



سنجش از دور

و

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران  
Iranian Remote Sensing & GIS  
سال دوم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۸۹  
Vol.2, No.4, Winter 2011  
۲۳-۲۶

## پهنه‌بندی مناطق حساس به زمین‌لغزش با استفاده از الگوریتم Fuzzy TOPSIS و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: استان لرستان)

سیده‌هدایت هاشمی<sup>۱\*</sup>، جلال کرمی<sup>۲</sup>، جمال امینی<sup>۳</sup>، عباس علیمحمدی سراب<sup>۴</sup>

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس  
۲. دانشجوی دکتری گروه مهندسی GIS، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
۳. استادیار گروه مهندسی GIS، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
۴. استادیار گروه مهندسی GIS، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۲/۲۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۴/۲۳

### چکیده

ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، و شرایط متنوع اقلیمی و زمین‌شناسی، مهم‌ترین شرایط طبیعی را برای وقوع زمین‌لغزش داراست. وجود عوامل مستعد ناپایداری دامنه‌ها مانند، شیب، زمین‌شناسی و کاربری اراضی از جمله عوامل ایجادکننده خطر زمین‌لغزش قلمداد می‌شوند. روش‌های فراوانی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش وجود دارد، که در این مقاله از روش Fuzzy TOPSIS برای پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین‌لغزش استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده شامل اطلاعات شیب، جهت شیب، قابلیت اراضی، کاربری اراضی، فاصله از گسل و فاصله از رودخانه بودند. از تعداد ۱۶۲ زمین‌لغزه ثبت‌شده در محدوده مورد مطالعه، ۷۰ درصد آن به طور تصادفی به عنوان نقاط Training انتخاب شد و مابقی به عنوان نقاط آزمون مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از روش‌های محاسبه فاصله تفرق حاکی از آن است، که در صورت استفاده همزمان، از هر سه شاخص درجه عضویت، درجه عدم عضویت و درجه عدم قطعیت، استفاده از فاصله اقلیدسی - برای محاسبه فاصله تفرق - در مقایسه با فاصله همینگ ارجحیت دارد. نتایج حاصل از روش محاسبه فاصله تفرق، نشان می‌دهد که الگوریتم Fuzzy TOPSIS کارایی مناسبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دارد.

**کلیدواژه‌ها:** پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، Fuzzy TOPSIS، درجه عضویت.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، میدان سپاه، خیابان شهید باباخانلو، کوچه ششم، پلاک ۶ واحد ۲، تلفن: ۰۹۳۶۲۱۹۱۸۸۹

## ۱- مقدمه

ملکی و قربان پور (۱۳۸۷) در پژوهشی با استفاده از مدل‌های تراکم سطح، ارزش اطلاعاتی، وزن متغیرها و AHP و نیز معیارهای کاربری اراضی، شیب، لیتولوژی و پوشش گیاهی اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه چرمه شهرستان سنقر کردند و به این نتیجه رسیدند که AHP بیشترین تناسب را با زمین‌لغزش‌های ثبت‌شده در منطقه دارد.

شیرانی و همکاران (۱۳۸۲) به بررسی و ارزش‌یابی روش‌های آماری پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در جنوب شهر سمیرم در حوضه رودخانه ماربر پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روش‌های آماری دومتغیره در مقایسه با روش‌های آماری چندمتغیره - در عین سادگی - دقت مناسبی دارند و از این رو انطباق بیشتری با پتانسیل لغزه‌خیزی منطقه خواهند داشت.

سارولی (2001) با استفاده از روش رگرسیون خطی به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در کشور کره پرداخته و از معیارهای شیب، جهت شیب، ضخامت خاک، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی و پوشش گیاهی استفاده کرده است. وی پس از مقایسه نتایج پهنه‌بندی با نقشه پراکنش لغزش‌ها به این نتیجه رسید که این روش نتایج نسبتاً مناسبی دارد.

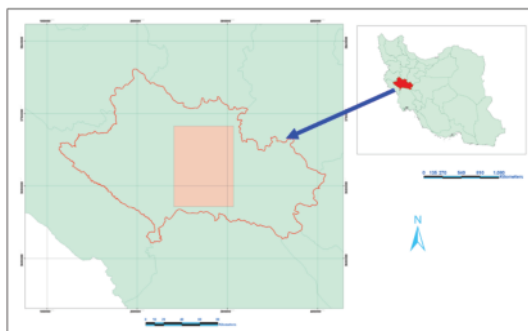
Yalcin (2008) در پژوهشی با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات، تراکم سطح، AHP، معیارهای شیب، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، پوشش گیاهی و فاصله از جاده اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در ترکیه ورزید و به این نتیجه رسید که مدل AHP کارایی بهتری از دیگر مدل‌ها برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این منطقه دارد.

Komac (2006) در منطقه مرکزی اسلونیا با استفاده از AHP و آمار چندمتغیره، مناطق مستعد زمین‌لغزش را شناسایی کرد. او برای این کار از فاکتورهایی چون کاربری، پوشش گیاهی، شیب، و لیتولوژی بهره گرفت و به این نتیجه رسید که وزن فاکتورها با استفاده از AHP بهترند و نتایج بهتری نیز به دست می‌دهند.

زمین‌لغزش از پدیده‌های طبیعی است که در بسیاری از نقاط جهان رخ می‌دهد و وقوع آن در مکان‌هایی که بشر اسکان دارد و به فعالیت مشغول است غالباً با خسارات مالی و جانی فراوانی همراه می‌گردد. کشور ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، و شرایط متنوع اقلیمی و زمین‌شناسی، شرایط طبیعی مساعد را برای ایجاد طیف وسیعی از لغزش‌ها داراست. وجود عوامل مستعد ناپایداری دامنه‌ها از قبیل شیب، زمین‌شناسی، و کاربری اراضی از دلایل وقوع زمین‌لغزش و بروز خسارت به منابع طبیعی و مسکونی به شمار می‌آیند. زمین‌لغزش که از شاخص‌ترین مخاطرات محیطی قلمداد می‌شود، نتیجه عوامل متعدد طبیعی از قبیل عوامل زمین‌شناسی، آب و هوایی و دخالت‌های انسانی است. ویژگی‌های توپوگرافی (ارتفاع، شیب، جهت شیب). هیدرولوژی (بارندگی، شبکه آبراهه)، خاک (ضخامت خاک، بافت خاک، رطوبت خاک، نوع خاک)، زمین‌شناسی (واحد‌های سنگی، ساختارهای تکتونیکی) و نوع کاربری از متغیرهایی هستند که پژوهشگران به آنها توجه داشته‌اند (Guinau, 2005; Fall, 2006; Lee, 2004; Kanungo, 2006; Ermini, 2006; CROSS, 1998; Champati, 1996).

در مورد پهنه‌بندی لغزش‌ها و حرکات توده‌ای تاکنون تحقیقات و بررسی‌های متعددی در داخل و خارج کشور انجام شده است و پژوهشگران با استفاده از انواع روش‌ها، طبقه‌بندی‌های متعددی را ارائه داده‌اند.

یمانی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی با استفاده از مدل‌های کمی و متغیرهایی از قبیل شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، پوشش گیاهی و لیتولوژی اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز توتکابن کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند است که بخش شرقی و شمال غربی حوضه دارای بیشترین پتانسیل زمین‌لغزش هستند و در مقابل مناطق شمالی و جنوب پتانسیل کمتری برای زمین‌لغزش دارند.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

## ۲-۲- داده‌های مورد استفاده

متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق شامل شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، فیزیک خاک، فاصله از گسل و فاصله از رودخانه است.

## ۲-۳- روش مورد استفاده

### ۲-۳-۱- Fuzzy TOPSIS و مجموعه‌های فازی

#### شهودی<sup>۱</sup> (IFS)

نظریه فازی را پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ میلادی در مقاله‌ای به نام «مجموعه‌های فازی» ارائه کرد. از همان ابتدای پیدایش نظریه مجموعه‌های فازی، تلاش‌های زیادی صورت گرفته است تا اشکالاتی که این نظریه در مدل‌سازی برخی از پدیده‌ها دارد، رفع گردد. در ادامه به برخی از اشکالات وارد بر نظریه مذکور اشاره می‌گردد.

۱. برای پیاده‌سازی منطق فازی به هر مقدار و هر شیء فقط یک تابع عضویت می‌توان نسبت داد.
۲. منطق فازی بین موقعیت‌هایی که در مورد یک پدیده اطلاعات کافی در اختیار نیست و یا شواهد له و علیه برای اثبات آن وجود ندارد، تمایزی قائل نمی‌شود. بدین ترتیب در مواردی که تعریف توابع عضویت با کمبود اطلاعات و یا ابهام در مفاهیم مواجه است، استفاده از منطق فازی پیشنهاد نمی‌شود. ایده

Chen و Wu (2009) مناطق مستعد زمین‌لغزش را

در تایوان با استفاده از AHP و با توجه به معیارهای بارندگی، شیب، پوشش گیاهی، رطوبت خاک، توسعه راه‌ها و مناطقی که قبلاً زمین‌لغزش در آنها روی داده است، تعیین کردند.

با مروری بر تحقیقات انجام‌شده، مشاهده می‌شود که مدل‌های زیادی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش وجود دارد، هم‌سو با همین تحقیقات، پژوهش حاضر سعی دارد به ارزیابی کارایی الگوریتم Fuzzy TOPSIS در پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین‌لغزش بپردازد. مدل TOPSIS یکی از زیرشاخه‌های سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمتغیره (MADM) است که براساس فاصله از نقاط ایده‌آل مثبت و منفی عمل می‌کند. منطق فازی نیز به عنوان یکی از روش‌های هوشمند، ابزاری توانمند برای حل مسائل مربوط به سیستم‌های پیچیده - که درک آنها مشکل است - به شمار می‌آید (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۷). در مطالعه پدیده زمین‌لغزش، سیستم‌های فازی روابط فیزیکی بین متغیرهای مؤثر را بهتر از روش‌های آماری تبیین می‌کند (Champati, 1996). الگوریتم Fuzzy TOPSIS ترکیبی از مدل‌های فازی و TOPSIS به‌شمار می‌آید.

## ۲-۲- داده‌ها و روش تحقیق

### ۲-۱- محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از استان لرستان با مساحت ۵۸۷۲ کیلومترمربع که محصور به مختصات عرض شمالی ۳۳ درجه و ۱ دقیقه و ۴۵ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۴۹ دقیقه و ۵۳ ثانیه و طول شرقی ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه و ۳۷ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه و ۱۵ ثانیه است، که در شکل ۱ نشان داده شده است، دامنه ارتفاعی آن از ۷۰۰ تا ۳۱۰۰ متر است. قرارگیری این منطقه بر روی کمربند کوهزایی زاگرس، ویژگی‌های جغرافیایی متنوعی را به همراه داشته است و این تنوع را می‌توان در ویژگی‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی و نوع کاربری زمین مشاهده کرد.

1. Intushestik Fuzzy Set

به ویژگی‌های گوناگون، با استفاده از اعداد فازی به جای اعداد صحیح نسبت می‌دهد.  $IFS^1$  و  $IVFS^2$  هر دو یک مفهوم دارند.  $IVFS$  با یک تابع عضویت تعریف می‌شود، که درجه عضویت هر عضو مجموعه با بازه  $[0,1]$  بیان می‌گردد.

مدل Fuzzy TOPSIS به‌طور کلی در شش مرحله به اجرا درمی‌آید:

۱. ساخت ماتریس تصمیم‌گیری<sup>۳</sup>؛
۲. ساخت ماتریس وزنی تصمیم‌گیری<sup>۴</sup>؛
۳. مشخص کردن نقاط ایده‌آل<sup>۵</sup> مثبت و منفی؛
۴. محاسبه فاصله‌ها<sup>۶</sup>؛
۵. محاسبه شاخص نزدیکی<sup>۷</sup>؛ و
- ۶- رتبه‌بندی<sup>۸</sup> گزینه‌ها.

فاصله میان گزینه‌های تصمیم‌گیری با نقاط ایده‌آل مثبت و منفی با استفاده از فاصله اقلیدسی یا فاصله همینگ محاسبه می‌شود. در روش  $IVFS$  این فاصله با استفاده از روش‌های ارائه‌شده از سوی Atanassov و Szmjdt and Kacprzy که فاصله‌های اقلیدسی و فاصله همینگ را عمومیت می‌بخشد، محاسبه می‌شود. روش‌های مربوط به محاسبه فاصله‌ها برای انجام این تحقیق در ادامه آورده شده است (Mahmoodzadeh et al., 2007; Malczewki, 1999; Ting-Yu Chen et al., 2008).

۱. محاسبه فاصله مطابق روش Atanassov، فاصله همینگ (Ting-Yu Chen et al., 2008):

$$S_{i*}^{d1} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n [|\mu_{Ai} \cdot W(x_j) - \mu_{A*} \cdot W(x_j)| + |V_{Ai} \cdot W(x_j) - V_{A*} \cdot W(x_j)|]$$

1. Intuitionistic Fuzzy Sets
2. Interval-value Fuzzy Sets
3. Decision Matrix
4. Weighted Decision Matrix
5. Point Ideal
6. Separation Measures
7. Relative Closeness
8. Ranking

مجموعه‌های فازی شهودی که برای اولین بار از سوی Atanassov پیشنهاد شد، برای مواجهه با چنین مشکلاتی ارائه گردیده است (سیلاوی، ۱۳۸۵).

این ایده با سه تابع که درجه عضویت، درجه عدم عضویت و درجه عدم قطعیت را بیان می‌کنند، توصیف می‌شود. درجه عدم قطعیت بیان می‌دارد که تصمیم‌گیرندگان نمی‌توانند همواره درجه عضویت‌های مشخص و معین را انتخاب کنند (Chen and Tsao, 2008).

اگر  $X$  مجموعه کلی معینی باشد، مجموعه فازی شهودی  $A$  در  $X$  به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

رابطه (۱)

$$A = \{(x_j, \mu_{Ai}(x), \nu_{Ai}(x_j)) | x_j \in X\}$$

که در آن؛

$\mu_{Ai}(x)$ : درجه عضویت؛

$\nu_{Ai}(x_j)$ : درجه عدم عضویت؛ و

برای هر عنصر  $x_j \in X$  رابطه

$$0 \leq \mu_{Ai}(x) + \nu_{Ai}(x_j) \leq 1$$

درجه عضویت و درجه عدم عضویت، درجه عدم قطعیت از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

رابطه (۲)

$$1 - \nu_{Ai}(x_j) + \mu_{Ai}(x_j) = \pi_{Ai}(x_j)$$

از این نظریه به خوبی می‌توان در شبیه‌سازی فرایندهای مرتبط با تصمیم‌گیری‌های انسانی و هر فعالیتی که نیازمند تخصص و دانش انسانی باشد استفاده کرد (سیلاوی، ۱۳۸۵).

در مدل TOPSIS با توجه به ویژگی‌ها و معیارها، دو نقطه ایده‌آل مثبت و منفی انتخاب می‌شود و بهترین گزینه همان است که هم‌زمان نزدیک‌ترین فاصله را از ایده‌آل مثبت و دورترین فاصله را از ایده‌آل منفی داشته باشد. اهمیت Fuzzy TOPSIS در این است که اهمیت معیارها و عملکرد گزینه‌ها را با توجه

$$S_{i*}^{er} = \left\{ \frac{1}{\gamma} \sum_{j=1}^n [(\mu_{Ai} \cdot W(x_j) - \mu_{A*} \cdot W(x_j))^{\gamma} + (V_{Ai} \cdot W(x_j) - V_{A*} \cdot W(x_j))^{\gamma} + (\pi_{Ai} \cdot W(x_j) - \pi_{A*} \cdot W(x_j))^{\gamma}] \right\}^{\frac{1}{\gamma}}$$

$$S_{i-}^{er} = \left\{ \frac{1}{\gamma} \sum_{j=1}^n [(\mu_{Ai} \cdot W(x_j) - \mu_{A-} \cdot W(x_j))^{\gamma} + (V_{Ai} \cdot W(x_j) - V_{A-} \cdot W(x_j))^{\gamma} + (\pi_{Ai} \cdot W(x_j) - \pi_{A-} \cdot W(x_j))^{\gamma}] \right\}^{\frac{1}{\gamma}}$$

در همه این روش‌ها ( $S_i^*$ ,  $S_i^-$ ) فاصله تفرق مثبت و منفی،  $\mu_{Ai}$  درجه عضویت<sup>۱</sup>،  $V_{Ai}$  درجه عدم عضویت<sup>۲</sup> و  $\pi_{Ai}$  شاخص عدم قطعیت را نشان می‌دهند، که هر سه مورد مربوط به آامین گزینه و آامین ویژگی هستند. همچنین  $\mu_{A*} \cdot W(x_j)$  درجه عضویت،  $V_{A*} \cdot W(x_j)$  درجه عدم عضویت و  $\pi_{A*} \cdot W(x_j)$  شاخص عدم قطعیت، مربوط به بازده ایده‌آل مثبت هستند و  $\mu_{A-} \cdot W(x_j)$  درجه عضویت،  $V_{A-} \cdot W(x_j)$  درجه عدم عضویت و  $\pi_{A-} \cdot W(x_j)$  شاخص عدم قطعیت، مربوط به بازده ایده‌آل منفی را نشان می‌دهند.

## ۲-۳-۲- تعیین ارزش زمین لغزش هر واحد

اطلاعاتی در هر لایه با استفاده از روش<sup>۳</sup> IVFS با توجه به توضیحات ارائه شده، ابتدا از تعداد ۱۶۲ زمین لغزه ثبت شده در محدوده مورد مطالعه، ۷۰ درصد آن به طور تصادفی به عنوان نقاط آموزشی انتخاب شدند و باقی‌مانده به عنوان نقاط آزمون مورد استفاده قرار می‌گیرند. به وسیله هم‌پوشانی این لایه نقطه‌ای

$$S_{i-}^{dl} = \frac{1}{\gamma} \sum_{j=1}^n [|\mu_{Ai} \cdot W(x_j) - \mu_{A-} \cdot W(x_j)| + |V_{Ai} \cdot W(x_j) - V_{A-} \cdot W(x_j)|]$$

۲. محاسبه فاصله مطابق روش Kacprzyk and

Ting-Yu Chen et al. (Szmidt, 2008) فاصله همینگ نرمال شده (Ting-Yu Chen et al., 2008):

$$S_{i*}^{dl} = \frac{1}{\gamma} \sum_{j=1}^n [|\mu_{Ai} \cdot W(x_j) - \mu_{A*} \cdot W(x_j)| + |V_{Ai} \cdot W(x_j) - V_{A*} \cdot W(x_j)| + |\pi_{Ai} \cdot W(x_j) - \pi_{A*} \cdot W(x_j)|]$$

$$S_{i-}^{dl} = \frac{1}{\gamma} \sum_{j=1}^n [|\mu_{Ai} \cdot W(x_j) - \mu_{A-} \cdot W(x_j)| + |V_{Ai} \cdot W(x_j) - V_{A-} \cdot W(x_j)| + |\pi_{Ai} \cdot W(x_j) - \pi_{A-} \cdot W(x_j)|]$$

۳. محاسبه فاصله مطابق روش Szmidt and

Kacprzyk, فاصله همینگ نرمال شده (Ting-Yu Chen, et al., 2008):

$$S_{i*}^{dl} = \frac{1}{\gamma n} \sum_{j=1}^n [|\mu_{Ai} \cdot W(x_j) - \mu_{A*} \cdot W(x_j)| + |V_{Ai} \cdot W(x_j) - V_{A*} \cdot W(x_j)| + |\pi_{Ai} \cdot W(x_j) - \pi_{A*} \cdot W(x_j)|]$$

$$S_{i-}^{dl} = \frac{1}{\gamma n} \sum_{j=1}^n [|\mu_{Ai} \cdot W(x_j) - \mu_{A-} \cdot W(x_j)| + |V_{Ai} \cdot W(x_j) - V_{A-} \cdot W(x_j)| + |\pi_{Ai} \cdot W(x_j) - \pi_{A-} \cdot W(x_j)|]$$

۴. محاسبه فاصله مطابق روش Szmidt and

Ting-Yu Chen, et al., (Kacprzyk, 2008) فاصله اقلیدسی (Ting-Yu Chen, et al., 2008)

1. Degree of membership
2. Degree of nonmembership
3. Interval-value Fuzzy sets

(نقاط آموزشی) و لایه‌های اطلاعاتی رستری (شیب،

جهت شیب، کاربری اراضی، فیزیک خاک، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه)، تعداد نقاط زمین‌لغزش در کلاس‌های مختلف این لایه‌ها مشخص گردید.

حال با توجه به تعداد نقاط قرار گرفته در کلاس‌های مختلف، این لایه‌ها به ۵ کلاس تقسیم می‌شود که هر کلاس در هر لایه با یک بازه

متناظر می‌گردد. از نظر قوانین  $[\mu_{A_i}^-(x_j), \mu_{A_i}^+(x_j)]$

فازی، هر کدام از مؤلفه‌های این بازه بین صفر و یک است و همچنین  $\mu_{A_i}^+(x_j) > \mu_{A_i}^-(x_j)$  و نیز هر چه

تعداد نقاط زمین‌لغزش در یک کلاس بیشتر باشد، بازه متناظر با آن به عدد یک نزدیک‌تر خواهد بود و برعکس. با استفاده از بازه فوق، بازه سه مؤلفه‌ای

$[\mu_{A_i}^-(x_j), \nu_{A_i}(x_j), \pi_{A_i}(x_j)]$  به دست می‌آید - هر

سه مورد مربوط به i امین گزینه و j امین ویژگی هستند، گزینه‌ها در این تحقیق کلاس‌های اطلاعاتی و ویژگی‌های همان لایه‌های اطلاعاتی هستند. محاسبه این بازه سه مؤلفه‌ای با استفاده از بازه دومؤلفه‌ای مذکور

طبق روابط (۴، ۳ و ۵) است:

$$\mu_{A_i}(x_j) = \mu_{A_i}^-(x_j) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\nu_{A_i}(x_j) = 1 - \mu_{A_i}^+(x_j) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\pi_{A_i}(x_j) = 1 - [\nu_{A_i}(x_j) + \mu_{A_i}(x_j)] \quad \text{رابطه (۵)}$$

نتیجه این مرحله در جدول ۱ آمده است.

### ۲-۳-۳- وزن دهی به لایه‌های اطلاعاتی

به منظور وزن دهی به معیارهای انتخاب شده، به شرایط محلی و قضاوت کارشناسی (همانند ملکی و قربانپور، ۱۳۸۷) تکیه شده است. در این مرحله به هر یک از لایه‌ها با توجه به میزان تأثیر آنها در وقوع زمین‌لغزش یک بازه نسبت داده می‌شود، به طوری که هر چه این بازه به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد وزن معیار متناظر آن بیشتر است و هر چه به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، وزن معیار متناظر آن کمتر خواهد بود (جدول ۲). سپس این بازه، در بازه‌ای که در مرحله قبل به هر کلاس نسبت داده شده است (جدول ۱)، ضرب می‌شود.

جدول ۱. نتیجه حاصل از محاسبه بازه سه عضوی از بازه دو عضوی

معیار	کلاس	محدوده کلاس	$\mu_{A_i}^-(x_j)$	$\mu_{A_i}^+(x_j)$	$\nu_{A_i}(x_j)$	$\pi_{A_i}(x_j)$
شیب (درصد)	۱	(۱۰-۲۰)	۰/۹	۰/۸	۰/۱	۰/۸
	۲	(۲۰-۳۰)	۰/۸	۰/۶	۰/۲	۰/۶
	۳	(۵-۱۰)	۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۳
	۴	(۳-۵) ، (۳۰-۴۰)	۰/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۱
	۵	(۰-۳) ، >۴۰	۰/۱	۰/۲	۰/۰۸	۰/۰۲
قابلیت خاک (کلاس)	۱	(۱.۵)	۰/۹۹	۰/۹	۰/۰۹	۰/۰۱
	۲	(۱.۲-۱.۱)	۰/۷	۰/۵	۰/۲	۰/۵
	۳	(۵.۱)	۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۳
	۴	(۲.۲-۲.۵)	۰/۴	۰/۲	۰/۲	۰/۲
	۵	سایر کلاس‌ها	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۵

جدول ۱. نتیجه حاصل از محاسبه بازه سه عضوی از بازه دو عضوی (ادامه)

$\mu_{A_i}^-(x_j)$	$\mu_{A_i}^*(x_j)$	$\mu_{A_i}(x_j)$	$v_{A_i}(x_j)$	$\pi_{A_i}(x_j)$	محدوده کلاس	کلاس	معیار
۰/۹	۰/۷	۰/۲	۰/۱	۰/۷	(۰-۵۰۰)	۱	فاصله از گسل (کیلومتر)
۰/۸	۰/۶	۰/۲	۰/۲	۰/۶	(۵۰۰-۱۰۰۰)	۲	
۰/۷	۰/۵	۰/۲	۰/۳	۰/۵	(۱۰۰۰-۱۵۰۰)	۳	
۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۵	۰/۳	(۱۵۰۰-۲۰۰۰)	۴	
۰/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۷	۰/۱	> ۲۰۰۰	۵	
۰/۹۹	۰/۹	۰/۰۹	۰/۱	۰/۹	کشاورزی دیم	۱	کاربری اراضی (کلاس)
۰/۷	۰/۵	۰/۲	۰/۳	۰/۵	مرتع متوسط	۲	
۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۵	۰/۳	جنگل ضعیف	۳	
۰/۴	۰/۲	۰/۲	۰/۶	۰/۲	جنگل ضعیف	۴	
۰/۲	۰/۰۲	۰/۱۸	۰/۸	۰/۰۲	سایر کلاس‌ها	۵	
۰/۹	۰/۸	۰/۱	۰/۱	۰/۸	(۰-۵۰۰)	۱	فاصله از رودخانه (کیلومتر)
۰/۸۵	۰/۷	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۷	(۵۰۰-۱۰۰۰)	۲	
۰/۷	۰/۵	۰/۲	۰/۳	۰/۵	(۱۰۰۰-۱۵۰۰)	۳	
۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۵	۰/۳	(۱۵۰۰-۲۰۰۰)	۴	
۰/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۷	۰/۱	> ۲۰۰۰	۵	
۰/۹۹	۰/۹	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۹	SW	۱	جهت شیب (جهت)
۰/۹	۰/۷	۰/۲	۰/۱	۰/۷	S	۲	
۰/۷	۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۴	W, NE	۳	
۰/۴	۰/۲	۰/۲	۰/۶	۰/۲	SE, E	۴	
۰/۳	۰/۰۲	۰/۲۸	۰/۷	۰/۰۲	N, NW	۵	

جدول ۲. وزن معیارهای مورد استفاده

$\mu_{A_i}^-(x_j)$	$\mu_{A_i}^*(x_j)$	$\mu_{A_i}(x_j)$	$v_{A_i}(x_j)$	$\pi_{A_i}(x_j)$	معیارها
۰/۹	۰/۹۹	۰/۹	۰/۰۱	۰/۰۹	شیب
۰/۷	۰/۸	۰/۷	۰/۲	۰/۱	قابلیت خاک
۰/۶	۰/۷۵	۰/۶	۰/۲۵	۰/۱۵	فاصله از گسل
۰/۵۵	۰/۶۵	۰/۵۵	۰/۳۵	۰/۱	کاربری اراضی
۰/۴	۰/۵۵	۰/۴	۰/۴۵	۰/۱۵	فاصله از رودخانه
۰/۳	۰/۵	۰/۳	۰/۵	۰/۲	جهت شیب



۲-۳-۴- تعیین نقاط ایده‌آل مثبت و منفی

در این مرحله با استفاده از روش IVFS در هر لایه، نقاط ایده‌آل (بازه‌های ایده‌آل مثبت و منفی) تعیین می‌گردند، به این صورت که برای تعیین ایده‌آل مثبت از اعداد مربوط به درجه عضویت بزرگ‌ترین عدد از میان ۵ کلاس مربوط به یک لایه انتخاب می‌شود و از اعداد مربوط به درجه عدم عضویت، کمترین عدد، و برای تعیین شاخص عدم قطعیت، عدد یک از مجموع دو عدد به دست آمده کسر می‌گردد. برای تعیین ایده‌آل منفی نیز به همین طریق عمل می‌شود، با این تفاوت که در این مورد از اعداد مربوط به درجه عضویت کمترین عدد از میان پنج کلاس مربوط به یک لایه و از اعداد مربوط به درجه عدم عضویت بزرگ‌ترین عدد انتخاب می‌شود. جدول ۳ نتیجه این مرحله را نشان

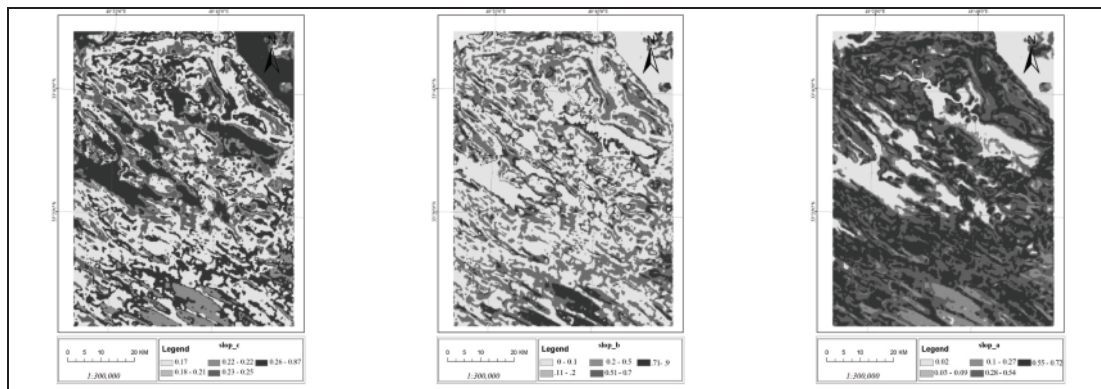
می‌دهد. در این جدول  $A^*$  نشان‌دهنده ایده‌آل مثبت و  $A^-$  نشانگر ایده‌آل منفی است.

۲-۳-۵- محاسبه فاصله تفرق  $(S_i^*, S_i^-)$

در این مرحله در محیط نرم‌افزار Arc GIS، هر کدام از لایه‌های رستری شیب، کاربری اراضی، قابلیت خاک، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، جهت شیب براساس اعداد مربوط به درجه عضویت، درجه عدم عضویت و شاخص عدم قطعیت به سه لایه رستری مجزا تبدیل می‌شوند، که هر کدام از این لایه‌های رستری دارای ۵ کلاس هستند. برای نمونه شکل ۲ سه لایه اطلاعاتی مربوط به شیب را نشان می‌دهد که نقشه‌های مربوط به درجه عضویت، درجه عدم عضویت و شاخص عدم قطعیت هستند.

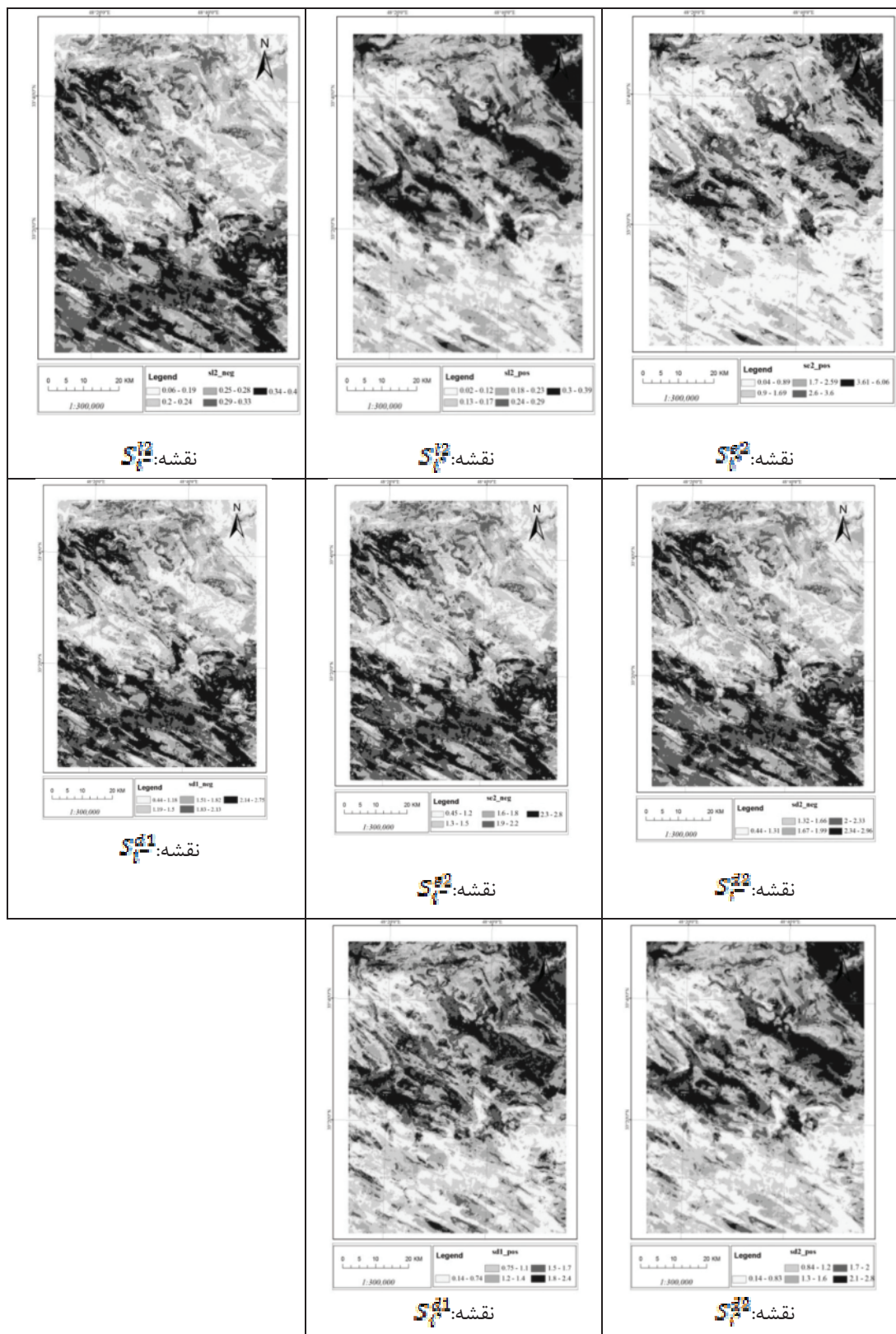
جدول ۳. تعیین نقاط ایده‌آل مثبت و منفی

معیارها	نقاط ایده‌آل	$\pi_{A_i}(x_j)$	$v_{A_i}(x_j)$	$\mu_{A_i}(x_j)$
شیب	$A^*$	۰/۱۷۱	۰/۱۰۹	۰/۷۲
	$A^-$	۰/۲۷۹	۰/۷۰۳	۰/۰۱۸
قابلیت خاک	$A^*$	۰/۱۶۲	۰/۲۰۸	۰/۶۳
	$A^-$	۰/۲۸۵	۰/۱۶۸	۰/۰۳۵
فاصله از گسل	$A^*$	۰/۲۵۵	۰/۳۲۵	۰/۴۲
	$A^-$	۰/۳۱۵	۰/۱۶۲۵	۰/۰۶
کاربری اراضی	$A^*$	۰/۱۴۸	۰/۳۵۶	۰/۴۹۵
	$A^-$	۰/۲۴۹	۰/۷۴	۰/۰۱۱
فاصله از رودخانه	$A^*$	۰/۱۷۵	۰/۵۰۵	۰/۳۲
	$A^-$	۰/۲۳۵	۰/۷۲۵	۰/۰۴
جهت شیب	$A^*$	۰/۲۲۵	۰/۵۰۵	۰/۲۷
	$A^-$	۰/۱۹۴	۰/۱۸	۰/۰۰۶



شکل ۲. لایه‌های عضویت، عدم عضویت و عدم قطعیت مربوط به شیب





شکل ۳. نتیجه محاسبه فاصله تفرق

در محدوده ارزشی بین صفر و یک هستند - هر چه  $C_i^*$  به یک نزدیک تر باشد پتانسیل زمین لغزه خیزی آن کمتر است و برعکس. برای کلاسه بندی<sup>۱</sup> نقشه های مذکور، از روش Natural Breaks استفاده شده است و نقشه های نهایی هر کدام به ۵ کلاس - که معرف میزان پتانسیل زمین لغزه هستند - کلاسه بندی شدند (جدول ۴).

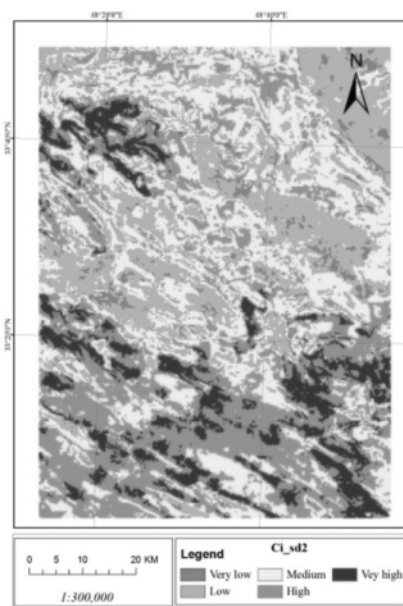
رابطه (۶)

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}$$

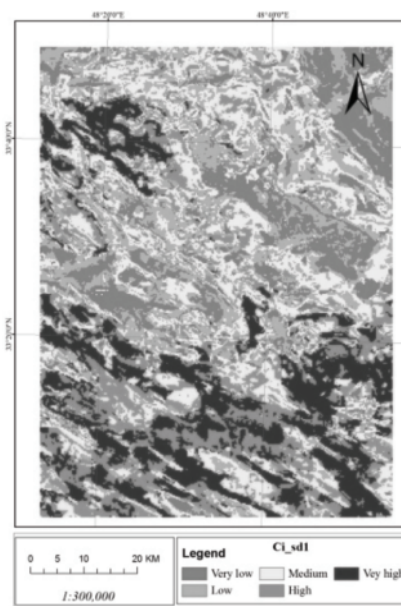
سپس این لایه ها، با استفاده از چهار روش مربوط به محاسبه فاصله، در نرم افزار Arc GIS با یکدیگر ترکیب می شوند. نتیجه این مرحله برای هر یک از چهار روش گفته شده، دو نقشه است؛ یکی برای فاصله تفرق مثبت ( $S_i^*$ ) و دیگری برای فاصله تفرق منفی ( $S_i^-$ ). در مجموع هشت نقشه نتیجه این مرحله است، که در شکل ۳ نشان داده شده اند.

### ۲-۳-۶- محاسبه شاخص نزدیکی نسبی

در این مرحله که مرحله نهایی نیز به شمار می آید، شاخص های فاصله تفرق مثبت و منفی ( $S_i^*$ ,  $S_i^-$ ) با استفاده از رابطه (۶) با یکدیگر ترکیب شده اند. بدیهی است در نقشه های نهایی - که همان خروجی رابطه (۶)



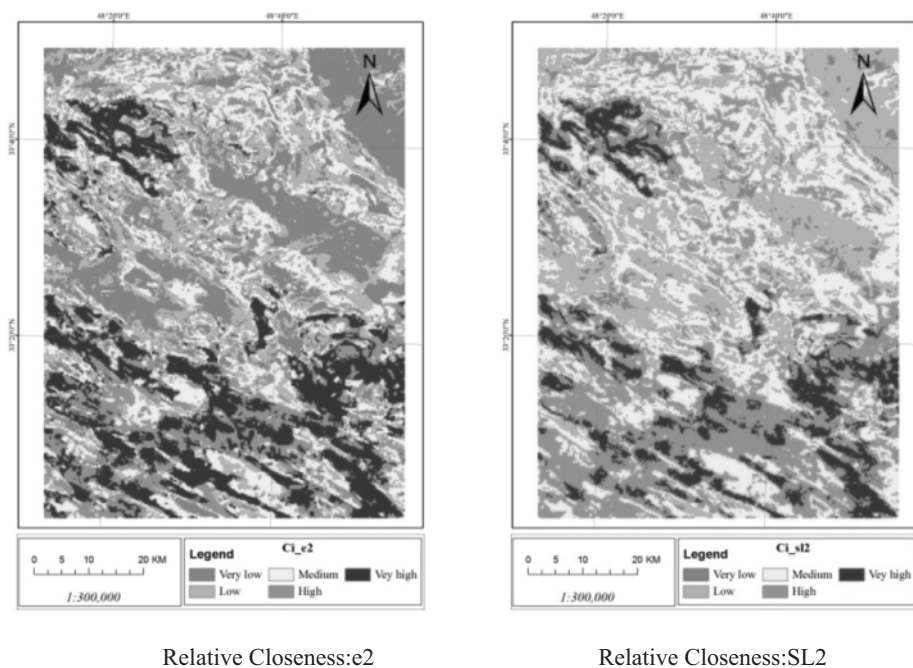
Relative Closeness:Sd2



Relative Closeness:Sd1

شکل ۴. نتیجه محاسبه شاخص نزدیکی به روش  $Sd1$  و  $Sd2$ <sup>۱</sup>

#### 1. Reclassify

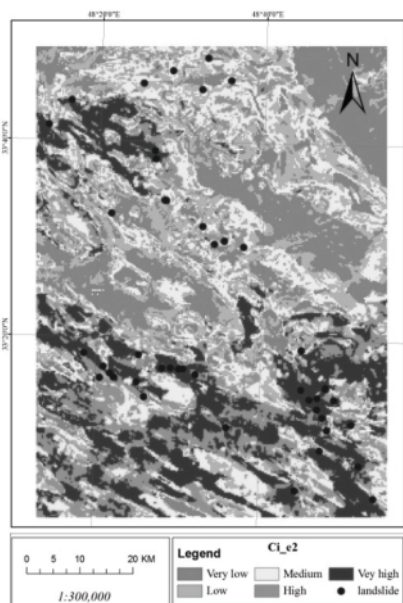


شکل ۵. نتیجه محاسبه شاخص نزدیکی به روش e2 و SL2

محاسبه فاصله تفرق برای آنها متفاوت است، یعنی محاسبه فاصله تفرق در روش e2 براساس فاصله اقلیدسی، و در روش SL2 براساس فاصله همینگ نرمال شده است.

### ۳- بحث و نتایج

در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش فرض بر این است که رابطه مستقیمی بین تراکم نقاط زمین‌لغزش با میزان خطر وجود دارد و در نتیجه تعداد زمین‌لغزش مشاهده شده در نواحی با خطر بالا باید بیشتر باشد. به همین دلیل به منظور بررسی ارتباط نقاط ثبت‌شده زمین‌لغزش با پهنه‌های خطر حاصل از چهار روش مورد استفاده، نقاط ثبت‌شده زمین‌لغزه که برای اعتباربخشی به مدل در نظر گرفته شده بودند و ۳۰ درصد نقاط زمین‌لغزه رخ داده در محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گرفتند، با نقشه‌های نهایی هم‌پوشانی شد (شکل ۶) و تعداد نقاط زمین‌لغزه واقع شده در هر کلاس مشخص گردید (جدول ۴).



شکل ۶. نتیجه هم‌پوشانی نقاط آزمون با نقشه نهایی پهنه‌بندی زمین‌لغزش

نتایج جدول حاکی از آن است، که در هر دو روش e2 و SL2 بیشترین نقاط زمین‌لغزه ثبت‌شده در کلاس‌هایی واقع شده‌اند که طبق نقشه‌های خروجی دارای بیشترین پتانسیل زمین‌لغزش هستند. شباهت نتایج این دو روش در شرایطی است که، روش‌های

روش‌های مذکور حاکی از آن است که در صورت استفاده همزمان، از هر سه شاخص عضویت، عدم عضویت و عدم قطعیت، استفاده از فاصله اقلیدسی برای محاسبه فاصله تفرق نسبت به فاصله همینگ ارجح است. البته با وجود تفاوت نسبی بین نتایج حاصل از این روش‌ها، هر چهار روش به کار گرفته شده، مورد قبول‌اند و این روش‌ها کارایی کافی را برای مدل کردن مناطق مستعد زمین‌لغزش دارند.

با وجود اینکه محاسبه فاصله در روش‌های sd1 و sd2، هر دو براساس فاصله همینگ بوده است، اما نتایج به دست آمده تا حدودی با هم اختلاف دارند. استفاده از شاخص عدم قطعیت در sd2 نه تنها باعث بهبود نتایج مدل نشده است، بلکه ضعف نسبی نتیجه مدل را نیز به همراه داشته است. روش‌های sd1 و sd2 نتایج کاملاً مشابهی داشته‌اند، یعنی استفاده از فاصله همینگ نرمال شده به جای فاصله همینگ، تغییری در نتیجه مدل به همراه نداشته است. مقایسه نتایج حاصل از

جدول ۴. تعداد نقاط زمین‌لغزه واقع شده در پهنه‌های متفاوت مستعد زمین‌لغزه

مدل	میزان خطر زمین‌لغزه خیزی	کلاس‌های زمین‌لغزش	تعداد نقاط زمین‌لغزش ثبت شده
e2	(۰/۰۶۹-۰/۳۱۴)	ریسک خیلی کم	۱
	(۰/۳۱۵-۰/۴۶۹)	ریسک کم	۵
	(۰/۴۷-۰/۶۲۷)	ریسک متوسط	۹
	(۰/۶۲۸-۰/۷۸۲)	ریسک زیاد	۱۴
	(۰/۷۸۳-۰/۹۸۷)	ریسک خیلی زیاد	۲۰
Sd1	(۰/۱۵۳-۰/۴۰۷)	ریسک خیلی کم	۱
	(۰/۴۰۸-۰/۵۲)	ریسک کم	۴
	(۰/۵۲۱-۰/۶۳)	ریسک متوسط	۱۰
	(۰/۶۳۱-۰/۷۴)	ریسک زیاد	۱۴
	(۰/۷۴۱-۰/۹۵۳)	ریسک خیلی زیاد	۲۰
Sd2	(۰/۱۴۳-۰/۴۱۱)	ریسک خیلی کم	۰
	(۰/۴۱۲-۰/۵۲۳)	ریسک کم	۳
	(۰/۵۲۴-۰/۶۳۱)	ریسک متوسط	۱۳
	(۰/۶۳۲-۰/۷۴۳)	ریسک زیاد	۱۸
	(۰/۷۴۴-۰/۹۵۶)	ریسک خیلی زیاد	۱۵
SI2	(۰/۱۴۳-۰/۴۱۱)	ریسک خیلی کم	۰
	(۰/۴۱۲-۰/۵۲۳)	ریسک کم	۳
	(۰/۵۲۴-۰/۶۳۱)	ریسک متوسط	۱۳
	(۰/۶۳۲-۰/۷۴۳)	ریسک زیاد	۱۹
	(۰/۷۴۴-۰/۹۵۶)	ریسک خیلی زیاد	۱۴



Kanungo D.P., Arora M.K., Sarkar S., Gupta R.P., 2006, **A Comparative Study of Conventional, ANN Black Box, Fuzzy and Combined Neural and Fuzzy Eighting Procedures for Landslide Susceptibility Zonation in Darjeeling Himalayas**, Engineering Geology, 85: 347– 366.

Komac, M., **A Landslide Susceptibility Model using the Analytical Hierarchy Process Method and Multivariate Statistics in Perialpine Slovenia**, Geomorphology, 74 : 17–28.

Koorehpazan Dezfuli, A., 2005, **Principles of FUZZY SET THEORY and its Applications in the Modeling of Water Engineering Problems**, Jihad Daneshgahi publishing company.

LEE E. M., Jones D. K. C., 2004, **Lanslide Risk Assessment**, Thomas Telford.

Luzi L., Pergalani F., Terlien M.T.J., 2006, **Slope Vulnerability to Earthquakes at Subregional Scale**, Using Probabilistic Techniques and Geographic Information Systems, Engineering Geology, 58: 313– 336.

Mahmoodzadeh, S., Shahrabi, J. Pariazar, M. and Zaeri, M.S. 2007, **Project Selection by Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique**, International Journal of Human and Social Sciences 1;3 © www.waset.org Summer 2007.

Malczewki, J., 1999, **GIS and Multi Criteria Decision Analysis**, John Wiley & Sons Inc.

#### ۴- نتیجه‌گیری

الگوریتم Fuzzy TOPSIS که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، کارایی لازم را در مشخص ساختن پهنه‌های مستعد زمین‌لغزش دارد. یکی از قابلیت‌های مهم استفاده از این الگوریتم، انعطاف‌پذیری این مدل است، به طوری که به راحتی می‌توان با تغییر دادن روش‌های مربوط به محاسبه فاصله تفرق (فاصله همینگ، فاصله همینگ نرمال‌شده، فاصله اقلیدسی و فاصله اقلیدسی نرمال‌شده) و همچنین استفاده یا عدم استفاده از شاخص عدم قطعیت، به نتایج متفاوتی دست یافت و با مقایسه آنها روش یا روش‌های بهینه را انتخاب کرد.

#### ۵- منابع

Champati Ray P.K., 1996, **Landslide Hazard Zonation using Fuzzy Logic and Probability Analysis in parts of Western Himalaya**, ITC.

Ermini, L., Catani F., Casagli N., 2005, **Artificial Neural Networks Applied to Landslide Susceptibility Assessment**, Geomorphology, 66: 227– 343.

Fall M., Azzam R., Noubactep C., 2006, **A Multi-method Approach to Study the Stability of Natural Slopes and Landslide Susceptibility Mapping**, Engineering Geology, 82: 241– 263.

Guinau, M., Palla's R., Manuel Vilaplana J., 2005, **A Feasible Methodology for Landslide Susceptibility Assessment in Developing Countries: A Case-study of NW Nicaragua after Hurricane Mitch**, Engineering Geology, 80: 316-327.

- Neuhäuser B., Terhorst B., 2007, **Landslide Susceptibility Assessment using “Weights-of-Evidence” Applied to a Study Area at the Jurassic Escarpment (SW-Germany)**, *Geomorphology*, 86:12-24.
- SaroLee and M. Kyungduck, 2001, **Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yonging**, Korea, *Environmental Geology*, 40: 1095 –1113.
- Shirani, K., Chavoshi, S. & Giumian, J., 2006, **Evaluation of Landslide Zonation Suitability Algorithms in SAMIROM**, *Esfahan University Journal*, 1: 23- 26.
- Silavi, T., 2006, **Quake Vulnerability Assessment in TEHRAN using Intuitionist Fuzzy**, M.Sc. Dissertation, University of Tehran.
- Ting-Yu Chen, Chueh-Yung Tsao, 2008, **The Interval-valued Fuzzy TOPSIS Method and Experimental analysis**, *Fuzzy Sets and Systems* 159: 1410 – 1428.
- Wu. CH, Chen. SC, **Determining Landslide Susceptibility in Central Taiwan from Rainfall and Six Site Factors using the Analytical Hierarchy Process Method**, *Geomorphology*, 112: 190–204.
- Yalcin, A., 2008, **GIS-based Landslide Susceptibility Mapping using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of Results and Confirmations**, *Catena*, 72: 1-12.
- Yamani, M., Mohammadi, A. & Negahban, S., 2100, **Landslide Zonation Suitability in Tonkabon Basin Using Quantitative Models**, *Geography and Development*, 19: 98- 83.