FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)
Volume 10, Number 2, Summer, (2025)

Journal Homepage: www.jess.ir
Print ISSN: 2588-6851 Online ISSN: 2645-520X

Investigating and zoning the risk potential of landslides in Khanian Tankabon watershed using network analysis method

Mousa Abedini[1]* ; Fateme Salimzadeh[2]

*1. Professor in geomorphology, Faculty of Environment, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. PhD Student in Departmen of Physical Geography, (Geomorphology), University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
*Email Address: Abedini@uma.ac.ir

Article Info

Article Type:
Research Paper

Article History:

Received Date:
2024/07/31
Revised Date:
2024/09/14
Accepted Date:
2024/11/13
Published Date:
2025/07/30

Keywords:
landslide,
hazards,
AHP network analysis method,
Khanian watershed,

ABSTRACT

Landslides are one of the most frequent natural hazards in the world, and knowing the assessment and risk zoning of landslides can be effective in managing, controlling, controlling and reducing the amount of damage. The main purpose of this research is to investigate and evaluate the risk of landslides in the Khanian watershed (located in the west of Mazandaran province and southeast of Tankabon city). In order to conduct this research, a multi-criteria decision making method of the network analysis process (ANP) was used. The information layers included lithology, distance from the fault, slope, direction of slope, height level, land use, distance from the road, precipitation, distance from the river and density of springs as effective factors in the occurrence of landslides.The results of the model showed that the ANP method is very accurate, the order of prioritization of the effective factors in it is reasonable and acceptable, in the meantime, according to the effective factors of landslides in the ANP method, the slope parameters with a weight of 0.29 Land use with a weight of 0.24 and lithology with a weight of 0.20 have the most importance in the development of landslides, because it provides the possibility of comparing sub-criteria.Field studies and investigation of factors affecting landslides show that the existence of land slope and geological formations and land use change and the construction of villas on the slopes due to the touristic nature of the studied area strongly cause Landslides occur, the destruction of pastures and the loss of vegetation are effective in intensifying landslides in the researched basin.According to the field visits, it can be acknowledged that the use of the ANP method has relatively high accuracy for the study of landslides. Because Khanban Basin is prone to landslides, the results of this research can be useful in environmental management to control and reduce its risks.

Cite this article: Mousa Abedini, Fateme Salimzadeh (2025). Investigating and zoning the risk potential of landslides in Khanian Tankabon watershed using network analysis method **,** Journal of Environmental Sciences Studies, 10 (2), Pages 10157- 10174.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Landslides are one of the most frequent natural hazards in the world, and knowing the assessment and risk zoning of landslides can be effective in managing, controlling, controlling and reducing the amount of damage. The main purpose of this research is to investigate and evaluate the risk of landslides in the Khanian watershed (located in the west of Mazandaran province and southeast of Tankabon city).In order to conduct this research, a multi-criteria decision making method of the network analysis process (ANP) was used. The information layers included lithology, distance from the fault, slope, direction of slope, height level, land use, distance from the road, precipitation, distance from the river and density of springs as effective factors in the occurrence of landslides.The study area of Khanian is one of the three thousand sub-basins of Tonkabon, which is located in the west of Mazandaran province and the southeast of Tonkabon city (Figure 1). Its area is about 2918.44 hectares. The studied area of Khanian watershed is located in longitude 50 degrees 55 minutes 11 seconds to 50 degrees 56 minutes 16 seconds and latitude 36 degrees 33 minutes 12 seconds to 36 degrees 41 seconds. In terms of political divisions, this basin is located in the south of Tankabon city and is considered one of the sub-basins of Sehazar River. Almost the entire access route to its central and southern parts is located in the mountainous and high area, and in this sense, it is considered among the very high watersheds. In addition, the general direction of the Khanian watershed is south to north, and in the south of the basin, they form the Sehazar River in the course of its intersection with each other. Also, the highest elevations of the basin are located in its southern part. Its maximum height is 4794 meters, and its minimum height is 319 meters. The average annual rainfall of the region is about 800 mm and its climate type according to the Dumarten method is a cold humid climate. In terms of vegetation, it is part of the semi-dense forest areas and the species present in it include beech, comfrey and alder.

Materials and methods

In this research, in order to assess the risk of landslides in the studied watershed, an integrated approach based on field studies, expert opinions and spatial modeling was used. 10 key factors used including lithology, fault, slope, slope direction, topographic level, land use, road, precipitation, river and springs were considered. Digital maps of height with a resolution of 10 meters, slope, direction of slope, geology with a scale of 1:100000, land use, fault, river and slip points were prepared. Validation of these layers was done using field visits and satellite images. Field studies were conducted in two stages. In the first stage, landslide-prone points were identified by considering geological evidence, morphology, land use and visual evidence such as cracks, minor landslides and weak vegetation. In the second stage, at each suspicious point, more detailed information was collected, including rock type, geological structure, current land use, slope and slope direction, distance from the river, the presence of faults, the amount of weathering, sliding blocks, surface materials, and the distance from the watershed. . In the next step, the accuracy and validity of the collected information layers were carefully checked and evaluated.

Results and discussion

The results of the model showed that the ANP method is very accurate, the order of prioritization of the effective factors in it is reasonable and acceptable, in the meantime, according to the effective factors of landslides in the ANP method, the slope parameters with a weight of 0.29 Land use with a weight of 0.24 and lithology with a weight of 0.20 have the most importance in the development of landslides, because it provides the possibility of comparing sub-criteria.

Conclusion

The results of the model showed that the ANP method is very accurate, the order of prioritization of the effective factors in it is reasonable and acceptable, in the meantime, according to the effective factors of the landslide of the ANP method, the land slope parameters with a weight of 0.29, land use with a weight 0.24 and lithology with a weight of 0.20 have been assigned the most importance in the development of landslides, because it allows the comparison of sub-criteria. According to the field visits, it can be acknowledged that the use of the ANP method has a relatively high accuracy for the study of landslides.Landslide, hazards, AHP network analysis method, Khanian watershed,

مجله مطالعات علوم محیط زیست
جلد ۱۰، شماره ۲
Journal Homepage:www.jess.ir
شاپای چاپی: 2588-6851 شاپای الکترونیکی: 2645-520X

FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

بررسی و پهنه بندی پتانسیل خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز خانیان تنکابن با استفاده از روش تحلیل شبکه

موسی عابدینی [۱*]، فاطمه سلیم زاده [۲]

[*]۱- استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی ، دانشگاه محقق اردبیلی
۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی
[*]ایمیل نویسنده مسئول: Abedini@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۵/۱۰
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۶/۲۴
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۸/۲۳
تاریخ انتشار:
۱۴۰۴/۰۵/۰۸

کلید واژه ها:
زمین لغزش،
مخاطرات،
روش تحلیل شبکه ای،
ANP
حوضه خانیان،

چکیده

زمین لغزش ها از پرحادثه ترین مخاطرات طبیعی دنیا می باشند و شناخت ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش ها می توانددر مدیریت، کنترل، مهار و کاهش میزان خسارات موثر می باشد. در این پژوهش به منظور ارزیابی خطر وقوع زمین لغزش در محدوده مطالعاتی خانیان(واقع در باختر استان مازندران و جنوب خاوری شهرستان تنکابن)، از روش که یک روش تصیم گیری ANP که یک روش فراگیر و چند منظوره تصیم گیری استفاده شده است. در این پژوهش از ده لایه اطلاعاتی شامل لیتولوژی، فا صله از گ سل، شیب، جهت شیب، تراز ارتفاعی، کاربری ارا ضی، فا صله از جاده، بارش، فا صله از رودخانه و تراکم چشمه ها به عنوان عوامل موثر در وقوع زمین لغزش در نظر گرفته شده است. پس از تعیین تاثیر و وزن هر کدام از این عوامل در وقوع زمین لغزش با استفاده از روش ANP و تجزیه وتحلیل و وارد کردن هریک از این عوامل به صورت لایه اطلاعاتی در نرم افزار Arc GIS و تلفیق آن ها بر اساس وزن های تعیین شده، نقشه پهنه بندی مخاطره زمین لغزش در محدوده مطالعاتی تهیه شده است. نتایج مدل نشان داد روش ANP از دقت زیادی برخوردار می باشد، ترتیب اولویت بندی عوامل موثر در آن منطقی و قابل قبول بوده که در این میان با توجه به عوامل موثر زمین لغزش روشANP ، پارامترهای شیب زمین با وزن ۰,۲۹، کاربری ارا ضی با وزن ۰,۲۴ و لیتولوژی با وزن ۰,۲۰ بیشترین اهمیت را در تو سعه زمین لغزش به خود اختصاص داده اند، چون امکان مقایسه زیرمعیارها را فراهم می کند. با توجه به بازدیدهای میدانی می توان اذعان داشت که استفاده از روش ANP از دقت نسبی بالایی جهت مطالعه زمین لغزش برخودار است.

ناشر: انتشارات فن پایا

DOI: 10.22034/jess.2024.470898.2284

۱-مقدمه

در میان طیف گسترده مخاطرات طبیعی که به طور مداوم چشم‌اندازهای زمین را دستخوش تغییر می‌کنند، زمین‌لغزش‌ها جایگاهی ویژهای دارند. این پدیده‌ها که نا شی از لغزش و حرکت یکپارچه، غالباً سریع، توده‌های عظیم ر سوبی در امتداد شیب‌ها ه ستند، نق شی مخرب در دگرگونی ژئومورفولوژی زمین ایفا می‌کنند. در میان انبوه حرکات دامنه‌ای که در ســـراســـر کره زمین رخ می‌دهند، زمین‌لغزش‌ها به‌دلیل اهمیت و به وا سطه و سعت و گ ستردگی زیاد شان، در زمره مخاطرات فاجعه‌بار در مقیاس جهانی طبقه‌بندی می شوند . در را ستای تر سیم تصـویری دقیق‌تر از پیامدهای مخرب زمین‌لغزش‌ها، ذکر آمار و ارقام می‌تواند زنگ خطری بیدارکننده باشـد. طبق محاسـبات بعمل آمده سالیانه تقریبا پان صد میلیارد ریال ضرر مالی بوا سطه این عامل به ک شور ایران متحمل می شود . زمین‌لغزش‌ها پدیده‌ای پیچیده با علل و عوامل متعدد هستند. درک عمیق این عوامل، به ویژه عوامل زمین‌شناسی و انسانی، در پیش‌بینی، پیشگیری و مدیریت این بلایای طبیعی، امری ضروری ا ست. با اتخاذ تدابیر پی شگیرانه، مانند تثبیت شیب‌ها، حفظ پو شش گیاهی، و پرهیز از فعالیت‌های غیرا صولی در مناطق کوهســـتانی، می‌توان از بروز این مخاطرات و پیامدهای ناگوار آن جلوگیری کرد. پهنه‌بندی لغزش‌ها و حرکات توده‌ای، به عنوان ابزاری کارآمد در مدیریت مخاطرات طبیعی، همواره مورد توجه پژوه شگران در سرا سر جهان بوده ا ست. در این را ستا، مطالعات و برر سی‌های متعددی با ا ستفاده از روش‌های مختلف انجام شده و طبقه‌بندی‌های متنوعی ارائه شده ا ست برای مثال، (گمیتزی و همکاران[1]، ۲۰۱۱) در این پژوهش، به منظور تهیه نق شه ح سا سیت زمین‌لغزش در بخش کوه ستانی ایک سانتی در شمال یونان، از رویکردی نوین مبتنی بر تلفیق روش‌های تحلیل فاکتور، توابع عضـویت فازی و سـیسـتم اطلاعات جغرافیایی (GIS) اسـتفاده شـد. نتایج حاصـله نشـان داد که زمین‌شـــناســـی و درجه شـــیب، نقش تعیین‌کننده‌ای در وقوع این پدیده در منطقه مورد مطالعه ایفا می‌کنند. علاوه بر این، ۹۶ درصـــد از زمین‌لغزش‌ها در مناطقی با ح سا سیت خطر خیلی بالا و بالا رخ داده‌اند که با فا صله از گ سل‌ها مرتبط ا ست. (بن و همکاران[2]، ۲۰۱۳)، در پژوهشی در خصوص برر سی جریان واریزه شدید سال ۲۰۱۰ در ا ستان سچوان چین را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با اندازه‌گیری آستانه بارش برای وقوع جریان واریزه در سال‌ها و مکان‌های مختلف، پدیده زلزله به طور چشمگیری آستانه بارش برای رخداد جریانات واریزه‌ای را کاهش می‌دهد. قنواتی (۱۳۹۰) به برر سی پهنه‌بندی خطر لغزش در حوضه جاجرود با ا ستفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پرداخت. در این پژوهش، از ۱۰ معیار و ۳۰ زیرمعیار مؤثر بر وقوع لغزش زمین، شـــامل عوامل زمین‌شـــناســـی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی، جهت شناسایی مناطق مستعد لغزش ا ستفاده شده ا ست. نتایج ایشان بیانگر این بود که بیش از ۶۲ درصـد از مسـاحت حوضـه جاجرود در کلاس‌های خطر زیاد و بسـیار زیاد لغزش قرار دارد. رحیم پور و همکاران (۱۳۹۶) در این پژوهش، از رویکردی تلفیقی مبتنی بر تحلیل سـلسـله مراتبی (AHP) و سـامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سردول چای اردبیل استفاده شد. نتایج حاصله نشان داد که عامل زمین‌شناسی با ۳۴,۳ درصد بی شترین سهم را در رخداد زمین‌لغزش در این حو ضه آبخیز دارا ست از طرفی مقدار ۴۲,۷ در صد از م ساحت این حو ضه در کلاس‌های با خطر زیاد و خیلی زیاد زمین‌لغزش قرار دارد. معزز و همکاران (۱۳۹۸) با اسـتفاده از مدل تحلیل شـبکه‌ای (ANP) و سـیسـتم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضـــه آبخیز نهندچای آذربایجان پرداختند. نتایج آن‌ها نشـــان داد که معیار زمین‌شناسی با ۲۹۶ درصد بیشترین وزن را در وقوع زمین‌لغزش در این حوضه آبخیز دارد. پهنه‌بندی خطر به معنای طبقه‌بندی سطح زمین به حوزه‌های مختلف و گروهبندی این بخش‌ها بر اسـاس اولویت خطر (اسـتعداد) رخداد زمین‌لغزش‌ها اسـت. ارزیابی خطر زمین‌لغزش به عنوان اولین مرحله از مدیریت و کاهش خطر محسوب می‌شود و به برآورد احتمال وقوع زمین‌لغزش در یک مکان با دوره برگشت مشخص می‌پردازد. مدیریت پایدار دامنه‌ها به عنوان رویکردی جامع برای اسـتفاده بهینه از محیط طبیعی و منابع موجود در آن، نقشـــی کلیدی در کاهش خطر وقوع زمین‌لغزش ایفا می‌کند. این امر مسـتلزم شـناخت کامل از محیط و درک شـرایط طبیعی حاکم بر آن، اعمال مدیریت صحیح در ا ستفاده از منابع و توجه به پایداری دامنه‌ها در فرآیندهای تو سعه و عمران ا ست. بنابراین با اتخاذ رویکردی مبتنی بر مدیریت پایدار دامنه‌ها می‌توان از ت شدید ناپایداری دامنه‌ها که عاملی زمینه ساز وقوع زمین‌لغزش ا ست، تا حد قابل‌توجهی ممانعت نمود. با توجه به پتانسـیل بالای وقوع زمین‌لغزش در حوضـه مورد مطالعه و وجود شـواهد و آثار متعدد از وقوع زمین‌لغزش‌های مکرر در این محدوده، تهیه نق شه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ارائه راهکارهایی برای مدیریت این مخاطره، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر محسوب می شود. بنابراین هدف اصـلی این پژوهش، برر سـی امکان اسـتفاده از روش تحلیل شـبکه‌ای (ANP) برای تولید نقشـه پهنه‌های حسـاس به پدیده خطر زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی خانیان تنکابن اسـت. در این راسـتا، نتایج حاصـل از مدل ANP با داده‌های میدانی جمع‌آوری‌شـده در

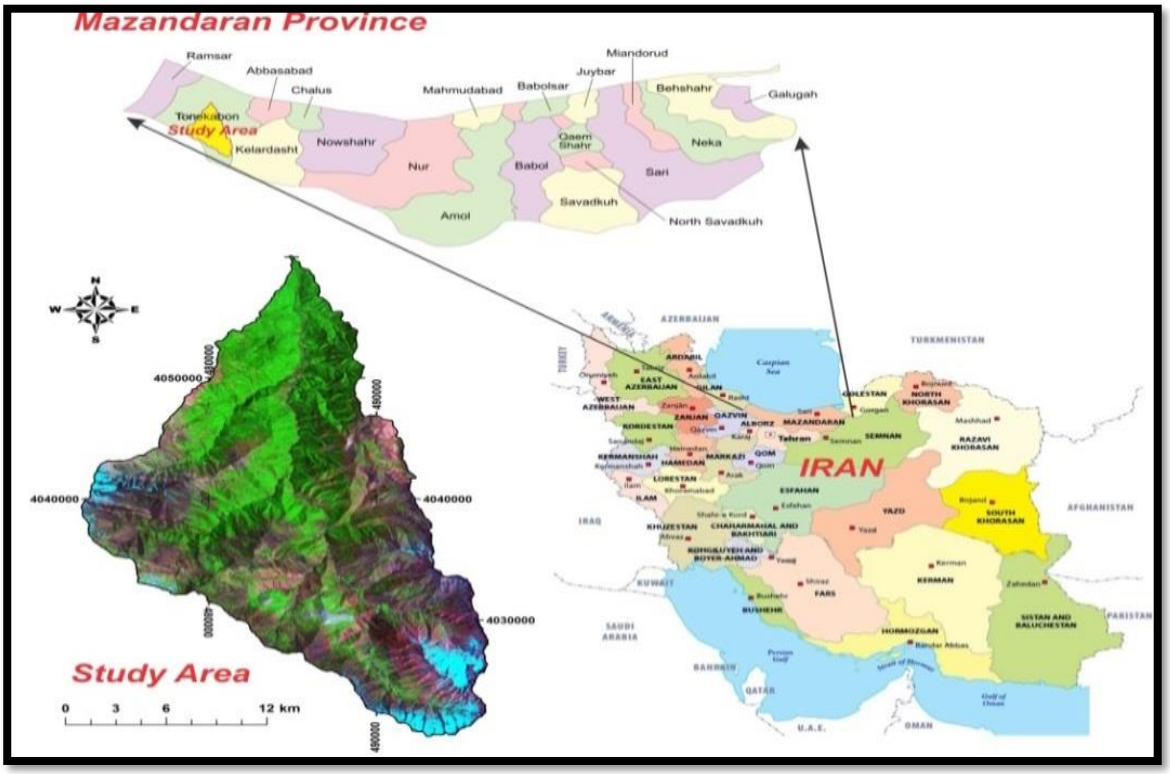
[1] Kemetzi et al
[2] Bon et al

منطقه مقایسه و تطبیق داده شد و مناطق مخاطره‌خیز برگرفته از پدیده لغزش و نیز خطرات موجود در این نواحی مشخص شد. علاوه بر این، با تعیین نوع خطرات احتمالی در مناطق ثبت‌شده، قابلیت کاربردی این پژوهش نیز افزایش یافته است.

۲-روش انجام تحقیق

- **محدوده مورد مطالعه**

محدوده مطالعاتی خانیان یکی از زیر حوضه‌های سه هزار تنکابن که در باختر استان مازندران و جنوب خاوری شهرستان تنکابن قرار دارد (شکل ۱). مساحت آن حدود ۲۹۱۸/۴۴ هکتار می باشد. محدوده مورد مطالعه حوضه آبخیز خانیان در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه و ۱۱ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه و ۱۶ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۴۱ ثانیه واقع شده است. این حوضه از لحاظ تقسیمات سیاسی در جنوب شهرستان تنکابن قرار گرفته و یکی از زیر حوضه های رودخانه سه هزار به شمار می رود. تقریبا تمامی مسیر دسترسی به بخش های مرکزی و جنوبی آن در ناحیه کوهستانی و مرتفع قرار داشته و از این لحاظ در زمره حوضه های آبخیز بسیار مرتفع محسوب می گردد. بعلاوه مسیر عمومی حوضه آبخیز خانیان جنوب به شمال بوده و در جنوب حوضه است که در مسیر تلاقی با یکدیگر رودخانه سه هزار را تشکیل می دهند. همچنین مرتفع ترین ارتفاعات حوضه در بخش جنوبی آن قرار گرفته است.حداکثر ارتفاع آن ۴۷۹۴ متر، حداقل ارتفاع آن ۳۱۹ متر می باشد. متوسط سالانه بارندگی منطقه حدود ۸۰۰ میلی‌متر و نوع اقلیم آن به روش دومارتن جزء اقلیم سرد مرطوب است. از لحاظ پوشش گیاهی جزء مناطق جنگلی نیمه انبوه بوده و گونه‌های موجود در آن شامل راش، ممرز و توسکا می‌باشد. زیر حوضه خانیان از رسوبات دوره‌های اردوویسین، پرمین، کامبرین، کربونیفر و کواترنر تشکیل شده که در این بین عمده زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته در میان رسوبات دوره اردوویسین که متشکل از تناوبی از شیل‌ها و ماسه‌سنگ نازک لایه میکادار می‌باشد (سازند شمشک)، بوده است. بیشترین میزان بارش حوضه آبخیز خانیان ۱۰۶۸ میلی متر در سال است و کمترین میزان آن هم حدود ۷۲۷ میلی متر است.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

- **روش پژوهش**

در این پژوهش، به منظور ارزیابی خطر زمین‌لغزش در حوضـــه آبخیز مورد مطالعه، از رویکردی تلفیقی مبتنی بر مطالعات میدانی، نظرات کارشناسی و مدل‌سازی مکانی استفاده شد. ۱۰ عامل کلیدی مورد استفاده شامل سنگ‌شناسی، گسل، شیب، جهت شیب، تراز توپوگرافی، کاربری اراضی، جاده، بارش، رودخانه و چشمه‌ها در نظر گرفته شد. نقشه‌های رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۱۰ متری، شیب، جهت شیب، زمین‌شـناسـی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ، کاربری اراضـی، گسـل، رودخانه و نقاط لغزش تهیه شـد. صـحت‌سـنجی این لایه‌ها با اسـتفاده از بازدیدهای میدانی و تصـاویر ماهواره‌ای انجام شـد. مطالعات میدانی در دو مرحله انجام شـد. در مرحله اول، نقاط مسـتعد لغزش با در نظر گرفتن شواهد زمین‌شناسی، مورفولوژی، کاربری اراضی و شواهد بصری مانند شکاف‌ها، لغزش‌های جزئی و پوشش گیاهی ضعیف مشخص شدند. در مرحله دوم، در هر نقطه م شکوک، اطلاعات دقیق‌تری از جمله نوع سنگ، ساختار زمین شنا سی، کاربری فعلی زمین، شیب و جهت شیب، فا صله از رودخانه، وجود گسل، میزان هوازدگی، بلوک‌های لغز شی، مواد سطحی و فا صله از حو ضه آبخیز جمع‌آوری شد. در گام بعد صحت و اعتبار لایه‌های اطلاعاتی گردآوری شده به دقت برر سی و ارزیابی شد. این فرآیند شامل برر سی منابع داده‌ها، تطابق با ا ستانداردهای علمی و سنجش تناقضات احتمالی بود. پس از انجام مطالعات ا سناد علمی و کتابخانه‌ای و کسب شناخت عمیق از و ضعیت منطقه، مطالعه میدانی با رویکرد ارزیابی کاهش خطر زمین‌لغزش به اجرا درآمد. تنوع زمانی در انجام مطالعات میدانی لحاظ گردید، چرا که تغییرات فصلی دما، رطوبت و بارندگی بر رفتار پدیده‌هایی مانند زمین‌لغزش اثرگذار است. این موضوع در حین انجام برداشت‌های میدانی به اثبات ر سید و ضرورت برر سی در ف صول مختلف را آ شکار ساخت. در این مطالعه، نقاط م ستعد لغزش در حو ضه آبخیز با در نظر گرفتن معیارهای زمین شنا سی، ژئومورفولوژی، کاربری زمین و هیدرولوژی، به صورت میدانی برر سی و طبقه‌بندی شدند. برای این منظور، ابتدا نقاطی که از نظر کار شنا سی احتمال خطر لغزش در آنها وجود دا شت، شنا سایی و سپس با بازدید میدانی، ویژگی‌های آنها به تف صیل ثبت گردید. معیارهای ارزیابی کارشناسی شامل نوع سنگ، توالی و جهت لایه‌ها، کاربری اراضی، شیب و جهت شیب، فاصله از رودخانه، وجود زون‌های خردشـده، مسـیل‌های سـطحی و سـایر عوامل موثر در وقوع لغزش بود. با توجه به اینکه در برخی موارد، مشـاهده کلی پدیده از فواصـــل دورتر دید جامع‌تری را به ارمغان می‌آورد، نقاط مســـتعد لغزش در فواصـــل مکانی مختلف نیز مورد بازدید قرار گرفتند. این امر به برر سی همزمان لیتولوژی، شیب، کاربری اراضی، مواد سطحی و نحوه استقرار آن‌ها در حوضه آبخیز کمک کرد. اطلاعات جمع‌آوری شده در این مطالعه به همراه مستندات عکاسی، به دلیل حجم بالا، در این مقاله ارائه نشده‌اند، اما در دسترس پژوهشگران قرار دارند.

جدول۱- مقایسه ۹ کمیتی ساعتی برای مقایسه دودویی معیارها و زیر معیارها (کیمیرن و همکاران [3]،۲۰۰۷)

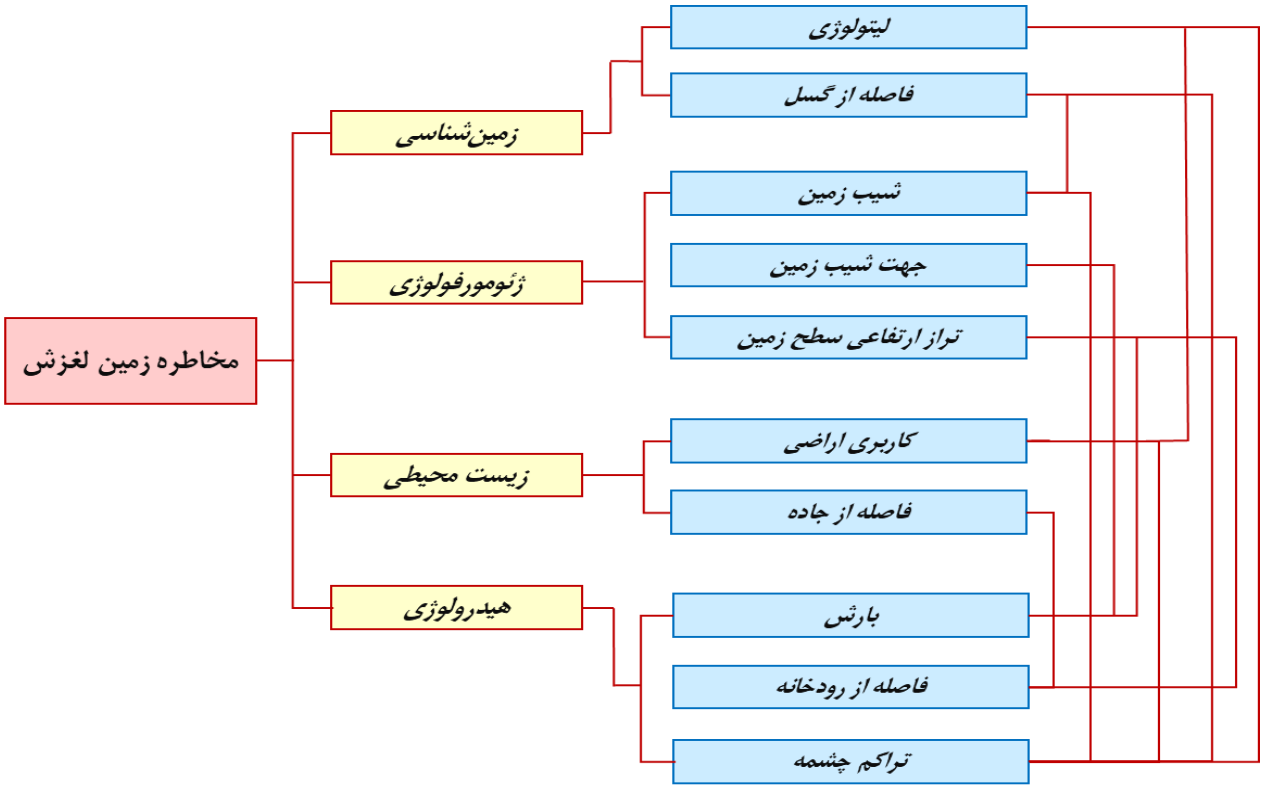
امتیاز (شدت ترجحی)	شرح
۱	ارجحیت یکسان
۳	ارجحیت کم
۵	ارجحیت بیشتر
۷	ارجحیت خیلی زیاد
۹	کاملا ترجیح داده شده
۸ و ۶، ۴، ۲	ارجحیت یک در میان

- **فرآیندتحلیل شبکه ای (ANP)**

روش تحلیل شـبکه‌ای (ANP) به عنوان توسـعه‌ای از روش تحلیل سـلسـله مراتبی(AHP) ، قادر به مدل‌سـازی همبسـتگی‌ها و بازخوردهای موجود بین عنا صر در یک فرآیند ت صمیم‌گیری ا ست. این روش در مقای سه باAHP ، تمامی تاثیرات درونی اجزای موثر در تصـمیم‌گیری را لحاظ و وارد محاسـبات می‌کند. در مدلAHP ، تنها معیارها با معیار بالایی خود ارتباط دارند. به این معنا که معیارها به هدف‌ها، زیرمعیارها به معیارها و گزینه‌ها به زیرمعیارها وابسـته هسـتند. اما وابسـتگی بین خود معیارها در نظر گرفته نمی‌شـود. در مقابل،

[3] Kimeren et al

مدل ANP علاوه بر وابستگی‌های سلسله‌مراتبی AHP ، تاثیرات جانبی و بازخوردی بین عناصر را نیز لحاظ می‌کند. در این مدل، نه تنها خوشه‌ها بر عناصر و عناصر بر گزینه‌ها، بلکه گزینه‌ها بر عناصر و حتی خود عناصر بر یکدیگر و بر دیگر خوشه‌ها نیز اثرگذارند.روش (ANP) شکل تو سعه یافته¬ای از روش (AHP) است که قادر است همبستگی و بازخوردهای موجود بین عناصر در یک تصمیم گیری را مدل سازی نموده و تمامی تاثیرات درونی اجزای موثر در تصمیم گیری را منظور و وارد محاسبات نماید، در مدل AHP تنها معیارها با معیار بالایی خود ارتباط داشتند، یعنی معیارها به هدف ها، زیر معیارها به معیارها و گزینه ها هم به زیرمعیارها وابسته بودند حتی خود معیارها به هم وابسته نبودند.و در مدل ANP ، نه تنها خوشه ها بر عناصر و عناصر بر گزینه، گزینه ها بر عناصر هم تاثیر می¬گذارند بلکه حتی عناصر بر خودشان و بر دیگر خوشه ها نیز اثر گذارند. به طور کلی روش ANP دارای گام‌هایی است که شامل ۱- تعیین معیارها و شاخص‌ها: اولین قدم در ANP ، شناسایی و تعریف معیارها و شاخص‌های مرتبط با مسأله تصمیم‌گیری است. ۲- تعیین روابط و ارتباطات بین عناصر و خوشه‌ها: به منظور اتخاذ تصمیمی آگاهانه، ساختار مسئله به صورت یک شبکه ی پیچیده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در این شبکه، عناصر و خوشه‌های مرتبط با یکدیگر شناسایی شده و روابط و وابستگی‌های متقابل آنها به طور دقیق و نظام‌مند مشخص می‌شود. ۳- مقایسات زوجی بین عناصر و خوشه‌ها: مشابه روش AHP ، ماتریس‌های مقایسات زوجی برای هر خوشه و بین خوشه‌ها تشکیل می شود. در این ماتریس‌ها، زوج‌های عناصر با توجه به اهمیت نسبی آنها در چارچوب شرایط کنترلی مربوطه با یکدیگر مقایسه می‌شوند. ۴- تشکیل سوپر ماتریس‌ها: در این مرحله، سوپر ماتریس‌های مختلفی به شرح زیر تشکیل می‌شوند: الف- سوپر ماتریس‌های اولیه یا غیر وزنی: شامل ماتریس‌های مقایسات زوجی و ماتریس‌های هویت است. ب- تشکیل سوپر ماتریس وزنی: با اعمال وزن‌های مربوط به هر معیار و خوشه، سوپر ماتریس وزنی به دست می‌آید.۵-نتایج ماتریس خوشه ها ۶- نتیجه نهایی عناصر: در این مرحله، ضرایب سوپر ماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال شده و وزن نهایی و اولویت هر عنصر در فرآیند تصمیم‌گیری مشخص می‌شود (فرجی سبک بار و همکاران،:۱۳۸۹). * سلسله مراتب کنترلی یکی از اجزای اصلی فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) است که به مدل سازی ساختار سلسله‌مراتبی بین سطوح مختلف تصمیم‌گیری می‌پردازد. این سلسله‌مراتب شامل هدف نهایی، معیارها و زیرمعیارها می شود و روابط و وابستگی‌های بین آنها را به طور واضح نشان می‌دهد. * ارتباط شبکه ای و وابستگی بین عناصر و خوشه ها را شامل می شود(ساعتی[4]، ۱۹۹۱). این قابلیت ANP امکان در نظر وابستگی های متقابل بین عناصر را فراهم آورده و در نتیجه نگرش دقیقی به مسائل پیچیده ارائه می کند.).



شکل ۲-ساختار شبکه ای مدل پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ANP

[4] Thomas L. Saati

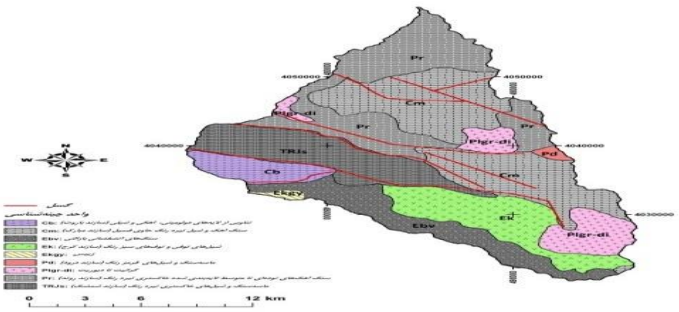
- **یافته ها**

در مجموع معیار زمین شناسی نقش مؤثری در پراکنش زمین لغزش‌ها دارد؛ زیرا زمین شناسی و ساختارهای گوناگون آن باعث اختلاف در پایداری و مقاومت سنگ‌ها و همچنین تنوع در بافت خاک می شود. لیتولوژی مصالح زمین شناسی و فاصله از گسل دو زیر معیار اصلی معیار زمین شناسی می‌باشد که در ایجاد زمین لغزش‌ها نقش مهمی را ایفا می‌کند. جنس مصالح زمین شناسی همواره به عنوان یک عامل ذاتی در ایجاد زمین لغزش‌ها مطرح بوده است. در مطالعات اخیر که توسط محققین صورت گرفته لیتولوژی به عنوان مهمترین عامل در پهنه‌بندی خطر لغزش مورد توجه بوده است . با بررسی سازندهای مختلف در مناطق متفاوتی از ایران در پژوهش‌هایی که صورت گرفته، میزان حساسیت مصالح زمین‌شناسی مختلف به زمین لغزش مشخص شده است. در جدول۲ اولویت مصالح زمین‌شناسی از نظر مقاومت در برابر زمین لغزش ارائه شده است. بر اساس این جدول رسوبات سست کواترنری نسبت به دیگر مصالح زمین شناسی از پتانسیل بیش‌تری در لغزش برخوردار می‌باشند. شکل۱- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ محدوده مطالعاتی خانیان را نشان می‌دهد. برای تعیین وزن هر یک از واحدهای زمین شناسی محدوده طرح در رویداد لغزش، پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری، به هر کدام از واحدها نسبت به دیگری، با توجه به میزان حساسیت مصالح زمین‌شناسی مختلف نسبت به زمین لغزش (جدول ۱)، برتری بین ۱ تا ۹ داده شده و سپس وزن هر واحد مشخص و نهایتا نقشه وزنی لیتولوژی تهیه گردید (جدول ۲ و شکل ۴). گسل‌ها به عنوان شکستگی‌های عمیق در پوسته زمین، نقشی اساسی در ایجاد و یا فعال‌سازی مجدد مناطق مستعد لغزش ایفا می‌کنند. فعالیت‌های لرزه‌ای و غیرلرزه‌ای مرتبط با گسل‌ها، از طریق مکانیسم‌های مختلف، پتانسیل وقوع زمین‌لغزش را در این مناطق افزایش می‌دهند. پس از استخراج خطواره‌های گسلی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ محدوده طرح، مناطق پیرامون گسل‌ها با استفاده از ابزار Buffering نرم‌افزار GIS پهنه‌بندی شده و با تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری، بر اساس نزدیکی به صفحه گسلی وزن‌دهی انجام شده است (جدول ۲). بر این اساس بیش‌ترین امتیاز به پهنه تا ۲۰۰ متری مجاور صفحه گسلی تعلق گرفته است).

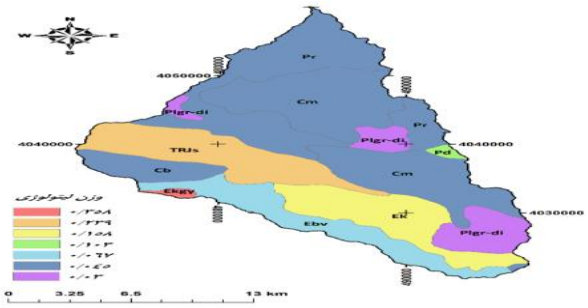
جدول ۲- طبقه‌بندی مصالح مختلف زمین‌شناسی از نظر مقاومت در برابر لغزش (بورمندی و همکاران، ۲۰۱۹)

توضیحات سنگ شناسی	الویت
سنگ آهک ضخیم و عظیم – کوارتزیت- کنگلومرا با سیمان و سیلیس	۱
دولومیت- سنگ های آهکی ماسه ای با لایه بندی متوسط	۲
سنگ آهک بزرگ و ضخیم- ماسه سنگ- کوارتزیت با لایه بندی متوسط	۳
سنگ های شیب دار و دگرگونی با بازالت و لایه بندی شده، دارای آب و هوای بازالت و آندزیت	۴
آندزیت به همراه توف، شیل آهکی، آهک به همراه توف	۵
زغال سنگ و مارن، گچ ومارن، متناوب به همراه شیل و ماسه سنگ	۶
مارن- شیل- توف آب کرده-ذغال سنگ	۷
شیل فرسوده (خیس) و مارن	۸
گچ- آبرفت های قدیمی	۹
مواد جابجایی شده ار لغزش قدیمی-رسوبات سیل و یخبندان-آبرفت های جوان	۱۰

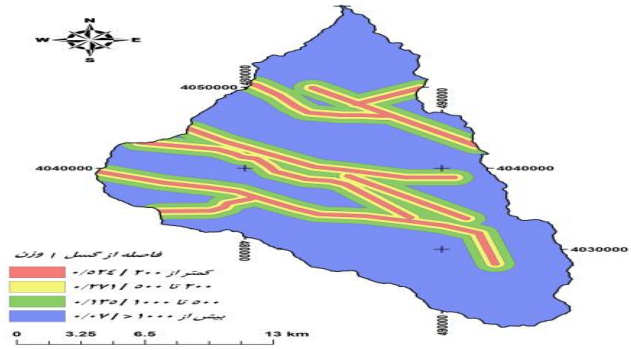
پس از وزن‌دهی به هریک از زیرمعیارهای زمین شناسی، با تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری ارجحیت هر عامل نسبت به عامل دیگر سنجیده شده و بنابر نظر کار شنا سی امتیازی از ۱ تا ۹ به آن داده شده ا ست. آنگاه پس از تعیین ارجحیت زیرمعیارهای زمین شنا سی ن سبت به یکدیگر، وزن هر زیرمعیار تعیین و در نهایت با تلفیق زیرمعیارهای زمین شنا سی با توجه به وزن آنها، نق شه وزنی معیار زمین شنا سی تهیه شده است (جدول ۴ و شکل۳).



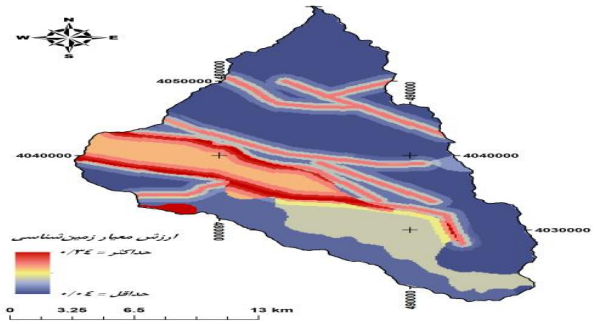
ش‌کل۳- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰



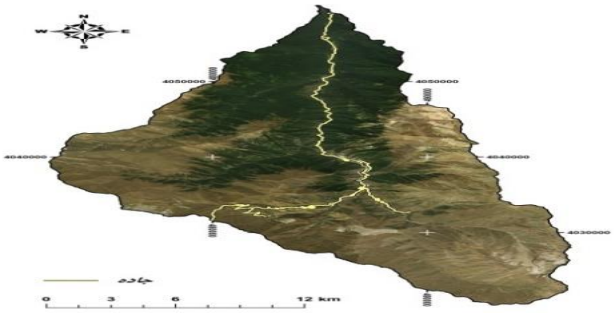
شکل۴- نقشه وزنی زیر معیار لیتولوژی



شکل۵- نقشه وزنی زیرمعیار از گسل

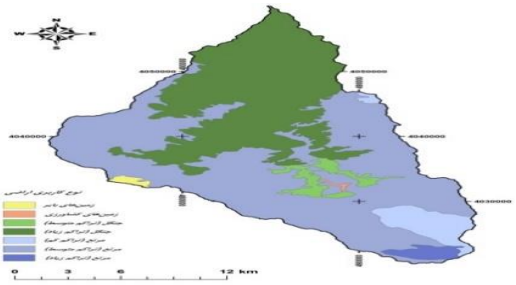


شکل۶- نقشه وزنی معیار زمین شناسی

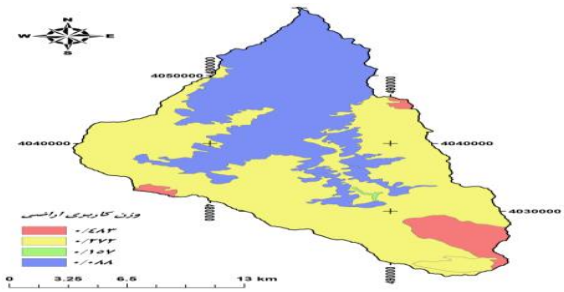


شکل ۷- نقشه راه‌های ارتباطی

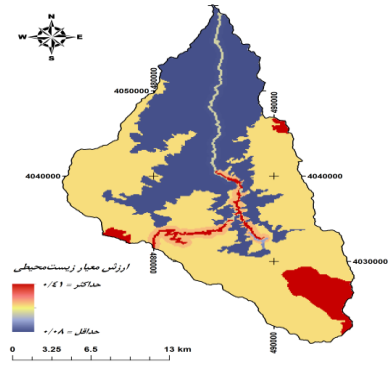
شکل۸- نقشه وزنی زیر معیار فاصله از جاده



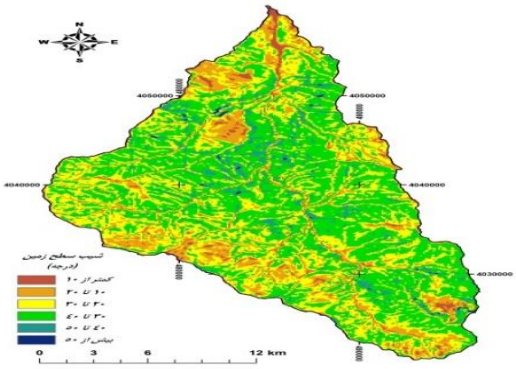
شکل ۹- نقشه وزنی زیر معیار کاربری اراضی



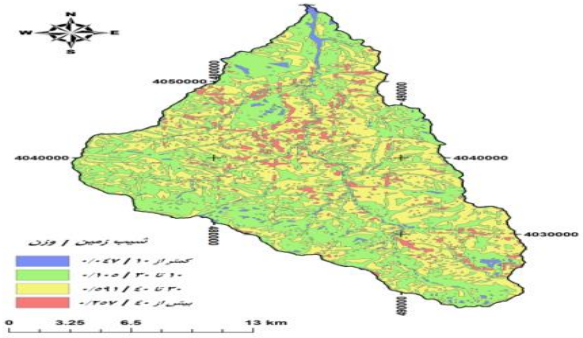
شکل ۱۰- نقشه کاربری اراضی



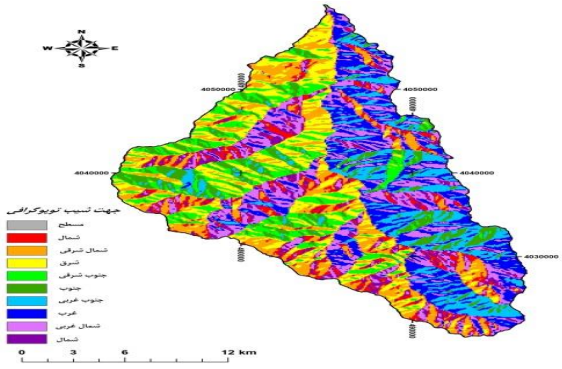
شکل ۱۱- نقشه وزنی معیار زیست محیطی



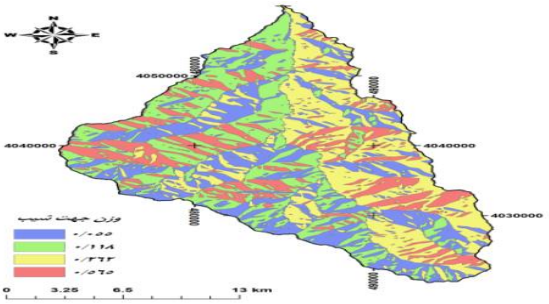
شکل ۱۲- نقشه مقدار شیب توپوگرافی



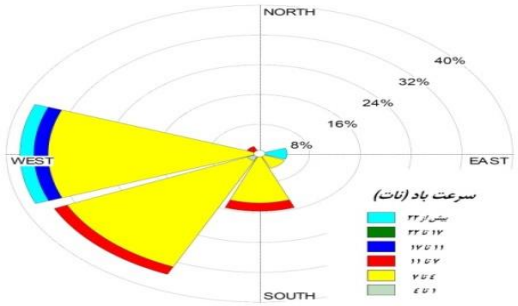
شکل ۱۳- نقشه وزنی زیر معیار شیب توپوگرافی



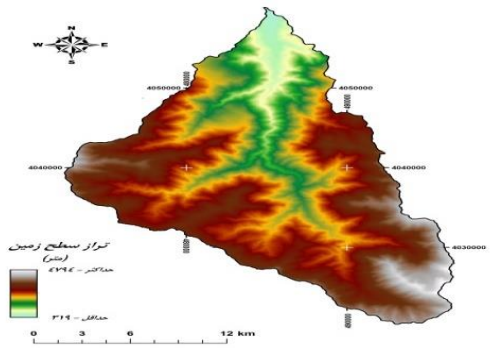
شکل۱۴- نقشه جهت شیب توپوگرافی



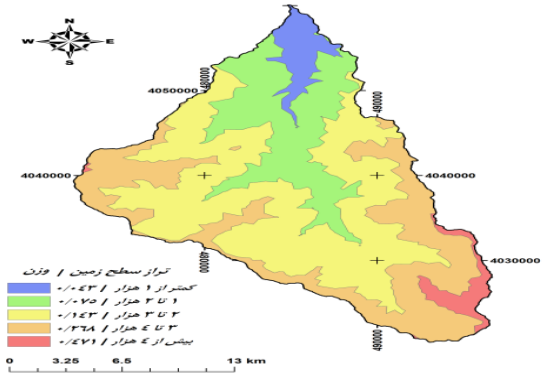
شکل ۱۵- نقشه وزنی زیر معیار جهت شیب توپوگرافی



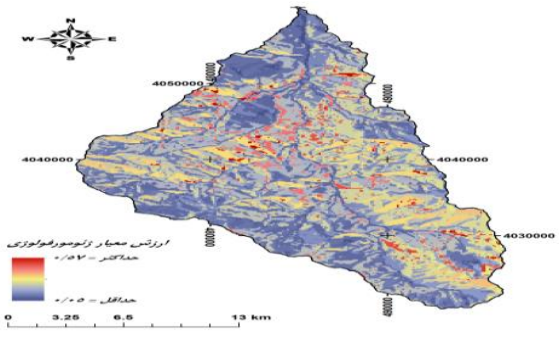
شکل ۱۶-نمودار گلباد شهرستان



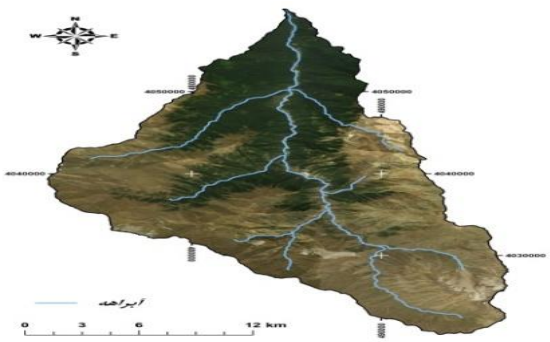
شکل۱۷-نقشه تراز توپوگرافی



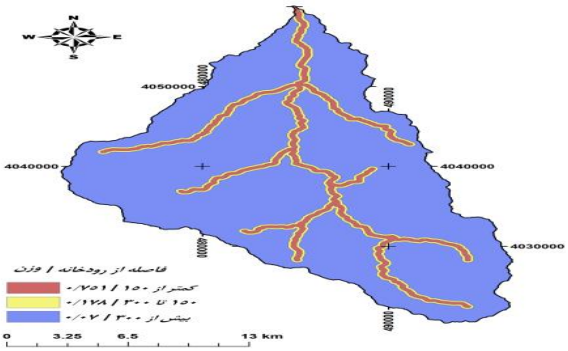
شکل ۱۸- نقشه وزنی زیر معیار تراز توپوگرافی



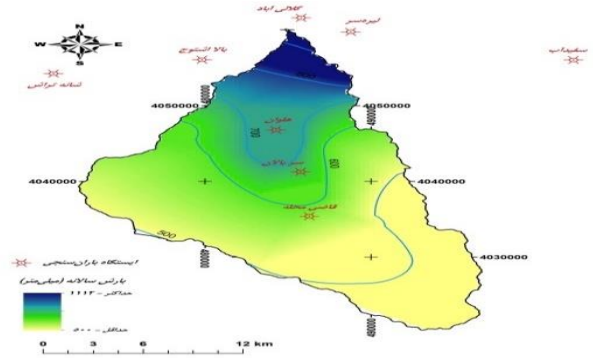
شکل ۱۹-نقشه وزنی معیار ژئومورفولوژی



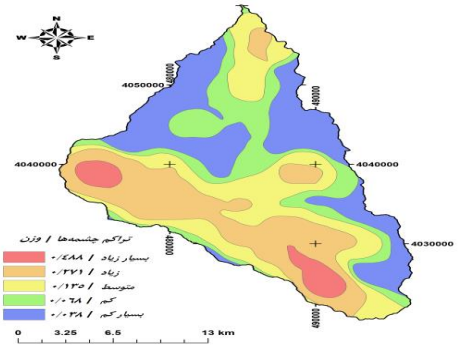
شکل ۲۰- نقشه آبراهه‌های محدوده مطالعاتی خانیان



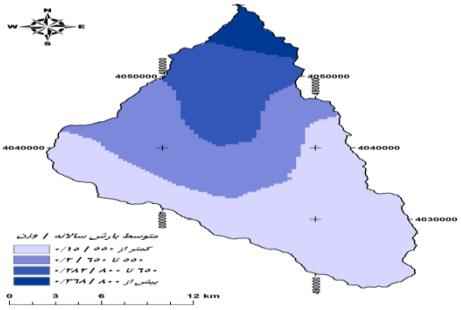
شکل۲۱- نقشه وزنی زیر معیار فاصله از رودخانه



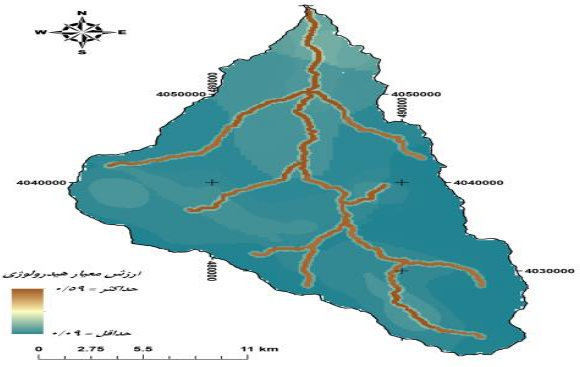
شکل ۲۲- نقشه همبارش محدوده مطالعاتی خانیان



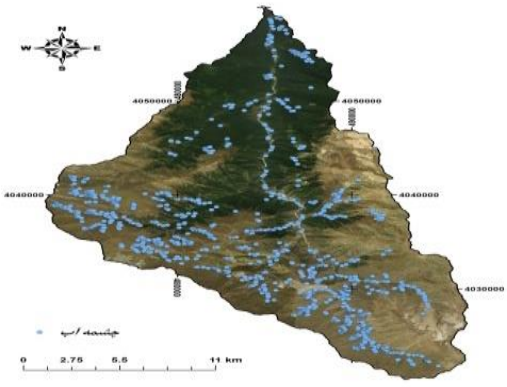
شکل ۲۴- نقشه چشمه‌های محدوده مطالعاتی خانیان



شکل ۲۳- نقشه وزنی زیر معیار بارش



شکل ۲۶- نقشه وزنی معیار هیدرولوژی



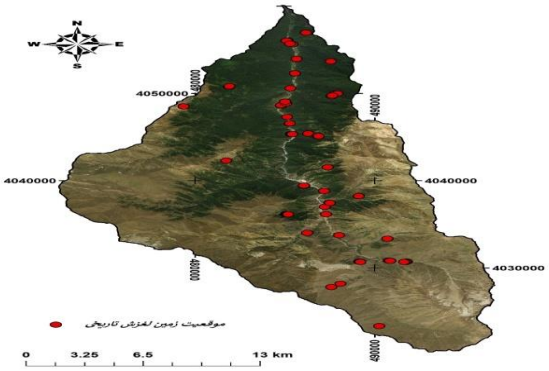
شکل ۲۵- نقشه وزنی زیرمعیار تراکم چشمه‌ها

با توجه به موارد فوق، می‌توان نتیجه گرفت که در کنار عوامل طبیعی، فعالیت‌های انسان نیز نقش قابل توجهی در وقوع زمین لغزش‌ها ایفا می‌کنند. در دهه‌های اخیر با افزایش مداخلات انسانی در کاربری اراضی، نقش عوامل انسانی در وقوع زمین لغزش‌ها به طور قابل توجهی افزایش یافته است .لذا، اتخاذ تدابیر پیشگیرانه و برنامه‌ریزی اصولی در زمینه کاربری اراضی، احداث جاده‌ها و حفظ پوشش گیاهی، از جمله راهکارهای اساسی برای کاهش خطر این پدیده و حفظ جان و مال انسان‌ها می‌باشد. احداث جاده‌ها یکی از عوامل مصنوعی مؤثر در ناپایداری‌ها به شمار می‌رود که توسط انسان ایجاد می‌گردد. احداث جاده باعث تغییر در توپوگرافی و کاهش مقاومت برشی در پاشنه شیب و افزایش تنش کششی می‌شود. همچنین احداث جاده باعث نفوذ آب به داخل شیب و باعث اعمال فشارهای اضافی در اثر افزایش وزن دامنه می‌شود. در شکل۷ نقشه راه‌های ارتباطی محدوده مطالعاتی خانیان ارائه شده است. پس از جانمایی شاهراه‌های اصلی، مناطق پیرامون این راه‌ها با استفاده از ابزار Buffering نرم‌افزار GIS پهنه‌بندی شده و سپس با تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری بر اساس نزدیکی پهنه‌ها به خطوط جاده‌ای، وزن‌دهی شده است (جدول ۴). بر این اساس بیش‌ترین امتیاز به پهنه‌هایی با حداکثر فاصله ۱۰۰ متری از خطوط جاده‌ای تعلق گرفته است (شکل ۸). با فاصله گرفتن پهنه‌ها از جاده‌ها، وزن کمتری به آن‌ها تعلق می‌گیرد. پوشش گیاهی به عنوان یک عامل موثر بر مقاومت دامنه در برابر لغزش عمل می‌کند. ریشه گیاهان باعث تقویت شیب و به عنوان یک عامل تقویت کننده در نظر گرفته می شود . همچنین ریشه گیاهان باعث جذب آب دامنه و باعث کاهش پتانسیل لغزش می‌شود. این پارامتر نقش مهمی در پایداری سنگ‌های رسی و مارنی دارد. در مطالعات صورت گرفته توسط (کماک[5]،۲۰۰۶) و (لونتال و گوتزی[6]، ۲۰۰۸). این پارامتر به عنوان پارامتر مهمی در نقشه پهنه‌بندی لغزش استفاده می‌شود. معمولاً وزن‌دهی اراضی با توجه به کاربریشان بدین صورت است که اراضی بایر و مناطق دارای پوشش گیاهی ضعیف، نسبت به دیگر اراضی برای لغزش مستعدتر هستند. پس از آن مناطق مسکونی به دلیل ورود فاضلاب‌های خانگی و نشت چاه‌های جذبی به دامنه‌ها و همچنین به دلیل بارگذاری حاصل از ساختمان‌سازی بر دامنه‌ها، مستعد لغزش خواهند بود. بر خلاف آن اراضی کشاورزی، باغ‌ها و جنگل‌ها که دارای پوشش گیاهی انبوه هستند، دارای لغزش به مراتب کمتری می‌باشند. همچنین مراتعی که دارای پوشش بوته‌ای و علفزار است دارای پتانسیل لغزش بیش‌تری نسبت به باغ‌ها، اراضی زراعی و جنگل‌ها می‌باشند. پیکره‌های آبی نیز که شامل آبگیرها، تالاب‌ها و دریاچه‌های مصنوعی و طبیعی می‌باشند، از لحاظ زمین‌لغزش فاقد اهمیت هستنند. شکل۹ نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی خانیان را نشان می‌دهد. همچنین در جدول ۴ ماتریس تصمیم‌گیری و متعاقباً در شکل ۱۰ نقشه وزنی زیرمعیار کاربری اراضی ارائه شده است. پس از وزن‌دهی به هریک از زیرمعیارهای محیطی، با تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری (جدول ۴)، ارجحیت هر عامل نسبت به دیگری سنجیده و بنابر نظر کارشناسی امتیازی مناسب داده شده است و در نهایت نقشه وزنی معیار محیطی با توجه به وزن هر زیرمعیار، تهیه شده است (شکل ۱۱).شیب و جهت شیب دامنه و نیز تراز توپوگرافی از مهم‌ترین عوامل ژئومورفولوژی می‌باشند که بر ناپایداری و لغزش دامنه‌ها تاثیرگذار هستند. مقدار شیب دامنه‌ها یکی از عوامل مهم در ایجاد ناپایداری شیب‌ها و حرکات توده‌ای می‌باشد. بر پایه ریخت شناسی، هر منطقه ممکن است دارای شیب‌های گوناگونی باشد. هر قدر میزان شیب یک دامنه بیش‌تر باشد مقدار نیروی ناپایدار کننده نیز بیش‌تر می‌گردد. بنابراین از نظر تئوری و با فرض یکسان بودن سایر عوامل، خطر زمین‌لغزش در دامنه‌های پرشیب‌تر بیش‌تر است . زمین‌های مسطح (شیب کمتر از ۱۰ در صد) نیز فاقد لغزش هستند . در شکل ۱۲ نقشه مقدار شیب توپوگرافی محدوده مطالعاتی که با استفاده از مدل رقومی تهیه شده است را نشان می هد. در این راستا پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری بیش‌ترین وزن برای دامنه‌های پرشیب و کم‌ترین وزن برای زمین‌های مسطح درنظر گرفته شده است (جدول ۴). شکل ۱۳ نقشه وزنی زیرمعیار شیب دامنه را نشان می‌دهد. جهت شیب نشان دهنده تأثیر متفاوت میزان دریافت نور خورشید، بادهای گرم و خشک و میزان بارش در جهات مختلف است. تحقیقات متعددی که به بررسی اثر جهت‌گیری دامنه بر وقوع لغزش پرداخته‌اند، نشان داده‌اند که دامنه‌هایی که بیش‌تر در معرض تابش مستقیم نور خورشید قرار می‌گیرند، در مقایسه با دامنه‌هایی که تابش نور کمتری دریافت می‌کنند، از پایداری بیش‌تری برخوردارند؛ دلیل این امر را می‌توان به نرخ تبخیر بیش‌تر و رطوبت پایین‌تر در این دامنه‌ها نسبت داد. در نیمکره شمالی، دامنه‌های جنوبی به طور کلی در معرض تابش نور خورشید به مدت طولانی‌تری قرار می‌گیرند. بنابراین می‌توان انتظار داشت که این دامنه‌ها در مقایسه با دامنه‌های شمالی از پایداری بیش‌تری برخوردار باشند . شکل ۱۴ نقشه جهت شیب توپوگرافی محدوده مطالعاتی خانیان را نشان می‌دهد. بدیهی است که به دلیل قرارگیری ایران در نیم‌کره شمالی، دامنه‌های جنوبی نسبت به دامنه‌های شمالی آن، تابش بیش‌تری از نور خورشید را در طول روز دریافت می‌کنند و آب و هوای خشک‌تری دارند؛ از اینرو دامنه‌های جنوبی شرایط مناسبی را برای هوازدگی شیمیایی فراهم می‌کند و از آنجایی که شدت هوازدگی با مقاومت چسبندگی رابطه معکوسی دارد، از اینرو از پتانسیل بیش‌تری در زمین لغزش برخوردارند. از سوی دیکر با توجه به نمودار گلباد ایستگاه هواشناسی تنکابن (شکل۱۶)، به دلیل جهت حرکت عمومی بادها از سمت غرب، جنوب غربی و جنوب در

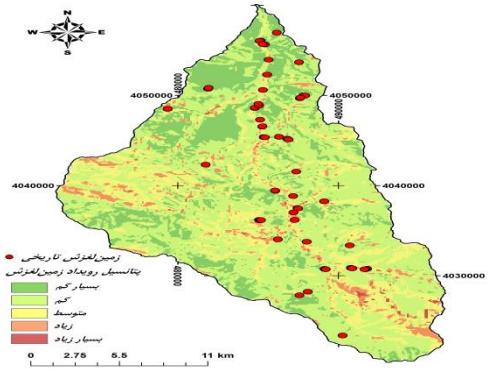
[5] Komak
[6] Levental and Goetzi

شـــهرســـتان تنکابن، میزان بارش‌های جوی و متعاقباً فرســـایش در دامنه‌های غربی و جنوبی بیش‌تر از دیگر دامنه‌ها اســـت. بدین ترتیب دامنه‌های جنوبی و غربی محدوده مطالعاتی از پتانسـیل بیش‌تری نسـبت به دامنه‌های شـرقی و شـمالی، در لغزش برخوردارند. در جدول ۴ ماتریس تصمیم‌گیری عامل جهت شیب و در شکل۱۵ نقشه وزنی زیرمعیار جهت شیب ارائه شده است . شکل ۱۷ نقشه تراز توپوگرافی محدوده مطالعاتی خانیان را که با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (SRTM DEM 12/5 m) تهیه شده است، نشان می‌دهد. عامل ارتفاع به دلیل تأثیر در شیب، پراکندگی و تراکم شبکه آبراهه‌ها به عنوان عاملی موثر در وقوع حرکات دامنه‌ای می‌باشد. از دیدگاه ناپایداری، بیش‌ترین خطر زمین لغزش در ارتفاعات بالاتر قرار دارد. بدین ترتیب پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و پهنه‌بندی محدوده طرح مبتنی بر ارتفاع، بیش‌ترین وزن به پهنه‌هایی با تراز توپوگرافی بیش‌تر تعلق گرفته اســـت. بالتبع با کاهش مقدار تراز توپوگرافی وزن کمتری به پهنه‌ها تعلق می‌گیرد (جدول ۴).۱۸ نقشـــه وزنی زیرمعیار تراز توپوگرافی را نشـــان می دهد. پس از وزن‌دهی به هریک از زیرمعیارهای ژئومورفولوژی (جدول ۴)، با تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری ارجحیت هر زیرمعیار نسبت به دیگری سنجیده شده و بنابر نظر کارشناسی امتیازی مناسب به آن داده شده است. آنگاه پس از تعیین ارجحیت زیرمعیارها نسبت به یکدیگر، وزن هر زیرمعیار تعیین و سرانجام نقشه وزنی معیار ژیومورفولوژی تهیه گردیده است (شکل۱۹). برای این معیار، زیرمعیارهایی شامل بارش، فاصله از رودخانه (حریم رودخانه) و تراکم چشمه‌ها درنظر گرفته شده است. رودخانه‌ها به دلیل وجود زهکشی آب و دیواره‌ای پر شیب، فرسودن شیب و افزایش درجه اشباع مصالح شیب، معمولاً دارای لغزش بیش‌تری هستند . تحقیقات علمی نشان داده‌اند که بین پراکندگی رانش زمین و سیستم‌های آبراهه ارتباط مستقیمی وجود دارد. این پدیده را می‌توان به دو عامل اصلی نسبت داد:۱- حضور رودخانه‌ها در یک منطقه، نشانگر وجود تراکم دامنه‌های زیاد در آن ناحیه اســـت. این تراکم بالا، احتمال وقوع زمین‌لغزش را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد.۲ – فرســـایش جانبی رودخانه ها می تواند منجر به از بین رفتن تکیه گاه شیب ها، برهم خوردن تعادل دامنه ها و افزایش شیب آنها شود. این عوامل می توانند خطر وقوع لغزش را به طور قابل توجهی افزایش دهند. در شکل ۲۰ نقشه آبراهه‌های محدوده مطالعاتی خانیان ارائه شده است. با توجه به موقعیت آبراهه‌ها، مناطق پیرامون آن‌ها با اســـتفاده از ابزار Buffering نرم‌افزار GIS پهنه‌بندی گردیده و آنگاه با تشـــکیل ماتریس تصـمیم‌گیری، پهنه‌ها بر اسـاس نزدیکی به رودخانهه وزن‌دهی شـده اسـت (جدول ۴). بر این اسـاس بیش‌ترین امتیاز به پهنه‌ای با فاصـله حداکثر ۱۵۰ متری از رودخانه تعلق گرفته اسـت. با فاصـله گرفتن پهنه‌ها از رودخانه‌ها، وزن کمتری به آن‌ها تعلق می‌گیرد. در شـکل ۲۱ نقشه وزنی زیر معیار فاصله از رودخانه ارائه شده است. بارش‌های جوی، جزو علل محرک اصلی و ایجاد زمین لغزش و ناپایداری شیب محسوب می‌گردند. آب نا شی از باران با نفوذ در دامنه‌ها باعث افزایش فشار آب منفذی، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و به تبع آن اشباع مواد دامنه، کاهش مقاومت برشـی توده‌های خاکی و سـنگی، افزایش وزن دامنه، نوسـان سـطح آب رودخانه و زیرشـویی کناره‌های دامنه می‌گردد. این شرایط موجب لغزندگی مصالح دامنه در سطوح غیرقابل نفوذ گردیده و استعداد رخداد زمین لغزش‌ها را افزایش می‌دهد. تجربه نشـان داده اسـت بیش‌ترین تعداد گسـیختگی دامنه‌ها پس از بارندگی‌های سـنگین و یا ذوب برف در بهار و به علت نفوذ آب در شـکاف‌ها صورت می‌گیرد. شکل۲۲ نقشه همبارش محدوده مطالعاتی خانیان که از نقشه همبارش محدوده مطالعاتی رامسر– چالوس استخراج شده اســـت را نشـــان می‌دهد. پس از پهنه‌بندی محدوده طرح مبتنی‌بر مقدار بارش ســـالانه (بر حســـب میلی‌متر)، با تشـــکیل جدول ماتریس تصمیم‌گیری، ارجحیت هر پهنه نسبت به پهنه‌های دیگر سنجیده و بنابر نظر کارشناسی امتیازی بین ۱ تا ۹ به آن داده شده است. در جدول ۴ ماتریس تصـمیم‌گیری زیرمعیار بارش ارائه شـده اسـت. همان‌طوری که مشـاهده می‌شـود بیش‌ترین امتیاز به پهنه‌هایی با حداقل بارش سالانه ۹۵۰ میلی‌متر، تعلق گرفته است. در نهایت پس از تعیین ارجحیت عوامل نسبت به یکدیگر، نقشه وزنی زیرمعیار بارش تهیه شده است (شکل ۲۳). اشباع بودن مصالح دامنه‌ها به دلیل نزدیکی سطح آب زیرزمینی به سطح زمین که اغلب همراه با تشکیل چشمه در سطح زمین است، عاملی موثر در افزایش فشار منفذی، کاهش اصطکاک داخلی و چسبندگی مصالح، بالارفتن وزن توده مصالح و متعاقباً افزایش ناپایداری دامنه‌ها می‌باشد . در شکل ۲۴ نقشه موقعیت چشمه‌های محدوده مطالعاتی خانیان ارائه شده است. به منظور تعیین دامنه‌های با عمق کم سطح آب زیرزمینی در محدوده طرح، به دلیل فقدان شبکه پایش تراز آب زیرزمینی، از نقشه تراکم چشمه‌ها استفاده شده است. (شکل ۲۵). پس از وزن‌دهی به هریک از زیرمعیارهای هیدرولوژی، با تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری (جدول ۴)، ارجحیت هر عامل نسبت به دیگری سنجیده و بنابر نظر کارشناسی امتیازی مناسب داده شده است و در نهایت نقشه وزنی معیار هیدرولوژی با توجه به وزن هر زیرمعیار، تهیه شده است (شکل ۲۶). ۴–پهنه‌بندی مخاطره زمین لغزش در محدوده مطالعاتی خانیان بر اساس مدل: ANP . پس از وزن‌دهی به هریک از معیارها، با تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری ارجحیت هر معیار نسبت به دیگر معیارها با توجه به قضاوت کارشناسی سنجیده شده و امتیازی از ۱ تا ۹ به آن داده شده است (جدول ۴). آنگاه پس از تعیین ارجحیت معیارها نسبت به یکدیگر، وزن هر معیار تعیین و در نهایت با تلفیق معیارها با توجه به وزنشـان، نقشـه پراکنش زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی خانیان تهیه شـده اسـت (شـکل ۲۷) همان طوری که مشـــاهده می‌شـــود وزن نهایی از حداقل ۰/۰۷ تا حداکثر ۰/۳۷، متغیر اســـت. بنابراین با توجه به بازه وزن نهایی، ســـطح مخاطره وقوع

زمین‌لغزش در محدوده طرح به ۵ رده مطابق با جدول ۳، تقسیم گردید که پرمخاطره‌ترین رده مربوط به بازه وزن بیش از ۰/۳ می‌باشد. شکل ۲۸ نتایج نهایی رده‌بندی پتانسیل مخاطره وقوع زمین لغزش را در محدوده مطالعاتی خانیان نشان می‌دهد. به منظور بررسی صحت و سقم نقشه مخاطره تهیه، موقعیت زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته در سطح محدوده طرح، بر روی نقشه، همانگونه که مشاهده می‌نمایید، پیاده شده است. تطابق نسبتاً خوب نواحی پرمخاطره پیش‌بینی شده با موقعیت زمین لغزش‌های تاریخی، دلالت بر دقت بالای روش AHPدارد. کارایی بالای این روش توسط دیگر محققین نیز تایید شده است (آلتوینی و همکاران [7]۲۰۱۳، نفسلی اوغلو و همکاران [8]۲۰۱۳، فیضی زاده، ۲۰۱۴، کایستا و همکاران [9]۲۰۱۳، چن و همکاران [10]۲۰۱۶، هادموکو و همکاران [11]۲۰۱۷).



شکل ۲۷- نقشه پراکنش زمین لغزش در محدوده مطالعاتی خانیان



شکل ۲۸- نقشه پهنه‌بندی مخاطره زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی خانیان با استفاده از مدل ANP

جدول ۳- رده بندی پتا نسیل وقوع زمین لغزش مبتنی بر وزن های نهایی

وزن دامنه	سطح خطر	وزن دامنه	سطح خطر
۰و۱۵-۰و۱	کم	>۰و۳	بسیار بالا
<۰و۱	بسیار کم	۰و۳ -۰و۲	بالا
		۰و۲-۰و۱۵	در حد متوسط

پهنه‌بندی مناطق حساس به رخداد زمین لغزش با استفاده از مدل ANP: داده های مورد نظر از طریق عملیات رقومی سازی و پردازش تصاویر ماهواره ای با فرمت مناسب وارد محیط جی ای اس شده‌اند. تهیه ساختار از طریق پرسش نامه تکمیل شده و توسط کارشناسان به دست آمده، همچنین از آنجا که میزان اهمیت معیارها از روش ANP برای بدست آوردن وزن معیارها استفاده شده است. سپس از نرم افزار سوپر دسیژن برای محاسبه وزن معیارها استفاده شده است. سپس لایه های وزن دار شده به وسیله روش های موجود همپوشانی می-شوند. به طور کلی فرآیند تحلیل شبکه‌ای در این مقاله، مبتنی بریک نظام سلسله مراتبی است.

جدول ۴-تعداد زمین لغزش ها در مدل ANP

[7] Altovini et al
[8] Nefalioglu et al
[9] Kaista et al
[10] Chen et al
[11] Hadmauku et al

سطح خطر	بازه وزنی	ANP	ANPدرصدکل
بسیار کم	<0.1	0	0 %
کم	0.1-0.15	11	20 %
متوسط	0.15-0.2	16	29 %
زیاد	0.2-0.3	27	49 %
خیلی زیاد	>0.3	1	2 %
مجموع		55	100 %

شکل۲۹- نمونه هایی از زمین لغزش ها رخداده در شیب ها، سطوح ارتفاعی، لیتولوژی و کاربری های متفاوت حوضه خانیان

۴- نتیجه‌گیری

حرکات توده‌ای، از جمله زمین‌لغزش‌ها، به عنوان یکی از مهم‌ترین و گ سترده‌ترین مخاطرات مناطق کوه ستانی، طیف و سیعی از تپه‌های ملایم تا کوهســتان‌های شــیب‌دار را تحت تاثیر قرار می‌دهند. این پدیده‌های مخرب، هر ســاله خســارات مالی و جانی قابل‌توجهی به بار می‌آورند و ضــرورت شــناســایی و مدیریت دقیق آن‌ها را دوچندان می‌کنند. شــناســایی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش در یک منطقه و پهنه‌بندی خطر آن، به عنوان ابزاری اســاســی برای انتخاب راهکارهای کنترلی مناســب و کاهش مخاطرات ناشــی از این پدیده محســوب می‌شــود. با شــناســایی مناطق مســتعد وقوع زمین‌لغزش می‌توان اقدامات پیشــگیرانه‌ی موثری مانند تغییر مســیر جاده‌ها، تثبیت شــیب‌ها، زهکشی منا سب و تغییر کاربری ارا ضی را در د ستور کار قرار داد. ناپایداری‌ها و حرکات دامنه‌ای تحت تاثیر عوامل مختلفی از قبیل شیب زمین، بارندگی، لیتولوژی، آب زیرزمینی، گ سل، جاده و رودخانه و عامل ان سانی قرار دارد. در پژوهش حا ضر از نظر جنس زمین شنا سی، ر سوبات ر سی سازند شم شک بیش‌ترین تاثیر را بر رخداد لغزش دارند. از لحاظ کاربری ارا ضی در مراتع و زمین‌های بایر احتمال رویداد زمین لغزش بیش‌تر از زمین‌های کشاورزی و جنگل‌ها می‌باشد. با همپوشانی نقشه پراکنش کاربری و نقشه پراکنش لغزش‌ها، مشاهده شد بیش‌تر لغزش‌ها در مناطقی رخ داده است که در آن تراکم پوشش گیاهی نسبت به سایر نواحی به مراتب کمتر است. محتمل‌ترین فاصله از

گسل‌ها و جاده‌های موجود در منطقه جهت وقوع لغزش به ترتیب ۲۰۰ و ۱۰۰ متر درنظر گرفته شده است؛ در فواصل بیش‌تر از این مقادیر احتمال وقوع لغزش به شدت کاهش می‌یابد. در فوا صل کمتر از ۱۵۰ متر از جریان‌های سطحی احتمال وقوع لغزش‌ها به شدت افزایش می‌یابد. شیب‌هایی با جهت جنوب و غرب دارای بیش‌ترین پتانسیل رخداد لغزش را دارند. برای وقوع لغزش بایست میزان باران به اندازه‌ای باشد که بتواند در خاک نفوذ کرده و باعث افزایش وزن توده خاک در روی دامنه‌ها شود، که همان طوری که مشاهده شد، مناطق پر بارش با مناطق وقوع زمین لغزش‌های شناسایی شده همپوشانی دارد. در نهایت با توجه با همپوشانی زمین لغزش‌های تاریخی و نتایج حاصل از روش ANP می‌توان گفت که روش ANP دارای کارایی مناسبی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌باشد. نتایج مدل نشان داد روش ANP از دقت زیادی برخوردار می باشد، ترتیب اولویت بندی عوامل موثر در آن منطقی و قابل قبول بوده که در این میان با توجه به عوامل موثر زمین لغزش روشANP ، پارامترهای شیب زمین با وزن ۰/۲۹ کاربری اراضی با وزن ۰/۲۴ و لیتولوژی با وزن ۰/۲۰ بیشترین اهمیت را در توسعه زمین‌لغزش به خود اختصاص داده‌اند، چون امکان مقایسه زیرمعیارها را فراهم می‌کند. مطالعات میدانی و بررسی عوامل موثر در زمین لغزش نشان می‌دهد که وجود شیب زمین و سازندهای زمین شناسی و تغییر کاربری‌اراضی و ساخت ویلا بر روی دامنه‌ها با توجه به توریستی بودن منطقه مورد مطالعه به شدت باعث وقوع زمین‌لغزش می شود، تخریب مراتع و ازبین رفتن پوشش گیاهی در تشدید ژمین لغزشهای حوضه مورد تحقیق موثر هست. تحلیل آمار نشان می‌دهد که بیشترین تراکم وقوع زمین‌لغزش در حاشیه جاده‌ها و به خ صوص در کلاس فا صله ۰ تا ۱۰۰ متری جاده رخ داده ا ست. این مو ضوع بیانگر ارتباط م ستقیم بین احداث جاده و وقوع زمین‌لغزش در این منطقه است. در حوضه‌های آبخیز شمالی کشور، به منظور بهره‌برداری از جنگل، احداث شبکه راه‌های دسترسی برای عملیات چوب‌کشی و نیز احداث راه برای ساکنین، جاده‌های متعددی احداث شده است. متأسفانه، بسیاری از این جاده‌ها از اصول طراحی و اجرای مناسب برخوردار نیستند و در وقوع زمین‌لغزش در این مناطق نقشی اساسی ایفا می‌کنند. ایجاد شیب‌های ناپایدار، تخریب پوشش گیاهی، تغییر در جریان آب‌های زیرزمینی و استفاده از مصالح نامناسب در احداث این جاده‌ها، از جمله عواملی هستند که به طور قابل‌توجهی به پایداری دامنه‌ها و تشدید خطر زمین‌لغزش در این مناطق دامن می‌زنند. در مجموع می توان این گونه جمع بندی کرد که ترکیبی از عوامل طبیعی و انسانی در وقوع و ایجاد زمین لغزش در حوضه آبخیز خانیان نقش دارتد. بنابراین فقدان نبود دانش صحیح درباره این عوامل و نحوه تاثیر آن ها منجر به عدم موفقیت در اجرای اقدامات پرهزینه برای مهار زمین لغزش می گردد.

منابع

- Abedini, M., Beheshti, javad. E., Fathi, M. H.(2015). Landslide risk sensitivity zoning with two-Variable Statistical models and fuzzy logic (Cass study: Balkhio River Environometal planning, 26, 59, No.3, pp.43-60 [In Persian].
- Abedini, M., Rousthi, Shahram. Fathi, M.H.n,(2016). Landsilde Sensitivity zoning using Bayes theorem-ANP hybrid model. The south bank of Ahar chai Lez Watershed from Nasir Kandi Quantitative Geomorphology Research, 5th year, No. 1, pp.149-159. [In Persian].
- Althuwaynee, O.F., Pradhan, B., Lee, S., (2013). Application of an evidential belief function model in landslide susceptibility mapping. Comput. Geosci. 44, 120–135.
- Amir ahmadi,A.,Shekari Badi, A. and Motamedi Rad, M. 2014 Landslide risk Zoning using the ANP model(Case Study: Pyogen Basin- South Binalud Ramge), Quantitative Geomorphology Research, year 4, Number3, pp.214-330. [In Persian].
- Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology 65, 15–31.
- Bin , Y .Yu, M And Yafa , W. . (2013) , Case Stady Of A giant Debris Fiow In The WenjiGully, Sichuan Province , China , Nat Hazards . vol . 65. Pp. 835- 849.
- Boroumandi M, Khamechiyan M, Nikoudel M.R. (2009) Using of Analytic Hierarchy Process for landslide hazard zonation in Zanjan Province, 6th Iranian Conference of Engineering Geology and Environment, Tarbiat Modares University, Iran. 2009, (Paper ID: 67).
- Burns, S.F., 2006. Landslides in Practice: Investigation, Analysis and Remedial/Preventative Options in Soils.
- Cevik, E., Topal, T., 2003. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). Environ. Geol. 44, 949–962.
- Chacón, J., Irigaray, C., Fernández, T., (1994). Large to middle-scale landslides inventory, analysis and mapping with modeling and assessment of derived susceptibility, hazards and risks in a GIS, in: Proceedings of 7th IAEG Congress, Balkema, Rotterdam. pp. 4669–4678.
- Chen, W., Li, W., Chai, H., Hou, E., Li, X., Ding, X., 2016. GIS-based landslide susceptibility mapping using the analytical hierarchy process (AHP) and certainty factor (CF) models for the

Baozhong region of Baoji City, China. Environ. Earth Sci. 75, 1–14. doi:10.1007/s12665-015-4795-7.
- Çimren, E., Çatay, B., Budak, E., 2007. Development of a machine tool selection system using AHP. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 35, 363–376. doi:10.1007/s00170-006-0714-0.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Li, Jx., Xu, Z.W.,(2001). Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. Environ. Geol. 40, 381–391.
- Ercanoglu, M., Gokceoglu, C.,(2002). Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. Environ. Geol. 41.
- Faraji Sabokbar, H., Salmani, M., Faridouni, F., Karimzadeh, H., and Rahimi, H., 2009. Location Of Sanitary landfill of rural Waste using ANP network analaysis model; case Study; raral areas of QOCHAN CITY, humanities lecturer chapter, volome 14, number 1, pp. 127-149.(persian).
- Feizizadeh, B., Jankowski, P., Blaschke, T.,(2014). A GIS based spatially-explicit sensitivity and uncertainty analysis approach for multi-criteria decision analysis. Comput. Geosci. 64, 81–95. doi:10.1016/j.cageo.2013.11.009.
- Hadmoko, D.S., Lavigne, F., Samodra, G., (2017). Application of a semiquantitative and GIS-based statistical model to landslide susceptibility zonation in Kayangan Catchment, Java, Indonesia. Nat. Hazards 87, 437–468. doi:10.1007/s11069-017-2772-z.
- Karam, A., 1383. Application of Weighted linear combination model in landslide zoning (case study: Serkhon Chahar Mahal Bakhtiari region), Journol of Geography and Development, volume 2, umber 4, pp. 131-136. [In Persian].
- Khajvand, Reza. (2014). Geotechnical and environmental Study of landslide Wwst of Ghat Kash vhiiage, Kejur Nowshahr region, Enviromental Geology Research Quatertly9 (33). [In Persian].
- Komac, M., 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. Geomorphology 74, 17–28.
- Mahmoudi, F.,(2008), Dynamic Geomorphology, Second Edition, Payam noor Publications. [In Persian].
- Moreiras, S.M.,(2004). Landslide incidence zonation in the Rio Mendoza valley, Mendoza province, Argentina. Earth Surf. Process. Landforms 29, 255–266.
- motevali, Sadruddin, 1396. Landslide zoning in Abkhiz Khanian Tonekabon Watershed using Winf informatian value model, Natural Geography Quartery 10(63):pp. 21-45.
- Mozhez, Somayeh, Rostahi, shahram, Rahimpour; Oneess.(1398). LanndSlide risk Zoning in Nahand chai Abkaz Basin using ANP Model and Gis technique, Quantitative Geomorphology, 8th year, umber2, pp.23-37.(In persian).
- Nefeslioglu, H.A., Sezer, E.A., Gokceoglu, C., Ayas, Z., (2013).. A modified analytical hierarchy process (M-AHP) approach for decision support systems in natural hazard assessments. Comput. Geosci. 59, 1–8.
- Nilsen, T.H., 1979. Relative slope stability and land-use planning in the San Francisco Bay region, California. US Govt. Print. Off.
- Qanawati, Ezzatullah,(2013). Zoning of 6 Lands in Jajroud basin of Tehran Province using hierarchical analaysis model, journal of Applied Research, Geographical Sciences, No. 20. Pp.51-68. [In Persian].
- Rahimpour, Tawheed; rural; SHARAM; Arvin roohi, mahsa ;(2023).Landslide risk zoning using AHP hierarchical analysis process in GIS environmental (case study; Sardol chai Watershed Ardabil province) Hydrogeomorphology, No. 13 Winter 2016, pp. 1-20. [In persian]..
- Rossi ,M., Guzztti , F., Salvati ,P., Donnini,M.,C ., Napolitano , E., and Bianchi, C.,(2019) .A Predictive model of Societal Landslide risk in Italy , Earth -Science Reviews, 196, pp. 1-19.
- Saaty, T., 1991. How to make a decision: the analytic hierarchy process. Eur. J. Oper. Res. 74, 426–447.
- Saaty, T.L., (2005). Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes. Eur. J. Oper. Res. 168, 557–570.
- Shirani, koresh, Arab Ameri, Alireza(2014), Landslide Risk Zoning Using Logistic Regression Model (case Stady : upper Dez Basin) journal of Agricultral Sciences and Techniqural and Natural Resources, Water and Soil Sciences, 19th year , no Seventy- two, pp. 321-334.(persian).
- Tehran Water and Soil Consulting Engineers, 2014, Water Resources Balance Report of Ramsar-chalus Study Area Code (1402), Water Resources Basic Studies Office iran Water Resources Management Company.
- Yalcin, A., (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. Catena 72, 1–12.

- امیراحمدی، آ ، شکاری بادی، ع.و معتمدی راد، م.(۱۳۹۴). پهنه بندی خطر زمین¬لغزش با ا ستفاده از مدل) ANP مطالعه موردی: حوضه پیوژن– دامنه جنوبی بینالود)، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی۴،(۳)،۲۳۰-۲۱۴.
- خواجوند، ر.(۱۳۹۴). مطالعه ژئوتکنیکی و زیست محیطی زمین لغزش غرب روستای گت‌کش منطقه کجور نوشهر. فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط زیست، ۹ (۳۳)،۶۱ -۴۷.
- رحیم پور، ت، روستایی، ش، نخستین روحی، م. (۱۳۹۶). پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسه مراتبی AHPدر محیط) GIS مطالعه موردی: حوضه آبریز سردول چای استان اردبیل) هیدروژئومورفولوژی (۱۳)، ۲۰-۱.
- شیرانی، ک، عرب عامری، ع.(۱۳۹۴). پهنه بندی وقوع خطر زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: حوضه دز علیا) مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال نوزدهم، (۷۲)، ۳۳۴-۳۲۱.
- عابدینی، م، بهشتی جاوید، ا، فتحی، م.(۱۳۹۴). پهنه بندی حساسیت خطر وقوع زمین لغزش با مدل های آماری دو متغیره و منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه بالخلو)، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۶ پیاپی ۵۹، (۳)، ۳۴-۶۰.
- عابدینی، م، روستایی؛ ش، فتحی؛ م.(۱۳۹۵). پهنه بندی حساسیت وقوع زمین لغرش با استفاده از مدل هیبریدی قضیه بیز ANP - .کرانه جنوبی حوضه آبخیز اهرچای از روستای نصیر کندی تا سد ستارخان، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۵، (۱) ، ۱۵۹-۱۴۲.
- فرجی سبک بار، ح.، سلمانی، م، فریدونی، ف، کریم زاده، ح، و رحیمی، ح. ۱۳۸۹. مکان یابی محل دفن بهداشتی زباله ی روستایی با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه ای : ANP مطالعه موردی: نواحی روستایی شهرستان قوچان، فصل نامه مدرس علوم انسانی، ۱۴، (۱) ، ۱۴۹- ۱۲۷.
- قنواتی، ع، (۱۳۹۰). پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه جاجرود استان تهران با استفاده از مدل روش تحلیل سلسله مراتبی ، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، (۲۰)، ۶۸-۵۱.
- کرم،ع.(۱۳۸۳). کاربرد مدل ترکیب خطی وزنی در پهنه بندی زمین لغزش (مطالعه موردی: منطقه سرخون چهارسال بختیاری)، مجله جغرافیا و توسعه،۲ ،(۴)،۱۳۶-۱۳۴
- متولی، ص.(۱۳۹۶). پهنه‌بندی زمین لغزش در حوضه آبخیز خانیان تنکابن با استفاده از مدل ارزش اطلاعات .Winf فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۱۰ (۶۳)، ۴۵-۳۱.
- محمودی، ف .(۱۳۴۷). ژئومورفولوژی دینامیک، چاپ دوم، انتشارات پیام نور.
- مغزز، س، روستایی، ش، رحیم پور؛ ت .(۱۳۹۸). پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز نهند چای با استفاده از مدل ANP و تکنیک GIS ، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۸ (۲)، ۲۳ -۳۷.
- مهندسین مشاور آب خاک تهران، (۱۳۹۳).گزارش بیلان منابع آب محدوده مطالعاتی رامسر– چالوس (کد ۱۴۰۲). دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت مدیریت منابع آب ایران.