

Research Paper

**Identification and zoning of landslide prone areas in Germe city**Leila Aghayary¹, Sayyad Asghari Saraskanrood^{2*}, Batool Zeynali³

1. Postdoctoral Researcher, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: aghayary.leila@yahoo.com

2. *. Corresponding author, Professor of Geomorphology, Department of Physical Geography, Ardabili, Ardabil, Iran. Email: s.asghari@uma.ac.ir.

3. Professor of climatology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: zeynali.b@uma.ac.ir

Keywords

Landslide, zoning, Aras, Germe city, Northwestern Iran**Receive Date: 2023/10/03****Accept Date: 2024/01/21****Available: 2024/07/14**

ABSTRACT

Text Landslides are one of the types of large-scale processes that cause many human and financial losses in many parts of Iran and the world every year. The increase in population and the expansion of human settlements in mountainous areas, the difficulty of predicting the occurrence of landslides and the numerous factors influencing the occurrence of this phenomenon, reveal the necessity of landslide risk zoning. Identifying the effective factors in the occurrence of this phenomenon and its risk zoning is one of the basic and practical methods to achieve its forecasting, control and monitoring solutions. By using field studies, geological and topographical maps, and by reviewing the researches and studies done in this field, as well as examining the existing conditions in the studied area, 9 factors of elevation, slope, slope direction, lithology, distance from the fault, the distance from the river, the distance from the communication roads, land use and rainfall were investigated as factors affecting the occurrence of landslides. Therefore, the purpose of this research is to investigate and analyze the most important factors involved in creating the risk of landslides in Germe city and to identify the prone areas that will probably be involved in landslides in the near future. In this research, the zoning of prone areas was done with the Aras multi-criteria algorithm in the Edrisi software environment, and according to the results of landslide risk zoning; The criteria of land use, slope, and lithology are the most important factors involved in creating the risk of landslides in the study area with weight coefficients of 0.187, 0.152, 0.152, and 0.142, respectively, and are 361.99 and 450.32, respectively. A square kilometer of the area has a very high probability of danger. Finally, it can be said that the most important factor involved in increasing the amount and potential of landslides in Germe city is the change of land use and the increase of agricultural land and livestock pastures.

* Corresponding Author: Sayyad Asghari Saraskanrood

E-mail: s.asghari@uma.ac.ir.

How cite to this article: Aghayary, Leila; Asghari Saraskanrood, Sayyad; Zeynali, batool. (2024). Identification and zoning of landslide prone areas in Germe city. Hydrogeomorphology, 11(39): 1 – 18.

DOI: [10.22034/HYD.2024.58703.1709](https://doi.org/10.22034/HYD.2024.58703.1709)



Copyright: ©2024 by the authors.

Publisher : University of Tabriz

Introduction

Due to its special location, such as topography, high slope, the presence of loose and non-resistant surface materials on resistant formations, as well as climatic conditions, is one of the accident-prone areas in terms of the possibility of landslides. ARAS method, which is based on optimal planning and multi-criteria optimization, has been used in the present study as a multi-criteria decision rule, in combination with the network analysis process for the landslide potential zoning. It is worth mentioning that the use of ARAS method with the integration of network analysis method has been used for the first time in this research in terms of landslide risk zoning; therefore, the results of this study can be mainly considered by researchers, national and policy makers regarding landslide risk zoning.

Methodology

The current research was an applied study and its research methodology was an analysis based on the integration of data analysis, geographic information system and the use of multi-criteria analysis techniques .

Analytical Network Process (ANP): The ANP method is an advanced form of AHP method that is capable of modeling and includes the correlation and feedback between elements in decision making and all the internal effects of the affective components in decision making. The ARAS method is based on the argument that complex phenomena of the world can be understood using simple relative comparisons. This technique is a powerful method in providing the performance and degree of desirability of different options relative to the optimal situation, whose usage is relatively easy. ARAS performance phases are as the following:

1: Forming the decision matrix: The decision matrix in this method is in the form of criteria-options. That is, a matrix whose columns are problem criteria and rows are options, and each row is actually the score of each option relative to each criterion. 2: Normalization of the decision matrix or standardization: In the implementation of all the algorithms used in the present research and in order to achieve the spatial zoning pattern of subsidence risk, the standardization step was performed according to the fuzzy membership function. Data standardization means equalizing the range of data changes between zero and a specified range. In fuzzy sets, the highest value, i.e. the value of one, belongs to the maximum membership and the lowest value, i.e. zero, belongs to the minimum membership in the set.

Results and Discussion

After applying the weights obtained from the ANP method on each of the standardized maps and performing other steps of the ARAS model, the final landslide zoning map was obtained in 5 classes ranging from very high risk to very low risk. According to the obtained results, 99 thousand and 361 square kilometers of the city area were in the high risk category and 32 thousand and 450 square kilometers were in the high risk category. Moreover, 205.31 square kilometers of the city area had medium risk and 347.20 and 519.26 square kilometers had very low risk and low risk, respectively. The most dangerous areas were mainly in the slope of 20% to 30% and in this amount of slope in the city, the surface and basically fine-grained materials are susceptible. They reach the limit of sliding with the absorption of water and increase in humidity, and with the increase of shear stress and rupture of materials, they start to move in the slope. Mainly in high slopes and less than this value in the region, the possibility of formation of sliding movements would be low. The slope direction of the area is from east to north. Investigating land use criteria indicated that agricultural use, and pastures have occupied the largest percentage of the area of high-risk areas due to non-observance of crop rotation, cultivation on sloping lands and increase in soil moisture, which is acceptable due to the irrigation and infiltration of more water into the ground. In Germe city, the distance from the communication road is between zero and 10000 meters. High-risk areas are mainly located at a distance of zero to a maximum of 1,800 meters from communication routes. The distance from the waterway in Germe city is the closest and farthest distance from the fault, respectively, from zero to 4000 meters. The high-risk areas introduced from the present study are mainly located between 0 and 3000 meters from the fault. This city is between 0 and 1000 meters. High-risk areas are located at a distance of 0 to 700 meters from the river.

Conclusions

In this research, landslide risk in Germe city has been investigated using the integration of ANP and ARAS methods. In landslide risk zoning of Germe city, 9 parameters effective in the occurrence of landslides including lithology, land use, slope, direction of slope, height, rainfall, distance from waterway, distance from road and distance from fault were prepared. The research results showed that land use factors (part of human cluster), slope (part of physiographic factors cluster), lithology (part of land-construction cluster) with values of 0.187, 0.152 and 0.142, respectively had the highest weight coefficients.

مقاله پژوهشی



شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع مخاطره زمین لغزش در شهرستان گرمی



لیلا آقایی^۱، صیاد اصغری سراسکانرود^{۲*}، بتول زینالی^۳

۱. پژوهشگر پس‌ادکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲. * نویسنده مسئول، استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. s.asghari@uma.ac.ir
۳. استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

چکیده

یکی از انواع فرآیندهای دامنه‌ای که هر ساله موجب خسارات جانی و مالی فراوانی در بسیاری از نقاط ایران و جهان می‌شود، پدیده زمین لغزش است. افزایش جمعیت و گسترش سکونتگاه‌های انسانی در نواحی کوهستانی، مشکل بودن زمان پیش‌بینی وقوع زمین لغزش و متعدد بودن عوامل موثر در رخداد این پدیده، ضرورت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را آشکار می‌سازد. شناسایی عوامل موثر در وقوع این پدیده و پهنه‌بندی خطر آن، یکی از روش‌های اساسی و کاربردی جهت دستیابی به راهکارهای پیش‌بینی، کنترل و پایش آن می‌باشد. با استفاده از مطالعات میدانی، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و با مرور پژوهش‌ها و مطالعات صورت گرفته در این زمینه و همچنین بررسی شرایط موجود در منطقه مورد مطالعه ۹ عامل طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از راه‌های ارتباطی، کاربری اراضی و بارش به عنوان عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش بررسی شد. لذا، هدف این پژوهش بررسی و تحلیل مهم‌ترین عوامل دخیل در ایجاد خطر زمین لغزش در شهرستان گرمی و مشخص کردن سطوح مستعد که احتمالاً در آینده نزدیک درگیر زمین لغزش خواهند شد. در این پژوهش نسبت به پهنه‌بندی مناطق مستعد با الگوریتم چند معیاره Aras در محیط نرم افزار Edrisi اقدام گردید و با توجه به نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر زمین لغزش؛ معیارهای کاربری اراضی، شیب، زمین‌شناسی به ترتیب با ضریب وزنی ۰/۱۸۷، ۰/۱۵۲، ۰/۱۵۲ و ۰/۱۴۲، مهم‌ترین عوامل دخیل در ایجاد خطر زمین لغزش محدوده مطالعاتی بوده و به ترتیب ۳۶۱/۹۹ و ۴۵۰/۳۲ کیلومتر مربع از محدوده دارای احتمال خطر بسیار زیاد و زیاد می‌باشد. در نهایت می‌توان گفت مهم‌ترین عامل اصلی دخیل در افزایش مقدار و پتانسیل زمین لغزش در شهرستان گرمی، تغییر کاربری اراضی و افزایش زمین‌های کشاورزی و چراگاه‌های دامی می‌باشد.

کلیدواژه‌ها

زمین لغزش، پهنه‌بندی، ARAS، شهرستان گرمی، شمال غرب ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴

ارجاع به این مقاله: آقایی، لیلا؛ اصغری سراسکانرود، صیاد؛ زینالی، بتول (۱۴۰۲). شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع مخاطره زمین لغزش در شهرستان گرمی. هیدروژئومورفولوژی، ۱۱ (۳۹): ۱۸ - ۱.

* نویسنده مسئول: صیاد اصغری سراسکانرود
ایمان‌نامه: s.asghari@uma.ac.ir

DOI:10.22034/HYD.2024.58703.1709



Copyright: ©2024 by the authors.

Publisher: University of Tabriz

ایران با داشتن توپوگرافی کوهستانی، فعالیت‌های زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط بسیار متنوع اقلیمی و زمین‌ساختی شرایط مساعدی برای بروز پدیده زمین‌لغزش دارد. اهمیت آن در مناطق نزدیک به سکونتگاه‌ها و تاسیسات انسانی بیشتر احساس می‌شود (عامری و همکاران، ۱۳۹۷). انتخاب و شناسایی مهم‌ترین عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش‌ها یکی از مراحل ابتدائی و بسیار مهم می‌باشد. با توجه به این رخداد پدیده زمین‌لغزش تحت تاثیر عوامل بسیار متعددی هست و در هر منطقه‌ای می‌تواند تحت شرایط مختلفی اتفاق بیفتد. بنابراین نمی‌تواند در انتخاب تعداد و عوامل دخیل در رخداد زمین‌لغزش‌ها استاندارد مشخص و معینی تعریف کرد. منتهی در اغلب مطالعات مربوط به مباحث زمین‌لغزش تلفات عظیم زمین‌لغزش از عوامل طبیعی و عوامل فعال خارجی نتیجه می‌گیرند که عوامل طبیعی عبارتند از: عامل زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی یا نوع خاک، ویژگی انسجام ساختاری، مقاومت برشی مواد، شرایط آب‌های زیرزمینی و اثر آن)، هندسه شیب (شیب، جهت، ارتفاع و انحنای) و زمین یا پوشش زمین و همچنین عوامل خارجی که عموماً باعث لغزش زمین می‌شوند، عبارتند از بارندگی، لرزه‌خیزی و فعالیت‌های انسانی مانند فعالیت‌های ساختمانی و آماده‌سازی خاک برای کشاورزی در مناطق کوهستانی (سوربی^۱ و فرخ‌نیا، ۱۳۸۶:۳۶). مکانیسم فعالیت این پدیده بدین گونه است که در سازندهای ریزدانه (رس، مارن و شیل) در اثر جذب آب، خاصیت کلوئیدی مواد بهم می‌خورد و تا محلی که رطوبت نفوذ کرده باشد، خاک از توده اصلی جدا شده و در نتیجه نیروی ثقل در روی دامنه حرکت می‌کند (احمدی، ۱۳۸۶:۲۳۰). اما، نکته‌ای که بایستی بدان توجه کرد این است که زمین لغزش‌ها از جمله بلایایی هستند که می‌توان پتانسیل وقوع مناطق را از لحاظ رخداد آن بررسی کرد و با پیش‌بینی نواحی با احتمال خطر زیاد، از خسارات و آسیب‌های جانی و مالی ناشی از آن با برنامه‌ریزی مناسب و اصولی جلوگیری کرد. برای این منظور روش‌های متعددی وجود دارد که پهنه‌بندی از مهم‌ترین آن‌هاست. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، ترسیم نقشه نواحی با احتمال یکسان وقوع در زمان معینی می‌باشد. از این طریق سطح زمین به نواحی مجزایی از درجات بالفعل و بالقوه خطر (بسیار کم تا بسیار زیاد) تقسیم می‌شود (بل^۲ و کلتید، ۲۰۰۴:۲۳۶). می‌توان گفت، شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش و تولید نقشه‌های دقیق منطقه‌بندی حساسیت به رانش زمین از موضوعات مهم برای مطالعات مدیریت خطر می‌باشد (کلوکسن^۳ و همکاران، ۲۰۱۶:۵۴). نقشه‌های پهنه‌بندی می‌تواند برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان و مدیران مربوطه را در عرصه‌های مختلفی چون مدیریت و حفاظت خاک و منابع طبیعی، برنامه‌ریزی‌های عمرانی و توریستی، مکان‌یابی اراضی مناسب برای توسعه شهر و روستا، برنامه ریزی‌های زیست محیطی، تعیین مسیر راه‌ها و خطوط انتقال نیرو و انرژی یاری و راهنمایی نماید (کرم، ۱۳۸۳:۱۳۳). در طی سال‌های اخیر از روش‌های متعددی به منظور پهنه‌بندی زمین‌لغزش استفاده شده است و از روش‌هایی که مورد توجه زیاد پژوهشگران قرار گرفته است، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. برای مثال؛ تاج‌الدین^۴ و همکاران (۲۰۱۸)، در اولوکلاچ، واقع در کشور مالزی، گیگاوایس^۵ و همکاران (۲۰۱۹)، در بخش غربی جمهوری صربستان، و جتکووا^۶ و جتک (۲۰۲۰)، در شهر هاندلوا اسلواکی. مرادی و همکاران (۱۳۹۰) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تئوری بی‌زین در بخشی از استان گلستان پرداختند، در تحقیق ایشان نقشه عوامل موثر در لغزش در محیط GIS تهیه شد و با کمک تئوری احتمالات بی‌زین ارتباط هر یک از عوامل و نقاط لغزشی موجود تعیین و وزن طبقه‌های هر عامل مشخص شد. فیضی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) به مطالعه و ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های وزن میانگین و دمپستر سیفر در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه پرداختند. عقیلی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی تحت عنوان پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از GIS و مدل آماری دو متغیره ارزش اطلاعات و تراکم سطح در حوضه آبخیز گلورد نکا مازندران به این نتایج دست یافتند که پارامترهای

1. Sorbi et al
 2. Bel and ghiteid
 3. Koleksen et al 4. Tajudin
 5. Gigovic et al 6. Vojtekova
 & Vojtek

شیب، جهت شیب، وجود گسل، کاربری از نوع کشاورزی و لیتولوژی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹)، در جاده ارتباطی نیر- سراب، مدل ANP را به عنوان مدلی مناسب و کارآمد برای پیش‌بینی لغزش معرفی کرده‌اند. ناعمی و همکاران (۱۴۰۰) به پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های عامل اطمینان، تراکم سطح و هیبریدی در حوضه بقیع نیشابور پرداختند و طبق نتایج عوامل لیتولوژی، کاربری اراضی، شیب و جهت شیب بیش‌ترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند. شریفی و همکاران (۱۴۰۰) الویت بندی عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن در حوضه آبریز وهرگان پرداختند نتایج نشان داد که ایجاد راه های ارتباطی بر روی دامنه های پرشیب با خاک سست و ضخیم، با ضریب استاندارد ۰/۴۱۱ مهمترین عامل در ایجاد زمین لغزش بوده است. احمدی و همکاران (۱۴۰۰) به شناسایی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز نالوچای پرداختند نتایج نشان می‌دهد که مدل تراکم سطح و ارزش اطلاعاتی از کارایی بالایی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مناطق نیمه خشک و مرطوب برخوردار هستند. کرم و همکاران (۱۴۰۰) در مقاله‌ای به پهنه‌بندی ناپایداری دامنه‌ها نسبت به حرکات واریزه‌ای با استفاده از روش الگوریتم جنگل تصادفی در حوضه تنگراه استان گلستان پرداختند و عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه تنگراه در رابطه با جریان واریزه‌ای، شامل پارامترهایی نظیر شیب، جهت شیب، ارتفاع، دامنه انحنای لیتولوژی، مجموع بارش سالانه، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل و فاصله از راه‌های ارتباطی می‌باشد. حنیفی نیا و همکاران (۱۴۰۱)، به بررسی معیارهای موثر بر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حوضه آبخیز زیوه با استفاده از دو مدل آنتروپی شانون پرداختند نتایج بیانگر عملکرد خیلی خوب این مدل بر روی پهنه‌بندی زمین‌لغزش می‌باشد. اورک و همکاران (۱۴۰۲) به پهنه بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان باغملک پرداختند و نتایج نشان داد بیش‌ترین میزان رخداد زمین لغزش‌ها مرتبط با شیب و جنس زمین بوده است. همچنین در طی سال‌های اخیر از روش‌های متعددی به منظور پهنه‌بندی زمین‌لغزش استفاده شده است برای مثال؛ تاج‌الدین و همکاران (۲۰۱۸)، در اولوکلانج، واقع در کشور مالزی، گیگاپیس و همکاران (۲۰۱۹)، در بخش غربی جمهوری صربستان، و جتکووا و و جتک (۲۰۲۰)، در شهر هاندلوا اسلواکی.

شهرستان گرمی، به لحاظ وضعیت خاص، مانند توپوگرافی، شیب زیاد، وجود مواد سطحی سست و نامقاوم بر روی سازندهای مقاوم و شرایط اقلیمی (به ویژه به علت بارش‌های بهاری و نیز ذوب برف‌ها در فصل بهار) از پتانسیل بالایی برای وقوع زمین لغزش برخوردار است و از حادثه‌خیزترین شهرستان‌های استان اردبیل، از نظر زمین‌لغزش، می‌باشد. برای مثال، زمین‌لغزش محله طالقانی در سال ۱۳۸۴ به وقوع پیوست و وسعت سطح فعال آن به ۶۰ کیلومتر رسید (ریاحی، ۱۳۸۷: ۳۴). بنابراین وقوع زمین‌لغزش در سطح شهرستان گرمی، منجر به آسیب‌ها و خسارات متعدد، از جمله تخریب راه‌های ارتباطی، آسیب به مناطق مسکونی، فرسایش و هدر رفتن خاک می‌گردد. به علاوه، توسعه سکونتگاه‌های انسانی و فعالیت‌های عمرانی در سطح منطقه بدون توجه به احتمال وقوع زمین‌لغزش می‌تواند به نتایج فاجعه‌باری منتهی شود و حتی ساخت و ساز در پهنه‌های به ظاهر پایدار، می‌تواند محرک حرکات توده‌ای محسوب شود. بنابراین مطالعه عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی سطح شهرستان از لحاظ پتانسیل وقوع، جهت شناخت و معرفی نواحی پرخطر، ارائه راه حل‌ها و شیوه‌های مناسب جهت مهار و کنترل زمین‌لغزش، ضروری به نظر می‌رسد. در پژوهش حاضر، از روش ARAS، که براساس رویکرد برنامه‌ریزی مطلوب و بهینه‌سازی چندمعیاره پایه پایه‌ریزی شده است، به عنوان قاعده تصمیم‌گیری چند معیاره، در تلفیق با فرایند تحلیل شبکه، به منظور پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش شهرستان گرمی استفاده شده است. شایان ذکر می‌باشد که استفاده از روش ARAS با رویکرد تلفیقی با روش تحلیل شبکه، در امر پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، برای نخستین بار در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است و لذا نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند برای پژوهشگران، مسئولان و سیاست‌گذاران در راستای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بسیار جالب باشد.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

شهرستان گرمی دارای ۱۸۸۴/۰۸ کیلومتر مربع مساحت است که معادل ۹/۶ درصد مساحت استان اردبیل است. این شهرستان بین ۳۸ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمال از خط استوا و ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی از

نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است (شکل ۱). قابل ذکر است که مرکز شهرستان گرمی، شهر گرمی بوده که با پهنه‌ای در حدود ۷ کیلومترمربع، در شمال شرقی استان اردبیل در مسیر راه اردبیل - پارس آباد واقع شده است. این شهرستان از دو شهر گرمی و تازه کند، سه بخش مرکزی، انگوت و موران تشکیل شده است. بخش مرکزی شامل دهستان‌های (اجارود غربی، اجارود مرکزی، اجارود شمالی، انی)، بخش انگوت شامل دهستان‌های (انگوت شرقی، انگوت غربی، پائین برزند) و بخش موران شامل دهستان‌های (اجارود شرقی، آزادلو)، است. این شهرستان در محدوده ارتفاعی ۲۶۷ متر تا ۲۱۹۶ متر از سطح دریا قرار دارد و ارتفاع متوسط شهرستان در حدود ۱۲۳۰ متر است. محدوده‌ی شهرستان از جنوب به دامنه کوه‌های صلوات، از شمال به کوه‌های خروسلو، از غرب به دره رود و از شرق به بالقارچای (بالهارود) محدود می‌شود. پست‌ترین نقطه شهرستان در شمال غرب شهرستان و در روستای خان محمدلو واقع است و مرتفع‌ترین نقطه شهرستان کوه‌های صلوات در جنوب است (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۷: ۸۷).

منطقه گرمی به دلیل واقع شدن در محدوده کوهستانی با عوارض شدید توپوگرافی و پستی و بلندی‌های زیادی همراه است. ولی در خارج از شهر گرمی و به سوی شمال استان از شدت ناهمواری‌ها کاسته شده و به سمت دشت مغان مورفولوژی تپه‌ماهوری ظاهر می‌شود. ریزی شده است، به عنوان قاعده تصمیم‌گیری چند معیاره، در تلفیق با فرایند تحلیل شبکه، به منظور پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش شهرستان گرمی استفاده شده است. شایان ذکر می‌باشد که استفاده از روش ARAS با رویکرد تلفیقی با روش تحلیل شبکه، در امر پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، برای نخستین بار در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است و لذا نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند برای پژوهشگران، مسئولان و سیاست‌گذاران در راستای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بسیار جالب باشد.

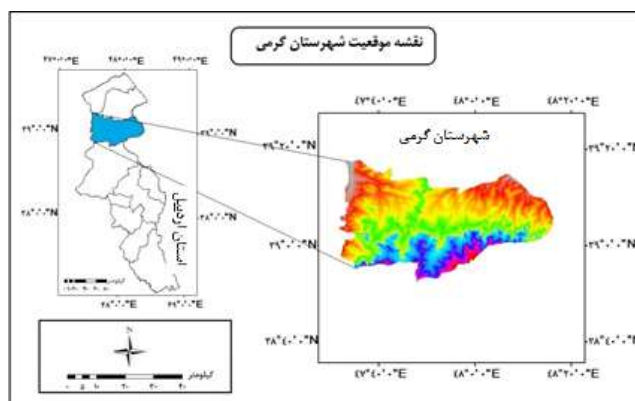
- مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

شهرستان گرمی دارای ۱۸۸۴/۰۸ کیلومترمربع مساحت است که معادل ۹/۶ درصد مساحت استان اردبیل است. این شهرستان بین ۳۸ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمال از خط استوا و ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است (شکل ۱). قابل ذکر است که مرکز شهرستان گرمی، شهر گرمی بوده که با پهنه‌ای در حدود ۷ کیلومترمربع، در شمال شرقی استان اردبیل در مسیر راه اردبیل - پارس آباد واقع شده است.

این شهرستان از دو شهر گرمی و تازه کند، سه بخش مرکزی، انگوت و موران تشکیل شده است. بخش مرکزی شامل دهستان‌های (اجارود غربی، اجارود مرکزی، اجارود شمالی، انی)، بخش انگوت شامل دهستان‌های (انگوت شرقی، انگوت غربی، پائین برزند) و بخش موران شامل دهستان‌های (اجارود شرقی، آزادلو)، است. این شهرستان در محدوده ارتفاعی ۲۶۷ متر تا ۲۱۹۶ متر از سطح دریا قرار دارد و ارتفاع متوسط شهرستان در حدود ۱۲۳۰ متر است. محدوده‌ی شهرستان از جنوب به دامنه کوه‌های صلوات، از شمال به کوه‌های خروسلو، از غرب به دره رود و از شرق به بالقارچای (بالهارود) محدود می‌شود. پست‌ترین نقطه شهرستان در شمال غرب شهرستان و در روستای خان محمدلو واقع است و مرتفع‌ترین نقطه شهرستان کوه‌های صلوات در جنوب است (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۷: ۸۷).

منطقه گرمی به دلیل واقع شدن در محدوده کوهستانی با عوارض شدید توپوگرافی و پستی و بلندی‌های زیادی همراه است. ولی در خارج از شهر گرمی و به سوی شمال استان از شدت ناهمواری‌ها کاسته شده و به سمت دشت مغان مورفولوژی تپه‌ماهوری ظاهر می‌شود.



شکل (۱): موقعیت منطقه (محدوده) مورد مطالعه

Fig (1): The study area

پژوهش حاضر از نوع کاربردی بوده و روش تحقیق آن تحلیلی مبتنی بر تلفیق آنالیز داده‌ها، سیستم اطلاعات جغرافیایی و استفاده از فنون تحلیل چند معیاره است.

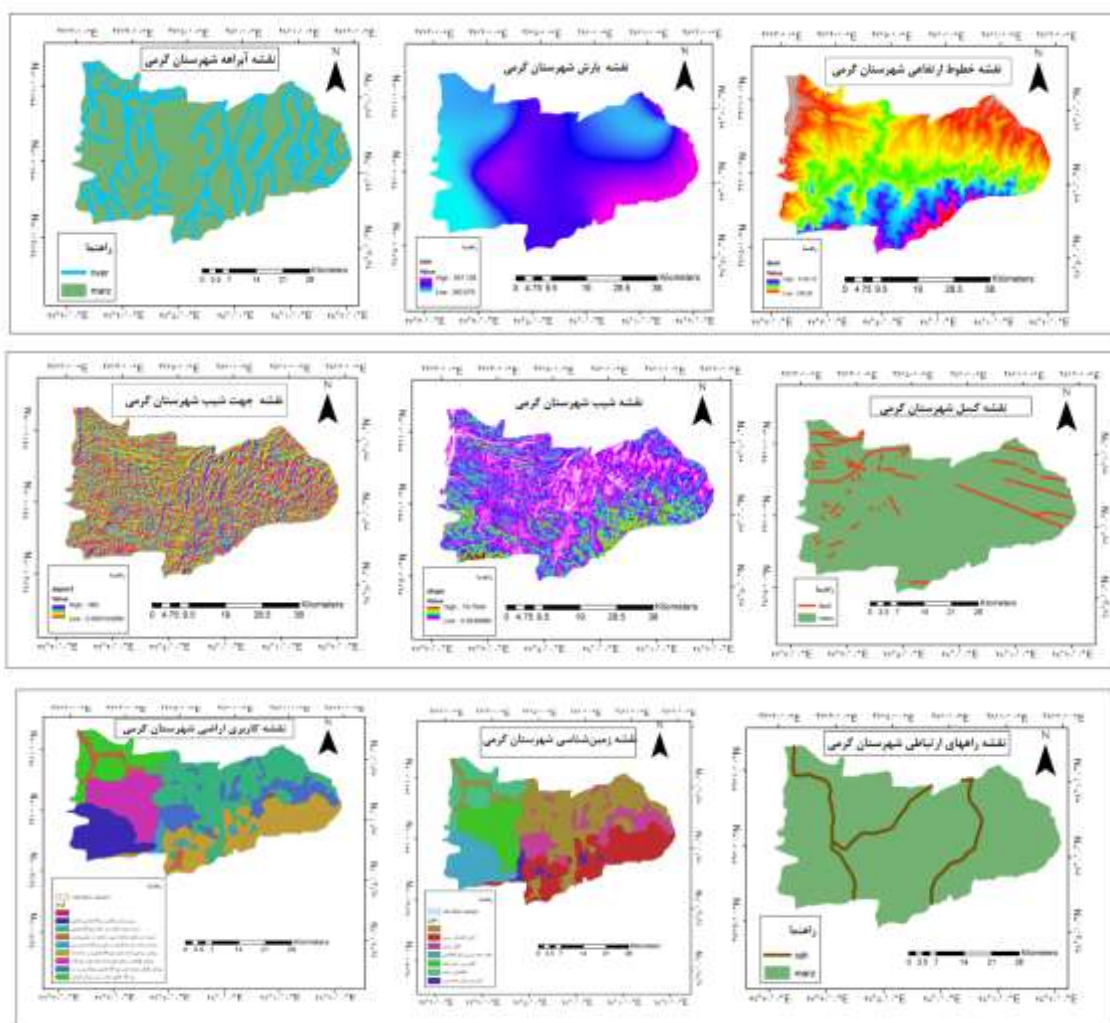
مدل رقومی ارتفاعی: SRTM فاز اینترفروگرام حاوی اثر توپوگرافی، خطای مداری و اثرات اتمسفر می باشد. برای به دست آوردن جابه‌جایی سطح زمین در یک بازه زمانی، می بایست خطاهای مداری، اثرات توپوگرافی و نویز اتمسفر از اینترفروگرام‌ها حذف گردند. برای حذف اثر توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاعی SRTM با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر مورد استفاده قرار گرفته است. خطاهای مداری نیز با برآزش یک رویه به مناطقی که فاقد جابه‌جایی هستند مدل سازی شد و از اینترفروگرام مورد نظر کم گردید.

تصاویر ماهواره‌ای اپتیکال: تصویر ماهواره‌ای اپتیکال در این تحقیق به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۲ استفاده شد. به منظور تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی از نرم‌افزار ENVI5.3 و به منظور استخراج نقشه‌های مربوطه از نرم‌افزار ARCGIS10.5 استفاده شد. برای طبقه‌بندی کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا در نرم‌افزار ecognition developer64 استفاده شد. همچنین به منظور به دست آوردن صحت طبقه‌بندی Google Earth استفاده شد.

در روش طبقه‌بندی شیء‌گرا، اطلاعات طیفی با اطلاعات مکانی ادغام گردیده و پیکسل‌ها براساس شکل، بافت و تن خاکستری در سطح تصویر با مقیاس مشخص، قطعه‌بندی شده و طبقه‌بندی تصویر براساس این قطعه‌ها انجام می‌شود. در قطعه‌بندی پیکسل‌ها توسط الگوریتم‌های مختلف، با نسبت‌های مختلف طیفی و شکلی طبقه‌بندی و براساس ویژگی‌های طیفی و فضایی در قالب اشیا گوناگون دسته‌بندی شده‌اند. طی این فرآیند شیء‌های تصویری متناسب با همگن بودن یا ناهمگن بودن براساس پارامترهای مقیاس، رنگ، شکل، ضریب نرمی و شکل فشردگی ایجاد شد (فیضی‌زاده و هیلالی، ۲۰۱۰: ۷۶). با آزمون و خطا بهترین اندازه که نشان‌دهنده اشیا با ابعاد مختلف می‌باشند تعیین شد. در این پژوهش تصویر قطعه‌بندی شده دارای مقیاس ۴۵، شکل ۰/۵، ضریب فشردگی ۰/۵ انجام گردید. بعد از مشخص کردن تعداد و کلاس‌های موردنظر در طبقه‌بندی تعیین شیء‌های نمونه‌های آموزشی انجام و در نرم‌افزار بر سطح تصویر اعمال گردید. سپس طبقه‌بندی با استفاده از نزدیک‌ترین همسایه و روش درخت تصمیم‌گیری صورت گرفت. لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از صحت و درستی آن است. دقت طبقه‌بندی در سال ۲۰۲۲ با صحت کلی ۹۸ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۶ است.

جهت پهنه بندی، خطر زمین لغزش، در مرحله جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا باید مؤلفه‌های تأثیرگذار مشخص شده و بر مبنای آن‌ها داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز گردآوری و طبقه‌بندی شوند. بدین منظور، در این مطالعه، ابتدا عوامل مؤثر (شامل: شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، جهت شیب، طبقات ارتفاعی و فاصله از راههای ارتباطی)، با توجه توجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه، بررسی پیشینه مطالعات و مشورت با کارشناسان علمی و بومی آشنا به منطقه، شناسایی شد (شکل ۲). سپس در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی شبکه آبراهه، با استفاده از نقشه‌ی رودخانه‌های استان اردبیل، استخراج شد. لایه‌های شیب نیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر، دانلود شده از سایت (vertex.daac.asf.alaska.edu)، تهیه و لایه‌های اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها) و گسل‌ها، با

رقومی‌سازی از روی نقشه زمین‌شناسی استان؛ با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. برای استخراج کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه، از تصاویر سنجنده لندست ۸ سنجنده (OLI)، اخذ شده از سایت (earthexplorer.usgs.gov) استفاده شده است. در این راستا، ابتدا تصحیحات هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر با استفاده از روش Flaash، در نرم‌افزار Envi، انجام شد. سپس طبقه‌بندی با روش شیء‌گرا و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی در نرم‌افزار Ecognition Developer، صورت گرفت و نتایج حاصله از طبقه‌بندی کاربری‌ها در مطالعه‌ی حاضر، چه از نظر تک‌تک کاربری‌ها و چه از نظر مجموع صحت و آمار کاپا، از صحت قابل قبولی (بزرگ‌تر از ۸۵ درصد)، در ارتباط با اطلاعات تولیدشده برخوردار می‌باشد.



شکل (۲): نقشه عوامل تاثیر گذار بر زمین لغزش
Fig (2): Map of factors affecting landslides

فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP): روش (ANP) شکل توسعه یافته‌ای از روش (AHP) است که قادر است همبستگی و بازخوردهای موجود بین عناصر در یک تصمیم‌گیری را مدل‌سازی نموده و تمامی تأثیرات درونی اجزای مؤثر در تصمیم‌گیری را منظور و وارد محاسبات نماید. در مدل AHP، تنها معیارها با معیار بالایی خود ارتباط داشتند؛ یعنی معیارها به هدف‌ها، زیرمعیارها به معیارها و گزینه‌ها هم به زیرمعیارها وابسته بودند، حتی خود معیارها هم به همدیگر وابسته نبودند. ولی در مدل ANP، نه تنها خوشه‌ها بر عناصر و عناصر بر گزینه، گزینه بر عناصر تأثیر می‌گذارند، بلکه حتی عناصر بر خودشان و بر دیگر خوشه‌ها نیز اثرگذارند. به طور کلی، روش (ANP) دارای مراحل نیز می‌باشد که شامل، ۱- تعیین معیارها و شاخص‌ها ۲- تعیین روابط و ارتباطات بین عناصر و خوشه‌ها: در این گام،

مسأله‌ی تصمیم‌گیری به ساختار شبکه‌ای تجزیه می‌گردد. ۳- مقایسات زوجی بین عناصر و خوشه‌ها: ماتریس‌های مقایسات زوجی مشابه با روش (AHP) می‌باشد و زوج‌های عناصر تصمیم‌گیری در هر خوشه به نسبت اهمیت‌شان در جهت شرط‌های کنترلی آن‌ها مقایسه می‌شوند ۴- تشکیل سوپرماتریس‌ها: الف- تشکیل سوپرماتریس اولیه یا غیر وزنی ب- تشکیل سوپرماتریس وزنی ج- تشکیل سوپرماتریس حدی: سوپرماتریس وزنی، به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا شده و مقادیر سطری آن با هم برابر شوند ۵- نتایج ماتریس خوشه‌ها ۶- نتیجه‌ی نهایی عناصر: ضرایب سوپرماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال شده و در نهایت، نتیجه‌ی نهایی عناصر و اولویت آن‌ها مشخص می‌گردد (فرجی سبک‌بار و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۵۲).

مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از روش ARAS (ارزیابی نسبت جمعی):

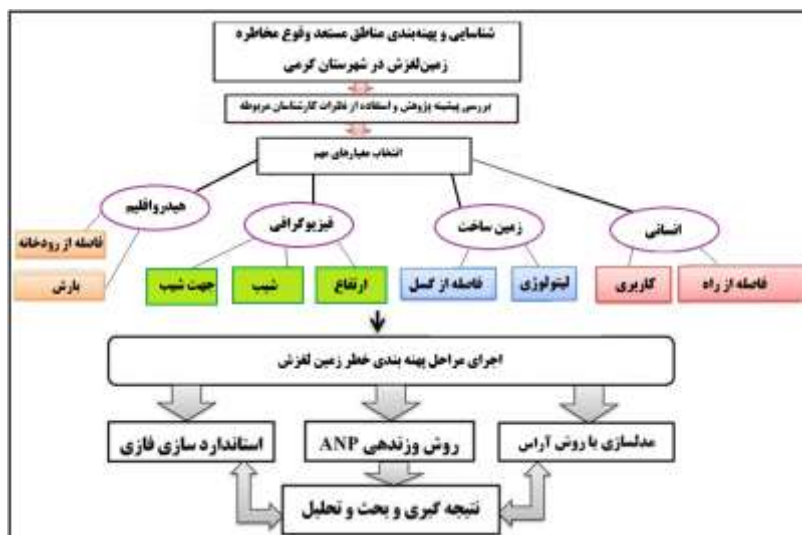
روش ARAS مبتنی بر این استدلال است که با استفاده از مقایسه‌های ساده نسبی می‌توان پدیده‌های دنیای پیچیده را درک کرد. این تکنیک، روشی قدرتمند در ارائه نرخ عملکرد و درجه مطلوبیت گزینه‌های مختلف نسبت به وضع بهینه است و از سهولت کاربرد نسبی نیز برخوردار است. مراحل الگوریتم پیاده‌سازی آراس به شرح ذیل می‌باشد:

۱: تشکیل ماتریس تصمیم: ماتریس تصمیم در این روش به صورت معیار-گزینه است. یعنی یک ماتریسی که ستون‌های آن را معیارهای مساله و سطرها را گزینه‌ها تشکیل می‌دهند و هر سلول نیز در واقع امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار است. ۲: نرمال کردن ماتریس تصمیم یا استانداردسازی: در پیاده‌سازی تمامی الگوریتم‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر و جهت دستیابی به الگوی پهنه‌بندی مکانی خطر فرونشست، مرحله استانداردسازی، با توجه به تابع عضویت فازی صورت پذیرفت (جدول ۱). استاندارد نمودن داده‌ها به معنی همسان کردن دامنه تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک دامنه مشخص دیگر است. در مجموعه‌های فازی، بیشترین ارزش یعنی مقدار یک به حداکثر عضویت و کمترین ارزش یعنی صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد. فلوچارت مربوط به فرآیند پژوهش، در شکل ۳، نمایش داده شده است.

جدول ۱. نوع توابع فازی‌ساز لایه‌های موضوعی تأثیرگذار بر خطر زمین‌لغزش محدوده مورد مطالعه

Table (1): The type of fuzzifier functions of thematic layers affecting the risk of selling the studied area

متغیر	توضیحات	نوع تابع فازی
شیب	با افزایش مقدار شیب، خطر زمین‌لغزش افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی
کاربری اراضی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر زمین‌لغزش و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از گسل	در مناطق مجاور خطوط گسل، پتانسیل وقوع مخاطره زمین‌لغزش افزایش می‌یابد.	تابع نزدیک فازی
زمین‌شناسی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر زمین‌لغزش و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از رودخانه	در مناطق مجاور رودخانه، پتانسیل وقوع مخاطره زمین‌لغزش کاهش می‌یابد.	تابع خطی کاهش‌ی
جهت شیب	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر زمین‌لغزش و سپس فازی کردن.	تابع نزدیک فازی
فاصله از راههای ارتباطی	در مناطق مجاور جاده‌ها، پتانسیل وقوع مخاطره زمین‌لغزش افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی
طبقات ارتفاعی	با افزایش ارتفاع، خطر زمین‌لغزش افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی
بارش	با افزایش میزان بارش، خطر زمین‌لغزش افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی

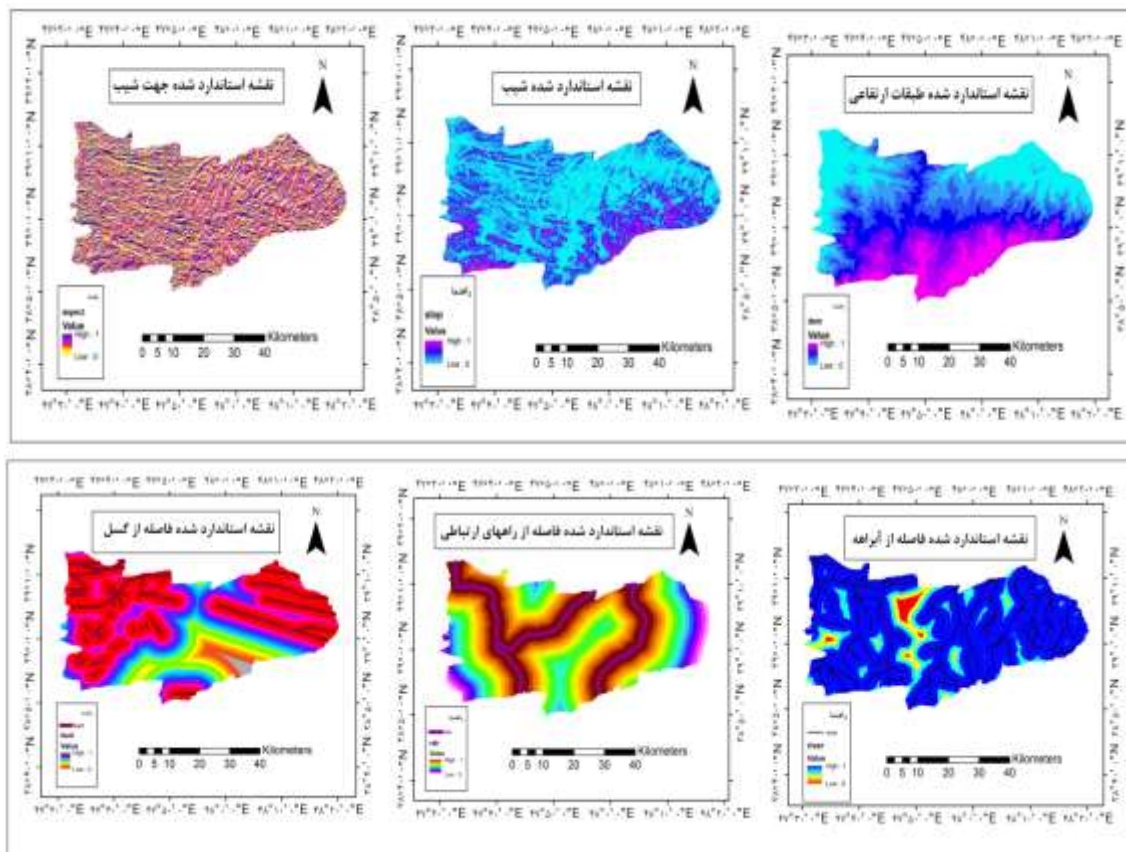


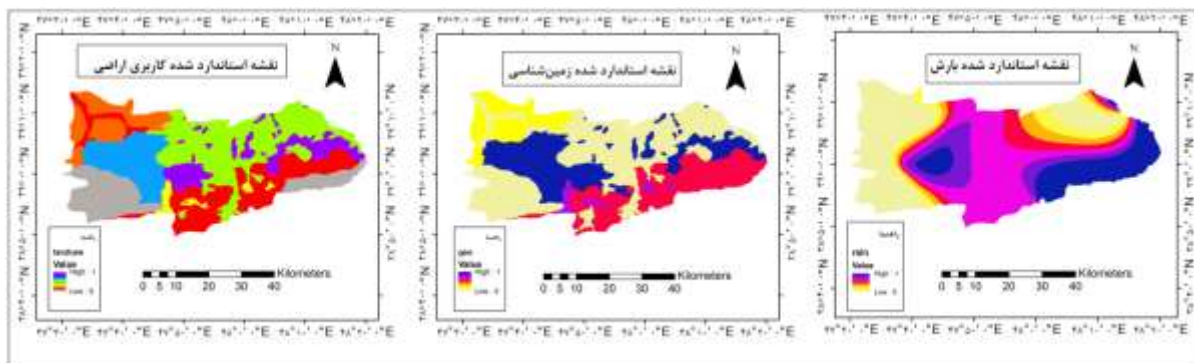
شکل (۳): فلوچارت مربوط به فرآیند پژوهش

Fig (3): Flowchart related to the research process

یافته‌ها و بحث

در این پژوهش در اندازه‌گیری معیارها برای بررسی و پهنه‌بندی زمین لغزش، دامنه‌ی متنوعی از مقیاس‌ها وجود دارد؛ از این رو، لازم است معیارها قبل از ترکیب با یکدیگر استاندارد شود. در این مطالعه، مرحله مربوط به ارزش‌گذاری و استانداردسازی به صورت توام و بر مبنای ارزش عضویت در مجموعه فازی در نظر گرفته شده است. در پژوهش حاضر، ارزش عضویت بین مقادیر ۰ تا ۱ قرار دارد. نقشه‌های استاندارد شده‌ی مربوط به معیارهای مطرح در مطالعه حاضر در شکل ۴، نشان داده شده است.





شکل (۴): نقشه‌های استاندارد شده‌ی فازی معیارهای مطرح در پهنه‌بندی زمین‌لغزش

Fig (4): Fuzzy standardized map of the proposed criteria in landslide zoning

در مطالعه حاضر عوامل زمین‌ساختی، انسانی، فیزیوگرافی و هیدرواقلمی خوشه‌ها می‌باشند و معیارهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از گسل و بارندگی عناصر مطالعه می‌باشند و سپس مشابه با روش AHP، زوج‌های عناصر تصمیم‌گیری در هر خوشه به نسبت اهمیت‌شان در جهت شرط‌های کنترلی آن‌ها مقایسه شده و خود خوشه‌ها نیز به نسبت سهم‌شان در هدف، مقایسات زوجی شدند و سوپرماتریس‌ها ایجاد شدند و نتیجه‌ی نهایی عناصر با ضرایب سوپرماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال شده و در نهایت، نتیجه‌ی نهایی عناصر و اولویت آن‌ها مشخص می‌گردید.

تشکیل سوپرماتریس اولیه یا غیر وزنی: عناصر ANP با یکدیگر در تعامل قراردارند، این عناصر می‌توانند واحد تصمیم‌گیرنده، معیارها، زیرمعیارها، نتایج حاصل، گزینه‌ها و هر چیز دیگری باشند. وزن نسبی هر ماتریس براساس مقایسه‌ی زوجی شبیه روش AHP محاسبه می‌شود. وزن‌های حاصل در سوپرماتریس وارد می‌شوند که رابطه‌ی متقابل بین عناصر سیستم را نشان می‌دهند سوپرماتریس به دست آمده در این مرحله سوپرماتریس اولیه معرفی می‌شود که جدول (۲)، آن را نشان می‌دهد.

جدول ۲: سوپرماتریس غیر وزنی یا اولیه‌ی مربوط به مدل

Table (2): Unweighted or primitive supermatrix related to the model

هیدرواقلم		فیزیوگرافی		زمین‌ساخت			انسانی		خوشه‌ها و عناصر	
رودخانه	بارش	شیب	جهت شیب	ارتفاع	گسل	زمین‌شناسی	کاربری	راه	راه	انسانی
۰/۵۰	۰/۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۴	۱/۰	۰/۰	راه	
۰/۵۰	۱/۰	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۷۵	۰/۰	۰/۱	کاربری	
۰/۵۰	۱/۰	۰/۶۶	۱/۰	۰/۷۵	۱/۰	۰/۰	۰/۶۶	۰/۶۶	لیتولوژی	زمین‌ساخت
۰/۵۰	۰/۰	۰/۳۳	۰/۰	۰/۲۵	۰/۰	۱/۰	۰/۳۳	۰/۳۳	گسل	
۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۶۶	۰/۳۳	۰/۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۳	ارتفاع	
۰/۰	۰/۰	۰/۳۳	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۱۹	۰/۰	جهت شیب	فیزیوگرافی
۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۰	۰/۶۶	۱/۰	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۴۹	۰/۶۶	شیب	
۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۶۶	۰/۰	۰/۰	۰/۶۶	۰/۰	بارش	
۰/۰	۰/۰	۱/۰	۱/۰	۰/۰	۰/۳۳	۱/۰	۱/۰	۰/۳۳	رودخانه	هیدرواقلم

تشکیل سوپرماتریس وزنی: در واقع ستون‌های سوپرماتریس از چند بردار ویژه تشکیل می‌شود که جمع هر کدام از بردارها برابر یک است. بنابراین این امکان وجود دارد که جمع هر ستون سوپرماتریس اولیه بیش از یک باشد (متناسب با بردارهای ویژه‌ای که در هر ستون وجود دارند). برای آن که از عناصر ستون متناسب با وزن نسبی‌شان فاکتور گرفته شود و جمع ستون برابر یک شود، هر ستون ماتریس استاندارد می‌شود. در نتیجه ماتریس جدیدی به دست می‌آید که جمع هر یک از ستون‌های آن برابر یک خواهد بود. (جدول ۳).

جدول ۳: سوپرماتریس وزنی
Table (3): weighted supermatrix

هیدرواقليم		فيزيوگرافي			زمین ساخت		انسانی		خوشه‌ها و عناصر	
رودخانه	بارش	شیب	جهت شیب	ارتفاع	گسل	زمین-شناسی	کاربری	راه		
۰/۱۸	۰/۰	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۳۴	۰/۰	انسانی	
۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۰	۰/۳۴	راه	
۰/۱۵	۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۳۱	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۰	۰/۱۳	۰/۱۳	کاربری	
۰/۱۰	۰/۰	۰/۰۸	۰/۰	۰/۰۶	۰/۰	۰/۲۰	۰/۰۶	۰/۰۶	زمین‌شناسی	
۰/۰	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۰	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۸	گسل	
۰/۲۰	۰/۰	۰/۰۸	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۴	۰/۰	ارتفاع	
۰/۰	۰/۱۶	۰/۰	۰/۲۰	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱۶	جهت شیب	
۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۱۳	۰/۰	۰/۰	۰/۱۳	۰/۰	شیب	
۰/۰	۰/۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۰	۰/۰۶	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۰۶	بارش	
۰/۰	۰/۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۰	۰/۰۶	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۰۶	رودخانه	

محاسبه‌ی بردار وزنی عمومی یا سوپرماتریس حدی: در مرحله‌ی بعد، سوپرماتریس وزنی، به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا شده و مقادیر سطری آن با هم برابر شوند. ماتریسی که در نتیجه‌ی به توان رسیدن ماتریس وزنی به دست می‌آید، ماتریس حدی (جدول ۴)، می‌باشد. در این ماتریس، مقادیر هر سطر آن با هم برابر می‌باشد. اگر سوپرماتریس اثر زنجیره‌واری داشته باشد، ممکن است دو یا چند سوپرماتریس داشته باشیم.

جدول ۴: سوپرماتریس حدی
Table (4): Limit supermatrix

هیدرواقليم		فيزيوگرافي			زمین ساخت		انسانی		خوشه‌ها و عناصر	
رودخانه	بارش	شیب	جهت شیب	ارتفاع	گسل	زمین-شناسی	کاربری	راه		
۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	انسانی	
۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	راه	
۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	کاربری	
۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	لیتولوژی	
۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۰۲	گسل	
۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	ارتفاع	
۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	جهت شیب	
۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	شیب	
۰/۰	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	بارش	
۰/۰	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	رودخانه	

نتایج ماتریس خوشه‌ها: پس از محاسبه‌ی سوپرماتریس حدی، آخرین مرحله برای تعیین ارزش و ضریب نهایی عناصر، محاسبه‌ی نتایج ماتریس خوشه‌ها و نرمال‌سازی ضریب عناصر در سوپرماتریس حدی توسط ضریب خوشه‌ها می‌باشد، نتیجه‌ی مقایسات زوجی بین گروه‌ها که جدول اوزان گروه‌ها نامیده می‌شود، در جدول (۵)، آورده شده است.

جدول ۵: ماتریس اوزان گروهها

Table (5): Matrix of weights of groups

خوشه‌ها	انسانی	زمین ساختی	فیزیوگرافی	هیدرو اقلیمی
انسانی	۰/۳۴۶	۰/۲۹۲	۰/۲۹۷	۰/۲۹۷
زمین ساختی	۰/۲۰۳	۰/۲۰۷	۰/۲۴۶	۰/۲۴۶
فیزیوگرافی	۰/۲۴۶	۰/۲۹۲	۰/۲۴۶	۰/۲۴۶
هیدرو اقلیمی	۰/۲۰۳	۰/۲۰۷	۰/۲۰۹	۰/۲۰۳

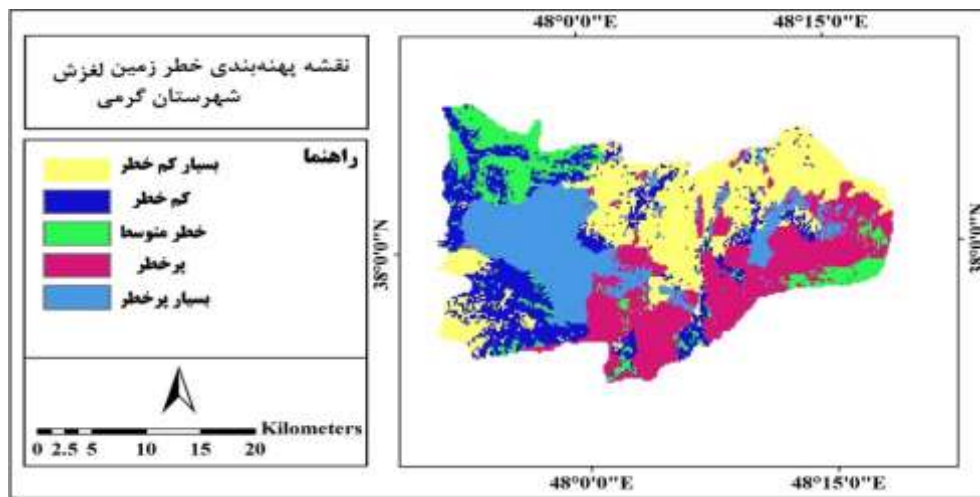
نتیجه‌ی نهایی عناصر: ضرایب سوپرماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال شده و در نهایت، نتیجه‌ی نهایی عناصر و اولویت آن‌ها مشخص شد (جدول ۶).

جدول ۶: وزن نهایی حاصل از روش ANP

Table (6): The final weight obtained from the ANP method

معیار	فاصله از جاده	کاربری اراضی	جهت شیب	فاصله از گسل	از زمین-شناسی	شیب ارتفاعی	طبقات رودخانه	بارش رودخانه	فاصله از رودخانه
وزن نهایی	۰/۱۳۷	۰/۱۸۷	۰/۰۲۱	۰/۰۹۰	۰/۱۴۲	۰/۱۵۲	۰/۰۹۳	۰/۰۳۸	۰/۱۳۵

پس از اعمال کردن وزن‌های حاصل از روش ANP در هر یک از نقشه‌های استاندارد شده و پیاده‌سازی دیگر مراحل مدل ARAS، نقشه نهایی پهنه‌بندی لغزش در ۵ طبقه‌ی بسیار پرخطر تا بسیار کم خطر، بدست آمد (شکل ۵). با توجه به نتایج به دست آمده، ۳۶۱/۹۹ کیلومترمربع از مساحت شهرستان در طبقه‌ی بسیار پرخطر و ۴۵۰/۳۲ کیلومترمربع، در طبقه پرخطر قرار دارد. همچنین ۲۰۵/۳۱ کیلومترمربع از مساحت شهرستان، دارای خطر متوسط و به ترتیب ۳۴۷/۲۰ و ۵۱۹/۲۶ کیلومترمربع دارای خطر بسیار کم و کم می‌باشند (جدول ۷).



شکل ۵: نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش شهرستان گرمی

Fig (4): Landslide zoning map of Germei city

جدول ۷. اطلاعات طبقات خطر زمین لغزش

Table (7): The final weight obtained from the ANP method

طبقه خطر	خطر بسیار پرخطر	پرخطر	خطر متوسط	کم خطر	بسیار کم خطر
مساحت به کیلومتر مربع	۳۶۱/۹۹	۴۵۰/۳۲	۲۰۵/۳۱	۳۴۷/۲۰	۵۱۹/۲۶
مساحت به درصد	۱۹/۲۱	۲۳/۹۰	۱۰/۸۹	۱۸/۲۴	۲۷/۵۶

مقدار شیب موجود در شهرستان گرمی بین ۰ تا ۷۹ درصد می‌باشد، مناطق بسیار پرخطر عمدتاً در شیب ۲۰ تا ۳۰ درصد واقع شده‌اند و در این مقدار شیب در شهرستان گرمی، مواد سطحی و اصولاً ریزدانه که مستعد برای لغزش‌اند با جذب آب و افزایش رطوبت به حد سیلانی رسیده و با بالا رفتن تنش‌های برشی و گسیختگی مواد در دامنه، شروع به حرکت می‌کنند. عمدتاً در شیب‌های بالا و کم‌تر از این مقدار در منطقه، امکان شکل‌گیری حرکات لغزشی کم می‌باشد. جهت شیب دامنه محدوده، شرقی متمایل به شمال است به این خاطر که ساعاتی آفتابی کمی را به خود می‌بیند، می‌تواند زمینه را برای وقوع زمین لغزش در محدوده شهرستان گرمی فراهم نماید. این شهرستان در محدوده ارتفاعی ۲۶۷ متر تا ۲۱۹۶ متر از سطح دریا قرار دارد و ارتفاع متوسط شهرستان در حدود ۱۲۳۰ متر است. محدوده شهرستان از جنوب به دامنه کوه‌های صلوات، از شمال به کوه‌های خروسولو، از غرب به دره رود و از شرق به بالقارچای (بالهارود) محدود می‌شود. (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۷: ۸۷).

منطقه گرمی به دلیل واقع شدن در محدوده کوهستانی با عوارض شدید توپوگرافی و پستی و بلندی‌های زیادی همراه است. ولی در خارج از شهر گرمی و به سوی شمال استان از شدت ناهمواری‌ها کاسته شده و به سمت دشت مغان مورفولوژی تپه‌ماهوری ظاهر می‌شود. این شهرستان در منطقه کوهستانی و کوهپایه‌ای قرار گرفته و ارتفاع زمین از جنوب به سمت شمال کاسته می‌شود. ارتفاعات جنوبی شهر موسوم به گورگن داغ مرتفع‌ترین قسمت شهر را تشکیل می‌دهد که کلیه مسیل‌ها و شبکه‌های آبراهه که به سمت شهر روان هستند از این ارتفاعات سرچشمه می‌گیرند. به طور کلی سیمای توپوگرافی در محدوده شهر گرمی شامل دو قسمت است. ناحیه هموار و مرتفع کوهستانی در جنوب تنگ گرمی و ناحیه نسبتاً هموار و کم ارتفاع کوهپایه‌ای و دره‌ای در شمال تنگ گرمی. در شمال تنگ گرمی که محله طالقانی را در خود جای داده است همراه با کاهش ارتفاع، زمین وسیع‌تر شده و دره‌ی وسیع گرمی‌چای از گوشه شمال شرقی آن عبور می‌کند ارتفاع محدوده لغزشی به طور متوسط ۸۵۰ متر می‌باشد. با توجه به نقشه نهایی حاصل از مطالعه، مناطق دارای احتمال خطر زیاد، به طور عمده در طبقات ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۹۰۰ متری سطح شهرستان گرمی، قرار دارد. در شهرستان گرمی، چهار ماه خرداد، تیر، مرداد و شهریور، با میانگین بارش ماهانه به ترتیب ۱۲/۱، ۹/۲، ۹ و ۱۱ میلی‌متر، کم‌بارش‌ترین ماه‌های سال در سطح منطقه می‌باشند. با آغاز فصل پاییز به صورت ناگهانی بر میزان بارش افزوده می‌شود. در دو ماه آخر پاییز و دو ماه اول زمستان از ریزش‌های جوی نسبت به مهرماه کاهش یافته است. به نظر می‌رسد افزایش برودت و کاهش گنجایش رطوبتی هوا در این کاهش اثرگذار می‌باشد. همزمان با کاهش برودت هوا در اسفندماه بر میزان بارش منطقه افزوده می‌شود. در حالت کلی ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت به جهت دریافت بارش قابل توجه اهمیت بسیار زیادی در رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه دارد. در واقع، بارش مستمر در طی این ماه‌ها (همراه با ذوب برف و یخ) یکی از شرایط لازم برای رخداد زمین‌لغزش را مهیا می‌سازد که همان حضور آب می‌باشد و مناطق پرخطر، در مناطق با بارش (۵۰۰-۳۵۰ میلی‌متر)، قرار دارند.

به طور کلی شهرستان گرمی در محل برخورد روندهای ساختاری مهم، گسل‌ها و خطواره‌های آستارا و نور با جهت شمالی - جنوبی، گسل دشت مغان با روند شرقی - غربی و خطواره ارس که آخرین و شمالی‌ترین ارتفاعات نسبتاً بلند مشرف بر جلگه مغان را بوجود آورده، شکل گرفته است. رسوبات منطقه عمدتاً مربوط به دوره الیگومیوسن بوده و جنس و ماهیت رسوبات اغلب از مواد نرم و فرسایش‌پذیر و دارای بافت نفوذپذیر (رس و شیل) می‌باشد. وجود درزها و شکستگی‌های فراوان با سطوح صاف و مستقیم از ویژگی‌های مهم ساختاری منطقه می‌باشد. خصوصیات فیزیکی خاک تاثیر زیادی در نفوذپذیری خاک دارد و منجر به جدا شدن دانه‌های خاک و حمل و نقل آن می‌گردد. معمولاً توان جداشدگی خاک با افزایش دانه‌های خاک افزایش می‌یابد و قابلیت حمل خاک با کاهش اندازه دانه‌ها، افزایش می‌یابد، که در این خصوص، رس در مقایسه با ماسه به سختی قابلیت انفصال دارد، ولی به راحتی قابل حمل است. به این ترتیب و با توجه به وجود شیل‌ها، رس‌ها، خاصیت آماس کردن بافت رس و حساسیت شیل‌ها به آب، پدیده لغزش و سولیفوکسیون در دامنه‌های با شیب بالا بسیار محتمل به نظر می‌رسد. ناودیس گرمی نیز به همراه چین‌خوردگی‌های لایه‌های عموماً ماسه‌سنگی که به طور گسترده‌ای در محدوده گرمی رخنمون دارند، مورفولوژی منطقه را شدیداً تحت تاثیر قرار داده و در برخی از دامنه‌ها امکان وقوع زمین‌لغزش را فراهم آورده است. از آن جهت که واحد شهرستان گرمی به جهت وجود آبرفت‌های جوان و تراس‌های قدیم و جدید در اثر ته‌نشست آبرفت‌های

رودخانه‌ای با شیب کم، محل مناسبی برای فعالیت‌های زراعی و باغات ایجاد کرده است. لذا اغلب اراضی کشاورزی و نیز باغات در این واحد گسترده شده است. بررسی معیار کاربری اراضی حاکی از این موضوع است که کاربری زراعی و مراتع و چراگاه‌ها بیشترین درصد از مساحت مناطق پرخطر را به خود اختصاص داده است که با توجه به عدم رعایت تناوب زارعی، کشت در اراضی شیب‌دار و افزایش رطوبت خاک از طریق آبیاری و نفوذ دادن آب بیشتر به زمین قابل قبول می‌باشد. به علاوه، مردم محلی با چرای بیش از حد دام‌های خود در مراتع، باعث نابودی پوشش گیاهی شده و به روند رخداد زمین‌لغزش بعد از وقوع بارش‌های سیل آسا سرعت می‌بخشند.

در شهرستان گرمی فاصله از راه ارتباطی بین صفر تا ۱۰۰۰۰ متر می‌باشد. مناطق پرخطر به طور عمده در فواصل صفر تا حداکثر ۱۸۰۰ متری از راه‌های ارتباطی قرار دارند. عامل جاده، به دلیل زیربری و از بین بردن پاشنه دامنه و تغییر در شیب دامنه‌ها در ایجاد حرکات لغزشی نقش بسیار مهمی دارد. چون اغلب فعالیت‌های جاده‌سازی در سطح شهرستان (به ویژه در مناطق روستایی و عشایری)، غیر اصولی و بدون توجه به اصول مهندسی می‌باشد، احداث راه‌های از یک سو به دلیل ایجاد ترانشه و تغییر وزن ناشی از خاک‌برداری و خاک‌ریزی، زیربری دامنه و از بین بردن تکیه‌گاه دامنه‌ها منجر به ایجاد زمین لغزش می‌شود. از سوی دیگر احداث جاده با از بین بردن پوشش مرتعی در دامنه‌های پرشیب باعث می‌شود، در هنگام بارش بهاری و ذوب برف، زمینه جهت شکل‌گیری زمین لغزش فراهم گردد. فاصله از آبراهه در شهرستان گرمی بین صفر تا ۱۰۰۰ متر می‌باشد مناطق پرخطر در فواصل ۰ تا ۷۰۰ متری از رودخانه قرار دارند و رودخانه‌ها (به ویژه رودخانه‌های دائمی و پراپ)، با زیرشویی دامنه‌ها و از بین بردن تکیه‌گاه مواد دامنه‌ای در ایجاد زمین لغزش دارای اهمیت‌اند. در شهرستان گرمی به ترتیب نزدیک‌ترین و دورترین فاصله از گسل صفر تا ۴۰۰۰ متر، می‌باشد. مناطق پرخطر معرفی شده حاصل از مطالعه حاضر، به طور عمده در فاصله صفر تا ۳۰۰۰ متری از گسل قرار دارند و گسل‌ها منجر به گسیختگی در دامنه‌ها و ایجاد شکستگی در لایه‌ها و خردشدگی توده‌های سنگی و در نتیجه نفوذ آب به داخل زمین و کاهش مقاومت برشی دامنه می‌گردند. گسل گرمی با طول بالغ بر ۸۳ کیلومتر با روند تقریبی شرقی- غربی است که در پایانه غربی آن چندین گسل دیده می‌شود. فاصله مرکز گسل تا ساخت‌گاه ۲۳ کیلومتر است که در شمال منطقه قرار دارد. با توجه به پیمایش‌های میدانی، نمونه‌هایی از لغزش‌های رخ داده در سطح شهرستان گرمی شناسایی شد که در شکل ۶، نمایش داده شده است



شکل ۶: تصاویر زمین‌لغزش شهرستان گرمی
Fig (6): Landslide photo of Germei city

نتیجه‌گیری

زمین‌لغزش‌ها فرایندهای می‌باشند که عوامل متعدد و متنوعی در وقوع و تحریک آنها دخالت دارند. در این پژوهش خطر زمین‌لغزش در شهرستان نیر، با استفاده از تلفیق روش‌های ANP و ARAS، مورد بررسی قرار گرفته است.

در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در شهرستان گرمی (شکل ۵) ۹ پارامتر موثر در رخدادهای زمین لغزش شامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، ارتفاع، بارش، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و فاصله از گسل تهیه شد. نتایج مطالعه نشان داد، عوامل کاربری اراضی (جزو خوشه انسانی)، شیب (جزو خوشه عوامل فیزیوگرافی)، زمین‌شناسی (جزو خوشه زمین‌ساخت) به ترتیب با مقدار ۰/۱۸۷، ۰/۱۵۲، ۰/۱۴۲، بیشترین ضریب وزنی را به خود اختصاص دادند. با نظر به تراکم کاربری زراعی، مراتع و چراگاهها و همچنین عدم رعایت تناوب زراعی و در پی آن افزایش رطوبت خاک و چرای بیش از حد دامها و تخریب پوشش گیاهی و با توجه به مشخصات شیب و جهت شیب شهرستان گرمی (مناطق واقع در شیب ۱۵ تا ۳۰ درصد، در جهت شرقی و شمالی) همچنین وجود رسوبات نرم، فرسایش پذیر (شیل، رس و ...) و نفوذپذیر که توان جداشدگی خاک را افزایش می‌دهد جزو مهم‌ترین و تاثیر گذارترین عوامل در رخداد این مخاطره در شهرستان گرمی معرفی شد. با توجه به نقشه خروجی پهنه‌بندی شهرستان گرمی می‌توان گفت ۳۶۱/۹۹ کیلومتر (۱۹/۲۱ درصد) از مساحت این شهرستان در طبقه بسیار پر خطر، ۴۵۰/۳۲ کیلومتر (۲۳/۹۰ درصد) در طبقه پرخطر، ۲۰۵/۳۱ کیلومتر (۱۰/۸۹ درصد) خطر متوسط، ۳۴۷/۲۰ کیلومتر (۱۸/۲۴ درصد) و ۵۱۹/۲۶ (۲۷/۵۶ درصد) بسیار کم خطر قرار دارد.

همچنین می‌توان گفت که نتایج حاصل از این مطالعه، حاکی از توان بالای شهرستان گرمی، از لحاظ رخداد حرکات لغزشی می‌باشد. لذا قلمروهای پرخطر تعیین شده در این پژوهش اراضی هستند که نباید کارهای غیر اصولی از قبیل تخریب پوشش گیاهی در اثر تبدیل اراضی مرتعی به زراعی و چراگاه‌های دامی، کاهش کمی و کیفی پوشش گیاهی در اثر چرای بی‌رویه دامها، کشت دیم در اراضی شیب‌دار، عدم رعایت تناوب زراعی، احداث و دستکاری‌های غیراصولی جهت احداث جاده انجام گیرد. همچنین اقداماتی مانند: تعدیل و کاهش شیب دامنه‌ای ارتفاعات مشرف بر مسیر احداث جاده، پایدارسازی دامنه‌ها با ایجاد و تقویت پوشش گیاهی در نواحی مستعد لغزش با استفاده از درختان بومی منطقه، کنترل بهره‌برداری مراکز پرورش دام در قلمرو پرخطر به منظور جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی، زهکشی و هدایت صحیح آب در بالادست و پایین دست مناطق مستعد رانش و زمین لغزش، جلوگیری از نفوذ آب به درون توده‌ی دارای امکان لغزش با پخش ماسه‌های آغشته به قیر (مالچ) و یا با استفاده از بتن‌پاشی روی توده‌ی خاک و سنگ، استفاده از دیوارهای حائل، استفاده از شمع به صورت سپر و یا ستون‌های آهکی با توجه به شرایط زمین‌شناسی محل، انجام عملیات پایدارسازی در مناطق احداث جاده و مناطق عبور خطوط انتقال نیرو و یا خطوط ارتباطات، حذف سازند ریزدانه و برداشت آن از سطح دامنه، تدوین قوانین خاص بر کاربری و نحوه تغییر آن و پیگیری در اجرای صحیح آن قوانین، بایستی در دستور کار سازمان‌ها و ارگان‌های مربوطه قرار گیرد. انتظار می‌رود، این مطالعه و نتایج حاصل از این تحقیق، با معرفی مناطق دارای احتمال وقوع بالای زمین لغزش، راه‌گشایی برای اعمال مدیریت بهتر و علمی‌تر مدیران و برنامه‌ریزان مربوطه در این زمینه گردد و در نواحی با پتانسیل خطر بالا، با انجام اقدامات حفاظتی، آبخیزداری مناسب و البته کارشناسی شده و اصولی توسط متخصصان، از وقوع زمین لغزش‌های احتمالی جلوگیری شود. به علاوه پیشنهاد می‌گردد، سازمان‌ها و ارگان‌های زیربط از جمله اداره‌ی کل منابع طبیعی، محیط‌زیست، اداره‌ی راه و ترابری، بنیاد مسکن، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای شهرستان گرمی و ... در طراحی پروژه‌ها، مدیریت‌های محیطی، اجرای برنامه‌ها، طرح‌های عمرانی و هرگونه ساخت و سازها و فعالیت‌های زیربنایی در شهرستان گرمی، به منظور انتخاب استراتژی صحیح و مناسب و دوری از مناطق خطرناک، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش شهرستان را نیز مد نظر قرار داده و براساس آن اقدامات لازم و مربوطه اجرا گردد.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از طرح دوره‌ی پسادکتری می‌باشد که با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شده است. از این‌رو تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌داریم.

References

- Ahmadi, Hassan. (1386). Applied geomorphology. First volume. water erosion. fifth edition. Tehran University Press. 688 pages.
- Asghari Saraskanrod. Sayad. Palizban. Delnia. Emami. Hadi.Qala. Ehsan. (2019). Analysis of network analysis models and fuzzy logic to prepare a zoning map of landslides. a case study: (Sarab-Nir road). Geography and Planning. year 24. number 73. pp. 1-22.
- Amir Ahmadi. Abulqasem. Shekari Badi. Ali. Motamedi-Rad. Mohammad. (2014). Landslide risk zoning using the ANP model (case study: Pyeogen basin of the southern Binalud range). Quantitative Geomorphology Research. 4th year. No. 3. pp. 214-230.
- Arab Ameri. Alireza. Rezaei. Khalil. Yamani. Mojtaba. Shirani. Korosh. (2017). Spatial Landslide Modeling: Evaluation of the efficiency of the combination of EBF data-driven method and AHP knowledge-driven method (case study: Fereydoun Shahr Basin). Researches on water and soil protection (agricultural sciences and natural resources), volume twenty-five, number five, pp. 47-67.
- Abedini. Musa. Ranjbari. Ahad. Mokhtari. Davud. (2018). Landslide risk analysis using ANP and LR models in the GIS environment of a case study (Ghoshadagh-Arsbaran fault zone in East Azerbaijan). Quantitative Geomorphology Research. Volume 8. Number 1. pp. 70-88.
- Bell, R., Glade. T. (2004). Quantitative Risk Analysis for Landslides. Examples from Bildudalur. NW-Iceland. Natural Hazards and Earth. 4. pp. 117-131.
- Colkesen. I. Sahin. Emrehan. Kavzoglu. Taskin. (2016). Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process. support vector machines and logistic regression. Journal of African Earth Sciences 118: 53-64.
- Esfandiari. Fariba. Jedi. Soghari. Pirouzi. Elnaz. (2017). An analysis on the location of the optimal directions of physical expansion of Germi city using the Vicor model. Applied Research in Geographical Sciences, No. 51. pp. 41-63.
- Faraji Sobbar. Hassan Ali. Salmani. Mohammad. Feridouni. Fatemeh. Karimzadeh. Hossein, Rahimi. Hassan. (2011). Locating the sanitary landfill of rural waste using the Analytical Network Process (ANP) model; Case study: rural areas of Qochan city. Faculty of Human Sciences. Volume 14. Number 1. pp. 127-149. -
- Gigovic. L. Drobnjak. S. Pamucar. D. (2019). The Application of the Hybrid GIS Spatial Multi-Criteria Decision Analysis Best–Worst Methodology for Landslide Susceptibility Mapping. International journal of Geo-Information, 8 (79): pp 1-29.
- Hanifinia, Abdul Aziz. Abakari. Hirad. (2023). Investigating the relationship between factors affecting the occurrence of landslides in Shannon's entropy model with WOE and LNRF records in order to zonate the susceptibility of landslides in Zive Urmia watershed. Quantitative Geomorphology Research. Volume 11. Number 2. pp. 108-127.
- Inteziri. Mozghan. Khodadai. Fatemeh. Sasanpour. Farzaneh. (2018). Analysis and zoning of geomorphological hazards (landslides and floods) of Alborz province using AHP-VIKOR and FR models. Natural Geography Research. Volume 51. Number 1. pp. 183-199.
- Karam. Abd al-Mir. (2008). Application of weighted linear combination model in landslide zoning (case study: Serkhon Chahar Mahal Bakhtiari region). Journal of Geography and Development. pp. 131-146.
- Karam. Amir. Paknejad. Fariba. Bahram Abadi. Elham. (2021). Instability zoning of slopes with respect to landslide movements using random forest algorithm. case study: Tangrah basin. Golestan province. Quantitative Geomorphology Research. Volume 9. Number 4. pp. 59-74.

- Najafi Eghdir. Ahmad. Rausti. Shahram. Hijazi. Seyed Asadullah, Rajabi. Masoumeh. & Jalali. Nader. (2022). The application of two-variable statistical models in landslide risk zoning in the Nazlochai catchment area. *Hydrogeomorphology*. 8(27).
- Moradi. Hamidreza. Mohammadi. Mahdi. Pourqasmi. Hamidreza. (2012). Landslide hazard zoning using the combination of AHP and surface density models. *National Erosion and Sedimentation Conference*.
- Riahi. Vahid. Pashazadeh. Asghar. (2008). Analysis of the causes of landslides in Taleghani neighborhood of Gerami city and its control and stabilization methods. *Geographical Thought*. second year. fourth issue. pp. 30-51.
- Stubborn orc. Morteza. Piri. Zahra (2023). Landslide risk zoning using Analytical Hierarchy (AHP) case study model. Baghmolek city. *Geography and Environmental Hazards*. Volume 12. Number 3. pp. 87-109. -
- Sharifi Pichon. Mohammad. Shirani. Korosh. & Shirani. Maeda. (1400). Prioritization of factors affecting the occurrence of landslides and zoning of its sensitivity using multivariate linear regression method. case study: Abriz Vohergan-West of Isfahan province. *Hydrogeomorphology*. 8(26). 163-139..
- Tajudin. N. Yaacob. N. mohdali. D. Adnan. N.(2018). Rainfall – landslide potential mapping using remote sensing and GIS at Ulu Kelang, Selangor. Malaysia. *Conference Series Earth and Environmental Science*. Vol 169. Pp 1-8.
- Vojtekova, J. Vojtek. M. (2020). Assessment of landslide susceptibility at a local spatial scale applying the multi-criteria analysis and GIS: a case study from Slovakia. *Geomatics. Natural Hazards and Risk*. Vol 11. Issue 1. Pp 131–148.