

## پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه‌ی موردی: تاقدیس نسا ر زاگرس شمال غربی)

ابراهیم مقیمی\* - استاد دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران

سجاد باقری سید شکر - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران

طاهر صفر راد - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۸/۰۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۲/۱۱

### چکیده

زاگرس شمال غربی به دلیل شرایط جغرافیایی و زمین‌شناسی، از جمله مناطق مستعد برای رخداد زمین‌لغزش در ایران است. با توجه به تراکم بالای جمعیت و پتانسیل بالای محیط طبیعی در این نواحی، پهنه‌بندی رخداد خطر زمین‌لغزش با هدف مدیریت خطر این نواحی، از اهمیت بسزایی برخوردار است. هدف از این پژوهش، ارزیابی مدل آنتروپی در پهنه‌بندی رخداد زمین‌لغزش، تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و شناخت میزان تأثیر هر یک از عوامل پنج‌گانه در وقوع زمین‌لغزش در تاقدیس نسا ر است که در نهایت منجر به ارائه‌ی راهکارهایی برای مدیریت بهینه‌ی منطقه از نظر وقوع زمین‌لغزش می‌شود. در این پژوهش از روش‌های میدانی، کتابخانه‌ای و مدل آنتروپی استفاده شده است. نخست مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش (لیتولوژی، فاصله از گسل، ارتفاع، شیب و جهت شیب) مشخص و سپس ماتریس آنتروپی برای این عوامل محاسبه و در محیط GIS، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که مدل آنتروپی کارایی مطلوبی در برآورد میزان خطر رخداد زمین‌لغزش دارد و ارتفاع، شیب، فاصله از گسل، جهت شیب و لیتولوژی، به ترتیب بیشترین نقش را در رخداد زمین‌لغزش دارند. منطقه‌ی مورد مطالعه جزء نواحی پرخطر رخداد زمین‌لغزش به‌شمار می‌رود و ۹۸ درصد از مساحت آن، جزء نواحی‌ای با میزان خطر زیاد و متوسط است. راهکارهای مدیریتی برای مقابله‌ی علمی با این مخاطره در منطقه‌ی مورد مطالعه را می‌توان به دو دسته بخش‌بندی کرد: الف) تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه و جلوگیری از فعالیت‌های عمرانی در فواصل کمتر از ۲ کیلومتری حاشیه‌ی تاقدیس و جابه‌جایی تأسیساتی که در فاصله‌ی ۱ کیلومتری تاقدیس قرار گرفته‌اند؛ ب) جلوگیری از عملیات خاک‌برداری، زیربُری و انجام عملیات آبخیزداری در دامنه‌های تاقدیس، به‌عنوان عوامل تسریع‌کننده رخداد زمین‌لغزش.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی، تاقدیس نسا ر، زمین‌لغزش، مدل آنتروپی، مدیریت.

## مقدمه

آن‌تروپی رفتار توزیع انرژی است (لونا و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۶۳: ۱). آن‌تروپی افزون‌بر تعیین کمیّت انرژی، کیفیت انرژی را نیز اندازه‌گیری می‌کند و این کیفیت، اندازه‌گیری بی‌نظمی در یک سیستم است (منزلی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸: ۱۴۵). در واقع آن‌تروپی، یک معیار سنجش از بی‌نظمی در یک سیستم است (باس<sup>۳</sup>، ۲۰۰۷: ۳۲۷). شاخص آن‌تروپی میزان بی‌نظمی را در محیط نشان می‌دهد (بدنریک و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰: ۱۶۷). به‌طور خلاصه، آن‌تروپی به‌معنای کمیّتی از بی‌نظمی بین علل و نتایج یا تصمیم‌گیری‌ها در موضوع‌های مختلف مورد بحث است (وان<sup>۵</sup>، ۲۰۰۹: ۲۳۸). یکی از وظایف مهم دانش ژئومورفولوژی کاربردی، بررسی موقعیت و ارزش محیط‌های انسانی خطرپذیر و آسیب‌پذیر در برابر انواع مخاطرات ژئومورفیک است (روسنفلد<sup>۶</sup>، ۲۰۰۴: ۴۲۳). مخاطرات ژئومورفولوژیکی نیز به احتمال ناپایداری پدیده‌های خاص ژئومورفولوژیکی گفته می‌شود که ممکن است در قلمرو معینی با بزرگی و دوره‌های زمانی مشخص رخ دهد (پانیزا<sup>۷</sup>، ۲۰۰۴: ۳۱۸). در این مفهوم خطر طبیعی، به‌عنوان عناصر زیان‌آور موجود در محیط فیزیکی برای انسان است (آیالا<sup>۸</sup>، ۲۰۰۲: ۱۰۸). زمین‌لغزش، به‌عنوان یکی از مخاطرات عمده‌ی طبیعی، هر ساله موجب خسارات بسیاری به‌شکل هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم در مناطق مختلف می‌شود. در واقع، زمین‌لغزش‌ها نقش زیادی در تخریب تأسیسات انسانی و گاهی مرگ‌ومیر انسانی، تخریب مراتع و جنگل‌ها، فرسایش و ایجاد رسوب در حوزه‌های آبخیز دارند. براساس گزارش کمیته‌ی ملی کاهش بلایای طبیعی وزارت کشور ایران، سهم خسارات ناشی از حرکت‌های توده‌ای در ایران ۵۰۰ میلیارد ریال در سال برآورد شده است (خسروزاده، ۱۳۸۷: ۱۲۳). شناسایی و بخش‌بندی نواحی مستعد لغزش و پهنه‌بندی خطر آن، گامی مهم در ارزیابی خطرات محیطی به‌شمار رفته و نقش انکارنکردنی در مدیریت حوضه‌های آبخیز ایفا می‌کند (ساکار<sup>۹</sup>، ۱۹۹۵: ۱۳۵). امروزه نیاز فزاینده‌ای برای مدیریت خطر زمین‌لغزش به‌صورت کمی و پهنه‌بندی آن وجود دارد (فل و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۸: ۸۵). هدف از پهنه‌بندی، تقسیم سطح زمین به نواحی همگن و درجه‌بندی آنها برحسب میزان واقعی یا پتانسیل خطر لغزش است (وارنز<sup>۱۱</sup>، ۱۹۸۴: ۲). تهیه‌ی نقشه‌ی وقوع خطر زمین‌لغزش، ابزاری اساسی برای فعالیت‌های مدیریت بحران در نواحی کوهستانی است (کومار دهال<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۸: ۴۹۶). مدیریت خطر زمین‌لغزش شامل شناسایی و اندازه‌گیری خطر لغزش مناطق مستعد یا تحت تأثیر لغزش است. زیان‌های اجتماعی و اقتصادی زمین‌لغزش را می‌توان با استفاده از برنامه‌ریزی و مدیریت مؤثر کاهش داد، این رویکردها عبارت‌اند از:

1. Luna et al.
2. Minasny et al.
3. Baas
4. Bednarik et al.
5. Wan
6. Rosenfeld
7. Panizza,
8. Ayala
9. Sakar et al.
10. Fell et al.
11. Varnes
12. Kumar Dahal

الف) محدودیت توسعه در مناطق مستعد زمین لغزش؛

ب) استفاده از حفّاری، درجه‌بندی، محوطه‌سازی و ساخت‌وساز کدبندی؛

ج) استفاده از اقدام‌های فیزیکی مانند زهکشی، اصلاح مورفومتری شیب، برای جلوگیری از لغزش یا کنترل آن؛

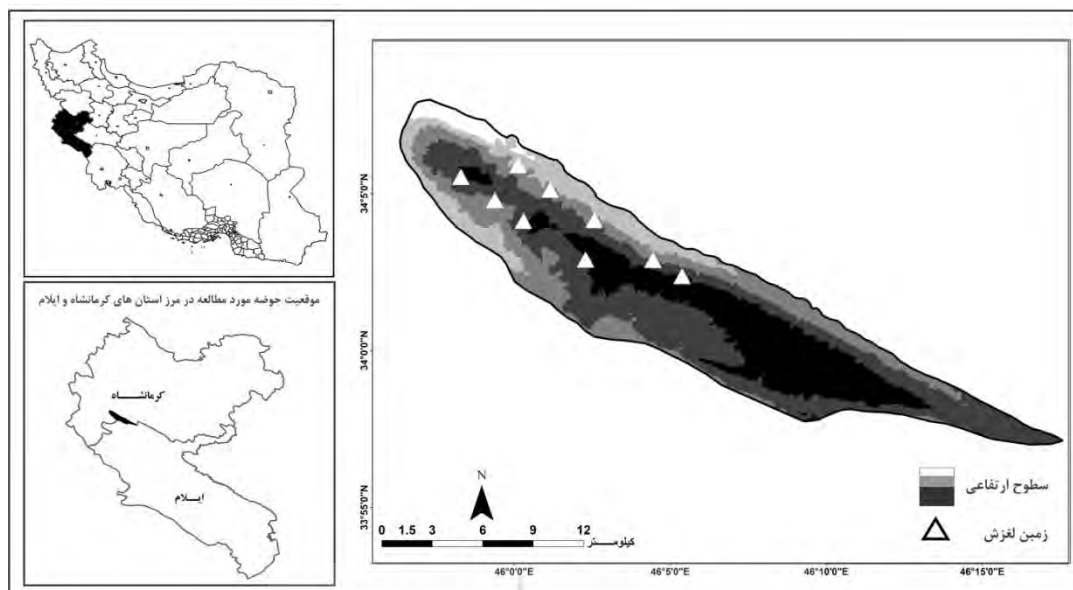
د) توسعه‌ی سیستم‌های هشداردهنده (کومارداها، ۲۰۰۸: ۶۶).

به دلیل تعدّد، تنوع، تکرار و شدت رخداد خطرات طبیعی و ناآرامی محیط، ایران در ردیف ۱۰ کشور بلاخیز جهان قرار گرفته است (محمدی و همکاران، ۲۰۰۴: ۱۳). با توجه به وقوع زمین لغزش‌های مخرب در منطقه و قرار گرفتن روستاها و شهر گیلان غرب و تأسیساتی همچون جاده‌های ارتباطی، سد، کانال‌های آبرسانی، تأسیسات تصفیه‌خانه‌ی آب و تأسیسات کشاورزی در دامنه‌ی تاقدیس نسا، تهیّه‌ی نقشه‌ی خطر زمین لغزش منطقه برای مدیریت بهتر این منطقه، ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این مطالعه ارزیابی مدل آنتروپی در پهنه‌بندی وقوع زمین لغزش‌های تاقدیس نسا، شناخت میزان تأثیر هریک از عوامل پنج‌گانه در رخداد زمین لغزش و تهیّه‌ی نقشه‌ی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی است که در نهایت به ارائه‌ی راهکارهای علمی برای مدیریت بهتر منطقه در مقابله با خطر زمین لغزش می‌انجامد. وان (۲۰۰۹) با استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری فضایی به استخراج عوامل اصلی زمین لغزش برای تهیّه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش در تایوان پرداخت و از مدل آنتروپی برای بخش‌بندی و برطرف کردن عدم قطعیت عوامل مختلف زمین لغزش استفاده کرد. نتایج نشان داد که این پژوهش رویکرد مهمی برای تهیّه‌ی نقشه‌ی خطرپذیری زمین لغزش است.

بندریک و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از توزیع دو متغیره‌ی آماری، به ارزیابی حساسیت زمین لغزش در منطقه‌ی کارل اونری<sup>۱</sup> در اسلوکی پرداختند و برای محاسبه‌ی وزن لایه‌های مورد بررسی از شاخص آنتروپی استفاده کرده و در نهایت نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر منطقه را ارائه کردند. زونگجی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی با استفاده از مدل آنتروپی به پهنه‌بندی منطقه‌ی زمین لغزش در گورجس گورجس چین پرداختند و نتایج آنها نشان داد که این مدل، کاربرد زیادی به‌عنوان یک روش جدید برای ارزیابی خطر زمین لغزش در مقیاس منطقه‌ای دارد.

### محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه

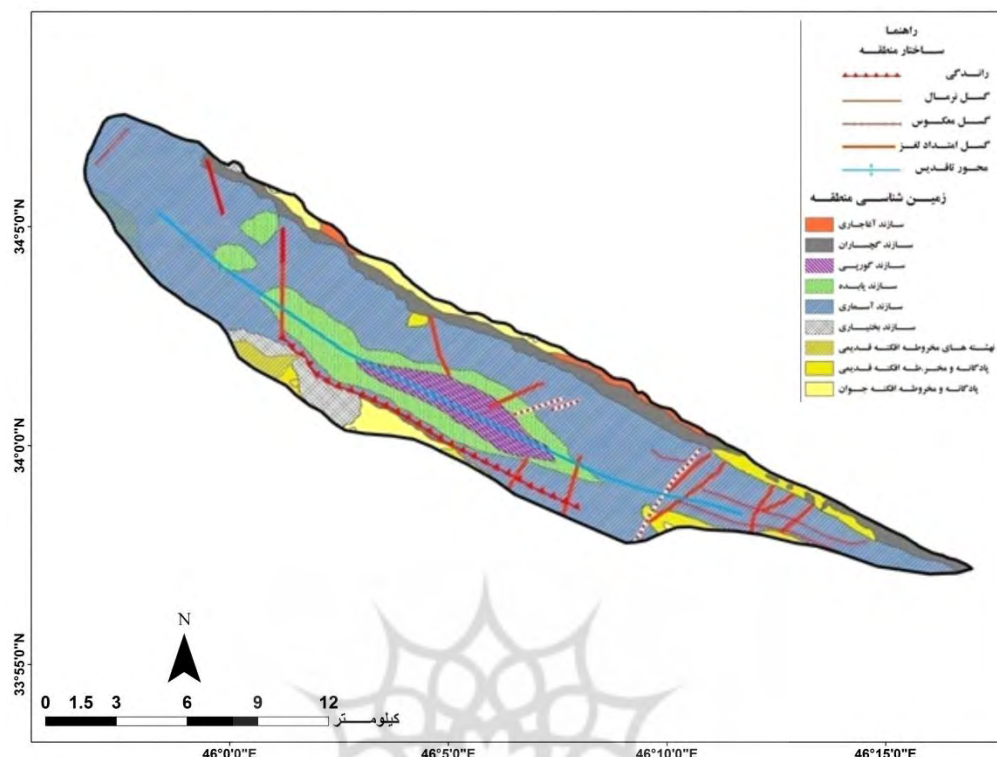
تاقدیس مورد مطالعه در زون زاگرس چین خورده (زاگرس شمال غربی) در غرب ایران، در جنوب استان کرمانشاه و شمال استان ایلام واقع شده است (شکل شماره‌ی ۱). حداکثر ارتفاع آن ۱۹۳۰ متر و وسعت آن برابر با ۱۸۰ کیلومتر مربع است که با روند شمال غربی - جنوب شرقی بین عرض‌های جغرافیایی ۵۲° ۳۳' تا ۱۳° ۳۴' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۶° تا ۳۰' شرقی واقع شده است.



شکل ۱. موقعیت تاقدیس مورد مطالعه در جنوب استان کرمانشاه

### زمین‌شناسی و تحلیل ساختاری منطقه

از نظر چینه‌شناسی در تاقدیس مورد مطالعه، رخنمون‌هایی از سنگ‌های کرتاسه بالایی تا پلیو - کواترنر دیده می‌شود که از قدیم به جدید عبارت‌اند از: گورپی، پابده، آسماری، گچساران، آغاچاری، بختیاری و نهشته‌های کواترنری شامل پادگانه‌ی جدید و قدیم و مخروط‌افکنه‌های قدیمی است (شکل شماره‌ی ۲). سازندهای گورپی ( $K_{gu}$ ) از شیل، شیل آهکی و بین لایه‌های آهک رسی، سازند پابده ( $P_{epd}$ ) از تناوب شیل، سنگ آهک رسی و مارن، و گچساران ( $M_{gs}$ ) از تناوب مارن، آهک رسی ماسه‌ای و بین لایه گچ تشکیل شده‌اند و در داخل کمب و هسته‌ی تاقدیس رخنمون یافته‌اند. سازند آسماری ( $OM_{as}$ ) از آهک و آهک دولومیتی تشکیل شده و بیشتر سطح تاقدیس از این سازند مقاوم پوشیده شده است. سازند آغاچاری ( $Mp_{aj}$ ) از تناوب مارن و ماسه‌سنگ، سازند بختیاری ( $Pl_{bk}$ ) از کنگلومرا با قلوه‌های کربناته، مخروط‌افکنه‌ها ( $Q^f$ ) و پادگانه‌های آبرفتی ( $Q^i$ ) در کوهپایه‌های تاقدیس نثار گسترش یافته‌اند. تاقدیس نثار از دید ویژگی‌های ساختمانی، یک تاقدیس برگشته‌ی نامتقارن است و پلانژ آن به سمت شمال غربی است. میرشکرای (۱۳۷۶: ۹۱) وضعیت ساختاری منطقه را با الگوی زون‌های برشی راستگرد توجیه می‌کند. تاقدیس نثار بر اثر سازوکار چین‌خوردگی حاصل از گسلش<sup>۱</sup> شکل گرفته است و گسل‌های آن دارای مؤلفه‌های راندگی، معکوس، امتدادلغز و عادی هستند (شکل شماره‌ی ۲). گسل‌های اصلی منطقه از نوع سیستم برشی بوده و امتداد شمال غربی - جنوب شرقی دارند (قصی اوپلی، ۱۳۷۶: ۱۱۷). بررسی‌های شواهد ژئومورفولوژیکی منطقه نشان‌دهنده‌ی سه فاز بالاآمدگی در کواترنر منطقه است که نمایانگر فعال بودن نتوتکتونیک منطقه، به صورت بالاآمدگی و فعالیت گسل‌ها است (باقری، ۱۳۸۷: ۲۰۲).



شکل ۲. نقشه‌ی زمین‌شناسی تاقدیس مورد مطالعه

## مواد و روش‌ها

این نوشتار نتیجه‌ی یک پژوهش توسعه‌ای - کاربردی است که در آن از روش‌های کتابخانه‌ای، بازدیدهای میدانی و مدل‌سازی استفاده شده است. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰,۰۰۰، نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ و تصاویر سنجنده‌ی IRS سال (۲۰۰۲) منطقه، به‌عنوان ابزار اصلی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند. از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و تهیه‌ی نقشه‌های مورد نیاز استفاده شده است. نخست با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS، زمین‌لغزش‌های منطقه‌ی مورد مطالعه شناسایی شدند (شکل شماره‌ی ۱). سپس به بازدیدهای میدانی برای کنترل لایه‌های اطلاعاتی با داده‌های سطح زمین و همچنین تهیه‌ی تصویر و عکس‌برداری از زمین‌لغزش‌ها اقدام شد. در ادامه با بررسی زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه، پنج عامل لیتولوژی، فاصله از گسل، شیب توپوگرافی، جهت شیب و ارتفاع، به‌عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش مشخص شدند. این پنج لایه‌ی اطلاعاتی به‌صورت رستر درآمده و میزان آنها کمی شده است. با توجه به ویژگی‌های برداشت‌شده از زمین‌لغزش‌های منطقه، براساس جدول شماره‌ی ۱ به هر لایه وزنی داده و بعد از طبقه‌بندی لایه‌ها ماتریس آنتروپی برای آنها تشکیل شد (جدول شماره‌ی ۲). ماتریس تصمیم‌گیری حاوی اطلاعاتی است که آنتروپی می‌تواند به‌عنوان معیاری برای ارزیابی آن به‌کار رود. با محاسبه‌ی ماتریس آنتروپی و وزن کل پنج عامل  $w_j$ ، میزان  $H_i$  به‌عنوان ضریب وقوع خطر زمین‌لغزش به‌دست آمد و به پهنه‌بندی منطقه از نظر رخداد زمین‌لغزش اقدام شد. در انتها با توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش و تحلیل ویژگی‌های منطقه، راهکارهایی برای مدیریت اصولی و علمی در منطقه ارائه شده است.

مدل آنتروپی به صورت رابطه‌ی شماره‌ی ۱ بیان می‌شود:

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m p_{i,j} \ln p_{i,j} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

که در این رابطه  $E_j$  ارزش آنتروپی و  $P_{ij}$  ماتریس تصمیم‌گیری است.

$$p_{i,j} = \frac{r_{i,j}}{\sum_{i=1}^m r_{i,j}} \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

$r_{ij}$  مقدار وزن هر یک از لایه‌ها است.

$$K = (\ln m)^{-1} \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

$K$  ضریب ثابت و  $m$  تعداد زمین لغزه‌ها را نشان می‌دهد.

پس از تشکیل ماتریس تصمیم و به دست آوردن مقدار  $E_j$ ، می‌بایست مقدار  $V_j$  را از رابطه‌ی شماره‌ی ۴ به دست آورد:

$$V_j = 1 - E_j \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

$V_j$  نمایانگر درجه‌ی انحراف عدم اطمینان است.

و سرانجام برای محاسبه‌ی وزن نهایی تمام عوامل ( $W_j$ ) موجود از رابطه‌ی شماره‌ی ۵ استفاده می‌کنیم:

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j} \quad \text{رابطه‌ی (۵)}$$

پس از محاسبه‌ی وزن کل ( $W_j$ )، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در تاقدیس نثار با استفاده از رابطه‌ی شماره‌ی ۶ ارزیابی می‌شود:

$$H_i = \sum_{j=1}^n w_j \times r_{i,j} \quad \text{رابطه‌ی (۶)}$$

که در این رابطه:

$H_i$ : ضریب رخداد خطر زمین‌لغزش؛

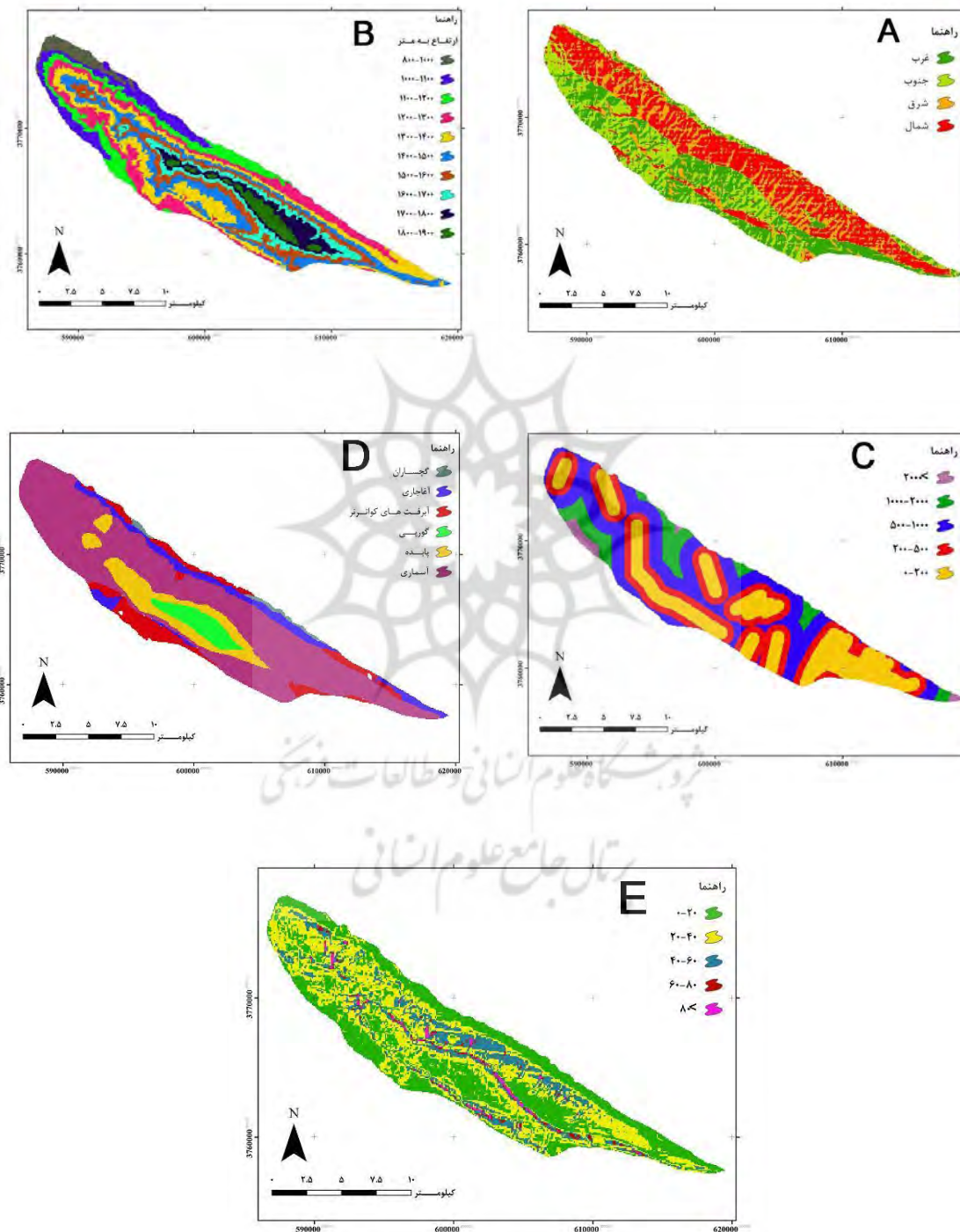
$W_j$ : وزن نهایی تمام عوامل؛

$r_{ij}$ : وزن هر یک از عوامل (زونگی و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۳۳۶).

### یافته‌های تحقیق

با توجه به برداشت‌های انجام گرفته طی بازدیدهای میدانی، بررسی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای از منطقه و شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، به هر یک از عوامل مورد مطالعه وزن کارشناسی اختصاص داده شد. جدول شماره‌ی ۱ روش و میزان امتیازدهی به عوامل پنج‌گانه را نشان می‌دهد. برای اجرای مدل، پنج لایه‌ی اطلاعاتی

به صورت رستر درآمده و طبقه‌بندی شدند (شکل شماره ۳)، سپس این لایه‌ها به‌عنوان داده‌ای اصلی برای تشکیل ماتریس آنتروپی مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۳. لایه‌های رستر شده‌ی پنج عامل مؤثر

A: جهت شیب، B: ارتفاع، C: فاصله از گسل، D: زمین شناسی، E: شیب

جدول ۱. امتیاز اختصاص یافته به هر یک از عوامل پنج‌گانه

امتیاز	فاصله از گسل	امتیاز	شیب	امتیاز	جهت شیب	امتیاز	طبقات ارتفاعی	امتیاز	واحد سنگ‌شناسی
۹	۰-۲۰۰	۳	۰-۲۰	۸	شمال	۱	۸۰۰-۱۰۰۰	۱	$Q^t$
۸	۲۰۰-۵۰۰	۵	۲۰-۴۰	۴	جنوب	۲	۱۰۰۰-۱۱۰۰	۱	$Q^f$
۷	۵۰۰-۱۰۰۰	۷	۴۰-۶۰	۶	شرق	۳	۱۱۰۰-۱۲۰۰	۵	$K2_{gu}$
۶	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۸	۶۰-۸۰	۵	غرب	۴	۱۲۰۰-۱۳۰۰	۷	$P_c E_{pd}$
۳	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۹	۸۰-۱۰۰			۶	۱۳۰۰-۱۴۰۰	۲	$M_{gs}$
۱	۳۰۰۰-۴۶۰۰					۶	۱۴۰۰-۱۵۰۰	۴	$Pl_{bk}$
						۷	۱۵۰۰-۱۶۰۰	۹	$OM_{as}$
						۸	۱۶۰۰-۱۷۰۰	۱	$Mpl_{aj}$
						۹	۱۷۰۰-۱۸۰۰		
						۷	۱۸۰۰-۱۹۳۰		

## بحث و یافته‌ها

## لایه‌های اطلاعاتی و انتخاب شاخص‌ها

در این مطالعه از داده‌های مربوط به ۹ زمین‌لغزش رخ داده در تاق‌دیس نسا استفاده شده است. در همین راستا پنج عامل تأثیرگذار مشترک در هر ۹ زمین‌لغزش منطقه، انتخاب و ماتریس آنتروپی برای آنها تشکیل شد (جدول شماره ۲).

جدول ۲. ماتریس آنتروپی برای عوامل پنج‌گانه

شماره‌ی زمین‌لغزش	فاصله از گسل (متر)	ارتفاع متوسط (متر)	شیب متوسط (درجه)	جهت شیب	سازند
۱	۰	۱۴۰۰	۴۰	شمال	آسماری
۲	۰	۱۵۰۰	۳۰	شرق	آسماری
۳	۱۵۰۰	۱۵۵۰	۴۵	شرق	آسماری
۴	۰	۱۶۵۰	۵۰	شمال	آسماری
۵	۵۰	۱۶۶۰	۵۴	شمال	آسماری
۶	۱۸۰۰	۱۵۳۰	۳۰	غرب	آسماری
۷	۱۴۰۰	۱۴۰۰	۳۵	غرب	آسماری
۸	۰	۱۷۲۰	۴۵	جنوب	آسماری
۹	۰	۱۷۵۰	۵۸	جنوب	آسماری

در این پژوهش از مقیاس دو قطبی برای تبدیل مقادیر کیفی به کمی بهره گرفته شده است. پس از تشکیل ماتریس آنتروپی ( $T_{i,j}$ ) و تبدیل شدن این معیارها به عدد صحیح، در گام‌های بعدی با محاسبه‌ی روابط و تبدیل مقادیر کیفی به کمی، محتوی اطلاعاتی موجود در ماتریس ابتدا به صورت ( $P_{i,j}$ ) به دست آمد و برای هر کدام از عوامل



لیتولوژی، شیب، فاصله از گسل، ارتفاع و جهت شیب، مقدار  $E_j$  به‌ترتیبی که در ادامه آمده محاسبه شده است.

$$E_j = [1, 983356, 0.984098, 0.973147, 0.992783] \quad \text{رابطه‌ی ۷}$$

$E$  از توزیع احتمال  $P_i$  بر اساس سازوکار آماری محاسبه شده است و مقدار آن در صورت تساوی  $P_i$  ها با یکدیگر (یعنی  $P_i = \frac{1}{n}$ ) بیشترین مقدار ممکن خواهد بود (اصغریور، ۱۳۸۷: ۱۹۶):

$$-K \sum_{i=1}^n P_i \cdot \ln P_i = -K \left\{ \frac{1}{n} \ln \frac{1}{n} + \frac{1}{n} \ln \frac{1}{n} + \dots + \frac{1}{n} \ln \frac{1}{n} \right\} \quad \text{رابطه‌ی ۸}$$

$$-K \left\{ \left( \ln \frac{1}{n} \right) \left( \frac{n}{n} \right) \right\} = -K \ln \frac{1}{n} \quad \text{رابطه‌ی ۹}$$

در این صورت  $E$  که مقدار آن تابع  $n$  است، به‌صورت تابع صعودی یکنواخت ظاهر می‌شود. پس برای هر  $n$  دلخواه در صورتی که همه‌ی  $P_i$  برابر باشند،  $E$  بیشینه‌ی مقدار می‌شود؛ به این معنا که همه‌ی برآمدهای متغیر تصادفی یکی هستند. با توجه به این موضوع که روش آنتروپی براساس پراکندگی مقادیر شاخص‌ها، اوزان مربوط به هر شاخص را محاسبه می‌کند، در صورتی که زمین‌لغزش‌های مشاهده‌شده تنها در یک نوع سازند رخ داده باشند (عدم پراکندگی در سازندهای دیگر)، درجه‌ی عدم اطمینان از اطلاعات ایجاد شده به‌ازای شاخص مزبور صفر خواهد شد. به این معنا که شاخص مورد مطالعه سبب پراکندگی زمین‌لغزش نمی‌شود، پس برای مطالعه‌ی زمین‌لغزش مناسب نبوده و می‌بایست عوامل پنهان دیگری که در این شاخص سبب زمین‌لغزش شده‌اند را در مقیاس ریزتر شناسایی کنیم (این مورد جزء اهداف این پژوهش نبوده و به آن پرداخته نشده است).

درجه عدم اطمینان از اطلاعات ایجاد شده به‌ازای هر کدام از شاخص‌ها به‌قرار زیر است:

$$V_{ij} = [0, 0.016644, 0.015902, 0.026853, 0.007217] \quad \text{رابطه‌ی ۱۰}$$

و سرانجام برای اوزان ( $W_j$ ) از شاخص‌های موجود خواهیم داشت:

$$W_{ij} = [0, 0.24987, 0.238713, 0.403101, 108334] \quad \text{رابطه‌ی ۱۱}$$

بنابراین مدل ناحیه‌ای میزان خطر زمین‌لغزش در منطقه با استفاده از رابطه‌ی ۶ به‌دست آمد.

رابطه‌ی ۱۲

$$H = (0 \times G) + (0.24987 \times S) + (0.238713 \times D_f) + (0.403101 \times E) + (108334 \times A)$$

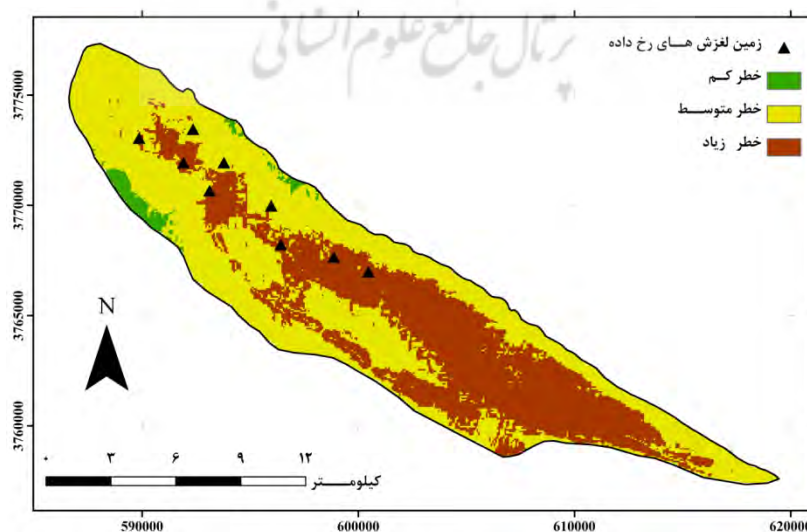
که در آن:  $H$ : میزان خطر زمین‌لغزش در منطقه؛  $G$ : سازند؛  $S$ : شیب؛  $D_f$ : فاصله از گسل؛  $E$ : ارتفاع و  $A$ : جهت شیب است.

با توجه به رابطه‌ی بالا نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه شد (شکل شماره‌ی ۴). با قرار دادن موقعیت زمین‌لغزش‌های منطقه بر این نقشه (شکل شماره‌ی ۴) مشخص شد که از ۹ زمین‌لغزش رخ داده در منطقه، ۳ زمین‌لغزش در پهنه‌ی خطر متوسط و ۶ زمین‌لغزش در پهنه‌ی خطر بالا واقع شده‌اند. جدول شماره‌ی ۳

مساحت پهنه‌های مختلف خطر را در منطقه نشان می‌دهد. براساس این جدول مناطق با خطر متوسط و زیاد، ۹۸ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند که حاکی از پرمخاطره بودن منطقه از لحاظ خطر زمین لغزش است. با توجه به شکل شماره ۴، حاشیه‌ی شمال غربی تاقدیس در محدوده‌ی پهنه‌ی کم خطر واقع شده است. این پهنه در طبقات ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰ متری با شیب کم و جهت‌های متفاوت شیب و فاصله‌ی نسبی زیاد از گسل‌های منطقه و منطبق بر سازندهای نرم فرسایبی آجاجاری و نهشته‌های کواترنری است. پهنه‌ی خطر متوسط، بیشترین وسعت را در تاقدیس به خود اختصاص داده و منطبق بر طبقات ارتفاعی ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ متری است. از نظر لیتولوژی از سازندهای آسماری، پابده و گورپی تشکیل شده و شیبی بیشتر از ۲۰ درجه دارد. این پهنه در حریم گسل‌ها واقع شده و تمامی گسل‌های تاقدیس در این پهنه یا نزدیک به آن قرار گرفته‌اند. پهنه‌ی خطر زیاد در طبقات ارتفاعی ۱۵۰۰ متر به بالا و منطبق بر سازند آسماری است که در حریم گسل‌های منطقه واقع شده و شیب آن بیش از ۴۰ درجه است. به‌طور کلی می‌توان گفت که با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه و نقشه‌ی نهایی، تاقدیس مورد مطالعه جزء مناطق پُرخطر رخداد زمین لغزش قرار می‌گیرد. جدول شماره ۴، میزان تأثیر هر یک از عوامل پنج‌گانه را در رخداد زمین لغزش بر اساس محاسبه‌های مدل آنتروپی نشان می‌دهد. عامل ارتفاع بیشترین تأثیر و عامل لیتولوژی بی‌تأثیر است که این امر به دلیل رخداد تمامی زمین لغزش‌ها در این سازند است.

جدول ۳. مساحت و درصد مناطق خطر زیاد، متوسط و کم رخداد زمین لغزش

منطقه	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد مساحت	تعداد زمین لغزش	درصد زمین لغزش
خطر زیاد	۷۱/۴	۳۹/۸	۶	۶۶/۶۶
خطر متوسط	۱۰۴/۵۱	۵۸/۲۶	۳	۳۳/۳۳
خطر کم	۳/۴۶	۱/۹۳	۰	۰
مجموع	۱۷۹/۳۷	۱۰۰	۹	۱۰۰



شکل ۴. نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر رخداد زمین لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه

جدول ۴. میزان تأثیر هر یک از عوامل پنج‌گانه در رخداد زمین لغزش‌های منطقه

عوامل تأثیرگذار	درصد تأثیر
ارتفاع	۴۰/۳۱
شیب	۲۴/۹۸
فاصله از گسل	۲۳/۸۷
جهت شیب	۱۰/۸۳
سازند	بدون تأثیر
مجموع	۱۰۰

### راهکارهای مدیریتی برای کاهش خسارات ناشی از زمین لغزش

با بررسی شرایط ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، تکتونیک، توپوگرافی، اقلیمی و عوامل دیگر مؤثر، نمی‌توان راهکاری برای جلوگیری از وقوع زمین لغزش در منطقه متصور شد. با بررسی اجمالی ویژگی‌های زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه، همچون زمین لغزش‌هایی در مساحت‌های ۴/۱۰، ۶/۵ و ۸/۶ کیلومتری، ارتفاع و حجم توده‌ی لغزیده (شکل شماره‌ی ۵) درمی‌یابیم که در صورت وقوع زمین لغزش، خسارات جانی و مالی ناشی از آن زیاد خواهد بود. راهکارهای علمی در مورد مدیریت خطر زمین لغزش منطقه را می‌توان در دو دسته‌ی زیر پیشنهاد کرد:

(۱) نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش به‌دست آمده از مدل آنتروپی منطقه نشان می‌دهد که سراسر حاشیه‌ی تاقدیس که مسلط بر دشت‌های اطراف است، جزء نواحی با خطر متوسط و زیاد است، بنابراین باید از اجرای طرح‌های عمرانی و توسعه‌ی سکونتگاه‌های شهری و روستایی و ایجاد تأسیسات در شعاع ۲ کیلومتری منطقه، جلوگیری شود. همچنین برای کاهش خسارات احتمالی پیشنهاد می‌شود تأسیساتی که در شعاع کمتر از ۱ کیلومتری تاقدیس واقع شده‌اند، به جایی دیگر انتقال یافته یا مستحکم‌سازی شوند. بر اساس نتایج حاصل از مدل آنتروپی در مشخص کردن میزان تأثیر هر یک از عوامل تأثیرگذار در زمین لغزش‌های منطقه، نواحی نزدیک مناطق مرتفع با شیب زیاد و گسل‌خورده به‌عنوان مناطق پُرخطر شناخته می‌شوند، بنابراین باید از اجرای هرگونه عملیات عمرانی در این مناطق ممانعت به‌عمل آید.

(۲) باید از هر گونه عملیات خاک‌برداری و زیربُری برای ایجاد معادن سنگ آهک و احداث جاده در منطقه خودداری شود؛ زیرا به‌دلیل از بین رفتن پایداری شیب تاقدیس، احتمال وقوع زمین لغزش افزایش می‌یابد. با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژی، اقلیمی و زمین‌شناسی منطقه، باید از هر گونه عملیات مکانیکی و احداث سازه برای فعالیت‌های آبخیزداری، به‌ویژه در نقاط پُرشیب و گسل‌خورده در دامنه‌ی تاقدیس خودداری شود.



شکل ۵. الف) نمایی از زمین لغزش شماره ۴ در دامنه‌ی شمالی تاقدیس نسا (دید رو به جنوب)،  
 ب) تصویر گوگل ارث از زمین لغزه و مواد لغزش یافته از لغزش شماره ۱ در دامنه‌ی شمالی تاقدیس نسا

## بحث و نتیجه گیری

نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین لغزش به دست آمده نشان می‌دهد که مناطق با خطر رخداد زیاد، در قسمت‌های مرتفع تاقدیس واقع شده‌اند. این نواحی شیب زیاد و ارتفاع بالایی دارند و در حریم گسل‌های منطقه و در قلمرو سازند آسماری قرار گرفته‌اند. پهنه‌ی خطر متوسط، همچون نواری ممتد، قسمت‌های میانی تاقدیس را دربر گرفته و بیشترین وسعت را به خود اختصاص داده است، این پهنه شیب زیادی دارد و منطبق بر طبقات ارتفاعی کمتر از ۱۵۰۰ متر است. از نظر لیتولوژی سازند آسماری بیشترین مساحت را در این طبقه دارد و سازندهای پابده و گورپی در رتبه‌های بعدی قرار دارند. پهنه‌ی کم‌خطر در قسمت‌های شمالی و جنوبی تاقدیس، در طبقات ارتفاعی کمتر از ۱۱۰۰ متر و منطبق بر سازندهای نرم فرسای منطقه و نهشته‌های کواترنری با شیب کم و فاصله‌ی نسبی زیاد از گسل‌های منطقه است. دقت‌سنجی نقشه‌ی پهنه‌بندی نهایی با زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه‌ی مطالعاتی نشان می‌دهد که ۳ زمین لغزه، یعنی ۳۳/۳۳ درصد زمین لغزش‌های رخ داده، در پهنه‌ی خطر متوسط و ۶۶/۶۶ درصد زمین لغزه‌ها در پهنه‌ی خطر بالا واقع شده‌اند و در منطقه‌ی کم‌خطر زمین لغزشی رخ نداده است که این امر نشان از کارایی مطلوب مدل آنتروپی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش دارد. حدود ۱/۹۳ درصد از منطقه در پهنه‌ی خطر کم و ۵۸/۲۶ درصد در پهنه‌ی خطر متوسط و ۳۹/۸ درصد در خطر زیاد واقع شده‌اند. در نهایت می‌توان چنین نتیجه گرفت که منطقه‌ی مورد مطالعه جزء نواحی پرخطر به‌شمار می‌رود. راهکارهای اساسی برای مدیریت علمی این مخاطره، در دو دسته قابل بررسی و اجرا هستند:

۱) تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه و جلوگیری از فعالیت‌های عمرانی در فواصل کمتر از ۲

کیلومتری حاشیه‌ی تاقدیس و جابه‌جایی یا افزایش استحکام تأسیساتی که در فاصله‌ی ۱ کیلومتری آن قرار گرفته‌اند.

۲) جلوگیری از تمام فعالیت‌های انسانی‌ای که می‌توانند به‌عنوان عوامل تسریع‌کننده در وقوع زمین لغزش در منطقه

مؤثر باشند. این عوامل شامل هرگونه عملیات خاک‌برداری و زیربُری برای ایجاد معادن سنگ آهک و احداث جاده

می‌شود. همچنین خودداری از انجام عملیات آبخیزداری در دامنه‌ی تاقدیس، به‌دلیل افزایش میزان نفوذ آب و ایجاد بار

اضافی ناشی از سازه و آبهای نفوذی که می‌توانند در ایجاد زمین لغزش مؤثر باشند.

## منابع

- Armed Forces Geographical Organization, 1976, **Photo Shoot with Approximate Scale 1:55000.**
- Armed Forces Geographical Organization, 2002, **Satellite Imagery Sensor IRS.**
- Armed Forces Geographical Organization, **Topography Map 1:50000 Kalkesh, Ivan Gharb, Zarneh.**
- Ayala, I., 2002, **Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in Developing Countries**, Geomorphology, Vol. 47, PP. 107-124.
- Baas, A., 2007, **Complex Systems in Aeolian Geomorphology**, Geomorphology, Vol. 91, PP.311-331.
- Bagheri, S., Shokeri, S., 2008, **Investigation of Tectonic Role in Generate and Evolution of Ghalahah's Landforms at the Kermanshah Province**, M.Sc Thesis, University of Tehran.
- Bednarik, M., Magulova, B., Matys, M., Marschalko, M., 2010, **Landslide Susceptibility Assessment of the Kral'ovany-Liptovsky Mikulaš Railway Case Study**, Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 35, PP.162-171.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, CH., Cascini, L., Leroi, E., Savage, Z.S., 2008, **Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Planning**, Engineering Geology, Vol. 102, PP. 85-98.
- Geological Survey, **Geological Map Scale 1:100000 West of Kerend, and Ilam.**
- Ghomi-oili, J., 1996, **Litostratigraphy Study and Survey of Karstification in Carbonate Outcrops at Noa-Ghalajeh Region in West of Kermanshah Province**, M.Sc. Thesis, University of Tehran.
- Iranian Method for Landslide Hazard Zonation in Golestan Province, **EGU- 1<sup>st</sup> General.**
- Khosrozadeh, et al., 2008, **Study of Mass Movement (Landslides) in Terms of the Earth, Case Study: Arzfoun Series, Mazandaran's Wood and Paper Industry**, the First International Conference on Environmental Changes in Caspian Region, Mazandaran University, Babolsar
- Kumar Dahal, R., 2008, **Predictive Modeling of Rainfall-induced Landslide Hazard in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights-of-evidence**, Geomorphology, Vol. 102, PP.496-510.
- Luna, B., Langbein, W.B., 1963, **The Concept of Entropy in Landscape Evolution**, Geological Survey Professional Paper, U.S. Govt. Print. Off, Washington.
- Minasny, B., McBratney, A., Blanes, S., 2008, **Quantitative Models for Pedogenesis - A Review**, Geoderma, Vol. 144, PP. 140-157.
- Mirshokraei, A.A., 1996, **Litostratigraphy Study and Structural Geology at Emam Hasan Vizhan Region (Gilangharb)**, M.Sc Thesis, University of Tehran.
- Mohammadi, A., Heshmatpoor, A., Mosaedi, A., 2004, **Study on Efficiency of an Iranian Method for Landslide Hazard Zonation in Golestan Province (Iran)**, Geophysical Research Abstracts, Vol. 6, PP. 10-22.

- Panizza, M., 2004, **Environmental Geomorphology**, Encyclopedia of Geomorphology, Vol.1, P. 318-320.
- Rosenfeld, C. L., 2004, **Geomorphological Hazard**, Encyclopedia of Geomorphology, Vol. 1, P.423-426.
- Sakar, S., Kanungo, D.P., Mehrotar, G.S., 1995, **Landslide Zonation: A Case Study in Garhwal Himalaya, India**, Mountain Research and Development, Vol. 15, No. 4, PP.301-309.
- Varnes, D. J., 1984, **Landslide Hazard Zonation: A Review of Principle and Practice**, UNEXCO, Paris.
- Wan, S., 2009, **A Spatial Decision Support System for Extracting the Core Factors and Thresholds for Landslide Susceptibility Map**, Engineering Geology, Vol. 108, PP.237-251.
- Zongji, Y., et al., 2010, **Regional Landslide Zonation Based on Entropy Method in Three Gorges Area, China**, Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, (FSKD 2010).



*Zoning of Landslide Hazard Using Entropy Model,  
(Case study: Nesar Anticline at North West Zagros)*

**Moghimi E.\***

Prof. of Geography, Faculty of Geography, University of Tehran

**Bagheri seyedshokeri S.**

Ph.D. Candidate in Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran

**Safarrad T.**

Ph.D. Candidate in Climatology, Faculty of Geography, University of Tehran

Received: 24/10/2011

Accepted: 30/04/2012

**Extended Abstract**

**Introduction**

Entropy not only quantifies the quantity of energy but also quantifies the quality of energy and this quality is the measurement of disorder in a system (Mansly and Colleages, 2008: 145). In summary entropy in the meaning of quantification, discuss the disorder between causes and results and decisions in different topics (Van, 2009: 238).

Geomorphologic hazards as a threat cause a lot of damages to human societies. In this concept natural disaster is a harmful element that exists in the physical environment for human (Ayla, 2002: 408). Landslide as one of the geomorphologic hazard cause lots of destructions as direct and indirect costs and plays an important role in destructing human facilities and causes human death, forest destruction and sedimentation in watershed basins. Identifying and classifying the areas that are vulnerable in sliding and its danger has an important role in identifying environmental hazard.

According to destructive landslides that happen near Nesar anticline, the location of villages and City of Gilan-Gharb and development facilities in amplitudes anticline, it is necessary to provide the landslide map of the area for better management.

The purpose of this study is to quantify the occurrence of Nesar anticline landslides and also to know the amount of each five factors in landslide occurrence. It is also determined to

provide the map of landslide risk by using entropy model. Finally the last aim of the article is to propose scientific management ideas of the area against landslide hazard.

### Methodology

At first, by using visual interpretation of IRS satellite images, landslides of the studied area were identified. Then, by studying occurred landslides in the area with five factors: litho logy, distance from faults, slope topography, the slope and elevation were defined as effective factors in the landslide occurrence and five informational layers came in as raster data and the amount came in identity.

According to the landslide features of the area (shown in table 1), weights were given to the layers and then the entropy matrix were completed (Table 2). Decision matrix contains information in which entropy can be used as a criterion for evaluating it. After calculating the entropy matrix and the whole weight of five factors  $w_j$ , the amount of  $H_i$  which is the landslide risk occurrence was achieved and decisions were made to area based on landslide occurrence.

### Results and Discussion

Finally, based on the landslide occurrence zoning map and area features analysis, some management ideas as basically and scientifically were given. The data container existed in matrix was generated as  $P_{ij}$  and for every five elements the amount of  $E_j$  was calculated and after area model the amount of landslide risk in the area was generated as below:  $H = 0.24987 G + 0.238713 DF + 0.403101 E + 108334 A$  that H: the risk of landslides in the area. G; lithology, S; slope,  $D_f$ ; distance from the fault, E: elevation and A is the slope. Based on the above relationship, map of landslide hazard zoning was prepared in the studied area (figure 4). As it has been mentioned in Table 3, areas with medium and high risk consist 98% of the area was suggested to have the high risk area in terms of landslide risk.

According to entropy model calculations based on distance, elevation, slope, fault distance, aspect and lithology had the greatest effect in the landslide occurrence in the area. High incident risk areas are located in high elevated places of anticline. These areas have the highest slope and the height and are located in territory of fault area and in territory of Asmari formation. Moderate-risk zone as longed tape has taken middle parts of anticline and has allocated most of the area. This area has a large slope and the classes of less than 1500 height and lithology Asmari formation has got the most places in this area. Low risk zone in the northern and southern anticline are in classes less than 1100 meter, and is based on the consistent of the soft match s formations of the area including quaternary, low slope and a high distance of the faults in the area.

### Conclusion

Final precision zone map with occurred landslide occurred in the study area shows that the 33.33% pitch slips occurred in the moderate risk zone, and 66.66% of landslides were located in high risk zones. This suggests optimal performance of the entropy zoning model in landslide



hazard zonation. About 1.93 percent of the region across the low risk and 58.26 percent of the region across the moderate risk zone, and 39.8 percent are located at high risk. Finally, we can conclude that the studied area is a high-risk area. The factor of altitude with amount of 40% had maximum role and the lithology has no effect on landslides risks of occurrence. To manage the hazards of the area these two ideas are suggested:

1. Preparing landslide hazard zoning map of the region and preventing development activities at the margins of less than 2 km from anticline.
2. Prevention of excavation operations and watershed operations in the anticline as accelerating factors of the landslides.

**Keywords:** *Landslide, Management, Zoning, Entropy Model, Nesar Anticline.*

