

پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز طالقان با استفاده از شاخص آنتروپی شانون

شهرام روستایی^۱

داود مختاری کشکی^۲

زهرا اشرفی فینی^۳

چکیده

هدف از تحقیق حاضر اولویت‌بندی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش با استفاده از شاخص آنتروپی شانون و تهیه نقشه خطر پذیری حوضه با استفاده از روش اولویت بندی می باشد. به این منظور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASAR از سنجنده ENVISAT در سال‌های ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۹ و بازدیدهای صحرایی ۱۷ پهنه لغزشی به صورت انتخابی شناسایی و نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه در محیط نرم افزار Arcgis تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت شیب، هیپسومتری، نسبت مساحت سطح (ASR)، شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، شاخص طول شیب (ALS)، شاخص رطوبت (TWI)، زمین شناسی، کاربری اراضی، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه و فاصله از جاده به عنوان عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش شناسایی و نقشه‌های مذکور در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه و رقمی گردید. اولویت بندی عوامل موثر با استفاده از شاخص آنتروپی شانون نشان داد که لایه‌های جهت شیب دامنه،

۱- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسوول)

Email: roostaei@tabrizu.ac.ir-Tel: 09143134410

۲- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

کاربری اراضی، ارتفاع، شیب، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده و فاصله از رودخانه بیشترین تاثیر را بر وقوع زمین لغزش حوضه و عوامل شاخص رطوبت، زمین‌شناسی و شاخص موقعیت توپوگرافی کمترین تاثیر را داشته‌اند. همچنین تهیه نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی و جمع نقشه‌های وزنی در محیط GIS بدست آمده است. راساس نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش، مناطق واقع در شمال شرق برخی مناطق مرکزی و جنوب غرب دارای خطر بسیار کم تا کم می‌باشند، در حالیکه بیشتر مناطق مورد مطالعه دارای خطر متوسط تا بسیار زیاد می‌باشد.

واژگان کلیدی: خطر زمین لغزش، شاخص آنتروپی شانون، سامانه اطلاعات جغرافیایی، حوضه طالقان

مقدمه

زمین لغزش یکی از فرایندهای ژئومورفیکی اصلی تأثیرگذار بر چشم‌انداز تکاملی در مناطق کوهستانی به شمار می‌رود که باعث حوادث فاجعه‌باری شده است. (هاتانچی و مریواکی^۱، ۲۰۰۹: ۴۵۰). طبق مطالعات انجام شده، زمین لغزش به تنهایی ۱۷ درصد از بلایای طبیعی جهان را به خود اختصاص داده است (کوهورست^۲ و همکاران، ۲۰۰۵: ۶). بر طبق جهانی مخاطرات طبیعی^۳ در سال ۲۰۱۲، لغزش در میان هفت بلایای طبیعی خطرناک جهان قرار گرفت. (فتحی و همکاران^۴، ۲۰۱۵: ۵۱۶). امروزه نیاز فرایندهای برای مدیریت خطر زمین لغزش به صورت کمی و پهنه‌بندی آن وجود دارد (فل و همکاران^۵ ۲۰۰۸: ۸۵). تهیه نقشه‌ی وقوع خطر زمین لغزش، ابزاری اساسی برای فعالیت‌های مدیریت بحران در نواحی کوهستانی است (کوماردهال^۶ ۲۰۰۸: ۴۹۶). نظر به اهمیت موضوع، شناخت عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش و مناطق مورد خطر امری ضروری به نظر می‌رسد. آنتروپی به معنای کمی از بی-نظمی بین علل، نتایج یا تصمیم‌گیری‌ها در موضوعات مختلف می‌باشد و به ویژه در مطالعات

¹- Hattanji & Moriwaki

²-Koehorst

³- Global organization of natural dangers.

⁴-Fathietal.

⁵- Felletal.

⁶-Kumar Dahal

ژئومورفولوژی نظیر زمین لغزش که داده‌های موجود با عدم قطعیت‌ها روبرو هستند می‌تواند کار آیی بالایی داشته باشد (وان و همکاران، ۱، ۲۰۰۹: ۲۳۸). آنتروپی افزون بر تعیین کمیت انرژی، کیفیت انرژی را نیز اندازه‌گیری می‌کند و این کیفیت، اندازه‌گیری بی‌نظمی در یک سیستم است (منزلی و همکاران، ۲، ۲۰۰۸: ۱۴۵). از این رو مطالعات مختلفی با استفاده از تئوری آنتروپی شانون در بحث زمین لغزش صورت گرفته که عبارتند از: به منظور مدل‌سازی مکانی زمین لغزش در شهر Guanzhou چین از چهار مدل تئوری تابع اطمینان، نسبت فراوانی، ماکزیمم آنتروپی و رگرسیون لجستیک استفاده نمودند. نتایج صحت سنجی مدل نشان داد که مدل رگرسیون لجستیک با سطح زیر منحنی ۰/۸۲ بالاترین دقت را داشته است (هونگ و همکاران، ۳، ۲۰۱۶: ۱۱۲). به منظور تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش از مدل‌های نسبت فراوانی، وزن واقعه، شاخص آنتروپی و دمپستر- شيفر استفاده شده است، نرخ پیش بینی به ترتیب ۰/۹۵، ۰/۹۵۲، ۰/۹۴۶، ۰/۹۳۴ به دست آمد (یوسف و همکاران، ۲۰۱۶: ۶۵). نقشه حساسیت زمین لغزش حوضه San Pedro Creek در آمریکا را با استفاده از مدل‌های ترکیبی فیزیکی و ماکزیمم آنتروپی تهیه شد و نتایج حاکی از آن است که نقشه شاخص پایداری از لحاظ پتانسیل حساسیت اغراق آمیز است (دیویس و بلسیوس ۲۰۱۵: ۴۲۷۲). نقشه خطر زمین لغزش را با استفاده از شاخص آنتروپی و رگرسیون لجستیک در بخشی از جاده Mugling-Narayanghat در کشور نپال تهیه شد و در این مطالعه، شیب، جهت شیب، ارتفاع، انحناء زمین، کاربری زمین، سنگ شناسی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و شاخص رطوبت توپوگرافی به عنوان عوامل مؤثر در لغزش بکار گرفته شد. نتایج اعتبارسنجی نقشه خطر به وسیله منحنی ROC نشان داد که نقشه تهیه شده با استفاده از شاخص آنتروپی با ۹۰/۱ درصد دارای دقت بالایی است. (دوکوتا ۶ و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۳۷) ارزیابی مدل آنتروپی در پهنه بندی رخداد زمین لغزش در تاق‌دیس نسا واقع در زاگرس شمال غربی در

1- Wan et al.

2- Minasny et al.

3- Hong

4- Youssef

5- Davis and Blesius

6- Devkota

سال ۱۳۹۱ انجام شد و نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مدل آنتروپی کارایی مطلوبی در پهنه بندی رخداد زمین لغزش دارد و ارتفاع و شیب و لیتولوژی به ترتیب بیشترین نقش را در رخداد زمین لغزش دارند (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۱: ۷۸). پتانسیل سنجی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی در منطقه‌ی شیرپناه استان کرمانشاه بررسی و نتایج نشان داد که عوامل فاصله از گسل، شیب، ارتفاع، لیتولوژی و جهت شیب به ترتیب بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش در منطقه داشته است (محمدخان و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۰). منطقه طالقان از جمله مناطقی است که به علت نوع لیتولوژی زمین، شیب‌های دامنه‌ای نسبتاً تند، بارندگی و رطوبت فراوان مستعد زمین لغزش می‌باشد. بنابراین هدف از تحقیق حاضر اولویت بندی عوامل موثر بر زمین لغزش و پهنه بندی حساسیت آن با استفاده از شاخص آنتروپی شانون در حوضه طالقان است.

موقعیت حوضه طالقان

حوضه طالقان که یکی از زیرحوضه‌های مهم حوضه آبریز سفیدرود به شمار می‌رود، در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز و در بخش شمال غربی در فاصله ۹۰ کیلومتری از شهر تهران واقع شده است. این حوضه از شمال به حوضه آبریز الموت، از جنوب به زیاران و صمغ آباد و از شرق به بخشی از حوضه آبریز کرج و از غرب به حوضه آبریز شاهرود محدود می‌گردد. این حوضه بین دو عرض جغرافیایی $36^{\circ} 05' 3/9''$ الی $36^{\circ} 21' 1/7''$ شمالی و طول جغرافیایی $50^{\circ} 35' 55/9''$ الی $51^{\circ} 11' 42/5''$ شرقی واقع شده است. وسعت حوضه آبریز طالقان در حدود $983/34$ کیلومتر مربع است ولی باید توجه داشت که محدوده مطالعاتی در این طرح فقط شامل حوضه آبریز سد طالقان است. ارتفاع حوضه از سطح دریا از 1640 تا 4250 متر متغیر است رودخانه طالقان در مرکز این حوضه از گردنه عسلک در غرب کندوان سر چشمه می‌گیرد و به سمت غرب در جریان است این رودخانه پس از دریافت شاخه‌های پر آبی مانند رودهای علی زان - مهران خجیره حسنجون و اورازان و... طی چندین کیلومتر به رودخانه الموت می‌پیوندد و پس از آن با نام رودخانه شاهرود به دریاچه سد سفید رود می‌ریزد. دسترسی به دره طالقان و منطقه طرح با طی کردن مسیر اتوبان کرج به سوی قزوین و وارد شدن به جاده انحرافی و اختصاصی طالقان - که 4 کیلومتر بعد از آبیگ واقع شده

است- و پس از طی ۲۸ کیلومتر از کناره اتوبان و عبور از فراز گردنه ابراهیم آباد مقدور می‌باشد

مواد و روش‌ها

این پژوهش به لحاظ هدف، کاربردی و به لحاظ روش، تحلیلی است در این پژوهش با استفاده از بازدیدهای صحرایی ۱۷ پهنه لغزشی شناسایی و نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه تهیه گردید (نقشه شماره ۱). لایه‌های اطلاعاتی درجه شیب، جهت شیب، طبقه ارتفاعی، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، شاخص توان آبراهه (Strema power index)، شاخص رطوبت (Topographic wetness index) شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) نسبت مساحت سطح (surface area ratio) و شاخص وضعیت توپوگرافی (Topographic position index) به عنوان عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش شناسایی و نقشه‌های مذکور در محیط سامانه اطلاعات مکانی رقومی می‌گردند به این منظور با استفاده از نقشه توپوگرافی در مقیاس ۲۵۰۰۰ : ۱، نقشه مدل رقومی ارتفاعی (Digital elevation model) تهیه و عوامل درجه شیب، جهت شیب، طبقه ارتفاعی، نسبت مساحت سطح (رابطه ۱)، شاخص رطوبت (رابطه ۲) شاخص توان آبراهه (رابطه ۳) و شاخص وضعیت توپوگرافی از آنان استخراج گردید (شکل شماره ۲ الی ۱۴). لایه‌های اطلاعاتی کاربری اراضی و شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده از روی تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک ۳۰ متر با الگوریتم ehler ایجاد گردید نقشه زمین‌شناسی حوضه نیز شامل برگه sheet ۱ : ۱۰۰۰۰ (برگه‌های مکران و مرزن آباد) بوده که از سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه، در محیط نرم افزار Arc GIS رقومی و لایه‌های لیتولوژی و حریم فاصله تاگسل از آن استخراج گردید لایه‌های مربوطه به آبراهه و جاده‌ها و کاربری نیز از نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه تهیه گردید.

$$SAR = (S / A_S) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$TWI = \ln(A_S / \tan \beta) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$STI = \left[\frac{A_s}{2213} \right]^{0.6} \left[\frac{\sin \beta}{0.0896} \right]^{1.3} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن S : سطح منطقه، As : مساحت حوضه آبریز β گرادیان شیب برحسب درجه و STI بیانگر توان حمل آبراهه و یا به عبارتی عامل Length Andslope مدل Adapted (Universal Soil Loss Equation) است که مدل مذکور اصلاح شده معادل جهانی تلفات خاک (Universal soil loss equation) می باشد (موری و همکاران ۱۹۹۳: ۴۴۶).

شاخص آتروپی شانون

آتروپی، یکی از رویدکرهای مدیریت است که به منظور برخورد با بی نظمی، بی ثباتی، اغتشاش و عدم یقین‌های موجود در یک سیستم مورد استفاده قرار می گیرد (یوفنگ و همکاران، ۲۰۰۹: ۸۴) تئوری مذکور اولین بار توسط استفان بولتزمن (اصل دما پویا یا ترمودینامیک) مطرح و نهایتاً توسط شانون (۱۹۴۸) به صورت کمی ارائه شد (شانون ۳، ۳۸۳: ۱۹۴۸) آتروپی در حقیقت بیانگر آن است که چگونه از بین عوامل موثر یک هدف، می توان مهم ترین عوامل را تخمین زد یا به عبارتی متغیرهایی که بیشترین تاثیر را در رخداد یک واقعه دارند برای ما مشخص می نماید. از آن جایی که در پهنه بندی حساسیت زمین لغزش، بسته به شرایط منطقه معمولاً فاکتورهای مختلفی تاثیر گذار بوده و همچنین در تعیین میزان خطر با استفاده از مدل‌های آماری و اطلاعاتی، تمامی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش وزن یکسانی دارند و چنانچه یکی از عوامل وزن بیشتری داشته باشد تاثیر آن نادیده گرفته می شود (راما کریشنا ۴ و همکاران، ۲۰۰۵: ۵۶). بنابراین تئوری مذکور می تواند به عنوان یک رویکرد مدیریتی تاثیر بسزایی در شناسایی عوامل موثر و میزان تاثیر گذاری آنها داشته باشد (شارما ۵ و همکاران، ۲۰۱۰: ۴۲۴). به طور کلی به منظور اولویت بندی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش و تهیه نقشه حساسیت پذیری آن با استفاده از روش مذکور از رابطه‌های ۴ تا ۱۰ استفاده گردیده (کنستانتین ۶ و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۰۰)

1- Moore

2- Yufeng

3- SHanoon

4- Ramakrishna

5- SHarma

6- Constantin

$$(P_{ij}) = \left[\frac{P_{ij}}{\sum_{j=1}^{s_j} P_{ij}} \right] \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$(H_j) = \sum_{j=1}^{s_j} P_{ij} \log_2(P_{ij}), j = 1, \dots, 0.n \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$H_{jmax} = \log_2 s_j, s_j - \text{number of classes} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$I_j = \frac{H_{jmax} - H_j}{H_{jmax}} = I = (0.1), j = 1 \dots n \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$W_j = I_j p_{ij} \quad \text{رابطه (۸)}$$

K ضریب ثابت است و از رابطه (۹) به دست می آید (در این رابطه m تعداد زمین لغزشها است):

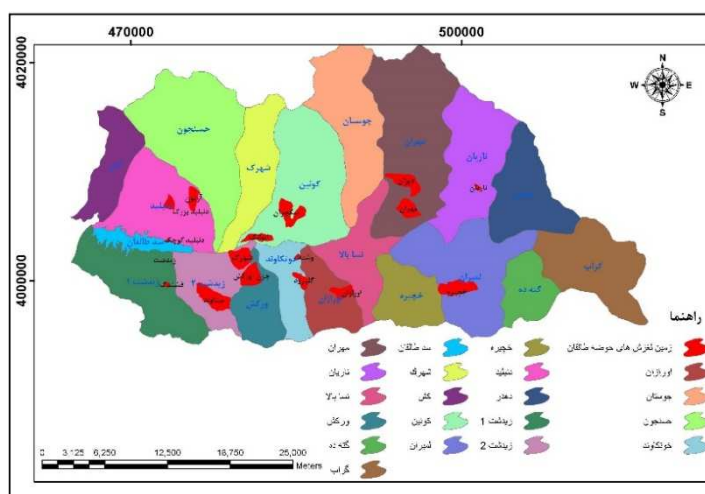
$$k = (Lnm)^{-1} \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در آن: p_{ij} : تراکم لغزش هر طبقه، (p_{ij}) احتمال تراکم لغزش هر عامل و کلاسهای مرتبط با آن، h_j و h_{jmax} : مقادیر آنتروپی و ماکزیمم آنتروپی، I_j ضریب اطلاعات و W_j : وزن نهایی هر عامل. بعد از تعیین وزن نهایی هر عامل و ضرب آن در کلاسهای عامل مذکور یعنی مقدارهای p_{ij} مربوط به هر عامل و کلاسهای آن، نقشههای وزنی با هم جمع شده و نقشه نهایی حساسیت زمین لغزش به دست می آید طبقه هایی که حساسیت بیشتری دارند وزن بیشتری به خود اختصاص می دهند.

پس از محاسبه وزن کل w_j پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه طالقان با استفاده از رابطه ۱۰ ارزیابی می شود.

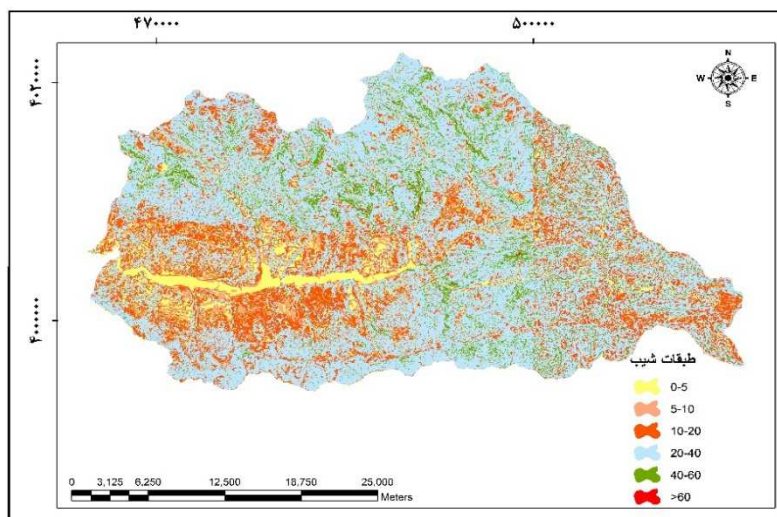
$$H_i = \sum_1^n w_j * r_{ij} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

در این رابطه H_i ضریب رخداد زمین لغزش، W_j وزن نهایی تمام عوامل و r_{ij} وزن هر یک از عوامل است (زونجی و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۳۳۶). این رابطه مدل ناحیه‌ای میزان خطر زمین لغزش در منطقه مطالعاتی است.

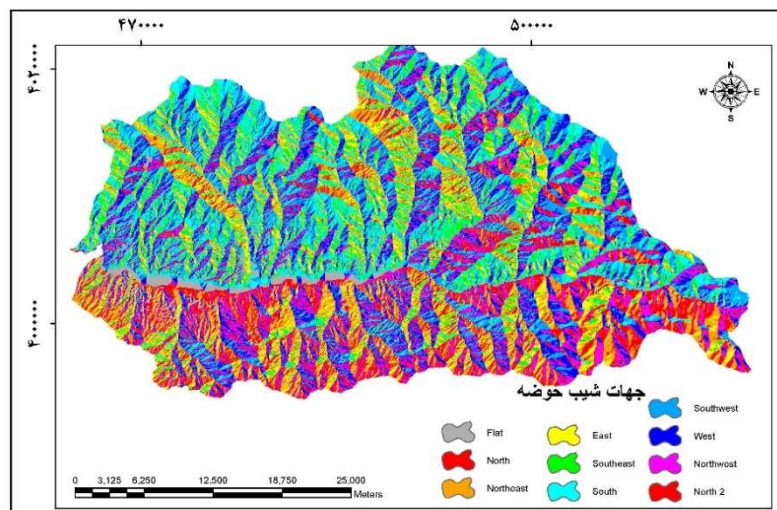


شکل (۱) پراکنش لغزش‌های شناسایی شده در حوضه طالقان

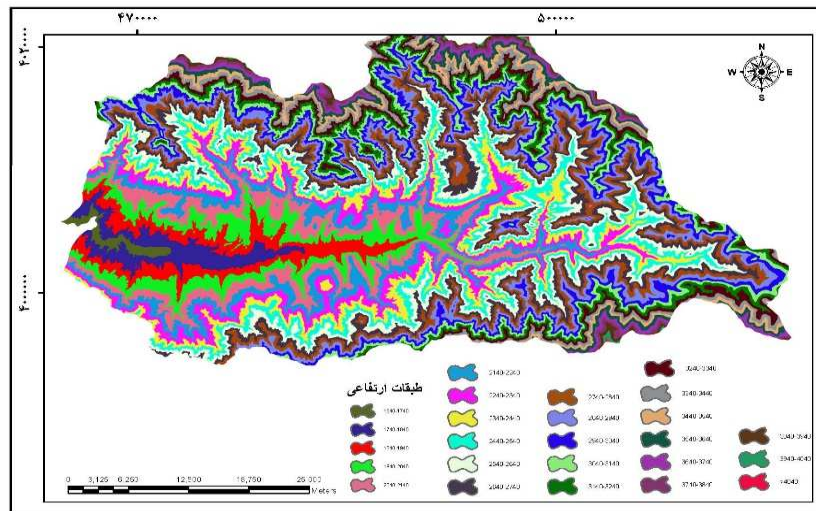
7 - Zongji



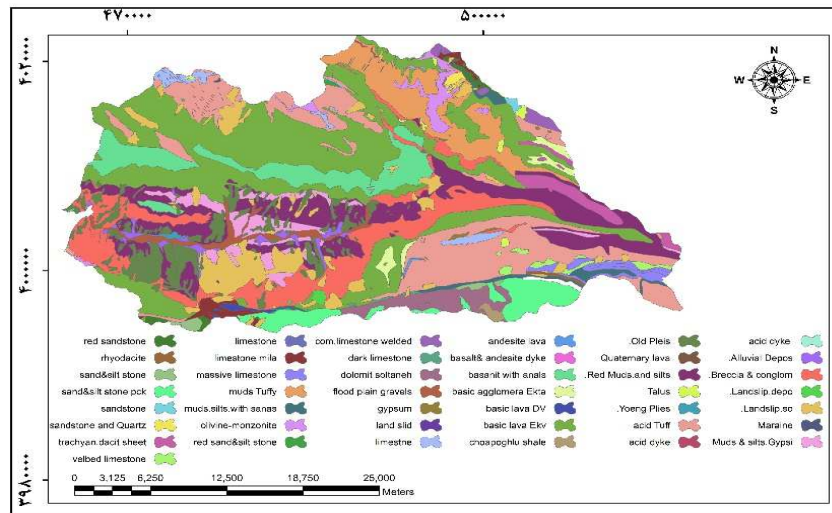
شکل (۲) نقشه طبقات شیب در حوضه طالقان



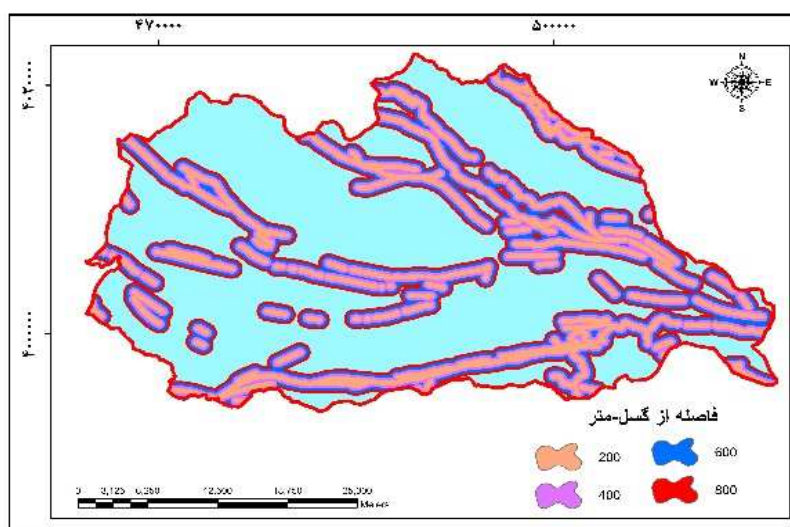
شکل (۳) نقشه جهت شیب در حوضه طالقان



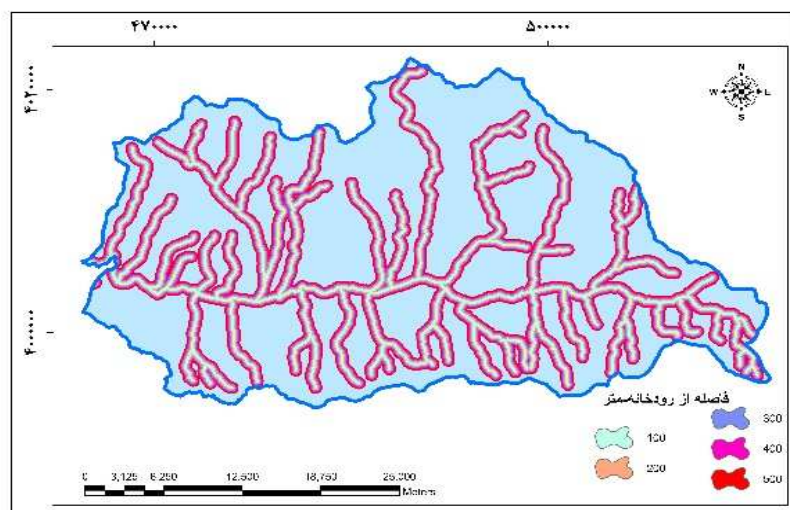
شکل (۴) نقشه طبقات ارتفاعی در حوضه طالقان



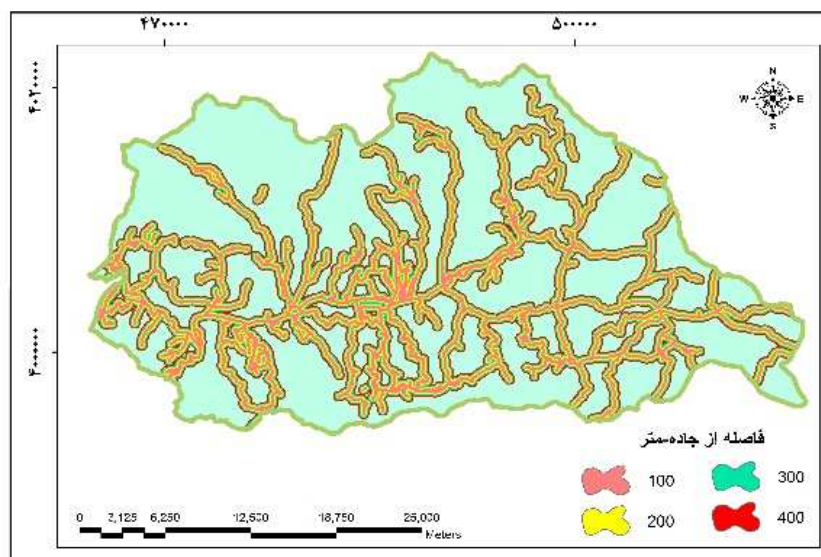
شکل (۵) نقشه سازندهای زمین شناسی



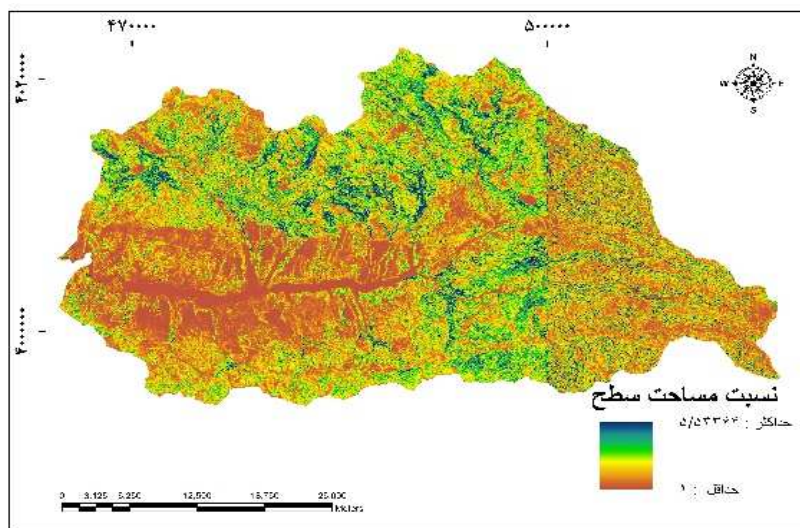
شکل (۸) نقشه فاصله از گسل در حوضه طالقان



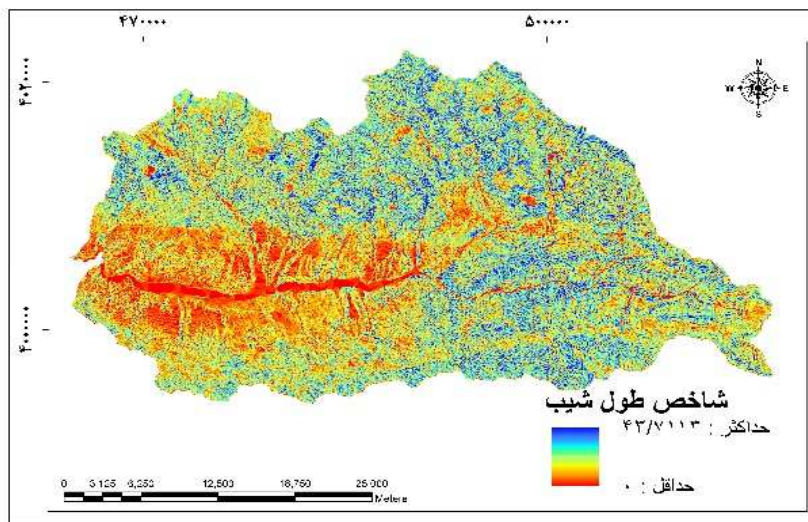
شکل (۹) نقشه فاصله از رودخانه حوضه طالقان



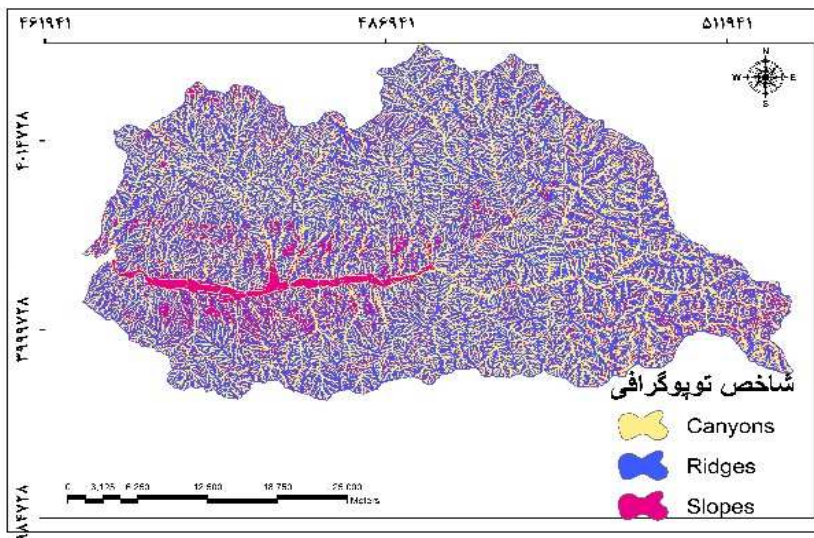
شکل (۱۰) نقشه فاصله از جاده حوضه طالقان



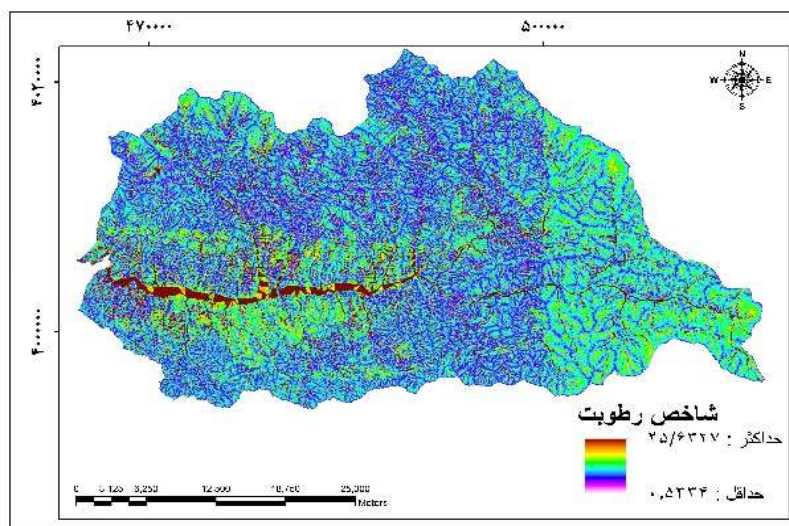
شکل (۱۱) نقشه نسبت مساحت سطح در حوضه طالقان



شکل (۱۲) نقشه شاخص طول شیب حوزه طالقان



شکل (۱۳) نقشه موقعیت توپوگرافی حوزه طالقان



شکل (۱۴) نقشه شاخص رطوبت حوضه طالقان

یافته‌ها و بحث

نتایج حاصل از ارتباط بین زمین لغزش، عوامل موثر و میزان اثر هر یک از آنها با استفاده از شاخص آنتروپی شانون در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج بررسی عوامل به کار گرفته شده در این تحقیق حاکی از آن است که بیشترین لغزش‌های منطقه در کلاس شیب ۱۵-۲۰ و ۱۰۰-۲۰ درجه رخ داده است. در شیب‌های کم برآیند نیرو به صورتی است که نیروی مقاوم (عمودی) بیشتر از نیروی محرکه (افقی) بوده و شرایط وقوع زمین لغزش فراهم نمی‌شود، در شیب‌های زیاد بالاتر از ۳۰ درجه فرایندهای فرسایشی دیگر غالب بوده و خاک کافی برای وقوع زمین لغزش تحت این شرایط وجود ندارد. بررسی عوامل دیگر نشان داده که بیشترین وزن لغزشی یا مقدار P_{ij} ، به ترتیب به کلاس‌های جهت شمال غربی با تعداد ۱۴۲ مورد لغزش، کلاس ارتفاعی ۲۵۰۰-۲۰۰۰ (۴۱۱ لغزش)، عامل نسبت مساحت سطح در طبقه ۱-۲ (۵۵۳ لغزش)، عامل TPI در دامنه‌ها (۲۸۶ لغزش)، عامل TWI در طبقه ۸-۶ (۲۸۰ لغزش)، شاخص

طول شیب ALS در طبقه ۵ (< ۲۳۸ لغزش)، عامل لیتولوژی در سنگ‌های نسبتاً نفوذ پذیر (۳۰۸ لغزش)، عامل کاربری مرتع (۵۲۷ لغزش)، طبقه ۰,۵-۰,۱ از NDVI (۲۵۸ لغزش)، فاصله ۶۰۰-۸۰۰ متری از گسل (۸۴ لغزش)، فاصله ۴۰۰ متری از رودخانه (۳۷۹ لغزش)، فاصله ۲۰۰-۳۰۰ متری از جاده (۱۹۸ لغزش) تعلق دارد.

جدول (۱) امتیاز اختصاص یافته عوامل موثر در لغزش

عامل	طبقه	تعداد لغزش	امتیاز اختصاص یافته	عامل	طبقه	تعداد لغزش	امتیاز اختصاص یافته	
شاخص رطوبت Twi	<۶	۱۸۷	۵	شیب	۰-۳	۳۳	۳	
	۶-۸	۲۸۰	۴		۳-۶	۱۷	۶	
	۸-۱۰	۶۶	۳		۶-۹	۴۱	۸	
	>۱۰	۵۴	۲		۹-۱۲	۱۰۳	۵	
زمین شناسی	نفوذپذیر	۱۹	۴		۱۲-۱۵	۳۴	۳	
	نسبتاً نفوذ پذیر	۳۰۸	۶		۱۵-۲۰	۱۸۸	۲	
	نفوذپذیر متوسط	۱	۱		۲۰-۱۰۰	۱۵۳	۱	
	نفوذناپذیر	۲۰۰	۵		همواره	۰	۱	
کاربری اراضی	مخلوط زراعت و باغ	۴۴	۴		جهت شیب	شمال	۱۰۱	۴
	مرابع	۵۲۷	۶			شمال شرق	۴۶	۲
	جنگل	۲	۱	شرق		۱۲	۱	
	زراعت	۸	۱	جنوب شرقی		۳۴	۱	
	صخره و بیرون زدگی	۲	۱	جنوب		۱۰۳	۴	
	عوارض انسان ساخت	۰	۱	جنوب غربی		۸۱	۳	
	پهنه‌های آبی	۰	۱	غرب		۸۰	۳	
	چمن	۰	۱	شمال غربی		۱۴۲	۵	
پوشش گیاهی Ndvi	-۰,۰۰۱	۴	۱	ارتفاع		>۱۶۵۰	۰	۱
	۰,۰۰۱	۱۳	۱			۱۶۵۰-۲۰۰۰	۸۳	۴

عامل	طبقه	تعداد لغزش	امتیاز اختصاص یافته	عامل	طبقه	تعداد لغزش	امتیاز اختصاص یافته
	۰٫۰-۰٫۵	۹۵	۳		-۲۰۰۰ ۲۵۰۰	۴۱۱	۶
	۰٫۵-۱	۲۱۷	۴		-۲۵۰۰ ۳۰۰۰	۸۰	۴
	۰٫۱-۰٫۵	۲۵۸	۵		-۳۰۰۰ ۳۵۰۰	۱۴	۲
	<۰٫۵	۰	۱		-۳۵۰۰ ۴۵۰۰	۰	۱
	>۲۰۰	۲۵	۱		<۴۰۰۰	۰	۱
فاصله از گسل متر	۴۰۰-۲۰۰	۴۴	۲	نسبت مساحت Asr	۱	۲۴	۳
	۶۰۰-۴۰۰	۴۷	۲		Feb-۱	۵۵۳	۶
	۸۰۰-۶۰۰	۳۹۰	۳		Mar-۲	۰	۱
	<۸۰۰	۸۴	۵		May-۳	۰	۱
	>۱۰۰	۲۹	۲	شخص توپوگرافی Tpi	دره‌های عمیق و گودی‌ها	۲۱۶	۶
فاصله از رودخانه	۲۰۰-۱۰۰	۳۸	۲		دامنه‌ها	۱۹۳	۳
	۳۰۰-۲۰۰	۳۶۹	۳		برآمدگی‌ها و خط‌الریس‌ها	۱۰۸	۴
	۴۰۰-۳۰۰	۴۶	۳		<۵	۲۲۸	۵
	۵۰۰-۴۰۰	۴۰	۳		۵-۱۰	۲۱۹	۴
	<۵۰۰	۵۵	۶		۱۰-۱۵	۸۹	۳
فاصله از چنه	>۱۰۰	۱۲۹	۴	شخص طول شیب Als	۲۰-۱۵	۲۶	۲
	۲۰۰-۱۰۰	۱۱۹	۳		>۲۰	۱۶	۱
	۳۰۰-۲۰۰	۱۹۸	۲				
	۴۰۰-۳۰۰	۶۷	۲				

امتیاز اختصاص یافته	تعداد لغزش	طبقه	عامل	امتیاز اختصاص یافته	تعداد لغزش	طبقه	عامل
				۵	۷۶	<۴۰۰	

در این پژوهش از امتیاز دو قطبی برای تبدیل مقادیر کیفی به کمی استفاده شد، مقیاس دو قطبی فاصله ای روش عمومی در رتبه بندی شاخص‌های کمی و کیفی است اندازه گیری در این روش براساس یک مقیاس ده نقطه ای است به طوری که صفر مشخص کننده کمترین ارزش ممکن که عملاً قابل درک باشد و ده نشان دهنده حداکثر ارزش ممکن از شاخص موردنظر است نقطه وسط نیز نقطه شکست مقیاس بین مساعدها و نامساعدهاست (اصغرپور، ۱۳۹۱، ص ۱۹۵).

در مرحله بعد با استفاده از امتیازهای اختصاص یافته در جدول شماره ۱ و تبدیل معیارها به عدد صحیح و تشکیل ماتریس اولیه (جدول ۱) مقدار (P_{ij}) با استفاده از رابطه (۴)، مقدار W_j وزن نهایی از رابطه (۸) و همچنین مقدار (K) با رابطه (۹) بدست آمد و برای محاسبه مقدار (E_j) برای هر عامل با استفاده از رابطه (۵) استفاده شد. نتایج این محاسبات در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول (۲) مقادیر شاخص‌های محاسبه شده عوامل موثر در لغزش با استفاده از آنترویی

فاصله از جاده	۱،۱۷	-۰،۱۷	۰،۸۴
فاصله از رودخانه	۲،۱۷	-۱،۱۷	۱،۰۲
فاصله از گسل (متر)	۱،۱۹	-۰،۱۹	۰،۸۴
تراکم پوشش گیاهی	۰،۴۱	۰،۴۱	۱،۰۲
کاربری اراضی	۲،۵۵	-۱،۵۵	۱،۳۷
زمین‌شناسی	۴،۴۳	-۳،۴۳	۰،۶۸
شاخص رطوبت	۱،۶	-۰،۶	۰،۶۸
TW_{II}	۳،۶	-۲،۶	۰،۵۵
شاخص طول شیب	۱،۱۸	-۰،۱۸	۰،۵۱
نسبت مساحت	۰،۳۱	۰،۳۱	۰،۶۸
ASR_1	۰،۴۱	۰،۵۸	۱،۱۹
ارتفاع	۱،۲	-۰،۲	۱،۵۲
جهت شیب	۱،۸	-۰،۸	۱،۱۸
شیب	۱،۸	-۰،۸	۱،۱۸
شاخص آنترویی	E_j	V_j	W_j
فاصله	۱	۲	۳

بر اساس محاسبات فوق با مدل آنتروپی، در بین ۱۳ لایه اطلاعاتی فوق لایه جهت شیب دامنه، کاربری اراضی، ارتفاع، شیب، تراکم پوشش گیاهی و فاصله از رودخانه به ترتیب بیشترین سهم را در بین عوامل وقوع لغزش به خود اختصاص داده اند. از نظر رفتاری، تقریباً انواع مختلف رفتارهای حرکتی در وقوع زمین لغزش‌های این منطقه مشاهده می‌گردد. حضور یخچال‌های موقت در ارتفاعات و سرشاخه‌های آبراهه‌ها باعث شده که لایه‌های سطحی فرسایش یافته، به تدریج با ذوب برف و حرکت آن به سمت پایین و تحت تاثیر سنگینی آن، به صورت تدریجی و آرام به همراه برف به حرکت درآمده و پدیده لغزش به وجود می‌آید. گسل خوردگی در مناطق مختلف به ویژه در نقاط مرتفع ارتفاعات جنوبی حوضه، باعث ایجاد تعداد متنابهی زمین لغزش با ویژگی‌های رفتاری متفاوت و گاهی پیچیده در طول منطقه خرد شده گردیده است. با بررسی نقشه جهت شیب در حوضه مشخص گردید که جهت شیب جنوبی و متمایل به جنوب در حوضه طالقان نقش کمتری در وقوع زمین لغزش در منطقه دارند. دلایل این مسئله را می‌توان در دریافت بیشتر میزان تابش آفتاب در طول روز و در نتیجه، کمتر بودن میزان رطوبت و آب درون توده خاک در این وجوه، در مقایسه با وجوه شمالی و متمایل به شمال عنوان نمود. همچنین بررسی نقشه شیب حوضه و شیب پهنه‌های لغزشی بیانگر این امر است که بیشتر ناپایداریها در شیب‌های بالای ۲۰ درجه رخ داده است که بیشتر حاکی از این امر است که نیروهای محرکه (افقی) بیشتر از نیروهای مقاوم (عمودی) است بنابراین جابجایی دامنه در این شیب‌ها بیشتر می‌باشد. در رابطه با شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده ذکر این نکته ضروری است که کمینه و بیشینه مقادیر از ۰,۰۰۱ تا ۰,۵ متغیر بوده و مناطقی با پوشش گیاهی تنک و پراکنده و خاک لخت، بیشترین احتمال رخداد لغزش و مناطقی با پوشش گیاهی متراکم و جنگلی، کمترین احتمال وقوع زمین لغزش را دارند. میزان نقش هر کدام از سطوح لایه فاصله از آبراهه‌ها در وقوع زمین لغزش منطقه نشان می‌دهد که فاصله بیشتر از آبراهه به معنای کمتر شدن میزان وقوع زمین لغزش در منطقه است. البته این می‌تواند به معنای نقش زیاد عامل زیر شویی در وقوع زمین لغزش در حوضه طالقان تلقی گردد.

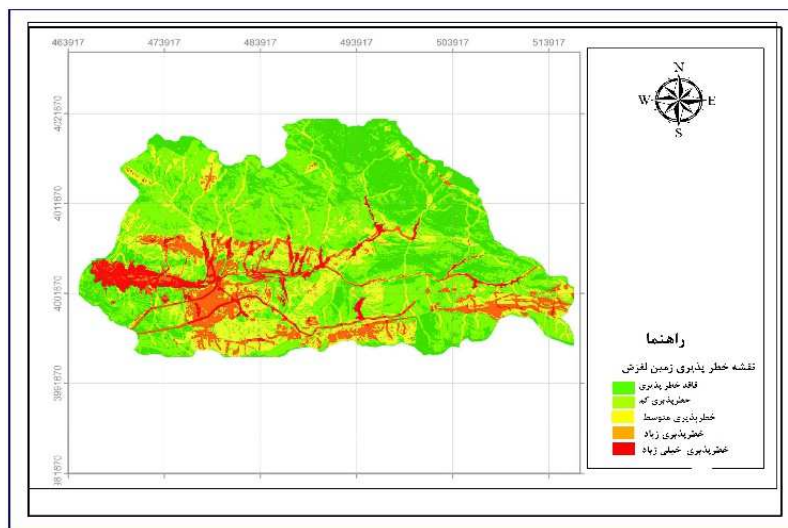
در نهایت مدل ناحیه‌ای خطر زمین لغزش در حوضه طالقان با استفاده از رابطه (۹) به صورت زیر به دست آمد:

$$H = (S \times 1/18) + (As \times 1/52) + (H \times 1/19) + (La \times 1/37) + (N \times 1/02) + (Ri \times 1/02)$$

در این رابطه S: شیب، As: جهت شیب، H: ارتفاع، La: کاربری اراضی، N: شاخص پوشش گیاهی، Ri: فاصله از رودخانه.

به منظور پهنه بندی حساسیت زمین لغزش از شش فاکتور فوق که بیشترین وزن‌ها را داشته‌اند استفاده گردید. بدین صورت که بعد از تعیین وزن نهایی هر عامل و ضرب آن در کلاس‌های عامل مذکور، نقشه‌های وزنی با هم جمع شده و نقشه نهایی حساسیت زمین لغزش به دست آمد. سپس نقشه مذکور بر اساس شکستگی‌های طبیعی به پنج کلاس فاقد خطر پذیری، خطر پذیری کم، خطر پذیری متوسط، خطر پذیری زیاد، خطر پذیری خیلی زیاد تقسیم بندی گردید (شکل شماره ۱۵). نتایج پهنه بندی خطر زمین لغزش در شکل ۱۴ نشان داده است که به ترتیب ۲۰/۸۴، ۲۵/۴۶، ۲۱/۰۵، ۱۲/۲۰ و ۲۰/۴۵ درصد از منطقه مورد مطالعه در طبقه فاقد خطر پذیری، خطر پذیری کم، خطر پذیری متوسط، خطر پذیری زیاد، خطر پذیری خیلی زیاد قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد مناطق واقع در شمال شرق و برخی مناطق مرکزی و جنوب غرب دارای خطر بسیار کم تا کم می‌باشد. در حالیکه بیشتر مناطق مورد مطالعه دارای خطر متوسط تا بسیار زیاد است. به منظور ارزیابی دقت مدل با قرار دادن موقعیت زمین لغزش‌ها بر روی نقشه پهنه بندی تهیه شده، مشخص گردید که از ۱۷ پهنه لغزشی انتخابی در حوضه تمامی پهنه‌ها در پهنه خطر پذیری زیاد تا خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. مساحت پهنه‌های خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه حاکی از آسیب پذیری بالای منطقه در برابر مخاطره زمین لغزش است. با بررسی‌های صورت گرفته بر روی منطبق طرح مشخص گردید که عناصر و اجزایی که در صورت وقوع زمین لغزش می‌توانند در معرض خطر قرار گیرند محدود به مناطق مسکونی، جاده‌ها، رودخانه‌ها، دریاچه طالقان و سد مخزنی طالقان است. عناصر و اجزاء و کاربری‌های مختلفی که در منطقه وجود دارند از ابعاد مختلف دارای اهمیت‌های متفاوتی هستند. بدیهی است که انسان و دارایی‌های او، در صورت بروز هرگونه خطری، از اولویت بالاتری برخوردار هستند. بدین ترتیب، مناطق مسکونی و جمعیتی در بالاترین میزان اولویت

قرار می‌گیرند. اما مواردی نیز وجود دارند که در صورت قرار گرفتن در خطر زمین لغزش، خود می‌توانند خطر بالقوه بزرگتری را ایجاد نمایند. دریاچه طالقان و سد مربوطه می‌توانند از جمله این عوامل باشند. در صورت وقوع زمین لغزش در دریاچه، امکان از بین رفتن سد و رها شدن آب موجود آن به سمت پایین دست، خطر به مراتب بزرگتری را، در مقایسه با وقوع زمین لغزش، می‌تواند ایجاد نماید. بر اساس نقشه پهنه بندی خطر حوضه طالقان کمترین میزان خطر پذیری مربوط به رودخانه و جاده می‌باشد و روستاها و دریاچه طالقان سد مخزنی طالقان از خطر پذیری بالایی برخوردار می‌باشند.



شکل (۱۵) خطر پذیری زمین لغزش در حوضه طالقان

نتیجه گیری

تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش، پیش زمینه ای در شناخت عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش، رخداد آن، مدیریت خطر و روش‌های پیشگیری از خطر و ریسک است. هدف از تحقیق حاضر اولویت بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش و پهنه بندی حساسیت آن در حوضه طالقان با استفاده از شاخص آنتروپی شانون است. پس از تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش

ها، لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت شیب، طبقه ارتفاعی، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، شاخص طول شیب، شاخص رطوبت، شاخص گیاهی نرمال شده، نسبت مساحت سطح و شاخص وضعیت توپوگرافی به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه انتخاب گردیدند. اولویت بندی عوامل مؤثر با استفاده از شاخص آنتروپی شانون نشان داد که لایه‌های جهت شیب، کاربری اراضی، ارتفاع، شیب، و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده و فاصله از رودخانه بیشترین تأثیر را بر وقوع زمین لغزش منطقه داشته‌اند و عوامل وضعیت توپوگرافی، شاخص رطوبت، زمین شناسی، فاصله از گسل و جاده و بقیه لایه‌های اطلاعاتی کمترین تأثیر را داشته‌اند. نقشه خطر پذیری حوضه طالقان نشان می‌دهد که مناطق واقع در شمالشرق و برخی مناطق مرکزی و جنوب غرب دارای خطر بسیار کم تا کم می‌باشد. در حالیکه بیشتر مناطق مورد مطالعه دارای خطر متوسط تا بسیار زیاد است. بنابراین به عنوان پیشنهاد می‌توان گفت که نقشه مذکور می‌تواند نقشه به سزایی در تصمیم‌گیری‌های آتی، مدیریت دامنه‌های خطرناک و آمایش سرزمین در منطقه مورد مطالعه داشته باشد.

منابع

- اصغریور، محمدجواد، ۱۳۹۱، *تصمیم‌گیری‌های چند معیاره*، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دهم. ص ۱۹۸-۱۹۵. تهران
- محمدخان، شیرین، ویسی، عبدالکریم، باقری، کیوان (۱۳۹۳). پتانسیل سنجی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی، مطالعه‌ی موردی: (منطقه کوهستانی شیرپناه در جنوب غرب استان کرمانشاه)، *فصلنامه‌ی جغرافیایی سرزمین*، سال یازدهم، شماره‌ی ۴۴، ص ۸۹-۱۰۲
- مقیمی، ابراهیم، باقری، س. صفرراد، ط، ۱۳۹۱، پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل، آنتروپی (مطالعه موردی: اقدیس نثار زاگرس شمال غربی)، *مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، شماره ۷۹، ص ۷۷-۹۰.
- یمانی، مجتبی، گورابی، ابوالقاسم، پیرانی، پریسا، مرادیپور، فاطمه، شعبانی، عراقی، عارفه (۱۳۹۳). ارزیابی ژئومورفولوژیکی پتانسیل زمین لغزش تاقدیس سیاه کوه، غرب ایران، *فصلنامه‌ی برنامه ریزی و آمایش فضا*، دوره‌ی هجدهم، شماره‌ی ۳، ص ۱۴۷-۱۷۰
- http://www.jennessent.com/arcview/surface_areas.htm (connected: 10.08.2003).
- Baas, A., 2007, Complex Systems in Aeolian Geomorphology, Geomorphology, Vol. 91, PP.311-331.
- Bednarik, M., Magulova, B., Matys, M., Marschalko, M., 2010, Landslide Susceptibility Assessment of the Kral'ovany-Liptovsky' Mikulaš Railway Case Study, Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 35, PP.162-171.
- Constantin, M., M. Bednarik, M. C. Jurchescu, and M. Vlaicu. 2011. Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). Environ. Earth Sci. 63: 97-406.
- Fathi, Mohammad Hoessin, Khohdel Kazem, Amir, Kandi Shoreh, Ashrafifeini Zahra, Khaliji, Mohammad Ali (2015) The combination of spectral and spatial data in zoning of landslides susceptibility (Case

- study: Sangorchay reservoir) Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES). Vol. 6, No. 2, pp 515-527.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, CH., Cascini, L., Leroi, E., Savage, Z.S., 2008, Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Planning, Engineering Geology, Vol. 102, PP. 85-98.
- Hattanji, T., & Moriwaki, H., (2009), "Morphometric analysis of relic landslides using detailed landslide distribution maps: Implications for forecasting travel distance of future landslides", Journal of Geomorphology, No, 103, Pp. 447-454.
- H.Hong. Haghbi .S. A. Pourghasemi. H. R (2016). GIS-based landslide spatial modeling in Ganzhou City, China, Arab J Geosci Journal, 9:112.
- J,Davis. L. Blesius (2015). A Hybrid physical and Maximum- Entropy Landslide Susceptibility Model. Entropy Journal, 17, 4271-4292.
- Jenness, J. 2002. Surface Areas and Ratios from Elevation Grid, Jenness Enterprises,
- K, Ch. Devkota. A. D. Regmi. H. R. Pourghasemi, K, Yoshida. B, radhan. I, Ch. Ryu. M, R. Dhital. O, F. Althuwaynee (2013). Landslide susceptibility mapping using certainty factor, Index of Entropy and Logistic Regression in GIS and their comparison at Mugling-Narayanghat road section in Nepal Himalaya. Natural hazard, 65:135-165.
- Koehorst, B. A. N., O. Kjekstad, D. Patel, Z. Lubkowski, J. G. Knoeff and G. J. Akkerman. 2005. Work package 6, Determination of Socio-Economic Impact of Natural Disasters, Assessing socio-economic Impact in Europe. 173p.
- Kumar Dahal, R., 2008, Predictive Modeling of Rainfall-induced Landslide Hazard in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights-of-evidence, Geomorphology, Vol. 102, PP.496-510.

- Luna, B., Langbein, W.B., 1963, The Concept of Entropy in Landscape Evolution, Geological Survey Professional Paper, U.S. Govt. Print. Off, Washington
- Minasny, B., McBratney, A., Blanes, S., 2008, Quantitative Models for Pedogenesis – A Review, Geoderma, Vol. 144, PP. 140-157.
- Moore, I.D., P.E. Gessler, G.A. Neslesn and G.A. Peterson. 1993. Soil attributes prediction using terrain analysis. Soil Sci. Society American J. 57(2): 443-452.
- Pourghasemi, H. R., M. Mohammady, and B. Pradhan. 2012a. Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran, Catena 97: 71–84.
- Pourghasemi H.R., B., Pradhan, C., Gokceoglu and K. Deylami Moezzi. 2012c. A comparative assessment of prediction capabilities of Dempster-Shafer and weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping using GIS. Geomatics Nat. Hazards & Risk. doi:10.1080/19475705.2012.662915.
- Ramakrishna, D., M.K., Ghose, R., Vinu Chandra and A. Jeyaram. 2005. Probabilistic techniques, GIS and remotesensing in landslide hazard mitigation: a case study from Sikkim Himalayas, India. Geocartography Int. 20 (4):53–58.
- Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. Bulletin System Technol. J. 27: 379–423.
- Sharma, L.P., N. Patel, M. K. Ghose and P. Debnath. 2010. Influence of Shannon's entropy on landslide-causing parameters for vulnerability study and zonation-a case study in Sikkim, India. Arab. J. Geosci. 5 (3): 421-431.
- Yufeng, S. and J. Fengxiant. 2009. Landslide Stability Analysis Based on Generalized Information Entropy, International Conference on Environmental Science and Information Application echnology. 83-85. DOI10.1109/ESIAT.2009.258.

- Youssef A M Pourghasemi H R El-Hadad B A Dhahry B K(2016)
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 . 75:63–87.
- Wan, S. 2009. A spatial decision support system for extracting the core factors and thresholds for landslide susceptibility map. Eng. Geo. 108: 237-251
- Zongji, Y. Jianping; Q. Xiaogang., ZH. (2010). "Regional Landslide Zonation Based on EntropyMethod in Three Gorges Area, China", Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD).Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 1336- 339,Doi:10.1109/FSKD.2010.5569097.Downloaded from