

کاربرد مدل فازی به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه‌های آبخیز (مطالعه موردی حوضه اوغان استان گلستان)

غلامرضا غلامی کلاته^۱، زینب ظاهری عبده‌وند^۲، نظام اصغری پور دشت‌بزرگ^{۳*}، علیرضا حبیبی^۴

۱- دکترای ژئومورفولوژی و مشاور سازمان هلال احمر استان گلستان، reza_golestan@yahoo.com

۲- کارشناس ارشد سنجش از دور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، zaheri.gis@gmail.com

۳- پژوهشگر گروه تحقیقاتی مهندسی رودخانه و سواحل پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، nasgharipour@gmail.com

۴- پژوهشگر گروه تحقیقاتی مهندسی رودخانه و سواحل پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، Habibi1354@yahoo.com

چکیده

یکی از گام‌های اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌های عمرانی، شناسایی و تهیه نقشه مناطق دارای پتانسیل خطر وقوع زمین لغزش است. هدف این پژوهش، ارزیابی مدل مبتنی بر منطق فازی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان می‌باشد. 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 نرم افزار ArcGIS نقشه پهنه‌بندی در چهار طبقه خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه شد. نتایج نشان داد که عملگر فازی گامای 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

یکی از مخربترین حوادث طبیعی در مناطق شیبدار زمین لغزش بوده که مواد در امتداد یک سطح یا یک زون گسیختگی مشخص بر روی دامنه لغزیده و به سمت پایین حرکت می‌کنند. (Arora و Kanungo، ۲۰۰۶). (Hussin، ۲۰۱۶) زمین لغزش‌ها هر ساله در نقاط مختلف دنیا خسارات مالی و جانی قابل توجهی ای وارد می‌سازند (Sundaram و Mayavan، ۲۰۱۲). 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). شناسایی عوامل مؤثر بر زمین لغزش و پهنه‌بندی آن جهت مشخص نمودن مناطق مستعد و پرخطر، اطلاعات اساسی و مفیدی در اختیار برنامه ریزان جهت اقدامات مناسب قرار می‌دهد (شادفر و یمانی، ۱۳۸۵). در بحث زمین لغزش، هدف از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی، به دست آوردن الگویی مناسب برای برنامه‌ریزی بهینه جهت استفاده مناسب از زمین می‌باشد. (جلالی، ۱۳۸۱). 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، (Lan و Wang، ۲۰۰۴). (Riedel، ۲۰۰۰). (Anbalagan، 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 بکار گرفته شده است (شیرانی، ۱۳۸۵) (مصطفایی و اونق، ۱۳۸۸) (Arora و Kanungo، ۲۰۰۶). 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 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 خصوصاً پهنه‌بندی خطر زمین لغزش زیاد نمی‌باشد، از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

(Sabuya 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.

(Wong و همکاران، ۲۰۰۹) با استفاده از مدل فازی حساسیت رانش زمین در اطراف استان گوئیژو چین را ارزیابی نمودند و نتیجه گرفتند که مدل فازی براساس تابع دوزنقه‌ای روش کارآمدی برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در این منطقه می‌باشد. (Ercanoglu و Aksoy، 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 که نتایج نشان از دقت بالاتر عملگر فازی گاما نسبت به سایر عملگرهای فازی داشت.

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

(پورقاسمی و همکاران، ۱۳۸۸) خطر زمین لغزش را با کاربرد روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی مورد ارزیابی قراردادند و به این نتیجه رسیدند که نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با توابع عضویت مثلثی دارای صحت و دقت بالاتری 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 پهنه‌های لغزشی منطقه دارد. (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۳) با استفاده از مدل فازی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در حوضه قوری چای استان اردبیل تهیه

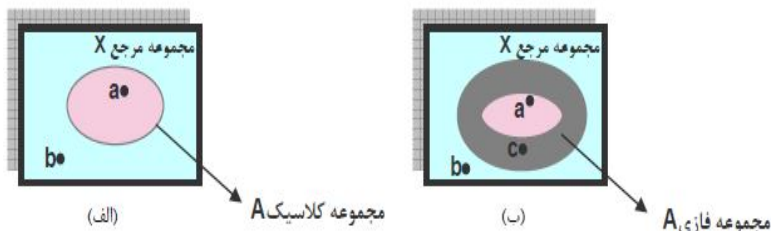
کرده و نتیجه گرفتند که عملگر فازی گامای ۰/۹ بهترین انطباق پذیری را با نقشه زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه دارد. بنابراین بررسی‌های علمی از این پدیده، به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، از یک سو به منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل خطر در محدوده فعالیت‌های انسانی دارای اهمیت بوده و از طرف دیگر جهت شناسایی مکان‌های دارای امنیت برای توسعه زیستگاه‌های جدید و یا سایر کاربری‌ها مانند راه‌های، مسیرهای انتقال انرژی، نیروگاه‌ها و... در مقیاس‌های مختلف مورد توجه برنامه‌ریزان و مدیران منطقه‌ای قرار دارد (ندری و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین 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.

داده‌ها، 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 لایه‌های اطلاعاتی از منابع و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مناطق دوزین و گنبدکاووس، داده‌های بارش دوره آماری ۳۲ ساله ایستگاه‌های بارانسنجی فارسینان و گالیکش همراه با استفاده از عکس‌های هوایی با مقیاس یک ۱:۴۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست و ایکنوس مربوط به سالهای ۲۰۱۵ و ۲۰۱۳ بهره‌برداری شده‌است. اطلاعات موجود با پیمایش و برداشت‌های صحرایی 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 گسل، فاصله از آبراهه، کاربری ارضی منطقه، سنگ شناسی و همچنین لایه پراکنش زمین لغزش‌ها که در قالب فرمت‌های رستری و برداری در سیستم اطلاعات جغرافیایی و محیط نرم‌افزار Arc GIS ساماندهی شدند. مرحله دوم فازی سازی لایه‌های اطلاعاتی 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.



عملگرهای فازی

این عملگرها مجموعه فازی را با هدف رسیدن به مجموعه دلخواه ترکیب می کنند، که عبارتند از:
- عملگر فازی And، عملگر اشتراک مجموعه هاست، که با رابطه زیر تعریف می شود:

$$\mu_{\text{combination}} = \text{MIN}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots)$$

در این رابطه، μ_A ، μ_B و μ_C بیانگر مقادیر عضویت فازی واحدهای پیکسلی موجود در هر نقشه‌ی معیار می باشند...

- عملگر فازی Or، عملگر اجتماع مجموعه هاست، که با رابطه زیر تعریف می شود:

$$\mu_{\text{combination}} = \text{MAX}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots)$$

- عملگر فازی Sum، متمم ضرب متمم مجموعه ها در این عملگر محاسبه می شود.

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

در این رابطه μ_i بیانگر مقدار عضویت در نقشه‌ی معیار i ام است.

- عملگر فازی Product، در این عملگر لایه های اطلاعاتی در همدیگر ضرب می شوند. که با استفاده از رابطه زیر تعریف می شود:

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

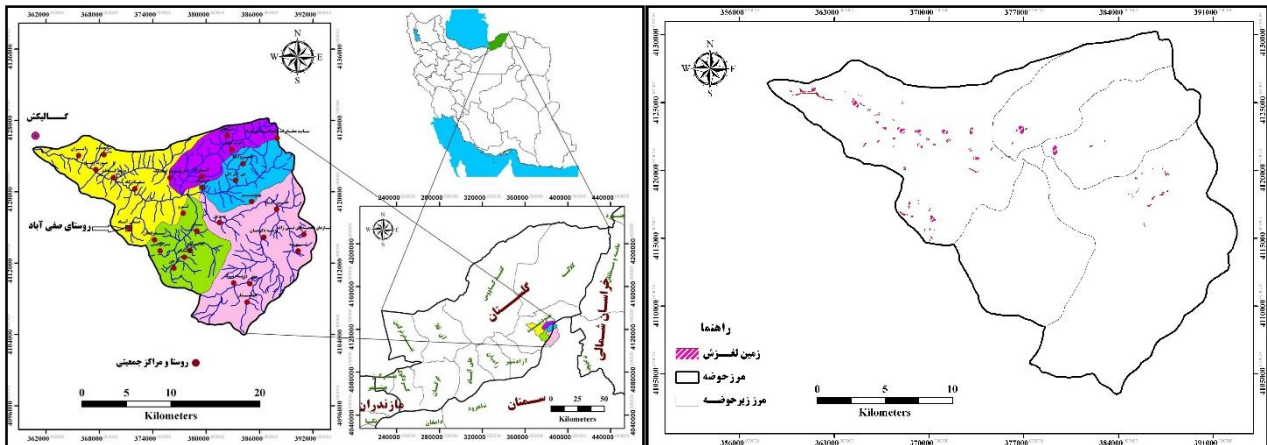
- عملگر فازی گاما (Gamma)، جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب فازی و دقت خیلی کم عملگر فازی جمع معرفی شده است که در رابطه ذیل نشان داده شده است.

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

در این رابطه مقدار γ بین عدد صفر تا یک قابل تعیین است. انتخاب صحیح و آگاهانه γ بین صفر و یک، مقادیری را در خروجی به وجود می آورد که نشان دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایشات کاهشی و افزایشی دو عملگر ضرب و جمع فازی می باشند (Bonham- Carter, ۱۹۹۱).

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 مساحت ۴۰۳۵۲ هکتار واقع است. این محدوده شامل ۵ حوضه هیدرولوژیکی به نامهای گالیکش، برین، برنجبین، فارسیان و فرنگ بوده 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 براین، پنو، خسروآباد، پای دل، فرنگ، عرب کلو، سیجان، کیارام و فارسیان بوده که روستای صفی آباد به دلیل زمین لغزش در دامنه مقابل روستا کاملاً از محل قبلی خود جابجا شده است. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲ - موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز مورد مطالعه

شکل ۳ - نقشه پراکنش زمین لغزش های رخ داده در حوزه آبخیز اوغان

نقشه پراکنش زمین لغزش ها

جهت تهیه نقشه 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 حوزه آبخیز اوغان را نشان می دهد.

نقشه عوامل موثر بر زمین لغزش

در رخداد پدیده زمین لغزش عوامل مختلفی موثر می باشند، 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.

یافته های پژوهش

ارتباط پهنه های زمین لغزش با عوامل نه گانه

نتیجه بررسی ارتباط زمین لغزش ها با جنس سنگ در سازندهای زمین شناسی حوزه آبخیز اوغان نشان از وجود لغزش هایی در سازندهای دارای واحدهای سنگ شناسی شیل، مارن، سنک آهک ورقه ای، ماسه سنگ و نهشته های کواترنری دارد. دلیل اصلی این موضوع حساسیت بسیار زیاد این واحدهای سنگ شناسی به حرکات توده ای می باشد که با نظرات (شادفر و همکاران، ۱۳۸۴) مطابقت دارد. جدول (۱) ارتباط جنس سنگ ها در سازندهای دارای زمین لغزش در حوزه آبخیز مورد مطالعه را نشان می دهد.

جدول ۱- ارتباط جنس سنگ و سازندهای دارای زمین لغزش درحوزه 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 لایه های 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 شیل های سیلتی تیره رنگ، ماسه سنگ 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	-	-

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، ۱۳۷۸). (احمدی و همکاران، ۱۳۸۴) و (طلایی، ۱۳۹۳) مطابقت دارد. بررسی طبقات ارتفاعی نشان داده که طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۱۷۱، ۸۰۰-۵۰۰ 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.

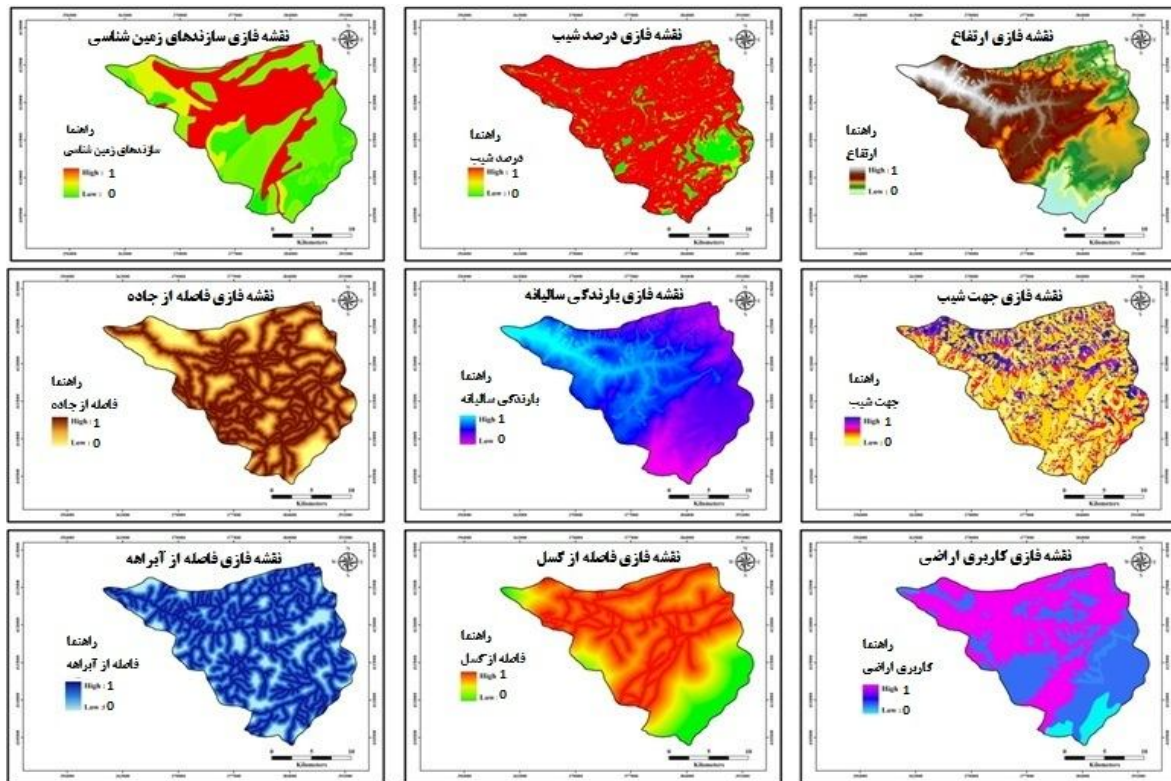
نتایج بررسی جهت شیب در منطقه مورد مطالعه جهت های جنوب غرب، جنوب و شمال بیشترین زمین لغزش را دارند که هرچند این مسئله با توجه به رطوبت بیشتر در دامنه‌های شمالی کمتر قابل توجیه است ولی روند کلی جهت شیب منطقه بسمت شمال بوده و سایر عوامل مانند نزدیکی به آبراهه و جاده با بررسی های میدانی تاثیر عامل جهت شیب 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 می‌باشد و این موضوع تأیید کننده نقش برداشت پای شیب دامنه‌ها توسط یک عامل انسانساخت و یک عامل طبیعی می‌باشد 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) و (طلایی، ۱۳۹۳) مبنی بر همبستگی بالای نزدیکی آبراهه و جاده با وقوع پدیده زمین لغزش تطابق دارد. قابل ذکر می‌باشد 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 ۱۰۰- در رتبه دوم تعداد وقوع زمین لغزش در ارتباط با عامل موثر فاصله از گسل قرار دارد.

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	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	کاربری	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

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 مستقیماً با بکارگیری تابع عضویت متناسب فازی شده و نقشه عوامل موثر 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 موثر نه گانه نشان داده شده است.



شکل ۴- نقشه فازی شده عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان

همپوشانی و تهیه نقشه های نهایی پهنه بندی زمین لغزش

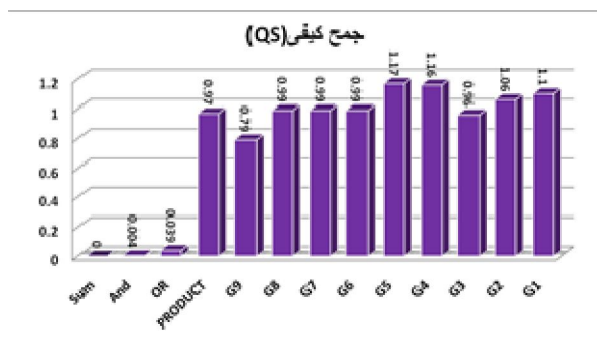
جهت همپوشانی لایه های اطلاعاتی عوامل موثر در زمین لغزش در حوضه آبخیز مورد مطالعه با بکارگیری عملگرهای فازی در محیط نرم افزار ArcGIS10 همراه با استفاده از جعبه ابزار فازی در محیط این نرم افزار، اقدام به همپوشانی لایه های رقومی نه گانه گردید.

ارزیابی دقت پهنه بندی

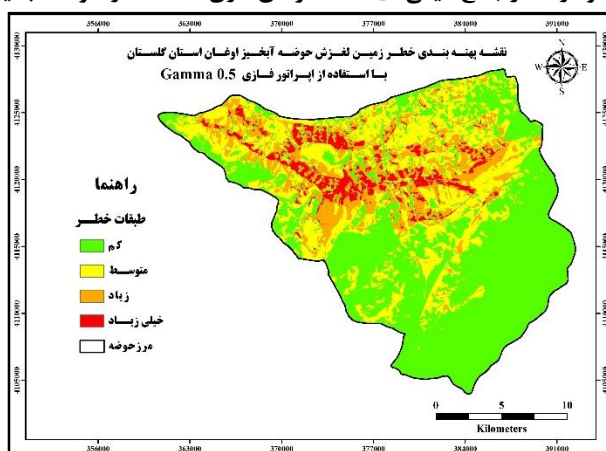
نتایج بدست آمده از پهنه بندی خطر زمین لغزش عموماً به صورت نقشه های است که رده های مختلف خطر را در منطقه نشان می دهد. برای مقایسه رده های گوناگون خطر از تراکم سطح زمین لغزش ها یا نسبت تراکمی (Dr) در هریک از رده های خطر استفاده شد. نسبت تراکم با تقسیم نمودن تراکم زمین لغزش در رده ی خطر، به میانگین تراکم زمین لغزش ها بر مبنای تراکم سطحی و یا تعداد زمین لغزش ها محاسبه می گردد. مقدار Dr مساوی یک برای رده ی 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 بیش تر 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. (میرصانعی، ۱۳۸۲).

$$Qs = \sum_{i=1}^n (Dr - 1) 2 * S$$

که در آن 1: 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 های پهنه بندی خطر زمین لغزش محاسبه گردید که در نهایت عملگر گامای ۰/۵ (شکل ۷) بالاترین مقدار جمع کیفی را به میزان ۱/۱۷ داشته و بالاترین دقت را در بین نقشه های خروجی پهنه بندی شده دارا می باشد.



شکل ۵- نمودار مقدار جمع کیفی (QS) عملگرهای فازی مختلف در حوضه آبخیز اوغان



شکل ۶- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش بوسیله عملگر گامای ۰/۵

نتیجه گیری

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 کاهش می بر مقادیر پیکسل های خروجی، نتایج متفاوتی دارند بطوریکه عملگر اشتراک فازی (And) به دلیل در نظر گرفتن حداقل ارزش عضویت هر عامل در هر نقطه (پیکسل) کم و غیر قابل اعتماد می باشد به طوری که مقدار جمع کیفی (QS) در این عملگر بسیار پایین و به میزان ۰/۰۴ می باشد. عملگر فازی اجتماع (Or) بدلیل لحاظ کردن حداکثر درجه عضویت ارزش هر پیکسل در لایه های اطلاعاتی فازی شده در نقشه خروجی موجب افزایش پهنه های دارای خطر زیاد می گردد به طوری که میزان جمع کیفی نهایی در نقشه خروجی این عملگر به میزان ۰/۳۹ بوده که نشان از دقت کم آن می باشد. در عملگر جمع جبری مجموعه ها (Sum) نیز بدلیل تمایل پیکسل های خروجی بسمت عدد یک نقشه خروجی از دقت لازم برخوردار نمی باشد به طوری که مقدار جمع کیفی این عملگر عدد صفر می باشد. 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 کاهش می در نقشه خروجی داشته و طبقات کم خطر و خطر متوسط پهنه های بیشتری را به خود اختصاص داده اند، در این عملگر میزان جمع کیفی به میزان ۰/۹۷ می باشد. در نهایت جهت تعدیل اثر افزایش و کاهش عملگرهای ضرب فازی (Product) و جمع جبری (Sum) از عملگر گاما (Gamma) استفاده شد، که پهنه بندی 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 می توان نتیجه گرفت که این روش کارایی لازم جهت تهیه نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش را دارا می باشد. بدین منظور پیشنهاد می گردد، روش های دیگر پهنه بندی همراه انجام پژوهشی در خصوص ریسک زمین لغزش در منطقه مذکور صورت پذیرد.

منابع

- احمدی، حسن، محمدخان، شیرین، فیض نیا، سادات، قدوسی، جمال، ۱۳۸۴، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با روش تحلیل سلسله مراتبی AHP در حوضه طالقان، مجله منابع طبیعی شماره ۵۸، ص ۱۴-۳.
- پژوهشکده سوانح طبیعی، ۱۳۸۴، راهنمای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در ایران، گزارش نهایی (نسخه اولیه)، ۱۰۸ ص.
- پورقاسمی، حمیدرضا، مرادی، حمیدرضا، فاطمی عقدا، محمود، مهدویفر، محمدرضا، محمدی، مجید، 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.
- جلالی، نادر، ۱۳۸۱، ارزیابی روشهای متداول پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز طالقان. مجموعه مقالات اولین گردهمایی مجریان طرحهای تحقیقاتی زمین لغزش، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، صص ۱۱۵-۱۰۳.
- شادفر، صمد، یمانی، مجتبی، ۱۳۸۵، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز جلیسان با استفاده از مدل LNRf، پژوهش‌های جغرافیایی دوره ۳۹، شماره ۱، صص ۶۸-۶۲.
- شادفر، صمد، ۱۳۸۴، ارزیابی تحلیلی مدل‌های کمی زمین لغزش به منظور دستیابی به مدلی مناسب برای حوضه آبخیز چالکرو، پایان نامه دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تهران، ص ۲۲۵.
- شریعت جعفری، محسن، ۱۳۷۵، زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی)، انتشارات سازه، ۲۱۸ ص.
- شریعت جعفری، محسن، حامدپناه، رامین، ۱۳۸۶، پیش‌بینی خطر ناپایداری شیب‌های طبیعی با استفاده از عملگرهای ضرب و جمع فازی در البرز مرکزی، نشریه منابع طبیعی ایران، شماره ۳، صص ۷۴۵-۷۵۷.
- شیرانی، کورش، ۱۳۸۵، بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در پادانای علیای سمیرم، مجله پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان، شماره ۹۶، ص ۹۶.
- طلائی، رضا، ۱۳۹۳، ارزیابی ریسک زمین لغزش در منطقه هشتچین برای استفاده در طراحی‌های توسعه ای، مجله علمی و پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۶، شماره ۱، صص ۲۱-۴۱.
- فیض‌نیا، سادات، بدایعی، بهزاد، ۱۳۷۸، پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای در آبخیز شاهرود و ارائه مدل، اولین کنفرانس زمین‌شناسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت معلم: صص ۲۱۴-۲۰۳.
- کوره پزان دزفولی، امین، ۱۳۸۶، اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌سازی مسایل مهندسی آب، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، چاپ اول، صفحه ۲۶۱.
- عابدینی، موسی، فتحی، محمدحسین، بهشتی جاوید، ابراهیم، ۱۳۹۳، پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با مدل منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه رودخانه قوری چای)، اولین همایش علوم جغرافیایی ایران.
- مصفايي، جمال، اونق، مجید، مصداقی، منصور، شریعت جعفری، محسن، ۱۳۸۸، مقایسه کارایی مدل‌های تجربی و آماری پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه الموت، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۶۱-۴۳.
- Aksoy, B., 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, Vol 38, 92-97.
- Anbalagan, R. (2004). Landslide hazard evaluation and zoning mapping in Mount- Ainous Terrain, Engineering Geol. pp: 36.
- Bonham Carter, F. G, (1991). Geographic Information System for Geoscientists: Modelling with GIS, Pergamon, Ontario, Pp 568.
- 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 , Volume 253, 15 January 2016, Pages 508-523
- Kanungo, D. P., and M. K. Arora., and S. Sarkar., and R. P. Gupta., 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, vol. 85, 347-36.
- Lan, H. X., Zhou, C. H., Wang, L. J., Zhang, H. Y., Li, R. H. (2004). Landslide hazard spatial analysis and

- prediction using GIS in the Xiaojiang Watershed, Yunnan, China. *Engineering Geology* 76, pp:109-128.
- Mayavan, N. and A. Sundaram. 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.
- Naderi, F. Naseri, B. Karimi, H. and Gh. Habibi Bibalani, (2010) Efficiency evaluation of different landslide susceptibility mapping methods (Case study: Zangvan watershed, Ilam rovince): First international conference of soil and roots engineering relationship (LANDCON1005), Ardebil Province, Iran.
- Riedel, L., Vacik, H., Kalasek, R. (2000). MapModels, a new approach for spatial decision support in silvicultural decision making. *Computers and Electronics in Agriculture*, 27, pp. 407-412.
- 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, pp: 1-12.
- Sabuya, F, M. G. Alves and Pinto, W. D. (2006) Assessment of failure susceptibility of soil slopes using fuzzy logic, *Engineering Geology*, pp14.
- Wong W-D, Xie C-M, Du X-G. 2009. Landslides susceptibility mapping in Guizhou province based on fuzzy theory. *Mining Science and Technology (China)*, 19(3): 399-404.