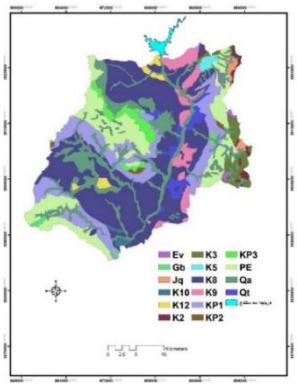
نیاز در محیط نرم افزار Arc GIS ۱۰،٦ تهیه شدند. به این منظور از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰(محدوده مورد مطالعه در چهارچوب ۴ شیت نقشه توپوگرافی سنندج، سنندج قطعه ۱، گلین و موچش)، نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، DEM سی متری SRTM منطقه مورد مطالعه استفاده گردید. نقشه های شیب، جهت شیب و طبقات ارتفاعی به وسیله نقشه رقومی ارتفاعی(DEM) تهیه شد. نقشه گسل از نقشه زمین‌شناسی منطقه و نقشه آبراهه از نقشه های توپوگرافی حاصل شد و سپس لایه وکتوری آن تهیه شد. لایه جاده از نقشه های توپوگرافی منطقه و لایه وکتوری جاده های کشور بدست آمد. نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره ای Landsat ۸ ETM+ سال ۲۰۱۶ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر تهیه شد. نقشه بارش منطقه با توجه به داده‌های ایستگاه های باران سنجی منطقه، طی دوره آماری سالهای ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۶ و با استفاده از روش درون یابی کریجینگ حاصل شد. نقشه مقاومت لیتولوژیک واحدهای زمین‌شناسی حوضه بر اساس مطالعات (مهندسین مشاور تژآب، ۱۳۸۳) و بر مبنای تقسیم بندی (حائری و سمیعی، ۱۳۷۶) بدست آمده است. این نقشه به دلیل وزن‌دهی به روش کارشناسی در مدل AHP تهیه گردید (شکل ۲ تا ۱۱).

سازندها و واحد های زمین‌شناسی موجود در داخل منطقه از قدیم به جدید شامل ۱۶ رخساره سنگی و رسوبی متعلق به سه دوران مزوزوئیک، سنوزوئیک و کواترنری است و واحد k۸ (شیل خاکستری سنندج با عدسی های ولکانیکی) بیش از ۳۳ درصد منطقه را پوشش داده است. مهمترین گسلهای منطقه عبارتند از: گسل اصلی زاگرس، گسل صلوات آباد، گندمان، کرجو، دویسه و گسل آب شیروان. گسل اصلی زاگرس در جنوب غربی گستره آبخیز قشلاق قرار دارد و در واقع گروه و مجموعه ای از گسل های با روند شمال غربی – جنوب شرقی است. گسل صلوات آباد با روند شمالی – جنوبی به صورت هورست و گرابن عمل نموده، به طوریکه قسمت شرقی آن بخش بالا آمده و برجسته و قسمت غربی آن حالت فرونشست تدریجی داشته و دارد. شهر سنندج در داخل این فرونشست قرار گرفته است. حد شیب های حوضه بین ۰ تا ۷۵/۲ درجه می‌باشد. بیشترین مساحت شیب حوضه مربوط به شیب بین ۵ تا ۱۵ درجه می باشد که معادل ۳۵ درصد مساحت حوضه است. میانگین شیب کل منطقه ۱۴/۷۵ درجه می‌باشد که برابر۲۶/۳۳ درصد از مساحت کل حوضه می‌باشد. بیشترین درصد زمین‌لغزش رخداده در جهت شیب شمال اتفاق افتاده است. همچنین دامنه های رو به خورشید نیز درصد قابل توجهی از زمین‌لغزشها را به خود اختصاص داده اند که علت آن را می توان با فعالیتهای محرک شیب (جاده سازی، افزایش بار دامنه، فعالیت گسلها و ...) مرتبط دانست. منطقه مورد مطالعه از نقطه نظر توپوگرافی نیز بسیار ناهموار است. حداکثر ارتفاع آن حدود ۲۹۰۰ متر و حداقل ارتفاع در خروجی حوضه حدود ۱۳۰۰ متر می‌باشد. بیشترین زمین‌لغزشهای رخداده در طبقه ارتفاعی استاندار شده ۱۶۰۰ تا ۱۹۰۰ متر می‌باشد. برای بدست آوردن میزان بارش در نواحی پست و مرتفع از معادله گرادیان بارش منطقه استفاده گردید. بر همین اساس با بدست آوردن معادله گرادیان بارش مقدار بارش در ارتفاعات مختلف برآورد گردید و در ۷ کلاس طبقه بندی شد. بر اساس نتایج به دست آمده مناطق با بارندگی ۳۸۵ میلیمتر تا ۵۳۰ میلیمتر دارای بیشترین تعداد زمین‌لغزش در حوضه می باشند. از آنجایی که آبراهه های آبرفتی از مواد رسوبی فرسایش پذیر تشکیل شده اند و فشارهای وارده از نیروی جریان آب، بیش از مقاومت رسوبهای آبرفتی است، بنابراین وقوع زمین‌لغزش های دره ای در نزدیکی آبراهه های اصلی، قابل پیش بینی است. با توجه به فصلی بودن اکثر سرشاخه های رودخانه های منطقه، فاصله بیشتر از ۲۰۰ متر دارای بیشترین تعداد زمین‌لغزش در منطقه می‌باشد. به دلیل قرارگیری شهرستان سنندج در داخل حوضه، راههای

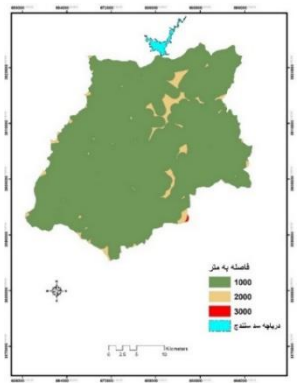
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]

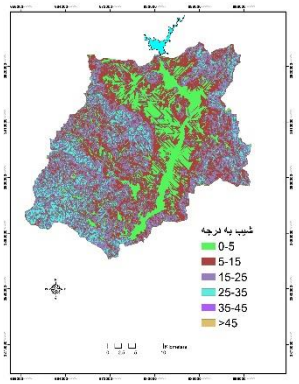
ارتباطی اصلی استان کردستان در این منطقه واقع شده است. از جمله مهمترین راههای ارتباطی، جاده ای با امتداد شمالی- جنوبی است که مراکز استانهای غربی را به هم متصل و از این منطقه عبور می کند. همچنین جاده ارتباطی سنندج - همدان و سنندج – مریوان از دیگر جاده های مهم منطقه می باشند. بسیاری از جاده های روستایی دارای پیچ و خم فراوان و در ارتفاعات منطقه قرار گرفته‌اند به نحوی که ستیغ‌ها و دامنه‌های بسیاری را بریده‌اند و چهره طبیعی منطقه را دستخوش تغییرات زیادی کرده‌اند. اکثر زمین‌لغزشهای رخداده در طبقه بیشتر از ۱۰۰ متر فاصله از جاده رخداده است و بعد از آن در فاصله ۰ تا ۲۵ متر که این مورد بیشتر به دلیل پدیده زیربری و جاده سازی در منطقه اتفاق افتاده است. این منطقه با افزایش حاشیه‌نشینی در اطراف شهر سنندج، تبدیل اراضی کشاورزی به مسکونی، افزایش جمعیت روستاهای اطراف سنندج و به طبع آن افزایش مساکن باعث شده که ساخت و سازهای سکونت گاهها به شیب های بیشتر از حد مجاز نیز برسد. از طرفی باغداری سالهاست که در قسمت پایین دست دره ها رواج داشته است، ولی طی دو دهه اخیر به دلیل کشیده شدن باغ ها به شیب های تند کوهستانی، همچنین گسترش اراضی دیم باعث تشدید عوامل آنتروپوژنیک شده است. تلفیق نقشه کاربری اراضی با لغزشهای منطقه نشان می دهد که بیشترین فراوانی لغزش در محدوده مرتع با تاج پوشش کم رخداده است و پس از آن در مناطقی که زراعت دیم برقرار می‌باشد.



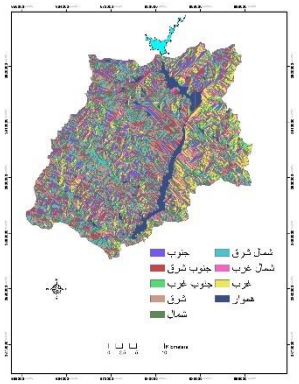
شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه



شکل۳. نقشه فاصله از گسل منطقه مورد مطالعه



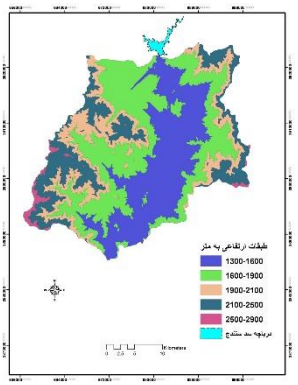
شکل۴. نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



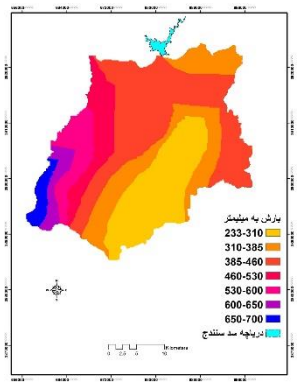
شکل ۵. نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

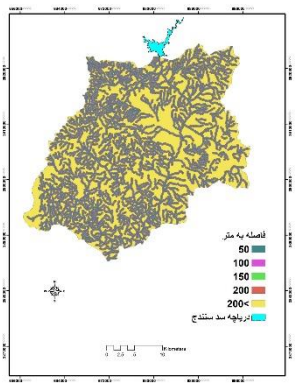
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]



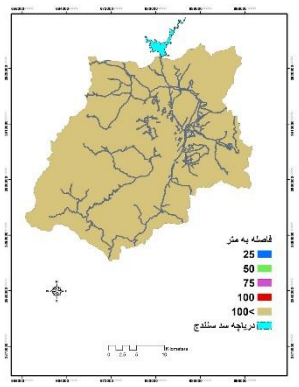
شکل ۶. نقشه طبقات ارتفاعی منطقه



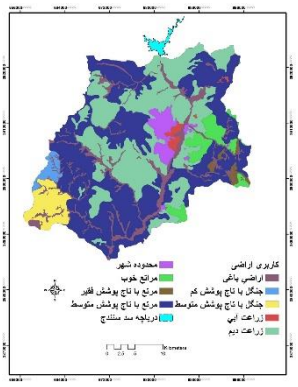
شکل ۷. نقشه بارش منطقه مورد مطالعه



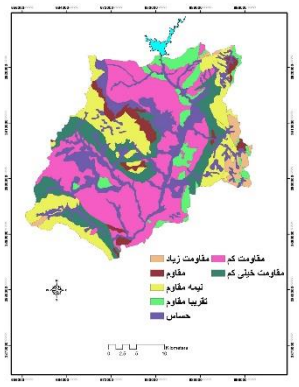
شکل ۸. نقشه فاصله از شبکه زهکشی در منطقه



شکل ۹. نقشه فاصله از جاده در منطقه



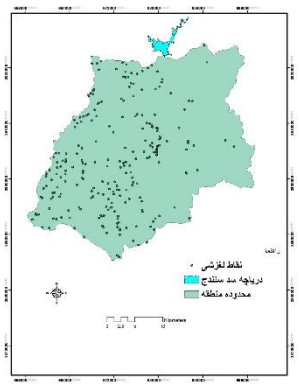
شکل۱۰. نقشه کاربری اراضی منطقه



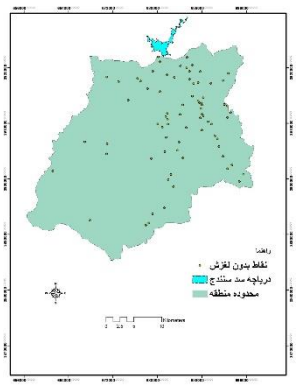
شکل ۱۱. نقشه مقاومت لیتولوژیک

تهیه نقشه نقاط لغزشی و غیر لغزشی: پس از تهیه لایه های عوامل موثر در زمین‌لغزشهای منطقه در محیط Arc GIS اقدام به شناسایی زمین‌لغزشهای رخداده در منطقه شد. با استفاده از تصاویر ماهواره ای Landsat ۸ ETM+ ، نرم افزار Google Earth، مطالعات میدانی و داده‌های بدست آمده از اداره منابع طبیعی استان کردستان ۲۳۷ نقطه لغزشی مشخص گردید. سپس مختصات نقاط لغزشی به نرم افزار Arc GIS منتقل و نقشه پراکنش زمین‌لغزشهای منطقه در این محیط تهیه شد(شکل ۱۲). همچنین در این تحقیق ۸۹ نقطه غیرلغزشی، به منظور استفاده در مراحل آموزش و آزمایش شبکه عصبی پرسپترون در داخل شیبهای کمتر از ۵ درجه تهیه شد (شکل ۱۳).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]



شکل ۱۲. نقشه زمین‌لغزشهای رخداده در منطقه



شکل ۱۳. نقشه نقاط غیر لغزشی در منطقه

- **مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه:**

شبکه‌های عصبی مصنوعی[۱] از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق العاده بهم‌پیوسته با نام نرون تشکیل شده که برای حل یک مسأله هماهنگ عمل می‌کنند و توسط ارتباطات الکترومغناطیسی[۲] 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، برپایه 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 مقایسه نتایج مدل با مقادیر مشاهده شده در مورد کارآیی مدل قضاوت 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 می کند (McCulloch and Pitts, ۱۹۹۰). شبکه عصبی پرسپرتون چند لایه[۳] یک شبکه پسخورنده[۴] با یک یا چند لایه پرسپرتون بین لایه‌های ورودی و خروجی است. این مدل برای طراحی نیازمند ۳ دسته داده آموزشی، آزمایشی و صحت‌سنجی است. داده‌های آموزشی به منظور پیدا کردن رابطه بین ورودیها و خروجیهای مشاهده شده به وسیله مدل استفاده می‌شود. برای جلوگیری از اعمال وزن به پارامترهای ورودی و هرگونه دخل و تصرف، لایه پنهان (میانی) به صورت پیش‌فرض نرم افزار انتخاب شد. از ۷۰ درصد زمین‌لغزشهای رخداده در منطقه مورد مطالعه جهت آموزش شبکه عصبی و همچنین از ۳۰ درصد مابقی به عنوان داده‌های زمین مرجع جهت آزمایش و کالیبره کردن مدل استفاده شد. الگوریتم پس انتشار خطا از یکی از الگوریتم های بهینه سازی مشتق مبنا برای بهینه کردن تابع هزینه در فرآیند آموزش شبکه عصبی استفاده می‌کند. داده‌ها با استفاده از یک شبکه پرسپترون چندلایه با الگوریتم یادگیری آدام[۵] آموزش دیدند. در مسائل یادگیری هوش

۱-Artificial Neural Network
۲-Synapse
۳-Multilayer Perceptron’s: MLP
٤-feedforward networks
٥ - Adam

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]

مصنوعی منظور از تنظیم فراپارامترها[۱] یا بهینه سازی فراپارامترهای[۲] الگوریتم یادگیری، انتخاب بهینه‌ترین پارامترها برای الگوریتم رسیدن به کمترین خطای ممکن در مدل است (Colkesen et al., ۲۰۱٦). در این پژوهش از الگوریتم جستجوی شبکه‌ایی به منظور بهینه‌سازی و تنظیم فراپارامترهای شبکه عصبی استفاده شد. با تغییراتی که به صورت سعی و خطا بر روی توابع انتقال، تعداد نرون‌های میانی و عوامل موثر در تغییر وزن‌ها اعمال می‌شود، مناسب‌ترین مدل شبکه 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 زمین‌لغزش از توابع انتقال relu استفاده شد. در این تحقیق تعداد نرون در لایه میانی از ۱۰ تا ۱۰۰ تغییر داده شد و با تعداد ۳۰ نرون شبکه به کمترین خطا در مرحله آموزش و آزمایش رسید. روش یادگیری شبکه MLP بر اساس الگوریتم پس انتشار خطا می‌باشد. به علت استفاده از تابع بهینه سازی آدام در فرآیند یادگیری شبکه، مقدار مومنتم به صورت انطباقی می‌باشد. در محیط برنامه نویسی پایتون تمامی مراحل و فرمولهای مدل شبکه عصبی طراحی گردید. پس از تبدیل لایه ها به رستر، استخراج مقدار DN مربوط به هر لایه برای نقاط لغزشی و غیرلغزشی و ایجاد پایگاه داده[۳] از نقاط لغزشی و مقدار متناظر به هر لایه انجام گردید. در این محیط اقدام به سه مرحله پیش پردازش داده‌ها، پردازش داده‌ها و پس پردازش داده‌ها شد و سپس مقدار خطای شبکه بدست آمد.

- **فرآیند تحلیل سلسله مراتبی:** [۴]

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یا به اختصار AHP یکی از پرکاربردترین روش‌های MCDM است که توسط توماس ساعتی[۵] ابداع شد. این روش یکی از مدلهای تصمیم‌گیری چندمعیاره و نیمه کیفی در مطالعه زمین‌لغزش است که شامل یک ماتریس وزن‌دهی بر مبنای مقایسات زوجی بین عوامل بوده و میزان مشارکت هریک از عوامل را در وقوع زمین‌لغزش مشخص می کند(Ayalew et al., ۲۰۰۵). از مزایای این روش سهولت اعمال نظر کارشناسی توسط افراد خبره و کاهش احتمال خطا است. همچنین در این مدل می‌توان تعداد زیادی از عوامل را دخالت داده و با استفاده از نظر کارشناسی وزن هر عامل را به دست آورد (قدسی پور، ۱۳۹۱، ص ۲۳۲). در این مدل برای تعیین ارجحیت معیارها و زیرمعیارهای مختلف و تبدیل قضاوت های کارشناسی از مقایسه زوجی استفاده می‌شود به طوریکه تصمیم گیرنده ارجحیت یک عامل را نسبت به عوامل دیگر به صورت جدول ۱ در نظر گرفته و این قضاوتها را به مقادیرکمی بین ۱ تا ۹ تبدیل می نماید (Saaty, ۱۹۸٦). سپس نتایج این مقایسه‌ها، برای محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها، وزن نهایی زیرمعیارها و نیز محاسبه نرخ ناسازگاری به برنامه طراحی شده وارد می‌شود. اگر شاخص ناسازگاری محاسبه شده کمتر از ۰/۱ باشد نتایج قابل قبول بوده و در غیراینصورت باید دوباره در وزن‌دهی تجدیدنظر شود. پس از محاسبه وزن نهایی زیرمعیارها، وزن‌های محاسبه‌شده را به جدول توصیفی لایه‌های اطلاعاتی عوامل موثر اضافه نموده و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه بدست می‌آید.

---

۱ - hyper parameter tuning
۲ - hyper parameter optimization
۳- Point shape file
۴ - analytic hierarchy process
۵ -Saaty

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]

جدول ۱. مقایسات زوجی پارامترها به روش AHP

شرح	تعریف	درجه اهمیت
دو عنصر اهمیت یکسانی داشته باشند	اهمیت یکسان	۱
یک عنصر نسبت به عنصر دیگر ترجیح داده می‌شود	نسبتا ارجح	۳
یک عنصر نسبت هب عنصر دیگر زیاد ترجیح داده می‌شود	ترجیح زیاد	۵
یک عنیر نسبت به عنصر دیگر بسیار زیاد ترجیح داده میشود	ترجیح بسیار زیاد	۷
یک عنصر به عنصر دیگر ترجیح فوق العاده زیاد دارد	ترجیح فوق العاده زیاد	۹
ارزش های بینابین در قضاوت ها :۲,۴,۶,۸		

بر اساس روش AHP جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، ابتدا سلسله مراتب محاسبات تعیین گردید. سپس پرسش نامه هایی در اختیار افراد خبره قرار گرفت تا بر پایه تجربه و علم این افراد در مسئله زمین‌لغزش، ۹ عامل موثر در ایجاد زمین‌لغزش‌ها و زیرلایه های آنها وزن‌دهی شود. افراد خبره شامل جمعی از اساتید دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز و کارشناسان سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری شهرستان سنندج می باشند. پرسش‌نامه بر پایه سامانه نمره‌دهی توماس ساعتی و مقادیر ترجیحات مقایسه‌های زوجی برای زمین‌لغزشهای منطقه تکمیل و به روش دلفی تنظیم گردید. با توجه به وجود ۹ عامل موثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش یک ماتریس ۹*۹ تهیه شد. در این ماتریس عوامل موثر به صورت دو به دو باهم مقایسه شدند و با توجه به اهمیت عوامل نسبت به یکدیگر امتیازی در مقیاس ۱ تا ۹ داده شد (جدول ۴).

جدول ۴. ماتریس مقایسات زوجی به روش AHP

پارامتر	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)
جهت شیب (۱)	۱	۱/۳	۲	۱/۵	۱/۲	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۷
فاصله از جاده(۲)	۴	۱	۳	۳	۳	۱/۵	۱	۱/۳	۱/۳
ارتفاع(۳)	۱/۳	۱/۴	۱	۱/۴	۲	۱/۳	۱/۷	۱/۶	۱/۵
فاصله از رودخانه(۴)	۷	۱/۳	۵	۱	۳	۱/۳	۱/۵	۱/۴	۱/۵
فاصله از گسل(۵)	۳	۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱	۱/۶	۱/۴	۱/۴	۱/۶
شیب(۶)	۵	۵	۳	۳	۷	۱	۲	۲	۲
کاربری اراضی(۷)	۵	۱	۷	۵	۵	۱/۳	۱	۲	۱
بارش(۸)	۶	۳	۶	۶	۵	۱/۳	۱/۳	۱	۱/۲
لیتولوژی(۹)	۷	۳	۵	۵	۷	۱/۳	۱	۳	۱

سپس نتایج این مقایسه ها برای محاسبه شاخص ناسازگاری به معادلات مربوطه وارد گردید. اگر شاخص محاسبه شده کمتر از ۰/۱ باشد، نتایج قابل قبول بوده و در غیر این صورت باید دوباره در وزن دهی تجدید نظر شود. نرخ ناسازگاری این ماتریس برابر ۰.۰۸ می‌باشد.

برای بدست آوردن وزن هر لایه، پس از بدست آوردن جمع هر ستون، نسبت هر درایه به جمع آن ستون به دست می‌آید و در نهایت با روش میانگین حسابی متوسط هر سطر از ماتریس محاسبه می‌گردد. بدین ترتیب هر عامل با متوسط عددی بیشتر دارای ارزش بالاتری است و به عنوان پارامتری که بیشترین اثر را در ایجاد زمین‌لغزش خواهد داشت معرفی می‌گردد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]

شرح و تفسر نتایج

در این پژوهش ۹ عامل تاثیرگذار بر زمین‌لغزش به عنوان لایه ورودی به شبکه عصبی مصنوعی و مدل تحلیل سلسله مراتبی معرفی گردید. ساختار نهایی در شبکه عصبی پرسپترون ایجاد شده ۹ نرون در لایه ورودی، ۳۰ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی است. (جداول ۲ و ۳).

جدول ۲. ورودیهای جستجوی شبکه ایی یا گرید سرچ

تابع بهینه سازی	"lbfgs", "sgd", "adam"
تعداد نرون های لایه پنهان	[۱۰,۱۰۰]
تابع فعالسازی	"logistic', "tanh", "relu'

جدول ۳. بهترین معماری شبکه یافت شده توسط جستجوی شبکه ایی

تابع بهینه سازی	"adam
تعداد نرون های لایه پنهان	۳۰
تابع فعالسازی	'relu'

از مدل تحلیل سلسله مراتبی جهت اولویت بندی پارامترهای موثر بر زمین لغزش استفاده شد. با استفاده از قابلیتهای این مدل وزن هر عامل و همچنین ضریب ناسازگاری برای هر عامل محاسبه گردید و به روش بردار ویژه ماتریس وزن لایه‌ها استاندارد سازی شد (جدول ۵). در نهایت ضرایب به دست آمده از مدل بر روی لایه‌ها اعمال گردید و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حاصل شد. مدل پیشنهادی به صورت زیر ارائه گردید که در این رابطه Y پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و xi عوامل موثر بر زمین‌لغزش می باشند.

Y=x۱(۰,۰۳۱)+x۲(۰,۰۹۱)+x۳(۰,۰۳۵)+x٤(۰,۰۷۳)+x٥(۰,۰۲۹)+x٦(۰,۰۲٦٤)+x۷(۰,۱٥۹)+x۸(۰,۱۳۷)+x۹(۰,۱۸۱)

جدول ۵. اطلاعات مربوط به وزن و ضریب ناسازگاری لایه های مورد استفاده در مدل AHP

معیار	جهت شیب	فاصله از جاده	ارتفاع	فاصله از رودخانه	فاصله از گسل	شیب	کاربری اراضی	بارش	لیتولوژی
وزن لایه‌ها	۰/۰۳۰	۰/۰۹۱	۰/۰۳۳	۰/۰٦٤	۰/۰۳۱	۰/۲۳۸	۰/۱۷۱	۰/۱٤۷	۰/۱۹٦
ضریب ناسازگاری	۰/۰۷	۰/۰٥	۰/۰۷	۰/۰٦	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰٦	۰/۰۹	۰/۰٤

براساس نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی طبقه با خطر زیاد که ۳۱ درصد از مساحت حوضه را به خود اختصاص داده گسترده‌ترین طبقه خطر منطقه می‌باشد. پهنه خطر متوسط نیز بیش از ۲۹ درصد منطقه را شامل شده و پس از آن پهنه خطر کم قرار دارد. نتایج حاصل از مدل AHP نشان می‌دهد که طبقه با خطر زمین‌لغزش متوسط با ۳۲ درصد وسعت، دارای بیشترین پراکندگی در منطقه می‌باشد، طبقه با خطر کم و بعد از آن طبقه زیاد در جایگاه بعدی قرار دارند (جدول ۶).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]

جدول ۶. مساحت طبقات خطر زمین‌لغزش با مدل شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل سلسله مراتبی

طبقه خطر	ANN Km۲	ANN %	AHP Km۲	AHP %
خیلی کم	۱۱۱/۷۳	۱۱/۵۱	۹۶/۸۲	۹/۹۸
کم	۱۹۰/۸۲	۱۹/۶۶	۲۴۱/۲	۲۴/۸۵
متوسط	۲۸۷/۷۳	۲۹/۶۴	۳۱۲/۴	۳۲/۱۹
زیاد	۳۰۱/۲۲	۳۱/۰۳	۲۲۵	۲۳/۱۸
خیلی زیاد	۷۹/۰۹	۸/۱۵	۹۵/۲	۹/۸۱
مجموع	۹۷۰/۷	۱۰۰	۹۷۰/۷	۱۰۰

بر اساس مدل تحلیل سلسله مراتبی، پارامترهای شیب، لیتولوژی و کاربری اراضی به ترتیب بیشترین نقش را در وقوع زمین لغزش منطقه دارند و جهت شیب، فاصله از گسل و ارتفاع کمترین نقش را دارا می باشند. با استفاده از آنالیزهای انجام گرفته بر روی عوامل موثر در ایجاد خطر زمین‌لغزش، تاثیر هر یک از کلاسه های عوامل مختلف در ایجاد خطر زمین‌لغزش بررسی و تاثیرگذارترین و کم‌اثرترین کلاس هر لایه در ایجاد خطر زمین‌لغزش مشخص گردید(جدول ۷).

جدول ۷. بیشترین و کمترین تاثیر کلاسهای عوامل و پارامترهای موثر بر زمین لغزش به روش AHP

کمترین تاثیر کلاسها	بیشترین تاثیر کلاسها
شیب بیشتر از ۴۵ درجه	شیب ۳۵ تا ۴۵ درجه
جهت شیب هموار، جنوب و جنوب شرق	جهت شیب شمال و شمال غرب و جنوب
ارتفاع ۱۳۰۰ تا ۱۶۰۰ متر	ارتفاع ۲۵۰۰ تا ۲۹۰۰ متر
کاربری اراضی: مناطق مسکونی، جنگل با پوشش متوسط	زراعت دیم و مرتع ضعیف
میزان بارش: کمتر از ۳۱۰ میلیمتر	۶۵۰ تا ۷۰۰ میلیمتر
لیتولوژی: گابرو و دیوریت و آهکهای اوربیتولین دار با مقاومت زیاد	نهشته های آبرفتی با میزان مقاومت حساس، شیلهای ماسه‌ای و آهکی با مقاومت خیلی‌کم
فاصله از جاده: بیشتر از ۱۰۰ متر	فاصله از جاده: ۰ تا ۲۵ متر
فاصله از رودخانه: بیشتر از ۲۰۰ متر	۰ تا ۵۰ متر
فاصله از گسل: بیشتر از ۴۰۰۰ متر	۰ تا ۱۰۰۰ متر

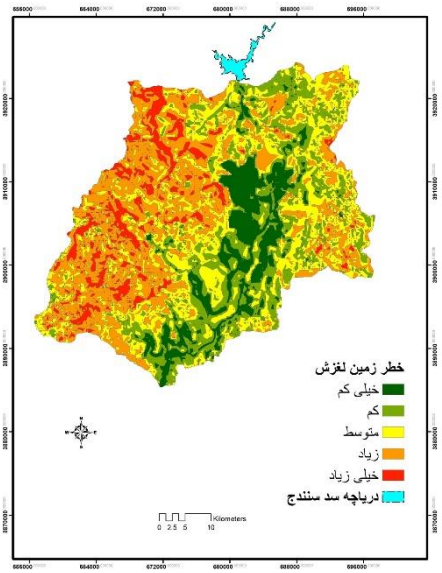
به دلیل پیچیده بودن رفتار دامنه ها در طبیعت جهت تحلیل پایداری دامنه‌های منطقه با استفاده از مدلهای بکاررفته پهنه‌های خطر زمین‌لغزش منطقه در ۵ کلاس مشخص گردید (شکل ۱۴ و ۱۵). جابه جایی توده ای مواد، از جمله زمین‌لغزش از فرایندهای دامنه ای مشکل آفرین در منطقه مورد مطالعه است. این پدیده تخریب اراضی جنگلی 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 ماسه ای و آهکی و واحدهای آبرفتی) آب و هوای نیمه مرطوب سرد، همراه با شیب تند دامنه ها، نوع کاربری اراضی و عوامل متنوع انسانی در وقوع زمین‌لغزشهای منطقه تاثیرگذار است. نوسان شدید دما با بارشهای قابل توجه بهاری، هوازدگی شدید لایه های 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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]

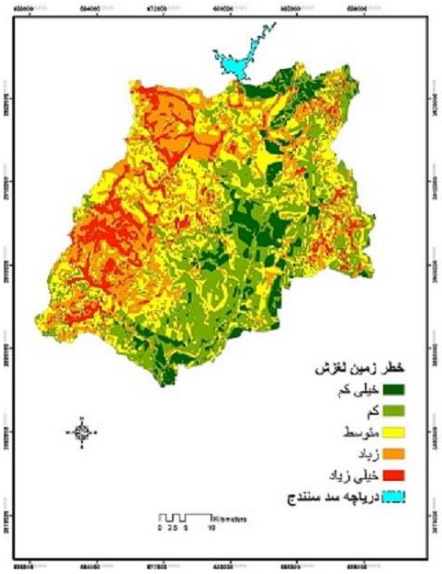
شرایط فیزیوگرافی، مناطق مخاطره آمیزی را شکل داده‌اند. عملکرد گسلهای منطقه از جمله گسل صلوات آباد در شرق حوضه که باعث ایجاد هورست و گرابن در منطقه شده در این امر نقش بارزی دارد. اختلاف ارتفاع چشمگیر واحد کوهستان با بستر رودخانه باعث ایجاد مخاطرات و تحول لندفرمهای منطقه شده است.

نتایج مدلهای بکار رفته با واقعیت مخاطرات دامنه ای منطقه منطبق است و پهنه های با خطر بالا بر اساس مدلهای کارشده اکثرا 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. حاشیه غربی شهر سنندج که در مرکز حوضه واقع شده نیز متاثر از زمین لغزشهای متعددی بوده و در پهنه خطر زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی شده است. این بخش بر روی واحدهای لیتولوژی KP۱ و KP۳ که شامل شیلهای ماسه‌ای تا آهکی و آهک فسیل‌دار می‌باشند قرار دارد و عموما با توجه به شیب زیاد دامنه، همبستگی مثبت بارندگی و عامل ارتفاع، در هنگام بارشهای شدید بهاری و همچنین افزایش وزن بار و زیربری دامنه ها بر اثر ساخت و سازهای شهری رخداده‌اند. بخش مرکزی و جنوبی حوضه در امتداد رودخانه قشلاق تا خروجی حوضه در پهنه‌های با خطر خیلی‌کم و کم طبقه‌بندی شده است. این بخش به عنوان سایت مهم اقتصادی و کشاورزی منطقه محسوب می‌شود. بخش شرقی حوضه متاثر از حرکات توده‌ای بخصوص ریزش و جریان‌های واریزه‌ای است و در پهنه‌های با خطر متوسط به بالا تقسیم بندی شده است. بر اساس نتایج مدل تحلیل سلسله مراتبی تاثیر عوامل انسانی در وقوع زمین‌لغزش در کل حوضه نسبت به عوامل طبیعی منطقه ضعیف تر بوده و عوامل انسانی نقش محرک و تشدید کننده عوامل اولیه را دارند.



شکل ۱۴. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش ANN



شکل ۱۵. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش AHP

تعیین دقت و ارزیابی مدلهای مورد استفاده: جهت ارزیابی مدلهای مورد استفاده از ۵ روش برای تشخیص خطای مدلهای شبکه عصبی و تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید و بر این اساس مدلهای بکار گرفته شده، مورد قضاوت قرار

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]

گرفتند. نتیجه مدلهای تحلیل خطای شبکه عددی است ما بین صفر و یک که هرچه مقدار این عدد به یک نزدیکتر باشد مدل از دقت بیشتری برخوردار است (جدول ۷). ماتریس خطا ماتریسی مربعی است که از مقایسه تعداد داده‌های نمونه مرجع در هر کلاس با تعداد نمونه های خروجی از مدل برای هر کلاس ساخته می‌شود. ارزیابی خطا و برآورد دقت طبقه بندی از ماتریس خطا استخراج می شوند. بر اساس نتایج ماتریس خطای مدلهای پژوهش (جدول ۶) تعداد نمونه های نقاط لغزشی رخداده در منطقه و نقاط بدون لغزش که به صورت دقیق توسط مدل طبقه بندی شده در مدل شبکه عصبی پرسپترون بیشتر از مدل AHP است (جدول ۷).

جدول ۷. نتایج آماری صحت سنجی مدلهای پژوهش

مدل	دقت کلی	دقت تولید کننده	دقت مصرف کننده	امتیاز F1	ماتریس خطا	
					طبقه بندی شده	طبقه بندی با دقت کمتر
ANN	۰/۹۰	۰/۹۸	۰/۷۶	۰/۸۵	۷۵	۱۴
					۲۳۴	۳
AHP	۰/۶۸	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۷۸	۵۲	۳۷
					۱۴۷	۵۰

نتایج نشان می دهد که مدل شبکه عصبی پرسپترون در آزمونهای تحلیل خطای دقت کلی، دقت تولید کننده، امتیاز F^1 و ماتریس خطا بیشترین دقت را دارد. با دیدکلی و جامع هر دو مدل مورد استفاده دارای انطباق خوبی نسبت به محیط هستند. نتایج به دست آمده در مدلهای مختلف و روشهای تحلیل خطا به هم نزدیک می‌باشد که نشان دهنده دقت مدلهای موجود در اجرای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است.

نتیجه گیری

منطقه پایین دست سد سنندج یکی از فعال ترین مناطق استان کردستان و غرب کشور از نظر فعالیتهای انسانی است. در این تحقیق برای اولین بار با استفاده از زبان برنامه نویسی پایتون از دو مدل ANN وAHP جهت شناسایی پهنه های خطر زمین‌لغزش در منطقه استفاده شد. نتایج وزن‌دهی عوامل موثر در ایجاد خطر زمین‌لغزش بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی نشان می دهد که عامل شیب مهمترین عامل موثر در وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. همچنین عوامل لیتولوژی و کاربری اراضی در درجه بعدی عوامل قرار دارند. عوامل جهت شیب، فاصله از گسل و ارتفاع به ترتیب کمترین نقش را دارا می باشند. در نقشه های پهنه‌بندی خطر، مناطق مطلوب جهت فعالیتهای 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 ۹۷۰ کیلومتر مربع مساحت منطقه مورد مطالعه، بر اساس مدل شبکه عصبی، حدود ۳۱ درصد و مدل تحلیل سلسله مراتبی ۳۴ درصد از منطقه در محدوده مناطق مطلوب جهت فعالیتهای انسانی قرار دارد. همچنین در مدل شبکه عصبی حدود ۳۹ درصد و در مدل تحلیل سلسله مراتبی ۳۳ درصد از منطقه در محدوده مناطق نامطلوب و بسیار نامطلوب قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می دهد که منطقه مورد مطالعه در مجموع پتانسیل بالایی برای وقوع زمین‌لغزش دارد و باید توسط مدیران در سیاست های توسعه منطقه در نظر گرفته شود. با توجه به حساسیت دامنه‌های ناپایدار منطقه هرگونه برنامه‌ریزی به منظور تغییر کاربری و ساخت و ساز که سبب افزایش وزن بار در دامنه‌های ناپایدار شود بایستی با لحاظ شرایط ژئومورفولوژی و زمین شناسی منطقه انجام پذیرد. مقایسه نتایج صحت سنجی پهنه‌بندی خطر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]

در دو مدل نشان می دهد که در این منطقه مدل شبکه عصبی پرسپترون دارای دقت بیشتر و خطای کمتری نسبت به مدل AHP است و با جغرافیای منطقه سازگاری بهتری دارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود به منظور انجام هر گونه اقدامات اجرایی در منطقه نقشه حاصله به عنوان یک مبنا در نظر گرفته شود.

منابع

حائری، محسن و امیرحسین سمیعی. ۱۳۷۶. روش جدید پهنه‌بندی مناطق شیب دار در برابر خطر زمین‌لغزش با تکیه بر بررسی های پهنه‌بندی استان مازندران. فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین. **۲۳**: ۱۶-۲.

رضایی مقدم، محمد حسین؛ خلیل ولیزاده کامران، محمدرضا نیکجو و مهدی بلواسی. ۱۳۹۶. کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبریز الشتر. جغرافیا و برنامه ریزی، **۵۹**: ۱۱۱-۸۹.

رنجبر، محسن و عسل فلک. ۱۳۹۳. بررسی و تحلیل مدل های AHP و شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دامنه های جنوبی البرز (منطقه تجریش تهران). فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال یازدهم، **۴۳**: ۸۵-۹۷.

روستایی، شهرام؛ خلیل ولیزاده کامران و صفیه نریمانی. ۱۳۹۵. ارزیابی عملکرد مدل هوش مصنوعی و مدل تصمیم‌گیری چند معیاره در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز آیدوغموش چای)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز. تبریز.

سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور. ۱۳۸۳. مطالعات توجیهی آبخیزداری حوضه آبخیز سد قشلاق. مهندسین مشاور تژ آب سد، گزارش زمین شناسی. تهران.

سازمان زمین شناسی کشور. ۱۳۶۹. شرح نقشه ۱۰۰۰۰۰ :۱ زمین شناسی چهار گوش سنندج. تهران.

عمادالدین، سمیه و آیدین مرادی. ۱۳۹۷. ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، تحلیل شبکه عصبی مصنوعی و مطالعات میدانی با رویکرد کاهش ریسک در محور جاده هراز. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، ۴، ۱۷۲-۱۹۰.

قدسی پور، سید حسن. ۱۳۹۱. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، چاپ دهم. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

کرم، عبدلامیر. ۱۳۸۶. کاربرد مدل ترکیب خطی وزنی WLC در پهنه‌بندی پتانسیل وقوع لغزش، فصلنامه جغرافیا و توسعه، **۴**: ۱۳۱-۱۴۶.

میرصانعی، رضا و محمدرضا مهدیفر. ۱۳۸۵. روش ها و معیارهای بهینه جهت تهیه نقشه های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، پژوهشکده سوانح طبیعی، **۶**: ۲۷-۱.

نیری، هادی و محمدرضا کرمی. ۱۳۹۷. تلفیق مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی و شبکه های عصبی به منظور پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش بیجار، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، **۱۲**: ۱۵۳-۱۸۲.

یمانی، مجتی؛ سیروس حسن پور، ابوالفضل مصطفایی و مجید شادمان رود پستی. ۱۳۹۱. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، **۴۸**: ۵۶-۳۹.

Ayalew, L. and H. Yamagishi. ۲۰۰۵. The application of GIS-nased Logistic in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, **٦٥**: ١٥-٣١.

Biswajeet, Pradhan. ۲۰۱۰. Remote sensing and GIS based Landslide hazard analysis and cross validation using multivariate logistic regression model on three test area in Malaysia, *Advances in space research*. **٤٥**(١٠). ١٢٤٤-١٢٥٦.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]

Colkesen, I.; E. Kutlug Sahin. And T. Kavzoglu. ۲۰۱٦, Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression, *Journal of African Earth Sciences*, ۱۱۸: ٥۳-٦٤.

Conforti, M.; S. Pascale.; G. Robustelli. And F. Sdao. ۲۰۱٤. Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (Northern Calabria, Italy). *Catena*, ۱۱۳: ۲۳٦-۲٥۰.

Dahal, R.K.; S. Hasegawa.; A. Nonomura.; M. Yamanaka.; S. Dhakal, and P. Paudyal. ۲۰۰۸. Presictive Modeling of Rainfall induced, *Geomorphology*, ۱۰۲: ٤۹٦-٥۱۰.

Rosenfeld, C. L.; Geomorphological Hazard. ۲۰۰٤. *Encyclopedia of Geomorphology*, ۱: ٤۲۳-٤۲۷.

Ermini, L.; Catani, F.; and N. Casagli. ۲۰۰٥. Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology*, ٦٦.

Feizizadeh, B.; M. Shadman.; P. Jankowski. And T. Blaschke. ۲۰۱٤, A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. *Journal of Computers & Geosciences*, ۷۳: ۲۰۸-۲۲۱.

McCulloch, W. S. and W. Pitts. ۱۹۹۰. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of mathematical biology*, ٥۲: ۹۹-۱۱٥.

Saaty, T. L. ۱۹۷۷. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, ۱٥(۳): ۲۳٤-۲۸۱.

Saaty, T. L. ۱۹۸٦. Axiomatic Foundation of Analytical hierarchy Process. *Jurnal of Management Science*, ۳۱(۷): ۸٤۱-۸٥٥.

Van Westen, C.J. ۱۹۹۳. Application of Geographic Information Systems in Landslide Hazard Zonation. *ITC publication*, P۱٥.

Wang, H. B.: J. M Li.: B. Zhou.: Y. Zhou.; Z.Q. Yuan. And Y.P Chen. ۲۰۱۷. Application of a hybrid model of neural networks and genetic algorithms to evaluate landslide susceptibility, *Geoenvironmental Disasters* ٤(۱٥): ۱-۱۲.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.55]