



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

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

\*علیرضا عرب عامری<sup>۱</sup>  
خلیل رضایی<sup>۲</sup>  
کوروش شیرانی<sup>۳</sup>

## 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 پذیرش: ۹۵/۰۶/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۱۹

### چکیده

در این پژوهش، ابتدا حوضه ونک به وسعت تقریبی ۱۶۸۵۴۷ هکتار در استان اصفهان انتخاب گردید، سپس با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی و بررسی‌های میدانی، نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها 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 انحنا سطح، شاخص انحنا مقطع، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه انتخاب گردید. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.2 و وزن‌دهی به عوامل موثر با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی کارشناسی در محیط نرم‌افزار Expert choice، با استفاده از نقشه پراکنش زمین لغزش، اقدام به تهیه وزن کلاس‌ها و در نهایت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش‌های آماری تراکم سطح، فاکتور اطمینان و تحلیل سلسله مراتبی در پنج کلاس ریسک خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد گردید. برای صحت سنجی روش‌ها از شاخص‌های جمع کیفی (QS)، دقت (P) و شاخص نسبت تراکمی (DR) استفاده گردید. مقادیر شاخص‌های مجموع

E-mail: alireza.ameri91@yahoo.com

\*۱- دانش‌آموخته دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول).

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.

کیفیت و دقت که بیانگر کارایی مدل‌ها در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش می‌باشند، به ترتیب برای مدل‌های تراکم سطح (۰/۲۹، ۰/۰۳)، فاکتور اطمینان (۰/۴۸، ۰/۰۵) و تحلیل سلسله مراتبی (۰/۸۵، ۰/۰۹) به دست 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 خیلی زیاد 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)، ۳۱۶۵۷/۵۳ هکتار از منطقه (۱۸/۷۸ درصد) در رده میزان ریسک زیاد و ۲۰۶۹۰۰/۸۸ 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 پستی و بلندی، 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 مرگ و میرهای 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 دو متغیره، 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

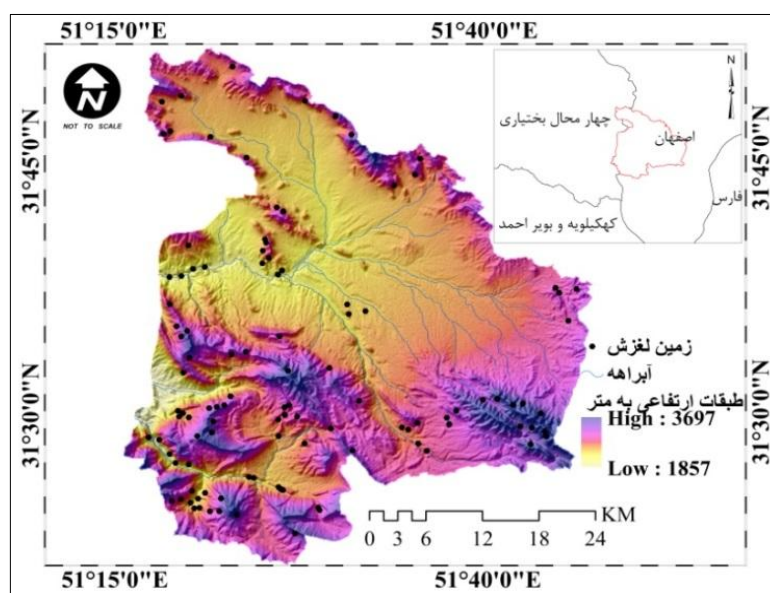
رخداد زمین لغزش به چهار گروه ارزیابی بر اساس زمین لغزش های موجود، ارزیابی بر اساس مدل های اکتشافی، تحلیل های آماری و نگرش های قطعی و یا جبری تقسیم می شوند (Guzzetti et al, 1999: 181; Ermini et al, 2005: 327; Gorsevski et al, 2006: 121; Wati et al, 2010: 248). انتخاب مناسب ترین نگرش و مدل بر اساس نوع داده ها، مقیاس منطقه مورد مطالعه و مقیاس تحلیل ها صورت می گیرد. روش های آماری برای مطالعات در سطح منطقه مناسب می باشند و ارتباط بین پارامترهای مورد استفاده و زمین لغزش را با روش دقیق تر و علمی تر از روش های دیگر مورد ارزیابی قرار می دهند (Piacentini et al, 2012: 196). از سوی دیگر روش های آماری غیرمستقیم اند و تا حدودی مبتنی بر مشاهدات و دانش اولیه کارشناس و محاسبات آماری وزن یا احتمالات وقوع زمین لغزش می باشند (Massari, 1998: 373). در زمینه استفاده از روش های آماری دو متغیره و AHP تاکنون مطالعات گسترده ای صورت گرفته است. (Ahmadi et al (2003) به پهنه بندی خطر حرکت های توده ای 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 طبقه بندی اصولی نسبت به روش رگرسیون چند متغیره اهمیت و دقت بیشتری دارد. (Shadfar et al (2005) در حوضه چالکروند به پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل های ارزش اطلاعات، تراکم سطح و LNRF پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در مدل ارزش اطلاعات، حدود ۶۶ 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 روش های آماری دو متغیره جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز بقیع پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل ارزش اطلاعات به دلیل انطباق بیشتر با منطقه، دارای کارایی بالاتری برای پهنه بندی می باشند. (Abedini & Ghasemyan, (2015) اقدام به پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش 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 زمین لغزش داشته است. (Keshavarz Bakhshayesh (2016) به پهنه بندی خطر لغزش در محدوده پی و مخزن سد پلرود با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پرداخته و به این نتیجه رسید که حدود ۲۶ درصد از شیب های مشرف به دریاچه در محدوده با خط بالا قرار می گیرد. در خارج از کشور نیز Ayalew & Yamagishi (2005) با استفاده از روش رگرسیون لجستیک و سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه حساسیت به زمین لغزش را در کوه های کاکودا-یاهیکو در مرکز ژاپن تهیه کردند و اظهار داشتند که شبکه های جاده نقش اساسی در تعیین و توزیع زمین لغزش ها ایفا می کنند.

(Komac et al (2006) با استفاده از تجزیه آماری چند متغیره در مرکز اسلوانی، نشان داد که شیب، سنگ شناسی و نوع پوشش نقش مهمی در حساسیت زمین لغزش ایفا می کنند. (Yalcin (2008) بر مبنای سامانه اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از روش های تحلیل سلسله مراتبی و روش های آماری دو متغیره نقشه حساسیت زمین لغزش برای منطقه آردسن ترکیه تهیه کرد. سنگ شناسی، هوازدگی، پوشش زمین و شیب به عنوان مهم ترین عوامل موثر در محدوده مورد بررسی تعیین شدند. بر اساس نتایج به دست آمده روش تحلیل سلسله مراتبی به عنوان مناسب ترین مدل معرفی گردید. Naderi

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 جریان، 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 سندج-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 فهلین، گدوان، داریان، تاربور و واحدهای آهکی کرتاسه، تناوب مارن، آهک و دولومیت، ماسه‌سنگ و کنگلومرا مربوط به سازندهای کشکان، شهبازان، جهرم، پابده، آسماری، رازک، آغاچاری 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.



شکل ۱: موقعیت ریاضی منطقه

### مواد و روش ها

این پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی می باشد. نقشه های پایه مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از نقشه زمین شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس های هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، تصاویر ماهواره ای ETM+ در ابتدا بر اساس تفسیر تصاویر ماهواره ای، عکس های هوایی و نیز مطالعات میدانی، ۱۲ عامل اولیه موثر بر زمین لغزش های منطقه شامل لیتولوژی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص خیزی توپوگرافی<sup>۴</sup> (TWI)، انحنا<sup>۵</sup> سطح و انحنا<sup>۶</sup> مقطع شناسایی شدند. نقشه های مربوط به عوامل موثر در رخداد زمین لغزش در محیط نرم افزار ArcGIS10.2 تهیه و جهت پردازش آماده شدند. از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ جهت تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاعی<sup>۷</sup> با قدرت تفکیک ۳۰ متر در ۳۰ متر استفاده گردید. طبقات ارتفاعی از مدل رقومی ارتفاعی استخراج گردید (شکل ۲). شاخص های ژئومورفومتریک موثر در وقوع زمین لغزش شامل شیب (شکل ۳)، جهت شیب (شکل ۴)، انحنا<sup>۵</sup> سطح (شکل ۱۳)، انحنا<sup>۶</sup> مقطع (شکل ۸) و شاخص خیزی توپوگرافی (شکل ۱۱) با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی منطقه با قدرت تفکیک ۳۰×۳۰ متر، از طریق روابط ۱ تا ۵ در محیط نرم افزار SAGA.GIS 2.1.1 استخراج گردید (Pike, 2000: 12; Shary et al, 2002: 14). برای تهیه نقشه فاصله از گسل از داده های ماهواره ای ETM+2002 در محیط نرم افزار ENVI4.7 استفاده گردید (شکل ۷). نقشه فاصله از جاده (شکل ۶) و فاصله از شبکه زهکشی (شکل ۵) با طبقه بندی فواصل معین از شبکه جاده و شبکه هیدروگرافی رقومی شده از نقشه توپوگرافی منطقه تهیه شدند. بر اساس طبقه بندی نظارت نشده

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

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

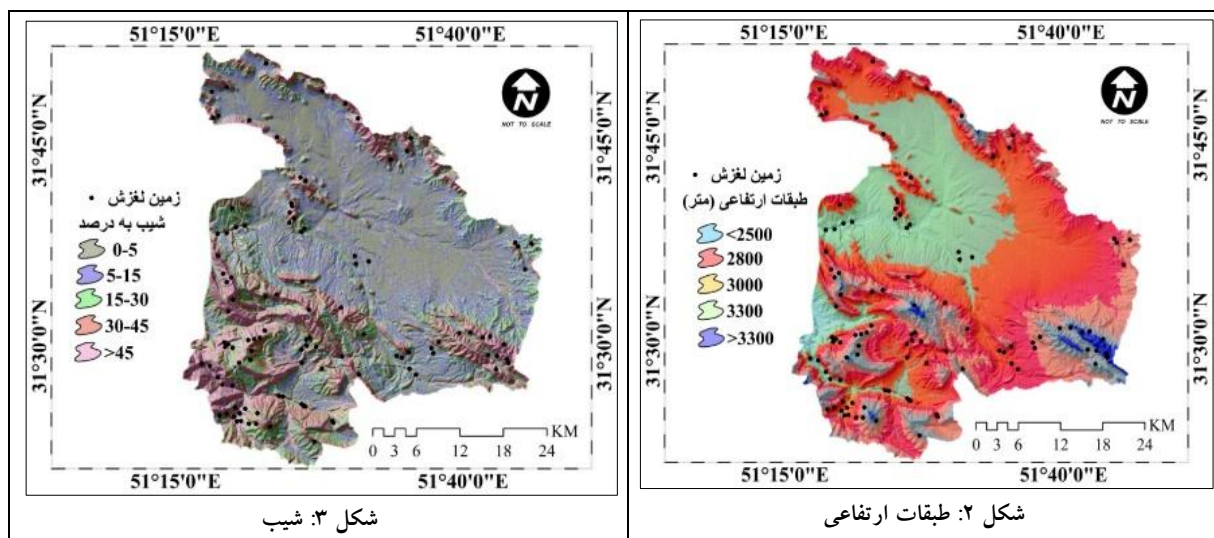
رابطه (۲): جهت شیب 
$$\text{Aspect} = 180 - \arctan\left(\frac{p}{q}\right) + 90 \times \frac{p}{|p|}$$

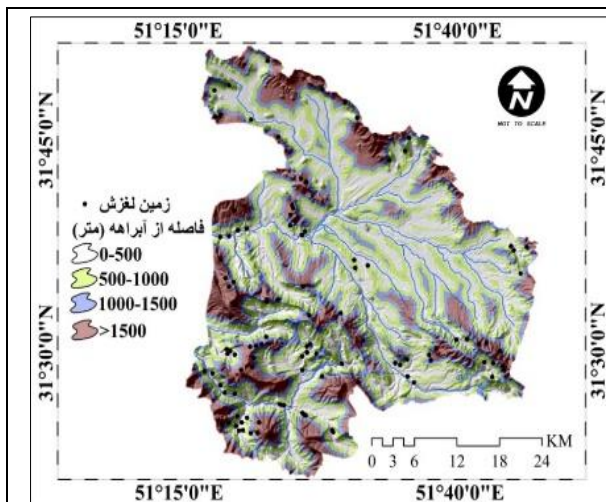
رابطه (۳): انحنای سطح 
$$\text{Plan Curvature} = -\frac{q^2 \times r - 2 \times p \times q \times s + p^2 \times t}{(\sqrt{1 + P^2 + q^2})^3}$$

رابطه (۴): انحنای مقطع 
$$\text{Profile Curvature} = -\frac{q^2 \times r + 2 \times p \times q \times r \times s + q^2 \times t}{(P^2 + q^2) \times (\sqrt{1 + P^2 + q^2})^3}$$

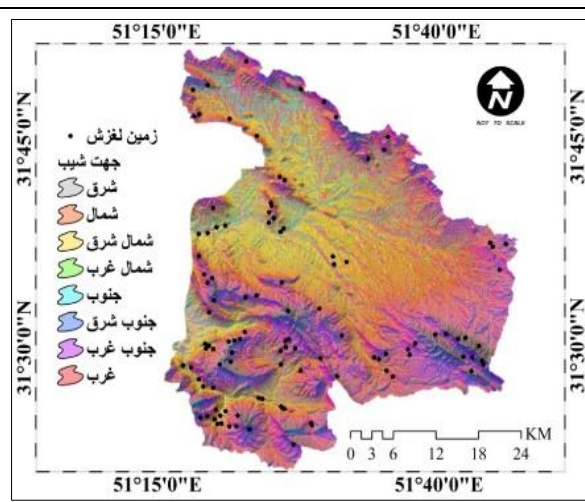
رابطه (۵): شاخص خیزی توپوگرافی 
$$\text{TWI} = \ln(A_s / \tan \beta)$$

که در آن  $d, r, s, t, p, q$  ضرایبی هستند که در نرم‌افزار مورد استفاده قرار می‌گیرند.  $A_s$ : مساحت حوضه آبخیز و  $\beta$ : 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.

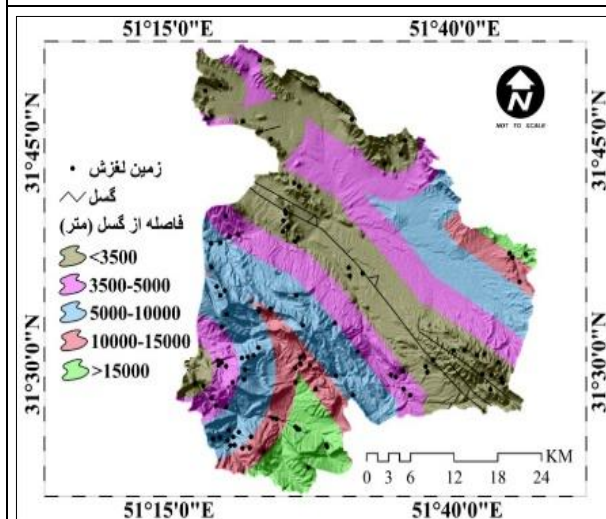




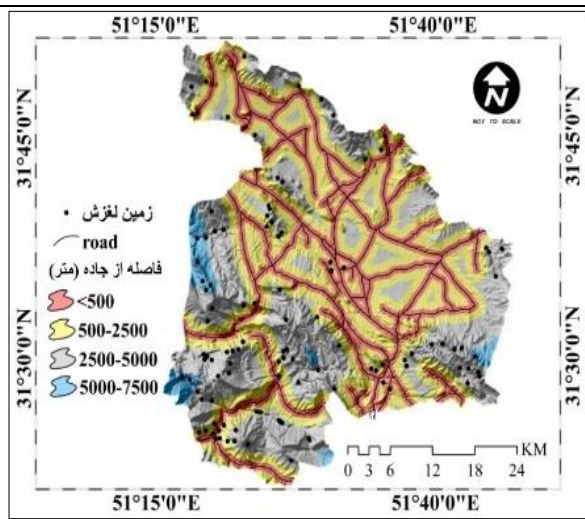
شکل ۵: فاصله از آبراهه



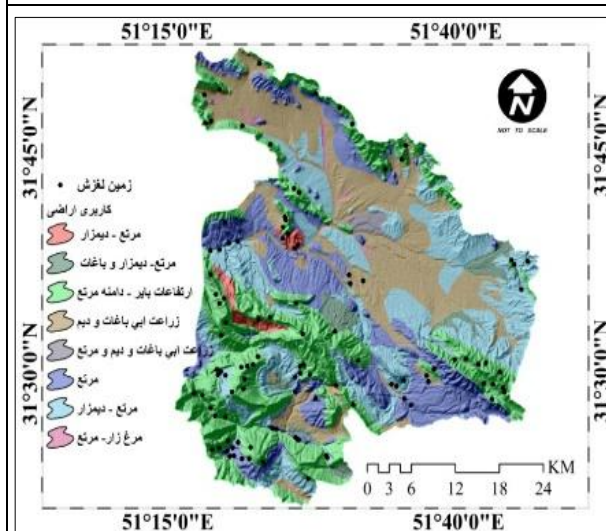
شکل ۴: جهت شیب



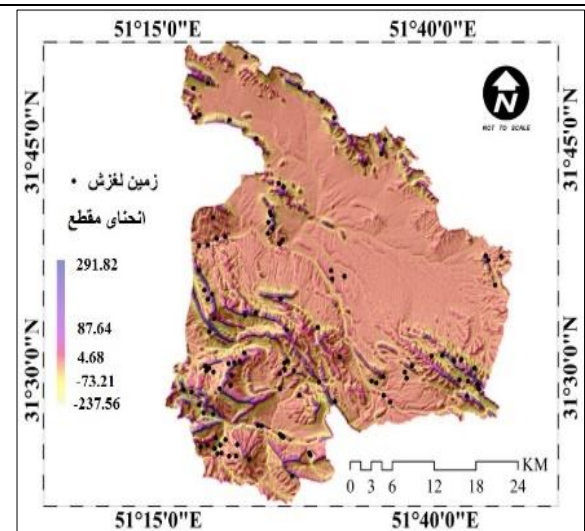
شکل ۷: فاصله از گسل



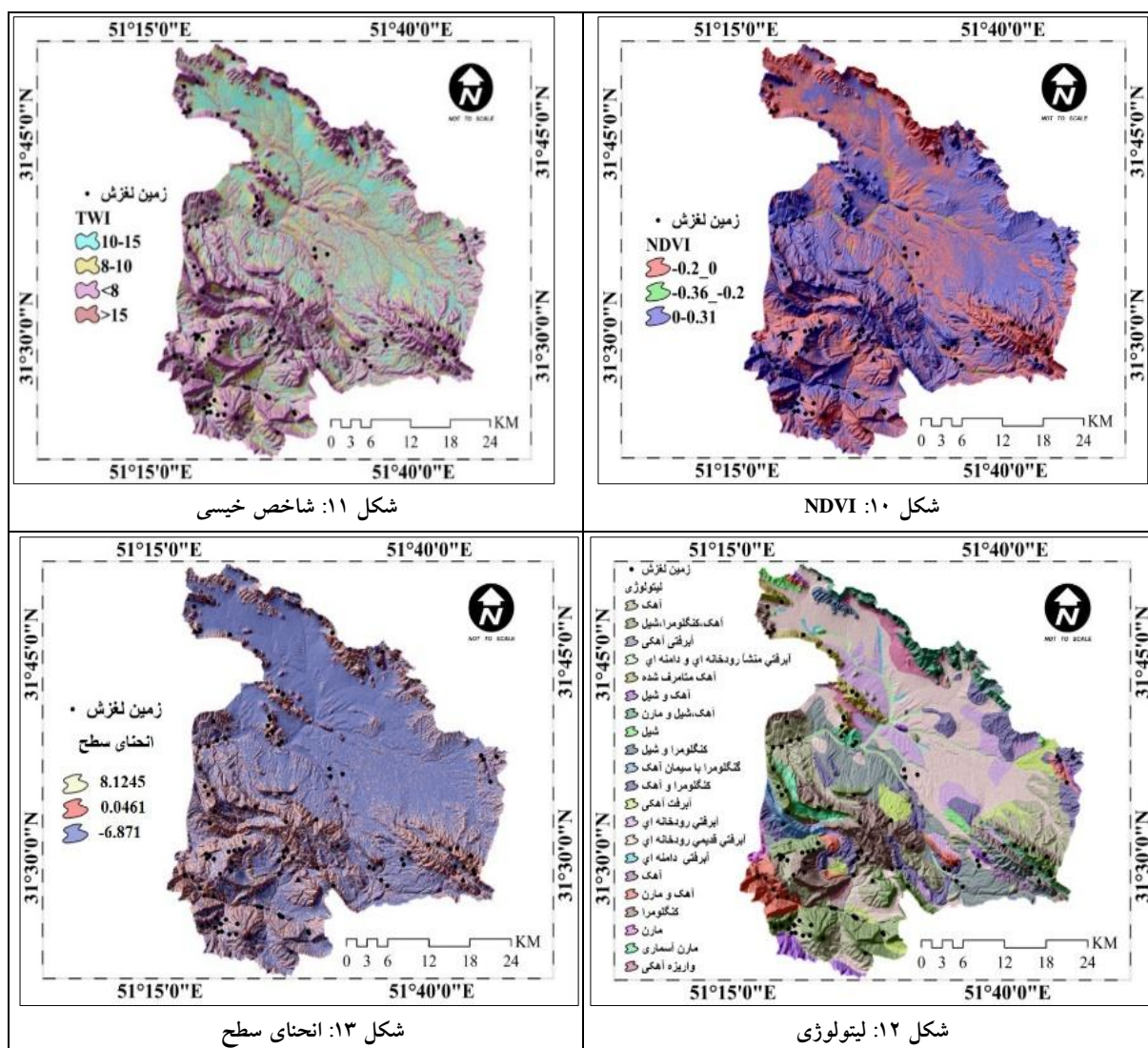
شکل ۶: فاصله از جاده



شکل ۹: کاربری اراضی

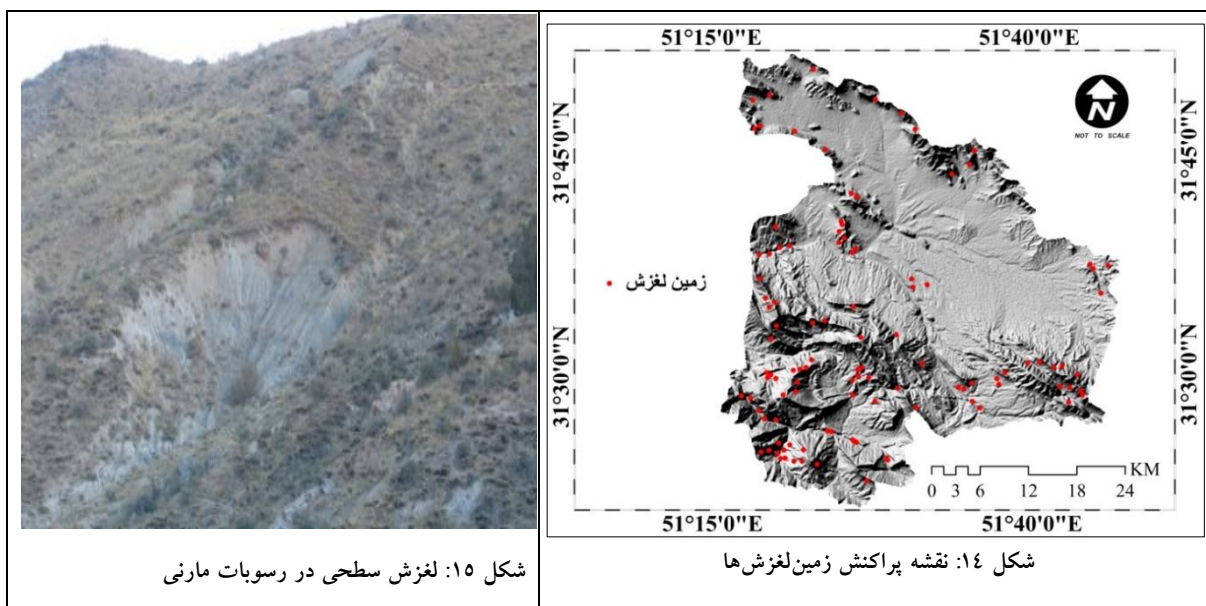


شکل ۸: انحنای مقطع



- تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش

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 ۱:۴۰۰۰۰ به روش استریوسکوپ 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 صحرائی دقیق، موقعیت لغزش‌ها با استفاده از دستگاه GPS با دقت زیاد به نقشه در آمدند (شکل ۱۴). در (شکل ۱۵) زمین لغزش سطحی در رسوبات مارنی نشان داده شده است.



شکل ۱۵: لغزش سطحی در رسوبات مارنی

شکل ۱۴: نقشه پراکنش زمین لغزشها

روش آماری دو متغیره تراکم سطح<sup>۸</sup>

در این روش از طریق روابط (۶) و (۷) برای هر نقشه عامل یا پارامتر، تراکم زمین لغزش محاسبه می شود و سپس اقدام به تهیه نقشه بهنیه بندی زمین لغزش می شود (Lee and kyungduck, 2001: 1095).

$$D_{area} = \frac{N_{pix} (SX_i)}{N_{pix} (X_i)} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$W_{area} = 1000 \left[ D_{area} - \frac{\sum N_{pix} (SX_i)}{\sum N_{pix} (X_i)} \right] \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن  $D_{area}$ : تراکم زمین لغزش در هر رده از پارامتر،  $N_{pix} (SX_i)$ : تعداد پیکسل های زمین لغزش در هر رده از پارامتر مشخص،  $N_{pix} (X_i)$ : تعداد کل پیکسل ها در هر رده از پارامتر مشخص،  $W_{area}$ : وزن متغیر هر رده از هر پارامتر.

- روش آماری دو متغیره فاکتور اطمینان

از میان روش های آماری دو متغیره، مدل فاکتور اطمینان بررسی های موشکافانه ای را انجام می دهد (Chung and Fabbri, 1993: 122; Luzi and Pergalani, 1999: 57). این مدل مشکل ترکیب لایه های اطلاعاتی ناهمگن را برطرف می کند. در واقع تفاوت اصلی این مدل با دیگر مدل های دو متغیره نحوه تلفیق نقشه ها در آن است. به این صورت که ابتدا نقشه ها کلاسه بندی شده، سپس با استفاده از رابطه (۸) وزن هر یک از پیکسل ها به دست می آید.

$$F = \left\{ \begin{array}{l} \frac{PPa - pps}{PPa(1-PPs)} \text{ if } PPs \geq PPs \\ \frac{-PPa - PPs}{PPs(1-PPa)} \text{ if } PPa < PPs \end{array} \right\} \quad \text{رابطه (۸)}$$

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 به عنوان 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).

$$Wf = \frac{(TWi) - (TWi_{\min})}{(TWi_{\max}) - (TWi_{\min})} \times 100 \quad \text{رابطه (۹)}$$

که  $W_F$ : مقدار وزن عامل‌ها برای هر عامل،  $TW_i$ : مجموع مقادیر  $W_i$  مربوط به سلول‌هایی که در محدوده زمین‌لغزش‌ها قرار گرفته‌اند و برای هر عامل محاسبه می‌شوند،  $TW_{i_{\min}}$ : کمینه مجموع مقادیر  $W_i$  در میان عوامل انتخاب شده و  $TW_{i_{\max}}$ : بیشینه مجموع مقادیر  $W_i$  در میان عوامل انتخاب شده است.

- روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۹</sup>

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 به کار رود (Leung et al, 1998: 171) (Dagdeviren et al (2009) بیان کرده‌اند که ابتدا روش AHP مسئله تصمیم‌گیری چند 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

می شوند. (Bogdanovic et al 2012) تصریح کردند، مقایسه زوجی باید با پرسش از تصمیم گیرنده آغاز گیرد. بدین شکل که مثلا پرسیده می شود با توجه به هدف تصمیم، کدام مقیاس ۱ تا ۹، همان گونه که در (جدول ۱) نشان داده شده است، باید به عنوان میزان اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر تخصیص داده شود. همچنین Vidal et al, (2010) به این نتیجه رسیدند که اعداد میانی ۲، ۴، ۶، 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، ۴، ۶، ۸	رده های بینابین

در گام بعد، جدول مقایسه های زوجی عناصر در AHP همانند (جدول ۲) تکمیل می شوند. در این جدول  $a_{ij}$  نشانگر میزان ارجحیت معیار  $a_i$  بر معیار  $a_j$  است (Macharis et al, 2004: 307). همان طور که واضح است، ارجحیت میان دو معیار یکسان برابر با یک است. همچنین Bogdanovic et al (2012) گزارش کرده اند که در این جدول ویژگی دو طرفه بودن وجود دارد، یعنی  $a_{ji}=1/a_{ij}$ . از این جدول برای مقایسه معیارها و گزینه ها نیز استفاده می شود.

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

C	$a_1$	....	$a_j$	.....	$a_n$
$a_1$	۱				
....		۱			
$a_j$			$P_c(a_i, a_j)$		
....				۱	
$a_n$					۱

بر اساس مطالعات این پژوهشگر، برای به دست آوردن وزن ها به ترتیب زیر عمل می شود:

$$a_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad \forall j, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

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:

$$w_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}/n \quad \forall i, i = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

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

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

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

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$RI$  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)

۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	N
۱/۴۱	۱/۳۲	۱/۲۴	۱/۱۲	۰/۹۰	۰/۵۸	۰/۰۰	۰/۰۰	RI
	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	N
	۱/۵۹	۱/۵۷	۱/۵۶	۱/۴۸	۱/۵۱	۱/۴۹	۱/۴۵	RI

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 صحت‌سنجی 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 سلسله‌مراتبی در محیط GIS، ارزیابی و مقایسه روش‌های

پهنه بندی خطر زمین لغزش انجام گرفت. استفاده از شاخص های نسبت تراکمی (Dr)<sup>۱۱</sup>، به منظور مقایسه بین پهنه های خطر در هر روش و شاخص های مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P) برای مقایسه روش ها 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 پهنه ها یا رده های خطر در هر روش از مدل های پهنه بندی را معرفی می کند (Guzzetti et al, 2000).  
(91; Shirani et al, 2005: 47; Shirani, 2003: 29).

- درستی یا مجموع کیفیت (Qs)<sup>۱۲</sup>

برای تعیین مجموع کیفیت ابتدا باید نسبت تراکم محاسبه گردد که در قالب رابطه (۱۴) محاسبه می گردد (Gee, 1992: 56).

$$D_r = \frac{\frac{S_i}{A_i}}{\frac{\sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n A_i}} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

که در آن  $S_i$ : مجموع مساحت زمین لغزش های واقع در هر رده خطر،  $A_i$ : مساحت زمین رده خطر در یک نقشه پهنه بندی و  $n$ : تعداد رده های خطر می باشد. هرچه تفکیک بین رده های خطر توسط شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، روش از دقت بالاتری برخوردار است. مقدار مجموع کیفیت (Qs) نشان دهنده درستی یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش بینی خطر رانش زمین در منطقه است. معمولاً مقدار این شاخص در روش های مختلف در گستره صفر و ۷ قرار می گیرد. اگرچه از نظر تئوری، حدی برای آن وجود ندارد. در ارزیابی روش ها هر چه مقدار مجموع کیفیت (Qs) بیش تر باشد، روش از درستی و مطلوبیت بیشتری در تفکیک برخوردار است. مقدار مجموعه کیفیت از رابطه (۱۵) به دست می آید (Gee, 1991: 947).

$$Q_s = \sum_{i=1}^n ((D_r - 1)2 \times S) \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

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

دقت روش (P)<sup>۱۳</sup> عبارت است از مساحت سطح لغزش یافته در پهنه های خطر زیاد و خیلی زیاد به مساحت آن پهنه ها (Jade and Sarkar, 1993: 91) رابطه (۱۶).

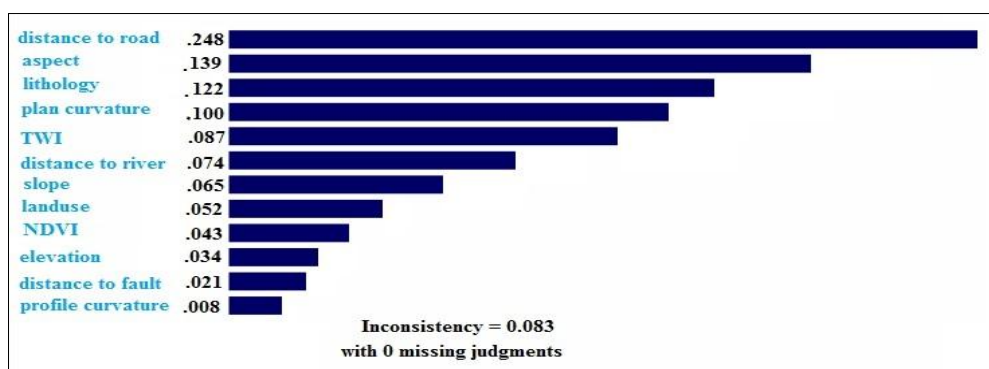
$$P = \frac{KS}{S} \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

11- Density Area  
12- Quality Summation  
13- Percision

P: دقت روش در پهنه‌بندی خطر زیاد و خیلی زیاد، KS: مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد، 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 به وسیله این نرم‌افزار عوامل اولویت‌بندی گردید (شکل ۱۶).



شکل ۱۶: وزن عوامل موثر با روش تحلیل سلسله مراتبی

نتایج حاصل از اولویت‌بندی پارامترها نشان داد که عوامل فاصله از جاده، جهت شیب و لیتولوژی به ترتیب با کسب (۰/۲۴۸، ۰/۱۳۹، ۰/۱۲۲) بیش‌ترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند و عوامل انحنای سطح، شاخص خیزی 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 ۱۰۰-۰ 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 ۶ و ۷ وزن کلاس‌های معیارها با مدل تراکم سطح، با اعمال فرمول‌های ۸ و ۹، وزن کلاس‌های معیارها با روش اطلاعات و با اعمال فرمول ۱۰ وزن کلاس‌ها با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به‌دست آمد که در (جدول ۴) نشان داده شده است.

جدول ۴- وزندهی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش با مدل های عامل اطمینان، تراکم سطح و AHP

فاکتور	کلاس	مساحت	مساحت (%)	مساحت لغزش (%)	W <sub>DA</sub>	W <sub>CF</sub>	W <sub>AHP</sub>
سطح انحراف	-۶/۸ - ۲/۴۳	۲۸۷۵۱۸	۱۵/۳۵	۲۹/۳۶	۰/۴۵۳	۰/۶۵۴	۰/۵۶۲
	-۲/۴۳ - ۰/۰۴۶	۱۲۵۵۲۰۵	۶۷/۰۳	۴۸/۶۲	۰/۰۶	۰/۰۴۲	۰/۰۳۳
	۰/۰۴۶ - ۸/۱۲	۳۲۹۹۸۱	۱۷/۶۲	۲۲/۰۲	۰/۳۱۲	۰/۲۵۴	۰/۴۰۹
معماری از آب و هوا	۰-۵۰۰	۷۰۱۰۰۳	۳۷/۴۳	۳۵/۷۸	۰/۵۱۹	۰/۴۱۳	۰/۶۲۹
	۵۰۰-۱۰۰۰	۴۸۹۸۴۰	۲۶/۱۶	۱۹/۲۷	۰/۲۱۴	۰/۳۰۹	۰/۲۴۷
	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۳۲۴۴۶۹	۱۷/۳۳	۱۵/۶	۰/۱۰۸	۰/۰۹۸	۰/۲۱۰
	۱۵۰۰>	۳۵۷۳۹۲	۱۹/۰۸	۲۹/۳۶	-۰/۰۶۵	-۰/۰۹۷	-۰/۰۸۴
سلسله از ارتفاع	<۳۵۰۰	۶۲۳۸۹۵	۳۳/۳۲	۳۴/۸۶	۰/۰۵۳	۰/۴۷۸	۰/۵۲۶
	۳۵۰۰ - ۵۰۰۰	۴۷۸۲۱۰	۲۵/۵۴	۱۵/۶۰	۰/۰۰۳	۰/۰۴۴	۰/۲۴۹
	۵۰۰۰ - ۱۰۰۰۰	۴۸۳۹۶۳	۲۵/۸۴	۲۷/۵۲	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۶	۰/۱۲۸
	۱۰۰۰۰ - ۱۵۰۰۰	۱۶۱۵۸۵	۸/۶۳	۱۵/۶۰	-۰/۰۰۲	-۰/۰۳۸	۰/۰۶۲
	>۱۵۰۰۰	۱۲۵۰۵۱	۶/۶۸	۶/۴۲	-۰/۰۲۱	-۰/۳۵۳	۰/۰۳۲
لیتومرئی	کنگولورا	۳۹۸۴۱۳	۲۱/۲۷	۸/۲۶	-۰/۰۵۸	-۱	۰/۰۲۱
	کنگولورا و سنگ آهک	۱۶۱۴۰	۰/۸۶	۰/۰۰	-۰/۰۳۳	-۰/۵۶۵	۰/۰۳۹
	کنگولورا با سیمان آهکی	۳۰۶۸۲	۱/۶۴	۰/۹۲	-۰/۰۱۷	-۰/۲۸۸	۰/۰۵۸
	واریزه های آهکی	۳۱۳۰۴۶	۱۶/۷۲	۲۸/۴۴	-۰/۰۵۸	-۱	۰/۰۱۷
	سنگ آهک	۷۷۴۲۶	۴/۱۳	۷/۳۴	۰/۰۴۱	۰/۴۱۲	۰/۰۸۵
	آبرفتی آهکی	۱۲۱۸۳	۰/۶۵	۰/۰۰	-۰/۰۴۴	-۰/۷۶۳	۰/۰۲۶
	آهکی و کنگولورا	۴۴۵۰۶	۲/۳۸	۰/۰۰	۰/۰۳۳	۰/۳۶۳	۰/۰۷۰

	آهکی کمی متمرف شده	۴۴۶۲۰	۲/۳۸	۷/۳۴	-۰/۰۲۶	-۰/۴۴۰	۰/۰۴۷
	آهک، کنگلومرا و شیل	۸۶۰۰	۰/۴۶	۰/۰۰	۰/۰۹۱	۰/۶۱۱	۰/۱۲۵

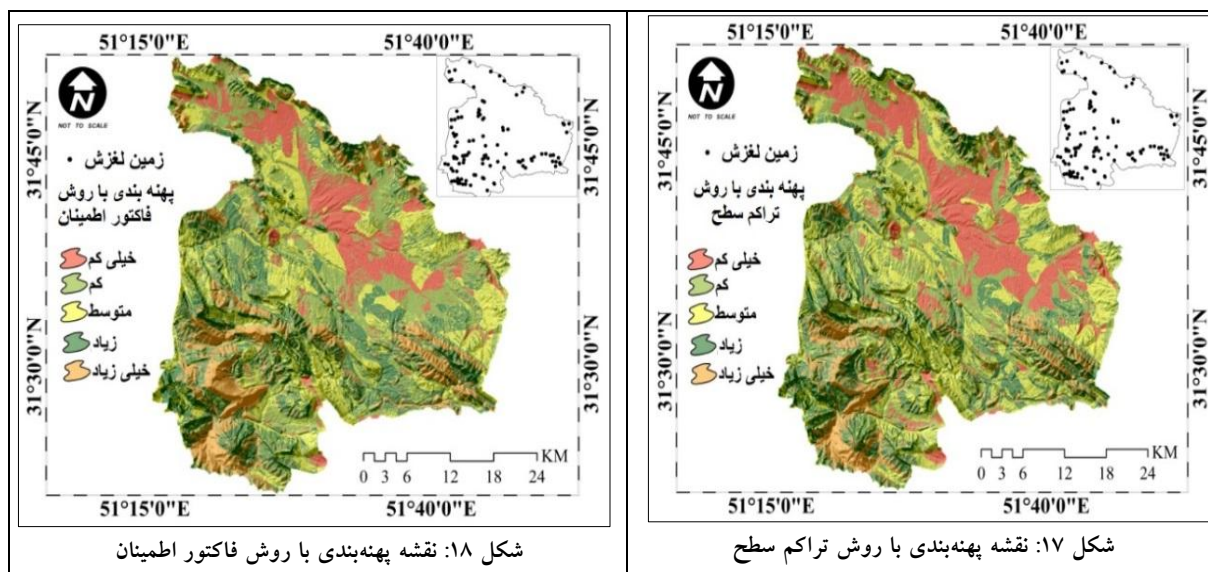
ادامه جدول ۴- وزندهی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش با مدل‌های عامل اطمینان، تراکم سطح و AHP

فاکتور	کلاس	مساحت	مساحت (%)	مساحت لغزش (%)	W <sub>DA</sub>	W <sub>CF</sub>	W <sub>AHP</sub>
	سنگ آهک، شیل و مارن	۱۷۵۰۴۴	۹/۳۵	۱۴/۶۸	۰/۱۱۱	۰/۶۵۶	۰/۱۵۰
	کنگلومرای متمرف	۳۸۳۴۱	۲/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۴۵	۰/۴۳۷	۰/۱۰۳
	مارن آسماری و پابنده	۱۲۳۳۲۵	۶/۵۹	۰/۰۰	۰/۱۲۱	۰/۶۷۵	۰/۱۸۳
	آهک دگرگونی و شیل	۱۵۷۹۳۱	۸/۴۳	۳/۶۷	-۰/۰۵۸	-۱	۰/۰۱۴
	آرفت‌های منشأ دامنه‌ای	۲۱۷۶۷۸	۱۱/۶۲	۲/۷۵	-۰/۰۳۶	-۰/۶۱۲	۰/۰۳۲
	آبرفت‌های رودخانه‌ای	۲۳۶۲۹	۱/۲۶	۳/۶۷	-۰/۰۵۸	-۱	۰/۰۱۳
	آبرفت‌های دامنه‌ای	۱۶۰۴۰۲	۸/۵۷	۲۲/۰۲	-۰/۰۵۸	-۱	۰/۰۱۰
NDVI	-۰/۳۶ - -۰/۲	۱۳۷۳۵	۰/۷۳	۰/۰۰	-۰/۱۳۳	-۰/۲۱۱	۰/۱۲۳
	۰ - ۰/۳۱	۸۰۴۲۰۹	۴۲/۹۴	۳۸/۵۳	۰/۰۷۷	۰/۰۵۲۳	۰/۰۸۷۶
	۰ - ۰/۳۱	۱۰۵۴۷۶۰	۵۶/۳۲	۶۱/۴۷	۰/۱۱۰	۰/۲۱۴	۰/۱۷۸
انحنا و مقطع	<-۲۷۳	۵۸۵۱۲	۳/۱۲	۱/۸۳	-۰/۰۳۳	-۰/۴۲۳	۰/۰۳۳
	-۲۷۳ - -۷۳	۳۱۸۸۰۳	۱۷/۰۲	۴/۵۹	۰/۰۱۸	-۰/۷۸۸	۰/۰۶۴
	-۷۳ - ۴/۶۸	۷۲۵۹۴۰	۳۸/۷۶	۳۹/۴۵	۰/۲۳۰	۰/۰۲۲	۰/۱۳۰
	۴/۶۸ - ۸۷/۶۴	۶۰۹۸۲۷	۳۲/۵۶	۳۷/۶۱	۰/۳۴۵	۰/۱۳۹	۰/۲۶۲
	>۲۹۱/۸۲	۱۵۹۶۲۲	۸/۵۲	۱۶/۵۱	۰/۶۵۸	۰/۵۰۲	۰/۵۰۸
کاربری زمین	زراعت آبی، باغات، دیم	۴۲۲۵۸۸	۲۲/۵۷	۸/۲۶	-۰/۰۳۷	-۰/۶۳۴	۰/۱۰۲
	مرتع و دیمزار	۳۴۶۸۷۲	۱۸/۵۲	۱۵/۶۰	-۰/۰۰۹	-۰/۱۵۸	۰/۳۵۸
	ارتفاعات بایر، مرتع	۵۵۴۱۵۳	۲۲/۵۹	۵۷/۸۰	۰/۰۵۵	-۰/۴۸۸	۰/۱۵۱
	دیمزار، ارتفاعات بایر	۴۴۷۸۵۲	۲۳/۹۱	۱۳/۷۶	-۰/۰۲۵	-۰/۴۲۵	۰/۲۲۰
	مرغزار، مرتع	۸۵۸۸	۰/۴۶	۰/۰۰	-۰/۰۵۸	-۱	۰/۰۳۰
	مرتع، دیمزار	۲۳۶۰۵	۱/۲۶	۳/۶۷	۰/۱۱۱	-۰/۶۵۷	۰/۰۶۹
	مرتع، باغات	۵۴۸۰۰	۲/۹۳	۰/۹۲	-۰/۰۴۰	-۰/۶۸۶	۰/۰۴۶
	زراعت آبی، باغات، مرتع	۱۴۲۴۶	۰/۷۶	۰/۰۰	-۰/۰۵۸	-۱	۰/۰۲۱
شیب از متوسط تا	<۵۰۰	۴۹۵۹۴۹	۲۶/۴۸	۵/۶۸	۰/۰۸۴	۰/۵۹۲	۰/۵۵۷
	۵۰۰ - ۲۵۰۰	۶۵۱۸۲۴	۳۴/۸۱	۲۵/۶۹	۰/۰۳۵	۰/۳۷۹	۰/۲۶۳
	۲۵۰۰ - ۵۰۰۰	۶۶۱۸۶۳	۳۵/۳۴	۱	-۰/۰۱۷	-۰/۲۸۸	۰/۱۲۱
	۵۰۰۰ - ۷۵۰۰	۶۳۰۶۸	۳/۲۷	۸/۲۶	-۰/۰۳۶	-۰/۶۱۹	۰/۰۵۶
	۰ - ۵	۴۸۵۱۰۰	۲۵/۹۰	۸/۲۶	-۰/۰۳۶	-۰/۶۱۰	۰/۰۴۴
شیب	۵ - ۱۵	۴۵۰۴۰۳	۲۴/۰۵	۱۲/۸۴	-۰/۰۳۲	-۰/۵۴۲	۰/۰۸۳
	۱۵ - ۳۰	۳۷۹۱۸۵	۲۰/۲۵	۱۵/۶۰	-۰/۰۰۸	-۰/۱۳۹	۰/۱۴۸
	۳۰ - ۴۵	۲۴۶۳۹۹	۱۳/۱۶	۱۲/۹۴	۰/۰۳۹	۰/۴۰۲	۰/۲۵۶
TWI	>۴۵	۳۱۱۶۱۷	۱۶/۶۴	۴۰/۳۷	۰/۰۸۰	۰/۵۷۸	۰/۴۶۷

	۸<	۹۶۶۹۱۲	۵۱/۶۳	۶۵/۱۴	-۰/۰۶۲	-۰/۰۵۶۲	۰/۱۳۵
	۸-۱۰	۴۶۷۶۷۳	۲۴/۹۷	۲۲/۰۲	-۰/۰۷۵	-۰/۱۸۱	۰/۱۹۱
	۱۰-۱۵	۳۸۳۱۶۳	۲۰/۴۶	۹/۱۷	۰/۰۲۱	۰/۲۳۴	۰/۷۶۲
	۱۵>	۵۴۹۵۶	۲/۹۳	۳/۶۷	۰/۳۱۲	۰/۵۰۹	۰/۵۶۴

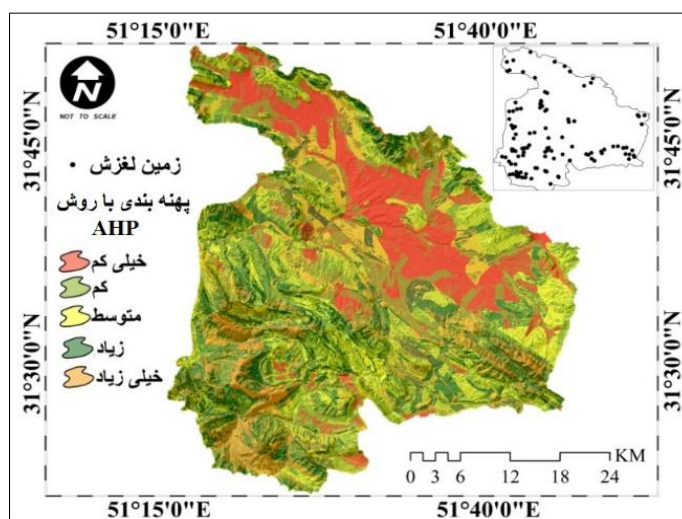
نتایج بررسی زیر کلاس های عوامل موثر بر زمین لغزش بیانگر این است که در عامل جهت شیب، جهت شمال در مدل های تراکم سطح، ارزش اطلاعات و تحلیل سلسله مراتبی به ترتیب با کسب امتیازات (۰/۳۳۵، ۰/۳۴۱، ۰/۰۳۰) بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش در منطقه داشته است که دلیل این امر را می توان به تاثیر رطوبت به عنوان یکی از عوامل موثر بر وقوع حرکات توده ای نسبت داد که با نظرات (Can et al, 2005: 250) مطابقت دارد.

بررسی طبقات ارتفاعی بیانگر آن است که کلاس بیش تر از ۳۳۰۰ متر به ترتیب با کسب امتیازات (۰/۰۹۳، ۰/۶۱۴، ۰/۵۰۲)، بیش تر از کلاس های دیگر طبقات ارتفاعی در وقوع زمین لغزش موثر بوده است. بررسی کاربری اراضی منطقه نشان می دهد که کاربری مرتع و دیمزار بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش داشته است که دلیل آن را می توان به نقش موثر انسان در اکوسیستم های طبیعی و تخریب هایی که به واسطه تغییر کاربری اراضی در منطقه به وجود می آید نسبت داد که با نظرات (Shadfar et al, 2005) مطابقت دارد. نتایج بررسی عامل شیب نشان می دهد که کلاس شیب بیش تر از ۴۵ درجه به ترتیب با کسب امتیازات (۰/۰۸۰، ۰/۵۷۸، ۰/۴۶۷)، تاثیر بیش تری نسبت به کلاس های دیگر شیب در وقوع زمین لغزش داشته است که با نتایج (Rozos et al, 2011: 49) مطابقت دارد. در شیب های کم برآیند نیروها به گونه ای است که نیروهای مقاوم بیش تر از نیروی محرکه بوده و شرایط وقوع زمین لغزش ایجاد نمی شود و در شیب های خیلی زیاد نیز فرآیندهای فرسایشی دیگر غالب بوده و خاک کافی برای وقوع زمین لغزش وجود ندارد. بررسی عوامل فاصله از جاده، آبراهه و گسل نشان می دهد با فاصله از این پارامترهای خطر وزن آن ها کاهش پیدا می کند و هرچه فاصله از آن ها کمتر باشد، وزن و تاثیر در رخداد زمین لغزش افزایش پیدا می کند که بیانگر همبستگی وقوع زمین لغزش با حریم جاده، آبراهه و گسل می باشد. بررسی زمین شناسی نشان داده است که بیشترین وزن را رسوبات مارینی به خود اختصاص داده است. دلیل این امر شاید جذب آب بیش تر و آبگذاری کم تر خاک هایی با بافت متوسط و ریز، در نتیجه اشباع راحت تر این خاک ها باشد که با نتایج (Pradhan, 2013: 350) مطابقت دارد. نتایج حاصل از کلاس های عوامل دیگر در (جدول ۴) نشان داده شده است. پس از محاسبه وزن معیارها و زیر معیارها و ترکیب آن ها، نقشه های پهنه بندی با بهره گیری از مدل های تراکم سطح (شکل ۱۷)، فاکتور اطمینان (شکل ۱۸) و تحلیل سلسله مراتبی (شکل ۱۹) در محیط نرم افزار ArcGIS 10.2 تهیه گردید و بر اساس شکست ها طبیعی به ۵ کلاس خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم گردید.



شکل ۱۸: نقشه پهنه‌بندی با روش فاکتور اطمینان

شکل ۱۷: نقشه پهنه‌بندی با روش تراکم سطح



شکل ۱۹: نقشه پهنه‌بندی با AHP

پس از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش، اقدام به صحت‌سنجی 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، به ترتیب برای مدل‌های تراکم سطح (۰/۲۹، ۰/۰۳)، فاکتور اطمینان (۰/۴۸، ۰/۰۵) و تحلیل سلسله مراتبی (۰/۸۵، ۰/۰۹) به دست 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

مواجهه با خطر خیلی کم تا گستره های مواجهه با خطر خیلی زیاد در هر سه روش، نشان از صحت نقشه های تهیه شده با روش های مورد استفاده را دارد.

جدول ۵- ارزیابی مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P) روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش

دقت (P)	مجموع کیفیت (Qs)	نسبت تراکم (Dr)	نسبت مساحت	سطح لغزش در کلاس (هکتار)	مساحت %	مساحت (هکتار)	کلاس خطر	روش پهنه بندی
۰/۰۳	۰/۲۹	۰/۲۴	۶/۶۷	۶۵۴۰	۲۷/۵۱	۴۶۳۸۲/۴	خیلی کم	تراکم سطح
		۰/۸۰	۲۰	۱۹۶۲۰	۲۵/۱۴	۴۲۳۸۶/۱۵	کم	
		۰/۷۹	۱۳/۳۳	۱۳۰۸۰	۱۶/۹۱	۲۸۵۰۶/۵۸	متوسط	
		۱/۷۷	۳۳/۳۳	۳۲۷۰۰	۱۸/۸۳	۳۱۷۴۳/۸۱	زیاد	
		۲/۳۰	۲۶/۶۷	۲۶۱۶۰	۱۱/۵۸	۱۹۵۲۴/۳۹	خیلی زیاد	
۰/۰۵	۰/۴۸	۰/۳۱	۳/۶۷	۳۶۰۰	۱۱/۹	۲۲۲۷۵/۶	خیلی کم	فاکتور اطمینان
		۰/۴۷	۸/۲۶	۸۱۰۰	۱۷/۵۲	۳۲۷۷۲/۵	کم	
		۰/۷۱	۱۷/۴۳	۱۷۱۰۰	۲۴/۶۳	۴۶۰۷۶/۷	متوسط	
		۱/۳۴	۴۰/۳۷	۳۹۶۰۰	۳۰/۰۸	۵۶۲۸۱/۶	زیاد	
		۱/۹۱	۳۰/۲۸	۲۹۷۰۰	۱۵/۸۴	۲۹۶۴۵/۲	خیلی زیاد	
۰/۰۹	۰/۸۵	۰/۲۰	۴/۵۹	۴۵۰۰	۲۳/۰۸	۳۸۹۱۵/۶۸	خیلی کم	AHP
		۰/۳۷	۴/۵۹	۴۵۰۰	۲۶/۲۳	۴۴۲۱۸/۰۶	کم	
		۱/۱۲	۲۲/۰۲	۲۱۶۰۰	۱۹/۶۱	۳۳۰۶۱/۲۱	متوسط	
		۱/۸۶	۳۴/۸۶	۳۴۲۰۰	۱۸/۷۸	۳۱۶۵۷/۵۳	زیاد	
		۲/۷۷	۳۳/۹۴	۳۳۳۰۰	۱۲/۲۷	۲۰۶۹۰۰/۸۸	خیلی زیاد	

### نتیجه گیری

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

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، ۴۴۲۱۸/۰۶ هکتار (۲۶/۲۳ درصد) در رده میزان ریسک کم، ۳۳۰۶۱/۲۱ هکتار (۱۹/۶۱ درصد) در رده میزان ریسک متوسط، ۳۱۶۵۷/۵۳ هکتار (۱۸/۷۸ درصد) در رده میزان ریسک زیاد و ۲۰۶۹۰۰/۸۸ هکتار (۱۲/۲۷ درصد) در رده ریسک خیلی زیاد 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 خیلی زیاد قرار گرفته است. اگرچه بیش تر مراکز سکونتگاهی در مناطق با حساسیت خطر کم و خیلی کم تمرکز یافته‌اند، ولی تعدادی نیز در مناطق با حساسیت خطر زیاد و خیلی زیاد 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 ترانسه 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 خیلی زیاد توصیه می‌گردد.

## 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 study on coonor 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., Kilinc, 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: Balekhlou 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.

- 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<sup>th</sup> 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

(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 using weights-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 decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping 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.

- Varnes, D. J., (1984), "*Landslide hazard zonation: A review of Principles 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 distributed slope 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.