



پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز رود زرد با استفاده از منطق فازی

سیده معصومه موسوی^{۱*}، محمدحسین رضایی مقدم^۲، معصومه رجبی^۳

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۸

چکیده

زمین‌لغزش هر ساله جان هزاران نفر را در سراسر جهان می‌گیرد و خسارت‌های هنگفتی را به مردم و دولت‌ها تحمیل می‌کند. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، نواحی سطح زمین را به مناطق ویژه و تفکیک شده‌ای از درجات بالقوه و بالفعل به لحاظ خطرپذیری تقسیم‌بندی می‌کند. این امر می‌تواند مبنایی برای برنامه‌ریزی‌های بلندمدت در سطح منطقه‌ای و محلی محسوب شود. هدف از انجام این پژوهش، بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه رود زرد واقع در شرق استان خوزستان با استفاده از روش منطق فازی است. بدین منظور ابتدا از طریق بازدیدهای میدانی، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و با مرور منابع قبلی و بررسی شرایط منطقه، نه عامل طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، بارش، لیتولوژی و کاربری اراضی به عنوان عوامل مؤثر، بررسی و انتخاب شدند. پس از طبقه‌بندی داده‌ها و مرحله فازی‌سازی، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از عملگر گامای فازی با مقادیر ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹ تهیه شدند. نقشه‌های به دست آمده در ۵ کلاس بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم طبقه‌بندی شدند. نتایج حاصل از جمع کیفی نشان داد که عملگر گامای ۰/۹ فازی در مقایسه با دیگر عملگرهای فازی مناسب‌تر است. تحلیل نقشه‌های طبقه‌بندی شده نشان داد که ۲۱/۵۶ درصد از مساحت منطقه در پهنه با خطر زیاد و ۴۳/۲۴ درصد از مساحت منطقه در پهنه با خطر کم قرار گرفته است. در مجموع، می‌توان گفت که بخشی از مناطق مرکزی و شمال غربی منطقه در معرض خطر بالا قرار گرفته و مناطق غربی و شرقی حوضه در پهنه خطر متوسط تا پایین می‌باشند.

کلمات کلیدی: مخاطرات ژئومورفولوژیکی، منطق فازی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شاخص جمع کیفی، حوضه رود زرد، شرق استان خوزستان.

۱- مقدمه

ایران با داشتن توپوگرافی کوهستانی، فعالیت‌های زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط بسیار متنوع اقلیمی و زمین‌شناسی خاص، شرایط مساعدی برای بروز پدیده‌ی زمین‌لغزش دارد. اهمیت آن در مناطق نزدیک به سکونتگاه‌ها و تأسیسات انسانی بیش‌تر احساس می‌شود (عرب‌عامری و حلبیان، ۱۳۹۴: ۸۷). پهنه‌بندی صحیح و اصولی خطر زمین‌لغزش و عوامل مؤثر در آن می‌تواند در تصمیم‌گیری برای مهار و کنترل و کاهش خسارات ناشی از آن مفید و مؤثر باشد (عابدینی و فتحی، ۱۳۹۳: ۵۳). تاکنون در ارتباط با پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها، مطالعات زیادی صورت گرفته است، از جمله مرادی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی به تحلیل خطر زمین‌لغزش در استان گلستان با استفاده از تئوری دمپسترشیفر^۱ پرداختند. یافته‌های پژوهش آن‌ها بیانگر این است که تئوری دمپستر-شیفر دقت قابل قبولی برای تحلیل خطر زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد. پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۱) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تئوری بی‌زین در بخشی از استان گلستان پرداختند. نتایج ارزیابی تحقیق‌شان نشان داد که دقت مدل احتمالاتی تهیه شده با رویکرد دوم مدل‌سازی (حذف عامل جهت شیب از تحلیل‌ها) در منطقه‌ی مورد مطالعه ۷۱/۳۷٪ (خوب) برآورد شد. متولی و همکاران (۱۳۹۴) به مطالعه و ارزیابی دقت روش‌های رگرسیون چندمتغیره (MR)، رگرسیون لجستیک (LR)، تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و منطق‌فازی (FL) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه‌ی آبخیز طالقان پرداختند. یافته‌های پژوهش آن‌ها بیانگر این است که نتایج حاصل از مدل‌سازی با استفاده از روش‌های ذکر شده، دقت‌های متفاوتی را از آن‌ها در تهیه نقشه نهایی پهنه‌بندی نشان داد. روستایی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز رودخانه میمه در استان ایلام به روش تحلیل شبکه ANP پرداختند. یافته‌های تحقیق‌شان بیانگر این است که فرآیند تحلیل شبکه با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، ۸۱/۶۹ درصد تناسب دارد. تفسیر ضرایب هم نشان داد که معیارهای بارندگی، لیتولوژی، طبقات ارتفاعی نقش مهمی در زمین‌لغزش‌های منطقه دارند. عبدالله‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به تعیین مناطق مستعد زمین‌لغزش با استفاده از دو مدل دومتغیره وزنی AHP و مدل غیروزنی LRNF در حوضه‌ی آبخیز زیارت‌گران پرداختند. نتایج نشان داد که ارزیابی صحت مدل بر اساس شاخص جمع مطلوب (QS) و شاخص دقت (P) به ترتیب در مدل آماری دومتغیره وزنی AHP به میزان ۰/۸۱ و ۰/۹۶ در مدل غیروزنی LRNF حدود ۷۰/۲ و ۰/۸۹ است که بر این اساس مدل آماری دومتغیره‌ی وزنی AHP به‌منزله‌ی مدل برتر معرفی می‌گردد. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه دو آب الشتر پرداختند یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از مدل شبکه

عصبی مصنوعی به ترتیب ۴۴/۳۷، ۷/۴۵، ۸/۹۳، ۳۲/۴۹، ۶/۷۶ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. نوجوان و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و فازی در حوضه‌ی آبخیز کمه استان اصفهان پرداختند. نتایج نشان می‌دهند که اپراتور فازی گامای ۸/۰ با ۴۴/۶، بالاترین مقدار Qs را در میان سایر اپراتورهای فازی دارد. پس این اپراتور به عنوان اپراتور بهینه در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه‌ی مطالعاتی معرفی می‌شود. حجازی و همکاران (۱۳۹۹) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در پایین‌دست سد سنندج با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی و تاپسیس پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که مدل شبکه‌ی عصبی پرسپترون دارای خطای کم‌تر و انطباق بیش‌تری است و با جغرافیای منطقه سازگاری بهتری دارد. مددی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ی به بررسی عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش‌های حوضه اردل استان چهارمحال بختیاری با استفاده از روش رگرسیون لجستیک پرداختند، یافته‌های تحقیق‌شان بیانگر این است که عامل فاصله از رودخانه، کاربری اراضی و لیتولوژی به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش‌های منطقه می‌باشند. مختاری و همکاران (۱۴۰۰) به پهنه‌بندی خطر وقوع جریان آواری در حوضه‌ی آبریز لیلان چای در استان آذربایجان شرقی و تأثیر این مخاطره بر روی مخروط‌افکنه لیلان پرداختند یافته‌ها نشان می‌دهد که حدود ۱۶ درصد مساحت منطقه در طبقه‌ی خطر زیاد و خیلی زیاد از نظر وقوع جریان آواری قرار دارد. این مناطق بیشتر ارتفاعات بالا، شیب‌های زیاد و دامنه‌های شمالی و غربی را شامل می‌شوند. قنوتی و همکاران (۱۳۹۳)، اشقی فراهانی و همکاران (۱۳۹۳)، حسنی و همکاران (۱۳۹۶)، روستایی و همکاران (۱۳۹۷)، حسین‌آبادی و همکاران (۱۳۹۸)، شرفی و همکاران (۱۳۹۹) سابویا^۱ و همکاران (۲۰۰۶)، چامپاتی ری^۲ و همکاران (۲۰۰۷)، اکسوی^۳ و ارکانگلو (۲۰۱۲)، زو^۴ و همکاران (۲۰۱۴)، لئوناردی^۵ و همکاران (۲۰۱۶)، دیاناوفال^۶ و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعات مختلفی به مطالعه زمین‌لغزش در مناطق مختلف پرداختند.

واندرمه^۷ و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ی به ارزیابی خطر زمین‌لغزش ناشی از حوادث آب و هوایی ناحیه آلپ جنوبی فرانسه با استفاده از ابزار ALICE پرداختند. نتایج نشان داد که این ابزار با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند سطح آب زیرزمینی و بارش در سازندهای مختلف سطحی یا مقادیر ژئوتکنیکی سازندهای مستعد لغزش، نقشه‌برداری از مناطق به طور بالقوه ناپایدار بهبود یابد که کارشناسان همیشه قادر به ادغام آن نیستند. ALICE در صورت کالیبراسیون ابزار مفیدی برای نقشه‌برداری از مناطق مستعد زمین‌لغزش است. حوضه‌ی آبریز رود

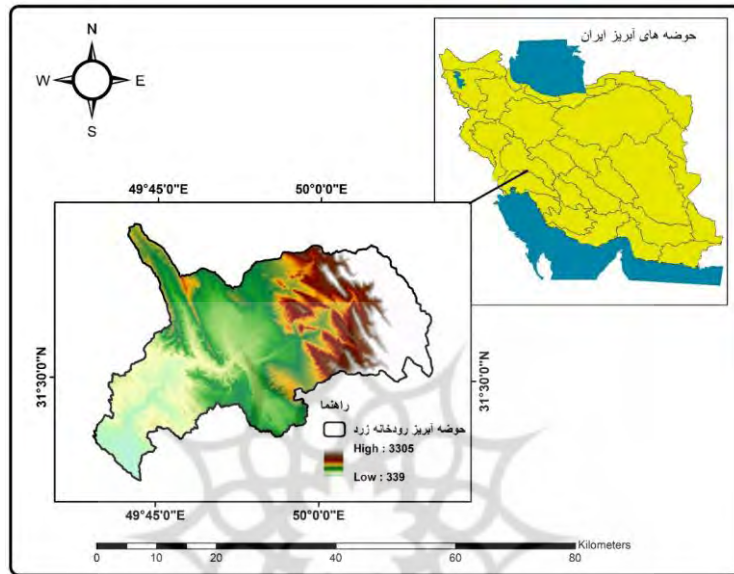
1-Sabuya et al.
2-Champati-ray et al.
3-Aksoy Ercanoglu
4-Zhu et al.

5-Leonardi
6-Dhianaufal
7-Vandromme

زرد واقع در شهرستان باغ‌ملک یکی از متراکم‌ترین حوضه‌ها به لحاظ تراکم جمعیت انسانی است که شهرها و روستاهای متعدد با جمعیت نسبتاً زیاد در این حوضه قرار دارند و هر ساله شاهد افزایش مناطق مسکونی (شهرک‌های مسکونی، تجاری، صنعتی دانشگاهی، گردشگری و غیره) می‌باشد. از سوی دیگر، این حوضه به واسطه داشتن ویژگی‌های مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی خاص (نظیر شیب‌های تند، سازندهای متناوب سست و سخت، ساختارهای آهکی، بارش‌های رگباری، رودخانه‌های طغیانی، گسل‌های متعدد، افت سطح آب‌های زیرزمینی) و تغییر در کاربری‌های اراضی از گذشته تا به امروز در معرض مخاطرات طبیعی گوناگونی قرار داشته است، وقوع سیلاب‌های بزرگ، زمین‌لغزش، فرونشست، خندق‌زایی و فرسایش خاک از مهم‌ترین مخاطرات هیدروژئومورفولوژیکی تهدیدکننده این حوضه هستند. وجود چنین مسائل و مخاطراتی سبب شد که محقق به مطالعه و شناسایی عوامل مؤثر بر خطر زمین‌لغزش بپردازد. هدف نهایی از انجام این پژوهش بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از روش منطق فازی است.

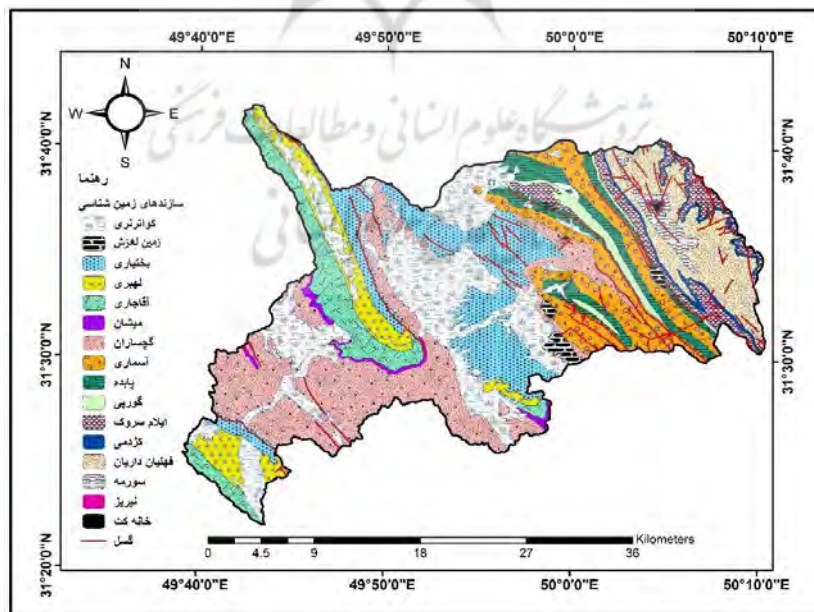
۲-۱- معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز رودخانه زرد در جنوب غربی ایران در محدود رشته‌کوه‌های زاگرس بین ۴۹ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی واقع گردیده است. محدوده ارتفاعات از ۳۳۹ تا ۳۳۰۵ متر است (شکل ۱). وسعت این حوضه ۸۸۳/۴۸ کیلومترمربع می‌باشد. بخش شمالی منطقه کوهستانی، قسمت میانی دشت و کوهپایه و در جنوب خشک و کوهستانی است. رودخانه رود زرد (جره) با پوششی از شمال به جنوب پس از دریافت شاخه‌های ابوالعباس (مال آقا)، گللال و دره مورد و چند شاخه فصلی دیگر از نزدیکی رود زرد ماشین در پایین‌دست به رودخانه اعلا می‌پیوند و در نهایت به سد جره واقع در انتهای حوضه ختم می‌شود. این رودخانه یکی از سه سرچشمه‌ی اصلی رودخانه جراحی، رودخانه اله و مارون است. شرایط آب‌هوایی منطقه با توجه به وضعیت توپوگرافی آن نسبتاً متنوع بوده و بر حسب ارتفاع از سطح دریا، ریزاقلیم‌های کاملاً متفاوتی دارد. نواحی شرقی دارای اقلیمی معتدل تا سرد کوهستانی و نواحی مرکزی و غربی، اقلیمی گرم و نیمه‌خشک دارند. در مجموع، بر طبق تقسیم‌بندی اقلیم‌های آمبرژه، منطقه دارای آب و هوای نیمه‌خشک تا معتدل است. این حوضه یکی از مناطق با تراکم بالا به لحاظ سکونت انسانی است، مناطق شهری باغ‌ملک، قلعه تل، رستم‌آباد، منجیق، بخش صیدون و اسلام‌آباد و بیش از پنجاه نقطه روستایی در این حوضه قرار دارند. از لحاظ ساختارهای زمین‌شناسی، قدیمی‌ترین سازندهای تشکیل‌دهنده‌ی منطقه دارای سن تریاس (سازند خانه کت) و جوان‌ترین سازند دارای سن نئوژن (سازند بختیاری) است. رسوبات دوران چهارم یا کواترنری نیز در نقاط مختلف حوضه دیده می‌شوند. گسترش سازندهای زمین‌شناسی در نقشه‌ی زمین‌شناسی (شکل ۲) نشان داده شده است.



شکل (۱): موقعیت منطقه (محدوده) مورد مطالعه

Fig (1): The study area



شکل (۲): نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

Figure (2): Geological map of the study area

۲- مواد و روش

انجام پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های خطر زمین‌لغزش در این تحقیق بر اساس تلفیق زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه و معیارهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها است.

نحوه‌ی تهیه‌ی نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها به صورت زیر است، ابتدا داده‌های پراکنش زمین‌لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه به صورت نقطه‌های لغزش از اداره منابع طبیعی استان خوزستان، تهیه و برخی هم از طریق بازدیدهای میدانی با استفاده از GPS جمع‌آوری شدند. پس از تبدیل آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا، نرم‌افزار Google Earth و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شرکت نفت و سازمان زمین‌شناسی (نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (هفت گل، ده لر، آسماری) و نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ (IV) ۶۰۵۲ I، ۵۹۵۲ IV، ۶۰۵۳ III، ۵۹۵۳ II، ۵۹۵۳ III)، کنترل و ویرایش شدند. به منظور تعیین کاربری اراضی در حوضه‌ی مورد مطالعه از اطلاعات نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰۲۵۰۰۰ پوشش گیاهی شهرستان باغ‌ملک که از اداره منابع طبیعی سازمان نقشه‌برداری استان خوزستان تهیه و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۲۰۱۸ استفاده شده است. چهارده نوع کاربری اراضی در منطقه شناسایی شد.

در ادامه، معیارهای مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی رود زرد از طریق بازدیدهای میدانی، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و با مرور منابع قبلی و بررسی شرایط منطقه انتخاب شدند که عبارت بودند از: طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، بارش، لیتولوژی و کاربری اراضی به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش بررسی و انتخاب شدند. داده‌های بارش از سازمان هواشناسی استان خوزستان تهیه شد، نقشه بارندگی با استفاده از داده‌های بارندگی ۱۹ ساله (۲۰۱۹-۲۰۰۰) ایستگاه‌های ایزده (سینوپتیک)، رامهرمز، دهدز، هفت گل و مال آقا (باران‌سنجی) تهیه شد.

پس از آماده شدن لایه‌های مورد نیاز ذکر شده این لایه‌ها به عنوان متغیرهای مؤثر با لایه‌ی پهنه‌های زمین‌لغزش تلفیق شدند. تلفیق یا همپوشانی لایه‌ها با استفاده از تابع ضرب در تحلیلگر رستری محیط ArcMap انجام گرفت. به این ترتیب، تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر طبقه از هر کدام از عوامل مؤثر مورد استفاده در این پژوهش به دست آمد. در مرحله‌ی بعد، با استفاده از مدل نسبت فراوانی، وزن نسبی هر یک از عوامل و طبقات مرتبط با آن از رابطه‌ی ۱ محاسبه شد. این وزن هر یک از طبقات، همان مقدار وزن نسبی محاسبه شده برای هر طبقه از هر متغیر به عنوان میزان نقش آن طبقه در رخداد‌های لغزشی حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه است.

$$FR=A/B$$

(۱)

که در آن، A درصد پیکسل‌های لغزشی، B درصد پیکسل‌های فاقد لغزش و FR نسبت فراوانی است و در مرحله آخر وارد مدل شدند.

۲-۱- منطق فازی

مجموعه‌های فازی

برای تعریف مجموعه‌های فازی دو روش متداول وجود دارد: یکی تعریف تابع عضویت به شکل تابعی و دیگری معرفی عددی تابع عضویت. در تعریف تابعی، درجه عضویت به صورت یک تابع ارائه می‌گردد و در تعریف عددی به مقادیر گسسته درجه عضویت خاص نسبت داده می‌شود. انتخاب درجه عضویت بر اساس یک روش ذهنی صورت می‌گیرد (فرجی و آذر، ۱۳۹۵: ۴۸). به طور کلی، یک مجموعه فازی را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد: اگر X مجموعه‌ای از اشیاء باشد که هر یک از عناصر آن به صورت کلی با Xi نشان داده شود، آنگاه یک مجموعه فازی A در X به شکل زوج‌های مرتب به شکل زیر نشان داده می‌شود (رابطه‌ی ۲):

$$Dr = \frac{\sum_i \frac{S_i}{A_i}}{\sum_i \frac{S_i}{A_i}} \quad (2)$$

که در آن، X را مجموعه مرجع یا عالم^۱ می‌نامند و $\mu_{\bar{A}}^X$ نیز تابع عضویت X نامیده می‌شود که هر عنصری در X را به یک مجموعه عضویت با مقادیر پیوسته بین صفر و یک می‌برد. توابع عضویت نیز معرف میزان درجه‌ای است که شخص به هر یک از عناصر مجموعه فازی نسبت می‌دهد. تابع عضویت در حقیقت نشان‌دهنده‌ی توزیع و پراکندگی اعداد حول یک عدد خاص یا مورد نظر است. به عنوان مثال، برای عدد تقریبی B می‌توان از اشکال مختلفی نظیر مثلثی و دوزنقه و از منحنی نرمال برای توزیع اعداد جانبی استفاده نمود (طاهری، ۱۳۸۱: ۵۵).

۲-۲- ارزیابی روش‌های آماری

برای تعیین مجموع کیفیت ابتدا باید نسبت تراکم^۲ (Dr) محاسبه شود. از شاخص نسبت تراکم برای ارزیابی توانایی مدل در تشخیص طبقه خطر استفاده می‌شود. هر چه تفکیک بین طبقه‌های خطر بهتر باشد، مدل تواناتر است (مرزبانی و همکاران، ۲۰۱۶: ۶۲). پس از انطباق نقشه‌های پهنه‌بندی، خطر زمین‌لغزش در مدل‌های مختلف با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه، اگر درصد سطح گسیختگی در طبقه‌های با خطر زیاد بیش‌تر باشد و روند توزیع درصد گسیختگی، از طبقه‌های کم‌خطر به سمت طبقه‌هایی با خطر زیاد افزایش یابد و روند آن صعودی باشد، بیانگر این است که مدل به کار برده شده در پهنه‌بندی خطر مناسب است. اگر این روند نزولی

یا تقریباً یکسان باشد، نشان‌دهنده‌ی کارآیی ضعیف مدل است (مصفايي و همکاران، ۲۰۰۹: ۹۷). شاخص آماری نسبت تراکمی در قالب رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود (گی^۱، ۱۹۹۱: ۵۳).

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

که در این رابطه، S_i مجموع مساحت زمین‌لغزش‌های واقع در هر رده خطر؛ A_i مساحت پهنه خطر هدف در یک نقشه‌ی پهنه‌بندی؛ $\sum S_i$ مجموع کل مساحت‌های زمین‌لغزش‌ها در حوضه‌ی آبریز؛ و $\sum A_i$ مساحت کل حوضه آبریز است. هر چه تفکیک بین رده‌های خطر توسط شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، روش از دقت بالاتری برخوردار است. مقدار مجموع کیفی (QS) نشان‌دهنده‌ی درستی یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در منطقه است. معمولاً مقدار این شاخص در روش‌های مختلف در گستره صفر و ۷ قرار می‌گیرد، اگرچه از نظر تئوری، حدی برای آن وجود ندارد. در ارزیابی روش‌ها هر چه مقدار مجموع کیفیت (QS) بیش‌تر باشد، روش از درستی و مطلوبیت بیش‌تری در تفکیک برخوردار است. مقدار مجموعه کیفیت از رابطه‌ی ۴ به دست می‌آید (گی^۲، ۱۹۹۱: ۱۵۲):

$$\mu_{combination} = (\text{Fuzzy Algebraic Sum} * \text{Fuzzy Algebraic Product})^{1-\gamma} \quad (۴)$$

QS: مجموع کیفیت، Dr: نسبت تراکم، S: نسبت مساحت هر رده خطر نسبت به مساحت کل منطقه، n: تعداد کلاس خطر می‌باشد.

۳-۲- فازسازی لایه‌ها

برای به دست آوردن نقشه‌های فاززی ابتدا هر یک از لایه‌های موجود در مطالعه تهیه شد. سپس هر کدام از آن‌ها دوباره طبقه‌بندی^۳ شدند. برای فاززی کردن این نقشه‌ها از منوی Analyst Spatial، Fuzzy membership انتخاب شد، به دلیل اینکه از تغییرات فاصله برای پیدا کردن پهنه‌های مستعد زمین‌لغزش استفاده می‌شود؛ و نوع تابع عضویت از نوع خطی انتخاب شد. لایه‌های به دست آمده، لایه‌ای است که مقادیر ورودی را به مقادیر بین صفر تا یک تبدیل می‌کند. به طوری که مناطقی که دارای درجه عضویت ۱ یا نزدیک به آن را دارند، نسبت به مقادیری که دارای درجه عضویت صفر یا نزدیک به صفر می‌باشند، دارای ارزش بیش‌تری هستند.

۲-۴- نقشه‌ی پهنه‌بندی

ابتدا تمامی نقشه‌ها با استفاده از توابع فاززی در نرم‌افزار، فاززی شدند، آنگاه با استفاده از رابطه‌های موجود، نقشه‌های خطر برای منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از اپراتور گامای فاززی^۴ تهیه گردید. برای تعدیل حساسیت

خیلی بالای عملگر ضرب فازی و حساسیت خیلی کم عملگر جمع فازی، عملگر دیگری به نام گامای فازی معرفی شده است که حد فاصل ضرب و جمع جبری فازی است. عملگر فازی گاما، حالت کلی عملگرهای ضرب و جمع است و می‌توان با انتخاب صحیح مقدار گاما، پارامترهای کاهش و افزایشی را هم‌زمان تلفیق نموده، به مقادیری در خروجی دست یافت که حاصل سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های افزایشی و کاهش‌ی دو عملگر ضرب و جمع فازی باشد. این عملگر بر حسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی بر اساس رابطه‌ی (۵) تعریف می‌شود (مالچفسکی، ۱۹۹۹: ۳۳۰).

$$\mu_{\text{combination}}(\text{POW}([\text{Fuzzy Sum}], 0.3) * \text{POW}([\text{Fuzzy Product}], 0.7)) \quad (۵)$$

که در آن، $\mu_{\text{combination}}$ لایه حاصل از گامای فازی و γ پارامتر تعیین شده در محدوده صفر و یک است. وقتی γ برابر با ۱ باشد، ترکیبی که اعمال می‌شود، همان جمع جبری فازی و زمانی که γ برابر صفر باشد، ترکیب، برابر ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح γ مقادیری در خروجی ایجاد می‌کند که با اثر افزایشی جمع جبری و اثر کاهش‌ی ضرب جبری فازی سازگاری دارد (همان).

مقادیر پیکسل‌ها بستگی به انتخاب صحیح توان گاما دارند. مقادیری که γ می‌تواند اختیار کند، از صفر تا یک بوده که معمولاً از ۰/۵ تا ۰/۹ برای آن در نظر گرفته می‌شود. همان طور که قبلاً اشاره شد، γ کوچک‌تر به عملگر ضرب فازی و γ بزرگ‌تر به عملگر جمع فازی نزدیک می‌شود؛ بنابراین γ های بزرگ‌تر حالتی خوش‌بینانه خواهند داشت. در این تحقیق، از مقادیر ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز رودخانه زرد استفاده شده است. فرمول هر یک از مقادیر در نظر گرفته شده برای γ جهت تهیه‌ی لایه حاصل از گامای فازی در محیط GIS به صورت رابطه‌های (۵-۶-۷) زیر تعریف می‌شود (همان).

$$\mu_{\text{combination}}(\text{POW}([\text{Fuzzy Sum}], 0.3) * \text{POW}([\text{Fuzzy Product}], 0.7)) \quad (۶)$$

$$\mu_{\text{combination}}(\text{POW}([\text{Fuzzy Sum}], 0.2) * \text{POW}([\text{Fuzzy Product}], 0.8)) \quad (۷)$$

$$\mu_{\text{combination}}(\text{POW}([\text{Fuzzy Sum}], 0.1) * \text{POW}([\text{Fuzzy Product}], 0.9)) \quad (۸)$$

۳- یافته‌ها و بحث

برای بررسی ارتباط عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه بعد از تهیه‌ی نقشه پراکنش نقاط لغزشی، پراکندگی این نقاط به نه عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش مورد بررسی قرار گرفته است. هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی (طبقات ارتفاعی، شیب، جهت دامنه، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، بارش، لیتولوژی، کاربری اراضی در ۵ کلاس طبقه‌بندی شد و بر اساس درجه حساسیت نسبت به زمین‌لغزش

به هر کدام از طبقات امتیاز بین ۱ تا ۵ تعلق می‌گیرد. بدین صورت که امتیاز ۵ به طبقه‌ای داده شد که بیش‌ترین حساسیت را به زمین‌لغزش داشت. برای تعیین ارتباط زمین‌لغزش‌ها با عوامل مؤثر در وقوع آن و نیز تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نقشه‌های عامل با نقشه پراکنش زمین‌لغزش تلفیق شد.

۳-۱- لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در پژوهش

-نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها: اولین مرحله در تجزیه و تحلیل حساسیت به زمین‌لغزش، شناسایی صحیح محل نقاط لغزشی است. در ناحیه مورد مطالعه، نقشه پراکنش زمین‌لغزش به صورت نقاط لغزشی بر اساس مطالعات میدانی، اطلاعات سازمان منابع طبیعی و تصاویر Google Earth تهیه شد. شکل ۳ نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش را در حوضه‌ی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

-طبقات ارتفاعی: برای تهیه‌ی نقشه‌ی طبقات ارتفاعی، مدل رقومی ارتفاع سازمان نقشه‌برداری مورد استفاده قرار گرفت و در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده است. این حوضه دارای اختلاف ارتفاعی بیش از ۲۹۶۶ متر است، به طوری که ارتفاع زمین در بلندترین منطقه ۳۳۰۵ متر و در خروجی حوضه ۳۳۹ متر است. نقشه‌ی ۴ طبقات ارتفاعی در حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با افزایش ارتفاع در منطقه‌ی مورد مطالعه حساسیت نسبت به خطر زمین‌لغزش افزایش داشته است. بررسی پراکندگی زمین‌لغزش نسبت به نقشه‌ی ارتفاع (شکل ۴) نشان می‌دهد که بیش‌ترین تعداد زمین‌لغزش در ارتفاع ۱۱۷۳-۷۸۲ متر رخ داده است.

-شیب به درجه: جهت بررسی رابطه بین عامل شیب با رویداد زمین‌لغزش لایه شیب بر اساس درجه در ۵ کلاس تهیه گردید. نقشه‌ی (شکل ۵) شیب در حوضه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بررسی پراکندگی زمین‌لغزش‌ها نسبت به نقشه‌ی شیب (شکل ۵) نشان می‌دهد که بیش‌ترین تعداد زمین‌لغزش در شیب ۲۳-۳۶ درجه رخ داده است. نتایج نشان می‌دهند که در شیب‌های پایین به دلیل ضعیف بودن نیروی ثقل و در شیب‌های بالا به دلیل ضعیف بودن فرآیند خاک‌سازی و افزایش استحکام سازنده‌های زمین‌شناسی تعداد زمین‌لغزش رخ داده (به جز ریزش) کاهش می‌یابد.

-جهت دامنه: نقشه‌ی جهت شیب منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع در ۸ طبقه تهیه گردید (شکل ۵). بررسی عامل جهات جغرافیایی نسبت به پراکندگی زمین‌لغزش نشان می‌دهد که این جهات تأثیرات مختلفی بر وقوع زمین‌لغزش دارند. در منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش، بیش‌ترین حساسیت زمین‌لغزش در جهات شمال غرب می‌باشند (شکل ۱۴).

-فاصله از رودخانه: نقشه‌ی فاصله از رودخانه در فواصل مختلف تهیه و در لایه‌ای ۵ طبقه‌ای جای گرفته است (شکل ۶). نتایج به دست آمده از بررسی نقشه‌ی پراکندگی زمین‌لغزش نسبت به آبراهه نشان می‌دهد که ۳۹/۹

درصد از زمین‌لغزش در فاصله ۰-۴۹۹/۰۷- متری از رودخانه قرار گرفته است (شکل ۱۵)، چون فرسایش کنار رودخانه‌ای باعث به هم خوردن تعادل شیب است و به هم خوردن این تعادل به شدت باعث زمین‌لغزش دامنه شده است.

-فاصله از گسل: معمولاً با دور شدن از گسل‌های اصلی، تأثیر زمین‌لرزه کاهش می‌یابد و احتمال وقوع زمین‌لغزش نیز کم‌تر می‌شود، لذا می‌توان بر حسب فاصله از گسل‌ها، انتظار احتمال وقوع یا عدم وقوع زمین‌لغزش را نشان داد. برای ایجاد نقشه‌ی گسل‌های منطقه، از فایل رقومی گسل‌های نقشه‌ی زمین‌شناسی استفاده شد و گسل‌های منطقه از درون آن استخراج شده است (شکل ۷). بررسی پراکندگی زمین‌لغزش نسبت به گسل اصلی در منطقه نشان می‌دهد بیش‌ترین زمین‌لغزش در فاصله ۰-۱۰۶۴/۱۱ متری از گسل وجود دارد که ناشی از خردشدگی سنگ‌ها توسط گسل است که این امر باعث نفوذ آب از این مناطق به داخل دامنه و بروز ناپیوستگی در اطراف گسل‌ها می‌شود (شکل ۱۶).

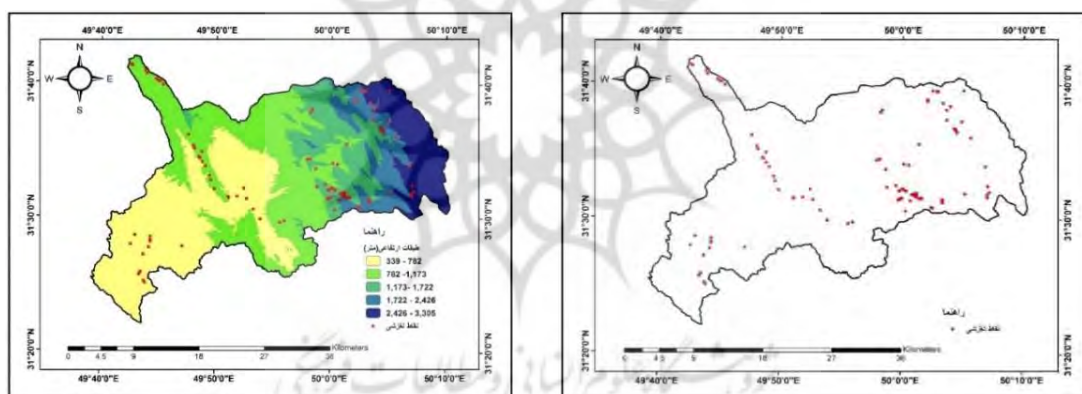
-فاصله از جاده: جهت تحلیل رابطه فاصله از جاده با رویداد زمین‌لغزش در حوضه‌ی مورد مطالعه، لایه‌ای ۵ طبقه‌ای ایجاد شد (شکل ۸). با فاصله گرفتن از جاده پتانسیل وقوع فرآیند دامنه‌ای کاهش یافته، به طوری که در فاصله ۹۸۱۹/۵۲-۱۵۳۶۱/۸۴ متری از جاده به حداقل وزن خود رسیده است (شکل ۱۷).

-بارش: محدوده‌ی مورد مطالعه با اکتساب ۵ کلاس بارندگی دارای میزان حداکثر ۶۳۴/۹۹ میلی‌متر و حداقل ۳۲۳/۰۲ میلی‌متر بارش سالیانه است. طبق تحلیل‌های انجام گرفته (انطباق لایه‌ی بارندگی با لایه‌ی زمین‌لغزش)، وقوع زمین‌لغزش در مناطقی با کلاس بارشی سالیانه ۶۳۴/۹۹-۵۸۸/۵۰ میلی‌متر، بیش‌تر از سایر نواحی است (شکل ۹).

-لیتولوژی: بررسی نوع لیتولوژی هر منطقه یک نوع بستر تشکیل حرکت‌های دامنه‌ای است که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر اساس مطالعات انجام شده توسط پیروان و همکاران (۱۳۹۲)، مقاومت هر یک از واحدهای سنگی و حساسیت آن‌ها در برابر فرسایش نیز تعیین شد. سنگ‌ها از نظر فرسایش‌پذیری در رده‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند که در محدوده‌ی مورد مطالعه، سنگ‌ها در پنج گروه لیتولوژیکی جای گرفته‌اند (شکل ۱۰): بسیار مقاوم (سازند ایلام سروک، سازند کژدمی)، مقاوم (سازند آسماری، سازند خانه کت، سازند نیریز)، متوسط (سازند بختیاری، سازند فهلیان داریان، سازند سورمه، سازند آغاچاری)، سازند متوسط تا ضعیف (سازند گچساران، سازند لهری، سازند میشان) و سازند بسیار ضعیف (سازند پابده، سازند گورپی، سازند کواترنری). در بسیاری از زمین‌لغزش‌ها نوع مواد درگیر یکی از عوامل اصلی در وقوع زمین‌لغزش است و تقریباً تمامی روش‌های پهنه‌بندی این عامل را به نحوی در نظر گرفته‌اند. بررسی نتایج به دست آمده از تلفیق نقشه‌ی لیتولوژی با نقشه

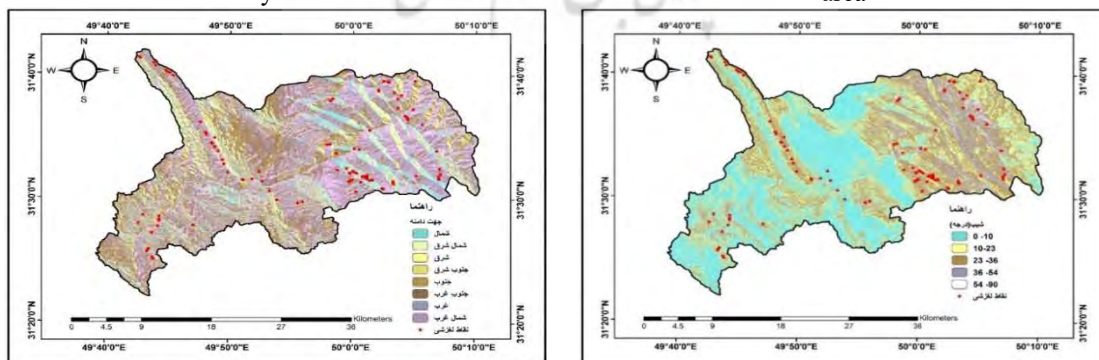
زمین لغزش منطقه نشان می‌دهد (شکل ۱۰) که بیش‌ترین زمین لغزش در سنگ‌های بسیار ضعیف (۳۶/۴۰) رخ داده است.

کاربری اراضی: منظور از کاربری، نوع و نحوه‌ی استفاده از زمین در حال حاضر است. به طور مسلم نوع کاربری اراضی، همیشه نقش تعیین‌کننده‌ای در تغییرات محیطی، به‌ویژه ایجاد و تشدید حرکت‌های دامنه‌ای ایفا می‌کند و انواع مختلف کاربری‌ها عملکردهای متفاوتی در زمین لغزش دارند. به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی در حوضه‌ی مورد مطالعه از اطلاعات نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری استان خوزستان، تصاویر ماهواره‌ای و گوگل ارث استفاده شد. چهارده نوع کاربری اراضی در منطقه شناسایی شد (شکل ۱۱). بیش‌ترین حساسیت به زمین لغزش در مرتع با تاج‌پوشش متوسط وجود دارد (شکل ۱۱).



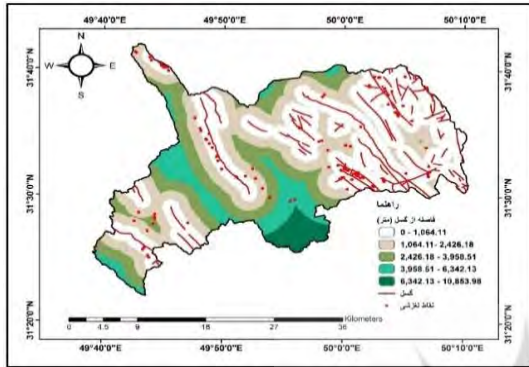
شکل (۳): نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه شکل (۴): نقشه‌ی طبقات ارتفاعی به متر در حوضه‌ی مورد مطالعه

Figure (3): Landslide distribution map in the study area **Figure (4):** Map of height classes in meters in the study basin

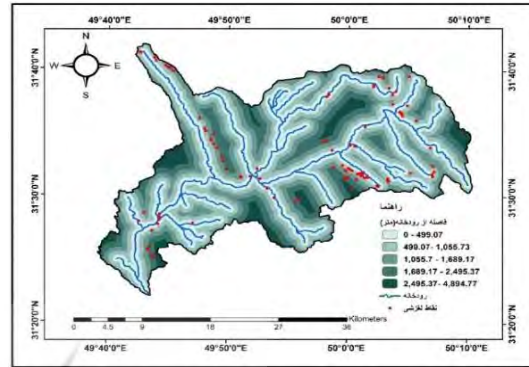


شکل (۵): نقشه‌ی شیب به درجه در حوضه‌ی مورد مطالعه شکل (۶): نقشه‌ی جهت دامنه در حوضه‌ی مورد مطالعه

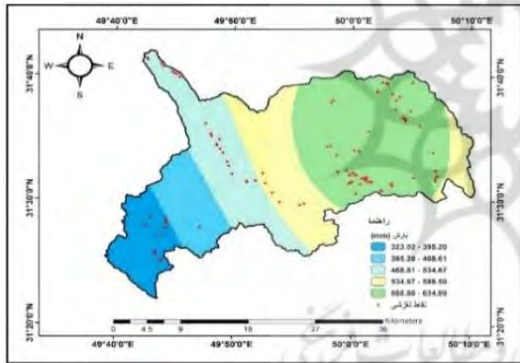
Figure (5): Grade-to-degree slope map in the study basin **Figure (6):** Map of the direction of the slope in the study basin



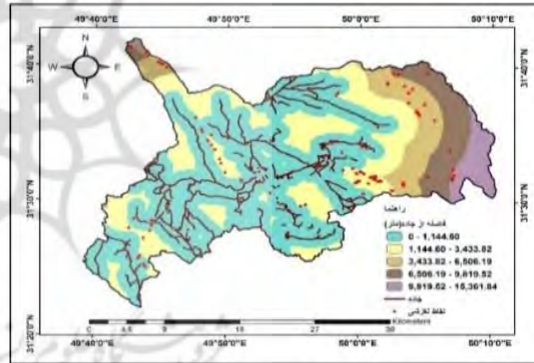
شکل (۸) نقشه‌ی فاصله از گسل منطقه‌ی مورد مطالعه
Figure (8): distance map of the fault of the study area



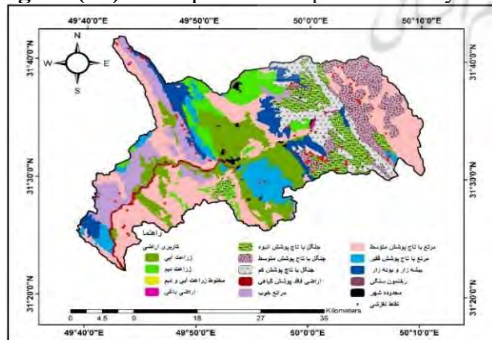
شکل (۷): نقشه‌ی فاصله از رودخانه منطقه‌ی مورد مطالعه
Figure (7): Distance map of the river in the study area



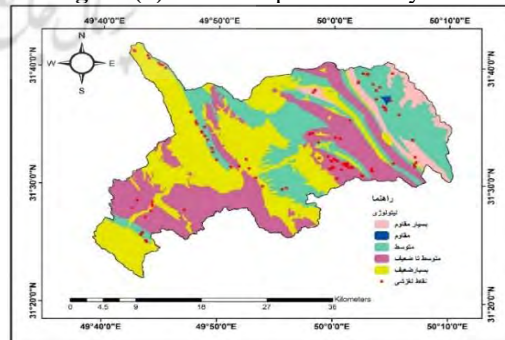
شکل (۱۰): نقشه‌ی بارش منطقه‌ی مورد مطالعه
Figure (10): Precipitation map of the study area



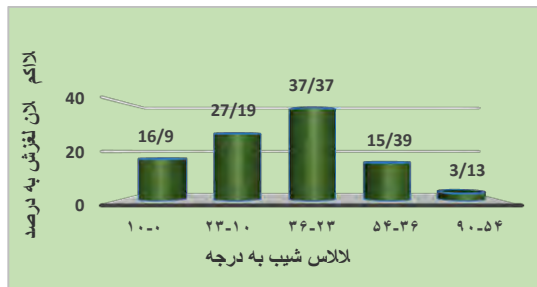
شکل (۹): نقشه‌ی فاصله از جاده منطقه‌ی مورد مطالعه
Figure (9): Road map of the study area



شکل (۱۲): نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه
Figure (12): Land use map of the study area



شکل (۱۱): نقشه‌ی کاربری لیتولوژی منطقه‌ی مورد مطالعه
Figure (11): Lithology user map of the study area



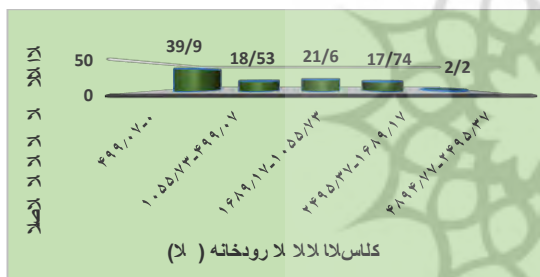
شکل (۱۴): نمودار درصد تراکم زمین لغزش در کلاس‌های شیب

Figure (14): Percentage of landslide density in slope classes



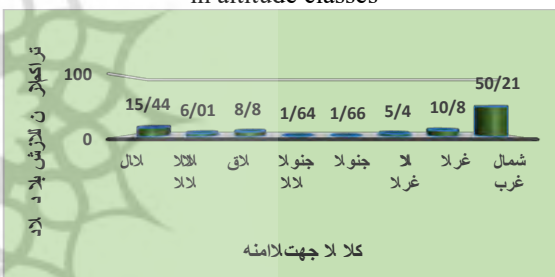
شکل (۱۳): نمودار درصد تراکم زمین لغزش در کلاس‌های طبقات ارتفاعی

Figure (13): Graph of landslide density percentage in altitude classes



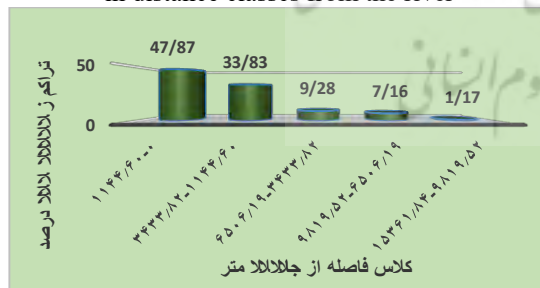
شکل (۱۶): نمودار درصد تراکم زمین لغزش در کلاس‌های فاصله از رودخانه

Figure (16): Landslide density percentage diagram in distance classes from the river



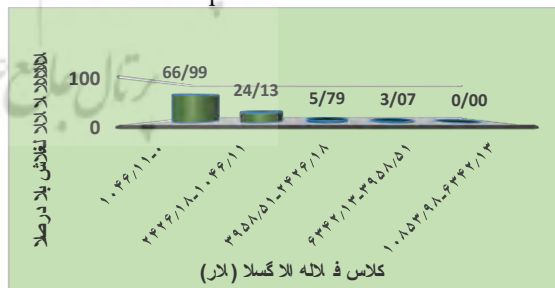
شکل (۱۵): نمودار درصد تراکم زمین لغزش در کلاس‌های جهت دامنه

Figure (15): Graph of landslide density percentage in slope direction classes



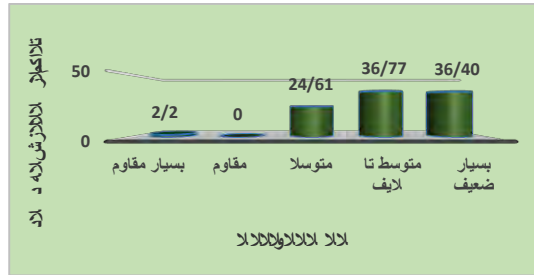
شکل (۱۸): نمودار درصد تراکم زمین لغزش در کلاس‌های فاصله از جاده

Figure (18): Diagram of the percentage of landslide density in the classes of distance from the road



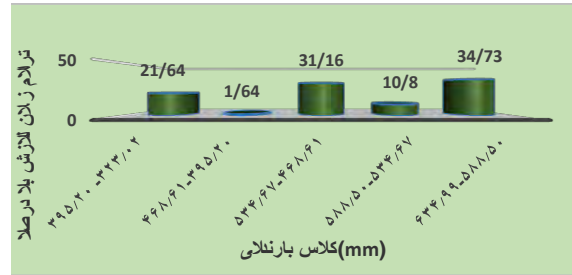
شکل (۱۷): نمودار درصد تراکم زمین لغزش در کلاس‌های فاصله از گسل

Figure (17): Diagram of the percentage of landslide density in the classes of distance from the fault



شکل (۲۰): نمودار درصد تراکم زمین لغزش در کلاس‌های

لیتولوژی



شکل (۱۹): نمودار درصد تراکم زمین لغزش در کلاس‌های

بارش

Figure (20): Graph of landslide density percentage in lithology classes

Figure (19): Landslide density percentage diagram in precipitation classes



شکل (۲۱): نمودار درصد تراکم زمین لغزش در کلاس‌های کاربری اراضی

Figure (21): Landslide density percentage chart in land use classes

با توجه به فرمول‌های تعریف شده جهت اعمال گامای فازی لایه‌ی نهایی حاصل، هر کدام از مقادیر ۷ در شکل‌های (۲۲)، (۲۳) و (۲۴) آمده است.

۳-۲- ارزیابی روش پهنه‌بندی

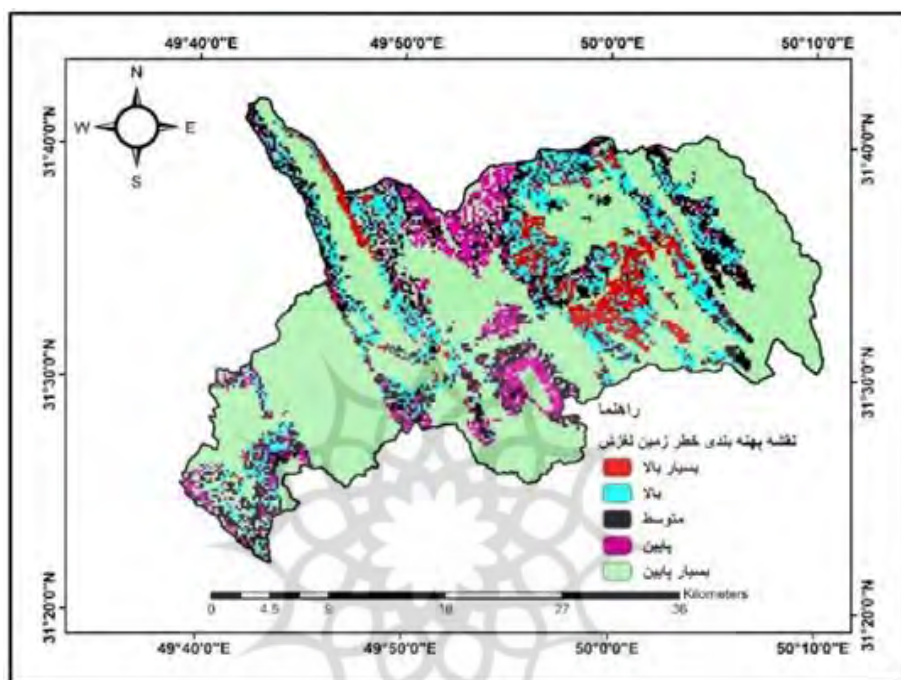
نتیجه‌ی حاصله از انجام پهنه‌بندی خطر زمین لغزش عموماً به صورت نقشه‌هایی است که رده‌های مختلف، خطر را در منطقه نشان می‌دهند. منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر حساسیت به فرآیندهای دامنه‌ای به ۵ کلاس بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین تقسیم شده است. بعد از تهیه‌ی نقشه‌های مربوط به عملگر گامای فازی می‌بایست از میان گاماهای مختلف بهترین گاما را جهت ارزیابی نقشه‌ی پهنه‌بندی حرکات توده‌ای انتخاب نمود. نقشه‌های خطر زمین لغزش با اپراتور گامای فازی با مقادیر ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹ محاسبه شده است، با توجه به نتایج به دست آمده از ارزیابی این نقشه‌ها که با استفاده از روش شاخص جمع کیفی انجام شد (جدول ۱)، نقشه‌ی

خطر با گامای ۰/۹ که دارای بالاتری میزان شاخص جمع کیفی (۰/۵۲۹) است، بیشترین دقت و صحت را در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد (شکل ۲۴).

جدول (۱): ارزیابی مجموع کیفی (Qs) روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

Table (1): Assessing the total quality (Qs) of landslide risk zoning methods

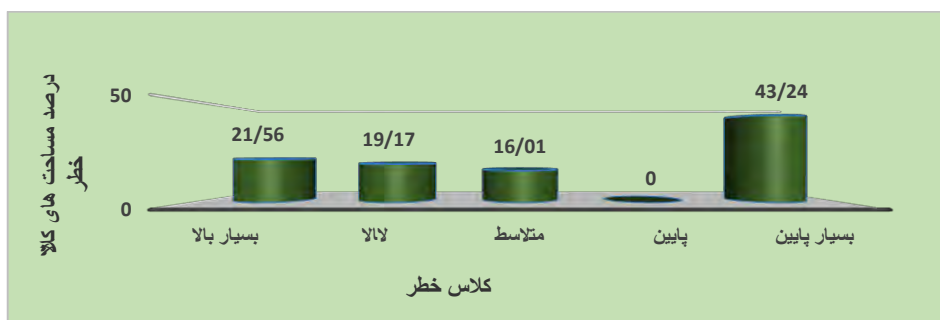
مقدار گاما	کلاس خطر	مساحت (KM2)	سطح لغزش در هر کلاس (KM2)	مجموع کیفیت (Qs)		
				Dr	S	Qs
گامای ۰/۷	بسیار بالا	۳۰/۴۵	۴۳۳	۲/۵۵	۰/۰۳۴	۰/۰۸۱
	بالا	۷۶/۲۶	۱۱۴۱	۲/۲۶	۰/۰۸۷	۰/۱۳۸
	متوسط	۱۲۰/۷۲	۹۰۵	۱/۳۴	۰/۱۳۸	۰/۰۰۱
	پایین	۱۱۰/۰۷	۱۹۸	۰/۳۲	۰/۱۲۶	۰/۰۵۸
	بسیار پایین	۵۳۴/۵۸	۲۱۷۴	۰/۷۳	۰/۶۱۲	۰/۰۴۴
	جمع	۸۷۲/۰۹	۴۸۵۱			۰/۳۲۲
گامای ۰/۸	بسیار بالا	۴۰/۷۳	۷۴۷	۳/۲۹	۰/۰۴۶	۰/۲۴۱
	بالا	۹۰/۸۵	۹۲۸	۱/۸۳	۰/۱۰۴	۰/۰۷۱
	متوسط	۱۲۵/۵۷	۹۵۷	۱/۳۷	۰/۱۴۳	۰/۰۱۹
	پایین	۸۴/۱۵	۷۸	۰/۱۶	۰/۰۹۶	۰/۰۶۷
	بسیار پایین	۵۳۰/۷۵	۲۱۴۱	۰/۷۲	۰/۶۰۸	۰/۰۴۷
	جمع	۸۷۲/۰۸	۴۸۵۱			۰/۴۴۲
گامای ۰/۹	بسیار بالا	۵۵/۵۵	۱۰۴۶	۳/۳۸	۰/۰۶۳	۰/۳۵۶
	بالا	۱۰۴/۱۲	۹۳۰	۱/۶۰	۰/۱۱۹	۰/۰۴۲
	متوسط	۱۱۵/۲۱	۷۷۷	۱/۲۱	۰/۱۳۲	۰/۰۰۵
	پایین	۶۶/۲۷	۰	۰	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵
	بسیار پایین	۵۳۰/۹۵	۲۰۹۸	۰/۷۱	۰/۶۰۸	۰/۰۵۱
	جمع	۸۷۲/۱۲	۴۸۵۱			۰/۵۲۹



شکل (۲۵): نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبریز رودخانه زرد

Figure (25): Landslide hazard zoning map in the Yellow River catchment

پس از انجام پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش درصد پهنه‌های لغزشی در هر کلاس محاسبه شد. نتیجه نشان داد که در محدوده‌ی مورد مطالعه، مناطقی که با خطر بسیار بالا پهنه‌بندی شده‌اند، کم‌ترین درصد (۶/۳۶) از میزان مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند، شکل (۲۵) نمودار مساحت تحت اشغال کلاس‌های خطر را در منطقه نشان می‌دهد.



شکل (۲۶): نمودار مساحت تحت اشغال کلاس‌های خطر در گامای فازی

Figure (26): Graph of area occupied by hazard classes in fuzzy gamma



شکل (۲۷): نمونه‌ای از لغزش‌های رخ داده در بخش جنوبی محدوده مورد مطالعه

Figure (27): An example of landslides in the southern part of the study area

۴- بحث

حوضه‌ی رود زرد به دلیل قرار گرفتن در یکی از مناطق پرمخاطره‌ی استان خوزستان، باعث ناپایداری‌ها و رخداد مخاطرات طبیعی مانند زلزله، زمین‌لغزش، ریزش، روانگرایی، فرونشست سیل و غیره در سطح محدوده شده است. بررسی‌هایی که در رابطه بین مناطق مسکونی با پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه صورت گرفته است نشان می‌دهد که بخش زیادی از محدوده‌ی در معرض خطر بالای زمین‌لغزش قرار دارد. وجود سازندهای سست و سخت متناوب و شیب‌های زیاد از مهم‌ترین عوامل در ناپایداری محدوده هستند، هم‌چنین سایر عوامل محیطی دیگر نظیر وقوع بارش‌ها، تغییر در کاربری‌های جنگلی ایجاد راه‌های ارتباطی نقش بسزایی در ناپایدار ساختن محدوده داشته است. در این پژوهش، نقشه‌های خطر زمین‌لغزش با اپراتور گامای فازی با مقادیر ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹ محاسبه شده است. در نهایت از میان گاماهای مختلف بهترین گاما را جهت ارزیابی نقشه پهنه‌بندی حرکات توده انتخاب شدند. با توجه به نتایج به دست آمده از ارزیابی این نقشه‌ها که با استفاده از روش شاخص جمع کیفی انجام شد (جدول ۱)، نقشه‌ی خطر با گامای ۰/۹ که دارای بالاتری میزان شاخص جمع کیفی (۰/۵۲۹) است، بیش‌ترین دقت و صحت را در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین زمین‌لغزش‌ها در ارتفاعات پایین (۷۸۲-۳۳۹ متر) که در کلاس شیب ۲۳-۳۶ درجه و جهت شیب شمال تأثیر بیش‌تری نسبت به کلاس‌های دیگر شیب در وقوع زمین‌لغزش داشته است. علیرغم اینکه بعضی از محققین (گمیتزی، ۲۰۱۱)، نقش جهت شیب را نادیده می‌گیرند ولی تعداد دیگری از محققین (روستایی و همکاران، ۱۳۹۶، کارارار و همکاران ۱۹۹۱) و (گوکجه اوغلو و آکسوی ۱۹۹۶) آن را در تحقیقاتشان به حساب آورده اند. در نزدیک‌ترین فاصله به گسل‌ها، رودخانه و جاده میزان این پدیده بیش‌تر بوده است. هم‌چنین با

افزایش میزان بارش وقوع زمین‌لغزش و بیش‌تر شده است. بیش‌ترین زمین‌لغزش‌های رخداد در سازندهای متوسط تا ضعیف و سازندهای بسیار ضعیف به وقوع پیوسته است؛ با توجه به نتایج حاصل از پهنه‌بندی، می‌توان گفت که عوامل زمین‌شناسی، بارش و فاصله از آبراهه به ترتیب مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده‌ی وقوع زمین‌لغزش می‌باشند. مخصوصاً عامل زمین‌شناسی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. اکثر زمین‌لغزش‌های حوضه بر روی سنگ آهک و کنگلومرا رخ داده‌اند که با نتایج تحقیق آقای روستایی در حوضه‌ی نازلوچای ارومیه (با عملگرهای گامای فازی)، تنگستانی در جنوبغرب ایران و آقای امیراحمدی که برای ایران کار کرده‌اند سنخیت دارد؛ بررسی نقشه‌ی کاربری اراضی نشان داده است که زمین‌لغزش در این اراضی که به صورت مرتع با تاج‌پوشش متوسط هستند، بیش‌ترین زمین‌لغزش رخ داده است که دلیل آن را می‌توان به وسعت بالای این نوع کاربری (۲۷/۵۳ درصد) در منطقه‌ی مورد مطالعه نسبت داد. مطابق با شکل (۲۵)، ۲۱/۵۶ درصد از منطقه‌ی مورد مطالعه در پهنه‌ی خطر بسیار بالا قرار گرفته است. انطباق نقشه طبقات ارتفاعی با لایه‌ی زمین‌لغزش نشان داد که بیش‌ترین زمین‌لغزش‌ها در ارتفاعات پایین (۷۸۲-۳۳۹ متر) ۳۴/۶۱ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. چنانچه در ارتفاعات بالا فراوانی زمین‌لغزش کم‌تر گردد، نشان دهنده آن است که در منطقه عوامل دیگری همچون لیتولوژی مقاوم به لغزش می‌باشد (مرادی و همکاران، ۱۳۸۹). هم‌چنین دای و لی (۲۰۰۲) معتقدند که علی‌رغم آن که در ارتفاعات بالا فرآیند هوازدگی سنگ در نتیجه پدیده ذوب-انجماد، غالب است، اما هر چه ارتفاع کم‌تر شود، خاک‌ها عمیق و تکامل‌یافته‌تر بوده و در نتیجه این مناطق برای وقوع زمین‌لغزش مساعدتر می‌باشند. در منطقه‌ی مورد مطالعه نیز با افزایش ارتفاع وقوع زمین‌لغزش کاهش می‌یابد، چون در ارتفاعات بالا، لیتولوژی منطقه پوشیده از سازندهای مقاوم به لغزش بوده که خود به نحوی مانع از وقوع لغزش در این ارتفاعات گردیده است که با نظرات مرادی و همکاران (۱۳۸۹) و پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد. بررسی عامل جهت شیب نشان داده که شیب شمال غرب با ۵۰/۲۱ درصد بیش‌ترین تراکم زمین‌لغزش را به خود اختصاص داده است که دلیل این امر می‌تواند به تأثیر شیب به عنوان یکی از عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش دانست که با نتایج قرهی و همکاران (۱۳۹۰)، بلالی و همکاران (۱۳۹۵) و پورقاسمی و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. با افزایش فاصله از رودخانه میزان فرآیندهای دامنه‌ای کاهش می‌یابد. علت فرآیندهای دامنه‌ای رخ داده یا در شرف وقوع می‌تواند ناشی از مرطوب ماندن دائمی خاک‌ها باشد. هم‌چنین جریان رودخانه و شعبات آن می‌تواند باعث شستشوی خاک‌های پای دامنه‌ها و ناپایدار کردن آن‌ها شود. این نتیجه با نتایج تحقیقات دیموند و همکاران (۲۰۰۶)، لی و پراداهان (۲۰۰۷)، چانگ و همکاران (۲۰۰۸) مبنی بر تأثیر مثبت آبراهه بر فرآیندهای دامنه‌ای مطابقت دارد، به طوری که با نزدیک شدن در این منطقه فرآیندهای دامنه‌ای ایجاد شده است و با دور از آبراهه‌ها فرآیندهای دامنه‌ای کاهش می‌یابد. بررسی ارتباط فاصله از گسل نشان داد که هر چه فاصله از گسل‌ها بیش‌تر می‌شود، از میزان فرآیندهای دامنه‌ای کاسته می‌شود، به طوری

که تا فاصله ۱۰۶۴ متری از گسل‌ها، بیش‌ترین میزان فرآیندهای دامنه‌ای مشاهده می‌گردد که با نتایج معتمدوزیری و کورکی‌نژاد (۲۰۰۶) و اسحاقی و همکاران (۱۳۸۸) تطابق دارد. یکی دیگر از فاکتورهای مؤثر، فاصله از جاده بوده است که فاصله ۱۱۴۴-۰ متر از جاده به عنوان عامل تأثیرگذار در وقوع فرآیندهای دامنه‌ای به حساب آمده است. با افزایش فاصله از جاده، از میزان فرآیندهای دامنه‌ای کاهش می‌یابد. عواملی چون عدم انتخاب مناسب مکان‌های ساخت جاده، عدم دادن شیب مناسب و در نهایت عدم به‌کارگیری یا قرار دادن زهکش‌های مناسب در جاده که منجر به عدم عبور آب حاصل از بارش در سطح جاده می‌شود را از عوامل مؤثر در وجود لغزش‌ها در اطراف جاده‌ها می‌توان دانست. مطالعات مقیمی و همکاران (۱۳۸۷) و یمانی و همکاران (۱۳۹۱) این مسئله را تأیید می‌کند. اراضی مرتعی به دلیل نقش انسان در تخریب پوشش گیاهی و استفاده نادرست در معرض زمین‌لغزش قرار دارد که با مطالعات بلالی و همکاران (۱۳۹۵) و امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۶) همخوانی دارد.

۵- نتیجه‌گیری

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر با گامای ۰/۹ که دارای بالاتری میزان شاخص جمع کیفی (۰/۵۲۹) است، بیش‌ترین دقت و صحت را در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد، عوامل لیتولوژی و بارش به عنوان مستعدترین واحدها برای وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه‌ی مورد مطالعه محسوب می‌شوند. هم‌چنین ۴۰/۷۰ درصد از محدوده‌ی مورد مطالعه در پهنه خطر بالا و بسیار بالا قرار دارد. از مهم‌ترین ضرورت‌های انجام این پژوهش این است که محدوده‌ی مورد مطالعه یکی از متراکم‌ترین و مهاجرپذیرترین نواحی استان خوزستان به لحاظ سکونت انسانی می‌باشد، لذا بررسی و ارزیابی مخاطرات در این حوضه می‌تواند گامی اساسی در استقرار و گسترش بهینه جمعیت‌های انسانی در این محدوده باشد.

۶-منابع

- Abdollahzadeh, A., ownegh, M., Sadoddin, A., Mostafazadeh, R. (2016). Comparison of two methods for determining landslide risk areas in Ziarat watershed of Golestan province, *the Journal of Crisis Management*, Spring and Summer 2016, 5(9) 55-78(in Persian)
- Chung, C.J. & Fabbri, A.G. (2008). Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping, *Natural hazard*, Vol.30, pp: 451-472.
- Dai, FC. & Lee, CF. (2002). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS - Hong Kong, *Geomorphology*, Vol.42, n (3-4), 213-228.
- Dymond, J. R., Ausseil, A.G., shepherd, J.D., & Buettner, I. (2006). Validation of a Region Wide Model of Landslide susceptibility in the Manawatu. Wanganui Region of New Zealand, *Geomorphology*, Vol. 74: 70- 79.
- Abedini, M.; Fathi, M H. (2014). Zoning of landslide risk sensitivity in Khalkhal Chay watershed using multi-criteria models, *Quantitative Geomorphological Research*, No. 4, 8: 85-71(in Persian).
- Aksoy, B., and Ercanoglu, M. (2012). Landslide identification and classification by object-based image analysis and fuzzy logic: An example from the Azdavay region (Kastamonu, Turkey), *Computers & Geosciences*, 38(1): 87-97.
- Amira Ahmadi, A.; Naami tabar. M.; Golkar Ostadi, B. (2017). Prioritization and zoning of factors affecting landslide occurrence using entropy model (Case study: Bajgiran region, Quchan), *hydrogeomorphology*, 3(11): 127- 104(in Persian).
- Arab Ameri, A.; Halabian, A H. (2015). Landslide Hazard Zoning Using AHP Bivariate Statistical Model and Zarand Basin Geographical Information System, *Natural Geographical Quarterly*, 8(28): 86-65(in Persian).
- Ashqali Farahani, A.; Teshneh lab, M.; Ghayoumian, J.; Fatemi Aghda, S.M. (2014). Investigation of landslide risk using fuzzy logic (case study of Rudbar region), *Journal of Science, University of Tehran*, 31(1): 64-43(in Persian).
- Balali, F.; Wahabzadeh, Gh; Pourghasemi, H.; Forouzanfar, M. (2016). Landslide Tendency Zoning Using Fuzzy Logic Method (Case Study: Part of Nekarood catchment), *Journal of Iranian Geological Engineering Association*, 9, (3 & 4): 30-19(in Persian).
- Champati-ray, P.K., Dimri, S. Lakhera, R.C., and Sati, S. (2007). Fuzzy-based method for landslide hazard assessment in active seismic zone of Himalaya, *Landslides*, 4(2): 101- 111.
- Dhianaufal, D., Kristyanto, T. H. W., Indra, T. L., and Syahputra, R. (2018). Fuzzy Logic Method for Landslide Susceptibility Mapping in Volcanic Sediment Area in Western Bogor, *Proceedings of the 3rd International Symposium on Current Progress in Mathematics and Sciences 2017 (ISCPMS2017) AIP Conf.*

- Faraji, Hojjat; A., Adel. (2016). Fuzzy Management Science, Fifth Edition, Mehraban Book Publisher.
- Gee, M.D. (1991). Classification of landslide hazard zonztion methodes and 3.a test of predictive capability, Landslide, Bell(ed), Balkema, Rotterdam (in Persian).
- Geological Survey, (1966). Description of Haft Gol Square Geological Maps, Dehler, Asmari. (In Persian)
- Hassani, Sir.; Urmia, A.; Maleki, Z. (2017). Landslide risk zoning of Kan-Solghan road by fuzzy logic method, *Quarterly Journal of Environmental Geology*, 11(38): 35-50. (In Persian)
- Hosseinabadi, M.; Mousavi, S M.; Nazemi, M. (2019). Earthquake and landslide hazard zoning by fuzzy logic method in Bagheran mountain range (south of Birjand), *Quarterly Journal of Geography and Development*, 17(55): 174-153(in Persian).
- Ishaqi, A.; Motamed Vaziri, B.; Faizunia, S. (2009). Zoning the risk of occurrence of mass movements using logistic regression method (Case study: Saffarud watershed), *Geographical Quarterly of the Land, Year 6(24): 77-67*(in Persian).
- Lee S. (2004). Application of Likelihood Ratio and Logistic Regression Models to Landslide Susceptibility Mapping Using GIS. *The Journal of Environmental Management*, 34(66): 223-232.
- Leonardia, G., Palamaraa, R., and Cirianni, F. (2016). Landslide Susceptibility Mapping Using a Fuzzy Approach, *Procedia Engineering*, 161: 380-387.
- Madadi, A., Mehri, M., Ney Niva, S P. (2020., Investigation of effective factors in landslides in Ardal basin (Chaharmahal Bakhtiari province) using logistic regression method, New findings of applied geology, *Fourteenth year*, No. 27: 112-123(in Persian)
- Marzbani, M., Shirzadi, H., and Fathi, M. (2016). Landslide hazard zoning using information value model in geographic information system (GIS) case study (Dareh Shahr watershed-Simakan). *The First International Conference on Natural Hazards and Environmental Crises. Strategies and Challenges. (In Persian)*.
- Malchevsky, Y. (1999), Geographic Information System and Multi-Criterion Decision Analysis, translated by Parhizgar, Akbar. Ghaffari Gilande, Ata, *Second Edition, (2011), Tehran: Samat Publications*,
- Moghimi, I.; Alavi Panah, S K.; Jafari, K. (2008), Evaluation and zoning of effective factors in landslide occurrence in the northern slopes of Aladagh (Case study: Chenaran drainage basin in North Khorasan province), *Geographical Research*, No. 64: 75-53(in Persian).
- Moradi, H.; Mohammadi, M.; Pourghasemi, H. R.; Mostafazadeh, R. (2010), Landslide risk analysis in Golestan province using Dempster-Schaefer theory, *Earth knowledge research*, 1(3): pp. 14-1(in Persian).

- Moradi, H., Mohammadi, M., Pourghasemi, H., Mostafazadeh R. (2012) Landslide risk analysis in Golestan province using Dempster-Shafer theory, *Journal of Earthquake Research, Fall 2010*, 1(3): 1-14(in Persian)
- Mosafae, J., Onegh, M. and Shariat Jaffar, I. (.2009). Comparison of the efficiency of the experimental and statistical method of landslide ranger zoning (Case study of Alamoot Roud Watershed), *Journal of Water and Soil Conservation Studies*, 6(4): 43-61(in Persian).
- Motavi, S., Hosseinzadeh, M., Ismaili, R, Darfashi, K. (2014), Evaluating the accuracy of multivariate regression methods, (MR logistic regression), (LR Analytic Hierarchy Process (AHP) and fuzzy logic (FL) in Landslide Hazard Zoning of Taleghan Watershed, *Quantitative Geomorphological Research, Fourth Year*, No. 1, pp. 1-20(in Persian)
- Mokhtari D., Rezaei Moghadam M. H., Moezz, S. (2021). Zoning of detrital flow risk using FUZZY-SAW model Case study: Leylan Chay catchment, *northwestern Iran*, 8(27): 101-81 Serial Number 27, (in Persian)
- Nojavan, M.R., Shahzaidi, S., Sadat, Davoodi, M., Amin al-Ra'i, A. (2019). landslide risk zoning using a combination of two models of hierarchical and quasi depletion process (Case study: Kameh watershed, Isfahan province, *Quantitative Geomorphological Research, Seventh Year*, No. 4:142-159(in Persian)
- Piravan, H.; Shariat Jafari, M. (2013), Presenting a comprehensive method for determining the erodibility of lithological units with a view to Iranian geology, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 5(3): 213-119(in Persian)
- Pourghasemi, H. (2013). Landslide risk prediction using data mining methods in the north of Tehran, PhD thesis, *Tarbiat Modares University, Faculty of Natural Resources, Department of Watershed Management. (in Persian)*
- Pourghasemi, H. R., Goli Jirandeh, A., Pradhan, B., Xu C. and Gokceoglu, C. (2013). Landslide Susceptibility Mapping Using Support Vector Machine and GIS, *Journal of Earth System Science*, 122(2), pp: 349-369. (in Persian)
- Pourghasemi, H.; Moradi, H.; Fatemi Aqda, S M.; Mahdavifar, M. R.; Mohammadi, M. (2011), Evaluation of Geomorphological and Geological Factors in Landslide Hazard Mapping Using Fuzzy Logic and Hierarchical Analysis Method (Case Study: Part of Haraz Watershed), *Soil and Water Conservation Research (Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 18(4):20-1(in Persian).
- Pourghasemi. H., Moradi H., Mohammadi. M., Mostafa Zadeh. R., Goli Jirandeh, A. (2012), Landslide risk zoning using Bayesian theory, (*Agricultural Science and Technology and Natural Resources, Water and Soil Science*, 16(62), Winter 2012(in Persian)
- Qanawati, E.; Karam, A.; Taghavi Moghadam, E. (2014). Application of Fuzzy Logic in Identification and Zoning of Landslide-Slip Risk Case Study of Taleghan Watershed, *Engineering Geology and Environment*, 24(94):16-9. (In Persian)

- Qarahi, H.; Bohlooli, B.; Mobile, A.; Shariat Jafari, M. (2011). Preparation of Sensitivity Map of Landslide Phenomenon Using Hierarchical Analysis and Bivariate Statistical Model in Alborz Dam Reservoir, *Journal of Earth Sciences*, 21(81): 100-93. (in Persian).
- Rustaei, Sh., Mokhtari d., Hosseini, Z., Atmani Haghviran, M. (2015), Investigation of Landslide Potential in the Meymeh River Basin in Ilam Province by Network Analysis (ANP), *Journal of Hydrogeomorphology*, 1(4), Page 101, Fall 2015, (in Persian)
- Rustaei, Sh.; Hejazi, A.; Rajabi, M; Jalali, N; Najafi Igdir, A. (2018). Application of fuzzy logic in landslide risk zoning in Nazlouchai watershed, *Quantitative Geomorphological Research*, 6(4): 119-103 Series 24, (in Persian)
- Rezaei Moghaddam, M. H., Nikjoo, M. R., Valizadeh Kamran, K, Balvasi, I. A, Balvasi, M. (2017). Application of artificial neural network model in landslide risk zoning, geography and spring 2017 planning, No. 59(in Persian)
- Sabuya, F., Alves, M. G., & Pinto, W. D. (2006). Assessment of failure susceptibility of soil slopes sing fuzzy logic, *Engineering Geology*, 86(4): 211-224.
- Sharafi, S., Sadeghi Rad, M., Javadinia, Z. (2020). Paleogeomorphology reconstruction of Dela landslide and formation of Shimbar Dam Lake in Indika city, Khuzestan province, *Quarterly Journal of Applied Geographical Sciences Research (in Persian)*
- Shariat Jafari, M. (1996), *Landslide (Principles and principles of natural slope stability)*, first edition, Sazeh Publications (in Persian).
- Taheri, S. M. (2002), *Introduction to the theory of fuzzy sets*, second edition, University Jihad Publications, Ferdowsi University of Mashhad.(in Persian)
- Vandromme. R., Thiery, Y., Bernardie, S., Sedan.O. (2020). Landslides Induced by Climatic Events): A single tool to integrate shallow and deep landslides for susceptibility and hazard assessment, *Geomorphology*.
- Wang, L. (2016). *Fuzzy systems and fuzzy control*, translation (Dariush Afyoni, Nima Saffarpour, Mohammad Tashnehlab), first edition, Khajeh Nasir al-Din Tusi University.
- Yamani, M.; Hasanpour, S.; Mustafaei, A; Shadman Rudpashti, M. (2012), Landslide Hazard Zoning Map in Karun Bozorg Watershed Using AHP Model in GIS Environment, *Geography and Environmental Planning, Volume 23, Number 48, Number 4, pp. 56- 39(in Persian)*.
- Zhu, A. X., Wang, R., Qiao, J., Qin, C. Z., Chen, Y., Liu, J., Du, F., Lin, y., and Zhu, T. (2014). An expertknowledge-based approach to landslide susceptibility mapping using GIS and fuzzy logic, *Geomorphology*, 7: 128-138.