# پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تئوری دمپستر-شفر مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز زیارت، استان گلستان

کاظم صابر چناری*، حسین سلیمانی؛ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گروه مهندسی آبخیزداری

مریم سادات میرعابدینی؛ دانشگاه گلستان، گروه زمین‌شناسی

**تاریخ: دریافت** ۹۵/۰۳/۰۸ **پذیرش** ۹۵/۰۵/۱۲

## چکیده

هدف از این پژوهش ارزیابی خطر زمین‌لغزش حوزهٔ آبخیز زیارت استان گلستان با استفاده از تئوری دمپستر-شفر در سیستم اطلاعات جغرافیایی است. در گام اول با استفاده از گزارشات موجود و تفسیر عکس‌های هوایی نقشه پراکنش نقاط لغزشی منطقهٔ بررسی شده تهیه شد. از کل نقاط لغزشی (۵۰ نقطه) ۳۵ نقطه آن (۷۰ درصد) برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر و نقاط باقی‌مانده (۳۰ درصد) برای ارزیابی مدل در نظر گرفته شد. در گام دوم ۱۲ عامل مؤثر بر زمین‌لغزش برای تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در نظر گرفته شد. این عوامل شامل درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع، خطوط هم باران، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بافت خاک، فاصله از جاده، فاصله از گسل، تراکم گسل، فاصله از رودخانه، شاخص قدرت رودخانه هستند. سپس، وزن کلاس‌های هر عامل مشخص شده و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه با ۱۳ روی‌کرد مدل‌سازی با استفاده از تئوری دمپستر- شفر تهیه شد. سرانجام برای ارزیابی مدل‌ها منحنی عملکرد نسبی ترسیم و سطح زیر منحنی محاسبه شد. نتایج ارزیابی نشان داد، تئوری دمپستر-شفر برای روی‌کرد ششم مدل‌سازی (حذف عامل لیتولوژی) با سطح زیر منحنی۹۲/۹٪ (عالی) و انحراف معیار ۰/۰٤۵، بیش‌ترین دقت را دارد. از این رو، نقشه خطر زمین لغزش تهیه شده برای منطقهٔ بررسی شده می‌تواند برای برنامه‌ریزان و مهندسان در شناسایی مناطق مستعد خطر زمین‌لغزش و ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش و مدیریت خطر مفید باشد.

**واژه‌های کلیدی:** خطر زمین لغزش، تئوری دمپستر-شفر، زیارت، گلستان.

* **نویسنده مسئول** K.saberchenari@gmail.com

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]

[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

## مقدمه

زمین‌لغزش‌ها رخدادهای طبیعی است که یک یا چند عامل می‌تواند در وقوع آن دخیل باشد که هر یک از آن‌ها نقش معینی را در این زمینه ایفا کنند [۱]. ارزیابی خطرهای این پدیده به‌علت دخالت عوامل مؤثر در رخداد آن مسئله‌ای پیچیده است. نداشتن قطعیت که ناشی از گنگ بودن، ناکامل و مبهم بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با مشخصه‌هایی مانند زمین‌شناسی، آب‌شناختی، تکتونیکی، پوشش گیاهی، بارندگی، فرسایش، نوسان دما و غیره در بروز ناپایداری دامنه‌ای است لزوم بهره‌گیری از روش‌های دقیق و مناسب را در بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای، منطقی می‌کند [۲]. از آن‌جا که پیش‌بینی زمان رخداد زمین لغزش‌ها از توان علم و دانش فعلی بشر خارج است، از این رو با شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش و رتبه‌بندی آن می‌توان تا حدودی از خطرات ناشی از وقوع زمین لغزش جلوگیری کرد [۳]. براساس برآورد اولیه، سالیانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق لغزش‌ها بر کشور تحمیل می‌شود و این در صورتی است که از بین رفتن منابع طبیعی غیرقابل بازگشت به حساب آورده نشوند [٤]. به‌طورکلی می‌توان هدف نهایی بررسی و مطالعه زمین لغزش‌ها را یافتن راه‌های کاهش خسارات ناشی از آن‌ها ذکر کرد. همین امر لزوم تهیه نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را تأکید می‌کند [۵].

استان گلستان از استان‌های مستعد زمین‌لغزش است. از آن جمله می‌توان به زمین‌لغزش‌های منطقه زیارت اشاره کرد که به‌سبب شرایط خاص این پدیده از جمله وجود سازند سنگی حساس و تغییر شدید کاربری اراضی و دخالت‌های انسانی در حوضه لزوم انجام پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و انجام اقدامات مدیریتی ضروری است. هدف از این مطالعه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزهٔ آبخیز زیارت با استفاده از تئوری دمپستر-شفر است. برای این هدف از ۱۳ روی‌کرد مدل‌سازی یعنی استفاده از تمام عوامل و حذف تک‌تک آن‌ها مد نظر قرار گرفت. سرانجام دقت مدل‌ها به‌منظور انتخاب مهم‌ترین عوامل مؤثر بر زمین لغزش و هم‌چنین انتخاب بهترین مدل، با استفاده از منحنی عملکرد نسبی ارزیابی شد.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه می‌توان به پورقاسمی و همکاران (a ۲۰۱۳) در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوزهٔ آبخیز هراز مازندران با دو روش دمپستر-شفر[1] و مدل وزن نشان‌گر[2] اشاره کرد. در ابتدا پس از بررسی‌های میدانی ۱۱ عامل مؤثر شامل شیب دامنه، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از شبکه زهکشی، کاربری اراضی و سنگ‌شناسی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت رودخانه، شاخص طول شیب به‌عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه تشخیص داده شدند و نقشه این ۱۱ عامل در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد و لایه پراکنش زمین لغزش‌ها روی هر کدام از این لایه‌ها انداخته شدند و هم‌پوشانی شد، تا نقش طبقات مربوط به عوامل مختلف مشخص شود. نتایج ارزیابی دو روش با استفاده از منحنی عملکرد نسبی[3] نشان داد که این روش دقت خیلی خوبی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه دارند [٦]. از تحقیقات داخلی دیگر می‌توان به پژوهش‌های فاطمی‌عقدا و همکاران (١٣٨٤) در منطقه رودبار، مرادی و همکاران (١٣٨٩)، پورقاسمی و همکاران (b ۲۰۱۳) در استان گلستان، شیرانی و سیف (١٣٩٠)، صابر چناری و همکاران (١٣٩٤) در استان گلستان و بهاروند و سوری (١٣٩٤) در جنوب شرقی خرم‌آباد اشاره کرد [٧]، [٨]، [٩]، [١٠]، [١١]، [٤]. یالسین[4] (٢٠٠٨) نقشه حساسیت زمین‌لغزش را در حوضهٔ آردیس ترکیه با سه روش تحلیل سلسله مراتبی، فاکتور وزنی و شاخص آماری تهیه کرد و برای ارزیابی، از سه نقشه پهنه‌بندی تهیه شده از زمین لغزش‌های فعال منطقه استفاده کرد. نتایج نشان داد که ٨١/٣ درصد لغزش‌های فعال در روش تحلیل سلسله مراتبی و ٦٢/٥ درصد لغزش‌های فعال در روش شاخص آماری و ٦٨/٨ درصد با روش فاکتور وزنی، پهنه‌های با خطر بالا و خیلی بالا رخ داده‌اند [٢]. از دیگر تحقیقات صورت گرفته درباره زمین لغزش در خارج از کشور می‌توان به مطالعات نئوهازر و ترهورست[5] (٢٠٠٧) در جنوب غربی آلمان، لی[6] (٢٠٠٧) در چین، پارک[7] (٢٠١٠) در منطقه

1. Dempster–Shafer
2. Weight of Evidence
3. Receiver Operating Characteristic
4 .Yalcin
5. Neuhauser& Terhorst
6 . Lee
7. Park

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

جانگ هیونگ در کشور کره و سعادت‌خواه و همکاران (۲۰۱٤) در منطقهٔ هولوکالنگ مالزی، وانگ[1] و همکاران (۲۰۱٦) در شهر داگن چین با استفاده از مدل‌های دمپستر–شفر و وزن نشانگر، ژانگ[2] و همکاران (۲۰۱٦) در منطقه کونگ لیو چین با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و تابع تئوری اعتقاد، دینگ[3] و همکاران (۲۰۱٦) در منطقه تای‌بای چین با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و وزن نشان‌گر و تابع تئوری اعتقاد، السواینی[4] و همکاران (۲۰۱٦) در منطقه اینجه کره جنوبی و ارنر[5] و همکاران (۲۰۱٦) با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند متغیره و رگرسیون لجستیک در شمال غربی کشور ترکیه اشاره کرد [۱۳]، [۱٤]، [۱۵]، [۱٦]، [۱۷]، [۱۸]، [۱۹]، [۲۰]، [۲۱].

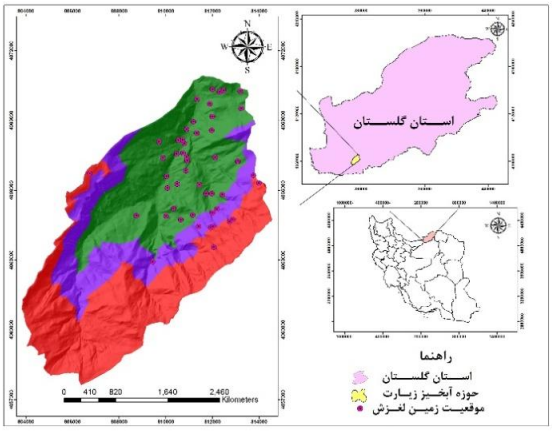
## مواد و روش‌ها

### منطقهٔ بررسی شده

حوزهٔ آبخیز زیارت در جنوب شهرستان گرگان در محدوده جغرافیایی″۵۸´۳٦ °۳٦ تا ″۱۱´٤٦°۳٦ عرض شمالی و″۵۵´۲۳°۵٤ تا ″۱۳´۱۰°۵٤ طول شرقی واقع شده است. از مغرب به حوزهٔ آبخیز شصت کلاته، از مشرق به حوزهٔ آبخیز چهار باغ، از جنوب به ارتفاعات لره کوه و از شمال به رودخانه قره‌سو محدود می‌شود. مساحت کل حوضه بررسی شده تقریباً ۷۸۰۰ هکتار است. پایین‌ترین نقطه آن ٦٤۸ متر و بالاترین نقطه آن ۲۹۱۰ متر ارتفاع دارد. متوسط بارندگی سالانه حوزهٔ آبخیز زیارت ۵۷۵ میلی‌متر و متوسط دمای منطقه ۵/۷ درجه سانتی‌گراد است. سازندهای زمین‌شناسی حوضهٔ زیارت شامل سازند خوش ییلاق، لار، مبارک، شمشک و شیست گرگان است و بخش عمده حوضه کوهستانی است. کاربری‌های اراضی منطقه به‌ترتیب مساحت شامل جنگل، مرتع، کشاورزی و مسکونی است. گونه‌های جنگلی شامل توسکا، ممرز، بلوط، راش، انجیلی و نمدار و درختچه ژونیپروس و گونه‌های مرتعی بروموس ساختار پوشش گیاهی منطقه را تشکیل داده است (شکل۱) [۲۲].

1. Wang
2. Zhang
3. Ding
4. Althuwaynee
5. Erener

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]




**شکل۱. موقعیت منطقهٔ بررسی شده**

## روش تحقیق

لازمه تهیه نقشهٔ خطر زمین‌لغزش، تهیه نقشه پراکنش لغزش‌های منطقه است. دراین تحقیق با استفاده بازدید میدانی، گزارشات موجود و هم‌چنین با استفاده از نقشه پراکنش زمین‌لغزش (تهیه شده از تفسیر عکس هوایی و بازدید میدانی توسط معاونت آبخیزداری استان گلستان سال ۱۳۸٦) نقاط لغزشی حوضه ثبت و وارد نرم‌افزار ArcGis گردید (شکل۱) [۲۳]. از کل نقاط لغزشی ۷۰ درصد آن (۳۵ نقطه) برای تهیه نقشهٔ پهنه‌بندی خطر و ۳۰ درصد آن (۱۵ نقطه) برای ارزیابی مدل در نظر گرفته شد [۹]، [۱۱]، [۲۳]، [۲٤].

به‌طورکلی انتخاب نوع عوامل مؤثر در ظهور یک پدیده از قبیل زمین‌لغزش، چشمه و قنات با توجه به شرایط مختلف منطقهٔ بررسی شده متفاوت است و در مطالعات مختلف صورت گرفته در این زمینه محققان داخلی و خارجی مجموعه‌ای از عوامل مختلف توپوگرافیکی، لیتولوژیکی، ادافیکی و هیدرولوژیکی را در مطالعات پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در نظر گرفته‌اند. در این پژوهش سعی شد که براساس پژوهش محققان قبلی و شرایط موجود در منطقه، بررسی جامعی در زمینهٔ عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش صورت گیرد [۹]، [۱۱]، [۱۸]، [۱۹]، [۲۰]، [۲۱]، [۲۳]، [۲۵]. در تمام پژوهش‌های ذکر شده نقش عوامل لیتولوژیکی در وقوع زمین‌لغزش با استفاده از نوع سازند و فاصله از گسل بررسی شده است.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

از این رو با استفاده از داده‌های موجود، نقشه‌های پایه و تصاویر ماهواره‌ای (نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروی مسلح، نقشه خاک‌شناسی سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشهٔ کاربری اراضی منطقه از طریق تصاویر ماهواره‌ای (ETM) لایه‌های اطلاعاتی ۱۲ عامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در حوزهٔ آبخیز زیارت تهیه شد. این عوامل شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، کاربری اراضی، بافت خاک، زمین‌شناسی، هم‌باران، فاصله از گسل، تراکم گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و شاخص قدرت رودخانه هستند که نقشه هریک در محیط ArcGis تهیه و طبقه‌بندی شدند. به‌منظور بررسی ارتباط عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در حوزهٔ آبخیز زیارت نقشه هر یک از عوامل مؤثر در محیط ArcGis با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها تلفیق و پراکندگی زمین‌لغزش‌ها در هر طبقه از عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش به‌دست آمد. در ادامه به تشریح این ۱۱ عامل که به‌عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در حوزهٔ آبخیز زیارت شناسایی شده‌اند پرداخته می‌شود. به‌منظور بررسی نقش فاصله از گسل و جاده روی وقوع زمین‌لغزش این عامل‌ها براساس شرایط منطقهٔ بررسی شده و پژوهش‌های انجام شده [۲]، [۱۱]، [۲۳] به‌صورت اینتروال‌های ۱۰۰ متری طبقه‌بندی شدند. به‌منظور تعیین نقشه شاخص قدرت رودخانه رابطهٔ ۱ استفاده شد [۲۷]، [۲۸].

$$SPI = A_s . tan\beta \qquad (۱)$$

که در آن As: مساحت حوزهٔ آبخیز، β: گرادیان شیب بر حسب درجه است..

## مدل دمپستر–شفر

تئوری دمپستر–شفر به‌عنوان تئوری تابع اعتقادات شناخته می‌شود که خود تعمیمی از تئوری بیزین که مبتنی بر احتمالات است. از آن‌جاکه تئوری بیزین برای هر سوال نیازمند احتمالات است، بنا براین توابع اعتقادی بیان‌گر درجات اعتقاد برای یک سوال و یا یک احتمال مربوط به آن است. این درجات اعتقاد ممکن است خواص ریاضی احتمالات را داشته باشد یا نداشته باشد. این‌که چقدر ممکن است از احتمالات متفاوت باشد وابسته به قرابت دو سوال مطرح شده دارد. این تئوری در سال ۱۹٦۷ دمپستر به‌کار برد [۲۹] و در ادامه ساختار ریاضی

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

آن شفر در سال ۱۹۷٦ تشریح کرد [۳۰]. اما اصلیت این تئوری به قرن ۱۷ برمی‌گردد. این تئوری بسیار مورد توجه محققان هوش مصنوعی به‌ویژه در اوایل سال ۱۹۸۰، قرار گرفته است. زمانی که آن‌ها سعی کردند از تئوری احتمالات در سیستم‌های خبره استفاده کنند. درجات اعتقاد تئوری دمپستر-شفر بسیار شبیه به عامل اطمینان است و این تشابه منجر شده که ترکیب این دو تئوری دارای انعطاف‌پذیری زیادی مانند قوانین مبتنی بر سیستم باشد. تئوری دمپستر-شفر به‌دلیل انعطاف‌پذیری نسبی آن همواره مورد توجه محققان قرار گرفته است. تئوری مذکور براساس دو ایده اصلی بنیان‌گذاری شده است: ۱. تعیین درجات اعتقاد برای یک سوال مبتنی بر احتمالات ذهنی، ۲. تعیین قوانین دمپستر به‌منظور ترکیب درجات اعتقاد برای بخش‌های مستقل یک واقعه. نظریه وقوع دمپستر-شفر در واقع یک چهار چوب ریاضی برای توصیف داده‌های ناقص تهیه می‌کند [۳۱].

اگر فرض شود l چندین لایه متعدد از داده‌های مکانی موجود در منطقه است که حساس به زمین‌لغزش است. هر لایه‌ای از داده‌های مکانی به‌صورت $E_i$ (i=1,2,…..,l) برای تابع هدف $T_P$ در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب $E_{ij}$ به‌دست می‌آید که در آن j ویژگی کلاس یا طبقه‌ای از $E_i$ و دارای توزیع فراوانی از موقعیت ها یا ویژگی های مثبت و منفی در بروز زمین لغزش‌هاست. وزن مثبت با علامت $\lambda(T_P)_{E_{ij}}$ نشان داده می‌شود که به‌صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود [۱۵]:

$$\lambda(T_P)_{E_{ij}} = \frac{\frac{N(L\cap E_{ij})}{N(L)}}{\frac{N(E_{ij})-N(L\cap E_{ij})}{N(A)-N(L)}} \qquad (۲)$$

وزن یا نمره منفی با علامت $\lambda(\overline{T_P})_{E_{ij}}$ نشان داده می‌شود که به‌صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود:

$$\lambda(\overline{T_P})_{E_{ij}} = \frac{\frac{N(L)-N(L\cap E_{ij})}{N(L)}}{\frac{N(A)-N(L)-N(E_{ij})+N(L\cap E_{ij})}{N(A)-N(L)}} \qquad (۳)$$

که در آن $T_P$: وضعیت هدف که دراینجا مربوط به ویژگی‌های مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش است، $\overline{T_P}$: مربوط به عواملی است که روی زمین لغزش تأثیری ندارند، $N(L \cap E_{ij})$: تعداد

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

لغزش در هر طبقه، $N(L)$: تعداد کل لغزش منطقه، $N(E_{ij})$: تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش در هر طبقه، $N(A)$: تعدادپیکسل‌های فاقد لغزش منطقه است.

به‌طورکلی مقدار وزن‌های به‌دست آمده از روابط ٤ و۵ در محدودهٔ صفر تا بی‌نهایت متغیر است. از این رو یک مرحله دیگری برای استانداردسازی محدودهٔ مذکور مورد نیاز است که به‌صورت روابط ٤، ۵ و ٦ تعریف می‌شوند:

$$m(T_P)_{E_{ij}} = \frac{\lambda(T_P)_{E_{ij}}}{\sum \lambda(T_P)_{E_{ij}}} \quad (٤)$$

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

$$m(\Theta) = 1 - m(T_P)_{E_{ij}} - m(\overline{T_P})_{E_{ij}} \quad (٦)$$

براساس روابط مذکور تمامی کلاسه‌های هر عامل وزن‌دهی می‌شود [۸]. در محیط GIS این وزن‌ها به نقشه اضافه و نقشهٔ وزنی عامل‌ها به‌دست می‌آید. بعد از تهیه نقشه‌های وزنی براساس روابط مدل، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با ۱۲روی‌کرد (استفاده از تمام عوامل مؤثر و حذف تک‌تک عوامل) تهیه شد. در این نقشه وزن هر پیکسل از مجموع وزن‌های به‌دست آمده برای هر عامل در آن پیکسل محاسبه می‌شود. طبقه‌هایی که حساسیت بیش‌تری دارند در این مدل وزن کم‌تری به‌خود اختصاص می‌دهند. براساس شکستگی‌های طبیعی[1]، نقشه در پنج کلاس خطر خیلی‌کم، خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی‌زیاد طبقه‌بندی شد.

## ارزیابی روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

با توجه به این‌که برای ارزیابی صحت مدل نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده کرد که در پهنه‌بندی استفاده شده‌اند [۵]، از بین تعداد ۵۰ نقطه لغزشی، تعدادی از نقاط لغزشی برای مدل‌سازی و بخشی از آن نیز برای ارزیابی صحت مدل مذکور (با نسبت ۷۰ به ۳۰) استفاده شد [۹]، [۱۱]، [۲۳]، [۲٤]. سپس با استفاده از منحنی عملکرد نسبی صحت نقشهٔ پهنه‌بندی

1. Natural Breaks

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

تهیه شده ارزیابی شد [۲۸]، [۳۲]. نهایتاً نقشه‌ای که دارای بیش‌ترین دقت بود به‌عنوان نقشهٔ نهایی خطر زمین‌لغزش برای منطقهٔ بررسی شده پیشنهاد شد.

این منحنی یکی از کارآمدترین روش‌ها در شناسایی احتمالی و پیش بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به‌صورت کمی برآورد می‌کند [۱]. در حقیقت منحنی عملکرد یک نمایش گرافیکی از موازنه بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از برش‌هاست. سطح زیر منحنی عملکرد نسبی، بیان‌گر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ‌داده (وقوع زمین‌لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین‌لغزش) آن است. هر چه سطح زیر منحنی بیش‌تر باشد دقت مدل بیش‌تر است که میزان آن بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. چنان‌چه مدلی نتواند رخداد لغزشی را بهتر از دیدگاه احتمالی (تصادفی) تخمین بزند مقدار سطح زیر منحنی آن ۰/۵ است و زمانی که منحنی عملکرد نسبی، سطح زیر منحنی برابر با یک داشته باشد بیان‌گر بهترین دقت از نقشه‌بندی تهیه شده است. به‌طورکلی تقسیم‌بندی ۱-۰/۹، عالی؛ ۰/۹-۰/۸، خیلی‌خوب؛ ۰/۸-۰/۷، خوب؛ ۰/۷-۰/۶، متوسط و ۰/۶-۰/۵، ضعیف، را برای هم‌بستگی کیفی و کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین ارائه کرده‌اند [۲۸].

## نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده از ارتباط هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و مدل دمپستر-شفر در جدول ۱ ارائه شده است.

در بررسی عوامل تأثیرگذار در زمین‌لغزش نتایج نشان داد از بین سازندهای زمین‌شناسی سازند مبارک بیش‌ترین حساسیت به زمین‌لغزش را از خود نشان داد. طبقه جنگل و زراعت کاربری بیش‌ترین حساسیت به‌وقوع زمین‌لغزش هستند که با نتایج پژوهش‌های [۳۳]، [۷] هم‌خوانی دارد. کاربری زراعت به‌دلیل دخالت‌های انسان در محیط و هم‌چنین آبیاری نقش مهمی در وقوع زمین لغزش دارد. کاربری‌های جنگل نیز با توجه به شیب زیادی که دارند در مناطقی که روش‌های بهره‌برداری نامناسب استفاده می‌شود مناطق مستعد زمین لغزش را فراهم می‌سازد. مناطق با فاصلهٔ کم از آبراهه و جاده دارای بیش‌ترین حساسیت به زمین‌لغزش هستند

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

[۷]، [۱۲]، [۱٤]. با توجه به این‌که این عامل‌ها از عوامل محرک زمین‌لغزش محسوب می‌شوند، چنین نتیجه‌ای منطقی به‌نظر می‌رسد. احداث جاده معمولاً همراه با خاک‌برداری و خاک‌ریزی است و تعادل طبیعی منطقه را بهم می‌زنند. وجود آبراهه‌ها نیز موجب زیرشویی است و خطر

**جدول ۱. مقادیر حاصل از ارتباط عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌ها**

| عامل | طبقه | کل پیکسل ها | پیکسل‌های لغزشی | $\lambda$ | $\lambda$ | $m$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| سنگ شناسی | روته | ۸۸۰٤ | ۰ | ۰ | ۱/۰۱۱ | ۰/۸۸۸ |
| | کرتاسه بالایی | ۵۲۸۵۵ | ۰ | ۰ | ۱/۰۷۳ | ۰/۸۸۱ |
| | خوش ییلاق | ۲۲٦۹۰۱ | ٦ | ۰/۵۸۹ | ۱/۱٦۹ | ۰/۸۱۹ |
| | درود | ۸۳۱٦۵ | ۳ | ۰/۸۰۳ | ۱/۰۲٤ | ۰/۸۱٦ |
| | شمشک | ۱۸۹۹٤۵ | ۸ | ۰/۹۳۷ | ۱/۰۲ | ۰/۸۰۵ |
| | لار | ٦۹۲۱۸ | ۱ | ۰/۳۲۲ | ۱/۰٦٦ | ۰/۸۵٤ |
| | نهشته های آبرفتی | ۱۳۹٤۰ | ٤ | ٦,۳۸۹ | ۰/۹۰۲ | ۰/۳۳۹ |
| | گابروی دگرگون شده | ۱۱۲۳۳ | ۰ | ۰ | ۱/۰۱۵ | ۰/۸۸۸ |
| | مبارک | ۱۲۳۰۰۸ | ۱۳ | ۲,۳۵۳ | ۰/۷٤٦ | ۰/۷۱۱ |
| کاربری اراضی | جنگل ضعیف | ۱۵۸٦۷٤ | ۹ | ۱,۲٦۳ | ۰/۹۳۳ | ۰/۷۷۳ |
| | جنگل متوسط | ۵٤٤۵۸ | ۱ | ۰,٤۰۹ | ۱/۰٤٤ | ۰/۸۲ |
| | جنگل انبوه | ۳٤٤۹۹۹ | ۱۸ | ۱/۱٦۱ | ۰/۸۷۲ | ۰/۷۸۹ |
| | زراعت آبی | ۵۰۳۳٤ | ۵ | ۲/۲۱۱ | ۰/۹۱٦ | ۰/۷۰۵ |
| | زراعت دیم | ۱۷۷٦۰ | ۰ | ۰ | ۱/۰۲۳ | ۰/۸۵۳ |
| | مناطق مسکونی | ۵۲۳٦ | ۲ | ۸/۵۰۵ | ۰/۹٤۹ | ۰/۲۳٦ |
| | مرتع | ۱٤۷٦۰۸ | ۰ | ۰ | ۱/۲۳٤ | ۰/۸۲۳ |
| فاصله از رودخانه (متر) | <۱۰۰ | ٤۹۸۰۱۷ | ۲٤ | ۱/۰۷۳ | ۰/۸۷۱ | ۰/۵۹۵ |
| | ۱۰۰-۲۰۰ | ۱۸۳۹٦٤ | ۹ | ۱/۰۸۹ | ۰/۹۷۲ | ۰/۵۷۱ |
| | ۲۰۰-۳۰۰ | ٦۳۷۲۵ | ۱ | ۰,۳٤۹ | ۱/۰۵۸ | ۰/۷۱۱ |
| | ۳۰۰-٤۰۰ | ۲۳۲۲۱ | ۰ | ۰ | ۱/۰۳۱ | ۰/۷۹ |
| | >٤۰۰ | ۱۰۱٤۲ | ۱ | ۲,۱۹۵ | ۰/۹۸٤ | ۰/۳۳۳ |
| بافت خاک | لای- لوم | ۵٤۵۲۱ | ۲ | ۰/۸۱۷ | ۱/۰۱٤ | ۰/۵۸۸ |
| | لای-رس-لوم | ۹۳۸۸۱ | ۱۱ | ۲/٦۰۸ | ۰/۷۸ | ۰/۲۸۵ |
| | لومی- رسی | ۳۱۲٤۹۰ | ۹ | ۰/٦٤۱ | ۱/۲٤ | ۰/۵٦۸ |
| | شنی-لومی | ۳۱۸۱۷۷ | ۱۳ | ۰/۹۰۹ | ۱/۰٦۳ | ۰/۵۵۸ |
| درصد شیب | ۰-۱۵ | ۳٤۱۹۲ | ۰ | ۰ | ۱/۰٤٦ | ۰/۷۹ |
| | ۱۵-۳۰ | ۱۱۰۹۲۲ | ۷ | ۱/٤۰۵ | ۰/۹۳۳ | ۰/٤۸٤ |
| | ۳۰-٤۵ | ۱۸۰۵۰۷ | ۷ | ۰/۸٦۳ | ۱/۰٤۱ | ۰/۵۸۹ |
| | ٤۵-٦۰ | ۱۷۵۰٦۹ | ۷ | ۰/۸۹ | ۱/۰۳۲ | ۰/۵۸۵ |
| | >٦۰ | ۲۷۸۳۷۹ | ۱٤ | ۱/۱۱۹ | ۰/۹۳٤ | ۰/۵۵۱ |

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| جهت شیب | صاف | ۱۱۸۲۶ | ۰ | ۰ | ۱/۰۱۵ | ۰/۸۸۷ |
| | شمال | ۱۳۵۶۷۳ | ۲ | ۰/۳۲۸ | ۱/۱۴۲ | ۰/۸۳۳ |
| | شمال شرقی | ۸۱۷۵۲ | ۵ | ۱/۳۶۱ | ۰/۹۵۸ | ۰/۷۲۸ |
| | شرق | ۱۰۰۳۹۹ | ۵ | ۱/۱۰۹ | ۰/۹۸۴ | ۰/۷۵۶ |
| | جنوب شرقی | ۸۷۶۵۹ | ۲ | ۰/۵۰۸ | ۱/۰۶۲ | ۰/۸۲ |
| | جنوب | ۲۸۸۵۹ | ۱ | ۰/۷۷۱ | ۱/۰۰۹ | ۰/۷۹۴ |
| | جنوب غربی | ۳۷۳۰۸ | ۳ | ۱/۷۹ | ۰/۹۶۰ | ۰/۶۷۶ |
| | غرب | ۱۰۱۴۶۱ | ۴ | ۰/۸۷۸ | ۱/۰۱۸ | ۰/۷۸ |
| | شمال غربی | ۱۹۴۱۳۲ | ۱۳ | ۱/۴۹۱ | ۰/۸۳۷ | ۰/۷۲۶ |
| ارتفاع (متر) | ۶۴۸-۱۲۱۴/۲۵ | ۱۴۰۱۶۳ | ۱۸ | ۲/۸۵۹ | ۰/۵۹۲ | ۰/۳۲۶ |
| | ۱۲۱۴/۲۵-۱۶۰۲/۷۷ | ۱۷۱۰۸۱ | ۷ | ۰/۹۱۱ | ۱/۰۲۵ | ۰/۶۱۸ |
| | ۱۶۰۲/۷۷-۲۰۰۰/۲۵ | ۱۶۳۷۴۳ | ۶ | ۰/۸۱۶ | ۱/۰۴۹ | ۰/۶۳۲ |
| | ۲۰۰۰/۲۵-۲۳۸۸/۸۸ | ۱۵۸۴۱۸ | ۴ | ۰/۵۶۲ | ۱/۱۱۲ | ۰/۶۶۹ |
| | ۲۳۸۸/۸۸-۲۹۱۰ | ۱۴۵۶۶۴ | ۰ | ۰ | ۱/۲۳ | ۰/۷۵۶ |
| فاصله از گسل (متر) | <۱۰۰ | ۱۰۹۰۹۹ | ۷ | ۱/۴۲۸ | ۰/۹۳ | ۰/۴۵۹ |
| | ۱۰۰-۲۰۰ | ۱۰۰۴۶۵ | ۴ | ۰/۸۸۶ | ۱/۰۱۷ | ۰/۵۷۵ |
| | ۲۰۰-۳۰۰ | ۸۳۵۵۵ | ۱ | ۰/۲۶۶ | ۱/۰۸۸ | ۰/۷۱۲ |
| | ۳۰۰-۴۰۰ | ۷۲۴۶۸ | ۱ | ۰/۳۰۷ | ۱/۰۷۱ | ۰/۷۰۶ |
| | >۴۰۰ | ۴۱۳۴۸۲ | ۲۲ | ۱/۱۸۴ | ۰/۷۹۲ | ۰/۵۴۸ |
| شاخص قدرت رودخانه (SPI) | ۰-۳۰۰ | ۱۱۸۱۵۱ | ۱ | ۰/۱۸۸ | ۱/۱۴۵ | ۰/۶۶۳ |
| | ۳۰۰-۶۰۰ | ۱۱۸۹۴۲ | ۶ | ۱/۱۲۳ | ۰/۹۷۸ | ۰/۴۶۷ |
| | ۶۰۰-۹۰۰ | ۱۰۰۰۰۱ | ۷ | ۱/۵۵۸ | ۰/۹۱۸ | ۰/۳۷۲ |
| | >۹۰۰ | ۴۴۱۹۷۵ | ۲۱ | ۱/۰۵۸ | ۰/۹۲۴ | ۰/۴۹۸ |
| خطوط هم‌باران (میلی متر) | ۳۵۰> | ۲۲۹۵۶۸ | ۰ | ۰ | ۱/۴۱۸ | ۰/۷۱۸ |
| | ۳۵۰-۴۵۰ | ۱۵۹۱۷۶ | ۳ | ۰/۴۲ | ۱/۱۴۹ | ۰/۶۸۸ |
| | ۴۵۰-۵۵۰ | ۱۸۷۸۱۲ | ۱۳ | ۱/۵۴۱ | ۰/۸۲۸ | ۰/۵۲۷ |
| | ۵۵۰-۶۵۰ | ۱۵۸۰۱۵ | ۱۸ | ۲/۵۳۶ | ۰/۶۰۹ | ۰/۳۷۱ |
| | ۶۵۰-۷۵۰ | ۴۴۴۹۸ | ۱ | ۰/۵ | ۱/۰۳ | ۰/۶۹۵ |
| فاصله از جاده (متر) | >۱۰۰ | ۷۴۴۷۴ | ۱۲ | ۳/۵۸۷ | ۰/۷۲۷ | ۰/۴۸۱ |
| | ۱۰۰-۲۰۰ | ۶۶۶۶۵ | ۶ | ۲/۰۰۳ | ۰/۹۰۶ | ۰/۶۲۴ |
| | ۲۰۰-۳۰۰ | ۵۸۵۳۳ | ۵ | ۱/۹۰۱ | ۰/۹۲۷ | ۰/۶۳۲ |
| | ۳۰۰-۴۰۰ | ۵۴۸۱۶ | ۳ | ۱/۲۱۸ | ۰/۹۸۳ | ۰/۶۹۷ |
| | >۴۰۰ | ۵۲۴۵۸۱ | ۹ | ۰/۳۸۲ | ۲/۲۷۴ | ۰/۵۶۷ |
| تراکم گسل ($Km/Km^2$) | <۲ | ۴۶۶۲۲۷ | ۲۴ | ۱/۱۴۶ | ۰/۷۸۳ | ۰/۷۳۹ |
| | ۲-۴ | ۵۳۵۳۸ | ۰ | ۰ | ۱/۰۷۴ | ۰/۸۱۵ |
| | ۴-۶ | ۷۶۰۹۵ | ۳ | ۰/۸۷۸ | ۱/۰۱۳ | ۰/۷۲۹ |
| | >۶ | ۱۸۳۲۰۹ | ۹ | ۱/۰۹۳ | ۰/۹۷۱ | ۰/۷۱۳ |

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

زمین‌لغزش را افزایش می‌دهند. بررسی ارتفاع از سطح دریا نشان می‌دهد که ارتفاع ۱۲۱٤/۲۵–٦٤۸ متر بیش‌ترین میزان لغزش را دارد. افزایش ارتفاع باعث کاهش لغزش شده است بررسی نشان داده است که در جهات دامنه‌ای مشخص این امر می‌تواند به‌دلیل بارش‌های برفی در بالادست و هم‌چنین در امان بودن از دخالت انسان و یا سازندهای سنگی مقاوم‌تر باشد [۹]، [۳٤]. هم‌چنین بیش‌ترین لغزش‌ها در محدودهٔ بارش ٦۵۰–۵۵۰ میلی‌متر می‌توان مشاهده کرد که با نتایج پژوهش‌های [۲] مطابقت می‌کند. بررسی‌های مربوط به بافت خاک نشان داد که بیش‌ترین لغزش‌ها در خاک‌های لای- رسی- لومی و رسی- لومی اتفاق افتاده است. دلیل این امر را می‌توان با جذب آب بیش‌تر و آب‌گذری کم‌تر خاک‌های با بافت متوسط و ریز، در نتیجه اشباع راحت‌تر این خاک‌ها مرتبط دانست. دامنه‌های شمال‌غربی بیش‌ترین حساسیت به لغزش نشان می‌دهد. این موضوع ناشی از آن است که این دامنه‌ها به‌دلیل زاویه و طول مدت کم‌تر تابش خورشیدی در نیم‌کره شمالی دارای بیش‌ترین رطوبت هستند بنا براین شرایط مهیاتری برای رخ‌داد زمین‌لغزش در این دامنه‌ها وجود دارد [۱۰]. مناطق با مقادیر بالای شاخص قدرت رودخانه بیش‌ترین حساسیت به زمین‌لغزش را از خود نشان می‌دهند [٦]، [۹]. هر چه مقدار این شاخص بیش‌تر باشد تعداد لغزش‌های بیش‌تری در منطقه ایجاد می‌شود؛ از این رو، در مناطق پرشیب و اطراف رودخانه‌های اصلی لغزش‌های بیش‌تری دیده شده است که اثر این عامل را به‌خوبی نشان می‌دهد. هم‌چنین طبقه اول تراکم گسل (کوچک‌تر از ۲ کیلومتر بر کیلومترمربع) بیش‌ترین حساسیت به زمین‌لغزش را از خود نشان داد.

به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقهٔ بررسی شده از ۱۳ روی‌کرد استفاده شد. ۱۳ نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده از منحنی عملکرد نسبی و با در نظر گرفتن سطح زیرمنحنی ارزیابی شدند. براساس نتایج منحنی عملکرد نسبی (جدول ۲)، مقدار سطح زیر منحنی منطقهٔ بررسی شده هنگامی که از تمام عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش استفاده شد دارای دقتی برابر با ۸٤/٤ درصد بوده است (روی‌کرد اول مدل‌سازی).

دقت در جدول ۲ نشان می‌دهد که زمانی که عوامل خطوط هم‌باران (روی‌کرد دهم) و ارتفاع (روی‌کرد چهارم) از تحلیل‌ها حذف شد دقت مدل به‌ترتیب به ۷۳/۸ درصد و ۸۰/٤

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

درصد کـاهش یافت. این نتایج نشان می‌دهـد کـه عوامـل باران و ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در منطقـهٔ بررسی شده محسوب می‌شوند (شکل ۲).

بیش‌ترین دقت مدل زمـانی بوده است که عامل لیتولـوژی از تحلیل‌ها حذف شده است (روی‌کرد ششم مدل‌سازی) که در این حالت دقت مدل به ۹۲/۹ درصد افزایش یافته است (شکل۳) که نشان‌دهندهٔ ارزیابی عالی مدل دمپستر-شفر برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقهٔ بررسی شده است.

نتایج پهنه‌بندی خطر غزش نیـز برای مدل برتر (روی‌کرد ششم) در شکل ٤ نشان داده است که بـه‌ترتیـب ٤٠، ٢٠، ٢٦/٦٧ و ١٣/٣٣ درصد از لغزش‌های منطقه در طبقات خطر خیلی‌زیاد، زیاد، متوسط، کم و صفر درصد در طبقه خطر خیلی‌کم قرار گرفته‌اند.

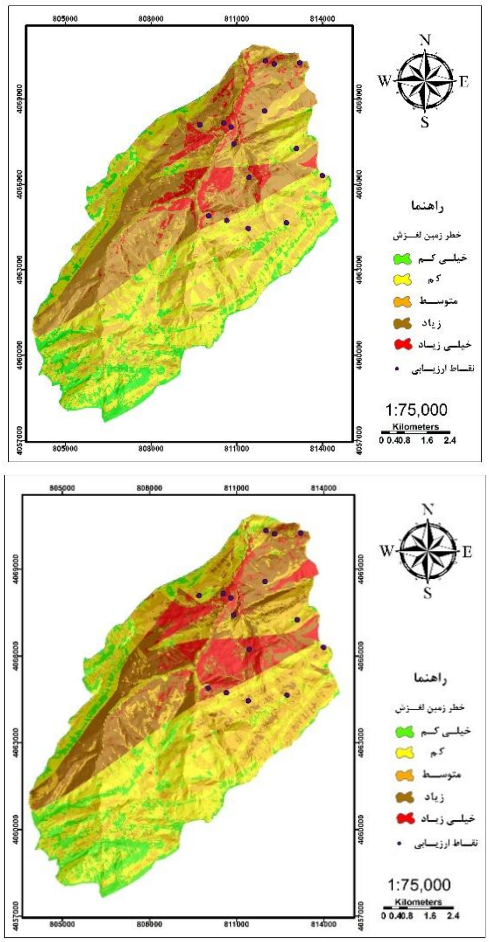
**جدول ۲. توصیف آماری هر یک از روی‌کردهای مدل‌سازی و میزان دقت مدل‌های مذکور**

| روی‌کرد | میانگین | انحراف معیار | سطح زیر منحنی |
|---|---|---|---|
| ١ | ٧/٥٠٧ | ٠/٤٤٨ | (٨٤٪/٤)٠/٨٤٤ |
| ٢ | ٦/٨٧١ | ٠/٥٨٥ | (٨١٪/٣)٠/٨١٣ |
| ٣ | ٦/٧٠٢ | ٠/٦٠٧ | (٨٣٪/٦)٠/٨٣٦ |
| ٤ | ٦/٩٤٣ | ٠/٥٣٠ | (٨٠٪/٤)٠/٨٠٤ |
| ٥ | ٦/٧٠٥ | ٠/٥٨١ | (٨٤٪/٤)٠/٨٤٤ |
| ٦ | ٦/٧٣ | ٠/٦٣٣ | (٩٢٪/٩)٠/٩٢٩ |
| ٧ | ٦/٨٥٢ | ٠/٥٩٨ | (٨٣٪/٦)٠/٨٣٦ |
| ٨ | ٦/٩٠١ | ٠/٦٢٤ | (٨٤٪/٤)٠/٨٤٤ |
| ٩ | ٦/٨٢٨ | ٠/٦٢٦ | (٨٤٪)٠/٨٤ |
| ١٠ | ٦/٨٩٦ | ٠/٥٣٧ | (٧٣٪/٨)٠/٧٣٨ |
| ١١ | ٦/٩٨٢ | ٠/٥٥٦ | (٧٨٪/٢)٠/٧٨٢ |
| ١٢ | ٦/٩٦ | ٠/٥٨٨ | (٨٢٪/٢)٠/٨٢٢ |
| ١٣ | ٦/٧٣٢ | ٠/٦٢٧ | (٨٣٪/٦)٠/٨٣٦ |

١. استفاده از تمام عوامل مؤثر، ٢. حذف عامل درصد شیب، ٣. حذف عامل جهت شیب، ٤. حذف عامل ارتفاع، ٥. حذف عامل کاربری اراضی، ٦. حذف عامل لیتولوژی، ٧. حذف عامل فاصله از رودخانه، ٨. حذف عامل فاصله از گسل، ٩. حذف عامل فاصله از جاده، ١٠. حذف

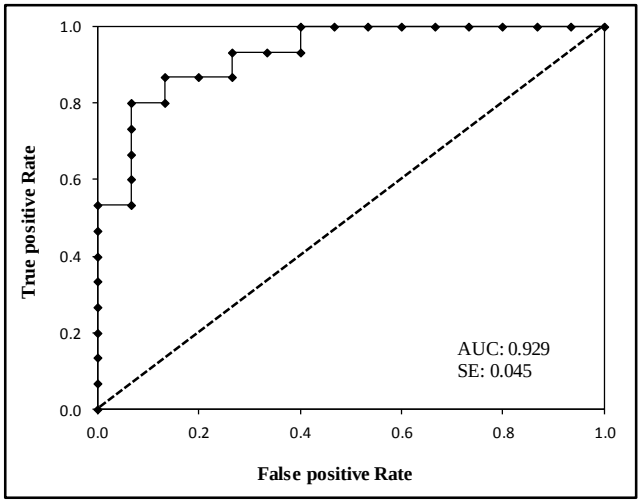
[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

عامل باران، ۱۱. حذف عامل بافت خاک، ۱۲. حذف عامل شاخص قدرت رودخانه و ۱۳. حذف عامل تراکم گسل.

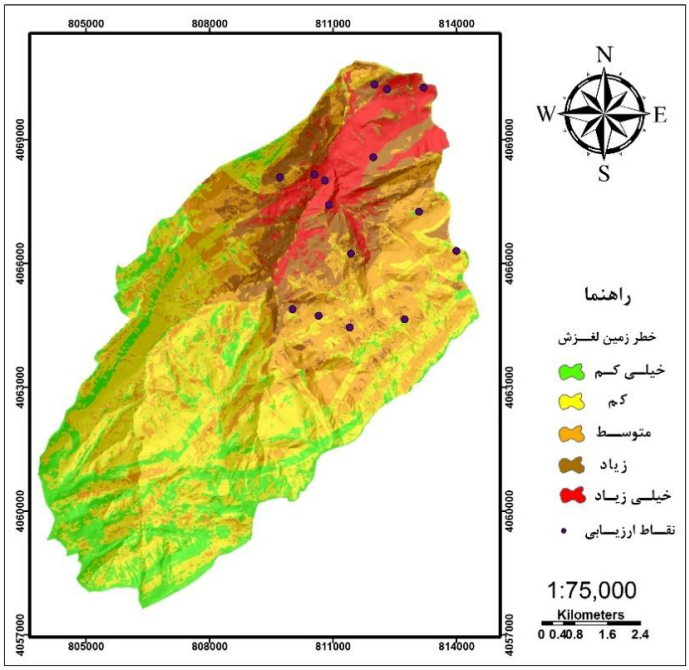



**شکل۲. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوزهٔ آبخیز زیارت با استفاده از تئوری دمپستر–شفر (به‌ترتیب از راست به‌چپ: روی‌کرد دهم و چهارم)**

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]




**شکل۳. منحنی عملکرد نسبی و سطح زیرمنحنی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تئوری دمپستر-شفر (روی‌کرد ششم مدل‌سازی)**




**شکل٤. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزهٔ آبخیز زیارت با استفاده از تئوری دمپستر-شفر**

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

## نتیجه‌گیری

پس از تهیهٔ نقشه پراکنش لغزش‌های منطقه، با استفاده تئوری دمپستر-شفر تأثیر ۱۲ عامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش شامل درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع، خطوط هم باران، زمین شناسی، کاربری اراضی، بافت خاک، فاصله از جاده، فاصله از گسل، تراکم گسل، فاصله از رودخانه و شاخص قدرت رودخانه در حوزهٔ آبخیز زیارت بررسی شد. برای این منظور ۱۳ روی‌کرد مدل‌سازی به‌کار گرفته شد. بدین‌صورت که ابتدا با استفاده از تمامی عوامل مؤثر و سپس حذف تک‌تک آن‌ها اقدام به بررسی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش شد. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از روش منحنی عملکرد نسبی نشان داد که با حذف عامل لیتولوژی مدل با دقت ۹۲/۹ درصد، در طبقه عالی قرار می‌گیرد. هم‌چنین دقت مدل نشان داد که با حذف عامل بارندگی و ارتفاع دقت مدل به ۷۳/۸ درصد و ۸۰/٤ درصد تنزل می‌یابد. بنا براین این دو عامل به‌عنوان مؤثرترین عوامل در وقوع زمین‌لغزش در منطقهٔ بررسی شده شناخته شدند. براساس نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزهٔ آبخیز زیارت و نقاط زمین‌لغزش (۱۵ نقطه) در نظر گفته شده برای ارزیابی صحت مدل، به‌ترتیب ٤۰، ۲۰، ۲٦/٦۷ و ۱۳/۳۳ درصد از لغزش‌های منطقه در طبقات خطر خیلی‌زیاد، زیاد، متوسط، کم و صفر درصد در طبقه خطر خیلی‌کم قرار گرفتند.

## تشکر و قدردانی

از اداره کل منابع طبیعی و معاونت آبخیزداری استان گلستان به‌دلیل مساعدت‌های فراوان تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

1. Swets J. A., "Measuring the accuracy of diagnostic systems", Science, 240 (1988) 1285-1293.

۲. زارع م.، احمدی ح.، غلامی ش.، "پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعات و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوزهٔ آبخیز واز)"، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۵، شماره ۱۷ زمستان (۱۳۹۰) ۱۵-۲۲.

3. Remendo J., Gonzales A., Teran J., Cendrero A., Fabbri A., Chung C., "Validation of landslide susceptibility maps, examples and applications

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

from a case study in northern Spain", Natural Hazard, Vol. 21 (2003) 437-449.

٤. بهاورند س.، سوری س. "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و مدل تراکم سطح (مطالعه موردی: حوضهٔ کاکاشرف، جنوب‌شرقی خرم‌آباد)"، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد ٩، شماره ٤ زمستان (١٣٩٤) ٣١١٢- ٣٠٩٣.

5. Komac M. A., "Landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Sloveni", Geomorphology, Vol.74 (2006) 17-28.

6. Pourghasemi H. R., pardhan B., gokceoglu C., dylami moezzi K., "comparative assessment of prediction capabilities of Dempster-Shafer and Weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping using GIS", Geomatics, Natural Hazards and Risk, Vol.2, (2013a) 93-118.

٧. فاطمی‌عقدا س. م.، غیومیان ج.، تشنه لب م.، اشقلی فراهانی، ع.، "بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعهٔ موردی: منطقه رودبار)"، مجله علوم دانشگاه تهران، دوره ٣١، شمارهٔ ١ (١٣٨٤) ٤٣-٦٤.

٨. مرادی ح.ر.، محمدی م.، پورقاسمی ح.ر.، مصطفی‌زاده ر.، "تحلیل خطر زمین‌لغزش در استان گلستان با استفاده از تئوری دمپستر- شیفر، پژوهش‌های دانش زمین، دوره١، شماره ٣ پاییز (١٣٨٩) ١-١٤.

9. Pourghasemi H. R., Jirandeh A. G., Pradhan B., xu C., Gokceoglu C., "Landslide susceptibility mapping using support vector machine and GIS at the Golestan Province, Iran", Journal of Earth System Science, Vol.12 (2013b) 349-369.

١٠. شیرانی ک.، سیف ع.، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری (منطقهٔ پیشکوه، شهرستان فریدون شهر)"، مجله علوم زمین، دوره ٢٢، شماره ٨٥ پاییز(١٣٩١) ١٤٩-١٥٨.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

۱۱. صابرچناری ک.، سلمانی ح.، محمدی م.، "ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات و LNRF، نشریه اکوهیدرولوژی"، دوره ۲، شماره ۱ بهار (۱۳۹٤) ۱۱٦-۱۰۵.

12. Yalcin A., "GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmation". Catena, Vol.72 (2008) 1–12.

13. Neuhauser B., Terhorst B., "Landslide susceptibility assessment using weights-of- evidence applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany)", Geomorphology, Vol.86 (2007) 12-24.

14. Lee S., "Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping", Environmental Geology, Vol.52 (2007) 615-623.

15. Park N. W., "Application of Dempster-Shafer theory of evidence to GIS-based landslide susceptibility analysis", Environmental Earth Science, Vol.62 (2010) 367-376

16. Saadatkhah N., Kassim A., Min Lee L., "Qualitative and Quantitative Landslide Susceptibility Assessments in Hulu Kelang area", Malaysia, EGJE journal, Vol.19 (2014) 545-563.

17. Wang G., Li W., Wu Y., Pei Y., Xing M., Yang D. "A comparative study on the landslide susceptibility mapping using evidential belief function and weights of evidence models", Journal of Earth System Science, Vol.125 (2016) 645-662.

18. Zhang Z., Yang F., Chen H., Wu Y., Li T., Li W., Wang., Liu P., "GIS-based landslide susceptibility analysis using frequency ratio and evidential belief function models", Environmental Earth Sciences, Vol. 75 (2016) 1-12.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

19. Ding, Q., Chen W., Hong H., "Application of frequency ratio, weights of evidence and evidential belief function models in landslide susceptibility mapping", Geocarto International, 10.1080/10106049 (2016) 1165294.

20. Althuwaynee O. F., Pradhan B., Lee S., "A novel integrated model for assessing landslide susceptibility mapping using CHAID and AHP pair-wise comparison", International Journal of Remote Sensing, Vol. 37 (2012) 1190-1209.

21. Erener, A., Mutlu A., Sebnem Düzgün, H., "A comparative study for landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis (MCDA), logistic regression (LR) and association rule mining (ARM)", Engineering Geology, Vol. 203 (2016) 45-55.

۲۲. رحیمی نسب ع. الف.، عبقری ه.، عرفانیان م.، ندیری، ع.، "بررسی و تحلیل مدل هیبرید AHP و تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، پژوهش‌های فرسایش محیطی، دورهٔ ۲، شمارهٔ ۵ بهار (۱۳۹۱) ۱-۱۱.

23. Pourghasemi H. R., Pradhan B., Gokceoglu C., "Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran", Nat Hazards, Vol.63 (2012) 965-996.

24. Constantin M., Bednarik M., Jurchescu M.C., Vlaicu M., "Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania)", Environmental Earth Science, Vol.63 (2010) 397-406.

۲۵. کریمی سنگ‌چینی الف.، اونق، م.ف سعدالدین الف.، "ارزیابی خطر و خسارت زمین لغزش در حوزهٔ آبخیز چهل چای، استان گلستان"، پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، دورهٔ ٢٦، شمارهٔ ١ (بهار ١٣٩٢) ٧٤-٨٤.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]

٢٦. کریمی سنگ‌چینی الف.، اونق م. ف.، سعدالدین الف.، "مقایسهٔ کارایی ٤ مدل کمی و نیمه‌کمی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزهٔ آبخیز چهل‌چای"، استان گلستان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ١٩، شمارهٔ ١ (١٣٩١) ١٨٣-١٩٦.

27. Moore I. D., Wilson, J. P., "Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation". J Soil Water Conserv, Vol.47 (1992) 423-428.

28. Nefeslioglu H. A., Duman T. Y., Durmaz, S., "Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Easten Black Sea Region of Turkey)", Geomorphology, Vol.94 (2008) 401-418.

29. Dempster A. P., "Upper and lower probabilities induced by a multi valued mapping". The Annals of Mathematical Statistics.Vol.38 (1967) 325-339.

30. Shafer G., "A mathematical theory of evidence. Princeton University Press", Princeton (1976).

31. An P., Moon W.M., Bonham-Carter G.F., "Uncertainty management in integration of exploration data using the belief function", Nonrenewable Resources, Vol.3 (1994) 60-71.

32. Regmi N. R., Giardino J. R., Vite, J. D., "Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA", Geomorphology, Vol.115 (2010) 172–187.

٣٣. شادفر ص.، یمانی م.، نمکی م.، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRF درحوضهٔ چالکرود، مهندسی و مدیریت آبخیز، دورهٔ ٣، شمارهٔ ١ (١٣٩٠) ٤٠-٤٧.

٣٤. پورقاسمی ح ر.، "ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: بخشی از حوزهٔ آبخیز هراز)"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، (١٣٨٦).

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.4.2.5 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.4.385 ]