Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.11, Issue 33, Autumn 2022

Landslide hazard zoning using GIS-based methods and radar data (Case study: Fereydoon Shahr)

Mozhgan Entezari[1*], Mousa Kordavani[2]

1. *Corresponding Author*, Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography Sciences and Planning, University of Isfahan, Iran.
2. Ph.D. Candidate in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography Sciences and Planning, University of Isfahan, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 24 May 2021
Revised: 18 May 2022
Accepted: 18 June 2022

Keywords:
Landslide, hazard zonation, radar images, remote sensing, Fereydoon Shahr.

ABSTRACT

Using different methods in landslide risk zoning and achieving the best results can lead to planning and managing potential hazards. The main objective of this study is to assess and determine the potential risk of landslide in Fereydoon Shahr city, west of Isfahan province, to provide a general framework for analyzing the probable landslide hazard in the study area. In this study, the accuracy of statistical and expert analysis (GIS-based) methods was analyzed using the Sentinel-1 radar interferometry method. This analysis leads to the presentation of the landslide hazard zoning map, susceptible areas, and determination of the factors affecting the landslide occurrence. Initially, for risk assessment and zonation, the causative factors including slope, elevation, gradient direction, curvature, distance to fault, distance to waterway, lithology, and vegetation were studied. And statistical correlation was created between each of the causative factors and past landslides in the GIS environment to assess the relative share of classes related to each factor. In the expert analysis method, the study area was analyzed based on expert opinion based on studies conducted on 70 landslides. The results, in addition to the Fereydoon Shahr sensitive and hazardous area map, showed about 67% overlap of very-high and high-risk areas in the risk zoning maps with pixels from the surface displacement map obtained from Sentinel radar images with the highest displacement. Which can indicate the possibility of landslides or landslide risk in these areas. Therefore, the use of radar images and the study of changes in land displacement can be a useful tool in monitoring and accuracy of the landslide risk zoning methods for planning in sensitive areas.

Cite this article: Entezari, M., & Kordavani, M. (2022). Landslide hazard zoning using GIS-based methods and radar data (Case study: Fereydoon Shahr). Journal of Natural Environmental Hazards, 11(33), 177-196.
DOI: 10.22111/jneh.2022.38660.1810

© Mozhgan Entezari
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2022.38660.1810

* Corresponding Author Email: M.entezari@geo.ui.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۴۳۷۷-۲۶۷۶ شاپا الکترونیکی: ۴۳۸۵-۲۶۷۶
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره یازدهم، شماره ۳۳، پاییز ۱۴۰۱

پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های مبتنی بر GIS و داده‌های راداری (مطالعه موردی: فریدون شهر)

مژگان انتظاری[1*]، موسی کردوانی[2]

۱. دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول)
۲. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۳

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۸

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۱/۰۳/۲۸

واژه‌های کلیدی:
زمین لغزش، پهنه‌بندی خطر، تصاویر راداری، سنجش از دور، فریدون شهر.

چکیده

استفاده از روش های مختلف در پهنه بندی خطر زمین لغزش و دستیابی به بهترین نتیجه می تواند منجر به برنامه ریزی و مدیریت خطرات احتمالی شود. هدف اصلی از مطالعه حاضر، انجام ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهرستان فریدون شهر واقع در غرب استان اصفهان به منظور ایجاد یک چهارچوب کلی برای تجزیه و تحلیل خطر زمین لغزش احتمالی در منطقه مطالعاتی می‌باشد. در این مطالعه اعتبارسنجی روشهای آماری و تحلیل کارشناسی بر پایه GIS با استفاده از روش تداخل سنجی تصاویر راداری سنتینل ۱ مورد تحلیل قرار گرفته است. این تحلیل منجر به ارائه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش، مناطق مستعد و تعیین عوامل منطقه‌ای مؤثر در وقوع زمین لغزش می‌شود. در ابتدا برای ارزیابی خطر و پهنه بندی، عوامل مسبب از جمله شیب، ارتفاع، جهت شیب، انحنا، فاصله تا گسل، فاصله تا آبراهه، لیتولوژی و پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت و همبستگی آماری بین هر یک از عوامل مسبب و لغزش‌های گذشته در محیط GIS ایجاد شد تا سهم نسبی طبقه‌های مربوط به هر عامل ارزیابی شود. در روش تحلیل کارشناسی نیز منطقه مطالعاتی بر اساس نظر کارشناسی مبتنی بر مطالعات انجام شده بر روی ۷۰ زمین لغزش، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج، علاوه بر نقشه مناطق حساس و پرخطر منطقه فریدون شهر، همپوشانی ۶۷ درصد از سلول‌های مناطق با خطر خیلی زیاد و زیاد در نقشه‌های پهنه بندی خطر با سلول‌هایی از نقشه جابجایی سطحی بدست آمده از پردازش تصاویر راداری سنتینل با بیشترین جابجایی، را نشان می‌دهد؛ که می‌تواند بیانگر احتمال زمین لغزه و یا خطر زمین لغزه در این مناطق باشد. از این رو استفاده از تصاویر راداری و بررسی تغییرات جابجایی سطح زمین می‌تواند یک ابزار مفید در پایش و دقت سنجی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش جهت برنامه ریزی در مناطق حساس باشد.

استناد: انتظاری، مژگان، کردوانی، موسی. (۱۴۰۱). پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های مبتنی بر GIS و داده‌های راداری (مطالعه موردی: فریدون شهر). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۳)، ۱۹۶-۱۷۷. DOI: 10.22111/jneh.2022.38660.1810

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© مژگان انتظاری*، موسی کردوانی.

*- مژگان انتظاری (نویسنده مسئول) Email: M.entezari@geo.ui.ac.ir

مقدمه

با توجه به لزوم ارزیابی و انجام تحقیقات منظم بر روی زمین لغزش‌ها جهت به حداقل رساندن اثرات جانبی آن‌ها و برنامه ریزی استراتژیک مناسب، لازم است که با استفاده از تکنیک‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش، مناطق مستعد خطر لغزش، ارزیابی و مشخص شود (گیرما و همکاران، ۲۰۱۵; رقوانشی و همکاران، ۲۰۱۴، بیسون و همکاران، ۲۰۱۴، پان و همکاران، ۲۰۰۸، آنبالاگان، ۱۹۹۲). پهنه بندی در واقع تقسیم بندی سطح زمین به نواحی همگن با درجات مختلف از پتانسیل خطر زمین لغزش است.

به منظور انجام پهنه بندی خطر زمین لغزش، روش‌های مختلفی نظیر بهره گیری از زمین لغزش‌های موجود، ارزیابی کارشناس، روش‌های آماری و قطعی در دسترس می‌باشد (لرویی،۱۹۹۷، گازتی و همکاران، ۱۹۹۹، کاساگلی و همکاران، ۲۰۰۴، فال و همکاران، ۲۰۰۶، کانانگو و همکاران، ۲۰۰۶، رقوانشی و همکاران، ۲۰۱۵، حمزه و راغوانشی، ۲۰۱۶). هر یک از این روشها نیاز به اطلاعات در زمینه لغزش‌های گذشته، عوامل ایجاد کننده ذاتی و عوامل تحریک کننده خارجی دارد. عوامل درونی به طور عمده شامل فاکتورهای زمین شناختی (سنگ شناسی یا نوع خاک، خصوصیات ناپیوستگی ساختاری، مقاومت برشی مواد، شرایط آبهای زیرزمینی و اثر آن)، هندسه شیب (دامنه شیب، جهت، ارتفاع و انحنای) و کاربری و پوشش زمین است. عوامل بیرونی که عموماً باعث زمین لغزش می‌شوند، بارندگی (داهال و همکاران، ۲۰۰۶، دای و لی، ۲۰۰۱، کولیسون و همکاران، ۲۰۰۰)، لرزه خیزی (بومر و رودریگز، ۲۰۰۲، کیفر، ۲۰۰۰، پریس و جیبسون، ۲۰۰۰) و فعالیت‌های انسانی مانند فعالیت‌های ساختمانی و روش‌های کشت در مناطق کوهستانی (رقوانشی و همکاران، ۲۰۱۴، وانگ و نیو، ۲۰۰۹) را شامل می‌شود.

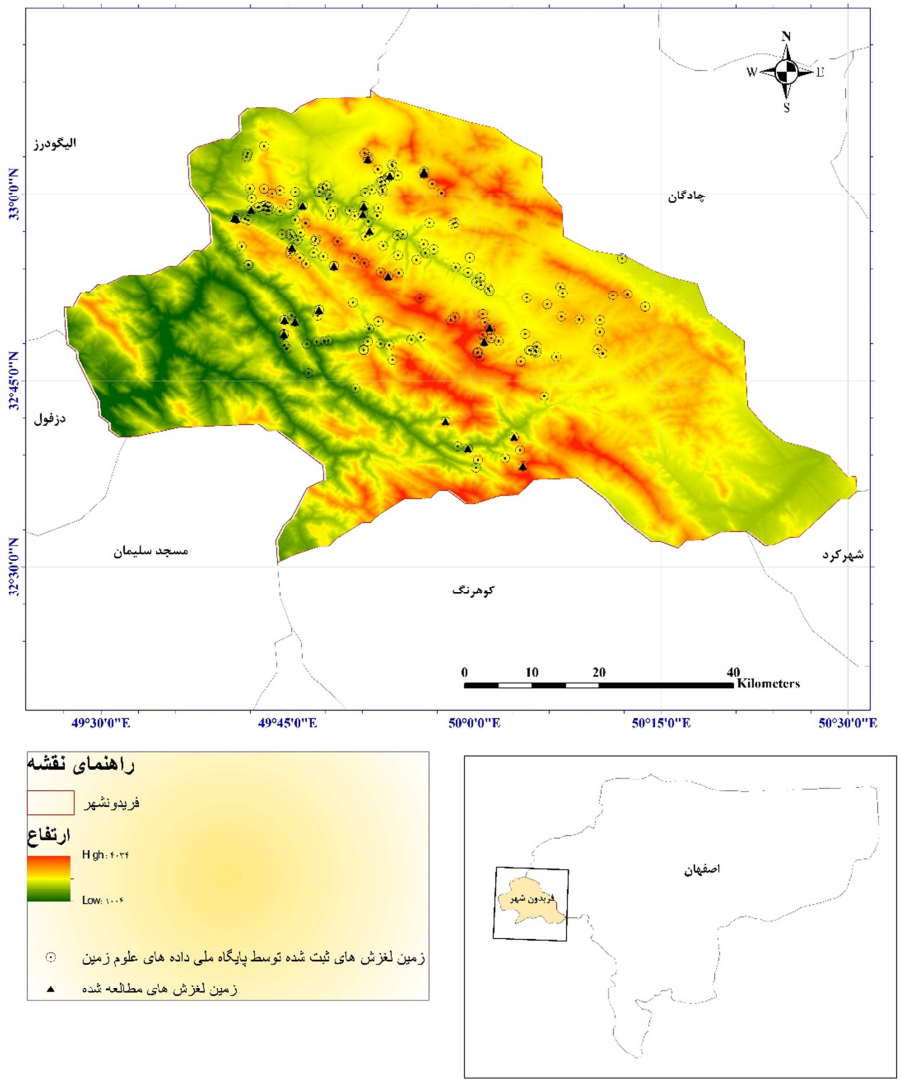
مطالعات متعدد با روش‌های مختلف جهت پهنه بندی خطر و ارائه یک مبنای مطالعاتی در این زمینه انجام شده است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. کُک و همکاران در مطالعه ای جهت نقشه برداری و پایش زمین لغزش های شهری در نیوزلند با استفاده از داده های سنتینل ۱ و تکنیک InSAR اقدام به نظارت بر تغییر شکل زمین مربوط به زمین لغزش کردند (کُک و همکاران، ۲۰۲۱). فیلاگت منگیستو و همکاران در پژوهشی با عنوان پهنه بندی خطر زمین لغزش و ارزیابی ناپایداری شیبی با استفاده از داده‌های اپتیکال و InSAR به رویکرد روش PS-InSAR در مطالعه زمین لغزش پرداختند (فیلاگت منگیستو، ۲۰۱۹). شاه زیدی و همکاران نیز با استفاده از مدل آنتروپی درصد تأثیر عوامل اثرگذار در وقوع زمین لغزش در منطقه پشتکوه فریدون شهر را مورد تحلیل قرار داده‌اند (شاهزیدی و همکاران، ۱۳۹۸). محمدی ثابت و همکاران در پژوهشی قابلیت‌های الگوریتم دمپستر- شفر در تبیین عدم قطعیت در نتایج خروجی برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در جنوب شهرستان چالوس را مورد ارزیابی قرار دادند (محمدی ثابت و همکاران، ۲۰۱۹). شیرانی و همکاران درمنطقه پشت کوه فریدونشهر با بررسی و مقایسه شاخص های ارزش اطلاعات و تراکم سطح نسبت به تهیه نقشه های خطر زمین لغزش اقدام کردند (شیرانی و همکاران،۱۳۹۳). کریمی و همکاران نیز در پژوهشی با استفاده از کشف قوانین طبقه بندی توسط الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه و GIS، حساسیت زمین لغزش در شهرستان جوانرود استان کرمانشاه را مورد ارزیابی قرار دادند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۳). سوری و همکاران با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در حوضه کسمت به پهنه بندی خطر زمین لغزش و بررسی تأثیر عوامل دخیل در زمین لغزش پرداختند (سوری و همکاران، ۱۳۹۲). اکبر و همکاران در پژوهشی با هدف ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل فازی دانش مبنا و روش ترکیبی فازی-اوزان شاهد در منطقه

جیرفت به قیاس و تحلیل این دو مدل پرداختند (اکبر و همکاران، ۱۳۹۲). مرادی و همکاران پهنه بندی خطر زمین لغزش در بخشی از جاده هراز را با استفاده از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام دادند؛ و سه عامل واحدهای زمین شناسی، فاصله از جاده و شیب را به ترتیب موثرترین عوامل در وقوع زمین لغزش‌های منطقه دانستند (مرادی و همکاران، ۱۳۸۹). نصر آزادانی و همکاران در پهنه بندی خطر زمین لغزش منطقه پشتکوه شهرستان فریدونشهر با استفاده از روش‌های آماری سه پارامتر لیتولوژی، پوشش گیاهی و بارندگی را از مهمترین عوامل موثر در وقوع زمین لغزش در این منطقه معرفی کردند (نصر آزادانی و همکاران، ۱۳۸۶). با توجه به مطالعات مختلف انجام شده برای ارائه یک مبنای مطالعاتی کارآمد در پهنه‌بندی خطر و پایش زمین لغزش، چه روش یا روش‌هایی به منظور پایش این پدیده مناسب است؟ در مطالعه حاضر هدف، علاوه بر بررسی خطر لغزش و تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش منطقه مورد مطالعه و تعیین علل ناحیه‌ای وقوع زمین لغزش‌ها، دستیابی به یک چهارچوپ مطالعاتی مناسب از طریق به کارگیری سه روش مختلف بر مبنای زمین‌لغزش های گذشته، برداشت‌های میدانی و داده‌های راداری و همچنین دقت سنجی پهنه‌بندی خطر با استفاده از تصاویر سنتینل می‌باشد.

داده ها وروش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه:

منطقه مورد مطالعه در فاصله ۱۸۰ کیلومتری غرب اصفهان و در بالاترین بخشهای حوضه آبریز دو رودخانه زاینده رود و کارون واقع شده است. در بیشتر بخشهای محدوده مطالعاتی بویژه بخشهای میانی به سمت شرق ریخت شناسی خشن حاکم است. بخشی از این ریخت شناسی در قسمتهای بلند کمر بالای گسل تراستی زاگرس واقع است. به سمت جنوب شرق نیز تحت تاثیر گسل تراستی اصلی زاگرس، سازندهای رسوبی با رخساره زاگرس چیره اند و دارای ریخت شناسی خشن تری هستند(بهارفیروزی و نواواجاری، ۱۳۸۵).. میانگین ارتفاع در این منطقه ۲۵۰۰ متر می‌باشد (شکل ۱). گستره مورد مطالعه از دیدگاه ساختاری بخش‌هایی از سنندج – سیرجان و زاگرس را پوشش می‌دهد. رخنمون‌های سنگی موجود در منطقه متعلق به دوران مزوزئیک، اواخر پالئوزوئیک (دوره‌های کربونیفر و پرمین) و اوایل سنوزوئیک است. منطقه مطالعاتی به دلیل عملکرد شدید تکتونیک در بیشتر موارد نظم چینه نگاری آن به هم ریخته است و رژیم ساختاری غالب، متأثر از فعالیت گسل‌های راندگی و تا اندازه‌ای راست لغز است و از نظر زمین ساختی منطقه‌ای فعال می‌باشد(علوی،۲۰۰۴).



شکل ۱: موقعیت محدوده مطالعاتی.

روش کار و داده‌های مورد استفاده:

در این پژوهش با بررسی ۶۳۹ مورد زمین لغزهٔ ثبت شده توسط پایگاه ملی داده‌های علوم زمین و ۷۰ زمین لغزش با خسارتهای نسبتاً بالا در مدیریت آبخیز داری استان اصفهان، دو قطب اصلی برای زمین لغزه در جنوب و غرب استان مشخص شد. از بین زمین لغزه های ثبت شده توسط پایگاه ملی داده‌های علوم زمین حدود ۵۵٪ (۳۵۲ مورد) مربوط به منطقهٔ سمیرم و ۳۰٪ (۱۹۶ مورد) مربوط به منطقهٔ فریدونشهر و از موارد ثبت شده توسط مدیریت آبخیز داری استان اصفهان حدود ۷۰٪ مربوط به منطقهٔ سمیرم و ۲۶٪ مربوط به منطقهٔ فریدونشهر و بقیه در شهرستان‌های زرین شهر، شهرضا و میمه می‌باشد. در این مقاله بررسی‌ها و تجزیه و تحلیل‌های آماری و مطالعات میدانی روی منطقه فریدون شهر متمرکز شده است. این مطالعه برای پهنه بندی و تهیه نقشه‌های لازم جهت

تحلیل‌های مورد نیاز شامل سه مرحله می‌باشد (شکل ۲)؛ و از داده‌هایی چون تصویر ماهواره‌ای سنجنده لندست۸ (Sensor-ID = OLI-TIRS) با قدرت تفکیک ۳۰ متر، نقشه زمین شناسی، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) استخراج شده از سنجنده ASTER با دقت مکانی ۳۰ متر و دقت ارتفاعی ۱۰ متر، نقشه گسل‌های منطقه، اطلاعات به دست آمده از بررسی‌های میدانی و تصاویر راداری سنتینل ۱ که عرض برداشت آن ۲۵۰ کیلومتر، ارتفاع مداری ۶۹۳ کیلومتر، قدرت تفکیک مکانی ۲۰×۵ متر، قطبش DV و فرمت IW ، استفاده شده است.



شکل ۲: فلوچارت روش تحقیق و لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاد در این مطالعه.

پهنه بندی خطر زمین لغزش:

جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش، ابتدا روش آماری احتمالاتی مورد استفاده قرار گرفته است. این روش می‌تواند روابط کارآمد بین عوامل مختلف ایجاد کننده بی ثباتی و توزیع مکانی گذشته و حال زمین لغزش‌ها را فراهم کند (کرارا، ۱۹۸۳). برای روش‌های آماری فرض می‌شود که گذشته و حال، کلیدهای آینده هستند (وارنس،۱۹۸۴، کرارا و همکاران، ۱۹۹۱). به این ترتیب، اعتقاد بر این است که شرایط ایجاد شده توسط عوامل مختلف که منجر به زمین لغزش در گذشته شده‌اند، در صورت تکرار دوباره در منطقه، ممکن است باعث وقوع مجدد زمین لغزش شوند. به منظور ارزیابی عوامل مختلفی که احتمالاً باعث وقوع زمین لغزش‌ها با شرایط مشابه در منطقه می‌شوند، پیش بینی کمّی بر اساس نسبت فراوانی زمین لغزش‌های گذشته با توجه به طبقات متغیرهای مربوطه ایجاد شده است. پس از آن، با استفاده از امتیاز به دست آمده برای عوامل مختلف، هر یک از نقشه‌های عوامل، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و در محیط نرم افزار Arc GIS برای تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش ترکیب شدند.

متغیرهای شیب، ارتفاع، جهت شیب، انحنا، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه، لیتولوژی و کاربری زمین برای تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش انتخاب و سپس این عوامل به صورت جداگانه در محیط نرم افزار Arc GIS مورد ارزیابی قرار گرفتند تا تراکم مربوط به زمین لغزش‌های گذشته در هر یک از کلاس‌های عوامل مشخص شود. در ادامه، شاخص خطر آماری، یعنی نسبت بین درصد وقوع زمین لغزش به درصد پوشش هر عامل، برای هر یک از طبقات عوامل به دست آمد. بر اساس این شاخص خطر و اختصاص وزن مناسب به هر متغیر، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش -با ترکیب نقشه‌های به دست آمده برای هر متغیر تهیه شد. در واقع در رویکرد نسبت فراوانی، احتمال رخداد زمین لغزش قرار گرفته در هر طبقه از متغیرها محاسبه می‌شود. به منظور تعیین میزان تأثیر هر طبقه از هر متغیر مستقل (متغیرهای انتخاب شده) از رابطه ۱ استفاده می‌شود.

$$W_i = \frac{f_i}{p_i} \quad (۱)$$

در این معادله W_i میزان تأثیر هر طبقه از هر متغیر، f_i درصد نقاط قرار گرفته در طبقه i و p_i درصد سلول‌های طبقه i در کل منطقه مطالعاتی است و از روابط ۲ و ۳ به دست می‌آید.

$$f_i = \frac{n}{N} \times 100 \quad (۲)$$

$$p_i = \frac{a}{A} \times 100 \quad (۳)$$

که در این معادلات n تعداد نقاط زمین لغزش در طبقه i، N تعداد کل زمین لغزش‌ها، a تعداد سلول‌های طبقه i و A تعداد کل سلول‌های منطقه مطالعاتی است.

بعد از تعیین ضریب تأثیر- شاخص خطر احتمالی- هر طبقه از متغیرها، در نرم افزار Arc GIS 10.4، این نرخ به دست آمده در لایه‌های مربوط اعمال شده و برای هر متغیر نقشه‌ای تهیه شد و سپس با استفاده از تابع روی هم گذاری نسبت به تهیه نقشه پهنه بندی زمین لغزش اقدام شد.

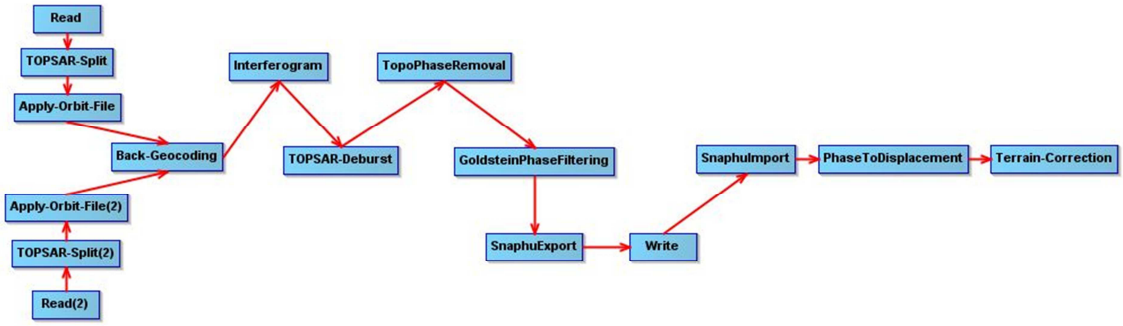
در پهنه بندی به روش وزن دهی مبتنی بررسی‌های میدانی نیز با تجزیه و تحلیل داده‌های ثبت شده توسط مدیریت آبخیزداری استان اصفهان و بازدید میدانی (شکل۶)، بر اساس نظر کارشناسان مدیریت آبخیزداری و بررسی صحرایی مشخصات زمین لغزش ها در منطقه عوامل درونی مسبب زمین لغزش به عنوان عوامل مؤثر در تحلیل به منظور

تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در محیط Arc GIS مورد استفاده قرار گرفت. بررسی‌های میدانی و ثبت مشخصات زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه و ترکیب این اطلاعات (میدانی) با اطلاعات آبخیزداری مبنای تعیین موثرترین عوامل دخیل در زمین لغزش و پایه و اساس تحلیل منطقه در محیط Arc GIS را تشکیل می‌دهد؛ و از مدل ارتفاعی رقومی منطقه، تصویر ماهواره‌ای سنجنده لندست ۸ و نقشه گسل‌های منطقه جهت تجزیه و تحلیل استفاده شده و در انتها بر اساس نظر کارشناسی درصد تأثیر عوامل اعمال شده است. در این روش برای تهیه نقشه-های شیب، جهت شیب، آبراهه‌ها از از مدل ارتفاعی رقومی منطقه و برای محاسبه تراکم پوشش گیاهی(NDVI) از باندهای ۴ و۵ تصویر ماهواره‌ای سنجنده لندست ۸ استفاده شد (رابطه ۴) و سپس بر اساس نظر کارشناسی عوامل مؤثر امتیاز دهی و با همپوشانی این عوامل نقشه پهنه بندی خطر تهیه شد.

$$NDVI = (float(b5)-float(b4))/ (float(b5) +float(b4)) \quad (۴)$$

محاسبه جابجایی سطح زمین توسط پردازش تصاویر سنتینل:

در این پژوهش از تصاویر سنجنده سنتینل که مأموریت آن شامل مجموعه‌ای از مدارهای دوقطبی ماهواره‌ای است استفاده شده است. سنتینل-۱ بخش راداری پروژه سنتینل است که در قالب برنامه کوپرنیک انجام شده و شامل مجموعه‌ای از دو ماهواره است. این ماهواره در محدوده طول موج ماکروویو و باند C تصویربرداری می نماید. روش مورد استفاده تداخل سنجی راداری (InSAR) است که به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالا و توانایی به دست آوردن اطلاعات از راه دور یک تکنیک مهم جهت اندازه گیری تغییرات سطح زمین می‌باشد. این روش از اختلاف فاز میان دو تصویر گرفته شده در دو زمان متفاوت از یک منطقه برای محاسبه تغییر شکل استفاده می‌کند. در این مقاله جابجایی سطح زمین با استفاده از تصاویر راداری سنتینل-۱، مربوط به منطقه شمالی فریدون شهر مورد بررسی قرار گرفته است. تصاویر استفاده شده مربوط به دو تاریخ ۲۰۱۷/۰۹/۲۲ ساعت ۰۲:۳۷:۴۲ و ۲۰۱۸/۰۹/۱۷ ساعت ۰۲:۳۷:۴۹ و در حالت IW و از نوع SLC و قدرت تفکیک مکانی ۲۰×۵ متر می‌باشد. مشخصات تصاویر در جدول شماره (۱) ذکر شده است. در این مقاله برای پردازش تصاویر سنتینل از نرم افزار ESA-SNAP Desktop 6.4 استفاده شده است. روند اجرای پردازش برای برآورد جابجایی سطح زمین در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۳: نمودار مراحل پردازش در روش تداخل سنجی راداری تصاویر سنتینل ۱*(براون و وچی،۲۰۲۱)*.

بعد از انتخاب داده و برش یا انتخاب منطقه مطالعاتی عملیات co-registration انجام شد. در این مرحله تغییر موقعیت هر سلول در تصویر فرعی (slave) نسبت به تصویر اصلی (master) بررسی و با محاسبه مجدد دامنه و فاز سلول‌ها، با درون یابی برای هر سلول در تصویر فرعی، تصاویر ثبت شده و تصویر فرعی نسبت به تصویر اصلی توجیه می‌گردد. مرحله بعد که از ترکیب دو تصویر راداری ثبت شده، تولید اینترفروگرام است که از اختلاف فاز بین دو تصویر SAR از حاصلضرب تصویر اول در مزدوج تصویر دوم به دست می‌آید. به تصویر حاصل از این ضرب مختلط، اینتزفروگرام گفته می‌شود. دامنه اینترفروگرام برابر حاصل ضرب دامنه دو تصویر اولیه و فاز اینترفروگرام برابر اختلاف فاز بین این دو تصویر است، بنابراین سلول‌های اینترفروگرام نیز دارای مقادیر مختلط است. فاز اینترفروگرام دارای انواع خطاها از جمله اثر توپوگرافی، خطاهای مداری، جابجایی و اثرات اتمسفری می‌باشد و برای به دست آوردن جابجایی سطح زمین در یک بازه زمانی حذف این خطاها الزامی است.

مرحله DE burst مرحله یکپارچه سازی تصاویر است. در این مرحله با حذف نویزهای نواری تمام داده‌ها پشت سرهم و به صورت تصویر واحد به هم می‌پیوندند. در ادامه می‌بایست اثرات توپوگرافی را از بین برد که در مرحله Topographic Phase Removal فاز توپوگرافی را با در اختیار داشتن مدل ارتفاعی رقومی محاسبه و اثر آن را حذف می‌کنیم. در مرحله Goldstein Phase Filtering از فیلتر گلدشتاین استفاده می‌شود. این فیلتر از نوع تطبیقی است که باعث بهبود در اندازه گیری فاز-تصحیح فاز- شده و همچنین در کاهش نویز فاز مؤثر واقع شده است. در بسیاری از موارد مورفولوژی باعث می‌شود فاز بیش از 2π باشد. از این رو در مرحله Phase unwrapping بازیابی فازها انجام می‌گیرد و این ابهام را برطرف می‌کند. در واقع برای اینکه بتوان فاز اینترفروگرام (که تنها در 2π شناخته شده است) را به ارتفاع توپوگرافی مرتبط کرد بازیابی فازها صورت می‌گیرد؛ و در انتها پس از طی این مراحل نسبت به تعیین میزان جابجایی سطح زمین اقدام شد.

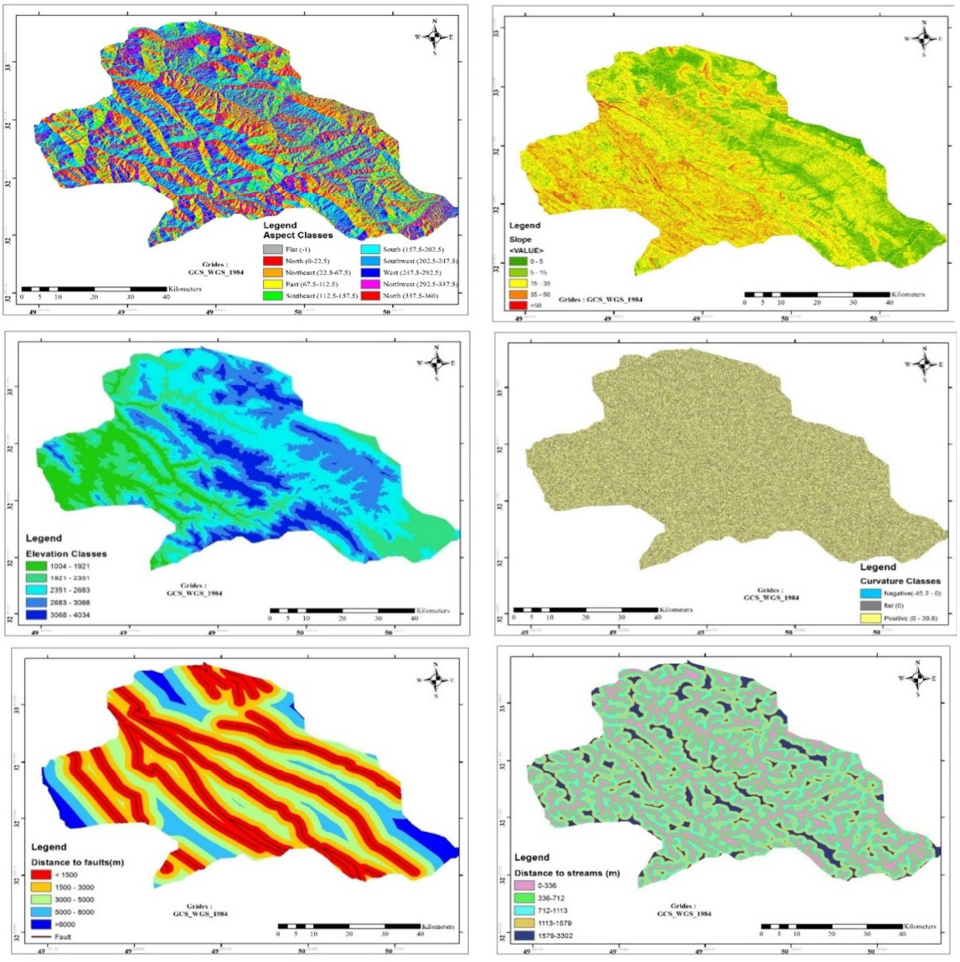
جدول ۱: مشخصات تصاویر سنتینل استفاده شده.

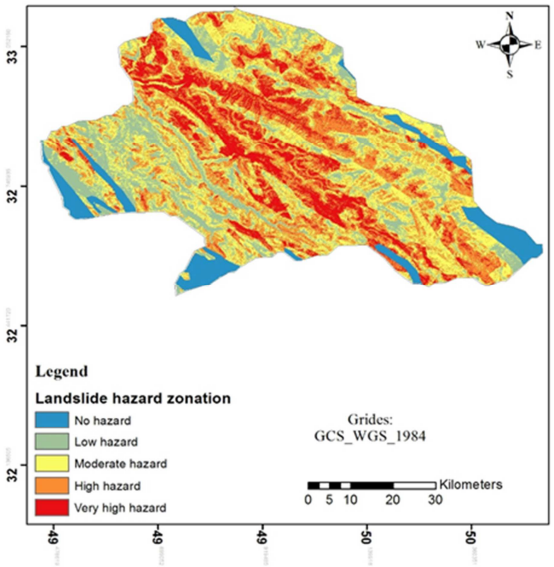
تصویر ۱(Master)	S1A_IW_SLC__1SDV_20170922T023742_20170922T023809_018482_01F215_F62E
تصویر ۲(Slave)	S1A_IW_SLC__1SDV_20180917T023749_20180917T023816_023732_029669_BD0F
ارتفاع مداری	693 km
زاویه میل	98.5
باند تصویربرداری	C-SAR (C-band Synthetic Aperture Radar)
فرمت تصویر برداری	IW (Interferometric Wide swath) mode: 250 km swath
قدرت تفکیک مکانی	IW, 5 m × 20 m
نوع محصول	SLC
نوع قطبش	DV (VV+VH)

یافته‌های تحقیق

در روش نسبت فراوانی برای عوامل مسبب زمین لغزش‌های رخ داده، نقشه ای تهیه شد که نتیجه تعیین احتمال رخداد زمین لغزش در هر طبقه و اعمال نرخ شاخص خطر احتمالی برای هر طبقه از متغیرها است (شکل ۴) . نقشه

پهنه بندی خطر بدست آمده در این روش بیانگر وجود زون‌های با خطر بالا و خیلی بالا در مناطقی با مشخصاتی از جمله؛ شیب ۳۵-۵ درجه، ارتفاع بالاتر از ۲۳۵۱ متر (از سطح آب‌های آزاد)، مناطقی با فاصله کمتر از ۱۵۰۰ متر از گسل‌ها (۳۳/۶۷٪) و بین ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر (۲۹/۳۹٪) و کمتراز ۳۵۰ متر از آبراهه‌های اصلی (۳۴/۶۹٪) است





شکل ۵: نقشه پهنه بندی خطرزمین لغزش بر اساس روش نسبت فراوانی.

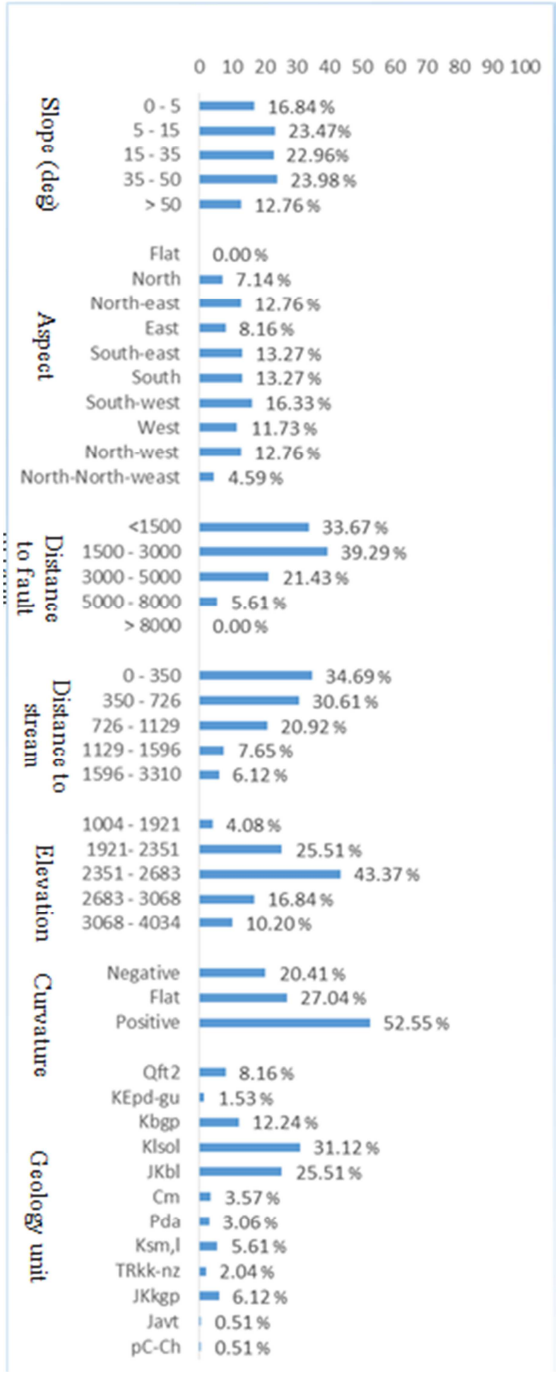
همچنین وقوع اکثر زمین لغزش‌ها در مناطق با لایه‌های ضخیم آهک‌های ژوراسیک – کرتاسه و آهک‌های اوربیتولین دار کرتاسه پیشین و حدود ۳۰٪ در رسوبات کواترنری، تناوب آهک و شیل و لایه‌های ماسه سنگ (شکل ۶)، نقش پررنگ گسل‌ها و ناپیوستگی‌های ساختاری را نشان می‌دهد و به تعبیر دیگر نقش فعالیت‌های ساختاری می‌تواند مهمترین عامل وقوع زمین لغزش‌ها در این مناطق باشد.

در روش پهنه بندی خطر براساس ثبت مشخصات زمین لغزش ها توسط کارشناس، با تجزیه و تحلیل داده‌های ثبت شده از زمین لغزش ها در منطقه و بازدید میدانی (شکل ۷) پارامترهای آبراهه، گسل، پوشش گیاهی و شیب با بیشترین تاثیرگذاری، در تحلیل به منظور تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفت. در این روش بر اساس عوامل مؤثر ابتدا منطقه مورد مطالعه در ۱۲ مرحله مورد تحلیل قرار گرفت و نقشه هر یک از عوامل تهیه شد. (شکل ۸). برای تهیه نقشه پهنه بندی خطر بر اساس میزان تاثیر عوامل در وقوع زمین لغزشهای منطقه، عوامل وزن دهی (آبراهه ۴۰٪، گسل ۳۰٪، شیب ۲۰٪ و شاخص پوشش گیاهی ۱۰٪) و بر اساس درصد تاثیرشان نقشه پهنه بندی خطر تهیه شد (شکل ۹). به دنبال ایجاد یک چهارچوب مطالعاتی برای تجزیه و تحلیل خطر زمین لغزش احتمالی و همچنین به منظور تهیه نقشه مناطق حساس به خطر، دو نقشه پهنه بندی خطر مقایسه شدند (شکل ۱۰).

شکل ۴: نقشه عوامل مسبب ۱) نقشه شیب ۲) جهت شیب ۳) ارتفاع ۴) انحنا ۵) فاصله از گسل ۶) فاصله از آبراهه.

بندی با نظر کارشناسی حدود ۱۰٪ از زمین لغزش‌ها در زون‌های با خطر متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند در صورتی که در نقشه پهنه بندی با روش نسبت فراوانی این زمین لغزش‌ها در زون با خطر خیلی زیاد قرار گرفته‌اند؛ بنابراین این دو روش را بسته به میزان دقت و هدف محقق می‌توان به گونه‌ای تفسیر کرد که در روش تحلیل منطقه بر اساس نظر کارشناسی از آنجایی که مبتنی بر اطلاعات میدانی است جزئی‌تر، دقیق‌تر و روشی قابل اعتمادتر

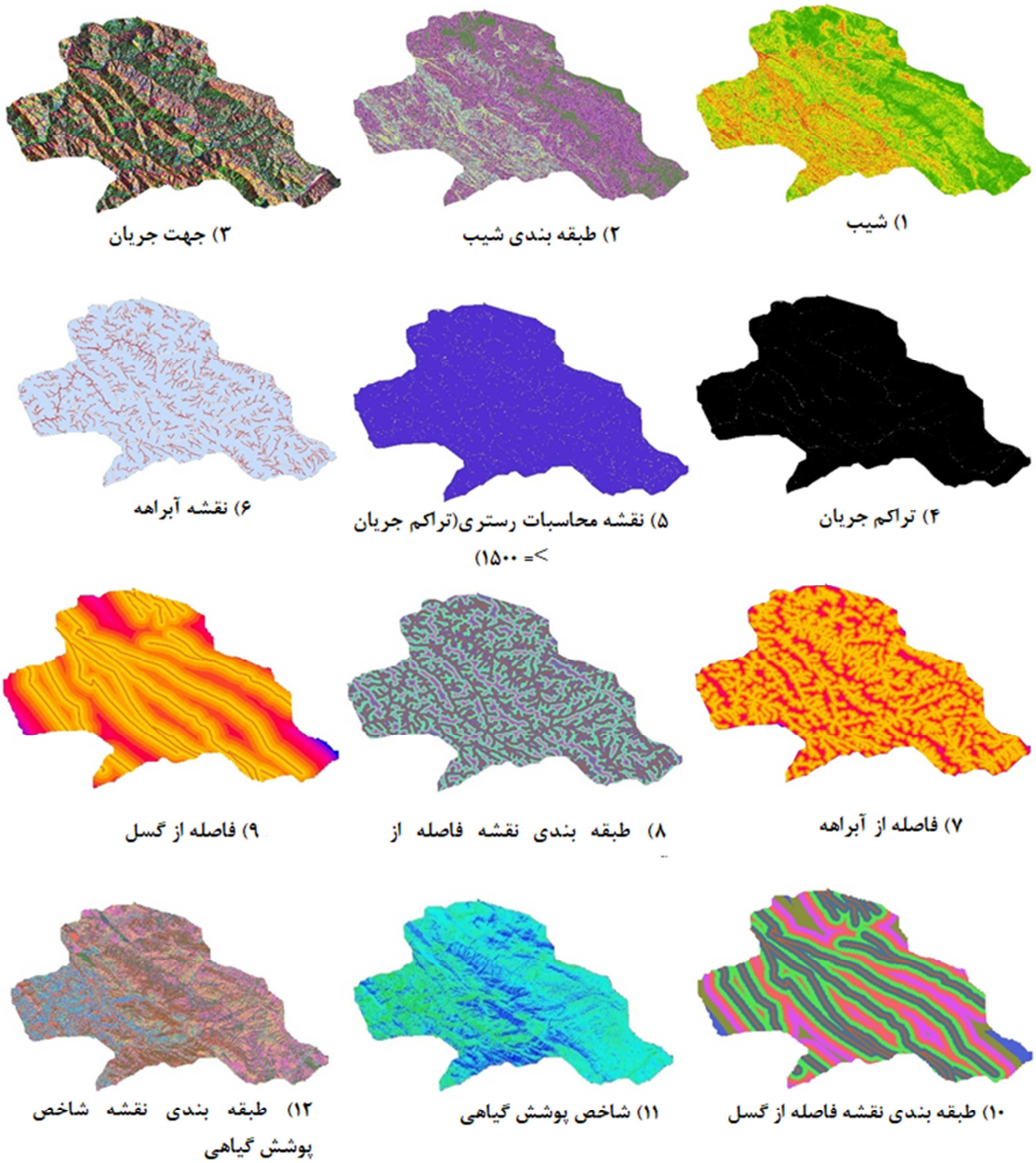
می‌باشد. در این روش به دلیل ثبت اطلاعات پایه‌ای زمین‌لغزش‌ها و تشخیص عوامل موثر در وقوع آن‌ها بصورت میدانی، اعتبار وزن دهی به متغیرها و تحلیل در محیط نرم افزاری را با واقعیت بیشتری امکان‌پذیر می‌سازد.



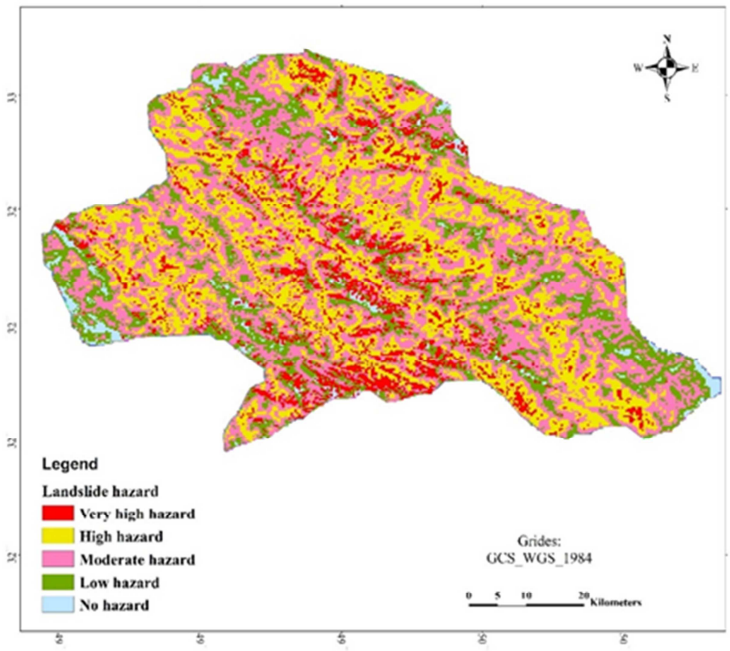
شکل ۶ : توزیع زمین لغزش‌های گذشته در طبقات مربوط به هر یک از عوامل مختلف



شکل ۶: الف)جریان، ب) خزش، پ) انتقالی مرکب، ت) لغزش، در منطقه فریدون شهر

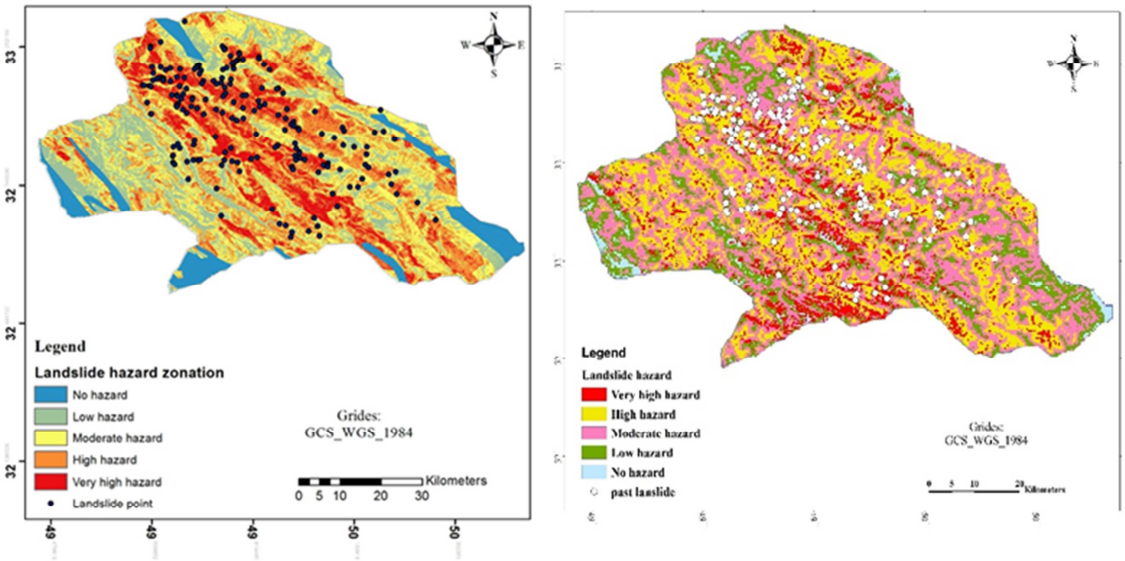


شکل ۸: مراحل انجام تحلیل بر اساس نظر کارشناس. در این فرایند در مرحله ۱۱ از تصویر ماهواره‌ای سنجنده لندست ۸ (۲۰۱۷) استفاده شده است.



همپوشانی ← همپوشانی وزنی← (افزودن: نقشه‌های طبقه بندی شیب و طبقه بندی فاصله از آبراهه و طبقه بندی فاصله از گسل و طبقه بندی شاخص پوشش گیاهی) ← تأثیر: آبراهه ۴۰٪ - گسل ۳۰٪ - شیب ۲۰٪ - پوشش گیاهی ۱۰٪

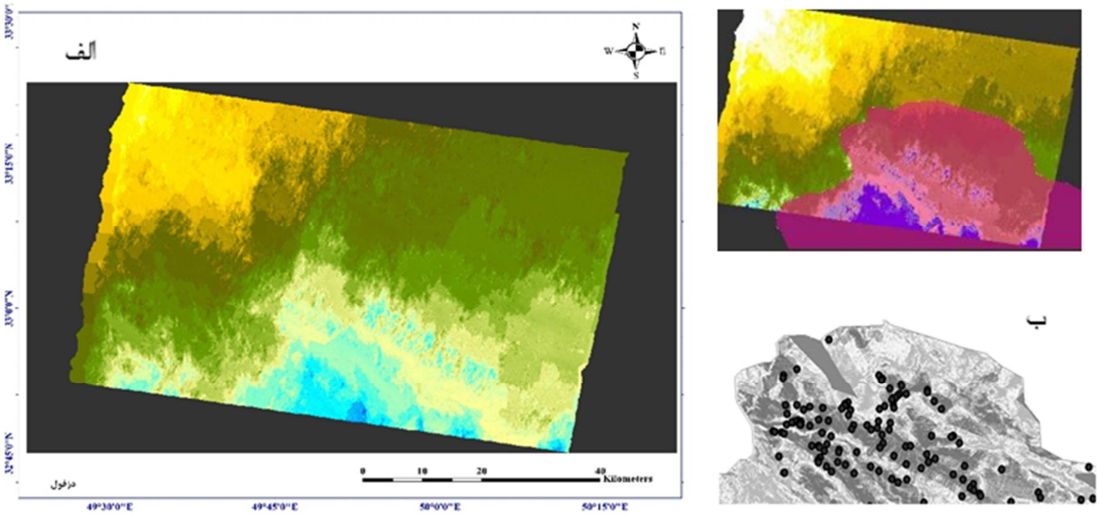
شکل ۹: نقشه پهنه بندی خطرزمین لغزش بر اساس روش تحلیل فضایی مبتنی بر نظر کارشناسی.



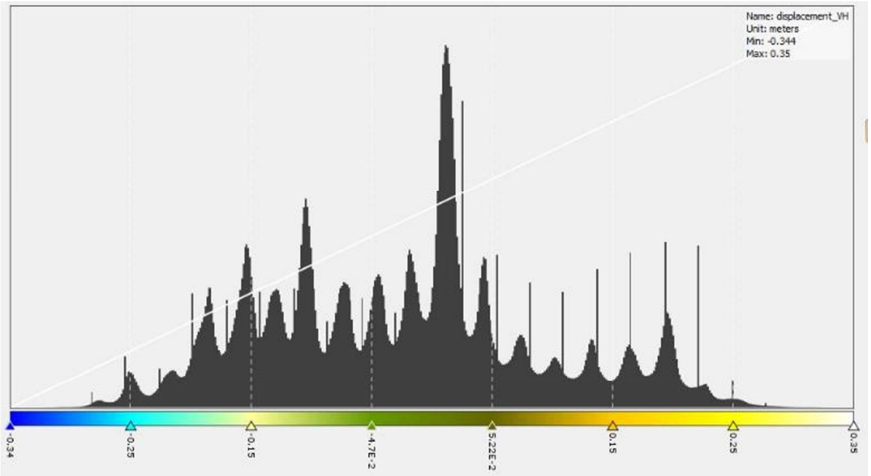
شکل ۱۰: نقشه‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش به دو روش تحلیل بر اساس نظر کارشناسی (سمت راست) و نسبت فراوانی (سمت چپ).

نتایج محاسبه جابجایی سطح زمین با پردازش تصویر سنتینل ۱ نشان می‌دهد که در قسمت شمالی منطقه مطالعاتی در محدوده‌ای از ۰,۳۴۴- تا ۰,۳۵ متر جابجایی سطحی زمین رخ داده است (شکل ۱۲). این جابجایی با توجه به نوع

قطبش جابجایی قائم و افقی می‌باشد و در واقع تفاوت سلول‌های با مختصات یکسان را در طول یک سال نشان می‌دهد.. در شکل ۱۱ نیز تمرکز زمین لغزشها در مناطق با جابجایی سلول‌های تصویر پردازش شده راداری در محدوده ۰,۲۱- تا ۰,۳۲- متر بیانگر این موضوع می‌باشد. نقشه‌ها همپوشانی ۶۷ درصد از سلول‌های مناطق با خطر خیلی زیاد و زیاد در نقشه‌های پهنه بندی خطر با سلول‌هایی از نقشه جابجایی سطحی بدست آمده از پردازش تصاویر راداری سنتینل با بیشترین جابجایی، را نشان می‌دهد. نقشه جابجایی سطح زمین بدست آمده از پردازش تصاویر راداری (شکل ۱۱ -الف) به خوبی نشان میدهد که مناطق با خطر خیلی زیاد و زیاد بدست آمده در دو روش قبل (شکل ۱۱-ب) بیشترین جابجایی را دارد که خود بیانگر این موضوع است که مناطق مذکور در حال حاضر نیز مستعد لغزش بوده و همچنین دقت و صحت پهنه بندی در دو روش پیشین را مشخص می‌کند. به عبارت دیگر از داده های راداری برای صحت سنجی و میزان دقت پهنه بندی در دو روش محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت ارائه یک چارچوب مطالعاتی دقیق استفاده شده است.



شکل ۱۱: تصویر پردازش شده قسمت شمالی منطقه مطالعاتی.



شکل ۱۲: نمودار جابجایی سطح زمین.

بحث

طبق بررسی‌های انجام شده تاثیرگذارترین و عوامل اصلی وقوع زمین لغزش در منطقه لیتولوژی، تراکم آبراهه‌ها و بخصوص فعال بودن منطقه از نظر زمین ساختی است. تعیین این عوامل بر اساس مطالعه آماری زمین لغزش‌های گذشته و اعمال مشاهدات و اطلاعات ثبت شده در بازدیدهای میدانی انجام شده است. بکارگیری سه روش استفاده شده در این پژوهش در قالب یک چارچوب به گونه ای است که از روش آماری مبتنی بر وقوع زمین لغزش‌های گذشته جهت تعیین نقش عوامل دخیل در زمین لعزش‌ها و میزان اثردهی هر متغیر؛ و از روش میدانی به عنوان مرحله کنترل روش آماری، بر اساس ثبت اطلاعات صحرایی زمین لغزش‌ها و وزن دهی به متغیرها بر اساس نتایج مشاهدات صحرایی، استفاده می‌شود و در انتها در راستای دقت سنجی و الویت بندی مناطق پر خطر با توجه جابجایی سطحی زمین، روش تداخل سنجی راداری مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج بدست آمده از سه روش استفاده شده در این پژوهش می‌توان به دقت و جزئیات بیشتر روش تحلیل فضایی بر اساس نظر کارشناسی نسبت به روش آماری پی برد. حدود ۱۰ ٪ اختلاف این دو روش در زون بندی مناطق خطر را می‌توان به دلیل اعتبار وزن دهی به متغیرهای دخیل در زمین لغزش بر اساس مطالعات میدانی و اطلاعات پایه‌ای ثبت شده از زمین لغزش-ها در روش کارشناسی دانست. همچنین همپوشانی ۶۷٪ مناطق با خطر خیلی زیاد و زیاد در نقشه‌های پهنه بندی خطر در دو روش ذکر شده با مناطقی با بیشترین جابجایی در نقشه جابجایی سطحی بدست آمده از پردازش تصاویر راداری سنتینل نشان می‌دهد که این مناطق در حال حاضر مستعد و از درجه اهمیت بالاتری نسبت به مابقی مناطق برخوردار است. در مطالعه‌ای که شاه زیدی و همکاران (۱۳۹۸) در منطقه پشتکوه فریدون شهر انجام داده‌اند تاثیرگذاری عوامل موثر در وقوع زمین لغزش در این منطقه را بصورت فاصله از گسل با ۶۰/۸۴ درصد، زمین شناسی با ۱۲/۴۹ درصد، جهت شیب با ۱۱/۳۸ درصد، طبقات ارتفاعی با ۷/۰۱ درصد، فاصله از آبراهه با ۵/۷۴ درصد و شیب با ۲/۵۹ درصد دانستند. طبق این پژوهش فاصله از گسل عمده ترین نقش را دارد. همچنین در مطالعه ای که توسط عرب عامری و همکاران (۱۳۹۷) جهت ارزیابی کارایی ترکیب روش‌های داده محور و دانش محور در مدل سازی فضایی زمین لغزش در حوضه فریدون‌شهر انجام دادند عوامل لیتولوژی، طبقات ارتفاعی، فاصله از جاده، شیب و

بارندگی را مهمترین عوامل موثر در زمین لغزش معرفی کردند. طبق نتایج این دو پژوهش که در قسمتی از منطقه مورد مطالعه پژوهش حاضر انجام شده گسل‌ها و لیتولوژی از عوامل اصلی در وقوع زمین لغزش هستند که مورد تایید می‌باشد، اما پژوهش حاضر در ارتباط با نقش آبراهه‌ها که نتایج مطالعات آماری و همچنین بازدیدهای میدانی بیانگر تاثیرگذاری زیاد بر زمین لغزش‌ها است پارامتر فاصله از آبرهه را در وقوع زمین لغزش به عنوان عاملی با درجه اهمیت بالا می‌داند. دو پژوهش دیگر توسط نصر آزادانی و همکاران (۱۳۸۶) و شیرانی و همکاران (۱۳۹۱) تحت عنوان پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های آماری بر روی منطقه پشتکوه شهرستان فریدونشهر انجام شده که سهم و اولویت متفاوتی به پارامترهای موثر در وقوع زمین لغزش اختصاص یافته است. به ترتیب در مطالعه اول سه پارامتر لیتولوژی، پوشش گیاهی و بارندگی از مهمترین عوامل در نظر گرفته و فاصله از جاده با حریم ۷۵۰ متری از طرفین را مورد تاکید قرار داده اند. شیرانی و همکاران نیز علاوه بر تاکید بر کارایی بهتر روش ارزش اطلاعات نسبت به روش تراکم سطح در این منطقه، به ترتیب عوامل لیتولوژی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، مقدار شیب، فاصله از گسل، بارندگی سالیانه، جهت شیب، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده را دارای بیشترین تاثیر در زمین لغزش دانسته-اند. با وجود همپوشانی در تعیین برخی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش در مطالعات مختلف، الویت بندی و امتیازدهی متفاوت پارامترها، ضرورت استفاده از یک روش جامع را بیان می‌کند. نتایج مطالعه حاضر که علاوه بر روش آماری استفاده شده در پژوهش‌های فوق از تحلیل کارشناسی و تداخل سنجی راداری نیز بهره برده؛ نشان می-دهد علاوه بر عامل لیتولوژی که در دو پژوهش اخیر نیز اولویت اول را دارد، فاصله از گسل و به عبارتی تاثیر ساختارها بر تسهیل زمین لغزش‌ها و تراکم آبراهه که حدود ۳۴/۶۹ درصد زمین لغزش ها تا فاصله ۳۵۰ متری از آنها رخ داده، را می‌بایست از مهمترین عوامل در نظر گرفت.

نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از این سه روش، مناطق حساس و پرخطر در منطقه فریدون شهر را که زمین لغزش‌های زیادی در آن به وقوع پیوسته را به خوبی مشخص کرده و نشان می‌دهد به‌طور میانگین در دو روش نسبت فراوانی و تحلیل بر اساس نظر کارشناس از کل زمین لغزش‌ها، ۶۰٪ در زونهای با خطر زیاد و خیلی زیاد، ۲۱٪ درصد در زون با خطر متوسط، ۱۵٪ در زون با خطر پایین و مابقی در زون بی خطر قرار دارد. با توجه به تجزیه و تحلیل‌های انجام شده در این مطالعه بر اساس نحوه پراکندگی زمین لغزش‌های گذشته، بازدید میدانی (نظر کارشناس) و روش تداخل سنجی راداری در کل منطقه مورد مطالعه می‌توان فعالیت‌های تکتونیکی (حضور گسل‌های فعال)، لیتولوژی و تراکم آبراهه‌ها از عوامل اصلی وقوع زمین لغزش در منطقه دانست. دقت سنجی نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در هر دو روش ذکر شده با لغزش‌های گذشته و همچنین روش تداخل سنجی راداری نشان می‌دهد که می‌توان این سه روش را به عنوان چهارچوبی برای پایش، تحلیل و اتخاذ استراتژی مناسب در مناطق حساس مورد استفاده قرار داد. همپوشانی مناطق جابجایی سطح زمین با زون های خطر بالا در نقشه پهنه بندی میتواند بیانگر احتمال زمین لغزه و یا خطر زمین لغزه در این مناطق مستعد باشد. همچنین پردازش تصاویر سنتینل در این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از تصاویر راداری و بررسی تغییرات جابجایی سطح زمین در مناطق دارای پتانسیل زمین لغزش می‌تواند یک ابزار مفید

در پایش و دقت سنجی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش جهت برنامه ریزی و توسعه پایدار در مناطق حساس باشد.

منابع

اکبر، سمیه؛ رنجبر، حجت الله؛ کرمی نسب، سعید؛ عبدالملکی، مهدی. (۱۳۹۲). ارزیابی خطر زمینلغزش به کمک مدل فازی دانش مبنا و روش ترکیبی فازی - اوزان شاهد در منطقه مسکونِ جیرفت. نشریه زمین شناسی مهندسی دانشگاه خوارزمی، دوره ۷، شماره ۱، صص ۱۶۲۱-۱۶۰۱.

بهارفیروزی، خلیل: نواواجاری، شهرام. (۱۳۸۵). گزارش نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ فریدونشهر شماره برگه: ۶۰۵۵، سازمان زمین شناسی و اکتشفات معدنی کشور، شماره گزارش TR 309.

سوری، سلمان؛ بهاروند، سیامک؛ احمدیان مقدم، رضا؛ دهبان، مریم. (۱۳۹۲). پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه کسمت). *نشریه زمین شناسی ژئوتکنیک (زمین شناسی کاربردی)*، دوره ۹، شماره ۲، صص ۱۱۰-۱۰۱.

شاه زیدی، سمیه سادات؛ حیاتی زاده، رؤیا. (۱۳۹۸). بررسی زمین لغزش‌های منطقه پشتکوه فریدون شهر با استفاده از مدل آنتروپی. *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، سال هفدهم، شماره ۵۴، صص ۵۰-۳۷.

شیرانی، کوروش؛ سیف، عبداله. (۱۳۹۱). پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش های آماری (منطقه پیشکوه، شهرستان فریدون شهر). نشریه علوم زمین، دوره ۲۲، شماره ۸۵، صفحات ۱۴۹-۱۵۸.

شیرانی, کورش: نصر, احمد: رهنماراد، جعفر: شفیعی دستجردی, عبدالرسول. (۱۳۹۳). بررسی و مقایسه شاخص های ارزش اطلاعات و تراکم سطح در تهیه نقشه های خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: منطقه پیشکوه فریدونشهر اصفهان). *Geotechnical Geology*، ۱۰ (۳)، ۲۱۹-۲۰۹.

عرب عامری، علیرضا؛ رضایی، خلیل: یمانی، مجتبی: شیرانی، کورش. (۱۳۹۷). ارزیابی کارایی ترکیب روش‌های داده محور و دانش محور در مدل سازی فضایی زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه فریدون شهر). *نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، جلد ۲۵، شماره ۵، صص ۶۷-۴۷.

نصرآزادانی، احمد؛ قاضی فرد، اکبر؛ صفایی، همایون؛ شیرانی، کورش. (۱۳۸۶). پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش های آماری (مطالعه موردی منطقه پیشکوه فریدونشهر). ششمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن، تهران،https://civilica.com/doc/45704.

Alavi, M. (2004). Regional Stratigraphy of the Zagros Fold-Thrust Belt of Iran and Its Proforeland Evolution. American Journal of Science, 304, 1-20.

Anbalagan, R. (1992). “Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain”, Eng. Geol, 32, 269–277.

Braun, A., Veci, L. (2021) TOPS Interferometry Tutorial. http://step.esa.int/main/doc/tutorials/.

Bisson, M., Spinetti, C., Sulpizio, R. (2014). “Volcaniclastic flow hazard zonation in the sub-apennine vesuvian area using GIS and remote sensing”. Geosphere 10(6), 1419-1431.

Carrara A, Cardinali M, Detti R, Guzzetti F, Pasqui V, Reichenbach P. (1991). GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazards. Earth Surf Process Landf 6:427–445.

Carrara A. (1983). “Multivariate methods for landslide hazard evaluation”, Math Geol 15:403–426.

Casagli N, Catani F, Puglisi C, Delmonaco G, Ermini L, Margottini C. (2004). “An inventory-based approach to landslide susceptibility assessment and its application to the Virginio River Basin”, Italy Environ Eng Geosci 3:203–216.

Cook, M., Brook, M., Tunnicliffe, J., Cave, M., Hamling, I., and Holley, R., (2021). Mapping and monitoring urban landslides in New Zealand using Sentinel-1 InSAR data: A case study from Gisborne (No. EGU21-13744). Copernicus Meetings.

Fall M, AzzamR, Noubactep C. (2006). “A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping”. Eng Geol 82:241–263.

Filagot Mengistu, K.V. Suryabhagavan, Tarun Kumar Raghuvanshi, Elias Lewi. (2019). “Landslide Hazard Zonation and Slope Instability Assessment using Optical and InSAR Data: A Case Study from Gidole Town and its Surrounding Areas, Southern Ethiopia”, Remote Sensing of Land, 3(1), 1-14.

Girma, F., Raghuvanshi, T.K., Ayenew, T., Hailemariam, T. (2015) “Landslide hazard zonation in Ada Berga District, Central Ethiopia a GIS-based statistical approach”, J. Geomatics 90, 25–38 (i).
Guzzetti F, Carrara A, Cardinali M, Reichenbach P. (1999). “Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, central Italy”. Geomorphology 31(1–4):181–216.
Hamza T, Raghuvanshi TK. (2016). “GIS-based landslide hazard evaluation and zonation—a case from Jeldu District, Central Ethiopia”. Journal of King Saud University–Science, https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.05.002.
Kanungo DP, AroraMK, Sarkar S,Gupta RP. (2006). “A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas”. Eng Geol 85:347–366.
Karimi, M.,Arab Ameri, M., Alimohammadi Sarab, A. (2014). “Landslide Susceptibility Mapping using classification rule discovery by ant colony optimization and GIS”. Journal of Spatial Planning, Tarbiat Modares University, 17-4, P: 21 - 41.
Leroi E. (1997). “Landslide risk mapping: problems, limitation, and developments. In Cruden F (ed) Landslide risk assessment”. Balkema, Rotterdam, pp 239–250.
Mohammadi Sabet, N., Karami, J., SHarifikia, M. (2019). “Explanation of uncertainties in environmental hazard zonation using Dempster-Shafer theory. Case Study: Landslide hazard in southern Chalous”. Journal of Spatial Planning, Tarbiat Modares University, 23-1, P: 1 - 24.
Morady, H.R., Mohammadi, M., Porghasemi, H.R., Feyznia, S. (2015). “Landslide analysis and risk assessment using the Analytical Hierarchy Process in the part of Haraz road” Journal of Spatial Planning, Tarbiat Modares University, 14-2, P: 233 - 247.
Pan, X., Nakamura, H., Nozaki, T., Huang, X. (2008). “A GIS-based landslide hazard assessment by multivariate analysis Landslides”. J. Jpn. Landslide Soc. 45 (3), 187–195.
Raghuvanshi TK, Negassa L, Kala PM. (2015). “GIS-based grid overlay method versus modeling approach—a comparative study for landslide hazard zonation (LHZ) in Meta Robi District of West Shewa Zone in Ethiopia”. Egypt J Remote sensing Space Sci 18(2):235–250.
Raghuvanshi, T.K., Ibrahim, J., Ayalew, D. (2014). “Slope stability susceptibility evaluation parameter (SSEP) rating scheme an approach for landslide hazard zonation”. J. Afr. Earth Sci. 99, 595–612.
Varnes DJ. (1984). “Landslide hazard zonation: a review of principles and practice”. UNESCO, Paris, pp 1–63.

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Akbar, S., Ranjbar, H., Karami Nasab, S., Abdolmaleki, M. (2013). Assessment of landslide hazard with knowledge-driven fuzzy model & hybrid fuzzy weight of evidence method, in Maskoon area – Jiroft district. Journal of Engineering Geology, Volume 7, Number 1, pp 1601-1621. [In Persian]

Arabameri, A.R., Rezaei, Kh, Yamani, M., Shirani, K. (2019). Performance assessment of integrated model of data has driven EBF model and knowledge-driven AHP model in Landslide spatial modeling (Case study: Ferydoun Shahr watershed). Journal of Water and Soil Conservation, Volume 25, Number 5, pp 101-110. [In Persian]

Bahar Firuzy, KH., Noavajary, SH. (2006 Geological map report (1: 100000) Fereydoon Shahr Sheet number: 6055, Geological Survey of Iran, report number TR 309. [In Persian]

Karimi, M.,Arab Ameri, M., Alimohammadi Sarab, A. (2014). "Landslide Susceptibility Mapping using classification rule discovery by ant colony optimization and GIS". Journal of Spatial Planning, Tarbiat Modares University, 17-4, P: 21 - 41. [In Persian]

Mohammadi Sabet, N., Karami, J., SHarifikia, M. (2019). "Explanation of uncertainties in environmental hazard zonation using Dempster-Shafer theory. Case Study: Landslide hazard in southern Chalous ". Journal of Spatial Planning, Tarbiat Modares University, 23-1, P: 1 - 24. [In Persian]

Morady, H.R., Mohammadi, M., Porghasemi, H.R., Feyznia, S. (2015). "Landslide analysis and risk assessment using the Analytical Hierarchy Process in the part of Haraz road" Journal of Spatial Planning, Tarbiat Modares University, 14-2, P: 233 - 247. [In Persian]

Nasr-e- Azadani, A., Ghazifard, A., Safaei, H., Shirani, K. (2007). Landslide risk zoning using statistical methods (Case study of Pishkooh area of Fereydunshahr). Sixth Mining Engineering Student Conference, Tehran, https://civilica.com/doc/45704. [In Persian]

Shahzeidi, S., Hayati zadeh, R. (2019). A survey of landslide poshtkuh region in fereydonshahr by using entropy mode. Journal of Geography and Development, Volume 17, Number 54, pp 37-50. [In Persian]

Shirani, K., Seif, A. (2012). "Landslide risk zoning using statistical methods (Pishkuh area, Fereydunshahr city)". Journal of Earth Sciences, Volume 22, Number 85, Pages 149-158. [In Persian]

Shirani, K., Nasr, A., Rahnamarad, J., Shafiey Dastjerdy, A. (2014). Investigation and comparison of information value indices and surface density in landslide hazard maps (Case study: Pishkooh area, Fereydoon Shahr, Isfahan). Journal of Geotechnical Geology, Volume10, Issue 3, pp 209-219. [In Persian]

Soori, S., Baharvand, S., Ahmadian Moghadam, R., Dehban, M. (2013). Landslide hazard zoning using hierarchical analysis process method (Case study: Kesmat Basin). Journal of Geotechnical Geology (Applied Geology), Volume 9, Number 2, pp 101-110. [In Persian]

References (in English)

Alavi, M. (2004). Regional Stratigraphy of the Zagros Fold-Thrust Belt of Iran and Its Proforeland Evolution. American Journal of Science, 304, 1-20.

Anbalagan, R. (1992). "Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain", Eng. Geol, 32, 269–277.

Braun, A., Veci, L. (2021) TOPS Interferometry Tutorial. http://step.esa.int/main/doc/tutorials/.

Bisson, M., Spinetti, C., Sulpizio, R. (2014) "Volcaniclastic flow hazard zonation in the sub-apennine vesuvian area using GIS and remote sensing". Geosphere 10(6), 1419-1431.

Carrara A, Cardinali M, Detti R, Guzzetti F, Pasqui V, Reichenbach P. (1991). GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazards. Earth Surf Process Landf 6:427–445.

Carrara A. (1983). "Multivariate methods for landslide hazard evaluation", Math Geol 15:403–426.

Casagli N, Catani F, Puglisi C, Delmonaco G, Ermini L, Margottini C. (2004). "An inventory-based approach to landslide susceptibility assessment and its application to the Virginio River Basin", Italy Environ Eng Geosci 3:203–216.

Cook, M., Brook, M., Tunnicliffe, J., Cave, M., Hamling, I., and Holley, R., (2021). Mapping and monitoring urban landslides in New Zealand using Sentinel-1 InSAR data: A case study from Gisborne (No. EGU21-13744). Copernicus Meetings.

Fall M, AzzamR, Noubactep C. (2006). "A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping". Eng Geol 82:241–263.

Filagot Mengistu, K.V. Suryabhagavan, Tarun Kumar Raghuvanshi, Elias Lewi. (2019). "Landslide Hazard Zonation and Slope Instability Assessment using Optical and InSAR Data: A Case Study from Gidole Town and its Surrounding Areas, Southern Ethiopia", Remote Sensing of Land, 3(1), 1-14.

Girma, F., Raghuvanshi, T.K., Ayenew, T., Hailemariam, T. (2015) "Landslide hazard zonation in Ada Berga District, Central Ethiopia a GIS-based statistical approach", J. Geomatics 90, 25–38 (i).

Guzzetti F, Carrara A, Cardinali M, Reichenbach P. (1999). “Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, central Italy”. Geomorphology 31(1–4):181–216.

Hamza T, Raghuvanshi TK. (2016). “GIS-based landslide hazard evaluation and zonation—a case from Jeldu District, Central Ethiopia”. Journal of King Saud University–Science, https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.05.002.

Kanungo DP, AroraMK, Sarkar S,Gupta RP. (2006). “A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas”. Eng Geol 85:347–366.

Leroi E. (1997). “Landslide risk mapping: problems, limitation, and developments. In Cruden F (ed) Landslide risk assessment”. Balkema, Rotterdam, pp 239–250.

Pan, X., Nakamura, H., Nozaki, T., Huang, X. (2008). “A GIS-based landslide hazard assessment by multivariate analysis Landslides”. J. Jpn. Landslide Soc. 45 (3), 187–195.

Raghuvanshi TK, Negassa L, Kala PM. (2015). “GIS-based grid overlay method versus modeling approach—a comparative study for landslide hazard zonation (LHZ) in Meta Robi District of West Shewa Zone in Ethiopia”. Egypt J Remote sensing Space Sci 18(2):235–250.

Raghuvanshi, T.K., Ibrahim, J., Ayalew, D. (2014). “Slope stability susceptibility evaluation parameter (SSEP) rating scheme an approach for landslide hazard zonation”. J. Afr. Earth Sci. 99, 595–612.

Varnes DJ. (1984). “Landslide hazard zonation: a review of principles and practice”. UNESCO, Paris, pp 1–63.