

Identification of unstable slope zones along the Tefin-Dagaga communication axis in Kurdistan Province

Seyyed Asadallah Hejazi^{1*},
 Shahram Roostaei²,
 Omid Ebrahimi³

1- (*Corresponding author) Professor of geomorphology, Faculty of geographical sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran.

Email: hejazi@tabrizu.ac.ir

2- Professor of geomorphology, Faculty of geographical sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran. Email: roostaei@tabrizu.ac.ir

3- PhD Student of geomorphology, Faculty of geographical Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran. Email: omide1984@gmail.com

Article Info

Date of receive:

2024/12/06

Date of last review:

2025/04/28

Date of accept:

2025/05/28

Date of online publication:

2025/05/28

Keywords:

Landslide prone areas,
 Radar images,
 Analysis network (ANP),
 Vertical displacement

Extended Abstract

Introduction

Landslides are the sliding of a mass of soil or rock or a combination of them on a slope due to gravity, topographic factors, and human activities, which can occur suddenly and locally (Das et al., 2012; Kumar et al., 2017). Landslides pose serious intra-regional and extra-regional risks in mountainous regions around the world (Goetz et al., 2011), and cause serious damage to settlements, railways, power lines, roads, gas pipelines, and agricultural lands (Lin et al., 2012; Yana et al., 2016; Mousavi and Niazi, 2016). In addition, this phenomenon also causes damage by wasting large amounts of fertile soil and filling dam reservoirs downstream (Gutierrez et al., 2015). Among the areas subject to this phenomenon, Iran has always been exposed to various types of landslides due to the presence of the Alborz mountain range in the north and the Zagros mountain range in the northwest to southeast, slopes above 45 degrees, formations with sticky clay soils, and intermittent rain and snow fall, and is no exception to this issue (Rifahi, 2009).

Materials and Methods

The data used in this study include Sentinel-1 radar images from 2017-2021 (Table 1) and 8 geomorphological parameters including slope, slope direction, elevation, distance from road, distance from river, land use, distance from fault, and geological map, which were processed and analyzed using the Analysis Network Model (ANP) and Geographic Information Systems (GIS). Sentinel-1 images are one of the important sources of radar data for interferometric analysis (InSAR). ... Page 204

How to Cite:

Hejazi, S.A. Roostaei, S. Ebrahimi, O. (2025). Identification of unstable slope zones along the Tefin-Dagaga communication axis in Kurdistan Province. Scientific-Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 34(135), 203-221.

These satellites, developed by the European Space Agency (ESA), are equipped with synthetic aperture radar (SAR) that can measure changes in the earth's surface with high accuracy. In this study, after collecting the required data and information, data analysis was carried out in three stages, each of which is described (Table1):

Research Method

1- Evaluation of the rate of vertical displacement changes

In the interferometric analysis process (InSAR) using Sentinel-1 data, first two radar images of the study area are selected, one before and the other after the desired event (such as an earthquake or landslide). These images must overlap in time and space. Then, using the interferometric technique, the phase difference between these two images is calculated, which indicates minor changes in the height of the ground surface. Subsequently, various processes are performed such as removing atmospheric noise, smoothing the data, and converting the phase difference into accurate displacements. Finally, the results are presented in the form of displacement maps or elevation models that are used to analyze land surface changes. In this section, the results of the rate of change of land surface displacements in the study area are examined in order to evaluate and identify landslide-prone areas.

2- Potential assessment of landslide-prone areas

In this section, first, in order to prepare a landslide vulnerability map using the multi-criteria decision-making method, criteria that indicate the vulnerability of the area to landslides were used. The criteria used in this section include height, slope and slope direction, land use, distance from the river, distance from the fault, geology, and distance from the road. In this stage, the relationships between the criteria were determined using the EDPSIR method, and then the weight of each criterion was determined using the Analytical Network Process (ANP) method through expert opinion (questionnaire). Finally, after fuzzing the layers, by combining them in the Geographic Information System (GIS) environment based on the weight of each criterion, a landslide vulnerability map was produced at the level of the study area.

3- Final analysis of the results of the method

After evaluating the changes in ground surface displacements and identifying areas prone to landslides, the hazardous zones in the study area were finally identified. For this purpose, first, images with an appropriate

time interval from the landslide event were selected to accurately record and analyze the ground surface displacements. For example, for the image of July 22, 2018 in the area, the previous image was recorded on July 4, 2018 and the next image was recorded on August 2, 2018. This 18 to 20-day interval between images is a good choice for accurate analysis of ground surface changes. Considering the strength of the earthquake and weather conditions, these images can provide appropriate data for investigating landslides. Finally, a landslide hazard zoning map was prepared using five hazard classes (very low, low, medium, high, and very high). Different colors on the map represent the level of landslide hazard in each part of the area. This map helps identify areas prone to landslides and is of great importance for environmental risk management and urban and rural planning. The map is produced based on network analysis models and environmental data, and the percentage of areas under different risks is well defined.

Discussion and Results

According to the objectives of this study, first the amount of vertical displacements in the study area has been investigated. Then the landslide-prone areas have been identified and evaluated, which are described below:

1- Evaluation of the amount of vertical displacement changes

2- Evaluation of landslide-prone areas

3- Analysis of results

Figure (13) shows the map of landslide-prone areas using five risk classes (very low, low, medium, high and very high). Different colors on the map represent the level of landslide risk in each part of the area. This map helps identify landslide-prone areas and is of great importance for environmental risk management and urban and rural planning. The map was generated based on analytical models and environmental data, and the percentage of areas at different risk is well defined. Very low (23.95%): This class, with 195,567 pixels, covers about 3055.73 hectares of the area, which is approximately 24% of the total area. These areas have the lowest risk of landslides and are usually located in areas with low slopes and away from faults. Low (21.06%): This class, with 171,939 pixels, covers about 2686.55 hectares of the area, which is 21% of the total area.



صفحات ۲۲۱ - ۲۰۳

فصلنامه علمی - پژوهشی

اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۳۴، شماره ۱۳۵، پاییز ۱۴۰۴



مقاله پژوهشی

doi <https://doi.org/10.22131/sepehr.2025.2047565.3107>

شناسایی پهنه‌های ناپایدار دامنه‌ای در محور ارتباطی تفین-دگاگا واقع در استان کردستان

سید اسدالله حجازی^{۱*}، شهرام روستایی^۲، امید ابراهیمی^۳

۱- *نویسنده مسئول) استادگروه جغرافیای طبیعی و ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران hejazi@tabrizu.ac.ir

۲- استادگروه جغرافیای طبیعی و ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران roostaei@tabrizu.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران omide1984@gmail.com

چکیده

زمین لغزش یکی از مخاطرات طبیعی است که سالانه خسارات قابل توجهی به زیرساخت‌ها، منابع طبیعی، و جوامع انسانی وارد می‌کند. بسیاری از مناطق کوهستانی در کشور ایران از جمله دامنه‌های رشته‌کوه زاگرس مستعد وقوع انواع مخاطرات طبیعی و زمین لغزش هستند. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش و ارزیابی میزان جابه‌جایی سطح زمین با استفاده از تصاویر سنجش از دور راداری و روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) در محور تفین-دگاگا واقع در استان کردستان است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر راداری Sentinel-1 مربوط به سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۱۷ و تعداد هشت پارامتر ژئومورفولوژیکی از جمله شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از گسل و نقشه زمین‌شناسی هستند که با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) پردازش و تحلیل شده‌اند. بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی‌های تحلیل شبکه‌ای (ANP)، بیشترین کلاس آسیب‌پذیری خیلی زیاد به ترتیب در اراضی کشاورزی زراعی با ۳۵۶/۰۳ هکتار و سپس مسکونی با ۳۱۹/۷۵ هکتار قرار دارد. بیشترین کلاس آسیب‌پذیری متوسط در کاربری کشاورزی زراعی با ۵۵۸۲/۳۶ هکتار و سپس اراضی جنگلی با ۱۸۸۹/۶۴ هکتار قرار دارد. همچنین نتایج بررسی‌ها و مقایسه داده‌های جابه‌جایی زمین در طول چندین بازه زمانی (از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹) نشان‌دهنده تغییرات چشمگیر در رفتار زمین در طول جاده تفین به دگاگا است. به طوری که میانگین جابه‌جایی زمین در طی دوره زمانی مذکور حدود ۰/۰۵+ متر بالآمدگی و حدود ۰/۰۸- متر فروافتادگی بوده است که می‌توان نتیجه گرفت نشست زمین یک روند مداوم و نگران‌کننده دارد. هرچند میانگین جابه‌جایی در سال ۲۰۱۸ بهبود یافته است، اما در سال ۲۰۱۹ برخی نقاط دچار نشست شدیدتری شده‌اند. این داده‌ها نشان می‌دهند که منطقه همچنان در معرض خطرات ناشی از جابه‌جایی زمین قرار دارد و اقدامات نظارتی و حفاظتی مستمر ضروری است.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۹/۱۶

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۴/۰۲/۰۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۳/۰۷

تاریخ انتشار:

۱۴۰۴/۰۳/۰۷

واژه‌های کلیدی:

مناطق مستعد

زمین لغزش؛

تصاویر راداری؛

تحلیل شبکه‌ای (ANP)؛

جابه‌جایی عمودی

استاد به این مقاله:

حجازی، س. الف؛ روستایی، ش؛ ابراهیمی، الف (۱۴۰۴) شناسایی پهنه‌های ناپایدار دامنه‌ای در محور ارتباطی تفین-دگاگا واقع در استان کردستان؛ فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۳۴(۱۳۵)، ۲۲۱ - ۲۰۳.

۱- مقدمه

(Sentinel-1) و روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) پرداخته شده است.

در دو دهه اخیر در داخل کشور تحقیقات گسترده‌ای بر روی این موضوع و مشابه آن به عمل آمده است؛ از آن جمله می‌توان به پژوهش اکبری و همکاران (۱۳۹۶) اشاره کرد. ایشان در مطالعه‌ای که در حوضه فاروب رومان انجام داده‌اند به بررسی حساسیت وقوع زمین لغزش و تعیین مناطق بحرانی برای عملیات محافظتی و آبخیزداری پرداختند. در این مطالعه حساسیت زمین لغزش با استفاده از تلفیق روش‌های فازی و فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در حوضه فاروب رومان مدل‌سازی شده است. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که کارایی مدل فازی- فرایند تحلیل شبکه‌ای در مدل‌سازی حساسیت زمین لغزش مناسب و قابل قبول است. این پژوهشگران بیان می‌دارند که با توجه به برآورد حساسیت زیاد و بسیار زیاد زمین لغزش به میزان ۵۱ درصد از سطح کل منطقه، اجرای عملیات محافظتی از حوضه مطالعاتی ضروری به نظر می‌رسد.

روستایی و همکاران (۱۳۹۴) پتانسیل رخداد زمین لغزش در محدوده محور و مخزن سد قلعه‌چای را با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از چندین معیار شامل شیب سطح زمین، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری زمین، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و طبقات ارتفاعی به منظور شناسایی پهنه‌های مستعد لغزش استفاده شده است. همچنین در خارج از کشور بر روی این موضوع تحقیقات زیادی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

(Tee Xiong et al. 2017) در مطالعه‌ای به نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، رویکردهای شاخص آماری، شاخص آنتروپی و رگرسیون لجستیک در حوضه آبخیز تیناله، یوگیاکارتا در کشور اندونزی پرداخته‌اند. با در نظر گرفتن ۱۷ پارامتر طبیعی و انسانی با استفاده از روش‌های فازی، تحلیل سلسله مراتبی

زمین لغزش از لغزش توده خاک یا سنگ یا مجموعه‌ای از آن‌ها در اثر نیروی جاذبه زمین، عوامل توپوگرافی، فعالیت‌های انسانی بر روی شیب حاصل می‌شود، که به صورت ناگهانی و موضعی نیز رخ می‌دهد (داس و همکاران، ۲۰۱۲؛ کومار و همکاران، ۲۰۱۷). پدیده زمین لغزش خطرهای جدی درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای در مناطق کوهستانی دنیا ایجاد می‌کند (گوتیرز و همکاران، ۲۰۱۱)، و خسارت‌های جدی را به سکونتگاه‌ها، خطوط راه‌آهن، خطوط برق، جاده‌ها، لوله‌های گاز و اراضی کشاورزی وارد می‌کند (لین و همکاران، ۲۰۱۲؛ یونا و همکاران، ۲۰۱۶؛ موسوی و نیازی، ۲۰۱۶). علاوه بر این موارد، این پدیده با هدررفت خاک حاصلخیز در حجم زیاد و پرشدن مخازن سدها در پایین دست نیز ایجاد خسارت می‌کند (گوتیرز و همکاران، ۲۰۱۵). در میان مناطق تحت وقوع این پدیده، کشور ایران به دلیل وجود رشته کوه‌های البرز در شمال و زاگرس در شمال غرب به جنوب شرق، شیب‌های بالای ۴۵ درجه، سازندهای با خاک‌های رسی چسبنده و ریزش متناوب باران و برف همواره در معرض وقوع انواع زمین لغزش بوده است و از این مسئله مستثنا نیست (رفاهی، ۲۰۰۹). در سال‌های اخیر، وقوع این پدیده به دلیل تعدد و گسترش روزافزون در بسیاری از نقاط ایران موجب شده که نظر مسئولین و به‌ویژه کارشناسان ذی‌ربط به این بلای طبیعی بیش از پیش معطوف شود. شکی نیست که خسارات و پیامدهای ناشی از این پدیده به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم متوجه امور زیربنایی کشور می‌شود. با توجه به موارد مذکور، در پژوهش حاضر، به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش و جابه‌جایی‌های عمودی زمین در محور تفین - دگاگا با استفاده از تصاویر سنجنش از دور راداری

1- Das et al

2- Kumar et al

3- Lin et al

4- Yuan et al

5- Moosavi and Niazi

6- Gutiérrez et al

7- Rafahi

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۳۳)

شناسایی پهنه‌های ناپایدار دامنه‌ای در محور ارتباطی تفین-دگاگا ... / ۲۰۷

بر این، چندین نقطه حساس با خطرات زیاد رانش زمین در امتداد بزرگراه A90 شناسایی شد. (Abdul et al, 2021) در مطالعه‌ای به شناسایی مناطق مستعد خطر زمین لغزش با استفاده از لجستیک مدل‌سازی رگرسیون در گویشی، جیانگشی، چین را بررسی نمودند. (S Hidayat et al, 2024)، تجزیه و تحلیل منطقه حساس به زمین لغزش با استفاده از فرکانس نسبت و روش رگرسیون لجستیک در هامبالنگ، منطقه‌ای واقع در استان جاوای غربی کشور اندونزی را انجام داده‌اند. شرافت و دیگران^۱ (۲۰۲۴)، در پژوهشی پهنه‌بندی نقشه حساسیت زمین لغزش مبتنی بر GIS با استفاده از لجستیک رگرسیون، تصادفی و مدل‌های درخت تصمیم در منطقه چاتوگرام، بنگلادش را انجام داده‌اند. با توجه به موارد ذکر شده هدف از پژوهش حاضر، شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش و بررسی میزان جابه‌جایی سطح زمین با استفاده از تصاویر سنجش از دور راداری و روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) در محور تفین-دگاگا واقع در استان کردستان است.

۲- مواد و روش‌ها

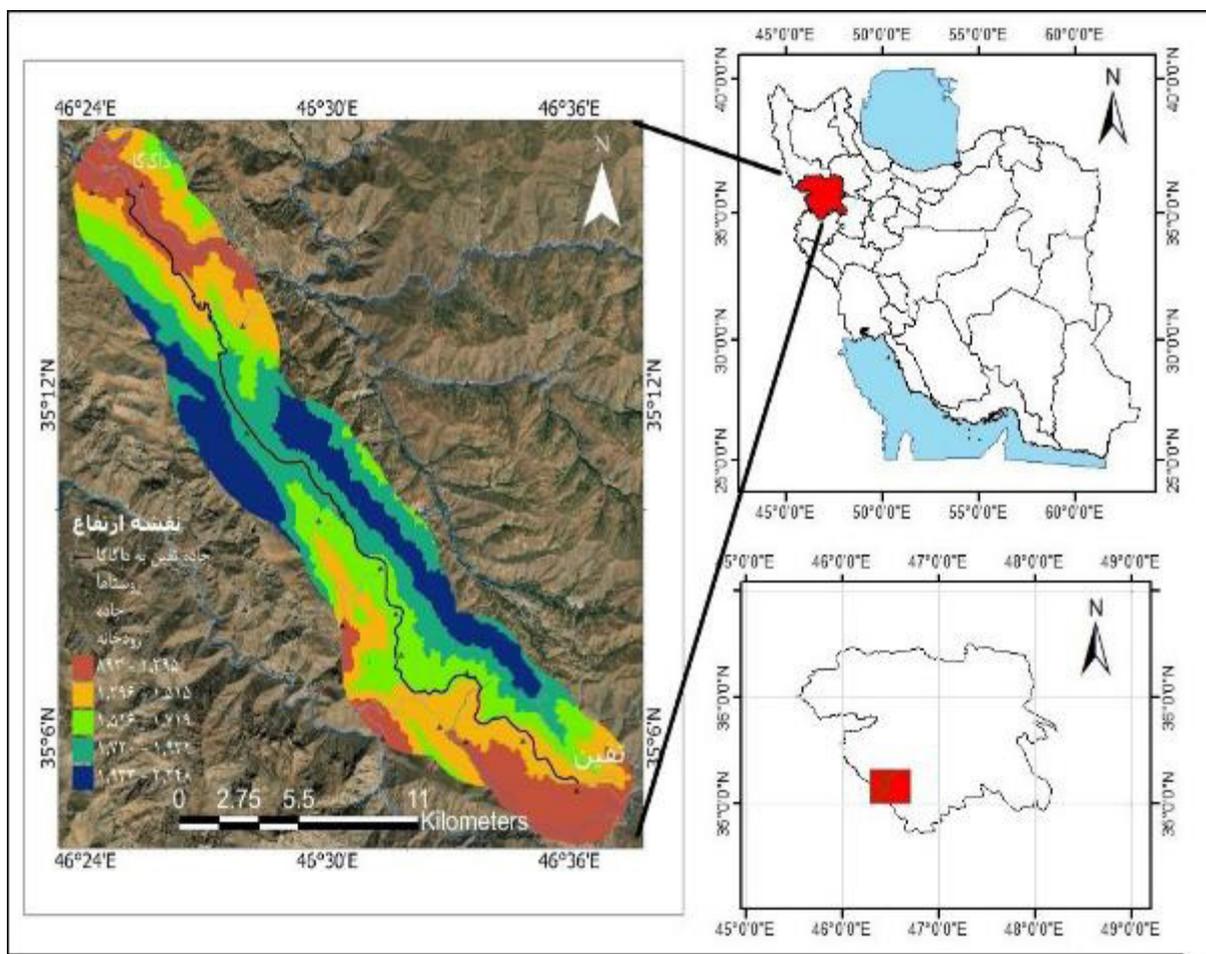
۲-۱- محدوده مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه مسیر ارتباطی شهرستان کامیاران به میوان است که در شمال غربی شهرستان کامیاران و جنوب شرقی شهرستان سروآباد در طول‌های "۴۳°، ۵۲°، ۶°، ۴۶° الی "۱۲°، ۲۱°، ۴۶° شرقی و عرض‌های "۰۳°، ۰۶°، ۳۵° الی "۳۴°، ۱۱°، ۳۵° شمالی با طول تقریباً ۲۰ کیلومتر قرار گرفته است (نگاره ۱). در عرض حدوداً ۱/۵ کیلومتر در مسیر منطقه مورد مطالعه روستاهای تفین، ده‌کاکان، سوره‌توو، ژیریزه، سرومال و دگاگا واقع شده‌اند. حداکثر و حداقل ارتفاع منطقه به ترتیب ۲۹۸۲ (جنوب منطقه) و ۷۴۸ (شمال غربی) متر است و این امر اختلاف ارتفاعی ۲۲۳۴ متری را نشان می‌دهد (نگاره ۱).

(AHP) و فرآیند تحلیل شبکه (ANP) به بررسی حساسیت منطقه سانگورچی نسبت به زمین لغزش پرداخته‌اند. آن‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که ۷۶ درصد از منطقه به مناطق با حساسیت زیاد تعلق دارند و روش ANP را روش مناسبی برای تحلیل حساسیت زمین لغزش معرفی نموده‌اند. (Luigi Lombardo, 2018) در پژوهشی به شناسایی مناطق مستعد و نیز نتایج حساسیت زمین لغزش مبتنی بر روش ANP در جنوب ایتالیا پرداخته است. نتیجه پژوهش ایشان نشان داده است که حوضه مورد مطالعه پتانسیل بالایی برای لغزش‌پذیری دارد. مطابق نقشه‌های نهایی، مناطق شرقی حوضه شامل زمین‌های هموار دارای کمترین پتانسیل و دیوارها و مناطق پرشیب غرب و جنوب غربی حوضه دارای بالاترین پتانسیل برای زمین لغزش هستند.

(Wang, Zang, et al. 2019) به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مبتنی بر GIS و کاربردهای آن پرداختند. در این پژوهش شهرستان وان در چین به صورت موردی از نظر خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از تکنیک وزن‌دهی رتبه‌بندی نسبی مقیاس ترتیبی پهنه‌بندی شد. نتایج همچنین بیانگر این است که پهنه‌های بسیار کم خطر، کم خطر، با خطر متوسط، با خطر زیاد و با خطر بسیار زیاد به ترتیب بالغ بر ۲/۲ درصد، ۱۴ درصد، ۴۰ درصد، ۲۸ درصد، ۱۲ درصد و ۳/۵ درصد از سطح حوضه را شامل می‌شوند. از نقاط کنترل تغییر شکل GPS بر روی توده‌های لغزشی برای بررسی صحت و اعتبارسنجی روش LHZ استفاده شد.

(Wenchao et al. 2020) به تهیه نقشه و ارزیابی حساسیت زمین لغزش قسمت‌های غربی جزیره کرت پرداختند. داده‌های ماهواره Sentinel-2 برای شناسایی وقایع زمین لغزش اخیر مورد استفاده قرار گرفت. هشت عامل محرک زمین لغزش انتخاب و در یک محیط مبتنی بر GIS ایجاد شد و برای ارزیابی شاخص حساسیت به زمین لغزش (LSI) از روش نیمه کمی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و ترکیب خطی وزنی (WLC) بهره گرفته شد. در این مطالعه اعتبارسنجی دو نقشه LSI نتایج دقیقی را ارائه داد و علاوه



نگاره ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

۲-۲- روش پژوهش

سطح زمین را با دقت بالا اندازه‌گیری کنند. در این پژوهش پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز و اطلاعات، تجزیه و تحلیل داده‌ها در سه مرحله انجام شده که در ادامه به تشریح هر یک از آن‌ها پرداخته شده است.

۲-۲-۱- ارزیابی میزان تغییرات جابه‌جایی عمودی

در فرآیند آنالیز تداخل‌سنجی (InSAR) با استفاده از داده‌های سنتینل-۱، ابتدا دو تصویر راداری از منطقه مورد مطالعه، یکی قبل و دیگری بعد از رخداد مورد نظر (مثل زلزله یا زمین‌لغزش) انتخاب می‌شود. این تصاویر باید با یکدیگر هم‌پوشانی زمانی و مکانی داشته باشند. سپس، با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی، اختلاف فاز بین این دو

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر راداری Sentinel-1 مربوط به سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۱۷ (جدول ۱) و تعداد هشت پارامتر ژئومورفولوژیکی از جمله شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از گسل و نقشه زمین‌شناسی هستند که با استفاده از مدل تحلیل شبکه (ANP) و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) پردازش و تحلیل شده‌اند. تصاویر سنتینل-۱ یکی از منابع مهم داده‌های راداری برای تحلیل تداخل‌سنجی (InSAR) هستند. این ماهواره‌ها که توسط آژانس فضایی اروپا (ESA) توسعه یافته‌اند، مجهز به رادار دهانه مصنوعی (SAR) هستند که می‌توانند تغییرات

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (...)

شناسایی پهنه‌های ناپایدار دامنه‌ای در محور ارتباطی تفین-دگاگا ... / ۲۰۹

جدول ۱: مشخصات تصاویر سنتینل-۱ مورد استفاده در این پژوهش

شماره	نام منطقه	زمان رخداد زمین لغزش	تصاویر قبل زمین لغزش	تصاویر بعد زمین لغزش
۱	کرمانشاه	۲۰۱۸/۷/۲۲	۲۰۱۸/۰۷/۰۴	۲۰۱۸/۰۸/۰۲
۲	۲۱ کیلومتری جنوب غرب سرپل ذهاب	۲۰۱۸/۱۱/۲۵	۲۰۱۸/۱۱/۰۸	۲۰۱۸/۱۱/۲۶
۳	جنوب غرب جوانرود	۲۰۱۸/۰۸/۲۵	۲۰۱۸/۰۸/۰۸	۲۰۱۸/۰۹/۰۲
۴	تازه‌آباد کرمانشاه	۲۰۱۷/۱۱/۱۲	۲۰۱۷/۱۱/۱۰	۲۰۱۷/۱۱/۰۹
۵	کلارزیپ - کرمانشاه	۲۰۱۹/۰۶/۰۱	۲۰۱۹/۰۵/۱۲	۲۰۱۹/۰۶/۱۵

۲-۲-۳- تحلیل نهایی نتایج روش کار

پس از ارزیابی میزان تغییرات جابه‌جایی‌های سطحی زمین و نیز شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش، در نهایت پهنه‌های مخاطره‌آمیز در محدوده مورد مطالعاتی شناسایی شدند. برای این منظور ابتدا تصاویر با فاصله زمانی مناسب از رخداد زمین لغزش انتخاب شده‌اند تا جابه‌جایی‌های سطح زمین به‌طور دقیق ثبت و تحلیل شوند. به‌عنوان مثال، برای تصویر ۲۲ ژوئیه ۲۰۱۸ در منطقه، تصویر قبل در تاریخ ۴ ژوئیه ۲۰۱۸ و تصویر بعد در تاریخ ۲ اوت ۲۰۱۸ ثبت شده است. این فاصله زمانی ۱۸ تا ۲۰ روزه بین تصاویر، انتخاب خوبی برای تحلیل دقیق تغییرات سطح زمین است. با توجه به قدرت زمین‌لرزه و شرایط جوی، این تصاویر می‌توانند داده‌های مناسبی برای بررسی زمین‌لغزش‌ها ارائه دهند. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از پنج کلاس خطر (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تهیه شد. رنگ‌های مختلف در نقشه نمایانگر میزان خطر زمین‌لغزش در هر بخش از منطقه هستند. این نقشه به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش کمک می‌کند و از اهمیت بالایی برای مدیریت مخاطرات محیطی و برنامه‌ریزی‌های شهری و روستایی برخوردار است. نقشه بر اساس مدل‌های تحلیل شبکه و داده‌های محیطی تولید شده و درصد مناطق تحت خطر مختلف به خوبی مشخص شده است.

تصویر محاسبه می‌شود که نشان‌دهنده تغییرات جزئی در ارتفاع سطح زمین است. در ادامه، پردازش‌های مختلفی مانند حذف نویزهای جوی، صاف‌سازی داده‌ها، و تبدیل اختلاف فاز به جابه‌جایی‌های دقیق انجام می‌شود. در نهایت، نتایج به‌صورت نقشه‌های جابه‌جایی یا مدل‌های ارتفاعی ارائه می‌شود که برای تحلیل تغییرات سطح زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این بخش به بررسی نتایج نرخ تغییرات جابه‌جایی‌های سطحی زمین در محدوده مورد مطالعه به منظور ارزیابی و شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش پرداخته شده است.

۲-۲-۲- پتانسیل سنجی مناطق مستعد زمین لغزش

ابتدا به منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره از معیارهایی که معرف آسیب‌پذیری منطقه به زمین لغزش هستند استفاده شد. معیارهایی مورد استفاده در این بخش شامل ارتفاع، شیب و جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، زمین‌شناسی و فاصله از جاده هستند. در این مرحله با استفاده از روش EDPSIR روابط بین معیارها مشخص شده و سپس وزن هر یک از معیارها با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه (ANP) از طریق نظر کارشناسان (پرسشنامه) تعیین شد. در انتها بعد از فازی‌سازی لایه‌ها، با ترکیب آن‌ها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) بر اساس وزن هر کدام از معیارها، نقشه آسیب‌پذیری به زمین لغزش در سطح منطقه مورد مطالعه ایجاد شده است.

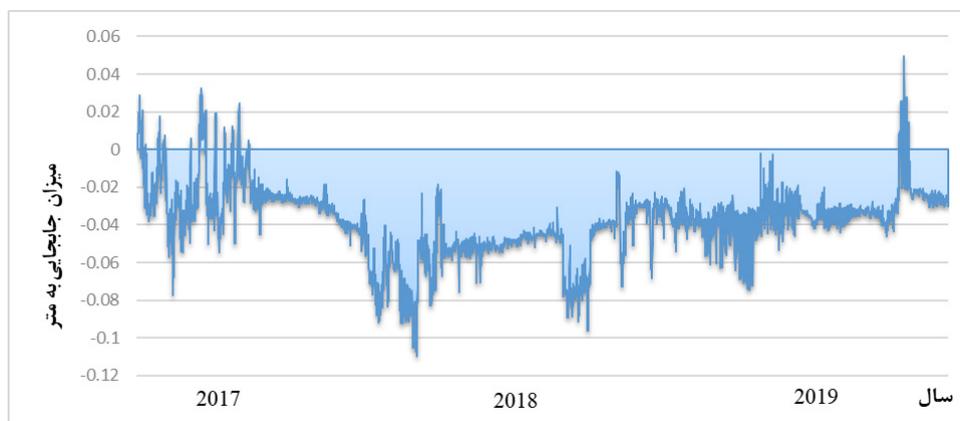
۳- بحث و نتایج

سال ۰/۰۸۴۵- متر بوده است که بیشترین نشست را در طول مسیر نشان می‌دهد. همچنین، پراکندگی جابه‌جایی‌ها در این سال نسبت به سال‌های دیگر بیشتر است که می‌تواند به معنای تنوع در رفتار زمین باشد. بخش عمده جابه‌جایی‌های سال ۲۰۱۷ در محدوده ۰/۰۵۸۴- تا ۰/۰۵۳۸- متر قرار دارد. در سال ۲۰۱۸، جابه‌جایی زمین در دو دوره زمانی مختلف (ژوئیه و اوت) اندازه‌گیری شده است. در ژوئیه ۲۰۱۸، میانگین جابه‌جایی برابر با ۰/۰۲۴۸- متر بوده که نسبت به سال ۲۰۱۷ کاهش یافته است. با این حال، حداقل جابه‌جایی ثبت شده ۰/۰۴۴۹- متر است، حداقل جابه‌جایی ثبت شده ۰/۰۵۰۱- متر نشان می‌دهد که برخی نقاط همچنان تحت تأثیر نشست شدید زمین قرار دارند، اما این نشست به‌طور کلی کمتر و یکنواخت‌تر است. سال ۲۰۱۹ شاهد کاهش بیشتری در میزان جابه‌جایی زمین بوده است. با توجه به داده‌های جابه‌جایی سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹، می‌توان نتیجه گرفت که نشست زمین در طول مسیر جاده تقین به دگاگا یک روند مداوم و نگران‌کننده است. هرچند میانگین جابه‌جایی در سال ۲۰۱۸ بهبود یافته است، اما در سال ۲۰۱۹ برخی نقاط دچار نشست شدیدتری شده‌اند. این داده‌ها نشان می‌دهند که منطقه همچنان در معرض خطرات ناشی از فرونشست زمین بر اثر عوامل تکتونیکی حاصل از فعال بودن گسل سراسری و اصلی زاگرس، قرار دارد.

با توجه به اهداف مورد نظر در این پژوهش، ابتدا میزان جابه‌جایی‌های عمودی در محدوده مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سپس مناطق مستعد وقوع زمین لغزش شناسایی و ارزیابی شده‌اند که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است.

۳-۱- ارزیابی میزان تغییرات جابه‌جایی عمودی

نتایج بررسی و مقایسه داده‌های جابه‌جایی زمین در طول چندین بازه زمانی (از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹) نشان‌دهنده تغییرات چشمگیری در رفتار زمین در طول جاده تقین به دگاگا است. این تحلیل مقایسه‌ای می‌تواند روند نشست زمین و دیگر تغییرات جغرافیایی را در طول این سال‌ها به‌خوبی مشخص کند. به‌منظور انجام کار، ابتدا تصاویر مورد نظر تهیه شده و سپس پیش پردازش‌های لازم بر روی آن‌ها انجام شده است. پس از پیش پردازش‌های لازم، بر مبنای بیس‌لاین زمانی تصاویر (نگاره ۲ و جدول ۲)، جفت تصاویر مورد نظر برای ساخت اینترفروگرام انتخاب شده است. نتایج حاصل از روش تداخل سنجی راداری بیانگر این است که در سال ۲۰۱۷، میانگین جابه‌جایی زمین در این منطقه برابر با ۰/۰۵۶۱- متر بوده که نشان‌دهنده نشست زمین است (نگاره ۳). حداقل جابه‌جایی ثبت شده در این

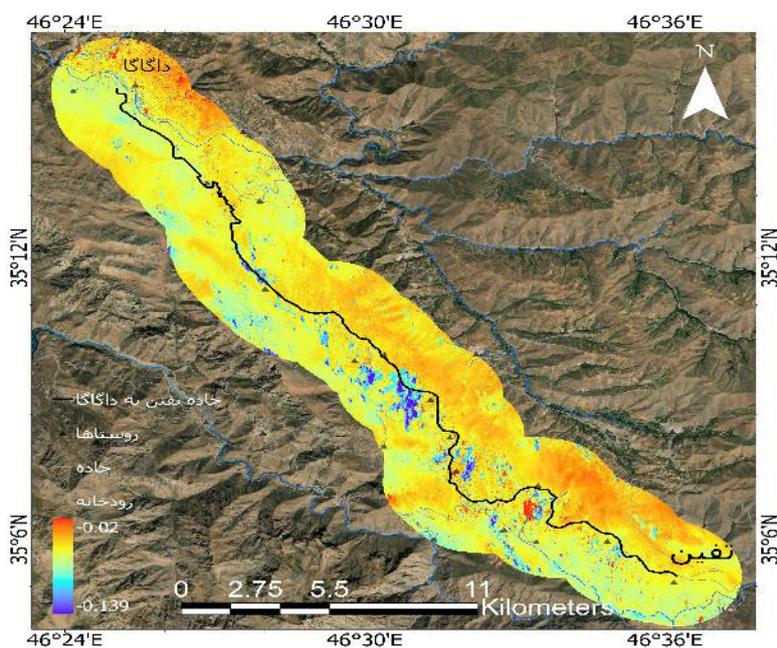


نگاره ۲: نمودار میزان جابه‌جایی در محدوده مطالعاتی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
 شناسایی پهنه‌های ناپایدار دامنه‌ای در محور ارتباطی تفین-دگاگا ... / ۲۱۱

جدول ۲: مقادیر خط مبنای محاسباتی زوج تصویر راداری انتخابی

قبل/بعد	تاریخ تصویر	مسیر	مدار	فاصله عمودی (m)	فاصله زمانی (days)	همبستگی مدل سازی شده	جابه جایی بالا (m)	جابه جایی جزئی (Hz)
تصویر مرجع	08Nov2018	6	13507	-14.08	18	0.97	1114.93	2.46
تصویر پیرو	26Nov2018	6	24753	0	0	1	∞	0
تصویر مرجع	07Nov2017	6	19153	-14.44	12	0.97	1087.6	-3.72
تصویر پیرو	19Nov2017	6	19328	0	0	1	∞	0
تصویر مرجع	04Jul2018	174	22646	14.3	24	0.97	-1097.78	-1.96
تصویر پیرو	28Jul2018	174	22996	0	0	1	∞	0
تصویر مرجع	09Aug2018	174	23171	0	0	1	∞	0
تصویر پیرو	02Sep2018	174	23521	-145.62	-24	0.86	107.83	-2.85
تصویر مرجع	12May2019	174	27196	-27.62	48	0.93	568.45	0.57
تصویر پیرو	29Jun2019	174	27896	0	0	1	∞	0



نگاره ۳: نقشه میزان جابه جایی عمودی در محدوده مورد مطالعه

۲-۳- ارزیابی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش

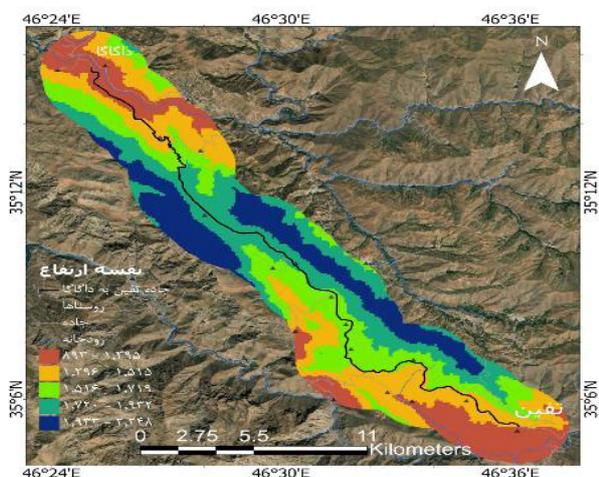
محدوده مورد مطالعه در شهرستان سروآباد به دلیل قرار گرفتن در زون و گسل اصلی زاگرس و شرایط تکتونیکی و ژئومورفولوژی فعال منطقه تحت تأثیر عوامل اقلیمی و گاه فعالیت‌های انسانی به مرور زمان تغییراتی را در منابع پایه مانند منابع آب، خاک و پوشش گیاهی ایجاد کرده که یکی از مهم‌ترین اثرات قابل رؤیت آن، حرکت‌های توده‌ای و زمین لغزش و به دنبال آن فرسایش خاک شده است. این پژوهش به منظور شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش و نهایتاً طبقه‌بندی منطقه از نظر ریسک‌پذیری زمین لغزش طرح‌ریزی شده است. در مرحله جمع‌آوری داده‌ها با شناخت متغیرهای مؤثر در ایجاد زمین لغزش اقدام به جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز شد. در جمع‌آوری اطلاعات از داده‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی، مورفومتری، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی استفاده شده است. در این پژوهش ورود داده‌ها برای تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری و خطر، به صورت نقشه‌های رستری صورت گرفته است. از این‌رو در پایان مرحله آماده‌سازی اطلاعات ورودی، قبل از ورود به نرم‌افزار، مجموعه‌ای از نقشه‌های رستری در حد وسعت منطقه تهیه شد، که هر پیکسل از آن‌ها دارای ارزشی معادل هر کدام از متغیرهای مرتبط با زمین لغزش بوده و در واقع حجم زیادی از داده را شامل می‌شود. بر این اساس در تحقیق حاضر از تعداد هشت پارامتر برای شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش استفاده شده، که در ادامه به تشریح این پارامترها پرداخته شده است.

۳-۲-۱- پارامترهای ژئومورفولوژیکی

به منظور تهیه لایه‌های ژئومورفولوژیکی تأثیرگذار بر زمین لغزش ابتدا نقشه رقومی ارتفاعی (DEM) رستر با اندازه پیکسل ۱۲/۵ متر مربوط به محدوده مورد مطالعه تهیه شد. سپس اقدام به تهیه لایه‌های ارتفاع، شیب، جهت شیب، از آن شد، که در ادامه به اهمیت نقش هر کدام از این فاکتورها در رخداد زمین لغزش پرداخته شده است.

فاکتور ارتفاع در اکثر مطالعات به عنوان عامل مهم در وقوع زمین لغزش معرفی شده است. مرور منابع علمی گذشته نشان داده که در مکان‌هایی با ارتفاع زیاد، به دلیل توپوگرافی قوی دامنه‌ها پتانسیل رخداد زمین لغزش افزایش می‌یابد (Motavalli, et al., 2008). نگاره (۴) نقشه تغییرات ارتفاعی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. از نظر توپوگرافی، منطقه دارای گرادیان ارتفاعی ۸۶۹ تا ۲۹۵۴ متر است که در حقیقت در بین رشته کوه‌های زاگرس واقع شده است. به دلیل موقعیت توپوگرافی این حوضه، بارش برف اصلی‌ترین نوع بارش منطقه است. شیب نیز فاکتور تأثیرگذار دیگر در زمین لغزش است که از طریق افزایش انرژی جنبشی و گرانشی و در نتیجه قدرت جابه‌جایی خاک افزایش می‌یابد و از لغزش زمین نیز زیاد خواهد شد.

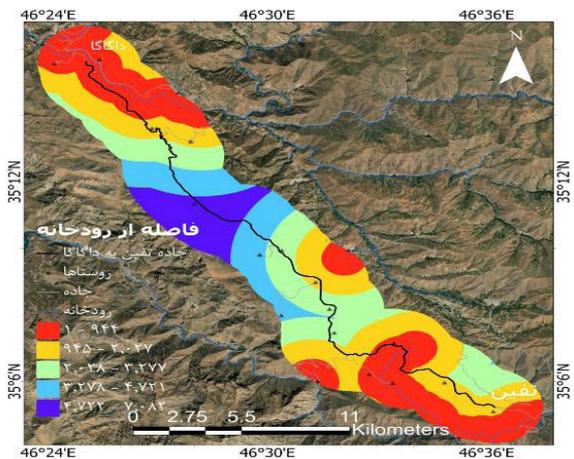
نگاره ۵ نقشه شیب منطقه را نشان می‌دهد که به صورت رنگی و طبقه‌بندی شده به نمایش درآمده است. شیب‌ها در محدوده مقادیر ۰/۵۲۲ درجه تا ۵۸/۲۸۶ درجه متغیر هستند. محدوده‌های با رنگ نارنجی و قرمز نمایانگر شیب‌های تندتر هستند، در حالی که رنگ‌های سبز و آبی نمایانگر مناطق با شیب کمتر هستند. میانگین شیب براساس این بازه، ۲۹/۴ درجه است. نقشه به وضوح بیان می‌کند که مناطق با شیب‌های تند بیشتر در معرض خطر زمین لغزش قرار دارند، به ویژه در نزدیکی جاده‌های کوهستانی که احتمال لغزش بیشتر می‌شود.



نگاره ۴: نقشه سطوح ارتفاعی محدوده مطالعاتی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (...)
شناسایی پهنه‌های ناپایدار دامنه‌ای در محور ارتباطی تفین-دگاگا ... / ۲۱۳

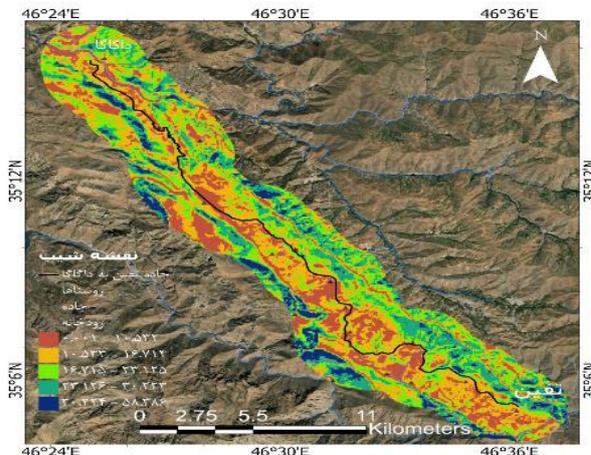
یکی دیگر از پارامترهای ژئومورفولوژیکی فاصله از رودخانه است که در اینجا به صورت طبقه‌بندی شده نشان داده می‌شود (نگاره ۷). رنگ‌های مختلف در این نقشه بیانگر بازه‌های فاصله‌ای از رودخانه هستند. نزدیک‌ترین مناطق به رودخانه با رنگ قرمز (فاصله حدود ۹۴۴ متر) و دورترین مناطق با رنگ آبی (فاصله بیش از ۷۰۸۲ متر) مشخص شده‌اند. این نوع تحلیل مکانی برای ارزیابی خطرات محیطی نظیر زمین‌لغزش یا سیلاب اهمیت زیادی دارد، زیرا نزدیکی به رودخانه می‌تواند تأثیر قابل توجهی در پایداری خاک و شیب‌ها داشته باشد. به‌ویژه در مناطقی که رودخانه‌ها از کنار شیب‌های تند عبور می‌کنند، احتمال بروز زمین‌لغزش یا فرسایش خاک بیشتر است. این نقشه می‌تواند به شناسایی مناطقی که در نزدیکی رودخانه‌ها با خطر بیشتری مواجه هستند کمک کند و در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و حفاظتی به کار رود.



نگاره ۷: نقشه فاصله از رودخانه محدوده مطالعاتی

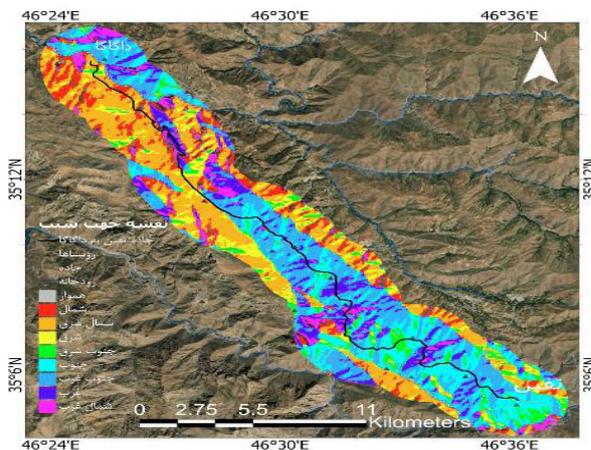
۲-۲-۳- پارامترهای زمین‌شناسی

نگاره (۸) نقشه فاصله از گسل‌های اصلی را نشان می‌دهد و به‌طور واضح مناطق مختلف را براساس فاصله‌شان از گسل‌ها طبقه‌بندی کرده است. رنگ‌های قرمز و نارنجی نشان‌دهنده نزدیک‌ترین فاصله‌ها به گسل (حدود ۶۰۱ تا ۱۲۱۵ متر) هستند، در حالی که رنگ‌های آبی و بنفش



نگاره ۵: نقشه شیب محدوده مطالعاتی

نگاره ۶ نقشه جهت شیب منطقه است که با استفاده از رنگ‌های مختلف جهت‌های مختلف را نمایش می‌دهد. هر رنگ در این نقشه به یکی از جهات جغرافیایی (شمال، جنوب، شرق، غرب و ترکیب‌های بینابینی) اشاره دارد. به‌عنوان مثال، مناطق با رنگ‌های قرمز نشان‌دهنده شیب‌هایی با جهت شمال هستند، در حالی که رنگ زرد برای جهت شرق، آبی برای غرب و بنفش برای شیب‌های رو به شمال‌شرق است. این نقشه برای تحلیل خطرات زمین‌لغزش و همچنین بررسی پتانسیل فرسایش خاک اهمیت دارد، زیرا جهت شیب نقش مهمی در حرکت آب و مواد در سطح زمین دارد. از طریق ترکیب این نقشه با اطلاعاتی مانند شیب و ارتفاع، می‌توان مناطق مستعد خطرات زیست‌محیطی را به‌طور دقیق‌تری شناسایی کرد.



نگاره ۶: نقشه جهت شیب محدوده مطالعاتی

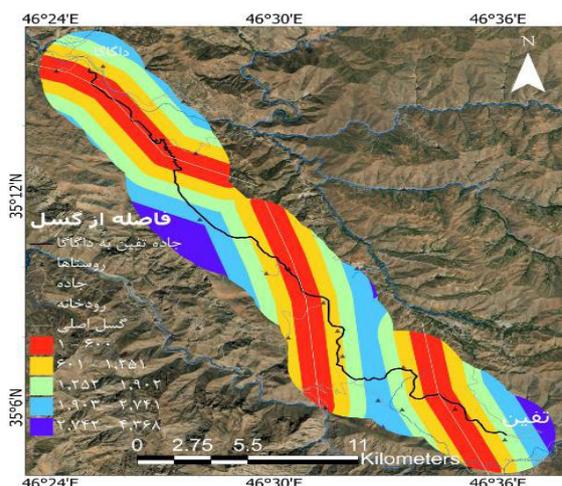
فرسایشی کمتر مقاوم است. بنابراین، این مناطق ممکن است مستعد وقوع زمین لغزش باشند، به ویژه در شیب‌های تند. سازند (رنگ قهوه‌ای روشن): این سازند معمولاً شامل سنگ‌های آهکی و مارنی است که در صورت قرارگیری در معرض رطوبت بالا یا شیب‌های تند، ممکن است پایداری خود را از دست بدهند. مناطق با این سازند باید از نظر پتانسیل وقوع زمین لغزش مورد بررسی دقیق قرار گیرند. سازند الیکا (رنگ قرمز): این سازند معمولاً متشکل از سنگ‌های آذرین و دگرگونی است که در مقایسه با سایر سازندها، مقاوم‌تر است. با این حال، در مناطقی که این سازندها در نزدیکی شیب‌های تند قرار دارند، خطر زمین لغزش همچنان ممکن است وجود داشته باشد، اما احتمال آن کمتر از سایر سازندهای نرم‌تر است.

سازند قم (رنگ زرد): این سازند از رسوبات نئوژن تشکیل شده که شامل سنگ‌های نرم‌تر نظیر ماسه‌سنگ و مارن است. مناطق با این سازند به دلیل ترکیبات رسوبی و وجود مواد رسی، به ویژه در مناطق با شیب‌های تند، بسیار مستعد زمین لغزش هستند.

سازند مزدوران (رنگ قهوه‌ای تیره): سازند مزدوران به دلیل داشتن مواد آواری و رسوبات، در مناطقی با رطوبت بالا و شیب‌های تند می‌تواند پتانسیل بالایی برای وقوع زمین لغزش داشته باشد. به ویژه در مناطقی که عوامل محیطی و انسانی مانند جاده‌سازی وجود دارند.

سازند فجن (رنگ صورتی): این سازند از سنگ‌های رسوبی کم‌مقاومت تشکیل شده که در مقابل فرسایش و زمین لغزش آسیب‌پذیر هستند. شیب‌های تند و وجود آب‌های سطحی در نزدیکی این سازندها، احتمال زمین لغزش را افزایش می‌دهند. مناطقی که سازندهای رسوبی نرم‌تری مانند سازند قم دارند، به ویژه در صورت ترکیب با شیب‌های تند و شرایط جوی مرطوب، بیشتر در معرض خطر زمین لغزش قرار دارند. از سوی دیگر، سازندهای مقاوم‌تر مانند سازند الیکا ممکن است کمتر در معرض زمین لغزش باشند، اما همچنان نیاز به بررسی‌های دقیق دارند، به خصوص در

بیانگر مناطقی با فاصله بیشتر (تا ۷۰۰۰ متر) هستند. این نقشه برای ارزیابی خطرات زمین لغزش و دیگر مخاطرات زمین‌شناسی بسیار مفید است. مناطقی که به گسل نزدیک‌تر هستند (رنگ‌های قرمز و نارنجی) به دلیل تأثیرات لرزش و فعالیت‌های گسلی، معمولاً در معرض خطرات بیشتری از جمله زمین لغزش قرار دارند. به ویژه، این مناطق به دلیل پتانسیل لرزش‌های شدید، نیازمند نظارت و محافظت بیشتری هستند. از طرف دیگر، مناطقی با فاصله بیشتر (رنگ‌های آبی و بنفش) احتمال کمتری برای تجربه این نوع مخاطرات دارند، اما همچنان باید مورد توجه باشند، زیرا عواملی نظیر شیب و نوع سازند زمین‌شناسی نیز می‌توانند نقش مهمی در پایداری زمین ایفا کنند.



نگاره ۸: نقشه فاصله از گسل محدوده مطالعاتی

نگاره (۹) زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد و محدوده‌های مختلف سازندهای زمین‌شناسی را با رنگ‌های گوناگون نمایش می‌دهد. هر سازند زمین‌شناسی در این نقشه براساس ویژگی‌های سنگ‌شناسی و ساختاری متفاوتی که دارد، نقش مهمی در تحلیل زمین لغزش‌ها ایفا می‌کند. حال به تفکیک سازندهای موجود در نقشه و تأثیر آن‌ها بر زمین لغزش می‌پردازیم:

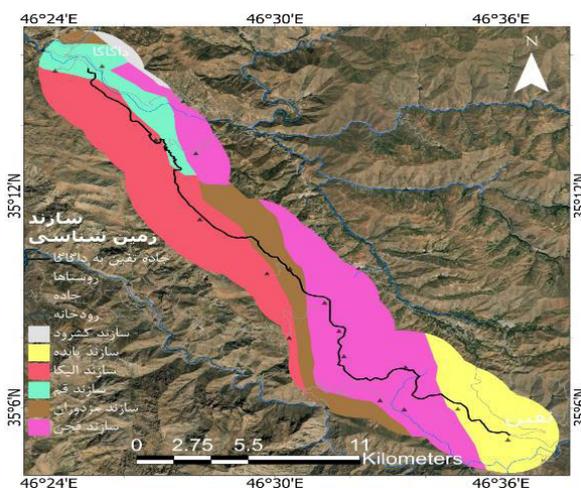
سازند کشف‌رود (رنگ خاکستری): این سازند از جنس رسوبات قدیمی‌تر تشکیل شده و معمولاً در برابر عوامل

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۳۱۵)

شناسایی پهنه‌های ناپایدار دامنه‌ای در محور ارتباطی تفین-دگاگا ... / ۲۱۵

نگاره (۱۰) کاربری اراضی منطقه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنتینل ایجاد شده است و کلاس‌های مختلف کاربری اراضی را نمایش می‌دهد. دسته‌بندی‌های کاربری شامل پهنه آبی، اراضی جنگلی، اراضی کشاورزی، اراضی ساخته شده، اراضی بدون پوشش گیاهی و اراضی مرتعی هستند. هر یک از این دسته‌ها با رنگ خاصی در نقشه مشخص شده‌اند. به عنوان مثال، اراضی کشاورزی با رنگ زرد و اراضی ساخته شده با رنگ قرمز نمایش داده شده‌اند. بیشتر مساحت منطقه را اراضی مرتعی به خود اختصاص داده که با رنگ سبز روشن نمایش داده شده است. براساس جدول داده‌ها، اراضی مرتعی بیشترین مساحت را در منطقه دارند و حدود ۸۹/۷۵ درصد از کل مساحت را تشکیل می‌دهند که معادل ۱۱۴۴۸/۲۵ هکتار است. اراضی کشاورزی دومین کلاس مهم از نظر وسعت هستند و ۷/۹۲ درصد از مساحت منطقه را با ۱۰۱۱ هکتار تشکیل می‌دهند. اراضی ساخته شده نیز ۲/۲۴ درصد از منطقه را دربر می‌گیرند. سایر کلاس‌ها مانند اراضی جنگلی و پهنه‌های آبی درصد بسیار کمتری از مساحت را تشکیل داده و در مجموع کمتر از ۱ درصد از کل منطقه را شامل می‌شوند. این نقشه به‌طور واضح نشان می‌دهد که اراضی مرتعی غالب‌ترین کاربری در منطقه هستند و سایر دسته‌های کاربری، به‌ویژه اراضی جنگلی و ساخته‌شده، تنها در نواحی خاصی از منطقه گسترش یافته‌اند (جدول ۳).

مناطق نزدیک به جاده‌ها و رودخانه‌ها که تغییرات محیطی بیشتری رخ می‌دهد. در مجموع، این نقشه می‌تواند به شناسایی مناطقی کمک کند که نیاز به مدیریت ریسک بیشتری دارند، و اقدامات پیشگیرانه می‌توانند به کاهش خسارات ناشی از زمین‌لغزش کمک کنند.



نگاره ۹: نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی

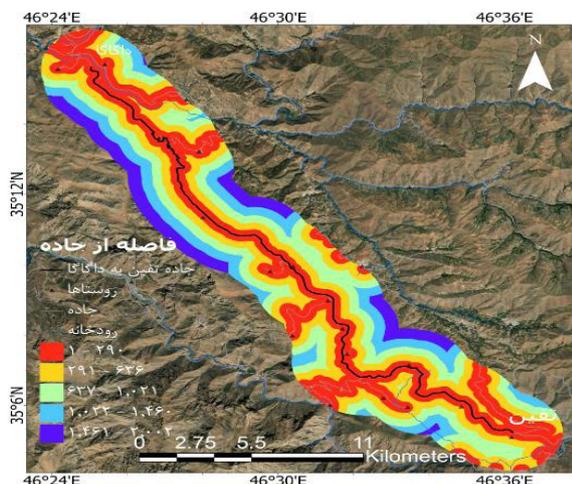
۳-۲-۳- پارامترهای انسانی

تخریب طبیعت توسط انسان همواره در طول تاریخ کره زمین وجود داشته و ریشه بسیاری از مخاطرات طبیعی به دستکاری‌های بشر در سرشت آن برمی‌گردد. در این مطالعه برای تهیه نقشه خطر زمین لغزش، از متغیر کاربری‌های اراضی و نیز متغیر فاصله از جاده، استفاده شده است.

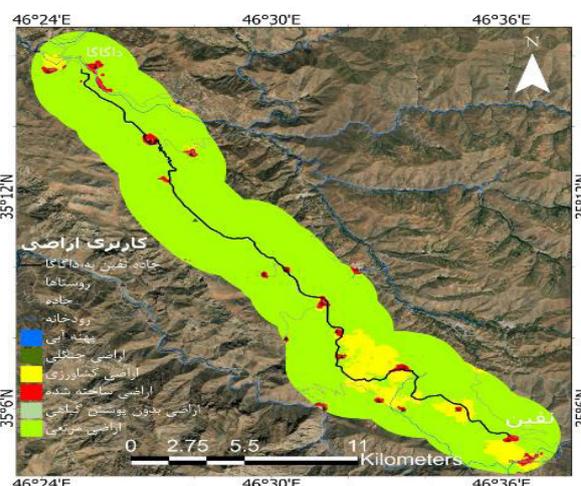
جدول ۳: مساحت کلاس‌های کاربری محدوده مطالعاتی

کلاس کاربری	پیکسل	مساحت به هکتار	درصد
پهنه آبی	۲	۰/۰۳۱۲۵	۰/۰۰۰۲۴۵۰۰۲
اراضی جنگلی	۱۰۲	۱/۵۹۳۷۵	۰/۰۱۲۴۹۵۱
اراضی کشاورزی	۶۴۷۰۷	۱۰۱۱/۰۴۷	۷/۹۲۶۶۷۰۹۱۳
اراضی ساخته شده	۱۸۳۲۱	۲۸۶/۲۶۵۶	۲/۲۴۴۳۴۰۴۵۵
اراضی بدون پوشش گیاهی	۵۰۰	۷/۸۱۲۵	۰/۰۶۱۲۵۰۴۹
اراضی مرتعی	۷۳۲۶۸۸	۱۱۴۴۸/۲۵	۸۹/۷۵۴۹۹۸۰۴
جمع کل		۱۲۷۵۵	۱۰۰

مورد استفاده قرار می‌گیرد.



نگاره ۱۱: نقشه فاصله از جاده محدوده مطالعاتی



نگاره ۱۰: نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی

۳-۲-۴- فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی

فازی‌سازی لایه‌ها برای اعمال وزن‌های به دست آمده از روش فرآیند تحلیل شبکه ضروری است. با توجه به ماهیت آسیب‌پذیری هر معیار در برابر لغزش، از الگوریتم خاصی به عنوان تابع عضویت برای فازی‌سازی استفاده خواهد شد. به طور کلی نوع تابع عضویت برای یک معیار، میزان کاهش سرعت عضویت مقادیر آن معیار را از یک به صفر تعیین می‌کند. فازی‌سازی لایه‌های مربوط به معیارهای مورد استفاده در این مطالعه با استفاده از دستور fuzzy membership در نرم‌افزار ArcGIS 10 و تابع عضویت خطی (Fuzzy Linear) انجام می‌گیرد. عمل تبدیل خطی فازی در یک تابع خطی، بین حداقل و حداکثر مقادیر مشخص شده توسط کاربر صورت می‌پذیرد. به نحوی که به هر عدد زیر مقدار حداقل، عدد صفر و هر عدد بالاتر از مقدار حداکثر، عدد یک اختصاص می‌یابد. مقادیر بین حداقل و حداکثر نیز با شیب یکنواخت، مقادیر عضویت بین صفر و یک را به صورت کاهشی و از یک به سمت صفر کسب می‌کنند. نگاره (۱۲) نقشه مربوط به فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی را نشان می‌دهد.

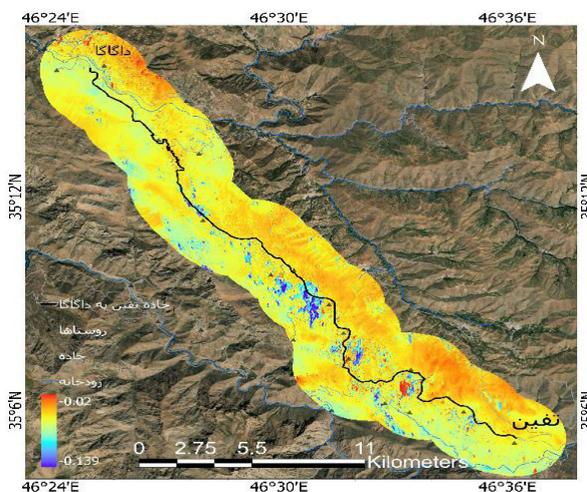
نگاره (۱۱) فاصله از جاده را نشان می‌دهد. برای تهیه لایه فاصله از جاده، فاصله اقلیدسی راه‌های اصلی منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 استخراج و با استفاده از طبقات رنگی مختلف، میزان فاصله از جاده اصلی منطقه را به تصویر کشیده است. هر رنگ در این نقشه بیانگر یک بازه فاصله‌ای مشخص است. رنگ قرمز نشان‌دهنده نزدیک‌ترین فاصله‌ها به جاده (حدود ۲۹۰ متر) و رنگ آبی نشان‌دهنده دورترین فاصله‌ها (بیش از ۲۰۴۰ متر) است. این نوع نقشه‌برداری برای تحلیل مخاطرات محیطی نظیر زمین‌لغزش بسیار مهم است، زیرا نزدیکی به جاده‌ها می‌تواند ریسک‌های اضافی را به همراه داشته باشد. معمولاً زمین‌لغزش‌ها در نزدیکی جاده‌ها بیشتر رخ می‌دهند، به دلیل شیب‌های قطع شده و تغییرات در زهکشی آب. بنابراین، این نقشه می‌تواند به شناسایی نقاطی که نیاز به محافظت یا تقویت جاده‌ها دارند کمک کند و به‌ویژه در مناطقی که جاده از کنار شیب‌های تند عبور می‌کند، خطرات بیشتری وجود دارد. در کل انتظار می‌رود مناطقی که توسط بشر بیشتر دستکاری شده‌اند مخاطره طبیعی بیشتری را داشته باشند. از طرفی هرچه فاصله از جاده زیادتر شود آسیب‌پذیری به زمین لغزش نیز کمتر می‌شود. در حقیقت این فاکتور هم برای آسیب‌پذیری و هم برای مدل‌سازی خطر زمین لغزش

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (پژ)
 شناسایی پهنه‌های ناپایدار دامنه‌ای در محور ارتباطی تفین-دگاگا ... / ۲۱۷

فرآیند تحلیل شبکه باشد، مورد بررسی دوباره قرار گرفت.

۳-۳- تحلیل نتایج

نگاره (۱۳) نقشه شناسایی مناطق مستعد خطر زمین‌لغزش را با استفاده از پنج کلاس خطر (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) نشان می‌دهد. رنگ‌های مختلف در نقشه نمایانگر میزان خطر زمین‌لغزش در هر بخش از منطقه هستند. این نقشه به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش کمک می‌کند و از اهمیت بالایی برای مدیریت مخاطرات محیطی و برنامه‌ریزی‌های شهری و روستایی برخوردار است. نقشه براساس مدل‌های تحلیلی و داده‌های محیطی تولید شده و درصد مناطق تحت خطر مختلف به‌خوبی مشخص شده است. **خیلی کم (۲۳/۹۵٪):** این کلاس با ۱۹۵/۵۶۷ پیکسل، حدود ۳۰۵۵/۷۳ هکتار از منطقه را شامل می‌شود که تقریباً ۲۴ درصد از کل مساحت را تشکیل می‌دهد. این مناطق کمترین خطر زمین‌لغزش را دارند و معمولاً در مناطق با شیب کم و دور از گسل‌ها قرار دارند. **کم (۲۱/۰۶٪):** این کلاس با ۱۷۱/۹۳۹ پیکسل، حدود ۲۶۸۶/۵۵ هکتار از منطقه را دربر می‌گیرد که ۲۱ درصد از کل مساحت را شامل می‌شود. این مناطق همچنان در خطر کمی برای وقوع زمین‌لغزش قرار دارند، اما به دلیل عوامل جغرافیایی و محیطی خاص، احتمال وقوع زمین‌لغزش نسبت به مناطق خیلی کم، کمی بیشتر است. **متوسط (۱۳/۲۱٪):** این کلاس با ۱۰۷,۹۰۱ پیکسل و ۱۶۸۵/۹۵ هکتار، حدود ۱۳ درصد از مساحت منطقه را تشکیل می‌دهد. این مناطق از لحاظ مخاطرات زمین‌لغزش در وضعیت متوسطی قرار دارند و لازم است به‌طور دقیق‌تری تحت نظارت باشند، به‌ویژه در مناطق با شیب‌های متوسط. **زیاد (۲۹/۵۱٪):** این کلاس با ۲۴۰,۹۴۸ پیکسل، ۳۷۶۴/۸۱ هکتار از منطقه را



نگاره ۱۳: نقشه زمین لغزش فازی شده محدوده مطالعاتی

۳-۲-۵- وزن‌دهی و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی

تعیین مناسب روابط بین معیارهای آسیب‌پذیر در منطقه در وزن‌دهی آن‌ها بسیار حائز اهمیت است و با تعیین روابط منطقی بین آن‌ها و تعریف این روابط در نرم‌افزار Superdesicion، وزن واقعی لایه‌های هر پارامتر برای تعیین آسیب‌پذیری به زمین لغزش مشخص می‌شود. جدول (۴) وزن‌های مربوط به معیارهای مؤثر در تعیین آسیب‌پذیری منطقه به زمین لغزش را با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه که از مقایسه‌های زوجی استخراج شده است، نشان می‌دهد. با توجه به ارتباط پارامتر با یکدیگر، وزن آن‌ها مشخص شد که در صورت نبود ارتباط با یکدیگر، وزن بین آن‌ها صفر است. نرخ ناسازگاری به‌صورت اتوماتیک و پس از ورود داده‌های پرسش‌نامه به نرم‌افزار محاسبه شد. نرخ ناسازگاری ابتدا بیشتر از ۰/۱ بود. لذا سازگاری قضاوت‌ها و ارزیابی‌ها مورد تردید واقع شد. دلایل این تناقضات که می‌تواند نبود اطلاعات کافی، اطلاعات غیرقطعی، عدم تمرکز خبرگان پاسخگو و یا عدم دقت هنگام پاسخگویی به پرسش‌نامه

جدول ۴: وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از مدل تحلیل شبکه (ANP)

پارامتر	ارتفاع	شیب	جهت شیب	فاصله از رودخانه	فاصله از گسل	فاصله از جاده	زمین‌شناسی	کاربری اراضی
وزن	۰/۷۶	۰/۲۳	۰/۷۹	۰/۱۴	۰/۵۹	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۲۸

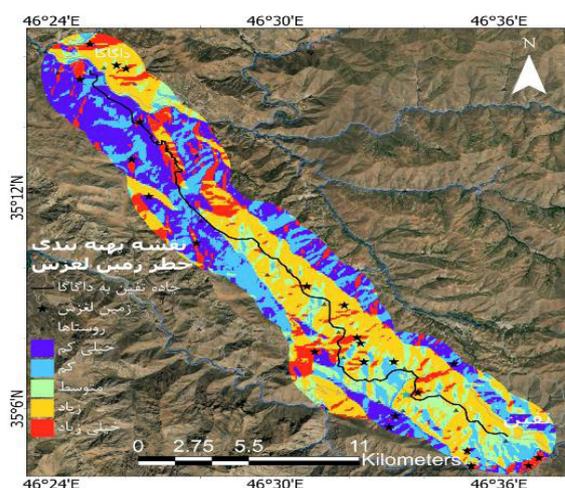
جدول ۳: مساحت طبقات مخاطره آمیز

درصد	مساحت (هکتار)	پیکسل	کلاس
۲۳/۹۵۷۱۴۹۱	۳۰۵۵/۷۳۴	۱۹۵۵۶۷	خیلی کم
۲۱/۰۶۲۶۹۶	۲۶۸۶/۵۴۷	۱۷۱۹۳۹	کم
۱۳/۲۱۷۹۷۸۲	۱۶۸۵/۹۵۳	۱۰۷۹۰۱	متوسط
۲۹/۵۱۶۳۶۶۱	۳۷۶۴/۸۱۳	۲۴۰۹۴۸	زیاد
۱۱/۶۸۲۰۶۰۹	۱۴۹۰/۰۴۷	۹۵۳۶۳	خیلی زیاد

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

هدف این پژوهش، شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش و ارزیابی میزان جابه جایی عمودی با استفاده از تصاویر سنجش از دور راداری و روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) در محور تفین - دگاگا واقع در استان کردستان است. بنابراین از تصاویر راداری و داده‌های ماهواره‌ای سنتینل-۱ برای اندازه‌گیری جابه‌جایی زمین در طول سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ استفاده شد. این روش با مقایسه تصاویر راداری چندزمانه، تغییرات سطح زمین را با دقت بالا شناسایی و میزان جابه‌جایی‌ها را محاسبه می‌کند. تصاویر راداری در بازه‌های زمانی مختلف جمع‌آوری و تحلیل شدند تا تغییرات ارتفاعی زمین، نشست‌ها و لغزش‌ها با دقت ارزیابی شوند. نتایج حاصل از این روش نشان داد که داده‌های جابه‌جایی زمین طی سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ نشان‌دهنده تغییرات مهمی در وضعیت زمین در مسیر جاده تفین به دگاگا هستند. در سال ۲۰۱۸، جابه‌جایی‌های زمین بیشتر به صورت نشست‌های جزئی گزارش شدند، با میانگین جابه‌جایی ۰/۰۲۳۵- متر در ماه اوت که نشان‌دهنده بهبود نسبی وضعیت زمین نسبت به سال ۲۰۱۷ بود. همچنین، نشست‌های محدودی با حداقل جابه‌جایی ۰/۰۵۰۱- متر مشاهده شد که ناپایداری در برخی نقاط خاص را نشان می‌داد. در مقابل، در سال ۲۰۱۹ وضعیت جابه‌جایی‌ها شدیدتر شد. میانگین جابه‌جایی به ۰/۰۳۷۶- متر رسید که نشان‌دهنده افزایش نشست‌های زمین در مقایسه با سال ۲۰۱۸ بود. حداقل جابه‌جایی در این سال به ۰/۱۰۹۴- متر

در بر می‌گیرد و حدود ۲۹/۵ درصد از کل مساحت را شامل می‌شود. این دسته بزرگ‌ترین مساحت را به خود اختصاص داده و نشان‌دهنده مناطقی است که به شدت در معرض خطر زمین‌لغزش قرار دارند. این مناطق معمولاً شامل شیب‌های تندتر و نزدیکی به گسل‌ها و رودخانه‌ها هستند. **خیلی زیاد** (۱۱/۶۸٪): این کلاس با ۹۵,۳۶۳ پیکسل و ۱۴۹۰/۰۴ هکتار از منطقه، حدود ۱۱/۶ درصد از مساحت را شامل می‌شود. این مناطق دارای بالاترین خطر برای وقوع زمین‌لغزش هستند و باید به‌طور ویژه مورد توجه قرار گیرند، به خصوص در مناطقی که عوامل مخاطره‌زا نظیر شیب‌های بسیار تند و نزدیکی به گسل‌ها همزمان وجود دارند. بیشترین مساحت منطقه تحت کلاس‌های خطر زیاد و خیلی کم قرار دارد. این نشان می‌دهد که بخش‌های وسیعی از منطقه مستعد وقوع زمین‌لغزش هستند و نیاز به مدیریت و پایش دقیق دارند. مناطق با خطر خیلی زیاد نیز به دلیل خطر بالا باید در اولویت برای اقدامات پیشگیرانه قرار گیرند. همچنین، مناطقی که خطر خیلی کم و کم دارند، به عنوان مناطق با ایمنی بیشتر شناخته می‌شوند، اما همچنان نیاز به بررسی‌های دوره‌ای دارند تا در صورت تغییر شرایط محیطی و جغرافیایی، تصمیمات لازم اتخاذ شوند.



نگاره ۱۳: نقشه نهایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در محدوده مطالعاتی

تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

References

- 1- Abdul Rachman Rasyid^{1,2*}, Netra P. Bhandary¹ and Ryuichi Yatabe¹(2016), Performance of frequency ratio and logistic regression model in creating GIS based landslides susceptibility map at Lompobattang Mountain, Indonesia, Rasyid et al. *Geoenvironmental Disasters* (2016) 3:19 DOI 10.1186/s40677-016
- 2- Akbari Sahar; Amir Saffari. (2017), Landslide susceptibility estimation using logistic regression model and entropy index, case study (Dalaho County elevations), *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, Year 6, Issue 2, Summer 2019, pages 165 to 180
- 3- Ameri, Alireza Arab; Shirani, Koorosh; & Halabian; Amir Hossin. (2016). Predictive Evaluation of Statistical and Logistic Models for Landslide Hazard Zoning Mapping (Case Study: Vanak Basin). *Physical Geography*, 9(32), 123-140. Kamakpanah, Ali; Montazer-e-Qaem, Saeed and Jafar Chadani (1994), Landslide Zoning in Iran, *Landslides and a Review of Landslides in Iran*, (Volume One) International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, 65 pages.
- 4- Aykut Akgun; Necdet Turk, 2010. Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environmental Earth Science* 61: 5
- 5- Beheshtifara Sara *, Abdolzadea Farshad(2019), Examining Landslide Hazard Zonation in Ispiran, East Azerbaijan Province Using Logistic Regression Model and GIS, *Geography and Environmental Hazards* 30 (2019)
- 6- Ercanoglu Murat, Dağdelenler Gülseren Özsayin, Erman, Alkevlı Tolga, Sönmez Harun, N. Nur Özyurt, Kahraman Burcu, Uçar İbrahim & Çetinkaya Sinem 2012. New approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: a case study at Yenice (Karabuk, NW Turkey). *Natural Hazards* 63(2): 1157-1179, doi:10.1007/s11069-012-0218-1 Application of Chebyshev theorem to data preparation in landslide susceptibility mapping studies:

رسید، که نگرانی‌های بیشتری درباره ناپایداری زمین در برخی نقاط ایجاد کرد. انحراف معیار بیشتر در سال ۲۰۱۹ (با مقدار ۰/۰۱۸۹ متر) نیز نشان داد که تغییرات جابه‌جایی در این سال متنوع‌تر و ناپایداری زمین گسترده‌تر شده است. به‌طور کلی قرار گرفتن یک منطقه در طبقه آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد نشان‌دهنده وجود پتانسیل لغزش زمین در آن منطقه نیست. مفهوم آسیب‌پذیری بیشتر به جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی مرتبط با زمین لغزش می‌پردازد. در صورتی که خطر زمین لغزش از بعد زمین‌شناسی، اقلیمی و زیست محیطی معنا پیدا می‌کند. بنابراین، ممکن است منطقه‌ای دارای پتانسیل خیلی زیاد آسیب‌پذیر بودن در برابر زمین لغزش را داشته باشد، اما همان منطقه فاقد خطر رخداد زمین لغزش یا دارای پتانسیل ناچیز در شکل‌گیری لغزش باشد. لذا، نحوه مدیریت هر منطقه برای کنترل یا تطابق با رخداد زمین لغزش باید با در نظر گرفتن این مهم باشد. برای رسیدن به این نتیجه که کدام طبقه آسیب‌پذیری در کدام طبقه خطر زمین لغزش قرار دارد، ما را به سمت ایجاد نقشه‌ای به نام ریسک زمین لغزش سوق داد. در واقع این نقشه از ضرب دو نقشه آسیب‌پذیری و خطر زمین لغزش با دستور Raster calculator در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 حاصل شده است. در نتیجه، مقایسه داده‌های جابه‌جایی و تحلیل شبکه‌ای (ANP) نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه، به ویژه در مسیر جاده تفین به دگاگا، در معرض تغییرات مستمر زمین‌شناسی قرار دارد. در حالی که سال ۲۰۱۸ بهبود نسبی در وضعیت زمین نشان می‌داد، داده‌های سال ۲۰۱۹ از بازگشت نشست‌های شدیدتر و ناپایداری گسترده‌تر خبر می‌دهند. این امر نشان می‌دهد که نظارت مداوم و دقیق به همراه اقدامات حفاظتی فوری برای جلوگیری از خطرات بیشتر در این منطقه ضروری است.

تشکر و سپاسگزاری

پژوهشگران برخورد لازم می‌دانند که از تمامی مشارکت‌کنندگان در این تحقیق قدردانی نمایند.

Volume 67, Number 4, Winter 2014

16- Motavali, Sadredin., Esmaili, Reza., Hosseinzadeh, Moohamad Mehdi (2009), The Signification of Sensitive Regions in the Vaz Catchment by Logistic Regression, *Journal of Physiography*, Volume 2, Number 5, Autumn, PP. 73-83.

17- Nasiri, Shahram ;. Mohsen Ehteshami-Moinabadi (2004) A perspective on landslides in Iran (Case study: Slope instability on Haraz road, *National Geosciences Database*, page 1.

18- Pourghasemi, HamidReza., Pradhan Biswajeet., and Gokceoglu Cokceoglu (2012) Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural Hazards* 63: 965–996. doi:10.1007/s11069-012-0217-2.

19- Roostaei, Shahram; Davod Mokhtari;Christineh Jananeh . (2019) Quantitative analysis of slope instabilities on slopes overlooking the Tehran-North highway using logistic regression, *Journal of Geography and Planning*, No. 80, Summer Season, 1401, pages 159-169

20- Roostaei Shahram. (2004), Evaluation of Landslide Occurrence in Nasir Abad Village Varzeqan (Province of East Azarbayjan) by Using Quantitative Methods, *Journal of Humanity*, Vol. 8, No. 1: PP. 45.06

21- Sayyad Asghari Saraskanroud, Fahimeh Pourfarashzadeh (2021) Evaluation and zoning of landslide characteristics using statistical methods in the Balikhli watershed . *Journal of Geography and Environmental Hazards*, Year 11, Issue 42, Summer 1401, pp. 41-59

22- Sharafat Chowdhury a,b,* , Md. Naimur Rahman a , Md. Sujon Sheikh a , Md. Abu Sayeid a , Khandakar Hasan Mahmud a , Bibi Hafsa a)2024), GIS-based landslide susceptibility mapping using logistic regression, random forest and decision and regression tree models in Chattogram District, Bangladesh, journal homepage.

23- Shirani, Kouros and Alireza Arab Ameri (2015), Landslide Zoning Using Logistic Regression Method (Dzaalia Basin), *Journal of Agricultural Sciences and Technologies and Natural Resources*, Soil and Water Sciences/Year 19/ Issue 27.

an example from Yenice (Karabük, Turkey) region

7- European Space Agency website (<https://browser.dataspace.copernicus.eu>)

8- Ghasemian Bahareh; Shahabi Himan; Shirzadi Ataollah; Al-Ansari Nadhir; Abolfazl Jaafari; Victoria Kress; Marten Geertsema; Renoud Somayeh. and Ahmad, Anuar. (2022). A Robust Deep-Learning Model for Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study of Kurdistan Province, Iran. *Sensors*, 22(1573): 1-28.

9- Hemmati, Fariba; Seyyed Asdallah Hijazi. (2016), Landslide hazard zoning using logistic regression statistical method in Lavasanat watershed, *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, Year 17, No. 45, Summer 2017

10- Hidayat1, H Pachri1, and I Alimuddin (2019), Analysis of Landslide Susceptibility Zone using Frequency Ratio and Logistic Regression Method in Hambalang, Citeureup District, Bogor Regency, West Java Province, The 4th International Conference of Indonesian Society for Remote Sensing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 280 (2019) 012005

11- Huangfu 1, Weicheng Wu 1,* , Xiaoting Zhou 1 , Ziyu Lin 1 , Guiliang Zhang 2 , Renxiang Chen 2 , Yong Song 2 , Tao Lang 2 , Yaozu Qin 1 , Penghui Ou 1 , Xiaofeng Zhang 3 , Xiangtong Liu 4 and Wenheng Liu 1(2021), Landslide Geo-Hazard Risk Mapping Using Logistic Regression Modeling in Guixi, Jiangxi, China, *Sustainability* 2021, 13, 4830

12- Kamakpanah, Ali; Montazer-e-Qaem, Saeed and Jafar Chadani (1994), *Landslide Zoning in Iran, Landslides and a Review of Landslides in Iran, (Volume One) International Institute of Seismology and Earthquake Engineering*, 65 pages.

13- Lee, E.M., Jones, D.K.C., (2004) *Landslide risk assessment*. Thomas Telford, London, p 454

14- Lombardo Luigi, b, □, P. Martin Maib (2018) Presenting logistic regression-based landslide susceptibility results, *Engineering Geology*

15- Moradi, Hamid Reza ; Maryam Dashti Mervili; Alireza Ildarmi. (2014) Preparing a landslide hazard sensitivity map and its evaluation using logistic regression statistical analysis, *Iranian Journal of Natural Resources*,

24- Tee Xiong, I Gde Budi Indrawn*, and Doni Prakasa Eka Putra (2017), Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process, Statistical Index, Index of Entropy, and Logistic Regression Approaches in the Tinalah Watershed, Yogyakarta. Journal of Applied Geology, vol. (1), 2017, pp. 78-93

25- Wu, W.; Ai, G. Risk assessment of natural disasters in the course of selection of nuclear waste disposal. J. East China Geol. Inst. 1995, 18, 260-265. (In Chinese with English abstract).

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 4.0 International \(CC BY-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)



