

## ارزیابی خطر زمین لغزش و ارتباط آن با نوع لندفرم در محیط GIS

مرضیه مکرم\* - استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز،  
مهران شایگان - دانش آموخته دوره دکتری عمران نقشه برداری - GIS، دانشکده ژئوماتیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۱۰      تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۲/۱۵

### چکیده

تعیین مناطق مستعد وقوع زمین لغزش یکی از اقدامات اولیه در کاهش خسارات احتمالی و مدیریت حوضه‌های آبخیز کشور می‌باشد. با توجه به اهمیت موضوع هدف از این تحقیق بررسی وضعیت زمین لغزش در شرق شهر کرمان و ارتباط آن با نوع لندفرم می‌باشد. برای این منظور از پارامترهایی مانند شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از جاده و زمین شناسی به عنوان لایه‌های ورودی برای تعیین خطر زمین لغزش استفاده شد. بعد از تهیه هر یک از این لایه‌ها با استفاده از روش فازی و تعریف تابع عضویت، نقشه فازی برای هر یک از پارامترها تهیه شد. در نهایت به منظور همپوشانی هر یک از نقشه‌های فازی و تهیه نقشه نهایی زمین لغزش، با توجه به اهمیتی که هر یک از لایه‌ها در خطر وقوع زمین لغزش دارند، با ایجاد ماتریس مقایسه زوجی در مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) نقشه نهایی تهیه شد. در ادامه برای تعیین ارتباط بین زمین لغزش و نوع لندفرم، با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) نقشه لندفرم منطقه تهیه شد. نتایج نشان داد که بیشترین احتمال رخداد زمین لغزش در غرب، شمال و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نتایج حاصل از نقشه لندفرم‌های منطقه نشان داد که بیشترین درصد لندفرم در منطقه مربوط به آبراهه‌ها (دره‌ها) با حدود ۳۱ درصد و قله‌ها با حدود ۲۶/۷ درصد می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که هر چه به لندفرم‌های مناطق کوهستانی مانند خط الراس‌ها، تپه‌ها و قله‌ها نزدیک می‌شویم احتمال خطر زمین لغزش بیشتر می‌شود. بنابراین با توجه به اینکه در این نوع لندفرم‌ها احتمال وجود اراضی باغی، کشاورزی، جاده‌ها و در بعضی مناطق روستاها وجود دارد، باید مدیریت بیشتری در این مناطق صورت گیرد.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، روش فازی و AHP، شاخص موقعیت جغرافیایی (TPI)، لندفرم.

## مقدمه

پدیده زمین لغزش یکی از پدیده‌های مهم و قابل توجه در مسائل زیست محیطی، آبخیزداری و منابع طبیعی می‌باشد. اهمیت زمین لغزش‌ها را می‌توان از دیدگاه‌های گوناگونی مورد بحث و بررسی قرار داد. مهم‌ترین دلیل با اهمیت بودن این پدیده، خسارت‌های جانی و مالی ناشی از به وقوع پیوستن آن‌ها می‌باشد (رجب زاده، ۱۳۹۲). امروزه انسان با تغییر کاربری اراضی و گسترش شبکه‌های ارتباطی، حساسیت وقوع زمین لغزش‌ها را در سطح کره زمین، به ویژه در نواحی کوهستانی تشدید کرده است (گورسیسکی و همکاران، ۲۰۰۶). در قرن بیستم، قاره آسیا بیشترین حادثه وقوع زمین لغزش (۲۲۰ مورد گزارش شده) را به خود اختصاص داده است. قاره آمریکا بیشترین تعداد کشته و مجروحان را داشته (بیش از ۲۵۰۰ نفر) و اروپا بالاترین میزان خسارات را تجربه کرده است (کرمی، ۱۳۹۱).

از جمله پژوهش‌هایی که در مورد زمین لغزش در خارج از کشور انجام شده می‌توان به کار یلسین (۲۰۰۸) در مورد تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در حوضه آردیس ترکیه با سه روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فاکتور وزنی (wf) و شاخص آماری (wi) اشاره کرد که نتایج این کار مشخص کرد که روش AHP مناطق دارای زمین لغزش را نسبت به دو روش دیگر در حوضه مورد مطالعه بهتر نشان می‌دهد. همچنین به پژوهش زانگ و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد که در مطالعه‌ای به پهنه بندی خطر زمین لغزش براساس مدل توزیع چند وزنی در مناطق ساحلی جنوب شرق چین پرداختند. بر اساس نتایج این پژوهش این مدل روش مناسبی برای پهنه بندی خطر زمین لغزش می‌باشد. یکی دیگر از کارهای انجام شده در مورد زمین لغزش توسط وان (۲۰۰۹) انجام گرفت که با استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری فضایی به استخراج عوامل اصلی زمین لغزش برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در تایوان پرداخت. علاوه بر موارد ذکر شده گورسیسکی و همکاران (۲۰۰۰)، وسترن و ترلین (۱۹۹۶)، سلرسی و همکاران (۲۰۰۲)، اهل‌مکر و دیویس (۲۰۰۳) و آیالو و یاماگیشی (۲۰۰۵) نقشه‌های حساسیت به زمین لغزش را تهیه نمودند.

در ایران پژوهش‌های متنوعی پیرامون زمین لغزش انجام شده که می‌توان به کار فیض نیا و همکاران (۱۳۸۳) اشاره کرد. آن‌ها عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز شیرین رود-سدتجن مورد بررسی قرار دادند. پس از بررسی‌های میدانی و مرور مطالعات انجام شده در مناطق مشابه با حوزه آبخیز شیرین رود، عامل ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت، بارندگی، کاربری زمین‌ها، زمین شناسی، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از شبکه هیدروگرافی به عنوان عوامل مؤثر اولیه در وقوع زمین لغزش منطقه تشخیص داده شدند. پس از اینکه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به این ۹ عامل در محیط GIS و با استفاده از نرم افزارهای Arcview و (Arc/Info, Idrisi, Ilwis) تهیه شد، هر کدام از این لایه‌ها با لایه اطلاعاتی پراکنش زمین لغزش‌ها قطع داده شد. تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده نشان داد که دو عامل جهت شیب و فاصله از شبکه هیدروگرافی دارای تأثیر کمی در وقوع زمین لغزش می‌باشند. سپس با استفاده از هفت عامل مؤثر دیگر، پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، شاخص همپوشانی و روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP) و در محیط GIS انجام شد. نتایج به دست آمده از این تحقیق بیانگر این است که در هر چهار روش مناطقی که در آنها تغییرات زیاد کاربری زمین‌ها صورت گرفته، جزء مناطق پر خطر محسوب می‌گردند و نیز مناطق اطراف دهانه خروجی حوزه در هر ۴ روش دارای پتانسیل بالا در وقوع زمین لغزش می‌باشند. پس از این مرحله ارزیابی روش‌های پهنه بندی و اولویت بندی آنها از نظر تفکیک کلاسه‌های خطر انجام شد. برای این کار از روش نسبت تراکمی در هر یک از کلاسه‌های خطر استفاده شد که نتایج بیانگر تفکیک بهتر کلاسه‌های خطر در روش شاخص همپوشانی می‌باشد.

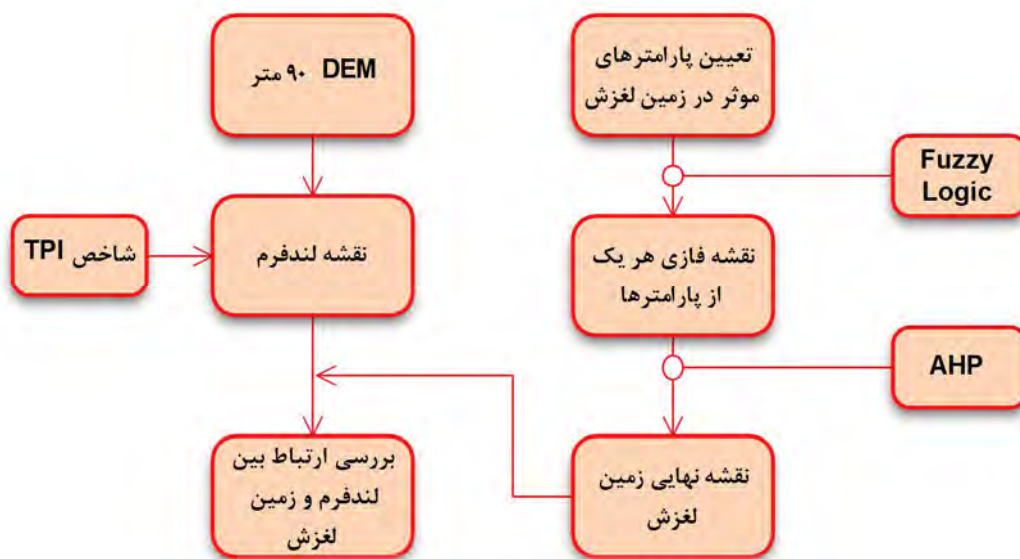
بای و میر رحیمی (۱۳۸۷) نقشه پهنه بندی زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی انجام دادند. به منظور بررسی حرکات توده‌های حوضه آبریز رودخانه مادرسو از عوامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری ارضی، باران، فاصله

از رودخانه، فاصله از گسل و فاصله از جاده برای پهنه بندی خطر لغزش استفاده شد. پس از تجزیه و تحلیل دادهها توسط نرم افزار ArcGIS تأثیر هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی در وقوع لغزش مشخص گردید و پهنه بندی انجام گرفت. نتایج حاصل از مقایسه این پهنه بندی و پراکنندگی موجود از زمین لغزش‌ها نشان دادند که روش سلسله مراتبی، روش مناسبی برای پهنه بندی خطر لغزش حوضه آبریز مادرسو می‌باشد.

روستایی و علیزاده (۱۳۹۰) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه صوفی چای (مراغه) با استفاده از روش آنبالگان انجام دادند. در این تحقیق برای هر یک از پارامترهای تأثیرگذار در زمین‌لغزش از قبیل شیب، جهت شیب و... نقشه تهیه شده و در آخر از تلفیق نقشه‌های عامل، نقشه پهنه‌بندی نهایی تهیه شده است. متولی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از رگرسیون لجستیک وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز واز را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که لیتولوژی، فاصله از جاده و شیب نقش مهمی در وقوع زمین لغزش در منطقه دارند. با استفاده از نقشه احتمال وقوع زمین لغزش مشخص شد که بیش از ۵۰ درصد منطقه دارای حساسیت متوسط هستند. طلائی و همکاران (۱۳۹۲) از روش رگرسیون لجستیک و بر مبنای داده‌های موجود، درجه خطر زمین لغزش‌ها در پنجاه سال آینده در منطقه هشتچین تعیین کردند. با ارزیابی آسیب پذیری اجزاء در معرض آسیب، مقادیر ریسک منطقه در هر پیکسل محاسبه شد. مقادیر ریسک به دست آمده بصورت نسبی رده بندی شد. پهنه بندی ریسک به دست آمده زونهای با ریسک بالا را که باید در آنها مدیریت بحران بطور جدی به اجرا در آید مشخص نمود.

کرزادی و همکاران (۱۳۹۳) پهنه بندی خطر و خسارات زمین لغزش حوضه آبخیز زیارت در استان گلستان را مورد مطالعه قرار دادند. نقشه شدت خسارات زمین لغزش از معادله وارنس (معادله عمومی ریسک) و از ترکیب سه نقشه خطر، عناصر در معرض خطر و درجه آسیب پذیری تهیه شد. مقیمی و همکاران (۱۳۹۲)، در مقاله‌ای به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) پرداخته‌اند نتایج نشان داد ۷۱ درصد منطقه دارای خطر متوسط زمین لغزش هست، همچنین در این فرآیند عامل شیب و حساسیت لیتولوژی مهم‌ترین سهم را بر عهده داشته‌اند. رجبی و فیض اله پور (۱۳۹۳) در تحقیقی تحت عنوان پهنه‌بندی زمین لغزش‌های حوضه رودخانه گیوی چای با استفاده از مدل پرسپترون چند لایه از نوع پیش خور پس انتشار (BP) جهت ارزیابی شبکه عصبی ایجاد شده، داده‌های ۴۱ زمین لغزش رخ داده در کنار ۸ لایه؛ متشکل از لایه‌های شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، فاصله از گسل، شبکه هیدروگرافی، کاربری اراضی و پراکنش زمین لغزش به پهنه‌بندی زمین لغزش پرداخته است. نتایج حاصل نشان داد که ساختار زمین شناسی شکل گرفته از آهک‌های کرتاسه و آندزیت های پرفیری و همچنین دسترسی به منابع رطوبتی بالا باعث شده که ارتفاعات شرقی کوه بوغروداغ و آلاداغ در محدوده کوه‌های تالش از قابلیت بالایی در رخداد زمین لغزش برخوردار شوند.

جابجایی توده‌ای مواد از قبیل زمین لغزش از جمله فرآیندهای دامنه‌ای مشکل آفرین در شرق شهر کرمان است، چرا که این پدیده موجب تخریب اراضی، زمین‌های کشاورزی و مراتع، و نیز افزایش تولید رسوب در خروجی حوضه می‌شود. با توجه به اهمیت بررسی و تعیین مناطق مستعد زمین لغزش هدف از این مطالعه تعیین مناطق مستعد زمین لغزش در شرق شهر کرمان می‌باشد. همچنین در این مطالعه نقشه لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) تهیه می‌شود و در نهایت ارتباط بین نوع لندفرم و میزان زمین لغزش مشخص می‌شود. مراحل مختلف تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است:

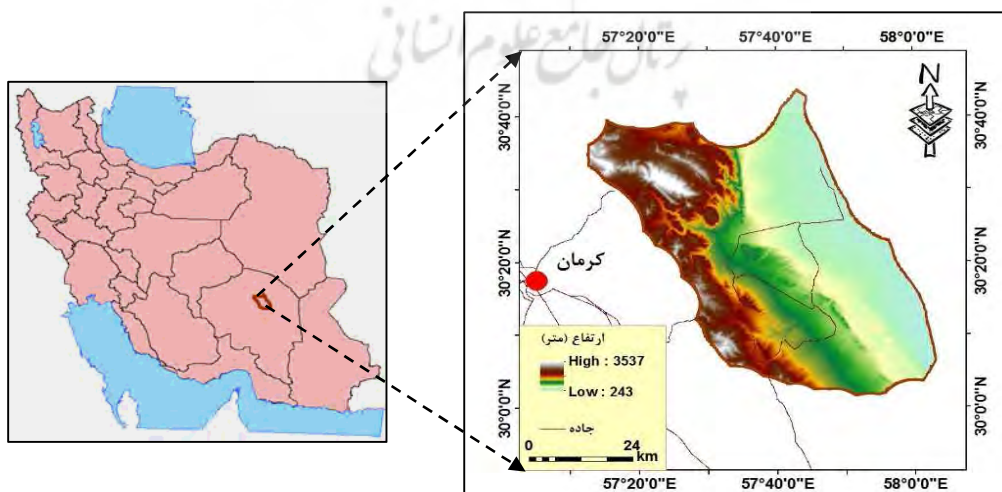


شکل ۱: مراحل روش تحقیق به منظور تعیین مناطق مستعد زمین لغزش و ارتباط آن با لندفرم‌ها

## روش تحقیق

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شرق شهر کرمان در موقعیت جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی و ۵۷ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۳ دقیقه واقع شده است (شکل ۲). مساحت منطقه مورد مطالعه ۳۳۷۶ کیلومتر مربع می‌باشد. بیشترین و کمترین ارتفاع در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۲۴۳ و ۳۵۳۷ متر می‌باشد. حوزه آبخیز مورد مطالعه بیشتر در مناطق کوهستانی واقع شده است. با توجه به جاده‌ها، امکان روستایی و اراضی کشاورزی و باغی که در این مناطق قرار گرفته‌اند، بررسی خطر زمین لغزش در این مناطق مهم می‌باشند. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

## داده ها

به منظور تهیه نقشه پهنه زمین لغزش منطقه مورد مطالعه از لایه ارتفاع، شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، جهت شیب، لیتولوژی و کاربری اراضی به عنوان عوامل تأثیرگذار در نرم افزار GIS استفاده شد. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه از سازمان زمین شناسی کشور با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. شیب منطقه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع تهیه شد که در نرم افزار ArcGIS با قدرت تفکیک ۹۰ متر تهیه شد. نقشه جهت منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع تهیه شد. فاصله از گسل در محیط GIS با استفاده از توابع موجود از نقشه گسل تهیه شده از سازمان زمین شناسی تهیه شد. نقشه کاربری زمین از سازمان مدیریت و برنامه ریز کشور تهیه شد. نقشه بارش منطقه با توجه به داده های هواشناسی در طی ۳۰ سال گذشته از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. جاده ها و رودخانه های منطقه مورد مطالعه از نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد.

## روش

### روش فازی

در روش فازی به وسیله تعریف تابع عضویت هر یک از اشیاء و یا پدیده های موجود در زمین را در بازه ای از ۰ تا ۱ تعریف نمود (زاده، ۱۹۶۵). در این مجموعه عدد ۰ نشان دهنده عدم وجود شی در مجموعه مورد نظر و عدد یک بیانگر عضویت پدیده به طور صددرصد با مجموعه مورد نظر می باشد. مفهوم تابع عضویت از اهمیت ویژه ای در تئوری مجموعه های فازی برخوردار می باشد، چرا که تمام اطلاعات مربوط به یک مجموعه فازی به وسیله تابع عضویت آن توصیف و در تمام کاربرد ها و مسایل مربوط به تئوری مجموعه های فازی از آن استفاده می گردد. تابع عضویت مقدار فازی بودن یک مجموعه فازی را مشخص می کند و در واقع به تابعی که میزان درجه عضویت المان های مختلف را به یک مجموعه نشان می دهد، تابع عضویت گویند.

(Mc Bratney and Odeh, 1997) (تابع عضویت در مدل فازی به صورت معادله ۱ تعریف می

$$A = \{x, \mu_A(x)\} \text{ for each } x \in X \dots \quad (1)$$

$\mu_A$  تابع عضویتی است که درجه عضویت  $x$  را در مجموعه  $A$  تعریف می کند. مقداری که این تابع عضویت ها اتخاذ می کنند بین ۰ تا ۱ است. در این مطالعه با توجه به وجود انواع توابع عضویت، از تابع عضویت خطی دوزنقه ای استفاده شد (عابدینی و قاسمیان، ۱۳۹۴).

### روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

پارامتر وزن، پارامتر مهمی برای ارتباط دادن فاکتورهای بکار رفته در زمین لغزش است. به دلیل اینکه هر یک از ویژگی های دارای تأثیر متفاوتی روی میزان زمین لغزش هستند، به کمک روش AHP وزن دهی صورت گرفت. روشی است که وزن دهی به پارامترها را آسان می کند. AHP بر مقایسه جفتی هر یک از پارامترها تکیه دارد. هر یک از فاکتورها بر اساس درجه اهمیتی که برای زمین لغزش دارند در محدوده ای از ۱ تا ۹ قرار می گیرند (جدول ۱).

جدول ۱: مقیاس بنیادی برای مقایسه زوجی (Saaty &amp; Vargas, 2001)

ارزش عددی	ارزش توصیفی	توضیحات
۱	۱	اهمیت برابر
۲	ضعیف	-
۳	تقریباً متوسط	یک فاکتور نسبت به دیگری کمی ارجح-تر است
۴	متوسط	-
۵	اهمیت بالاتر نسبت به دیگری	یک فاکتور نسبت به دیگری ارجح‌تر است
۶	قوی	-
۷	خیلی قوی	یک عنصر نسبت به دیگری دارای اهمیت زیاد است
۸	خیلی خیلی قوی	-
۹	کاملاً ارجح‌تر	یک عنصر نسبت به دیگری دارای اهمیت خیلی بیشتری است
عمل متقابل (دو طرفه)	پارامتر $j$ از ارزش‌های بالا است، پارامتر $i$ می‌باشد	وقتی پارامتر $i$ با $j$ مقایسه می‌شود و دارای یکی از ارزش‌های بالا است، پارامتر $j$ دارای ارزشی متقابل با ارزش $i$ می‌باشد

به عبارت دیگر به کمک ماتریس مقایسه زوجی طبق معادلات ۲ و ۳ ارزش و اهمیت هر معیار نسبت به دیگر معیارها را می‌توان مشخص نمود.

$$a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj} \quad (۲)$$

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \quad (۳)$$

که  $k$  و  $j$  و  $i$  مقادیر مربوط به ماتریس مورد بررسی می‌باشد. با توجه به فرمول ۴ و ۵ با مقایسه دو بدوی هر یک از پارامترهای موثر در تعیین زمین لغزش، اعدادی بین ۱ تا ۹ برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود که با تشکیل ماتریس مقایسه زوجی در نهایت برای هر یک از پارامترها ارزشی بین ۰ تا ۱ انتخاب می‌شود.

در نهایت به منظور آماده سازی نقشه زمین لغزش از معادله زیر استفاده می‌شود. طبق این معادله وزن‌های تعریف شده برای هر یک از پارامترها در نقشه‌های فازی تهیه شده ضرب می‌شود تا نقشه نهایی زمین لغزش منطقه مورد مطالعه تهیه گردد.

$$\mu_A = \sum_{j=1}^k W_j \times \mu_{A(x)} \quad x \in X \quad (۴)$$

$$\sum_{j=1}^k W_j = 1 \quad W_j > 0 \quad (۵)$$

با توجه به فرمول بالا مشخص می‌شود که وزن مربوط به هر یک از پارامترها در محدوده ۰ تا ۱ است و مجموع وزن‌هایی برابر با ۱ می‌باشد

### طبقه بندی لندفرم ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)

برای جداسازی لندفرم های منطقه از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۹۰ متر استفاده شد. ۱۰ نوع لندفرم بر اساس TPI یا شاخص موقعیت توپوگرافی شناسایی شد. TPI طبق معادله ۶ مقایسه ارتفاع هر سلول در یک مدل رقومی ارتفاع با میانگین ارتفاع سلول ها همسایه می باشد. در نهایت ارتفاع میانگین از مقدار ارتفاع در مرکز کم می شود.

$$TPI_i = Z_0 - \sum_{n=1}^n Z_n / n \quad (6)$$

در اینجا،

$$Z_0 = \text{ارتفاع نقطه مدل تحت ارزیابی}$$

$$Z_n = \text{ارتفاع از شبکه}$$

$n$  = تعداد کل نقاط اطراف در نظر گرفته شده در ارزیابی

ترکیب TPI در مقیاس کوچک و بزرگ اجاز می دهد تا انواع اشکال ایجاد شود (جدول ۲). برای طبقه بندی بهتر می توان از در بین کلاس ها نیز طبقه بندی به صورت دستی انجام داد تا یک طبقه بندی بهینه برای چشم انداز منطقه مورد مطالعه داشته باشیم. شاخص موقعیت توپوگرافی، ارتفاع هر پیکسل در مدل رقومی ارتفاع را با پیکسل مشخص اطراف آن پیکسل مقایسه می کند (شکل ۱). مقادیر مثبت TPI نشان دهنده مناطقی است که بالاتر از نقاط اطراف قرار گرفته (تپه ها) و مقادیر منفی TPI نشان دهنده مناطقی است که پایین تر از اطرافشان هستند (دره ها). مقادیر صفر و نزدیک صفر نیز نشان دهنده مناطق مسطح (جایی که شیب نزدیک صفر است) یا مناطقی با شیب ثابت هستند.

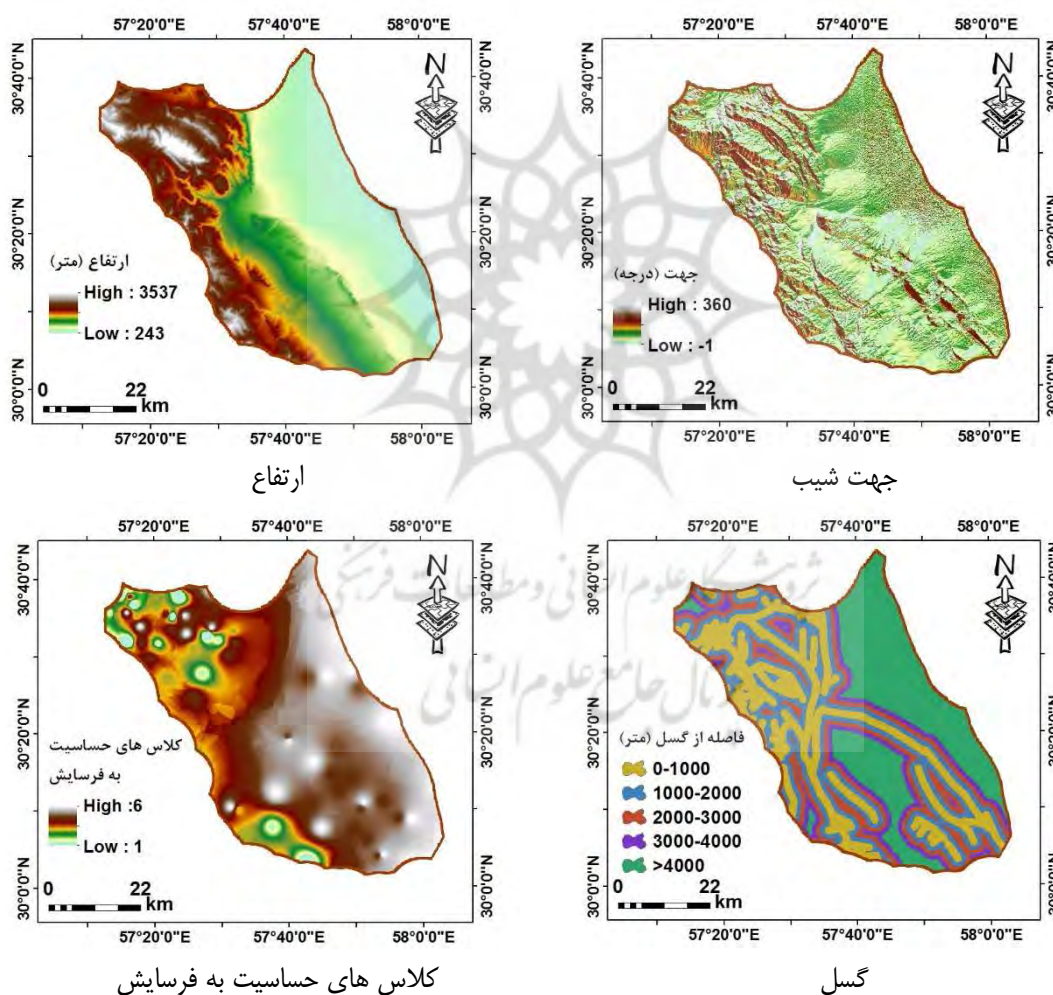
جدول ۲: طبقه بندی انواع لندفرم ها بر اساس شاخص موقعیت توپوگرافی

شماره کلاس	نوع لندفرم	مقادیر TPI
۱	دره ها و بریدگی های واقع بر ارتفاعات و دامنه ها	$TPI \leq -1$
۲	دره های آبراهه های میانی	$-1 < TPI < 1$
۳	زهکش های مرتفع	$TPI \geq 1$
۴	دره های u شکل	$TPI \leq -1$
۵	دشت های کوچک	$-1 < TPI < 1$ , Slope $\leq 5^\circ$
۶	دشت سر	$-1 < TPI < 1$ , Slope $> 5^\circ$
۷	فلات های بالایی (سطوح مسطح واقع بر ارتفاعات)	$TPI \geq 1$
۸	خط الراس های مرتفع	$TPI \leq -1$
۹	تپه	$-1 < TPI < 1$
۱۰	خط الراس های مرتفع، قله کوه	$TPI \geq 1$

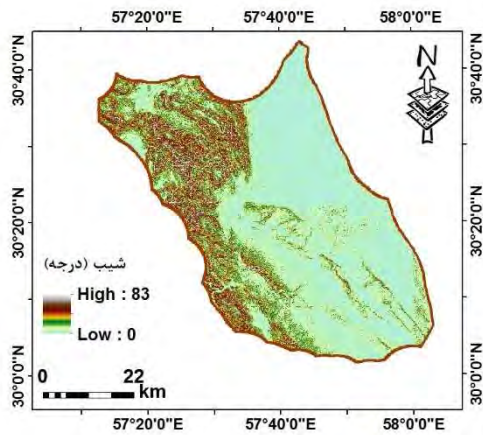
مقادیر مثبت TPI نشان دهنده مناطقی است که بالاتر از نقاط اطراف قرار گرفته (تپه ها) و مقادیر منفی TPI نشان دهنده مناطقی است که پایین تر از اطرافشان هستند (دره ها). مقادیر صفر و نزدیک صفر نیز نشان دهنده مناطق مسطح (جایی که شیب نزدیک صفر است) یا مناطقی با شیب ثابت هستند.

### بحث و یافته‌ها

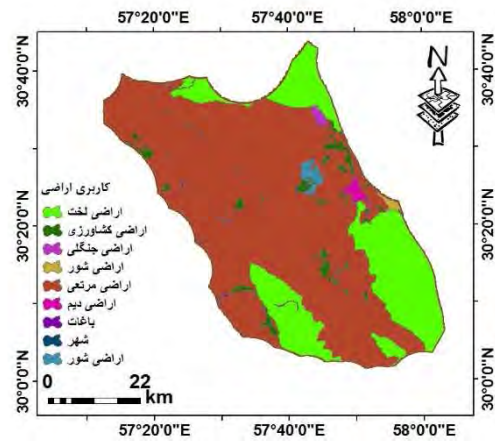
ابتدا در محیط ArcGIS نقشه مربوط به هر یک از عوامل تهیه شد که در شکل زیر نشان داده شده است. با توجه به اینکه DEM با قدرت تفکیک ۹۰ متر به منظور بررسی لندفرم‌ها در سطح وسیع قابل قبول است، از DEM ۹۰ متری برای تهیه نقشه ارتفاع منطقه مورد مطالعه استفاده شد. با توجه به شکل ۳ مشخص می‌شود که غرب، شمال و جنوب غرب منطقه دارای ارتفاعات زیادی بیش از ۳۰۰۰ متر می‌باشد. همچنین مشخص می‌شود که منطقه دارای جهت جغرافیایی از ۱- تا ۳۶۰ درجه می‌باشد. همچنین نقشه سازندهای منطقه مورد مطالعه در کلاس ۱ تا ۶ طبقه بندی شده است که نشان دهنده حساسیت بیشتر سازند به فرسایش و زمین لغزش می‌باشد. نقشه گسل‌های منطقه حاکی از وجود گسل در غرب و شمال غرب منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در ۹ کلاس اراضی کشاورزی، اراضی جنگلی، اراضی مرتعی، اراضی شهری، اراضی لخت، اراضی دیم، باغ، صخره و آبراهه قرار گرفته است. همچنین با توجه به شکل ۳ مشخص می‌شود که بیشترین شیب در مناطق شمالی منطقه مورد مطالعه می‌باشد.



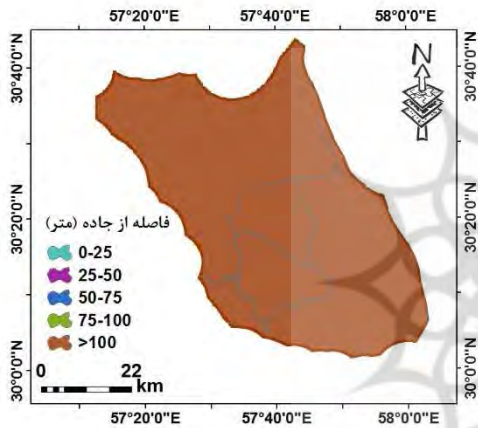




شیب



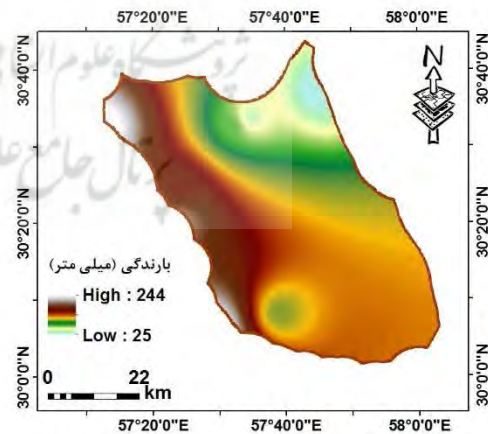
کاربری اراضی



جاده



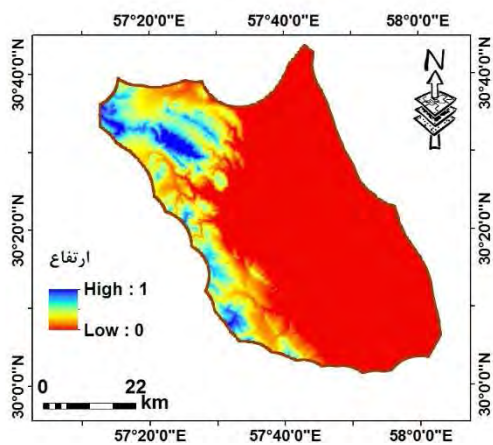
رودخانه



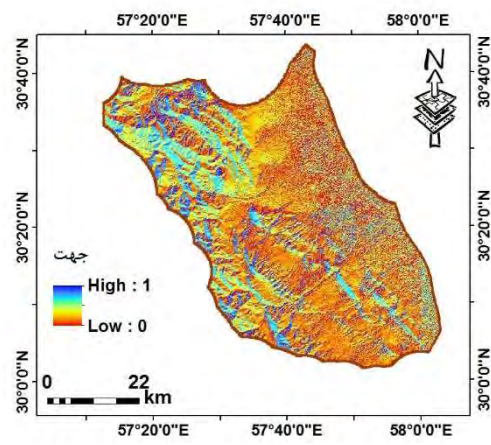
بارندگی

شکل ۳: نقشه هر یک از پارامترهای موثر در زمین لغزش منطقه مورد مطالعه

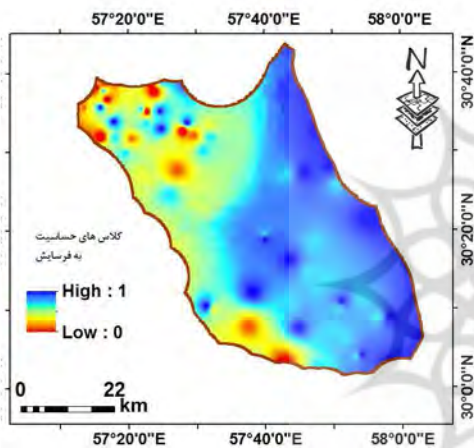
با استفاده از مطالعات انجام شده توسط عابدینی و قاسمیان (۱۳۹۴)، قوانین فازی برای هر یک از پارامترها تعریف شد. به طوریکه با در نظر گرفتن بیشترین تاثیر هر یک از پارامترها و اختصاص دادن عدد ۱ به مقادیر بیشتر از آن و عدم تاثیر گذاری این پارامترها در فرایند زمین لغزش و اختصاص دادن عدد ۰ و مقادیر بین بیشترین و کمترین تاثیر، محدوده ای بین صفر تا یک، طبق فرمول ۵ نقشه فازی برای هر یک از پارامترها تهیه شد (شکل ۴).



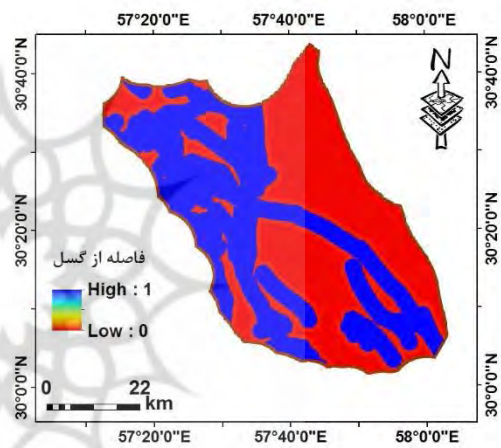
ارتفاع



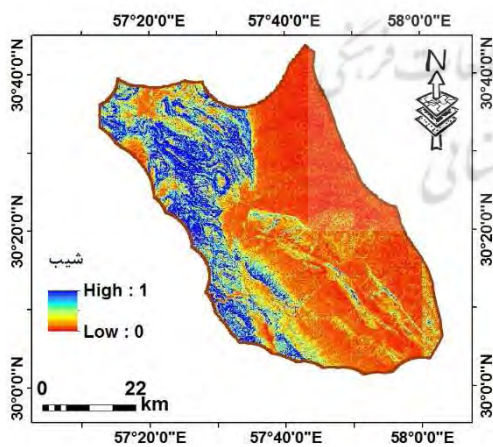
جهت شیب



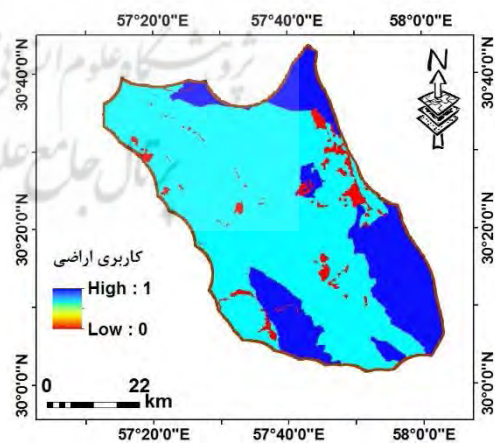
کلاس‌های حساسیت به فرسایش



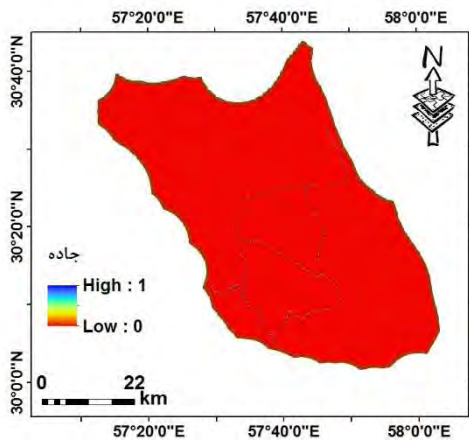
گسل



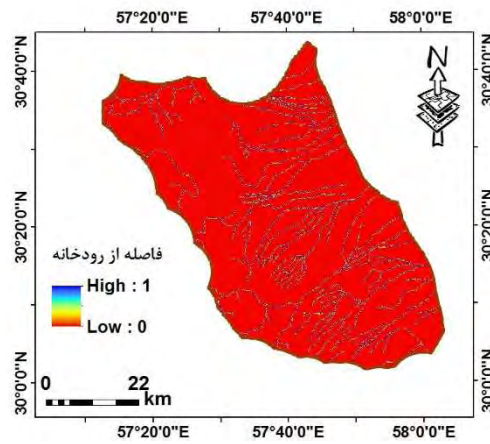
شیب



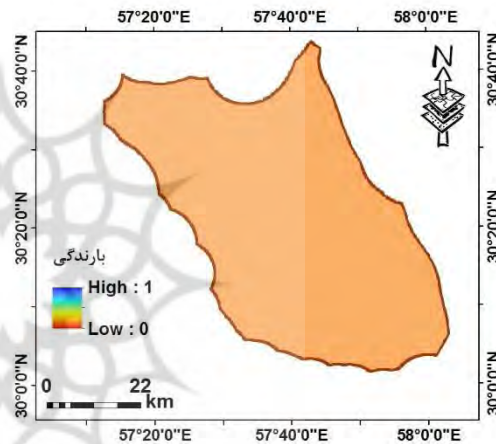
کاربری اراضی



جاده



رودخانه



باران

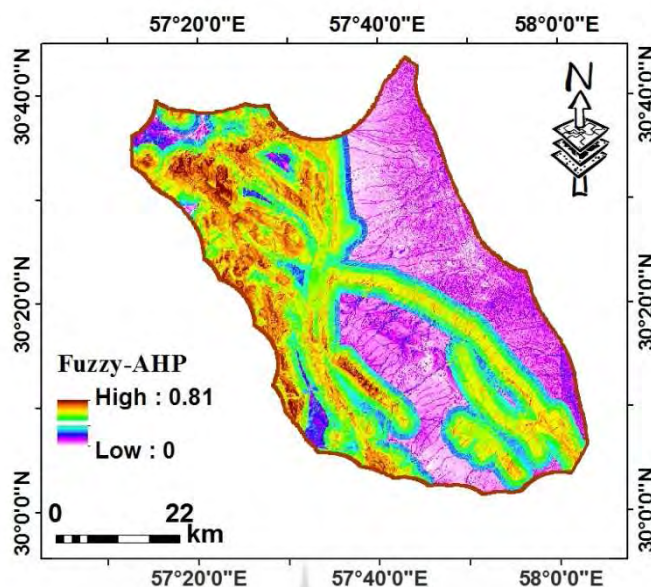
شکل ۴: نقشه فازی هر یک از فاکتورهای موثر در تعیین مناطق زمین لغزش

در نهایت به منظور تهیه نقشه نهایی زمین لغزش از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. پارامتر وزن، پارامتر مهمی برای ارتباط دادن فاکتورهای بکار رفته در زمین لغزش است. به دلیل اینکه هر یک از ویژگی‌های دارای تأثیر متفاوتی روی زمین لغزش دارند، به کمک روش AHP وزن دهی صورت گرفت. AHP روشی است که وزن دهی به پارامترها را آسان می‌کند. AHP بر مقایسه جفتی هر یک از پارامترها تکیه دارد. هر یک از فاکتورها بر اساس درجه اهمیتی که برای زمین لغزش دارند در محدوده‌ای از ۱ تا ۹ قرار می‌گیرند. با توجه به مطالعات عابدینی و قاسمیان (۱۳۹۴) با در نظر گرفتن اهمیت هر یک از فاکتورها در خطر زمین لغزش، مقایسه زوجی برای هر یک از فاکتورها طبق جدول زیر انجام شد (شکل ۵).



شکل ۵: نتایج حاصل از مدل تحلیل سلسله مراتبی

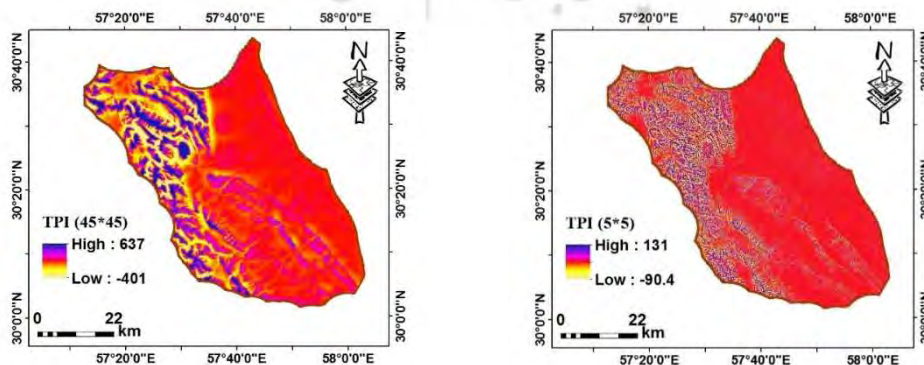
با توجه به نتایج مدل تحلیل سلسله مراتبی مشخص می‌شود که مهمترین فاکتور تأثیر گذار در زمین لغزش شیب و کمترین پارامتر فاصله از رودخانه می‌باشد. در نهایت با در نظر گرفتن وزن هر یک از پارامترها در محیط GIS نقشه نهایی زمین لغزش تهیه شد (شکل ۶).



شکل ۶: نقشه زمین لغزش منطقه با استفاده از روش فازی و AHP

با توجه به شکل مشخص می‌شود که مناطق غربی مستعد تر برای خطر زمین لغزش می‌باشند. در حالیکه مناطق شرقی با توجه به شیب و ارتفاع کم مناطق مساعدی برای زمین لغزش نمی‌باشند. در نهایت به منظور بررسی ارتباط بین نوع لندفرم و مناطق مستعد زمین لغزش نقشه لندفرم ها تهیه شد. به منظور استخراج نقشه لندفرم منطقه مورد مطالعه از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) استفاده گردید. نقشه TPI با در نظر گرفتن دو پنجره ۵\*۵ (حداقل مقیاس) و ۴۵\*۴۵ (حداکثر مقیاس) تهیه گردید (شکل ۹)

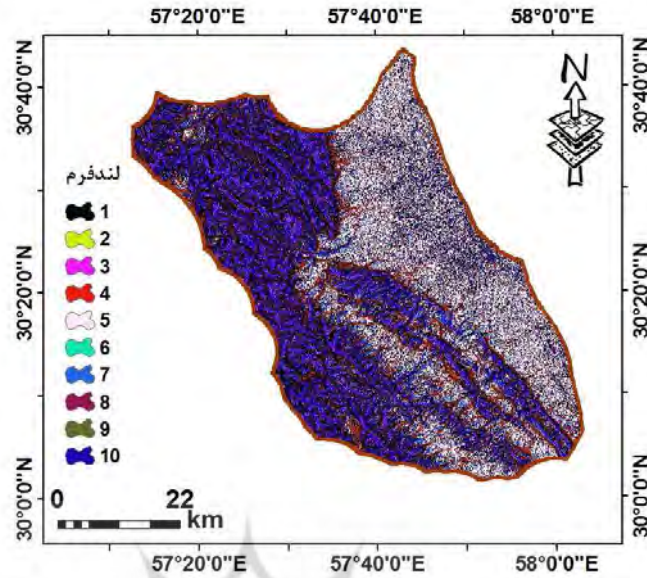
نتایج نشان می‌دهد که مقادیر TPI منطقه مورد مطالعه بین  $90/4-$  تا  $131$  برای مقیاس  $5*5$  و  $401-$  تا  $637$  برای مقیاس  $45*45$  است. از TPI منطقه به منظور استخراج نقشه لندفرم منطقه مورد مطالعه استفاده شد. همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است دهنده مناطق مرتفع مانند یال و تپه ها، کدهای نزدیک صفر نشان دهنده مناطق مسطح یا مناطقی با تغییرات شیب کم و کد منفی نشان دهنده مناطق پست مثل دره ها و آبراهه ها می‌باشد. هر کدام از لندفرم های طبقه بندی شده بخشی از منطقه را در بر میگیرند که در شکل ۸ نشان داده شده است



(ب)

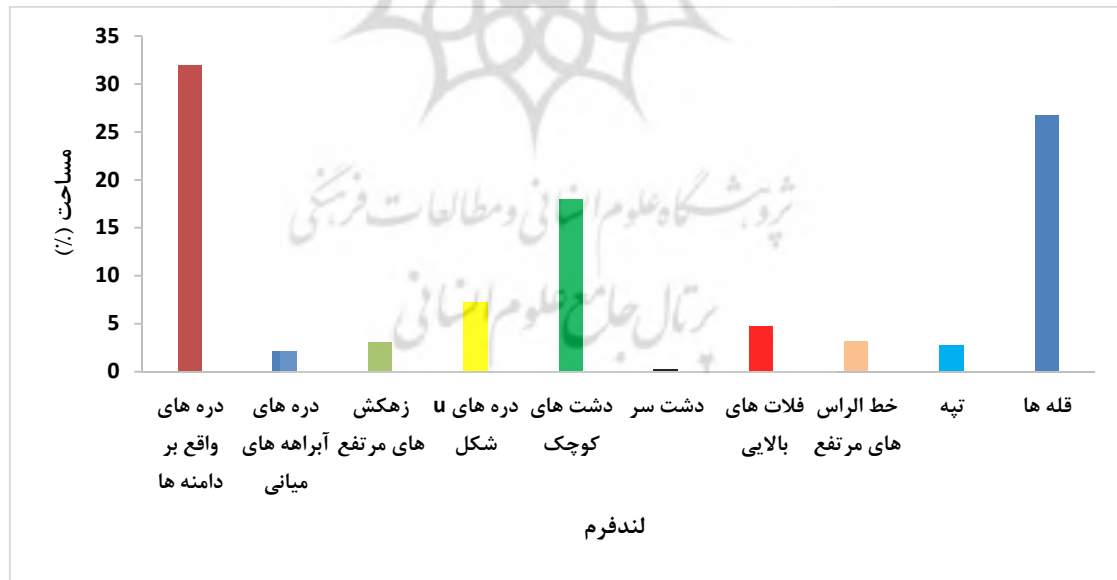
(الف)

شکل ۷: نقشه TPI منطقه مورد مطالعه. (الف): مقیاس کوچک (۵\*۵)، (ب): مقیاس بزرگ (۴۵\*۴۵).



شکل ۸: نقشه لندفرم منطقه مورد مطالعه

مساحت مربوط به هر یک از کلاس های لندفرم در شکل ۹ نشان داده شده است. طبق نمودار مشخص می شود که بیشترین لندفرم در منطقه مربوط به دره های واقع بر دامنه ها (رودخانه ها) (۳۱/۹۷) و کمترین مساحت مربوط به دشت ها (۰/۰۱) می باشد.



شکل ۹: مساحت هر یک از کلاس های لندفرم

در نهایت ارتباط بین نقشه لندفرم و نقشه زمین لغزش منطقه مورد مطالعه با توجه به شکل ۶ و شکل ۸ تعیین شد. در محیط ArcGIS با توجه به تعیین مقادیر زمین لغزش در کلاس های متفاوت لندفرم مشخص شد که بیشترین زمین لغزش ها در لندفرم های قله، تپه و خط الراس ها می باشد. در حالیکه کمترین زمین لغزش در دشت ها و دشت سر ها اتفاق می افتد.

## نتیجه گیری

جابجایی توده‌ای مواد از قبیل زمین لغزش از جمله فرآیندهای دامنه‌ای مشکل آفرین در شرق کرمان می باشد. چرا که این پدیده موجب تخریب اراضی، زمین‌های کشاورزی و مراتع، و نیز افزایش تولید رسوب در خروجی حوضه شد. بنابراین تعیین میزان زمین لغزش در بخش‌های مختلف منطقه مهم می باشد. برای این منظور ابتدا لایه‌های تاثیرگذار بر وقوع لغزش مانند جهت دامنه، میزان شیب، مدل رقومی ارتفاع، فاصله از رودخانه، بارندگی، فاصله از گسل، جاده، کاربری اراضی، سازندهای زمین‌شناسی به عنوان متغیر مستقل در محیط GIS تهیه شد. سپس از طریق همپوشانی و انطباق نقشه‌های نقشه زمین لغزش منطقه مورد مطالعه تهیه شد. مناطق غربی مستعد تر برای خطر زمین لغزش می باشند. در حالیکه مناطق شرقی با توجه به شیب و ارتفاع کم مناطق مساعدی برای زمین لغزش نمی باشند. همچنین ارتباط بین لندفرم‌ها و مناطق مستعد زمین لغزش نشان داد که بیشترین زمین لغزش‌ها در لندفرم‌های قله، تپه و خط‌الراس‌ها می باشد. در حالیکه کمترین زمین لغزش در دشت‌ها و دشت‌سر‌ها اتفاق می افتد. با توجه به نتایج فوق می توان به کمک نقشه لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه احتمال وقوع زمین لغزش را پیش بینی نمود. همچنین با تعیین نقشه زمین لغزش و تعیین مناطق مستعد زمین لغزش می توان راهکارهای مدیریتی لازم را برای این مناطق پیشنهاد نمود.

## منابع

- بای، ناصر، سید محمود؛ حاجی، میررحیمی، ۱۳۸۷، پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش *AHP*، همایش ژئوماتیک ۸۷، تهران، سازمان نقشه برداری کشور.
- رجبی، معصومه؛ فیض اله پور، مهدی، ۱۳۹۳، پهنه بندی زمین لغزش‌های حوضه ی رودخانه ی گیوی چای با استفاده از مدل پرسپترون چند لایه از نوع پیش خور پس انتشار. مجله جغرافیا و توسعه. پاییز ۱۳۹۳ - شماره ۳۶. صفحه - از ۱۶۱ تا ۱۸۰.
- روستایی، شهرام؛ علیزاده، راحله، ۱۳۹۰، پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه صوفی چای (مراغه) با استفاده از روش آنبالگان. فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی. شماره ۳۹ صفحه - از ۱۷ تا ۳۶.
- طلائی، رضا؛ شریعت جعفری، محسن؛ عظیمی مطعم، فرزانه، ۱۳۹۲، ارزیابی کمی ریسک زمین لغزش در جنوب استان اردبیل (منطقه هشتچین، البرز غربی)، اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی.
- عابدینی، موسی؛ قاسمیان، بهاره، ۱۳۹۴، پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهر بیجار به روش تحلیل سلسله مراتبی (*AHP*). نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۲، صفحات ۲۲۷-۲۰۵.
- فیض نیا، سادات؛ کلارستانی، عطاله؛ احمدی، حسن؛ صفایی، مهرداد، ۱۳۸۳، بررسی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیرین رود-سدتجن). مجله منابع طبیعی ایران. بهار ۱۳۸۳، دوره ۵۷، شماره ۱؛ از صفحه ۳ تا صفحه ۲۲.
- کرمی، فریبا، ۱۳۹۱، ارزیابی حساسیت زمین لغزش در حوضه‌های کوهستانی نیمه خشک، با استفاده از روش‌های آماری و مدل وزنی شاهد (مطالعه موردی: حوضه زهکشی سعیدآبادچای - شمال غرب ایران)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره سوم، صص ۲۱-۴۴.
- کرنژادی، آیدینگ؛ اونق، مجید؛ سعدالدین، امیر، ۱۳۹۳، پهنه بندی خطر و خسارات زمین لغزش مطالعه موردی: حوضه آبخیز زیارت، استان گلستان. ۶۲-۵۱.
- متولی، صدرالدین؛ اسماعیلی، رضا؛ حسین زاده، محمد مهدی، ۱۳۸۸، تعیین حساسیت وقوع زمین لغزش با استفاده از رگرسیون لجستیک در حوضه آبریز واز (استان مازندران). فصلنامه جغرافیای طبیعی. صفحه - ۷۳ تا ۸۴.
- مقیمی، ا؛ یمانی، م؛ رحیمی، س، ۱۳۹۲، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، بهار ۱۳۹۲، صص ۱۱۸-۱۰۳.

- Ayalew, I. and Yamagishi H., 2005. The application of GIS-based Logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yaahiko Mountains, central Japan, *Geomorphology* 65, 15-31.
- Bennett, D.A., Wade, G.A. and Armstrong, M.P., 1999, Exploring the solution space of semi-structured geographical problems using genetic algorithms. *Trans GIS* 3(1):51-71
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C. and Vescovi P., 2002. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology* 48, 349-364.
- Dai, F., Lee, C. and Ngai, Y.Y. 2002. Landslide risk assessment and management: An overview. *Eng. Geol.* 64, 65-87.
- Feick, R.D. and Hall, G.B., 1999. Consensus building in a multi-participant spatial decision support system. *URISA J* 11(2):17-23
- Gorsevski, P.V., Gessler, P. and Foltz, R.B., 2000, Spatial prediction of landslide hazard using logistic regression and GIS. 4th Int. Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling, Alberta, Canada. 9 pp.
- Gorsevski, P.V., Gessler, P.E., Boll J., Elliot W.J. and Foltz, R.B., 2006. Spatially and temporally distributed of landslide susceptibility, *Geomorphology* 80, 178- 198.
- Jankowski, P. and Nyerges, T., 2001a. Geographic information systems for group decision-making: towards a participatory geographic information science. Taylor & Francis, New York, p 273.
- Jankowski, P. and Nyerges, T., 2001b. GIS-supported collaborative decision-making: results of an experiment. *Ann As Am Geogr* 91(1):48-70
- Jankowski, P., Nyerges, T.L., Smith, A., Moore, T.J. and Horvath, E., 1997. Spatial group choice: a SDSS tool for collaborative spatial decision-making. *Int J Geogr Inform Sci* 11(6):577-602
- Kyem, P.A.K., 2004. On intractable conflicts participatory GIS applications: the search for consensus amidst competing claims and institutional demands. *Ann As Am Geogr* 94(1):37-57
- Malczewski, J., 1996. A GIS-based approach to multiple criteria group decision- making. *Int J Geogr Inform Syst* 10(8):955-971.
- McBratney, A.B. and Webster, R., 1986. Choosing functions for semi-variograms of soil perties and fitting them to sampling estimates: *Jour. Soil Science*, v. 37, no. 4, p. 617-639.
- McBratney, A.B. and Odeh, I.O.A., 1997. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. *Geoderma* 77, 85e113.
- Nefeslioglu, H., Gokceoglu, C. and Sonmez, H. 2008. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Eng. Geol.* 97, 171-191.
- Nyerges, T.L., Montejano, R., Oshiro, C. and Dadswell, M., 1997. Group-based geographic information systems for transportation improvement site selection. *Transp Res Part C Emerg Technol* 5(6):349-369.
- Ohlamcher, G.C. and Davis, J.C., 2003. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas USA. *Engineering Geology* 69, 331-343.
- Saaty, T.L., 1980. *The analytical hierarchy process*, Planning Priority, Resource Allocation, TWS Pub., USA.
- Van Westen, C.J. and Terlien, M.T.J., 1996. An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS. A case study from Manizales (Colombia), *Earth Surface and Processes and Landforms*, Vol. 21, 853-868.
- Wan, S., 2009. A spatial Decision support system for Extracting the core Factors and Thesholds for Landslide susceptibility Map, *Engineering Geology*, vol. 108. pp. 237 – 251.
- Weiss, A. 2001. Topographic position and landforms analysis. In *Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA* (Vol. 200).
- Yalcin, A., 2008. GIS – based landslide sussptibility mapping using analytical hierchay process and bivariate statistics in Ardesen (turkey): comparisons of results and confirmations. *CATENA*, vol. 72. pp 1-12.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *Inf. Control* 8, 338-353.
- Zhang, W., Wang, W. and Xia, Q., 2012. Landslide Risk Zoning Based on contribution of rate stack Method, *Energy procedia*, vol. 16. pp 178.