

## تبیین عدم قطعیت در مدل‌های پهنه‌بندی مخاطرات محیطی با استفاده از تئوری دمستر-شافر (Dempster-Shafer theory) مطالعه موردی: خطر زمین لغزش در جنوب چالوس

نسرین محمدی ثابت<sup>۱</sup>، جلال کرمی<sup>۲\*</sup>، محمد شریفی کیا<sup>۳</sup>

- ۱- دانش آموخته کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- ۲- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- ۳- دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

دریافت: ۹۷/۲/۱۷ ..... پذیرش: ۹۸/۲/۸

### چکیده

طیف وسیعی از مدل‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره شامل مدل‌های ریاضی و آماری در مطالعات محیطی و پهنه‌بندی مخاطرات مورد استفاده قرار می‌گیرند. گستره این روش‌ها از نقطه نظر مبانی تئوری و تعداد متغیرهای مورد استفاده می‌تواند شامل مدل‌های ساده بولین و شاخص هم‌پوشانی تا روش‌های پیچیده‌تر مثل فرایند تحلیل سلسله مراتبی، نقطه ایده‌آل، شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی باشند. در مطالعات محیطی و پهنه‌بندی مخاطرات و تبیین کمی عدم قطعیت در نتایج و نقشه‌های خروجی به واسطه ماهیت این دسته از مطالعات از اهمیت بالایی برخوردار است. در برخی از مدل‌های مورد استفاده مانند فرایند تحلیل سلسله مراتبی و محاسبات فازی، رویکرد عدم قطعیت در متغیرهای ورودی و ساختار مدل دیده می‌شود، با این حال تبیین کمی مقادیر عدم قطعیت در خروجی این مدل‌ها دیده نمی‌شود. به



تازگی مدل‌هایی مانند فازی نوع دوم<sup>۱</sup>، مجموعه‌های زیر<sup>۲</sup> و تئوری دمپستر-شافر<sup>۳</sup> (D-S) برای ارائه کمی مقادیر عدم قطعیت در نتایج خروجی توسعه داده شده‌اند. در این مطالعه هدف ارزیابی کارآمدی الگوریتم دمپستر-شافر در تبیین عدم قطعیت در نتایج خروجی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه جنوب شهرستان چالوس است. پس از بررسی‌های میدانی و مرور مطالعات مشابه ده متغیر محیطی شامل شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، خاک‌شناسی، تراکم آبراهه، تراکم خطواره، تراکم راه‌ها، فاصله از گسل، سنگ‌شناسی، و مدل رقومی ارتفاع در محیط GIS آماده‌سازی گردیدند. این متغیرها (به عنوان ورودی) به همراه نقشه پراکنش زمین لغزش‌های موجود که از طریق عملیات میدانی و مطالعات متخصصان گذشته ثبت گردیده بود (به عنوان نواحی شاهد) به مدل معرفی شدند. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با ادغام لایه‌های مختلف در مدل D-S انجام و به منظور ارزیابی خروجی این مدل از مدل رگرسیون لجستیک<sup>۴</sup> (LR) استفاده گردید؛ کارایی این دو مدل براساس نتایج خروجی مدل‌ها و با استفاده از دو شاخص نسبت تراکم<sup>۵</sup> (Dr) و جمع مطلوبیت<sup>۶</sup> (Qs) مورد ارزیابی و صحت‌سنجی قرار گرفتند. نتایج حاصل از شاخص Dr نشان داد که در هر دو مدل در تشخیص کلاس‌های با خطر بالا نسبت به کلاس‌های با خطر پایین خوب عمل نموده‌اند و از بین دو مدل مورد آزمون براساس نتایج شاخص Qs، مدل دمپستر-شافر با  $Qs=98/02$  نسبت به مدل رگرسیون لجستیک با  $Qs=91/66$  دارای مطلوبیت نسبی بهتری است. علاوه بر این، مدل D-S در کنار ارائه کلاس‌های خطر در دو قالب قطعی و ممکن، نتایج عدم قطعیت برای هر کلاس را هم ارائه نمود.

**کلیدواژگان:** مدل‌های عدم قطعیت در مخاطرات محیطی، زمین لغزش، مدل دمپستر-شافر، مدل رگرسیون لجستیک، جنوب چالوس.

#### ۱- مقدمه

ناپایداری دامنه‌ای به ویژه خطر زمین لغزش از جمله مخاطراتی است که به دلیل ماهیت مناطق کوهستانی معمولاً از فراوانی زیادی برخوردار است. اگر زمین لغزش با مخاطرات دیگری

- 
1. Type2 Fuzzy Set
  2. Rough Set
  3. Dempster-Shafer theory
  4. Logistic Regression
  5. Density Ratio
  6. Quality Sum

نظیر زلزله و سیل همراه شود، دامنه وسیع تری را به خود می‌گیرد (ابوالفضل بهنیا فر و همکاران، ۱۳۸۹). امروزه در بیشتر نقاط جهان، کشورهای درگیر با این مسئله تمایل فزاینده‌ای جهت ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش دارند، زیرا زمین لغزش یکی از مخاطرات طبیعی است که همه ساله خسارات جانی و مالی فراوانی از جمله تخریب جاده‌های ارتباطی، مراتع، مناطق مسکونی، تغییر کاربری اراضی، ایجاد فرسایش و رسوب در حوضه‌های آبخیز را به همراه دارند. کشور ایران نیز به دلیل شرایط مستعد جغرافیایی و فقدان مدیریت جامع محیطی و عدم رعایت آستانه‌های محیطی به عنوان یک کشور پرخطر در این زمینه به شمار می‌رود (بهشتی راد و همکاران، ۱۳۸۹). از آن جهت که زمین لغزش یک مخاطره مدیریت پذیر است؛ بنابراین شناسایی مناطق مستعد از طریق پهنه‌بندی خطر با استفاده از مدل‌های مختلف یکی از اقدامات مؤثر و ضروری به حساب می‌آید. بدین منظور متخصصان از انواع مدل‌ها و روش‌های تجربی زمین لغزش برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در نواحی مختلف استفاده می‌کنند. علیرضا عرب عامری و همکاران (۲۰۱۴) از شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه ماربر استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که ساختار شبکه عصبی در نتایج حاصله تأثیر فراوانی دارد، همچنین عناصر خطی مانند آبراهه‌ها و جاده‌ها بیشترین تأثیر را دارند. سید هدایت هاشمی و همکاران (۱۳۸۹) بخشی از مناطق استان لرستان را با کمک الگوریتم ترکیبی Fuzzy-Topsis پهنه‌بندی کردند و دریافتند ترکیب این دو روش در تبیین عدم قطعیت مدل کارایی بالایی دارد. فتاحی اردکانی (۲۰۰۰) جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز سد لتیان از ترکیب دو روش نیلسن<sup>۱</sup> و ارزش اطلاعاتی استفاده نمود. او پس از ارزیابی روش‌ها به این نتیجه رسید که روش ارزش اطلاعاتی مطابقت بیشتری با نقشه پراکنش زمین لغزش دارد. سارولی<sup>۲</sup> (۲۰۰۱) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش آماری رگرسیون چند متغییره اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه یانگین کشور کره نمود؛ صحت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها مقایسه شد که روش رگرسیونی نتایج خوبی را نشان داد. احمدی و همکاران (۲۰۰۳) با مطالعه موردی در حوضه آبخیز گرمی چای استان اردبیل به پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغییره و تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. افجه نصرآبادی و همکاران (۲۰۰۸) به ارزیابی کارایی مدل‌های آماری ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح در منطقه سری دو جنگل شصت کلاته گرگان پرداختند که نتایج حاصل نشان‌دهنده برتری مدل ارزش اطلاعاتی

1. Nielsen  
2. Sarolee

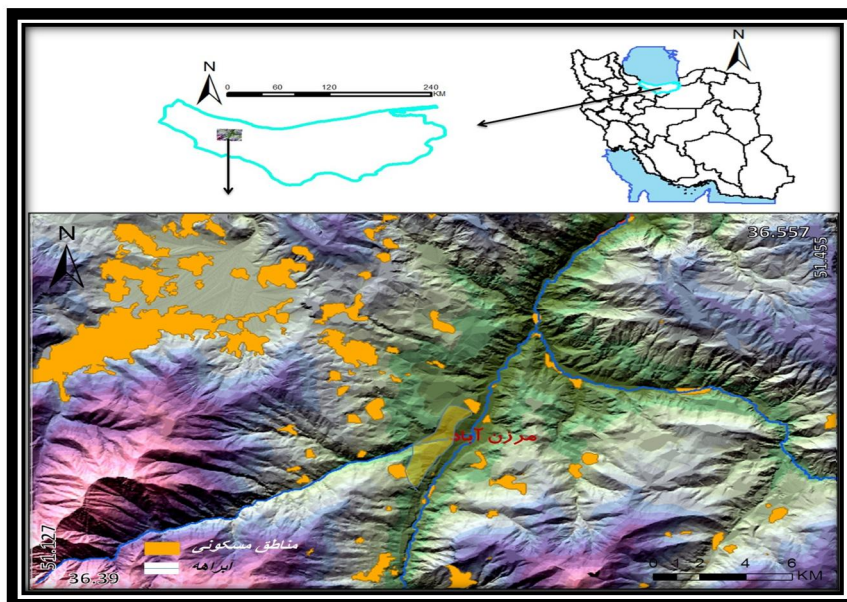


نسبت به تراکم سطح در منطقه بود. صفاری و همکاران (۲۰۱۲) اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در جاده ارتباطی مریوان- سنندج با استفاده از مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی نمودند و دریافتند که مدل نسبت فراوانی روش مناسب‌تری برای پهنه‌بندی زمین لغزش‌ها در این جاده ارتباطی است، همچنین محمدی ثابت و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی و کارآمدی مدل‌های آماری رگرسیون لجستیک و ارزش اطلاعاتی در پهنه‌بندی بهینه خطر زمین لغزش در بخش اراضی جنوب چالوس پرداختند. با توجه به مطالب بیان شده در این زمینه روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ارائه شده است، اما در هیچ یک از این روش‌ها عدم قطعیت در خروجی مدل لحاظ نمی‌شود؛ بنابراین هدف از این تحقیق تبیین عدم قطعیت در مدل‌های پهنه‌بندی مخاطرات محیطی با استفاده از الگوریتم دمپستر- شافر در جنوب چالوس به منظور ارزیابی قابلیت‌های این مدل نسبت به سایر مدل‌ها در منطقه مورد مطالعه است.

## ۲- داده و روش تحقیق

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

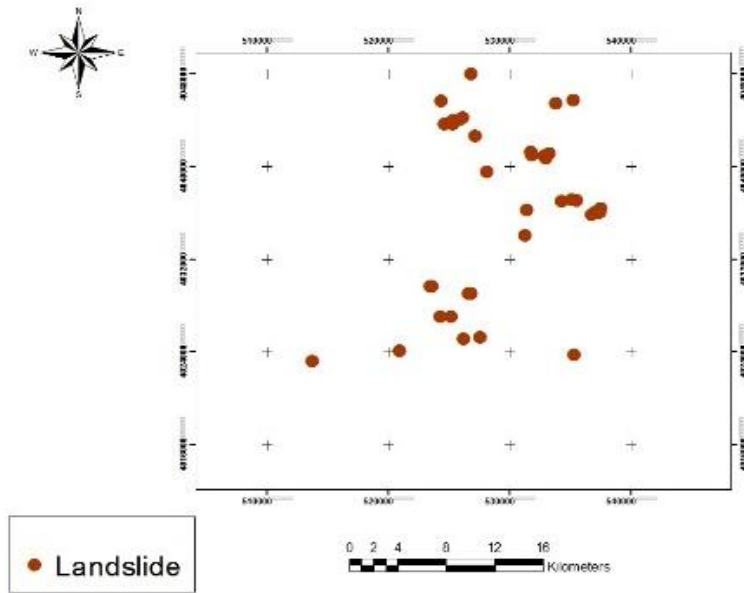
انتخاب محل و تعیین حدود منطقه مورد مطالعه با توجه به پتانسیل لغزش خیزی بالا در منطقه تعیین گردیده است. این منطقه در جنوب شهرستان چالوس واقع در استان مازندران انتخاب و با گستره جغرافیایی مشتمل بر طول جغرافیایی  $51^{\circ}12'67''$  تا  $51^{\circ}45'64''$  شرقی و عرض جغرافیایی  $36^{\circ}38'79''$  تا  $36^{\circ}55'77''$  شمالی قرار دارد (شکل ۱). مساحت محدوده مورد مطالعه بالغ بر ۵۵۲ کیلومتر مربع است و ارتفاع منطقه از تناوبی بین ۲۵۰ تا ۳۲۶۳ متر متغییر بوده به نحوی که بیشترین ارتفاعات در قسمت جنوب غرب و کمترین آن در نواحی شمال شرق استقرار دارند. لیتولوژی خاص (تناوبی از سازندهای سخت و رسوبی تبخیری) محدوده در کنار مورفولوژی به نسبت پر شیب و دره‌ای آن زیرساخت مناسبی را برای ایجاد مخاطره زمین لغزش فراهم آورده است. از نظر لیتولوژی بیشترین مساحت مربوط به توده‌های رسوبی شیلی متعلق به سازند شمشک و توده‌های مارنی متعلق به دوران جدید است.



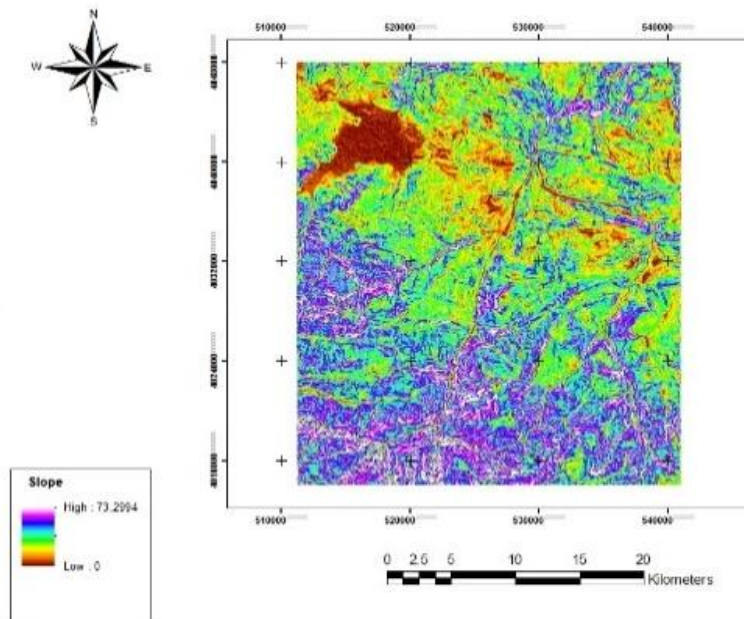
شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان مازندران و ایران

## ۲-۲- داده ها و روش های مورد استفاده

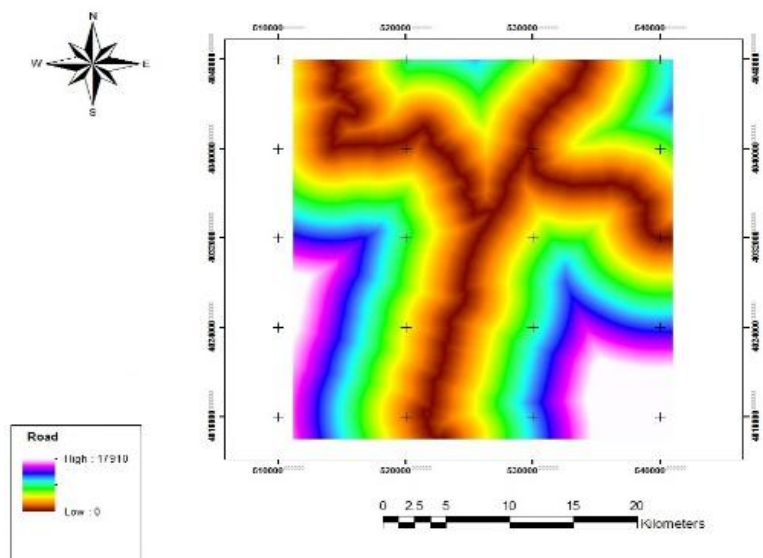
ابتدا با استفاده تصاویر سنجنده  $ETM^+$  ماهواره لندست و P5 ماهواره کارتوست، نقشه های مورد استفاده از قبیل پوشش گیاهی، کاربری اراضی و مدل رقومی ارتفاعی به روزرسانی شدند. در مجموع پس از به روزرسانی، تعداد ده نقشه شامل کاربری زمین، لیتولوژی، مدل رقومی ارتفاع، شیب، جهت شیب، آبراهه ها، جاده ها، خاک شناسی و گسل ها به عنوان عوامل مؤثر بر زمین لغزش در قالب متغیرهای ورودی و نواحی رخداد زمین لغزش نیز به عنوان نواحی شاهد مورد استفاده قرار گرفتند. برخی از این متغیرها در شکل های ۲-۷ آورده شده اند.



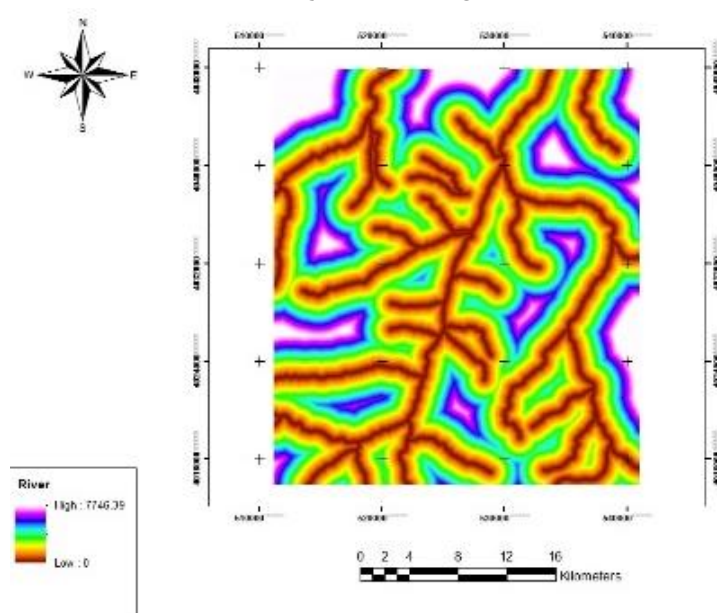
شکل ۲ پراکنده‌گی نقاط زمین لغزش منطقه



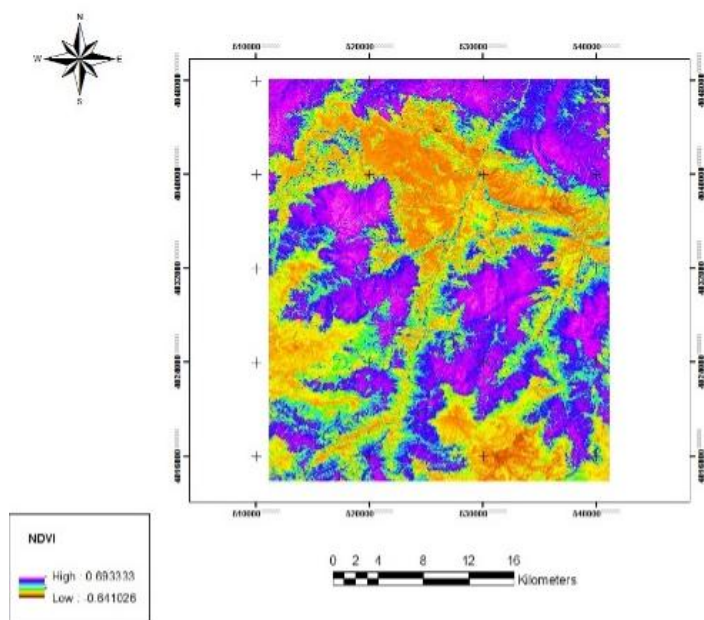
شکل ۳ نقشه شیب



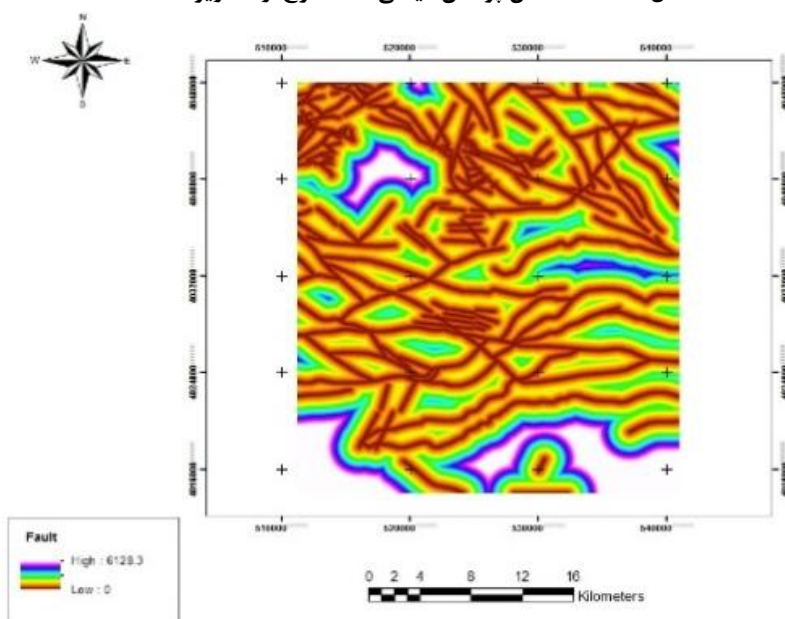
شکل ۴ نقشه فاصله از جاده ها



شکل ۵ نقشه فاصله از شبکه آبراهه ها



شکل ۶ نقشه شاخص پوشش گیاهی (مستخرج از تصاویر ETM)

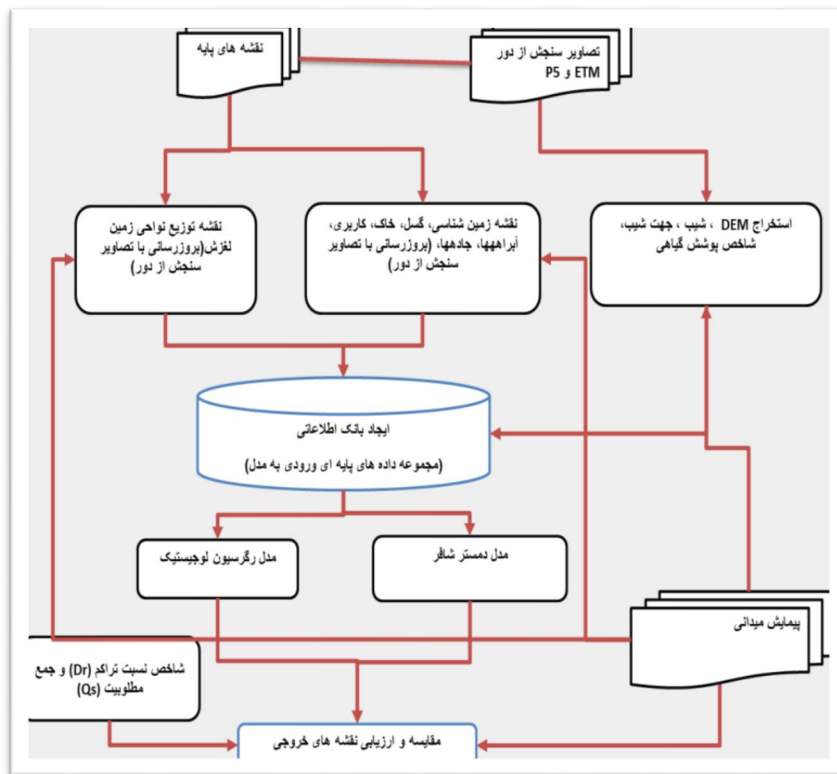


شکل ۷ نقشه فاصله از شبکه گسل‌ها و خطواره‌ها



### ۳- روش های مورد استفاده

پیشتر نیز اشاره گردید هدف از این پژوهش ارزیابی کارایی مدل دمپستر- شافر در کمی کردن عدم قطعیت در نتایج خروجی است. این مدل از جهاتی با برخی از مدل ها مانند تئوری مجموعه های زبر و فازی نوع دوم که با عدم قطعیت و ابهام سروکار دارند، اشتراکاتی دارد (کرمی و همکاران، ۲۰۱۴). تفاوت میان D-S و مجموعه های زبر در این است که مجموعه های زبر از برآوردهای بالا و پایین برای بیان دانش نهفته در داده ها استفاده می کند، در حالی که D-S از توابع باور<sup>۱</sup> برای بیان توابع احتمالی حد بالا و پایین استفاده می کند. مدل دمپستر- شافر یک مدل آماری مبتنی بر احتمالات است؛ بنابراین برای ارزیابی و مقایسه دقت خروجی آن از مدل رگرسیون لجستیک استفاده شده که یک مدل آماری مبتنی بر احتمالات است. در شکل ۸ مدل مفهومی مطالعه آورده شده است.



شکل ۸ مدل مفهومی تحقیق

1. Belief function



گاه از تئوری دمپستر شافر به عنوان تئوری توابع باور نیز یاد می‌شود. این تئوری با بحث درباره باورهای موجود از یک وضعیت و یا سیستمی از وضعیت‌ها حائز اهمیت است. توابع باور (رابطه (۱)) و ممکن بودن<sup>۱</sup> (رابطه (۲)) به صورت زیر است.

$$Bel: \Omega(\theta) \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

$$Bel(A) = \sum_{B \subset A} m(B)$$

$$Pl(A): \Omega(\theta) \rightarrow [0,1] \quad (2)$$

$$Pl(A) = 1 - Bel(\bar{A}) = \sum_{B \cap A \neq \emptyset} m(B)$$

در این روابط تابع  $Bel(A)$  مقدار کل احتمالی که باید در میان عناصری از  $A$  باشد را اندازه‌گیری می‌کند و به معنای حتمیت و معنی‌داری از باور  $A$  و به منزله حد پایینی روی احتمال  $A$  است. تابع  $Pl(A)$  حداکثر مقدار احتمال را که می‌تواند در میان عناصر  $A$  توزیع شود را اندازه‌گیری می‌کند.  $Pl(A)$  درجه باور کلی مربوط به  $A$  را توصیف می‌کند و به منزله تابع حد بالایی روی احتمال  $A$  است. در این تحقیق خروجی‌های مدل در سه قالب باور، ممکن و عدم قطعیت آورده شده‌اند.

(ب) مدل رگرسیون لجستیک<sup>۲</sup>

شکل عمومی معادله رگرسیون لجستیک به صورت رابطه (۳) است.

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (3)$$

در این رابطه  $P$  احتمال رویداد حادثه (در این پژوهش زمین لغزش) و  $Z$  پارامتر یا فاکتور خطی و از رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$Z = \log \text{it}(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) \quad (4)$$

$$= c_0 + c_1x_1 + \dots + c_n + x_n$$

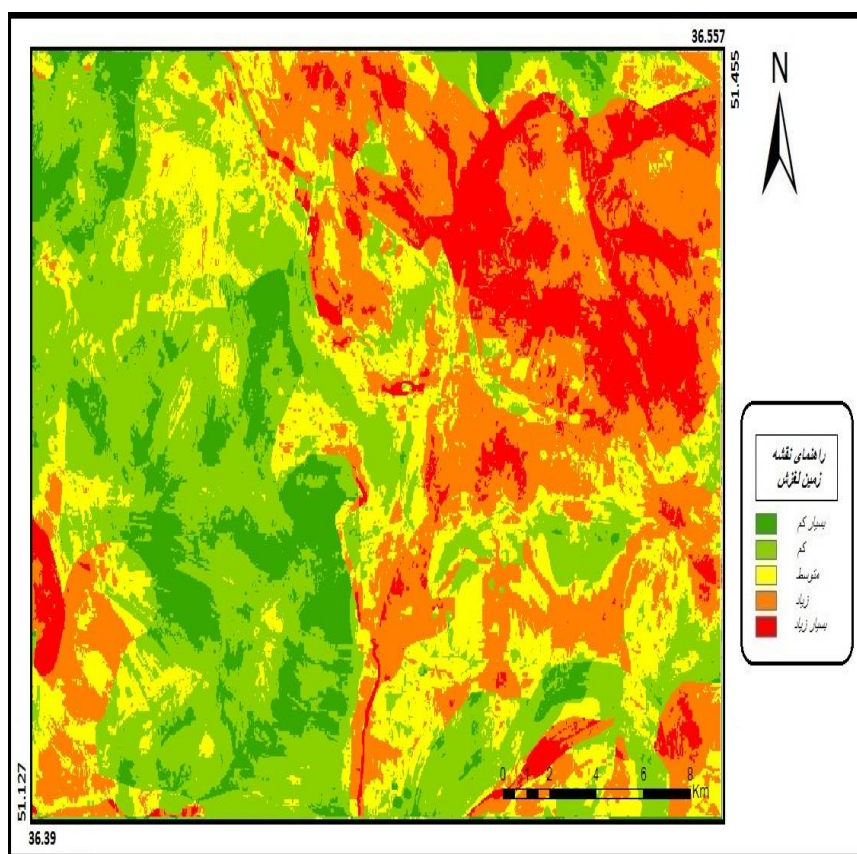
$c_0$  عرض از مبدا یا ضریب ثابت مدل،  $x_1, x_2, \dots, x_n$  ضرایب مربوط به متغیرهای مستقل  $c_1, c_2, \dots, c_n$  هستند. با تغییر مقدار  $Z$  از  $-\infty$  تا  $+\infty$  احتمال وقوع زمین لغزش ( $P$ ) به صورت منحنی  $S$  از صفر تا یک تغییر می‌کند که هر چه به عدد یک نزدیک‌تر باشد احتمال وقوع زمین لغزش بیشتر و هر چه به عدد صفر نزدیک باشد، احتمال وقوع، کمتر خواهد بود (تریگرد<sup>۳</sup>، ۲۰۰۵؛ چایو<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵).

1. Plausible  
2. Logistic Regression  
3. Terygerd

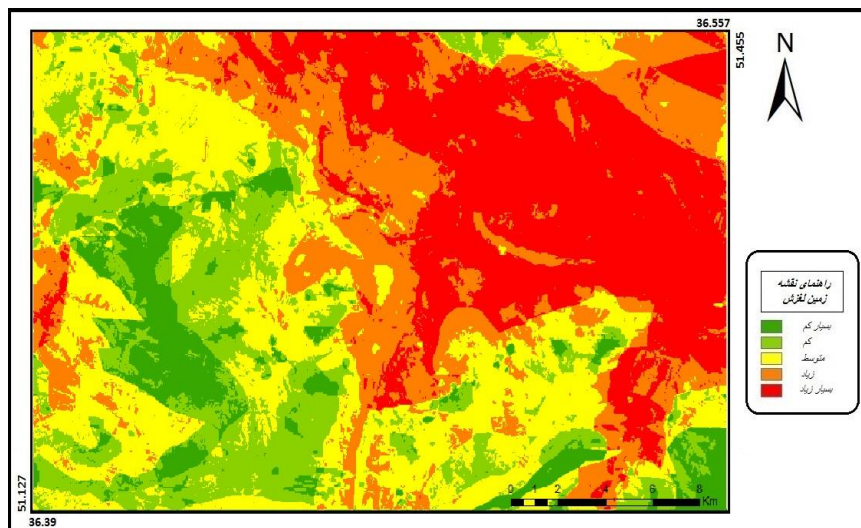
## ۴- نتایج

### الف- دمستر- شافر

پس از محاسبه مؤلفه های لازم برای اجرای مدل دمپستر- شافر، این مدل بر لایه های اطلاعاتی اجرا شد؛ بدین صورت که ابتدا داده ها پس از تبدیل به رستر، با کمک عملگرهای Fuzzy، نرمال گردیدند و در نهایت مدل دمپستر شافر بر روی داده ها اجرا و نقشه نهایی پهنه بندی خطر زمین لغزش حاصل شد. در زیر سه نقشه وقوع حتمی (شکل ۹)، وقوع ممکن (شکل ۱۰) و عدم قطعیت در وقوع زمین لغزش (شکل ۱۱) حاصل از مدل دیده می شوند.

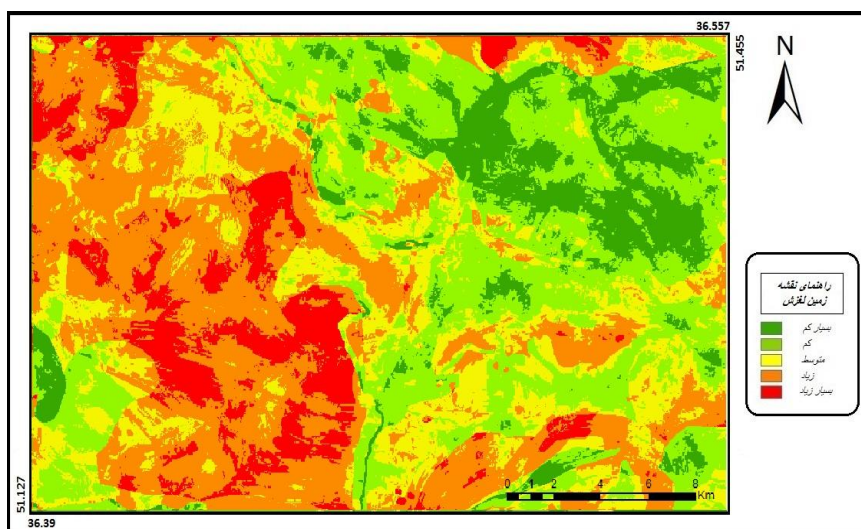


شکل ۹ نقشه قطعی پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل دمپستر- شافر (Belief)



شکل ۱۰ نقشه محتمل پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل دمپستر - شافر  
(Plausible)

با مقایسه نتایج بالا دیده می‌شود که نقشه محتمل نواحی بیشتری از خطر را نشان می‌دهد. در نقشه ۱۱ نیز نواحی ارائه شده است که در مدل خروجی از عدم قطعیت بالایی برخوردار هستند.

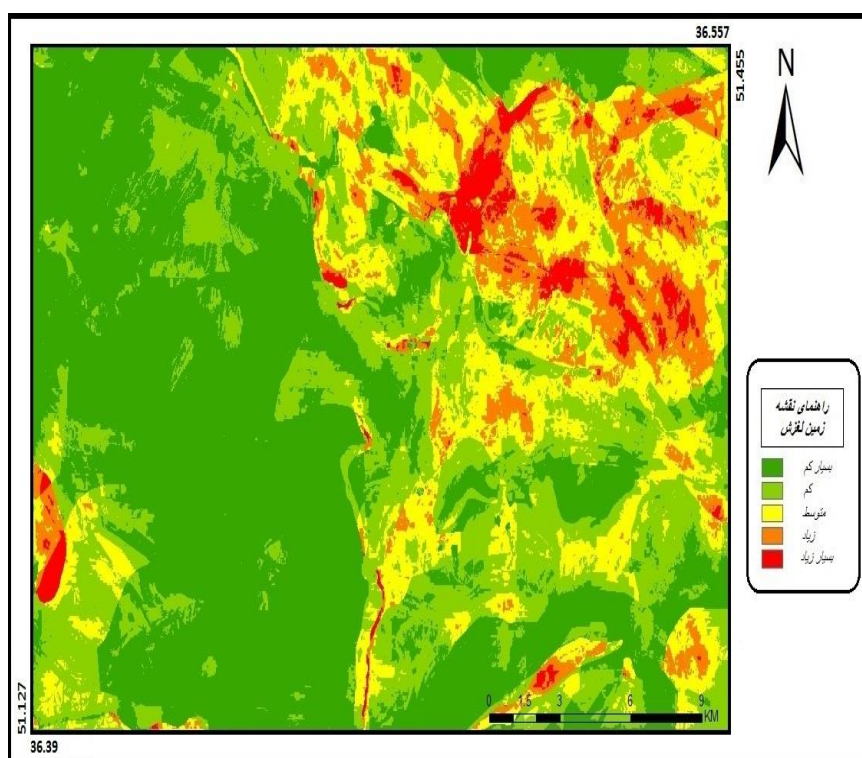


شکل ۱۱ نقشه عدم قطعیت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل دمپستر - شافر (Inter)

### الف- رگرسیون لجیستیک

پس از تعیین وزن برای هر کدام از عوامل مؤثر و اعمال آن بر نقشه عوامل نامبرده در محیط GIS با روی هم اندازی و جمع کردن ارزش پیکسل های عوامل مختلف، نقشه نهایی پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش رگرسیون لجیستیک مطابق با رابطه (۵) در ۵ کلاس به دست آمد (شکل ۱۲). همانگونه که مشاهده می شود در این مدل بیشترین ضریب برای لایه سنگ شناسی و کمترین آن برای لایه کاربری اراضی در نظر گرفته شد.

$$\begin{aligned} \text{Logit(زمین لغزش)} = & -4.3212 + 0.106389 * (\text{جهت شیب}) + \quad (5) \\ & - 0.254175 * (\text{فاصله از گسل}) + 0.590698 * (\text{واحد های سنگی}) - \\ & 0.056359 * (\text{کاربری زمین}) + 0.393995 * (\text{سنگ شناسی}) + \\ & + 0.318486 * (\text{فاصله از رودخانه ها}) - 0.020751 * (\text{فاصله از جاده ها}) - \\ & 0.021177 * (\text{شیب}) + 0.350500 * (\text{رده های خاک}) \end{aligned}$$



شکل ۱۲ نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجیستیک



## ۵- ارزیابی و صحت‌سنجی روش‌های پهنه‌بندی

به منظور ارزیابی و صحت‌سنجی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از دو شاخص نسبت تراکم<sup>۱</sup> (Dr) و جمع مطلوبیت<sup>۲</sup> (Qs) استفاده گردید. شاخص نسبت تراکم با استفاده از رابطه (۶) برای مقایسه کلاس‌های خطر در هر یک از نقشه‌ها به طور مستقل مورد محاسبه قرار گرفت.

$$Dr = \frac{\sum_i^n S_i / A_i}{\sum_i^n S_i / \sum_i^n A_i} \quad (6)$$

در این رابطه  $S_i$  نشان‌دهنده مجموع مساحت زمین لغزش‌های واقع در هر کلاس خطر،  $A_i$  مساحت  $i$ -ام کلاس خطر در یک نقشه پهنه‌بندی و  $n$  تعداد کلاس خطر است. برای مقایسه نتایج خروجی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نیز از شاخص جمع مطلوبیت (Qs) استفاده گردید. مقدار (Qs) از رابطه (۷) برای هر نقشه پهنه‌بندی محاسبه گردید.

$$Qs = \sum_{i=1}^n ((Dr - 1)^2 * \%area) \quad (7)$$

در این رابطه area نسبت مساحت هر کلاس خطر به مساحت کل منطقه و  $n$  تعداد کلاس خطر است.

مقدار Qs نشان‌دهنده مطلوبیت عملکرد مدل در پیش‌بینی خطر زمین لغزش منطقه مورد مطالعه است. مقدار این شاخص برای مدل‌های مختلف در گستره صفر تا ۱۰۰ قرار می‌گیرد. هر چه این مقدار بیشتر باشد نشان‌دهنده مطلوبیت بهتر عملکرد روش یا مدل پهنه‌بندی خطر زمین لغزش است. جدول ۱ نشان‌دهنده نتایج به دست آمده از دو شاخص نسبت تراکم و جمع مطلوبیت برای مدل‌های مورد استفاده منطقه مورد مطالعه و جدول ۲ نشان‌دهنده نتایج به دست آمده از مقایسه نقشه‌های خروجی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با نقشه زمین لغزش است بنابراین برای اجرای مدل‌ها تنها ۷۰٪ زمین لغزش‌های منطقه وارد مدل گردید.

1. Density Ratio  
2. Quality Sum

تبیین عدم قطعیت در مدل های پهنه بندی ... جلال کرمی و همکاران

جدول ۱ نتایج به دست آمده دو شاخص نسبت تراکم و جمع مطلوبیت

مدل پهنه بندی	کلاس خطر	سطح کلاس (مترمربع)	سطح لغزش (مترمربع)	نسبت تراکم (Dr)	جمع مطلوبیت (Qs)
مدل دمپستر- شافر	خیلی کم	۱۳۲۳۷۰۵۰	۱۰۵۰۰	۱۰۴۲۴۸۲	۰۲۴۸
	کم	۱۸۷۲۸۲۲۰	۲۵۲۱۰۰	۰	۹۸/۱
	متوسط	۱۳۵۴۰۶۴۰	۶۲۰۰۰۰	۱۰۹۳۱۸۷	۱
	زیاد	۷۵۷۸۹۶۰۰	۶۲۸۷۷۰۰	۱۴۲۷۱۸۱	۲
	خیلی زیاد	۲۰۹۴۴۲۰۰	۴۱۵۵۱۰۰	۱۶۲۲۱۲۶	۴
مدل رگرسیون لجستیک	خیلی کم	۲۴۷۱۶۸۸۰	۱۰۲۱۵۰۰	۰۲۰۲۶۸۶	۶۶۹۴
	کم	۱۴۹۲۱۷۷۰	۲۶۱۹۴۰۰	۰	۹۱/۱
	متوسط	۹۵۳۳۷۹۰۰	۳۷۴۳۳۰۰	۱۸۶۰۹۱۵	۱
	زیاد	۴۸۵۹۲۳۰۰	۲۸۹۱۹۰۰	۱۹۱۸۷۳۳	۲
	خیلی زیاد	۱۴۹۴۰۳۰۰	۱۰۴۵۷۰۰	۱۴۳۲۶۲۵	۳

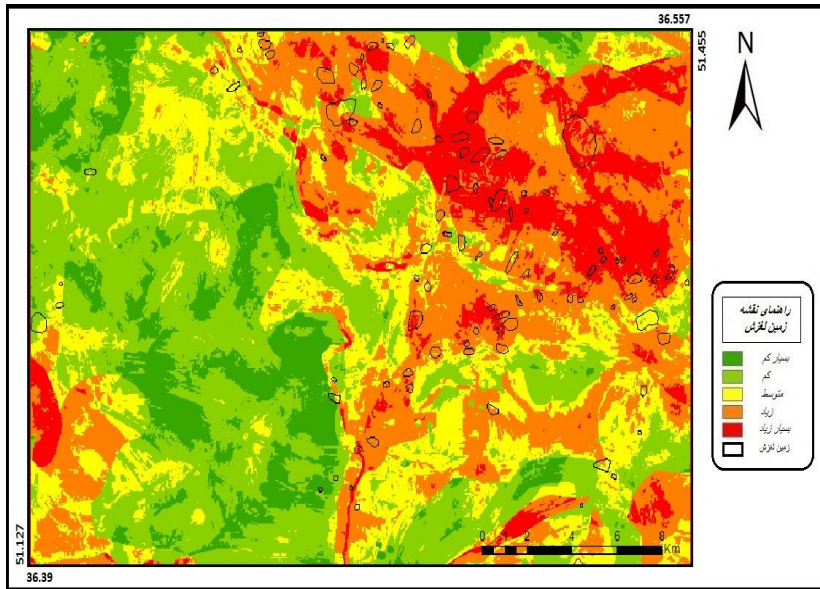


جدول ۲ نتایج به دست آمده مقایسه خروجی مدل‌ها با نقشه زمین لغزش

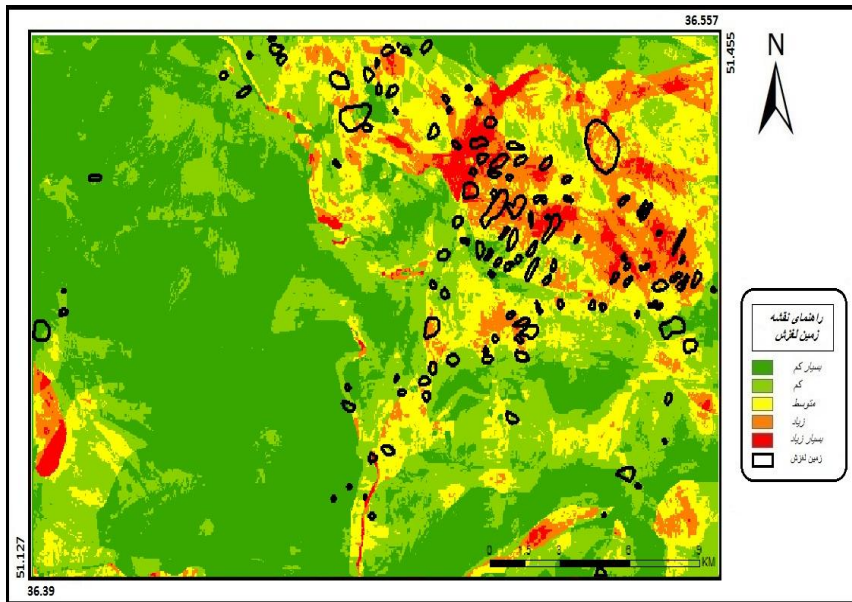
مساحت کلاس خطر (درصد)	مساحت کلاس خطر (درصد)	کلاس خطر	مدل پهنه‌بندی
۰/۱۱	۲۳/۹	خیلی کم	مدل دمپستر - شافر
۲/۹۳	۳۳/۹۲	کم	
۲۴/۵۲	۲۴/۵۳	متوسط	
۴۴/۲۷	۱۳/۷۷	زیاد	
۲۸/۱۴	۳/۸۱	خیلی زیاد	
۷/۸۴	۴۴/۵۱	خیلی کم	مدل رگرسیون لجستیک
۲۰/۴۳	۲۶/۸۷	کم	
۳۲/۷۵	۱/۱۷	متوسط	
۲۸/۴۲	۸/۷۵	زیاد	
۱۰/۵۳	۲/۶۹	خیلی زیاد	

به منظور مقایسه بهتر نتایج، نقاط زمین لغزش بر خروجی هر دو مدل آورده شده است (شکل‌های ۱۳ و ۱۴).





شکل ۱۳ نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل دمپستر - شافر (Belief)



شکل ۱۴ نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک



## ۶- نتیجه‌گیری

زمین لغزش یکی از زیان‌بارترین مخاطرات طبیعی است که دولت و مؤسسه‌های پژوهشی هر ساله برای ارزیابی میزان خسارت جهت نشان دادن توزیع فضایی آن تلاش می‌کنند (خالدی و همکاران، ۱۳۹۱). در این زمینه روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ارائه شده است، اما در هیچ یک از این روش‌ها عدم قطعیت در خروجی مدل لحاظ نمی‌شود؛ بنابراین تحقیق با هدف تبیین عدم قطعیت در مدل‌های پهنه‌بندی مخاطرات محیطی با استفاده از الگوریتم دمپستر شافر در جنوب چالوس به منظور ارزیابی قابلیت‌های این مدل نسبت به سایر مدل‌ها در منطقه مورد مطالعه صورت گرفته است. در نهایت با لحاظ شدن عدم قطعیت‌ها در لایه‌های ورودی، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش انجام شد و سه خروجی نواحی اطمینان، عدم اطمینان و نواحی شک حاصل شد. نتایج حاصل از شاخص  $Dr$  نشان داد که در هر دو مدل در تشخیص کلاس‌های با خطر بالا نسبت به کلاس‌های با خطر پایین خوب عمل نموده‌اند و از بین دو مدل مورد آزمون براساس نتایج شاخص  $QS$ ، مدل دمپستر- شافر با  $QS=98/02$  نسبت به مدل رگرسیون لجستیک با  $QS=91/66$  دارای مطلوبیت نسبی بهتری است (جدول ۱). با توجه به نقشه به دست آمده از روش دمپستر- شافر و مقایسه آن با نقشه حاصل از روش رگرسیون لجستیک و نقشه زمین لغزش‌های موجود در منطقه می‌توان به این نتیجه دست یافت که دقت در روش دمپستر- شافر بیشتر است و به نوعی می‌توان گفت نقشه پهنه‌بندی روش دمپستر- شافر هم‌خوانی بیشتری با نقشه واقعیت زمینی منطقه دارد و برخلاف مدل‌های دیگر علاوه بر پهنه‌بندی نواحی اطمینان، توانایی پهنه‌بندی نواحی عدم اطمینان و شک را هم به صورت کمی دارد و می‌تواند به عنوان روش بهینه برای مناطق مشابه نیز معرفی گردد. شکل‌ها ۱۵، ۱۶ و ۱۷ نیز نمونه‌ای از بازدید میدانی نتایج است.

تبيين عدم قطعيت در مدل هاي پهنه بندي ... جلال كرمي و همكاران



شكل ۱۵ بازديد ميداني از زمين لغزش جاده مرزن آباد (سایت ۱)



شكل ۱۶ بازديد ميداني از زمين لغزش جاده مرزن آباد (سایت ۲)



شکل ۱۷ بازدید میدانی از زمین لغزش جاده چالوس

## ۷- منابع

- افجه نصرآبادی، حامد و همکاران (۱۳۸۷). ارزیابی کارایی مدل‌های آماری ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مناطق جنگلی (سری دو جنگل شصت کلاته گرگان)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۵، ش ۶.
- ایلانلو، مریم و همکاران (۱۳۸۹). پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای با استفاده از روش منطق فازی (مطالعه موردی حوضه آبریز سیرا)، مجله چشم‌انداز جغرافیایی، سال پنجم، تابستان، ش ۱۱، صص ۱۲-۲۶.
- بانک اطلاعاتی زمین لغزش کشور (۱۳۸۶). زمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، وزارت جهاد کشاورزی.
- بهشتی‌راد، مسعود و همکاران (زمستان ۱۳۸۹). تهیه نقشه خطر حرکت‌های توده‌ای با مدل ارزش اطلاعاتی، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، ش ۱۰، ص ۱۴.
- بهنیافر، ابوالفضل و همکاران (پاییز ۱۳۸۹). کاربرد مدل AHP و منطق فازی در طبقه‌بندی خطرات زمین لغزش (حوضه آبریزی فریزی)، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، ش ۹، صص ۸۹-۱۰۰.

تبیین عدم قطعیت در مدل های پهنه بندی ... جلال کرمی و همکاران

- پاشا، عین اله و همکاران (۱۳۹۲). محاسبه فاصله عدم قطعیت بر پایه آنترپپی شانون و تئوری دمپستر شافر از شواهد، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ش ۲، جلد ۲۴، صص ۲۱۶-۲۲۳.
- خالدی، شهریار و همکاران (۱۳۹۱). ارزیابی عامل‌های مؤثر در رویداد زمین لغزش و پهنه‌بندی آن با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در محیط GIS (مطالعه موردی حوضه آبخیز طالقان)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ش اول.
- سید هدایت هاشمی، جلال کرمی، امینی، جمال و عباس علیمحمدی (زمستان ۱۳۸۹). پهنه‌بندی مناطق حساس به زمین لغزش با استفاده از الگوریتم Fuzzy-Topsis و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: استان لرستان)، مجله سنجش از دور و GIS ایران، سال دوم، ش ۴.
- شادفر، صمد و همکاران (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRF در حوضه چالکرو، مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد سوم، ش ۱، صص ۴۰-۴۷.
- شریفی کیا، محمد (۱۳۸۶). بررسی خطر لغزش و تحلیل ریسک‌پذیری در بخشی از البرز مرکزی، دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی.
- شریعت جعفری (۱۳۷۶). زمین لغزش (اصول و پایداری شیب‌های طبیعی)، انتشارات سازه، ۲۱۸ صفحه.
- شیرانی، کورش (۱۳۹۲). شناسایی، پایش و سنجش خطرپذیری زمین لغزش مبتنی بر تکنیک تصاویر ماهواره‌ای رادار (مطالعه موردی: ارتفاعات زاگرس)، رساله دکتری، دانشگاه اصفهان، صص ۲۱۸.
- صفاری، امیر، اخدر، آرش (۱۳۹۱). مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی جاده ارتباطی مریوان - سنندج)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ش ۴، صص ۷۹-۹۶.
- فرزامیان، محمد و همکاران، (۱۳۸۷). برآورد عدم قطعیت در مدل‌سازی داده‌های ژئوفیزیکی با روش Dempster Shafar، دومین کنفرانس مهندسی معدن ایران.
- عرب عامری، علیرضا؛ کلروزان، عبدالله و جلال کرمی (۱۳۹۳). استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، مطالعه موردی: حوضه مابر، فصلنامه بین‌المللی پژوهشی زمین پویا، سال دوم، (۷) ۴.



- مصفايي، جمال و همکاران (۱۳۸۸). مقایسه کارایی مدل‌های تجربی و آماری پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (حوضه آبخیز الموت رود)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۶، ش ۴، صص ۴۳-۶۱.
- معدن کن، محمد و همکاران (۱۳۹۳). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در محدوده قطعه دوم آزاد راه تهران شمال، سی و سومین گردهمایی ملی علوم و زمین.
- محمدی ثابت، نسرين (۱۳۹۳). تلفیق پارامترهای مستخرج از تصاویر ماکروویو در بهینه‌سازی مدل‌های تجربی زمین لغزش مطالعه موردی جنوب شهرستان چالوس، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، گروه سنجش از دور، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، صص ۱۲۵.
- محمودی، رضا (۱۳۹۲). استفاده از الگوریتم Dempster Shafar در تعیین نواحی امیدبخش معدنی فلزی در منطقه طارم در محیط GIS، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی علوم و تحقیقات یزد، صص ۹۱.
- Chau, K.T and J.E.chan.2005.Reiol bas f Landslide data in generating suseptibility maps using Logistic regression for Hong kong Island.landslides 280-290.
- Cruden, D.M, Varnes, D.J, 1996, Landslide types and processes. In: Turner, A.K and Schuster R.L, (Editors), Landslides: investigation and mitigation.
- Dai, F.C. and C.F.Lee.2002.Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. Geomorphology 42:213-228.
- Dai, F.C., Lee, C.F. and Ngai, Y.Y.2002.Landslide Risk Assessment and Management: an Overview. Engineering Geology, 64:65-78. (In Eng).
- Dempster, A.P., 1976, Upper and Lower Probabilities Induced by a Multivalued Mapping. Annals of Mathematical Statistics 38, pp.325-339.
- Dikau, R, Brunsten, D, Schrott, L, Ibsen, M, (eds), 1996, Landslide Recognition: Identification, movement and causes (Chichester : John Wiley & Sons Ltd).
- Fattahi ardakani, M.A, 2000, Investigation and evaluation on landslide zonation Models, remote sensing and GIS in the Latian watershed. MSC. Thesis. Emam Khomainsi educational center, 181 p.

- Gagnon, H, 1975, Remote sensing of Landslide hazards on quick clays of eastern Canada. Proceeding 10th International Symposium Remote Sensing of Environment. Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan II, pp. 803-810.
- Garcia-Rodriquez,M.J.,Malpica,B.and Diaz,m.2008.susceptibility Assessment of Earthquake Triggered Landslide in EI salvador Using Logistic Regression. Geomorphology,95:172-191.(In Eng).
- Jalal Karami, Abbas Alimohammadi, Tayebah Seifouri, Water quality analysis using a variable consistency dominance-based rough set approach, Computers, Environment and Urban Systems 43 (2014) 25–33
- Lee,s.and Pradhan,B.2007.Landslide Hazard Mapping at selangor Malaysia using Frequency Ratio and Logistic Regression models,landslide 4:33-41(In Eng).
- Rossi, Mauro, et al, 2009, optimal landslide susceptibility zonation based on multiple forecasts, Geomorphology 114, 2010, pp. 129–142.
- Sarolee, K.M. 2001. Statistical Analysis of landslide susceptibility at Youngling, Korea, Environmental Geology, 40: 1095-1113.
- Sharifikia, M, 2007, Remote Sensing & GIS Application in Geohazards A case Study of Central Alborz, N. Iran,PhD Thesis, Department of Geology University of Delhi.
- Shafer,G.,1976,A Mathematical Theory of Evidence,Princeton University Press,NJ.
- Terzaghi, k, 1950, Mechanism of Landslides, Geological Society if American, Berkeley , pp. 83-123.
- Thomas,G .,Anderson, Crozier., 2005. Landslide Hazard and Risk. John Wiley and Sons Ltd, vol1.
- Wieczorek, G.F, 1984, Preparing a detailed landslide - inventory map for hazard evaluation and reduction. IAEG Bull 21(3): 337 - 342.
- Wu, T.H, Tang, W.H, Einstein, H.H, 2000, landslide hazard and risk assessment in Landslides Investigationsand Mitigation, Transportation



Research Board Special Report 247, National Research Council Washington DC.

- Yin, K.L, Yan, T.Z, 1988, Statistical Prediction models for slope stability of metamorphosed rock. In Landslides, Bonnard, C(ed): 1269-1272.