



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۶  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## پهنه‌بندی استعداد اراضی نسبت به وقوع زمین‌لغزش با روش‌های دمپسترشیفر و نسبت فراوانی در حوضه سرخون کارون

\*علیرضا عرب‌عامری<sup>۱</sup>، کورش شیرانی<sup>۲</sup> و خلیل رضایی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تربیت مدرس و مدرس دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، آستادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، آستادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران  
تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۱۵

### چکیده

**سابقه و هدف:** زمین‌لغزش‌ها یکی از مخاطرات مهم زمین‌شناسی در سراسر جهان می‌باشند. توسعه شهرها و سازه‌های دست‌ساز انسان بر روی مناطق به‌طور بالقوه خطرناک همه‌ساله موجب خسارات گسترده به زیرساخت‌ها و گاهی اوقات موجب خسارات جانی می‌شود. شناسایی عوامل موثر بر زمین‌لغزش‌های موجود در یک حوضه و پهنه‌بندی خطر آن یکی از ابزارهای اساسی جهت دستیابی به راهکارهای کنترل این پدیده و انتخاب مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین گزینه مؤثر می‌باشد. از این‌رو، این پژوهش با هدف شناسایی عوامل مؤثر در ایجاد پدیده زمین‌لغزش و مشخص کردن مناطق دارای پتانسیل جهت پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوضه سرخون کارون با استفاده از روش‌های دمپسترشیفر و نسبت فراوانی انجام گرفته است.

**مواد و روش‌ها:** بدین‌منظور پس از تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش با استفاده از پیمایش‌های میدانی و تفسیر عکس‌های هوایی، لایه‌های اطلاعاتی فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت (TWI)، فاصله از جاده، کاربری اراضی، لیتولوژی و شاخص توان حمل جریان (SPI) به‌عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه انتخاب گردیدند و پس از اعمال روش‌های دمپسترشیفر و نسبت فراوانی، نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی تهیه گردید. برای محاسبه وزن عوامل مؤثر از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی کارشناسی در نرم‌افزار expert choice استفاده گردید. به‌منظور صحت‌سنجی روش‌های مورد استفاده از منحنی ROC استفاده گردیده است. **یافته‌ها:** اصلی‌ترین عوامل در بروز زمین‌لغزش‌های این منطقه بر اساس مشاهدات میدانی و نظرات کارشناسی شامل لیتولوژی، فاصله از جاده و ارتفاع به‌ترتیب با کسب امتیازات (۰/۱۸۱، ۰/۱۶۳، ۰/۱۴۵) می‌باشند و در مقابل عوامل قدرت جریان، جهت شیب و شاخص خیسی (TWI) به‌ترتیب با کسب امتیازات (۰/۰۳۶، ۰/۰۵۴) کم‌ترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند. طبق نتایج، مدل نسبت فراوانی مقدار AUC بالاتری (۰/۹۲۷) را نسبت به مدل دمپسترشیفر (۰/۸۵۸) کسب نمود که این موضوع بیانگر همبستگی بالا بین نقشه خطر تهیه شده و نقشه پراکنش زمین‌لغزش و ارزیابی بهتر مدل نسبت فراوانی نسبت به مدل دمپسترشیفر می‌باشد.

\* مسئول مکاتبه: [alireza.ameri91@yahoo.com](mailto:alireza.ameri91@yahoo.com)

**نتیجه‌گیری:** نتایج حاصل از صحت‌سنجی نشان داد که مدل نسبت فراوانی دارای کارایی و دقت بالاتری (۰/۹۲) نسبت به مدل دمپسترشیفر (۰/۸۵) جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از مدل نسبت فراوانی ۸/۲۱۱۲ هکتار (۷/۰۵ درصد) از منطقه در کلاس خطر خیلی کم، ۴/۶۷۱۴ هکتار (۲۰/۴۵ درصد) از منطقه در کلاس خطر کم، ۳/۹۰۱۱ هکتار (۲۷/۴۵ درصد) از منطقه در کلاس خطر متوسط، ۳/۹۱۷۳ هکتار (۲۷/۹۴ درصد) از منطقه در کلاس زیاد و در نهایت ۵۶۱۶ هکتار (۱۷/۱۱ درصد) از منطقه در کلاس خیلی زیاد قرار گرفته است.

**واژه‌های کلیدی:** زمین‌لغزش، پهنه‌بندی، روش دمپسترشیفر، روش نسبت فراوانی، صحت‌سنجی

### مقدمه

روستا از بین رفتند (۲۳). بر اساس اطلاعات گروه مطالعه امور زمین‌لغزش‌ها در سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی از سال ۱۳۸۵ لغایت ۱۳۹۴ زمین‌لغزش‌ها در طول یازده سال ۱۲۶ هزار میلیارد ریال خسارت بر جای گذاشته‌اند (۲۰). از آن‌جا که تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش به‌طور چشمگیری برنامه‌ریزی کاربری را بهبود می‌بخشد، می‌توان از آن به‌عنوان روشی کارآمد برای کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از زمین‌لغزش‌ها استفاده کرد (۲۴)، بنابراین تهیه نقشه زمین‌لغزش گامی مهم برای مدیریت خطر زمین‌لغزش به‌منظور امنیت زندگی انسان‌ها، توسعه زیرساخت‌ها و حفاظت از محیط زیست است. در زمینه استفاده از روش‌های دمپسترشیفر و نسبت فراوانی در زمینه تهیه نقشه زمین‌لغزش مطالعات زیادی صورت گرفته است.

به‌طوری‌که تنگستانی (۲۰۰۹) به بررسی مقایسه‌ای روش‌های دمپسترشیفر و مدل‌های فازی به‌منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در کوه‌های زاگرس پرداخت و به این نتیجه رسید که مدل‌های فازی دارای کارایی بالاتری جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌باشند (۳۱). محمدی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی مقایسه‌ای روش‌های دمپسترشیفر، وزن واقعه و نسبت فراوانی جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان گلستان پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که مدل نسبت فراوانی دارای AUC بالاتری نسبت به مدل‌های دیگر می‌باشد (۱۷). چن و

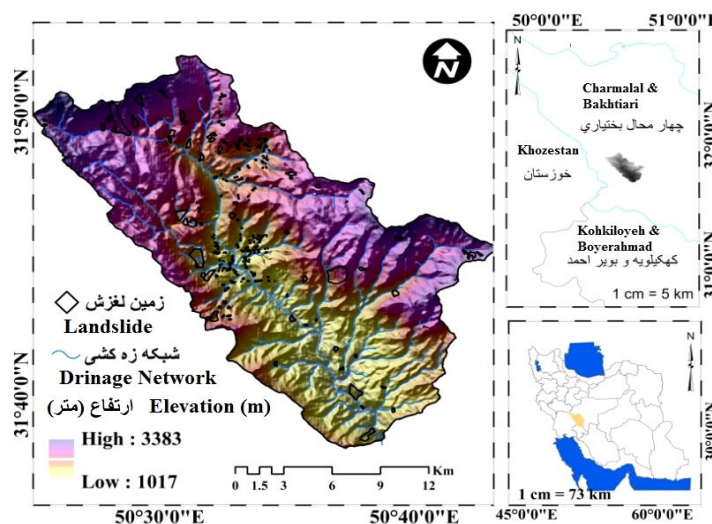
زمین‌لغزش عبارت است از حرکت مواد دامنه شیب، شامل صخره‌های طبیعی، خاک، انباشته‌ای مصنوعی و یا مخلوطی از آن‌ها که توسط نیروی ثقل به سمت پایین جابه‌جا می‌شوند (۳۲). لغزش‌ها نتیجه فرآیندهای مکانی-زمانی به هم پیوسته شامل فرایندهای هیدرولوژیک (بارش، تبخیر و آب‌های زیرزمینی)، وزن پوشش گیاهی، مقاومت ریشه، وضعیت خاک، سنگ مادر، توپوگرافی و فعالیت‌های انسانی هستند (۳۳). عوامل متعددی مانند شرایط زمین‌شناسی، شرایط آب‌شناختی، وضعیت پستی و بلندی، ریخت‌شناسی، آب و هوا و هوازگی بر پایداری یک دامنه تأثیر گذاشته و می‌تواند باعث ایجاد لغزش شوند (۱۲). زمین‌لغزش‌ها از جمله ویرانگرترین حوادث طبیعی در مناطق شیب‌دار محسوب می‌شوند (۱۴). خسارات وارده به مناطق مسکونی و زیربنای اقتصادی و همچنین تلفات انسانی ناشی از زمین‌لغزش‌ها در سراسر جهان در حال افزایش است (۱۸ و ۳۰). زمین‌لغزش‌ها در ایران یکی از مهم‌ترین بلاهای طبیعی بوده که هر ساله نقش به‌سزایی در تخریب جاده‌های ارتباطی، تخریب مراتع، باغ‌ها و مناطق مسکونی و همچنین فرسایش و انتقال حجم بالای رسوب در حوضه‌های آبخیز کشورمان دارند. برای مثال، در بهار سال ۱۳۷۷ روستای آبیکار در منطقه بازفت چهارمحال و بختیاری در زیر حجم عظیمی از خاک و سنگ مدفون شد و همه اهالی این

نوآوری این پژوهش استفاده از روش ترکیبی نوین در شناسایی مناطق مستعد لغزش و همچنین استفاده از پارامترهای ژئومورفومتری SPI می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** حوضه سرخون در حد فاصل  $31^{\circ} 37'$  تا  $31^{\circ} 51'$  عرض شمالی و  $50^{\circ} 25'$  تا  $50^{\circ} 43'$  طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). وسعت حوضه سرخون حدود ۳۲۹۳ کیلومترمربع می‌باشد و در ۴۵ کیلومتری جنوب‌غرب شهر اردل قرار دارد. این حوضه در جنوب‌غرب استان چهارمحال و بختیاری، ما بین شهر دوبلان و لردگان قرار می‌گیرد. عمده منطقه مورد پژوهش را کوهستان‌های با دیواره بلند و دره‌های ژرف (شمال- شمال‌غرب و جنوب- جنوب‌غرب) تشکیل داده است و تنها در قسمت مرکزی حوضه مورفولوژی نسبتاً هموار و تپه‌ماهوری به همراه دشت نسبتاً وسیعی بین روستاهای گندم‌کار، سرخون، ده‌کهنه، دهنو و شباسی گسترش دارد.

همکاران (۲۰۱۶) به مقایسه روش‌های دمپسترشیفر، رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی جهت پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در استان شانکسی چین پرداخته و به‌منظور پهنه‌بندی از ۱۴ فاکتور مؤثر در زمین‌لغزش استفاده کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که مدل شبکه عصبی مصنوعی دارای بیش‌ترین دقت (۷۳/۱۹) بوده است (۱۰). عرب‌عامری و شیرانی (۱۳۹۵) نیز به اولویت‌بندی عوامل مؤثر در زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر آن در حوضه ونک سمیرم با استفاده از مدل دمپسترشیفر پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که دقت نمودار ویژگی عملگر گیرنده  $ROC^1$  مدل دمپسترشیفر با سطح زیر منحنی  $AUC^2$  ۷۳ درصد، نماینده همبستگی بالا بین نقشه خطر تهیه‌شده و نقشه پراکنش زمین‌لغزش و ارزیابی خوب مدل می‌باشد (۱). هدف از این پژوهش ارزیابی مقایسه‌ای روش‌های نسبت فراوانی و دمپسترشیفر به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه سرخون کارون می‌باشد. در این پژوهش از شاخص‌های ژئومورفومتری شاخص توان آبراهه (SPI) و شاخص خیزی (TWI) نیز برای پهنه‌بندی استفاده شده است.



شکل ۱- نمای کلی حوضه سرخون.

Figure 1. Sorkhoon Catchment view.

- 1- Receiver operating characteristic
- 2- Area Under Curve

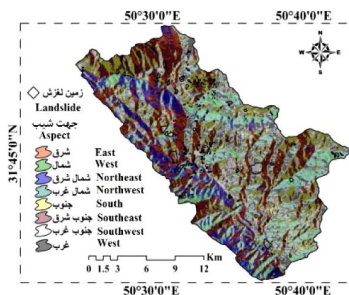
روشن‌شناسی: پژوهش حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی می‌باشد. بدین‌صورت که در ابتدا بر اساس تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و نیز مطالعات میدانی و با توجه به شرایط فیزیکی منطقه، ۱۰ عامل اولیه مؤثر بر زمین‌لغزش‌های منطقه شامل شیب، طبقات ارتفاعی، جهت شیب، فاصله از گسل، فاصله از جاده، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، لیتولوژی، شاخص خیسی (TWI) و شاخص توان حمل آبراهه (SPI) شناسایی شدند (شکل‌های ۲ تا ۱۱). نقشه‌های پایه مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای ETM+. نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر ذکر شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.2 تهیه و جهت پردازش آماده شدند. از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ جهت تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاعی<sup>۱</sup> با پیکسل‌های ۳۰ متر در ۳۰ متر استفاده شد. بر اساس نقشه رستری مدل رقومی ارتفاعی، نقشه طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب تهیه گردید. برای تهیه نقشه فاصله از گسل از داده‌های ماهواره‌ای ETM+2002 در محیط نرم‌افزار

ENVI4.7 استفاده گردید. نقشه فاصله از جاده و فاصله از شبکه زه‌کشی با طبقه‌بندی فواصل معین از شبکه جاده و شبکه هیدروگرافی رقومی شده از نقشه توپوگرافی منطقه تهیه شدند. بر اساس طبقه‌بندی نظارت‌نشده تصویر ماهواره‌ای تصحیح شده لندست ETM+ و بازدید میدانی و کنترل صحت، نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه گردید. 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. مقادیر شاخص‌های توان حمل آبراهه و شاخص خیسی در نرم‌افزار SAGA-GIS و با اعمال فرمول‌های زیر محاسبه گردید (۱۳).

$$TWI = \ln (A_s / \tan \beta) \quad (1)$$

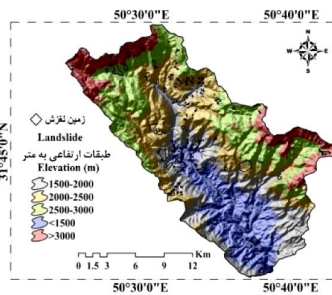
$$SPI = A_s \times \tan \sigma \quad (2)$$

که در آن،  $A_s$  مساحت حوضه آبخیز و  $\beta$  گرادیان شیب بر حسب درجه می‌باشد.



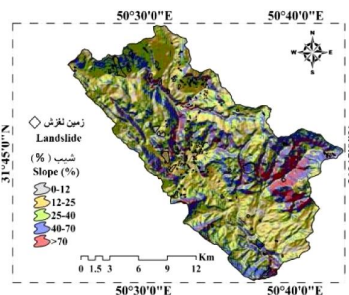
شکل ۴- نقشه جهت شیب.

Figure 4. Aspect map.



شکل ۳- نقشه طبقات ارتفاعی.

Figure 3. Elevation map.



شکل ۲- نقشه شیب.

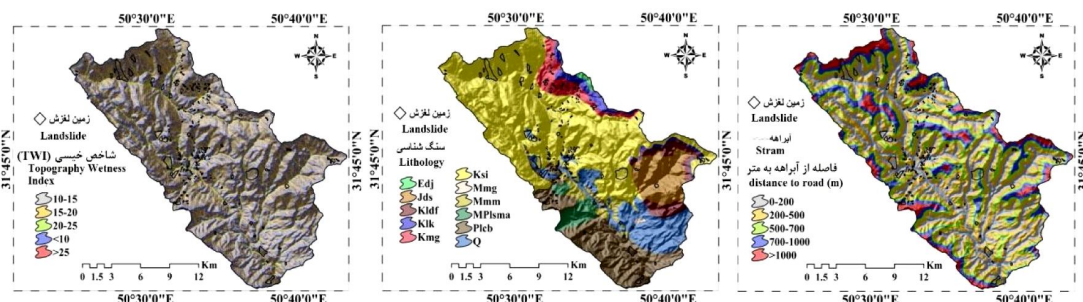
Figure 2. Slope map.



شکل ۵- نقشه فاصله از گسل.  
Figure 5. Distance to fault.

شکل ۶- نقشه فاصله از جاده.  
Figure 6. Distance to road map.

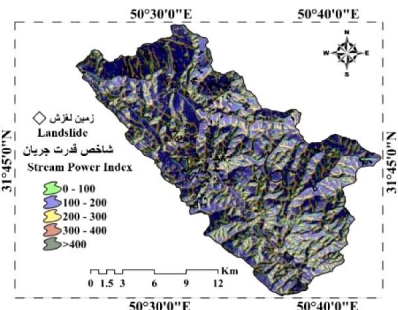
شکل ۷- نقشه کاربری اراضی.  
Figure 7. Land use map.



شکل ۸- نقشه فاصله از آبراهه.  
Figure 8. Distance to river.

شکل ۹- نقشه لیتولوژی.  
Figure 9. Lithology map.

شکل ۱۰- نقشه شاخص خیسگی.  
Figure 10. Topography Wetness Index map.



شکل ۱۱- نقشه شاخص قدرت جریان (SPI).  
Figure 11. Stream Power Index map.

مدل دمپسترشایفر؛ نظریه شواهد در سال ۱۹۶۷ توسط دمپسترشایفر با نظریه حدود بالا و پایین احتمال ارائه گردید. دمپستر در واقع نوعی عدم قطعیت درباره اندازه احتمال پیشامدها را مدل‌سازی نمود (۱۱). پس از آن شافر در سال ۱۹۶۷ این نظریه را به‌عنوان نظریه شواهد به‌عنوان ساختاری برای نمایش اطلاعات ناکامل و استدلال تحت عدم قطعیت، فرمول‌بندی

نقشه پراکنش زمین‌لغزش منطقه مطالعاتی با استفاده از پیمایشات میدانی و ثبت موقعیت لغزش‌ها با GPS، تصاویر هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای (LISS-III) تهیه گردید و ۷۰ درصد زمین‌لغزش‌ها برای اجرای مدل و ۳۰ درصد به‌منظور اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت.

$$m(\theta) = 1 - m(T_p)_{E_{ij}} - m(\bar{T}_p)_{E_{ij}} \quad (۷)$$

که در آن‌ها،  $N(L \cap E_{ij})$  تعداد لغزش در هر طبقه،  $N(L)$  تعداد کل لغزش منطقه،  $N(E_{ij})$  تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش در هر طبقه،  $N(A)$  تعداد کل پیکسل‌های فاقد لغزش منطقه می‌باشد. جهت به نقشه در آوردن زمین‌لغزش‌های رخ داده در حوضه مورد بررسی، عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰، سال ۱۳۷۲ منطقه تفسیر گردید و مناطق لغزشی تعیین و موقعیت آن‌ها در نرم‌افزار Google earth تعیین گردید. سپس موقعیت دقیق‌تر زمین‌لغزش‌ها با بررسی‌های میدانی و به کمک اطلاعات و نقشه‌های موجود (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان) به دست آمد. در نهایت موقعیت ۱۲۰ زمین‌لغزش رخ داده در حوضه آبریز ماربر به نقشه درآمد.

**روش نسبت فراوانی:** نسبت فراوانی ارتباط کمی میان رخداد زمین‌لغزش‌ها و متغیرهای مختلف تأثیرگذار در آن را مشخص می‌نماید. در تعیین نرخ نسبت فراوانی، نسبت رخداد لغزش در هر کلاس از فاکتورهای تأثیرگذار نسبت به کل لغزش‌ها به دست آمده و نسبت سطح هر کلاس نسبت به کل مساحت منطقه نیز محاسبه می‌گردد. در نهایت با تقسیم نرخ رخداد لغزش‌ها در هر کلاس بر نرخ مساحت هر کلاس نسبت به کل منطقه مورد مطالعه، نسبت فراوانی کلاس‌های هر فاکتور محاسبه می‌گردد. مراحل محاسبه نسبت فراوانی برای هر کلاس از فاکتورهای مؤثر در لغزش در رابطه ۸ بیان شده است.

$$FR = \frac{(A/B)}{(C/D)} = \frac{E}{F} \quad (۸)$$

که در آن،  $A$  تعداد پیکسل‌های لغزش یافته در هر کلاس،  $B$  مجموع پیکسل‌های لغزشی کل حوضه،  $C$  تعداد پیکسل‌های هر زیرکلاس از فاکتورهای مؤثر در لغزش،  $D$  تعداد کل پیکسل‌های یک منطقه

نمود (۲۶). تئوری دمپسترشیفر به عنوان تئوری تابع اعتقادات شناخته می‌شود که خود تعمیمی است از تئوری بیزین که مبتنی بر احتمالات می‌باشد. از آنجایی که تئوری بیزین برای هر سوال نیازمند احتمالات است، بنابراین توابع اعتقادی بیانگر درجه اعتقادات برای یک سوال یا یک احتمال مربوط به آن می‌باشد. این درجه اعتقاد ممکن است خواص ریاضی احتمالات را داشته یا نداشته باشد. این که چقدر ممکن است از احتمالات متفاوت باشد وابسته به قرابت دو سوال مطرح شده دارد (۱۶). این تئوری بسیار مورد توجه پژوهشگران هوش مصنوعی به ویژه در اوایل سال ۱۹۷۶ قرار گرفته است، زمانی که آن‌ها سعی کردند از تئوری احتمالات در سیستم‌های خبره استفاده کنند. درجات اعتقاد تئوری دمپسترشیفر بسیار مشابه تئوری فاکتور اطمینان بوده و این تشابه، منجر شده که ترکیب این دو تئوری دارای انعطاف‌پذیری زیادی هم‌چون قوانین مبتنی بر سیستم باشد. تئوری دمپسترشیفر در واقع یک چارچوب ریاضی برای توصیف داده‌های ناقص تهیه می‌کند (۴ و ۱۹). به‌طور کلی برای تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش از رابطه‌های ۳ تا ۷ استفاده گردید (۲۱).

$$\lambda(T_p)_{E_{ij}} = \frac{\frac{N(L \cap E_{ij})}{N(L)}}{\frac{N(E_{ij}) - N(L \cap E_{ij})}{N(A) - N(L)}} \quad (۳)$$

$$\lambda(\bar{T}_p)_{E_{ij}} = \frac{\frac{N(L) - N(L \cap E_{ij})}{N(L)}}{\frac{N(A) - N(L) - N(E_{ij}) + N(L \cap E_{ij})}{N(A) - N(L)}} \quad (۴)$$

$$m(T_p)_{E_{ij}} = \frac{\lambda(T_p)_{E_{ij}}}{\sum \lambda(T_p)_{E_{ij}}} \quad (۵)$$

$$m(\bar{T}_p)_{E_{ij}} = \frac{\lambda(\bar{T}_p)_{E_{ij}}}{\sum \lambda(\bar{T}_p)_{E_{ij}}} \quad (۶)$$

**نتایج**

در این پژوهش به ارزیابی مقایسه‌ای روش‌های دمپسترشیفر و نسبت فراوانی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه سرخون کارون پرداخته شده است. بدین‌منظور نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، با نقشه‌های عامل‌های تأثیرگذار بر رخداد زمین‌لغزش تلفیق‌شده و تراکم سطح لغزش‌ها در هر یک از طبقه‌های عامل‌های تأثیرگذار به‌دست آمد، سپس وزن هر یک از کلاس‌ها با بهره‌گیری از مدل‌های دمپسترشیفر و نسبت فراوانی به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده در جدول ۱ نشان داده شده است.

می‌باشد، E درصد رخداد لغزش در هر زیرکلاس از فاکتورهای مؤثر و F درصد نسبی مساحت هر زیر کلاس از کل مساحت می‌باشد. برای به‌دست آوردن شاخص حساسیت به رخداد زمین‌لغزش نتایج فاکتورها در محیط GIS با یکدیگر جمع می‌گردد (رابطه ۹) (۱۵).

$$LSI = \sum (FR)_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

که در آن، LSI شاخص پتانسیل رخداد زمین‌لغزش، FR نسبت فراوانی فاکتور و n مجموع فاکتورهای ورودی است.

جدول ۱- ارتباط بین هر یک پارامترهای مؤثر در لغزش با زمین‌لغزش‌ها با روش‌های نسبت فراوانی و دمپسترشیفر.

**Table 1. Relationship between each landslide conditioning factor and landslides by Dempster-Shafer & FR.**

پارامترها Predisposing factor	کلاس Class	تعداد کل پیکسل‌ها Total number of pixels		پیکسل‌های وقوع لغزش Landslide occurrence pixels		$m(T_p)_{B_{ij}}$	$m(\bar{T}_p)_{B_{ij}}$	$m(\theta)$	FR
		Count	%	Count	%				
جهت شیب Aspect	شمال North	31786200	9.6	517500	6.5	0.21	0.11	0.67	0.6
	شمال‌شرق Northeast	40010400	12.1	768600	9.6	0.16	0.11	0.71	0.7
	شرق East	36531000	11.1	612900	7.7	0.11	0.12	0.75	0.6
	جنوب‌شرق Southeast	48771900	14.8	1496700	18.8	0.09	0.13	0.77	1.2
	جنوب South	55124100	16.7	1428300	17.9	0.08	0.12	0.78	1.0
	جنوب‌غرب Southwest	50105700	15.2	1879200	23.6	0.08	0.12	0.78	1.5
	غرب West	38437200	11.6	817200	10.2	0.10	0.12	0.76	0.8
	شمال‌غرب Northwest	28098000	8.5	422100	5.3	0.14	0.12	0.73	0.6
فاصله از آبراهه (متر) Distance To rivers (m)	0-200	92626200	28.1	3040200	38.2	0.31	0.17	0.51	1.3
	200-500	98073000	29.8	2173500	27.3	0.21	0.20	0.57	0.9
	500-700	68094900	20.6	1604700	20.2	0.20	0.20	0.58	0.9
	700-1000	46922400	14.2	880200	11	0.17	0.20	0.61	0.7
	>1000	23280300	7	243900	3	0.09	0.20	0.69	0.4
فاصله از گسل (متر) Distance To faults (m)	0-500	155218500	47.1	3370500	42.4	0.33	0.19	0.47	0.9
	500-1500	117221400	35.6	3561300	44.8	0.29	0.17	0.53	1.2
	1500-2500	31230900	9.4	464400	5.8	0.20	0.21	0.57	0.6
	2500-3500	14684400	4.4	503100	6.3	0.13	0.20	0.65	1.4
	>3500	10882800	3.3	43200	0.5	0.03	0.20	0.75	0.1
کاربری اراضی Land use	کشاورزی agriculture	7616700	2.3	211500	2.6	0.08	0.08	0.83	1.1
	جنگل پراکنده lowforest	19740600	5.9	276300	3.4	0.04	0.08	0.87	0.5
	کشت دیم dryfarming	7898400	2.3	1302300	16.3	0.69	0.07	0.23	6.8

ادامه جدول ۱-۱

Continue Table 1.

پارامترها Predisposing factor	کلاس Class	تعداد کل پیکسل‌ها Total number of pixels		پیکسل‌های وقوع لغزش Landslide occurrence pixels		$m(T_p)_{B_{ij}}$	$m(\bar{T}_p)_{B_{ij}}$	$m(\theta)$	FR
		Count	%	Count	%				
	مخلوط (جنگل و مرتع) mix(lowforest_x)	176339700	53.5	4203000	52.9	0.07	0.08	0.84	0.9
	جنگل متوسط modforest	99262800	30.1	1801800	22.6	0.05	0.09	0.85	0.7
	مرتع متوسط modrange	222300	0.0	0	0.0	0.00	0.08	0.91	0.0
	باغ orchard	3357900	1.0	22500	0.2	0.01	0.08	0.89	0.2
	کشاورزی agriculture	7616700	2.3	211500	2.6	0.08	0.08	0.83	1.1
کاربری اراضی Land use	مرتع فقیر poorange	989100	0.3	0	0.0	0.00	0.08	0.91	0.0
	ارتفاعات بایر woodland1	72000	0.0	0	0.0	0.00	0.08	0.91	0.0
	شهری urban	1751400	0.5	900	0.0	0.00	0.08	0.91	0.0
	کشاورزی و باغ orch_agri	225900	0.0	0	0.0	0.00	0.08	0.91	0.0
	صخره rock	11761200	3.5	124200	1.5	0.03	0.08	0.88	0.4
سنگ شناسی Lithology	دولومیت ضخیم Thick dolomite	23851800	7.1	174600	2.1	0.04	0.09	0.86	0.3
	آهک ضخیم thick Lime	11754000	3.5	51300	0.6	0.02	0.09	0.88	0.1
	آهک نازک thin Lime	8960400	2.7	14400	0.1	0.00	0.09	0.89	0.0
	تناوب آهک و مارن The frequency of limestone and marl	14994000	4.5	625500	7.8	0.26	0.08	0.64	1.7
	آهک خاکستری Gray limestone	167807700	50.6	4598100	57.4	0.16	0.07	0.75	1.1
	مارن خاکستری Gray marl	8547300	2.5	129600	1.6	0.09	0.09	0.81	0.6
	مارن و ماسه‌سنگ Marl and sandstone	9318600	2.8	99900	1.2	0.06	0.09	0.84	0.4
کنگلومرا Conglomerate	49131900	14.8	1334700	16.6	0.16	0.08	0.74	1.1	



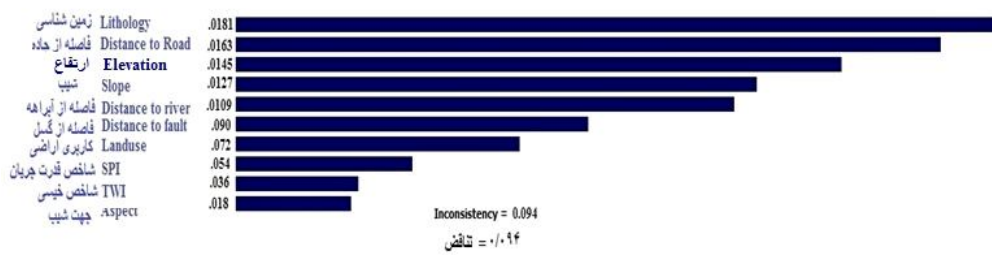
ادامه جدول ۱-۱

Continue Table 1.

پارامترها Predisposing factor	کلاس Class	تعداد کل پیکسل‌ها Total number of pixels		پیکسل‌های وقوع لغزش Landslide occurrence pixels		$m(T_p)_{B_{ij}}$	$m(\bar{T}_p)_{B_{ij}}$	$m(\theta)$	FR
		Count	%	Count	%				
	تراس‌های قدیمی Old terrace	35722800	10.7	980100	12.2	0.16	0.08	0.74	1.1
	دولومیت خاکستری Gray dolomite	999000	0.3	0	0.0	0.00	0.09	0.90	0.0
	ژیپس و مارن قرمز Gypsum and red marl	433800	0.1	0	0.0	0.00	0.09	0.90	0.0
فاصله از جاده (متر) Distance To roads (m)	0-700	145143900	44	3726000	46.9	0.40	0.17	0.42	1.0
	700-1500	65314800	19.8	706500	8.8	0.20	0.19	0.59	0.4
	1500-3000	67203900	20.4	1669500	21	0.20	0.18	0.60	1.0
	3000-4500	34666200	10.5	1626300	20.4	0.08	0.22	0.68	1.9
	>4500	16909200	5.1	214200	2.6	0.10	0.20	0.69	0.5
شیب Slope	0-12	32934600	10	972000	12.2	0.16	0.21	0.62	1.2
	12-25	89812800	27.310	2137500	26.9	0.23	0.19	0.56	0.9
	25-40	96997500	29.4	2052000	25.8	0.20	0.19	0.59	0.8
	40-70	87029100	26.4	2232900	28.1	0.19	0.19	0.60	1.0
	>70	22090500	6.7	548100	6.9	0.18	0.20	0.60	1.02
شاخص خیزی TWI	10-15	82467000	25.0	1954800	24.6	0.18	0.21	0.59	0.9
	15-20	130901400	39.8	3668400	46.1	0.22	0.20	0.57	1.1
	20-25	6710400	2.04	180000	2.2	0.26	0.17	0.55	1.1
	>25	251100	0.07	1800	0.0	0.25	0.19	0.54	0.3
شاخص توان آبراهه SPI	0-300	32934600	10.0	113400	1.4	0.31	0.21	0.75	0.1
	300-600	89812800	27.3	711000	8.9	0.21	0.22	0.74	0.3
	600-900	96997500	29.4	5490000	69.1	0.20	0.25	0.66	2.3
	900-1200	87029100	26.4	1567800	19.7	0.17	0.22	0.58	0.7
	>1200	22090500	6.71	60300	0.75	0.09	0.08	0.25	0.1
ارتفاع Elevation (m)	<1500	63504900	19.3	1337400	16.8	0.17	0.20	0.62	0.8
	1500-2000	69987600	21.2	1593000	20.0	0.18	0.20	0.60	0.9
	2000-2500	75087000	22.8	2487600	31.3	0.27	0.17	0.54	1.3
	2500-3000	81501300	24.7	1597500	20.1	0.16	0.21	0.62	0.8
	>3000	38783700	11.7	927000	11.6	0.19	0.20	0.601	0.9

و نظرات کارشناسی شامل لیتولوژی، فاصله از جاده و ارتفاع به ترتیب با کسب امتیازات (۰/۱۸۱، ۰/۱۶۳، ۰/۱۴۵) می‌باشند و در مقابل عوامل SPI، جهت شیب و TWI به ترتیب با کسب امتیازات (۰/۰۱۸، ۰/۰۳۶، ۰/۰۵۴) کم‌ترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند. آیالا و یاماگیش (۲۰۰۵) نزدیکی به جاده را اولین و مؤثرترین عامل وقوع زمین‌لغزش معرفی کرده‌اند و عنوان کردند که اکثر زمین‌لغزش‌ها در فاصله ۰ تا ۱۰۰ متری از جاده‌ها متمرکز شده‌اند (۵). آیالو و همکاران (۲۰۰۵) در جزیره سادو ژاپن به ترتیب زمین‌شناسی، شیب و ارتفاع را از مهم‌ترین عوامل معرفی کرده‌اند (۶). اکگان و ترک (۲۰۱۰) در منطقه غرب ترکیه شیب را به‌عنوان مهم‌ترین عامل و جهت شیب را به‌عنوان کم‌اثرترین عامل معرفی کرده است (۷). روزس و همکاران (۲۰۱۱) در منطقه شرق آچایا در یونان مهم‌ترین عوامل را به ترتیب شیب، زمین‌شناسی و فاصله از رودخانه معرفی کرده‌اند (۲۴). پورقوسمی و همکاران (۲۰۱۱) طی پژوهشی در حوضه آبخیز هراز به این نتیجه رسیدند که لیتولوژی و شیب بیش‌ترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند (۲۲). بصیری دهکردی و همکاران (۲۰۱۴) طی پژوهشی در استان چهارمحال و بختیاری عامل فاصله از جاده را به‌عنوان مهم‌ترین عامل در وقوع زمین‌لغزش معرفی کرده‌اند (۸). عرب‌عامری و شیرانی (۲۰۱۶) که به ارزیابی روش‌های آماری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش پرداخته‌اند، عامل فاصله از جاده را به‌عنوان مؤثرترین عامل در وقوع زمین‌لغزش معرفی کرده‌اند (۲).

نتایج حاصل از بررسی ارتباط پارامترهای مؤثر در زمین‌لغزش با زمین‌لغزش‌ها نشان داد که در پارامتر ارتفاع، کلاس ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر بیش‌ترین درصد لغزش (۳۱/۳۲) و همچنین بیش‌ترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته است (۱/۳۷۲) و در مقابل کلاس ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر کم‌ترین تأثیر را داشته است. در پارامتر جهت شیب، جهت جنوب‌غرب دارای بیش‌ترین درصد زمین‌لغزش (۲۳/۶۶) و همچنین بیش‌ترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته است (۱/۵۵۳) که دلیل این امر را می‌توان به تأثیر شرایط محلی رطوبت به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در وقوع حرکات توده‌ای نسبت داد. در پارامتر فاصله از آبراهه، بیش‌تر لغزش‌ها (۳۸/۲۷ درصد) در کلاس ۰ تا ۲۰۰ متر اتفاق افتاده است و این کلاس بیش‌ترین تأثیر (۱/۳۶۰) را در وقوع زمین‌لغزش داشته است و با افزایش فاصله از آبراهه درصد لغزش‌ها کاهش پیدا می‌کند به‌طوری‌که در کلاس بیش‌تر از ۱۰۰۰ متر کم‌ترین درصد زمین‌لغزش و کم‌ترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش‌ها داریم. در پارامترهای فاصله از جاده و گسل نیز بیش‌ترین درصد زمین‌لغزش‌ها در کلاس کم‌ترین فاصله از جاده و گسل قرار گرفته است. نتایج حاصل از بقیه پارامترها در جدول ۱ نشان داده شده است. در این پژوهش وزن نسبی هر یک از پارامترها از طریق مقایسات زوجی کارشناسی و با استفاده از نرم‌افزار expert choice به‌دست آمده است (شکل ۱۲). نرخ سازگاری ۰/۰۸ بیانگر کارایی مطلوب مقایسات زوجی می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۱۲ مشاهده می‌گردد اصلی‌ترین عوامل در بروز زمین‌لغزش‌های این منطقه بر اساس مشاهدات میدانی



شکل ۱۲- وزن نسبی عوامل با استفاده از نرم‌افزار expert choice.  
Figure 12. The relative weight using expert choice software.

دمپسترشیفر با استفاده از شاخص‌های SCAI و FR در جدول ۲ و شکل‌های ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در هر دو مدل با افزایش حساسیت خطر از خیلی کم به خیلی زیاد مقادیر نسبت فراوانی (FR) روند صعودی داشته (شکل ۱۶) اما شاخص SCAI روند نزولی قابل توجه را نشان می‌دهد (شکل ۱۵) و نشان‌دهنده همبستگی بالای رده‌های خطر لغزش با مناطق لغزشی موجود و بازدیدهای میدانی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بنابراین از این نظر ترتیب تفکیک‌پذیری بین طبقات، مناسب ارزیابی گردید. این همبستگی بین رده‌های خطر لغزش با مناطق لغزشی در مدل نسبت فراوانی نسبت به مدل دمپسترشیفر نمود بارزتری دارد. طبق نتایج مدل نسبت فراوانی مقدار AUC بالاتری (۰/۹۲۷) را نسبت به مدل دمپسترشیفر (۰/۸۵۸) کسب نمود که این موضوع بیانگر همبستگی بالا بین نقشه خطر تهیه شده و نقشه پراکنش زمین لغزش و ارزیابی بهتر مدل نسبت فراوانی نسبت به مدل دمپسترشیفر می‌باشد. شکل ۱۷ نشان‌دهنده ارزیابی بهتر مدل نسبت فراوانی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نسبت به مدل دمپسترشیفر می‌باشد.

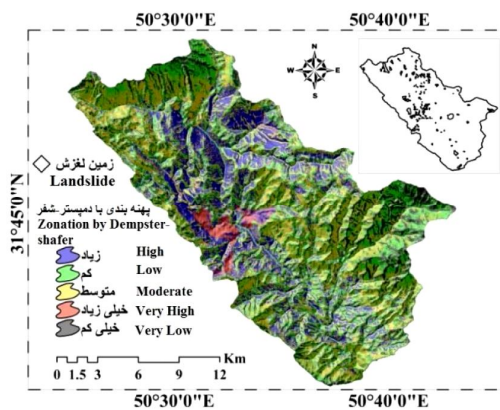
پس از تعیین وزن ۱۰ فاکتور مؤثر در وقوع زمین لغزش و ضرب آن در کلاس‌های عامل مذکور، نقشه‌های وزنی با هم جمع شده و نقشه نهایی حساسیت زمین لغزش بر اساس روش‌های دمپسترشیفر و نسبت فراوانی طبق رابطه‌های ۳ تا ۸ حاصل گردید، سپس نقشه مذکور بر اساس شکست‌های طبیعی (۳، ۲۵، ۲۷، ۲۸ و ۲۹) به پنج کلاس خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم‌بندی گردید. نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش نسبت فراوانی در شکل ۱۳ و با روش دمپسترشیفر در شکل ۱۴ نشان داده شده است. پس از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش اقدام به ارزیابی مدل‌ها گردید. در این پژوهش، با استفاده از منحنی ویژگی عملگر نسبی (ROC) صحت روش و با استفاده از نسبت فراوانی (FR)<sup>۱</sup> و شاخص سطح سلول هسته (SCAI)<sup>۲</sup> دقت تفکیک بین طبقات در مدل‌های دمپسترشیفر و نسبت فراوانی مورد بررسی و تأیید قرار گرفت. با توجه به این‌که برای ارزیابی مدل نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده نمود که در پهنه‌بندی استفاده شده‌اند (۹)، از بین نقاط لغزشی، ۷۰ درصد برای اجرای مدل و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت (۱۳). نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی بر مبنای مدل‌های نسبت فراوانی و

1- Frequency Ratio  
2- Seed Cell Area Index

جدول ۲- مقادیر نسبت فراوانی و شاخص سطح سلول هسته مناطق حساس زمین لغزش.

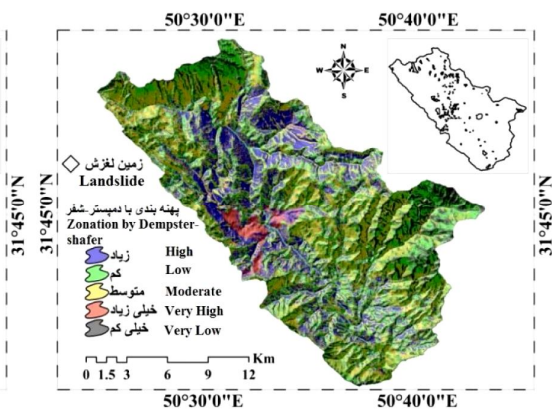
Table 2. Frequency Ratio (FR) and Seed Cell Area Index (SCAI) of landslide susceptibility zonation.

SCAI	Seed (%)	نسبت	مساحت	مساحت مناطق	مساحت	مساحت لغزش	مناطق حساس	مدل‌ها Models
		فراوانی (%) Frequency Ratio (FR) (%)	مناطق (%) Area of Zones (%)	(مترمربع) Area of Zones (m <sup>2</sup> )	لغزش (%) Landslide area (%)	(مترمربع) Landslide area (m <sup>2</sup> )	لغزشی Landslide Susceptibility Zones	
4.91	1.44	1.79	7.05	21128200	0.49	38700	خیلی کم Very Low	
4.27	4.79	1.08	20.45	67144500	4.73	375300	کم Low	
1.72	15.99	2.56	27.45	90113400	21.14	1679400	متوسط Moderate	نسبت فراوانی Frequency Ratio
1.53	18.25	2.69	27.94	91733400	24.57	1951200	زیاد High	
0.29	59.54	17.83	17.11	56160000	49.08	3897900	خیلی زیاد Very High	
4.36	6.89	0.167	30.06	98667000	22.23	1764900	خیلی کم Very Low	
3.31	4.16	0.558	13.78	45247500	6.15	488700	کم Low	
3.31	9.87	1.86	32.62	107091000	34.52	2741400	متوسط Moderate	دمپستر شایفر Dempster-Shafer
2.10	10.37	2.12	21.79	71543700	24.23	1924200	زیاد High	
0.03	68.71	6.94	1.75	5730300	12.86	1021500	خیلی زیاد Very High	



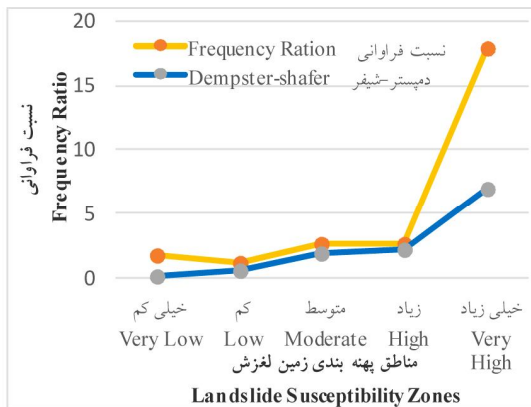
شکل ۱۴- نقشه حساسیت با روش دمپستر شایفر.

Figure 14. Zonation map by Dempster-shafer.

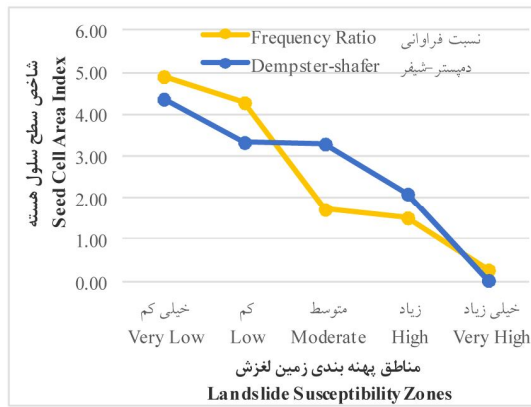


شکل ۱۳- نقشه حساسیت با روش FR.

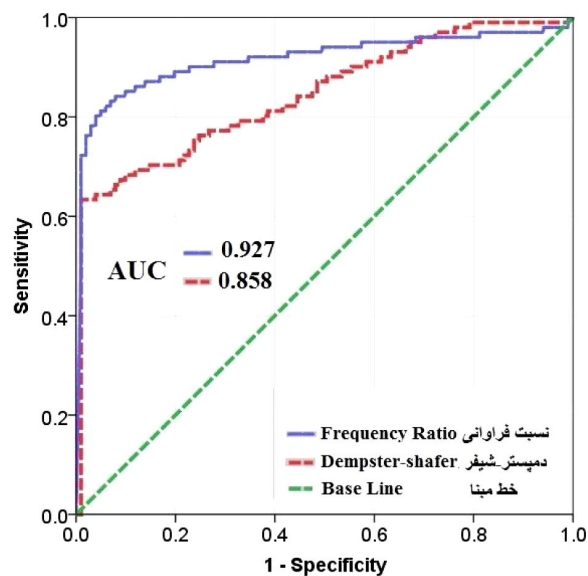
Figure 13. Zonation map by Frequency Ratio.



شکل ۱۶- روند شاخص FR در مدل‌ها.  
Figure 16. FR Index trend in models.



شکل ۱۵- روند شاخص SCAI در مدل‌ها.  
Figure 15. SCAI Index trend in models.



شکل ۱۷- منحنی ROC.  
Figure 17. ROC Curve.

ارتفاعی، شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت (TWI)، فاصله از جاده، کاربری اراضی، لیتولوژی و شاخص توان حمل جریان (SPI) به‌عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه انتخاب گردیدند و پس از اعمال روش‌های دمپسترشیفر و نسبت فراوانی نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی در پنج کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد حاصل گردید. پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی

### نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش به مقایسه کارایی روش‌های نسبت فراوانی و دمپسترشیفر در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه سرخون کارون پرداخته شده است. بدین‌منظور پس از تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش با استفاده از مطالعه ادبیات تحقیق، پیمایشات میدانی و تفسیر عکس‌های هوایی، لایه‌های اطلاعاتی فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، طبقات

به ارزیابی و صحت‌سنجی مدل‌ها با استفاده از منحنی ROC پرداخته شد. نتایج حاصل از صحت‌سنجی نشان داد که مدل نسبت فراوانی دارای کارایی و دقت بالاتری نسبت به مدل دمپسترشایفر جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی می‌باشد که با نتایج پژوهش‌های (۱۷ و ۲۵) مطابقت دارد. به‌منظور تعیین وزن معیارها از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده گردید. نتایج نشان داد که معیارهای لیتولوژی، فاصله از جاده و شیب بیش‌ترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. بر اساس نتایج حاصل از مدل نسبت فراوانی ۸/۲۱۱۲ هکتار (۷/۰۵ درصد) از منطقه در کلاس خطر خیلی‌کم، ۴/۶۷۱۴ هکتار (۲۰/۴۵ درصد) از منطقه در کلاس خطر کم، ۳/۹۰۱۱ هکتار

۲۷/۴۵ درصد) از منطقه در کلاس خطر متوسط، ۳/۹۱۷۳ هکتار (۹۴/۲۷ درصد) از منطقه در کلاس زیاد و در نهایت ۵۶۱۶ هکتار (۱۱/۱۷ درصد) از منطقه در کلاس خیلی‌زیاد قرار گرفته است. با توجه به این‌که در منطقه مطالعاتی پارامترهای لیتولوژی و فاصله از جاده بیش‌ترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش‌ها داشته‌اند پیشنهاد می‌گردد از ساخت‌وساز بر روی سازندهای حساس به زمین‌لغزش و در حریم جاده جدا جلوگیری گردد. با توجه به دقت بالای روش نسبت فراوانی در شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش استفاده از آن در تهیه نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش توصیه می‌گردد.

#### منابع

1. Arabameri, A.R., and Shirani, K. 2016. Identification of Effective Factors on Landslide Occurrence and its Hazard Zonation Using Dempster-Shafer theory (Case study: Vanak Basin, Isfahan province). *J. Water. Engin. Manage.* 8: 1. 93-106. (In Persian)
2. Arabameri, A.R., and Shirani, K. 2016. Prioritization of Effective Factors on Landslide Occurrence and its Susceptibility Zonation Using Statistical Methods, A Case Study: Vanak catchment. *Geodynamics Research International Bulletin.* 3: 5. 22-38. (In Persian)
3. Arabameri, A.R., and Halabian, A.H. 2016. Landslide Hazard Zonation Using Statistical Model of AHP (Case study: Zarand Saveh Basin). *Physical Geomorphology.* 28: 65-86. (In Persian)
4. An, P., Moon, W.M., and Bonham-Carter, G.F. 1994. Uncertainty management in integration of exploration data using the belief function. *Nonrenewable Resources.* 3: 60-71.
5. Ayalew, L., and 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.
6. Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., and Kanno, T. 2005. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. *Eng. Geol.* 81: 432-445.
7. Akgun, A., and Tu'rk, N. 2010. Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environ. Earth. Sci.* 61: 595-611.
8. Basiri Dehkordi, H., Naderi Khorasgani, M., and Mohammadi, J. 2014. Landslide Hazard Zonation in Ardal County (Chaharmahal va Bakhtiari province, Iran) Using Analytical Hierarchy Process (AHP). *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water and Soil Sci.* 17: 73-82. (In Persian)
9. Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M.C., and Vlaicu, M. 2011. Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). *Environ. Earth Sci.* 63: 397-406.
10. Chen, W., Pourghasemi, H.R., and Zhao, Z. 2016. A GIS-based comparative study of Dempster-Shafer, logistic regression and artificial neural network models for landslide susceptibility mapping. *Geocarto international.* DOI:10.1080/10106049.2016.1140824.

11. Dempster, A.P. 1967. Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping. *Annals of Mathematical Statistics*. 38: 325-339.
12. Garfi, G., and 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.
13. Guzzetti, F., Mondini, A.C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., and Chang, K.T. 2012. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*. 112: 42-66.
14. Kanungo, D.P., Arora, M.K., Sarcar, S., and Gupta, R.P. 2006. A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation In Darjeeling Himalayas. *Engineering Geology*. 85: 347-366.
15. Lee, S., and Pradhan, B. 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*. 4: 33-41.
16. Moradi, H.R., Majid, M., Pourghasemi, H.R., and Mostafazade, R. 2010. Analysis of Landslide Hazard in Golestan province Using Dempster-shafer theory. *Earth Science Researches*. 3: 1-14. (In Persian)
17. Mohammady, M., Pourghasemi, H.R., and Pradhan, B. 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan province, Iran: A comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer and weights-of-evidence models. *J. Asi. Earth Sci.* 61: 221-236.
18. Mousavi Khatir, S.Z., Kaviani, A., and Hashemzadeh Atoei, A. 2009. Statistical Analysis of Some Morphometric Characteristics and Effective Factors on Landslide Occurrence in Sajarood Watershed. *Water and Soil Conservation*. 16: 2: 85-103. (In Persian)
19. Neuhauser, B., and 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.
20. Organization of The forests, pastures and Watershed Management, 2010.
21. Park, N.W. 2011. Application of Dempster-Shafer theory of evidence to GIS-based landslide susceptibility analysis. *Environ. Earth Sci.* 62: 367-376.
22. Poorghasemi, H.R., Moradi, H.R., Fatemi Oghda, S.M., MahdaviFar, M.R., and Mohammadi, M. 2011. Evaluation of geomorphological and geological parameters in landslide hazard mapping using fuzzy logic and AHP method (Case study: a part of Haraz Watershed). *Water and Soil Conservation*. 18: 4. 1-20. (In Persian)
23. Pedram, H. 1998. A preliminary study of rock avalanche of Kino mountain (Abikar village) Labad-Bazoft Region, Chaharmahal va Bakhtiari, Proceedings of the conference of Earth Sciences. *Geological Survey*. 3: 105-110. (In Persian)
24. Rozos, D.G., Bathrellos, D., and 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.
25. Regmi, A.D., Devkota, K.C., Yoshida, K., Pradhan, B., Pourghasemi, H.R., Kumamoto, T., and Akgun, A. 2014. Application of frequency ratio, statistical index and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya. *Arab. J. Geosci.* 7: 725-742.
26. Shafer, G. 1976. A mathematical theory of evidence. Princeton University Press. 302p.
27. Shirani, K., Hajihashemijazi, M.R., Niknezhad, S.A., and Rakhsha, S. 2012. Landslide Risk Zoning Potential by Analytical Hierarchy Process (AHP) and Multivariate Regression (MR) (Case study: Upstream of North Karoon Basin). *J. Range Water. Manage. Iran. J. Natur. Resour.* 3: 395-409. (In Persian)
28. Shirani, K., and Seif, A. 2012. Investigation of Effective Parameters on Mass Movement by Using of Landslide Hazard Zonation Maps (Case study: Northern Karoon Basin). *Sci. Quar. J. Geosci.* 85: 149-158. (In Persian)

29. Shirani, K., and Arabameri, A.R. 2015. Landslide Hazard Zonation Using Logistic Regression Method (Case study: Dez-e-Oulia Basin). *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water and Soil Sci.*, Isf. Univ. Technol. Isf. Iran. 72: 321-334. (In Persian)
30. Singhroy, V., Glenn, N., and Ohkura, H. 2004. Landslide hazard team report of the CEOS disaster management support group. CEOS Disaster Information Server. National Academy Press, Washington, D.C. 4: 130-132.
31. Tangestani, M. 2009. A comparative study of Dempster–Shafer and fuzzy models for landslide susceptibility mapping using a GIS: An experience from Zagros. *J. Asi. Earth Sci.* 35: 66-73.
32. Varnes, D.J. 1984. Landslide hazard zonation: A review of Principles and Practice, UNESCO, France, 63p.
33. Wu, W., and Sidle, R.C. 1995. A distributed slope stability model for steep forested basins. *Water Research.* 31: 2097-2110.





## **Landslide land capability zonation using Dempster-shafer and frequency ratio models**

**\*A.R. Arabameri<sup>1</sup>, K. Shirani<sup>2</sup> and Kh. Rezaei<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>PhD Student of Geomorphology, Faculty of Geomorphology, Tarbiat Modarres University and Teacher of the Faculty of Earth Sciences, Damghan University, <sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Conservation and Watershed Management Research, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran, <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Geology, Kharazmi University, Tehran, Iran

Received: 05/22/2016; Accepted: 09/06/2017

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Landslides are significant natural geologic hazard around the world. Expansion of urban and man-made structures into potentially hazardous areas leads to extensive damage to infrastructure and occasionally results in loss of life every year. Identification of factor affecting existing of landslide as well as its zonation in the given watershed is one of the basic tools for landslide control and selection of appropriate and effective solution as well. Thus, a research study with objective of recognizing factor affecting landslide and determination of lands with hypothential to its occurrence was conducted to prepare landslide zonation map for the Sorkhoon watershed using Dempster-shafer and frequency ratio models.

**Materials and Methods:** To reach this goal, after preparing of Landslide inventory map using field survey and aerial photo interpretation, data layers of distance from stream, distance from faults, elevation, slope, aspect, Topography wetness index (TWI), distance from roads, land use, lithology and Stream Power index (SPI) as Factors affecting landslides were selected and after applying Dempster-shafer and frequency ratio methods the final Landslide Hazard zoning was prepared. For calculating of weight of affective factors, was used the analytic hierarchy process in the software of expert choice. To validation of used methods the ROC curve was used.

**Results:** The main factors that caused the landslides in this area based on field observations and Expertise opinions include lithology, distance from roads and slope, respectively, with scores (0.181, 0.163, 0.145) and vis-à-vis factors of elevation, slope and topography wetness index (TWI) respectively with scores (0.018, 0.036, 0.054) have the lowest impact on landslides. According to the results, frequency ratio models have obtained higher AUC (0.927) as compared to the Dempster-shafer (0.858) that shows the high correlation between hazard map and distribution map landslide inventory map and better evaluation of frequency ratio toward Dempster-shafer model.

**Conclusion:** The results of the validation showed that the frequency ratio model has higher efficiency and accuracy toward Dempster-shafer model for preparing of zonation map. Based on the results of the frequency ratio model 21128200 square meters (7.05 percentage) of the region located in the very low risk class, 67,144,500 square meters (20.45 percentage) of the area located in the low risk class, 90,113,400 square meters (27.45 percentage) located in the moderate Risk class, 91733400 square meters (27.94 percentage) of the area located in the high class and finally 56.160000 square meters (17.11 percentage) of the area located in the very high risk class.

**Keywords:** Landslide, Zonation, Dempster-shafer model, Frequency ratio model, Validation

---

\* Corresponding Author; Email: [alireza.ameri91@yahoo.com](mailto:alireza.ameri91@yahoo.com)

