دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۶
تابستان ۱۳۹۸، صفحات ۱۷-۱

*تیمور جعفری[۱]
لیلی گلی مختاری[۲]
مهناز ناعمی‌تبار[۳]

پهنه‌بندی خطر لغزش در حوضه آبریز بدرانلو با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP)

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۷/۲٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰٤/۱۳

چکیده

تحقیق حاضر با هدف شناسایی استعداد وقوع زمین‌لغزش در حوضه بدرانلو با مساحت ۳۰۰/۳۷ کیلومتر مربع انجام شده است. به منظور تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش نخست با مطالعات انجام شده در مجموع تعداد ٦۹ لغزش در این حوضه شناسایی شد که مساحتی در حدود ۲٤۳۹۰۰ متر مربع را در بر می‌گرفت. سپس عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش با استفاده از نظر کارشناسی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای ANP اولویت‌بندی شد و سپس نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر بر وقوع لغزش آماده شد. از تلفیق نقشه‌های مربوط به عوامل که ضرایب محاسبه شده بر اساس اولویت و ارزش‌گذاری‌های انجام شده در فرآیند ANP در آن‌ها اعمال شده بود در نهایت نقشه خطر لغزش حوضه آبریز بدرانلو تهیه شد و منطقه مورد مطالعه از نظر حساسیت به خطر وقوع زمین‌لغزش، به سه کلاس طبقه‌بندی شد که بر اساس آن، ۳۰/٤۳٪ از منطقه مورد مطالعه با خطر متوسط، ۳۷/٦۸٪ با خطر زیاد، ۳۱/۸۹٪ با خطر خیلی زیاد روبه‌رو می‌باشد. پس از آن به منظور ارزیابی پهنه‌بندی انجام شده اقدام به مقایسه نقشه پهنه‌بندی نهایی با نقشه پراکنش لغزش‌ها گردید و نتایج نشان داد که تعداد ۲۱ لغزش با مساحت ۷۵٦۰۰ متر مربع در نقاط لغزشی با خطر متوسط، تعداد ۲٦ لغزش با مساحت ۹۱۸۰۰ متر مربع در نقاط لغزشی با خطر زیاد و تعداد ۲۲ لغزش با مساحت ۷٦۵۰۰ مترمربع در نقاط لغزشی

*۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان. (نویسنده مسول).
E-mail: Tei.jafarie53@gmail.com
۲- گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری.
۳- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

با خطر خیلی زیاد روی داده است. همچنین نتایج حاکی از آن است که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه شامل میزان شیب دامنه، ویژگی‌های لیتولوژی، فاصله از آبراهه و بارندگی سالانه می‌باشد.

کلید واژه‌ها: لغزش، فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، پهنه‌بندی، حوضه بدرانلو.

مقدمه

حرکات توده‌ای مواد، فرآیندهای ژئومورفیک طبیعی هستند که بر اساس ویژگی‌های خاص محیطی یک محل اتفاق می‌افتند (Glade, 2003: 123). زمین‌لغزش یکی از مخاطرات است که هر ساله موجب خسارت‌های سنگینی می‌گردد که بعضاً جبران این خسارت‌ها ممکن نیست و یا نیازمند صرف وقت و هزینه بسیاری است. کشور ایران به علت وسعت و موقعیت جغرافیایی، شرایط اقلیمی و تغییرات فراوان زمین‌شناختی و ژئومورفولوژی با خطرات طبیعی و نهایتاً بلایای طبیعی فراوانی روبرو است. بزرگ‌ترین زمین‌لغزش‌های کشور به موازات یال شمالی طاقدیس کبیر کوه و در امتداد رودخانه سمیره در استان ایلام به وقوع پیوسته است (Alaei Taleghani, 2002: 37). بر اساس گزارش کمیته ملی کاهش بلایای طبیعی وزارت کشور سهم خسارات ناشی از حرکت‌های توده‌ای در ایران ۵۰۰ میلیارد ریال برآورد گردیده است. آمار ثبت شده توسط وزارت جهاد کشاورزی نشان می‌دهد که تا اوایل سال (۱۳۷۸) وقوع حدود۲۵۹۰ حرکت توده‌ای و لغزش در کشور باعث مرگ ۱۶۲ نفر، تخریب ۱۷۶ خانه، ایجاد خسارات مالی به میزان ۱۸۶۶ میلیارد ریال، تخریب ۶۷۶ هکتار جنگل و تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی شده است. (Zezere (1999: 21 مهم‌ترین عوامل موثر در لغزش را ساختار زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی، کاربری زمین و وجود لغزش‌های قدیمی و فعالیت‌های انسانی عنوان نموده است. Nagarjan (2000: 11) برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در نواحی حاره‌ای هند از روش وزن دهی به پارامترهای منطقه‌ای و اقلیمی استفاده کرد و با در نظر گرفتن فراوانی لغزش‌ها کلاس‌های نهایی را پس از وزن دهی کارشناسانه برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انتخاب کرد. Espizua and Bengochea (2002: 7) خطر زمین‌لغزش در حوضه ریوگرانده آندهای مرکزی آرژانتین را پهنه‌بندی کردند. آن‌ها ضمن مطالعات خود به ارتباط نزدیک بین سنگ‌شناسی با مقاومت زیاد و لایه‌بندی ضخیم در بخش فوقانی، جهت شیب غالب جنوبی و غربی، ذوب برف‌ها، بارش‌های رگباری و وقوع زمین‌لغزش‌ها دست یافتند. به‌علاوه با بررسی تصاویر ماهواره‌ای به فعالیت مجدد یک لغزش قدیمی بر اثر تشکیل یک سد و فشار آب متخلخل ناشی از آن پی بردند. Saha (2002: 18) ضمن پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، شیب‌های تندتر از ۴۵ درجه را شیب‌هایی با ناپایداری بیش‌تر ذکر نمود. Komac (2006: 7) بافت سنگین خاک و شیب بالای دامنه‌ها، سنگ‌شناسی و نوع پوشش گیاهی را عامل مهم زمین‌لغزش‌ها عنوان نموده است. Feyz Niya (2001: 14) جاده‌سازی غیراصولی و وجود خاک‌های ریزدانه را از عوامل مهم لغزش می‌داند. Hashemi et al (2001: 61) پتانسیل زمین‌لغزش در ارتفاعات گستره تهران (محدوده لشکرک) را با مدل آماری رگرسیون چند متغیره مورد تحلیل و بررسی قرار دادند که در بین عوامل موٌثر پارامترهای فاصله از خطالرأس، لیتولوژی و فاصله از

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

گسل با ضریب زاویه و تاثیر منفی و پارامتر شیب با ضریب زاویه و تاثیر مثبت به‌ترتیب بیش‌ترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش‌های این حوضه داشته‌اند. Ameri et al (2016) عوامل فاصله از جاده و جهت شیب را از عوامل مهم لغزش دانسته‌اند. Kelarestaghi (2002: 5) عواملی مانند دامنه و فاصله از گسل و فاصله از شبکه هیدروگرافی را دارای تأثیر کم در زمین‌لغزش‌ها عنوان نمود. Madadi et al (2017) با استفاده از روش ELECTERE به این نتیجه رسیدند عوامل شیب، بارش و لیتولوژی بیش‌ترین تأثیر را بر ایجاد زمین‌لغزش در حوضه آق لاقان چای دارند. Domehri (2003: 12) شرط زمین‌شناسی و وضعیت توپوگرافی و آب‌وهوا و جهت دامنه را از عوامل مهم لغزش دانسته است. Gharaei (2006: 5) عوامل موثر در لغزش را شیب و جهت دامنه و فاصله از گسل و کاربری اراضی و بارندگی بیان نموده است. هدف از پژوهش حاضر شناخت و طبقه‌بندی مهم‌ترین عوامل موثر در ایجاد زمین‌لغزش و استفاده از تجربیات سایر محققان در این زمینه به‌منظور یافتن راهکارهای مناسب برای کاهش خسارات و همچنین پیش‌بینی وقوع آن در مناطق حساس می‌باشد.

پیشینه پژوهش

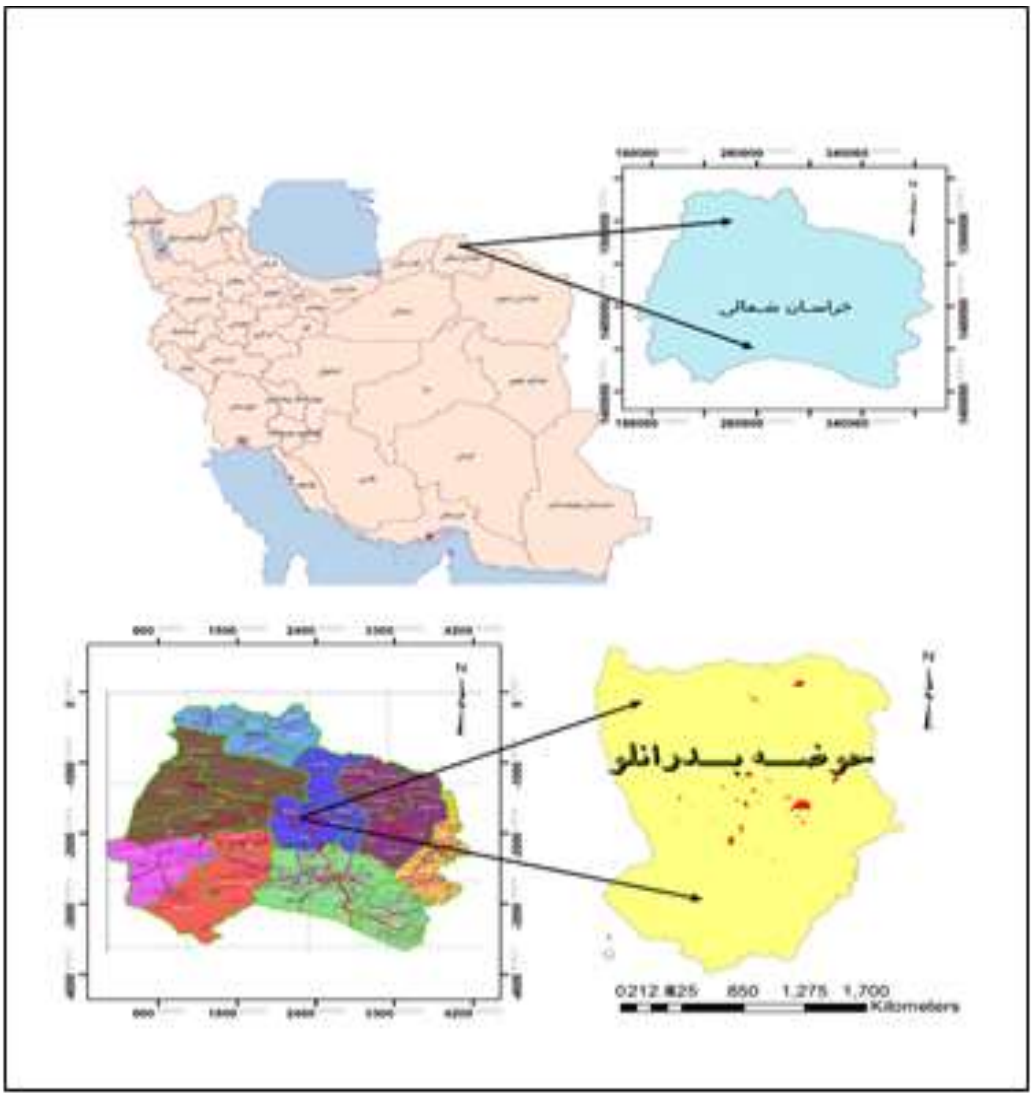
از دیگر تحقیقات صورت گرفته می‌توان به مطالعه Servati and Hashemi (2007) در پهنه‌بندی زمین لغزه‌های حوضه آبخیز صفارود Behniyafa et al (2009) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ناپایداری دامنه‌ی به روش AHP در حوضه آبریز رودخانه کنگ در دامنه‌های شمالی بینالود، Ghonavati (2011) پهنه‌بندی خطر لغزش در حوضه جاجرود با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، Ranjbar et al (2012) در پهنه‌بندی پدیده لغزش با استفاده از روش LNRF در جاده هراز، Yamani et al (2014) در تعیین مرز پهنه‌های خطر زمین‌لغزش در مسیر آزاد راه خرم‌آباد- پل زال با روش تحلیل سلسله مراتبی-فازی اشاره کرد. Ridel (2000) با استفاده از نرم‌افزارهای سیستم سنجش از دور به ارائه مدلی در زمینه حرکت‌های توده‌ای پرداخته است. نتیجه تحقیق حاکی از این است که عوامل موثر در ریزش سنگ شامل نوع سنگ (حساسیت به یخ‌بندان و تخریب مکانیکی)، شیب، بیرون‌زدگی سنگی، تکتونیک، آب‌های سطحی و پوشش گیاهی می‌باشد. Anbalaghan (1997) منطقه کاتکوم-ناینیتا واقع در هند را به روش امتیازدهی به عوامل ارزیابی خطر زمین‌لغزش (HFE) پهنه‌بندی کرد. از دیگر محققان ایرانی در زمینه زمین‌لغزش و حرکات توده‌ای می توان از Sheyat Jafarie (1996)، Kram (2011)، Shamsi pour (2010) نام برد. در رابطه با پیشینه مطالعاتی در زمینه فرآیند تحلیل شبکه، می‌توان گفت که از این روش به‌طور عمده برای مکان‌یابی استفاده شده است. Hosein zadeh, et al (2012) در مطالعه‌ای به بررسی و پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ در آزاد راه رود بار-رستم آباد با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه پرداختند. Ghil Askar, et al (2011) در مطالعه‌ای استراتژی یکپارچهٔ زیست‌محیطی پارک جنگلی صفارود به روش ANP را تدوین نمودند. Dadash Pour et al (2012)، در پژوهشی به تحلیل فضایی و مکان‌یابی مراکز اسکان موقت با استفاده از تلفیق فرآیند تحلیل شبکه‌ای ANP پرداختند. از دیگر پژوهش‌های انجام شده می‌توان به مطالعه Abas Pour et al (2013) در پژوهشی تحت عنوان استفاده از تصمیم‌گیری چند معیارهٔ مبتنی بر تلفیق روش‌های

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

DEMATEL و ANP در انتخاب مکان بهینه آرامستان‌ها اشاره نمود. Moghimi et al (2013) خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار را با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه پهنه‌بندی نمودند.

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبخیز بدرانلو در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و۲٤ دقیقه تا ۳۷ درجه و۳۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و۰۱ دقیقه تا ۵۷ درجه و۱۳ دقیقه شرقی واقع شده است. از نظر موقعیت نسبی در بخش میانی استان خراسان شمالی، ۱۰ کیلومتری غرب شهر بجنورد و در بخش مرکزی شهرستان بجنورد قرار دارد. مساحت این حوضه ۳۰۰/۳۷ کیلومتر مربع و محیط آن ۸۷/٦ کیلومتر است. از نظر توپوگرافی در منطقه‌ای کوهستانی و از نظر جایگاه زمین‌شناسی در پهنه رسوبی-ساختاری کُپه داغ قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1: Location of the studied area

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از نقشه توپوگرافی بجنورد با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی بجنورد با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه کاربری اراضی ۱:۲۵۰۰۰، آمار بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی و تصاویر ماهواره‌ای ETM^+ با قدرت تفکیک ۳۰ متر استفاده شده است و همچنین به‌منظور اولویت‌بندی عوامل به روش ANP و انجام پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه بدرانلو از نرم‌افزارهای ILWISS و Superdecision استفاده گردید. نقشه‌های موجود در نرم‌افزار رقومی شدند و نقشه فاصله از آبراهه، از روی نقشه توپوگرافی تهیه گردید. نقشه میزان شیب، جهت شیب از روی نقشه DEM و نقشه لیتولوژی و فاصله از گسل از نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه و نقشه کاربری اراضی از نقشه کاربری اراضی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه مطالعاتی، نقشه میانگین بارش سالانه با استفاده از اطلاعات بارش ایستگاه‌های مجاور و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه از تصاویر ماهواره‌ای ETM^+ سال (۲۰۱۰) تهیه گردید و با بازدیدهای میدانی کنترل شد. سپس اولویت‌بندی معیارها و زیرمعیارها توسط کارشناسان صورت گرفت و اطلاعات وارد نرم‌افزار Super Decisions شد و پس از طی مراحلی وزن‌دهی نهایی انجام شد و با تلفیق لایه‌ها نقشه پهنه‌بندی تهیه گردید.

- چارچوب روش تحلیل شبکه‌ای ANP

پروفسور ساعتی در سال (۱۹۹۶) رویکردی را توسعه داد که به رویکرد فرآیند تحلیل شبکه ای ANP معروف گردیدو مزیت آن نسبت به AHP این است که وابستگی های بین معیارها را در نظر می گیرد. روش ANP یک روش فراگیر و چندمنظوره تصمیم‌گیری می‌باشد که به‌صورت گسترده‌ای در حل مسائل پیچیده تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد که در آن به وابستگی بین عناصر بالاتر به پایین و وابستگی بین عناصر تاکید می‌کند.روند ارزش‌گذاری عناصر به‌ترتیب اهمیت از ۱تا ۹ تعیین گردید. این مدل بخش‌های مختلفی دارد: بخش اول شامل ساختار سلسله مراتبی از معیارها و زیر معیارها، بخش دوم شامل شبکه ارتباطات و تاثیرات بین معیارها، بخش سوم بازخوردهای بین عناصر و خوشه‌ها، بخش نهایی مربوط به تشکیل ابر ماتریس است (Shiba Khan et al., 2007). برای استفاده از این مدل در پهنه‌بندی زمین‌لغزش حوضه بدرانلو مراحل مختلف زیر انجام شد.

مرحله اول

تعیین شاخص‌ها و معیارها و گزینه‌ها: ابتدا عناصر مرتبط در فرآیندهای زمین‌لغزش از طریق مطالعات میدانی، پرس‌وجو از طریق کارشناسان و نظرات کارشناسی تعیین شدند و ساختار مدل تشکیل شد.

مرحله دوم

تعیین ارتباطات بین خوشه‌ها، عناصر و گزینه‌ها: در این مرحله مشخص شد کدام یک از عناصر با عناصر دیگر در ارتباط بوده، بر آن‌ها اثر می‌گذارد و از آن‌ها تاثیر می‌پذیرد. از طریق نظرات کارشناسی پرسش‌نامه‌هایی تهیه شد و با

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

فرآیند دیماتل ارتباط بین خوشه‌ها، عناصر و گزینه‌ها تعیین شد. تعداد ۲۰ پرسش‌نامه تهیه شد و مقایسه زوجی بین خوشه‌ها بر حسب میزان تاثیرشان از ۱ تا ۹ ارزش‌گذاری شدند.

مرحله سوم

وزن دهی و مقایسه زوجی بین خوشه‌ها، عناصر و گزینه‌ها: در این مرحله مقایسه زوجی بین خوشه‌ها به سبک پرسش‌نامه‌ای صورت گرفت و حدود ۱۳۸ مورد مقایسه زوجی بین خوشه‌ها صورت گرفت. پس از انجام مقایسه، برای مشاهده نتایج مقایسه‌ها میزان نرخ ناسازگاری آن‌ها بررسی شد. نرخ ناسازگاری قضاوت انجام شده برای نمونه برابر با ۰/۰۰۷۸ و کم‌تر از ۰/۱ می‌باشد که در این روش میزان نرخ ناسازگاری نباید بیش‌تر از ۰/۱ باشد که این میزان از خطا با توجه به تعداد زیاد قضاوت‌ها قابل قبول است (شکل ۲). در داخل هر خوشه مجموعه‌ای از عناصر قرار دارند که با هم مقایسه شدند. حدود ۵۳ مورد مقایسه عناصر درون خوشه‌ها انجام شد و نرخ ناسازگاری برای هر قضاوت کنترل شد. میزان نرخ ناسازگاری برای هر مقایسه باید کم‌تر از ۰/۱ باشد. پس از مقایسه زوجی عناصر ضریب و ارزش نهایی هر عنصر و گزینه تعیین شد و وزن‌های به‌دست آمده به نرم‌افزار سوپر دسیژن[4] انتقال یافته و در نهایت با استفاده از این وزن‌ها ضریب و ارزش نهایی هر عنصر و گزینه تعیین شد. پس از محاسبه ضریب نهایی، سه نوع ابرماتریس غیر وزنی[5]، وزنی[6] و حدی[7] تشکیل شد.



شکل ۲: نتایج فرآیند وزن‌دهی و میزان نرخ ناسازگاری لایه‌های اطلاعاتی

Figure 2: Results of the weighting process and the rate of incompatibility of the information layers

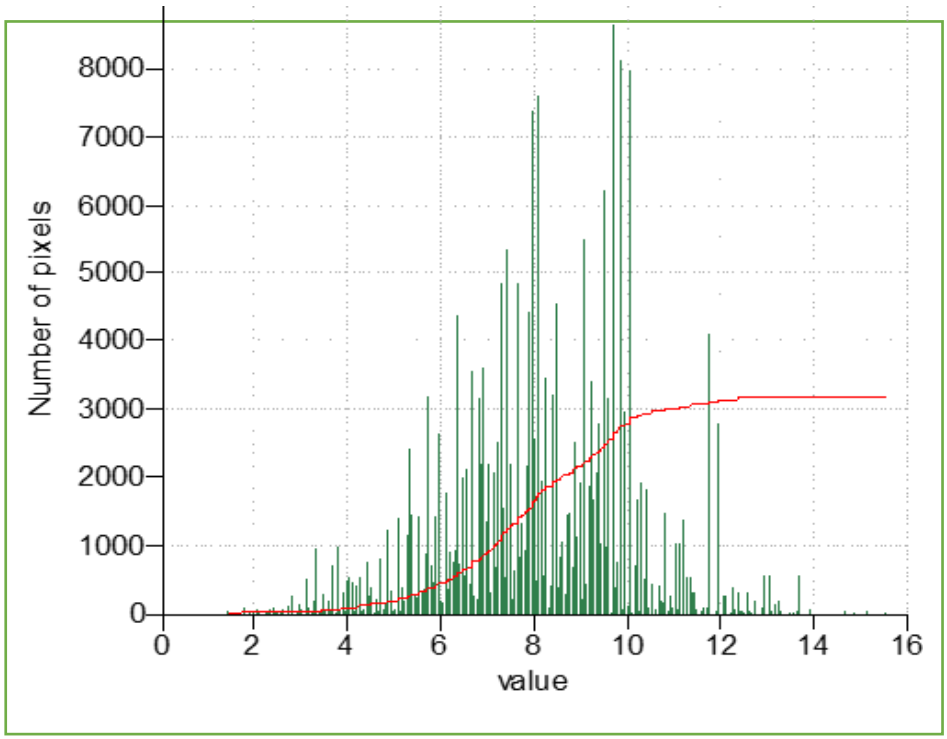
4- super decisions
5- unweighted supermatrix
6- weighted supermatrix
7- limit supermatrix

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مرحله چهارم

طبقه‌بندی و امتیازدهی لایه‌های اطلاعاتی

بر اساس وزن کلاس‌های هر لایه و با توجه به اهمیتی که در وقوع زمین‌لغزش دارند لایه‌های اطلاعاتی در محیط ILWIS به لایه‌های رستری تبدیل شدند. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی تمام لایه‌ها توسط ابزار Raster calculator تلفیق شد و وزن‌های نهایی به‌دست آمده از مدل ANP که برای هر عنصر به‌دست آمده بود وارد لایه نهایی شده و نقشه پهنه‌بندی به‌دست آمد (شکل ۳).



شکل ۳: نمودار هیستوگرام نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه با روش ANP

Fig 3: Histogram of landslide damage basin by ANP method

یافته‌ها و بحث

پس از تعیین روابط بین معیارهای مؤثر در خطر زمین‌لغزش با استفاده از پرسش‌نامه و تعیین ضرایب اولیه هر عنصر از طریق مقایسه‌های زوجی که بر پایه پرسش‌نامه انجام شد، ضرایب به‌دست آمده از مجموعه عناصر در یک ابرماتریس گردآوری شده و با استفاده از ضرایب به‌دست آمده از طریق مقایسه زوجی و از طریق عملیات ریاضی در نرم‌افزار مربوطه، ابرماتریس غیروزنی و ابرماتریس وزنی تشکیل گردید. با توجه به این دو ابر ماتریس، ابر ماتریس حدی تشکیل شد. ابر ماتریس حدی، ضرایب یکسانی برای همه عناصر به‌دست می‌دهد (جداول ۱ تا ۳).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۱- ابر ماتریس غیروزنی عناصر مورد مطالعه در وقوع زمین‌لغزش حوضه بدرانلو

Table 1: Non-traveling cloud matrix of studied elements in the occurrence of landslide in Badranlo basin

کاربری اراضی	میزان شیب دامنه	لیتولوژی	فاصله از گسل	فاصله از مراکز سکونتی	فاصله از آبراهه	جهت شیب	بارندگی سالانه	ابر ماتریس حدی
۰/۲۲۷۰۴۵	۰/۵۰۲۶۱۳	۰/۰۲۷۷۷۸	۰/۰۲۴۰۷۰	۰	۰	۰	۰	بارندگی سالانه
۰/۴۲۳۵۸۷	۰	۰/۰۸۶۰۶۴	۰/۵۰۲۶۱۳	۰	۰/۰۷۹۶۴۴	۰	۰	جهت شیب
۰/۱۲۲۳۲۴	۰	۰/۱۹۹۴۱۵	۰/۲۹۰۰۷۷	۰	۰	۰/۰۵۰۶۸۳	۰	فاصله از آبراهه
۰/۲۲۷۰۴۵	۰	۰/۰۱۶۱۲۶۲	۰/۱۵۵۴۸۲	۰	۰/۱۲۸۸۷	۰	۰	فاصله از مراکز سکونتی
۰	۰	۰/۱۷۵۴۳۳	۰	۰	۰/۱۶۳۶۴	۰	۰	فاصله از گسل
۰	۰	۰	۰	۰/۶۰۲۶۲۹	۰/۵۸۱۵۵۲	۰/۱۶۳۴۲۴	۰/۱۰۰۰۰۰	لیتولوژی
۰	۰	۰	۰	۰/۳۱۵۰۲۹	۰/۳۰۸۹۹۶	۰/۲۹۶۹۶۱	۰/۳۰۰۰۰۰	میزان شیب دامنه
۰	۰/۱۲۰۸۰۱	۰	۰	۰/۰۸۲۳۴۲	۰	۰/۵۳۹۶۱۵	۰/۶۰۰۰۰۰	کاربری اراضی

جدول ۲- ابر ماتریس وزنی عناصر مورد مطالعه در وقوع زمین‌لغزش حوضه بدرانلو

Table 2- cloud Matrix weight of the elements studied in the occurrence of landslide in Badranlo basin

کاربری اراضی	میزان شیب دامنه	لیتولوژی	فاصله از گسل	فاصله از مراکز سکونتی	فاصله از آبراهه	جهت شیب	بارندگی سالانه	ابر ماتریس وزنی
۰	۰	۰/۰۲۷۷۷۸	۰	۰	۰/۱۳۰۳۷۷۵	۰	۰	بارندگی سالانه
۰	۰	۰/۰۸۶۰۶۴	۰	۰	۰/۱۵۹۲۸۸	۰	۰	جهت شیب
۰	۰	۰/۱۹۹۴۱۵	۰/۱۰۱۳۶۶	۰	۰	۰	۰	فاصله از آبراهه
۰/۲۲۷۷۴۵	۰/۰۵۱۸۲۷	۰/۰۱۶۱۶۲	۰	۰	۰	۰/۱۶۳۴۲۴	۰	فاصله از مراکز سکونتی
۰/۴۲۳۵۸۷	۰	۰/۱۷۵۴۳۳	۰	۰	۰	۰/۲۹۶۹۶۱	۰/۱۰۰۰۰۰	فاصله از گسل
۰	۰/۱۵۵۴۸۲	۰	۰/۲۹۰۰۷۷	۰	۰	۰/۵۳۹۶۱۵	۰/۳۰۰۰۰۰	لیتولوژی
۰	۰	۰	۰/۱۵۵۴۸۲	۰/۳۱۵۰۲۹	۰/۳۰۸۹۹۶	۰	۰/۶۰۰۰۰۰	میزان شیب دامنه
۰	۰/۵۰۲۶۱۳	۰	۰/۰۵۱۸۲۷	۰/۰۸۲۳۴۲	۰/۱۰۹۴۵۲	۰	۰	کاربری اراضی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۳- ابر ماتریس حدی عناصر مورد مطالعه در وقوع زمین‌لغزش حوضه بدرانلو

Table 3- Cloud matrix of the elements investigated in the occurrence of landslide in Badranlo basin

	کاربری اراضی	میزان شیب دامنه	لیتولوژی	فاصله از گسل	فاصله از مراکز سکونتی	فاصله از آبراهه	جهت شیب	بارندگی سالانه	ابر ماتریس غیر وزنی
بارندگی سالانه	۰/۰۸۰۷۲۸	۰/۰۵۱۸۲۷	۰/۲۷۷۷۷۸	۰	۰	۰/۱۳۰۳۷۵۷	۰	۰/۱۰۰۰۰۰	بارندگی سالانه
جهت شیب	۰	۰/۱۵۵۴۸۲	۰/۰۸۶۰۶۴	۰/۲۹۰۰۷۷	۰	۰	۰/۱۶۳۴۲۴	۰/۳۰۰۰۰۰	جهت شیب
فاصله از آبراهه	۰/۲۲۷۰۴۵	۰/۲۹۰۰۲۷	۰/۰۶۹۶۲۷	۰/۱۵۵۴۸۸	۰	۰/۵۸۱۵۵۲	۰	۰/۶۰۰۰۰۰	فاصله از آبراهه
فاصله از مراکز سکونتی	۰	۰/۵۰۲۶۱۳	۰/۱۹۹۴۱۵	۰/۰۵۱۸۲۷	۰/۶۰۲۶۲۹	۰	۰/۰۴۸۱۴۸۰	۰	فاصله از مراکز سکونتی
فاصله از گسل	۰/۴۲۳۵۸۷	۰	۰/۱۶۱۲۶۲	۰/۵۰۲۶۱۳	۰	۰/۳۰۸۹۹۶	۰/۲۹۶۹۶۱	۰	فاصله از گسل
لیتولوژی	۰/۱۲۲۳۲۴	۰/۲۹۰۰۷۷	۰	۰	۰/۳۱۵۰۲۹	۰/۱۰۱۳۶۶	۰	۰/۱۵۹۲۸۸	لیتولوژی
میزان شیب دامنه	۰/۲۲۷۰۴۵	۰	۰/۱۷۵۴۳۳	۰	۰	۰/۱۰۹۴۵۲	۰/۵۳۹۶۱۵	۰	میزان شیب دامنه
کاربری اراضی	۰	۰/۵۰۲۶۱۳	۰/۰۳۰۴۲۱	۰/۲۴۱۶۰۳	۰/۰۸۲۳۴۲	۰/۰۲۵۷۷۳	۰	۰/۲۱۲۷۲۲۷	کاربری اراضی

برای به‌دست آوردن ضریب نهایی هر عنصر، ابتدا ضرایب به‌دست آمده از جدول ابر ماتریس حدی بر ضریب خوشه ها ضرب گردید تا ضریب نهایی هر عنصر به‌دست آورده شود. سپس ضرایب به‌دست آمده بر لایه‌ی اطلاعاتی هر عنصر اعمال شد و نقشه نهایی آن در نرم‌افزار ILWIS تهیه گردید. مدل پیشنهادی بر اساس رابطه (۱) ارائه شده است (جداول ٤ و ٥).

رابطه (۱)

ANP= Slope × 0.241603 +Aspect×0.04814 +Landuse×0.080728 +Litology × 0.212727+ Distance to river × 0.159287+ Distance to Falt × 0.025773+ Distance to Settlements × 0.101366+ Annual rainfall × 0.130376

جدول ٤- وزن‌های اختصاص داده شده مربوط به هر معیار به همراه وزن نرمال شده آن

Table 4- The assigned weights for each criterion plus its normalized weight

معیار	زیر معیار	وزن نرمال شده	معیار	زیر معیار	وزن نرمال شده	زیر معیار	وزن نرمال شده
گسل	۰-۵۰۰	۰/۰۱۲۹۵٤	زمین‌شناسی	Q	۰/۰۵۹۰۹۱	۰-۵۰۰	۰/۰۶۱۰۸۶
	۵۰۰-۱۰۰۰	۰/۰۰۷٤۷۶		Qt	۰/۰۱۸۳۰۸	۵۰۰-۱۰۰۰	۰/۰۳۱۹۳۳
	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۰/۰۰٤۰۰۷		N	۰/۰۱٤۸۱۲	>۱۰۰۰	۰/۰۰۸۳٤۷

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ٤- وزن‌های اختصاص داده شده مربوط به هر معیار به همراه وزن نرمال شده آن

Table 4- The assigned weights for each criterion plus its normalized weight

معیار	زیر معیار	وزن نرمال شده	معیار	زیر معیار	وزن نرمال شده	معیار	زیر معیار	وزن نرمال شده
	>۲۰۰۰	۰/۰۰۱۳۳٦		Ktr	۰/۰٤۲٤۲۱		۰-۳۰۰	۰/۰۹۲٦۳٤
میزان شیب	۰-۲۰	۰/۰۱۲٥۲۲		Km	۰/۰۳٤۳۰٥	فاصله از آبراهه	۳۰۰-٦۰۰	۰/۰٤۹۲۱۲
	۲۰-۳۰	۰/۰۳۷٥٦٥		Ksr	۰/۰۳۷۳۱۹		>٦۰۰	۰/۰۱۷٤۳٤
	۳۰-٤٥	۰/۰۷۰۰۸۳		Ql	۰/۰۰٦٤۷۱	بارش سالانه	۲۸۰-۳۰۲	۰/۰۱۳۳۰۸
	>٤٥	۰/۱۲۱٤۳۳	کاربری اراضی	اراضی زراعی دیم	۰/۰۱۸۳۲۹		۳۰۲-۳۲۲	۰/۰۳۹۳۱۳
جهت شیب	NE-E-SE	۰/۰۰۷۸۷٦		باغات و اراضی زراعی و آبی	۰/۰۳٤۱۹٥		۳۲۲-۳٤۹	۰/۰۷۸۲٥٥
	S-SW	۰/۰۱٤۲۹٦		اراضی لخت	۰/۰۰۹۸۷٥			
	W-NW-N	۰/۰۲٥۹۷۷		مرتع	۰/۰۱۸۳۲۹			

جدول ٥- وزن‌های نهایی معیارهای اصلی زمین‌لغزش با استفاده از نرم‌افزار Super Decision

Table 5- Final weights of the main landslide criteria using Super Decision

علائم اختصاری معیارها	معیارها	ضرایب
A1	میزان شیب دامنه	۰/۲٤۱٦۰۳
A2	فاصله از گسل	۰/۰۲٥۷۷۳
A3	جهت شیب	۰/۰٤۸۱٤
A4	زمین‌شناسی	۰/۲۱۲۷۲۷
A5	فاصله از اماکن سکونتی	۰/۱۰۱۳٦٦
A6	فاصله از آبراهه	۰/۱٥۹۲۸۷
A7	کاربری اراضی	۰/۰۸۰۷۲۸
A8	بارش سالانه	۰/۱۳۰۳۷٦

با مطالعات انجام شده مشخص شد در میان عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه، عامل میزان شیب دامنه و لیتولوژی بیش‌ترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه داشته‌اند. با توجه به واحدهای زمین‌شناسی در حوضه به

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

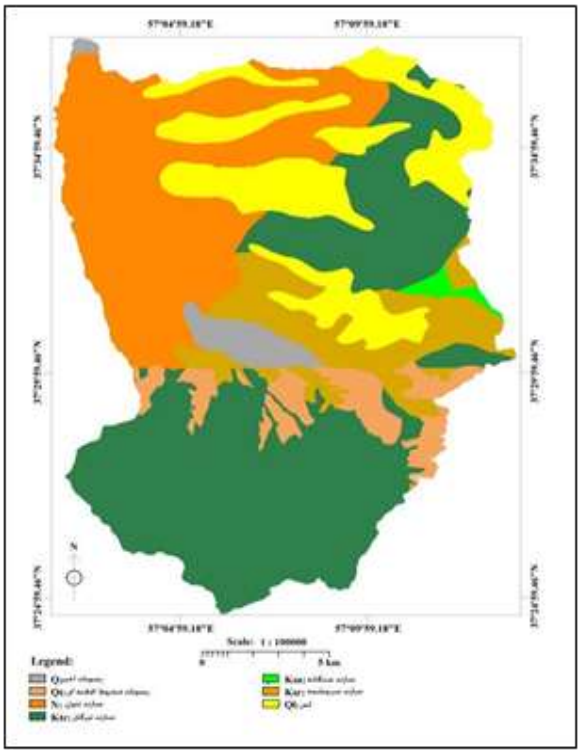
نظر می‌رسد رسوبات لسی با مساحت ۶۹۵۷۰۰ متر مربع نقش موثری در پراکنش زمین‌لغزش‌ها در حوضه داشته‌اند (شکل ٤). فاصله از مراکز سکونتی از دیگر عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش حوضه است. فاصله‌های بین ۵۰۰-۰ متر دارای ناپایداری بیش‌تری در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه می‌باشند (شکل ۵). همچنین از نظر کاربری اراضی مناطقی که دارای پوشش گیاهی ضعیف هستند، برای لغزش مستعدترند. در منطقه مورد مطالعه پوشش گیاهی مرتع با مساحت ۷۹۷٤۰۰ متر مربع به دلیل پوشش بوته‌ای و علفزار دارای لغزش‌های بیش‌تری است (شکل ٦). جهت شیب دامنه از پارامترهای تأثیرگذار در ایجاد لغزش‌های دامنه‌ای است. بیش‌ترین ناپایداری دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه در جهت جنوبی با وسعت ۲۹۳۰۰ متر مربع و شیب شمال‌غرب با وسعت ۳۰۲٤۰۰ متر مربع می‌باشد (شکل ۷). به‌علاوه شیب توپوگرافی یکی از عوامل مهم در ایجاد ناپایداری و حرکات توده‌ای است. زیر کلاس بیش از ٤۵ درجه با وسعت ۷۲۰۰ متر مربع دارای بیش‌ترین زمین‌لغزش بوده است (شکل ۸). فاصله از آبراهه، از جمله عواملی است که در وقوع لغزش‌ها، نقش تعیین کننده دارد. در محدوده مورد مطالعه فاصله ۳۰۰-۰ متر با مساحت ۱٦۳۱۷۰۰ متر مربع دارای بیش‌ترین زمین‌لغزش در منطقه می‌باشد (شکل ۹). گسل‌ها نیز از عوامل تشدیدکننده حرکت‌های توده‌ای می‌باشند (Ahmadi, 2013: 208). سنگ‌ها به دلیل گسل خوردگی شدیداً خرد و شکسته شده و باعث ایجاد ناپایداری دامنه‌ای می‌شوند. گسل خوردگی در سنگ‌ها باعث مهیّا شدن شرایط عبور آب‌های زیرزمینی، افزایش هوازدگی و کاهش مقاومت سنگ‌ها می‌شود. بیش‌ترین زمین‌لغزش در فاصله ۵۰۰-۰ متر با مساحت ۷۱۲۸۰۰ متر مربع اتفاق افتاده است. با افزایش فاصله از گسل میزان زمین‌لغزش کاهش می‌یابد (شکل ۱۰). از عوامل دیگر موثر در لغزش، میزان بارش سالانه است که با وقوع حرکات لغزشی همبستگی دارد. معمولا با افزایش بارندگی، میزان لغزش بیش‌تر می‌شود (شکل ۱۱). از تلفیق این ۸ لایه، نقشه وزنی نهایی به‌دست آمد و از نظر خطر وقوع زمین‌لغزش، به پنج کلاس مناطق با خطر بسیار کم، مناطق با خطر کم، مناطق با خطر متوسط، مناطق با خطر زیاد و مناطق با خطر خیلی زیاد طبقه‌بندی شد (شکل ۱۲). جدول (٦) درصد پهنه‌های لغزشی در هر کلاس را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ٦- مساحت پهنه‌های لغزشی

Table 6- Area of sliding zones

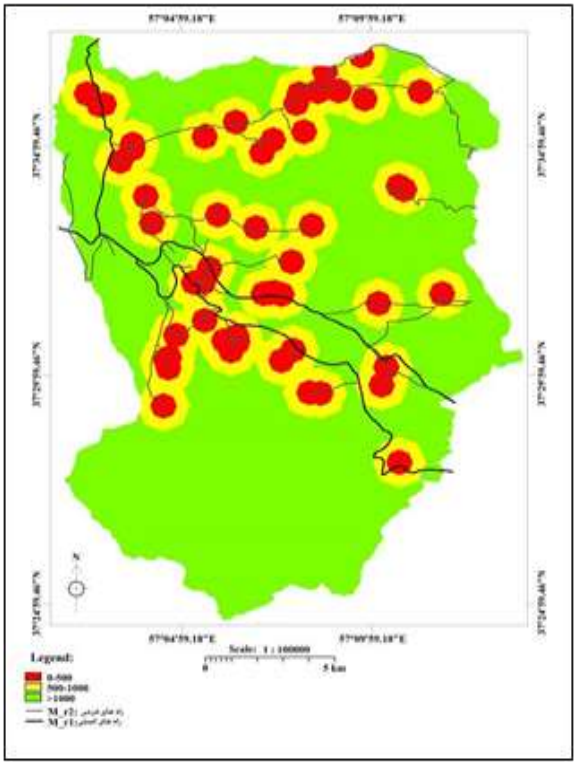
مساحت (M^2)	درصد نقاط لغزشی مستقر روی هر یک از پهنه‌ها	تعداد نقاط لغزشی مستقر روی هر یک از پهنه‌ها	بازه مقادیر هر یک از پهنه‌ها	وضعیت قرارگیری نقاط لغزشی روی پهنه‌های لغزشی
۷۵٦۰۰	۳۰/٤۳	۲۱	۵/۲-۷/۱	نقاط لغزشی با خطر متوسط
۹۱۸۰۰	۳۷/٦۸	۲٦	۷/۱-۹/۱	نقاط لغزشی با خطر زیاد
۷٦۵۰۰	۳۱/۸۹	۲۲	۹/۱-۱۵/۵۸	نقاط لغزشی با خطر خیلی زیاد
۲٤۳۹۰۰	۱۰۰	٦۹	-	مجموع

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



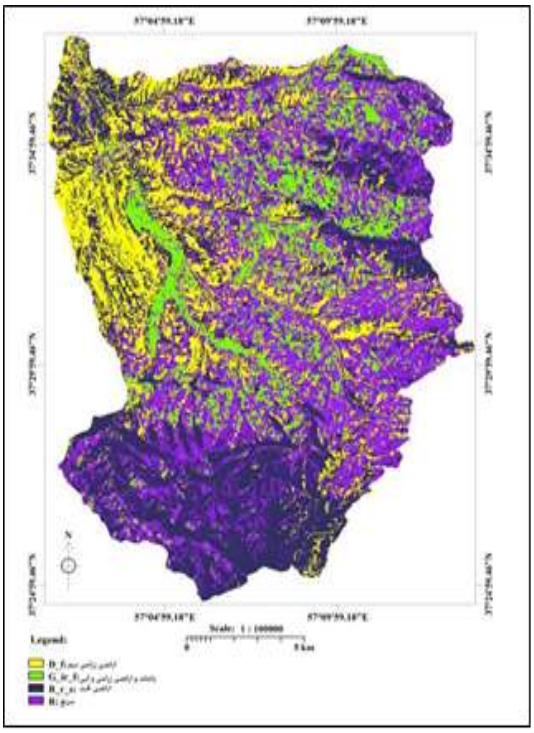
شکل ٤: نقشه داده‌های لیتولوژی

Figure 4: Lithology Data Map



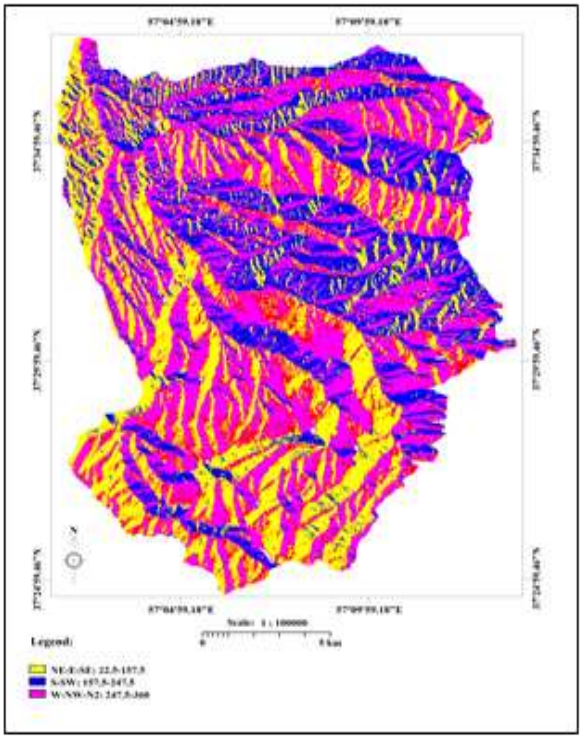
شکل ٥: نقشه فاصله از مراکز سکونتی

Figure 5: distance Map from the residential centers



شکل ٦: نقشه کاربری اراضی

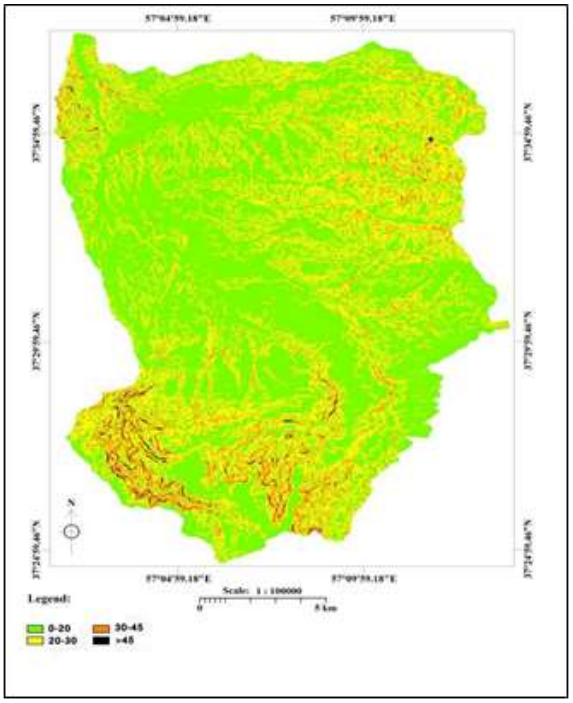
Figure 6: Land use map



شکل ۷: نقشه جهت شیب

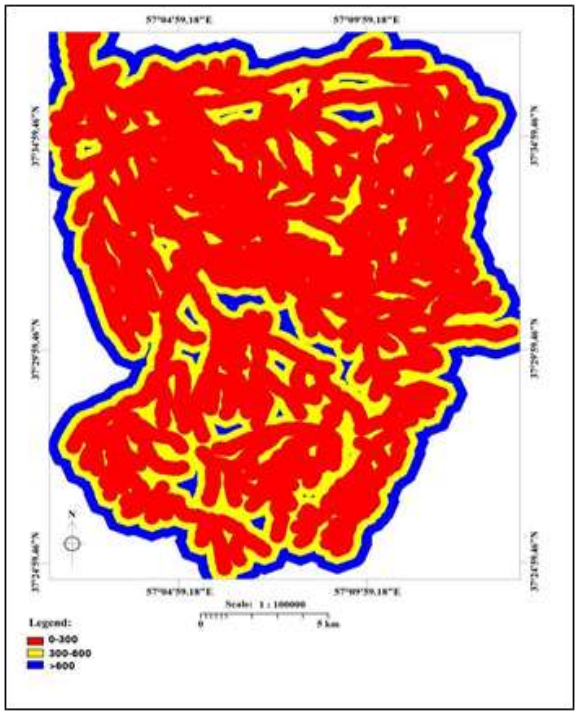
Figure 7: The direction of the gradient

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



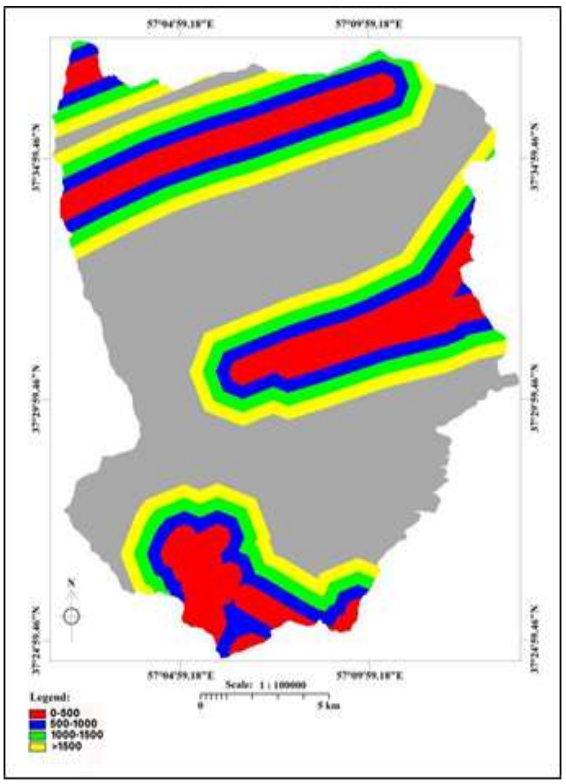
شکل ۸: نقشه میزان شیب

Figure 8: Slope map



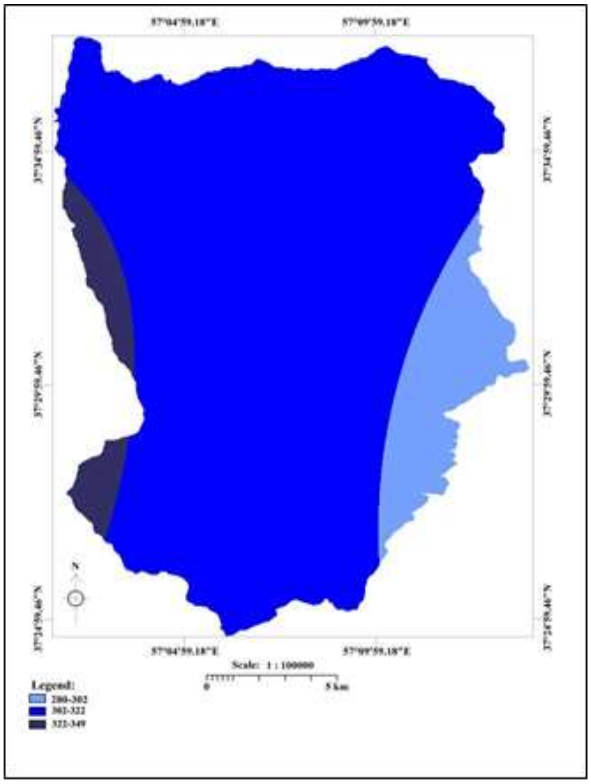
شکل ۹: نقشه فاصله از آبراهه

Figure 9: Distance map of the waterway



شکل ۱۰: نقشه فاصله از گسل

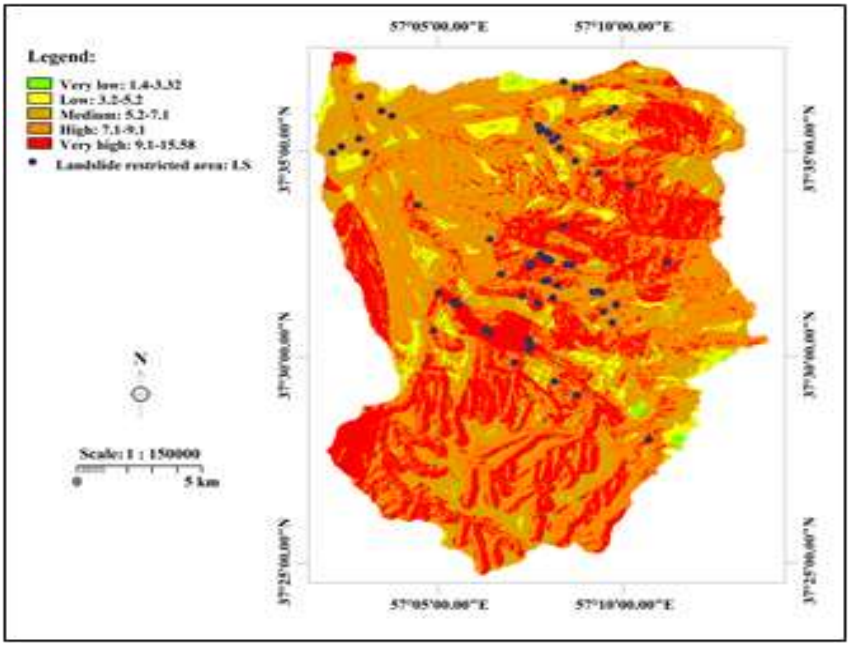
Figure 10: Map distance from the fault



شکل ۱۱: نقشه میانگین بارش سالانه

Figure 11: Annual precipitation map

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۱۲: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و تلفیق آن با نقشه پراکنش لغزش‌ها در حوضه بدرانلو

Figure 12: Landslide hazard zonation map and its combining with landslide distribution map in Bardranlo basin

نتیجه‌گیری

حرکات دامنه‌ای به‌طور کلی تحت تأثیر عواملی از قبیل شیب، بارش، لیتولوژی، فاصله از گسل، جاده و رودخانه و عامل انسانی قرار دارد. با توجه به نقشه پراکنش و تراکم زمین‌لغزش‌ها در حوضه مطالعاتی چنین می‌توان گفت که در بین عوامل هشت‌گانه موثر در زمین‌لغزش حوضه آبخیز بدرانلو عامل میزان شیب دامنه و لیتولوژی بیش‌ترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش‌ها داشته است. به‌طوری که حدود ٦٣ درصد زمین‌لغزش‌ها در رسوبات لسی رخ داده است. عوامل فاصله از آبراهه، میانگین بارش سالانه، فاصله از مراکز سکونتی، کاربری اراضی، جهت شیب و فاصله از گسل در رده سوم تا هشتم قرار دارند. با توجه به وضعیت لیتولوژی حوضه تغییرات کاربری اراضی از دیم به زراعت آبی، ریزش بارش غالبا بیش‌تر از۳۰۰ میلی‌متر و کوهستانی بودن منطقه و شیب تند دامنه‌ها، عامل مهمی در بروز پدیده زمین‌لغزش در منطقه است. کلاس و زیر کلاس هر یک از عناصر از نظر اهمیت لغزش در جداول ارائه شده است. در تحقیق حاضر منطقه مورد مطالعه از نظر حساسیت به خطر وقوع زمین‌لغزش، به سه کلاس کلی طبقه‌بندی شد که بر اساس آن، ۳۰/٤۳٪ از منطقه مورد مطالعه با خطر متوسط و کم، ۳۷/٦۸٪ با خطر زیاد، ۳۱/۸۹٪ با خطر خیلی زیاد می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مدل ANP با لغزش‌های فعلی منطقه مطابقت دارد. به صورتی که تعداد ۲۱ لغزش با مساحت ۷٥٦۰۰ متر مربع در نقاط لغزشی با خطر متوسط و کم، تعداد ۲٦ لغزش با مساحت ۹۱۸۰۰ متر مربع در نقاط لغزشی با خطر زیاد و تعداد ۲۲ لغزش با مساحت ۷٦٥۰۰ مترمربع در نقاط لغزشی با خطر خیلی زیاد روی داده است. در نتیجه حدود ۷۰ درصد از لغزش‌ها در مناطقی روی داده است که طبق پهنه‌بندی انجام شده جزء مناطق

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

پرخطر می‌باشند. در نهایت با توجه به این‌که پدیده زمین‌لغزش در مناطق کوهستانی آسیب‌های قابل توجهی را به مناطق مسکونی و راه‌های ارتباطی وارد می‌سازد ضروری است، تا مطالعات ویژه‌ای درباره‌ی شناخت دقیق‌تر عوامل موٌثر در وقوع و راه‌های کاهش خسارت آن انجام شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Ahmadi, H., (2013), "***Applied Geomorphology***", Vol. 1, Water Erosion. 7th Edition. Tehran,University, 680. [In Persian].
- Arab Ameri, A. R., Rezaei, KH, Shirani, K., (2016), "Landslide hazard assessment and assessment using trustworthiness factor models, surface density and analysis Hierarchy (Case Study: Vanak Basin, Isfahan Province)", ***Geographical Space***, 18 (62): 93-116. [In Persian].
- Alaei Taleghani, M., (2002), "***Iranian geomorphology***", Tehran: Ghomes Publication, First edition, 375. [In Persian].
- Anbalagan, R., (1997), "Landslide hazard evaluation and donation mapping in mountainous terrainEngineering", ***Geology***, Vol 32: 37-40.
- Behniafar, A., Ghanbarzadeh, H., Mansouri Daneshvar, M., (2009), "Landslide hazard zonation and amplitude instability by AHP method and case study: Kang River catchment area, domains of northern Binaloud", ***Journal of Geospatial Research***, 9 (27): 55-78. [In Persian].
- Crozier, M, J., T, Glade, T., (1997),"Frequency and magnitude of landsliding: Fundamental Research", Issues, Zeitchrift fur geomorphologie, Supplement, 115:141-155.
- Dadashpour, H., Khadabakhsh, H. R., Rafieian, M., (2012), "Spatial analysis and zoning of temporary resettlement centers using the integration of the network analysis process (ANP)", ***Journal of Geography and Environmental Hazards***", 1: 112-131. [In Persian].
- Domehri, D, (2003), "Study of landslide areas in Zamzam dam watershed", 24. [In Persian].
- Feiznya, S., Hasanzadeh, M., Ahmadi, H., (2001), "Landslide hazard zonation in Shalmanrood Basin in Gilan Province", ***Natural Resources Journal of Tehran University***, 207-220. [In Persian].
- Garaei, P., (2006), "Study of landslide mass movements for presenting a regional zoning model of hazard in Lajimrood River basin", Master thesis, Mazandaran University, Faculty of Natural Resources. [In Persian].
- Ghana'Ati, A. A., (2011), "Zoning the risk of slipping in the Jajrood Basin using Analytical Hierarchy process (AHP)", ***Journal of Applied Geographical Sciences***, 17 (20): 51-68.
- Gil Asgar., R, Saeb, K., Arjomandi, R., Khorasani, N. A., (2011), "Development of an integrated environmental strategy for Safarood forest Park viaANP", ***Journal of Natural Resources Sciences and Technology***, 6 (1): 112-125. [In Persian].
- Glade,T .,(2003), "Vulnerability assessment in landslide risk analysis", ***DIE ERDE***, 134: 123-146.
- Hosseinzadeh, M. M., Rahimi Harabadi, S., Orouji, H., Samadi, M., (2012), "Investigating the risk of rock falls on Roodabar-Rostamabad freeway using the network analysis process", ***Journal of Geography and Environmental Risks***, 2: 132-145. [In Persian].
- Kalarestaghi, A. A., Feiznya, S., Ahmadi, H., Safaii, M., (2002), "Investigating factors affecting landslides and zoning of landslide hazard in Shirinrood watershed, Sari", Master's thesis in Watershed, University of Tehran, Faculty of Natural Resources. [In Persian].
- Karam, A., (2001), "Quantitative modeling and zoning of landslide hazard in collapsed Zagros", Ph.D. thesis, Tarbiat Modarres University. [In Persian].
- Komac, M., Gerald, F., (2006), "A Landslide suscepility model using the an analytical hierarchy processmethod and multivariate statistics per alpine Slovenia", ***Geomorphology***, 74: 55-78.
- Espizua, J. D., Bengochea., D., (2002), "Landslide hazard and risk zonation Mapping in the Rio Grande Basin", Central Andes of Mendoza, Argentina, Mountain, Research and Development, 22 (2): 177-185. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Mantegh, A., Hashemi Tabatabaee, S., (2001), "Analysis and investigation of landslide potential in Tehran's vast altitudes (Lashkarak area)", (35): 68. [In Persian].
- Moghimi, A., Yamani M., Rahimi Harabadi, S., (2013), "Evaluation and zoning of landslide hazard in Roodbar city using the network analysis process", ***Journal of Quantitative Geomorphology Researches***, 4: 118-1030. [In Persian].
- Madadai, A., Pirozi, E., Shekar zade fard, E.,(2017), "Zeleny hazard zonation in the Aghlaghan Chai", Azad University of Ahar Branch, ***Geographical Space***, 18 (6): 177-199. [In Persian].
- Nagarjan, R. A., (2000), "Landslide hazards susceptibility mapping based on terrain and climaticfactors for tropical monsoon region", ***Bull Engineering Geology Environmental***, 113-124. [In Persian].
- Ranjbar, M., Memari Eftekhari, M., (2012), "Zoning the slip phenomenon using the LNRF method on the road of Haraz (from Imamzadeh Hashem to Larijan", ***Journal of Geography***, (48): 107-128. [In Persian].
- Riedel, L., Harald, V., Kalasek, R., (2000), "Map models: A new approach for spatial decision support incivil cultural decision making", vol 21,169 .
- Saaty, T. L., (2005), "Making and validating complex decisions with the AHP/ ANP", ***Journal of Systems Science and Systems Engineering***,14 (1): 1-36.
- Saha, A. K., Gupta, R. P., Arora, M. K., Kumar, A., (2002), "GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley Himalayas", ***International Journal of Remote Sensing,Vol***, 23 (2): 357-369.
- Salehipour, A., (2001), "Investigation of hydromorphic parameters effective on Ghori-Chai Basin's domain movements Using GIS", Thesis, Master's Degree, University of Tehran, 4. [In Persian].
- Servati, M. R., Hashemi, S. I., (2007), "Geomorphology of Safarood watershed, Ramsar area", ***Journal of Geographic Landscape***, 20-35. [In Persian].
- Shamsipour, A, A., Sheikhi, M., (2010), "Zoning sensitive areas and environmental vulnerability in western west of Fars by fuzzy classification method and hierarchical analysis process", ***Quarterly Journal of Natural Geography***, (73): 53-68. [In Persian].
- Shariat Jafari, M., (1996), "***Landslide (basics and principles of steady natural slopes***", Tehran: Sazeh Publication.
- Sheeba, Kh., Mohd, N. F., (2007), "An analytic network process model for municipal solid waste disposal options", Vol. 28, Waste Management, No., PP 1500-1508.
- Taheri, M., Abbaspour, R. A., Alavi Panah, S. K., (2014), "Using a multi-criteria decision making based on the combination of DEMATEL, ANP methods in selecting the optimal location of the building blocks", ***Journal of Environmentalology***, (2): 463-480. [In Persian].
- Yamani, M., Hassanpour, S., Mostafaei, A., Shadman Roodposhti, M., (2011), "Map of landslide hazard zonation in the Great Karun basin by using AHP in GIS", ***Journal of Geography and Environmental Planning***, 23 (4): 40-56.
- Yamani, M., Shamsipour, A. S. A., Gurabi, A., Rahmati, M., (2014), "Determination of the boundaries of landslide hazard zones in the free path of Khorram Abad- Pol Zal using the Fuzzy Analytical Hierarchical- Analytical (FAHP)", ***Journal of Applied Geographical Sciences***, 14: 32. [In Persian].
- Zezere, J., (1999), "Landslide in the north of Lisbon region (Portugal: conditioning and triggering factors", phys. chem. Earth (A), 24 (10): 277-291.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]