

ارزیابی ژئومورفولوژیکی پتانسیل زمین‌لغزش تاقدیس سیاه‌کوه، غرب ایران

مجتبی یمانی^{*1}، ابوالقاسم گورابی²، پریسا پیرانی³، فاطمه مرادی‌پور⁴، عارفه شعبانی عراقی

- 1- استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- 2- استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- 3- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- 4- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- 5- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دریافت: 93/2/15 پذیرش: 92/9/13

چکیده

وقوع زمین‌لغزش و تحمیل خسارت جانی و مالی فراوان، شناسایی و اولویت‌بندی مناطق حساس و تدوین برname‌های خاص مکانی جهت کاهش وقوع و خسارت‌های آن در نواحی مستعد را ضرورت بخشیده است. تاقدیس سیاه‌کوه یکی از مناطقی است که آثار زمین‌لغزش‌های متعدد در قسمت‌های مختلف آن مشاهده شده است. در این پژوهش، پس از بررسی تصاویر مأمورهای، نقشه زمین‌شناسی و مطالعات میدانی، عوامل مؤثر با استفاده از مدل آنتروپی بررسی شده‌اند؛ سپس ماتریس آنتروپی و نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش در محیط نرم‌افزار ARC GIS 10 تهیه شده؛ سرانجام راه‌کاری جهت کاهش خسارت‌های آن با توجه به شرایط منطقه ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد فاصله از گسل 46/06 درصد، ارتفاع 26/28 درصد، شیب 17/54 درصد، لیتوژوئی 7/14 درصد و جهت شیب 1 درصد در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه اثرگذار بوده‌اند. نقشه پهنه‌بندی گویای آن است که پهنه‌های کم خطر فقط 21/76 درصد از منطقه را دربرمی‌گیرند و 78/23 درصد از منطقه در پهنه‌های با خطر متوسط و بالا قرار دارد که از پتانسیل بالای منطقه در خداداد زمین‌لغزش خبر می‌دهد. ساخت‌وساز با فاصله از گسل و سازند آسماری پرشیب، اینمی‌سازی مسیرهای ارتباطی و کنترل اقدامات حفاری و خاکبرداری در سازند آسماری، مهم‌ترین اقدامات برای کاهش خسارت‌های حرکات دامنه‌ای در تاقدیس سیاه‌کوه هستند.

واژه‌های کلیدی: ژئومورفولوژی، آنتروپی، زمین‌لغزش، تاقدیس سیاه‌کوه، حرکات دامنه‌ای.



حرکات توده‌ای از نوع زمین‌لغزش‌ها روی دامنه‌ها شکلی از فرایندهای دامنه‌ای و نوعی از مخاطرات طبیعی هستند که هر ساله در نقاط مختلف جهان خسارت‌های جانی، مالی و زیست‌محیطی زیادی به بار می‌آورند. به گزارش کمیته بلایای طبیعی ایران، طی برنامه پنج‌ساله اول، خسارت‌های ناشی از بلایای طبیعی در کشور بالغ بر ۱/۶ میلیارد دلار برآورد شده که بخش اعظم آن مربوط به خسارت‌های زمین‌لغزش است (Bagherian, Goudarzi & Ghayoumian, 2005: 69). با بررسی اقدام‌های مدیریتی انجام‌شده درباره زمین‌لغزش‌های ایران و سایر کشورهای توسعه‌یافته به این نتیجه دست یافتند که اساس برنامه‌های مدیریت خطر زمین‌لغزش در ایران را روش‌های درمانی (مکانیکی) و در کشورهایی مانند آمریکا و ژاپن بیشتر شیوه‌های پیش‌گیری (قوانين و دستورالعمل کاربری اراضی و آموزش به عموم) تشکیل داده است (Nikandish & Mir Sanei, 1997: 209).

شناسایی و بخش‌بندی نواحی مستعد لغزش و پهنه‌بندی خطر آن، گامی مهم در ارزیابی خطرهای محیطی به شمار می‌رود و در مدیریت حوضه آب خیز نقش انکارنشدنی دارد (Sakar, Kanungo & Mehrotra, 1995: 302). تهیه نقشه وقوع خطر زمین‌لغزش ابزاری اساسی برای فعالیت‌های مدیریت بحران در نواحی کوهستانی است (Kumar Dahal, 2008: 210). پهنه‌بندی خطر به روش‌های گوناگونی صورت می‌گیرد. یکی از این روش‌ها مدل آنتروپی¹ است که نخستین بار ویلسون (1967 و 1970) آن را مطرح کرد و سپس سنیور (1979) به بازنگری و اصلاح آن پرداخت. توسعه‌های دیگری نیز از این مدل مقدماتی ویلسون منتشر شده است (Paulov, 1991). همچنین، در برخی مدل‌های توسعه‌یافته ویلسون از مدل تاملین استفاده شده است که اندکی با مدل سنیور تفاوت دارد (Tomlin, 1979: 99).

پژوهش درباره مدل آنتروپی از دهه شصت میلادی آغاز و مقالات متعددی درباره آن در دهه نود و بعد از آن چاپ شد؛ از جمله سلاتر² (1992)، گنکلاوس و یلیسا³ (1993) و

1. Entropy

2. B.P. Slater

3. Ganklavos & Elisa

پولر^۱ (1994) (ارکات، باباخانی و ابراهیمی، ۱۳۸۸: ۱۶). آمیگ و کنل^۲ (2007) در پژوهشی به بررسی آنتروپی جایگشت توپولوژیکی پرداختند و یادآوری کردند که آنتروپی کمی شانون دارای ارزش‌های بسیار زیادی، بهویژه در ارتباط با حالت‌های متنوع ارتباطات منابع طبیعی است. وان^۳ (2009) برای تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش در تایوان با استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری فضایی، برای بخش‌بندی و برطرف کردن عدم قطعیت عوامل مختلف زمین‌لغزش از مدل آنتروپی استفاده کرد. نتایج پژوهش او نشان داد این پژوهش روی کرد مهمی برای تهیه نقشه خطرپذیری زمین‌لغزش است. بدنه‌ریک^۴ و همکاران (2010) با استفاده از توزیع دومتغیره آماری، به ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه کارل اونری در اسلوکی پرداختند و برای محاسبه وزن لایه‌های مورد بررسی شاخص آنتروپی را به کار گرفتند و نقشه پهن‌بندی خطر منطقه را طراحی کردند. زونگجی^۵ و همکاران (2010) در پژوهشی، با مدل آنتروپی به پهن‌بندی زمین‌لغزش در گورجس چین پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد این مدل کاربرد زیادی به عنوان روشی جدید برای ارزیابی خطر زمین‌لغزش در مقیاس منطقه‌ای دارد.

معصومی و کراچیان (1387) بهینه‌سازی مکان‌یابی ایستگاه‌های پایش کیفی منابع آب زیرزمینی را با استفاده از نظریه آنتروپی بررسی کردند. ابراهیم‌زاده و رفیعی (1388) الگوی گسترش کالبدی شهر مرودشت را با استفاده از مدل‌های آنتروپی و هلدرن به‌منظور ارائه الگوی مناسب گسترش سنجیدند. مقیمی و نگهبان (1391) به تحلیل فرسایش در حوزه آب‌خیز رودخانه شور فدامی، با استفاده از مدل آنتروپی و روش تحلیل سلسله‌مراتبی پرداختند و طبقات آسیب‌پذیر در زمینه فرسایش را درمورد شیب، بافت خاک، کاربری اراضی و ... معرفی کردند. وارثی و همکاران (1391) در پژوهشی، خرسش شهری و رشد فیزیکی شهر گناباد را با استفاده از مدل‌های آنتروپی و هلدرن تحلیل کردند.

1. P. Poller
2. Amig & Kennel
3. Wan
4. Bednarik
5. Zonggii

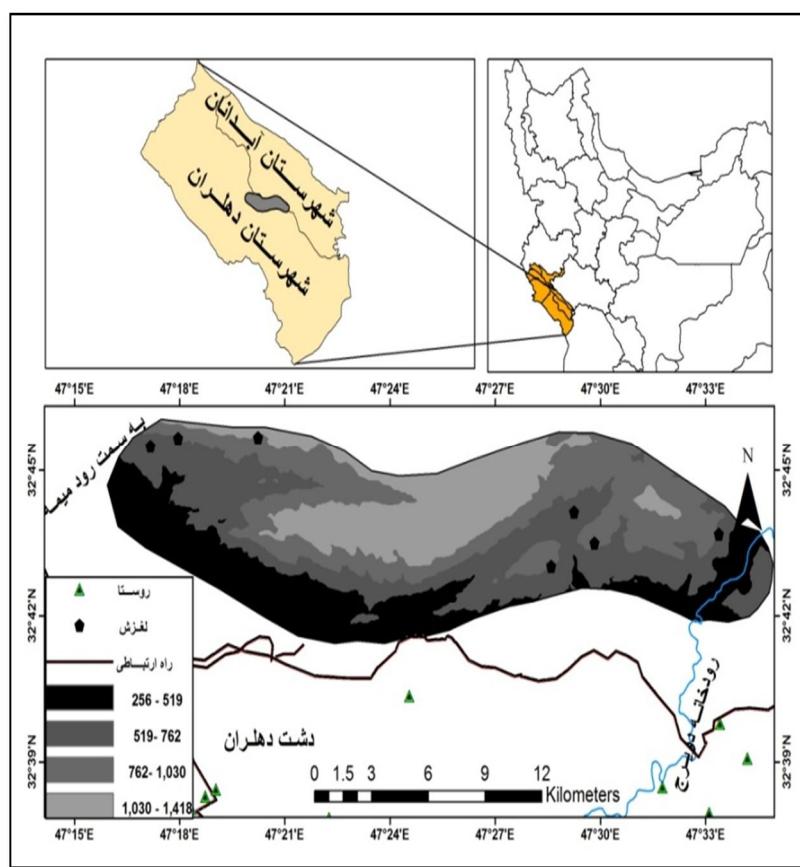


پژوهش‌های متعددی در موضوعات مختلف با استفاده از مدل آنتروپی در سطح کشور انجام شده است؛ با این حال در زمینه ژئومورفولوژی و بهویژه زمین‌لغزش همسو با هدف این پژوهش، فقط مقیمی و همکاران (1391) به پهنه‌بندی خطر و قوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی در تاقدیس نسار پرداخته، منطقه مورد نظر را جزء مناطق پرخطر طبقه‌بندی کرده و برای مقابله علمی با این پدیده، راهکارهای مدیریتی نشان داده‌اند.

در منطقه مطالعه حاجی‌علی‌بیگی و همکاران (1391) ساختار هندسی چین‌خوردگی تاقدیس سیاه‌کوه را در ارتباط با گسلش مدفون بالارود سنجیده و اغلب، عمل کرد این منطقه گسلی را در این تاقدیس تحلیل کرده‌اند. تاکنون، در پژوهشی مستقل به بررسی یا منطقه‌بندی زمین‌لغزش‌های رخداده در این تاقدیس پرداخته نشده و ملکی‌پور (1382) در پایان‌نامه خود با عنوان تحولات ژئورفلوژی در منطقه سیاه‌کوه با تأکید بر نقش تکتونیک و مورفو‌لوزی آن، فقط از وجود لغزش‌های مکرر یاد کرده است. هر دو پژوهش یادشده به تأثیر و اهمیت گسل‌ها در ایجاد مورفو‌لوزی کنونی و تحولات تاقدیس تأکید کرده‌اند؛ با این حال مطالعه اختصاصی درباره زمین‌لغزش‌های منطقه و پهنه‌های مستعد آن انجام نشده و این مقاله نخستین پژوهش در این زمینه است. بنابراین، با توجه به پتانسیل و قوع زمین‌لغزش در منطقه مطالعه، وجود آثار و شواهد وقوع لغزش‌های مکرر در محدوده، مشرف بودن تاقدیس سیاه‌کوه به شهر دهlaran، زمین‌های کشاورزی و برخی روستاهای شمال شهر و نیز عبور راه‌های ارتباطی از اطراف تاقدیس، تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای منطقه و ارائه راهکارهای مدیریت لغزش مفید به نظر می‌رسد. بر همین اساس و نیز به منظور ارزیابی مدل آنتروپی در پهنه‌بندی رخداد زمین‌لغزش و شناخت میزان تأثیر عوامل مشترک مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها، از این مدل برای پهنه‌بندی لغزش در تاقدیس مورد مطالعه استفاده شده است؛ زیرا مرور منابع و بررسی پیشینه استفاده از این مدل در منطقه‌بندی زمین‌لغزش در کشورهای مختلف، نتایج مطلوب و قابل قبولی به دست می‌دهد.

2- منطقه مورد مطالعه

سیاهکوه تاقدیسی به نسبت طویل در چهار کیلومتری شمال شرق دهستان و از تاقدیس‌های شمال منطقه فروافتادگی دزفول و جنوب منطقه لرستان است که در کمربند چین خورده- رانده شده^۱ زاگرس قرار دارد (حاجی‌علی‌ییگی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۶). مرز غربی و شرقی آن را رودخانه دویرج و میمه تشکیل می‌دهد. مرتفع‌ترین نقطه کوه ۱۴۵۰ متر ارتفاع و پست‌ترین نقطه در دامنه‌های مشرف به دشت دهستان است که ۳۰۰ متر ارتفاع دارد (ملکی‌پور، ۱۳۸۲: ۲) (شکل ۱).



شکل ۱ موقعیت تاقدیس سیاهکوه در استان ایلام

1. Zagros fold-thrust belt



3- زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه

تاقدیس سیاه‌کوه در حاشیه گسل جبهه کوهستان قرار دارد. این گسل به عنوان یک جبهه ریختاری کمربند چین خورده - راندگی، زاگرس را به چندین منطقه شامل ایده، فارس، لرستان و فروافتادگی دزفول تقسیم می‌کند. این تاقدیس سینوسی شکل است و محور آن یک خمیدگی به سمت جنوب دارد. خمیدگی در انتهای باختی این تاقدیس ملایم است؛ اما خمیدگی انتهای خاوری شدید و با شکستگی متعددی همراه است. شکل کلی تاقدیس سیاه‌کوه به صورت یک نوار باریک پیچ و تاب خورده یا مارپیچی است. بنابراین، روند محور این تاقدیس متغیر است. یال جنوب باختی تاقدیس به مراتب پرشیب‌تر از یال شمال خاوری آن است و تاقدیس از نوع نامتقارن است. این تاقدیس یک چین از دو سو مایل است (حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۶-۳۰). عوارض ژئومورفولوژیکی عمده در پهنه این تاقدیس شامل تیغه‌ها و دره‌های پرشیب بین آن‌ها، تپه‌های فرسایشی پرشیب، مخروطافکنه و... است. در قسمت جنوب شرقی با کاهش شیب و سستی سازندها، مخروطافکنه‌ها گسترش یافته است. در قسمت‌های دیگر تاقدیس اغلب، غلبه با تیغه‌های فرسایشی ساختمانی است که خط‌القعرهای طولی و عرضی آن‌ها را قطع کرده است. زمین‌لغزش‌های دامنهٔ غربی در قسمت داخلی تیغه‌ها و زمین‌لغزش‌های دامنهٔ شرقی در سطح بیرونی تیغه‌ها رخ داده‌اند. مقایسه نقشه محل لغزش‌های رخداده و نقشه ژئومورفولوژی که دربردارنده سازندها، محل گسل‌ها و عوارض پرشیب و کم‌شیب منطقه است، این مسئله را به روشنی نمایان می‌کند (شکل 2).

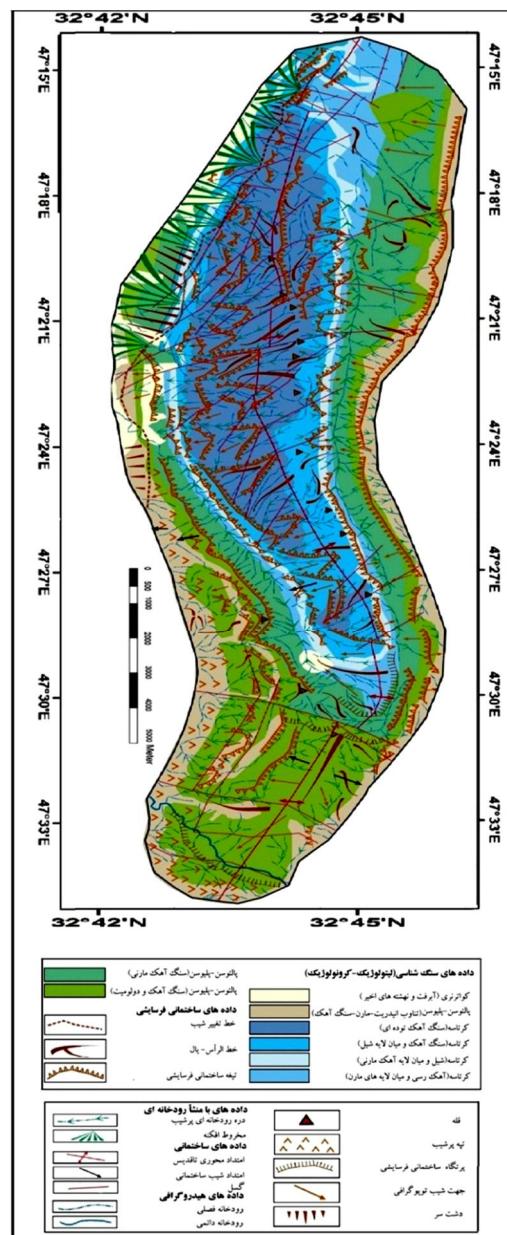
نهشت‌های رسوبی و واحد‌های سنگ‌شناسی آن به ترتیب از قدیم به جدید عبارت‌اند از: سازندهای گرو، سروک، ایلام، گورپی، پابده، آسماری، گچساران (درویش‌زاده، ۱۳۸۳: ۳۰۸) و رسوبات جوان کواترنر. قدیم‌ترین آن‌ها سازنده گرو است که در سطح رخنمون ندارد و روی آن گروه بنگستان قرار گرفته که به ترتیب شامل سازندهای سروک - که قدیم‌ترین سازنده این گروه است و در هسته تاقدیس رخنمون دارد - سورگاه و ایلام است. سازنده گورپی بخش‌هایی از سازندهای پابده - گورپی و سازنده پابده سازندهای بعدی به شمار می‌آیند که بیشتر در منطقه

لولای تاقدیس رخنمون دارند. سازند آسماری در یال جلویی به صورت بخش‌هایی کوچک، در یال پشتی به صورت نواری و در منطقه دماغه گسترش چشم‌گیری دارد. سازند گچساران با گسترش متفاوت در هر دو یال سازند بعدی است (حاجی علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۶). نهشته‌های کواترنری در برخی نقاط به ویژه در یال جنوبی به صورت پادگان‌ها و مخروطهای آبرفتی گسترش دارند. اکثر گسل‌های منطقه از نوع گسل‌های عادی هستند. از ۴۵ گسل منطقه، ۱۵ گسل روی پهلوی تاقدیس و ۳۰ شکستگی دیگر روی محور رأس تاقدیس دیده می‌شوند و می‌توان گفت اکثر گسل‌ها در زمان چین خوردگی در دوره میوسن شکل گرفته‌اند و فعالیت آن‌ها ادامه دارد (ملکی‌پور، ۱۳۸۲: ۶۹) (جدول ۱).

جدول ۱ مساحت و لیتو‌لوژی سازندهای بروونزدیافتہ در منطقه مطالعاتی

لیتو‌لوژی	درصد مساحت	مساحت km^2	سازند
آبرفت‌های درشت‌دانه لومی و رسی و ماسه‌ای	3/51	6	رسوبات اخیر (Q _i)
انیدریت - مارن، آهک، نمک و شیل بیتومین‌دار	13/08	22/34	گچساران (M _{gs})
سنگ آهک کرم تا قهوه‌ای با میان‌لایه‌های شیل	20/89	35/7	آسماری (OM _{ss})
شیل و تاحدوی لایه‌های نازک آهک رسی	3/51	6	گورپی (K _{gu})
شیل و شیل - مارن با لایه‌های نازک آهک رسی	18/73	32	پابده - گورپی (Pd-Gu)
آهک رسی ریزدانه با لایه‌های نازک شیل سیاه	11/59	19/8	ایلام (K _{il})
آهک ضخیم تا نازک‌لایه تیره با تناب شیل	19/32	33	سرورک (K _{sr})

(منبع: آقانباتی، ۱۳۸۳: ۴۰۶ - ۳۲۶)



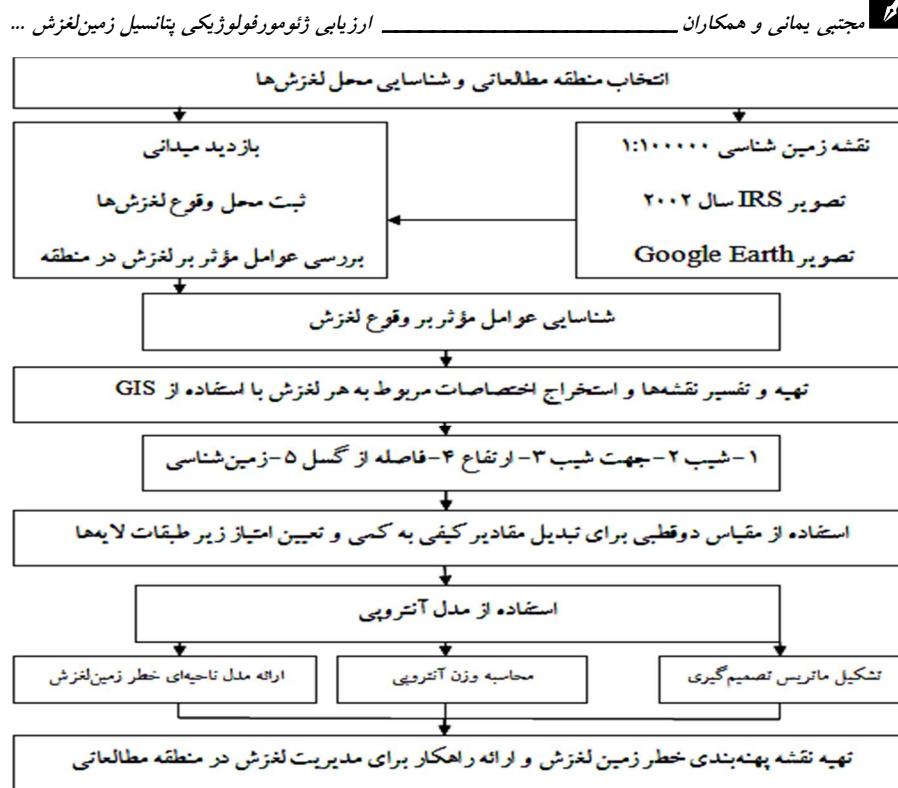
شکل 2 نقشه ژئومورفولوژی تاقدیس سیاه کوه

(منبع: نگارندگان)

۴- مواد و روش‌ها

این پژوهش به لحاظ هدف، کاربردی و به لحاظ روش، تحلیلی است. نخست مناطقی که زمین‌لغزش در آن‌ها رخ داده بود، شناسایی شدند؛ سپس هفت منطقهٔ شناسایی شده کنترل و محل آن‌ها ثبت شد. در مرحلهٔ بعد، با توجه به شرایط منطقهٔ مطالعاتی پنج عامل اثرگذار ارتفاع، شبی، فاصله از گسل، زمین‌شناسی و جهت شبی که در قوع زمین‌لغزش‌های منطقه مؤثر بودند و در بین تمام زمین‌لغزش‌های مورد بررسی مشترک بودند، در محیط نرم‌افزار ARC GIS 10 به صورت لایه‌های اطلاعاتی برای محدوده تهیه شدند. پس از بررسی ویژگی‌های مختلف توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه، با استفاده از نقشه‌های موجود زمین‌شناسی و توپوگرافی و نیز تحلیل تصاویر ماهواره‌ای منطقه و سپس شناخت نقش عوامل مشترک مؤثر در همهٔ زمین‌لغزش‌ها، ابتدا با توجه به اختصاصات لغزش‌های رخ داده به طبقات هر لایه امتیازی داده شد که بیانگر اهمیت آن است (جدول ۲)؛ سپس لایه‌های اطلاعاتی (ارتفاع، شبی، فاصله از گسل، زمین‌شناسی و جهت شبی) تهیه شده، به صورت رستر درآمده و سرانجام امتیازدهی شدند (شکل ۴) و به عنوان داده‌های اصلی در تشکیل ماتریس آنتروپی مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۳). در این پژوهش از مقیاس دوقطبی برای تبدیل مقادیر کیفی به کمی استفاده شده است. مقیاس دوقطبی فاصله‌ای روشی عمومی در رتبه‌بندی شاخص‌های کمی و کیفی است. اندازه‌گیری در این روش براساس مقیاسی دهنقطه‌ای است؛ به گونه‌ای که صفر کمترین ارزش ممکن - که عملاً قابل درک باشد - و ده حداکثر ارزش ممکن از شاخص مورد نظر را نشان می‌دهد. نقطهٔ وسط نیز نقطهٔ شکست مقیاس بین مساعدها و نامساعدهاست (صغرپور، ۱۳۸۵: ۱۹۳). فرایند روش پژوهش به طور خلاصه در شکل

شماره سه مشاهده می‌شود:



شکل 3 فرایند روش تحقیق

5- مدل آنتروپی

آنتروپی مفهومی برجسته در علوم فیزیک، علوم اجتماعی و نظریه اطلاعات است؛ به گونه‌ای که مقدار عدم اطمینان (درجه توزیع نامتعادل پدیده‌ها) از محتوای مورد انتظار اطلاعاتی از یک پیام را نشان می‌دهد (مقیمی و نگهبان، ۱۳۹۱: ۲). ساختار آنتروپی گویای میزان بی‌نظمی در محیط است. برای استفاده از این مدل، ابتدا باید ماتریس تصمیم‌گیری ایجاد شود. ماتریس تصمیم‌گیری حاوی اطلاعاتی است که آنتروپی می‌تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی آن به کار رود و با محاسبه ماتریس آنتروپی و وزن کل پنج عامل (W_j)، میزان H_i به عنوان ضریب وقوع خطر زمین‌لغزش به دست می‌آید (مقیمی، باقری سیدلشکری و صفرزاده، ۱۳۹۱: ۸۱). در این روش، محتوای اطلاعاتی موجود ماتریس تصمیم‌گیری ابتدا از رابطه یک محاسبه می‌شود:

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad \text{رابطه ۱}$$

و سپس مقدار E_j که ارزش آنتروپی است، از تابع زیر (رابطه ۲) تعیین می‌شود:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad \text{رابطه ۲}$$

K یک ضریب ثابت است که از رابطه ۳ به دست می‌آید (در این رابطه m تعداد زمین‌لغزش‌هاست):

$$k = (\ln m)^{-1} \quad \text{رابطه ۳}$$

عدم اطمینان یا درجه انحراف هر معیار (d_j) از کسر مقدار E_j از عدد یک به دست می‌آید و سرانجام وزن هر معیار با تابع زیر تعیین می‌شود (صغرپور، ۱۳۸۵: ۱۹۷):

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{i=1}^n D_i} \quad \text{رابطه ۴}$$

پس از محاسبه وزن کل (W_j) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از رابطه ۵ ارزیابی می‌شود:

$$H_i = \sum_{j=1}^m X_{ij} \quad \text{رابطه ۵}$$

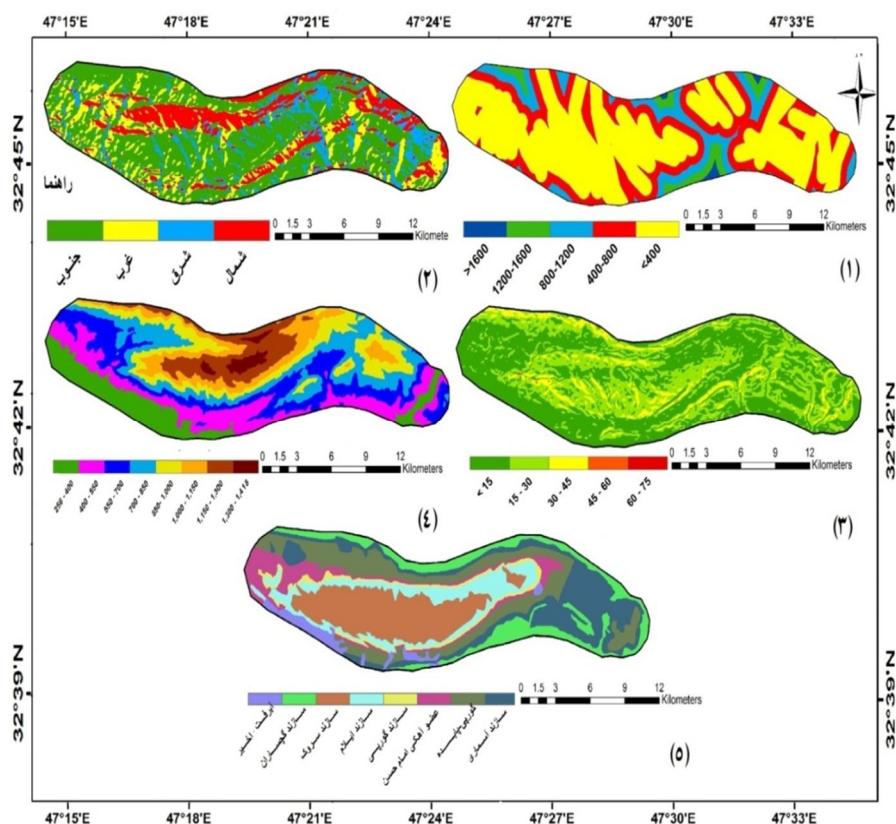
در این رابطه، H_i ضریب خطر رخداد زمین‌لغزش، W_j وزن نهایی تمام عوامل و X_{ij} وزن هر یک از عوامل است (Zongji Et al., 2010: 1336). این رابطه مدل تاحیه‌ای میزان خطر زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی است.



6- یافته‌های تحقیق

لایه‌های اطلاعاتی شامل ارتفاع، شیب، فاصله از گسل، زمین‌شناسی و جهت شیب هستند که به صورت نقشه رستری درآمده (شکل ۴) و امتیازدهی شده‌اند؛ به این ترتیب که بر حسب اهمیت هر کدام در وقوع یا تشدید لغزش، امتیازی بین ۱ تا ۹ براساس نظر کارشناس داده شده است.

جدول شماره دو امتیاز عوامل مؤثر در لغزش را نشان می‌دهد که با استفاده از نظر کارشناسان به صورت اعداد ۱ تا ۹ امتیازدهی شده‌اند؛ به این صورت که با افزایش نقش عامل مورد نظر در وقوع لغزش، امتیاز بالاتری به آن اختصاص داده شده و درنهایت، به عنوان داده‌های اصلی در تشکیل ماتریس آنتروپی به کار رفته‌اند (جدول ۳).



شکل ۴ لایه‌های اطلاعاتی: ۱. فاصله از گسل، ۲. جهت شیب، ۳. ارتفاع، ۴. شیب، ۵. لیتولوژی

جدول ۲ امتیاز اختصاص یافته به عوامل مؤثر در زمین‌لغزش

امتیاز	فاصله از گسل	امتیاز	شیب	امتیاز	جهت شیب	امتیاز	طبقات ارتفاعی	امتیاز	لیتوژئی
5	0-400	3	0-15	7	شمال	6	200-400	1	آبرفت و رسوبات اخیر (Q_t)
4	400-800	5	15-30	6	شرق	7	400-550	2	(M_{gs}) گچساران
3	800-1200	7	30-45	5	جنوب	8	550-700	9	(OM_{as}) آسماری
2	1200-1600	8	45-60	4	غرب	9	700-850	5	(K_{gu}) گوری
1	>1600	9	60-75			5	850-1000	7	پابده - گوری ($Pd-Gu$)
						4	1000-1150	6	آهک امام حسن (Ehm)
						4	1150-1300	5	(K_{il}) ایلام
						3	1300-1418	4	(K_{si}) سروک

جدول ۳ ماتریس آنتروپی عوامل مؤثر در زمین‌لغزش

شماره زمین‌لغزش	لیتوژئی	ارتفاع متوسط (متر)	جهت شیب	شیب متوسط (درجه)	فاصله از گسل (متر)
1	آسماری	848	شرق	32	0
2	آسماری	888	جنوب	23	0
3	آسماری	861	جنوب	18	1700
4	آسماری	1275	جنوب	43	0
5	آسماری	985	جنوب	47	1200
6	آسماری	995	جنوب	45	770
7	گوری	706	جنوب	13	880

جدول 4 ماتریس آنتروپی کمی شده عوامل مؤثر در زمین‌لغزش (X_{ij})

شماره زمین‌لغزش	لیتوژی	ارتفاع	جهت شب	شب	فاصله از گسل
1	9	9	6	7	5
2	9	5	5	7	5
3	9	5	5	5	1
4	9	4	5	7	5
5	9	5	5	8	2
6	9	5	5	8	4
7	5	9	5	3	3

جدول 5 مقادیر شاخص‌های محاسبه شده برای عوامل مؤثر در زمین‌لغزش

شاخص‌های محاسه شده	لیتوژی	ارتفاع	جهت شب	شب	فاصله از گسل
E_j	0/99	0/96	0/99	0/98	0/94
d_j	0/00	0/03	0/00	0/01	0/05
w_j	0/07	0/28	0/01	0/17	0/46

پس از تبدیل معیارها به عدد صحیح و تشکیل ماتریس اولیه (جدول 3)، مقدار (p_{ij}) با استفاده از رابطه یک و مقدار (K) با رابطه سه به دست آمده و برای محاسبه مقدار (E_j) برای هر عامل، از رابطه دو استفاده شده است که مقادیر آن در جدول شماره پنج مشاهده می‌شود. در این رابطه، E از توزیع احتمال p_i براساس سازکار آماری محاسبه شده است و مقدار آن در صورت تساوی p_i ها با یکدیگر، بیشترین مقدار ممکن خواهد بود (اصغرپور، 1385: 196).

سپس عدم اطمینان یا درجه انحراف هر معیار d_j از کسر مقدار E_j از عدد یک به دست آمده است. با استفاده از رابطه چهار، وزن هریک از معیارهای استفاده شده در ماتریس آنتروپی

زمین‌لغزش (W_i) که شامل لیتولوژی: 0/07، ارتفاع: 0/28، جهت شیب: 0/01 و فاصله از گسل: 0/46 است، حاصل شده است. درنهایت، مدل ناحیه‌ای خطر زمین‌لغزش در تاقدیس سیاه‌کوه با رابطه پنج به صورت زیر به دست آمده است:

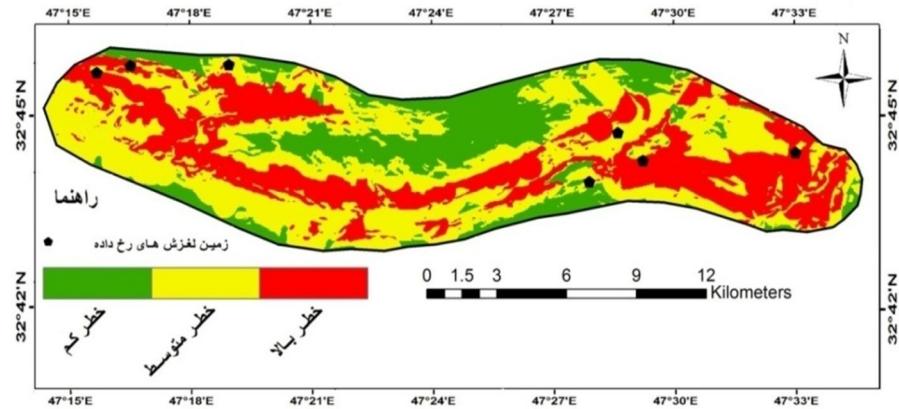
$$H = (L \times 0/0714) + (E \times 0/2825) + (A \times 0/0100) + (S \times 0/1753) \\ + (Df \times 0/4605)$$

در این رابطه، L: لیتولوژی، E: ارتفاع، A: جهت شیب، S: شیب و Df: فاصله از گسل است. با توجه به ویژگی‌های طبیعی و جغرافیایی منطقه و روش آنتروپوپی که برای وزن‌دهی به کار رفته است، میزان تأثیر عوامل پنج‌گانه مؤثر در زمین‌لغزش متفاوت است. فاصله از گسل 46/06 درصد، ارتفاع 28/26 درصد، شیب 17/54 درصد، سازند 7/14 درصد و جهت شیب 1 درصد در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه اثرگذار بوده است (جدول 6). درصد تأثیر پایین برای سازند و جهت شیب به‌سبب امتیازات برابر اکثر زمین‌لغزش‌ها در این دو پارامتر است؛ یعنی بیشتر زمین‌لغزش‌ها در یک نوع سازند و در یک جهت شیب مشابه واقع شده‌اند.

جدول 6 میزان تأثیر عوامل مؤثر در زمین‌لغزش‌های تاقدیس سیاه‌کوه

مجموع	فاصله از گسل	شیب	جهت شیب	ارتفاع	لیتولوژی	عوامل مؤثر
100	46/06	17/54	1	28/26	7/14	درصد تأثیر

در ادامه، با استفاده از وزن به دست آمده نقشهٔ پهن‌بندی خطر زمین‌لغزش تاقدیس سیاه‌کوه (شکل 5) تهیه شده است. با قرار دادن موقعیت زمین‌لغزش‌ها روی نقشهٔ پهن‌بندی، مشخص شد که از هفت زمین‌لغزش رخداده در تاقدیس سیاه‌کوه، چهار زمین‌لغزش در پهن‌بندی خطر بالا و سه زمین‌لغزش در پهن‌بندی خطر متوسط قرار گرفته‌اند.



شکل ۵ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در تاقدیس سیاه کوه

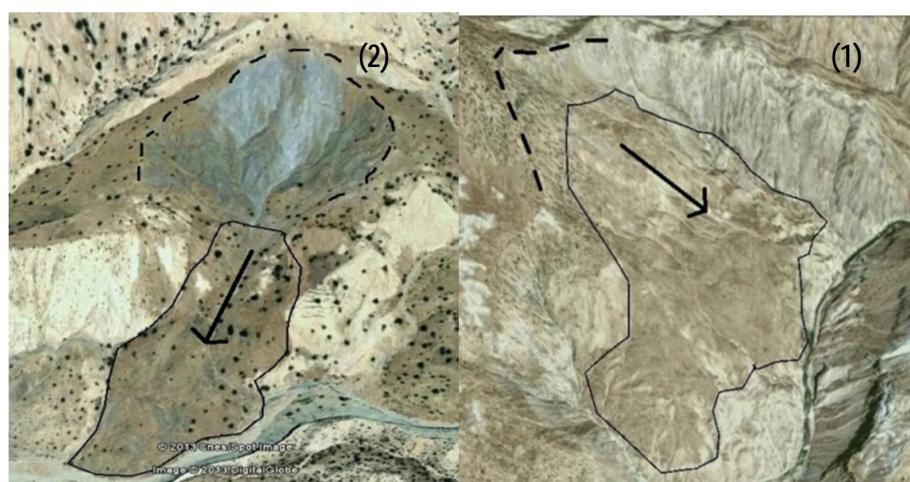
جدول ۷ مساحت و درصد پهنه‌های خطر زمین‌لغزش تاقدیس سیاه کوه

پهنه‌ها	مساحت (Km ²)	درصد مساحت	تعداد زمین‌لغزش	درصد زمین‌لغزش
کم خطر	37	21/76	0	0
خطر متوسط	78	45/88	3	42/86
پر خطر	55	32/35	4	57.14
مجموع	170	100	7	100

با توجه به جدول شماره هفت، در تاقدیس سیاه کوه، پهنه کم خطر فقط 21/76 درصد از منطقه را دربرمی‌گیرد و 78/23 درصد از منطقه در محدوده خطر متوسط و بالا قرار گرفته است که بیانگر پتانسیل بالای منطقه در رخداد زمین‌لغزش است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی (شکل ۴) و لایه‌های اطلاعاتی (شکل ۳) آشکار می‌شود که منطقه پر خطر

شیب‌های ۳۵ تا ۴۵ درجه را داراست که ارتفاعی بین ۵۰۰ تا ۹۰۰ متر دارد و در فاصله کمتر از ۴۰۰ متر از گسل‌ها قرار گرفته است (به‌ویژه در محل تقاطع گسل‌های طولی و عرضی که در سطح تاقدیس ایجاد شده است). این محدوده بیشتر از سازند آسماری و تاحدودی گورپی و در قسمت‌های محدودتری از گورپی - پابده تشکیل شده است و از نظر جهت شیب، بیشتر شیب‌های جنوبی را دربرمی‌گیرد. وسعت این منطقه در انتهای شرقی و غربی تاقدیس بیشتر است. منطقه خطر متوسط محدوده‌هایی هستند که شبیی بین ۱۵ تا ۳۵ درجه دارند و در سطوح ارتفاعی ۸۵۰ تا ۱۰۰۰ متر و نیز ۴۰۰ تا ۵۵۰ متر واقع شده‌اند. این مناطق در فاصله کمتر از ۴۰۰ تا حدود ۶۰۰ متر از گسل‌ها قرار دارند و به لحاظ لیتولوژی، بیشتر منطبق بر سازندهای سروک و ایلام هستند و شیب‌های شمالی و غربی تاقدیس را شامل می‌شوند. پهنۀ کم خطر شبیی کمتر از ۱۵ درجه و فاصله‌ای بیش از ۸۰۰ متر از گسل‌ها دارد و دارای ارتفاعی کمتر از ۵۰۰ متر و بالاتر از ۱۱۵۰ متر است. این پهنۀ از نظر لیتولوژی، بیشتر منطبق بر سازند گچساران و آبرفت‌های کواترنری است.

در مجموع، مساحت توده‌هایی که در هفت زمین‌لغزش بررسی شده جایه‌جا شده‌اند، ۷/۹۲ کیلومترمربع است. بزرگ‌ترین این توده‌های لغزشی در قسمت‌های جنوبی و شرقی تاقدیس قرار دارند و به ترتیب دارای ۱/۹۳ و ۱/۷۹ کیلومترمربع مساحت هستند و در سازند آسماری واقع شده‌اند. مساحت توده لغزشی که در سازند گورپی روی داده، حدود ۹۰ هزار مترمربع است و کمترین مساحت را بین توده‌های لغزشی داراست (شکل ۵). این امر بیانگر پتانسیل بالای سازند آسماری برای ایجاد زمین‌لغزش در منطقه است. در تاقدیس سیاه‌کوه رسوب‌های نامقاوم شیلی - مارنی پابده و گورپی بر اثر فعالیت‌های فرسایشی به‌ویژه آبهای روان شست‌وشو یافته و زیر رسوب‌های مقاوم آهک‌های آسماری را خالی کرده‌اند؛ سپس سنگ‌های پشتیبان بر اثر دخالت جاذبه در امتداد درز و شکاف‌ها به‌وسیله تخریب، هوازدگی و عوامل تکتونیکی، یک‌پارچه سقوط کرده‌اند و البته، تکان‌های ناشی از زلزله را که تعادل ضعیف قطعات متلاشی شده قلی را برهمنزده و ریزش‌های شدیدی ایجاد کرده است، نمی‌توان کم‌اثر دانست (ملکی‌پور، ۱۳۸۲: ۸۵).



شکل 6 توده‌های لغزش‌یافته در سازند گورپی (1) و سازند آسماری (2)

7- نتیجه

محدوده مطالعه در تاقدیس سیاه کوه 170 کیلومترمربع مساحت دارد و در هفت زمین لغزش رخداده، 7/92 مواد جابه جا شده است. با پهنه‌بندی منطقه به روش آنتروپی (شکل 5) روشن شد که از کل مساحت مورد بررسی، 37 کیلومترمربع (21/76 درصد از محدوده) (جدول 6) در نقشه پهنه‌بندی نهایی در زمرة منطقه کم خطر قرار گرفته است که در دامنه شمالی تاقدیس وسعت بیشتری دارد و به طور پراکنده در قسمت‌های جنوبی و شرقی تاقدیس مشاهده می‌شود. این منطقه در ارتفاع پایین منطبق بر سازندهای گچساران و آبرفت‌های کواترنری است که به‌سبب شبیه کم و دوری از گسل‌ها، و در ارتفاعات بالاتر به‌سبب سختی سازند و شبیب کمتر از 15 درجه، خطر بروز زمین لغزش در آن کم است. بررسی محل زمین لغزش‌های برداشت شده نشان می‌دهد هیچ یک از نقاط در این پهنه قرار نگرفته است که خود، تناسب مدل را برای بررسی چنین موضوعاتی نشان می‌دهد (جدول 7). 45/88 کیلومترمربع (معادل 45/88 درصد از محدوده مطالعه) پهنه خطر متوسط را تشکیل می‌دهد که مانند نواری ممتد دورتا دور تاقدیس به موازات منطقه پر خطر کشیده شده و وسعت آن در قسمت‌های جنوب غربی و دامنه جنوبی تاقدیس بیشتر است. پهنه خطر متوسط شبیبی بین 35 تا 15 درجه دارد و در سطوح ارتفاعی 850 تا 1000 متر و

نیز 400 تا 550 متر واقع شده است. این مناطق در فاصله کمتر از 400 تا حدود 600 متر از گسل‌ها قرار دارند و به لحاظ لیتولوژی، بیشتر منطبق بر سازندهای سروک و ایلام هستند. از زمین‌لغزش‌های بررسی شده، سه زمین‌لغزش (یعنی 42/86 درصد) در این پهنه قرار گرفته است. 55 کیلومترمربع (معادل 32/35 درصد از منطقه) در پهنه پرخطر طبقه‌بندی می‌شود که چهار زمین‌لغزش (یعنی 57/14 درصد زمین‌لغزش‌های بررسی شده) در این محدوده اتفاق افتاده است. منطقه پرخطر شیب‌های 35 تا 45 درجه را دربرمی‌گیرد، ارتفاعی بین 500 تا 900 متر دارد و کمتر از 400 متر از گسل‌ها (به‌ویژه در محل تقاطع گسل‌های طولی و عرضی سطح تاقدیس) فاصله دارد. لیتولوژی این محدوده بیشتر از سازند آسماری و تاحدودی گورپی و در قسمت‌های محدودتری از گورپی - پابده تشکیل شده است. از نظر جهت شیب، بیشتر شیب‌های جنوبی را دربرمی‌گیرد. وسعت این منطقه در انتهای شرقی و غربی تاقدیس بیشتر است. نقشه پهنه‌بندی تهیه شده با استفاده از مدل آنتروپی نشان می‌دهد حاشیه تاقدیس به‌ویژه قسمت‌های جنوبی و شرقی آن که بر زمین‌های کشاورزی، روستاهای محدوده اطراف شهر دهلران مسلط است، در پهنه خطر زیاد و متوسط قرار دارد؛ به‌ویژه تراکم گسل‌ها در منطقه ذکر شده بسیار بیشتر از سایر قسمت‌های تاقدیس است.

با توجه به نتایج مدل آنتروپی روشن می‌شود که مهم‌ترین عامل در بروز زمین‌لغزش‌های منطقه گسل‌ها هستند؛ زیرا عامل فاصله از گسل با 46/06 درصد تأثیر، مهم‌ترین عامل در بروز لغزش‌های منطقه بوده است. بنابراین، پرهیز از هرگونه ساخت و ساز در فاصله نزدیک به گسل‌ها و مناطق دارای سازند آسماری با شیب‌های تندر-که پهنه پرخطر و خطر متوسط است - و به کار بردن عملیات ایمنی سازی برای مسیرهای ارتباطی - که از چنین محدوده‌هایی عبور داده شده‌اند - اقدامات اساسی برای کاهش خطرهای جانی و مالی زمین‌لغزش در محدوده‌های ذکر شده است. با توجه به پتانسیل نفت و گاز سازند آسماری در منطقه دهلران و محدوده مطالعاتی، باید اقدامات حفاری و خاک‌برداری که احتمال لغزش در این سازند را افزایش می‌دهد، با احتیاط و با توجه به احتمال وقوع زمین‌لغزش و در خطر قرار گرفتن تأسیسات اطراف صورت گیرد.



8- منابع

- ابراهیم‌زاده، عیسی و قاسم رفیعی، «تحلیلی بر الگوی گسترش کالبدی شهر مرودشت با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و هلدرن و ارائه الگوی گسترش مطلوب آتی آن»، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ش ۶۹، صص ۱۲۳-۱۳۸، ۱۳۸۸.
- اركات، جمال، مسعود باباخانی و سیدبابک ابراهیمی، «به کارگیری بازپخت شیوه‌سازی شده در مدل آنتروپی توزیع سفر (مطالعه موردی)»، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ج ۲۰، ش ۱، صص ۲۱-۲۰، ۱۳۸۸.
- اصغرپور، محمدجواد، تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۵.
- آقانباتی، علی، زمین‌شناسی ایران، تهران: انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳.
- حاجی‌علی‌بیگی، حسین و دیگران، «تحلیل هندسی چین‌خوردگی مرتبط با گسلش مدفون فعال بالارود، مطالعه موردی: تاقدیس سیاه‌کوه، جنوب باخت ایران»، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، س ۲۱، ش ۶، صص ۳۹-۲۵، ۱۳۹۱.
- درویش‌زاده، علی، زمین‌شناسی ایران (چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی، ماقماتیسم)، تهران: امیرکبیر، ۱۳۸۳.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ برگه‌های دهلران، آبدانان، مورموری، ۱۳۸۰.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ برگه‌های دهلران و دال پری، ۱۳۷۹.
- قنواتی، عزت‌الله، «پنهان‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه جاجروم با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی»، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ج ۱۷، ش ۲۰، صص ۵۱-۶۸، ۱۳۹۰.
- مصفایی، جمال و مجید اونق، «GIS ابزاری کارآمد در تعیین سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریت خطر زمین‌لغزش»، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ج ۱۶، ش ۷۱، صص ۳۰۳-۳۱۴، ۱۳۸۸.

- معصومی، فریبرز و رضا کراچیان، «بهینه‌سازی مکان‌یابی ایستگاه‌های پایش کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از تئوری آنتروپی»، مجله آب و فاضلاب، ش ۱۹، صص ۱۲-۲۱، ۱۳۸۷.
- مقیمی، ابراهیم، سجاد باقری‌سیدلشکری و طاهر صفرزاد، «پنهان‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: تاقدیس نسار زاگرس شمال غربی)»، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ش ۷۹، صص ۷۷-۹۰، ۱۳۹۱.
- مقیمی، ابراهیم و سعید نگهبان، «بررسی فرسایش در حوضه آبخیز رودخانه سور فدامی (استان فارس) با استفاده از مدل آنتروپی»، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، س ۴۴، ش ۳، صص ۱-۱۶، ۱۳۹۱.
- ملکی‌پور، موسی، تحولات ژئومورفولوژی در منطقه دهلران (کوه سیاهکوه) با تأکید بر نقش تکتونیک و مورفولوژی آن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۸۲.
- وارثی، حمیدرضا، عباس رجایی جزین و محمد قنبری، «تحلیلی بر عوامل خوش شهری و رشد فیزیکی شهر گناباد با استفاده از مدل‌های آنتروپی و هلدرن»، آمایش سرزمین، س ۴، ش ۶، صص ۷۹-۱۰۰، بهار و تابستان ۱۳۹۱.
- Aghanabati, A., *Iran Geology*, Tehran: Geological Survey of Iran publications, 2004. [In Persian]
- Amig, J.M. & M.B. Kennel, "Topological Permutation Entropy", *Physical D: Nonlinear Phenomena*, Vol. 231, Pp. 137-142, 2007, Doi: 10.1016/j.physd.2007.04.010.
- Armed Force Geography Organization, Topographical Maps 1:50 000, Abdanan, Mormory and Dehloran Sheets, 2001.
- Asgharpour, M.J., *Multiple Criteria Decision Makings*, Tehran: Tehran University Publications, 2006. [In Persian]
- Bagherian, R., M. Godarzi & J. Ghayoumian, "A Study on Socioeconomic Damages of landslides (Case Study: Imamzadeh Ali and Barikan Landslides)", *Journal of Water and Watershed*, No. 2, Pp. 68- 76, 2005. [In Persian]



- Bednarik, M. Et al., "Landslide Susceptibility Assessment of the Kral'ovany-Liptovsky Mikulaš Railway Case Study", *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 35, Pp. 162- 171, 2010, Doi: 10.1016/j.pce.2009.12.002.
- Darvishzadeh, A., *Iran Geology (Stratigraphy, Techtonic, Metamorphism, Magmatism)*, Tehran: Amirkabir, 2004. [In Persian]
- Ebrahimzadeh, I. & G. Rafiee, "Analysis of Marvdasht City Body Development Pattern Using Shannon Entropy and Helden Models and Offering a Suitable Development Pattern of City in the Future", *Human Geography Research*, No 69, Pp. 123- 138, 2009. [In Persian]
- Erkat, J., M. Babakhani & S.B. Ebrahimi, "Applying Simulated Annealing for Trip Distribution Entropy Model (Case Study)", *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*, Vo. 20, No. 1, Pp. 16 -21, 2009. [In Persian]
- Geological Survey of Iran, Geological Maps 1:100 000, Dehloran and Dalpari Sheets, 2000.
- Ghanavati, E., "Landslide Hazard Zonation in the Basin Jajrud Using AHP Method", *Application of Geographic Science Journal*, Vol. 17, No. 20, Pp. 51- 68, 2011. [In Persian]
- Hajalibeygi, H. Et al., "Geometric Analysis of Active Fault-Related Buried Folding of Balaroud (Case Study: Syahkooh Anticline, Southwest of Iran)", *Iranian Journal of Geology*, Vol. 6, No. 21, Pp. 25- 39, 2012. [In Persian]
- Kumar Dahal, R., "Predictive Modeling of Rainfall-Induced Landslide Hazard in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights-of-evidence", *Geomorphology*, Vol. 102, Pp. 496- 510, 2008, Doi. 10.1016/j.geomorph.2008.05.041.
- Malekipour, M., *Geomorphological Changes in Dehloran Area (Syahkooh) with Emphasis on Its Morphological and Techtonical Roles*, Master Thesis, Geography Faculty, Tehran University, 2003. [In Persian]

- Masoumi, F. & R. Karachian, "Groundwater Quality Monitoring Stations Used to Optimize the Location of Entropy", *Water and Wastewater Journal*, No. 19, Pp. 2- 12, 1999. [In Persian]
- Moghimi, E., S. Bagheri & T. Safarrad, "Landslide Hazard Zonation Using Entropy Model (Case Study: Zagros Anticlines Nsar NW)", *Physical Geography Research (Geographical Research)*, No. 79, Pp. 77- 90, 2012. [In Persian]
- Moghimi, E. & S. Negahban, "Evaluation of Erosion Shorfdamy River Basin (Province) Model Using Entropy", *Physical Geography Research (Geographical Research)*, Vol. 44, No. 3, Pp. 1- 16, 2012. [In Persian]
- Mosafaei, J. & M. Onagh, "GIS is an Effective Tool in Determining Landslide Risk Management Policies and Programs", *Gorgan Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, Vol. 16, No. 71, Pp. 303- 314, 2009. [In Persian]
- Nikandish, N. & R. Mir Saneie, "Landslide Hazard Management" in *The 2^{en} Conference on Landslide*, Tehran: International Institute of Earthquake Engineering, Pp. 207- 222, 1997.
- Paulov, J., "The Zone-Size-Dependent Entropy Formula and Spatial Interaction Modeling" in *A Note on Some Implications, Environment and Planning*, Pp. 557- 570, 1991, Doi: 10.1068/a230557.
- Sakar, S., D.P. Kanungo & G.S. Mehrotra, "Landslide Hazard Zonation: A Case Study in Garhwal Himalaya, India", *Mountain Research and Development*, Vol. 15, No. 4, Pp. 301- 309, 1995.
- Tomlin, S.G., "A Kinetic Theory of Urban Dynamics", *Environment and Planning*, Pp. 97- 106, 1979, Doi: 10.1008/a110097.
- Varesi, H.R., A. Rajaeijazin & M. Ghanbari, "Analysis of the Physical Growth of Urban Creep Ghonabad Using Entropy and Heldern Models", *Journal of Land Use Planning*, Vol. 4, No. 6, Pp. 79- 100, 2012. [In Persian]



...

ارزیابی ظئومورفولوژیکی پتانسیل زمینلغزش ...

- Wan, S., "A Spatial Decision Support System for Extracting the Core Factors and Thresholds for Landslide Susceptibility Map", *Engineering Geology*, Vol. 108, Pp. 237- 251, 2009, Doi: 10.1016/j.enggeo.2009.06.014.
- Zongji, Y. Et al., "Regional Landslide Zonation Based on Entropy Method in Three Gorges Area, China", *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, *Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 1336- 1339, 2010, Doi:10.1109/FSKD.2010.5569097.