

## تحلیل خطر زمین لغزش در استان گلستان با استفاده از تئوری

### دمپستر-شیفر (Dempster-Shafer)

حمیدرضا مرادی<sup>۱\*</sup>، مجید محمدی<sup>۲</sup>، حمیدرضا پورقاسمی<sup>۲</sup>، رئوف مصطفی زاده<sup>۲</sup>

۱- دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشجویان دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۱۲/۲۱

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۸۹/۵/۱۷

#### چکیده

استان گلستان به دلیل شرایط خاص آب و هوایی و فیزیوگرافی همواره در معرض خطر زمین لغزش قرار دارد. در این مقاله چهارچوب تلفیق یکپارچه داده‌ها بر اساس تئوری دمپستر-شیفر برای تهیه نقشه خطر زمین لغزش و با استفاده از داده‌های مکانی چندگانه معرفی گردید. به این منظور ابتدا با استفاده از نقاط لغزشی بانک اطلاعات زمین لغزش کشور، (۳۹۲ نقطه لغزشی) نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه تهیه گردید. سپس نقشه‌های هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش از قبیل شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، زمین شناسی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و پهنه‌های بارش منطقه در محیط سامانه داده‌های مکانی تهیه گردید. با استفاده از تئوری دمپستر-شیفر وزن هر یک از فاکتورها محاسبه شد، وزن‌ها در نقشه‌های عامل وارد شده و برای هر عامل یک نقشه وزنی به دست آمد. سپس وزن‌ها با هم جمع شده و نقشه خطر زمین لغزش تهیه گردید. در این تحقیق برای بررسی دقت مدل از روش ROC و سطح زیر منحنی استفاده شد. ارزیابی مدل نشان داد تئوری دمپستر-شیفر دقت قابل قبولی برای تحلیل خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه دارد.

**واژه های کلیدی:** تئوری دمپستر-شیفر، تحلیل خطر زمین لغزش، زمین لغزش، استان گلستان

## مقدمه

انسان با مسائل زیست‌محیطی فراوانی مواجه است و بلایای طبیعی جزئی از این مشکلات هستند. بلایای طبیعی باعث کشته و مجروح شدن سالانه صدها هزار تن و بی‌خانمان شدن میلیون‌ها نفر در سراسر جهان می‌شود (محمدی، ۱۳۸۶). رشد روز افزون جمعیت موجب افزایش فشار بر منابع طبیعی شده که پیامد آن تشدید وقوع خطرات طبیعی مانند حرکات توده‌ای و بویژه زمین‌لغزش است. وقوع این پدیده باعث بروز مشکلاتی می‌شود که به هم خوردن تعادل منابع آب و خاک در طبیعت، تخریب جاده‌ها، مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی و افزایش نرخ رسوب‌زایی در طبیعت، از پیامدهای ناشی از این پدیده طبیعی است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۸). از جمله خسارات مهم زمین‌لغزش در کشور می‌توان به فاجعه دفن شدن روستای فتلک در خرداد ۶۹ در رودبار، زمین‌لغزش‌های سال ۷۳ ناشی از بارندگی‌های شدید در استان گیلان با ۶ کشته و تخریب ۱۶ خانه مسکونی (مرتضوی و حق‌نظر، ۱۳۸۸)، مدفون شدن روستای آبیکار در چهارمحال و بختیاری در زیر حجم عظیمی از خاک و از بین رفتن اهالی روستا در سال ۷۶ و وقوع زمین‌لغزش در آبادی بهل در سال ۶۶ و ۷۵ که به ترتیب باعث کشته شدن ۱۳ و ۶ نفر گردید (عظیم‌پور و همکاران، ۱۳۸۸)، اشاره نمود. پیشرفت در تکنیک‌های بررسی و نیاز به برنامه‌ریزی‌های ناحیه‌ای هماهنگ با ویژگی‌های محیطی و با کمترین ریسک، تحقیقات در مورد این پدیده را ابعاد جدیدی بخشید، به این ترتیب، محققین با تکیه بر امکانات سامانه داده‌های مکانی<sup>۱</sup> (GIS) مناطق وسیعی را از نظر حساسیت

به وقوع زمین‌لغزش پهنه‌بندی می‌کنند (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۶).

از جمله مطالعات انجام شده در زمینه زمین‌لغزش می‌توان به تحقیقات خولار و همکاران (۲۰۰۰)، تحلیل خطر زمین‌لغزش ناحیه میزوران<sup>۲</sup> در شمال هند، پیر و کاپل (۲۰۰۲) در منطقه تولی ولی نیویورک، کیل بورن و پستو (۲۰۰۳) در ۵ منطقه از قاره اروپا، لن و همکاران (۲۰۰۴) در چین، آیالو و یاماگیشی (۲۰۰۵) در کوه‌های کاکودای ژاپن، دومان و همکاران (۲۰۰۶) حرکات توده‌ای رخ داده در طی طوفان سال ۲۰۰۴ نیوزیلند، یالسن (۲۰۰۸) در ترکیه اشاره نمود. در ایران نیز حسن-زاده (۱۳۷۹) در حوزه آبخیز شلمانرود استان گیلان، احمدی و محمدخان (۱۳۸۱) در حوزه آبخیز طالقان، فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۳) در حوزه آبخیز شیرین‌رود تجن، شادفر و همکاران (۱۳۸۴) در حوزه آبخیز چالکرد، گرابی (۱۳۸۵) در حوزه لاجیم‌رود مازندران، پورقاسمی (۱۳۸۶) و محمدی و همکاران (۱۳۸۷)، لغزش‌های حوزه آبخیز هراز، رنجبر و روغنی (۱۳۸۸)، تأثیر کاربری بر وقوع زمین‌لغزش و امیراحمدی و همکاران (۱۳۸۹) زمین‌لغزش حوزه آبخیز چلاو آمل را مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. یکی از استان‌های مستعد زمین‌لغزش، استان گلستان است. از جمله زمین‌لغزش‌های مهم این استان می‌توان به ملج آرام، قورچای، صفی آباد، زندال-چال و طول آرام در این استان اشاره نمود. استان از نظر وسعت، تنوع توپوگرافی، وجود شرایط خاص آب و هوایی و نوع کاربری‌های اراضی دارای ناهمگنی بالایی است که از این نظر ارزیابی خصوصیات و وقوع زمین‌لغزش دارای اهمیت خواهد بود. بنابراین بررسی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر آن جهت

<sup>۲</sup> - Mizoran

<sup>۱</sup> - Geographic Information System

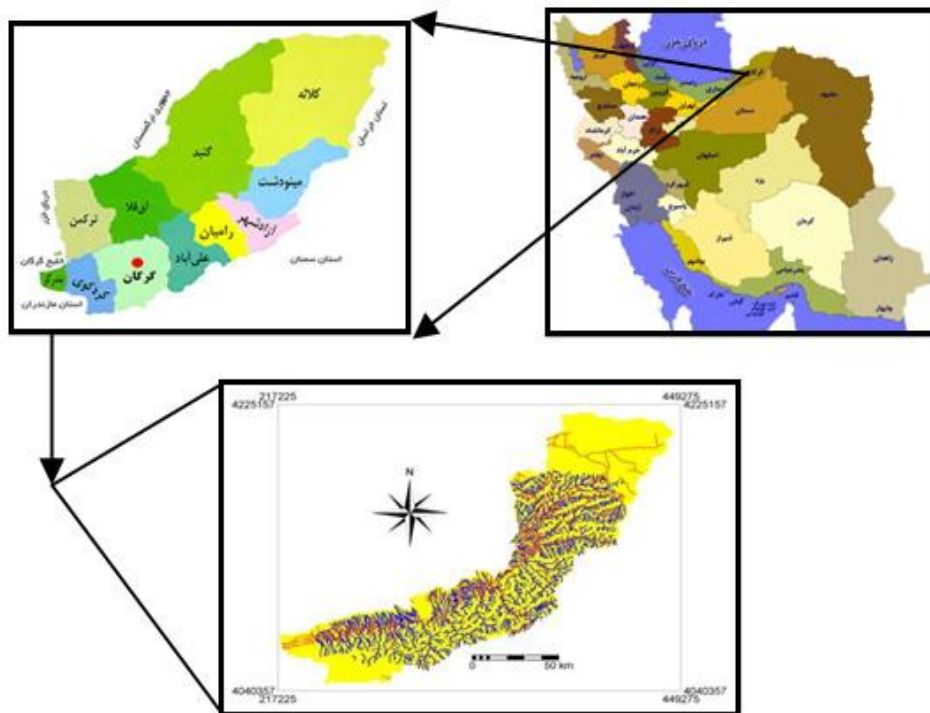
۸۸۰ میلیمتر در ایستگاه پس پشته متغیر است. توپوگرافی و خصوصیات متفاوت بارش و نیز شرایط آب و هوایی در منطقه باعث تنوع قابل توجه شرایط اقلیمی در منطقه مورد مطالعه شده است. استان گلستان در طبقه‌بندی دومارتن دارای ۶ اقلیم متفاوت می‌باشد که در این طبقه‌بندی، نوار شمالی استان دارای اقلیم خشک، در نوار میانی دارای اقلیم نیمه خشک و در بخش‌های جنوبی و جنوب غرب نواحی نیمه مرطوب و بسیار مرطوب قرار دارد (مساعدی و همکاران، ۱۳۸۷). کاربری اراضی عمدتاً حوزه به ویژه در جنوب و شرق جنگلی بوده و در شمال و غرب منطقه دشتهای آبرفتی به صورت زراعت و مرتع در حال بهره‌برداری هستند. منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی از سنگ آهک‌های متعلق به سازندهای لار و مزدوران با سن ژوراسیک بالایی تشکیل شده و نهشته‌های لسی از گسترده‌ترین رسوبات دوران چهارم در این ناحیه است.

پیشگیری و انجام اقدامات مختلف مدیریتی در این استان ضروری به نظر می‌رسد (خلیلی زاده و موغلی، ۱۳۸۸). در تحقیق حاضر هدف تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش در ارتفاعات استان با استفاده از تئوری دمپستر- شفر می‌باشد. لازم به ذکر است که استفاده از تئوری دمپستر- شفر برای اولین بار در کشور جهت بررسی زمین لغزش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

استان گلستان با مساحتی حدود ۲۰۴۳۸ کیلومتر مربع در شمال شرق کشور واقع شده است. منطقه مورد مطالعه بخش کوهستانی استان گلستان است. منطقه بین عرض‌های  $27^{\circ}48'$  تا  $36^{\circ}$  شمالی و طول‌های جغرافیایی  $29^{\circ}14'56''$  تا  $53^{\circ}40'44''$  شرقی قرار دارد. ارتفاع بیشینه منطقه مورد مطالعه ۳۶۷۴ متر می‌باشد (شکل ۱). میزان بارندگی متوسط سالانه آن از حدود ۱۸۰ میلیمتر در ایستگاه داشلی برون تا



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان و ایران

## روش تحقیق

جهت تهیه نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از تئوری دمپستر-شفر، ابتدا با استفاده از نقاط لغزشی بانک اطلاعات زمین لغزش کشور، نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه مطالعاتی تهیه گردید. طول و عرض نقاط لغزشی وارد محیط نرم افزار ArcGIS گردیده و در آنجا به نقشه تبدیل شد. نقشه عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش شامل درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، زمین شناسی، بافت خاک، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و بارش در محیط GIS تهیه و بر اساس مطالعات گذشته طبقه بندی شد. در مرحله بعد نقشه هر یک از عوامل موثر در محیط GIS با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها تلفیق و تعداد لغزش در هر طبقه به دست آمد. به منظور تعیین نقشه‌های شاخص توان آبراهه (SPI)<sup>۱</sup> و شاخص حمل رسوب (STI)<sup>۲</sup> از رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده گردید (مور و همکاران، ۱۹۹۳ و نفیسو اوغلو و همکاران، ۲۰۰۸). نقشه پهنه‌های بارش نیز با استفاده از آمار بارندگی ایستگاه‌های باران سنجی منطقه، تهیه گردید. به این صورت که ابتدا با استفاده از رگرسیون خطی گرادیان بارش در منطقه به دست آمده و سپس رابطه رگرسیونی در نقشه DEM ضرب شد.

$$SPI = A_s \cdot \tan \beta \quad (۱) \text{ رابطه}$$

$$STI = \left( \frac{A_s}{22.13} \right)^{0.6} \cdot \left( \frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^{1.3} \quad (۲) \text{ رابطه}$$

که در آن  $A_s$ : مساحت حوزه آبخیز،  $\beta$ : گرادیان شیب بر حسب درجه و STI بیانگر شاخص حمل رسوب و یا به عبارتی عامل LS<sup>۳</sup> مدل

AUSLE<sup>۴</sup> است که مدل مذکور اصلاح شده معادله جهانی تلفات خاک (USLE)<sup>۵</sup> می‌باشد.

## تئوری دمپستر-شفر

تئوری دمپستر-شفر، 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 هست، بنابراین توابع اعتقادی بیانگر درجات اعتقاد برای یک سوال یا یک احتمال مربوط به آن می‌باشد. این درجات اعتقاد ممکن است خواص ریاضی احتمالات را داشته یا نداشته باشد. اینکه چقدر ممکن است از احتمالات متفاوت باشد وابسته به قرابت دو سوال مطرح شده دارد.

این تئوری در سال ۱۹۶۸ توسط دمپستر و در سال ۱۹۷۶ توسط شفر توسعه یافت اما اصیلت این تئوری به قرن ۱۷ بر می‌گردد. این تئوری بسیار مورد توجه محققین هوش مصنوعی بویژه 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 مشابه تئوری فاکتور اطمینان بوده و این تشابه، منجر شده که ترکیب این دو تئوری دارای انعطاف پذیری بالایی همچون قوانین مبتنی بر سیستم باشد. تئوری دمپستر-شفر بخاطر انعطاف پذیری نسبی آن همواره مورد توجه محققین قرار گرفته است. تئوری مذکور بر اساس دو ایده اصلی بنیان گذاری گردیده است:

۱. تعیین درجات اعتقاد برای یک سوال مبتنی بر احتمالات ذهنی؛

<sup>۴</sup> - Adapted Universal Soil Loss Equation (AUSLE)

<sup>۵</sup> - Universal Soil Loss Equation (USLE)

<sup>۱</sup> - Stream Power Index

<sup>۲</sup> - Sediment Transport Index

<sup>۳</sup> - Length and Slope

(آن و همکاران، ۱۹۹۴). به طور کلی برای تهیه نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از این روش از روابط ۳ تا ۷ استفاده گردید (پارک، ۲۰۱۰).

$$\lambda(T_P)_{E_{ij}} = \frac{N(L \cap E_{ij})}{N(L) - N(E_{ij} - L \cap E_{ij})} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\lambda(\bar{T}_P)_{E_{ij}} = \frac{N(L) - N(L \cap E_{ij})}{N(A) - N(L)}$$

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

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

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

$$m(\Theta) = 1 - m(T_P)_{E_{ij}} - m(\bar{T}_P)_{E_{ij}} \quad \text{رابطه (۷)}$$

**ارزیابی روش پهنه‌بندی خطر زمین لغزش**  
با توجه به اینکه برای ارزیابی مدل نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده نمود که در پهنه‌بندی استفاده شده‌اند (کوماک، ۲۰۰۶)، از بین تعداد ۳۹۲ نقطه لغزشی، تعدادی از نقاط برای مدل‌سازی و بخشی از آن نیز برای ارزیابی مدل (با نسبت حدودی ۷۰ به ۳۰) مورد استفاده قرار گرفت (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۸۸، و کنستانتین و همکاران، ۲۰۱۰). سپس با استفاده از منحنی ROC<sup>۱</sup> (نفیسلو اوگلو و همکاران، ۲۰۰۸ و رگمی و همکاران، ۲۰۱۰) صحت نقشه پهنه‌بندی تهیه شده ارزیابی شد. این منحنی از کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌هاست که

اره ۳، پاییز ۱۳۸۹، صفحات ۱-۱۴  
اعتقاد برای بخش‌های مستقل یک واقعه.

نظریه وقوع دمپستر- شفر در واقع یک چارچوب ریاضی برای توصیف داده‌های ناقص تهیه می‌کند

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.

بر اساس روابط فوق تمامی کلاسه‌های هر عامل وزن‌دهی می‌شود. در محیط GIS این وزن‌ها به نقشه اضافه و نقشه وزنی هر فاکتور به دست می‌آید. در مرحله بعد نقشه‌های وزنی با هم جمع شده و نقشه نهایی به دست می‌آید. در این نقشه وزن هر پیکسل از مجموع وزن‌های بدست آمده برای هر فاکتور در آن پیکسل محاسبه می‌شود. طبقه‌هایی که حساسیت بیشتری دارند در این مدل وزن کمتری به خود اختصاص می‌دهند. بر اساس نقاط شکست منحنی تجمعی، نقشه به چهار طبقه کم خطر، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی زیاد تقسیم می‌شود.

<sup>1</sup> - Receiver Operating Characteristics

روش ROC وزن‌های به دست آمده استاندارد شده و وزن نقاط لغزشی به عنوان وزن‌های صحیح در محور عمودی و وزن بقیه نقاط که به صورت تصادفی انتخاب شده بودند را در محور افقی وارد می‌کنیم. سطح زیر منحنی که به دست می‌آید بیانگر دقت مدل است.

**نتایج**

نتایج حاصل از تلفیق نقشه‌های عامل و پراکنش لغزش‌ها و محاسبه وزن هر طبقه در جدول‌های ۱ تا ۱۲ ارائه شده است.

جدول ۱- تعداد لغزش در طبقه‌های درجه شیب

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد لغزش	$m(T_p)$	$m(\overline{T_p})$	$m(\Theta)$
در جه شیب	>۵	۵۷۶۴۸۷۴	۸۵	۰/۱۳۲	۰/۲۴۶	۰/۱۶۲۲
	۵-۱۲	۲۵۶۸۰۵۲	۷۴	۰/۲۶۱	۰/۱۷۹	۰/۱۵۶۰
	۱۳-۲۰	۲۲۲۸۲۴۸	۶۹	۰/۲۷۶	۰/۱۷۸	۰/۱۵۴۶
	۲۱-۳۰	۱۶۰۴۵۱۳	۳۴	۰/۱۸۹	۰/۱۹۷	۰/۱۶۱۴
	<۳۰	۷۵۳۱۱۵	۱۲	۰/۱۴۲	۰/۲۰۰	۰/۱۶۵۸

جدول ۲- تعداد لغزش در طبقه‌های جهت شیب

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد لغزش	$m(T_p)$	$m(\overline{T_p})$	$m(\Theta)$
جهت شیب	N	۲۳۱۹۱۱۴	۴۳	۰/۱۰۷	۰/۱۲۸	۰/۷۶۵
	NE	۱۲۹۴۹۳۰	۲۶	۰/۱۱۶	۰/۱۲۶	۰/۷۵۸
	E	۱۰۲۳۳۵۲	۲۲	۰/۱۲۴	۰/۱۲۵	۰/۷۵۱
	SE	۱۵۱۵۸۷۵	۲۹	۰/۱۱۱	۰/۱۲۷	۰/۷۶۲
	S	۱۵۱۴۹۲۳	۳۳	۰/۱۲۶	۰/۱۲۵	۰/۷۴۹
	SW	۱۲۱۸۳۳۶	۳۲	۰/۱۵۲	۰/۱۲۲	۰/۷۲۶
	W	۱۵۴۶۱۹۴	۳۹	۰/۱۴۶	۰/۱۲۲	۰/۷۳۲
	NW	۲۴۸۶۰۷۸	۵۱	۰/۱۱۹	۰/۱۲۶	۰/۷۵۵

به

همین تعداد نیز نقاطی به صورت تصادفی در مناطق دیگر انتخاب کرده و وزن آنها را نیز یادداشت می‌کنیم. بر اساس روابط موجود برای

<sup>1</sup> - Area Under Curve

جدول ۳- تعداد لغزش در طبقه‌های ارتفاع

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد لغزش	$m(T_p)$	$m(\overline{T_p})$	$m(\Theta)$
ارتفاع	۰-۵۰۰	۶۱۶۰۹۱۸	۱۱۹	۰/۲۰۲	۰/۱۵۵	۰/۶۴۳
	۵۰۰-۱۰۰۰	۲۶۰۵۴۹۷	۹۷	۰/۳۹۰	۰/۱۱۶	۰/۴۹۴
	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۸۷۳۰۱۴	۳۹	۰/۲۱۸	۰/۱۴۳	۰/۶۳۹
	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۱۲۱۴۲۷۷	۱۷	۰/۱۴۷	۰/۱۴۸	۰/۷۰۵
	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۷۴۱۴۱۳	۳	۰/۰۴۲	۰/۱۵۰	۰/۸۰۸
	۲۵۰۰-۳۰۰۰	۳۰۱۰۹۴	۰	۰	۰/۱۴۶	۰/۸۵۴
	۳۰۰۰<	۲۲۵۶۹	۰	۰	۰/۱۴۳	۰/۸۵۷

جدول ۴- تعداد لغزش در طبقه‌های کاربری اراضی

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد لغزش	$m(T_p)$	$m(\overline{T_p})$	$m(\Theta)$
کاربری اراضی	دریاچه	۳۹۱۱	۰	۰	۰/۱۱۱	۰/۸۸۹
	نیزار	۱۷۴۷	۰	۰	۰/۱۱۱	۰/۸۸۹
	اراضی بایر	۱۳۷۴۹	۰	۰	۰/۱۱۱	۰/۸۸۹
	اراضی شور	۱۰۹۰	۰	۰	۰/۱۱۱	۰/۸۸۹
	مرتع- زراعت	۴۰۳۷۳۹	۱۷	۰/۳۰۳	۰/۱۰۸	۰/۵۸۹
	زراعت آبی	۲۶۶۸۷۹۰	۲۰	۰/۰۵۴	۰/۱۳۰	۰/۸۱۶
	زراعت دیم	۹۶۲۸۸۷	۴۷	۰/۳۵۱	۰/۰۱۰	۰/۶۳۹
	مرتع	۴۰۴۹۰۲۹	۲۵	۰/۰۴۴	۰/۱۴۷	۰/۸۰۹
	جنگل	۴۸۱۳۸۶۰	۱۶۶	۰/۲۴۸	۰/۰۷۹	۰/۶۸۲

جدول ۵- تعداد لغزش در طبقه‌های زمین شناسی

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد لغزش	$m(T_p)$	$m(\overline{T_p})$	$m(\Theta)$
زمین شناسی	کربونیفر	۵۴۳۶۱۰	۱۷	۰/۰۸۱	۰/۰۸۹	۰/۸۳۰
	کرتاسه	۲۱۵۵۶۱۱	۲	۰/۰۰۲	۰/۱۰۸	۰/۸۹۰
	دوونین	۹۰۹۶۳۰	۲۱	۰/۰۶۰	۰/۰۹۰	۰/۸۵۰
	ژوراسیک	۱۹۵۶۰۲۱	۶۵	۰/۰۸۶	۰/۰۸۱	۰/۸۳۳
	نئوژن	۱۶۹۵۶	۰	۰	۰/۰۹۱	۰/۹۰۹
	اردوویسین	۵۴۲۸	۰	۰	۰/۰۹۱	۰/۹۰۹
	پالئوژن	۷۱۱۵۱۷	۳۹	۰/۱۴۲	۰/۰۸۲	۰/۷۷۶
	پرمین	۵۲۹۲۰۳	۸	۰/۰۳۹	۰/۰۹۲	۰/۸۶۹
	کواترنر	۵۹۶۶۶۲۰	۱۱۶	۰/۰۵۰	۰/۰۹۷	۰/۸۵۳
	سیلورین	۹۳۸۹۲	۱	۰/۰۲۸	۰/۰۹۱	۰/۸۸۱
	تریاس	۳۰۳۱۴	۶	۰/۵۱۲	۰/۰۸۹	۰/۳۹۹

جدول ۶- تعداد لغزش در طبقه‌های بافت خاک

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد لغزش	$m(T_p)$	$m(\overline{T_p})$	$m(\Theta)$
بافت خاک	SCL&CL	۷۰۲۴۴۱۶	۱۷۵	۰/۴۶۰	۰/۲۰۴	۰/۳۳۶
	SCL&SCL	۱۸۷۹۸۴۴	۱۳	۰/۱۲۸	۰/۲۸۶	۰/۵۸۶
	SL	۱۱۲۲۲۵	۰	۰	۰/۲۵۹	۰/۷۴۱
	SL&SCL	۳۹۰۲۳۱۷	۸۷	۰/۴۱۲	۰/۲۵۱	۰/۳۳۷

SCL&CL: سیلنتی-رسی-لومی و رسی-لومی، SCL&SCL: سیلنتی-رسی-لومی و ماسه-رسی-لومی، SL: سیلنتی-لومی، SL&SCL: سیلنتی-لومی و سیلنتی-رسی-لومی.

جدول ۷- تعداد لغزش در طبقه‌های فاصله از جاده

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد لغزش	$m(T_p)$	$m(\overline{T_p})$	$m(\Theta)$
فاصله از جاده	۰-۱۰۰	۳۸۸۲۸۳	۲۴	۰/۲۷۵	۰/۱۳۸	۰/۵۸۷
	۱۰۰-۲۰۰	۳۴۳۷۴۵	۱۸	۰/۲۳۳	۰/۱۴۰	۰/۶۲۷
	۲۰۰-۳۰۰	۳۵۸۲۷۸	۱۵	۰/۱۸۷	۰/۱۴۲	۰/۶۷۱
	۳۰۰-۴۰۰	۳۳۳۰۶۹	۸	۰/۱۰۷	۰/۱۴۶	۰/۷۴۷
	۴۰۰-۵۰۰	۳۴۱۱۳۴	۹	۰/۱۱۸	۰/۱۴۵	۰/۷۳۷
	۵۰۰<	۱۱۱۵۴۲۹۳	۲۰۱	۰/۰۸۰	۰/۲۸۸	۰/۶۳۲

جدول ۸- تعداد لغزش در طبقه‌های فاصله از رودخانه

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد لغزش	$m(T_p)$	$m(\overline{T_p})$	$m(\Theta)$
فاصله از رودخانه	۰-۱۰۰	۶۲۵۷۵۵	۱۵	۰/۱۷۴	۰/۱۸۷	۰/۶۳۹
	۱۰۰-۲۰۰	۵۶۱۴۴۲	۱۸	۰/۲۳۲	۰/۱۸۴	۰/۵۸۴
	۲۰۰-۳۰۰	۵۸۸۷۷۲	۱۸	۰/۲۲۲	۰/۱۸۴	۰/۵۹۴
	۳۰۰-۴۰۰	۵۶۴۴۴۰	۱۸	۰/۲۳۱	۰/۱۸۴	۰/۵۸۵
	۴۰۰<	۱۰۵۷۸۳۹۳	۲۰۶	۰/۱۴۱	۰/۲۶۱	۰/۵۹۸

جدول ۹- تعداد لغزش در طبقه‌های فاصله از گسل

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد لغزش	$m(T_p)$	$m(\overline{T_p})$	$m(\Theta)$
فاصله از گسل	۰-۱۰۰	۲۷۴۸۱۰	۹	۰/۲۶۴	۰/۱۹۰	۰/۵۴۶
	۱۰۰-۲۰۰	۲۴۹۷۳۰	۵	۰/۱۶۱	۰/۱۹۳	۰/۶۴۶
	۲۰۰-۳۰۰	۲۶۳۰۲۳	۶	۰/۱۸۴	۰/۱۹۲	۰/۶۲۴
	۳۰۰-۴۰۰	۲۵۳۶۴۸	۷	۰/۲۲۲	۰/۱۹۱	۰/۵۸۷
	۴۰۰<	۱۱۸۷۷۵۹۱	۲۴۸	۰/۱۶۸	۰/۲۳۴	۰/۵۹۸



جدول ۱۰- تعداد لغزش در طبقه‌های بارش

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد لغزش	$m(T_p)$	$m(\overline{T_p})$	$m(\Theta)$
بارش	>۴۰۰	۳۰۱۲۷۰۲	۸	۰/۰۳۳	۰/۳۲۲	۰/۶۴۵
	۴۰۰-۵۰۰	۱۸۲۷۱۳۱	۵۳	۰/۳۶۲	۰/۲۳۹	۰/۳۹۹
	۵۰۰-۶۰۰	۳۰۱۶۳۲۳	۴۷	۰/۱۹۴	۰/۲۷۵	۰/۵۳۱
	<۶۰۰	۵۰۶۲۶۴۶	۱۶۷	۰/۴۱۱	۰/۱۶۴	۰/۴۲۵

جدول ۱۱- تعداد لغزش در طبقه‌های SPI

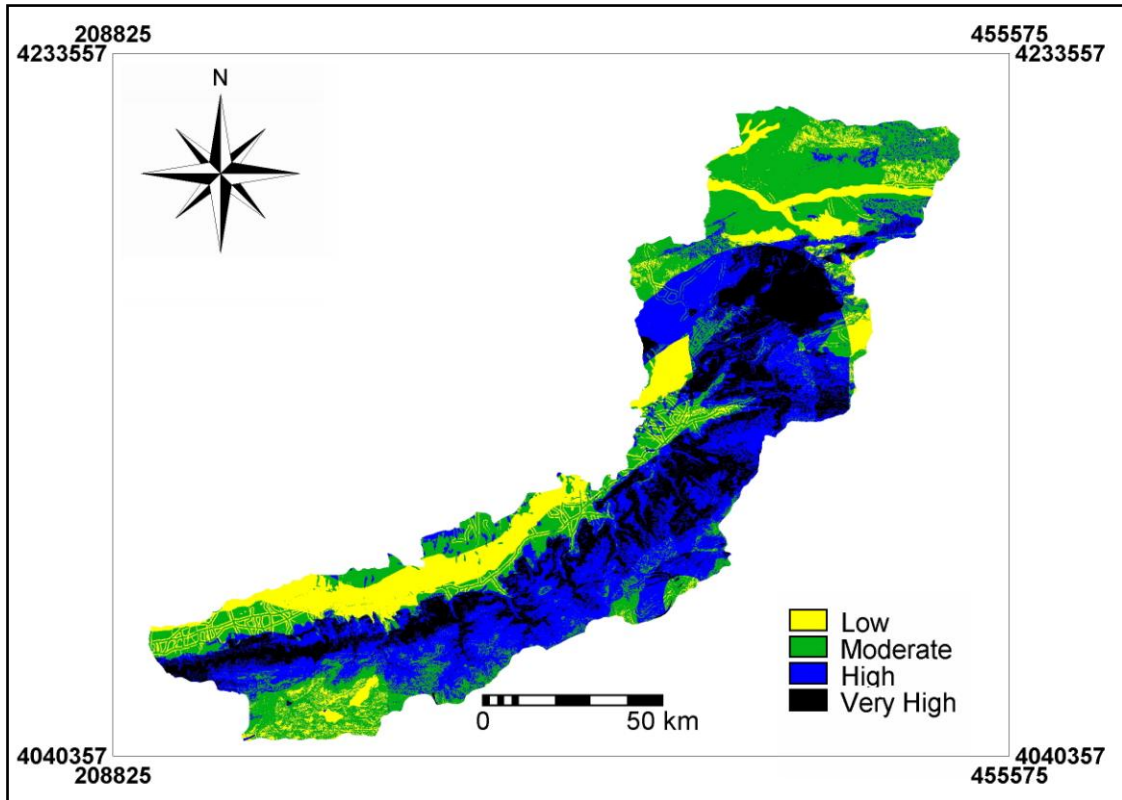
عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد لغزش	$m(T_p)$	$m(\overline{T_p})$	$m(\Theta)$
SPI	۰-۱۰	۵۰۵۹۸۵۲	۷۸	۰/۱۲۲	۰/۱۹۵	۰/۶۸۳
	۱۱-۲۰	۱۶۸۱۳۰۲	۴۰	۰/۱۸۷	۰/۱۶۳	۰/۶۵۰
	۲۱-۳۰	۱۰۶۹۰۵۶	۲۱	۰/۱۵۵	۰/۱۶۷	۰/۶۷۸
	۳۱-۴۰	۷۹۶۳۴۰	۲۱	۰/۲۰۷	۰/۱۶۳	۰/۶۳۰
	۴۱-۵۰	۶۲۱۱۴۶	۸	۰/۱۰۱	۰/۱۶۹	۰/۷۳۰
	<۵۰	۳۶۹۱۱۰۶	۱۰۷	۰/۲۲۸	۰/۱۴۲	۰/۶۳۰

جدول ۱۲- تعداد لغزش در طبقه‌های STI

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد لغزش	$m(T_p)$	$m(\overline{T_p})$	$m(\Theta)$
STI	۰-۲۰	۱۰۲۹۰۵۰۶	۲۰۷	۰/۱۷۰	۰/۲۳۵	۰/۵۹۵
	۲۰-۴۰	۱۸۱۷۸۰۱	۵۱	۰/۲۳۷	۰/۱۸۴	۰/۵۷۹
	۴۰-۶۰	۵۵۰۱۴۷	۱۱	۰/۱۶۹	۰/۱۹۴	۰/۶۳۷
	۶۰-۸۰	۱۶۶۷۱۲	۳	۰/۱۵۲	۰/۱۹۴	۰/۶۵۴
	<۸۰	۹۳۶۳۶	۳	۰/۲۷۱	۰/۱۹۳	۰/۵۳۶

طبقه خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد (شکل ۲)

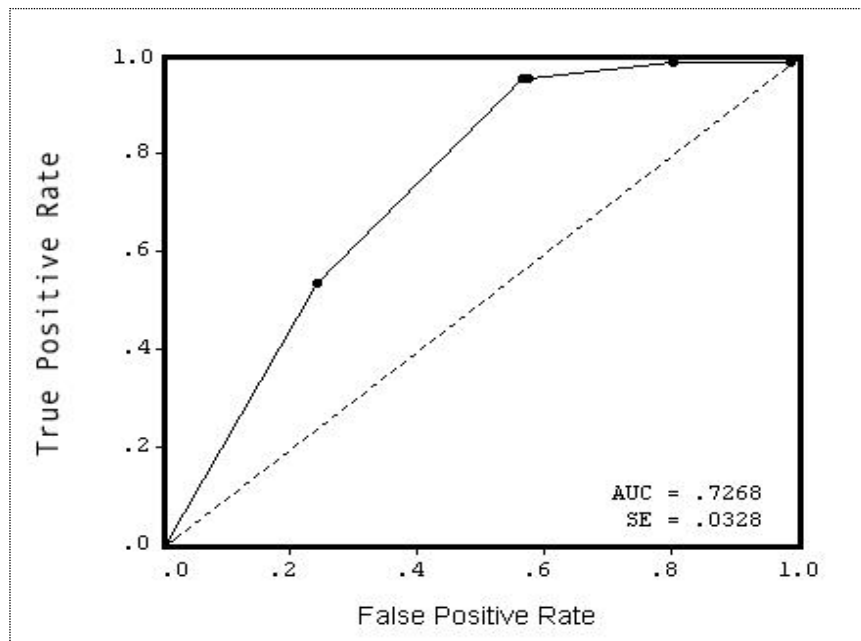
در نهایت نقشه‌های وزنی با هم جمع و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه در چهار



شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه مورد مطالعه (بخشی از استان گلستان)

۰/۷، خوب؛ ۰/۶-۰/۷، متوسط و ۰/۵-۰/۶، ضعیف، را برای آن ارائه کرده‌اند (نفیسلو اوغلو و همکاران، ۲۰۰۸). سطح زیر منحنی در این تحقیق مطابق شکل ۳ در طبقه خوب قرار می‌گیرد (۰/۷۲۶۸).

همانطور که بیان شد برای ارزیابی مدل از منحنی ROC استفاده شد. هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد دقت مدل بیشتر است که میزان آن بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. به طور کلی تقسیم‌بندی ۰/۹-۱، عالی؛ ۰/۸-۰/۹، خیلی خوب؛ ۰/۸-



شکل ۳- منحنی ROC و سطح زیر منحنی مربوط به نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

### بحث و نتیجه‌گیری

تلفیق نقشه لغزش با شیب نشان می‌دهد طبقه شیب ۲۰-۵ درجه بیشترین حساسیت نسبت به وقوع لغزش را داشته است. طبیعی است که در شیب‌های کم نیروی محرک در جهت شیب به حدی نیست که باعث حرکت توده خاک به صورت یکجا شود. همچنین در شیب‌های زیاد خاک با عمق کافی به عنوان لازمه وقوع زمین‌لغزش فراهم نمی‌شود، لذا بیشترین میزان لغزش در شیب متوسط رخ می‌دهد که با نتایج محمدی (۱۳۸۶)، دایموند و همکاران (۲۰۰۶) و نئوهائوسر و ترهورست (۲۰۰۶) همخوانی دارد. نتایج بررسی جهت شیب نشان می‌دهد وزن به دست آمده برای همه جهات تقریباً یکسان است و فقط اندکی حساسیت بیشتر در جهت غرب و جنوب غرب مشاهده می‌شود. در منطقه رطوبت به حد کافی در تمام جهات وجود دارد و شاید دلیل تاثیر کم جهت شیب ناشی از موجودیت رطوبت است. البته جهت بادهای باران آور غربی می‌تواند تا حدودی اثر این جهت را متمایز نماید. نتایج به دست آمده با نتایج تحقیقات احمدی و همکاران (۱۳۸۴) مطابقت دارد. بررسی ارتباط ارتفاع و لغزش نشان داد ارتفاع ۱۰۰۰-۵۰۰ متر بیشترین میزان لغزش را دارد. افزایش ارتفاع باعث کاهش لغزش شده است که این امر می‌تواند به دلیل بارش‌های برفی در بالادست و همچنین در امان بودن از دخالت‌های انسانی باشد. زمانیکه بارش‌ها به صورت برف باشد عکس‌العمل هیدرولوژیکی آن کند بوده و خاک به مرحله اشباع نمی‌رسد. این نتایج با یافته‌های محمدی (۱۳۸۶) و پورقاسمی (۱۳۸۶) همخوانی دارد که شاید به دلیل خصوصیات نسبتاً مشابه دو منطقه باشد. ارتباط کاربری اراضی و وقوع زمین‌لغزش نشان می‌دهد کاربری‌های مرتع، زراعت، جنگل و زراعت دیم دارای بیشترین

حساسیت نسبت به وقوع زمین‌لغزش هستند. شادفر و همکاران (۱۳۸۴)، فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۴) و جوکه اوغلو و همکاران (۲۰۰۴) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. کاربری زراعت به دلیل دخالت‌های انسان در محیط و همچنین آبیاری نقش مهمی در وقوع زمین‌لغزش دارد. کاربری‌های جنگل نیز با توجه به شیب زیادی که دارند در مناطقی که جاده وجود داشته و یا روش‌های نامناسب بهره‌برداری استفاده می‌شود مناطق مستعد زمین‌لغزش را فراهم می‌کنند. از بین سازندهای زمین‌شناسی، سازندهای مربوط به پالئوژن و تریاس بیشترین حساسیت به زمین‌لغزش را از خود نشان می‌دهند. بررسی‌های مربوط به بافت خاک نشان می‌دهد بیشتر لغزش‌های رخ داده در خاک‌های سیلت-رس-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. مناطق با فاصله کم نسبت به جاده، آبراهه و گسل دارای حساسیت بیشتری نسبت به زمین‌لغزش می‌باشد. شادفر و همکاران (۱۳۸۴)، فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۴)، دومن و همکاران (۲۰۰۶)، لی (۲۰۰۷) و یالسن (۲۰۰۸) نیز به نتایج مشابهی در این زمینه دست یافتند. با توجه به اینکه این فاکتورها از عوامل محرک زمین‌لغزش محسوب می‌شوند، چنین نتیجه‌ای منطقی می‌باشد. احداث جاده معمولاً همراه با خاک‌برداری و خاکریزی بوده و تعادل طبیعی منطقه را بهم می‌زنند. وجود آبراهه‌ها نیز موجب زیرشویی شده و خطر زمین‌لغزش را افزایش می‌دهد. نتایج حاصل از بررسی عامل بارش روند خاصی در ارتباط با کاهش و یا افزایش لغزش‌ها در نتیجه بارش نشان نمی‌دهد. در این مورد می‌توان گفت که کمینه بارش نیز میزان

تغییرات کاربری و دخالت‌های انسانی استعداد زیادی برای وقوع زمین لغزش دارد. توجه به نقشه پهنه‌بندی تهیه شده می‌تواند مدیران را در تصمیم‌گیری، ساخت و سازهای آینده و هرگونه دخالت در سیستم طبیعی کمک نماید. همچنین بر اساس ارزیابی نتایج تحقیق حاضر، روش مورد استفاده در این تحقیق (تئوری دمپستر- شفر) به عنوان مدل مناسب برای چنین مناطقی شناخته شده است، و کاربرد آن در در مناطقی که شرایط نسبتاً مشابهی با منطقه مورد مطالعه دارند، پیشنهاد می‌شود.

رطوبت لازم برای وقوع لغزش را فراهم کرده و نقش تغییرات بارش در منطقه را در درجه اهمیت کمتری قرار داده است که با نتایج مندی و همکاران (۲۰۰۱) و بهشتی راد و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد. بررسی ارتباط شاخص‌های SPI و STI نیز روند مشخصی از خود نشان نداده که این امر ممکن است به دلیل نقش موثرتر فاکتورهای دیگر در وقوع زمین لغزش و پوشش دادن نقش این فاکتورها باشد.

در مجموع نواحی کوهستانی استان گلستان با توجه به بارندگی نسبتاً زیاد، سازندهای حساس،

#### منابع

در دامنه شرقی سهند، فصلنامه مدرس علوم انسانی، شماره ۵۳، صفحه ۵۵-۲۹  
 -بهشتی راد، و.، فیض‌نیا، س.، سلاجقه، ع.، و احمدی، ح.، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌ها با مدل رگرسیون چند متغیره با استفاده از GIS، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۷، صفحه ۳۳-۴۰.  
 -پورقاسمی، ح. ر.، ۱۳۸۶. ارزیابی خطر لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی؛ بخشی از حوزه آبخیز هراز)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، ۹۲ صفحه  
 -پورقاسمی، ح. ر.، مرادی، ح. ر.، فاطمی عقدا، س. م.، مهدویفر، م. ر.، و محمدی، م.، ۱۳۸۸. ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۳ (۸)، صفحه ۶۳ - ۵۱.  
 -حسن زاده نفوتی، م.، ۱۳۷۹. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز شلمانرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۳۸ صفحه.

-احمدی، ح.، و محمدخان، ش.، ۱۳۸۱. بررسی برخی از عوامل حرکت‌های توده‌ای، مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۵۵، صفحه ۴۶۳-۴۵۵.

-احمدی، ح.، محمد خان، ش.، فیض‌نیا، س.، و قدوسی، ج.، ۱۳۸۴. ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP)، مطالعه موردی حوزه آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۵۸، صفحه ۱۴-۳.

-امیراحمدی، ا.، کامرانی دلیر، ح.، و صادقی، م.، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی حوزه آبخیز چلاو آمل)، فصلنامه جغرافیا، سال ۸، شماره ۲۷، صفحه ۲۰۳-۱۸۱.

-بیاتی خیطی، م.، ۱۳۸۶. تعیین حساسیت بالقوه سطوح شیب‌دار در حوضه‌های کوهستانی نسبت به وقوع زمین لغزش‌ها، با استفاده از روش تعیین عامل ویژه (مطالعه موردی: حوزه قرنقوچای واقع

در حوزه آبخیز لاجیم رود، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه مازندران، ۱۱۶ صفحه.

محمدی، م.، ۱۳۸۶. تحلیل خطر حرکات توده‌ای و ارائه مدل منطقه‌ای مناسب با استفاده از GIS (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز هراز)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، ۷۹ صفحه.

محمدی، م.، مرادی، ح. ر.، فیض‌نیا، س.، و پورقاسمی، ح. ر.، ۱۳۸۸. ارزیابی کارایی مدل‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعاتی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (بررسی موردی: بخشی از حوزه آبخیز هراز)، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۲، شماره ۴، صفحه ۵۳۹ - ۵۵۱.

محمدی، م.، مرادی، ح. ر.، فیض‌نیا، س.، و پورقاسمی، ح. ر.، ۱۳۸۷. ارزیابی اثرات پوشش مرتعی در پایداری دامنه‌ای در بخشی از حوزه آبخیز هراز با استفاده از GIS، مجله علمی-پژوهشی مرتع، ۲ (۳)، صفحه ۲۸۹ - ۳۰۰.

مرتضوی چمچالی، م.، و حق‌نظر، ش.، ۱۳۸۸. بررسی خطر حرکات دامنه‌ای و زمین شناسی مهندسی روستای دولت آباد در شمال شرق رودبار، فصلنامه تخصصی زمین و منابع، سال ۱ (۲)، صفحه ۱۰۳-۸۷.

مساعدی، ا.، خلیلی‌زاده، م.، و محمدی‌استادکلاهی، ا.، ۱۳۸۷. پایش خشکسالی هواشناسی در سطح استان گلستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جلد پانزدهم. شماره ۲، صفحه ۱۷۶ تا ۱۸۳.

خلیلی‌زاده، م.، و موغلی، م.، ۱۳۸۸. بررسی مدل حائری-سمیعی در پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز صفی آباد - استان گلستان)، فصل نامه جغرافیای طبیعی، سال اول، شماره ۳، صفحه ۷۰-۵۹.

رنجبر، م.، و روغنی، پ.، ۱۳۸۸. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان اردل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، فصلنامه جغرافیایی چشم انداز زاگرس، سال اول، شماره ۲، صفحه ۳۰-۲۲. شادفر، ص.، یمانی، م.، و نمکی، م.، ۱۳۸۴. پهنه-بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRE در حوزه چالکرو، مجله آب و آبخیز، شماره ۳، صفحه ۶۸-۶۲.

عظیم‌پور، ع.، صدوق، ح.، دلال اوغلی، ع.، و ثروتی، م. ر.، ۱۳۸۸. ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزه (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اهرچای)، مجله فضای جغرافیایی، سال نهم، شماره ۲۶، صفحه ۸۷-۷۱.

فاطمی‌عقدا، س. م.، غیومیان، ج.، تشنه لب، م.، و اشقلی فراهانی، ع.، ۱۳۸۴. بررسی خطر زمین-لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه رودبار)، مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۱ (۱)، صفحه ۴۳-۶۴.

فیض‌نیا، س.، کلارستاقی، ع.، احمدی، ح.، و صفایی، م.، ۱۳۸۳. بررسی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیرین‌رود- سد تجن)، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۷ (۱)، صفحه ۳-۲۰.

گرایی، پ.، ۱۳۸۵. بررسی حرکت‌های توده‌ای (زمین لغزش) به منظور ارائه مدل منطقه‌ای خطر

- An, P., Moon, W.M., and Bonham-Carter, G.F., 1994. Uncertainty management in integration of exploration data using the belief function. *Nonrenewable Resources*, v.3 ,p.60–71.
- 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*, v.65, p.15-31.
- Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M.C., and Vlaicu, M., 2010. Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania), *Environmental Earth Science*, DOI 10.1007/s12665-010-0724-y, 10p.
- Duman, T. Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H. A., and Sonmez, H., 2006. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey, *Environmental Geology*, v.51, p.241-256.
- Dymond, J.R., Ausseeil, A.G., Shepherd, J.D., and Buettner, I., 2006. Validation of a region-wide model of landslide susceptibility in the Manawatu-Wanganui Region of New Zealand. *Geomorphology*, v.74, p.70-79.
- Ercanoglu, M., Gokceoglu, C., and Van Asch Th. W. J., 2004. Landslide susceptibility zoning of North of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques, *Natural Hazard.*, v.32, p. 1–23.
- Khullar, V.K., Sharam, R.P., and Paramanik, K., 2000. A GIS approach in the landside zone of lawngthlia in southern Mizoran, *Landslide: proceeding of the 8th international symposium on landslides*, v.3, p.1461–1472.
- Kilburn, C.R.J., and Pasuto, A., 2003. Major Risk Rapid, Large-Volume Landslides in Europe (EU Project RUNOUT). *Geomorphology*, v.54, p.3-9.
- Komac, M.A., 2006. Landslide susceptibility model using the analytical hiererchy process method and multivariate statistics in perialpine Sloveni. *Geomorphology*, v. 74, p. 17-28.
- Lan, H.X., Zhou, C.H., Wang, L.J., Zhang, H.Y., and Li, R.H., 2004. Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang Watershed, Yunnan, China. *Engineering Geology*, v. 76, p.109-128.
- Lee, S., 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping, *Environmental Geology*, v. 52, p. 615-623.
- Mandy, L.G., Andrew, W.M., Richard, A., and Stephan, G.C., 2001. Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modeling and topographic attribute, Payette River, Idaho, *Geomorphology*, v. 37, p. 149- 165.
- Moore, I.D., Gessler, P.E., Neslesn, G.A., and Peterson, G.A., 1993. Soil attributes prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of American Journal*, v. 57(2), p. 443-452.
- Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., and Durmaz, S., 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Easten Black Sea Region of Turkey), *Geomorphology*, v. 94, p.401-418.
- 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*, v. 86, p. 12-24.
- 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, p. 121-138.
- Pair, D., and Kappel, W., 2002. Geomorphic studies of landslides in the Tully Valley, New York: implications for public policy and planning, *Geomorphology*, v.47, p.125-132.
- Regmi, N.R., Giardino J.R., and Vitek, J.D., 2010. Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA, *Geomorphology*, v. 115, p.172–187.
- Swets, J.A., 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems, *Science*, v. 240, p. 1285-1293.
- Yalcin, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, *Catena*, v. 72, p.1-12.