

ارزیابی ژئومورفولوژیکی پتانسیل زمین لغزش تاقدیس سیاه کوه، غرب ایران

مجتبی یمانی^{1*}، ابوالقاسم گورابی²، پریسا پیرانی³، فاطمه مرادی پور⁴، 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: 92/9/13 پذیرش: 93/2/15

چکیده

وقوع زمین لغزش و تحمیل خسارت جانی و مالی فراوان، شناسایی و اولویت بندی مناطق حساس و تدوین برنامه های خاص مکانی جهت کاهش وقوع و خسارت های آن در نواحی مستعد را ضرورت بخشیده است. تاقدیس سیاه کوه یکی از مناطقی است که آثار زمین لغزش های متعدد در قسمت های مختلف آن مشاهده شده است. در این پژوهش، پس از بررسی تصاویر ماهواره ای، نقشه زمین شناسی و مطالعات میدانی، عوامل مؤثر با استفاده از مدل آنتروپی بررسی شده اند؛ سپس ماتریس آنتروپی و نقشه پهنه بندی زمین لغزش در محیط نرم افزار Arc GIS 10 تهیه شده؛ سرانجام راه کاری جهت کاهش خسارت های آن با توجه به شرایط منطقه ارائه شده است. نتایج نشان می دهد فاصله از گسل 46/06 درصد، ارتفاع 28/26 درصد، شیب 17/54 درصد، لیتولوژی 7/14 درصد و جهت شیب 1 درصد در وقوع زمین لغزش های منطقه اثر گذار بوده اند. نقشه پهنه بندی گویای آن است که پهنه های کم خطر فقط 21/76 درصد از منطقه را در برمی گیرند و 78/23 درصد از منطقه در پهنه ای با خطر متوسط و بالا قرار دارد که از پتانسیل بالای منطقه در رخداد زمین لغزش خبر می دهد. ساخت و ساز با فاصله از گسل و سازند آسماری پرشیب، ایمنی سازی مسیرهای ارتباطی و کنترل اقدامات حفاری و خاک برداری در سازند آسماری، مهم ترین اقدامات برای کاهش خسارت های حرکات دامنه ای در تاقدیس سیاه کوه هستند.

واژه های کلیدی: ژئومورفولوژی، آنتروپی، زمین لغزش، تاقدیس سیاه کوه، حرکات دامنه ای.



1- مقدمه

حرکات توده‌ای از نوع زمین لغزش‌ها روی دامنه‌ها شکلی از فرایندهای دامنه‌ای و نوعی از مخاطرات طبیعی هستند که هر ساله در نقاط مختلف جهان خسارت‌های جانی، مالی و زیست محیطی زیادی به بار می‌آورند. به گزارش کمیته بلایای طبیعی ایران، طی برنامه پنج‌ساله اول، خسارت‌های ناشی از بلایای طبیعی در کشور بالغ بر 1/6 میلیارد دلار برآورد شده که بخش اعظم آن مربوط به خسارت‌های زمین لغزش است (Bagherian, Goudarzi & Ghayoumian, 2005: 69). با بررسی اقدام‌های مدیریتی انجام‌شده درباره زمین لغزش‌های ایران و سایر کشورهای توسعه‌یافته به این نتیجه دست یافتند که اساس برنامه‌های مدیریت خطر زمین لغزش در ایران را روش‌های درمانی (مکانیکی) و در کشورهایی مانند آمریکا و ژاپن بیشتر شیوه‌های پیش‌گیری (قوانین 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 به‌شمار می‌رود و در مدیریت حوضه آب‌خیز نقش انکارنشدنی دارد (Sakar, Kanungo & Mehrotar, 1995: 302). تهیه نقشه وقوع خطر زمین لغزش ابزاری اساسی برای فعالیت‌های مدیریت بحران در نواحی کوهستانی است (Kumar Dahal, 2008: 210). پهنه‌بندی خطر به‌روش‌های گوناگونی صورت می‌گیرد. یکی از این روش‌ها مدل آنتروپی¹ است که نخستین بار ویلسون (1967 و 1970) آن را مطرح کرد و سپس سنپور (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 سنپور 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

پولر¹ (1994) (ارکات، باباخانی و ابراهیمی، 1388: 16). آمیگ و کنل² (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. وان³ (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 روی‌کرد مهمی برای تهیه نقشه خطرپذیری زمین‌لغزش است. بدنریک⁴ و همکاران (2010) با استفاده از توزیع دو متغیره 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 پهنه‌بندی خطر منطقه را طراحی کردند. زونگجی⁵ و همکاران (2010) در پژوهشی، با مدل آنتروپی به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در گورجس چین پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد این مدل کاربرد زیادی به‌عنوان 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 فدामी، 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، خزش 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. Zongji

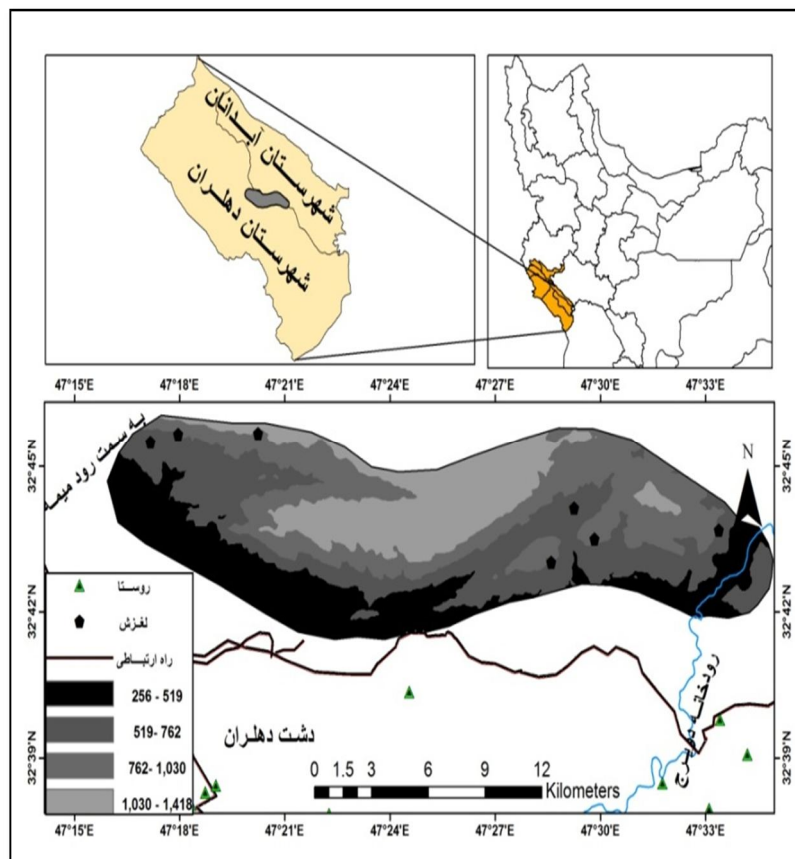


پژوهش‌های متعددی در موضوعات مختلف با استفاده از مدل آنتروپی در سطح کشور انجام شده است؛ با این حال در زمینه ژئومورفولوژی و به ویژه زمین لغزش همسو با هدف این پژوهش، فقط مقیمی و همکاران (1391) به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی در تاکدیس نسا پر داخته، منطقه مورد نظر را جزء مناطق پرخطر طبقه‌بندی کرده و برای مقابله علمی با این پدیده، راه‌کارهای مدیریتی نشان داده‌اند.

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

2- منطقهٔ مورد مطالعه

سیاه‌کوه تاقدیسی به‌نسبت طویل در چهار کیلومتری شمال شرق دهلران و از تاقدیس‌های شمال منطقهٔ فروافتادگی دزفول و جنوب منطقهٔ لرستان است که در کمربند چین‌خورده - رانده‌شده¹ زاگرس قرار دارد (حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، 1391: 26). مرز غربی و شرقی آن را رودخانهٔ دویرج و میمه تشکیل می‌دهد. مرتفع‌ترین نقطهٔ کوه 1450 متر ارتفاع و پست‌ترین نقطه در دامنه‌های مشرف به دشت دهلران است که 300 متر ارتفاع دارد (ملکی‌پور، 1382: 2) (شکل 1).



شکل 1 موقعیت تاقدیس سیاه‌کوه در استان ایلام

1. Zagros fold-thrust belt



3- زمین شناسی و ژئومورفولوژی منطقه

تاقدیس سیاه کوه در حاشیه گسل جبهه کوهستان قرار دارد. این گسل به عنوان یک جبهه ریختاری کمربند چین خورده - راندگی، زاگرس را به چندین منطقه شامل ایذه، فارس، لرستان و فروافتادگی دزفول تقسیم می کند. این تاقدیس سینوسی شکل است و محور آن یک خمیدگی به سمت جنوب دارد. خمیدگی در انتهای باختری این تاقدیس ملایم است؛ اما خمیدگی انتهای خاوری شدید و با شکستگی متعددی همراه است. شکل کلی تاقدیس سیاه کوه به صورت یک نوار باریک پیچ و تاب خورده یا مارپیچی است. بنابراین، روند محور این تاقدیس متغیر است. یال جنوب باختری تاقدیس به مراتب پرشیب تر از یال شمال خاوری آن است و تاقدیس از نوع نامتقارن است. این تاقدیس یک چین از دو سو مایل است (حاجی علی بیگی و همکاران، 1391: 26-30). عوارض ژئومورفولوژیکی عمده در پهنه این تاقدیس شامل تیغه ها و دره های پرشیب بین آنها، تپه های فرسایشی پرشیب، مخروط افکنه و ... است. در قسمت جنوب شرقی با کاهش شیب و سستی سازندها، مخروط افکنه ها گسترش یافته است. در قسمت های دیگر تاقدیس اغلب، غلبه با تیغه های فرسایشی ساختمانی است که خط القعرهای طولی و عرضی آنها را قطع کرده است. زمین لغزش های دامنه غربی در قسمت داخلی تیغه ها و زمین لغزش های دامنه شرقی در سطح بیرونی تیغه ها رخ داده اند. مقایسه نقشه محل لغزش های رخ داده و نقشه ژئومورفولوژی که در بردارنده سازندها، محل گسل ها و عوارض پرشیب و کم شیب منطقه است، این مسئله را به روشنی نمایان می کند (شکل 2).

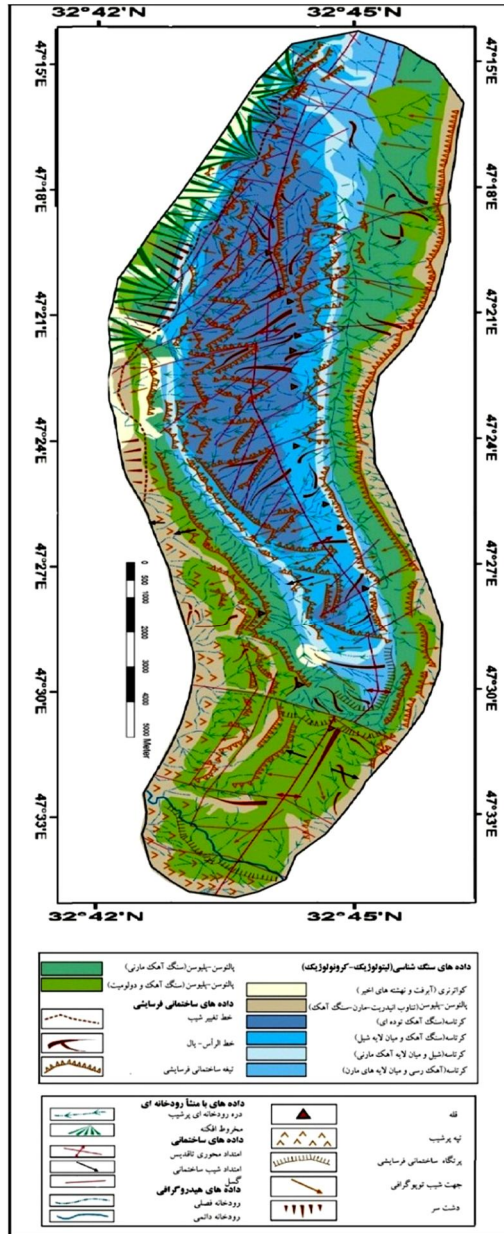
نهبته های رسوبی و واحدهای سنگ شناسی آن به ترتیب از قدیم به جدید عبارت اند از: سازندهای گرو، سروک، ایلام، گورپی، پابده، آسماری، گچساران (درویش زاده، 1383: 308) و رسوبات جوان کواترنر. قدیم ترین آنها سازند گرو است که در سطح رخنمون ندارد و روی آن گروه بنگستان قرار گرفته که به ترتیب شامل سازندهای سروک - که قدیم ترین سازند این گروه است و در هسته تاقدیس رخنمون دارد - سورگاه و ایلام است. سازند گورپی بخش هایی از سازندهای پابده - گورپی و سازند پابده سازندهای بعدی به شمار می آیند 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 (حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، 1391: 26). نهشته‌های کواترنری در برخی نقاط به‌ویژه در یال جنوبی به صورت پادگانه‌ها و مخروط‌های آب‌رفتی گسترش دارند. اکثر گسل‌های منطقه از نوع گسل‌های عادی هستند. از 45 گسل منطقه، 15 گسل روی پهلوی تاق‌دیس و 30 شکستگی دیگر روی محور رأس تاق‌دیس دیده می‌شوند و می‌توان گفت اکثر گسل‌ها در زمان چین‌خوردگی در دوره میوسن شکل گرفته‌اند و فعالیت آن‌ها ادامه دارد (ملکی‌پور، 1382: 69) (جدول 1).

جدول 1 مساحت و لیتولوژی سازندهای برون‌دیافته در منطقه مطالعاتی

سازند	مساحت/ km^2	درصد مساحت	لیتولوژی
رسوبات اخیر (Q_t)	6	3/51	آب‌رفت‌های درشت‌دانه لومی و رسی و ماسه‌ای
گچساران (M_{gs})	22/34	13/08	انیدریت - مارن، آهک، نمک و شیل بیتومین‌دار
آسماری (OM_{as})	35/7	20/89	سنگ آهک کرم تا قهوه‌ای با میان‌لایه‌های شیل
گورپی (K_{gp})	6	3/51	شیل و تاحدودی لایه‌های نازک آهک رسی
پابده - گورپی (Pd-Gu)	32	18/73	شیل و شیل - مارن با لایه‌های نازک آهک رسی
ایلام (K_{il})	19/8	11/59	آهک رسی ریزدانه با لایه‌های نازک شیل سیاه
سروک (K_{sr})	33	19/32	آهک ضخیم تا نازک‌لایه تیره با تناوب شیل

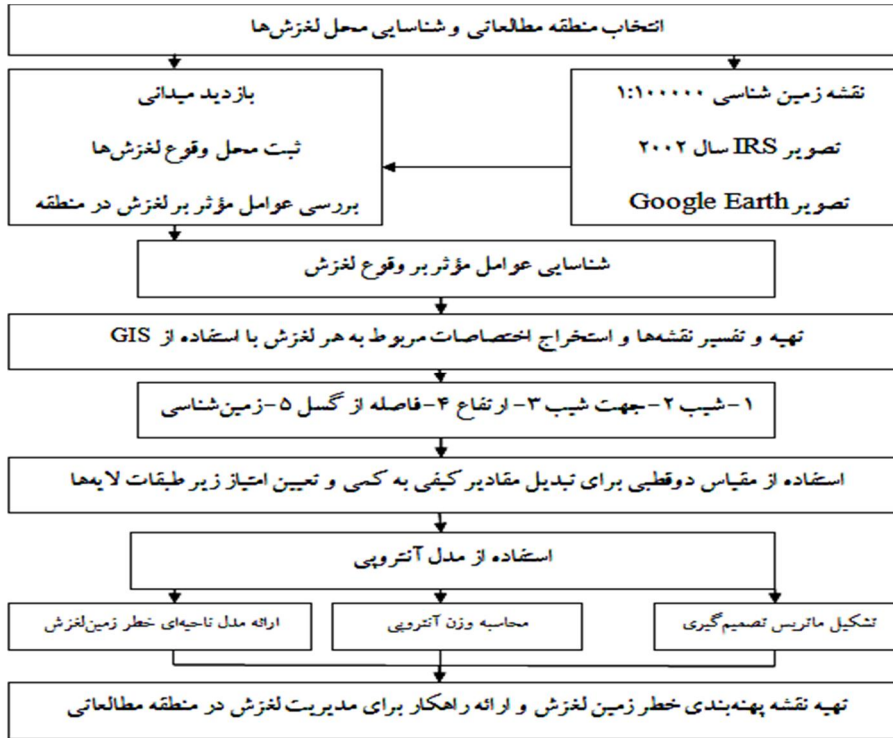
(منبع: آقاباتی، 1383: 406 - 326)



شکل 2 نقشه ژئومورفولوژی تاقدیس سیاه کوه (منبع: نگارندگان)

4- مواد و روش‌ها

این پژوهش به لحاظ هدف، کاربردی و به لحاظ روش، تحلیلی است. نخست مناطقی که زمین لغزش در آن‌ها رخ داده بود، شناسایی شدند؛ سپس هفت منطقه شناسایی شده کنترل و محل آن‌ها ثبت شد. در مرحله بعد، با توجه به شرایط منطقه مطالعاتی پنج عامل اثرگذار ارتفاع، شیب، فاصله از گسل، زمین‌شناسی و جهت شیب که در وقوع زمین لغزش‌های منطقه مؤثر بودند و در بین تمام زمین لغزش‌های مورد بررسی مشترک بودند، در محیط نرم افزار 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 همه زمین لغزش‌ها، ابتدا با توجه به اختصاصات لغزش‌های رخ داده به طبقات هر لایه امتیازی داده شد که بیانگر اهمیت آن است (جدول 2)؛ سپس لایه‌های اطلاعاتی (ارتفاع، شیب، فاصله از گسل، زمین‌شناسی و جهت شیب) تهیه شده، به صورت رستر درآمده و سرانجام امتیازدهی شدند (شکل 4) و به عنوان داده‌های اصلی در تشکیل ماتریس آنتروپی مورد استفاده قرار گرفتند (جدول 3). 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. نقطه وسط نیز نقطه شکست مقیاس بین مساعدها و نامساعدهاست (اصغرپور، 1385: 193). فرایند روش پژوهش به‌طور 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 (مقیم و نگهبان، 1391: 2). شاخص 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 Hi به عنوان ضریب وقوع خطر زمین لغزش به دست می‌آید (مقیم، باقری سیدلشکری و صفرزاده، 1391: 81). در این روش، محتوای اطلاعاتی موجود ماتریس تصمیم‌گیری ابتدا از رابطه یک محاسبه می‌شود:

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

و سپس مقدار E_j که ارزش آنتروپی است، از تابع زیر (رابطه 2) تعیین می‌شود:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad \text{رابطه 2}$$

K یک ضریب ثابت است که از رابطه 3 به دست می‌آید (در این رابطه m تعداد زمین‌لغزش‌هاست):

$$k = (\ln m)^{-1} \quad \text{رابطه 3}$$

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 (اصغریور، 1385: 197):

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{i=1}^n d_j} \quad \text{رابطه 4}$$

پس از محاسبه وزن کل (W_j) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از رابطه 5 ارزیابی می‌شود:

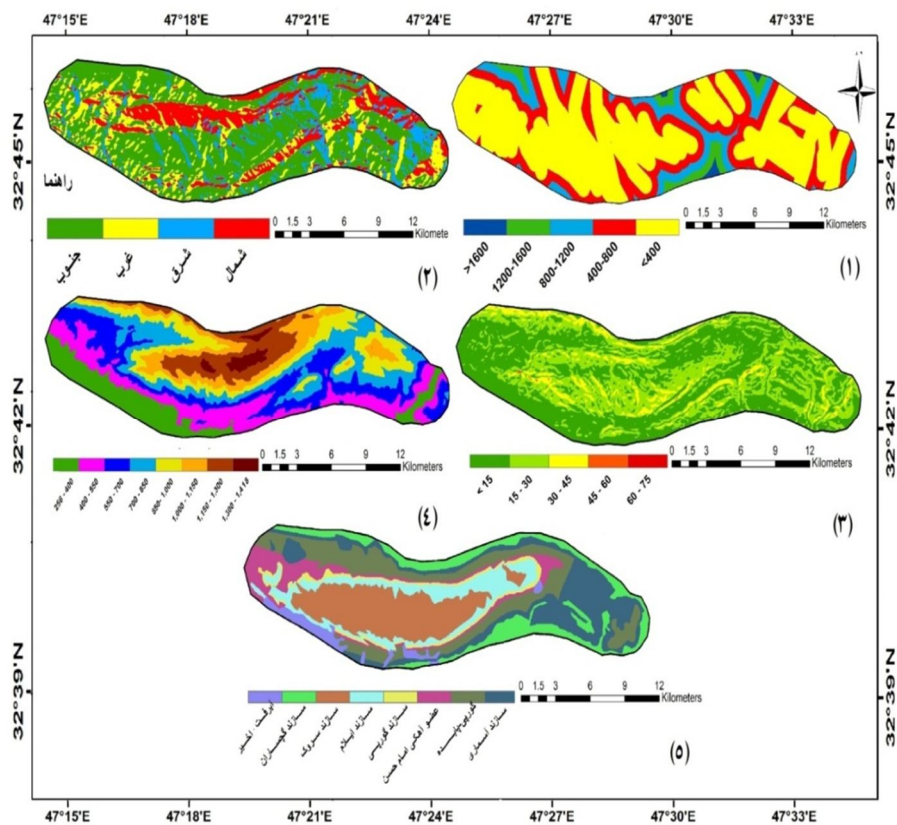
$$H_i = \sum_{j=1}^m X_{ij} \quad \text{رابطه 5}$$

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 ناحیه‌ای 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 4) و امتیازدهی شده‌اند؛ به این ترتیب که برحسب اهمیت هر کدام در وقوع یا تشدید لغزش، امتیازی بین 1 تا 9 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 1 تا 9 امتیازدهی شده‌اند؛ به این صورت که با افزایش نقش عامل مورد نظر در وقوع لغزش، امتیاز بالاتری به آن اختصاص داده شده و درنهایت، به‌عنوان داده‌های اصلی در تشکیل ماتریس آنتروپی به‌کار رفته‌اند (جدول 3).



شکل 4 لایه‌های اطلاعاتی: 1. فاصله از گسل، 2. جهت شیب، 3. شیب، 4. ارتفاع، 5. لیتولوژی

جدول 2 امتیاز اختصاص یافته به عوامل مؤثر در زمین لغزش

لیتولوژی	امتیاز	طبقات ارتفاعی	امتیاز	جهت شیب	امتیاز	شیب	امتیاز	فاصله از گسل	امتیاز
آبرفت و رسوبات اخیر (Q _t)	1	200-400	6	شمال	7	0-15	3	0-400	5
گچساران (M _{gs})	2	400-550	7	شرق	6	15-30	5	400-800	4
آسماری (OM _{as})	9	550-700	8	جنوب	5	30-45	7	800-1200	3
گورپی (K _{gu})	5	700-850	9	غرب	4	45-60	8	1200-1600	2
پابده - گورپی (Pd-Gu)	7	850-1000	5			60-75	9	>1600	1
آهک امام حسن (Ehm)	6	1000-1150	4						
ایلام (K _{il})	5	1150-1300	4						
سروک (K _{st})	4	1300-1418	3						

جدول 3 ماتریس آنتروپی عوامل مؤثر در زمین لغزش

شماره زمین لغزش	لیتولوژی	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	گورپی	706	جنوب	13	880



جدول 4 ماتریس آنتروپی کمی شده عوامل مؤثر در زمین لغزش (Xij)

شماره زمین لغزش	لیتولوژی	ارتفاع	جهت شیب	شیب	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 شاخص های محاسبه شده برای عوامل مؤثر در زمین لغزش

شاخص های محاسبه شده	لیتولوژی	ارتفاع	جهت شیب	شیب	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 می شود. در این رابطه، E از توزیع احتمال p_i براساس سازگار 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

زمین لغزش (W_j) که شامل لیتولوژی: 0/07، ارتفاع: 0/28، جهت شیب: 0/01، شیب: 0/17 و فاصله از گسل: 0/46 است، حاصل شده است. در نهایت، مدل ناحیه‌ای خطر زمین لغزش در تاقدیس سیاه‌کوه با رابطه پنج به صورت زیر به دست آمده است:

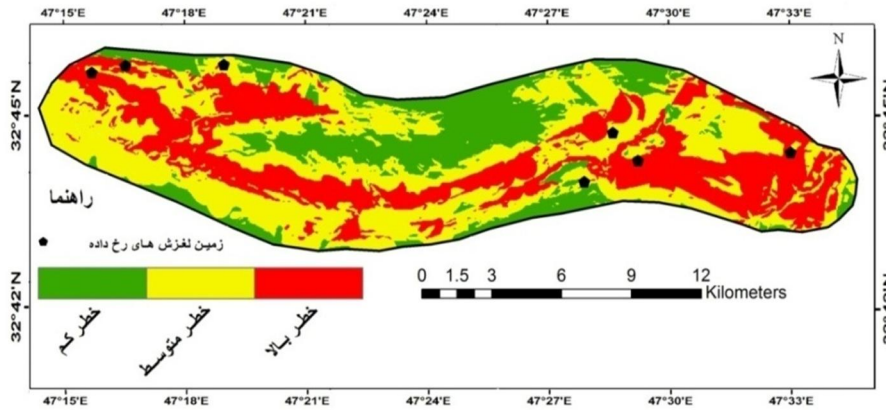
$$H = (L \times 0/0714) + (E \times 0/2825) + (A \times 0/0100) + (S \times 0/1753) + (Df \times 0/4605)$$

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 آنتروپی که برای وزن‌دهی به کار رفته است، میزان تأثیر عوامل پنج‌گانه مؤثر در زمین لغزش 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 زمین لغزش‌های منطقه اثرگذار بوده است (جدول 6). درصد تأثیر پایین برای سازند و جهت شیب به سبب امتیازات برابر اکثر زمین لغزش‌ها در این دو پارامتر است؛ یعنی بیشتر زمین لغزش‌ها در یک نوع سازند و در یک جهت شیب مشابه واقع شده‌اند.

جدول 6 میزان تأثیر عوامل مؤثر در زمین لغزش‌های تاقدیس سیاه‌کوه

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

در ادامه، با استفاده از وزن به دست آمده نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تاقدیس سیاه‌کوه (شکل 5) تهیه شده است. با قرار دادن موقعیت زمین لغزش‌ها روی نقشه پهنه‌بندی، مشخص شد که از هفت زمین لغزش رخ داده در تاقدیس سیاه‌کوه، چهار زمین لغزش در پهنه خطر بالا و سه زمین لغزش در پهنه خطر متوسط قرار گرفته‌اند.



شکل 5 پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در تاقدیس سیاه کوه

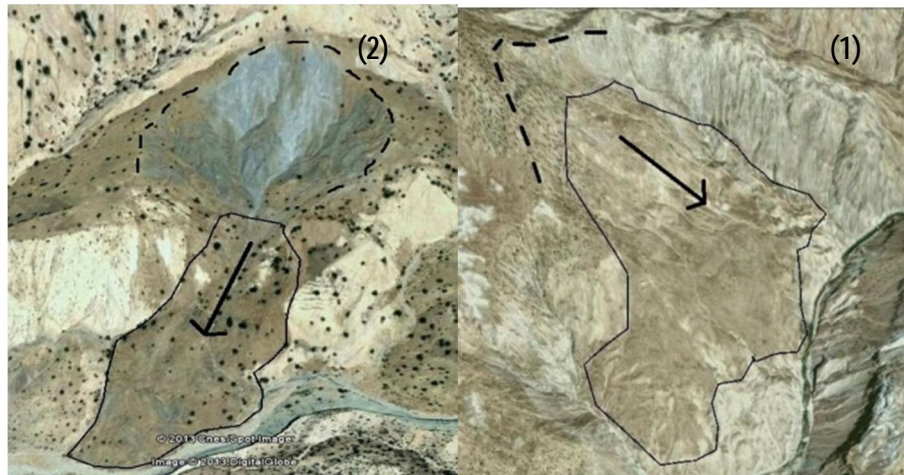
جدول 7 مساحت و درصد پهنه‌های خطر زمین لغزش تاقدیس سیاه کوه

پهنه‌ها	مساحت (Km ²)	درصد مساحت	تعداد زمین لغزش	درصد زمین لغزش
کم خطر	37	21/76	0	0
خطر متوسط	78	45/88	3	42/86
پرخطر	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 زمین لغزش است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی (شکل 4) و لایه‌های اطلاعاتی (شکل 3) آشکار می‌شود که منطقه پرخطر

شیب‌های 35 تا 45 درجه را داراست که ارتفاعی بین 500 تا 900 متر دارد و در فاصله کمتر از 400 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 شیبی بین 15 تا 35 درجه دارند و در سطوح ارتفاعی 850 تا 1000 متر و نیز 400 تا 550 متر واقع شده‌اند. این مناطق در فاصله کمتر از 400 تا حدود 600 متر از گسل‌ها قرار دارند و به‌لحاظ لیتولوژی، بیشتر منطبق بر سازندهای سروک و ایلام هستند و شیب‌های شمالی و غربی تاقدیس را شامل می‌شوند. پهنه کم‌خطر شیبی کمتر از 15 درجه و فاصله‌ای بیش از 800 متر از گسل‌ها دارد و دارای ارتفاعی کمتر از 500 متر و بالاتر از 1150 متر است. این پهنه از نظر لیتولوژی، بیشتر منطبق بر سازند گچساران و آبرفت‌های کواترنری است.

در مجموع، مساحت توده‌هایی که در هفت زمین‌لغزش بررسی شده جابه‌جا شده‌اند، 7/92 کیلومتر مربع است. بزرگ‌ترین این توده‌های لغزشی در قسمت‌های جنوبی و شرقی تاقدیس قرار دارند و به‌ترتیب دارای 1/93 و 1/79 کیلومتر مربع مساحت هستند و در سازند آسماری واقع شده‌اند. مساحت توده لغزشی که در سازند گورپی روی داده، حدود 90 هزار متر مربع است و کمترین مساحت را بین توده‌های لغزشی داراست (شکل 5). 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، هوازگی و عوامل تکتونیکی، یک‌پارچه سقوط کرده‌اند و البته، تکان‌های ناشی از زلزله را که تعادل ضعیف قطعات متلاشی‌شده قبلی را برهم‌زده و ریزش‌های شدیدی ایجاد کرده است، نمی‌توان کم‌اثر دانست (ملکی‌پور، 1382: 85).



شکل 6 توده‌های لغزش یافته 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 رخ داده، 7/92 مواد جابه‌جا 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 زمره منطقه کم خطر قرار گرفته است که در دامنه شمالی تاقدیس وسعت بیشتری دارد و به‌طور پراکنده در قسمت‌های جنوبی و شرقی تاقدیس مشاهده می‌شود. این منطقه در ارتفاع پایین منطبق بر سازندهای گچساران و آبرفت‌های کواترنری است که به‌سبب شیب کم و دوری از گسل‌ها، و در ارتفاعات بالاتر به‌سبب سختی سازند و شیب کمتر از 15 درجه، خطر بروز زمین لغزش در آن کم است. بررسی محل زمین لغزش‌های برداشت‌شده نشان می‌دهد هیچ‌یک از نقاط در این پهنه قرار نگرفته است که خود، تناسب مدل را برای بررسی چنین موضوعاتی نشان می‌دهد (جدول 7). 78 کیلومترمربع (معادل 45/88 درصد از محدوده مطالعه) پهنه خطر متوسط را تشکیل می‌دهد که مانند نواری ممتد دورتادور تاقدیس به موازات منطقه پرخطر کشیده شده و وسعت آن در قسمت‌های جنوب غربی و دامنه جنوبی تاقدیس بیشتر است. پهنه خطر متوسط شیبی بین 15 تا 35 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 زمین لغزش‌های بررسی شده، سه زمین لغزش (یعنی 42/86 درصد) در این پهنه قرار گرفته است. 55 کیلومتر مربع (معادل 32/35 درصد از منطقه) در پهنه پرخطر طبقه‌بندی می‌شود که چهار زمین لغزش (یعنی 57/14 درصد زمین لغزش‌های 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، روستاها و 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 زمین لغزش‌های 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 ساخت‌وساز در فاصله نزدیک به گسل‌ها و مناطق دارای سازند آسماری با شیب‌های تند- که پهنه پرخطر و خطر متوسط است - و به کار بردن عملیات ایمنی‌سازی برای مسیرهای ارتباطی - که از چنین محدوده‌هایی عبور داده شده‌اند - اقداماتی اساسی برای کاهش خطرهای جانی و مالی زمین لغزش 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 زمین لغزش 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 69، صص 123-138، 1388.
- ارکات، جمال، مسعود باباخانی و سیدبابک ابراهیمی، «به‌کارگیری بازپخت شبیه‌سازی‌شده در مدل آنتروپی توزیع سفر (مطالعه موردی)»، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ج 20، ش 1، صص 16-21، 1388.
- اصغری‌پور، محمدجواد، تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، 1385.
- آقاناتی، علی، زمین‌شناسی ایران، تهران: انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، 1383.
- حاجی‌علی‌بیگی، حسین و دیگران، «تحلیل هندسی چین‌خوردگی مرتبط با گسلش مدفون فعال بالارود، مطالعه موردی: تاقدیس سیاه‌کوه، جنوب باختر ایران»، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، س 6، ش 21، صص 25-39، 1391.
- درویش‌زاده، علی، زمین‌شناسی ایران (چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی، ماگماتیسزم)، تهران: امیرکبیر، 1383.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی 1:50000 برگه‌های دهلران، آبدانان، مورموری، 1380.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، نقشه‌های زمین‌شناسی 1:100000 برگه‌های دهلران و دال‌پری، 1379.
- قنواتی، عزت‌اله، «پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه جاجرود با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی»، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ج 17، ش 20، صص 51-68، 1390.
- مصفايي، جمال و مجید اونق، «GIS ابزاری کارآمد در تعیین سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریت خطر زمین‌لغزش»، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ج 16، ش 71، صص 303-314، 1388.

- معصومی، فریبرز و رضا کراچیان، «بهبودسازی مکان‌یابی ایستگاه‌های پایش کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از تئوری آنتروپی»، مجله آب و فاضلاب، ش 19، صص 2-12، 1387.
- مقیمی، ابراهیم، سجاد باقری سیدلشکری و طاهر صفرزاد، «بهبودبندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: تاقدیس نثار زاگرس شمال غربی)»، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ش 79، صص 77-90، 1391.
- مقیمی، ابراهیم و سعید نگهبان، «بررسی فرسایش در حوضه آبخیز رودخانه شور فدामी (استان فارس) با استفاده از مدل آنتروپی»، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، س 44، ش 3، صص 1-16، 1391.
- ملکی‌پور، موسی، تحولات ژئومورفولوژی در منطقه دهلران (کوه سیاه‌کوه) با تأکید بر نقش تکتونیک و مورفولوژی آن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، 1382.
- وارثی، حمیدرضا، عباس رجایی جزین و محمد قنبری، «تحلیلی بر عوامل خزش شهری و رشد فیزیکی شهر گناباد با استفاده از مدل‌های آنتروپی و هلدرن»، آمایش سرزمین، س 4، ش 6، صص 79-100، بهار و تابستان 1391.
- 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 Heldren 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]
- Hajjalibeygi, 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 2nd 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. Mehrotar, "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 Helder Models", *Journal of Land Use Planning*, Vol. 4, No. 6, Pp. 79- 100, 2012. [In Persian]

- 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.