

## پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان با استفاده از مدل فازی

غلامرضا غلامی کلاته<sup>۱\*</sup>، پرویز کردوانی<sup>۲</sup>، محسن رنجبر<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات گروه جغرافیای طبیعی، تهران، ایران

آستاذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات

آستادیار دانشگاه آزاد اسلامی

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۱۸

### چکیده

زمین لغزش از جمله مخرب‌ترین حوادث طبیعی در مناطق شیب‌دار به حساب می‌آید و هر ساله در نقاط مختلف دنیا خسارات مالی و جانی قابل توجهی به بار می‌آورد، از این رو شناسایی و تهیه نقشه مناطق دارای پتانسیل خطر وقوع زمین لغزش، اولین گام در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌های عمرانی است. هدف این پژوهش، ارزیابی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان با استفاده از مدل مبتنی بر منطق فازی است. بدین منظور ابتدا به وسیله عکس‌های هوایی، نقشه‌های زمین‌شناسی و بازدید میدانی، نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در حوضه تهیه شد و سپس نقشه هر یک از عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش از قبیل (ارتفاع، شیب و جهت شیب، سنگ‌شناسی، طبقات بارش، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و حریم جاده) به عنوان لایه‌های اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه و به منظور کاربرد مبتنی بر تئوری فازی در مدل استفاده گردید. پس از تعیین توابع عضویت برای هر یک از عوامل تاثیر گذار در وقوع پدیده زمین لغزش، نقشه عوامل بصورت فازی شده و با تلفیق مبتنی بر استفاده از عملگرهای فازی در محیط نرم‌افزار ArcGIS نقشه پهنه‌بندی در چهار طبقه خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه شد. نتایج نشان داد که عملگر فازی گامی ۰/۵ با مقدار جمع کیفی  $Qs = 1/17$  بالاترین و عملگرهای Sum، And، OR با مقدار جمع کیفی کمتر از ۰/۳۹ پایین‌ترین دقت را نسبت به سایر عملگرهای فازی در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان دارا می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** پهنه‌بندی، زمین لغزش، مدل فازی، حوضه اوغان، استان گلستان

### مقدمه

(کانانگو و آرورا، ۲۰۰۶، هاسین<sup>۲</sup>، ۲۰۱۶). در این پدیده حرکت توده سنگ، واریزه و یا خاک به سمت پایین شیب که عامل اصلی آنها آب است، جزء زمین لغزش محسوب می‌گردند (کرودن<sup>۴</sup>، ۱۹۹۱: ۹۵). زمین لغزش‌ها هر ساله در نقاط مختلف دنیا خسارات مالی و

زمین لغزش از جمله مخرب‌ترین حوادث طبیعی در مناطق شیب‌دار به حساب می‌آید که مواد در امتداد یک سطح یا یک زون گسیختگی مشخص بر روی دامنه لغزیده و به سمت پایین حرکت می‌کنند

2. Kanungo and Arora

3. Hussin et al.

4. Cruden

\*نویسنده مسئول: reza\_golestan@yahoo.com

۱۹۶۵ با ارائه نظریه مجموعه‌های فازی برای اولین بار اقدام به ارائه مبانی منطق‌های فازی چند ارزشی کرد. روش‌های مبتنی بر این نظریه همچنان در حال توسعه‌اند و هر سال با ارائه روش‌های جدیدتری بر مبنای نظریه مذکور این امکان فراهم می‌شود تا به استدلالی غیر قطعی مبهم و نامعین ذهن انسان صورت‌بندی ریاضی بخشیده شود. سابقه استفاده از مدل‌های فازی در حل مسائل علوم زمین به خصوص پهنه‌بندی خطر زمین لغزش زیاد نیست، از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

سابویا<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۶) به منظور ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها در ریودوژانیروی کشور برزیل از مدل منطق فازی استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که در این مدل چون طبقات عوامل مختلف بین صفر تا یک وزن‌دهی می‌گردند؛ بنابراین نتایج بهتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد.

وونگ<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از مدل فازی حساسیت رانش زمین را در اطراف استان گوئیژو چین ارزیابی نمودند و نتیجه گرفتند که مدل فازی براساس تابع ذوزنقه‌ای روش کارآمدی برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در این منطقه است.

اکسوی و ارکانگلو<sup>۸</sup> (۲۰۱۲) در غرب دریای سیاه با استفاده از ۱۰ عامل تاثیر گذار و ۷۰ زمین لغزش رخ داده همراه با بکارگیری ۵ تابع عضویت فازی، مبادرت به طبقه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش نمودند و نتایج نشان از دقت بالاتر عملگر فازی گاما نسبت به سایر عملگرهای فازی داشت.

گیومیان و همکاران (۱۳۸۱) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در منطقه رودبار گیلان انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که بکارگیری منطق فازی در ارزیابی خطر زمین لغزش به دلیل ماهیت این پدیده و

جانی قابل توجه ای وارد می‌سازند (میوان<sup>۱</sup> و ساندارام، ۲۰۱۲؛ وان واستن<sup>۲</sup> و آبلیا، ۲۰۰۷). کشور ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی، تنوع ژئومورفولوژیکی، توپوگرافی، زمین‌ساختی، افزایش جمعیت و فشار بر منابع طبیعی با تغییر کاربری اراضی و در نتیجه تنوع شرایط اقلیمی با مخاطرات و بلایای طبیعی مانند زمین لغزش رو به رو است (شریعت جعفری، ۱۳۷۵: ۸۸). شناسایی عوامل مؤثر بر زمین لغزش و پهنه‌بندی آن جهت مشخص نمودن مناطق مستعد و پرخطر، اطلاعات اساسی و مفیدی را در اختیار برنامه ریزان جهت اقدامات مناسب قرار می‌دهد (شادفر و یمانی، ۱۳۸۵: ۶۴). در بحث زمین لغزش، هدف از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی، به دست آوردن الگویی مناسب برای برنامه‌ریزی بهینه جهت استفاده‌ی مناسب از زمین می‌باشد. (جلالی، ۱۳۸۱: ۱۰۵). از چند دهه پیش تاکنون محققین مختلفی با لحاظ کردن عواملی همچون جنس زمین، وضعیت اقلیمی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، شیب، جهت شیب و غیره (لان<sup>۳</sup> و وانگ، ۲۰۰۴؛ رایدل<sup>۴</sup>، ۲۰۰۰؛ آنبالاگان<sup>۵</sup>، ۲۰۰۴) روش‌های تجربی متعددی را پیشنهاد کرده‌اند. شناسایی این عوامل و تلفیق آنها با مدل‌های مختلف در کنار استفاده از تکنیک‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی و فنون سنجش از دور جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش توسط محققین زیادی در مناطق مختلف به کار گرفته شده است (مصطفایی و همکاران، ۱۳۸۸). در این روش‌ها و مدل‌های مختلف ارزیابی خطر پایداری شیب‌ها مبتنی بر منطق‌های دو ارزشی به دلیل مطلق‌گرایی و عدم انعطاف‌پذیری و با توجه به اینکه مرز ارزش‌گذاری گزاره‌ها، قطعی در نظر گرفته می‌شود. با واقع‌گرایی لازم همراه نیست (شریعت جعفری و حامدپناه، ۱۳۸۶). لطفی‌زاده در

5. Mayavan and Sundaram

6. Van Westen and Castellanos Abella

3. Lan and Wang

4. Riedel

5. Anbalagan

6. Sabuya et al.

7. Wong et al.

8. Aksoy and Ercanoglu

با توجه به در نظر گرفتن موارد بالا و شرایط آب و هوایی، تغییرات کاربری‌های اراضی و همچنین حوادث زمین لغزش در سطح منطقه اوغان استان گلستان، مانند زمین لغزش روستای صفی‌آباد در همین حوضه مورد مطالعه که موجب جابجایی روستا با صرف هزینه خیلی زیاد گردید، زمینه را برای وقوع حرکات لغزشی فراهم می‌سازد که این امر پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در این منطقه ضروری می‌نماید.

### داده ها، ابزار و روش تحقیق

پیش‌بینی و پهنه‌بندی پتانسیل خطر ناپایداری شیب‌ها، مستلزم تعیین برآیند اثر عوامل موثر در وقوع این پدیده در هر پهنه با روش مناسب است. در این پژوهش، بررسی و تحلیل خطر زمین لغزش در قالب مدل منطقی فازی انجام گردیده‌است. در تهیه لایه های اطلاعاتی از منابع و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مناطق دوزین و گنبدکاووس، داده های بارش دوره آماری ۳۲ ساله ایستگاههای باران‌سنجی فارسیان و گالیکش همراه با استفاده از عکس های هوایی با مقیاس یک ۱:۴۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست و ایکنوس مربوط به سالهای ۲۰۱۵ و ۲۰۱۳ بهره‌برداری شده است. اطلاعات موجود با پیمایش و برداشت‌های صحرائی تکمیل و اصلاح شدند. بعد از تهیه منابع و اطلاعات لازم، کلیه مراحل تحقیق طی سه مرحله شامل: مرحله اول ساماندهی اطلاعات، که در این مرحله داده‌های فضایی مربوط به لایه‌های نه گانه مورد استفاده در مدل‌ها شامل لایه‌های شیب، جهت دامنه، ارتفاع، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از غسل، فاصله از آبراهه، کاربری ارضی منطقه، سنگ شناسی و همچنین لایه پراکنش زمین لغزش‌ها که در قالب فرمت های رستری و برداری در سیستم اطلاعات جغرافیایی و محیط نرم‌افزار Arc GIS ساماندهی شدند. مرحله دوم فازی سازی لایه‌های اطلاعاتی

داده های مورد استفاده در ارزیابی آن که همواره با نوعی ابهام و عدم قطعیت همراه است و به دلیل قابلیت در فرموله نمودن دانش بشری در قالب ریاضی ابزاری سودمند برای ارزیابی خطر زمین لغزش به شمار می‌رود.

شادفر (۱۳۸۴:۲۲۵) حوضه آبخیز چالکروود در استان مازندران را با عملگرهای منطق فازی پهنه‌بندی نمود و صحت نقشه‌ها را با استفاده از نمایه جمع کیفی (Qs) مورد ارزیابی قرار داد و نشان داد که عملگر فازی گامای ۰/۸ مناسب‌ترین عملگر جهت پهنه‌بندی در منطقه مورد مطالعه است.

پورقاسمی و همکاران (۱۳۸۸) خطر زمین لغزش را با کاربرد روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با توابع عضویت مثلثی صحت و دقت بالاتری را در منطقه مورد مطالعه دارد. نادری (۱۳۹۰) در پژوهشی در حوزه آبخیز چرداول استان ایلام عملگرهای مختلف فازی را در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بکار برد و نتیجه گرفت نقشه طبقه‌بندی خطر زمین لغزش با کاربرد عملگر گامای ۰/۷ بالاترین همپوشانی را با پهنه های لغزشی منطقه دارد. عابدینی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از مدل فازی نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش را در حوضه قوری چای استان اردبیل تهیه کردند و نتیجه گرفتند که عملگر فازی گامای ۰/۹ بهترین انطباق پذیری را با نقشه زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه دارد. بنابراین بررسی‌های علمی از این پدیده، به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، از یک سو به منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل خطر در محدوده فعالیت‌های انسانی اهمیت دارد و از طرف دیگر جهت شناسایی مکان های دارای امنیت، برای توسعه زیستگاه های جدید و یا سایر کاربری‌ها مانند راههای مسیره‌های انتقال انرژی، نیروگاه ها و..... در مقیاس های مختلف مورد توجه برنامه‌ریزان و مدیران منطقه‌ای قرار دارد(ندری و همکاران، ۲۰۱۰)؛ بنابراین

- عملگر فازی Or، عملگر اجتماع مجموعه‌هاست، که با رابطه زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۲)

$$\mu_{combination} = MAX(\mu_A, \mu_B, \mu_{C,\Lambda})$$

- عملگر فازی Sum، متمم ضرب متمم مجموعه‌ها در این عملگر محاسبه می‌شود.

$$\mu_{combination} = \prod_{i=1}^n (\mu_i) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه  $\mu_i$  بیانگر مقدار عضویت در نقشه معیار  $i$  ام است.

- عملگر فازی Product، در این عملگر لایه‌های اطلاعاتی در همدیگر ضرب می‌شوند. که با استفاده از رابطه زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۴)

$$\mu_{combination} = 1 - \left( \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \right)$$

- عملگر فازی گاما (Gamma)، جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب فازی و دقت خیلی کم عملگر فازی جمع معرفی شده است که در رابطه ذیل نشان داده شده است.

رابطه (۵)

$$\mu = (F \text{ Sum})^\gamma \times (F \text{ Product})^{1-\gamma}$$

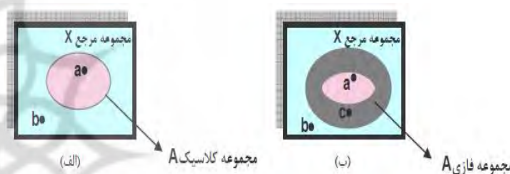
در این رابطه مقدار  $\gamma$  بین عدد صفر تا یک قابل تعیین است. انتخاب صحیح و آگاهانه  $\gamma$  بین صفر و یک، مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های کاهشی و افزایشی دو عملگر ضرب و جمع فازی می‌باشند (بونهام کارتر<sup>۲</sup>، ۱۹۹۱:۲۱۵).

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز اوغان در شهرستان مینودشت استان گلستان در محدوده جغرافیایی ۹' ۳۷° تا ۱۵' ۳۷° عرض شمالی و ۵' ۵۵° تا ۴۳' ۵۵° طول شرقی با

عوامل موثر و همپوشانی آنها توسط مدل فازی همراه با بکارگیری عملگرهای مختلف و در مرحله سوم ارزیابی دقت عملگرهای فازی با کاربرد شاخص مقدار جمع کیفی (Qs) صورت پذیرفت.

**مدل منطق فازی:** در نظریه مجموعه کلاسیک عضویت یک مجموعه به صورت درست یا غلط تعریف می‌شود. درحالی که عضویت یک مجموعه فازی به صورت واقعی از صفر (عدم عضویت کامل) تا یک (عضویت کامل) بیان می‌شود (شکل ۱). روش فازی احتمال عضویت یک پیکسل را به مجموعه‌های فازی، با توجه به تابع عضویت فازی ارزیابی می‌کند (ونگ‌وهال<sup>۱</sup>، ۱۹۹۶:۱۱۲)



شکل ۱: مقایسه مجموعه کلاسیک و فازی

(کوره پزان دزفولی، ۱۳۸۴)

**عملگرهای فازی:** این عملگرها مجموعه فازی را با هدف رسیدن به مجموعه دلخواه ترکیب می‌کنند، که عبارتند از:

- عملگر فازی And، عملگر اشتراک مجموعه‌هاست، که با رابطه زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۱)

$$\mu_{combination} = MIN(\mu_A, \mu_B, \mu_{C,\Lambda})$$

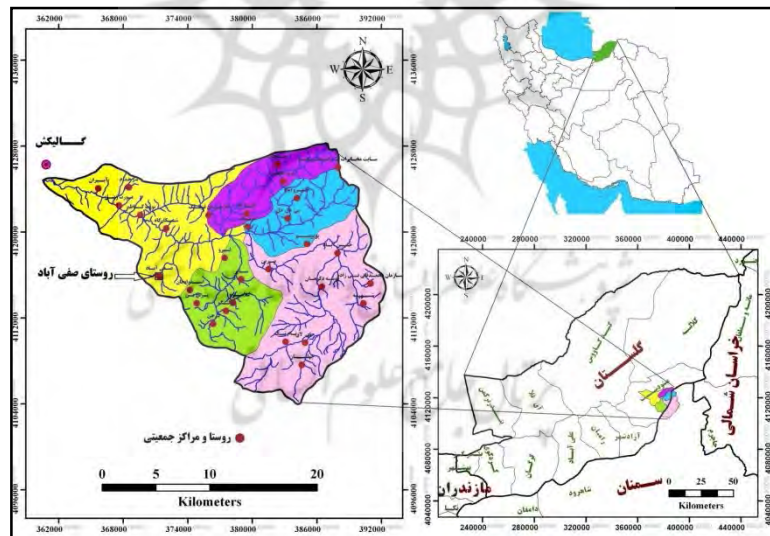
در این رابطه،  $\mu_A$ ،  $\mu_B$  و  $\mu_C$  بیانگر مقادیر عضویت فازی واحدهای پیکسلی موجود در هر نقشه معیار می‌باشند.

زمین لغزش های منطقه با استفاده از عکس های هوایی سازمان نقشه برداری کشور با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، نرم افزار گوگل ارث و تصاویر ماهواره ایکنوس موجود در این محیط، همچنین با بازدید میدانی بوسیله یک دستگاه GPS تعداد ۸۸ زمین لغزش به مساحت ۱۸۱ هکتار در منطقه شناسایی گردید شکل (۳) نقشه پراکنش زمین لغزش های رخ داده در حوضه آبخیز اوغان را نشان می دهد.

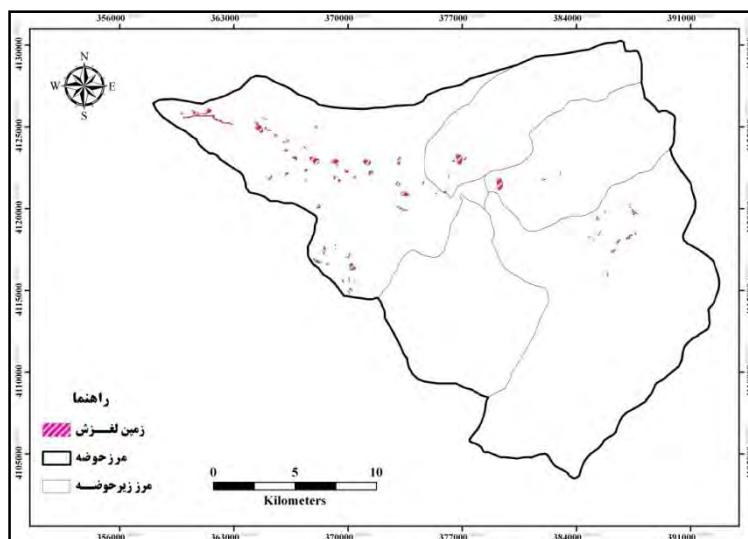
**نقشه عوامل موثر بر زمین لغزش:** در رخداد پدیده زمین لغزش عوامل مختلفی موثر هستند، که در این پژوهش نه عامل موثر با توجه به سوابق و کارهای گذشته و بازدید میدانی در نظر گرفته شد و نقشه رقومی هریک از این عوامل در محیط نرم افزار ArcGIS شامل، ارتفاع، شیب و جهت شیب، سنگ شناسی، طبقات بارش، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و حریم جاده تهیه گردید.

مساحت ۴۰۳۵۲ هکتار واقع است. این محدوده شامل ۵ حوضه هیدرولوژیکی به نام های گالیکش، برین، برنجبین، فارسین و فرنگ است، که قسمتی از زیرحوضه برین در استان سمنان واقع می باشد. از ویژگی های این محدوده اختلاف ارتفاع آن است که از حداقل ۱۹۱ متر تا ۲۵۰۰ متر از سطح دریا متغیر بوده و دارای ارتفاع متوسط ۱۳۴۵ متر است. مراکز جمعیتی واقع در حوضه اوغان شامل روستاهای دورجن، لیرو، اولنگ، سایر، برنجبین، اسفرانجان بر این، پنو، خسروآباد، پای دل، فرنگ، عرب کلو، سیجان، کیارام و فارسین بوده که روستای صفی آباد به دلیل زمین لغزش در دامنه مقابل روستا کامل از محل قبلی خود جابجا شده است. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است.

**نقشه پراکنش زمین لغزش ها:** جهت تهیه نقشه



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز مورد مطالعه



شکل ۳: نقشه پراکنش زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه آبخیز اوغان



شکل ۴: نمونه‌ای از زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه آبخیز اوغان

### یافته‌های پژوهش

ارتباط پهنه‌های زمین لغزش با عوامل نه گانه: نتیجه بررسی ارتباط زمین لغزش‌ها با جنس سنگ در سازندهای زمین‌شناسی حوزه آبخیز اوغان نشان از وجود لغزش‌هایی در سازندهای دارای واحدهای سنگ‌شناسی شیل، مارن، سنگ آهک ورقه‌ای، ماسه سنگ و نهشته‌های کواترنری دارد. دلیل اصلی این

موضوع حساسیت بسیار زیاد این واحدهای سنگ شناسی به حرکات توده‌ای است که با نظرات (شادفر و همکاران، ۱۳۸۴)، (نجاجی، ۱۳۸۵) و (آیالیو و یاماگیشی، ۲۰۰۶) مطابقت دارد. جدول (۱) ارتباط جنس سنگ‌ها را در سازندهای دارای زمین لغزش در حوزه آبخیز مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۱: ارتباط جنس سنگ و سازندهای دارای زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان

جنس زمین (لیتولوژی)	نام سازند	علامت سازند	مساحت کل (هکتار)	مساحت لغزش	درصد زمین لغزش
آهک، شیل آهکی، مارن و ماسه سنگ	خوش بیلاق	DKH	۲۳۶۳/۰۴	۳/۸	۲/۱
آهک ریز پیریت دار خاکستری تیره با میان لایه‌های شیل	چمن بید	JCB	۵۵۷/۸	۱۱/۶	۶/۴
آهک ماسیو و متراکم دانه ریز، خاکستری تیره	لار	JL	۷۲۷۲/۴۶	۱۷/۳	۹/۵
سنگ آهک	سنگ آهک	JLM	۱۴۷۹/۰۶	۷۹/۹	۴۴/۱
سنگ آهک	شمشک	JS	۲۶۰۵/۴۳	۳۱/۹	۱۷/۶
شیل و شیل‌های سیلتی تیره رنگ، ماسه‌سنگ و کنگلومرا	کشف	JSDK	۱۱۰۶/۲۸	۲۱/۳	۱۱/۷
آبرفت و زمین	کواترنری	QZS	۴۰۵۶/۰۳	۵/۴	۲/۹
آهک ورقه ای و آهک شیلی	الیکا	RE2	۶۰۰/۶۵	۹/۸	۵/۴
مساحت سازندهای زمین شناسی دارای زمین لغزش			۲۰۰۴/۷۵	۱۸۱	۱۰۰
مساحت سازندهای زمین شناسی بدون زمین لغزش			۲۰۳۱۱/۲۵	-	-

جدول ۲: مساحت و درصد زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات عوامل موثر حوضه آبخیز اوغان

عامل	طبقات	مساحت کل (هکتار)	مساحت لغزش	درصد لغزش	عامل	طبقات	مساحت کل (هکتار)	مساحت لغزش	درصد لغزش
شیب	۰-۵	۵۱۴۴/۲۳	۲۵/۳	۱۴	جاده	۰-۱۰۰	۹۴۷۷/۲۹	۵۰/۳	۲۷/۸
	۵-۱۵	۷۸۰۴/۲۲	۳۹/۲	۲۱/۶		۱۰۰-۲۰۰	۶۴۳۷/۸۱	۴۵/۳	۲۵
	۱۵-۳۰	۹۹۷۶/۰۱	۴۰/۵	۲۲/۳		۲۰۰-۳۰۰	۵۴۴۳/۱۶	۳۲/۵	۱۷/۹
	۳۰-۵۰	۸۷۱۹/۵۹	۳۹/۶	۲۱/۹		۳۰۰-۴۰۰	۱۷۱۵/۳۱	۸/۸	۴/۸
	>۵۰	۸۷۳۵/۴۸	۳۶/۴	۲۰/۱		>۴۰۰	۱۵۳۱۱/۶	۴۴/۱	۲۴/۴
ارتفاع	۱۷۱-۵۰۰	۱۵۱۵/۴۳	۵۴/۵	۳۰/۱	آبراهه	۰-۱۰۰	۹۶۸۵	۷۲/۵	۴۰/۱
	۵۰۰-۸۰۰	۴۸۲۶/۵۴	۴۵/۱	۲۴/۹		۱۰۰-۲۰۰	۷۵۵۵/۳۳	۴۸/۵	۲۶/۸
	۸۰۰-۱۱۰۰	۱۰۱۷۱/۴	۶۴/۲	۳۵/۵		۲۰۰-۳۰۰	۷۱۲۵/۷۸	۲۷/۹	۱۵/۴
	۱۱۰۰-۱۴۰۰	۹۹۱۰/۷۹	۱۷/۱	۹/۵		۳۰۰-۴۰۰	۴۸۸۰/۵۶	۱۶/۲	۸/۹
	>۱۴۰۰	۱۳۹۵۸/۶	۰	۰		>۴۰۰	۱۱۱۳۵/۶	۱۵/۸	۸/۷
جهت شیب	n	۶۰۲۲/۸	۲۷/۳	۱۵	گسل	۰-۱۰۰	۴۰۹۳/۳۶	۲۵/۸	۱۴/۲
	ne	۵۲۷۶/۵۴	۱۹	۱۰/۵		۱۰۰-۲۰۰	۳۲۱۳/۰۲	۱۷/۳	۹/۶
	e	۴۲۵۰/۱۴	۷/۶	۴/۲		۲۰۰-۳۰۰	۳۲۷۲/۳۹	۱۳/۳	۷/۳
	se	۴۲۵۴/۹۷	۱۶/۶	۹/۲		۳۰۰-۴۰۰	۲۵۲۱/۲۸	۱۰/۳	۵/۷
	s	۴۳۴۷/۴۸	۲۸/۸	۱۵/۹		>۴۰۰	۲۷۲۸۶/۵	۱۱۴/۲	۶۳/۱
	sw	۴۰۶۰/۷۰	۴۱/۴	۲۲/۸	کاربری	جنگل	۲۰۶۷۹/۷	۸۹/۵	۴۹/۴
	w	۴۸۷۷/۲۳	۱۸/۹	۱۰/۵		زمین آبی	۱۱۶۸/۴۲	۱۳/۵	۷/۴
بارش	۳۰۰-۵۰۰	۶۴۸۸/۱۷	۲۳	۱۲/۷	زمین دیم	۱۵۳۶۰/۲	۲۲	۱۲/۱	
	۵۰۰-۷۰۰	۳۰۴۷۸/۵	۸۳/۳	۴۶/۰۲	مرتع	۱۹۶۵/۹۱	۲۳	۱۲/۷	
	>۷۰۰	۳۴۱۷/۸۸	۷۴/۷	۴۱/۲۸	مرتع ودیم	۱۲۱۵/۸۴	۳۳	۱۸/۲	

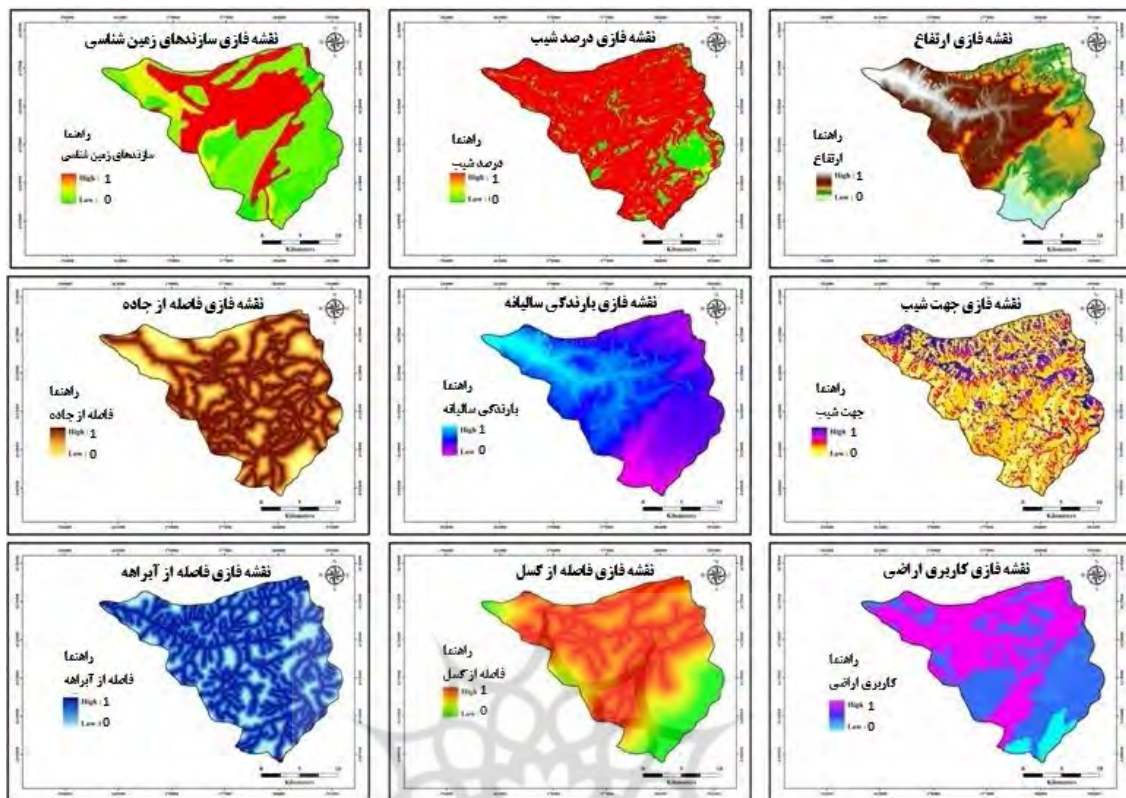
انسان ساخت و یک عامل طبیعی است که با از میان برداشتن تکیه گاه دامنه و کاهش مقاومت برشی آن زمینه ایجاد زمین لغزش مهیا می‌گردد. نتایج بدست آمده با نظرات (شادفر و همکاران، ۱۳۸۴)، (دومان و همکاران، ۲۰۰۵، (لسی، ۲۰۰۷) و (یلسن، ۲۰۰۸) و (طلایی، ۱۳۹۳) مبنی بر همبستگی بالای نزدیکی آبراهه و جاده با وقوع پدیده زمین لغزش تطابق دارد. قابل ذکر است، دامنه در طول زمان نسبت به شیب خود دارای تعادل می‌گردند و هر عاملی که تعادل شیب بدست آمده را تغییر دهد باعث می‌گردد که دامنه دچار ناپایداری گردد و زمین لغزش حادث می‌گردد. در بررسی نتایج فاصله از گسل بر وقوع زمین لغزش نشان می‌دهد که بیشترین زمین لغزش‌ها در فاصله بیشتر از ۴۰۰ متری و پس از این طبقه، فاصله از ۱۰۰- در رتبه دوم تعداد وقوع زمین لغزش در ارتباط با عامل موثر فاصله از گسل قرار دارد.

**فازی سازی عوامل موثر بر زمین لغزش:** جهت بکارگیری عوامل موثر در زمین لغزش در مدل فازی می‌بایست نقشه رقومی هر کدام از عوامل در محیط نرم افزار ArcGIS با بکارگیری تابع عضویت مناسب فازی گردد. در این پژوهش عوامل کمی شامل نقشه ارتفاع، شیب، طبقات بارش، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و حریم جاده مستقیم با بکارگیری تابع عضویت متناسب فازی شده و نقشه عوامل مؤثر کیفی شامل جهت شیب، سنگ شناسی و کاربری اراضی با بکارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی AHP در نرم افزار Expert Choice وزن دهی شده و بصورت کمی در آمدن و در مرحله بعد مانند سایر لایه‌های کمی عمل فازی سازی بر روی آنها صورت پذیرفت. در شکل ۵ نقشه فازی شده عامل موثرانه گانه نشان داده شده است.

همچنین نتایج بررسی طبقات مختلف شیب جدول (۲) نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های حوزه آبخیز در طبقه شیب ۱۵-۳۰ درصد لغزیده‌اند، که با نظرات (فیض نیا و همکاران، ۱۳۸۰)، (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۲)، (احمدی و همکاران، ۱۳۸۵) و (چن و چائو، ۲۰۰۵) و (طلایی، ۱۳۹۳) مطابقت دارد. بررسی طبقات ارتفاعی نشان داده که طبقه ارتفاعی ۵۰-۸۰، ۱۷۱-۵۰۰ و ۱۱۰۰-۸۰۰ هر کدام با ۳۰/۱، ۲۴/۹ و ۳۵/۵ بیشترین درصد وقوع زمین لغزش‌ها را به خود اختصاص داده‌اند و با افزایش ارتفاع میزان وقوع زمین لغزش کم شده است، این موضوع نشان دهنده آن است که در این ارتفاعات عوامل سنگ‌شناسی نسبت به زمین لغزش مقاوم تر بوده و از سوی دیگر وجود عوامل دیگر خصوصاً عدم توسعه و تکامل شبکه آبراهه را می‌توان موثر دانست.

نتایج بررسی جهت شیب در منطقه مورد مطالعه نشان داد جهت های جنوب غرب، جنوب و شمال بیشترین زمین لغزش را دارند که هرچند این مسئله با توجه به رطوبت بیشتر در دامنه های شمالی کمتر قابل توجیه است ولی روند کلی جهت شیب منطقه بسمت شمال بوده و سایر عوامل مانند نزدیکی به آبراهه و جاده با بررسی های میدانی تاثیر عامل جهت شیب تحت تاثیر قرار داده اند. بارش همواره نقش موثری بر وقوع زمین لغزش‌ها دارد که در این پژوهش نیز با افزایش طبقه بارشی روند وقوع زمین لغزش‌ها نسبتاً افزایشی بوده و طبقات ۷۰۰-۵۰۰ و بالاتر از ۷۰۰ میلیمتر بارش سالانه، درصدی قابل توجه از زمین لغزش‌ها را در خود جای داده است. بررسی نتایج فاصله از جاده و آبراهه نشان می‌دهد که بیشترین لغزش‌های اتفاق افتاده در فاصله کمتر از صد متری این عوارض است و این موضوع تائید کننده نقش برداشت پای شیب دامنه ها توسط یک عامل





شکل ۵: نقشه فازی شده عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان

مسأوی یک برای ردهی خطر خاص بیانگر آن است که تراکم زمین لغزش در آن رده یا طبقه مساوی تراکم زمین لغزش در کل منطقه است در صورتی که در منطقه چند نقشه خطر تهیه گردد، با استفاده از مقدار جمع کیفی (QS) نقشه های صحیح تر و با دقت بیشتر را می توان شناسایی کرد. یک نقشه خطر خوب، نقشه ای است که بهترین جدایش را بین مناطق با تراکم بالای زمین لغزش و مناطق با تراکم پایین زمین لغزش ایجاد نماید. QS بالاتر نمایانگر جدایش بهتر بین رده های خطر گوناگون است. جمع کیفی (QS) با رابطه زیر تعریف می گردد. (فیض نیا و همکاران، ۱۳۸۳، گی، ۱۹۹۱).

$$QS = \sum_{i=1}^n (Dr - 1) 2 * S \quad \text{رابطه (۶)}$$

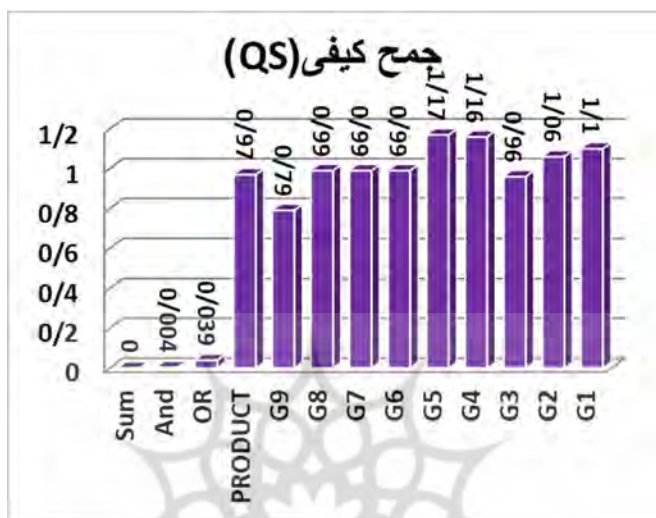
همپوشانی و تهیه نقشه های نهایی پهنه بندی زمین لغزش: جهت همپوشانی لایه های اطلاعاتی عوامل موثر در زمین لغزش در حوضه آبخیز مورد مطالعه با بکار گیری عملگرهای فازی در محیط نرم افزار ArcGIS10 همراه با جعبه ابزار فازی در محیط این نرم افزار، اقدام به همپوشانی لایه های رقومی نه گانه گردید.

**ارزیابی دقت پهنه بندی:** نتایج بدست آمده از پهنه بندی خطر زمین لغزش اغلب به صورت نقشه-هایی است که رده های مختلف خطر را در منطقه نشان می دهد. برای مقایسه رده های گوناگون خطر از تراکم سطح زمین لغزش ها یا نسبت تراکمی (Dr) در هریک از رده های خطر استفاده شد. نسبت تراکم با تقسیم نمودن تراکم زمین لغزش در ردهی خطر، به میانگین تراکم زمین لغزش ها بر مبنای تراکم سطحی و یا تعداد زمین لغزش ها محاسبه می گردد. مقدار Dr

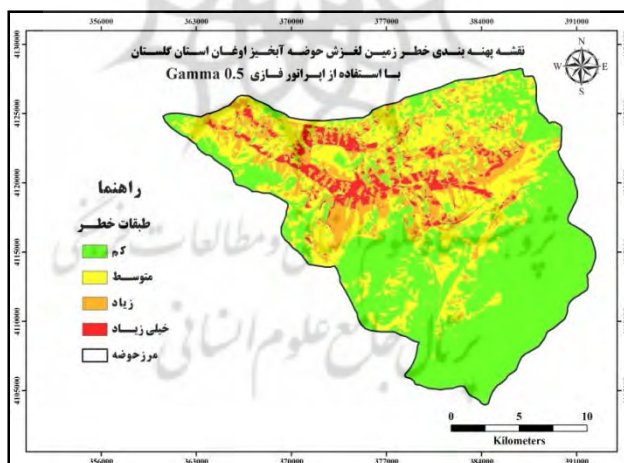
های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش محاسبه گردید که در نهایت، عملگرگامای ۰/۵ (شکل ۷) بالاترین مقدار جمع کیفی را به میزان ۱/۱۷ داشته و بالاترین دقت را در بین نقشه‌های خروجی پهنه‌بندی شده دارد.

که در آن n: تعداد رده خطر زمین لغزش و S: مساحت رده ی خطر به درصد در حوضه آبخیز مورد مطالعه است.

مقدار جمع کیفی (QS) در عملگرهای فازی ۱۳ گانه بکار رفته (شکل ۶) جهت مقایسه دقت نقشه



شکل ۶: نمودار مقدار جمع کیفی (QS) عملگرهای فازی مختلف در حوضه آبخیز اوغان



شکل ۷: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بوسیله عملگر گامای ۰/۵

عوامل مهم و مؤثر در فرآیند پهنه‌بندی دخالت داده شود و نقشه های پایه با دقت مناسب تهیه گردند. نتایج پهنه بندی با بکار گیری سیستم چند معیاره فازی در حوضه آبخیز اوغان نشان داد که هر کدام از عملگرهای فازی با توجه به میزان اثر افزایشی و یا

### نتیجه گیری

در فرآیند تهیه نقشه پهنه‌بندی، دقت نقشه‌های پایه بسیار مهم است (موریراس، ۲۰۰۵: ۳۴۶). از این رو در این تحقیق سعی شده از میان عوامل متعدد،

### پیشنهادها

با توجه به پژوهش صورت گرفته و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان، همچنین فعالیت‌های عمرانی به خصوص جاده-سازی و احداث و وجود اماکن روستایی متعدد در حوضه پیشنهاد می‌گردد، قبل از انجام پروژه‌های مذکور از نقشه‌های خطر وقوع زمین لغزش استفاده شده تا نقاط و پهنه‌های لغزشی در نظر گرفته شود؛ همچنین با توجه به بکارگیری نه عامل موثر در وقوع پدیده زمین لغزش پیشنهاد می‌گردد، در پژوهش‌های آینده نقش هر یک از عوامل موثر خصوصاً تاثیر جاده سازی در حوضه مورد مطالعه و میزان اثر آن در وقوع زمین لغزش با در نظر گرفتن میزان تاثیر بر کاهش اثر تکیه‌گاه دامنه مورد پژوهش قرار گیرد.

### منابع

۱. احمدی، حسن؛ شیرین محمدخان، سادات فیض نیا و جمال قدوسی. ۱۳۸۵. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با روش تحلیل سلسله مراتبی AHP در حوضه طالقان، مجله منابع طبیعی شماره ۵۸، ص ۱۴-۳.
۲. پژوهشکده‌ی سوانح طبیعی. ۱۳۸۴. راهنمای تهیه نقشه‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش در ایران، گزارش نهایی (نسخه اولیه)، ص ۱۰۸.
۳. پورقاسمی، حمیدرضا؛ حمیدرضا مرادی، محمود فاطمی عقدا، محمدرضا مهدوی‌فر و مجیدمحمدی. ۱۳۸۸. ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، مجله علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری، جلد ۳، شماره ۴۷، ص ۶۲-۵۱.
۴. جلالی، نادر. ۱۳۸۱. ارزیابی روش‌های متداول پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز طالقان. مجموعه مقالات اولین گردهمایی مجریان طرح‌های تحقیقاتی زمین لغزش، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، صص ۱۱۵-۱۰۳.

کاهشی بر مقادیر پیکسل‌های خروجی، نتایج متفاوتی دارند به طوری که عملگر اشتراک فازی (And) به دلیل در نظر گرفتن حداقل ارزش عضویت هر عامل در هر نقطه (پیکسل) کم و غیر قابل اعتماد است، بطوریکه مقدار جمع کیفی (Qs) در این عملگر بسیار پایین و به میزان ۰/۰۰۴ می‌باشد. عملگر فازی اجتماع (Or) به دلیل لحاظ کردن حداکثر درجه عضویت ارزش هر پیکسل در لایه‌های اطلاعاتی فازی شده در نقشه خروجی موجب افزایش پهنه‌های دارای خطر زیاد می‌گردد بطوریکه میزان جمع کیفی نهایی در نقشه خروجی این عملگر به میزان ۰/۰۳۹ بوده که نشان از دقت کم آن دارد. در عملگر جمع جبری مجموعه‌ها (Sum) نیز بدلیل تمایل پیکسل‌های خروجی بسمت عدد یک، نقشه خروجی دقت لازم را ندارد برخوردار نمی‌باشد به طوری که مقدار جمع کیفی این عملگر عدد صفر است. عملگر ضرب فازی (Product) با توجه به اینکه میزان ارزش هر پیکسل در نقشه رستری عوامل موثر ارزش عددی بین صفر و یک دارد و یک عدد اعشاری بوده اثر کاهشی در نقشه خروجی داشته و طبقات کم خطر و خطر متوسط پهنه‌های بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند، در این عملگر میزان جمع کیفی به میزان ۰/۹۷ می‌باشد، در نهایت جهت تعدیل اثر افزایش و کاهشی عملگرهای ضرب فازی (Product) و جمع جبری (Sum) از عملگر گاما (Gamma) استفاده شد، که پهنه‌بندی خطر زمین لغزش توسط گامای ۰/۵ بالاترین دقت را با مقایسه مقدار جمع کیفی  $Qs = 1/17$  در بین عملگرهای مختلف بدست آورد؛ بنابراین با توجه به انعطاف بالای روش مبتنی بر منطق فازی در این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که این روش کارایی لازم را جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش دارد، که نتیجه بدست آمده با نتایج (ناجی، ۱۳۸۵) و (پورقاسمی، ۱۳۸۸) مطابقت دارد.

۵. شادفر، صمد. ۱۳۸۴. ارزیابی تحلیلی مدل های کمی زمین لغزش به منظور دستیابی به مدلی مناسب برای حوزه آبخیز چالکرو، پایان نامه دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تهران، ص ۲۲۵.
۶. شادفر، صمد؛ مجتبی یمانی. ۱۳۸۴. پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز جلیسان با استفاده از مدل L.NRF، پژوهش های جغرافیائی دوره ۳۹، شماره ۱، صص ۶۸-۶۲
۷. شریعت جعفری، محسن، رامین حامدپناه. ۱۳۸۶. پیش بینی خطر ناپایداری شیب های طبیعی با استفاده از عملگرهای ضرب و جمع فازی در البرز رمکزی، نشریه منابع طبیعی ایران، شماره ۳، صص ۷۵۷-۷۴۵.
۸. شریعت جعفری، محسن. ۱۳۷۵. زمین لغزش (مبانی و اصول پایداری شیبهای طبیعی)، انتشارات سازه، ۲۱۸ ص.
۹. شیرانی، کورش. ۱۳۸۵. بررسی و ارزیابی روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش در پادناى علیای سمیرم، مجله پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان، شماره ۹۶، ص ۹۶۱.
۱۰. طلائی، رضا. ۱۳۹۳. ارزیابی ریسک زمین لغزش در منطقه هشتچین برای استفاده در طراحی های توسعه ای، مجله علمی و پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۶، شماره ۱، ۱۳۹۳، صص ۴۱-۲۱.
۱۱. عابدینی، موسی، محمدحسین فتحی و ابراهیم بهشتی جاوید. ۱۳۹۳. پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با مدل منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه رودخانه قوری چای)، اولین همایش علوم جغرافیایی ایران.
۱۲. غیومیان، جعفر، محمود فاطمی عقدا، عقیل اشلقی فراهانی و محمدتشنه لب. ۱۳۸۱. پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم گیری چند شاخصه فازی (مطالعه موردی: منطقه رودبار گیلان)، فصلنامه پژوهش و سازندگی، شماره ۵۶، صص ۸۰-۶۷.
۱۳. فیض نیا، سادات، بهزاد بداعی. ۱۳۸۰. پهنه بندی خطر حرکت های توده ای در آبخیز شاهرود و ارائه مدل، اولین کنفرانس زمین شناسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت معلم: صص ۲۱۴-۲۰۳.
۱۴. کوره پزان دزفولی، امین. ۱۳۸۴. اصول تئوری مجموعه های فازی و کاربردهای آن در مدلسازی مسایل مهندسی آب، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، چاپ اول، صفحه ۲۶۱.
۱۵. مصطفایی، جمال، مجید اونق، منصور مصداقی و محسن شریعت جعفری. ۱۳۸۸. مقایسه کارایی مدل های تجربی و آماری پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه الموت، پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۶۱-۴۳.
۱۶. ناجی، سعیده. ۱۳۸۵. پهنه بندی خطر لغزش در محور ساری - کیاسر. پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۸۶ صفحه.
۱۷. نادری، فتح اله. ۱۳۹۱. کاربرد منطق فازی در پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز چرداول ایلام. نشریه پژوهش های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، شماره ۶۴، صص ۷۴-۹۵.
۱۸. یمانی، مجتبی. امین محمدی. ۱۳۸۴. پهنه بندی زمین لغزش در حوضه آبخیز تنکابن با استفاده از مدل های کمی، مجله جغرافیا و توسعه، صص ۹۸-۸۵.
19. Aksoy, B. and Ercanoglu, M. 2012. Landslide identification and classification by object-based image analysis and fuzzy logic: An example from the Azdavay region (Kastamonu, Turkey) Computers & Geosciences, 38: 92-97.
20. Anbalagan, R. 2004. Landslide hazard evaluation and zoning mapping in Mount-Ainous Terrain, Engineering Geol. pp: 36.
21. Bonham Carter, F.G. 1991. Geographic Information System for Geoscientists: Modelling with GIS, Pergamon, Ontario, Pp 568.
22. Cornforth, D.H. 2005. Landslides in Practice: Investigation, Analysis, and Remedial/ Preventive Options in Soils, John Wiley Publication: Hoboken, 596p.
23. Cruden, D.M. 1991. A Simple Definition of a landslide, Bulletin of International Association of Engineering Geology, 43: 27-29.
24. Castellanos Abella, E.A. and Van Westen, C.J. 2007. Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation. Landslides, 4: 311-325
25. Garae, P. 2006. A review of mass movement in order to model landslide hazard zonation in the regional watershed Lajym River, M.Sc. thesis University of Mazandaran, Sari College of Natural Resources, pp: 185.

- susceptibility map of a landslide pron area (west black sea region, turkey), *Engineering geology*, 75: 24.
33. Naderi, F. Naseri, B. Karimi, H. and Habibi Bibalani, Gh. 2010. Efficiency evaluation of different landslide susceptibility mapping methods (Case study: Zangvan watershed, Ilam province): First international conference of soil and roots engineering relationship (LANDCON1005), Ardebil Province, Iran.
  34. Riedel, L., Vacik, H. and Kalasek, R. 2000. MapModels, a new approach for spatial decision support in silvicultural decision making. *Computers and Electronics in Agriculture*, 27: 407-412.
  35. Yalcin, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, *Catena*, 72: 1-12.
  36. Sabuya, F., Alves, M.G. and Pinto, W.D. 2006, Assessment of failure susceptibility of soil slopes using fuzzy logic, *Engineering Geology*, pp: 14.
  37. Wong W-D., Xie C-M. and Du X-G. 2009. Landslides susceptibility mapping in Guizhou province based on fuzzy theory. *Mining Science and Technology (China)*, 19(3): 399-404.
  26. Hussin, H.Y. 2016. V Zumpano, P Reichenbach, S. Sterlacchini, M. Micu. Different landslide sampling strategies in a grid-based bi-variate statistical susceptibility model, *Geomorphology*, 15: 508-523.
  27. Jade, S., and Sarkar, S. 1993. Statistical Models for Slope Instability Classification, *Engineering geology*, 36: 91-98.
  28. Kanungo, D.P., Arora, M.K., Sarkar, S. and Gupta, R.P. 2006. A Comparative Study of Conventional, ANN Black Box, Fuzzy and Combined Neural and Fuzzy Weighting Procedures for Landslide Susceptibility Zonation in Darjeeling Himalayas, *Engineering Geology*, 85: 347-366.
  29. 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*, 76: 109-128.
  30. Mayavan, N. and Sundaram, A. 2012. Statistical analysis for landslide in relation to landuse, in Sirumalai Hill, Dindigul district, Tami Nadu, India, using GIS. *Research Journal of Recent Sciences*, 1(12): 36-39.
  31. Moreiras, S.M. 2005. Landslide susceptibility zonation in the Rio Mendoza valley, Argentina, *geomorphology*, 66: 345-357.
  32. Murat, E. and Candan, G. 2003. Use of fuzzy relation to produce landslide

