Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هجدهم، شماره‌ی ۶۲
تابستان ۱۳۹۷، صفحات ۱۱۶-۹۳

*علیرضا عرب عامری[۱]
خلیل رضایی[۲]
کورش شیرانی[۳]

پهنه بندی و ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل های عامل اطمینان، تراکم سطح و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه ونک، استان اصفهان)

تاریخ دریافت: ۹٤/۱۰/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰٦/۳۰

چکیده

در این پژوهش، ابتدا حوضه ونک به وسعت تقریبی ۱٦۸٥٤۷ هکتار در استان اصفهان انتخاب گردید، سپس با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی و بررسی‌های میدانی، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها تهیه گردید. همچنین با استفاده از بررسی‌های میدانی و مرور مطالعات انجام شده، ۱۲ پارامتر موثر در رخداد زمین لغزش شامل لیتولوژی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، ارتفاع، شاخص خیسی توپوگرافی (TWI)، شاخص انحنای سطح، شاخص انحنای مقطع، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه انتخاب گردید. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.2 و وزن‌دهی به عوامل موثر با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی کارشناسی در محیط نرم‌افزار Expert choice، با استفاده از نقشه پراکنش زمین‌لغزش، اقدام به تهیه وزن کلاس‌ها و در نهایت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی حساست زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری تراکم سطح، فاکتور اطمینان و تحلیل سلسله مراتبی در پنج کلاس ریسک خطر خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد گردید. برای صحت سنجی روش‌ها از شاخص‌های جمع کیفی (QS)، دقت (P) و شاخص نسبت تراکمی (DR) استفاده گردید. مقادیر شاخص‌های مجموع

*۱- دانش‌آموخته دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول). E-mail: alireza.ameri91@yahoo.com
۲- گروه رسوب‌شناسی دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی.
۳- گروه بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

کیفیت و دقت که بیانگر کارایی مدل‌ها در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش می‌باشند، به‌ترتیب برای مدل‌های تراکم سطح (۰/۲۹، ۰/۰۳)، فاکتور اطمینان (۰/٤۸، ۰/۰۵) و تحلیل سلسله مراتبی (۰/۸۵، ۰/۰۹) به‌دست آمد. مقادیر بالای شاخص‌ها در مدل تحلیل سلسله مراتبی بیانگر کارایی بیش‌تر این روش نسبت به روش‌های تراکم سطح و فاکتور اطمینان در تهیه نقشه پهنه‌بندی می‌باشد. روند صعودی نسبت تراکمی برای گستره‌های مواجه با خطر خیلی کم تا گستره‌های مواجه با خطر خیلی‌زیاد در هر سه روش، نشان از صحت نقشه‌های تهیه شده با روش‌های مورد استفاده می‌باشد. طبق نتایج عوامل فاصله از جاده و جهت شیب بیش‌ترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند. بر اساس نتایج مدل برتر (AHP)، ۳۱٦۵۷/۵۳ هکتار از منطقه (۱۸/۷۸ درصد) در رده میزان ریسک زیاد و ۲۰٦۹۰۰/۸۸ هکتار (۱۲/۲۷ درصد) در رده ریسک خیلی زیاد قرار گرفته است.

کلید واژه‌ها: پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، روش تراکم سطح، روش فاکتور اطمینان، روش تحلیل سلسله مراتبی.

مقدمه

زمین لغزش عبارت است از حرکت مواد تشکیل دهنده شیب، شامل صخره‌های طبیعی، خاک، انباشته‌ای مصنوعی و یا مخلوطی از آن‌ها که توسط نیروی ثقل به سمت پایین جابه‌جا می‌شوند (Varnes, 1984: 52). لغزش‌ها نتیجه فرآیندهای مکانی-زمانی به هم پیوسته شامل فرآیندهای هیدرولوژیک (بارش، تبخیر و آب‌های زیرزمینی)، وزن پوشش گیاهی، مقاومت ریشه، وضعیت خاک، سنگ مادر، توپوگرافی و فعالیت‌های انسانی هستند (Wu and Sidle, 1995: 2105). عوامل متعددی مانند شرایط زمین‌شناسی، شرایط آب‌شناختی، وضعیت پستی‌وبلندی، ریخت‌شناسی، آب‌وهوا و هوازدگی بر پایداری یک دامنه تاثیر گذاشته و می‌توانند باعث ایجاد لغزش شوند (Garfi and Bruno, 2007: 185). رخداد پدیده زمین‌لغزش که در بسیاری از نقاط دنیا و کشور ایران در شرایط مساعد رخ می‌دهد، موجب تخریب پوشش گیاهی، باغات، اراضی زراعی، نابودی زیرساخت‌ها و حتی مرگ‌ومیرهای انسانی می‌شود (Ghanbarzad and Behnaifar, 2009: 108). از آنجا که تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش به طور چشمگیری برنامه‌ریزی کاربری را بهبود می‌بخشد، می‌توان از آن به‌عنوان روشی کارآمد برای کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از زمین‌لغزش‌ها استفاده کرد، بنابراین تهیه نقشه زمین‌لغزش گامی مهم برای مدیریت خطر زمین‌لغزش به منظور امنیت زندگی انسان‌ها، توسعه زیرساخت‌ها و حفاظت از محیط‌زیست است (Neuhauser and Terhorst, 2007: 15).

امروزه به دلیل توسعه سریع قدرت پردازش کامپیوترها و تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی، تعداد وسیعی از روش‌های کمی و آماری در ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش گسترش یافته است (Wang, 2013: 45). از جمله این مدل‌ها می‌توان به روش‌های دومتغیره، چند متغیره، شبکه‌های عصبی مصنوعی، روش‌های فازی، روش‌های چند معیاره، ماشین‌های بردار پشتیبان، درخت تصمیم و غیره اشاره نمود (Bui et al, 2012: 199; Pradhan, 2013: 350; Arabameri and Shirani, 2016: 93; Shirani and Arabameri, 2015: 321). به طور کلی مدل‌های ارزیابی حساسیت

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

رخداد زمین‌لغزش به چهار گروه ارزیابی بر اساس زمین‌لغزش‌های موجود، ارزیابی بر اساس مدل‌های اکتشافی، تحلیل‌های آماری و نگرش‌های قطعی و یا جبری تقسیم می‌شوند (Guzzetti et al,1999: 181; Ermini et al, 2005: 327; Gorsevski et al, 2006: 121; Wati et al, 2010: 248). انتخاب مناسب‌ترین نگرش و مدل بر اساس نوع داده‌ها، مقیاس منطقه مورد مطالعه و مقیاس تحلیل‌ها صورت می‌گیرد. روش‌های آماری برای مطالعات در سطح منطقه مناسب می‌باشند و ارتباط بین پارامترهای مورد استفاده و زمین‌لغزش را با روش دقیق‌تر و علمی‌تر از روش‌های دیگر مورد ارزیابی قرار می‌دهند (Piacentini et al, 2012: 196). از سوی دیگر روش‌های آماری غیرمستقیم‌اند و تا حدودی مبتنی بر مشاهدات و دانش اولیه کارشناس و محاسبات آماری وزن یا احتمالات وقوع زمین‌لغزش می‌باشند (Massari, Atkinson and 1998: 373). در زمینه استفاده از روش‌های آماری دو متغیره و AHP تاکنون مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته است. Ahmadi et al (2003) به پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای را با استفاده از دو روش رگرسیون چندمتغیره و تحلیل سلسله مراتبی در حوضه آبخیز گرمی چای استان اردبیل انجام دادند. با استفاده از این دو روش معلوم گردید که روش تحلیل سلسله مراتبی به دلیل داشتن متغیرهای بیش‌تر و طبقه‌بندی اصولی نسبت به روش رگرسیون چند متغیره اهمیت و دقت بیش‌تری دارد. Shadfar et al (2005) در حوضه چالکرود به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات، تراکم سطح و LNRF پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در مدل ارزش اطلاعات، حدود ٦٦ درصد و در مدل تراکم سطح ۷۹ درصد از منطقه در رده استعداد خطر لغزش بالا قرار دارند. Pourhashem et al (2014) به انتخاب مدل مناسب از بین روش‌های آماری دو متغیره جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز بقیع پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل ارزش اطلاعات به دلیل انطباق بیش‌تر با منطقه، دارای کارایی بالاتری برای پهنه‌بندی می‌باشند. Abedini & Ghasemyan, (2015) اقدام به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در منطقه بیجار با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی نموده و به این نتیجه رسید که شیب و کاربری اراضی بیش‌ترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته است. Keshavarz Bakhshayesh (2016) به پهنه‌بندی خطر لغزش در محدوده پی و مخزن سد پلرود با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پرداخته و به این نتیجه رسید که حدود ٢٦ درصد از شیب‌های مشرف به دریاچه در محدوده با خط بالا قرار می‌گیرد. در خارج از کشور نیز Ayalew & Yamagishi (2005) با استفاده از روش رگرسیون لجستیک و سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه حساسیت به زمین‌لغزش را در کوه‌های کاکودا-یاهیکو در مرکز ژاپن تهیه کردند و اظهار داشتند که شبکه‌های جاده نقش اساسی در تعیین و توزیع زمین‌لغزش ها ایفا می‌کنند.

Komac et al (2006) با استفاده از تجزیه آماری چند متغیره در مرکز اسلوونی، نشان داد که شیب، سنگ‌شناسی و نوع پوشش نقش مهمی در حساسیت زمین‌لغزش ایفا می‌کنند. Yalcin (2008) بر مبنای سامانه اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و روش‌های آماری دو متغیره نقشه حساسیت زمین‌لغزش برای منطقه آردسن ترکیه تهیه کرد. سنگ‌شناسی، هوازدگی، پوشش زمین و شیب به‌عنوان مهم‌ترین عوامل موثر در محدوده مورد بررسی تعیین شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده روش تحلیل سلسله مراتبی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل معرفی گردید. Naderi

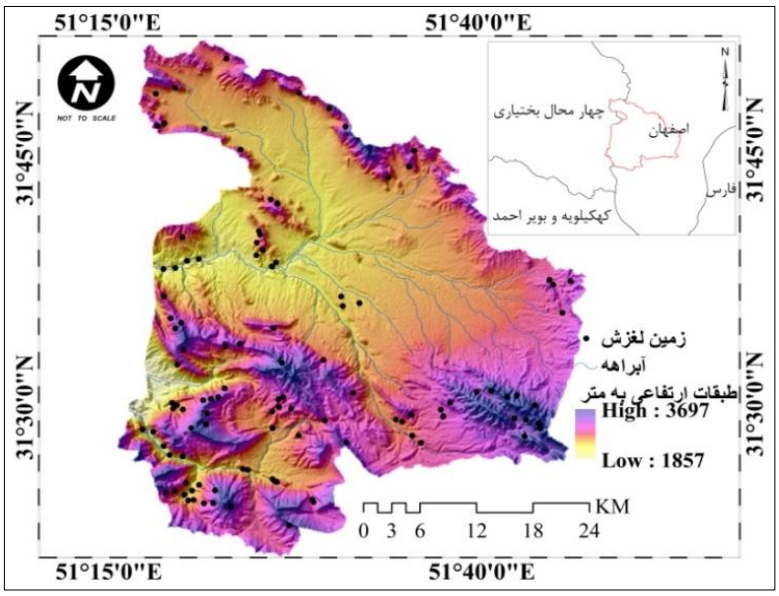
Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

et al (2010) کارایی چهار روش ارزش اطلاعات، تراکم سطح، تحلیل سلسله مراتبی و روش پیشنهادی گوپتا و جوشی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز رنگوان استان ایلام را مورد ارزیابی قرار داد و به این نتیجه رسید که روش ارزش اطلاعات کارایی بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد. Abdul Rahaman et al (2014) به ارائه یک رویکرد مکانی در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های چند معیاره پرداخته‌اند و با روش AHP به رتبه‌بندی پارامترها و به این نتیجه رسیدند که ۳/۵۶ درصد از منطقه در رده پتانسیل خطر زیاد قرار گرفته است. بررسی پیشینه تحقیق نشان داد که تاکنون از معیارهای شکلی کمی که برای شناسایی پهنه‌های مستعد لغزش در راستای برنامه‌ریزی محیطی بسیار مهم می‌باشند، برای ایجاد نقشه پهنه‌بندی استفاده نشده است. پارامترهای ژئومورفومتریک در این راستا می‌تواند بیانگر مشخصات فرم دامنه‌ها و فرآیندهای تغییر دهنده شکل آن‌ها باشد. هدف از ژئومورفومتری استخراج ویژگی‌های سطح زمین و عوارض موجود در آن (شبکه‌های جریانی، لندفرم‌ها و ...) با استفاده از مدل رقومی سطح زمین و نرم‌افزارهای پارامترسازی است (Pike, 2000). در این پژوهش به‌عنوان یک رویکرد نوین از پارامترهای ژئومورفومتریک مانند (Plan Curvature, Profile Curvature, TWI) در کنار عوامل ذاتی (زمین‌شناسی، ..)، عوامل محرک (آبراهه، ...) و عوامل انسانی (جاده، ...) جهت پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در حوضه ونک استان اصفهان استفاده شده است. همچنین در این پژوهش به مقایسه میزان کارایی و صحت روش‌های دو متغیره و روش تحلیل سلسله مراتبی کارشناسی در تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش پرداخته شده است.

موقعیت منطقه مطالعاتی

حوضه آبخیز سمیرم در محدوده‌ی سیاسی شهرستان سمیرم از استان اصفهان واقع گردیده است. وسعت حوضه در حدود ۱۶۸۵۴۷ هکتار بوده و در محدوده‌ی طول‌های جغرافیایی $51^{\circ}14'50''$ تا $51^{\circ}48'15''$ و عرض‌های جغرافیایی $31^{\circ}21'05''$ تا $31^{\circ}52'10''$ قرار دارد (شکل ۱). این حوضه در زون ساختاری سنندج-سیرجان و زاگرس مرتفع قرار دارد. با توجه به نقشه زمین‌شناسی سازندهای رخنمون یافته از قدیم به جدید شامل شیل، آهک و ماسه‌سنگ سازند سورمه در ژوراسیک، سازندهای فهلیان، گدوان، داریان، تاربور و واحدهای آهکی کرتاسه، تناوب مارن، آهک و دولومیت، ماسه‌سنگ و کنگلومرا مربوط به سازندهای کشکان، شهبازان، جهرم، پابده، آسماری، رازک، آغاجاری مربوط به دوران دوم و کنگلومرای بختیاری همراه با رسوبات آبرفتی قدیمی و جدید، مخروط افکنه‌ها، پهنه‌های رسی و سیلتی و ماسه‌ای و رسوبات بستر رودخانه متعلق به عهد حاضر می‌باشد. بیش‌ترین رخنمون مربوط به واحد Qt2 مخروط افکنه‌ها و تراس‌های آبرفتی جدید است و کم‌ترین رخنمون مربوط به سازند پابده Epd تناوب مارن و آهک مارنی است.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025



شکل ۱: موقعیت ریاضی منطقه

مواد و روش‌ها

این پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی می‌باشد. نقشه‌های پایه مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی در مقیاس ۱:٤۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای ETM+. در ابتدا بر اساس تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و نیز مطالعات میدانی، ۱۲ عامل اولیه موثر بر زمین‌لغزش‌های منطقه شامل لیتولوژی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص خیسی توپوگرافی[٤] (TWI)، انحنای سطح[٥] و انحنای مقطع[٦] شناسایی شدند. نقشه‌های مربوط به عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.2 تهیه و جهت پردازش آماده شدند. از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ جهت تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاعی[٧] با قدرت تفکیک ۳۰ متر در ۳۰ متر استفاده گردید. طبقات ارتفاعی از مدل رقومی ارتفاعی استخراج گردید (شکل ۲). شاخص‌های ژئومورفومتریک موثر در وقوع زمین‌لغزش شامل شیب (شکل ۳)، جهت شیب (شکل ٤)، انحنای سطح (شکل ۱۳)، انحنای مقطع (شکل ۸) و شاخص خیسی توپوگرافی (شکل ۱۱) با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی منطقه با قدرت تفکیک ۳۰×۳۰ متر، از طریق روابط ۱ تا ۵ در محیط نرم‌افزار SAGA.GIS 2.1.1 استخراج گردید (Pike, 2000: 12; Shary et al, 2002: 14). برای تهیه نقشه فاصله از گسل از داده‌های ماهواره‌ای ETM+2002 در محیط نرم‌افزار ENVI4.7 استفاده گردید (شکل ۷). نقشه فاصله از جاده (شکل ٦) و فاصله از شبکه زهکشی (شکل ۵) با طبقه‌بندی فواصل معین از شبکه جاده و شبکه هیدروگرافی رقومی شده از نقشه توپوگرافی منطقه تهیه شدند. بر اساس طبقه‌بندی نظارت نشده

4- Topography Wetness Index
5- Plan Curvature
6- Profile Curvature
7- Digital Elevation Mode

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

تصویر ماهواره‌ای تصحیح شده لندست +ETM و بازدید صحرایی و کنترل صحت، نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه گردید (شکل ۹). همچنین بر اساس تفکیک و رقومی کردن پلی گون‌های واحدهای سنگ‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.2 نقشه زمین‌شناسی منطقه تهیه گردید (شکل ۱۲). پس از تصحیحات لازم و زمین مرجع کردن تصویر TM سال (۲۰۰۶)، مقدار NDVI محاسبه شد که به‌عنوان شاخصی برای وجود گیاهان در آبراهه‌ها از آن استفاده گردید (شکل ۱۰).

رابطه (۱): شیب

$$\text{Slope} = \arctan\left(\sqrt{d^2 + e^2}\right)$$

رابطه (۲): جهت شیب

$$\text{Aspect} = 180 - \arctan\left(\frac{p}{q}\right) + 90 \times \frac{p}{|p|}$$

رابطه (۳): انحنای سطح

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

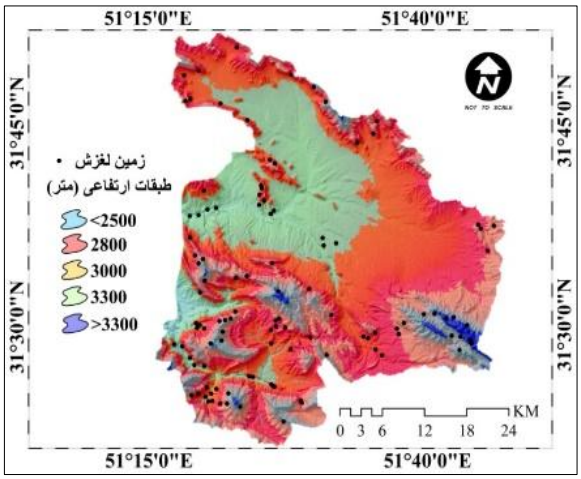
رابطه (٤): انحنای مقطع

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

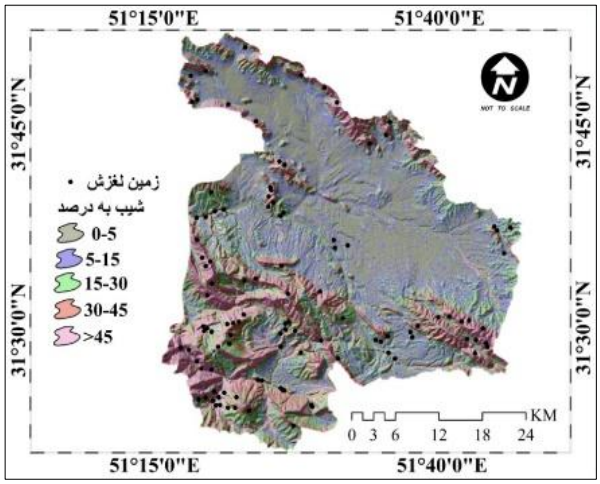
رابطه (۵): شاخص خیسی توپوگرافی

$$\text{TWI} = \text{In}\,(A_S/\tan\beta)$$

که در آن d، t، s، r، q، p ضرایبی هستند که در نرم‌افزار مورد استفاده قرار می‌گیرند. AS: مساحت حوضه آبخیز و β: گرادیان شیب بر حسب درجه می‌باشد. در این پژوهش به‌منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی از روش‌های دومتغیره تراکم سطح و فاکتور اطمینان در کنار روش چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است و به‌منظور صحت سنجی روش‌ها نیز از فاکتور جمع کیفی (QS)، دقت (P) و شاخص نسبت تراکمی (DR) استفاده شده است. در ادامه به توضیح روش‌ها پرداخته شده است.

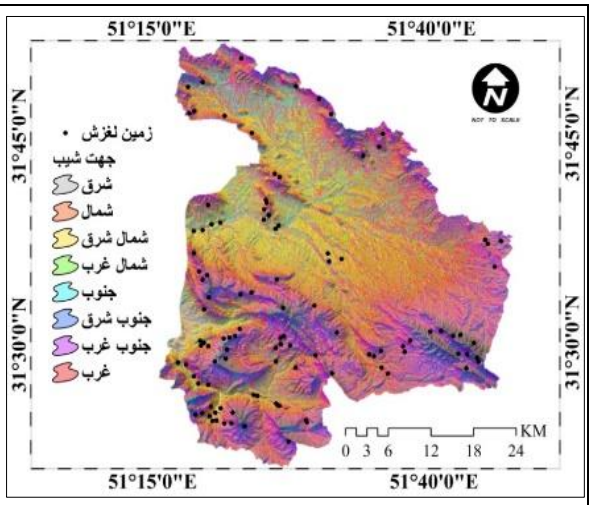


شکل ۲: طبقات ارتفاعی

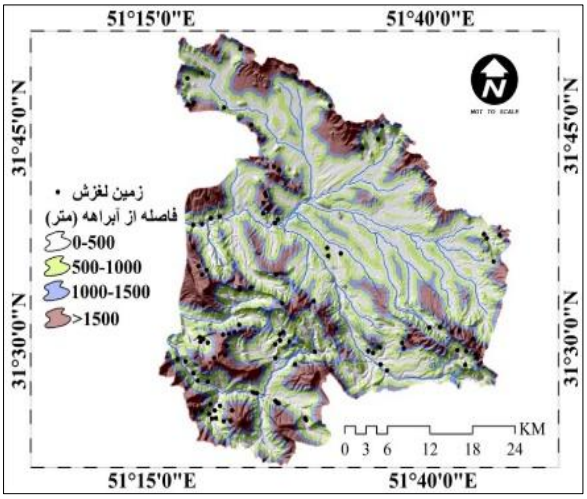


شکل ۳: شیب

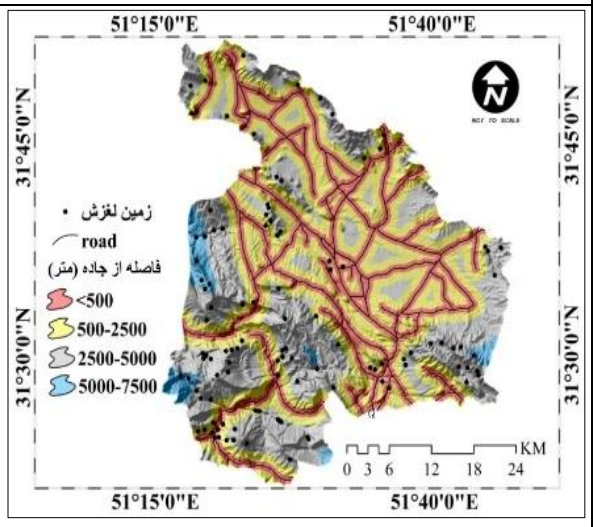
Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025



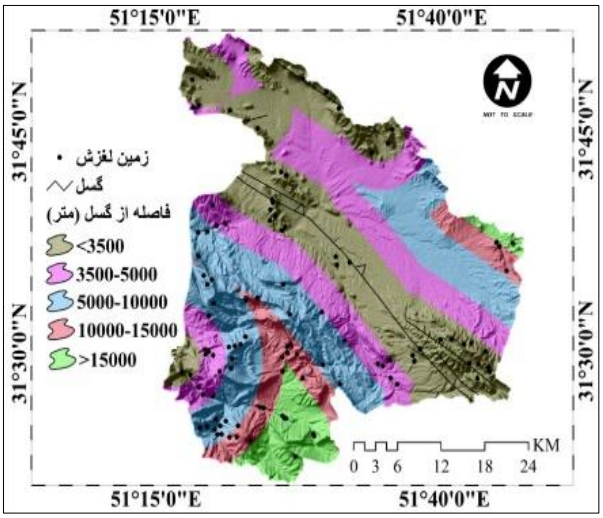
شکل ٤: جهت شیب



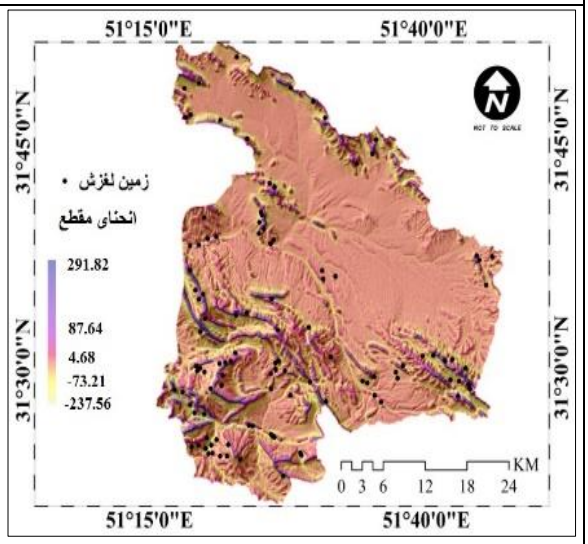
شکل ٥: فاصله از آبراهه



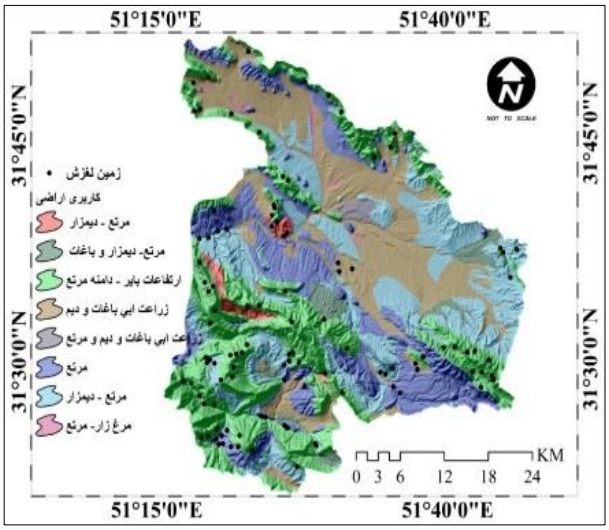
شکل ٦: فاصله از جاده



شکل ٧: فاصله از گسل

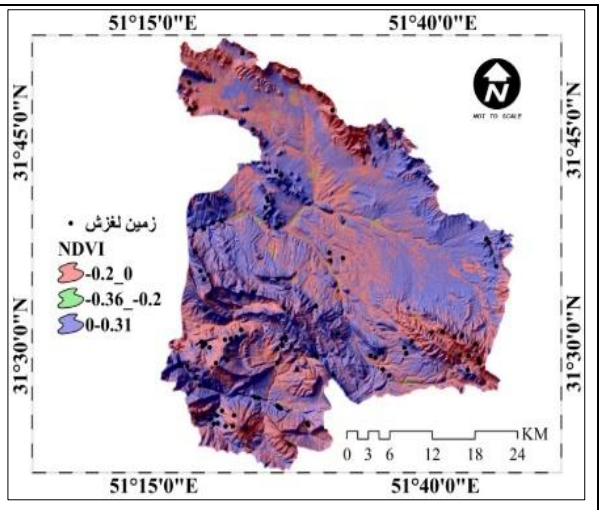


شکل ٨: انحنای مقطع

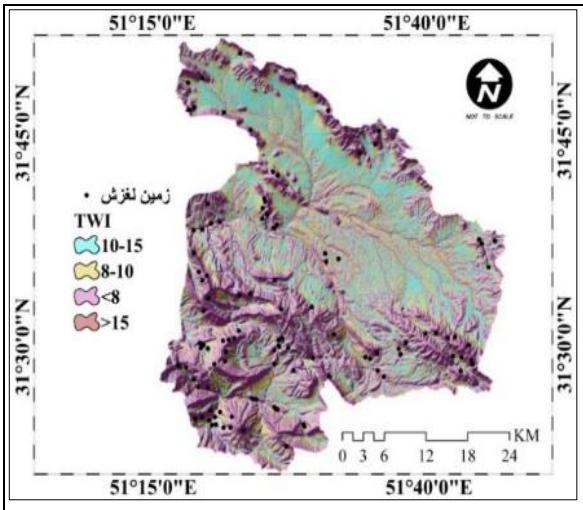


شکل ٩: کاربری اراضی

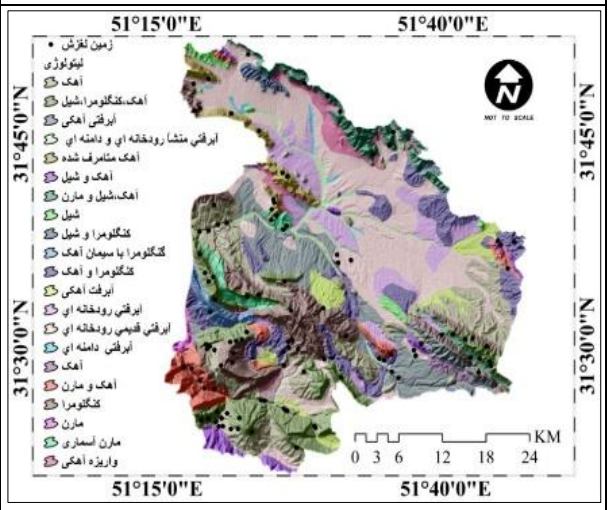
Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025



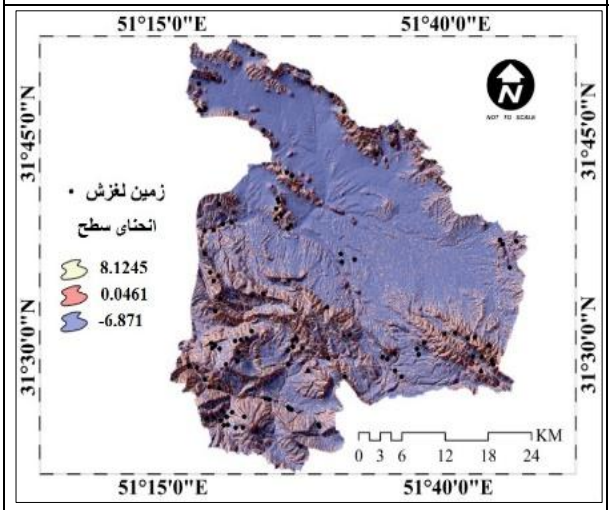
شکل ۱۰: NDVI



شکل ۱۱: شاخص خیسی



شکل ۱۲: لیتولوژی

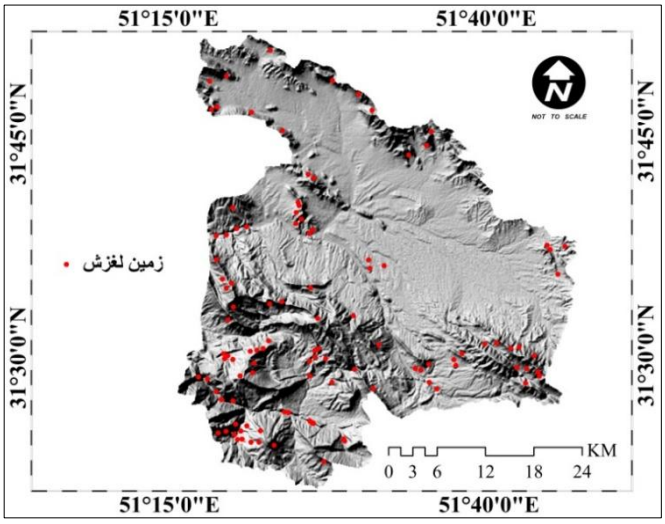


شکل ۱۳: انحنای سطح

– تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش

نقشه‌های پراکنش، موقعیت تمامی لغزش‌هایی که دارای اشکال و آثار بجا مانده‌ای از خود هستند و زمان رخداد و نوع حرکت توده‌ای را گزارش می‌کنند (Hansen, 1984: 39). جهت به نقش در آوردن انواع لغزش‌های رخ داده در محدوده مطالعاتی، ابتدا عکس‌های هوایی منطقه با مقیاس ۱:٤٠٠٠٠ به روش استریوسکوپی و همچنین داده‌های ماهواره‌ای لندست هفت با استفاده از نرم‌افزار ENVI تفسیر شده‌اند و مناطق مستعد به لغزش تعیین شد، در مرحله بعد با انجام پیمایش صحرایی دقیق، موقعیت لغزش‌ها با استفاده از دستگاه GPS با دقت زیاد به نقشه در آمدند (شکل ١٤). در (شکل ۱۵) زمین‌لغزش سطحی در رسوبات مارنی نشان داده شده است.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025



شکل ١٤: نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها

شکل ١٥: لغزش سطحی در رسوبات مارنی

روش آماری دو متغیره تراکم سطح[8]

در این روش از طریق روابط (٦) و (٧) برای هر نقشه عامل یا پارامتر، تراکم زمین لغزش محاسبه می‌شود و سپس اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش می‌شود (Lee and kyungduck, 2001: 1095).

رابطه (٦)

$$D_{area} = \frac{N_{Pix}\ (SX_i)}{N_{Pix}\ (X_i)}$$

رابطه (٧)

$$W_{area} = 1000\left[D_{area} - \frac{\sum N_{Pix}\ (SX_i)}{\sum N_{Pix}\ (X_i)}\right]$$

که در آن D_{area}: تراکم زمین‌لغزش در هر رده از پارامتر، $N_{Pix}\ (SX_i)$: تعداد پیکسل‌های زمین‌لغزش در هر رده از پارامتر مشخص، $N_{Pix}\ (X_i)$: تعداد کل پیکسل‌ها در هر رده از پارامتر مشخص، W_{area}: وزن متغیر هر رده از هر پارامتر.

- روش آماری دو متغیره فاکتور اطمینان

از میان روش‌های آماری دو متغیره، مدل فاکتور اطمینان بررسی‌های موشکافانه‌ای را انجام می‌دهد (Chung and Fabbri, 1993: 122; Luzi and Pergalani, 1999: 57). این مدل مشکل ترکیب لایه‌های اطلاعاتی ناهمگن را برطرف می‌کند. در واقع تفاوت اصلی این مدل با دیگر مدل‌های دو متغیره نحوه تلفیق نقشه‌ها در آن است. به این صورت که ابتدا نقشه‌ها کلاسه‌بندی شده، سپس با استفاده از رابطه (٨) وزن هر یک از پیکسل‌ها به‌دست می‌آید.

8- Density Area

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

رابطه (۸)

$$F = \begin{cases} \frac{PPa-pps}{PPa\,(1-PPs} & \text{if } PPs \geq PPs \\ \frac{-PPa-PPs}{PPs\,(1-PPa)} & \text{if } PPa \prec PPs \end{cases}$$

که در اینجا PPa: نسبت تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس به کل پیکسل‌های آن کلاس و PPs: نسبت کل پیکسل‌های لغزشی منطقه به کل پیکسل‌های نقشه می‌باشد. با کمک این فرمول هر کلاس به صورت ۱- و ۱+ ارزش‌گذاری می‌شود. اگر ارزش کلاس مربوطه مثبت باشد نشان‌دهنده این است که اطمینان وقوع زمین‌لغزش بالاست و اگر ارزش کلاس مربوطه منفی باشد یعنی اطمینان وقوع لغزش کم می‌باشد و اگر ارزش آن کلاس صفر باشد یعنی در اینجا اطلاعات کافی در مورد متغیر وجود نداشته است و بنابراین عدم اطمینان در وقوع زمین‌لغزش وجود دارد. در مرحله بعد ترکیب لایه‌ها بر اساس قانون فاکتور اطمینان انجام می‌گیرد، بدین صورت که یک نقشه را با عنوان X و نقشه دیگر را به‌عنوان Y در نظر گرفته و آن‌ها را طبق رابطه (۹) ترکیب می‌کند که سه فرمول برای حالت‌های مختلف X و Y وجود دارد. دوباره نقشه X و Y جدید بر اساس همین رابطه با هم ترکیب می‌شوند. این ترکیب نقشه‌ها تا آخرین نقشه انجام شده و وزن نهایی محاسبه می‌گردد (Mohammadi et al, 2010: 539).

رابطه (۹)

$$Wf = \frac{(TWi) - (TWi_{min})}{(TWi_{max}) - (TWi_{min})} \times 100$$

که W_F: مقدار وزن عامل‌ها برای هر عامل، Twi: مجموع مقادیر Wi مربوط به سلول‌هایی که در محدوده زمین‌لغزش‌ها قرار گرفته‌اند و برای هر عامل محاسبه می‌شوند، Twi_{min}: کمینه مجموع مقادیر Wi در میان عوامل انتخاب شده و Twi_{max}: بیشینه مجموع مقادیر Wi در میان عوامل انتخاب شده است.

- روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[9]

AHP یک فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی برای تصمیم‌گیری چند معیاره است که توسط Saaty ارائه شده است (Saaty, 1980: 21). ماهیت کاربردی این روش سبب شده است تا طی دو دهه گذشته در بسیاری از زمینه‌های کاربردی گوناگون و حل مسائل تصمیم‌گیری بزرگ و پیچیده به‌کار رود (Leung et al, 1998: 171) Dagdeviren et al (2009) بیان کرده‌اند که ابتدا روش AHP مسئله تصمیم‌گیری جند معیاری پیچیده را به سلسله مراتب عناصر تصمیم، یعنی هدف، معیار و گزینه‌های تصمیم مرتبط با آن مسئله تبدیل می‌کند. گام دوم، مقایسه گزینه‌ها و معیارهاست. هنگامی که مسئله تجزیه شده و سلسله مراتب آن ساخته شد، رویه‌های اولویت‌بندی به منظور تعیین اهمیت نسبی معیارهای هر سطح آغاز می‌شوند. قضاوت‌های زوجی از سطح دوم (معیارها) شروع شده و در آخرین سطح پایان می‌یابند. در هر سطح معیارها به حالت زوجی و بر طبق سطوح اثر خود و مبتنی بر معیار مشخص شده در سطح بالاتر مقایسه

9- Analytical Hierarchy Process (AHP)

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

می‌شوند. Bogdanovic et al (2012) تصریح کردند، مقایسه زوجی باید با پرسش از تصمیم گیرنده آغاز گیرد. بدین شکل که مثلا پرسیده می‌شود با توجه به هدف تصمیم، کدام مقیاس ۱ تا ۹، همان گونه که در (جدول ۱) نشان داده شده است، باید به‌عنوان میزان اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر تخصیص داده شود. همچنین Vidal et al, (2010) به این نتیجه رسیدند که اعداد میانی ۲، ٤، ٦، ۸ باید برای اصلاح مقایسه استفاده شوند.

جدول ۱- قضاوت کارشناسی در مقایسه زوجی عوامل موثر (Saaty and Vargas, 2001: 45)

مقدار عددی قضاوت شفاهی	بیان زبان اهمیت نسبی عامل A نسبت به B
۱	اهمیت با مطلوبیت یکسان
۳	کمی محسوس
۵	به نسبت مشخص
۷	بسیار مشخص
۹	کاملا مشخص
۲، ٤، ٦، ۸	رده‌های بینابین

در گام بعد، جدول مقایسه‌های زوجی عناصر در AHP همانند (جدول ۲) تکمیل می‌شوند. در این جدول Pc ai, aj نشانگر میزان ارجحیت معیار ai بر معیار aj است (Macharis et al, 2004: 307). همان‌طور که واضح است، ارجحیت میان دو معیار یکسان برابر با یک است. همچنین Bogdanovic et al (2012) گزارش کرده‌اند که در این جدول ویژگی دو طرفه بودن وجود دارد، یعنی aji=1/aij. از این جدول برای مقایسه معیارها و گزینه‌ها نیز استفاده می‌شود.

جدول ۲- مقایسه‌های زوجی (Macharis et al, 2004: 312)

C	a_1	....	a_j	.....	a_n
a_1	۱				
....		۱			
a_j			Pc (a_i,a_j)		
....				۱	
a_n					۱

بر اساس مطالعات این پژوهشگر، برای به‌دست آوردن وزن‌ها به‌ترتیب زیر عمل می‌شود:

رابطه (۱۰)

$$a_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^{n} a_{ij} \qquad \forall j,\ \ j = 1,2,3 \ldots\ldots, n$$

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

به منظور نرمال‌سازی، باید هر عنصر بر حاصل جمع همه عناصر همان ستون از ماتریس مقایسه زوجی تقسیم شود. سپس وزن‌ها از طریق معادله زیر محاسبه شود:

رابطه (۱۱)

$$w_i = \sum_{i=1}^{n} a_{ij}/n \quad \forall i, i = 1,2, \dots, n$$

برای بررسی اعتبار مقایسات زوجی انجام گرفته میان معیارها، باید ضریب یکنواختی ماتریس به‌وسیله معادله زیر محاسبه شود:

رابطه (۱۲)

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

که در آن، CI[10] ضریب یکنواختی ماتریس مقایسه‌های زوجی، λ_{max} بزرگ‌ترین بردار ویژه ماتریس مقایسه‌های زوجی و n تعداد معیارهای مسئله است. سپس با استفاده از معادله زیر می‌توان نرخ سازگاری را محاسبه نمود:

رابطه (۱۳)

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

RI شاخص سازگاری تصادفی است که از ماتریس مقایسه‌های زوجی که به‌طور تصادفی تولید شده، حاصل می‌شود (جدول ۳).

جدول ۳- شاخص‌های تصادفی سازگاری (Saaty, 1980: 15)

N	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸
RI	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲٤	۱/۳۲	۱/٤۱
N	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱۵	
RI	۱/٤۵	۱/٤۹	۱/۵۱	۱/٤۸	۱/۵٦	۱/۵۷	۱/۵۹	

اگر نرخ سازگاری کوچک‌تر از ۰/۱ باشد، مقایسه‌ها قابل قبول است. اما اگر بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، در آن صورت قضاوت‌ها ناسازگار بوده و باید مقادیر ماتریس مقایسه‌های زوجی دوباره بررسی و تجدید نظر شوند.

- ارزیابی و صحت سنجی روش‌های آماری

در این مرحله با تلاقی نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش‌های آماری ارزش اطلاعات، فاکتور اطمینان و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS، ارزیابی و مقایسه روش‌های

10- Consistency index

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انجام گرفت. استفاده از شاخص‌های نسبت تراکمی (Dr)[11]، به منظور مقایسه بین پهنه‌های خطر در هر روش و شاخص‌های مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P) برای مقایسه روش‌ها نسبت به هم کاربرد دارند، به عبارت دیگر، شاخص مجموع کیفیت و دقت، مدل مناسب منطبق با منطقه مورد بررسی و شاخص نسبت تراکم، دقت تفکیک بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر در هر روش از مدل‌های پهنه‌بندی را معرفی می‌کند (Guzzetti et al, 2000: 91; Shirani et al, 2005: 47; Shirani, 2003: 29).

– درستی یا مجموع کیفیت (Qs)[12]

برای تعیین مجموع کیفیت ابتدا باید نسبت تراکم محاسبه گردد که در قالب رابطه (۱٤) محاسبه می‌گردد (Gee, 1992: 56).

رابطه (۱٤)

$$D_r = \frac{\frac{S_i}{A_i}}{\frac{\sum_i^n S_i}{\sum_i^n A_i}}$$

که در آن S_i: مجموع مساحت زمین‌لغزش‌های واقع در هر رده خطر، A_i : مساحت iامین رده خطر در یک نقشه پهنه‌بندی و n: تعداد رده‌های خطر می‌باشد. هرچه تفکیک بین رده‌های خطر توسط شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، روش از دقت بالاتری برخوردار است. مقدار مجموع کیفیت (Qs) نشان‌دهنده درستی یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش‌بینی خطر رانش زمین در منطقه است. معمولا مقدار این شاخص در روش‌های مختلف در گستره صفر و ۷ قرار می‌گیرد. اگرچه از نظر تئوری، حدی برای آن وجود ندارد. در ارزیابی روش‌ها هر چه مقدار مجموع کیفیت (Qs) بیش‌تر باشد، روش از درستی و مطلوبیت بیش‌تری در تفکیک برخوردار است. مقدار مجموعه کیفیت از رابطه (۱۵) به‌دست می‌آید (Gee, 1991: 947).

رابطه (۱۵)

$$Q_s = \sum_{i=1}^{n}((D_r - 1)2 \times S)$$

Q_s : مجموع کیفیت، Dr: نسبت تراکم، S: نسبت مساحت هر رده خطر نسبت به مساحت کل منطقه، n: تعداد کلاس خطر.

دقت روش (P)[13] عبارت است از مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد به مساحت آن پهنه‌ها (Jade and Sarkar, 1993: 91) رابطه (۱٦).

رابطه (۱٦)

$$P = {}^{KS}/_{S}$$

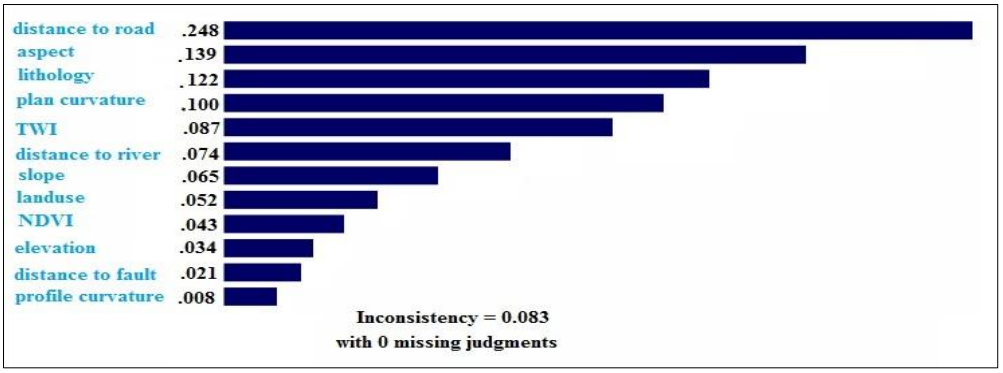
11- Density Area
12- Quality Summation
13- Percision

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

P: دقت روش در پهنه‌بندی خطر زیاد و خیلی زیاد، KS: مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی‌زیاد، S: مساحت پهنه‌های خطر مربوطه.

یافته‌ها و بحث

در این پژوهش، برای اولویت‌بندی عوامل موثر در لغزش از معدل نظرات کارشناسی ۹ کارشناس مرکز تحقیقات کشاورزی استان اصفهان که به نوعی با حوضه ونک آشنایی داشته استفاده گردید و بر اساس این نظرات کلیه عوامل به صورت زوجی با هم مقایسه گردیدند، سپس نتایج این محاسبات، برای محاسبه ضریب ناسازگاری به نرم‌افزار Expert Choice داده شد. نتایج محاسبه شده از ضریب ناسازگاری نشان داد که مقایسه عوامل به درستی صورت گرفته است و با محاسبه کردن وزن هر یک از عوامل به‌وسیله این نرم‌افزار عوامل اولویت‌بندی گردید (شکل ١٦).



شکل ١٦: وزن عوامل موثر با روش تحلیل سلسله مراتبی

نتایج حاصل از اولویت‌بندی پارامترها نشان داد که عوامل فاصله از جاده، جهت شیب و لیتولوژی به‌ترتیب با کسب (٠/٢٤٨، ٠/١٣٩، ٠/١٢٢) بیش‌ترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند و عوامل انحنای سطح، شاخص خیسی توپوگرافی، فاصله از آبراهه، شیب، کاربری اراضی، شاخص پوشش گیاهی، ارتفاع، فاصله از گسل و انحنای مقطع در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که فاصله از جاده تأثیرگذارترین عامل بر لغزش‌ها در منطقه است که با نظرات Ayalew, and Yamagishi (2005: 15) که در تحقیق خود در منطقه یاهیکو-کاکودای ژاپن عنوان کردند که اکثر زمین‌لغزش‌ها در فاصله ١٠٠ –٠ متری از جاده‌های متمرکز شده‌اند، مطابقت دارد. پژوهشگران دیگری نیز مانند Lee and Sambath (2006: 847); Kamp et al (2008: 631); Mohamed Youssef et al (2015: 449) به نقش موثر فاصله از جاده در وقوع زمین‌لغزش‌ها اشاره کرده‌اند. برای به‌دست آوردن وزن هر یک از کلاس‌های عوامل، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، با نقشه‌های عوامل تأثیرگذار بر رخداد زمین‌لغزش‌ها تلفیق شده و تراکم لغزش‌ها در هر یک از طبقه‌های عامل‌های تأثیرگذار به‌دست آمد. و در نهایت با اعمال فرمول‌های ٦ و ٧ وزن کلاس‌های معیارها با مدل تراکم سطح، با اعمال فرمول‌های ٨ و ٩، وزن کلاس‌های معیارها با روش ارزش اطلاعات و با اعمال فرمول ١٠ وزن کلاس‌ها با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به‌دست آمد که در (جدول ٤) نشان داده شده است.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

جدول ٤- وزن‌دهی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش با مدل‌های عامل اطمینان، تراکم سطح و AHP

فاکتور	کلاس	مساحت	مساحت (٪)	مساحت لغزش (٪)	W_{DA}	W_{CF}	W_{AHP}
انحنای سطح	-٦/٨ -٢/٤٣	٢٨٧٥١٨	١٥/٣٥	٢٩/٣٦	٠/٤٥٣	٠/٦٥٤	٠/٥٦٢
	-٢/٤٣ – ٠/٠٤٦	١٢٥٥٢٠٥	٦٧/٠٣	٤٨/٦٢	٠/٠٦	٠/٠٤٢	٠/٠٣٣
	٠/٠٤٦ – ٨/١٢	٣٢٩٩٨١	١٧/٦٢	٢٢/٠٢	٠/٣١٢	٠/٢٥٤	٠/٤٠٩
فاصله از آبراهه	٠-٥٠٠	٧٠١٠٠٣	٣٧/٤٣	٣٥/٧٨	٠/٥١٩	٠/٤١٣	٠/٦٢٩
	٥٠٠-١٠٠٠	٤٨٩٨٤٠	٢٦/١٦	١٩/٢٧	٠/٢١٤	٠/٣٠٩	٠/٢٤٧
	١٠٠٠-١٥٠٠	٣٢٤٤٦٩	١٧/٣٣	١٥/٦	٠/١٠٨	٠/٠٩٨	٠/٢١٠
	١٥٠٠>	٣٥٧٣٩٢	١٩/٠٨	٢٩/٣٦	-٠/٠٦٥	-٠/٠٩٧	-٠/٠٨٤
فاصله از گسل	<٣٥٠٠	٦٢٣٨٩٥	٣٣/٣٢	٣٤/٨٦	٠/٠٥٣	٠/٤٧٨	٠/٥٢٦
	٣٥٠٠ – ٥٠٠٠	٤٧٨٢١٠	٢٥/٥٤	١٥/٦٠	٠/٠٠٣	٠/٠٤٤	٠/٢٤٩
	٥٠٠٠ – ١٠٠٠٠	٤٨٣٩٦٣	٢٥/٨٤	٢٧/٥٢	٠/٠٠٠	-٠/٠٠٦	٠/١٢٨
	١٠٠٠٠ – ١٥٠٠٠	١٦١٥٨٥	٨/٦٣	١٥/٦٠	-٠/٠٠٢	-٠/٠٣٨	٠/٠٦٢
	>١٥٠٠٠	١٢٥٠٥١	٦/٦٨	٦/٤٢	-٠/٠٢١	-٠/٣٥٣	٠/٠٣٢
لیتولوژی	کنگلومرا	٣٩٨٤١٣	٢١/٢٧	٨/٢٦	-٠/٠٥٨	-١	٠/٠٢١
	کنگلومرا و سنگ آهک	١٦١٤٠	٠/٨٦	٠/٠٠	-٠/٠٣٣	-٠/٥٦٥	٠/٠٣٩
	کنگلومرا با سیمان آهکی	٣٠٦٨٢	١/٦٤	٠/٩٢	-٠/٠١٧	-٠/٢٨٨	٠/٠٥٨
	واریزه های آهکی	٣١٣٠٤٦	١٦/٧٢	٢٨/٤٤	-٠/٠٥٨	-١	٠/٠١٧
	سنگ آهک	٧٧٤٢٦	٤/١٣	٧/٣٤	٠/٠٤١	٠/٤١٢	٠/٠٨٥
	آبرفتی آهکی	١٢١٨٣	٠/٦٥	٠/٠٠	-٠/٠٤٤	-٠/٧٦٣	٠/٠٢٦
	آهکی و کنگلومرا	٤٤٥٠٦	٢/٣٨	٠/٠٠	٠/٠٣٣	٠/٣٦٣	٠/٠٧٠

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

	آهکی کمی متامرف شده	٤٤٦٢٠	٢/٣٨	٧/٣٤	−٠/٠٢٦	−٠/٤٤٠	٠/٠٤٧
	آهک، کنگلومرا و شیل	٨٦٠٠	٠/٤٦	٠/٠٠	٠/٠٩١	٠/٦١١	٠/١٢٥

ادامه جدول ٤- وزن‌دهی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش با مدل‌های عامل اطمینان، تراکم سطح و AHP

فاکتور	کلاس	مساحت	مساحت (٪)	مساحت لغزش (٪)	W_{DA}	W_{CF}	W_{AHP}
	سنگ آهک، شیل و مارن	١٧٥٠٤٤	٩/٣٥	١٤/٦٨	٠/١١١	٠/٦٥٦	٠/١٥٠
	کنگلومرای متامرف	٣٨٣٤١	٢/٠٥	٠/٠٠	٠/٠٤٥	٠/٤٣٧	٠/١٠٣
	مارن آسماری و پابنده	١٢٣٣٢٥	٦/٥٩	٠/٠٠	٠/١٢١	٠/٦٧٥	٠/١٨٣
	آهک دگرگونی و شیل	١٥٧٩٣١	٨/٤٣	٣/٦٧	−٠/٠٥٨	−١	٠/٠١٤
	آرفت های منشا دامنه ای	٢١٧٦٧٨	١١/٦٢	٢/٧٥	−٠/٠٣٦	−٠/٦١٢	٠/٠٣٢
	آبرفت های رودخانه ای	٢٣٦٢٩	١/٢٦	٣/٦٧	−٠/٠٥٨	−١	٠/٠١٣
	آبرفت های دامنه ای	١٦٠٤٠٢	٨/٥٧	٢٢/٠٢	−٠/٠٥٨	−١	٠/٠١٠
NDVI	−٠/٣٦ – −٠/٢	١٣٧٣٥	٠/٧٣	٠/٠٠	−٠/١٣٣	−٠/٢١١	٠/١٢٣
	/٢ – ٠	٨٠٤٢٠٩	٤٢/٩٤	٣٨/٥٣	٠/٠٧٧	٠/٠٥٢٣	٠/٠٨٧٦
	٠ – ٠/٣١	١٠٥٤٧٦٠	٥٦/٣٢	٦١/٤٧	٠/١١٠	٠/٢١٤	٠/١٧٨
انحنای مقطع	<−٢٧٣	٥٨٥١٢	٣/١٢	١/٨٣	−٠/٠٣٣	−٠/٤٢٣	٠/٠٣٣
	−٢٧٣ – −٧٣	٣١٨٨٠٣	١٧/٠٢	٤/٥٩	٠/٠١٨	−٠/٧٨٨	٠/٠٦٤
	−٧٣ – ٤/٦٨	٧٢٥٩٤٠	٣٨/٧٦	٣٩/٤٥	٠/٢٣٠	٠/٠٢٢	٠/١٣٠
	٤/٦٨ – ٨٧/٦٤	٦٠٩٨٢٧	٣٢/٥٦	٣٧/٦١	٠/٣٤٥	٠/١٣٩	٠/٢٦٢
	>٢٩١/٨٢	١٥٩٦٢٢	٨/٥٢	١٦/٥١	٠/٦٥٨	٠/٥٠٢	٠/٥٠٨
کاربری اراضی	زراعت آبی، باغات، دیم	٤٢٢٥٨٨	٢٢/٥٧	٨/٢٦	−٠/٠٣٧	−٠/٦٣٤	٠/١٠٢
	مرتع و دیمزار	٣٤٦٨٧٢	١٨/٥٢	١٥/٦٠	−٠/٠٠٩	−٠/١٥٨	٠/٣٥٨
	ارتفاعات بایر، مرتع	٥٥٤١٥٣	٢٢/٥٩	٥٧/٨٠	٠/٠٥٥	−٠/٤٨٨	٠/١٥١
	دیمزار، ارتفاعات بایر	٤٤٧٨٥٢	٢٣/٩١	١٣/٧٦	−٠/٠٢٥	−٠/٤٢٥	٠/٢٢٠
	مرغزار، مرتع	٨٥٨٨	٠/٤٦	٠/٠٠	−٠/٠٥٨	−١	٠/٠٣٠
	مرتع، دیم‌زار	٢٣٦٠٥	١/٢٦	٣/٦٧	٠/١١١	−٠/٦٥٧	٠/٠٦٩
	مرتع، باغات	٥٤٨٠٠	٢/٩٣	٠/٩٢	−٠/٠٤٠	−٠/٦٨٦	٠/٠٤٦
	زراعت آبی، باغات، مرتع	١٤٢٤٦	٠/٧٦	٠/٠٠	−٠/٠٥٨	−١	٠/٠٢١
فاصله از جاده	<٥٠٠	٤٩٥٩٤٩	٢٦/٤٨	٥٦/٨	٠/٠٨٤	٠/٥٩٢	٠/٥٥٧
	٥٠٠ – ٢٥٠٠	٦٥١٨٢٤	٣٤/٨١	٢٥/٦٩	٠/٠٣٥	٠/٣٧٩	٠/٢٦٣
	٢٥٠٠ – ٥٠٠٠	٦٦١٨٦٣	٣٥/٣٤	١	−٠/٠١٧	−٠/٢٨٨	٠/١٢١
	٥٠٠٠ – ٧٥٠٠	٦٣٠٦٨	٣/٣٧	٨/٢٦	−٠/٠٣٦	−٠/٦١٩	٠/٠٥٦
	٠–٥	٤٨٥١٠٠	٢٥/٩٠	٨/٢٦	−٠/٠٣٦	−٠/٦١٠	٠/٠٤٤
شیب	٥ – ١٥	٤٥٠٤٠٣	٢٤/٠٥	١٢/٨٤	−٠/٠٣٢	−٠/٥٤٢	٠/٠٨٣
	١٥ – ٣٠	٣٧٩١٨٥	٢٠/٢٥	١٥/٦٠	−٠/٠٠٨	−٠/١٣٩	٠/١٤٨
	٣٠ – ٤٥	٢٤٦٣٩٩	١٣/١٦	١٢/٩٤	٠/٠٣٩	٠/٤٠٢	٠/٢٥٦
TWI	>٤٥	٣١١٦١٧	١٦/٦٤	٤٠/٣٧	٠/٠٨٠	٠/٥٧٨	٠/٤٦٧

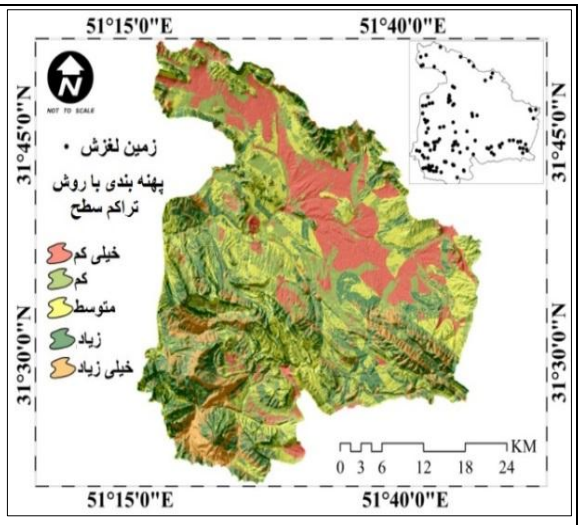
Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

	۸<	۹٦٦۹۱۲	٥۱/٦۳	٦٥/۱٤	−۰/۰٦۲	−۰/٥٦۲	۰/۱۳٥
	۸ – ۱۰	٤٦۷٦۷۳	۲٤/۹۷	۲۲/۰۲	−۰/۰۷٥	−۰/۱۸۱	۰/۱۹۱
	۱۰ – ۱٥	۳۸۳۱٦۳	۲۰/٤٦	۹/۱۷	۰/۰۲۱	۰/۲۳٤	۰/۷٦۲
	۱٥>	٥٤۹٥٦	۲/۹۳	۳/٦۷	۰/۳۱۲	۰/٥۰۹	۰/٥٦٤

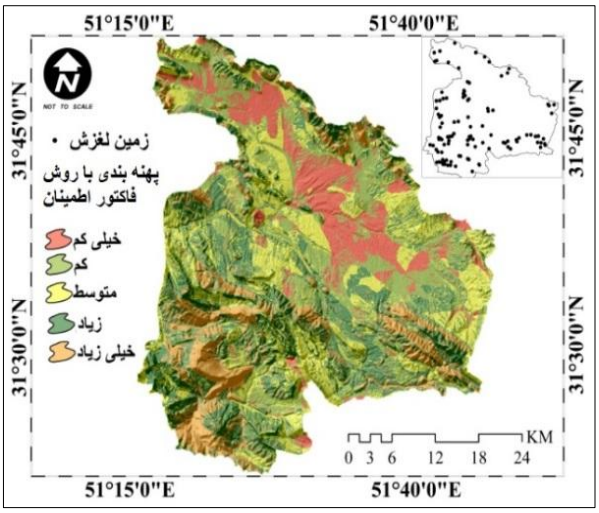
نتایج بررسی زیر کلاس‌های عوامل موثر بر زمین‌لغزش بیانگر این است که در عامل جهت شیب، جهت شمال در مدل‌های تراکم سطح، ارزش اطلاعات و تحلیل سلسله مراتبی به‌ترتیب با کسب امتیازات (۰/۰۳۰، ۰/۳٤۱، ۰/۳۳٥) بیش‌ترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش در منطقه داشته است که دلیل این امر را می‌توان به تاثیر رطوبت به‌عنوان یکی از عوامل موثر بر وقوع حرکات توده‌ای نسبت داد که با نظرات (Can et al (2005: 250 مطابقت دارد.

بررسی طبقات ارتفاعی بیانگر آن است که کلاس بیش‌تر از ۳۳۰۰ متر به‌ترتیب با کسب امتیازات (۰/۰۹۳، ۰/٦۱٤، ۰/٥۰۲)، بیش‌تر از کلاس‌های دیگر طبقات ارتفاعی در وقوع زمین‌لغزش موثر بوده است. بررسی کاربری اراضی منطقه نشان می‌دهد که کاربری مرتع و دیمزار بیش‌ترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته است که دلیل آن را می‌توان به نقش موثر انسان در اکوسیستم‌های طبیعی و تخریب‌هایی که به‌واسطه تغییر کاربری اراضی در منطقه به وجود می‌آید نسبت داد که با نظرات (Shadfar et al, 2005) مطابقت دارد. نتایج بررسی عامل شیب نشان می‌دهد که کلاس شیب بیش‌تر از ٤٥ درجه به‌ترتیب با کسب امتیازات (۰/۰۸۰، ۰/٥۷۸، ۰/٤٦۷)، تاثیر بیش‌تری نسبت به کلاس‌های دیگر شیب در وقوع زمین‌لغزش داشته است که با نتایج (Rozos et al, 2011: 49) مطابقت دارد. در شیب‌های کم برآیند نیروها به‌گونه‌ای است که نیروهای مقاوم بیش‌تر از نیروی محرکه بوده و شرایط وقوع زمین‌لغزش ایجاد نمی‌شود و در شیب‌های خیلی زیاد نیز فرآیندهای فرسایشی دیگر غالب بوده و خاک کافی برای وقوع زمین‌لغزش وجود ندارد. بررسی عوامل فاصله از جاده، آبراهه و گسل نشان می‌دهد با فاصله از این پارامترهای خطر وزن آن‌ها کاهش پیدا می‌کند و هرچه فاصله از آن‌ها کمتر باشد، وزن و تاثیر در رخداد زمین‌لغزش افزایش پیدا می‌کند که بیانگر همبستگی وقوع زمین‌لغزش با حریم جاده، آبراهه و گسل می‌باشد. بررسی زمین‌شناسی نشان داده است که بیش‌ترین وزن را رسوبات مارنی به خود اختصاص داده است. دلیل این امر شاید جذب آب بیش‌تر و آبگذاری کم‌تر خاک‌هایی با بافت متوسط و ریز، در نتیجه اشباع راحت‌تر این خاک‌ها باشد که با نتایج (Pradhan, 2013: 350) مطابقت دارد. نتایج حاصل از کلاس‌های عوامل دیگر در (جدول ٤) نشان داده شده است. پس از محاسبه وزن معیارها و زیر معیارها و ترکیب آن‌ها، نقشه‌های پهنه‌بندی با بهره‌گیری از مدل‌های تراکم سطح (شکل ۱۷)، فاکتور اطمینان (شکل ۱۸) و تحلیل سلسله مراتبی (شکل ۱۹) در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.2 تهیه گردید و بر اساس شکست‌ها طبیعی به ٥ کلاس خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی‌کم تقسیم گردید.

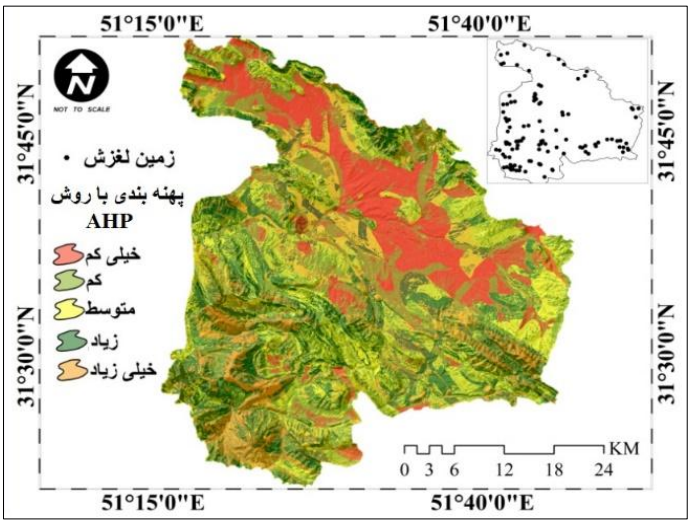
Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025



شکل ۱۷: نقشه پهنه‌بندی با روش تراکم سطح



شکل ۱۸: نقشه پهنه‌بندی با روش فاکتور اطمینان



شکل ۱۹: نقشه پهنه‌بندی با AHP

پس از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش، اقدام به صحت سنجی مدل‌ها گردید. در (جدول ۵) شاخص‌های نسبت تراکم، جمع کیفی و دقت روش در هر سه مدل مورد استفاده نشان داده شده است. مقادیر شاخص‌های مجموع کیفیت و دقت که بیانگر کارایی مدل‌ها در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش می‌باشد، به‌ترتیب برای مدل‌های تراکم سطح (۰/۲۹، ۰/۰۳)، فاکتور اطمینان (۰/٤۸، ۰/۰۵) و تحلیل سلسله مراتبی (۰/۸۵، ۰/۰۹) به‌دست آمد. مقادیر بالای شاخص‌ها در مدل تحلیل سلسله مراتبی بیانگر کارایی بیش‌تر این روش نسبت به روش‌های تراکم سطح و فاکتور اطمینان در تهیه نقشه پهنه‌بندی می‌باشد. نتایج حاصل از شاخص نسبت تراکمی که بیانگر دقت تفکیک بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر در هر روش می‌باشد، بیانگر این است که روند صعودی نسبت تراکمی برای گستره‌های

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

مواجه با خطر خیلی‌کم تا گستره‌های مواجه با خطر خیلی زیاد در هر سه روش، نشان از صحت نقشه‌های تهیه شده با روش‌های مورد استفاده را دارد.

جدول ۵- ارزیابی مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P) روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

روش پهنه‌بندی	کلاس خطر	مساحت (هکتار)	مساحت ٪	سطح لغزش در کلاس (هکتار)	نسبت مساحت	نسبت تراکم (Dr)	مجموع کیفیت (Qs)	دقت (P)
تراکم سطح	خیلی‌کم	٤٦٣٨٢/٤	٢٧/٥١	٦٥٤٠	٦/٦٧	٠/٢٤	٠/٢٩	٠/٠٣
	کم	٤٢٣٨٦/١٥	٢٥/١٤	١٩٦٢٠	٢٠	٠/٨٠		
	متوسط	٢٨٥٠٦/٥٨	١٦/٩١	١٣٠٨٠	١٣/٣٣	٠/٧٩		
	زیاد	٣١٧٤٣/٨١	١٨/٨٣	٣٢٧٠٠	٣٣/٣٣	١/٧٧		
	خیلی‌زیاد	١٩٥٢٤/٣٩	١١/٥٨	٢٦١٦٠	٢٦/٦٧	٢/٣٠		
فاکتور اطمینان	خیلی‌کم	٢٢٢٧٥/٦	١١/٩	٣٦٠٠	٣/٦٧	٠/٣١	٠/٤٨	٠/٠٥
	کم	٣٢٧٧٢/٥	١٧/٥٢	٨١٠٠	٨/٢٦	٠/٤٧		
	متوسط	٤٦٠٧٦/٧	٢٤/٦٣	١٧١٠٠	١٧/٤٣	٠/٧١		
	زیاد	٥٦٢٨١/٦	٣٠/٠٨	٣٩٦٠٠	٤٠/٣٧	١/٣٤		
	خیلی‌زیاد	٢٩٦٤٥/٢	١٥/٨٤	٢٩٧٠٠	٣٠/٢٨	١/٩١		
AHP	خیلی‌کم	٣٨٩١٥/٦٨	٢٣/٠٨	٤٥٠٠	٤/٥٩	٠/٢٠	٠/٨٥	٠/٠٩
	کم	٤٤٢١٨/٠٦	٢٦/٢٣	٤٥٠٠	٤/٥٩	٠/٣٧		
	متوسط	٣٣٠٦١/٢١	١٩/٦١	٢١٦٠٠	٢٢/٠٢	١/١٢		
	زیاد	٣١٦٥٧/٥٣	١٨/٧٨	٣٤٢٠٠	٣٤/٨٦	١/٨٦		
	خیلی‌زیاد	٢٠٦٩٠٠/٨٨	١٢/٢٧	٣٣٣٠٠	٣٣/٩٤	٢/٧٧		

نتیجه‌گیری

بر اساس نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حاصل از روش‌های تراکم سطح، فاکتور اطمینان و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، حوضه ونک از لحاظ میزان ریسک خطرپذیری به پنج پهنه خیلی‌زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی‌کم تقسیم گردید. نتایج حاصل از صحت سنجی روش‌ها با استفاده از شاخص جمع کیفی نشان داد که روش تحلیل سلسله مراتبی به دلیل چند معیاره بودن، دارای کارایی بالاتری نسبت به روش‌های تراکم سطح و فاکتور اطمینان برای تهیه

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش می‌باشد که با نتایج (Yalcin, 2008: 12; Karam and Turani, 2013: 177; Arabameri and Halabian, 2015: 65) مطابقت دارد. همچنین نتایج صحت سنجی نشان داد که مدل عامل اطمینان دارای کارایی بالاتری نسبت به مدل تراکم سطح می‌باشد. بر اساس نتایج مدل برتر (تحلیل سلسله مراتبی)، ۳۸۹۱۵/۶۸ هکتار (۲۳/۰۸ درصد) از منطقه در رده میزان ریسک خیلی کم، ٤٤٢١٨/٠٦ هکتار (۲٦/۲۳ درصد) در رده میزان ریسک کم، ۳۳۰٦۱/۲۱ هکتار (۱۹/٦۱ درصد) در رده میزان ریسک متوسط، ۳۱٦۵۷/۵۳ هکتار (۱۸/۷۸ درصد) در رده میزان ریسک زیاد و ۲۰٦۹۰۰/۸۸ هکتار (۱۲/۲۷ درصد) در رده ریسک خیلی‌زیاد قرار گرفته است. طبق نتایج منطقه مورد مطالعه دارای حساسیت بالایی نسبت به زمین‌لغزش می‌باشد و بیش از یک سوم از منطقه در رده خطر زیاد و خیلی‌زیاد قرار گرفته است. اگرچه بیش‌تر مراکز سکونتگاهی در مناطق با حساسیت خطر کم و خیلی‌کم تمرکز یافته‌اند، ولی تعدادی نیز در مناطق با حساسیت خطر زیاد و خیلی‌زیاد قرار گرفته‌اند، لذا در این مناطق جهت هرگونه کاربری و استفاده از محیط باید به‌طور کارشناسانه و منطقی برخورد شود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که فاصله از جاده تاثیرگذارترین عامل بر رخداد زمین‌لغزش‌ها در منطقه می‌باشد و با توجه به اینکه توسعه جاده‌ها توسط عامل انسانی صورت می‌گیرد، پیشنهاد می‌گردد در ترانشه زنی‌ها و راه‌سازی‌های منطقه اصول لازم رعایت گردد و اقدامات مورد نیاز برای جلوگیری از وقوع زمین‌لغزش انجام گیرد. همچنین اجتناب از تخریب و کارهای غیر اصولی از قبیل قطع پوشش گیاهی، احداث جاده در مناطق با پتانسیل خطر زیاد و خیلی‌زیاد توصیه می‌گردد.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

References

- Abedini, M., Ghasemyan, B., (2015), "Landslide hazard zoning in bijar town using analytical hierarchy method (AHP)", ***Geography and Planning***, 19 (52): 205-227. [In Persian].
- Abdul Rahaman, S., Aruchamy, S., Jegankumar, R., (2014), "Geospatial approach on landslide hazard zonation mapping using multi criteria decision analysis: a studyon coonoor and ooty, The international archives of the photogrammetry", ***Remote Sensing and Spatial Information Sciences***, 8: 1417- 1422.
- Arabameri, A. R., Halabian, A. H., (2015), "Landslide hazard regionalization using analytical hierarchy process and GIS techniques (Case study: Zarand Watershed)", ***Physical Geography***, 8 (28): 65-86. [In Persian].
- Arabameri, A. R., Shirani, K., (2016), "Identification of effective factors on landslide occurrence and its hazard zonation using dempster-Shafer theory, Case study: Vanak Basin, Isfahan Province", ***watershed engineering and management***, 8 (1): 93-106. [In Persian].
- Ahmadi, H., Esmaeili, A., Feyznia, S., Shariat Jafari, M., (2003), "Mass gravity hazard zonation using two methods of multivariate regression and hierarchical analysis", ***Iranian Journal of Natural Resources***, 56 : 336-323. [In Persian].
- Atkinson, P.M., Massari, R., (1998), "Generalized linearmodelling of landslide susceptibility in the central apennines, Italy", ***Computer Geoscience***, 24: 373- 385.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., (2005), "The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan", ***Geomorphology***, 65: 15-31.
-Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kano, T., (2005), "Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications", ***Engineering Geology***, 81 (4): 432-445.
- Bogdanovic, D., Nikolic, D., Ilic, I., (2012), "Mining method selection by integrated AHP and PROMETHEE Method", ***Anais Academ. Brasil. Cien***, 84 (1): 219-233.
- Bui, D., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., Dick, O., (2012), "Landslide susceptibil-ity mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro fuzzyinference system and GIS", ***Computers and Geosciences***, 45:199-211.
- Chung, C. F., Fabbri, A. G., (1993), "Representation of geoscience datafor information integration", ***Journal of Non-Renewable Resources***, 2: 122-139.
- Chung, C. J., Fabbri, A. G., (2008), "Validation of spatial prediction models for landslide hazard Mapping", ***Natural hazard***, 30: 451-472.
-Can, T., Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., Sonmez, H., Duman, Y., (2005), "Susceptibility assessments of shallow earth flows triggered by heavy rainfall at three catchment's by logistic regression analysis", ***Geomorphology***, 82: 250-271.
- Dagdeviren, M., Yavuz, S., Kılınc, N., (2009), "Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment", ***Exp. Syst. Appl***, 36: 8143–8151.
- Ermini, L., Catani, F., Casagli, N., (2005), "Artificial Neural Networks applied to landslide Susceptibility assessment", ***Geomorphology***, 66: 327-343.
- Fathi, M., Behesht javed, E., Abedini, M., (2015), "Landslides susceptibility zonation with bivariate statistical and fuzzy logic models (Case study: Balekhloo catchment)", ***Geography and Environmental Planning***, 26 (3): 49-60. [In Persian].
- Garfi, G., Bruno, D. E., (2007), "Fan morphodynamics and slope instability in the Mucone River Basin (Sila Massif, Southern Italy): signification of weathering and role of land use changes", ***Catena***, 50: 181-196.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

- Ghanbarzad, H., Behnaifar, A., (2009), "Landslide hazard zonation at Kaleshour watershed (Neyshabur city)", ***Geographical location***, 9: 103-123. [In Persian].
- Gee, M. D., (1992), "Classification of landslides hazard Zonation methods and a test of predictive capability, Bell, Davi, H(Ed)", Proceedings 6 th International Symposium on Landslide, PP. 56-48.
- Gee, M. D., (1991), "Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability", ***Landslides***, Bell, G., (ed.), Balkema, Rotterdam: PP 947- 952.
- Gorsevski, P. V., Jankowski, P., Gessler, P. E., (2006), "Heuristic approach for mapping landslide hazard integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process", ***Control and Cybernetics***, 35: 121-146.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., (1999), "Landslide hazard evaluation: An aid to a sustainable development", ***Geomorphology***, 31: 181-216.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Relchenbach, P., Carrara, A., (2000), "Comparing landslide map: A case study in the upper Tiber river basin, central Italy", ***Environmental management***, 25: 247-263.
- Jade, S., Sarkar, S., (1993), "Statistical models for Slope instability classifications engineering", ***Geology***, 36: 91-98.
- Hansen, A., (1984), "Engineering geomorphology: the application of an evolutionary model of Hong Kong", ***Zeitschrift für Gomorphologie***, 51: 39-50.
- Kamp, U., Growley, B. J., Khattak, G., Owen, L. A., (2008), "GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region", ***Geomorphology***, 101: 631-642.
- Keshavarz Bakhshayesh, M., (2016), "Landslide hazard zonatoin of polroud dam site using analytic hierarchical process (AHP) method", ***Engineering geology***, 10 (2): 3483-3500. [In Persian].
- Karam, A., Turani, M., (2013), "Landslide zoning of landslide by using linear regression methods and hierarchical analysis process. Case study: The road of the haraz, from Roodhen to Rhine", ***Journal of Applied Researches in Geographical Sciences***,13 (28): 177-190. [In Persian].
- Komac, M., (2006), "A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine, Slovenia", ***Geomorphology***, 74: 17-28.
- Leung, P., Muraoka, J., Nakamoto, S. T., Pooley, Z., (1998), "Evaluating fisheries management options in hawaii using analytichierarchy process (AHP)", ***Fisheries Research***, 36: 171-183.
-Lee, S., kyungduck, M., (2001), "Statistical analysis of landslide susceptibility at Yonging, Korea", ***Enviromented geology***, 40: 1095-1113.
- Lee, S., Sambath, T., (2006), "Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models", ***The Journal of Environmental Geology***, 50: 847-855.
- Luzi, L., Pergalani, P., (1999), "Slope instability in static and dynamic conditions for urban planning, the Oltre Po Pavese case history (RegioneLombardia-Italy)", ***Natural Hazards***, 20: 57- 82.
- Macharis, C., Springael, J., Brucker, K. D.,Verbeke, A., (2004), "Promethee and ahp: the design of operational synergies in multicriteria analysis, strengthening promethee with ideas of AHP", ***Eur. J. Oper. Res***, 153: 307-317.
- Mohammadi, M., Moradi, H., Feiznia, S., Pourghasemi, H., (2010), "Comparison of the efficiency of certainty factor, information value and ahp models in landslide hazard zonation

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

(Case study: part of haraz watershed)", ***Journal of Range and watershed Management***, 62: 539-551.
- Mohamed Youssef, A., Pradhan, B., Pourghasemi, H. R., Abdullahi, S., (2015), "Landslide susceptibility assessment at Wadi Jawrah Basin, Jizan region, Saudi Arabia using two bivariate models in GIS", ***Geosciences Journal***, 19: 449-469.
- Naderi, F., Naseri, B., Karimi, H., Habibi Bibalani, G. H., (2010), "Efficiency evaluation of different landslide susceptibility mapping methods (Case study: Zangvan watershed, Ilam province)", First international conference of soil and roots engineering relationship (LANDCON1005), Ardebil Province, Iran. From 24 May 2010 to 26 May 2010. [In Persian].
- Neuhauser, B., Terhorst, B., (2007), "Landslide susceptibility assessment usingweights-of-evidence, applied to a study area at the jurassic escarpment (SW- Germany)", ***Geomorphology***, 86: 12-24.
- Pradhan, B., (2013), "A comparative study on the predictive ability of the decisiontree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibilitymapping using GIS", ***Computers & Geosciences***, 51: 350-365.
- Pourhashem, S., Amirahmadi, A., Akbari, A., (2014), "Bivariate method selection for landslide hazard zonation in GIS(Case Study: Baghi Basin)", ***Arid Regions Geographic Studies***, 4 (15) :71-89. [In Persian].
- Rozos, D. G., Bathrellos, D., Skillodimou, H. D., (2011), "Comparison of the implementation of rock engineering system and analytic hierarchy process methods, upon landslide susceptibility mapping, using GIS: a case study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus, Greece", ***Environ. Earth Sci.*** 63: 49-63.
- Pike, R. J., (2000), "Geomorphology - diversity in quantitative surface analysis", ***Progress in Physical Geography***, 24:1-20.
- Piacentini, D., Troiani, F., Soldati, M., Notarnicola, C., Savelli, D., Schneiderbauer, S., Schneiderbauer, C., (2012), "Statistical analysis for assessing shallow-landslide susceptibility in South Tyrol (south-eastern Alps, Italy)", ***Geomorphology***, 151-152:196–206.
- Saaty, T. L., (1980), ***"The Analytic Hierarchy Process "***, McGraw Hill,New York.
- Saaty, T. L., Vargas, G. L., (2001), "***Methods, Concepts, and Applications of the Analytic Hierarchy Process***", Kluwer Academic Publisher, Boston.
- Shary, P., Sharaya, L., Mitusov, A., (2002), "Fundamental quantitative methods of landsurface analysis", ***Geoderma***, 107:1-32.
- Shadfar, S., Yamani, M., Namaki, M., (2005), "Landslide hazard zonation using information value, density area and LNRF models in Chalkarood Basin", ***Journal of Water and Watershed***, 3: 68-62. [In Persian].
- Shirani, K., Arabameri, A. R., (2015), "Landslide hazard zonation using logistic regression method (Case study:Dez-e-Oulia Basin)", ***Journal of Water and Soil Science***, 19 (72) : 321-335. [In Persian].
- Shirani, K., Ghiomanian, J., Mokhtari, A., (2005), "Investigation and evaluation of bivariate and multivariate statistical data in landslide hazard zonation", ***Journal of Water and Watershed***, 2: 47-36. [In Persian].
- Shirani, K., (2003), "Evaluation of the most important methods of landslide risk zoning in order to select a suitable method for south of Isfahan province, Semirom region along the Marbur River", ***final report of the research project,*** Reg. No. 961/83. [In Persian].
- Wang, L. J., Kazuhide, S., Shuji, M., (2013), "Landslide susceptibility analysis with logistic regression model based On FCM sampling strategy", ***Computers & Geosciences***, 57: 81–92.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 10:38 IRDT on Thursday August 21st 2025

- Varnes, D. J., (1984), "***Landslide hazard zonation: A review of Principes and Practice***", Natural Hazards. UNESCO, Paris, 63p.
- Vidal, L. A., Sahin, E., Martelli, N., Berhoune, M., Bonan, B., (2010), "Applying AHP to select drugs to be produced by anticipation in a chemotherapy", ***Compounding Unit, Exp. Syst. Appl***, 37: 1528–1534.
- Wu, W., Sidle, R. C., (1995), "A distributedslope stability model for steep forested basins", ***Water Research***, 31: 2097-2110.
- Wati, S., Hastuti, T.,Wijojo, S., Pinem, F., (2010), "Landslide susceptibility mapping with heuristic approach in mountainous area, A Case study in Tawangmangu Sub District, central Java, Indonesia", ***Int Arch Photo RS Spat Inf Sci***, 38 (8): 248-253.
- Yalcin, A., (2008), "GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey)", ***CATENA***, 72: 1-12.