

## پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تلفیق دو مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کمه، استان اصفهان)

محمدرضا نوجوان - دانشیار ژئومورفولوژی گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد.  
سمیه سادات شاه زیدی\* - استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه گیلان.  
محمود داودی - استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه گیلان.  
هاجر امین الرعیایی - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۰۲      تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۱۱/۲۱

### چکیده

زمین لغزش یکی از پدیده‌های طبیعی است که در تحول و فرسایش اشکال زمین نقش داشته و زمانی که جوامع انسانی را تحت تأثیر قرار دهد، تبدیل به مخاطره خواهد شد. حوضه آبخیز کمه در جنوب استان اصفهان قرار دارد. تغییرات حاصل در منطقه نتیجه تغییر کاربری اراضی، آبیاری و زهکشی، انشعاب رودخانه‌ها و کانال‌های آبیاری و تغییرات توپوگرافی منطقه است و سبب شده این منطقه با وقوع زمین لغزش‌های بزرگ و فراوان همراه باشد. در پژوهش حاضر با استفاده از نقاط لغزشی برداشت شده از حوضه آبخیز، اقدام به شناسایی پهنه‌های لغزش در منطقه گردید. عواملی مثل ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و مقدار بارش به عنوان متغیرهای تأثیرگذار در وقوع لغزش‌های منطقه بررسی شدند. جهت تهیه لایه‌ها و طبقه‌بندی هر یک از آنها برای هر متغیر، از روش تلفیق لایه زمین لغزش و متغیر مورد نظر استفاده شد و در واقع همان روش تعیین عضویت فازی با استفاده از مدل نسبت فراوانی است. پس از محاسبه نسبت فراوانی و عضویت فازی طبقات، اپراتورهای مجموعه فازی، شامل جمع، ضرب و گاماهای ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹، به عنوان روش‌های همپوشانی متغیرهای رده‌بندی شده با مقادیر عضویت فازی مورد استفاده قرار گرفتند تا نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه تهیه شوند. به منظور انتخاب روش بهینه از میان اپراتورهای همپوشانی فازی، از دو روش مجموع کیفیت و دقت روش استفاده شد تا مشخص شود که کدام اپراتور یا روش فازی دقت بهتری برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز کمه دارد. مقدار شاخص مجموع کیفیت (QS) که مقایسه و ارزیابی روش‌ها را در قیاس با یکدیگر نشان می‌دهد، حاکی از آن است که اپراتور فازی گامای ۰/۸ با ۶/۴۴، بالاترین مقدار QS را در میان سایر اپراتورهای فازی دارد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی، زمین لغزش، حوضه آبخیز کمه، منطق فازی.

## مقدمه

زمین لغزش یکی از پدیده‌های طبیعی است که در تحول و فرسایش اشکال زمین نقش دارد که پس از زلزله و سیل بیشترین خسارت را به تاسیسات انسانی و طبیعی دارد (نوجوان و حیاتی، ۱۳۹۲: ۸۱) افزایش جمعیت و فعالیت های انسانی چون تخریب جنگل‌ها و مراتع، اراضی کشاورزی و توسعه ساخت و ساز در این نواحی مسائلی چون مخاطرات ناشی از این مسئله را آشکار می‌سازد. بنابراین شناسایی پدیده‌های مرفوژنیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (لن و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴: ۱۱۱). با تهیه و بررسی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌توان زمینه‌های کاهش خطر و خسارت، برنامه ریزی صحیح و توسعه شهرها، ساماندهی و مقاوم سازی سکونتگاه‌های آسیب‌پذیر و... ایجاد کرد.

ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت تکتونیکی و لرزه‌خیزی زیاد، تنوع اقلیمی و زمین شناسی، شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از لغزش را دارد. حوضه آبخیز کمه در جنوب استان اصفهان قرار دارد. بررسی پراکنش زمین لغزش‌ها در این حوضه نشان می‌دهد که زمین لغزش‌های زیادی رخ داده است و از دامنه‌های ناپایداری دارای پتانسیل بالایی هستند. پژوهش حاضر بر آن است تا به بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر این پدیده به منظور شناسایی مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر بالای لغزش را با استفاده از تلفیق روش‌های Fuzzy و AHP و با بهره‌گیری از نرم افزار ArcGIS جهت ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب برای مقابله با بحران ناشی از زمین لغزش، کاهش خسارات آن و بهبود وضعیت زیست محیطی حوضه مطالعاتی بپردازد. پس از تهیه نقشه خطر زمین لغزش با مدل‌های ذکر شده، از دو روش مجموع کیفیت (QS) و دقت (P) جهت تعیین مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی خطر زمین لغزش برای منطقه استفاده می‌شود. در ارتباط با پهنه‌بندی زمین لغزش‌ها و حرکات توده‌ای تاکنون در مجامع علمی بین‌المللی مطالعات زیادی با روش‌های مختلف انجام شده است اما در ایران پژوهش‌های مربوط به پهنه بندی خطر زمین لغزش و مدل سازی جوان و نوپا است (کمک پناه و همکاران، ۱۳۷۳) و می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

حق شناس ۱۳۷۴، در پژوهشی که در مورد پهنه بندی خطر زمین لغزش منطقه طالقان و ارتباط آن با تولید رسوب، به بررسی علل حرکات دامنه‌ای پرداخته است. ایرانمنش ۱۳۷۴ در گزارشی مقدماتی زمین لغزش روستای باریکان، نقش شیب دامنه، زمین شناسی خاص، میزان جذب و نفوذ بسیار زیاد آب به وسیله بارندگی و آبیاری را علل حرکات زمین در روستای باریکان ذکر کرد. جلالی ۱۳۷۹، تعداد هشت روش از روش‌ها و مدل‌های مختلف پهنه بندی خطر زمین لغزش را در حوضه آبخیز طالقان مورد ارزیابی و نقاط قوت و ضعف را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داد. روش ترکیبی از عوامل مختلف نتایج مناسب تری نسبت به سایر مدل‌های واسنجی شده در اختیار قرار می‌دهد و به این نتیجه رسید روش آماری دو متغیره با شرایط وقوع زمین لغزش‌ها تطبیق دارد. اشغلی فراهانی ۱۳۸۰ ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌های طبیعی در منطقه رودبار را بررسی نمود و با استفاده از عواملی نظیر لیتولوژی، فاصله از گسل، پوشش گیاهی و کاربری اراضی، بارندگی و حداکثر شتاب زلزله که از پارامترهای مؤثر در ناپایداری می‌باشند، به وسیله GIS و نرم افزار ILWIS و همچنین روش‌های آماری اقدام به پهنه بندی زمین لغزش نمود. محمد خان ۱۳۸۰، به پهنه بندی خطر حرکات توده‌ای حوضه آبخیز طالقان با در نظر گرفتن شش عامل شیب، ارتفاع، سنگ شناسی، بارندگی، جهت دامنه و کاربری اراضی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی پرداخته است. فاطمی عقدا و همکاران ۱۳۸۴، به بررسی خطر زمین با استفاده از منطق فازی در منطقه رودبار پرداختند و نتایج به دست آمده از منطقه مورد مطالعه را به صورت نقشه پتانسیل خطر زمین تهیه و ارائه دادند. نقشه‌های ارائه شده شامل نقشه‌های خطر لغزش‌های خاکی و سنگی و ریزش و... است و نتایج به دست آمده بیانگر وقوع ۶۸/۳۰ درصد از خطرات زمین در سطحی برابر با ۴۴/۷۹ درصد بوده و تراکم آن در

رده‌های با خطر بسیار بیشتر از مقدار آن در رده‌های خطر پایین است. بهنیافر و همکاران ۱۳۸۵ در مطالعه حوضه آبریز رودخانه گنگ در دامنه‌های شمالی زون بینالود، خطر زمین لغزش و ناپایداری را به کمک روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و احتمال پهنه بندی کرده و دقت مدل را بررسی کردند. از جمله پژوهش‌های دیگر مرتبط با موضوع مورد مطالعه را می‌توان به شادفر ۱۳۸۴، در استفاده از اپراتورهای منطق فازی برای پهنه بندی زمین لغزش حوضه آبخیز چالکروود و ارزیابی صحت نقشه‌ها با نمایه جمع کیفی و عبادتی نژاد و همکاران ۱۳۸۶، به ارزیابی کارایی اپراتورهای منطق فازی در تعیین زمین لغزش در حوضه آبخیز شیروود و تعیین اپراتور فازی گامی ۰/۸ به عنوان مناسب‌ترین اپراتور در تعیین خطر زمین لغزش، متکان و همکاران، ۱۳۸۸، پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز لاجیم با استفاده از مدل‌های منطق فازی و سنجش از دور و تعیین مدل گامی ۰/۷ فازی و مدل میانگین وزنی مرتب شده فازی به عنوان مناسب‌ترین مدل برای پهنه بندی خطر زمین لغزش و به دلیل کمترین تغییرپذیری و انحراف از معیار در مدلسازی در منطقه، مورد بررسی قرار گرفت. بدنریک و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰، با استفاده از توزیع دو متغیره آماری به ارزیابی حساسیت زمین لغزش‌ها در منطقه کارل اونری در اسلواکی پرداختند و برای محاسبه وزن لایه‌های مورد بررسی استفاده کرده و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر منطقه را ارائه کردند. زونگ جی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰، در پژوهشی با استفاده از مدل آنتروپی به پهنه‌بندی منطقه زمین لغزش در یکی از نواحی چین به نام گورجس پرداختند و نتایج نشان داد که این مدل کاربردی می‌تواند به عنوان یک روش جدید برای ارزیابی خطر زمین لغزش در مقیاس منطقه‌ای عمل کند. امین عطایی ۱۳۹۰ به پهنه‌بندی و پیش‌بینی وقوع زمین لغزش با استفاده از GIS در منطقه گیلان و رودبار پرداخته است. با تعیین خصوصیات خاک منطقه لغزشی اقدام به نمونه‌گیری از ترانشه‌ها و مرز گسلیده دامنه‌های لغزشی حوضه رودبار گردید. لایه‌های اطلاعاتی شامل: جهت و درجه شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارندگی، تغییرات نسبی ارتفاع و فاصله از شبکه راه‌ها و آبراه‌ها و گسل‌ها در محیط GIS جهت تهیه نقشه‌های وزنی استفاده شد. سپس برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از مدل آماری LNSF در محیط GIS استفاده شده و منطقه مورد مطالعه به پنج پهنه با استعداد زمین لغزش خیلی کم (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴)، و خیلی زیاد (۵) تقسیم گردید. نتایج نشان داد که در صورت رسیدن خاک به درجه اشباع می‌توان انتظار ناپایداری دامنه‌ها در بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه را داشت. نادری، ۱۳۹۱، کاربرد منطق فازی در پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چرداول ایلام با استفاده از تئوری منطق فازی و شاخص نسب دانسیته همراه با تهیه نقشه خطر زمین لغزش و نشان دادن مطلوبیت بیشتر اپراتور گاما به لحاظ تفکیک مناسب طبقات خطر زمین لغزش نسبت به دیگر اپراتورهای فازی از جمله پژوهش‌های داخلی دیگر مرتبط با موضوع مورد مطالعه در بررسی حاضر می‌باشند. اکبر و همکاران ۱۳۹۲، در پژوهش خود با هدف ارزیابی خطر زمین لغزش به کمک مدل فازی دانش‌منا و روش ترکیبی فازی- اوزان شاهد در منطقه مسکون جیرفت با دو روش فازی و هیبرید فازی اوزان شاهد، استفاده و به این نتیجه رسیدند روش هیبریدی با احتیاط بیشتر و با توجه به نقاط شاهد، مناطق مستعد لغزش را معرفی می‌کند؛ در نتیجه مناطق معرفی شده نسبت به روش فازی مساحت کمتری اشغال می‌کند. هدف از این پژوهش شناسایی مهمترین عوامل موثر در زمین لغزش در حوضه آبخیز مورد مطالعه و پهنه بندی زمین لغزش‌های رخ داده در این منطقه بوده تا بتواند گامی در جهت مرتفع نمودن مشکلات احتمالی در اثر وقوع این پدیده بر دارد.

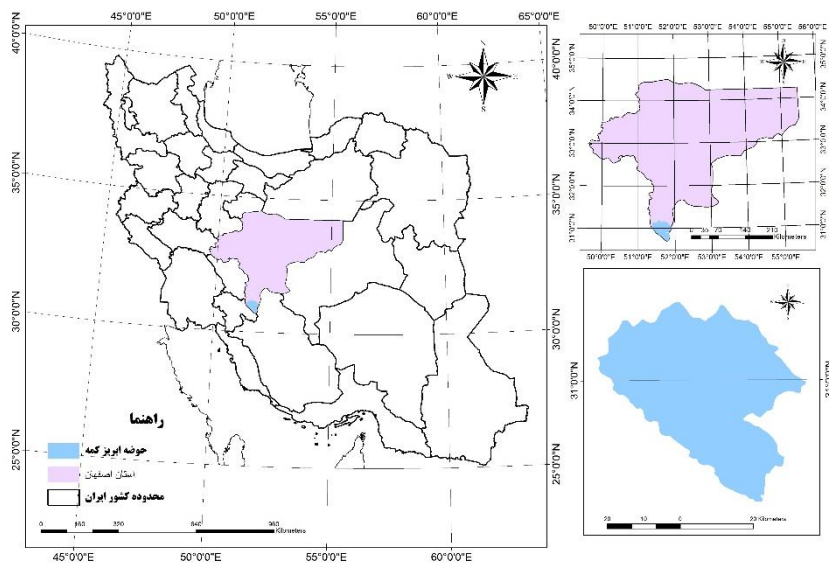
#### – منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، طبق نامگذاری جاماب در واحد هیدرولوژیک ۲۳۱۴ به نام کمه در حد فاصل ۴۲° تا ۳۰° عرض شمالی و ۲۱° ۵۱' تا ۵۱° ۵۶' درجه طول شرقی در جنوب استان اصفهان و در مرز با

<sup>۱</sup>. Bednarik, M. et al

<sup>۲</sup>. Zongji, Y. et al

استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد قرار دارد که از نظر تقسیمات سیاسی قسمتی از شهرستان سمیرم را در بر می‌گیرد (شکل ۱). حوضه کمه در کوهپایه‌های شرقی کوهستان دنا قرار گرفته است و منطقه‌ای سردسیر می‌باشد (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح). مهم‌ترین منطقه مسکونی واقع در حوضه، شهر کمه در بخش پادانای شهرستان سمیرم است. این منطقه از لحاظ خدمات و وضعیت تقریباً مساعد و به تمام نقاط روستایی دهستان پادانای وسطی به جز خفر و خینه خدمات ارائه می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز کمه استان اصفهان

### مواد و روش

روش این پژوهش توصیفی - تحلیلی و نوع آن کاربردی است بوده و با استفاده از مطالعات اسنادی، اطلاعات و داده‌های مورد نیاز گردآوری شده است. لایه‌های اطلاعاتی از قبیل شیب، توپوگرافی، پوشش گیاهی، نقشه ارتفاعی، کاربری اراضی و... نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰ و همچنین مدل ارتفاعی رقومی ایران<sup>۱</sup> کامل گردید. این منابع اطلاعاتی به عنوان ابزار اصلی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند و از نرم‌افزار ArcGis ۱۰/۳ برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده گردید. همچنین با عکس‌های هوایی و گوگل ارث زمین لغزش‌های منطقه شناسایی شد. سپس بازدید میدانی برای کنترل لایه‌های اطلاعاتی داده‌های سطح زمین اقدام گردید پس از جمع‌آوری داده‌ها، تمام لایه‌های مورد استفاده در پهنه‌بندی زمین لغزش به صورت رستری تبدیل گردید. لایه‌های ارتفاع، شیب و جهت شیب خود رستر بوده و فقط در محیط ArcMap فازی‌سازی شدند. لایه فرم دامنه بر مبنای محدب، مقعر و مستقیم بودن آن طبقه‌بندی می‌شود و تهیه آن با استفاده از تابع Curvature صورت می‌گیرد. در طبقه‌بندی لایه زمین‌شناسی از جنس سنگ و یا واحدهای سنگ‌شناسی منطقه و در لایه کاربری اراضی از نوع کاربری استفاده گردید. از آنجایی که این لایه‌ها به صورت رقومی بوده ابتدا بر مبنای موارد ذکر شده در طبقه‌بندی، در جدول توصیفی به هر یک از متغیرها ارزش عددی اختصاص داده شد و سپس بر مبنای این ارزش عددی، به لایه رستر تبدیل گردید. متغیر تراکم پوشش گیاهی نیز بر مبنای درصد تراکم طبقه‌بندی می‌شود. لایه میزان بارش منطقه با استفاده از روش کریجینگ و آمار ایستگاه‌های باران سنجی واقع در حوضه کمه تهیه شد. در ارتباط با لایه‌های جاده و گسل باید گفت چون این لایه‌ها به صورت خطی هستند، ابتدا نیاز است از تابع Distance بر مبنای حداکثر فاصله استفاده شود. با این تابع لایه‌های رستر به دست خواهد آمد که فاصله از هر کدام از متغیرها را تا مرز محدوده مورد مطالعه نشان

خواهد داد. در ادامه بر اساس این فاصله‌ها، طبقه بندی لایه های مذکور نیز انجام خواهد گرفت. جهت استفاده از لایه آبراهه، از تراکم آبراهه (متر) در واحد سطح (کیلومتر مربع) استفاده می شود. با استفاده از تابع Density این لایه به صورت رستر درآمده که تراکم آبراهه را در واحد سطح نشان داده و طبقه بندی این لایه رستری نیز بر مبنای تراکم به دست آمده، انجام گرفت. در نهایت لایه پهنه های زمین لغزش با استفاده از همپوشانی تمامی لایه های فازی سازی شده به دست می آید.

پژوهش حاضر ضمن بررسی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز کمه، به ارزیابی میزان دقت اپراتورهای منطق فازی (FL) جهت تعیین مناسب ترین اپراتور برای تهیه نقشه خطر زمین لغزش در منطقه مطالعاتی می پردازد. روش شناسی این پژوهش مشتمل بر چهار بخش است؛ در ابتدا نقاط زمین لغزش ثبت شده از حوضه آبخیز کمه به پهنه های لغزشی تبدیل می شوند. در بخش دوم، متغیرهای مؤثر (متغیر مستقل) در وقوع پدیده زمین لغزش (متغیر وابسته) شناسایی شده و با استفاده از روش نسبت فراوانی<sup>۱</sup>، میزان وزن نسبی هر طبقه از هر متغیر جهت استفاده از آن‌ها در تهیه نقشه های پهنه بندی خطر محاسبه می گردد. که در این رابطه FR نسبت فراوانی، A در صد پیکسل های لغزشی و B در صد پیکسل های فاقد ارزش است.

$$Fr = A/B$$

رابطه (۱)

این وزن های نسبی محاسبه شده، لایه هایی را می سازند که در مرحله بعدی پژوهش از همپوشانی آن‌ها با استفاده از مدل های ذکر شده، نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه تهیه می شوند. تهیه این نقشه ها بر اساس نسبت فراوانی پهنه های زمین لغزش به پهنه های بدون لغزش و تابع های همپوشانی مدل ها بر مبنای تحلیل رستر یا شبکه صورت خواهد گرفت. متغیرهای مستقل مورد استفاده در پهنه بندی را می توان عوامل شیب، جهت دامنه، ارتفاع، لیتولوژی یا زمین شناسی، کاربری اراضی، گسل، آبراهه، مراکز سکونتگاهی، میزان دما، بارندگی و شبکه ارتباطی بر شمرد. در نهایت، با تالاقی نقشه پراکنش زمین لغزش های حوضه آبخیز و نقشه های پهنه بندی خطر در محیط جی آی اس، به ارزیابی و مقایسه اپراتورهای فازی پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از دو روش مجموع کیفیت (QS) و دقت روش (P) پرداخته می شود و اپراتور مناسب منطبق با منطقه مورد بررسی انتخاب می شود و برای بررسی کلاس های مختلف خطر رخداد زمین لغزش در حوضه آبخیز کمه پیشنهاد می گردد.

### منطق فازی

تئوری مجموعه های فازی و منطق فازی به عنوان نظریه ای ریاضی برای مدل سازی و صورت بندی ریاضی ابهام و عدم دقت موجود در فرآیندهای شناختی انسانی، ابزارهای بسیار کارآمد و مفیدی به شمار می آیند. این نظریه که نخستین بار توسط پروفیسور لطفی زاده دانشمند ایرانی الاصل دانشگاه کالیفرنیا در سال ۱۹۶۵ مطرح شد، حوزه های بسیار از علوم مختلف و به ویژه دانش جغرافیا را فرا گرفته است (اصغر پور، ۱۳۸۸ : ۳۱۹). در ارتباط با به کارگیری منطق فازی، باید اشاره نمود که در تحلیل تصمیم گیری های چند معیاره، تئوری فازی معمول ترین روش برای بحث و بررسی عدم قطعیت ها شناخته شده است. برای تعیین ارتباط زمین لغزش ها با عوامل مؤثر در وقوع آن و نیز تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی، نقشه های عوامل مؤثر با نقشه پراکنش زمین لغزش ها تلفیق می شود. به این ترتیب تعداد زمین لغزش در هر کدام از معیارها بدست می آید.

لایه های به دست آمده برای هر معیار بر اساس پتانسیل وقوع زمین لغزش، فازی سازی شدند. جهت فازی سازی از فرمول های زیر در حالت های فازی افزایشی و کاهشی در محیط نرم افزار ArcGIS استفاده شد (خواجه شاهکوهی و همکاران، ۱۳۹۳، ۲۱۲).

$$f(x) = \frac{x_i - x_{min}}{\Delta x_{max,min}}$$

$$f(x) = \frac{x_{max} - x_i}{\Delta x_{max,min}}$$

### تحلیل سلسله مراتبی

با توجه به اینکه تمامی معیارهای بررسی شده در وقوع زمین لغزش دارای ارزش اثرگذاری برابر نیستند، تصمیم گرفته شد تا وزن معیارها تعیین شود. در بسیاری از مطالعات علوم زمین جهت محاسبه وزن معیارها از مدل AHP استفاده می شود؛ در این پژوهش نیز مدل AHP جهت وزن دهی به معیارها به کار برده شده است. برای وزن دهی به معیارها از منابع موجود و نظرات ۱۰ نفر از کارشناسان، به صورت توأمان استفاده شد. جهت نظرسنجی کارشناسان، پرسشنامه های محقق ساخته بر اساس اصول AHP تهیه و برای کارشناسان ارسال شد. میزان روایی پرسشنامه های AHP از شاخص نرخ ناسازگاری سنجیده می شود که مقدار آن باید کمتر از ۰/۱ باشد (خواجه شاهکوهی و همکاران، ۱۳۹۳، ۱۱۵)؛ در این پژوهش نیز میزان روایی پرسشنامه ها در نرم افزار Expert choice سنجیده و اصلاحات لازم بر روی آنها اعمال و سپس وزن هر معیار محاسبه گردید.

### صحت سنجی و مقایسه مدل ها

در این مرحله با تالاقی نقشه پراکنش زمین لغزش های حوضه و نقشه های پهنه بندی خطر در محیط ArcGIS، به ارزیابی و مقایسه روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش مجموع کیفیت (QS) و دقت (P) پرداخته می شود و مدل مناسب منطبق با منطقه مورد بررسی انتخاب می گردد. برای ارزیابی و مقایسه دقت بین پهنه ها یا رده های خطر در هر روش از روش های پهنه بندی، نسبت تراکم (Dr) به کار می رود.

### صحت یا مجموع کیفیت (QS)

در صورتی که در منطقه ای چند نقشه خطر تهیه شده باشد، با استفاده از مقدار مجموع کیفیت یا جمع کیفی می توان نقشه های با دقت بیشتر و صحیح تر را شناسایی نمود. یک نقشه خطر مناسب، نقشه ای می باشد که بهترین جدایش را بین مناطق با تراکم بالای زمین لغزش و مناطق با تراکم پایین زمین لغزش ایجاد نماید. برای تعیین مجموع کیفیت، لازم است ابتدا نسبت تراکمی محاسبه گردد، که این محاسبه در قالب رابطه ۱ صورت می پذیرد. که در آن  $S_i$  = مجموع مساحت زمین لغزش های واقع در هر رده خطر:  $A_i$  = مساحت زمین رده خطر در یک نقشه پهنه بندی؛ و  $n$  = تعداد رده های خطر می باشد.

رابطه ۲

$$Dr = \frac{\frac{S_i}{A_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{A_i}}$$

تراکم زمین لغزش در نقشه‌های خطری که به طور صحیح تهیه شده‌اند، از رده‌های خطر کم تا رده‌های پرخطر به صورت صعودی است. در یک روش (نقشه) پهنه بندی، تراکم لغزش رده با  $Dr=1$  معادل با متوسط تراکم لغزش در کل منطقه و رده دارای نسبت تراکمی ۲، دارای تراکم لغزشی معادل با دو برابر تراکم لغزش منطقه است. بنابراین هرچه تفکیک بین رده‌های خطر به وسیله شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، روش (نقشه) دارای دقت بیشتری می‌باشد. مقدار مجموع کیفیت (QS) که از طریق رابطه ۲ محاسبه می‌گردد نشان دهنده صحت یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش بینی خطر زمین لغزش منطقه است. در این رابطه  $QS = \text{مجموع کیفیت}; Dr = \text{نسبت تراکم}; S = \text{نسبت مساحت خطر به مساحت کل منطقه و } n = \text{تعداد کلاس خطر می باشد.}$

$$QS = \sum_{i=1}^n ((Dr - 1)^2 \times S) \quad \text{رابطه ۳}$$

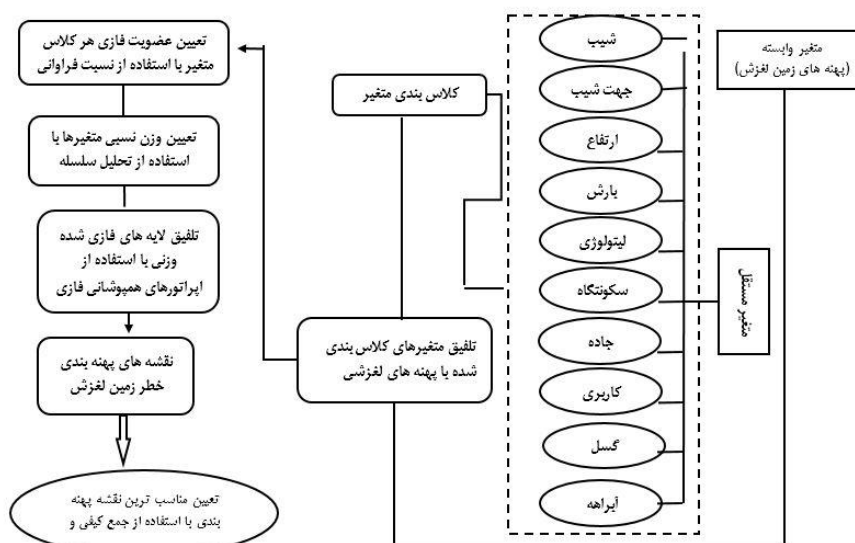
معمولاً مقدار این شاخص برای روش‌های مختلف در گستره صفر تا ۷ قرار می‌گیرد. البته از بعد نظری حدی برای آن وجود ندارد. اختلاف بین مقادیر QS، کمتر از ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود و مقادیر با اختلاف کمتر از این مقدار تقریباً یکسان لحاظ می‌گردند؛ در واقع QS از جنس واریانس می‌باشد. انحراف مقادیر Dr از میانگین در پهنه‌های مختلف اگر به هم نزدیک باشند، نشان‌دهنده آن است که تراکم زمین لغزش‌ها در کلاس‌های مختلف نزدیک به یکدیگر بوده و مقدار QS نیز پایین می‌باشد و اگر انحراف مقادیر Dr از میانگین در پهنه‌های مختلف زیاد باشد، نشان‌دهنده آن است که تراکم زمین لغزش‌ها با یکدیگر تفاوت داشته و در نتیجه مقدار عددی QS بزرگ می‌گردد. بنابراین در ارزیابی روش‌ها، هرچه مقدار مجموع کیفیت (QS) در روشی بیشتر باشد، آن روش صحت یا مطلوبیت بیشتری در تفکیک خواهد داشت.

### دقت روش (P)

نسبت مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر بالا و خیلی بالا به مساحت کل آن پهنه‌ها که از رابطه ۳ به دست می‌آید، که  $P = \text{دقت روش در پهنه‌های دارای خطر متوسط به بالا}; KS = \text{مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های دارای خطر متوسط به بالا و } S = \text{مساحت پهنه‌های خطر مرتبط است.}$

$$P = KS/S$$

رابطه ۴

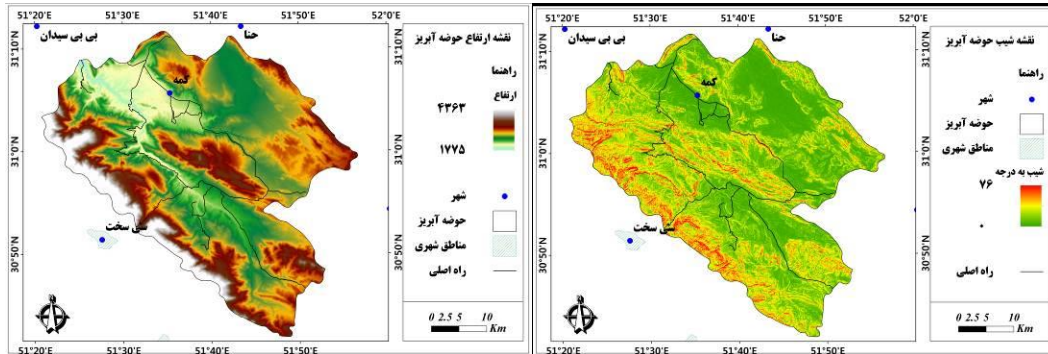


شکل ۲: فرآیند تحقیق

هدف از این پژوهش پهنه بندی حوضه آبریز کمه از لحاظ پتانسیل وقوع زمین لغزش و همچنین مشخص کردن میزان نقش هر یک از متغیرها در وقوع زمین لغزش است.

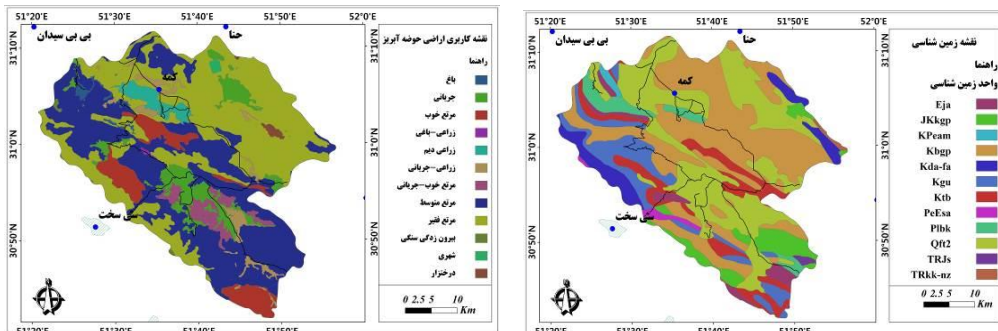
یافته‌های تحقیق -

شناخت عوامل موثر بر زمین لغزش و پهنه بندی آن در مناطق مختلف بسیار ضروری می باشد و عواملی چون ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، کاربری اراضی و جهت دامنه، فاصله از گسل و زمین شناسی، دما و بارش به عنوان عوامل موثر در منطقه شناسایی گردید ( شکل ۳ تا ۱۱) و سپس با استفاده از توابع عضویت فازی به صورت نقشه های فازی در آمدند.



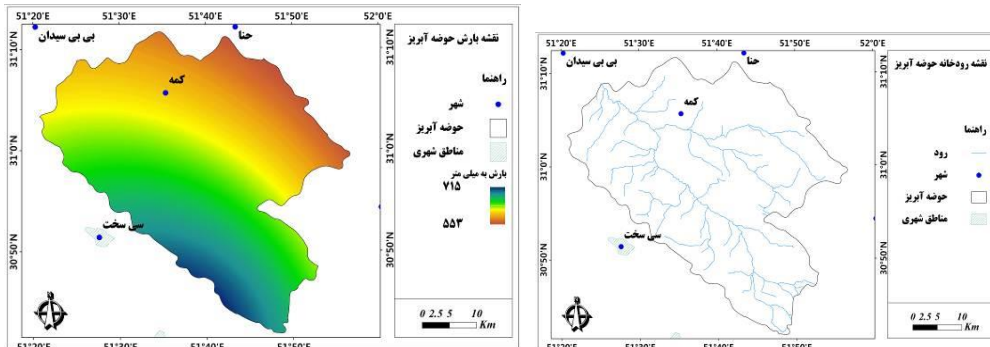
شکل ۳: نقشه طبقات ارتفاعی حوضه آبخیز کمه

شکل ۴: نقشه طبقات شیب حوضه آبخیز کمه



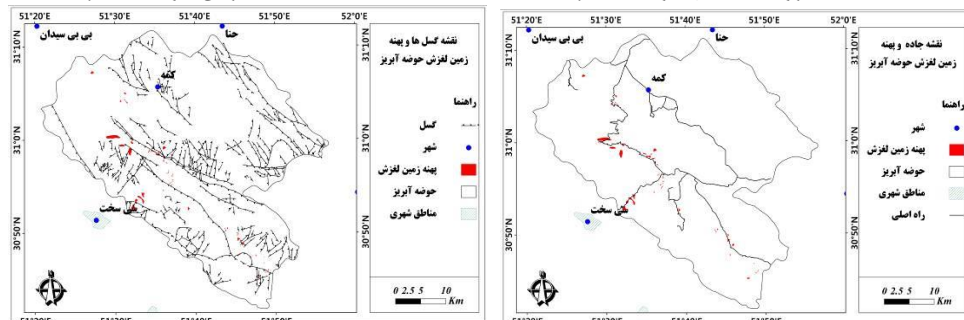
شکل ۵: نقشه زمین شناسی حوضه آبخیز کمه

شکل ۶: نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز کمه



شکل ۷: نقشه رودخانه های حوضه آبخیز کمه

شکل ۸: نقشه همبارش حوضه آبخیز کمه

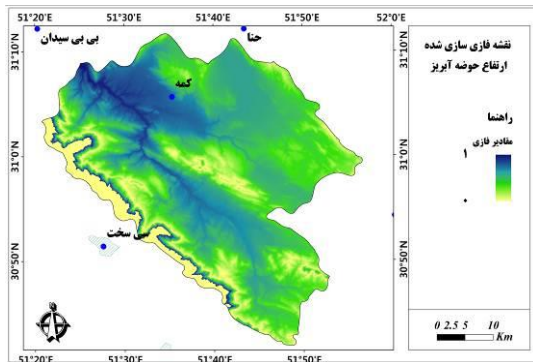


شکل ۹: نقشه جاده های حوضه آبخیز کمه

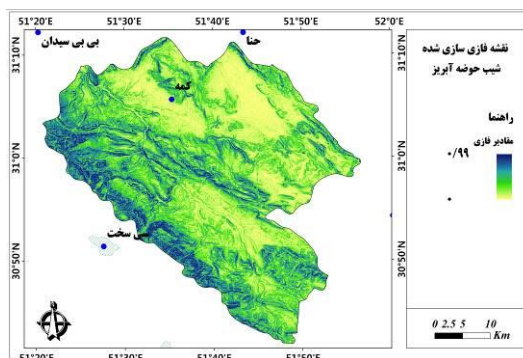
شکل ۱۰: نقشه گسل های حوضه آبخیز کمه



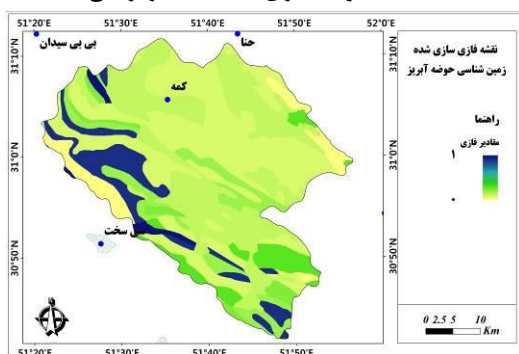
پس از جمع‌آوری داده‌ها، لایه‌های در پهنه بندی زمین لغزش به رستر تبدیل شده و سپس طبقه بندی و لایه‌ها تلفیق شد. هدف مشخص شدن میزان نقش هر یک از طبقات متغیرها در وقوع زمین لغزش‌ها است. با استفاده از رابطه نسبت فراوانی (رابطه ۴) وزن هر یک از طبقات محاسبه می‌گردد. لازم به ذکر است که تحلیل رستری همه متغیرهای مورد استفاده در قالب شبکه سلول‌های با ابعاد ۳۰ متری انجام گرفت (شکل ۱۲ تا ۲۱).



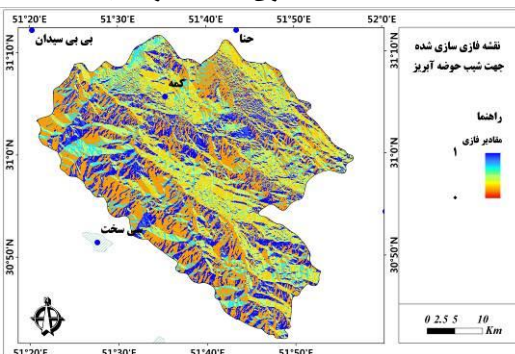
شکل ۱۲: نقشه عضویت فازی طبقات متغیر ارتفاع



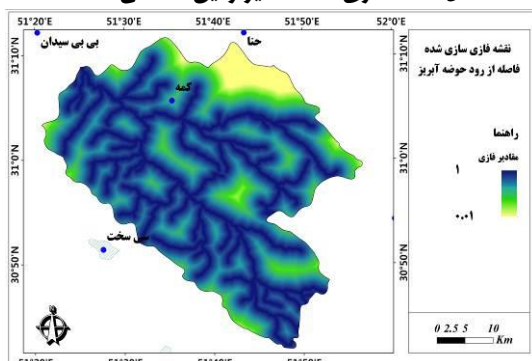
شکل ۱۱: نقشه فازی شده متغیر شیب



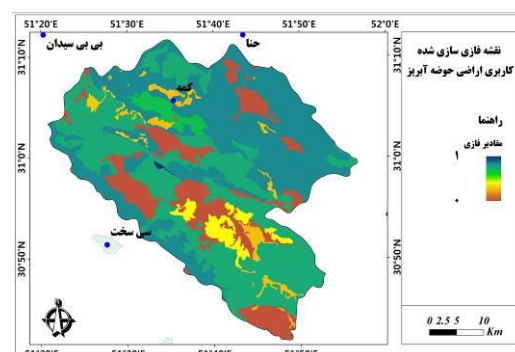
شکل ۱۴: فازی شده متغیر زمین شناسی



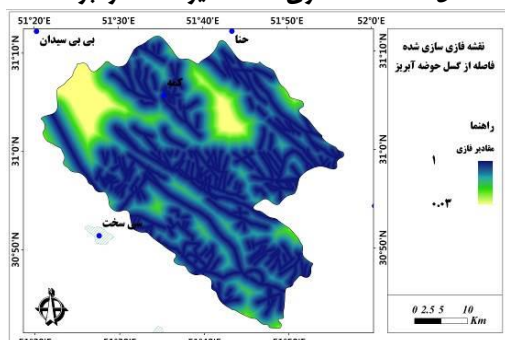
شکل ۱۳: نقشه فازی شده متغیر جهت دامنه



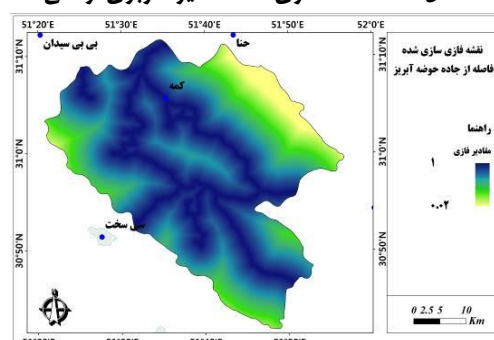
شکل ۱۶: نقشه فازی شده متغیر فاصله از آبراهه



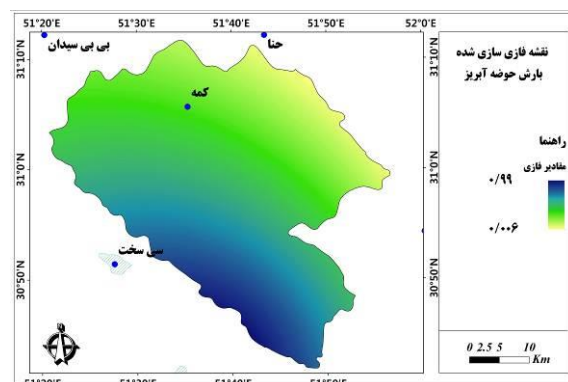
شکل ۱۵: نقشه فازی شده متغیر کاربری اراضی



شکل ۱۸: نقشه فازی شده متغیر فاصله از گسل



شکل ۱۷: نقشه فازی شده متغیر فاصله از جاده



شکل ۱۹: نقشه فازی شده متغیر بارش

### متغیر ارتفاع

این عامل، جهت روانابها و میزان تراکم شبکه زهکشی را کنترل می کند و در میزان رطوبت خاک و شیب دامنه ها تأثیر دارد. ارتفاع منطقه مورد مطالعه دامنه ای از ۱۷۷۵ تا ۴۳۶۶ متر را شامل می شود. بر اساس عضویت فازی محاسبه شده از تلفیق طبقات این عامل با پهنه های لغزشی منطقه، پایین ترین طبقه ارتفاعی ۱۷۷۵ تا ۲۰۰۰ متر دارای بالاترین تابع فازی (عدد ۱) و از ارتفاع ۳۵۰۰ متر به بالا پهنه لغزشی وجود ندارد و عضویت فازی این محدوده صفر به دست آمد. در ارتفاعات بالاتر معمولاً بارش به صورت برف اتفاق می افتد که در مقایسه با بارش باران تأثیر کمتری بر افزایش پتانسیل رخداد زمین لغزش دارد. بنابراین می توان انتظار داشت که احتمال وقوع زمین لغزش ها در پهنه های با ارتفاع پایین بیشتر باشد؛ اگر بخواهیم به صورت ترکیبی دو متغیر ارتفاع و بارش را بررسی کنیم ذکر این نکته نیز ضروری است که در ارتفاعات بسیار پایین نیز مقدار بارش کمتر می شود؛ بنابراین در ارتفاعات میانی بیشترین مقدار احتمال وقوع زمین لغزش وجود دارد. علاوه بر این معمولاً در ارتفاع بالاتر از ۳۵۰۰ متر امکان تشکیل خاک یا جا گذاری رسوبات سست و ریز دانه کمتر وجود دارد و زمین لغزش اتفاق نمی افتد.

### متغیر شیب

شیب و مورفولوژی دامنه ها تأثیر زیادی در وقوع پدیده زمین لغزش دارد (دای و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲). بیشترین مقدار عضویت فازی در طبقه شیب ۳۰ تا ۴۰ درجه (و به طور کلی بیشتر از ۱۰ درجه تا حدود ۴۰ درجه افزایش می یابد) و کمترین مقدار طبقه شیب ۵ و کمتر از ۵ درجه دارد. با افزایش شیب، مقدار عضویت فازی داشته است. بنابراین با افزایش شیب منطقه، احتمال وقوع زمین لغزش نیز افزایش می یابد. البته باید به این نکته اشاره نمود که در شیب های بالای ۴۰ درجه، عضویت فازی پهنه ها کاهش و به ۰/۶۴ می رسد و نشان می دهد در شیب های خیلی بالا، به دلیل عدم امکان تشکیل خاک و ناپایداری رسوبات احتمال وقوع زمین لغزش کاهش می یابد.

### متغیر جهت دامنه

جهت شیب دامنه نیز به عنوان یکی دیگر از عوامل مؤثر در ایجاد حرکات توده ای است. در مناطقی که در طول ماه های مختلف سال اختلاف زیادی در دمای دامنه های رو و پشت به آفتاب وجود دارد و این نوسان دما، در محدوده بالاتر و پایین تر از نقطه انجماد آب (خ ص صاً در دامنه برف گیر) صورت می گیرد، بین توزیع فراوانی ناپایداری های دامنه ای و جهت دامنه ارتباط معنی داری برقرار می گردد. در حالت کلی، دامنه های شمالی و غربی به دلیل برخورداری از برف و رطوبت، نقش مؤثری در ایجاد حرکات توده ای ایفا می کنند. بر اساس آن، دامنه های شمالی با مقدار ۱، دامنه های شمال غربی با مقدار ۰/۹۱ و دامنه های جنوب شرقی با ۰/۶۹ بیشترین و دامنه های شرقی و شمال شرقی با اعداد به ترتیب ۰/۱۸ و ۰/۱۹ کمترین مقدار عضویت یا تأثیر گذاری در وقوع زمین لغزش ها را دارا می باشند.

<sup>۱</sup>. Dai .et al

### متغیر زمین شناسی

زمین‌شناسی و ساختار متنوع آن باعث اختلاف در پایداری و مقاومت سنگ‌ها و همچنین تنوع جنس خاک می‌شود (Ayalew and Ymagishi, 2005) نوع سازند زمین شناسی هر ناحیه نقش مهمی در گسترش پهنه‌های لغزشی دارد (Lee and Pradhan, 2007) با توجه به وزن‌های نسبی محاسبه شده واحد لیتولوژی (Es) با عضویت فازی ۱، دارای بیشترین میزان تأثیرگذاری در وقوع زمین لغزش‌های حوضه می‌باشد. این واحد متعلق به سازند ساچون و شامل مارن‌های قرمز، آهک، ژئوپس و دولومیت است. مارن یکی از حساس‌ترین سازندهای زمین‌شناسی نسبت به وقوع حرکات توده‌ای به ویژه زمین لغزش می‌باشد که گسترش آن در هر مکانی با وقوع زمین لغزش همراه است. در واقع، مارن‌ها ر سوبات ریزدانه، منفصل و حساس به انواع فرسایش و حرکات توده‌ای می‌باشند. پس از آن، سیلته‌ستون‌های هوازده با عضویت فازی ۰/۵۱ و شیل و مارن خاکستری مایل به آبی سازندگورپی با ۰/۴۱ دومین و سومین واحد لیتولوژی تأثیرگذار در رخداد لغزشی منطقه است.

### متغیر کاربری اراضی

نوع کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی نقش تعیین‌کننده در تغییرات محیطی دارند. در بسیاری از موارد مکان‌گزینی این کاربری‌ها نامناسب بوده و باعث ایجاد نابسامانی و اختلال در اکوسیستم‌های طبیعی می‌شود (حسین زاده و همکاران، ۱۳۸۸). علت این که پهنه‌هایی با کاربری ترکیبی زراعی و باغی بیشترین تأثیرگذاری را بر وقوع پهنه‌های لغزشی در منطقه دارند می‌تواند به دخالت فعالیت‌های انسانی در محدوده این کاربری‌ها و فرسایش ناشی از آن باشد زیرا در این پهنه‌ها شرایط تشکیل خاک‌های نرم و سست فراهم است و دستکاری غیراصولی می‌تواند منجر به ناپایداری دامنه‌ها شود. این در حالی است که در اراضی با پوشش مرتعی، بیرون زدگی‌های سنگی و نواحی ساخته شده با توجه به وضعیت پوشش سطحی زمین، احتمال وقوع زمین لغزش در حوضه کمه به صفر نزدیک می‌باشد.

### متغیر فاصله از آبراهه

آبراهه‌ها به دلیل وجود زهکشی آب و دیوارهای پر شیب معمولاً دارای لغزش بیشتری هستند. در حوضه آبخیز کمه، تلفیق پهنه‌های لغزشی با لایه فاصله از آبراهه بیان می‌کند که بیشترین پراکنش زمین لغزش‌ها و در نتیجه بیشترین مقدار عضویت فازی در طبقه ۰ تا ۱۰۰ متر از آبراهه‌های سطح حوضه قرار دارند و نشان می‌دهد که پهنه‌های نزدیک به مسیر آب‌های جاری دارای پتانسیل بالایی برای وقوع زمین لغزش می‌باشند. با توجه به عضویت‌های فازی بدست آمده برای سایر طبقات فاصله از آبراهه هم‌بیانگر این موضوع می‌باشد که تقریباً با افزایش فاصله از مسیر آب‌های جاری در سطح حوضه، مقدار عضویت فازی طبقه کاهش پیدا می‌کند؛ به عبارتی میان فاصله از آبراهه و وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز مورد بررسی رابطه معکوس وجود دارد.

### متغیر فاصله از گسل

در مناطقی که پراکندگی خطوط گسل بیشتر از سایر نقاط باشد می‌توان شاهد تعدد وقوع حرکات توده‌ای به خصوص وقوع لغزش‌ها بود. عوامل تکتونیکی به طور مستقیم و غیرمستقیم باعث ناپایداری دامنه‌ها و لغزش می‌گردند (رجایی، ۱۳۸۲). خطر زمین لغزش در نواحی که فاصله کمتری از گسل دارند بیشتر می‌باشد. در حوضه آبخیز کمه تلفیق پهنه‌های لغزشی اتفاق افتاده با متغیر فاصله از گسل بیانگر این واقعیت است که تأثیرگذاری گسل‌ها در وقوع پهنه‌های لغزشی حوضه آبخیز کمه تابع فاصله از این متغیر بوده و در بیشتر بخش‌های حوضه می‌توان وقوع لغزش‌ها را در امتداد گسل‌های منطقه مشاهده کرد.

### متغیر بارش

بارش‌های جوی به شکل برف یا باران در وقوع حرکت‌های توده‌ای نقش دارند؛ شناخت ویژگی بارندگی از اهمیت خاصی برخوردار است. وجود شرایط ذاتی مستعد برای وقوع زمین لغزش مانند جنس مصالح باعث می‌گردد تا با افزایش

میزان بارندگی و رطوبت امکان وقوع زمین لغزش افزایش یابد. بارندگی حوضه آبخیز کمه از ۴۰۰ تا ۹۰۰ میلیمتر متغیر است. بیشترین وزن نسبی طبقات متغیر بارش برای طبقه ۹۰۰ میلیمتر بارندگی محاسبه گردید و کمترین وزن نسبی به طبقه بارشی ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلیمتر در حوضه اختصاص دارد.

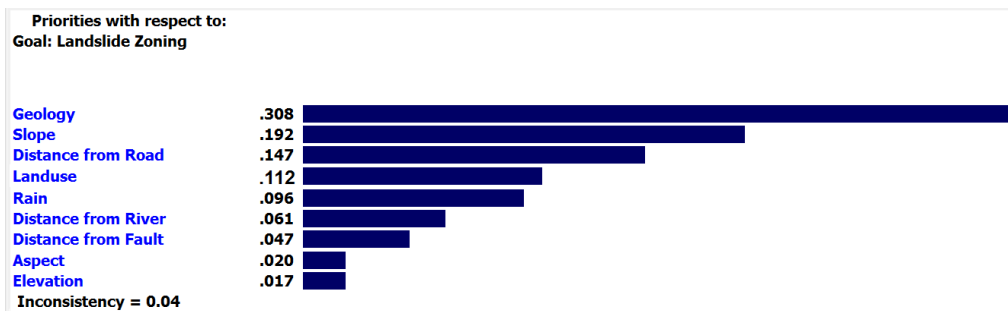
جدول ۱: رده های عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش با بیشترین و کمترین مقدار عضویت فازی

عامل مؤثر	رده دارای بیشترین مقدار عضویت فازی	رده دارای کمترین مقدار عضویت فازی
ارتفاع (متر)	۱۷۷۵ - ۲۰۰۰	۳۵۰۰ متر به بالا
شیب (درجه)	در طبقه شیب بین ۳۰ تا ۴۰ درجه	۵ درجه و کمتر
جهت دامنه	شمال	شرق
زمین شناسی	PeEsa (سازند ساچون)	TRkk-nz , Kda-fa- TRJs (سازند خانه کت، نیریز و فهلیان)
کاربری اراضی	ترکیبی (زراعی - باغی)	اراضی مرتعی، بیرون زدگی سنگی، ساخته شده
فاصله از آبراهه (متر)	۰ - ۱۰۰	> ۲۰۰۰
فاصله از گسل (متر)	۰ - ۱۰۰	> ۲۰۰۰
فاصله از جاده (متر)	۰ - ۱۰۰	> ۲۰۰۰
بارش (میلیمتر)	۴۰۰ - ۵۰۰	۹۰۰

پس از آن که وزن معیار هر رده از متغیرهای مؤثر بر وقوع زمین لغزش در حوضه کمه محاسبه شد، تهیه نقشه خطر زمین لغزش در منطقه مطالعاتی با استفاده از اپراتورهای جمع، ضرب، گامای ۰/۷، گامای ۰/۸ و گامای ۰/۹، انجام گرفت. جهت استفاده از این اپراتورها، وزن نسبی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی به دست آمد. با توجه به ۹ متغیر مؤثر، ماتریسی به ابعاد ۹ × ۹ در محیط نرم افزاری Expert Choice تشکیل شد. سپس با استفاده از میانگین نظرات کارشناسی، سطح اول این ماتریس تکمیل شد تا سطح دوم آن نیز محاسبه شود؛ ماتریس سطح اول و دوم متغیرهای مؤثر در وقوع زمین لغزش های حوضه آبخیز کمه در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: ماتریس محاسبه وزن عوامل مؤثر بر زمین لغزش حوضه آبخیز کمه در روش AHP

ارتفاع	جهت دامنه	فاصله از گسل	فاصله از آبراهه	کاربری اراضی	بارش	فاصله از جاده	شیب	زمین شناسی	پارامتر
۹	۸/۶۷	۶/۱	۵/۵	۴/۲۵	۴/۰۳	۳/۱	۳/۰۷	۱	زمین شناسی
۷	۶/۶۹	۴	۳/۸۸	۳/۱۲	۲/۹	۲/۵	۱	۰/۳۳	شیب
۶/۹	۶/۶	۳/۹	۳/۴۵	۲/۷۵	۲/۳۶	۱	۰/۴	۰/۳۲	فاصله از جاده
۶	۵/۶۷	۲/۶۴	۲/۳	۱/۵	۱	۰/۴۲	۰/۳۴	۰/۲۵	بارش
۵/۸	۵/۵	۲/۲۱	۱/۶۵۵	۱	۰/۶۷	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۲۴	کاربری اراضی
۵/۷	۵/۳۳	۱/۷۵	۱	۰/۶۰	۰/۴۳	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۱۸	فاصله از آبراهه
۴/۵	۴/۳۱	۱	۰/۵۷	۰/۴۵	۰/۳۸	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۱۶	فاصله از گسل
۳	۱	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۲	جهت دامنه
۱	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۱	ارتفاع



شکل ۲۰: نمایش گرافیکی به هر یک از پارامترهای مؤثر در وقوع پهنه های لغزشی حوضه کمه

پس از تشکیل اولویت بندی، برای بی بعد کردن داده ها و به دست آوردن وزن پارامترها از روش میانگین حسابی استفاده شد. وزن دهی به هر یک از پارامترهای مؤثر در شکل ۲۰ نشان داده شده است. با توجه به وزن های نسبی محاسبه شده، متغیر زمین شناسی با ضریب (۰/۳۲۶) به عنوان مؤثرترین عامل در وقوع پهنه های لغزشی حوضه آبخیز کمه بر اساس نظرات کارشناسی مطرح است متغیر شیب با (۰/۱۹۲) در درجه دوم قرار دارد. پس از آن متغیرهای فاصله از جاده با ضریب (۰/۱۴۷)، کاربری اراضی (۰/۱۱۲)، بارش (۰/۰۹۶)، تراکم آبراهه (۰/۰۶۱)، فاصله از گسل (۰/۰۴۷)، جهت شیب (۰/۰۲۰) و ارتفاع با ضریب (۰/۰۱۷) در درجه های بعدی تأثیرگذار بر وقوع زمین لغزش در منطقه مطالعاتی قرار دارند. شکل عمومی معادله به دست آمده از اجرای مدل AHP در رابطه ۵ آورده شده است.

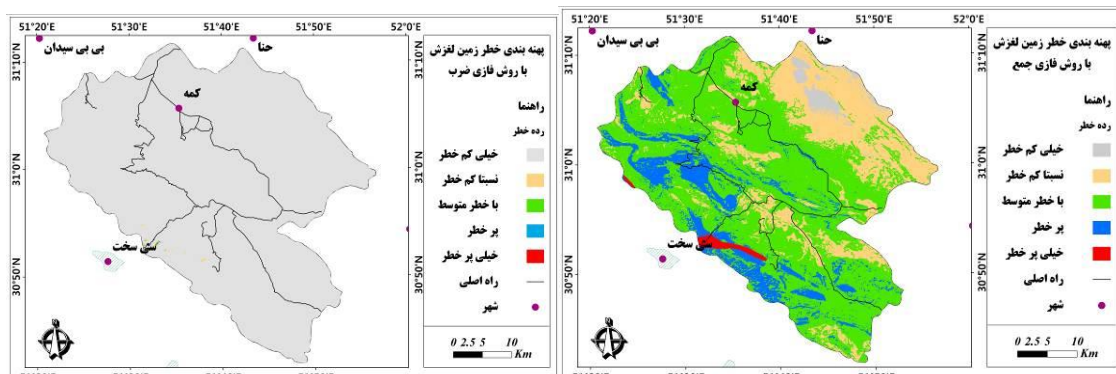
رابطه ۵

$$Y = (0.326 \times \text{Geology}) + (0.192 \times \text{slope}) + (0.147 \times \text{Road}) + (0.096 \times \text{Rain}) + (0.112 \times \text{Land use}) + (0.061 \times \text{River}) + (0.047 \times \text{Fault}) + (0.02 \times \text{Aspect}) + (0.017 \times \text{Elevation})$$

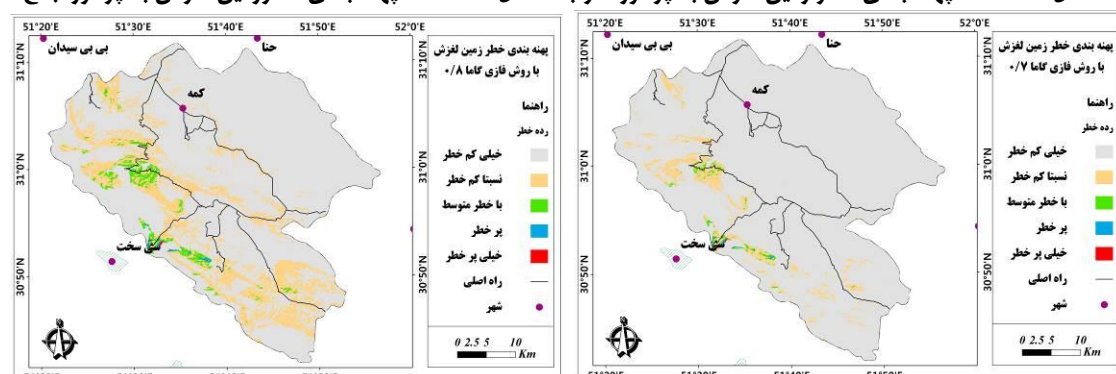
پس از وزن دار کردن هر متغیر بر اساس وزن های نسبی بدست آمده از تحلیل سلسله مراتبی، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز کمه بر اساس سه اپراتور همپوشانی منطق فازی تهیه گردید. شکل های ۲۱ تا ۲۵ نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش را در حوضه آبخیز کمه نشان می دهند. نقشه های پهنه بندی در پنج رده تهیه شده اند. در جدول ۳ مساحت و درصد مساحت پنج رده خطر ارائه شده است.

جدول ۳: مساحت رده های خطر زمین لغزش در نقشه های پهنه بندی تهیه شده با اپراتورهای فازی

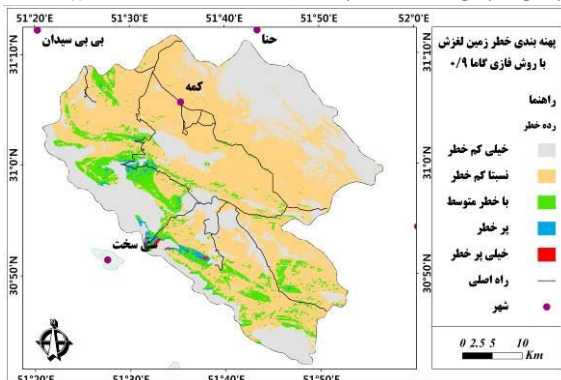
گاما ۰/۹		گاما ۰/۸		گاما ۰/۷		ضرب فازی		جمع فازی		طبقه خطر
درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	
۳۳,۷۹	۵۶۶,۶۰	۸۰,۴۰	۱۳۴۸,۴۰	۹۴,۵۴	۱۵۸۵,۷۰	۹۹,۸۶	۱۶۷۵,۰۰	۲,۱۲	۳۵,۵۰	خیلی کم خطر
۵۵,۲۸	۹۲۷,۰۰	۱۷,۳۵	۲۹۱,۰۰	۴,۷۸	۸۰,۲۰	۰,۰۹	۱,۵۴	۲۴,۰۴	۴۰۳,۰۰	نسبتاً کم خطر
۹,۷۹	۱۶۴,۲۰	۲,۰۰	۳۳,۵۰	۰,۵۴	۹,۱۰	۰,۰۳	۰,۴۴	۶۰,۹۴	۱۰۲۱,۷۰	باخطرمتوسط
۰,۹۹	۱۶۶,۰	۰,۲۰	۳,۳۰	۰,۱۰	۱,۷۰	۰,۰۱	۰,۲۴	۱۲,۰۱	۲۰۱,۳۰	پر خطر
۰,۱۶	۲,۶۰	۰,۰۶	۱,۰۰	۰,۰۳	۰,۵۸	۰,۰۱	۰,۱۳	۰,۹۰	۱۵,۱۰	خیلی پرخطر



شکل ۲۱: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با اپراتور ضرب، شکل ۲۲: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با اپراتور جمع



شکل ۲۳: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از گامای ۰/۷، شکل ۲۴: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با گامای ۰/۸



شکل ۲۵: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با گامای ۰/۹

### ارزیابی دقت روش پهنه بندی

یافته های حاصل از محاسبه مقادیر شاخص های مجموع کیفیت و دقت روش در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴: ارزیابی صحت و دقت اپراتورهای فازی در پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز کمه

مدل پهنه بندی	رده خطر لغزش	مساحت پهنه به کیلومتر مربع (Ai)	مساحت لغزش پهنه به کیلومتر مربع (Si)	نسبت تراکمی (DR)	درصد مساحت (S)	QS در هر رده	مجموع کیفیت (QS)	دقت روش (P)
Sum	۱	۲۵,۵۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۲		
	۲	۴۰,۳,۰۰	۰,۰۴	۰,۰۲	۰,۲۴	۰,۲۳		
	۳	۱۰۲۱,۷۰	۲,۵۳	۰,۶۱	۰,۶۱	۰,۰۹	۲,۶۲	۰,۰۱
	۴	۲۰۱,۳۰	۳,۵۶	۴,۳۶	۰,۱۲	۱,۳۶		
	۵	۱۵,۱۰	۰,۶۸	۱۱,۱۰	۰,۰۱	۰,۹۲		
	Sum		۱۶۷۶,۶	۶,۸				
Product	۱	۱۶۷۵,۰۰	۶,۷۰	۰,۹۹	۱	۰,۰۰		
	۳	۱,۵۴	۰,۰۵	۸,۰۱	۰	۰,۰۵		
	۴	۰,۴۴	۰,۰۱	۵,۶۱	۰	۰,۰۱	۰,۰۵	۰,۰۱
	۲	۰,۲۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۰	۰,۰۰		
	۵	۰,۱۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰	۰,۰۰		
	Sum		۱۶۷۷,۴	۶,۸				
Gamma 0.7	۱	۱۵۸۵,۷۰	۳,۲۰	۰,۵۰	۰,۹۵	۰,۲۳۸		
	۲	۸۰,۲۰	۲,۹۰	۸,۹۲	۰,۰۵	۲,۹۹۸		
	۳	۹,۱۰	۰,۶۰	۱۶,۲۶	۰,۰۱	۱,۲۶۴	۴,۶۲	۰,۰۶
	۴	۱,۷۰	۰,۰۸	۱۱,۶۱	۰,۰۰	۰,۱۱۴		
	۵	۰,۵۸	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰۰		
	Sum		۱۶۷۷,۳	۶,۸				
Gamma 0.8	۱	۱۳۴۸,۴۰	۱,۶۰	۰,۲۹	۰,۸۰	۰,۴۰۲		
	۲	۲۹۱,۰۰	۲,۴۸	۲,۱۰	۰,۱۷	۰,۲۱۱		
	۳	۳۳,۵۰	۲,۵۰	۱۸,۴۱	۰,۰۲	۶,۰۵۲	۷,۰۹	۰,۰۷
	۴	۳,۳۰	۰,۲۱	۱۵,۷۰	۰,۰۰	۰,۴۲۵		
	۵	۱,۰۰	۰,۰۱	۲,۴۷	۰,۰۰	۰,۰۰۱		
	Sum		۱۶۷۷,۲	۶,۸				
Gamma 0.9	۱	۵۶۶,۶۰	۰,۳۹	۰,۱۷	۰,۳۴	۰,۲۳۳		
	۲	۹۲۷,۰۰	۲,۰۱	۰,۵۳	۰,۵۵	۰,۱۲۰		
	۳	۱۶۴,۲۰	۲,۹۰	۴,۳۶	۰,۱۰	۱,۱۰۳	۵	۰,۰۲
	۴	۱۶,۶۰	۱,۴۰	۲۰,۸۰	۰,۰۱	۳,۸۸۰		
	۵	۲,۶۰	۰,۱۱	۱۰,۴۳	۰,۰۰	۰,۱۳۸		
	Sum		۱۶۷۷	۶,۸				

با توجه به این یافته‌ها، نسبت تراکمی در هر ۵ روش به کار گرفته شده است ضمن تفکیک پذیری خوب، متناسب با افزایش خطر پهنه‌ها رو به فزونی نهاده است. با مدل‌هایی که پهنه بندی خطر زمین لغزش درست انجام شود با افزایش رده خطر، نسبت تراکم هم افزایش پیدا می‌یابد. مقدار شاخص مجموع کیفیت (QS) که مقایسه و ارزیابی روش‌ها را در قیاس با یکدیگر نشان می‌دهد حاکی از آن است که اپراتور فازی گامای ۰/۸ با ۷/۰۹، بالاترین مقدار (QS) را در میان سایر اپراتورهای فازی دارد پس این اپراتور به عنوان اپراتور بهینه در پهنه بندی خطر زمین لغزش منطقه مطالعاتی معرفی می‌شود. پس از آن مقدار شاخص (QS) برای گامای ۰/۹ با مقدار ۵ بالاتر از سایر اپراتورهای فازی می‌باشد. مقادیر جمع کیفی برای اپراتورهای گامای ۰/۷، جمع و ضرب فازی به ترتیب ۴/۶۲، ۲/۶۲ و ۰/۰۵ محاسبه گردید. بنابراین، مناسب

ترین روش همپوشانی منطق فازی در تهیه نقشه خطر زمین لغزش حوضه آبخیز کمه گامای ۰/۸ است. برر سی مقادیر محاسبه شده برای شاخص دقت (P) هم نشان دهنده این نکته است که بیشترین مقدار آن برای اپراتور گامای ۰/۸ به دست آمده است که بیانگر دقت بیشتر این اپراتور نسبت به سایر اپراتورها پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه کمه است. مقادیر نسبت تراکم (Dr) نشان می‌دهد نقشه خطر صحیح تهیه شده است زیرا از رده های خطر کم تا رده های پرخطر، مقدار نسبت تراکم به صورت صعودی می‌باشد.

### – بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا همه نقشه های معیارها شامل شیب و فاصله از گسل، جهت دامنه، کاربری زمین، فاصله از رودخانه، زمین شناسی، بارندگی و... با استفاده از توابع فازی، فازی شدند و به صورت نقشه های فازی در آمدند. عضویت فازی یا میزان وزن نسبی هر رده از هر عامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش های حوضه آبخیز کمه اصفهان با استفاده از مدل نسبت فراوانی محاسبه شد. پایین ترین و بالاترین طبقات ارتفاعی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار عضویت فازی را دارند. عضویت فازی رده های عامل مؤثر شیب نشان می‌دهد که با افزایش شیب، آستانه ناپایداری دامنه افزایش می‌یابد و احتمال وقوع حرکات توده ای مثل زمین لغزش افزایش می‌یابد. بیشترین عضویت فازی بین شیب های ۳۰ تا ۴۰ درجه و کمترین به شیب های ۵ درجه و کمتر از آن اختصاص داده شده است. دامنه ها با جهت شمالی به دلیل برخورداری از بارش و رطوبت، نقش مؤثری در ایجاد حرکات لغزشی منطقه ایفا می‌کنند و مقدار عضویت فازی آن برای منطقه مورد مطالعه نیز ۱ به دست آمد. پهنه هایی که از جنس مارن در ایجاد وقوع زمین لغزش موثرند. عامل مؤثر جاده، نقش بارز خود را بر وقوع زمین لغزش های منطقه با مقادیر عضویت فازی به دست آمده برای رده های مختلف آن، به خوبی نشان می‌دهد؛ رده با فاصله کمتر از ۱۰۰ متر از جاده دارای بیشترین مقدار عضویت فازی بوده و رده با فاصله های بیشتر از ۲۰۰۰ متری از جاده کمترین مقدار عضویت فازی را دارد. تلفیق پهنه های لغزشی در لایه فاصله از آبراهه هم بیانگر این امر است که بیشترین پراکنش زمین لغزش ها در طبقه با فاصله ۰ تا ۱۰۰ متر از آبراهه قرار دارند. کمترین مقدار عضویت فازی هم برای فاصله های بالای ۲۰۰۰ متر از آبراهه به دست آمد. بیشترین مقدار عضویت فازی در بین کاربری ها برای اراضی ترکیبی باغی و زراعی و کمترین مقدار آن برای کاربری اراضی مرتعی، بیرون زدگی سنگی و ساخته شده محاسبه شد. در ارتباط با لایه های فاصله از گسل، بر اساس روش نسبت فراوانی، طبقه با فاصله ۰ تا ۱۰۰ متر دارای بیشترین پهنه های با فواصل بیش از ۲۰۰۰ متر دارای کمترین مقدار تأثیرگذاری در وقوع زمین لغزش حوضه آبخیز کمه استان اصفهان می‌باشند. در مورد لایه بارش نیز کمترین و بیشترین مقدار عضویت فازی منطبق بر پهنه های دارای پایین ترین و بالاترین مقدار بارش در سطح حوضه می‌باشند.

با توجه به مقادیر وزن نسبی محاسبه شده که تقریباً در مورد بیشتر لایه ها ارتباط منطقی میان احتمال وقوع زمین لغزش و مقادیر ارزشی آن ها برقرار است. برای نمونه این ارتباط در مورد لایه های فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه به صورت معکوس بوده یعنی با افزایش فاصله از محل هر عارضه احتمال وقوع لغزش کاهش می‌یابد. در مورد متغیر بارش، با افزایش مقدار بارندگی این احتمال افزایش و رابطه مستقیم دارد. در بحث متغیر شیب رابطه خطی مستقیم تا مقادیری افزایش شیب برقرار است، اما در شیب های بسیار زیاد، احتمال رخداد کاهش می‌یابد. میزان تأثیرگذاری هر متغیر بر وقوع زمین لغزش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی به دست آمد. بدین ترتیب که با توجه به ۱۰ متغیر مؤثر، ماتریس ۹ × ۹ در نرم افزار Expert Choice تشکیل و با توجه به وزن های نسبی محاسبه شده متغیر زمین شناسی با ضریب (۰/۳۲۶) به عنوان مؤثرترین عامل در وقوع پهنه های لغزشی حوضه آبخیز کمه بر اساس نظرات کارشناسی مطرح است متغیر شیب با (۰/۱۹۲) در درجه دوم قرار دارد. پس از آن متغیرهای فاصله از جاده با ضریب (۰/۱۴۷)، کاربری اراضی (۰/۱۱۲)، بارش (۰/۰۹۶)، تراکم آبراهه (۰/۰۶۱)، فاصله از گسل (۰/۰۴۷)، جهت شیب (۰/۰۲۰) و ارتفاع با



ضریب (۰/۱۷) در درجه های بعدی تأثیرگذار بر وقوع زمین لغزش در منطقه مطالعاتی قرار دارند. پس از رسیدن به رابطه و وزن دار کردن هر متغیر بر اساس وزن های نسبی به دست آمده از تحلیل سلسله مراتبی، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز کمه بر اساس پنج اپراتور همپوشانی منطق فازی جمع، ضرب، گاما ۰/۷، گاما ۰/۸ و گاما ۰/۹ تهیه گردید.

نسبت تراکمی در هر ۵ روش به کار گرفته شده، ضمن تفکیک پذیری خوب، متناسب با افزایش خطر پهنه ها رو به فزونی نهاده است. مدل هایی که پهنه بندی خطر زمین لغزش را در دست انجام داشته باشند، با افزایش رده خطر، نسبت تراکم هم افزایش پیدا می کند. با افزایش رده خطر در هر کدام از اپراتورهای همپوشانی و در نتیجه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش، مقدار نسبت تراکم رده ها افزایش نشان می دهند.

مقدار شاخص مجموع کیفیت (QS) که مقایسه و ارزیابی روش ها را در قیاس با یکدیگر نشان می دهد که اپراتور فازی گامای ۰/۸ با ۷/۰۹، بالاترین مقدار QS را در میان سایر اپراتورهای فازی دارد؛ پس این اپراتور به عنوان اپراتور بهینه در پهنه بندی خطر زمین لغزش منطقه مطالعاتی معرفی می شود. پس از آن مقدار شاخص QS برای گامای ۰/۹ با مقدار ۵ بالاتر از سایر اپراتورهای فازی می باشد. مقادیر جمع کیفی برای اپراتورهای گامای ۰/۹، جمع و ضرب فازی کمتر از دو روش ذکر شده است. بنابراین، مناسب ترین روش همپوشانی منطق فازی در تهیه نقشه خطر زمین لغزش حوضه آبخیز کمه گامای ۰/۸ است.

## منابع

- اشقلی فراهانی، عقیل؛ ۱۳۸۰، ارزیابی خطر ناپایداری دامنه های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم تهران، استاد راهنما، سید محمود فاطمی عقدا.
- اصغر پور، محمد جواد؛ ۱۳۸۸، تصمیم گیری های چند معیاره، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۳۱۹
- اکبر، سمیه؛ رنجبر، حجت الله؛ کرمی نسب، سعید؛ عبدالملکی، مهدی. (۱۳۹۲). ارزیابی خطر زمین لغزش به کمک مدل فازی دانش مبنا و روش ترکیبی فازی- اوزان شاهد در منطقه مسکون جیرفت، فصل نامه زمین شناسی مهندسی. دانشگاه خوارزمی. دوره ۷. شماره ۱.
- امین عطایی، رضا، ۱۳۹۳، پهنه بندی و پیش بینی وقوع زمین لغزش با استفاده از GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه گیلان، استاد راهنما امیر هوشنگ نظامیوند چگینی
- ایرانمنش، حسین، ۱۳۷۴، گزارش مقدماتی زمین لغزش روستای باریکان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- بهنیافر، ابوالفضل؛ قنبرزاده، هادی؛ منصوری دانشور، محمد رضا؛ پهنه بندی خطر زمین لغزش و ناپایداری به روش های AHP و احتمال، مجله علمی - پژوهشی فضای جغرافیا، سال ۱۳۸۸، شماره ۲۷: ۵۵-۷۸
- حسین زاده، محمد مهدی؛ ثروتی، محمد رضا؛ منصور عیسی؛ میرباقری، بابک؛ و خضری، سعید (۱۳۸۸). پهنه بندی ریسک وقوع حرکات توده ای با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، فصلنامه زمین شناسی ایران، سال سوم، ۱۱: ۲۷-۳۷.
- حق شناس، ابراهیم، ۱۳۷۴، پهنه بندی خطر زمین لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در حوضه آبخیز طالقان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۵۶.
- خواجه شاهکوهی، علیرضا، داودی، محمود، حسام، مهدی، ۱۳۹۳، مدل سازی فضایی و تصمیم گیری چندمعیاره، انتشارات دانشگاه گلستان، ۳۰۸.
- جلالی، نادر، ۱۳۷۹، ارزیابی تعدادی از روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه طالقان، گزارش نهایی طرح، تحقیقاتی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

- رجایی، عبدالحمید، ۱۳۸۲، کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه ریزی شهری و روستایی، انتشارات سمت، تهران، چاپ اول.
- سازمان جهاد کشاورزی ۱۳۸۳، سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور، گروه برر سی زمین لغزش ها، گزارش بانک اطلاعاتی زمین لغزش های کشور
- سازمان زمین شناسی کشور نقشه های ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی استان اصفهان
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح نقشه های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی استان اصفهان
- شادفر، صمد، ۱۳۸۴، پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، مطالعه موردی حوضه آبخیز چالکرو، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۵: ۱۱۸-۱۲۶.
- فاطمی عقدا، سید محمود؛ غیومیان، جعفر؛ تشنه لب، محمد؛ اشقی فراهانی، عقیل، ۱۳۸۴، بررسی خطر زمین لغزش با استفاده از سیستم فازی در منطقه رودبار، مجله علوم دانشگاه تهران. جلد ۳۱. شماره ۱. صفحات ۶۴-۴۳.
- عبادتی نژاد، سیدعلی و همکاران، ۱۳۸۶، ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین لغزش در حوضه آبخیز شیرو، مجله علمی پژوهشی علوم مهندسی آبخیز داری، سال ۱، شماره ۲، صص ۳۹-۴۴
- محمدخان، شیرین (۱۳۸۰). ساخت مدل منطقه ای خطر حرکات توده ای با استفاده از ویژگی های کیفی، تحلیل سلسله مراتبی AHP سیستم ها، مطالعه موردی حوضه آبخیز طالقان، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران، صص ۴۳-۴۴.
- کمک پناه، علی، منتظرالقائم، سعید، چندی، امیرجعفر، ۱۳۷۳، پهنه بندی خطرزمین لغزش در ایران، زمین لغزه و مروری بر زمین لغزه های ایران (جلد اول)، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
- متکان، علی اکبر و همکاران، ۱۳۸۸، مدل های منطق فازی و سنجش از دور جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز لاجیم، نشریه زمین شناسی ژئوتکنیک (زمین شناسی کاربردی)، دوره ۵، شماره ۴، صص ۳۲۵-۳۱۸
- مرکز تحقیقات آبخیزداری و حفاظت خاک کشور (۱۳۸۰). پروژه شیوه های تثبیت زمین لغزش ها.
- نادری، فتح الله، ۱۳۹۱، کاربرد منطق فازی در پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چرداول ایلام، پژوهش های آبخیزداری، شماره ۹۴، صص ۸۵-۷۴
- نوجوان، محمد. رضا، حیاتی، غ.، ۱۳۹۲، پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز سیاه خور اسلام آباد غرب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیایی سرزمین، دوره ۱۰، شماره ۲ (پیاپی ۳۸)، صفحه ۹۲-۸۱
- Ayalew, L. and H. Ymagishi. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakud-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65: 15-3
- Bednarik, M. et al. (2010). Landslide susceptibility Assessment of the kral ovany-liptovsky mikulas Railway case study, *physics and chemistry of the Earth*: PP.311-331.
- Dai, F.C., Lee, C.f., and Ngai, Y.Y., (2002). Landslide risk assessment and management: an overview, *Engineering Geology*, 64: 65-87.
- Lan, H.X., C.H. Zhou, L.J. Wang and H.J. Zhang. 2004. *Landslide watershed, Yunnan, China. Engineering Geology*, 76: 101-128.
- Lee, S., and pradhan, B., (2007). Landslide hazard mapping at Selangor Malaysia using frequency ratio and logistic regression models, *Landslide*, 4: 33-41.
- Zongji, Y., et al., 2010, *Regional Landslide Zonation Based on Entropy Method in Three Gorges -Area, China, Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, (FSKD 2010)*.