دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

تعیین عرصه‌های حساس به لغزش با استفاده از روش ترکیبی نوین آنتروپی شانون-ارزش اطلاعات (مطالعه موردی: حوزه سرخون کارون)

علیرضا عرب عامری[۱]، خلیل رضایی[۲]، کورش شیرانی[۳] و مجتبی یمانی[۴]

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، (نویسنده مسوول: alireza.ameri91@yahoo.com)
۲- استادیار رسوب‌شناسی، دانشگاه خوارزمی
۳- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان
۴- استاد ژئومورفولوژی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۱۱

چکیده

زمین لغزش‌ها خسارات جدی را به اقتصاد، محیط و انسان در سراسر جهان تحمیل می‌کند، شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش برای اجتناب از این خطرات ضروری می‌باشد. در این پژوهش جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه سرخون کارون از مدل ترکیبی آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات استفاده گردیده است. بدین‌منظور ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی، نقاط لغزشی در منطقه مورد نظر شناسایی و نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. در گام بعد، ۱۲ عامل موثر در رخداد زمین لغزش شامل طبقات ارتفاعی، درصد شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، لیتولوژی، کاربری اراضی، شاخص قدرت جریان (SPI)، شاخص خیسی توپوگرافی (TWI)، شاخص انحنای سطح و شاخص انحنای مقطع شناسایی گردید و نقشه‌های مذکور در محیط ArcGIS10.2 رقومی گردید. به منظور تعیین وزن عوامل از روش آنتروپی شانون و برای تعیین وزن کلاس‌ها از روش ارزش اطلاعات استفاده گردید. نقشه نهایی پهنه‌بندی در ۵ کلاس پتانسیل خطر خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد تهیه گردید. منحنی ROC و مساحت زیر منحنی (AUC) برای نقشه پهنه‌بندی ترسیم و از AUC برای صحت‌سنجی استفاده گردید و مقادیر حاصل از آن نشان داد که مدل ترکیبی دارای کارایی بالایی (۰/۷۸۱) جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌باشد. نتایج نشان داد که عوامل کاربری اراضی و فاصله از جاده بیشترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند. طبق نتایج، ۱٤/٤٥ درصد (۱۱۲۲۰/٤ هکتار) از حوزه در رده خطر زیاد و ٦/۱۱ درصد (٤۷٤٤/۱ هکتار) در رده خطر خیلی زیاد قرار گرفته است. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در زمینه انتخاب مکان‌های مناسب برای طرح‌های توسعه‌ای مانند زیرساخت‌ها، ساختمان‌ها، ساخت جاده‌ها و حفاظت محیطی مورد استفاده برنامه‌ریزان قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، پهنه بندی، روش آنتروپی شانون، روش ارزش اطلاعات، حوزه سرخون

مقدمه

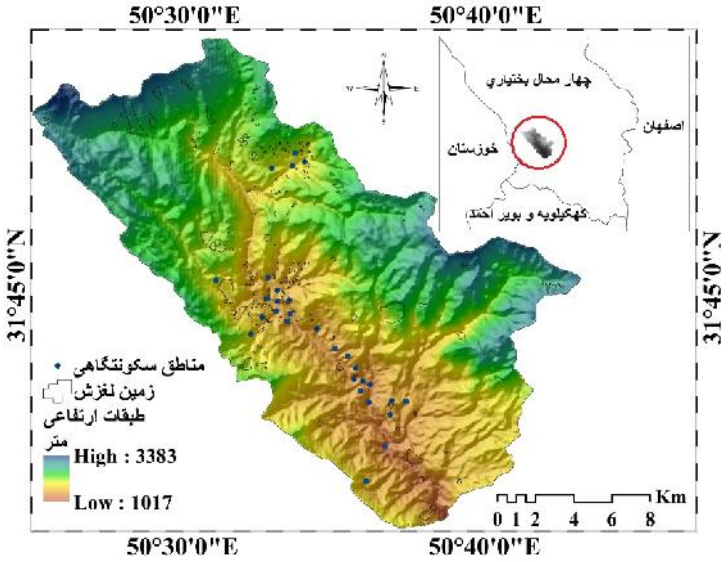
تاثیراتی که عوامل زنده و غیرزنده بر حوزه‌های آبخیز در شرایط طبیعی می‌گذارند، باعث ایجاد تغییرات مثبت و منفی زیادی در آن می‌گردند که زمین لغزش‌ها یکی از تبعات منفی در این حوزه‌ها محسوب می‌گردد (۲۸). زمین‌لغزش عمدتا بر اساس تلفیقی از فرآیندهای مختلف در مناطقی که توپوگرافی کوهستانی و لیتولوژی رسوبی دارند رخ می‌دهد (۲۴) و یکی از مهمترین خطرات طبیعی در مناطق کوهستانی می‌باشد که موجب خسارات محیطی، اقتصادی و جانی می‌شود (۵،۲۷). زمین لغزش‌ها تحت تاثیر عوامل مختلف رخ می‌دهند که گستردگی در عوامل ایجاد آن، تعیین ارتباط بین این عوامل را با مشکل مواجه کرده است. به همین دلیل تکنیک‌های مختلفی برای شناخت و ارتباط عوامل ایجاد زمین لغزش وجود دارد. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش یکی از این تکنیک‌هاست (۲۷). شناسایی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های موجود و پهنه بندی خطر آن یکی از ابزارهای اساسی جهت دستیابی به راهکارهای کنترل این پدیده و انتخاب مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین گزینه موثر می‌باشد (۲۵). حوزه سرخون کارون به دلیل واقع شدن در یک منطقه کوهستانی و با توجه به شرایط آب و هوایی و فیزیوگرافی خاص منطقه که در سلسله جبال زاگرس واقع شده است، همواره در معرض پدیده لغزش قرار دارد و شناخت عوامل موثر بر این حرکات و ارائه روشی مناسب برای پیش‌بینی زمین‌لغزش و اولویت‌بندی مناطق حساس به لغزش ضروری می‌باشد. تاکنون در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته است (۹،۱۵،۱۶،۱۷،۲۰،۲۱،۲۴). در زمینه استفاده از تئوری آنتروپی در بحث زمین‌لغزش نیز مطالعات زیادی صورت گرفته است که عبارتند از: کنستانتینو همکاران (۷) به منظور ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش حوزه آبخیز سیبیکیوکشور رومانی از آنالیز آماری دو متغیره و شاخص آنتروپی شانون استفاده کردند. بدناریک و همکاران (۴) به منظور ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش شهرستان‌های میکولاس کشور اسلواکی از آنالیز آماری دومتغیره و شاخص آنتروپی استفاده کردند. زو و همکاران (۲۹) به منظور تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش از دو مدل ارزش اطلاعات و مدل احتمالاتی وزن واقعه استفاده کردند. هدف از این پژوهش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه سرخون کارون با استفاده از رویکرد نوین ترکیبی تئوری آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات می‌باشد. به منظور صحت‌سنجی روش از منحنی ROC استفاده شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.14.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.132]

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوزه سرخون در حدفاصل ′۳۷ °۳۱ تا ′۵۱ °۳۱ عرض شمالی و ′۲۵ °۵۰ تا ′۴۳ °۵۰ طول شرقی واقع شده است. وسعت حوزه سرخون حدود ۳۲۹۳ کیلومترمربع می‌باشد و در ۴۵ کیلومتری جنوب غرب شهر اردل قرار دارد. این حوزه در جنوب غرب استان چهارمحال ما بین شهر دوپلان و لردگان قرار می‌گیرد. مهمترین مرکز جمعیتی این محدوده روستای سرخون می‌باشد، که در قسمت مرکزی حوزه در مسیر رودخانه آب سرخون قرار دارد. منطقه مورد مطالعه در حوزه شماره ۲ (خلیج فارس و دریای عمان) واقع شده است که در قسمت غرب و جنوب غرب رشته کوه‌های زاگرس قرار دارد. رودخانه سرخون در شهرستان اردل قرار دارد و زیر حوزه رود کارون می‌باشد. طول رودخانه ۳۵ کیلومتر، ارتفاع سرچشمه آن ۳۳۸۳ متر و ارتفاع ریزشگاه ۱۰۱۵ متر می‌باشد. مسیررودخانه شمال غربی – جنوب شرقی است و از کوه‌های گندم کار و کاسه کاسه سرچشمه می‌گیرد. رودخانه سرخون پس از مخلوط شدن با رودخانه آب ونک در حوالی روستای کبوسی به رودخانه بازفت و در نهایت کارون می‌پیوندد. عمده منطقه مورد پژوهش را کوهستان‌های با دیواره بلند و دره‌های ژرف (شمال– شمال غرب و جنوب–جنوب غرب) تشکیل داده است و تنها در قسمت مرکزی حوزه مورفولوژی نسبتاً هموار و تپه‌ماهوری به همراه دشت نسبتاً وسیعی بین روستاهای گندم کار، سرخون، ده کهنه، ده نو و شیاسی گسترش دارد. در واقع چشم انداز منطقه یک چشم انداز کوهستانی است. در واقع به دلیل عملکرد راندگی ناگهان به پیکر بلندی در کنار و موازی بخش زاگرس چین‌خورده قرار گرفته است. بالاترین ارتفاع منطقه ۴۴۹۷ متر و پایین‌ترین ارتفاع آن به ۱۹۷۱ متر می‌رسد از بلندی‌های مهم منطقه می‌توان به کوه سیاه، کوه دیناز، بلاغی، آلمالی، کوه چشمه نول، رمچر، وهلی، آسمانی، کوه ماشکی، کوه قرش و کوه تاوه سیاه اشاره کرد.



شکل ۱– موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Location of study area

روش تحقیق

اولین گام در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش، شناسایی لغزش‌های رخ داده در منطقه می‌باشد (۲). در بین انواع زمین لغزش‌ها، در این پژوهش تنها به بررسی لغزش‌های رخ داده در منطقه پرداخته شده است. در منطقه مطالعاتی تعداد ۲۹۹ لغزش شناسایی گردید. لغزش‌های شناسایی شده در منطقه از نوع چرخشی و چرخشی – انتقالی می‌باشند. روش تحقیق حاضر از نوع آزمایشی– پیمایشی و تحلیلی می‌باشد که در این زمینه از روش اسنادی و بررسی‌های کتابخانه‌ای، جستجوهای اینترنتی، بررسی نقشه‌ها و عکس‌های هوایی منطقه مورد مطالعه و بررسی‌های میدانی نیز استفاده شده است. شناسایی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش، مهمترین مرحله پهنه‌بندی رویداد این واقعه است. برای آنالیز خطر احتمالی زمین‌لغزش، شناسایی صحیح مناطق لغزشی امری ضروری به حساب می‌آید. لذا با استفاده از عکس‌های هوایی موجود، نقاط لغزشی شناسایی و به منظور ارزیابی نتایج تفسیر عکس‌های هوایی، بازدیدهای میدانی از منطقه مورد نظر صورت پذیرفت. هر یک از عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش در منطقه شناسایی و نقشه‌های مربوطه در محیط نرم‌افزار ILWIS , ArcGIS رقومی گردید. نقشه‌های پایه مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از نقشه زمین‌شناسی شیت شهرکرد و کاربری اراضی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی در مقیاس

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.14.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.132]

۱:۴۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای ETM+.. بر اساس مقیاس، موقعیت منطقه مطالعاتی و روش پهنه‌بندی استفاده شده، به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، معیارهای لیتولوژی، کاربری زمین، فاصله از گسل ، فاصله از جاده ، وجه شیب، فاصله از آبراهه، گرادیان شیب ، طبقات ارتفاعی، شاخص رطوبت (TWI)، شاخص حمل رسوب (SPI)، انحنای سطح و انحنای مقطع مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، در ابتدا با استفاده از GPS نقاط لغزشی حوزه ثبت و وارد نرم‌افزار AreGIS 10.2 گردید. نقشه حرکات توده‌ای نیز از این طرق تهیه گردید. در مرحله بعد با استفاده از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه وضعیت زمین‌شناسی منطقه به خوبی بررسی، سپس با مطالعه و بررسی فتوژئولوژیکی عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و بررسی‌های میدانی، اقدام به تهیه نقشه زمین‌شناسی گردید.پس از تهیه نقشه واحدهای سنگی و خطواره‌ها، اقدام به رقومی نمودن آنها گردید و نقشه‌های لیتولوژی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل و فاصله از جاده از این طریق در محیط ArcGIS تهیه گردید. نقشه کاربری زمین و پوشش گیاهی منطقه نیز از طریق نقشه کاربری زمین با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰و تصاویر سنجنده ETM+ که در محیط نرم افزار ENVI 4.5 تصحیح گردید، تهیه گردید. به منظور تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، از نقشه توپوگرافی با مقیاس۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح استفاده شده است. تمامی نقاط ارتفاعی و منحنی‌های میزان ۱۰۰ متری حوزه مورد مطالعه رقومی و تمامی اقدامات لازم جهت استفاده از این اطلاعات در محیط نرم‌افزار ILWIS انجام گرفت. با استفاده از منحنی‌های میزان و نقاط ارتفاعی رقومی شده و روش درون‌یابی، اقدام به تهیه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) گردید. پس از ایجاد مدل رقومی ارتفاعی، نقشه شیب، ارتفاع، جهت شیب، انحنای سطح[1]، انحنای مقطع[2]، شاخص خیسی توپوگرافی و شاخص قدرت آبراهه با دقت ۳۰ در۳۰ مترمربع تهیه گردید. مشتقات مورد استفاده برای محاسبه شاخص‌های ژئومورفومتریک به شرح ذیل می باشد.

$$G = \frac{df}{dx} = \frac{Z3+Z6+Z9-Z1-Z4-Z7}{6\times P} \quad (۱)$$

$$H = \frac{df}{dy} = \frac{Z1+Z2+Z3-Z4-Z8-Z9}{6\times P} \quad (۲)$$

$$p = \frac{Z3+Z6+Z9-Z1-Z4-Z7}{6\times \Delta_s} \quad (۳)$$

$$q = \frac{Z1+Z2+Z3-Z7-Z8-Z9}{6\times \Delta_s} \quad (۴)$$

$$r = \frac{Z1+Z3+Z4+Z6+Z7+Z9-2\times(Z2+Z5+Z8)}{3\times \Delta_s^2} \quad (۵)$$

$$s = \frac{-Z1+Z3+Z7-Z9}{4\times \Delta_s^2} \quad (۶)$$

$$t = \frac{z1+z2+z3+z7+z8+z9-2\times(z4+z5+z6)}{3\times \Delta_s^2} \quad (۷)$$

پارامترهای Z1 تا Z9 مقادیر ارتفاع در شبکه سلولی ۳×۳ می‌باشد. با استفاده از روابط ۱ تا ۷ مقادیر شاخص‌های شیب، جهت شیب، انحنای سطح و انحنای مقطع محاسبه گردید.

$$SLOPE = \sqrt{H^2+G^2} \quad (۸)$$

$$ASPECT = \arctan\left(\frac{H}{G}\right) \quad (۹)$$

$$\text{Plan Curvature} = -\frac{q^2\times r-2\times p\times q\times s+p^2\times t}{\left(\sqrt{1+p^2+q^2}\right)^3} \quad (۱۰)$$

$$\text{Profile Curvature} = -\frac{q^2\times r+2\times p\times q\times r\times s+q^2\times t}{(p^2+q^2)\times\left(\sqrt{1+p^2+q^2}\right)^3} \quad (۱۱)$$

مقادیر شاخص‌های خیسی توپوگرافی و قدرت آبراهه نیز از طریق روابط ۱۲ و ۱۳ محاسبه گردید.

$$TWI = In\,(A_S/\tan\beta) \quad (۱۲)$$

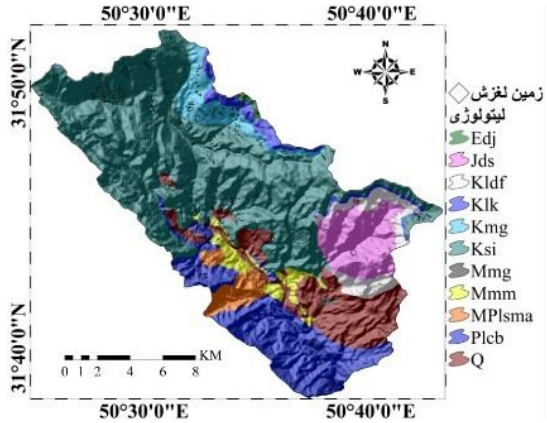
$$SPI = A_S \times tan_\beta \quad (۱۳)$$

که در آن: AS: مساحت حوزه آبخیز و β: گرادیان شیب بر حسب درجه می‌باشد.

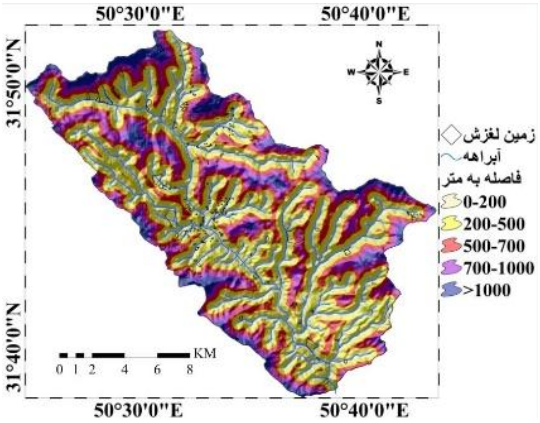
1- Plan curvature

2- Profile curvature

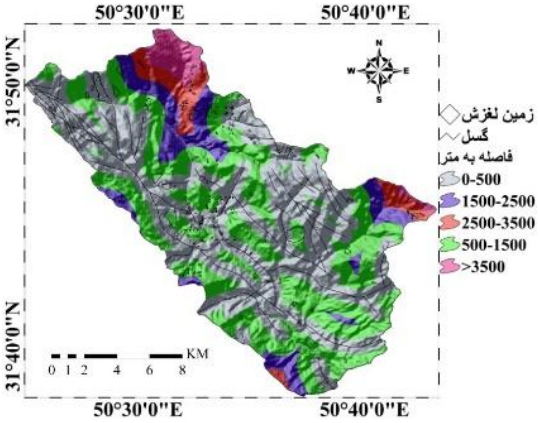
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.14.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.132]



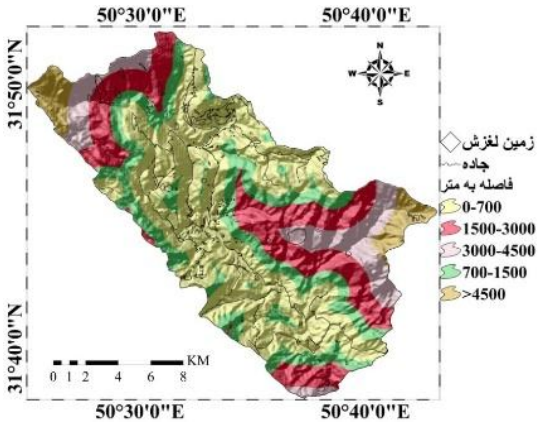
شکل۲- لیتولوژی
Figure 2. Lithology



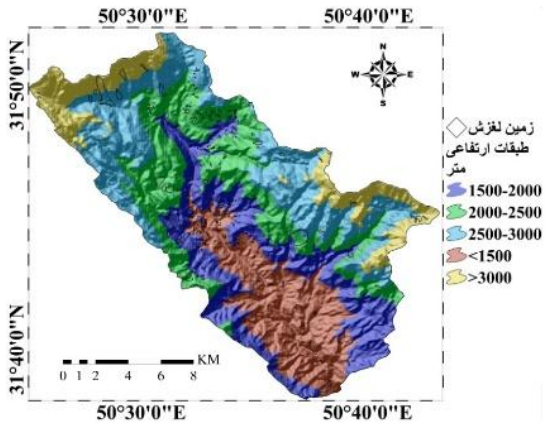
شکل۳- فاصله از از آبراهه
Figure 3. Distance to stream



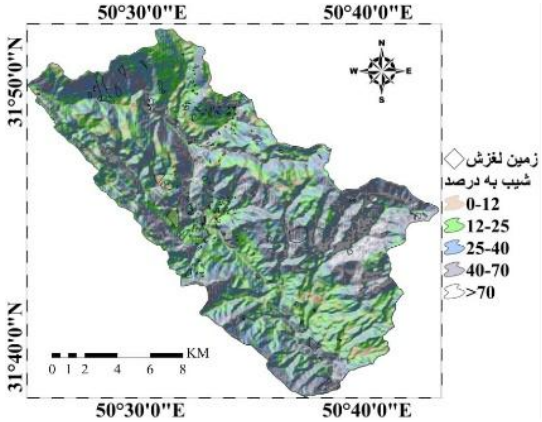
شکل۴- فاصله از گسل
Figure 4. Distance to fault



شکل۵- فاصله از جاده
Figure 5. Distance to road

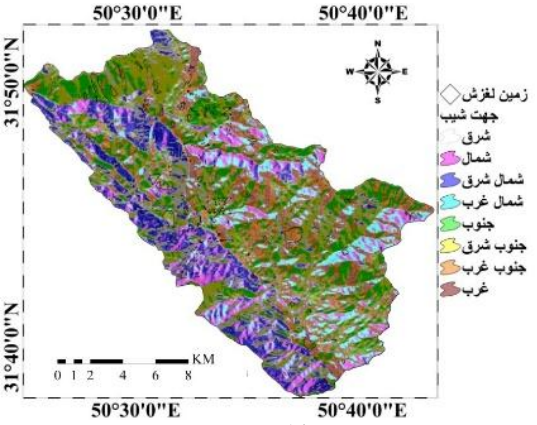


شکل۶- طبقات ارتفاعی
Figure 6. Elevation

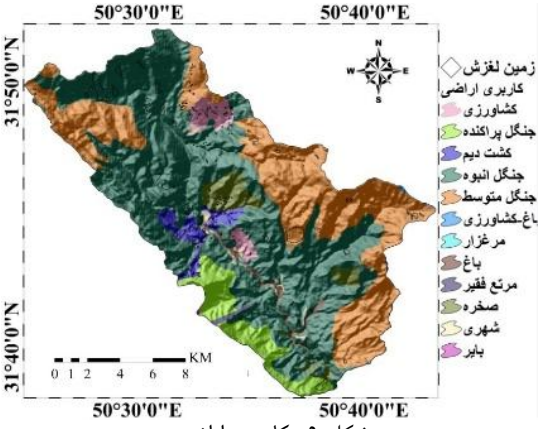


شکل۷- شیب
Figure 7. Slope

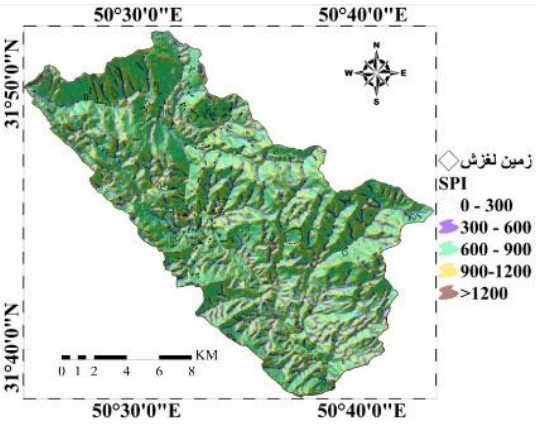
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.14.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.132]



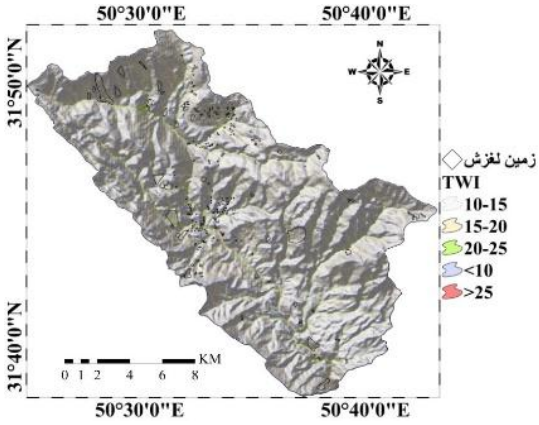
شکل۸- جهت شیب
Figure 8. Slope aspect



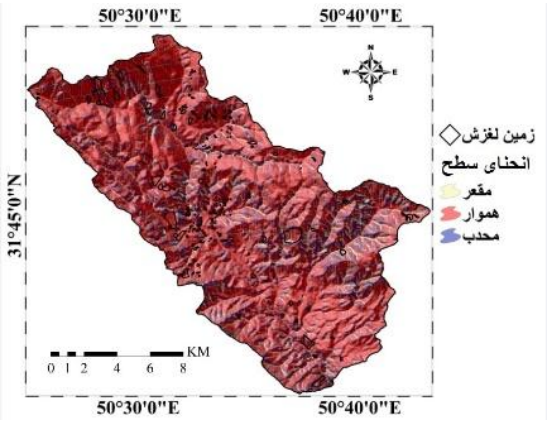
شکل ۹- کاربری اراضی
Figure 9. Land use



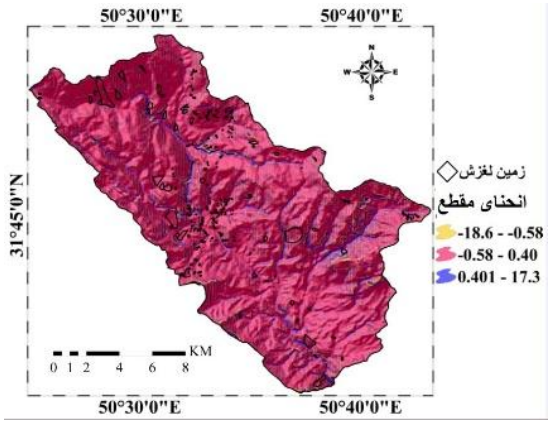
شکل۱۰- شاخص قدرت جریان
Figure 10. Stream power index



شکل۱۱- شاخص خیسی توپوگرافی
Figure 11. Topography wetness index



شکل۱۲- انحنای سطح
Figure 12. Plan curvature

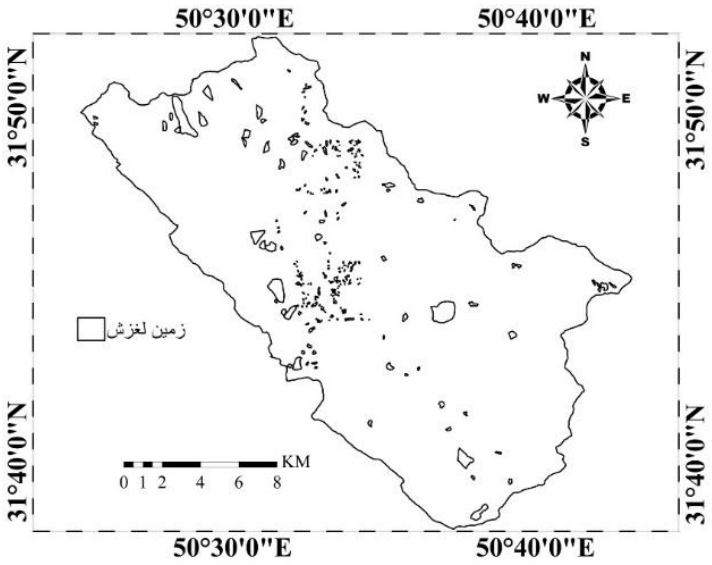


شکل ۱۳- انحنای مقطع
Figure 13. Profile curvature

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.14.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.132]

نقشه پراکنش زمین‌لغزش

جهت به نقشه در آوردن انواع لغزش‌های رخ داده در محدوده مطالعاتی، ابتدا عکس‌های هوایی منطقه با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ به روش استریوسکوپی و همچنین داده‌های ماهواره‌ای لندست هفت مربوط به سال ۲۰۰۵ با استفاده از نرم افزار ENVI تفسیر شده‌اند و مناطق لغزشی تعیین گردید، در مرحله بعد با انجام پیمایش صحرایی دقیق، موقعیت لغزش‌ها با استفاده از دستگاه GPS دوفرکانسه با دقتی در حد سانتیمتر به نقشه درآمدند (شکل ۱۴). در شکل ۱۵ نمونه‌ای از لغزش‌های رخ داده در منطقه که به علت زیربری جاده رخ داده است، نشان داده شده است.



شکل ۱۴- نقشه پراکنش زمین لغزش

Figure 14. Landslide inventory map



شکل ۱۵- نمونه‌ای از لغزش‌های رخ داده در منطقه

Figure 15. An example of landslides occurring in the study area

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.14.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.132]

روش ارزش اطلاعات

این روش توسط یان وین (۱۹۸۸) به نقل از محمدی و همکاران (۱۸) ارائه شد. در این روش، رخداد لغزش به عنوان متغیر وابسته و هر یک از عوامل ذاتی و محیطی به عنوان متغیر مستقل تلقی می‌شوند و میزان اثر هر یک از عوامل در وقوع زمین‌لغزش مستقل از دیگر عوامل ارزیابی می‌گردد (۱۹). سپس وزن واقعی هر رده از لایه‌های اطلاعاتی و ارزش اطلاعات هر واحد به واسط جمع مقادیر ارزش برای عوامل مختلف آن لایه اطلاعاتی محاسبه می‌گردد. ارزش اطلاعاتی عوامل مختلف، از تقسیم درصد سطح لغزش متوسط منطقه و محاسبه لگاریتم نپر (Ln) آن نسبت به دست می‌آید. عدد حاصله را ارزش اطلاعات تراکم لغزش‌ها می‌نامند. در این روش، نرخ مربوط به هر طبقه از عوامل موثر از رابطه ۱۴ بدست می آید (۱۸)

$$LnWi = \left(\frac{Densclass}{Densmap}\right) = \left\{\frac{\frac{Npix\ (Si)}{Npix\ (Ni)}}{\frac{\Sigma pix\ (Si)}{\Sigma Npix\ (Ni)}}\right\} \quad (۱۴)$$

که در آن:

Wi: وزن مربوط به طبقه مشخص از یک متغیر

Densclass: تراکم زمین لغزش در طبقه مشخص از یک پارامتر

Densmap: تراکم زمین لغزش در کل محدوده

Npix (Si): تعداد سلول‌ها یا مساحت زمین لغزش‌های رخ داده در هر طبقه از پارامتر

Npix (Ni): تعداد سلول‌ها یا مساحت کل هر طبقه از پارامتر می‌باشد.

تئوری آنتروپی شانون

تئوری آنتروپی شانون برای اولین بار توسط استفان بولتزمن مطرح و نهایتا توسط شانون به صورت کمی ارائه گردید (۲۶). آنتروپی در حقیقت بیانگر آن است که چگونه از بین عوامل موثر یک هدف، می توان مهم‌ترین عوامل را تخمین زد یا به عبارتی متغیرهایی که بیشترین تاثیر را در رخداد یک واقعه دارند برای ما مشخص می‌نماید. از آنجایی که در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش، بسته به شرایط منطقه معمولا فاکتورهای مختلفی تاثیرگذار بوده و همچنین در تعیین میزان خطر با استفاده از مدل‌های آماری دو متغیره و احتمالی نظیر بیزین، تمامی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش وزن یکسانی دارند، لذا چنانچه یکی از عوامل تاثیر بیشتری داشته باشد میزان اثر آن نادیده گرفته می‌شود (۲۶)، بنابراین تئوری مذکور می‌تواند به عنوان یک رویکرد مدیریتی تاثیر بسزایی در شناسایی عوامل موثر و میزان تاثیرگذاری آنها داشته باشد (۲۶). به طور کلی به منظور اولویت‌بندی عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش و تهیه نقشه حساسیت‌پذیری آن با استفاده از روش مذکور از روابط زیر استفاده گردید (۷)

$$P_{ij} = \frac{b}{a} \quad (۱۵)$$

$$\left(P_{ij}\right) = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=1}^{Sj} P_{ij}} \quad (۱۶)$$

$$H_j = -\sum_{i=1}^{Sj}\left(P_{ij}\right)\log_2\left(P_{ij}\right),\ j = 1, \ldots, n \quad (۱۷)$$

$$H_{j\,max} = \log_2 S_j \quad S_j - number\ of\ classes \quad (۱۸)$$

$$I_j = \frac{H_{j\,max} - H_J}{H_{j\,max}}, I = (0,1),\ j = 1, \ldots, n \quad (۱۹)$$

$$W_J = I_j\ P_{ij} \quad (۲۰)$$

که در آن:

P_{ij}: تراکم لغزش هر طبقه

$\left(P_{ij}\right)$: احتمال تراکم لغزش هر عامل و کلاس‌های مرتبط

H_j و $H_{j\,max}$: مقادیر آنتروپی و ماکزیمم آنتروپی

I_j: ضریب اطلاعات

W_j: وزن نهایی هر عامل

ارزیابی مدل

در این پژوهش به منظور ارزیابی مدل از منحنی ROC استفاده شده است. با توجه به این که برای ارزیابی مدل نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده نمود که در پهنه بندی استفاده شده‌اند (۱۳). از بین نقاط لغزشی، ۷۰ درصد نقاط برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت (۲۳)، سپس با استفاده از منحنی ویژگی عملگر نسبی[1] (۲۴) صحت نقشه تهیه شده مورد تایید قرار گرفت. منحنی ROC از کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند (۸). با استفاده از نسبت فراوانی[2] و شاخص سطح سلول هسته[3] دقت طبقه‌بندی مدل تعیین گردید (۸). سطح زیر منحنی ROC که AUC[4] نامیده می شود، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخداده (وقوع زمین لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین لغزش) آن است. مقادیر AUC از ۰/۵ تا ۱ متغیر است. همبستگی کیفی–کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین به صورت (۰/۹–۱، عالی؛ ۰/۸–۰/۹، خیلی خوب؛ ۰/۷–۰/۸، خوب؛ ۰/۶–۰/۷، متوسط و ۰/۵–۰/۶، ضعیف) است (۲۴). هرچه سطح منحنی به یک نزدیکتر باشد، بیانگر بهترین دقت از نقشه پهنه‌بندی تهیه شده است

نتایج و بحث

در این پژوهش به منظور شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش و تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش از یک مدل ترکیبی نوین استفاده گردید. بدین‌صورت که برای محاسبه وزن معیارها از روش آنتروپی شانون و برای محاسبه وزن کلاس‌های معیارها از روش دو متغیره ارزش اطلاعات استفاده گردید. پس از محاسبه وزن معیارها و کلاس‌های آنها، در محیط نرم افزار ArcGIS10.2 و با استفاده از Raster Calculator وزن لایه ها و کلاس‌های آنها در هم ضرب و امتیاز لایه ها با هم جمع گردید و در نهایت نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش بدست آمد. به منظور صحت‌سنجی مدل نیز از منحنی ROC استفاده گردید. نتایج حاصل از محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش آنتروپی نشان داد که لایه‌های کاربری اراضی، فاصله از جاده و شاخص توان حمل آبراهه (SPI) به ترتیب با کسب

1- Relative Operating Characteristics Curve (ROC)
2- Frequency Ratio (FR)
3- Seed Cell Area Index (SCAI)
4- Area Under Curve

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.14.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.132]

بالاترین امتیاز (۰/۴۳، ۰/۳۸، ۰/۲۸) بیشترین تاثیر را در رخداد زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج (۲،۳،۱۱) مطابقت دارد. عرب عامری و همکاران (۲) در تحقیق خود به نقش موثر فاصله از جاده در وقوع زمین‌لغزش اشاره کرده‌اند. آیالا و یاماگیش (۳) نیز در منطقه پایکوهی ژاپن نزدیکی جاده را به‌عنوان اولین و مهم‌ترین عامل وقوع زمین‌لغزش در این منطقه معرفی کردند و عنوان کردند اکثر زمین‌لغزش‌ها در فاصله ۱۰۰-۰ متری از جاده متمرکز شده‌اند. هم چنین لی و سمبس (۱۴)، گریکو و همکاران (۱۱)، به نقش موثر جاده‌سازی در وقوع زمین لغزش‌های مناطق مورد مطالعه خود تاکید کرده‌اند. نتایج حاصل از وزن کلاس‌ها با استفاده از روش ارزش اطلاعات نشان داد که در پارامترهای فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه، ارتباط بین زمین‌لغزش و فاصله از این عناصرخطی معکوس می‌باشد به گونه‌ای که هرچه فاصله از این پارامترهای خطی بیشتر می‌شود احتمال وقوع زمین‌لغزش کمتر و وزن کلاس‌ها کاهش پیدا می‌کند. با توجه به این که با فاصله از گسل احتمال وقوع زمین لغزش کاهش می‌یابد و هرچه فاصله به گسل کمتر باشد به علت ایجاد درز و شکاف در سنگ‌ها، احتمال وقوع زمین لغزش افزایش می‌یابد، جاده‌ها نیز وضعیت طبیعی و به عبارت دیگر شیب تعادلی منطقه را به هم زده و بریدگی‌های عمودی به وجود می‌آورند و بر بخش‌های پایین جاده فشار اضافی وارد می‌کنند و باعث افزایش زمین‌لغزش در نزدیکی‌های جاده می‌شوند. آبراهه‌ها نیز با انجام زیربری

جدول ۱- ارتباط بین زمین لغزش‌ها و عوامل موثر در آن با استفاده از شاخص آنتروپی

Table 1. Relationship between landslides and their conditioning factors using index of entropy

عوامل	کلاس	مساحت کلاس (مترمربع)	مساحت لغزش (مترمربع)	W_{IV}	Pij	(Pij)	Hj	Hj max	Ij	Wj
ارتفاع	<۱۵۰۰	۶۳۵۰۴۹۰۰	۱۳۳۷۴۰۰	-۰/۳۱۱	۰/۸۷	۰/۱۷	۱/۷	۲/۳	۰/۲	۰/۲
	۱۵۰۰ - ۲۰۰۰	۶۹۹۸۷۶۰۰	۱۵۹۳۰۰۰	۰۲۸	۰/۹۴	۰/۱۸				
	۲۰۰۰ - ۲۵۰۰	۷۵۰۸۷۰۰۰	۲۴۸۷۶۰۰	۰/۰۲۷	۱/۳۷	۰/۲۷				
	۲۵۰۰ - ۳۰۰۰	۸۱۵۰۱۳۰۰	۱۵۹۷۵۰۰	۰/۴۰۹	۰/۸۱	۰/۱۶				
	>۳۰۰۰	۳۸۷۸۳۷۰۰	۹۲۷۰۰۰	۰/۶۷۶	۰/۹۸	۰/۱۹				
جهت شیب	شمال	۳۱۷۸۶۲۰۰	۵۱۷۵۰۰	۰/۳۴۱	۰/۶۷	۰/۰۸	۲/۹	۲/۸	-۰/۰۴	-۰/۰۴
	شمال شرق	۴۰۰۱۰۴۰۰	۷۶۸۶۰۰	۰/۰۰۹	۰/۷۹	۰/۱۰				
	شرق	۳۶۵۳۱۰۰۰	۶۱۲۹۰۰	-۰/۰۲۳	۰/۶۹	۰/۰۹				
	جنوب شرق	۴۸۷۷۱۹۰۰	۱۴۹۶۷۰۰	-۰/۲۶۵	۱/۲۷	۰/۱۶				
	جنوب	۵۵۱۲۴۱۰۰	۱۴۲۸۳۰۰	-۰/۳۹۸	۱/۰۷	۰/۱۴				
	جنوب غرب	۵۰۱۰۵۷۰۰	۱۸۷۹۲۰۰	-۰/۲۰۰	۱/۵۵	۰/۲۰				
	غرب	۳۸۴۳۷۲۰۰	۸۱۷۲۰۰	۰/۲۱۲	۰/۸۸	۰/۱۱				
	شمال غرب	۲۸۰۹۸۰۰۰	۴۲۲۱۰۰	۰/۴۳۶	۰/۶۲	۰/۰۸				
شبکه زه کشی	۰ - ۲۰۰	۹۲۶۲۶۲۰۰	۳۰۴۰۲۰۰	۰/۴۷۸	۱/۳۵	۰/۳۰	۱/۷	۲/۳	۰/۲	۰/۲
	۲۰۰ - ۵۰۰	۹۸۰۷۳۰۰۰	۲۱۷۳۵۰۰	۰/۰۴۴	۰/۹۱	۰/۲۰				
	۵۰۰ - ۷۰۰	۶۸۰۹۴۹۰۰	۱۶۰۴۷۰۰	-۰/۰۰۶	۰/۹۷	۰/۲۱				
	۷۰۰ - ۱۰۰۰	۴۶۹۲۲۴۰۰	۸۸۰۲۰۰	-۰/۰۳۸	۰/۷۷	۰/۱۷				
	>۱۰۰۰	۲۳۲۸۰۳۰۰	۲۴۳۹۰۰	-۰/۳۵۳	۰/۴۳	۰/۰۹				
لیتولوژی	*LIT1	۲۳۸۵۱۸۰۰	۱۷۴۶۰۰	۰/۳۷۶۳	۰/۳۰	۰/۰۴	۲/۷	۳/۴	۰/۱	۰/۱
	LIT2	۱۱۷۵۴۰۰۰	۵۱۳۰۰	-۰/۳۶۳	۰/۱۸	۰/۰۲				
	LIT3	۸۹۶۰۴۰۰	۱۴۴۰۰	-۰/۴۴۰	۰/۰۶	۰/۰۰				
	LIT4	۱۴۹۹۴۰۰۰	۶۲۵۵۰۰	۰/۳۱۲	۱/۷۲	۰/۲۵				
	LIT5	۱۸۱۶۸۸۲۸۰	۴۵۹۸۰۰	۰/۴۳۵	۱/۱۳	۰/۱۶				
	LIT6	۸۵۴۷۳۰۰	۱۲۹۶۰۰	۰/۷۶۹	۰/۶۲	۰/۰۹				
	LIT7	۹۳۱۸۶۰۰	۹۹۹۰۰	۰/۳۷۵	۰/۴۴	۰/۰۶				
	LIT8	۴۹۱۳۱۹۰۰	۱۳۳۴۷۰۰	-۰/۶۵۴	۱/۱۲	۰/۱۶				
	LIT9	۳۵۷۲۲۸۰۰	۹۸۰۱۰۰	-۰/۳۵۹	۱/۱۳	۰/۱۶				
	LIT10	۹۹۹۰۰۰	۰	۰/۴۲۸	۰	۰				
	LIT11	۴۳۳۸۰۰	۰	-۰/۲۹۸	۰	۰				
فاصله از گسل	۰ - ۵۰۰	۱۶۹۲۳۱۰۹۱	۳۳۷۰۵۰۰	۰/۴۲۳	۰/۹۰	۰/۲۰	۱/۶	۲/۳	۰/۲	۰/۲
	۵۰۰ - ۱۵۰۰	۱۲۷۸۰۲۸۶۰	۳۵۶۱۳۰۰	۰/۲۱۳	۱/۲۵	۰/۲۸				
	۱۵۰۰ - ۲۵۰۰	۳۱۲۳۰۹۰۰	۴۶۴۴۰۰	۰/۰۱۵	۰/۶۱	۰/۱۴				
	۲۵۰۰ - ۳۵۰۰	۱۴۶۸۴۴۰۰	۵۰۳۱۰۰	-۰/۱۲۱	۱/۴۲	۰/۳۲				
	>۳۵۰۰	۱۰۸۸۲۸۰۰	۴۳۲۰۰	-۰/۲۴۵	۰/۱۶	۰/۰۳				

* LIT یک تا یازده به ترتیب شامل دولومیت ضخیم لایه، آهک آربیتولین دار، آهک آربیتولین دار نازک ، تناوب آهک و مارن ، آهک خاکستری، مارن خاکستری، مارن و ماسه سنگ قرمز، کنگلومرا و ماسه سنگ، کنگلومرا و ماسه سنگ، تراس های قدیمی، دولومیت خاکستری و ژیپس و مارن قرمز می باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.14.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.132]

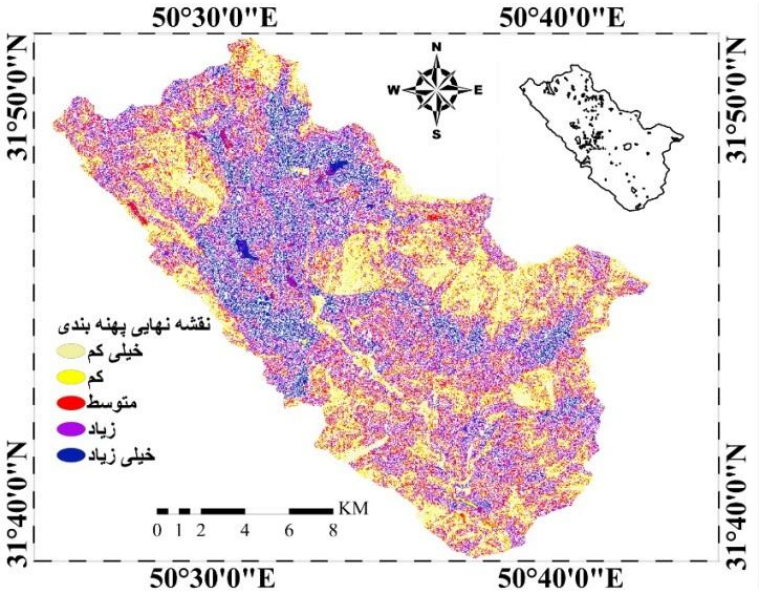
ادامه جدول۱

Table 1. Continue

عوامل	کلاس	مساحت کلاس (مترمربع)	مساحت لغزش (مترمربع)	W_{IV}	Pij	(Pij)	Hj	Hj max	Ij	Wj
کاربری زمین	کشاورزی	۷۶۱۶۷۰۰	۲۱۱۵۰۰	۰/۳۸۷	۱/۱۵	۰/۱۰	۱/۹	۳/۵	۰/۴	۰/۴
	جنگل پراکنده	۱۹۷۴۰۶۰۰	۲۷۶۳۰۰	۰/۲۱۴	۰/۵۸	۰/۰۵				
	کشت دیم	۷۸۹۸۴۰۰	۱۳۰۲۳۰۰	۰/۲۸۷	۶/۸۳	۰/۶۱				
	جنگل انبوه	۱۹۲۲۴۲۷۸۶	۴۲۰۳۰۰۰	۰/۰۱۳	۰/۹۸	۰/۰۸				
	جنگل متوسط	۹۹۲۶۲۸۰۰	۱۸۰۱۸۰۰	۰/۱۰۹	۰/۷۵	۰/۰۶				
	مرغزار	۲۲۲۳۰۰	۰	۰/۲۱۱	۰	۰				
	باغ	۳۳۵۷۹۰۰	۲۲۵۰۰	۰/۲۱۸	۰/۲۷	۰/۰۲				
	ارتفاعات بایر	۹۸۹۱۰۰	۰	۰/۲۵۶	۰	۰				
	مرتع	۷۲۰۰۰	۰	۰/۱۴۳	۰	۰				
	شهری	۱۷۵۱۴۰۰	۹۰۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۰				
	باغات، کشاورزی	۲۲۵۹۰۰	۰	۰/۱۲۹	۰	۰				
فاصله از جاده	صخره	۱۱۷۶۱۲۰۰	۱۲۴۲۰۰	۰/۰۹	۰/۴۳	۰/۰۳	۱/۶	۲/۳	۰/۲	۰/۳
	۰ – ۷۰۰	۱۵۸۲۴۵۷۸۹	۳۷۲۶۰۰۰	۰/۶۵۴	۱/۰۶	۰/۲۱				
	۷۰۰ – ۱۵۰۰	۶۵۳۱۴۸۰۰	۷۰۶۵۰۰	۰/۳۱۲	۰/۴۴	۰/۰۸				
	۱۵۰۰ – ۳۰۰۰	۶۷۲۰۳۹۰۰	۱۶۶۹۵۰۰	۰/۰۲۳	۱/۰۲	۰/۲۰				
	۳۰۰۰ – ۴۵۰۰	۳۴۶۶۶۲۰۰	۱۶۲۶۳۰۰	–۰/۱۲۷	۱/۹۴	۰/۳۸				
	›۴۵۰۰	۱۶۹۰۹۲۰۰	۲۱۴۲۰۰	–۰/۳۱۲	۰/۵۲	۰/۱۰				
شیب	۰ – ۱۲	۳۲۹۳۴۶۰۰	۹۷۲۰۰۰	–۰/۴۲۳	۱/۲۲	۰/۲۳	۱/۸	۲/۳	۰/۱	۰/۱
	۱۲ – ۲۵	۸۹۸۱۲۸۰۰	۲۱۳۷۵۰۰	–۰/۱۰۲	۰/۹۸	۰/۱۹				
	۲۵ – ۴۰	۹۶۹۹۷۵۰۰	۲۰۵۲۰۰۰	۰/۲۰۱	۰/۸۷	۰/۱۶				
	۴۰ – ۷۰	۸۷۰۲۹۱۰۰	۲۲۳۲۹۰۰	۰/۲۸۷	۱/۰۶	۰/۲۰				
	›۷۰	۲۲۰۹۰۵۰۰	۵۴۸۱۱۰۰	۰/۳۰۹	۱/۰۲	۰/۱۹				
TWI	‹۱۰	۱۱۸۴۶۸۹۴۴	۲۱۳۷۵۰۰	–۰/۱۰۳	۰/۸۱	۰/۱۸	۱/۷	۲/۳	۰/۲	۰/۲
	۱۰ – ۱۵	۸۲۴۶۷۰۰۰	۱۹۵۴۸۰۰	–۰/۱۲۵	۰/۹۸	۰/۲۲				
	۱۵ – ۲۰	۱۴۲۸۸۰۷۲۶	۳۶۶۸۴۰۰	۰/۰۹	۱/۱۶	۰/۲۶				
	۲۰ – ۲۵	۶۷۱۰۴۰۰	۱۸۰۰۰۰	۰/۳۲۴	۱/۱۱	۰/۲۵				
	›۲۵	۲۵۱۱۰۰	۱۸۰۰	۰/۲۰۸	۰/۲۹	۰/۰۶				
انحنای سطح	محدب	۲۵۴۳۷۶۵۱	۸۴۷۸۳۴	۰/۱۸۹	۰/۱۴	۰/۲۲۱	۱/۲	۲/۴	۰/۶	۰/۳
	هموار	۸۷۴۶۲۹۸۱	۱۲۴۳۲۱	–۰/۴۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱				
	مقعر	۱۶۹۸۹۶۵۲	۷۳۸۷۱۳	۰/۰۹۱	۰/۱۲۷	۰/۱۲۳				
SPI	۰–۳۰۰	۳۲۹۳۴۶۰۰	۱۱۳۴۰۰	–۰/۳۰۹	۰/۱۴	۰/۰۳	۱/۱	۲/۳	۰/۵	۰/۲
	۳۰۰–۶۰۰	۸۹۸۱۲۸۰۰	۷۱۱۰۰۰	–۰/۱۱	۰/۳۲	۰/۰۸				
	۶۰۰–۹۰۰	۹۶۹۹۷۵۰۰	۵۴۹۰۰۰	۰/۰۹	۲/۳۴	۰/۶۳				
	۹۰۰–۱۲۰۰	۸۷۰۲۹۱۰۰۰	۱۵۶۷۸۰۰	۰/۱۲۱	۰/۷۴	۰/۲۰				
	۱۲۰۰‹	۲۲۰۹۰۵۰۰	۶۰۳۰۰	۰/۱۸۹	۰/۱۱	۰/۰۳				
انحنای مقطع	–۱۸/۶ – ۰/۵۸	۶۵۳۷۶۲۳۶	۷۶۵۳۸۷	۰/۲۱۳	۰/۲۱۱	۰/۲۱	۱/۱	۲/۲	۰/۴	۰/۲
	–۰/۵۸ – ۰/۴	۴۵۷۸۶۷۵۲	۵۴۹۸۵۲	۰/۱۷۲	۰/۰۹۱	۰/۰۸				
	۰/۴ –۱۷/۳	۳۹۸۷۶۱۱۲	۴۹۸۷۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۱۲	۰/۲۰				

باعث ناپایداری دامنه و ایجاد لغزش می‌گردد. پارامترهای شیب و ارتفاع رابطه مستقیم با لغزش دارند، به گونه‌ای که با افزایش ارتفاع و شیب، احتمال وقوع زمین‌لغزش و وزن کلاس‌ها افزایش پیدا می‌کند. نتایج پارامتر جهت شیب نشان داد که جهت شمال‌غربی به علت وجود بارندگی و رطوبت بیشتر در این دامنه‌ها و انتقال رطوبت بین سازندها به‌عنوان عامل درونی در کاهش فشار نرمال و مقاومت برشی خاک است که با نظرات (۶) مطابقت دارد. نتایج حاصل از وزن بقیه کلاس‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است. پس از تعیین وزن معیارها و کلاس‌های آنها اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش گردید (۱). نقشه پهنه‌بندی حاصله بر اساس شکست‌های طبیعی به ۵ کلاس حساسیت خطر خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد تقسیم گردید (۱۰،۱۲) (شکل ۱۶).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.14.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.132]



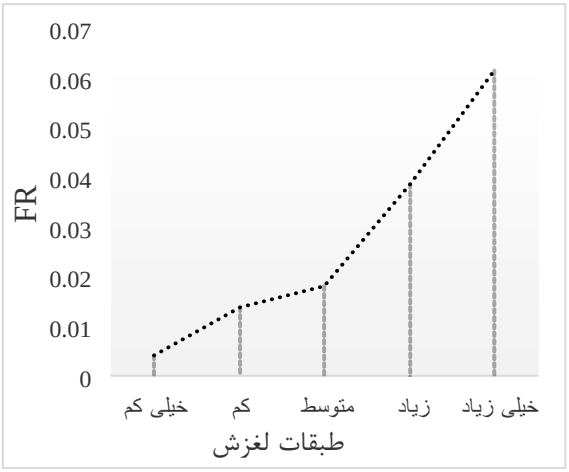
شکل ۱۶- نقشه نهایی پهنه بندی
Figure 16. Final zonation map

پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی، اقدام به صحت‌سنجی مدل گردید (جدول ۲). همانگونه که در جدول ۲ ملاحظه می گردد در روش ترکیبی با افزایش حساسیت خطر از خیلی‌کم به خیلی‌زیاد مقادیر نسبت فراوانی (FR) تقریباً روند صعودی داشته (شکل ۱۷)، اما شاخصSCAI روند نزولی قابل توجه را نشان میدهد (شکل ۱۸) و نشان دهنده همبستگی بالای رده‌های خطر لغزش خصوصا رده‌های خیلی زیاد تا زیاد با مناطق لغزشی موجود و بازدیدهای میدانی منطقه مورد مطالعه است. بنابراین از این حیث ترتیب تفکیک‌پذیری بین طبقات، مناسب ارزیابی گردید. مقدار سطح زیر منحنی (AUC) که مبین میزان دقت یا اعتبار مدل می‌باشد برای مدل ۰/۷۸۱ می‌باشد که نشان از دقت بالای مدل جهت شناسایی پهنه‌های حساس به زمین‌لغزش می‌باشد (شکل ۱۹).

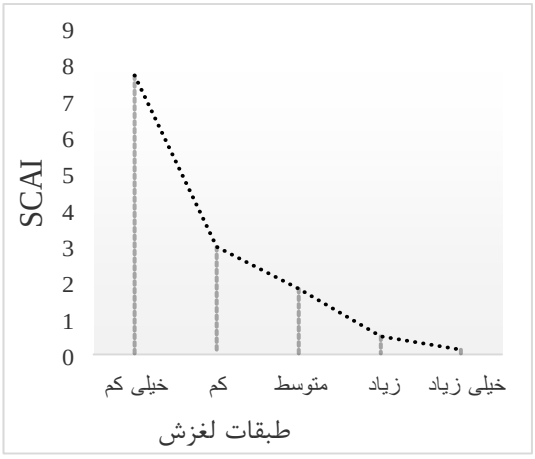
جدول ۲- مقادیر نسبت فراوانی (FR) و شاخص SCAI
Table 2. values of frequency ratio and seed cell area index

مدل	رده‌های خطر لغزش	مساحت فاقد لغزش (مترمربع)	مساحت لغزش (مترمربع)	درصد مساحت لغزش	مساحت هر رده خطر (مترمربع)	درصد مساحت رده	درصد نسبت فراوانی	درصد Seed	SCAI
مدل ترکیبی	خیلی کم	۱۷۵۳۷۹۰۰۰	۷۱۰۹۰۰	۴/۶۷	۱۷۶۰۹	۲۲/۶۸	۰/۰۰۴	۲/۹۲	۷/۷۶
	کم	۲۵۳۱۱۶۰۰۰	۳۹۴۶۰۰۰	۲۵/۹	۲۵۷۰۶۳۰۰۰	۳۳/۱۱	۰/۰۱۴	۱۱/۱۱	۲/۹۸
	متوسط	۱۸۰۳۶۹۰۰۰	۳۲۹۹۰۰۰	۲۱/۶۶	۱۸۳۶۶۸۰۰۰	۲۳/۶۵	۰/۰۱۸	۱۳	۱/۸۲
	زیاد	۱۰۷۸۸۱۰۰۰	۴۳۲۲۰۰۰	۲۸/۳۷	۱۱۲۲۰۴۰۰۰	۱۴/۴۵	۰/۰۳۹	۲۷/۸۸	۰/۵۲
	خیلی زیاد	۴۴۴۸۵۰۰۰	۲۹۵۶۰۰۰	۱۹/۴۱	۴۷۴۴۱۰۰۰	۶/۱۱	۰/۰۶۲	۴۵/۱	۰/۱۴

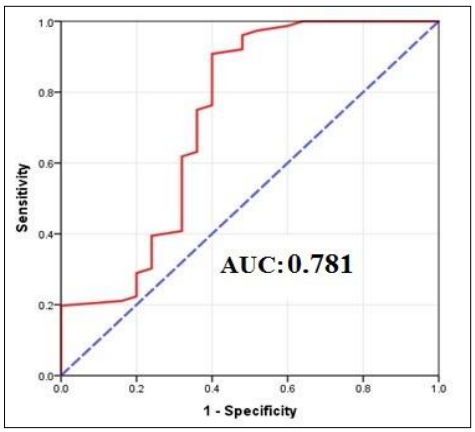
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.14.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.132]



شکل ۱۷- روند شاخص نسبت فراوانی
Figure 17. Frequency ratio trend



شکل ۱۸- روند شاخص SCAI
Figure 18. Seed cell area index trend



شکل ۱۹- منحنی راک
Figure 19. ROC curve

پدیده زمین‌لغزش هر ساله آسیب‌های قابل توجهی را به مناطق مسکونی، کشاورزی، راه‌های ارتباطی و منابع طبیعی وارد می‌کند، بنابراین انجام مطالعات در زمینه شناخت عوامل موثر در وقوع و راه‌های کاهش خسارات ناشی از آن ضروری می‌باشد. تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت خطر زمین‌لغزش با صحت بالا، نتیجه کلیه مراحل جمع‌آوری اطلاعات و شناسایی پارامترهای موثر، وزن‌دهی و امتیازدهی به پارامترها و نحوه تلفیق و رده بندی مقادیر خطر می‌باشد (۲۲). پارامترهای موثر در رخداد زمین‌لغزش که شامل ۱۲ مورد می‌باشد، بر اساس مشاهدات میدانی و مطالعات کتابخانه‌ای شناسایی گردید. نتایج حاصل از صحت‌سنجی نشان داد که مدل ترکیبی آنتروپی شانون- ارزش اطلاعات دارای کارایی بالایی در شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش می‌باشد. همچنین روش آنتروپی شانون دارای کارایی بالایی در زمینه رتبه‌بندی پارامترهای زمین‌لغزش می‌باشد به گونه ای که نتایج حاصل از آن با واقعیات زمینی مطابقت دارد. طبق نتایج پارامتر کاربری زمین بیشترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه داشته است که بیانگر تاثیر فعالیت‌های انسانی در تشدید زمین لغزش در منطقه مطالعاتی می‌باشد. انسان با ایجاد تغییراتی در حوزه آبخیز از طریق تغییر کاربری و ایجاد جاده در مجاورت مناطق حساس به لغزش باعث شده است که این تغییرات واکنش‌هایی را در محیط به همراه داشته باشد و منطقه را نسبت به رخداد زمین‌لغزش حساس کند. هر گونه تلاش به منظور ایجاد تاسیسات زیرساختی، نیازمند انجام اقداماتی مدیریتی سنجیده و منظم در سطح حوزه می‌باشد. در این رابطه پیشنهاد می‌شود در ساخت و ساز و جاده‌سازی ویژگی‌های ژئومورفیک منطقه در نظر گرفته شود و همچنین از کاربری‌های متناسب با منطقه استفاده گردد تا تغییراتی که باعث به هم خوردن تعادل در سطح منطقه می‌گردد، به حداقل ممکن برسند. بر اساس نتایج حاصل از مدل ۲۲/۶۸ درصد (۱۷۶۰۹ هکتار) از منطقه مورد مطالعه در رده خطر خیلی کم، ۳۳/۱۱ درصد (۲۵۷۰۶/۳ هکتار) در رده خطر کم، ۲۳/۶۵ درصد (۱۸۳۶۶/۸ هکتار) در رده خطر متوسط، ۱۴/۴۵ درصد (۱۱۲۲۰/۴ هکتار) در رده خطر زیاد و ۶/۱۱ درصد (۴۷۴۴/۱) در رده خطر خیلی زیاد قرار گرفته است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.14.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.132]

منابع

1. Arabameri, A.R. and A.H. Halabian. 2015. Landslide Hazard Zonation Using Statistical Model of AHP (Case Study: Zarand Saveh Basin). Physical Geomorphology, 28: 65-86.
2. Arabameri, A.R. and K. Shirani. 2016. Identification of Effective Factors on Landslide Occurrence and its Hazard Zonation using Dempster-Shafer theory (Case study:Vanak Basin, Isfahan Province). Journal of Watershed Engineering and Management, 8(1): 93-106.
3. Ayalew, L. and H. Ymagishi. 2001. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakud-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology, 65: 15-31.
4. Bednarik, M., B. Magulova, M. Matys and M. Marschalko. 2010. Landslide Susceptibility Assessment of the Kralˇovany–Liptovskyˊ Mikulaš Railway Case Study. Physics and Chemistry of the Earth, 35: 162-171.
5. Bui, D.T., B. Pradhan, O. Lofman, I. Revhaug and O.B. Dick. 2012. Landslide susceptibility assessment in the HoaBinh province of Vietnam: A comparison of the Levenberg-Marquardt and Bayesian regularized neural networks. Geomorphology, 172: 12-29.
6. Can, T., H.A. Nefeslioglu, C. Gokceoglu, H. Sonmez and Y. Duman. 2005. Susceptibility assessments of shallow earth flows triggered by heavy rainfall at three catchment's by logistic regression analysis. Geomorphology, 82: 250-271.
7. Constantin, M., M. Bednarik, M.C. Jurchescu and M. Vlaicu. 2011. Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). Environmental Earth Science, 63: 397-406.
8. Demir, G., M. Aytekin, A. Akgun, S.B. Ikizler and O. Tatar. 2009. A comparison of landslide susceptibility mapping of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by likelihood-frequency ratio and analytic hierarchy process methods. Nat Hazards: 121-134.
9. Fatemiaghda, M., J. Ghiomian and A. Eshgheli Farahani. 2004. Evaluation efficiency statistics methods in determined Landslide hazard potential. Journal of Geosciences, 11: 28-47.
10. Guzzetti, F., A. Mondini, C. Cardinali, F. Fiorucci, M. Santangelo and K.T. Chang. 2012. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. Earth-Science Reviews, 112: 42-66.
11. Greco, R., M. Sorriso–Valvo and E. Catalano. 2007. Logistic regression analysis in the evaluation of mass movement's susceptibility case study: Calabria. Italy. Engineering Geology, 89: 47-66.
12. Hansen, A. 1984. Engineering geomorphology: the application of an evolutionary model of Hong Kong. Zeitschrift für Gomorphologie, 51: 39–50.
13. Komac, M. 2006. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. Geomorphology, 74: 17-28.
14. Lee, S and T. Sambath. 2006. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. Environmental Geology, 50: 847-855.
15. Lee, S and K. Min. 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. Environmental Geology, 40: 1095-1113.
16. Maleki, A and A. Ghorbanpour. 2008. Landslide hazard zonation In Chemleh Watershed of Songhour. Journal of Geographic and Development, (12): 181-198 (In Persian).
17. Mostafai, H., M. Onagh, M. Mesdaghi and M. Shariat Jafari. 2009. Comparison between efficiency of empirical and statistical model to landslide hazard zonation (Almootrood watershed). Soil and Water Conservation Research Journal. 16: 1-16 (In Persian).
18. Mohammadi, M., H. Moradi, S. Feiznia and H. Pourghasemi. 2009. Assessment of two variate Regresion and AHP methods efficiency for Land slide hazard zoning, (A Case study: Haraz watershed). Iranian Journal of Natural Resources, 62: 539-551 (In Persian).
19. Mohammadi, M., H. Moradi, S. Feiznia and H. Pourghasemi. 2009. Ranking of effective factors on Land slide and Land slide hazard zoning maps using two variate Regresion and AHP methods, (Case study: Haraz watershed). Journal of Earth Sciences, 74: 27-32 (In Persian).
20. Mohamadi, M., H. Moradi, S. Feiznia and H. Porghasemi. 2010. Efficiency of confidence operating model, the value of information and AHP in landslide hazard zonation in Haraz watershed. Iran Natural Resources Journal, 62: 539-551. (In Persian)
21. Nasrabadi, A.H., Sh. Shatai, M. Rafatnia and M. Shariat Jafari. 2008. Assessment of efficiency to information value statistics and area density models for landslide hazard zonation. Natural Resources and Agriculture Science Journal, 15: 23-34 (In Persian).
22. Neuhauser, B. and B. Terhorst. 2006. Landslide Susceptibility Assessment Using Weights-of-Evidence Applied to a Study Area at the Jurassic Escarpment (SWGermany). Geomorphology: 1-13.
23. Pradhan, B. and S. Lee. 2010. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: back propagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling. Environmental Modeling and Software, 25: 747-759.
24. Pourghasemi, H.R., B. Pradhan, C. Gokceoglu and K. Deylami Moezzi. 2012. A comparative assessment of prediction capabilities of Dempster–Shafer and weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping using GIS.Geomatics. Natural Hazards & Risk, 5:23-43. (in Persian)
25. Rasai, A., K. Khosravi, M. Habibnejad Roshan, A. Heidari and A. Mashayekh Khan. 2015. Lnadslide Hazard Zonation using Multivariate Regression in GIS Environment (Case Study: Aghmashhad Watershed, Mazandaran). Journal of Watershed Management Research, 6(12): 205-2015.
26. Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. Bulletin System Technology Journal, 27: 379-423.
27. Zare, M., A. Moghaddamnia, S. Tali Khoshk and H. Salmani. 2015. Landslide Hazard Assessment by using Neuro-Fuzzy Technique in VazWatershed, Journal of Watershed Management Research, 6(11): 101-110 (In Persian).
28. Zare, M., M.H. Jouri, D. Askarizadeh, T. Salarian and M. Fakhre Ghazi. 2016. An Evaluation of Landslide Hazard in Masooleh Watershed using Dempster-Shafer Theory and GIS. Journal of Watershed Management Research, 7(13): 2010-2017 (In Persian).
29. Zhu, C. and X. Wang. 2009. Landslide susceptibility mapping: A comparison of information and weights-of evidence methods in Three Gorges Area. International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, 187: 342-346.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.14.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.132]

Identify Areas Susceptible to Landslides using new Synthetic Method Shannon's Entropy Index-Information Value (Case Study: Karoon Sarkhon Watershed)

Alireza Arabameri[1], Khalil Rezaei[2], Kourosh Shirani[3] and Mojtaba Yamani[4]

1- PhD Student of Geomorphology, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran,
(Corresponding Author: Alireza.ameri91@yahoo.com)
2- Assistant Professor of Sedimentology, Kharazmi University, Iran
3- Assistant Professor, Isfahan Research Center for Agriculture and Natural Resources, Isfahan, Iran
4- Professor of Geomorphology, Tehran University, Iran
Received: 14 May 2016 Accepted: 1 May 2017

Abstract

The landslides impose serious damages to the economy, environment and human throughout the world. Identification of areas susceptible to landslides is necessary to avoid risks. In This research for Landslide hazard zonation in sarkhoon karoon watershed have been used Shannon's Entropy Index and Information Value Methods. For this purpose, at first, landslide locations were identified using satellite images and field surveys and then landslide inventory map was created for study area. In the next step, 10 Effective Factors in Landslide occurrence include altitude, slope, aspect, distance from road, distance from fault, distance from river, lithology, land use, stream power index, topography wetness index, Plane Curvature and Profile Curvature were identified and mentioned maps will be digitized in GIS. In order to determine the weight of factors used Shannon's Entropy Index and to determine the weight of classes used Information Value. The final Zonation map in the five classes include potential risk of very low, low, moderate, high and very high were prepared. The ROC (Receiver operating characteristic) curves and area under the curves (AUC) for landslide susceptibility map were constructed and the areas under curves were assessed for validation purpose and its value showed that the hybrid model has a higher efficiency (0.781) for landslide hazard zonation. Results showed that land use and distance to road factors have the greatest impact on landslides. According to the results of landslide maps 14.45% (11220.4 ha) of the area are ranked as very dangerous areas and 6.11% (4744.1 ha) as dangerous areas.The results of this research can help planners to choose favorable locations for development schemes, such as infrastructural, buildings, road constructions, and environmental protection.

Keywords: Information Value, Landslide, Shannon's Entropy Index, Sarkhon Watershed, Zonation

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.14.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.132]