

## مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: جاده ارتباطی مریوان - سنندج)

امیر صفاری<sup>۱</sup> - استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران  
آرش اخدر - دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۲/۲۲

### چکیده

زمین لغزش‌ها نوعی حرکت دامنه‌ای هستند که نه تنها سازه‌های مهندسی مثل جاده‌ها، خطوط راه آهن و سدها را تحت تأثیر قرار می‌دهند، بلکه تلفات جانی را هم به دنبال دارند. هدف از این تحقیق، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌های محدوده جاده ارتباطی مریوان - سنندج در استان کردستان (غرب ایران)، از طریق وزن‌دهی به معیارهای اصلی و با استفاده از مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در نرم‌افزار Arc GIS 10 است. به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، معیارهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، واحدهای سنگ‌شناسی، فاصله از آبراه‌ها، فاصله از جاده، نوع کاربری اراضی، پوشش گیاهی، خاک و بارش مورد ارزیابی قرار گرفت. بعد از مرحله فازی‌سازی معیارهای مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه با استفاده از روش‌های مذکور، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش جهت ارزیابی این دو روش از طریق عملگرهای گامای فازی با لاندهای ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ تهیه شد و با مقایسه نقشه‌های نهایی، مدل ایده‌آل برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در این محدوده انتخاب شد. نتایج نشان داد که از میان دو روش مورد بحث، استفاده از مدل نسبت فراوانی به دلیل فازی‌سازی مناسب هر معیار با استناد به نقشه‌های پراکنش زمین لغزش‌های رخ داده و نحوه تفکیک طبقات خطر، روش مناسب‌تری برای پهنه‌بندی زمین لغزش‌ها در این جاده ارتباطی محسوب می‌شود.

**کلید واژه‌ها:** جاده ارتباطی مریوان - سنندج، زمین لغزش، ارزیابی، پهنه‌بندی، نسبت فراوانی، مدل فازی.

## مقدمه

در وقوع هر پدیده طبیعی ممکن است یک یا چند عامل دخیل باشد که هر یک از آن‌ها نقشی معینی را در این زمینه ایفا می‌کند. زمین‌لغزش، همچون سایر پدیده‌های طبیعی، نتیجه حضور و تأثیر متقابل عوامل گوناگون است. فهم میزان تأثیر هر کدام از این پدیده‌ها از طریق مدل‌های ریاضی و تجربی امکان‌پذیر است. چانک و فابری<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۳ چارچوب جامعی را برای تحلیل حساسیت زمین‌لغزش تدوین کردند (هون چی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۲). برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش در یک منطقه، ابتدا باید میزان تأثیر هر یک از عوامل را در وقوع آن تعیین کرد. در رسیدن به این هدف محدودیت‌هایی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها کیفی بودن عوامل مؤثر است (مرادی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۳۰). ارزیابی خطر ناپایداری شیب‌ها و دیگر رخداد‌های طبیعی بر اساس روش‌ها و مدل‌های مختلف مبتنی بر منطق‌های دو ارزشی به دلیل مطلق‌گرایی و عدم انعطاف‌پذیری، با واقع‌گرایی لازم همراه نیست. از جمله روش‌هایی که در بررسی عوامل مؤثر در زمین‌لغزش و یا پهنه‌بندی آن در حوضه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش آماری دو متغیره تراکم سطح است. این روش که ابتدا توسط ون وستن<sup>۳</sup> در ۱۹۹۳ و ۱۹۹۷ مورد استفاده قرار گرفته، بر پایه تأثیر متقابل هر عامل یا متغیر تأثیرگذار بر وقوع لغزش (به عنوان متغیر مستقل) با پدیده لغزش (به عنوان متغیر وابسته) به طور مستقل بنا نهاده شده است (علایی طالقانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۹). همچنین می‌توان به استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی در حوضه زاب مرکزی برای تهیه نقشه‌های خطر زمین‌لغزش توسط شهابی<sup>۴</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۲، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه شیرین‌رود ساری با روش‌هایی از جمله روش ارزش اطلاعاتی و شاخص هم‌پوشانی در سال ۸۳ توسط فیض‌نیا و همکاران، استفاده از روش رگرسیون چند متغیره و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی توسط احمدی و همکاران در سال ۸۲ اشاره کرد. خالدی و همکاران با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در محیط Arc GIS به شناسایی عوامل مؤثر در رویداد زمین‌لغزش و پهنه‌بندی میزان خطر این رویداد در حوضه آبخیز طالقان پرداخته‌اند (خالدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۷). همچنین در تحقیق دیگری با استفاده از توابع حلقوی، چندجمله‌ای، شعاعی و خطی در الگوریتم SVM و معیارهای موثر در شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش شامل فاصله از گسل و شبکه زهکشی، لیتولوژی، شیب (مقدار، زاویه) و سطح ارتفاعی، ارزیابی قابلیت وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز درکه در شمال شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱) کماک<sup>۵</sup> در سال ۲۰۰۶ نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و روش آماری چند متغیره تهیه کرد. ژانگ فانیولیو<sup>۶</sup> در سال ۲۰۰۷ با استفاده از روش ارزش اطلاعاتی برای منطقه لانگن در چین نقشه حساسیت زمین‌لغزش را تهیه کرد. استفاده از سه روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، فاکتور وزنی و

1 Chank &amp; Fabri

2 Hoon chi

3 Vanwasten

4 Shahabi

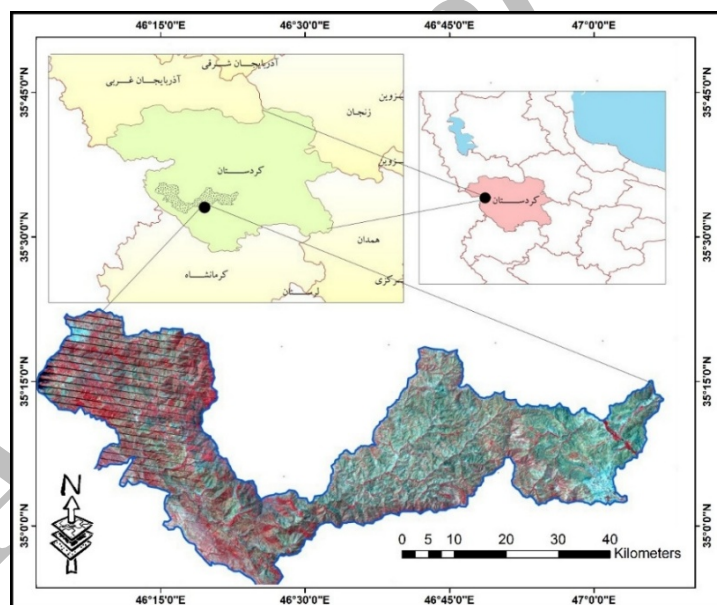
5 Komac

6 Zhang fanyu liu

شاخص آماری توسط یلسین در حوضه آردیس ترکیه برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش از دیگر کارهای صورت گرفته در این زمینه است (گرایی و کریمی، ۱۳۸۹: ۱۰۵). در این پژوهش پهنه‌بندی زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه از طریق وزندهی به معیارهای اصلی با استفاده از دو مدل نسبت فراوانی و توابع فازی نرم افزار Arc GIS انجام شد و در نهایت با مقایسه نقشه‌های نهایی، مدل ایده‌ال برای پهنه‌بندی زمین لغزش‌های منطقه انتخاب گردید.

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده جاده ارتباطی مریوان-سنندج با طول ۱۳۵ کیلومتر در استان کردستان و غرب ایران و با وسعت ۱۲۸۱ کیلومتر مربع در موقعیت جغرافیایی  $۲۶^{\circ}۰۷'۴۶''$  تا  $۳۶^{\circ}۰۷'۳۶''$  طول شرقی و  $۳۵^{\circ}۲۳'۱۱''$  تا  $۳۶^{\circ}۳۲'۳۲''$  عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه در مرز زون سنندج - سیرجان و زاگرس مرتفع قرار گرفته و بر تراست زاگرس منطبق است. با استناد به آمارهای سازمان هواشناسی مقدار متوسط بارندگی منطقه در محدوده شهرستان مریوان طی یک میانگین ۱۰ ساله (سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۷۹) برابر با ۸۵۰ میلی متر در سال بوده است. البته قسمتی از جاده که در محدوده شهرستان سنندج قرار دارد طی همین دوره به میزان ۳۵۱ میلی متر بارندگی داشته است.



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه

#### مواد و روش‌ها

##### معیارها و روش‌های وزندهی

شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش، مهمترین مرحله پهنه‌بندی رویداد این خطر است (حسین زاده و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۸). در این پژوهش به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، معیارهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل،

واحدهای سنگ‌شناسی، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از جاده، نوع کاربری اراضی، پوشش گیاهی، خاک و بارش مورد ارزیابی قرار گرفت. نقشه معیارهای مذکور از طریق نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای ETM جمع‌آوری و در محیط GIS آماده شد. وزن‌دهی به معیارهای مورد نظر از طریق دو روش نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در نرم‌افزار Arc GIS 10 انجام شد. با توجه به این که پهنه‌بندی از طریق روش‌های مذکور، بر مبنای تطبیق نقشه زمین‌لغزش‌های حادث شده در منطقه با نقشه معیارهای مؤثر در زمین‌لغزش صورت می‌گیرد، لایه پراکنش نقاط لغزش یافته در محدوده مطالعاتی از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه شد. از آنجا که بسیاری از لغزش‌ها به دلیل ابعاد کم بر روی عکس‌ها و تصاویر ماهواره‌ای قابل شناسایی نبودند، برای تدقیق اطلاعات، منطقه مورد بازدید صحرایی قرار گرفت. سپس این لایه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار Google Earth به نقشه پهنه‌های لغزشی تبدیل شد. تلفیق نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها با معیارهای مورد نظر، تعداد پیکسل‌های لغزش‌یافته 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. دومین روش برای تعیین اوزان معیارهای مورد نظر، استفاده از توابع عضویت فازی در نرم‌افزار Arc GIS 10 است. در این روش برای فازی‌سازی معیارها، از توابع عضویت فازی (جدول شماره ۱) 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 فازی‌سازی با توجه به ماهیت، اهمیت و رابطه هر کدام از معیارها با هدف انتخاب می‌شود. چون استفاده از مدل منطق فازی در پهنه‌بندی زمین‌لغزش بر مبنای تحلیل‌های رستری (شبکه‌ای) است، باید هر پیکسل در هر معیار با توجه به تابع ایده‌آل، ارزش عضویتی از صفر تا یک را به خود بگیرد.

جدول ۱ توابع عضویت فازی

Gaussian	تابع عضویت را بر اساس توزیع نرمال و یا گوسی بر اساس یک نقطه میانی تعریف می‌کند (عضویت فازی نقطه میانی ۱ است).
Large	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).
Linear	این تابع، عضویت فازی را بر اساس یک حداکثر با عضویت فازی ۱ و یک حداقل با عضویت فازی صفر تعریف می‌کند.
Ms Large	این تابع عضویت فازی را بر اساس میانه و انحراف معیار تعریف می‌کند. مقادیر بزرگ‌تر عضویتی نزدیک به ۱ می‌گیرند.
Ms Small	این تابع عضویت فازی را بر اساس میانه و انحراف معیار تعریف می‌کند. مقادیر کوچک‌تر عضویتی نزدیک به ۱ می‌گیرند.
Near	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).
Small	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).

مأخذ: نرم‌افزار Arc GIS 10

## فازی سازی و پهنه بندی

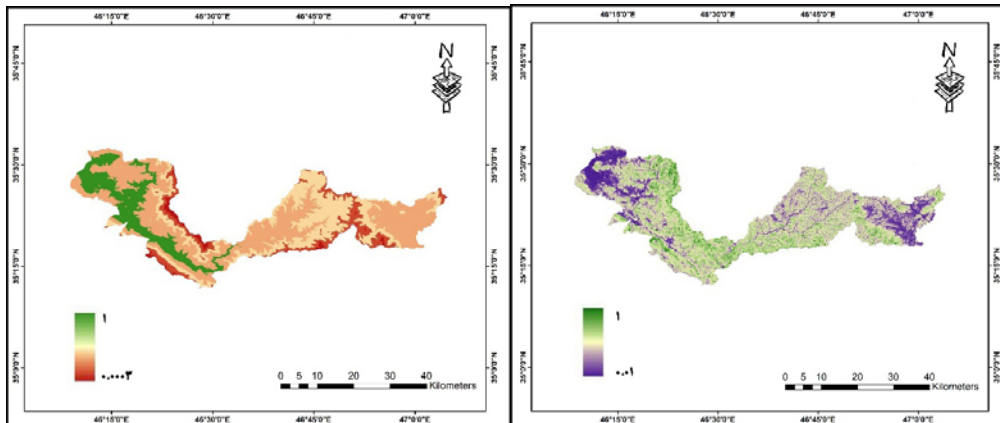
با استفاده از رابطه نسبت فراوانی طبقات معیارها فازی سازی (بین صفر و یک) شدند و با استفاده از این وزن‌ها، نقشه رستری هر معیار به صورت فازی تهیه شد (شکل‌های ۲ تا ۱۱). در جدول شماره ۲ مقادیر عضویت فازی مربوط به معیارهای مؤثر در وقوع زمین لغزش از طریق روش نسبت فراوانی محاسبه شده است. این مقادیر برای تهیه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

جدول ۲ مقادیر عضویت فازی معیارهای مؤثر در وقوع زمین لغزش (با روش نسبت فراوانی) در منطقه مورد مطالعه

معیار ارتفاع				
کلاس	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	عضویت فازی
۱۰۴۹-۱۳۵۰	۴۰.۹۳	۱۵.۶۹	۲.۶۱	۱
۱۳۵۰-۱۷۵۰	۳۳.۸۴	۴۴.۶۱	۰.۷۶	۰.۳
۱۷۵۰-۲۰۵۰	۲۴.۳۸	۲۷.۲۷	۰.۸۹	۰.۴
۲۰۵۰-۲۳۵۰	۰.۸۶	۱۰.۵۲	۰.۰۸	۰.۰۰۱
۲۳۵۰-۲۷۵۰	۰.۰۰	۱.۸۲	۰.۰۰	۰.۰۲
۲۷۵۰-۲۹۰۲	۰.۰۰	۰.۰۹	۰.۰۰	۰.۰۰۰۴
معیار شیب				
کلاس	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	عضویت فازی
۰-۵	۰.۱۲	۶.۷۰	۰.۰۲	۰
۵-۱۵	۶.۲۴	۱۹.۸۶	۰.۳۱	۰.۱
۱۵-۳۰	۳۱.۰۰	۳۰.۵۴	۱.۰۲	۰.۴
۳۰-۵۰	۳۷.۵۹	۲۹.۱۵	۱.۲۹	۰.۴
۵۰-۷۰	۱۷.۵۲	۱۱.۱۴	۱.۵۷	۰.۵
>۷۰	۷.۵۴	۲.۶۱	۲.۸۸	۱
معیار جهت شیب				
کلاس	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	عضویت فازی
شمال	۱۶.۱۹	۱۳.۵۱	۱.۲۰	۱
شمال شرقی	۱۴.۱۰	۱۲.۹۳	۱.۰۹	۰.۹
شرق	۱۰.۸۷	۱۱.۲۷	۰.۹۷	۰.۸
جنوب شرقی	۱۰.۲۸	۱۲.۰۱	۰.۸۶	۰.۷
جنوب	۱۵.۰۱	۱۴.۰۹	۱.۰۷	۰.۹
جنوب غربی	۱۲.۸۳	۱۲.۸۲	۱	۰.۸
غرب	۹.۹۰	۱۱.۳۲	۰.۸۷	۰.۷
شمال غربی	۱۰.۸۲	۱۲.۰۵	۰.۹۰	۰.۷
معیار واحدهای سنگ شناسی				
کلاس	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	عضویت فازی
Kfsh	۰.۰۰	۲۲.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۰۱
Kussh	۰.۰۰	۱۰.۲۸۱	۰.۰۰	۰.۰۰۲
K2av	۰.۰۰	۲.۰۴	۰.۰۰	۰.۰۰۱۱
Qft1	۰.۰۰	۷.۵۹	۰.۰۰	۰.۰۰۳
Qal	۰.۰۰	۰.۳۷	۰.۰۰	۰.۰۰۲
Qft2	۰.۰۰	۰.۷۴	۰.۰۰	۰.۱۲

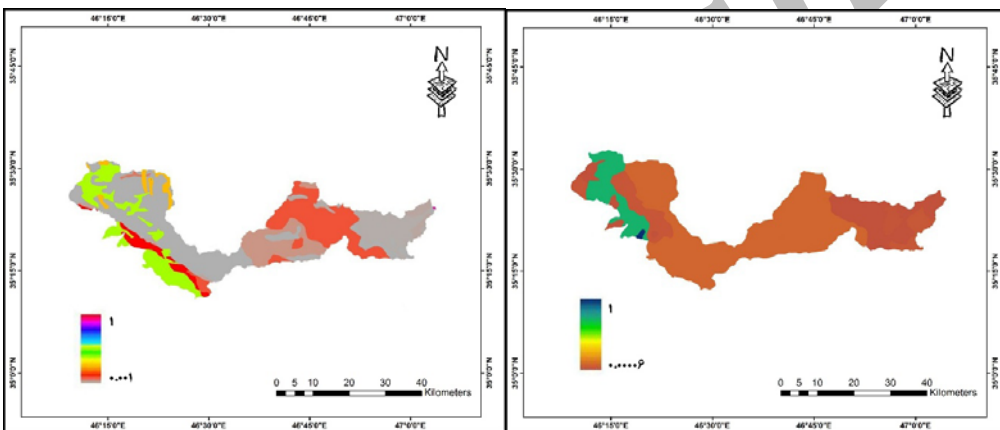
Klsm	۶.۷۱	۲.۵۱	۲.۶۸	۰.۱۳
KPef	۰.۰۰	۱۱.۰۷	۰.۰۰	۰.۰۰۵
TRKubl	۱۹.۳۷	۶.۲۰	۳.۱۱	۰.۱۶
Murm	۱۷.۶۷	۱.۴۳	۱۲.۳۸	۰.۶۲
Oat	۰.۰۰	۰.۰۸	۰.۰۰	۰.۰۰۰۱
PeEf	۱۲.۶۲	۱۹.۹۱	۰.۶۳	۰.۰۳
Odi-gb	۰.۰۰	۷.۷۴	۰.۰۰	۰.۰۰۱
Pd	۰.۰۰	۰.۹۱	۰.۰۰	۰.۰۰۳
K1m	۰.۰۰	۰.۰۴	۰.۰۰	۰.۰۰۶
Kupl	۰.۰۰	۳.۸۴	۰.۰۰	۰.۰۰۵
Pel	۰.۰۰	۱.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۰۳
Klsol	۰.۰۰	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۰۰۵
Olc,s	۲۹.۵۵	۱.۴۸	۱۹.۹۰	۱
OMql	۱۴.۱۸	۰.۷۱	۱۹.۸۵	۱
معیار فاصله از گسل				
کلاس	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	عضویت فازی
۰-۱۰۰	۱۰.۶۱	۶.۷۸	۱.۵۶	۱
۱۰۰-۲۰۰	۸.۱۶	۵.۹۷	۱.۳۷	۰.۹
۲۰۰-۳۰۰	۷.۵۴	۶.۳۷	۱.۱۸	۰.۸
۳۰۰-۴۰۰	۴.۲۳	۵.۱۰	۰.۸۳	۰.۵
۴۰۰-۵۰۰	۶۹.۴۷	۷۵.۷۸	۰.۹۲	۰.۶
معیار کاربری اراضی				
کلاس	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	عضویت فازی
۱	۰.۰۰	۷.۱۸	۰.۰۰۱۰	۰.۰۰۱
۲	۰.۰۰	۹.۶۹	۰.۰۰	۰.۰۰۲
۳	۱۲.۰۹	۱۴.۲۰۱	۰.۸۵۱۱	۰.۳
۴	۳۴.۸۴	۱۱.۲۹	۳.۰۸۵۳	۱
۵	۰.۰۰	۵.۰۹	۰.۰۰	۰.۰۳
۶	۰.۰۰	۰.۱۵	۰.۰۰	۰.۰۰۰۶
۷	۴۸.۹۷	۱۷.۸۳	۲.۷۴۵۷	۰.۹
۸	۰.۰۰	۱.۷۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰۱
۹	۰.۰۰	۰.۳۹	۰.۰۰	۰.۰۰۱
۱۰	۰.۰۰	۱۲.۵۷	۰.۰۰	۰.۰۰۲
۱۱	۴.۱۱	۳.۵۹	۱.۱۴۴۸	۰.۴
۱۲	۰.۰۰	۰.۹۰	۰.۰۰	۰.۰۰۱
۱۳	۰.۰۰	۵.۸۹	۰.۰۰	۰.۰۰۲
۱۴	۰.۰۰	۹.۱۸	۰.۰۰	۰.۰۰۳
۱۵	۰.۰۰	۰.۳۵	۰.۰۰	۰.۰۰۰۱
معیار فاصله از آبراهه				
کلاس	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	عضویت فازی
۰-۱۰۰	۵.۳۵	۱۰.۶۸	۰.۵۰	۰.۴
۱۰۰-۲۰۰	۹.۲۲	۹.۰۴	۱.۰۲	۰.۹
۲۰۰-۳۰۰	۹.۹۰	۹.۶۸	۱.۰۲	۰.۹
۳۰۰-۴۰۰	۹.۳۱	۸.۰۵	۱.۱۶	۱

کلاس	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	عضویت فازی
> ۴۰۰	۶۶.۲۲	۶۲.۵۵	۱.۰۶	۰.۹
معیار فاصله از جاده				
کلاس	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	عضویت فازی
۰-۱۰۰	۸۸۴	۵.۹۰	۱.۵۰	۱
۱۰۰-۲۰۰	۴.۹۱	۴۸۹	۱	۰.۷
۲۰۰-۳۰۰	۲.۵۱	۵.۰۷	۰.۵۰	۰.۳
۳۰۰-۴۰۰	۱.۶۳	۴.۱۷	۰.۳۹	۰.۳
۴۰۰-۵۰۰	۰.۹۸	۴.۲۳	۰.۲۳	۰.۲
>۵۰۰	۸۱.۱۵	۷۵.۶۴	۱.۰۷	۰.۱
معیار پوشش گیاهی				
کلاس	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	عضویت فازی
۱	۶۰.۷۳	۶۴.۷۸	۰.۹۴	۰.۲
۲	۰.۰۰	۲۱.۴۸	۰.۰۰	۰.۰۰۲
۳	۰.۰۰	۱.۴۵	۰.۰۰	۰.۰۰۰۱
۴	۳۹.۲۷	۷.۷۱	۵.۱۰	۱
۵	۰.۰۰	۴.۵۸	۰.۰۰	۰.۰۰۰۰۴
معیار خاک				
کلاس	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	عضویت فازی
۱	۰.۰۰	۱.۱۶	۰.۰۰	۰.۰۱
۲	۲.۹۰	۸.۴۸	۰.۳۴	۰.۰۰۴۳
۳	۰.۰۰	۰.۲۷	۰.۰۰	۰.۰۰۲
۴	۰.۰۰	۰.۹۹	۰.۰۰	۰.۰۰۰۱
۵	۰.۰۰	۱.۶۸	۰.۰۰	۰.۰۰۵
۶	۰.۰۰	۰.۲۹	۰.۰۰	۰.۰۰۰۰۱
۷	۰.۰۰	۱.۶۲	۰.۰۰	۰.۰۰۰۰۱
۸	۰.۰۰	۰.۵۷	۰.۰۰	۰.۰۰۳
۹	۰.۰۰	۳.۵۹	۰.۰۰	۰.۰۰۴
۱۰	۰.۰۰	۵.۶۴	۰.۰۰	۰.۰۰۵
۱۱	۰.۰۰	۰.۹۲	۰.۰۰	۰.۰۰۶
۱۲	۰.۰۰	۲.۱۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰۲
۱۳	۰.۰۰	۰.۴۳	۰.۰۰	۰.۰۰۰۳
۱۴	۰.۰۰	۳.۶۵	۰.۰۰	۰.۰۰۰۲
۱۵	۱۸.۴۱	۰.۲۳	۷۸.۶۶	۱
۱۶	۶۵.۴۳	۵۷.۵۵	۱.۱۴	۰.۰۱۴
۱۷	۱۳.۲۷	۱۰.۸۴	۱.۲۲	۰.۰۱۵
معیار بارش				
طبقات بارش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	عضویت فازی
۲۶-۴۱	۵۴.۷۹	۳۶.۲۰	۱.۵۱	۰.۹۹
۴۱-۵۷	۴۵.۲۱	۲۹.۶۲	۱.۵۳	۱
۵۷-۷۲	۰.۰۰	۳۳.۶۹	۰.۰۰	۰.۰۰۲
۷۲-۸۷	۰.۰۰	۰.۴۹	۰.۰۰	۰.۰۰۰۱



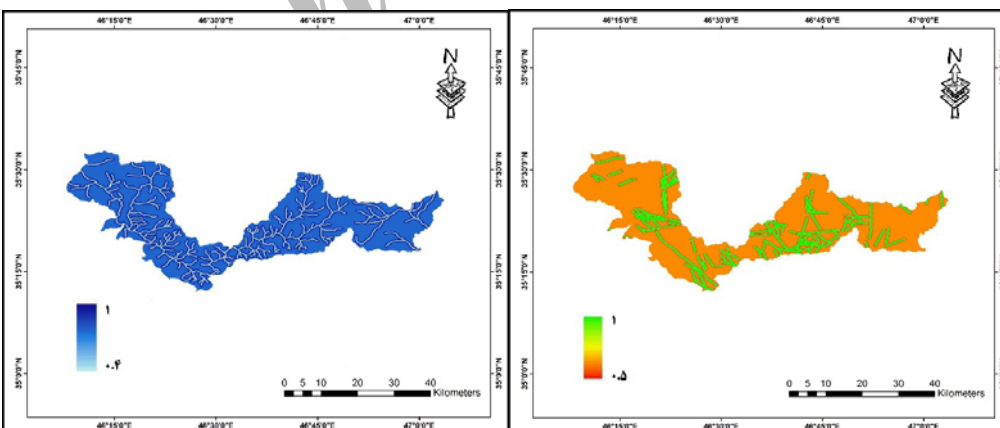
شکل ۲ نقشه فازی ارتفاع

شکل ۳ نقشه فازی شیب



شکل ۴ نقشه فازی سنگ شناسی

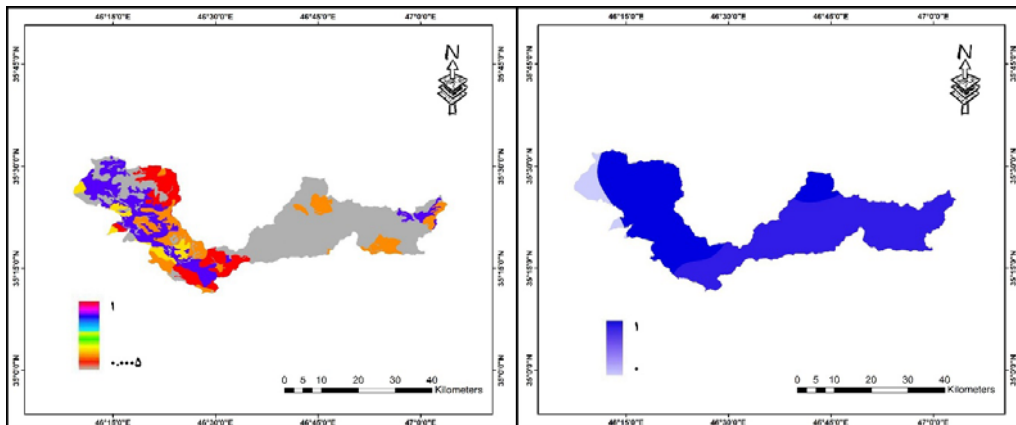
شکل ۵ نقشه فازی خاک



شکل ۶ نقشه فازی فاصله از شبکه آبراهه

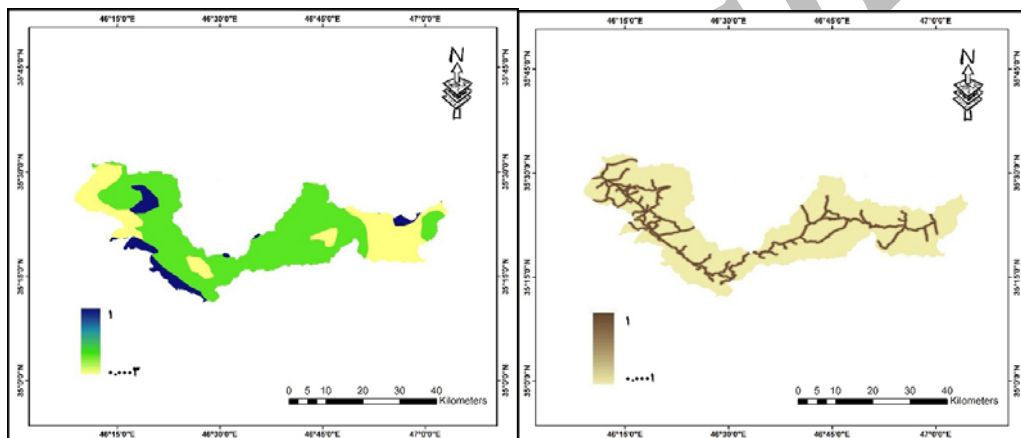
شکل ۷ نقشه فازی فاصله از گسل





شکل ۸ نقشه فازی کاربری اراضی

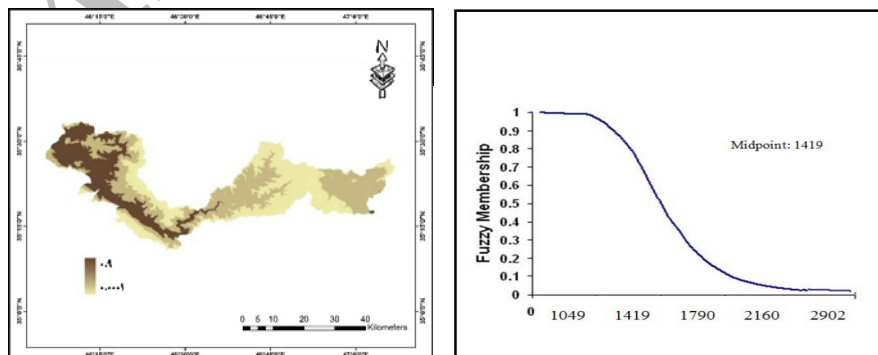
شکل ۹ نقشه فازی بارش



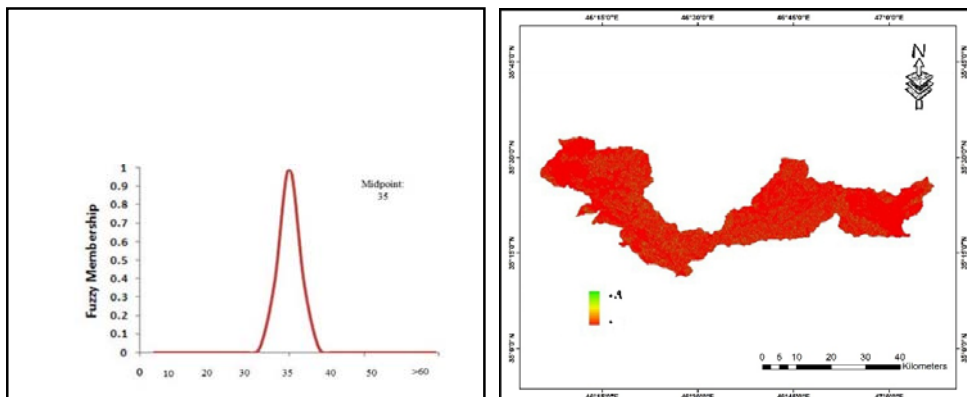
شکل ۱۱ نقشه فازی پوشش گیاهی

شکل ۱۰ نقشه فازی فاصله از جاده

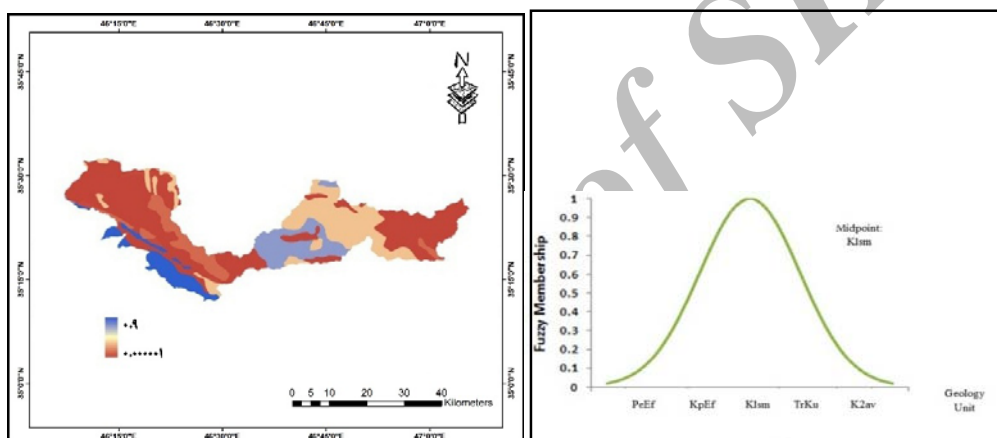
در مرحله بعد فازی‌سازی لایه‌ها با استفاده از توابع عضویت فازی در نرم‌افزار Arc GIS 10 و با استفاده از دستور Fuzzy Membership انجام شد و به این صورت نقشه رستری هر معیار به صورت فازی تهیه گردید (شکل‌های ۱۲ تا ۲۱).



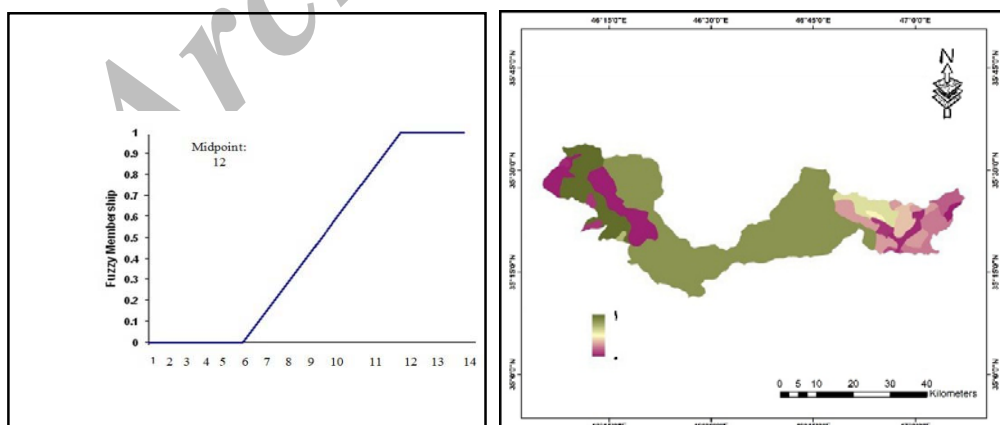
شکل ۱۲ نقشه و تابع فازی ارتفاع



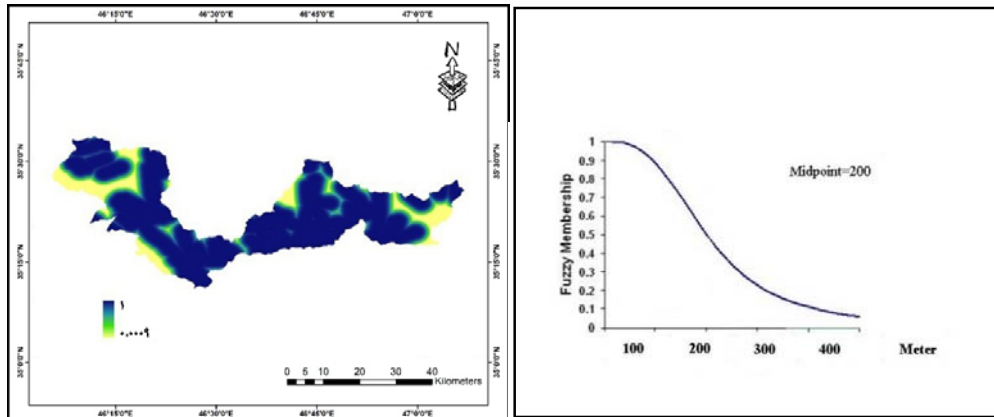
شکل ۱۳ نقشه و تابع فازی شیب



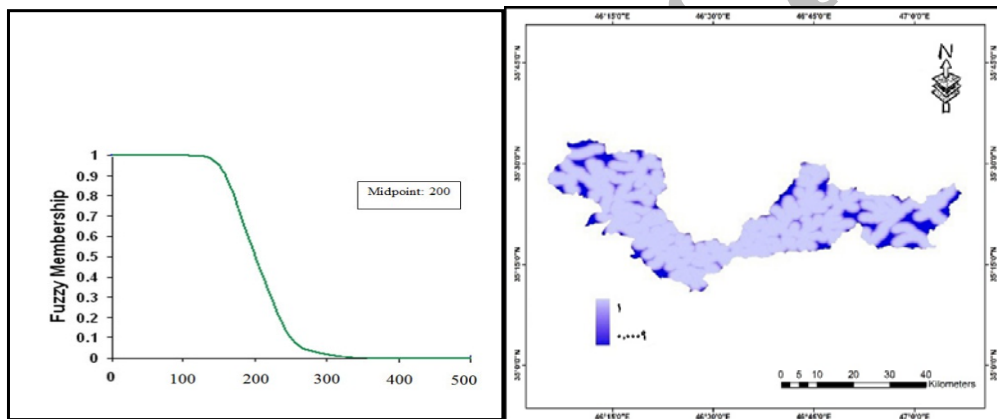
شکل ۱۴ نقشه و تابع فازی سنگ شناسی



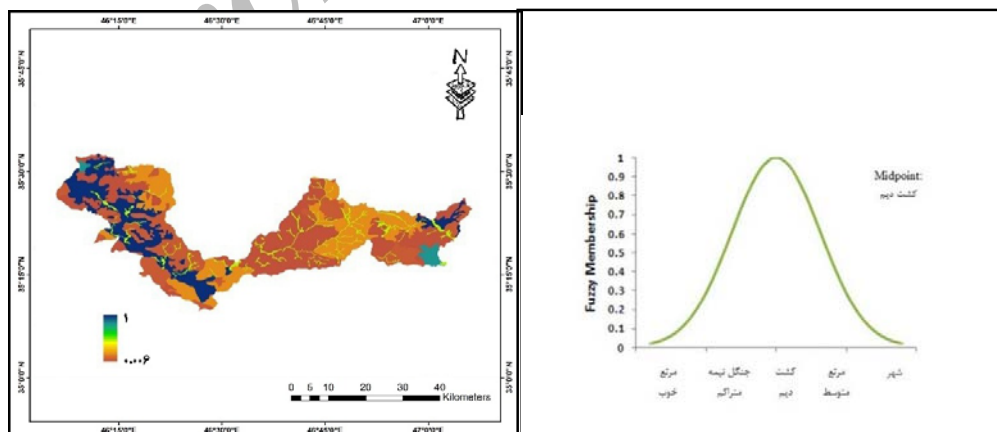
شکل ۱۵ نقشه و تابع فازی خاک



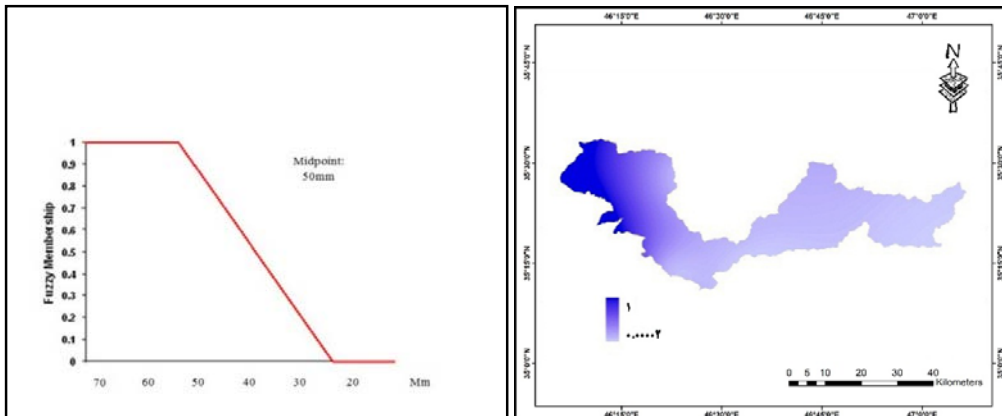
شکل ۱۶ نقشه و تابع فازی فاصله از گسل



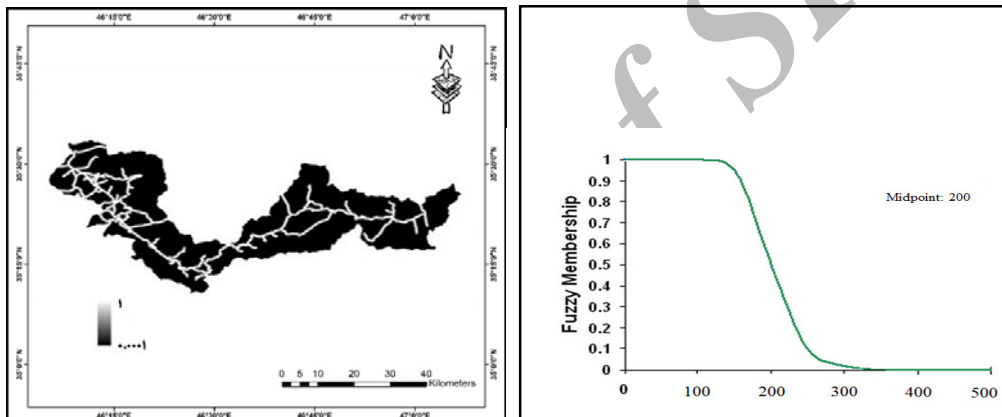
شکل ۱۷ نقشه و تابع فازی فاصله از آبراهه



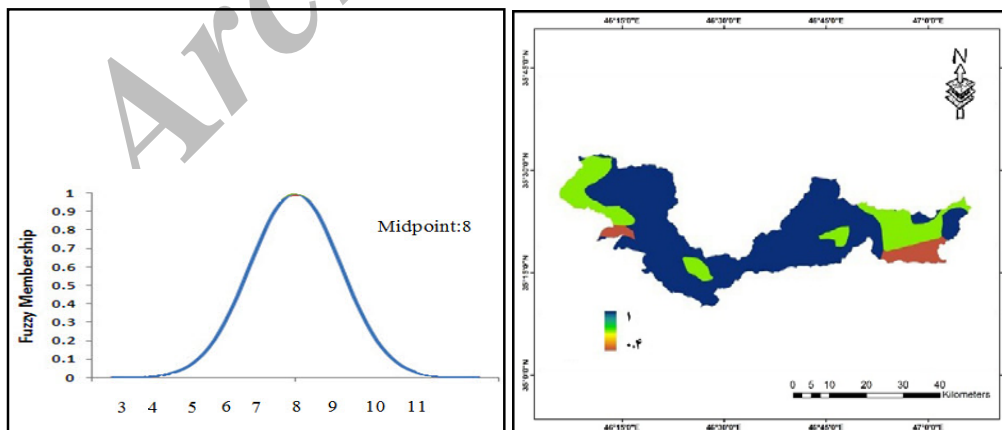
شکل ۱۸ نقشه و تابع فازی کاربری اراضی



شکل ۱۹ نقشه و تابع فازی بارش

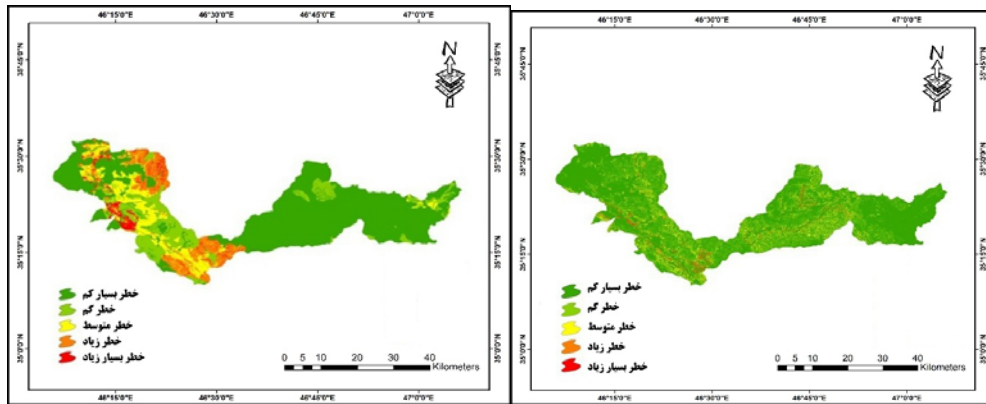


شکل ۲۰ نقشه و تابع فازی فاصله از جاده



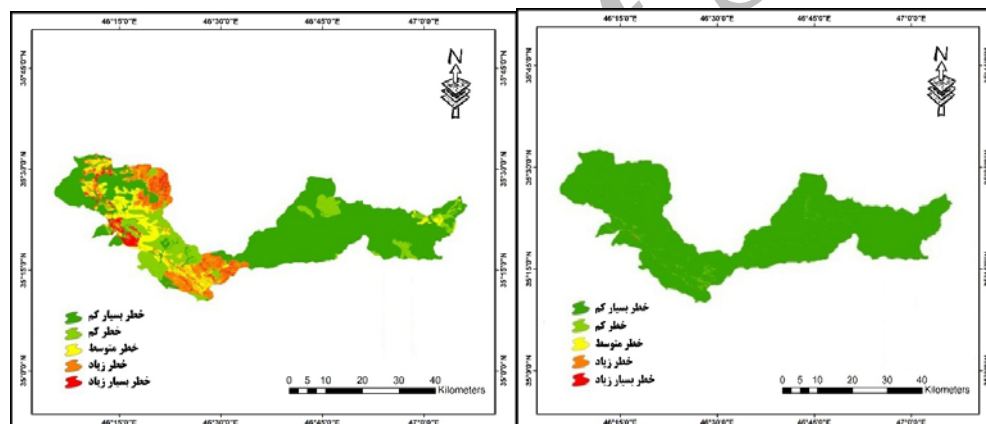
شکل ۲۱ نقشه و تابع فازی پوشش گیاهی

بعد از مرحله فازی سازی معیارهای مؤثر با استفاده از مدل نسبت فراوانی و توابع فازی نرم افزار Arc GIS 10 نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش (شکل های ۲۲ تا ۲۷) از طریق عملگرهای گامای فازی با لاندهای ۰.۷، ۰.۸ و ۰.۹ تهیه شد. مساحت و درصد هر یک از طبقات خطر نیز برای دو روش مذکور در جدول شماره ۳ محاسبه شده است.



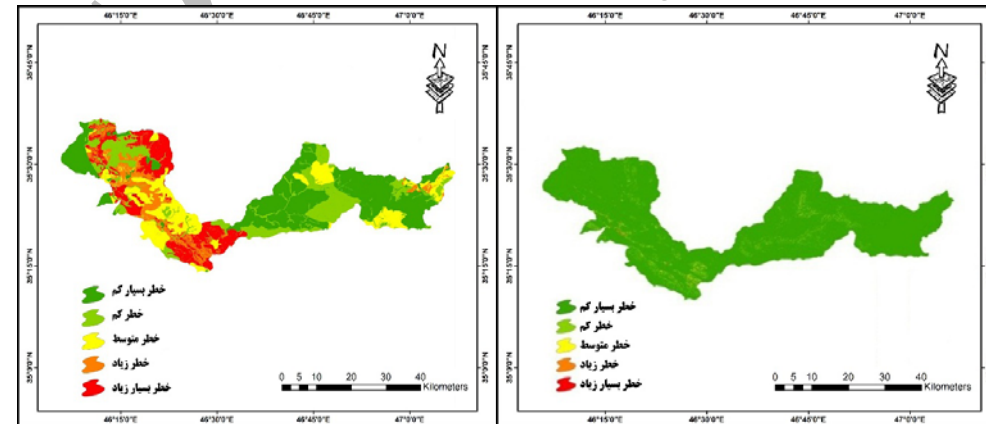
شکل ۲۲ نقشه گامای ۰.۷ با روش نسبت فراوانی

شکل ۲۳ نقشه گامای ۰.۷ با روش توابع فازی



شکل ۲۴ نقشه گامای ۰.۸ با روش نسبت فراوانی

شکل ۲۵ نقشه گامای ۰.۸ با روش توابع فازی



شکل ۲۶ نقشه گامای ۰.۹ با روش نسبت فراوانی

شکل ۲۷ نقشه گامای ۰.۹ با روش توابع فازی

جدول ۳ مساحت و درصد طبقات خطر در نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

روش	عملگر	طبقات خطر	مساحت هر طبقه (هکتار)	مساحت هر طبقه (درصد)
نسبت فراوانی	گامای ۰.۷	خطر خیلی کم	۷۴۶.۷۷	۵۸.۷۵
		خطر کم	۱۹۸.۵۸	۱۵.۶۲
		خطر متوسط	۱۲۹.۴۳	۱۰.۱۸
		خطر زیاد	۱۶۰.۶۳	۱۲.۶۴
		خطر بسیار زیاد	۳۵.۶۰	۲.۸۰
	گامای ۰.۸	خطر خیلی کم	۷۶۹.۹۹	۶۰.۵۸
		خطر کم	۱۸۳.۰۷	۱۴.۴۰
		خطر متوسط	۱۳۴.۴۱	۱۰.۵۸
		خطر زیاد	۱۵۱.۴۴	۱۱.۹۲
		خطر بسیار زیاد	۳۲.۱۰	۲.۵۳
	گامای ۰.۹	خطر خیلی کم	۴۵۸.۹۱	۳۶.۱۱
		خطر کم	۲۶۲.۱۱	۲۰.۶۲
		خطر متوسط	۲۳۰.۵۷	۱۷.۳۵
		خطر زیاد	۱۴۰.۱۹	۱۱.۰۳
		خطر بسیار زیاد	۱۸۹.۲۲	۱۴.۸۹
فازی	گامای ۰.۷	خطر خیلی کم	۱۲۶۲.۹۰	۹۹.۳۶
		خطر کم	۵۸۰	۰.۴۶
		خطر متوسط	۱.۵۳	۰.۱۲
		خطر زیاد	۰.۶۳	۰.۰۵
		خطر بسیار زیاد	۰.۱۹	۰.۰۲
	گامای ۰.۸	خطر خیلی کم	۱۲۳۳.۹۵	۹۷.۰۸
		خطر کم	۲۹.۵۴	۲.۳۲
		خطر متوسط	۵.۶۲	۰.۴۴
		خطر زیاد	۱.۵۹	۰.۱۳
		خطر بسیار زیاد	۰.۳۴	۰.۰۳
	گامای ۰.۹	خطر خیلی کم	۱۰۰۳.۴۲	۷۸.۹۵
		خطر کم	۱۶۲.۱۰	۱۲.۷۶
		خطر متوسط	۷۹.۳۶	۶.۲۴
		خطر زیاد	۲۰.۷۲	۱.۶۳
		خطر بسیار زیاد	۵.۲۷	۰.۴۱

مأخذ: محاسبات نویسنده‌گان

## بحث و نتایج

نتایج بررسی طبقات معیارهای مورد بررسی در روش نسبت فراوانی (جدول شماره ۲) نشان داد که در معیار شیب، لغزش‌ها در طبقات شیب‌های بیشتر از ۷۰ درصد رخ داده است. شیب‌های بین ۵۰ تا ۷۰ درصد در درجه دوم اهمیت قرار دارند. وضعیت شیب بدین علت حائز اهمیت است که سازوکار بسیاری از حرکت‌های دامنه‌ای در اثر این عامل رخ می‌دهد.

تحلیل تقاطع لغزش‌ها با جهات مختلف شیب نشان داد که زمین لغزش‌ها تقریباً در تمامی جهات شیب رخ داده‌اند؛ ولی از میان جهات شیب بیشترین لغزش‌های اتفاق افتاده در جهات شیب شمال و شمال شرقی منطقه بوده است. انطباق نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها با نقشه طبقات ارتفاعی نشان داد که بیشترین لغزش‌های رخ داده در طبقات ارتفاعی بین ۱۳۵۰ تا ۱۰۴۹ متر به وقوع پیوسته و با افزایش ارتفاع از میزان حساسیت زمین لغزش کاسته شده است. دلیل این موضوع را می‌توان به لیتولوژی مقاوم‌تر این محدوده‌ها نسبت داد. تحلیل شرایط لیتولوژیکی محدوده مورد مطالعه نشان داد که کنگلومرا، ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک بیشترین لغزش‌ها را به خود اختصاص داده‌اند.

بررسی کاربری اراضی منطقه نیز نشان داد که بیشترین لغزش‌ها در دو کاربری باغ و مرتع اتفاق افتاده است که دلیل آن را می‌توان به نقش انسان در اکوسیستم‌های منطقه و تخریب‌هایی که به واسطه تغییر این کاربری‌ها اعمال کرده، نسبت داد. در عامل خاک‌شناسی، خاک‌های کم‌عمق همراه با رخنمون سنگی، بیشترین فراوانی نسبی زمین لغزش‌ها را دارند. علت آن نفوذ آب و رطوبت از لایه‌های نه چندان ضخیم خاک‌های سست ناپیوسته فوقانی و وجود شیب زیاد دامنه‌های این نوع خاک است که شرایط لغزش را تشدید می‌کند.

نسبت فراوانی لغزش‌ها در طبقات معیار پوشش گیاهی به صورتی است که کلاس نوع اراضی آبی کشاورزی بیشترین نسبت و در نتیجه بالاترین وزن فازی را به خود اختصاص داده است. این نوع پوشش گیاهی باعث کندشدن سرعت جریان هرز آب‌ها در سطح دامنه‌ها شده و در نتیجه این عمل آب در سطح، فرصت بیشتری برای نفوذ به عمق دارد و لذا این نوع پوشش گیاهی در تشدید پدیده لغزش نقش مهمی را ایفا می‌کند.

در معیار فاصله از جاده ارتباطی نیز فاصله ۱۰۰ متری از جاده بیشترین لغزش‌ها را داشته است. این موضوع نشان می‌دهد که دامنه‌های مشرف به جاده که کمترین فاصله را با جاده دارند، ناپایداری بیشتری نسبت به دیگر طبقات فاصله از جاده دارند.

تحلیل پیکسل‌های لغزشی در ارتباط با گسل‌ها نشان می‌دهد که هرچه فاصله از گسل‌ها کمتر می‌شود، ناپایداری بیشتر است. در این منطقه به دلیل انطباق بیشتر مسیر جاده بر تراست زاگرس و فاصله کم گسل‌ها تا جاده ارتباطی بیشترین وزن فازی را کلاس ۱۰۰ متری فاصله از گسل نشان می‌دهد که عامل تشدیدکننده ناپایداری دامنه‌های مشرف به جاده است.

جدول شماره ۲ همچنین نشان می‌دهد که بیشتر زمین‌لغزش‌ها در فاصله بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ متری از شبکه آبراهه‌ای و در طبقات بارشی ۲۶ تا ۵۷ میلی‌متر به وقوع پیوسته‌اند.

نتیجه حاصله از انجام پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش عموماً به صورت نقشه‌هایی است که رده‌های مختلف خطر را در منطقه نشان می‌دهد و بسته به تعداد رده‌های خطر در منطقه با عباراتی نظیر خطر خیلی کم، خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر بسیار زیاد معرفی می‌شود. نقشه‌های خطر تهیه شده از طریق اپراتور فازی گاما در منطقه مورد مطالعه مبنای مقایسه دو روش نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی است؛ لذا به جهت متفاوت بودن روش‌های فازی‌سازی و تهیه نقشه خطر نهایی، این مقایسه برای فازی‌سازی معیارها و همچنین پهنه‌بندی خطر در دو روش مذکور به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### مقایسه فازی‌سازی معیارهای مؤثر در مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی نرم‌افزار Arc GIS 10

فازی‌سازی با استفاده از توابع فازی برای هر معیار نشان داد که انتخاب یک تابع به منظور فازی‌سازی باید با توجه به هدف (پهنه‌بندی زمین‌لغزش)، ماهیت معیار در منطقه مورد مطالعه و رابطه معیار با هدف مورد نظر صورت گیرد. به عنوان مثال در این پژوهش برای فازی‌سازی معیار گسل، چون فاصله از گسل حائز اهمیت بود و کمترین فاصله، بیشترین امتیاز را داشت از تابع Small استفاده شد. طبق جدول شماره ۱ این تابع زمانی استفاده می‌شود که مقادیر کوچک ورودی، بالاترین عضویت فازی را می‌گیرد؛ لذا با توجه به هدف پژوهش که پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است، رابطه معیار گسل را می‌توان این چنین تعریف کرد که هرچه فاصله از گسل کمتر باشد، ناپایداری بیشتر و در نتیجه خطر زمین‌لغزش بیشتر می‌شود. فازی‌سازی سایر معیارها نیز بر همین مبنا صورت گرفته است. همچنین این مطالعه نشان داد که فازی‌سازی با استفاده از مدل نسبت فراوانی در این گونه پهنه‌بندی‌ها از دقت بیشتری برخوردار است. دلیل این امر را می‌توان به تطابق هر معیار با نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های منطقه در هنگام وزن‌دهی نسبت داد، به طوری که در هر طبقه از معیار تعداد پیکسل‌های لغزشی و یا فاقد لغزشی مشخص و از رابطه مربوطه عضویت فازی هر طبقه استخراج می‌شود.

#### مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در مدل نسبت فراوانی و توابع فازی نرم‌افزار Arc GIS 10

نقشه‌های فازی شده با عملگرهای مختلف گامای فازی هم‌پوشانی شده و نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در منطقه با دو روش مورد نظر تهیه شد (شکل‌های ۲۴ تا ۲۹). در این نقشه‌ها مدلی بهینه انتخاب شد که درصد بیشتری از فرآیند لغزشی در آن اتفاق افتاده باشد. همان طور که در جدول شماره ۳ مشخص است، طبقه خطر بسیار زیاد در نقشه‌های پهنه‌بندی خطر با روش نسبت فراوانی با گاماهای ۰.۷، ۰.۸ و ۰.۹ به ترتیب ۲۸۰، ۲۰۵۳ و ۱۴۸۹ درصد را به خود اختصاص داده است که نسبت به درصد طبقه خطر بسیار زیاد با روش توابع فازی درصد بالاتری را نشان می‌دهد. در سایر طبقات خطر نیز در مجموع درصد خطر با روش نسبت فراوانی بیشتر است.



## نتیجه‌گیری

محور ارتباطی مریوان- سنندج در استان کردستان به طول ۱۳۵ کیلومتر به دلیل موقعیت جغرافیایی و به واسطه نقش حیاتی در ترانزیت بین‌المللی و به ویژه دسترسی به بازارهای غرب کشور یکی از پرترددترین محورهای ارتباطی ایران است. ویژگی‌های طبیعی و زمین‌شناسی و شرایط نامناسب فیزیکی جاده نشان می‌دهد که مسیر جاده به درستی و ناظر بر مخاطرات محیطی (دامنه ای) انتخاب نشده است. بخش اعظم جاده از نواحی خطر القعر و به طور عمده روی رسوبات جدید آبرفتی با مقاومت بسیار پایین و حساسیت بسیار بالا عبور کرده و از نظر لیتولوژیکی هم بیشتر از سنگ‌های شیل، رس، مارن و شیست تشکیل شده و در محدوده کوهستانی به دلیل داشتن شیب زیاد دامنه‌ها و ارتفاع زیاد، دچار ناپایداری‌هایی شده است.

در این پژوهش وزن‌دهی به معیارهای مؤثر در وقوع حرکات لغزشی با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی با یکدیگر مقایسه شدند. عوامل توپوگرافی (ارتفاع، شیب، جهت‌شیب)، زمین‌شناسی (واحدهای سنگ‌شناسی و گسل)، شبکه آبراهه، راه ارتباطی، کاربری اراضی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و بارش به عنوان متغیرهای مستقل و پهنه‌های لغزشی به عنوان متغیر وابسته در این مقایسه مورد استفاده قرار گرفتند. تحلیل و ارزیابی نتایج نشان داد که فازی‌سازی با استفاده از روش نسبت فراوانی به دلیل تطابق هر نقشه عاملی با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها و محاسبه پیکسل‌های لغزش‌یافته و بدون لغزش می‌تواند از ارزش بیشتری برخوردار باشد.

از میان نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش که با استفاده از نقشه‌های وزنی دو روش مذکور تهیه شده، نقشه پهنه‌بندی خطر با گامای ۰.۸ مدل نسبت فراوانی نیز به دلیل تطابق بیشتر با پهنه‌های لغزشی به وقوع پیوسته، از دقت بالاتری برخوردار است.

بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که دقت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر برای فرآیندهای لغزشی مستقیماً در ارتباط با روش فازی‌سازی بوده و انتخاب روش و یا مدل از اهمیت زیادی برخوردار است. از میان دو روش مورد بحث، استفاده از مدل نسبت فراوانی به دلیل فازی‌سازی مناسب هر معیار با استناد به نقشه‌های پراکنش زمین‌لغزش‌های رخ داده و نحوه تفکیک طبقات خطر، مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها در محور ارتباطی مریوان- سنندج محسوب می‌شود.

## References

- Ahmadi, H., Esmali, A., Feiznia, S., Shariat jafari, M., 2004. Mass movement hazard zonation with two multiple regression (MR) and Analytical Hierarchy process (AHP) methods. (Case study: Germichay watershed). Iranian J. Natural Res. Vol 56, No 4, 323-336. (In Per.)
- Alaie Taleghani, M., Rahimzadeh, Z., Amini, A., 2011. Mass Zoning the Skirts Sensitivity to Instability (Slippage) at Javanrood Catchment Area by the Use of Two Variables Statistical Model of Surface Compaction. Geography and Development. No 22, 57-72. (In Per.)

- Feiznia, S., Kalarstagh, A., Ahmadi, H., Safaei, M., 2004. An Investigation of Effective Factors on Landslide Occurrence and Landslide Hazard Zonation (Case Study Shirin Rood Drainage Basin - Tajan Dam). *Iranian J. Natural Res.* Vol 57, No 1, 3-22. (In Per.)
- Graee, P., Karimi, H., 2010. Determination of the best landslide susceptibility mapping method in the Ilam dam basin. *Geographical Research.* Vol 25, No 96, 101-127. (In Per.)
- Hoon chi, K., Park, n., chung.ch.jo, 2002. Fuzzy logic integration for landslide hazard mapping using spatial data from boeun, Korea, symposium on geospatial theory. Processing and applications. (In Eng.)
- Hosseinzadeh, M., Servati, M. R., and Mansouri, A. 2009. Zonation of Mass Movements Occurring Risk using Logistic Regression Model. *IRAN Geology Quarterly*, 3 (11): 27-37. (In Per.)
- khaledi, S., derafshi, K., Mehrjunejad, A., gharachahi, S., khaledi, S. 2012. Assessment of the landslide effective factors and zonation of this event using logistic regression in the GIS environment (Case Study Taleghan Watershed). *Journal of Geography and Environmental Hazards.* No 1, 65-82. (In Per.)
- Komac. M., 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in per alpine Slovenia. *Geomorphology*, No 24, 17-28. (In Eng.)
- Moradi, H. R., Pourghasemi, H. R., Mohammdi, M., Mahdavifar, M. R., 2010. Landslide Hazard Zoning using Gamma Fuzzy Operator, with a Case Study of Haraz Watershed. *Environmental Sciences.* Vol 7, No 4, 129-142. (In Per.)
- Shahabi, H., Khezri, S., Ahmad, B.B., Allahvirdiasi, H., 2012. Application of satellite images and fuzzy set theory in landside hazard mapping in central zab basin. *IOSR Journal of applied physics*, vol 1, 17-24. (In Eng.)
- Van Westen, C. J., Rengers, N. Soaters, R. 1993. Geographic information systems applied to landslide hazard zonation. *Mapping awareness and GIS in Europe.* 17. 5. (In Eng.)
- Van Westen, C. J., Rengers, N. Terline, J. Soaters, R. 1997. Predication of the occurrence of slope instability phenomena through GIS -Based hazard zonation. *Geologies ches Runds chall.* 86. (In Eng.)
- Yamani, M., Ahmadabadi, A., zare, R., 2012. Evaluation of Performance Artificial Intelligence Techniques in landslide study with an emphasis on SVM algorithm (Case Study: Darakeh Basin). *Journal of Geography and Environmental Hazards.* No 3. (In Per.)
- Zhang F.L., 2007. Study on landslide susceptibility mapping based on GIS and with bivariate statistics. A case study in London area highway 212. *Science paper online.*