پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال هفتم، شماره ۴، بهار ۱۳۹۸
صص. ۱۵۹-۱۴۲

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 الرعایایی- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۰۲ تائید 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 زمین‌لغزش‌های 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 زمین‌لغزش 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 زمین‌لغزش 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 زمین‌لغزش 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، زمین‌لغزش، حوضه آبخیز کمه، منطق فازی.

---

* نویسنده مسئول: E-mail: shahzeidi2012@yahoo.com

مقدمه

زمین‌لغزش 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[۱]، ۲۰۰۴؛ ۱۱۱). با تهیه و بررسی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌توان زمینه های 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 زمین‌لغزش‌ها در این حوضه نشان می دهد که زمین‌لغزش‌های زیادی رخ داده است و از دامنه‌های ناپایداری دارای پتانسیل بالایی هستند. پژوهش حاضر بر آن است تا به بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش 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 زمین‌لغزش با مدل‌های ذکر شده، از دو روش مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P) جهت تعیین مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای منطقه استفاده می‌شود. در ارتباط با پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها و حرکات توده‌ای تاکنون در مجامع علمی بین المللی مطالعات زیادی با روش‌های مختلف انجام شده است اما در ایران پژوهش های مربوط به پهنه بندی خطر زمین لغزش و مدل سازی جوان و نوپا است (کمک پناه و همکاران، ۱۳۷۳) و می توان 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 دامنه ای 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 روش ها و مدل های 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 مدل های واسنجی شده در اختیار قرار می دهد و به این نتیجه رسید روش آماری دو متغیره با شرایط وقوع زمین لغزش ها تطبیق دارد. اشقلی فراهانی ۱۳۸۰ ارزیابی خطر ناپایداری دامنه های 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 می باشند، به وسیله GIS و نرم افزار ILWIS و همچنین روش های آماری اقدام به پهنه بندی زمین لغزش نمود. محمد خان۱۳۸۰، به پهنه بندی خطر حرکات توده ای 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 منطقهٔ رودبار پرداختند و نتایج به‌دست‌آمده از منطقهٔ مورد مطالعه را به‌صورت نقشهٔ پتانسیل خطر زمین تهیه و ارائه دادند. نقشه‌های ارائه شده شامل نقشه‌های خطر لغزش‌های خاکی و سنگی و ریزش و... است و نتایج به‌دست‌آمده بیانگر وقوع ۶۸/۳۰ درصد از خطرات زمین در سطحی برابر با ۴۴/۷۹ درصد بوده و تراکم آن در

[۱]. Lan et al

رده‌های با خطر بسیار بیشتر از مقدار آن در رده‌های خطر پایین است. بهنیافر و همکاران ۱۳۸۵ در مطالعه حوضه آبریز رودخانه گنگ در دامنه های 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 پژوهش های دیگر مرتبط با موضوع مورد مطالعه را می توان به شادفر ۱۳۸۴ ، در استفاده از اپراتورهای منطق فازی برای پهنه بندی زمین لغزش حوضه آبخیز چالکرود و ارزیابی صحت نقشه ها با نمایه جمع کیفی و عبادتی نژاد و همکاران ۱۳۸۶ ، به ارزیابی کارایی اپراتورهای منطق فازی در تعیین زمین لغزش در حوضه آبخیز شیرود و تعیین اپراتور فازی گامای ۰/۸ به عنوان مناسب ترین اپراتور در تعیین خطر زمین لغزش، متکان و همکاران، ۱۳۸۸، پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز لاجیم با استفاده از مدل های منطق فازی و سنجش از دور و تعیین مدل گامای ۰/۷ فازی و مدل میانگین وزنی مرتب شده فازی به عنوان مناسب ترین 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[۱]، ۲۰۱۰، با استفاده از توزیع دو متغییره 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[۲]، ۲۰۱۰ در پژوهشی با استفاده از مدل آنتروپی به پهنه‌بندی منطقه زمین‌لغزش 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 ۱۳۹۰به 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 ترانشه ها و مرز گسلیده دامنه های لغزشی حوضه رودبار گردید. لایه های اطلاعاتی شامل: جهت و درجه شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارندگی، تغییرات نسبی ارتفاع و فاصله از شبکه راه ها و آبراهه ها و گسل ها در محیط GIS جهت تهیه نقشه های وزنی استفاده شد. سپس برای تجزیه و تحلیل داده ها 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 دامنه ها 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 نسبی 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 پژوهش های داخلی دیگر مرتبط با موضوع مورد مطالعه در بررسی حاضر می باشند. اکبر و همکاران ۱۳۹۲، در پژوهش خود با هدف ارزیابی خطر زمین‌لغزش به کمک مدل فازی دانش مبنا و روش ترکیبی فازی- اوزان شاهد در منطقهٔ مسکونِ 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؛ درنتیجه مناطق معرفی‌شده نسبت‌به 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 لغزش های رخ داده در این منطقه بوده تا بتواند گامی در جهت مرتفع نمودن مشکلات احتمالی در اثر وقوع این پدیده بر دارد.

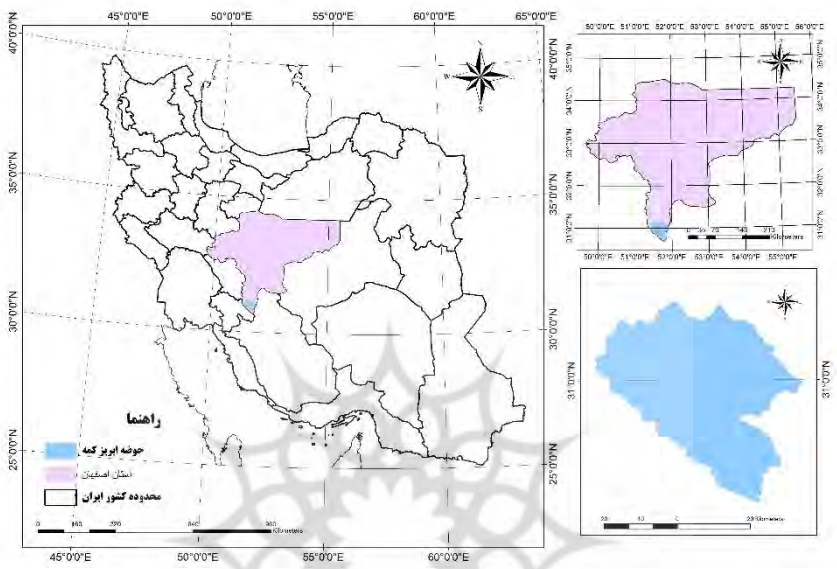
- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، طبق نامگذاری جاماب در واحد هیدرولوژیک ۲۳۱۴ به نام کمه در حد فاصل ۴۲ ۳۰ تا ۱۱ ۳۱ درجه عرض شمالی و ۲۱ ۵۱ تا ۵۶ ۵۱ درجه طول شرقی در جنوب استان اصفهان و در مرز با

[۱]. Bednarik,M. et al

[۲]. Zongji, Y. et al

ا ستان‌های فارس و کهکیلویه و بویراحمد قرار داردکه از نظر تق سیمات سیا سی ق سمتی از شهر ستان سمیرم را در بر می‌گیرد (شکل۱). حوضه کمه درکوهپایه‌های شرقی کوهستان دنا قرار گرفته است و منطقه‌ای سردسیر می‌باشد (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح) . مهمترین منطقه مسکونی واقع در حوضه، شهر کمه دربخش پادنای شهرستان سمیرم است. این منطقه از لحاظ خدمات و ضعیت تقریباً م ساعد و به تمام نقاط رو ستایی ده ستان پادنای و سطی به جز خفر و خینه خدمات ارائه می دهد.



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 شـده اسـت. لایه های اطلاعاتی از قبیل شـیب، توپوگرافی، پوشـش گیاهی، نقشـه ارتفاعی، کاربری ارا ضی و هنق شه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰، نق شه‌های‌زمین شنا سی ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰ و همچنین مدل ارتفاعی رقومی ایران[1] کامل گردید. این منابع اطلاعاتی به عنوان ابزار اصلی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند و از نرم‌افزار ۱۰/۳ ArcGis برای تجز یه و تحلیل داده ها اسـتفاده گرد ید. همچنین با عکس های هوایی و گو گل ارث زمین لغزش‌های منطقه شناسایی شد. سپس بازدید میدانی برای کنترل لایه‌های اطلاعاتی داده‌های سطح زمین اقدام گردید پس از جمع آوری داده ها ، تمام لایه های مورد استفاده در پهنه بندی زمین لغزش به صورت رستری تبدیل گردید. لایه های ارتفاع، شیب و جهت شیب خود رستر بوده و فقط در محیط ArcMap فازی سازی شدند. لایه فرم دامنه بر مبنای محدب، مقعر و م ستقیم بودن آن طبقه بندی می شود و تهیه آن با ا ستفاده از تابع Curvature صورت می گیرد. در طبقه بندی لایه زمین شناسی از جنس سنگ و یا واحدهای سنگ شناسی منطقه و در لایه کاربری اراضی از نوع کاربری استفاده گردید. از آن جایی که این لایه ها به صورت رقومی بوده ابتدا بر مبنای موارد ذکر شده در طبقه بندی، 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 پو شش گیاهی نیز بر مبنای در صد تراکم طبقه بندی می شود. لایه میزان بارش منطقه با ا ستفاده از روش کریجینگ و آمار ایستگاه های باران سنجی واقع در حوضه کمه تهیه شد. در ارتباط با لایه های جاده و گسل باید گفت چون این لایه ها به صورت خطی هستند، ابتدا نیاز است از تابع Distance بر مبنای حداکثر فاصله استفاده شود. با این تابع لایه های رسـتر به دسـت خواهد آمد که فاصـله از هر کدام از متغیرها را تا مرز محدوده مورد مطالعه نشـان

1 -Digital Elevation Model

خواهد داد. در ادامه بر ا ساس این فا صله ها، طبقه بندی لایه های مذکور نیز انجام خواهد گرفت. جهت ا ستفاده از لایه آبراهه، از تراکم آبراهه (متر) در واحد سطح (کیلومتر مربع) ا ستفاده می شود. با ا ستفاده از تابع Density این لایه به صورت ر ستر درآمده که تراکم آبراهه را در واحد سطح ن شان داده و طبقه بندی این لایه ر ستری نیز بر مبنای تراکم به دست آمده ، انجام گرفت. در نهایت لایه پهنه های زمین لغزش با استفاده از همپوشانی تمامی لایه‌های فازی‌سازی 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 منا سب ترین اپراتور برای تهیه نق شه خطر زمین لغزش در منطقه مطالعاتی می پردازد. روش شنا سی این پژوهش م شتمل بر چهار بخش ا ست؛ در ابتدا نقاط زمین لغزش ثبت شده از حو ضه آبخیز کمه به پهنه های لغز شی تبدیل می شوند. در بخش دوم، متغیرهای مؤثر (متغیر مستقل) در وقوع پدیده زمین لغزش (متغیر وابسته) شناسایی شده و با ا ستفاده از روش ن سبت فراوانی[1]، میزان وزن ن سبی هر طبقه از هر متغییر جهت ا ستفاده از آن‌ها در تهیه نق شه های پهنه بندی خطر محا سبه می گردد. که در این رابطه FR ن سبت فراوانی، A در صد پیک سل های لغز شی 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 آن ها 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 همپو شانی مدل ها بر مبنای تحلیل ر ستر 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 تلاقی نق شه پراکنش زمین لغزش های حو ضه آبخیز و نق شه 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 منا سب منطبق با منطقه مورد برر سی انتخاب می شود و برای برر سی 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 ریا ضی برای مدل سازی و صورت بندی ریا ضی ابهام و عدم دقت موجود در فرآیندهای شناختی انسانی، ابزارهای بسیار کارآمد و مفیدی به شمار می آیند. این نظریه که نخستین بار توسط پروفسور 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 ا ست. برای تعیین ارتباط زمین لغزش‌ها با عوامل مؤثر در وقوع آن و نیز تهیه نق شه پهنه بندی خطر زمین لغزش با ا ستفاده از منطق فازی، نق شه های عوامل مؤثر با نق شه پراکنش زمین لغزش‌ها تلفیق می شود. به این ترتیب تعداد زمین لغزش در هرکدام از معیارها بدست می آید.

[1] – Frequency Ratio

لایه های به د ست آمده برای هر معیار بر ا ساس پتانسیل وقوع زمین لغزش، فازی سازی شدند. جهت فازی سازی از فرمول های زیر در حالت‌های 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 وزنِ معیارها از مدل AHP استفاده می‌شود؛ در این پژوهش نیز مدل AHP جهت وزن دهی به معیارها به کار برده شـــده اســـت. برای وزن‌دهی به معیارها از منابع موجود و نظرات ۱۰ نفر از کارشناسان، به صورت توامان استفاده شد. جهت نظرسنجی کارشناسان، پرسشنامه‌های محقق ساخته بر اساس اصول AHP تهیه و برای کارشناسان ارسال شد. میزان روایی پرسشنامه‌های AHP از شاخص نرخ ناسازگاری سنجیده می شود که مقدار آن باید کمتر از ۰/۱ با شد (خواجه شاهکوهی و همکاران، ۱۳۹۳، ۱۱۵)؛ در این پژوهش نیز میزان روایی پرسشنامه‌ها 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 تلاقی نقشـه پراکنش زمین لغزش های حوضـه و نقشـه های پهنه بندی خطر در محیط ArcGIS، به ارزیابی و مقایســه روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش با اســتفاده از روش مجموع کیفیت (Qs) ودقت (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 نقشه‌های 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 Si = مجموع مساحت زمین لغزش های واقع در هر رده خطر؛ Ai = مساحت iامین رده خطر در یک نقشه پهنه بندی؛ و n = تعداد رده های خطر می باشد.

رابطه ۲

$$Dr = \frac{\frac{Si}{Ai}}{\frac{\sum_{i}^{n} Si}{\sum_{f}^{n} Ai}}$$

تراکم زمین لغزش در نقشه های خطری که به طور صحیح تهیه شده اند، از رده های خطر کم تا رده های 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 رده های خطر به وسیله شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، روش (نقشه) دارای دقت بیشتری می باشد. 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 = مجموع کیفیت؛Dr = نسبت تراکم؛S = نسبت مساحت خطر به مساحت کل منطقه وn = تعداد کلاس خطر می باشد.

رابطه ۳

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

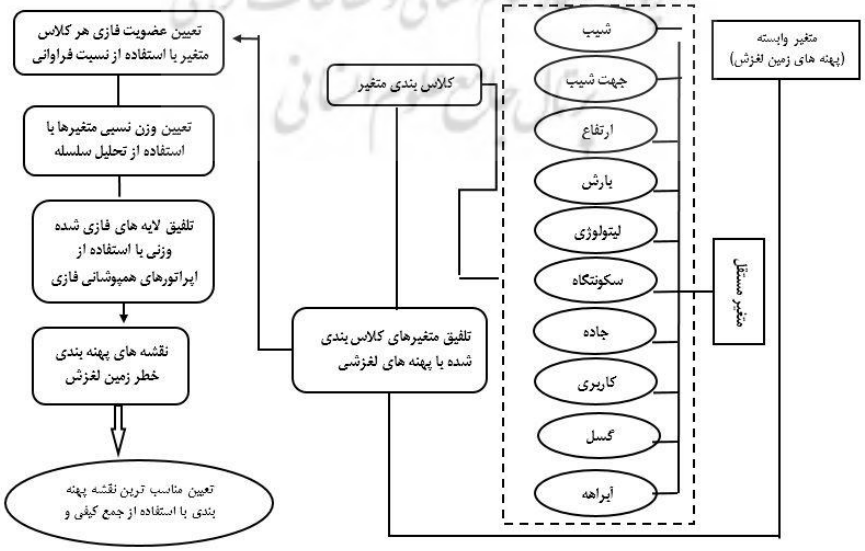
معمولاً مقدار این شاخص برای روش های مختلف در گستره صفر تا ۷ قرار می گیرد. البته از بعد نظری حدی برای آن وجود ندارد. اختلاف بین مقادیر Qs، کمتر از ۰/۱ در نظر گرفته می شود و مقادیر با اختلاف کمتر از این مقدار تقریباً یکسان لحاظ می‌گردند؛ در واقع Qs از جنس واریانس می باشد. انحراف مقادیر Dr از میانگین در پهنه های مختلف اگر به هم نزدیک باشند، نشان‌دهنده آن است که تراکم زمین لغزش ها در کلاس های مختلف نزدیک به یکدیگر بوده و مقدار Qs نیز پایین می باشد و اگر انحراف مقادیر Dr از میانگین در پهنه‌های مختلف زیاد باشد، نشان دهنده آن است که تراکم زمین لغزش ها با یکدیگر تفاوت داشته و در نتیجه مقدار عددی Qs بزرگ می‌گردد. بنابراین در ارزیابی روش ها، 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 پهنه های خطر بالا و خیلی بالا به مساحت کل آن پهنه ها که از رابطه ۳ به دست می آید. که P = دقت روش در پهنه های دارای خطر متوسط به بالا؛KS = مساحت سطح لغزش یافته در پهنه های دارای خطر متوسط به بالا وS = مساحت پهنه های خطر مرتبط است.

رابطه ۴

$$P = KS/S$$

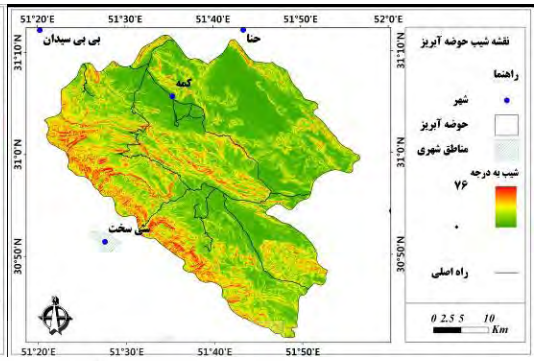


شکل ۲ : فرآیند تحقیق

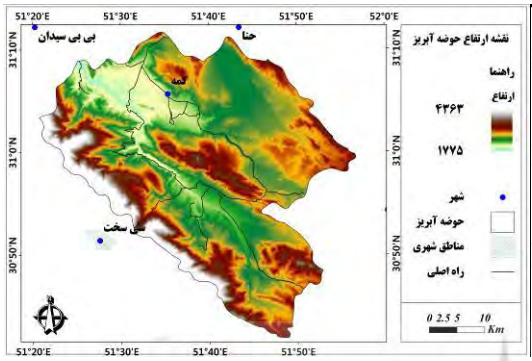
هدف از این پژوهش پهنه بندی حوضه آبریز کمه از لحاظ پتانسیل وقوع زمین لغزش و همچنین مشخص کردن میزان نقش هر یک از متغیرها در وقوع زمین لغزش است.

- یافته‌های تحقیق

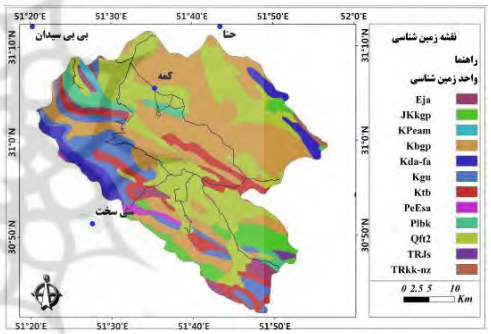
شناخت عوامل موثر بر زمین لغزش و پهنه بندی آن در مناطق مختلف بـ سیار ضروری می با شد و عواملی چون ارتفاع، شیب ، جهت شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده ،کاربری اراضی و جهت دامنه، فاصله از گسل و زمین شناسی ، دما و بارش به عنوان عوامل موثر در منطقه شنا سایی گردید (شکل ۳ تا ۱۱) و سپس با ا ستفاده از توابع عـضویت فازی به صورت نقشه های فازی در امدند.



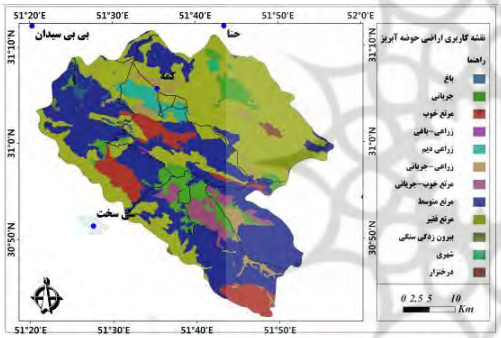
شکل ۳: نقشه طبقات ارتفاعی حوضه آبخیز کمه



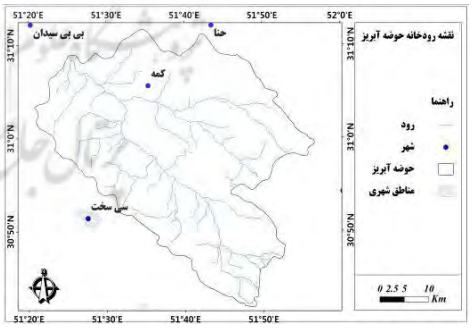
شکل ۴ : نقشه طبقات شیب حوضه آبخیز کمه



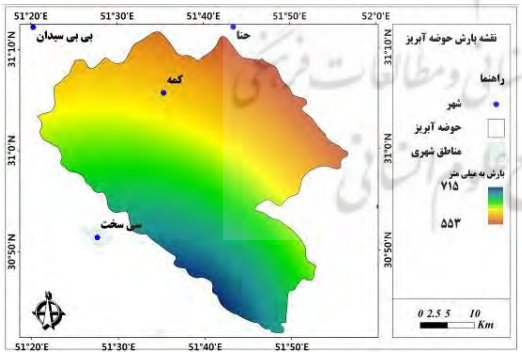
شکل ۵ : نقشه زمین شناسی حوضه آبخیز کمه



شکل ۶ : نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز کمه

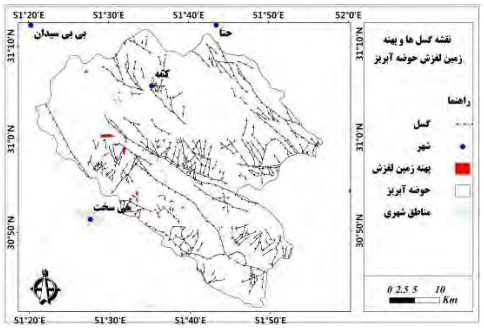


شکل ۷ : نقشه رودخانه های حوضه آبخیز کمه



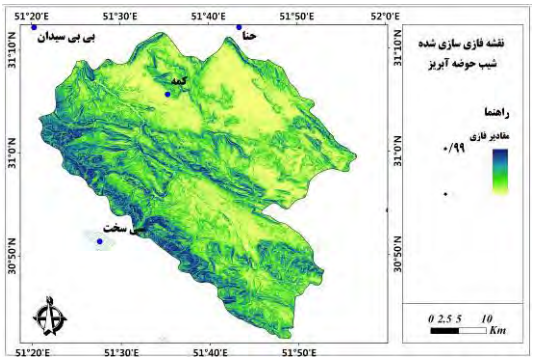
شکل ۸: نقشه همبارش حوضه آبخیز کمه

شکل ۹ : نقشه جاده حوضه آبخیز کمه

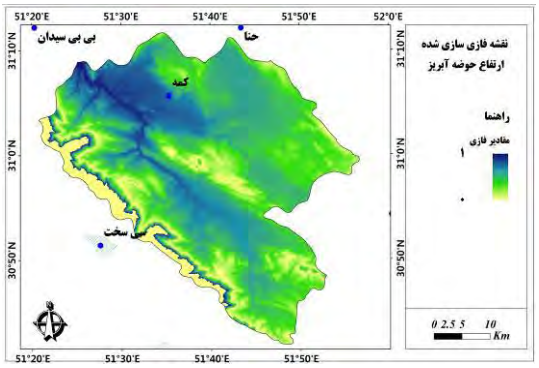


شکل ۱۰: نقشه گسل های حوضه آبخیز کمه

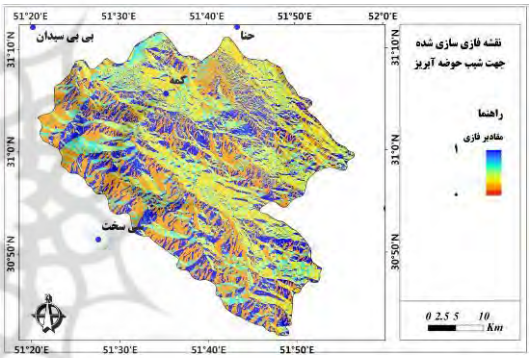
پس از جمع آوری داده ها، لایه های در پهنه بندی زمین لغزش به رستر تبدیل شده و سپس طبقه بندی و لایه ها تلفیق شد. هدف مشخص شدن میزان نقش هر یک از طبقات متغیرها در وقوع زمین لغزش ها است. با استفاده از رابطه نسبت فراوانی (رابطه ۴) وزن هر یک از طبقات محاسبه می گردد. لازم به ذکر است که تحلیل رستری همه متغیرهای مورد استفاده در قالب شبکه سلول های با ابعاد ۳۰ متری انجام گرفت (شکل ۱۲ تا ۲۱).



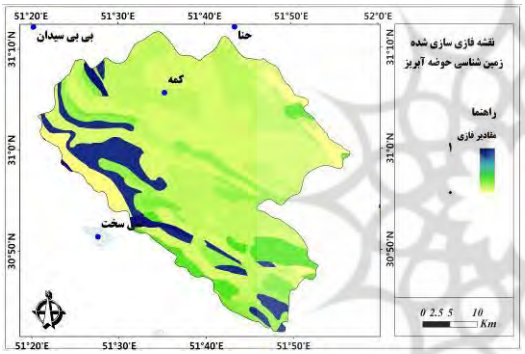
شکل ۱۱ : نقشه فازی شده متغیر شیب



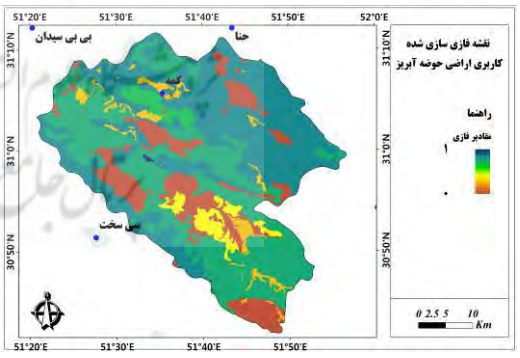
شکل ۱۲ : نقشه عضویت فازی طبقات متغیر ارتفاع



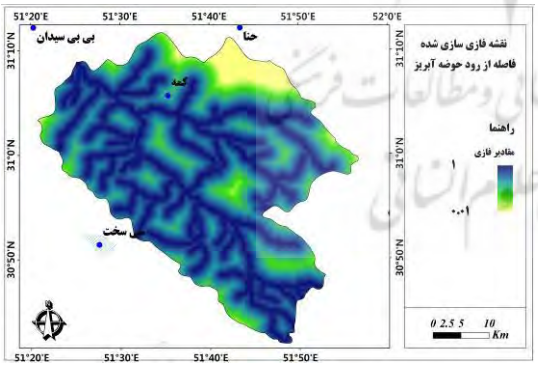
شکل ۱۳ : نقشه فازی شده متغیر جهت دامنه



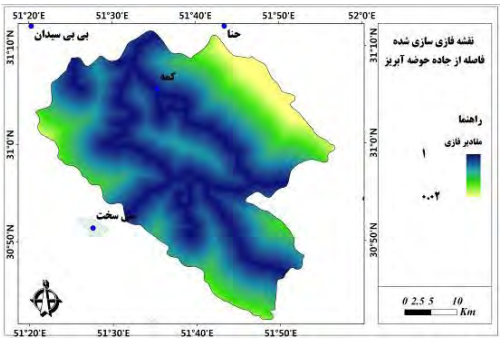
شکل ۱۴ : فازی شده متغیر زمین شناسی



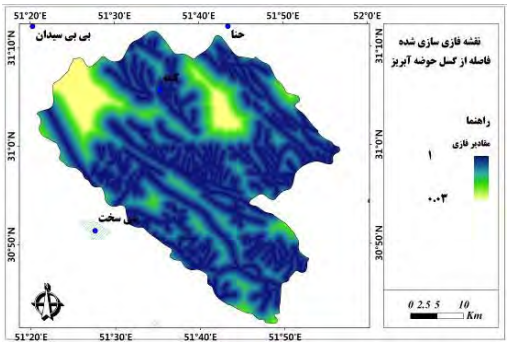
شکل ۱۵ : نقشه فازی شده متغیر کاربری اراضی



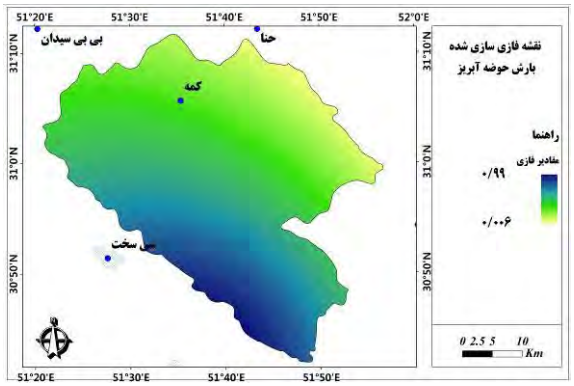
شکل ۱۶: نقشه فازی شده متغیر فاصله از آبراهه



شکل ۱۷ : نقشه فازی شده متغیر فاصله از جاده



شکل ۱۸: نقشه فازی شده متغیر فاصله از گسل



شکل ۱۹ : نقشه فازی شده متغیر بارش

متغیر ارتفاع

این عامل، جهت رواناب‌ها و میزان تراکم شبکه زهکشی را کنترل می‌کند و در میزان رطوبت خاک و شیب دامنه‌ها تأثیر دارد. ارتفاع منطقه مورد مطالعه دامنه‌ای از ۱۷۷۵ تا ۴۳۶۶ متر را شامل می شود. بر اساس عضویت فازی محاسبه شده از تلفیق طبقات این عامل با پهنه‌های لغز شی منطقه، پایین‌ترین طبقه ارتفاعی ۱۷۷۵ تا۲۰۰۰ 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 می‌توان انتظار دا شت که احتمال وقوع زمین لغزش‌ها در پهنه‌های با ارتفاع پایین بی شتر باشد؛ اگر بخواهیم به صورت ترکیبی دو متغییر 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 مرفولوژی دامنه ها تأثیر زیادی در وقوع پدیده زمین لغزش دارد(دای و همکاران[۱]، ۲۰۰۲). بیشترین مقدار عضویت فازی در طبقه شیب ۳۰ تا ۴۰درجه (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 دا شته ا ست. بنابراین با افزایش شیب منطقه، احتمال وقوع زمین لغزش نیز افزایش می‌یابد. البته باید به این نکته اشاره نمود که در شیب های بالای ۴۰ درجه، عضویت فازی پهنه ها کاهش و به ۰/۶۴می ر سد و نشان می‌دهد در شیب‌های خیلی بالا، به دلیل عدم امکان تشکیل خاک و ناپایداری رسوبات احتمال وقوع زمین لغزش کاهش می‌یابد.

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 صو صاً در دامنه برف گیر) صورت می‌گیرد، بین توزیع فراوانی ناپایداری های دامنه ای و جهت دامنه ارتباط معنی داری برقرار می‌گردد. در حالت کلی، دامنه های شمالی و غربی به دلیل برخورداری از برف و رطوبت، نقش مؤثری در ایجاد حرکات توده ای ایفا می‌کنند. بر اساس آن، دامنه های شمالی با مقدار ۱، دامنه های شمال غربی با مقدار ۰/۹۱ و دامنه های جنوب شرقی با ۰/۶۹بی شترین و دامنه های شرقی و شمال شرقی با اعداد به ترتیب ۰/۱۸و ۰/۱۹کمترین مقدار عضویت یا تأثیرگذاری در وقوع زمین لغزش ها را دارا می باشند.

---

[۱] . 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 شنا سی هر ناحیه نقش مهمی در گ سترش پهنه‌های لغز شی 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 حو ضه می‌با شد. این واحد متعلق به سازند ساچون و شامل مارن های قرمز،آهک، ژیپس و دولومیت است. مارن یکی از حساس‌ترین سازندهای زمین شناسی نسبت به وقوع حرکات توده‌ای به ویژه زمین لغزش می‌باشد که گسترش آن در هرمکانی با وقوع زمین لغزش همراه است. در واقع، مارن‌ها ر سوبات ریزدانه، منف صل و ح ساس به انواع فر سایش و حرکات توده‌ای می‌با شند. پس ازآن، سیلت ستون‌های هوازده با عضویت فازی ۰/۵۱و شیل و مارن خاکستری مایل به آبی سازندگورپی با ۰/۴۱دومین و سومین واحد لیتولوژی تأثیرگذار در رخداد لغزشی منطقه است.

متغیر کاربری اراضی

نوع کاربری ارا ضی و فعالیت های ان سانی نقش تعیین کننده درتغییرات محیطی دارند. در ب سیاری از موارد مکان گزینی این کاربری ها نامناسب بوده و باعث ایجاد نابسامانی و اختلال در اکوسیستم های طبیعی می شود (حسین زاده و همکاران، ۱۳۸۸). علت این که پهنه هایی با کاربری ترکیبی زراعی و باغی بیشترین تأثیرگذاری را بر وقوع پهنه های لغز شی در منطقه دارند می تواند به دخالت فعالیت های ان سانی در محدوده این کاربری ها و فر سایش نا شی از آن با شد زیرا در این پهنه ها شرایط تشکیل خاک های نرم و سست فراهم است و دستکاری غیراصولی می‌تواند منجر به ناپایداری دامنه ها شود. این در حالی است که در اراضی با پوشش مرتعی، بیرون زدگی های سنگی و نواحی ساخته شده با توجه به وضعیت پوشش سطحی زمین، احتمال وقوع زمین لغزش در حوضه کمه به صفر نزدیک می باشد.

متغیر فاصله از آبراهه

آبراهه ها به دلیل وجود زهک شی آب و دیوارهای پر شیب معمولاً دارای لغزش بی شتری ه ستند. در حو ضه آبخیز کمه، تلفیق پهنه های لغز شی با لایه فا صله از آبراهه بیان می کند که بی‌شترین پراکنش زمین لغزش ها و در نتیجه بی‌شترین مقدار عضویت فازی در طبقه ۰ تا ۱۰۰ متر از آبراهه های سطح حوضه قرار دارند و نشان می دهد که پهنه های نزدیک به مسیر آب های جاری دارای پتانسیل بالایی برای وقوع زمین لغزش می با شند. با توجه به عضویت های فازی بد ست آمده برای سایر طبقات فا صله از آبراهه هم بیانگر این مو ضوع می با شد که تقریباً با افزایش فا صله از م سیر آب های جاری در سطح حوضه، مقدار عضویت فازی طبقه کاهش پیدا می کند؛ 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 با شد می توان شاهد تعدد وقوع حرکات توده ای به خصوص وقوع لغزش ها بود. عوامل تکتونیکی به طور م ستقیم و غیرم ستقیم باعث ناپایداری دامنه ها و لغزش می گردند (رجایی، ۱۳۸۲). خطر زمین لغزش در نواحی که فا صله کمتری از گ سل دارند بی شتر می با شد. در حو ضه آبخیز کمه تلفیق پهنه های لغزشی اتفاق افتاده با متغیر فاصله از گسل بیانگر این واقعیت است که تأثیرگذاری گسل‌ها در وقوع پهنه های لغزشی حوضه آبخیز کمه تابع فاصله از این متغیر بوده و در بیشتر بخش های حوضه می توان وقوع لغزش ها را در امتداد گسل های منطقه مشاهده کرد.

متغیر بارش

بارش های جوی به شکل برف یا باران در وقوع حرکت های توده ای نقش دارند؛ شناخت ویژگی بارندگی از اهمیت خاصی برخوردار است. وجود شرایط ذاتی مستعد برای وقوع زمین لغزش مانند جنس مصالح باعث می گردد تا با افزایش

میزان بارندگی و رطوبت امکان وقوع زمین لغزش افزایش یابد. بارندگی حوضـــه 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.

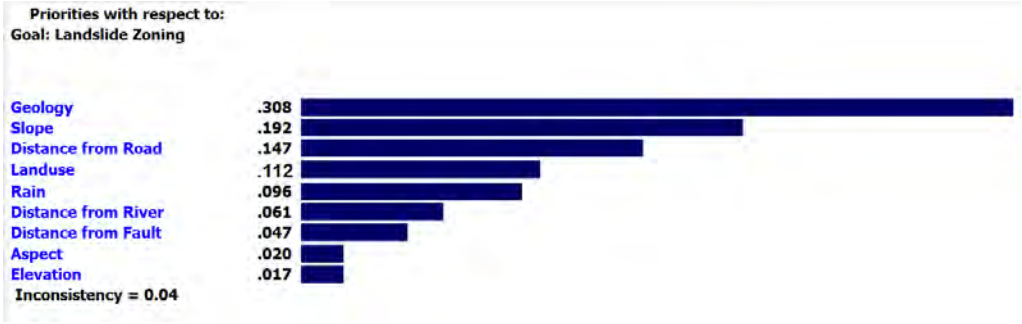
جدول ۱ : رده های عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش با بیشترین و کمترین مقدار عضویت فازی

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 ۴۰درجه	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 حوضـه کمه محاسـبه شـد، تهیه نقشـه خطر زمین لغزش در منطقه مطالعاتی با استفاده از اپراتورهای جمع، ضرب، گامای ۰/۷، گامای۰/۸ و گامای ۰/۹ ، انجام گرفت. جهت اسـتفاده از این اپراتورها، وزن نسـبی با اسـتفاده از تحلیل سـلسـله مراتبی به دسـت آمد. با توجه به ۹متغیر مؤثر، ماتریســی به ابعاد ۹× ۹ در محیط نرم افزاری Expert Choice تشـکیل شـد. سـپس با اسـتفاده 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

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



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 هریک 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.

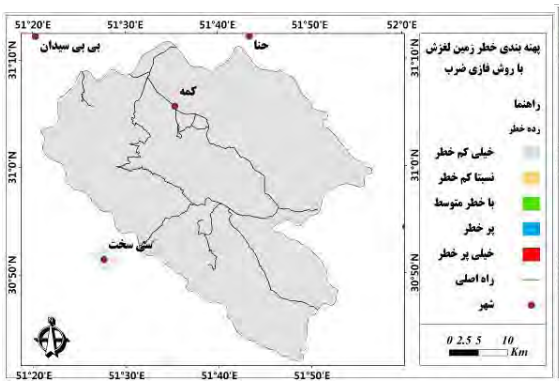
رابطه ۵

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

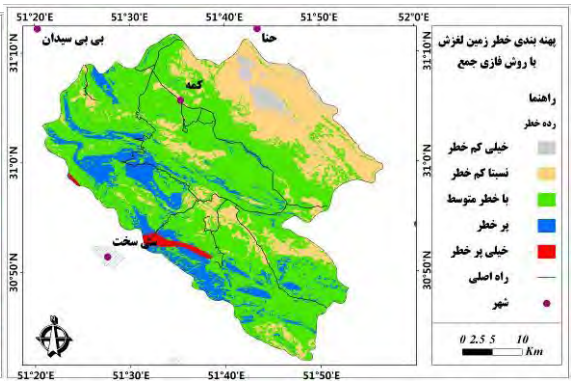
پس از وزن دار کردن هر متغیر بر ا ساس وزن های ن سبی بد ست آمده از تحلیل سل سله مراتبی، نق شه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز کمه بر اساس سه اپراتور همپوشانی منطق فازی تهیه گردید. شکل های ۲۱ تا ۲۵ نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش را در حوضه آبخیز کمه نشان می دهند. نقشه های پهنه بندی در پنج رده تهیه شده اند. در جدول ۳ مساحت و درصد مساحت پنج رده خطر ارائه شده است.

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

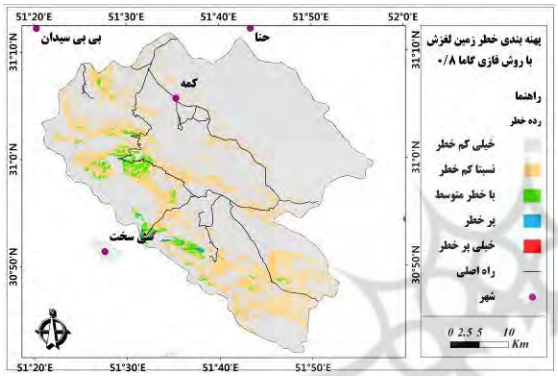
طبقه خطر	جمع فازی		ضرب فازی		گاما ۰/۷		گاما ۰/۸		گاما ۰/۹	
	مساحت کیلومترمربع	درصد مساحت	مساحت کیلومترمربع	درصد مساحت	مساحت کیلومترمربع	درصد مساحت	مساحت کیلومترمربع	درصد مساحت	مساحت کیلومترمربع	درصد مساحت
خیلی‌کم خطر	۳۵,۵۰	۲,۱۲	۱۶۷۵,۰۰	۹۹,۸۶	۱۵۸۵,۷۰	۹۴,۵۴	۱۳۴۸,۴۰	۸۰,۴۰	۵۶۶,۶۰	۳۳,۷۹
نسبتاً کم خطر	۴۰۳,۰۰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

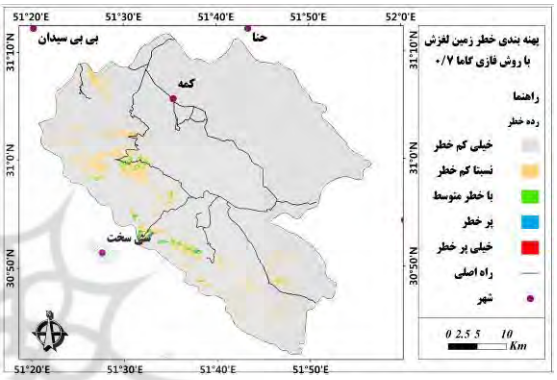


شکل ۲۱: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با اپراتور ضرب،

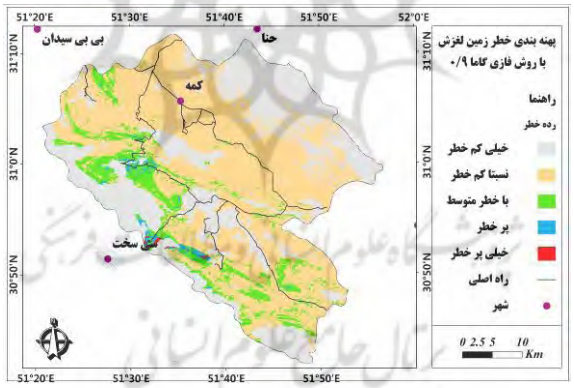


شکل ۲۲: نقشه پهنه بندی خطرزمین لغزش با اپراتور جمع





شکل ۲۳: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از گامای ۰/۷ شکل ۲۴: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش باگامای۰/۸



شکل ۲۵: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش باگامای 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	۳۵,۵۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۲	۲,۶۲	۰,۰۱
	۲	۴۰۳,۰۰	۰,۰۴	۰,۰۲	۰,۲۴	۰,۲۳		
	۳	۱۰۲۱,۷۰	۲,۵۳	۰,۶۱	۰,۶۱	۰,۰۹		
	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	۰,۰۵	۰,۰۱
	۳	۱,۵۴	۰,۰۵	۸,۰۱	۰	۰,۰۵		
	۴	۰,۴۴	۰,۰۱	۵,۶۱	۰	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	۴,۶۲	۰,۰۶
	۲	۸۰,۲۰	۲,۹۰	۸,۹۲	۰,۰۵	۲,۹۹۸		
	۳	۹,۱۰	۰,۶۰	۱۶,۲۶	۰,۰۱	۱,۲۶۴		
	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	۷,۰۹	۰,۰۷
	۲	۲۹۱,۰۰	۲,۴۸	۲,۱۰	۰,۱۷	۰,۲۱۱		
	۳	۳۳,۵۰	۲,۵۰	۱۸,۴۱	۰,۰۲	۶,۰۵۲		
	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	۵	۰,۰۲
	۲	۹۲۷,۰۰	۲,۰۱	۰,۵۳	۰,۵۵	۰,۱۲۰		
	۳	۱۶۴,۲۰	۲,۹۰	۴,۳۶	۰,۱۰	۱,۱۰۳		
	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 یافته ها، 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 می یابد. مقدار شاخص مجموع کیفیت (Qs) که مقایسه و ارزیابی روش‌ها را در قیاس با یکدیگر نشـــان می‌دهد حاکی از آن اســـت که اپراتور فازی گامای ۰/۸با 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 همپو شانی منطق فازی در تهیه نق شه خطر زمین لغزش حو ضه آبخیز کمه گامای ۰/۸ ا ست. برر سی مقادیر محا سبه شده برای شاخص دقت (P) هم نشان دهنده این نکته ا ست که بی شترین مقدار آن برای اپراتور گامای ۰/۸ به دست آمده ا ست که بیانگر دقت بیشتر این اپراتور نسبت به سایر اپراتورها پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه کمه ا ست. مقادیر نسبت تراکم (Dr) نشان می دهد نقشه خطر صحیح تهیه شده است زیرا از رده های خطر کم تا رده های پرخطر، مقدار نسبت تراکم به صورت صعودی می باشد.

- 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 ار 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 محا سبه شد. پایین ترین و بالاترین طبقات ارتفاعی به ترتیب بی شترین و کمترین مقدار ع ضویت فازی را دارند. عضـویت فازی رده های عامل مؤثر شـیب نشـان می دهدکه با افزایش شـیب، آسـتانه ناپایداری دامنه افزایش می‌یابد و احتمال وقوع حرکات توده ای مثل زمین لغزش افزایش می‌یابد. بیشترین عضویت فازی بین شیب های ۳۰ تا ۴۰درجه و کمترین به شیب های ۵ درجه و کمتر از آن اخت صاص داده شده ا ست. دامنه ها با جهت شمالی به دلیل برخورداری از بارش و رطوبت، نقش مؤثری در ایجاد حرکات لغزشـی منطقه ایفا می کنند و مقدار عضـویت فازی آن برای منطقه مورد مطالعه نیز ۱ به دســت 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 می دهد؛ رده با فا صله کمتر از ۱۰۰ متر از جاده دارای بی شترین مقدار ع ضویت فازی بوده و رده با فا صله های بی شتر 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 ۱۰۰متر دارای بیشترین و پهنه های با فواصـل بیش از ۲۰۰۰ متر دارای کمترین مقدار تأثیرگذاری در وقوع زمین لغزش حوضـه آبخیز کمه اسـتان اصـفهان می باشـند. در مورد لایه بارش نیز کمترین و بیشـترین مقدار عضـویت فازی منطبق بر پهنه های دارای پایین ترین و بالاترین مقدار بارش در سطح حوضه می باشند.

با توجه به مقادیر وزن نسبی محاسبه شده که تقریباً در مورد بیشتر لایه ها ارتباط منطقی میان احتمال وقوع زمین لغزش و مقادیر ارز شی آن ها برقرار ا ست. برای نمونه این ارتباط در مورد لایه های فا صله از گ سل، فا صله از جاده، فا صله از آبراهه به صـورت معکوس بوده یعنی با افزایش فاصـله از محل هر عارضـه احتمال وقوع لغزش کاهش می یابد. 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 ا ست، اما در شیب های بسیار زیاد، احتمال رخداد کاهش می یابد. میزان تأثیرگذاری هر متغیر بر وقوع زمین لغزش با ا ستفاده از تحلیل سل سله مراتبی به د ست 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 لغز شی حو ضه آبخیز کمه بر ا ساس نظرات کار شنا سی مطرح اسـت متغیر شـیب با (۰/۱۹۲) در درجه دوم قرار دارد. پس از آن متغیرهای فاصـله از جاده با ضـریب(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

ضـریب (۰/۰۱۷) در درجه های بعدی تأثیرگذار بر وقوع زمین لغزش در منطقه مطالعاتی قرار دارند. پس از رسـیدن به رابطه و وزن‌دار 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.

نسـبت تراکمی در هر ۵ روش به کار گرفته شـده، ضـمن تفکیک پذیری خوب، متناسـب با افزایش خطر پهنه ها رو به فزونی نهاده است. مدل هایی که پهنه بندی خطر زمین لغزش را درست انجام داشته باشند، با افزایش رده خطر، نسبت تراکم هم افزایش پیدا می کند. با افزایش رده خطر در هر کدام از اپراتورهای همپوشـانی و در نتیجه نقشـه 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

- اشـقلی فراهانی ، عقیل؛ ۱۳۸۰ ، ارزیابی خطر ناپایداری دامنه های طبیعی در منطقه رودبار با اسـتفاده 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، سـمیه؛ رنجبر، حجت الله؛ کرمی نسـب، سـعید؛ عبدالملکی ،مهدی. (۱۳۹۲). ارزیابی خطر زمین‌لغزش به کمک مدل فازی دانش‌مبنا و روش ترکیبی فازی- اوزان شـاهد در منطقهٔ مسـکونِ جیرفت، فصـل‌نامهٔ زمین‌شـناسـی مهندسی. دانشگاه خوارزمی. دورهٔ ۷. شمارهٔ ۱.
- امین عطایی ، رضا، ۱۳۹۳ ، پهنه‌بندی و پیش‌بینی وقوع زمین لغزش با استفاده ازGIS ، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه گیلان، استاد راهنما امیرهوشنگ نظامیوند چگینی
- ایرانمنش ، حسین ،۱۳۷۴ ، گزارش مقدماتی زمین لغزش روستای باریکان ،سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- بهنیافر، ابوالف ضل ؛ قنبرزاده، هادی؛ من صوری دان شور، محمد ر ضا؛ پهنه بندی خطر زمین لغزش وناپایداری به روش های AHP و احتمال، مجله علمی – پژوهشی فضای جغرافیا، سال.۱۳۸۸، شماره ۲۷: ۵۵-۷۸
- حسین زاده، محمد مهدی؛ ثروتی، محمد رضا؛ منصوری عادل؛ 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: ۳۷-۲۷.
- حق شـناس، ابراهیم،۱۳۷۴، پهنه بندی خطر زمین لغزش و ارتباط آن با تولید رسـوب در حوضـه آبخیز طالقان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دانشگاه تربیت مدرس، ص۱۵۶ .
- خواجه شـاهکوهی، علیرضـا، داودی، محمود، حسـام، مهدی، ۱۳۹۳، مدل‌سـازی فضـایی و تصـمیم 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 بررسی 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 چالکرود، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۵: ۱۱۸-۱۲۶.
- فاطمی‌عقدا، سیدمحمود؛ غیومیان، جعفر؛ تشنه لب ، محمد؛ اشقلی فراهانی، عقیل، ۱۳۸۴، بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از سیستم فازی در منطقهٔ رودبار، مجله علوم دانشگاه تهران. جلد ۳۱. شمارهٔ ۱. صفحات ۶۴-۴۳.
- عبادتی نژاد، سیدعلی و همکاران ،.۱۳۸۶ ،ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین لغزش در حوضه آبخیز شیرود، 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.، چدنی ، 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 وحفاظت 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 آبخیر چرداول ایلام ، پژوهش های آبخیزداری ، شماره ۹۴ ، صص ۸۵-۷۴
- نوجوان، محمد.رضا، حیاتی ، غ.،۱۳۹۲، پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه 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).*