

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل نسبت فراوانی و منطق فازی (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان جم)

امیر صفاری

دانشیار ژئومورفولوژی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

منیره رعیتی شوازی*

دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

مریم جان احمدی

کارشناس ارشد ژئومورفولوژی

لیلا شیرزاد ملایری

کارشناس ارشد زمین‌شناسی، پتروولوژی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۵/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵

چکیده

زمین لغزش یکی از مظاهر ناپایداری دامنه‌های طبیعی است و زمانی که فعالیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار دهد، می‌تواند به پدیده‌ای خطرناک تبدیل شود. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نقش مهمی را در ارزیابی خطرهای محیطی و تعیین راهکارهای بهینه مدیریتی نواحی مستعد زمین لغزش ایفا می‌کند. هدف از این پژوهش، تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بخش مرکزی شهرستان جم در استان بوشهر، از طریق وزن دهی به معیارهای اصلی با استفاده از مدل نسبت فراوانی و منطق فازی در نرم‌افزار Arc GIS 10 است. لایه پهنه‌های لغزشی به‌عنوان متغیر وابسته و لایه‌های ارتفاع، شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری اراضی، خاک و بارش به‌عنوان متغیرهای مستقل در مدل وارد شدند. بعد از مرحله فازی سازی معیارها، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از طریق عملگرهای جمع، ضرب و گامای فازی با لانداهای ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ تهیه شد. نتایج حاصل از مقایسه این نقشه‌ها نشان داد که نقشه گامای فازی ۰/۹ پهنه‌بندی مناسب‌تری در رابطه با زمین لغزش‌های بخش مرکزی جم دارد، به طوری که ۲۴/۲۴ درصد از محدوده مورد مطالعه (۱۶۹/۳۲ کیلومترمربع) در کلاس خطر بسیار زیاد و ۲/۴۷ درصد از محدوده (۱۷/۲۵ کیلومترمربع) در کلاس خطر بسیار کم قرار می‌گیرد.

واژگان کلیدی: استان بوشهر، زمین لغزش، پهنه‌بندی خطر، مدل نسبت فراوانی، منطق فازی.

مقدمه

زمین‌لغزش حرکت ثقلی در جهت رو به پایین و بیرون مواد تشکیل دهنده یک دامنه اعم از سنگ، خاک و یا خاک‌ریزهای مصنوعی است (Varnes, 1978, 12). زمین‌لغزش‌ها از پدیده‌های طبیعی به شمار می‌روند که پس از زلزله و سیل بیشترین آسیب را به انسان وارد می‌کند. به طوری که سالانه میلیاردها تن خاک و سنگ بر اثر این پدیده جابجا می‌شوند. ایران با توپوگرافی کوهستانی در بخش‌های وسیعی، فعالیت‌های زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط بسیار متنوع اقلیمی و زمین‌ساختی شرایط مساعد برای بروز زمین‌لغزش را دارد و اهمیت آن در مناطق نزدیک به سکونتگاه‌ها و تأسیسات انسانی بیشتر احساس می‌شود. این پدیده یکی از فرایندهای ژئومورفولوژیکی اصلی تأثیرگذار بر چشم‌انداز تکاملی در کوهستانی به شمار می‌رود (Roering & et.al, 2005, 654) که به‌تنهایی ۱۷ درصد از بلایای طبیعی جهان را به خود اختصاص داده است (Oehorst & et al, 2005, 173) و ضرورت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را آشکار می‌سازند. با پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش‌ها می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر را شناسایی نمود و با ارایه راه حل‌ها، شیوه‌های کنترل و مدیریت مناسب تا حدی از وقوع زمین‌لغزش‌ها جلوگیری و یا آسیب‌های ناشی از وقوع آن‌ها کاست.

زمین‌لغزش‌ها نتیجه فرایندهای مکانی زمانی و در واقع تحت تأثیر متغیرهای اصلی و اتفاقی هستند. متغیرهای اصلی شامل زمین‌شناسی سنگ بستر، شرایط خاک (نوع و عمق خاک)، ارتفاع، توپوگرافی (شیب، جهت و انحنای شیب)، کاربری زمین و شبکه‌های زهکشی هستند. متغیرهای اتفاقی نیز بارش‌های شدید، زمین‌لرزه و فعالیت‌های آتشفشانی می‌باشند (Turner and Schuster, 1996, 673; Crozier, 1986, 245; Garfi & et al, 2007, 181; Dahal & et al, 2008, 496). تأثیرات آنتروپوژنیک نیز پتانسیل وقوع زمین‌لغزش‌ها را در سطح کره زمین، به‌ویژه در نواحی کوهستانی تشدید کرده است (Wu, 1995, 209).

شناخت و تشخیص انواع حرکات توده‌ای حداقل به سال ۱۸۶ میلادی در چین باز می‌گردد (Brabb, 1991, 52). پهنه‌بندی لغزش شامل تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی کردن این مناطق بر اساس درجه واقعی یا پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین‌لغزش بر روی شیب دامنه‌هاست (شریعت جعفری، ۱۳۷۵، ۱۴۸). سه رویکرد اصلی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش وجود دارد: کیفی، نیمه کمی و کمی. روش‌های کمی بر پایه منطق ریاضی از همبستگی بین فاکتورهای مؤثر و وقوع زمین‌لغزش می‌باشند. روش‌های جبری و آماری دو نوع از روش‌های کمی‌اند که عموماً استفاده می‌شوند (Aleotti & et al, 1999, 21). ارزیابی‌های کمی شامل رگرسیون تحلیلی دو متغیره، چند متغیره و لجیستیک، منطق فازی، آنالیز شبکه مصنوعی و ... می‌باشند (Komac, 2006, 17; Caniani, 2008, 15). به منظور کمی‌سازی داده‌ها و عوامل کیفی که در وقوع زمین‌لغزش اثر دارند و هم به این دلیل که داده‌های کیفی در زمین‌لغزش با عدم قطعیت و ماهیتی مبهم همراه هستند از منطق فازی استفاده می‌شود (مرادی و همکاران، ۱۳۸۹، ۱۳۰). در واقع اگر یک مجموعه قطعی نباشد، دارای درجه‌ای از فازی بودن است که در آن مرزها به‌صورت مبهم ترسیم می‌شوند. هر چه مرزها

مبهم تر باشند، آن مجموعه فازی تر به حساب می آید. تئوری مجموعه های فازی و منطق فازی را اولین بار پروفسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ معرفی کرد (الفتی و همکاران، ۱۳۹۱، ۳۷). در پژوهشی ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین لغزش در حوضه آبخیز شیرود انجام شد که در نتیجه مدل فازی گاما، مناسب ترین روش برای دستیابی به هدف پژوهش معرفی شد (عبادی نژاد و همکاران، ۱۳۸۶، ۳۹). در پژوهشی دیگر شاد فر حوضه آبخیز چالکرو در استان مازندران را با استفاده از عملگرهای منطق فازی پهنه بندی نمود. صحت نقشه ها را با استفاده از نمایه جمع کیفی (QS) مورد ارزیابی قرار داد و بیان کرد که عملگر فازی گامای ۰/۸ مناسب ترین عملگر جهت پهنه بندی زمین لغزش در محدوده مذکور می باشد (شاد فر، ۱۳۸۴، ۲۲۵). نتایج پژوهشی با عنوان مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: جاده ارتباطی مریوان-سنندج) که با مقایسه نقشه های نهایی از دو مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی انجام شده است نشان داد که مدل نسبت فراوانی به دلیل فازی سازی مناسب هر معیار برای پهنه بندی زمین لغزش ها در این جاده ارتباطی روش مناسب تری است (صفاری، ۱۳۹۲، ۷۹). Murat و Candan در پژوهشی تحت عنوان استفاده از روابط فازی جهت تولید نقشه های توانمندی زمین لغزش در غرب دریای سیاه (ترکیه) به این نتیجه رسیدند که به دلیل پیچیده بودن ماهیت پدیده زمین لغزش و دخالت عوامل متعدد در وقوع آن، به کار بردن روابط فازی در تهیه نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش از سایر روش ها بهتر و به واقعیت نزدیک تر است (Murat, et al, 2003, 24). گورسوکی و همکاران در پژوهشی به نام پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی، به این نتیجه رسیدند که استفاده از مجموعه های فازی محدودیت روش های کمی را برطرف ساخته است (Gorsevski, et al, 2006, 1). در این پژوهش، بخش مرکزی شهرستان جم بررسی شده است. این شهرستان به لحاظ موقعیت جغرافیایی و اهمیتی که در بخش صنعت نفت و گاز در استان بوشهر دارد توسط عامل انسانی، به طور مداوم در حال تغییر و تحول هست. از جمله تغییرات مداوم دامنه های کوهستانی منطقه است که غالباً از جنس سازندهای سست می باشند و این امر می تواند زمین لغزش ها را تشدید کند. از این رو لازم هست نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش این بخش تهیه شود تا مناطق بحرانی با تدابیر بیشتری شناسایی و در پروژه ها مورد ارزیابی و استفاده قرار گیرد. به همین منظور پهنه بندی منطقه مورد مطالعه از طریق وزن دهی به معیارهای اصلی با استفاده از مدل نسبت فراوانی و منطق فازی در نرم افزار Arc GIS ۱۰ انجام شد.

منطقه مورد مطالعه

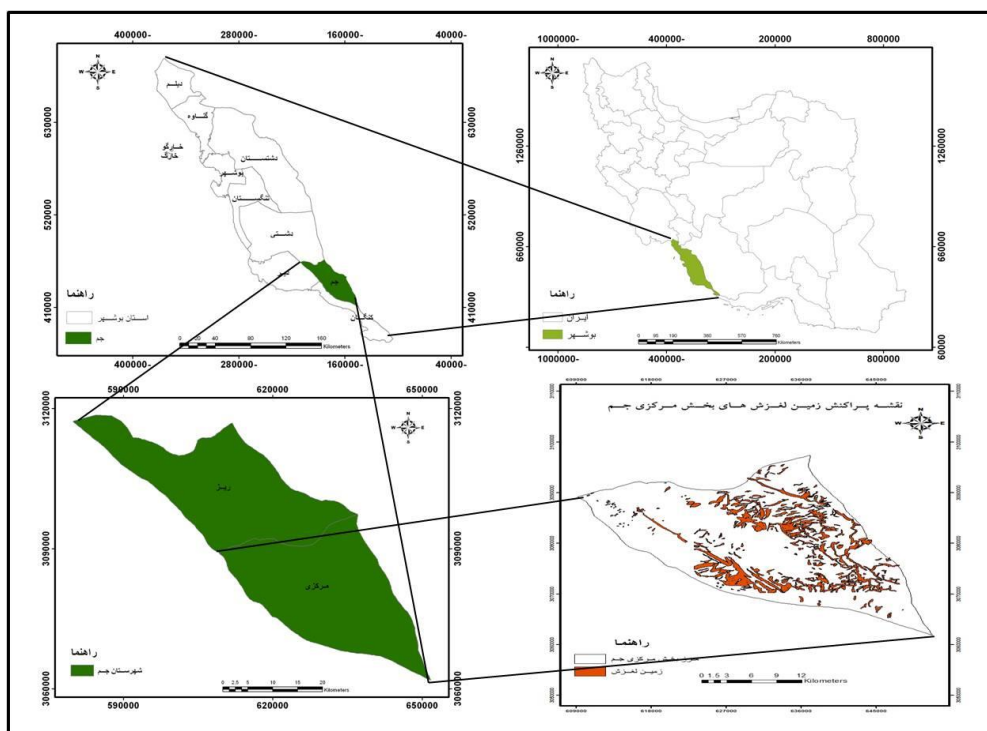
منطقه مورد مطالعه بخش مرکزی شهرستان جم است که در جنوب شرقی استان بوشهر در بخش جنوب غربی زاگرس چین خورده واقع شده است. این محدوده دارای مساحت ۷۰۴/۷۴ کیلومتر مربع و در مختصات ۲۷ درجه و ۴۰ دقیقه و ۲۵ ثانیه تا ۲۷ درجه و ۵۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه و ۲۶ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه و ۵۱ ثانیه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). بیشترین ارتفاع این منطقه کوهستانی ۱۳۳۰ متر از سطح دریا می باشد و شهر

جم در وسط این طاق‌دیس‌ها قرار گرفته است. بر اساس سیستم دومارتن، اقلیم خشک گرم، اقلیم غالب محدوده است. سایر اقلیم‌ها نیز از قبیل نیمه خشک گرم و نیمه خشک معتدل در منطقه در ترازهای مختلف ارتفاعی یافت می‌شود. رژیم بارندگی مدیترانه‌ای در منطقه، باعث شده که فصل زمستان بیش از ۶۰ درصد بارندگی سالانه را به خود اختصاص می‌دهد و فصل تابستان با ۱ درصد بارندگی سالانه، خشک‌ترین فصل محسوب می‌شود.

داده‌ها و روش‌ها

معیارها و روش‌های وزن دهی

به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این پژوهش، نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه تعداد و پراکنش زمین‌لغزش‌ها از طریق Google earth جمع‌آوری و در محیط Arc GIS 10 آماده شدند. معیارهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری اراضی، خاک و بارش به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفتند. وزن دهی به معیارها از طریق روش نسبت فراوانی در نرم افزار Arc GIS 10 انجام شد. تلفیق نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها با معیارهای مورد نظر، تعداد پیکسل‌های لغزش یافته در هر طبقه از لایه‌های عاملی را به دست می‌دهد. در مدل نسبت فراوانی، وزن هر یک از عوامل و کلاس‌های مرتبط از رابطه $FR=A/B$ محاسبه می‌شود. در این رابطه FR نسبت فراوانی، A: درصد پیکسل‌های لغزشی و B: درصد پیکسل‌های فاقد لغزش است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

فازی سازی معیارها

با استفاده از رابطه نسبت فراوانی طبقات معیارها فازی سازی (بین صفر و یک) شدند و با استفاده از این وزن‌ها، نقشه رستری هر معیار به صورت فازی تهیه شد (نقشه‌های شماره ۲ تا ۱۱). در جدول شماره ۱ مقادیر عضویت فازی مربوط به معیارهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش از طریق روش نسبت فراوانی محاسبه شده است. این مقادیر برای تهیه نقشه‌های فازی هر معیار مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱: مقادیر عضویت فازی معیارهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش (با روش نسبت فراوانی) در بخش مرکزی جم

معیار ارتفاع				
مقادیر عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
۰/۲۳	۰/۴۰	۵/۶۰	۲/۲۷	۲۵۰-۴۰۰
۰/۷۱	۱/۲۰	۱۰/۶۳	۱۲/۸۶	۴۰۰-۵۵۰
۰/۴۸	۰/۶۵	۳۲/۸۳	۲۱/۶۱	۵۵۰-۷۰۰
۰/۹۰	۱/۵۴	۲۱/۰۹	۳۲/۵۶	۷۰۰-۸۵۰
۱	۱/۶۹	۱۳/۱۴	۲۲/۳۰	۸۵۰-۱۰۰۰
۰/۴۶	۰/۷۹	۹/۱۰	۷/۲۰	۱۰۰۰-۱۱۵۰
۰/۱۱	۰/۱۹	۵/۵۵	۱/۰۹	۱۱۵۰-۱۳۰۰
۰/۰۱۷	۰/۰۲	۲/۰۳	۰/۰۵	۱۳۰۰ <
معیار شیب				
مقادیر عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
۱۵	۳۴	۷۱/۳۲	۲۱/۱۱	۰-۱۰
۴۲	۹۵	۸۹/۲۶	۶۳/۲۵	۱۰-۲۰
۵۸	۳۰/۱	۱۱/۲۰	۲۶/۲۶	۲۰-۳۰
۷۳	۶۳/۱	۷۷/۱۰	۶۲/۱۷	۳۰-۴۰
۸۹	۹۹/۱	۹۷/۴	۹۱/۹	۴۰-۵۰
۱	۲۲/۲	۳۵/۳	۴۵/۷	۵۰-۷۰
۹۴	۱۰/۲	۷۱	۵۱/۱	۷۰-۹۰
۴۶	1/4	۴۴	۴۶	۹۰ <

معیار جهت شیب				
مقادیر عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
۰/۴۸	۶۷	۷۴/۲۲	۲۶/۱۵	۰-۴۵
۱۶	۸۴	۹۹/۱۸	۵/۱۶	۴۵-۹۰
۱۹	۲۵/۱	۹۵/۱۰	۷۹/۱۳	۹۰-۱۳۵
۹۸	۳۵/۱	۱۰/۸	۹۹/۱۰	۱۳۵-۱۸۰
۹۵	۳۰/۱	۹۵/۸	۶۹/۱۱	۱۸۰-۲۲۵
۱	۳۷/۱	۸/۸۵	۱۴/۱۲	۲۲۵-۲۷۰
۷۴	۱/۱	۸۵/۸	۶/۹	۲۷۰-۳۱۵
۶۴	۸۷	۵۵/۱۲	۳/۱۱	۳۱۵-۳۶۰
معیار واحدهای سنگ‌شناسی				
مقادیر عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
۱۹/۰	۲۸/۱	۴۴/۹	۱۳/۱۲	OE
۱۰/۰	۶۷/۰	۰۳/۱۷	۴۷/۱۱	Mgs
۱۶/۰	۰۷/۱	۰۵/۱۶	۲۰/۱۷	Pib
۰۱/۰	۱۲/۰	۴۱/۱۴	۸۱/۱	Qt2
۲۶/۰	۷۴/۱	۶۱/۴	۰۵/۸	EK
۱۸/۰	۲۰/۱	۶۹/۱۵	۹۷/۱۸	Kb
۰۲/۰	۱۴/۰	۳۶/۳	۴۷/۰	Qf
۲۱/۰	۴۶/۱	۹۶/۱۴	۸۶/۲۱	Mm
۰۵/۰	۰۳/۰	۹۴/۰	۰۳/۰	JKk
۲۴/۰	۶۱/۱	۰۳/۳	۹۰/۴	Ma
۱	۶۴/۶	۴۵/۰	۰۵/۳	Mr
معیار فاصله از گسل				
مقادیر عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
۶۷/۰	۲۰/۱	۸۰/۱	۱۷/۲	۰-۱۰۰
۷۲/۰	۲۸/۱	۹۵/۲	۷۷/۳	۱۰۰-۳۰۰
۱	۷۷/۱	۱۲/۳	۵۵/۵	۳۰۰-۵۰۰
۸۵/۰	۵۲/۱	۸۹/۹	۱۰/۱۵	۵۰۰-۱۰۰۰
۴۷/۰	۸۵/۰	۱۹/۲۴	۶۰/۲۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰
۵۹/۰	۰۵/۱	۸۶/۱۸	۸۹/۱۹	۲۰۰۰-۳۰۰۰
۶۳/۰	۱۲/۱	۱۲/۱۲	۶۵/۱۳	۳۰۰۰-۴۰۰۰

۵۷/۰	۰۲/۱	۸۷/۱۰	۱۷/۱۱	۴۰۰۰-۵۵۰۰
۴۹/۰	۸۷/۰	۶۰/۵	۸۹/۴	۵۵۰۰-۷۰۰۰
۱۶/۰	۲۹/۰	۵۶/۱۰	۱۵/۳	۷۰۰۰<
معیار کاربری اراضی				
مقادیر عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
۰۶/۰	۰۹/۰	۱۶/۶	۵۷/۰	۱
۹۳/۰	۲۹/۱	۸۲/۱۸	۳۱/۲۴	۲
۱	۳۷/۱	۴۹/۲۲	۹۶/۳۰	۳
۴۷/۰	۶۵/۰	۴۶/۲	۶۰/۱	۴
۶۲/۰	۸۶/۰	۷۳/۴۷	۳۸/۴۱	۵
۷۷/۰	۰۶/۱	۰۷/۱	۱۵/۱	۶
۰	۰	۲۳/۱	۰	۷
معیار فاصله از آبراهه				
مقادیر عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
۳۱/۰	۴۱/۰	۴۶/۳	۴۳/۱	۰-۱۰۰
۴۵/۰	۶۰/۰	۲۳/۹	۵۷/۵	۱۰۰-۳۰۰
۷۸/۰	۰۳/۱	۶۵/۱۴	۲۲/۱۵	۳۰۰-۵۰۰
۸۲/۰	۰۹/۱	۵۴/۳۹	۴۰/۴۳	۵۰۰-۱۰۰۰
۱	۳۳/۱	۸۰/۱۹	۳۸/۲۶	۱۰۰۰-۲۰۰۰
۵۱/۰	۶۸/۰	۴۴/۷	۱۳/۵	۲۰۰۰-۳۰۰۰
۳۹/۰	۵۲/۰	۸۲/۳	۹۹/۱	۳۰۰۰-۴۰۰۰
۳۱/۰	۴۱/۰	۰۲/۲	۸۴/۰	۴۰۰۰<
معیار فاصله از جاده				
مقادیر عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
۵۳/۰	۸۲/۰	۳۹/۷	۱۱/۶	۰-۱۰۰
۵۸/۰	۹۰/۰	۷۰/۸	۹۰/۷	۱۰۰-۳۰۰
۵۱/۰	۸۰/۰	۵۱/۷	۰۳/۶	۳۰۰-۵۰۰
۶۰/۰	۹۴/۰	۶۴/۱۳	۸۸/۱۲	۵۰۰-۱۰۰۰
۱	۵۴/۱	۸۸/۱۶	۱۶/۲۶	۱۰۰۰-۲۰۰۰
۹۸/۰	۵۲/۱	۸۰/۱۱	۹۷/۱۷	۲۰۰۰-۳۰۰۰
۷۰/۰	۰۸/۱	۵۷/۹	۴۰/۱۰	۳۰۰۰-۴۰۰۰

۵۴/۰	۸۳/۰	۸۳/۱۰	۰۸/۹	۴۰۰۰-۵۵۰۰
۲۵/۰	۳۸/۰	۸۵/۶	۶۶/۲	۵۵۰۰-۷۰۰۰
۰۷/۰	۱۱/۰	۷۸/۶	۷۷/۰	۷۰۰۰<
معیار خاک				
مقادیر عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
۱	۴۲/۱	۸۲/۲۷	۷۱/۳۹	۱
۷۷/۰	۱۰/۱	۸۵/۴۱	۰۹/۴۶	۲
۶۶/۰	۹۴/۰	۳۷/۱۳	۶۶/۱۲	۳
۰۶/۰	۰۹/۰	۳۸/۱۶	۵۲/۱	۴
۰	۰	۵۴/۰	۰	۵
معیار بارش				
مقادیر عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
۰	۰	۶۸/۰	۰	۲۵۰-۲۷۵
۳۰/۰	۶۱/۰	۲۸/۸	۱۱/۵	۲۷۵-۳۰۰
۵۲/۰	۰۵/۱	۸۶/۱۵	۷۴/۱۶	۳۰۰-۳۲۵
۳۸/۰	۷۷/۰	۳۹/۳۵	۵۰/۲۷	۳۲۵-۳۵۰
1	۰۲/۲	۵۸/۱۶	۶۳/۳۳	۳۵۰-۳۷۵
۵۶/۰	۱۵/۱	۴۳/۱۱	۲۲/۱۳	۳۷۵-۴۰۰
۲۲/۰	۴۵/۰	۷۵/۷	۴۹/۳	۴۰۰-۴۲۵
۰۳/۰	۰۷/۰	۹۹/۳	۲۸/۰	۴۲۵-۴۵۰

مقادیر عضویت فازی (جدول ۱)، میزان تأثیر پذیری هر معیار مؤثر در وقوع پدیده زمین لغزش در منطقه است. این جداول از طریق همپوشانی نقشه زمین لغزش‌های رخ داده با هر یک از متغیرهای مستقل و محاسبه نسبت وقوع این پدیده در هر یک از طبقه‌ها لایه‌های عاملی و کلاس‌های مرتبط به دست آمده است. این روش میزان دقیقی از وزن مربوط به هر طبقه را محاسبه می‌کند و سپس با استفاده از این اوزان نقشه‌های فازی تهیه شد (نقشه‌های ۲ تا ۱۱)؛ به عبارت دیگر وزن دهی در این روش با الهام از الگوی طبیعی زمین و فرایند زمین لغزش صورت می‌گیرد و از اظهار نظر کارشناسان پرهیز می‌کند.

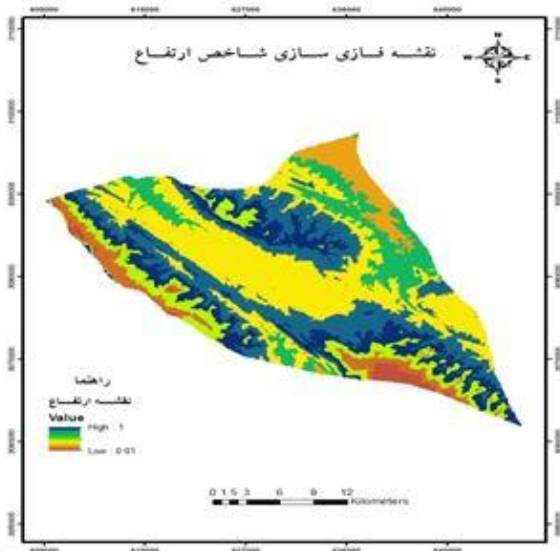
روشی دیگر برای فازی سازی معیارها، استفاده از توابع عضویت فازی در نرم افزار Arc GIS است. در این روش برای فازی سازی معیارها، از توابع فازی (جدول ۲) استفاده شده است. استفاده و اعمال هر کدام از این توابع با توجه به

دو پارامتر نقطه میانی و پارامتر پخش صورت می‌گیرد. انتخاب تابع برای فازی سازی با توجه به ماهیت، اهمیت و رابطه هر کدام از معیارها با هدف انتخاب می‌شود. چون استفاده از مدل منطقی فازی در پهنه بندی زمین لغزش بر مبنای تحلیل‌های رستری (شبکه‌ای) است، باید هر پیکسل در هر معیار با توجه به تابع ایده آل، ارزش عضویتی از صفر تا یک را به خود بگیرد.

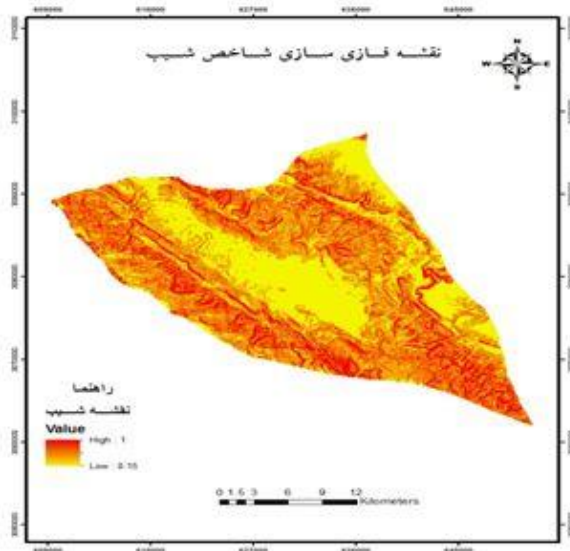
جدول ۲: توابع عضویت فازی

تابع عضویت را بر اساس توزیع نرمال و یا گوسی بر اساس یک نقطه میانی تعریف می‌کند (عضویت فازی نقطه میانی ۱ است).	Gaussian
این تابع وقتی استفاده می‌شود که مقادیر بزرگ در نقشه، عضویت نزدیک به ۱ داشته باشند. این تابع نیز بر اساس یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربر تعریف می‌شود (عضویت نقطه میانی ۰/۵ است).	Large
این تابع، عضویت فازی را بر اساس یک حداکثر با عضویت فازی ۱ و یک حداقل با عضویت فازی صفر تعریف می‌کند.	Linear
این تابع، عضویت فازی را بر اساس میانه و انحراف معیار تعریف می‌کند. مقادیر بزرگ‌تر عضویتی نزدیک ۱ می‌گیرند.	Ms Large
این تابع، عضویت فازی را بر اساس میانه و انحراف معیار تعریف می‌کند. مقادیر کوچک‌تر عضویتی نزدیک ۱ می‌گیرند.	Ms Small
این تابع، تابع عضویت را بر اساس یک مقدار خاص توسط یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربر مشخص می‌کند (نقطه میانی عضویت یک می‌گیرد).	Near
این تابع وقتی استفاده می‌شود که مقادیر کوچک در نقشه، عضویت نزدیک به ۱ داشته باشند. این تابع نیز بر اساس یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربر تعریف می‌شود (عضویت نقطه میانی ۰/۵ است).	Small

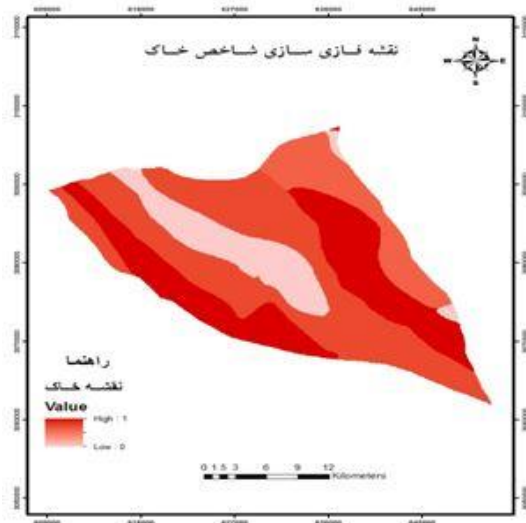
مأخذ: نرم افزار Arc GIS 10



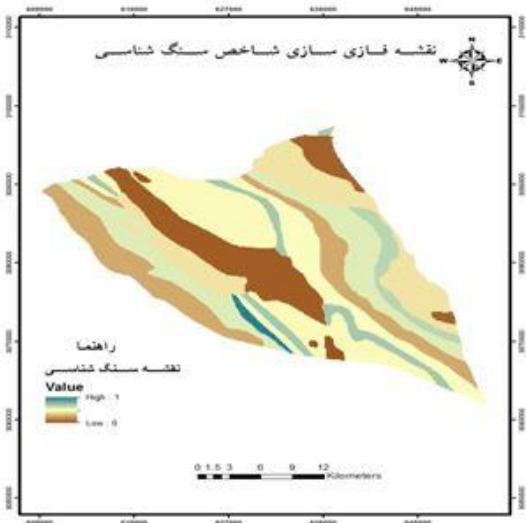
شکل ۳: نقشه فازی ارتفاع



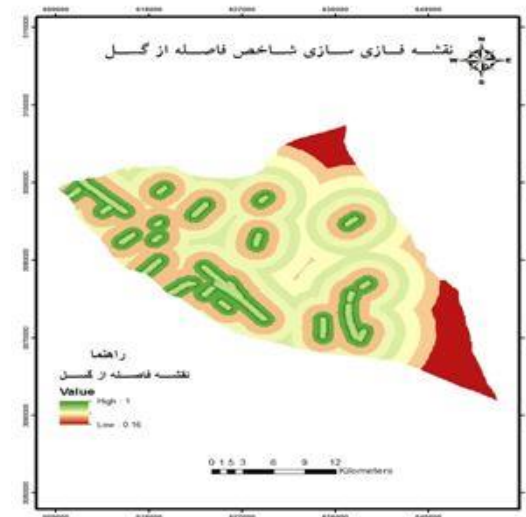
شکل ۴: نقشه فازی شیب



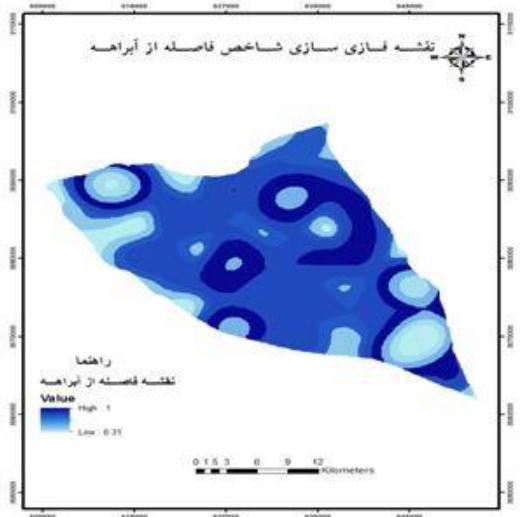
شکل ۵: نقشه فازی خاک



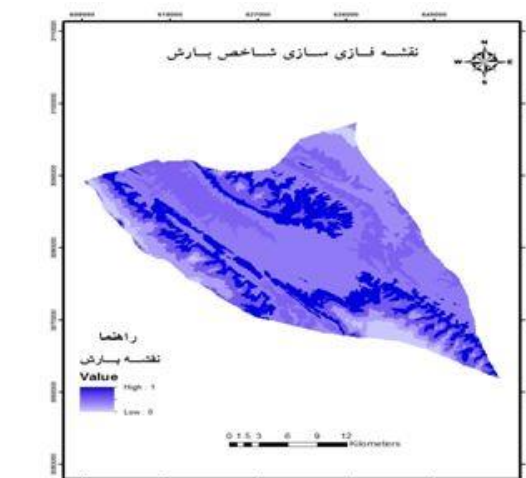
شکل ۴: نقشه فازی سنگ‌شناسی



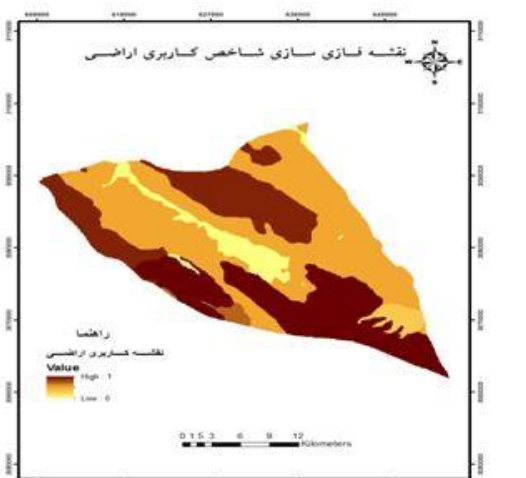
شکل ۷: نقشه فازی فاصله از گسل



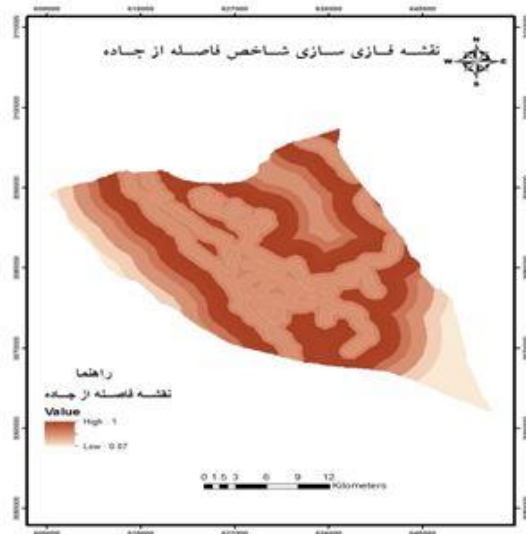
شکل ۶: نقشه فازی فاصله از آبراهه



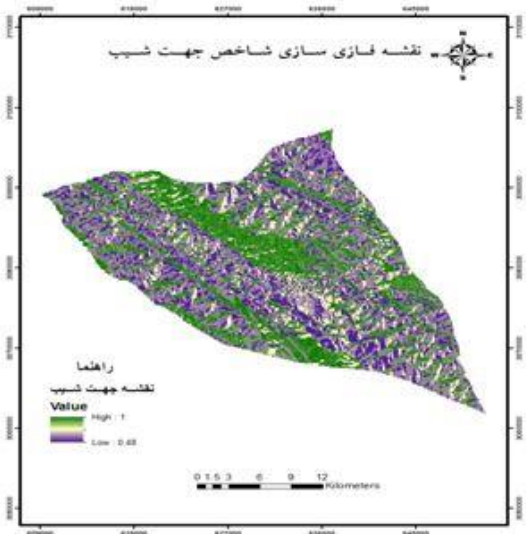
شکل ۹: نقشه فازی بارش



شکل ۸: نقشه فازی کاربری اراضی



شکل ۱۱: نقشه فازی فاصله از جاده



شکل ۱۰: نقشه فازی جهت شیب

پهنه‌بندی

بعد از مرحله فازی سازی معیارهای مؤثر با استفاده از مدل نسبت فراوانی در نرم افزار Arc GIS 10، از طریق روی هم گذاری لایه‌های طبقات مؤثر در زمین لغزش با دستور Fuzzy Overlay، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از طریق عملگرهای فازی product و sum و گاما با لاندهای ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹ تهیه شدند. فرمول مربوط به عملگر ضرب، جمع و گامای فازی به صورت روابط (۱)، (۲) و (۳) تعریف می‌شود.

$$\mu_{\text{combination}} = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad \text{رابطه ۱:}$$

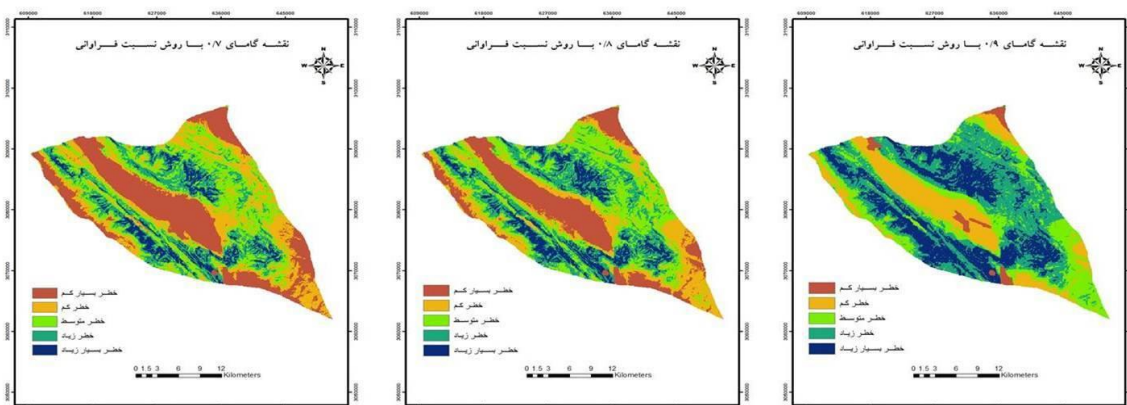
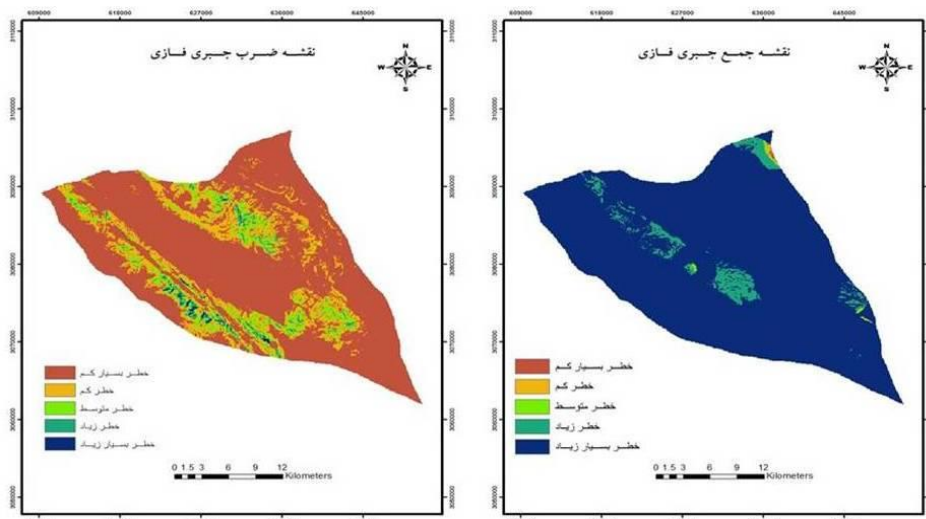
در رابطه بالا μ_i تابع عضویت فازی است. عملگر ضرب فازی (product) درجه عضویت‌های یک موقعیت در نقشه‌های مختلف را در هم ضرب می‌کند. این عملگر باعث کاهش عضویت نهایی می‌شود و نتیجه آن تعلق وزن بسیار کوچکی به هر موقعیت است که در صورت زیاد بودن نقشه‌های ورودی این عدد به سمت صفر میل می‌کند.

$$\mu_{\text{combination}} = 1 - \prod_{i=1}^n \mu_i (1 - \mu_i) \quad \text{رابطه ۲:}$$

با اعمال عملگر جمع فازی (sum)، مقدار عضویت نهایی پیکسل‌ها در نقشه خروجی بزرگ شده و در صورت زیاد بودن ورودی‌ها به سمت یک میل می‌کند. به دلیل بزرگ بودن وزن‌های موقعیت‌های نهایی، اثر این عملگر افزایشی است.

$$\mu_{\text{combination}} = (\text{Fuzzy } 1g \text{ ebraicsum})^\lambda * (\text{Fuzzy } 1g \text{ ebraicproduct})^{1-\lambda} \quad \text{رابطه ۳:}$$

عملگر فازی گاما، حالت کلی روابط عملگرهای ضرب و جمع است و می‌توان با انتخاب صحیح مقدار گاما، پارامترهای کاهشی و افزایشی را هم‌زمان تلفیق کرده، به مقادیری در خروجی‌ها دست‌یافت که حاصل سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های افزایشی و کاهشی دو عملگر ضرب و جمع فازی می‌باشند و λ متغیری بین صفر و یک است (Lee, 2007, 847). در این پژوهش مقادیری از تابع فازی گاما γ ، $0/7$ ، $0/8$ و $0/9$ ، مورد استفاده قرار گرفت. نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (نقشه‌های شماره ۱۲ تا ۱۶) با ۵ طبقه خطر بسیار کم، کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر بسیار زیاد مشخص شد.

شکل ۱۴: نقشه گامای $0/7$ شکل ۱۳: نقشه گامای $0/8$ شکل ۱۲: نقشه گامای $0/9$ 

شکل ۱۶: نقشه ضرب جبری فازی

شکل ۱۵: نقشه جمع جبری فازی

یافته‌ها

بررسی نتایج حاصل از مقادیر عضویت فازی و ارتباط بین عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌های موجود در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه گردید. نتایج بررسی کلاس‌های شیب (جدول ۱) نشان می‌دهد که بیشتر زمین لغزش‌های منطقه در کلاس شیب ۷۰-۵۰ درصد رخ داده است. شیب‌های بین ۷۰-۹۰ در درجه دوم اهمیت قرار دارد. به‌طور کلی عامل شیب از عوامل تعیین کننده در شناسایی مناطق پرخطر لغزش در منطقه می‌باشد. در تحلیل، عامل شیب با توجه به تأثیر آن در ناپایداری دامنه‌ها در منطقه به هشت گروه طبقه بندی شد.

جهت شیب دامنه نیز به‌عنوان یکی دیگر از عوامل مؤثر (متغیر مستقل) در ایجاد حرکات توده‌ای مدنظر قرار گرفته است. از میان جهات شیب بیشترین زمین لغزش‌های اتفاق افتاده به ترتیب اهمیت در جهات شیب جنوب غربی، جنوب-شرقی و جنوب منطقه بوده است. بدین منظور، نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی در تهیه شده است.

عامل ارتفاع، جهت رواناب‌ها و میزان تراکم شبکه زهکشی را کنترل می‌کند و در میزان رطوبت خاک و شیب دامنه‌ها تأثیر به‌سزایی دارد. بیشترین زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات ارتفاعی بین ۱۰۰۰-۸۵۰ متر به وقوع پیوسته است. با توجه به وضعیت لیتولوژی منطقه، مارن‌های سیلتی با میان لایه‌های فرعی سنگ آهک سیلتی و شیارهای ماسه سنگی کوچک مربوط به سازند رازک، بیشترین لغزش‌ها را به خود اختصاص داده است.

بیشترین زمین لغزش‌ها با توجه به نوع کاربری اراضی، در دو کاربری بوته زارها و اراضی جنگلی با پوشش خیلی کم اتفاق افتاده است.

در شاخص خاک‌شناسی، زمین‌های بد لندی بیشترین فراوانی نسبی زمین لغزش‌ها را دارد. در عامل فاصله از جاده ارتباطی بیشترین زمین لغزش‌ها در فاصله ۲۰۰۰-۱۰۰۰ متری از جاده بوده است.

تحلیل پیکسل‌های لغزشی در ارتباط با گسل‌ها نشان می‌دهد که هر چه فاصله از گسل‌ها کمتر می‌شود، ناپایداری بیشتر است.

بیشتر زمین لغزش‌ها در فاصله بین ۱۰۰۰-۲۰۰۰ از شبکه آبراه‌ای و در طبقه‌های بارشی ۳۷۰-۳۵۰ میلی‌متر به وقوع پیوسته‌اند.

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بخش مرکزی شهرستان جم با استفاده از عملگرهای فازی SUM، Product و Gamma ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که در عملگر ضرب جبری فازی نیز به دلیل ضرب عوامل وزنی با یکدیگر اعداد به سمت صفر میل کرده است. در جمع جبری فازی، ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل نموده و دقت خیلی کمی در تعیین توانمندی مناطق لغزشی دارد و عرصه وسیعی به‌عنوان مکان‌های دارای

استعداد لغزش انتخاب می‌شود. با در نظر گرفتن اختلاف فاحش بین نتیجه استفاده از عملگرهای جمع جبری فازی با ضرب فازی و به منظور دستیابی به نتیجه‌ی مناسب‌تر و جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر فازی ضرب و حساسیت خیلی کم جمع جبری فازی، از فازی گاما که حد فاصل بین این دو عملگر می‌باشد استفاده شده است. نقشه پهنه‌بندی خطر با گامای ۰/۹ با مدل نسبت فراوانی نیز به دلیل تطابق بیشتر با پهنه‌های لغزشی به وقوع پیوسته، از دقت بالاتری برخوردار است که نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش گامای ۰/۹ به ۵ طبقه خطر بسیار کم، خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر بسیار زیاد طبقه بندی و همچنین مساحت طبقه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به کیلومتر مربع و به درصد محاسبه شد (جدول ۳).

جدول ۳: مقادیر مساحت طبقه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل گامای ۰/۹

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با گامای ۰/۹ فازی		طبقه بندی خطر زمین‌لغزش بخش مرکزی شهرستان جم
مساحت به درصد	مساحت به کیلومتر مربع	
۲/۴۷	۱۷/۲۵	خطر بسیار کم
۱۸/۰۹	۱۲۶/۳۵	خطر کم
۲۰/۷۵	۱۴۴/۹۱	خطر متوسط
۳۴/۴۳	۲۴۰/۴۳	خطر زیاد
۲۴/۲۴	۱۶۹/۳۲	خطر بسیار زیاد
۱۰۰	۶۹۸/۲۶	مجموع مساحت

منابع

- ۱- الفتی، سعید؛ صفر پور، فرشاد؛ محمودآبادی، مهدی (۱۳۹۱): مخاطرات محیطی زمین‌لغزش‌ها و انواع روش‌های مطالعه، رشد آموزش جغرافیا، دوره بیست و ششم، شماره ۴، صص ۳۲-۳۸.
- ۲- شاد فر، صمد (۱۳۸۴): ارزیابی تحلیلی مدل‌های کمی زمین‌لغزش به منظور دستیابی به مدلی مناسب برای حوزه آبخیز چالکرو، پایان‌نامه دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ۲۲۵.
- ۳- شریعت جعفری، ح (۱۳۷۵): زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی)، انتشارات سازه، صص ۱۴۸..
- ۴- صفاری، امیر؛ اخدر، آرش (۱۳۹۲): مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: جاده ارتباطی مریوان-سنندج)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره چهارم، صص ۷۹-۹۶.

۵- عبادی نژاد، سید علی؛ یمانی، مجتبی؛ مقصودی، مهران؛ شاد فر، صمد (۱۳۸۶): ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیروود)، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال اول، شماره ۲، صص ۳۹-۴۴

۶- مرادی، حمیدرضا؛ پور قاسمی، حمیدرضا؛ محمدی، مجید؛ مهدویفر، محمدرضا (۱۳۸۹): پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما (مطالعه موردی: حوزه آبخیز هراز)، علوم محیطی، سال هفتم، شماره چهارم، صص ۱۲۹-۱۴۲.

- 7- Aleotti, P. and Chowdhury, R. (1999): Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspectives. Bull Eng. Geo l Environ, 58: 21-44.
- 8- Brabb, E.E. (1991): The World Landslide Problem: Episodes, V.14. No.1, p.52-61.
- 9- Caniani, D., Pascale, S., Sdao, F. and Sole, A. (2008): Neural Networks and Landslide Susceptibility: a Case Study of The Urban Area of Potenza. Nat Hazards, 45: 55-72.
- 10- Crozier, M. J. (1986): Landslides: Causes, Consequences & Environment. Croon Helm Pub., London. 245p.
- 11- Dahal, R. k., Hasegawa, Sh., Nonoura. A., Yamanka, M., Dhakal, S., Paudyal. P. (2008): Predictive Modeling of Rainfall Induced Landslide Hazard in The Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights of Evidence, Geomorphology 102.pp.496-510.
- 12- Garfi, G. and Bruno, Dd. E. (2007): Fan Morph Dynamics and Slope Instability in The Mucone River Basin (Slide Massif, Southern Italy): Signification of Weathering and Role of Land Use Changes. Catena, (50):pp.181-196.
- 13- Gorsevski, P. V., Jankowski, P. and Gessler, P. E. (2006): Heuristic Approach for Mapping Landslide Hazard Integrating Fuzzy Logic With Analytic Hierarchy Process, Control and Cybernetics, 35: 1-26.
- 14- Komac, M. (2006). A Landslide Susceptibility Model Using The Analytical Hierarchy Process Method and Multivariate Statistics in Per Alpine Slovenia. Geomorphology, 74(1-4): 17-28.
- 15- Lee, S. (2007): Application and Verification of Fuzzy Algebraic Operators to Landslide Susceptibility Mapping. Environmental Geology 50:847-855.
- 16- Murat, E. and Candan, G. (2003): Use of Fuzzy Relation to Product Landslide Susceptibility Map of a Landslide Pron Area (West Black Sea Region, Turkey), Engineering Geology, Vol 75, Pp 24.
- 17- Oehorst, B. A. N., Kjekstad, O., Patel, D., Lub Kowski, Z., Knoeff, J. G., and Ak kerman, G. J. (2005): Work Package 6, Determination of Socio-Economic Impact of Natural Disasters, Assessing Socio-Economic Impact in Europe, 173 p.
- 18- Roering, J. J., kirchner, J.W., Dietrich, W. E. (2005): Characterizing Structural and Lithologic Controls on Deep-seated Land Sliding: Implications for Topographic Relief and Landscape Evolution in The Oregon Coast Range, USA. Geological Society of American Bulletin 117. Pp. 654-668.

- 19-Turner, A. K., Schuster, R.L. (Eds). (1996): Landslides: Investigation and Mitigation. Transportation Research Board Special Report, Vol. 247. National Research Council, Washington, D.C.673 p.
- 20- Varnes, D. J. (1978): Slope Movement Types and Processes in: Schuster, R. L Krizek (eds). Landslides Analysis and Control. Transport Research Board. Special Report 176. Natl Acadsci. Washing tone. D. C. 12.
- 21- Wu, W and Sidle, R. C. (1995): A Distributed Slope Stability Model For Steep Forested Basins. Water Research 31. Pp. 2009-2011.