

ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از نظریه‌ی دمپستر- شيفر (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز تالار)

زهرا سیلاخوری: دانش‌آموخته گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ساری، ساری
 قربان وهاب‌زاده کبریا*: دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ساری، ساری
 حمیدرضا پورقاسمی: دانشیار بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه‌ی مقاله: (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۶)

DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.3.3.5

چکیده

زمین لغزش یکی از انواع ناپایداری‌های دامنه‌ای است که هر ساله خسارت‌های مالی و تلفات جانی فراوانی را بر زندگی انسان‌ها وارد می‌کند و از جنبه‌های مختلف ژئومورفولوژی، فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز مهم تلقی می‌شود. در این تحقیق عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش از قبیل شیب، شکل شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، شاخص حمل رسوب و شاخص رطوبت توپوگرافی منطقه بررسی شد. سپس با استفاده از تئوری دمپستر- شيفر، نقشه‌ی خطر زمین لغزش در بخشی از حوزه آبخیز رودخانه‌ی تالار تهیه شد. به منظور ارزیابی روش دمپستر- شيفر نیز از منحنی ROC استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین درصد حساسیت به زمین لغزش‌ها در طبقه‌ی شیب ۱۵-۵ در جهت‌های غرب، جنوب و جنوب غرب در ارتفاع ۱۰۰۰-۵۰۰ و کاربری جنگل و در فاصله‌ی کم از جاده، آبراهه و گسل صورت گرفته است. همچنین بیشترین درصد زمین لغزش، مربوط به کلاس ۰/۳-۰/۱ شاخص NDVI است. شاخص‌های طول شیب و رطوبت توپوگرافی نیز روند مشخصی نشان ندادند. در نهایت، نقشه‌ی حساسیت خطر زمین لغزش در منطقه نیز به ترتیب در کلاس‌های حساسیت کم ۱۶/۵۳ درصد، متوسط ۳۳/۳۳ درصد، زیاد ۳۳/۹۴ درصد و خیلی زیاد ۱۶/۱۸ درصد قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: تئوری دمپستر- شيفر، حوزه آبخیز تالار، نقشه خطر زمین لغزش، ROC.

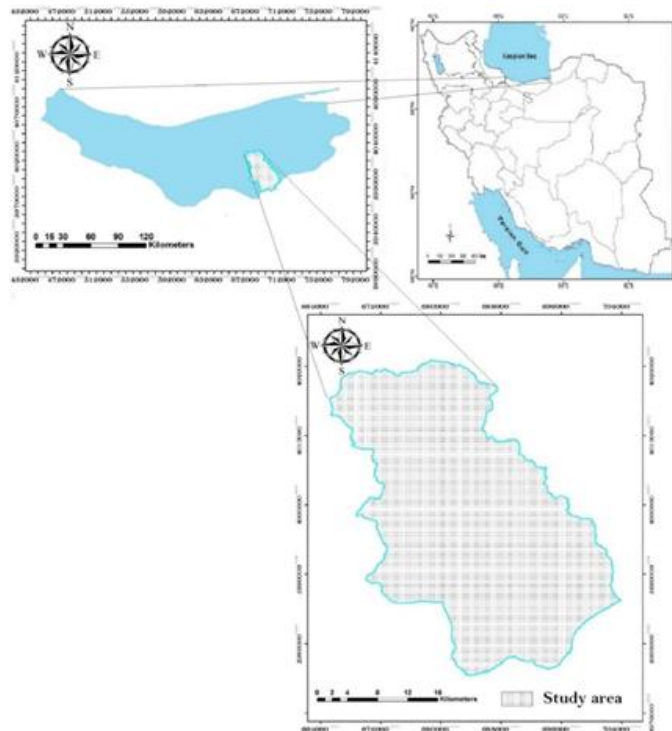
۱- مقدمه

زمین‌لغزش‌ها خطرات طبیعی است که باعث تخریب طبیعت می‌شود، به منابع طبیعی آسیب جدی می‌رساند و از دست دادن زندگی و اموال انسانی را در پی دارد (Intarawichian and Dasananda, 2012 & Feizizadeh et al, 2013). با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در تجزیه و تحلیل خطر و مدیریت ریسک زمین‌لغزش، همچنان این خطر طبیعی تهدیدی واقعی برای زندگی و دارایی‌های مردم مناطق کوهستانی به شمار می‌رود (Goetz et al, 2011). از جمله عوامل طبیعی مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها می‌توان به عواملی نظیر بارندگی، سنگ‌شناسی، درجه‌ی شیب و مانند آن اشاره کرد (Talebi and Niazi, 2011). به طور کلی، ایران به دلیل داشتن شرایط مساعد جغرافیایی، فقدان مدیریت جامع محیط و عدم رعایت آستانه‌های محیطی، کشوری پرخطر به شمار می‌رود؛ به طوری که از حدود ۴۳ خطر طبیعی و تا حدی با دخالت انسان، تقریباً ۳۸ خطر در ایران شناسایی و ثبت شده و به دلیل تعدد، تنوع، تکرار و شدت وقوع خطرات طبیعی و ناآرامی محیط، در ردیف ۱۰ کشور بلاخیز جهان قرار گرفته‌است (Mohammadi et al, 2004). در تحقیقات اخیر، توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای درک صحیح مکانیسم‌های آن قابل توجه بوده‌است. Youssef و همکاران (۲۰۱۵) برای تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش در حوزه‌ی Wadi Itwad در قسمت جنوب غربی عربستان سعودی، از مدل آماری احتمالاتی و دو متغیره‌ی آماری و مقایسه‌ی عملکرد آنها استفاده کردند. در این تحقیق از عواملی چون ارتفاع، درجه‌ی شیب، طول شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، سنگ‌شناسی، بارش و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده نیز استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که دقت این مدل‌ها در تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش بسیار بالا بود و منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر حساسیت به زمین‌لغزش، به پنج طبقه‌ی حساس تقسیم شد. Zhu و همکاران (۲۰۱۴) برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش در چین، از مدل منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند. نتایج نشان داد که دقت این مدل در پهنه‌بندی زمین‌لغزش بسیار بالاست و منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر حساسیت به زمین‌لغزش، به چهار طبقه‌ی حساسیت تقسیم شده‌است. Mohammady و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از سه مدل آماری نسبت فراوانی، دمپستر- شيفر و مدل وزن واقعه، به پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در قسمت جنوبی استان گلستان پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که سطح زیر منحنی برای مدل‌های نسبت فراوانی، دمپستر- شيفر و وزن واقعه به ترتیب ۸۰/۱۳، ۷۸/۳۲ و ۷۴/۶۰ درصد و دقت پیش‌بینی به ترتیب ۷۵٪، ۷۳٪ و ۶۹٪ است. نتایج ارزیابی نشان داد که هر سه مدل، در پهنه‌بندی زمین‌لغزش دقت مناسبی دارند و از نقشه‌ی حاصل می‌توان برای برنامه‌ریزی آمایش سرزمین استفاده کرد. Zareh و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از تئوری دمپستر- شيفر و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، به تحلیل زمین‌لغزش در حوزه آبخیز ماسوله پرداختند. آنها ۱۴ لایه‌ی اطلاعاتی مرتبط با پدیده‌ی زمین‌لغزش را در نظر گرفتند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که عوامل سازند زمین- شناسی و فاصله از آغل، در ایجاد خطر زمین‌لغزش منطقه نقش مهمی داشته‌است. نتایج ارزیابی تئوری دمپستر- شيفر با استفاده از روش ROC، دقت بالایی را برای تحلیل خطر زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد. Ehsanifar (2011)، خطر وقوع زمین‌لغزش در حوزه آبخیز تجن را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و دخالت عواملی چون ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت شیب، شکل شیب، طبقات بارش، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری اراضی، لیتولوژی و ضریب سطح، مدل‌سازی و ارزیابی کرد. Moradi و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از تلفیق

یکپارچه‌ی داده‌ها بر اساس تئوری دمپستر - شیفر، به پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در استان گلستان پرداختند. در این تحقیق برای بررسی دقت مدل، از روش ROC و سطح زیر منحنی استفاده شد. ارزیابی مدل نیز نشان داد که تئوری دمپسترشیفر برای تحلیل حساسیت زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه دقت قابل قبولی دارد. Mottakan و همکاران (2009)، به پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش در حوزه آبخیز لاجیم ساری با دخالت عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش پرداختند و از مدل منطق فازی و تکنیک سنجش از دور استفاده کردند. در این مطالعه، مدل فازی نسبت به سایر مدل‌ها از کمترین انحراف معیار و بالاترین دقت برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در منطقه برخوردار بود. نتایج به دست آمده نشان داد که عامل کاربری اراضی و زمین‌شناسی، بیشترین تأثیر را بر وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه دارد. Chenari Saber و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از تئوری دمپستر - شیفر، به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز زیارت در استان گلستان پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر آن است که در این روش، عامل لیتولوژی با سطح زیر منحنی ۰/۹۲/۹ بیشترین دقت را به دست آورده‌است. علاوه بر این، Arab Ameri و همکاران (۲۰۱۷) نیز با روش‌های دمپستر - شیفر و نسبت فراوانی، به پهنه‌بندی استعداد اراضی نسبت به وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی سرخون کارون پرداختند. نتیجه‌ی این پژوهش حاکی از آن است که عوامل لیتولوژی، فاصله از جاده و ارتفاع به ترتیب با ۰/۱۸۱، ۰/۱۶۳ و ۰/۱۴۵ بیشترین امتیازات را کسب کردند. هدف از این تحقیق، تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از تئوری بیزین در بخشی از حوزه آبخیز رودخانه‌ی تالار واقع در استان مازندران است. این روش از جمله روش‌های نوینی است که امروزه از آن برای تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی استفاده می‌شود.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

حوزه آبخیز رودخانه‌ی تالار، در شهرستان‌های سوادکوه و قائمشهر استان مازندران در بخش مرکزی رشته کوه البرز قرار دارد. این حوزه از نظر موقعیت جغرافیایی، بین طول‌های "۲۶° ۵۲' ۵۲" تا "۴۲° ۱۵' ۵۳" شرقی و عرض‌های "۲۱° ۵۴' ۳۵" تا "۵۷° ۱۸' ۳۶" شمالی واقع شده‌است و مساحتی در حدود ۹۸۱ کیلومتر مربع دارد. حوزه آبخیز تالار از شمال به کوه ورزاک، از جنوب به کوه‌های زرشک‌دره و هلی‌چال، از شرق به روستاهای سنگده و ولیچال، و از غرب به معدن کارسنگ محدود می‌شود. ارتفاع کمینه و بیشینه در منطقه به ترتیب ۳۵ و ۳۵۲۰ متر است. تغییرات زیاد توپوگرافی، به ایجاد شرایط اقلیمی و پوشش‌های گیاهی خاص و متنوعی در منطقه منجر می‌شود؛ به طوری که بارش در فصول سرد در مناطق پست‌تر، به صورت باران و در ارتفاعات به صورت برف است. حوزه آبخیز تالار به دلیل موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های طبیعی و اقلیمی و تنوع بالای سنگ‌شناسی، برای بروز حرکات توده‌ای و به‌ویژه زمین‌لغزش استعداد زیادی دارد. خاک و آب و هوای مناسب منطقه، شرایط ویژه‌ای را برای کشاورزی بر روی اراضی و جذب توریست و افراد غیر بومی به منطقه فراهم کرده که این امر به تغییرات کاربری شدیدی در اراضی جنگل و مرتع و تبدیل آنها به اراضی کشاورزی و مسکونی منجر شده‌است که این موضوع خود می‌تواند در وقوع حرکات توده‌ای مؤثر باشد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی روش تحقیق

۳- مواد و روش

برای تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از تئوری دمپستر - شيفر، ابتدا با استفاده از بانک اطلاعات زمین‌لغزش کشور، اداره کل منابع طبیعی استان مازندران و مطالعات میدانی، نقاط لغزشی منطقه شناسایی شد. سپس در بازدیدهای میدانی، صحت اطلاعات جمع‌آوری شده ارزیابی و با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، به بررسی موقعیت نقاط لغزشی پرداخته شد و تعداد ۲۶ زمین‌لغزش جدید ثبت شد. در مجموع، تعداد ۱۳۴ نقطه‌ی لغزشی بررسی شد. در این تحقیق، ۱۲ لایه‌ی اطلاعاتی شامل نقشه‌ی ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب، درجه‌ی شیب، شکل شیب، فاصله از گسل، فاصله از جاده، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از آبراهه، شاخص حمل‌رسوب (STI)، شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI) و پوشش گیاهی تهیه و طبقه‌بندی شد. این امر با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، خاک‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای و IRS مربوط به سال ۲۰۱۲، در محیط نرم‌افزارهای ArcMap و ENVI صورت گرفت.

نظریه‌ی دمپستر - شيفر

نظریه‌ی شواهد دمپستر- شيفر، یکی از ابزارهای قدرتمند برای ترکیب کردن دسته‌بندها است که با اطلاعات و شرایط کمتری نسبت به بعضی از روش‌های ترکیب، خروجی مناسب‌تری دارد. از این نظریه به طور گسترده در زمینه‌های مختلف تصمیم‌گیری از جمله ادغام اطلاعات، تشخیص خطا، تحلیل ریسک و غیره استفاده می‌شود. قاعده‌ی ترکیب دمپستر- شيفر، دارای برخی از ویژگی‌های ریاضی از جمله جابه‌جایی و شرکت‌پذیری است. نقطه ضعف در این روش زمانی است که اطلاعات به دست آمده با هم سازگاری نداشته باشد که در آن صورت، نتایج غیرمنطقی خواهد بود. اگرچه پیاده‌سازی راحت و قابل انعطاف بودن این روش، استفاده‌ی گسترده از آن را در پی داشته‌است، همواره این

ضعف را داشته که اگر منابع اطلاعاتی ناسازگار باشد، نمی‌توان به نتیجه‌ی حاصل اعتماد زیادی کرد (2017 Behboodi). این تئوری که گاهی آن را نظریه‌ی شواهد نیز می‌نامند، می‌تواند به منزله‌ی نوعی نظریه‌ی احتمال مطرح شود که در آن عناصر فضای نمونه نقاط منفرد نیستند، بلکه نمایندگی نسبت مجموعه‌هایی از روابط تشخیص‌ناپذیر داخل شواهد را نشان می‌دهند (Ferson et al, 2004). دمپستر در سال ۱۹۶۸ و شیفر در ۱۹۷۶ این تئوری را توسعه دادند. این تئوری از سوی محققان هوش مصنوعی به ویژه در اوایل سال ۱۹۸۰ - زمانی که سعی کردند از تئوری احتمالات در سیستم‌های خبره استفاده کنند - بسیار قابل توجه قرار گرفت. تئوری دمپستر- شیفر به علت انعطاف‌پذیری نسبی، همواره قابل توجه بوده‌است. در واقع نظریه‌ی وقوع دمپستر - شیفر، یک چارچوب ریاضی را برای توصیف داده‌های ناقص تهیه می‌کند (An et al, 1994).

از این تئوری در تهیه‌ی نقشه‌ی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روابط ۱ تا ۵ استفاده می‌شود (Park, 2010). اگر فرض شود ۱، چندین لایه‌ی متعدد از داده‌های مکانی موجود در منطقه است که به زمین‌لغزش حساس می‌باشد، هر لایه از داده‌ی مکانی به صورت E_i ($i= 1, 2, 3, \dots, 1$) برای تابع هدف T_p در نظر گرفته می‌شود؛ به این ترتیب، E_{ij} به دست می‌آید که در آن، j ویژگی کلاس یا طبقه‌ای از E_i است که از موقعیت‌ها یا ویژگی‌های مثبت و منفی در بروز زمین-لغزش، توزیع فراوانی دارد. وزن مثبت با علامت $\lambda(T_p)E_{ij}$ نشان داده می‌شود و به صورت رابطه‌ی ۱ است:

$$\lambda(T_p)E_g = \frac{\frac{N(L \cap E_{ij})}{N(L)}}{N(A) - N(L)} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

$$\lambda(\bar{T}_p)E_v = \frac{\frac{N(L) - N(L \cap E_{ij})}{N(L)}}{N(A) - N(L) - N(E_{ij}) + N(L \cap E_{ij})} \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

$$E_g = \frac{\lambda(T_p)E_g}{\sum \lambda(T_p)E_g} m(T_p) \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

$$E_g = \frac{\lambda(\bar{T}_p)E_g}{\sum \lambda(\bar{T}_p)E_g} m(\bar{T}_p) \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

$$m(\theta) = 1 - m(T_p)E_g - m(\bar{T}_p)E_g \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

که در آنها $\frac{N(L \cap E_{ij})}{N(L)}$: 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؛

$m(\theta)$: تابع معقولیت؛

$m(\bar{T}_p)$: تابع ناباوری؛

$m(T_p)$: تابع باور.

ارزیابی روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تئوری دمپستر - شيفر

برای ارزیابی تئوری دمپستر- شيفر در تحلیل خطر زمین‌لغزش، از منحنی عملکرد نسبی یا روش کارایی نسبی متغیرها (ROC) استفاده می‌شود. آنالیز منحنی ROC، روشی برای تعیین دقت و کارایی مدل است (Egan, 1975 & Swets, 1988 & Williams et al, 1999). این منحنی از کارآمدترین روش‌ها در ارائه‌ی خصوصیات تشخیصی، شناسایی احتمالات و پیش‌بینی سیستم‌ها است که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند (Swets, 1988). سطح زیر منحنی ROC، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخداد (وقوع زمین‌لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین‌لغزش) آن است؛ بنابراین، از مساحت زیرمنحنی به صورت معیار دقت و صحت مدل استفاده می‌شود. در این تحقیق از بین ۱۳۴ نقطه‌ی لغزشی، تعدادی از نقاط برای مدل‌سازی و بخشی از آن نیز برای ارزیابی مدل (با نسبت حدودی ۷۰ به ۳۰ درصد) استفاده شد (Mathew et al, 2007 & Pourqasemi et al, 2009 & Constantin et al, 2010).

۴- یافته‌ها (نتایج)

نتایج حاصل از تلفیق نقشه‌های عامل، پراکنش لغزش‌ها و محاسبه‌ی وزن هر طبقه بر اساس تئوری دمپستر - شيفر، همچنین نقشه‌های مربوط به درجه‌های باور، ضدباور (ناباوری)، عدم قطعیت و معقولیت (مقبولیت) در زیر آمده‌است (جدول ۱ و شکل‌های ۲ و ۳).

جدول ۱: ارتباط بین عوامل مؤثر و رخداد زمین لغزش بر اساس تئوری دمپستر - شيفر

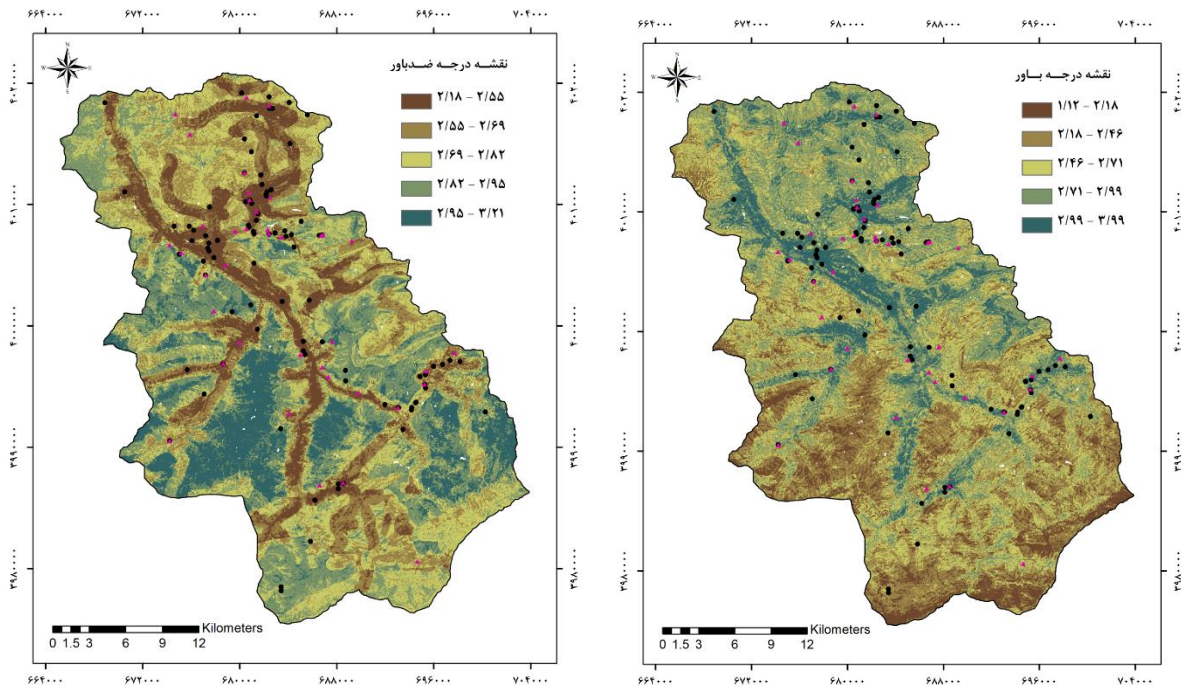
عامل	کلاس	تعداد پیکسل	تعداد لغزش	درجه‌ی باور	درجه‌ی ضدباور	درجه‌ی عدم قطعیت	درجه‌ی معقولیت
درجه‌ی شیب	<۵	۶۸۹۱۳۶	۸	۰/۲۹۱	۰/۱۹۷	۰/۵۱۱	۰/۸۰۲
	۵-۱۵	۱۹۸۰۱۴۷	۲۴	۰/۳۰۴	۰/۱۸۷	۰/۵۰۹	۰/۸۱۲
	۱۵-۳۰	۴۸۷۰۶۰۴	۴۹	۰/۲۵۲	۰/۱۹۱	۰/۵۵۷	۰/۸۰۹
	۳۰-۵۰	۲۱۴۵۲۵۵	۱۳	۰/۱۵۲	۰/۱۲۱	۰/۶۲۷	۰/۷۷۸
	>۵۰	۱۲۵۹۰۵	۰	۰/۰۰۰	۰/۲۰۳	۰/۷۹۷	۰/۷۹۶
جهت شیب	هموار	۴۱۰۵۲۳	۰	۰/۰۰۰	۰/۱۱۶	۰/۸۸۴	۰/۸۸۴
	شمال	۱۴۵۰۸۸۸	۶	۰/۰۵۰	۰/۱۲۲	۰/۸۲۸	۰/۸۷۷
	شمال شرقی	۱۲۳۶۶۰۹	۷	۰/۸۶۰	۰/۸۱۱	۰/۸۱۴	۰/۸۸۲
	شرق	۱۰۴۱۰۱۵	۱۰	۰/۵۱۱	۰/۱۱۱	۰/۷۷۴	۰/۸۸۸
	جنوب شرقی	۱۰۰۶۷۶۴	۱۰	۰/۹۱۱	۰/۱۱۱	۰/۷۷۰	۰/۸۸۹
	جنوب	۱۰۴۱۰۰۵	۱۷	۰/۱۹۶	۰/۱۰۲	۰/۷۰۲	۰/۸۹۸
	جنوب غربی	۱۰۸۶۷۱۲	۱۶	۰/۷۷۱	۰/۱۰۴	۰/۷۲۰	۰/۸۹۶
	غرب	۱۱۴۷۴۱۵	۱۸	۰/۸۸۱	۰/۱۰۲	۰/۷۱۰	۰/۸۹۸
	شمال غربی	۱۳۹۰۱۱۶	۱۰	۰/۸۶۰	۰/۱۱۶	۰/۷۹۸	۰/۸۸۴
	طبقه‌های ارتفاعی (متر)	>۵۰۰	۵۶۶۱۲۰	۱۳	۰/۴۷۴	۰/۱۳۲	۰/۳۹۴
۵۰۰-۱۰۰۰		۳۴۹۸۹۳۰	۵۳	۰/۳۱۳	۰/۰۹۸	۰/۵۹۰	۰/۹۰۲
۱۰۰۰-۱۵۰۰		۳۰۵۶۶۰۹	۲۲	۰/۱۴۹	۰/۱۶۰	۰/۶۹۱	۰/۸۳۹
۱۵۰۰-۲۰۰۰		۱۹۲۴۹۰۳	۶	۰/۰۶۴	۰/۱۶۸	۰/۷۶۸	۰/۸۳۲
۲۰۰۰-۲۵۰۰		۵۹۸۷۱۴	۰	۰/۰۰۰	۰/۱۵۳	۰/۸۴۷	۰/۸۴۶
۲۵۰۰-۳۰۰۰		۱۲۲۷۸۲	۰	۰/۰۰۰	۰/۱۴۶	۰/۸۵۴	۰/۸۵۴
>۳۰۰۰		۴۲۹۸۹	۰	۰/۰۰۰	۰/۱۴۴	۰/۸۵۶	۰/۸۵۵
کاربری اراضی	اراضی زراعی و باغها	۱۴۷۹۲۲۹	۷	۰/۱۵۳	۰/۲۸۱	۰/۵۶۵	۰/۷۱۸
	جنگل	۴۸۷۳۳۹۳	۶۴	۰/۴۲۵	۰/۱۶۴	۰/۴۱۱	۰/۸۳۶
	مناطق مسکونی	۴۷۳۴۹۳	۳	۰/۲۰۵	۰/۲۶۳	۰/۵۳۵	۰/۷۳۷
	مرتع	۲۹۸۴۹۳۲	۲۰	۰/۲۱۷	۰/۲۹۲	۰/۴۹۱	۰/۷۰۷

ادامه‌ی جدول ۱: ارتباط بین عوامل مؤثر و رخداد زمین‌لغزش بر اساس تئوری دمپستر - شیفر

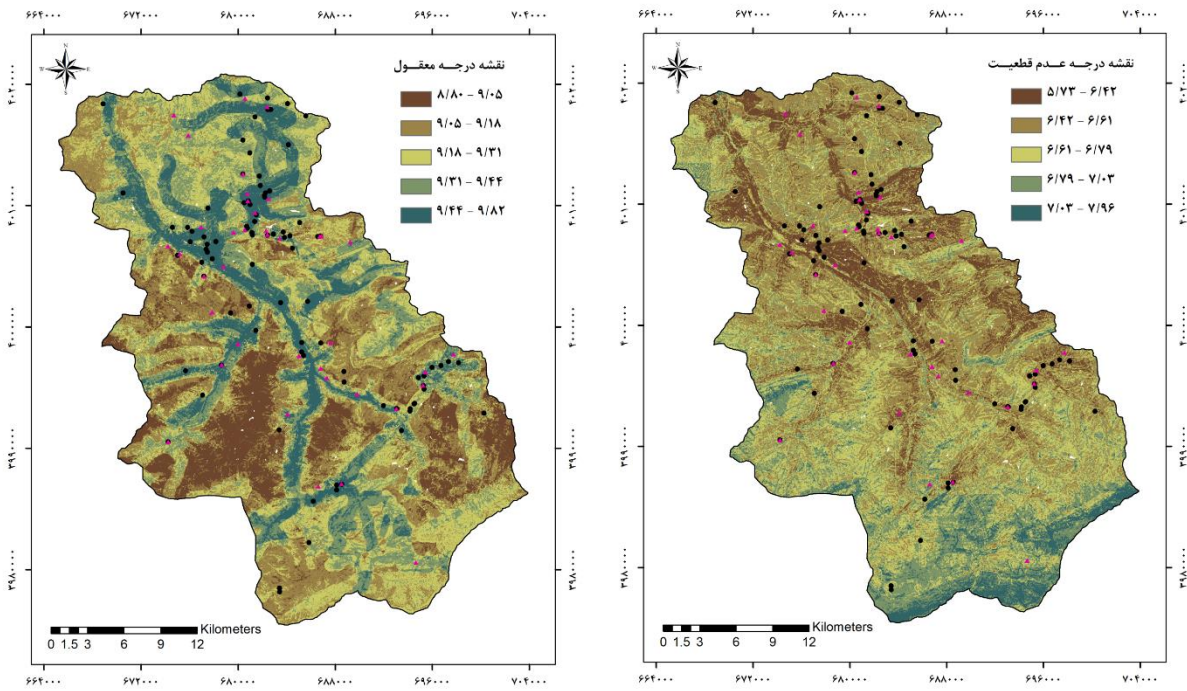
عامل	کلاس	تعداد پیکسل	تعداد لغزش	درجه‌ی باور	درجه‌ی ضدباور	درجه‌ی عدم قطعیت	درجه‌ی معقولیت
فاصله از گسل (متر)	۰-۱۰۰	۲۱۱۸۸۶۰	۲۵	۰/۲۳۵	۰/۱۸۷	۰/۵۷۸	۰/۸۱۳
	۱۰۰-۲۰۰	۱۷۴۹۸۱۸	۱۱	۰/۱۲۵	۰/۲۱۴	۰/۶۶۱	۰/۷۸۵
	۲۰۰-۳۰۰	۱۴۳۸۷۱۵	۱۸	۰/۲۴۹	۰/۱۸۹	۰/۵۶۲	۰/۸۱۱
	۳۰۰-۴۰۰	۱۱۲۰۷۱۱	۱۳	۰/۲۳۱	۰/۱۹۴	۰/۵۷۵	۰/۸۰۶
	>۴۰۰	۳۳۸۲۹۴۳	۲۷	۰/۱۵۹	۰/۲۱۷	۰/۶۲۴	۰/۷۸۳
فاصله از آبراهه (متر)	۰-۱۰۰	۱۵۹۱۹۱۳	۲۳	۰/۲۷۲	۰/۱۷۸	۰/۵۵۰	۰/۸۲۲
	۱۰۰-۲۰۰	۱۳۸۵۵۱۶	۱۳	۰/۱۷۷	۰/۱۹۸	۰/۶۲۷	۰/۸۰۲
	۲۰۰-۳۰۰	۱۲۸۸۶۳۵	۱۹	۰/۲۷۸	۰/۱۸۱	۰/۵۴۲	۰/۸۱۹
	۳۰۰-۴۰۰	۱۱۷۳۷۳۱	۹	۰/۱۴۴	۰/۲۰۲	۰/۶۵۳	۰/۷۹۷
	>۴۰۰	۴۳۷۱۲۵۲	۳۰	۰/۱۲۹	۰/۲۴۲	۰/۶۲۹	۰/۷۵۸
فاصله از جاده (متر)	۰-۱۰۰	۸۰۳۱۱۷	۲۰	۰/۲۴۸	۰/۱۲۸	۰/۶۲۳	۰/۸۷۱
	۱۰۰-۲۰۰	۶۹۱۵۰۶	۱۵	۰/۲۱۶	۰/۱۳۵	۰/۶۴۸	۰/۸۶۴
	۲۰۰-۳۰۰	۶۳۸۱۹۶	۱۲	۰/۱۸۷	۰/۱۴۰	۰/۶۷۳	۰/۸۶۰
	۳۰۰-۴۰۰	۶۰۰۰۷۷	۱۵	۰/۲۴۹	۰/۱۳۴	۰/۶۱۷	۰/۸۶۵
	۴۰۰-۵۰۰	۵۵۶۲۶۷	۳	۰/۰۵۴	۰/۱۵۴	۰/۷۹۳	۰/۸۴۶
	>۵۰۰	۶۵۲۱۱۸۴	۲۹	۰/۰۴۴	۰/۳۰۹	۰/۶۴۷	۰/۶۹۱
پوشش گیاهی	<۰/۱	۳۵۲۰۷۴	۲	۰/۱۳۱	۰/۲۳۶	۰/۶۳۳	۰/۷۶۳
	۰/۱-۰/۳	۱۴۵۵۷۰۵	۱۸	۰/۲۸۵	۰/۲۲۱	۰/۴۹۴	۰/۷۷۸
	۰/۳-۰/۵	۱۴۸۹۱۰۴	۲۷	۰/۴۱۸	۰/۱۹۶	۰/۳۸۶	۰/۸۰۴
	۰/۵>	۶۵۱۴۱۶۴	۴۷	۰/۱۶۶	۰/۳۴۷	۰/۴۸۷	۰/۶۵۳
شکل شیب	مقعر	۴۱۸۶۳۰۸	۴۲	۰/۴۱۴	۰/۳۲۷	۰/۲۵۹	۰/۶۷۲
	مسطح	۱۱۷۰۸۵۶	۴	۰/۱۴۱	۰/۳۶۹	۰/۴۹۰	۰/۶۳۱
	محدب	۴۴۵۳۸۸۳	۴۸	۰/۴۴۵	۰/۳۰۴	۰/۲۵۱	۰/۶۹۶
طول شیب	<۵/۶۶	۳۲۶۴۴۳۷	۳۴	۰/۳۱۷	۰/۲۴۰	۰/۴۴۲	۰/۷۵۹
	۱۱/۸۴-۵/۶۶	۳۴۷۰۵۷۸	۳۳	۰/۲۹۰	۰/۲۵۲	۰/۴۵۸	۰/۷۴۷
	۱۹/۶۲-۱۱/۸۴	۲۲۱۳۷۱۶	۲۶	۰/۳۵۸	۰/۲۳۵	۰/۴۰۷	۰/۷۶۵
	۴۵/۲۵-۱۹/۶۲	۸۶۲۳۱۶	۱	۰/۰۳۵	۰/۲۷۳	۰/۶۹۲	۰/۷۲۷
رطوبت توپوگرافی	<۶/۳۹	۶۶۰۵۱۲۴	۵۸	۰/۲۸۱	۰/۳۷۸	۰/۳۴۱	۰/۶۲۱
	۱۱/۲۹-۶/۳۹	۲۶۷۵۳۵۷	۳۰	۰/۳۵۸	۰/۳۰۲	۰/۳۴۰	۰/۶۹۷
	۲۶/۳۳-۱۱/۲۹	۵۳۰۵۶۶	۶	۰/۳۶۱	۰/۳۱۹	۰/۳۱۹	۰/۶۸۰

ادامه‌ی جدول ۱: ارتباط بین عوامل مؤثر و رخداد زمین‌لغزش بر اساس تئوری دمپستر شیفر

عامل	گروه‌های زمین شناسی	تعداد پیکسل	تعداد لغزش	درجه‌ی باور	درجه‌ی ضدباور	درجه‌ی عدم قطعیت	درجه‌ی معقولیت
زمین شناسی	۱	۲۱۲۰۵۴۴	۱۸	۰/۰۳۷	۰/۱۳۷	۰/۸۲۶	۰/۸۶۲
	۲	۵۳۷۷۵۷	۳۵	۰/۲۳۸	۰/۰۸۸	۰/۶۲۹	۰/۹۱۱
	۳	۳۳۴۷۷۵	۲۴	۰/۳۱۱	۰/۱۰۲	۰/۵۸۶	۰/۸۹۷
	۴	۴۷۰۸۳۵	۰	۰/۰۰۰	۰/۱۴۰	۰/۸۶۰	۰/۸۶۰
	۵	۱۰۰۲۱۰۶	۴	۰/۰۱۷	۰/۱۴۲	۰/۸۴۱	۰/۸۵۸
	۶	۵۲۶۹۷۳۹	۷	۰/۰۰۶	۰/۲۶۶	۰/۷۲۹	۰/۷۳۴
	۷	۷۵۲۹۱	۶	۰/۳۴۶	۰/۱۲۵	۰/۵۲۹	۰/۸۷۴

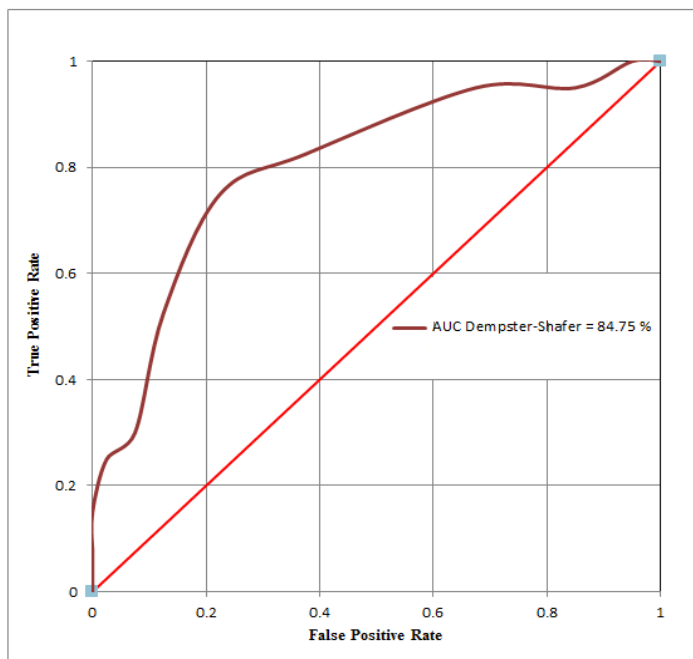


شکل ۲: نقشه‌ی درجه‌ی باور و ضد باور از مدل دمپستر - شیفر در منطقه‌ی مورد مطالعه



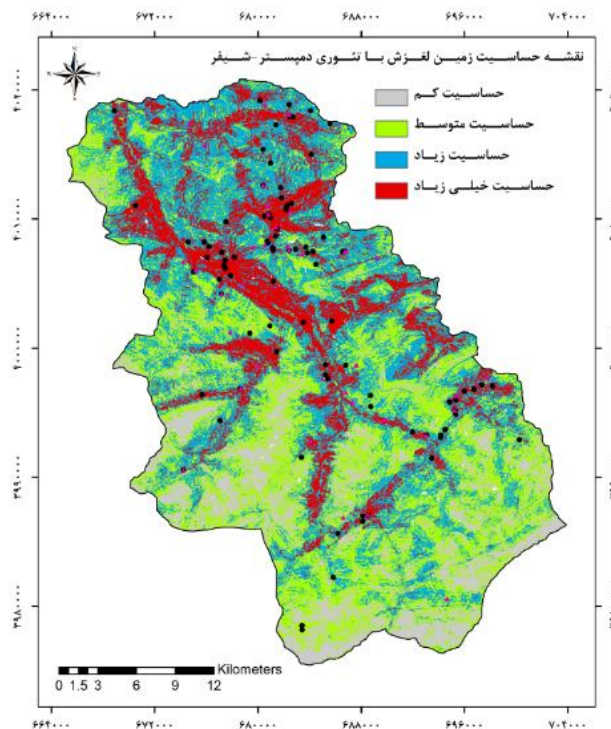
شکل ۳: نقشه‌ی عدم قطعیت و درجه‌ی معقولیت از مدل دمپستر - شيفر در منطقه‌ی مورد مطالعه

همان‌طور که بیان شد، برای ارزیابی مدل‌ها از منحنی ROC استفاده شد. هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد، دقت مدل نیز بیشتر خواهد بود که میزان آن بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. به‌طور کلی تقسیم‌بندی ۰/۹-۱ عالی، ۰/۸-۰/۹ خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸ خوب، ۰/۶-۰/۷ متوسط و ۰/۵-۰/۶ ضعیف را برای آن ارائه کرده‌اند (Nefeslioglu et al, 2008). در این پژوهش سطح زیر منحنی ROC برای تئوری دمپستر - شيفر به میزان ۸۴/۷۵ محاسبه شد (شکل ۴).



شکل ۴: منحنی ROC و سطح زیر منحنی مربوط به نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل دمپستر - شيفر

در نهایت بر اساس رابطه‌های مدل، نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل دمپستر- شيفر به صورت زیر تهیه شد (شکل ۵).



شکل ۵: نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل دمپستر- شيفر

۵- بحث و نتیجه‌گیری

بررسی عامل درجه شیب نشان می‌دهد که بیشترین درصد زمین‌لغزش‌ها مربوط به کلاس ۳۰-۱۵ درجه با ۵۲/۱۲۷ درصد است که با نظرات Moradi و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. اما بیشترین وزن به کلاس ۱۵-۵ درجه بازمی‌گردد که دلیل آن را می‌توان جاده‌سازی و ساخت و سازهای غیراصولی - که سبب قطع شیب در منطقه شده است - دانست. در مناطق با شیب بالای ۵۰ درجه، هیچ لغزشی مشاهده و ثبت نشد که می‌توان گفت دلیل آن، رخنمون سنگی و فقدان لایه‌ی خاک در شیب‌های بالا است. طبق نتایج این پژوهش، شیب‌های غربی و جنوبی به ترتیب با ۱۹/۱۵ و ۱۸/۱ درصد، بیشترین درصد زمین‌لغزش‌ها را در منطقه به خود اختصاص می‌دهد که با نتایج بررسی‌های Pourqasemi و همکاران (۲۰۰۹) و Lee (۲۰۰۷) مطابقت دارد. بررسی عامل ارتفاع از سطح دریا نیز بیانگر این است که کلاس ارتفاعی ۵۰۰-۱۰۰۰ با ۵۶/۳۸ درصد، دارای بیشترین تعداد زمین‌لغزش و کلاس ارتفاعی ۰-۵۰۰ دارای بیشترین وزن است. همچنین با افزایش ارتفاع در منطقه‌ی مورد مطالعه، حساسیت به وقوع زمین‌لغزش نیز کاهش می‌یابد که با مطالعات Moradi و همکاران (۲۰۱۰) و Pourqasemi و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. در ارتفاع بالاتر از ۲۰۰۰ متر، هیچ لغزشی مشاهده و ثبت نشده است که نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع، حساسیت به وقوع زمین‌لغزش کاهش می‌یابد (Moradi et al, 2010). بیشترین وزن برای عامل زمین‌شناسی، مربوط به گروه ۱ است که شامل نهشته‌ها و پادگانه‌های آبرفتی سخت‌نشده‌ی دوره‌ی کواترنر است؛ این در حالی است که بیشترین درصد زمین‌لغزش‌های رخ داده، در

واحدهای سنگ‌شناسی سازند شمشک با ۳۷/۲۳ درصد واقع شده‌است که با نظرات Pourqasemi و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. بررسی عنصر خطی فاصله از آبراهه، نشان می‌دهد با توجه به اینکه بیشترین درصد لغزش‌ها در فاصله‌ی بیش از ۴۰۰ متر به میزان ۳۱/۹۱۵ درصد رخ داده‌است، ولی بیشترین وزن در محاسبات به کلاس ۱۰۰-۰ متر اختصاص دارد که با نظرات Pourqasemi و همکاران (۲۰۱۱) و Devkota و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. بررسی عامل فاصله از جاده نیز نشان داد که بیشترین درصد لغزش‌ها در فاصله‌ی بیش از ۵۰۰ متر (۳۰/۸۵ درصد) رخ داده‌است؛ با این حال، بیشترین وزن در محاسبات به کلاس ۱۰۰-۰ برای فاصله از جاده اختصاص دارد که با نتایج مطالعات Pourqasemi و همکاران (۲۰۱۱، ۲۰۰۷) مطابقت دارد. همچنین برطبق نتایج حاصل از بررسی عامل فاصله از گسل، مشخص شد که بیشترین درصد لغزش‌ها در فاصله‌ی بیش از ۴۰۰ متر با ۲۸/۷۲۳ درصد است که با نتایج مطالعات Pourqasemi و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. بررسی عامل کاربری اراضی نیز نشان می‌دهد که ۶۸/۰۹ درصد لغزش‌های منطقه در اراضی جنگلی - که ۴۹/۶۷ درصد سطح منطقه را به خود اختصاص داده - رخ داده است که می‌توان ساخت جاده‌های جنگلی را یکی از دلایل اصلی آن دانست. متأسفانه فقدان مدیریت صحیح در احداث جاده‌های جنگلی، به قطع شیب و ایجاد کشش‌های جانبی در منطقه‌ی مورد مطالعه منجر شده‌است. از طرف دیگر، خاک اراضی جنگلی نیز با جذب بالای آب و در صورت مساعد بودن سایر شرایط، به تشدید خطر وقوع زمین‌لغزش در منطقه منجر می‌شود. نتایج به دست آمده با مطالعه‌ی Pourqasemi و همکاران (۲۰۰۷) در حوزه آبخیز صفارود مطابقت دارد. در مورد ارزیابی تأثیر شاخص پوشش گیاهی باید گفت که ۹۵/۷۴۴ درصد زمین‌لغزش‌های منطقه، در محدوده‌ی کلاس‌های با ارزش کمتر از صفر قرار دارد. مقادیر بسیار کم (زیر ۰/۱) به مناطق بایر، شن و ماسه یا برف بازمی‌گردد و ارزش‌های متوسط (۰/۲ تا ۰/۴)، نشان‌دهنده‌ی پوشش درختچه‌ای و مراتع و ارزش‌های بالا (۰/۶ تا ۰/۸)، نشان‌دهنده‌ی جنگل‌های انبوه است. همچنین نتایج به دست آمده از بررسی شکل شیب دامنه‌ها در منطقه، بیانگر ناپایداری بیشتر شیب‌های محدب در مقایسه با شیب‌های مقعر است که با نتایج مطالعه‌ی Lee و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. Mousavi Khatir و همکاران (۲۰۱۰)، تأثیر اندک نگهداری جانبی توسط مواد دو طرف دامنه‌ی لغزشی را دلیل این امر دانسته‌اند؛ البته بایستی بیان کرد که در منطقه‌ی مورد مطالعه، دامنه‌های محدب و مقعر هم از نظر درصد لغزش‌ها (۵۱/۰۶۴ و ۴۴/۶۸۱ درصد) و هم از لحاظ وزن کلاس (۱/۰۸۵ و ۱/۱۱۸) تفاوت زیادی نداشته‌اند. در مورد علت حساسیت شیب‌های مقعر نیز می‌توان گفت که جمع شدن آب و نگهداشت آن برای یک دوره‌ی طولانی در این نوع دامنه‌ها، می‌تواند به شکست شیب و وقوع زمین‌لغزش منجر شود. بررسی ارتباط شاخص‌های شیب و رطوبت توپوگرافی نیز روند مشخصی از خود نشان نمی‌دهد که ممکن است دلیل آن، نقش مؤثرتر فاکتورهای دیگر در وقوع زمین‌لغزش و پوشش دادن نقش این فاکتورها باشد.

منابع

1. An, P.; Moon, W. M.; & G. F. Bonham-Carter, 1994. Uncertainty management in integration of exploration data using the belief function, *Nonrenewable Resources*, 6(3), 60-71.
2. Arab Ameri, A. R.; Shirani, K.; & Kh. Rezaei, 2017. Zoning of land potential to landslide occurrence by Dempster-Schiffer methods and relative frequency in Sarkhon Karun basin, *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 24(3), 41-57. (In Persion).

3. Behboodi, S. H.; HajiAbulHassan, H.; & k. Borna, 2017. Combining categories using Dempster-Schaffer combination theory, Master Thesis of Shahid Beheshti University. (In Persion).
4. Constantin, M.; Bednarik, M.; Jurchescu, M. C.; & M. Vlaicu, 2010. Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania), *Environmental Earth Science*, 10. DOI 10.1007/s12665-010-0724-y, 10p.
5. Devkota, K.; Chandra, R.; Amar, D.; Pourghasemi, H. R.; Y.Kohki Pradhan, R.; & R. Biswajeet, 2013. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling–Narayanghat road section in Nepal Himalaya, *Nat Hazards*, 65, 135-165.
6. Egan, J. P., 1975. Signal Detection Theory and ROC Analysis. New York, Academic Press Fu P and Rich P M 2000 the Solar Analyst User's Manual. WWW document, http://www.hemisoft.com/doc/sa_manual/solarext.htm.
7. Ehsanifar, F., 2011. Landslide risk modeling using artificial neural network (Case study: Tajan watershed, Mazandaran province). M.Sc. Thesis, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 8-54.(In Persion).
8. Feizizadeh, B.; Blaschke, T.; Nazmfar, H.; & M. H. Rezaei Moghadam, 2013. susceptibility mapping for the Urmia Lake basin, Iran: a multi-criteria evaluation approach using GIS, *International Journal of Environmental Resources*, 7(2), 319-336.(In Persion).
9. Ferson, S.; Nelsen, R. B.; Hajagos, J.; Berleant, D.; Zhang, J.; Tucker, T.; Ginzburg, L. R.; & W. L. Oberkampf, 2004. Dependence in probabilistic modeling, Dempster-Shafer theory and probability bounds analysis, New Mexico, 153.
10. Goetz, J. N.; Guthrie, R. H.; & A. Brenning, 2011. Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models, *Geomorphology*, 129, 376-386.
11. Intarawichian, N., & S. Dasananda., (2010). Analytical Hierarchy Process for Landslide susceptibility mapping in lower Mae Chem watershed, Northern Thiland. *Suranaree journal of Science Technology*. 17(3), 277-292.
12. Lee, S., 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping, *Environ. Geol*, 52 , 615-623.
13. Lee, S.; Song, K. Y.; Oh, H. J.; & J. Choi, 2012. Detection of landslides using web-based aerial photographs and landslide susceptibility mapping using geospatial analysis, *International Journal of Remote Sensing*, 33(16), 4937-4966.
14. Mathew, J.; Jha, V.; & G. Rawat, 2007. Weights of Evidence Modeling for Landslide Hazard Zonation Mapping in part of Bhagirathi valley, *Uttarakh and Current Science*, 92, 628-638.
15. Mohammadi, A.; Heshmatpoor, A.; & A. Mosaedi, 2004. Study on Efficiency of an Iranian method for Landslide Hazard Zonation in Golestan Province, EGU -1 St General Assembly. Nice. France, 34-47.(In Persion).
16. Mohammady, M.; Pourghasemi, H. R.; & B. Pradhan, 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: A comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer, and weights-of-evidence models, *Asian Earth Sci*, 61, 221-236. (In Persion).
17. Moradi, h. r.; Mohammadi, M.; Poorghsemi, H. R.; & R. Mostafazade, 2010. Landslide risk analysis in Golestan province using Dempster-Schiffer theory, *Journal of Earth Sciences Research*, 1(3), 1-14.(In Persion).

18. Mottakan, A.; Sami, J.; Poor Ali, H.; & H. Safaei, 2009. Fuzzy logic and remote sensing models for landslide risk zoning in Lajim watershed, *Journal of Applied Geology*, 4, 318-325.
19. Mousavi Khatir, S. Z.; Kavian, A.; & K. Soleimani, 2010. Preparation of landslide susceptibility map in Sajarood watershed using logistic regression model, *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, 14(53), 99-111.(In Persian).
20. Naji, S., 2006. Landslide risk zoning in Sari-Kiasar axis. Master Thesis in Environmental Geology, Shahroud University of Technology, 86.(In Persian).
21. Nefeslioglu, H. A.; Duman, T. Y.; & S. Durmaz, 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Easten Black Sea Region of Turkey), *Geomorphology*, 94, 401-418.
22. Park, N.W., 2010. Application of Dempster-Shafer theory of evidence to GIS-based landslide susceptibility analysis, *Environmental Earth Science*, DOI 10.1007/s12665-010-0531-5, : 121-138.
23. Pourqasemi, H. R., 2007. Landslide risk assessment using fuzzy logic (case study of part of Haraz watershed). Master Thesis, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University: 92.(In Persian).
24. Pourqasemi, H. R.; Moradi, H.; Fatemi Aqda, S. M.; Mahdavifar, M. R.; & M. Mohammadi, 2009. Landslide risk assessment using fuzzy multi-criteria decision making method, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 3(8), 51-63. (In Persian).
25. Pourqasemi, H. R.; Mohammadi, M.; Mostafazadeh, R.; & A. Golijirand, 2011. Landslide risk zoning using Bayesian theory, *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, 16(4), 109-120. (In Persian).
26. Pourqasemi, H. R.; Moradi, H. R.; & M. Mohammadi, 2011. Landslide sensitivity zoning using the probabilistic weight model of the event (Case study: part of Mazandaran province, Haraz watershed), *Spatial Information Technology Quarterly*, 1(3), 3-10.(In Persian).
27. Saber Chenari, K.; Soleimani, H.; & M. S. Mir Abedini, 2017. Landslide Hazard Zoning Using Dempster-Schafer Theory Case Study: Ziarat Watershed in Golestan Province, *Journal of Engineering Geology*, 11(4), 385-404.(In Persian).
28. Swets, J. A., 1988. Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems *Science*, 240, 1285-93.
29. Talebi, A., & Y. N. Niazi., (2011). Investigation of the capability of a physical-hydrological model for the study of surface landslides on natural slopes (Case study: Ilam Dam watershed). *Iranian Journal of Natural Resources*. 3, 323-337. (In Persian).
30. Williams, C. J.; Lee, S. S.; Fisher, R. A.; & L. H. Dickerman, 1999. A Comparison of Statistical Methods for Prenatal Screening for Down syndrome, *Applied Stochastic Models and Data Analysis*, 15, 89-101.
31. Youssef, A. M.; Pourghasemi, H. R.; El-Haddad, B.; & K. Dhahry, 2015. Landslide susceptibility maps using different probabilistic and bivariate statistical models and comparison of their performance at Wadi Itwad Basin, Asir Region. Saudi Arabia. *Bull Eng, Geol. Environ*, DOI 10.1007/s10064-015-0734-9.(In Persian).
32. Zareh, M.; Askarizade, H.; Salariyan, T.; & M. Fakhrghazi, 2016. Landslide risk analysis in Masuleh watershed using Dempster-Schiffer theory and GIS, *Watershed Management Research Journal*, 7(13), 209-217. (In Persian).

33. Zhu, A. X.; Wang, R.; Qiao, J.; Qin, C. Z.; Chen, Y.; Liu, J.; Du, F.; Lin, Y.; & T. Zhu, 2014. An expert knowledge-based approach to landslide Susceptibility using GIS and fuzzy logic, *Geomorphology*, 7(214), 128-138.

Landslide Hazard Assessment Using Dempster-Shafer Model (Case study; part of Talar watershed)

Zahra Silakhori: *Graduated M.Sc., Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University*

Ghorban VahabzadeKebriya*¹: *Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Corresponding author e-mail address.*

Hamidreza Ghasempoori: *Associate Professor, Department of Natural Resources and Environmental Engineering College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran*

Article History (Received: 2021/05/14

Accepted: 2021/06/16)

Extended abstract

1- Introduction

Landslides are natural hazards that destroy nature and often cause severe damage to natural resources and loss of life and human property (Intaravichin and Dasananda, 2010; Feyzzadeh et al., 2013). Despite significant advances in risk analysis and landslide risk management, this natural hazard remains a real threat to the lives and property of people in mountainous areas (Getz et al., 2011). Natural factors affecting landslides can be rainfall, lithology, slope, and the like (Talebi and Niazi, 1390). Among the natural factors affecting the occurrence of landslides, we can mention factors such as rainfall, lithology, slope, and the like (Talebi and Niazi, 1390). In general, Iran is considered a high-risk country due to favorable geographical conditions, lack of comprehensive environmental management, and non-compliance with environmental thresholds. Approximately 38 hazards have been identified and recorded in Iran, and due to the multiplicity, diversity, recurrence, and severity of natural hazards and environmental unrest are among the ten most prosperous countries in the world (Mohammadi et al., 2004). Considering landslide hazard zoning map is essential for a proper understanding of its mechanisms in recent research (Sun, 2014).

2- Methodology

In order to prepare a landslide susceptibility map using Dempster-Schiffer theory, first, using the landslide database, the General Department of Natural Resources of Mazandaran province, and field studies, landslide points in the region were identified. During the field observations, the accuracy of the collected information was evaluated, and the position of the landslide points was checked using the Global Positioning System (GPS), and 26 new landslides were recorded. A total of 134 slide points were examined. In this research, 12 information layers including altitude map, slope direction, slope degree, slope shape, distance from fault, distance from road, land use, geology, distance from waterway, **Slope length** or sediment transport index (STI), topographic moisture index (TWI) and vegetation were prepared and classified using ArcMap and ENVI software using 1: 50,000 topographic maps, 1: 100,000 geology, geology and satellite imagery, IRS for 2012. In order to evaluate the Dempster-Schaefer theory in landslide risk analysis, the relative performance curve of the relative efficiency of variables (ROC) is used. ROC curve analysis is used to determine the accuracy and efficiency of the model (Egan, 1975; Soots, 1988; Williams et al., 1999). This curve is one of the most efficient methods in providing diagnostic properties, probability identification, and prediction systems that quantitatively estimate the model's accuracy (Soots, 1988). The area under the ROC curve represents the prediction value of the system by describing its ability to accurately estimate its occurrence events (landslide occurrence) and its non-occurrence events (non-landslide

¹ . gh.Vahabzadeh@Sanruu.ac.ir-09111165434

occurrence). Therefore, the area of the curve is used as a measure of the accuracy of the model. In this study, out of 134 slip points, several points were used for modeling, and part of it was used to evaluate the model (with a ratio of about 70 to 30%) (Matthew et al., 2007; Pourghasemi et al., 2009; Constantine et al., 2010).

3- Discussion & Conclusions

The study of the slope factor shows that although the highest percentage of landslides is related to the class of 15-30 degrees with 52.127 percent, which is consistent with the views (Moradi et al., 2010). However, the highest weight is related to the class of 5-15 degrees, which can be attributed to road construction and unprincipled constructions that have caused the slope to be cut in the region. No landslides have been observed or recorded in areas with a slope above 50 degrees, which can be due to the rocky outcrop and the lack of soil layer in the high slopes. According to the results of this study, the western and southern slopes with 19.15% and 18.1%, respectively, had the highest percentage of landslides in the region, which with the results of studies (Pour Ghasemi et al., 2009) and (Lee, 2007) corresponds. The study of altitude factors indicates that the altitude class of 1000-500 with 56.38% of landslides, the highest number of landslides, and the altitude class of 0-500 have the highest weight, also, with increasing altitude in the study area, the sensitivity to landslides decreases, which is consistent with the studies of Moradi et al. (2010) and Pourghasemi et al. (2011). At altitudes above 2000 m, no landslides have been observed or recorded, which indicates a decrease in sensitivity to landslides with increasing altitude (Moradi et al., 2010). The highest weight for the geological factor belongs to group 1, which includes deposits and unhardened alluvial deposits of the Quaternary period, while the highest percentage of landslides occurred in the units. The lithology of the Shemshak Formation is located at 37.23%, which is consistent with the views (Naji, 2006), (Shadfar et al., 2008), (Pourghasemi et al., 2011). The study of the linear element of the distance from the waterway has shown that because the highest percentage of landslides occurred at a distance of more than 400 meters at the rate of 31.915%. However, the highest weight in calculations by class is allocated 0-100 meters, which is in accordance with the opinions (Pourghasemi et al., 2009), (Dokota et al., 2013). Investigation of the distance from the road showed that the highest percentage of landslides occurred at a distance of more than 500 meters (30.85%); however, the highest weight in the calculations to the class 0-100 for the distance from the road is allocated which is consistent with the results of studies of Mazouki et al. (2011), Pourghasemi et al. (2009, 2012).

Key Words: Landslide hazard, Dempster-Shafe model, ROC Curve, Talar watershed