Geographical Engineering of Territory
P-ISSN: 2538-1490
E-ISSN: 2538-3922
www.jget.ir

Vol. 6 Issue 2 (No. 12), 2022, Pp. 411-427
DOR: https://dorl.net/dor/20.1001.1.25381490.1401.6.12.8.7

Research Article

Examining the Landslide Risk in Watershed of Khaniam, Tonekabon Using Analytic Hierarchy Process (AHP) and Analytical Network Process (ANP)

Somayeh Emadodin 1*, Fatemeh Salimzadeh [2] and Saleh Arekhi [1]

[1.] Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Literature and Human sciences, Golestan University, Gorgan, Iran
[2.] MA in Environmental hazards, Department of Geography, Golestan University, Gorgan, Iran
* Corresponding author, Email: s.emadodin@gu.ac.ir

Receive Date: 09 January 2021
Accept Date: 11 June 2021

ABSTRACT

Introduction: Landslide is mass movements of soil and rock down slopes. This phenomenon has caused considerable property damage and loss of life all around the world. Different methods have been suggested for zonation of mass movement of landslide hazard. Each method considers different factors. Knowing the landslide mechanism and zoning the landslide susceptible areas is necessary for land use planning. Obviously, preparing landslide susceptibility map can give insight to land use managers and decision makers.
Objectives: The purpose of this study is explain the effective factors in the occurrence of landslide in the study area.
Methodology: To examine the landslide hazard in the area under study, AHP and ANP methods were used. Landslide hazard zonation map was prepared for the area under study after finding the effect and weight of each factor on landslide occurrence using AHP and ANP and analysis of these factors by applying them to layers using Arc GIS and combining them based on the determined weights.
Geographical Context: The study area of Khanian is one of the sub-basins of the Three Thousand Tankabon., which is located in the west of Mazandaran province and southeast of Tonkabon city.
Result and Discussion: Ten layers including lithology, distance from fault, slope, Aspect, Elevation, land use, distance to road, rainfall, distance to river, and Density of springs are considered as effective factors on the occurrence of landslide. most landslides are found in road sides and high traffic communication networks or near canal networks. Examining the occurrence of landslides with distance from the river shows that most of the landslides occur less than 150 meters from the river network and in high heights. Also lithology has been considered as one of the most important factors in landslide risk zoning.
Conclusion: Study results showed that ANP is more accurate than AHP. Because prioritizing the effective factors in ANP is more sensible and acceptable; meanwhile, concerning the effective factors on landslide in ANP, land slope, land use, and lithology are the most significant factors on landslide development. As, ANP makes it possible to compare the sub criteria. This is also proved by field visits. However, results of AHP reveals that lithology and land use play the most important role in landslide occurrence and its expansion in the area under study and other factors indeed control and intensify the other two factors.

KEYWORDS: Land slide, AHP, ANP, Khanian watershed, Tonekabon

مهندسی جغرافیایی سرزمین
شاپای چاپی ۱۴۹۰- ۲۵۳۸
شاپای الکترونیکی ۳۹۲۲- ۲۵۳۸
www.jget.ir

دوره ۶، شماره ۲ (پیاپی ۱۲)، ۱۴۰۱، صص. ۴۱۱-۴۲۷
DOR: https://dorl.net/dor/20.1001.1.25381490.1401.6.12.8.7

مقاله پژوهشی

ارزیابی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز خانیان تنکابن با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ای

سمیه عمادالدین[1*]، فاطمه سلیم زاده[2] و صالح آرخی[1]

۱. استادیار گروه جغرافیای دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
۲. کارشناس ارشد مخاطرات محیطی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
* نویسنده مسئول، Email: s.emadodin@gu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۰ دی ۱۳۹۹
تاریخ پذیرش: ۲۱ خرداد ۱۴۰۰

چکیده

مقدمه: زمین‌لغزش جابجایی به سمت پایین توده‌ای از مواد خاکی و سنگی به روی شیب می‌باشد. این پدیده تاکنون باعث خسارات جانی و مالی زیادی در سراسر دنیا شده است. امروزه روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای زمین‌لغزش ارائه شده است، که هریک از این روش‌ها عوامل مختلفی را مدنظر قرار می‌دهند. درک مکانیسم زمین لغزش و پهنه‌بندی مناطق مستعد به خطر وقوع زمین‌لغزش برای برنامه‌ریزی‌های کاربری زمین ضروری است. بدیهی است که تولید نقشه حساسیت به زمین لغزش می تواند بینشی برای مدیران کاربری اراضی و تصمیم گیران باشد.

هدف: هدف از مطالعه حاضر بررسی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه است.

روش‌شناسی: در این پژوهش به منظور ارزیابی خطر وقوع زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی خانیان از دو روش AHP که یک روش تصمیم گیری چند متغیره می‌باشد و ANP که یک روش فراگیر و چند منظوره تصیم‌گیری است، استفاده شده است. پس از تعیین تاثیر و وزن هر کدام از این عوامل در وقوع زمین‌لغزش با استفاده از دو روش AHP و ANP و تجزیه وتحلیل و وارد کردن هریک از این عوامل به صورت لایه اطلاعاتی در نرم افزار Arc GIS و تلفیق آن‌ها بر اساس وزن‌های تعیین شده، نقشه پهنه‌بندی مخاطره زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی تهیه شده است.

قلمرو جغرافیایی: محدوده مطالعاتی خانیان یکی از زیر حوضه‌های سه هزار تنکابن است که در غرب استان مازندران و جنوب شرقی شهرستان تنکابن قرار دارد.

یافته‌ها: در این پژوهش از ده لایه اطلاعاتی شامل لیتولوژی، فاصله از گسل، شیب، جهت شیب، تراز ارتفاعی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، بارش، فاصله از رودخانه و تراکم چشمه‌ها به عنوان عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش در نظر گرفته شده است. بیشتر زمین لغزش‌ها در کنار جاده‌ها مشاهده شد. بررسی وقوع زمین لغزش با فاصله از رودخانه نشان داد که بیشتر در فاصله کمتر از ۱۵۰ متر از شبکه رودخانه و در ارتفاعات مرتفع رخ داده است، همچنین سنگ شناسی به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در نظر گرفته شده است.

نتیجه‌گیری: نتایج مدل نشان داد که روش ANP از دقت بیشتری نسبت به روش AHP برخوردار می‌باشد، زیرا ترتیب اولویت‌بندی عوامل موثر در آن منطقی‌تر و قابل قبول‌تر بوده که در این میان با توجه به عوامل موثر زمین‌لغزش در روش ANP، پارامترهای شیب زمین، کاربری اراضی و لیتولوژی بیشترین اهمیت را در توسعه زمین‌لغزش به خود اختصاص داده‌اند، چون امکان مقایسه زیر معیارها را فراهم می کند. بازدیدهای میدانی هم این موضوع را ثابت کرده است. اما نتایج حاصل از روش AHP نشان می‌دهد که عامل لیتولوژی و کاربری اراضی بیشترین نقش را در شکل گیری زمین‌لغزش و گسترش آن در محدوده مطالعاتی دارد و سایر عوامل نقش کنترل‌کننده و تشدیدکننده دو عامل مذکور را دارند.

کلیدواژه‌ها: زمین‌لغزش، روش تحلیل سلسله مراتبی، روش تحلیل شبکه‌ای، حوضه آبخیز خانیان، شهرستان تنکابن

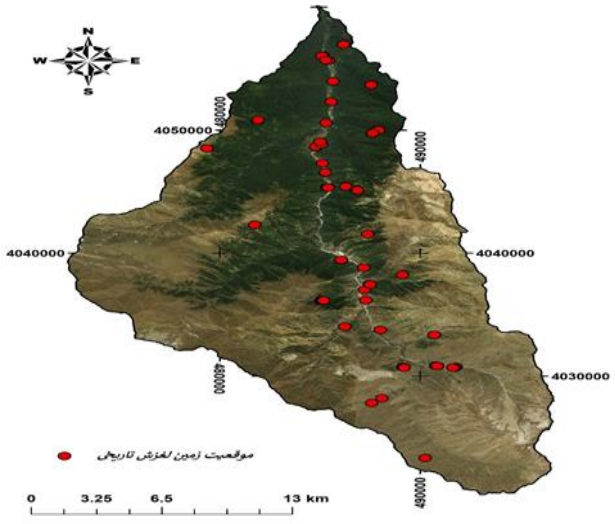
مقدمه

حرکات توده‌ای، ازجمله پدیده‌های مورفودینامیک هستند که تحت تأثیر عوامل مختلفی در سطح دامنه‌های مناطق کوهستانی به وقوع می‌پیوندد و مهم‌ترین آن‌ها زمین‌لغزش در اشکال مختلف است (عابدینی و فتحی،۱۳۹۳) و از جمله مخاطرات طبیعی هستند که همه ساله موجب خسارات جانی و مالی زیاد به ویژه در نواحی کوهستانی می‌شوند (حجازی و همکاران، ۱۳۹۸). ایران به دلیل مساعد بودن شرایط جغرافیایی، فقدان مدیریت جامع محیطی و عدم رعایت آستانه‌های محیطی، یک کشور پرخطر به شمار می‌آید؛ به‌طوری‌که جزء ۱۰ کشور بلاخیز جهان قرارگرفته و هرساله پدیده‌ی زمین‌لغزش در مناطق کوهستانی و مرتفع کشور خسارات و صدمات قابل‌توجهی به بار می‌آورد. در استان مازندران هر ساله رویداد زمین لغزش‌ها بخشی از سکونتگاه‌هایی که در دامنه‌های شمالی البرز قرار دارند را در معرض تخریب قرار می‌دهد. به ویژه زمین لغزش‌ها در بخش‌هایی از منطقه سه هزار تنکابن به ویژه در روستای خانیان خسارات فراوانی و حتی تلفات جانی را به بار آورده است که از جمله آن می‌توان به تخریب راه و جاده مواصلاتی روستایی که از این بابت تردد مردم را با مشکل مواجه نموده است و تخریب و انهدام جنگل در سطح گسترده و وسیع و نیز انسداد مسیرهای اصلی آبراهه‌ها و بالتبع تغییر مسیر حرکتی آب رودخانه که باعث ایجاد خسارات جبران‌ناپذیری بر زیست محیط شده است، اشاره کرد (متولی، ۱۳۹۶). در مورد پهنه بندی لغزش‌ها و حرکات توده‌ای تاکنون پژوهش‌ها و بررسی‌های زیادی در سرتاسر جهان انجام شده است و محققان مختلف با استفاده از انواع روش‌ها، طبقه‌بندی‌های متعددی را ارائه داده اند. Yalcin(۲۰۰۸) بر مبنای سامانه اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی دومتغیره، نقشه حساسیت زمین لغزش برای منطقه Ardesen ترکیه تهیه کرد و به این نتیجه رسید که معیارهای سنگ شناسی، هوازدگی، کاربری زمین و شیب مهم‌ترین عوامل موثر در بروز زمین‌لغزش در منطقه هستند، همچنین بر اساس نتایج بدست آمده، روش تحلیل سلسله مراتبی به عنوان مناسب‌ترین مدل معرفی شد. Bin و همکاران (۲۰۱۳) در منطقه سچوان چین جریان واریزه غول پیکر سال ۲۰۱۰ را بررسی نمودند. آن‌ها با اندازه‌گیری آستانه بارش برای وقوع جریان واریزه در مکان های مختلف نتیجه‌گیری نمودند که آستانه بارش برای رخداد جریانات واریزه‌ای بعد از زلزله به شدت کاهش می‌یابد. پورقاسمی و همکاران(۲۰۲۰) در مقاله‌ای به توزیع مکانی و تعامل بین زمین‌لغزش‌ها با استفاده از سیستم موقعیت یاب جهانی(GPS) در استان مازندران پرداختند. آن‌ها در این پژوهش از روش حداکثر آنتروپی برای اولویت‌بندی عوامل کنترل زمین‌لغزش و نقشه حساسیت به زمین‌لغزش استفاده کردند. Chen و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی ۲۶۳ نقطه لغزشی در شهر زیچانچ چین به روش رگرسیون لجستیک پرداختند و برای انتخاب لایه‌های موثر در وقوع زمین‌لغزش از روش آماری نسبت فراوانی اسفاده کردند و در نهایت به بررسی ۱۴ عامل موثر پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل PUKLR عملکرد بالایی در حساسیت به لغزش دارد. رحیم پور و همکاران (۱۳۹۶) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و GIS در حوضه آبخیز سردول چای اردبیل پرداختند. آن‌ها در این پژوهش از ۸ لایه اطلاعاتی موثر بر زمین‌لغزش که شامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، بارش و ارتفاع استفاده کردند و سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP و نرم افزار Expert choice وزن‌دهی به عوامل صورت گرفت و نتایج نهایی بدست آمده از تحقیق نشان داد عامل زمین‌شناسی بیشترین وزن را داشته است. معزز و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی به پهنه بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز نهندچای آذربایجان پرداختند. لایه‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل ۸ فاکتور موثر در وقوع زمین‌لغزش شامل شیب، ارتفاع، جهت شیب، زمین شناسی، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل و بارش بود و نتایج بدست آمده از تحقیق نشان داد که بیش از ۴۰ درصد از مساحت منطقه پتانسیل بالایی ازنظر وقوع زمین لغزش را دارا می‌باشد. کرنژادی و همکاران (۱۳۹۹) به پیش‌بینی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ترکیبی فاصله ماهالانوبیس و یادگیری ماشین در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان پرداختند و نتایج حاصل از ارزیابی قدرت یادگیری مدل‌ها نشان داد که مدل جنگل تصادفی و بیشینه آنتروپی به ترتیب با مقادیرسطح زیر

منحنی۰/۹۲۳ و ۰/۹۱ دارای قدرت یادگیری و برازش نسبتاً مشابهی می‌باشند. هدف از این تحقیق ارزیابی حساسیت و پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزشی در حوضه آبخیز خانیان تنکابن و مقایسه کارایی دو مدل AHP و ANP در ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش می‌باشد. نتایج حاصله از این دو روش با وضع موجود منطقه که در مطالعات میدانی ثبت شده است، مقایسه گردیده است.

روش‌شناسی

در این تحقیق ابتدا نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها تهیه گردید، در طی بازدید از منطقه مورد مطالعه، مناطقی که در آن‌ها لغزش اتفاق افتاده بود شناسایی شدند. پس از تعیین موقعیت هر زمین لغزش با استفاده از GPS و انتقال این نقاط به نرم افزار ArcGIS موقعیت هر نقطه لغزشی مشخص گردید. علاوه بر بازدید میدانی از پایگاه Google Earth و تصاویر ماهواره‌ایی لندست۸ نیز برای شناسایی نقاط لغزشی استفاده گردید(شکل۲). قابل ذکر است که بخش مربوط به مطالعه میدانی به صورت پایش انجام پذیرفت. بدین صورت که در اکثر نقاطی که امکان پایش وجود داشت، بازدید میدانی انجام شد. در مواردی هم که امکان نداشت از تصاویر ماهواره‌ایی و گوگل ارث استفاده گردید. پس از تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه اقدام به تهیه نقشه فاکتورهای موثر بر در وقوع زمین‌لغزش‌ها شد. در پژوهش حاضر از ۱۰ عامل تاثیرگذار جهت پهنه‌بندی زمین لغزش استفاده شده است. این عوامل عبارتند از شیب، جهت شیب، نقشه ارتفاع، واحدهای اراضی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از آبراهه، زمین شناسی و فاصله از راه. نقشه رقومی ارتفاعی استفاده شده از نوع Alos Palsar دارای حد تفکیک ۱۲,۵ متری بوده که لایه‌های شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی و آبراهه‌ها نیز بر اساس آن تهیه شدند. نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت. همچنین نقشه کاربری اراضی بر اساس تصاویر لندست تهیه شدند. نقشه‌های خاک، فاصله از جاده و واحدهای اراضی از سازمان منابع طبیعی استان مازندران تهیه گردید. در این پژوهش از دو روش سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ایی استفاده شد.



شکل ۱. نقشه پراکنش زمین لغزش در محدوده مطالعاتی حوزه آبخیزخانیان

روش سلسله مراتبی[1] (AHP)، شامل ماتریس وزن‌دهی بر مبنای مقایسات زوجی بین معیارهای موثر بوده و ارزش هریک از عوامل موثر را در حرکات دامنه‌ای (زمین لغزش) مشخص می‌کند. در واقع در این روش پس از مشخص شدن معیارهای

[1] Analytlcal Hierachy Process

مهم در حرکات دامنه‌ای، عوامل به صورت زوج با یکدیگر مقایسه شده و در ادامه هریک از آن‌ها که اثرگذاری بیشتری داشته باشد وزن بیشتری را به خود می‌گیرد. نحوه ارزش‌دهی در جدول ماتریس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به صورت اعداد فرد تک رقمی از ۹ تا ۱ (بیشترین ارزش به کمترین ارزش) انتخاب می‌شود، اعداد زوج تک رقمی نیز اولویت‌های فی ما بین را تشکیل می‌دهند (جدول ۱).

جدول۱

مقایسه ۹ کمیتی ساعتی برای مقایسه دودویی معیارها و زیر معیارها (Cimren et al. 2007)

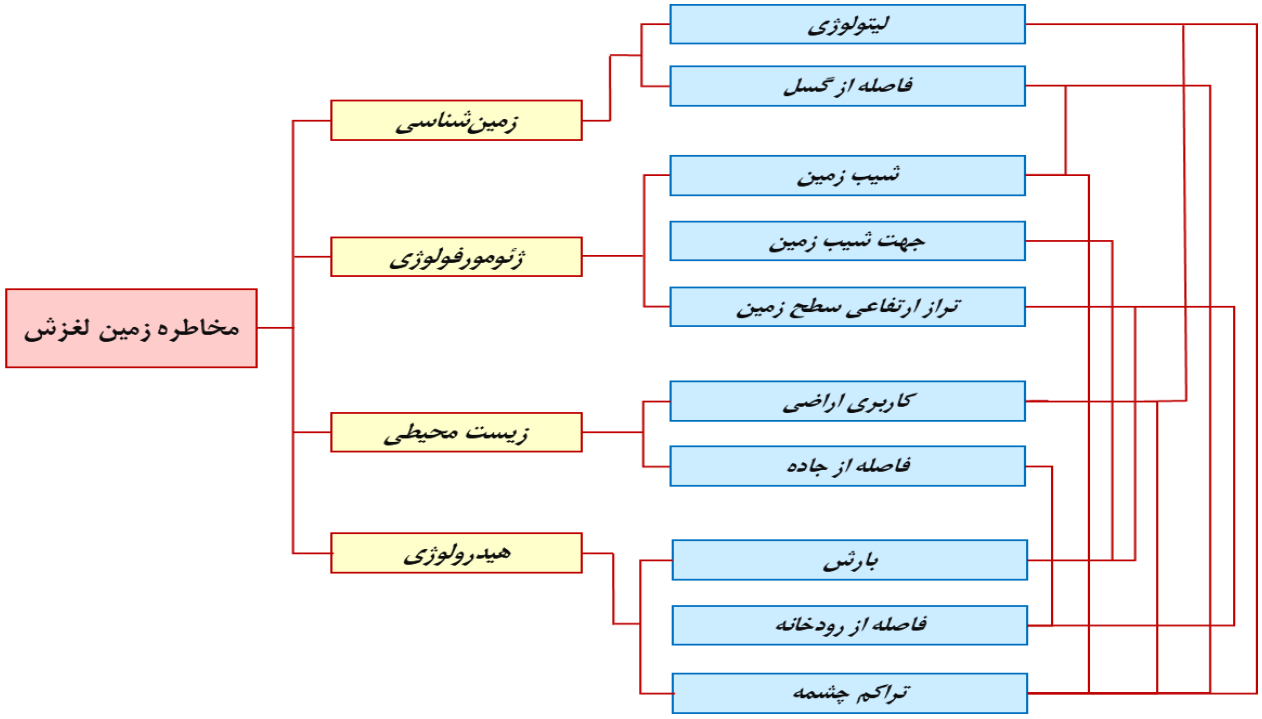
امتیاز (شدت ترجحی)	شرح
۱	ارجحیت یکسان
۳	ارجحیت کم
۵	ارجحیت بیشتر
۷	ارجحیت خیلی زیاد
۹	کاملا ترجیح داده شده
۸ و ۶، ۴، ۲	ارجحیت یک در میان

مدل تحلیل شبکه‌ای ANP[1] شکل گسترده‌ای از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است. فرآیند تحلیل سلسله شبکه ای توسط Satty در سال ۱۹۸۰ معرفی شد. فرض اصلی این روش وجود استقلال زیر معیارها با هم است (Saaty 2005 ، ۲۱۰). در پژوهش حاضر یک مدل شبکه‌ای سه لایه متشکل از لایه‌های هدف، معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها با توجه به مساله تحقیق طراحی و سازماندهی شد. شبکه مورد نظر از مراحل زیر تشکیل شده است: مرحله اول: هدف و موضوع مورد مطالعه بود و بررسی پتانسیل زمین‌لغزش به عنوان هدف اصلی این پژوهش انتخاب گردید. مرحله دوم : معیارهای تحقیق را شامل می‌شود که در برگیرنده فاکتورهای تاثیر گذار در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه می‌باشد. مرحله سوم: هم انتخاب کلاس‌ها یاگزینه‌ها یا گزینه‌های مورد نظر بر اساس طبقات خطر در یک خوشه جداگانه طراحی گردیدند. در پهنه‌بندی زمین‌لغزش دو عامل بسیار اهمیت دارد: ۱) رتبه‌بندی و تعیین ضریب تاثیر پارامترهای مستعدکننده وقوع زمین لغزش. ۲) تعیین سطوح تاثیر کلاس‌های پارامتر در وقوع زمین‌لغزش(عابدینی و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین ANP را می‌توان متشکل از دو قسمت دانست: ۱- سلسله مراتبی کنترلی ۲- ارتباط شبکه‌ای

-سلسله مراتب کنترلی ارتباط بین هدف‌ها، معیارها و زیرمعیارها را شامل شده و بر ارتباط درونی سیستم تاثیرگذار است.

-ارتباط شبکه‌ای، وابستگی بین عناصر و خوشه‌ها را شامل می‌شود. این قابلیت ANP، وابستگی‌های متقابل بین عناصر را فراهم آورده و در نتیجه نگرش دقیقی به مسائل پیچیده ارائه می‌کند. شکل ۲ ساختار شبکه‌ای مدل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

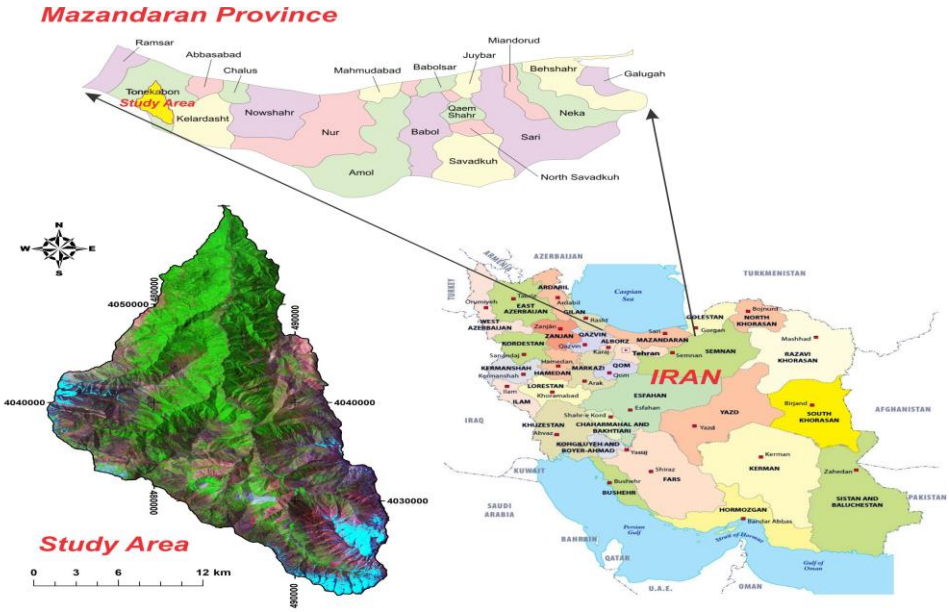
[1] Analytic Network process



شکل ۲. ساختار شبکه‌ای مدل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

قلمرو جغرافیایی پژوهش

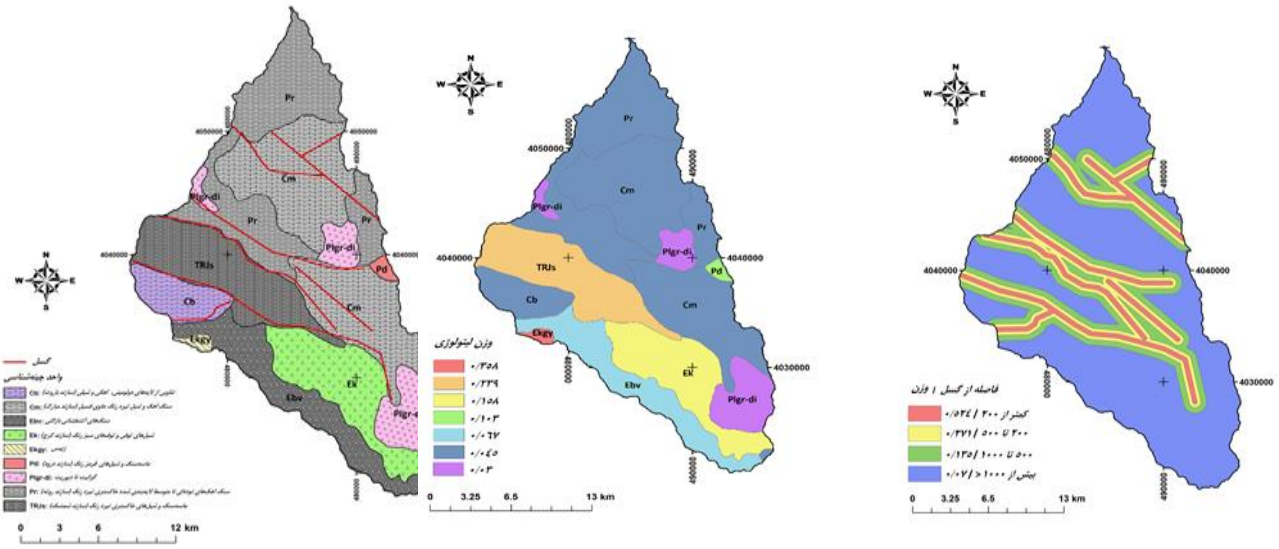
محدوده مطالعاتی خانیان یکی از زیر حوضه‌های سه هزار تنکابن که در باختر استان مازندران و جنوب خاوری شهرستان تنکابن قرار دارد (شکل ۱). مساحت آن حدود ۲۹۱۸/۴۴ هکتار می‌باشد. محدوده مورد مطالعه حوضه آبخیز خانیان در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه و ۱۱ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه و ۱۶ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه واقع شده است. این حوضه از لحاظ تقسیمات سیاسی در جنوب شهرستان تنکابن قرار گرفته و یکی از زیر حوضه‌های رودخانه سه هزار به شمار می‌رود. تقریبا تمامی مسیر دسترسی به بخش‌های مرکزی و جنوبی آن در ناحیه کوهستانی و مرتفع قرار داشته و از این لحاظ در زمره حوضه‌های آبخیز بسیار مرتفع محسوب می‌گردد. 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 می‌دهند. همچنین مرتفع‌ترین ارتفاعات حوضه در بخش جنوبی آن قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع آن ۴۷۹۴ متر، حداقل ارتفاع آن ۳۱۹ متر می‌باشد. 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 زمین‌لغزش‌های 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 حوضه‌ی آبخیز خانیان ۱۰۶۸ میلی‌متر در سال است و کمترین میزان آن هم حدود ۷۲۷ میلی‌متر است (متولی، ۱۳۹۶).



شکل ۳. موقعیت جغرافیایی و تصویر ماهواره‌ای از محدوده مطالعاتی حوضه آبخیز خانیان

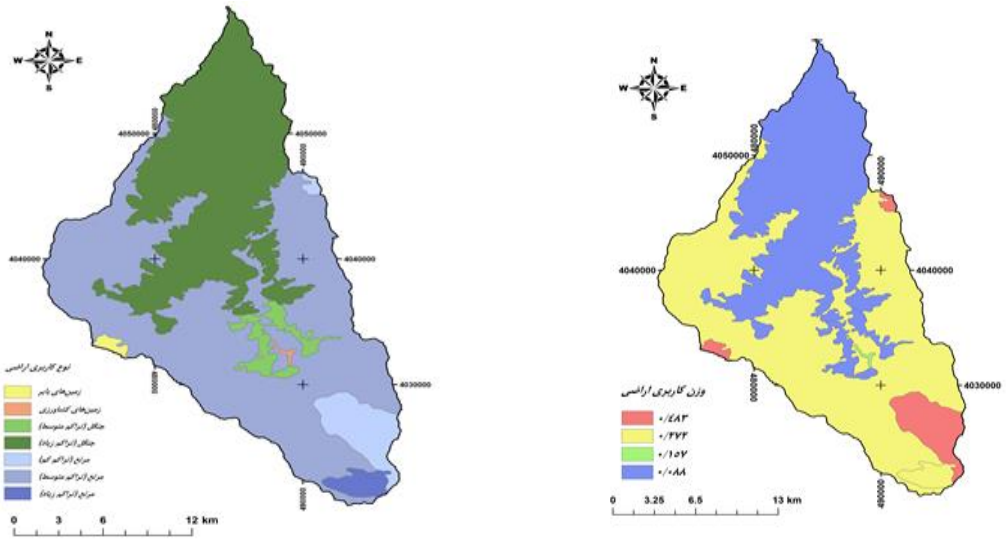
یافته‌ها و بحث

در مطالعات اخیر که توسط محققین صورت گرفته، لیتولوژی به عنوان یکی از مهمترین عوامل در پهنه‌بندی خطر لغزش مورد توجه بوده است(Dai et al, 2001 و پورقاسمی و همکاران ۲۰۱۲). لیتولوژی مصالح زمین‌شناسی و فاصله از گسل دو زیر معیار اصلی زمین‌شناسی می‌باشد که در ایجاد زمین لغزش‌ها نقش مهمی را ایفا می‌کند. زمین‌شناسی و ساختارهای گوناگون آن باعث اختلاف در پایداری و مقاومت سنگ‌ها و همچنین تنوع در بافت خاک می‌شود(Ayalew and Yamagishi, 2005). در منطقه مورد مطالعه واحد گچی (EKGY) که در جنوب حوزه آبخیز خانیان قرار دارد که در آن مارن‌های قرمز رنگ یا سبز رنگی رخنمون‌دار که همراه با آن‌ها لایه‌هایی از گچ و ماسه سنگ قرمز دیده می‌شود. و سازند شمشک (TRIS) که در قسمت جنوب غربی حوزه آبخیز قرار دارد و حاوی شیل خاکستری تیره و ماسه‌سنگ متوسط تا ضخیم لایه خاکستری است، بیش‌ترین وزن را از نظر زمین لغزش گرفته‌اند. کمترین وزن را سازندگرانیتی تا دیوریتی (PIGR-DI) گرفت که ۴/۵۹ درصد از مساحت حوضه مورد مطالعه را شامل می‌شود(شکل۴). گسل‌ها در ایجاد و یا فعال‌سازی دوباره مناطق دارای پتانسیل لغزش نقش مؤثری دارند. خردشدگی و برشی شدن در مناطق گسلی، نفوذ آب از این مناطق به درون دامنه‌ها، پیدایش ناپیوستگی در پیرامون گسل و اختلاف فرسایش در دامنه‌ها از جمله اثرات گسل‌ها بر زمین‌لغزش می‌باشد. حرکت گسل نیز می‌تواند به نوعی شروع لغزش در دامنه باشد (Moriras ،2004 و پورقاسمی ۲۰۱۲) (شکل۴).



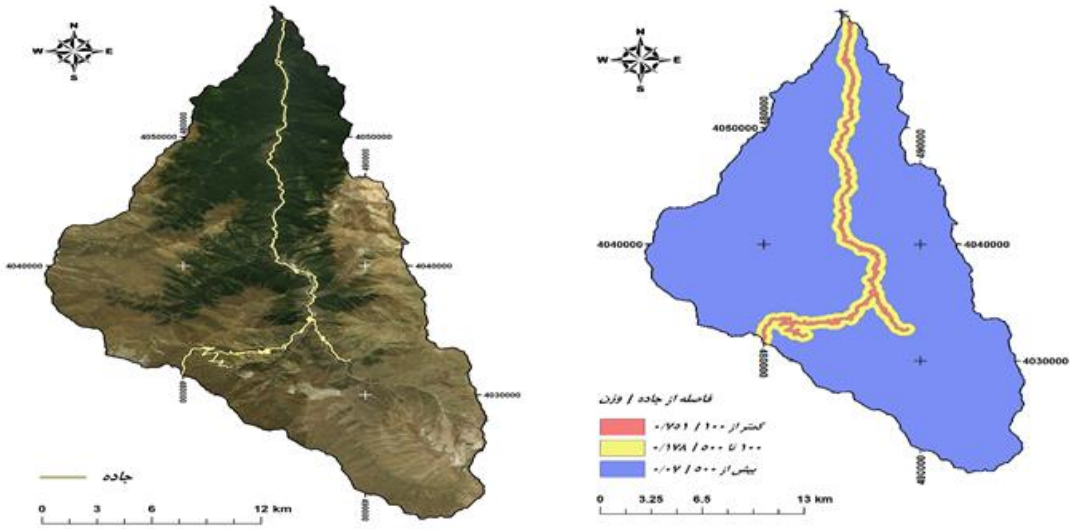
شکل ۴. نقشه زمین شناسی وگسل‌های منطقه به همراه وزن‌دهی لایه‌ها

علاوه بر عوامل طبیعی، عوامل مصنوعی نیز بر وقوع زمین‌لغزش تاثیر به سزایی دارند. تاثیر این عوامل به خصوص در دهه‌های اخیر که انسان نقش زیادی در کاربری اراضی اعمال کرده است، اهمیت بیش از پیش خود را نشان می‌دهد. قطع جنگل‌ها و تبدیل آن‌ها به زمین‌های زراعی و مناطق مسکونی از جمله عوامل مصنوعی موثر در لغزش می‌باشد. آبیاری زمین‌های زراعی، ورود فاضلاب‌های خانگی به دامنه‌ها، بارگذاری حاصل از ساختمان‌سازی بر دامنه‌ها، جاده‌سازی‌ها و ... از جمله کاربری‌های نادرستی است که در لغزش دامنه‌ها در منطقه مورد مطالعه تاثیرگذار می‌باشد. در مجموع کاربری اراضی و جاده‌سازی از مهم‌ترین عواملی محیطی هستند که نقش موثری را بر روی خطر وقوع زمین‌لغزش ایفا می‌نمایند. در وزن دهی 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 ساختمان سازی 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 باغ ها، اراضی زراعی و جنگل‌ها می‌باشند. حوضه آبخیز خانیان به ۷ نوع کاربری طبقه‌بندی شد که بیشترین مساحت مربوط به کاربری مرتع با ۵۲/۲ درصد از مساحت کل و کمترین مساحت متعلق به کاربری زمین‌های کشاورزی با ۰/۱ درصد از مساحت حوضه می‌باشد. بیشترین وزن را مراتع با تراکم کم و زمین‌های بایر با وزن ۰/۴۸۳ به خود گرفتند و کمترین وزن را جنگل‌های با تراکم بالا با وزن ۰/۰۸۸ به خود گرفت (شکل۵).



شکل ۵. نقشه کاربری اراضی و وزن‌دهی طبقات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه

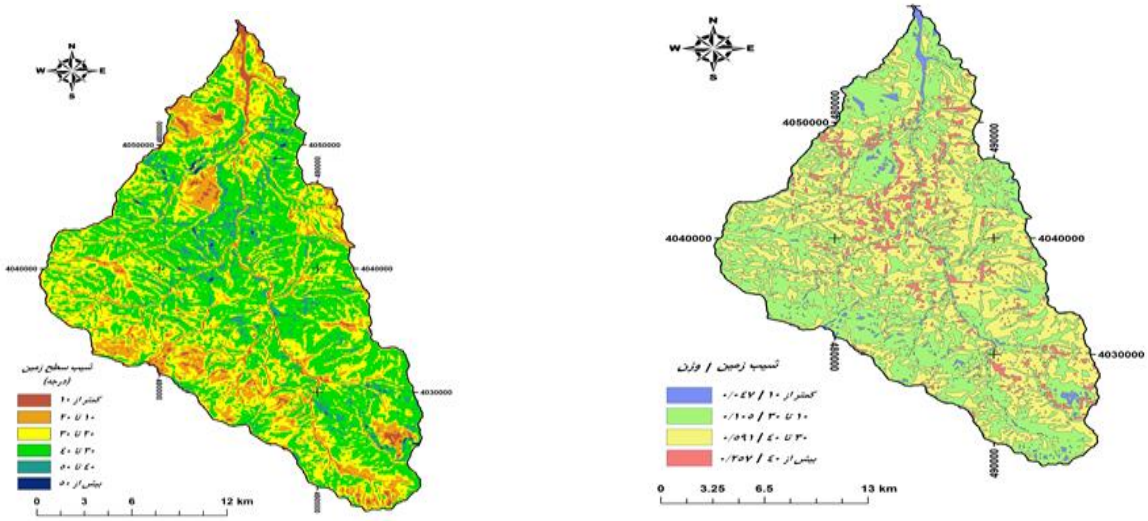
احداث جاده‌ها یکی از عوامل مصنوعی مؤثر در ناپایداری‌ها به شمار می‌رود که توسط انسان ایجاد می‌گردد(Ayalew and Yamagishi2005) احداث جاده باعث تغییر در توپوگرافی و کاهش مقاومت برشی در پاشنه شیب و افزایش تنش کششی می‌شود. همچنین احداث جاده باعث نفوذ آب به داخل شیب و باعث اعمال فشارهای اضافی در اثر افزایش وزن دامنه می‌شود. درمنطقه مورد مطالعه اکثر زمین‌لغزش‌ها در اطراف جاده اتفاق افتاده است. بیشترین وزن را ۰/۷۵۱ در فاصله کمتر از ۱۰۰ متر از رودخانه به خود گرفته است (شکل۶).



شکل ۶. نقشه جاده و وزن‌دهی لایه جاده

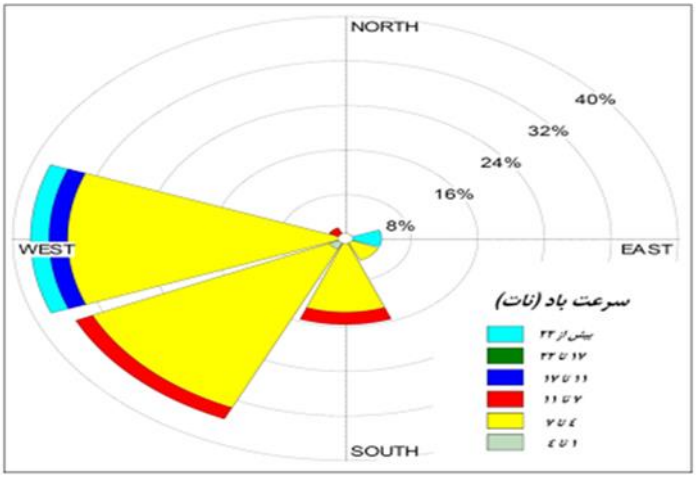
مقدار شیب دامنه‌ها یکی از عوامل مهم در ایجاد ناپایداری شیب‌ها و حرکات توده‌ای می‌باشد(Ercanoglu and Gokceoglu 2002). بر پایه ریخت شناسی، هر منطقه ممکن است دارای شیب‌های گوناگونی باشد. هر قدر میزان شیب یک دامنه بیش‌تر باشد مقدار نیروی ناپایدار کننده نیز بیش‌تر می‌گردد. بنابراین از نظر تئوری و با فرض یکسان بودن

سایر عوامل، خطر زمین‌لغزش در دامنه‌های پرشیب‌تر بیش‌تر **است** . زمین‌های مسطح (شیب کمتر از ۱۰ درصد) نیز فاقد لغزش هستند (Cevic and Topal 2003). **در** منطقه مورد مطالعه بیشترین فراوانی رخداد زمین‌لغزش در طبقه بیشتر از ۵۰درجه و کمترین تعداد آن متعلق به طبقه شیب کمتر از ۱۰ درجه می‌باشد. بیشترین وزن مربوط به طبقه شیب بیش از ۴۰ درجه با ارزش ۰/۲۷۵ و کمترین وزن مربوط به طبقه شیب کمتر از ۱۰ درجه با ارزش عددی ۰/۰۴۷ اختصاص دارد (شکل۷).

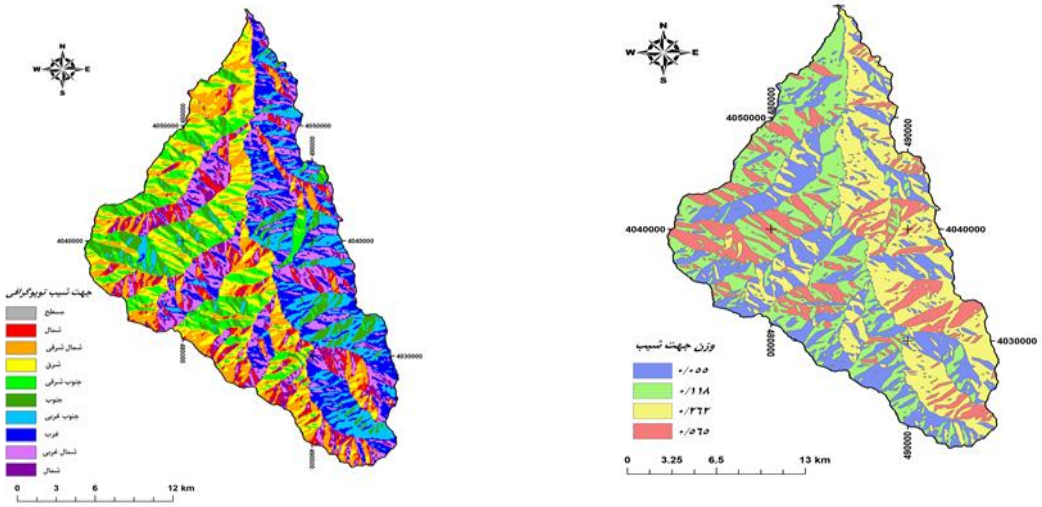


شکل۷. نقشه شیب و وزن‌دهی طبقات شیب‌های مختلف

جهت شیب نشان دهنده تأثیر متفاوت میزان دریافت نور خورشید، بادهای گرم و خشک و میزان بارش در جهات مختلف است. مطالعات زیادی که بر روی تاثیر جهت دامنه بر لغزش انجام شده، نشان می‌دهد که دامنه‌هایی که بیش‌تر در معرض نور آفتاب قرار می‌گیرند نسبت به دامنه‌ای که مدت زمان کمتری در برابر نور آفتاب قرار می‌گیرند، پایدارتر هستند. علت این پدیده را می‌توان به میزان تبخیر بیش‌تر و رطوبت کمتر این دامنه‌ها نسبت داد. در نیمکره شمالی دامنه‌های جنوبی مدت زمان بیش‌تری در برابر نور آفتاب قرار می‌گیرند و می‌توان انتظار داشت که این دامنه‌ها نسبت به دامنه‌های شمالی پایدارتر باشند. 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 دیگر با توجه به نمودار گلباد ایستگاه هواشناسی تنکابن (شکل۸)، به دلیل جهت حرکت عمومی بادها از سمت غرب، جنوب‌غربی و جنوب در شهرستان تنکابن، میزان بارش‌های جوی و متعاقباً فرسایش در دامنه‌های غربی و جنوبی بیش‌تر از دیگر دامنه‌ها است. بدین ترتیب دامنه‌های جنوبی و غربی محدوده مطالعاتی از پتانسیل بیش‌تری نسبت به دامنه‌های شرقی و شمالی، در لغزش برخوردارند (شکل۹).

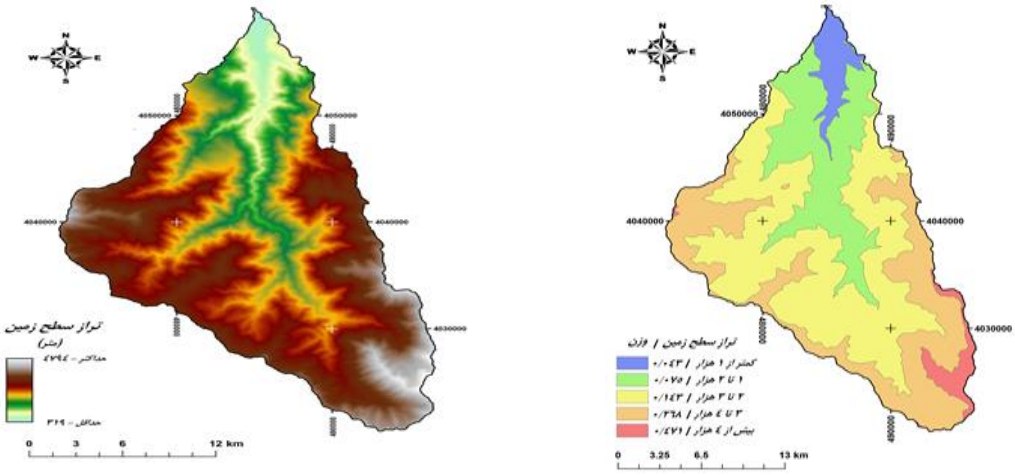


شکل ۸. گلباد ایستگاه هواشناسی تنکابن



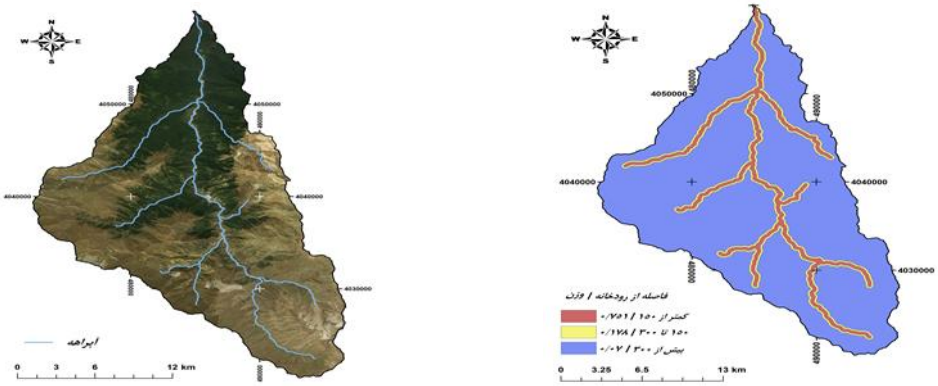
شکل ۹. نقشه جهات شیب و وزن‌دهی جهات چهارگانه

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 زمین‌لغزش در ارتفاعات بالاتر قرار دارد. رودخانه‌ها به دلیل وجود زهکشی آب و دیوارهای پر شیب، فرسودن شیب و افزایش درجه اشباع مصالح شیب، معمولاً دارای لغزش بیش‌تری هستند (Cevik and Topa 2003وDai et al 2001). حداقل ارتفاع در قسمت خروجی حوضه آبخیز ۳۱۹ متر از سطح دریا و بالاترین نقطه ارتفاعی در راس حوضه آبخیز با۴۷۹۴ متر است. بدین ترتیب پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و پهنه‌بندی محدوده مورد مطالعه مبتنی بر ارتفاع، بیش‌ترین وزن به پهنه‌هایی با تراز توپوگرافی بیش‌تر تعلق گرفته است (شکل ۱۰).



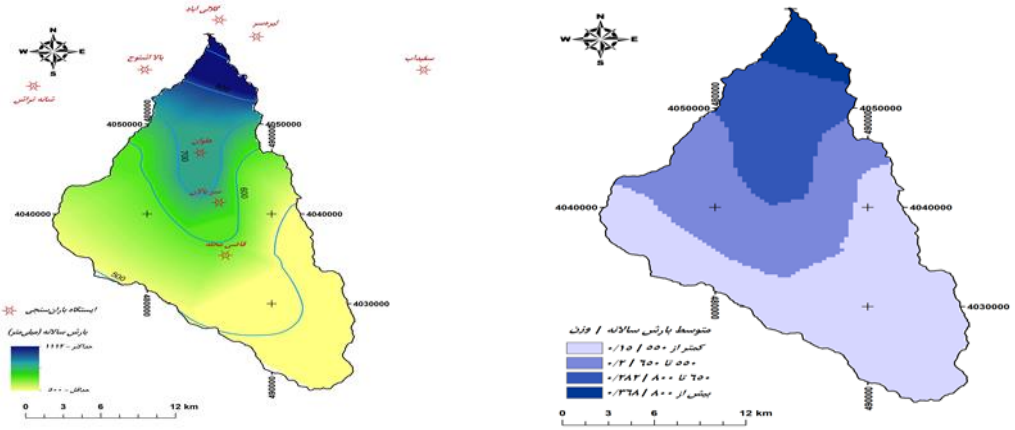
شکل ۱۰. نقشه تراز توپوگرافی منطقه مورد مطالعه و وزن‌دهی طبقات ارتفاعی

بررسی رخداد زمین‌لغزش با فاصله از آبراهه، بیانگر وقوع بیشتر زمین‌لغزش‌ها در فاصله کمتر از ۱۵۰متری از شبکه آبراهه است. با افزایش فاصله از آبراهه از فراوانی رخداد زمین‌لغزش کاسته شده است. علت این موضوع به جهت آن است که رودخانه‌ها با عمل زیرشویی در پای دامنه و اشباع شدن قسمت‌های پایین دست اثرات نامطلوبی بر ثبات شیب دامنه ها می‌گذارند (Feby et al.,2020) .شکل ۱۱ نقشه آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه و وزن‌دهی آن‌ها را نشان می‌دهد.



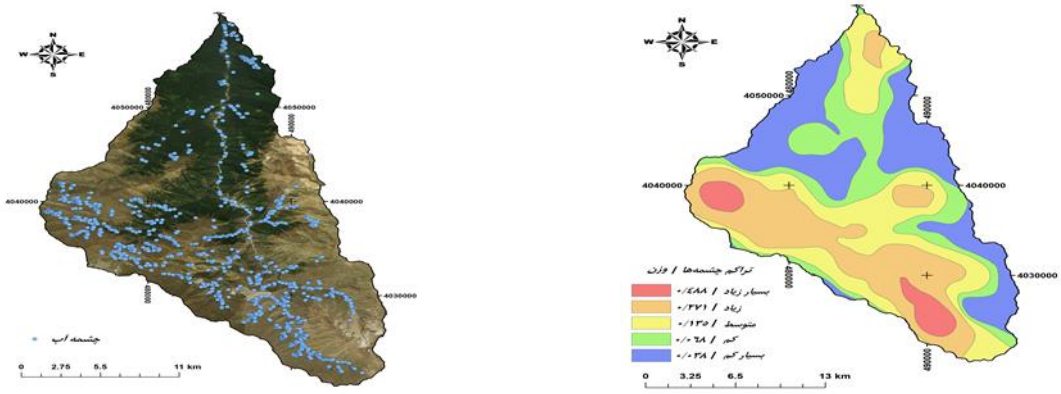
شکل ۱۱. نقشه آبراهه‌ها و وزن‌دهی آن

بارش‌های جوی، جزو علل محرک اصلی و ایجاد زمین‌لغزش و ناپایداری شیب محسوب می‌گردند. آب ناشی 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 برشی توده‌های خاکی و سنگی، افزایش وزن دامنه، نوسان سطح آب رودخانه و زیرشویی کناره‌های دامنه می‌گردد. این شرایط موجب لغزندگی مصالح دامنه در سطوح غیرقابل نفوذ گردیده و استعداد رخداد زمین‌لغزش‌ها را افزایش می‌دهد. در منطقه مورد مطالعه بیشترین وزن را در مناطقی با بارش بیشتر از ۸۰۰ میلی متر با وزن ۰/۳۶۸ به خود اختصاص داده است (شکل۱۲).



شکل۱۲. نقشه نقاط هم‌باران و وزن‌دهی آن‌ها

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 (خواجوند، ۱۳۹۴). شکل ۱۳ نقشه پراکندگی چشمه‌ها و وزن‌دهی به آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل۱۳. نقشه تراکم چشمه‌ها و وزن‌دهی آن‌ها

پهنه‌بندی مخاطره زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی خانیان بر اساس مدل AHP و 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 ۲). آنگاه پس از تعیین ارجحیت معیارها نسبت به یکدیگر، وزن هر معیار با استفاده از برنامه AHP Calculator تعیین و در نهایت با تلفیق معیارها با توجه به وزنشان، نقشه وزنی مخاطره زمین‌لغزش محدوده مطالعاتی خانیان تهیه شده است. وزن نهایی از حداقل ۰/۰۷ تا حداکثر ۰/۳۷، متغیر است. بنابراین با توجه به بازه وزن نهایی، سطح مخاطره وقوع زمین‌لغزش در محدوده طرح به ۵ رده تقسیم گردید که پرمخاطره‌ترین رده مربوط به بازه وزن بیش از ۰/۳ می‌باشد(جدول ۳). به منظور بررسی

صحت و سقم نقشه مخاطره ، موقعیت زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته در سطح محدوده مورد مطالعه، بر روی نقشه، همانگونه که مشاهده می‌شود، پیاده شده است(شکل۱۴). بر اساس جدول ۴، کارایی مدل ANP قابل قبول‌تر می‌باشد.

جدول ۲

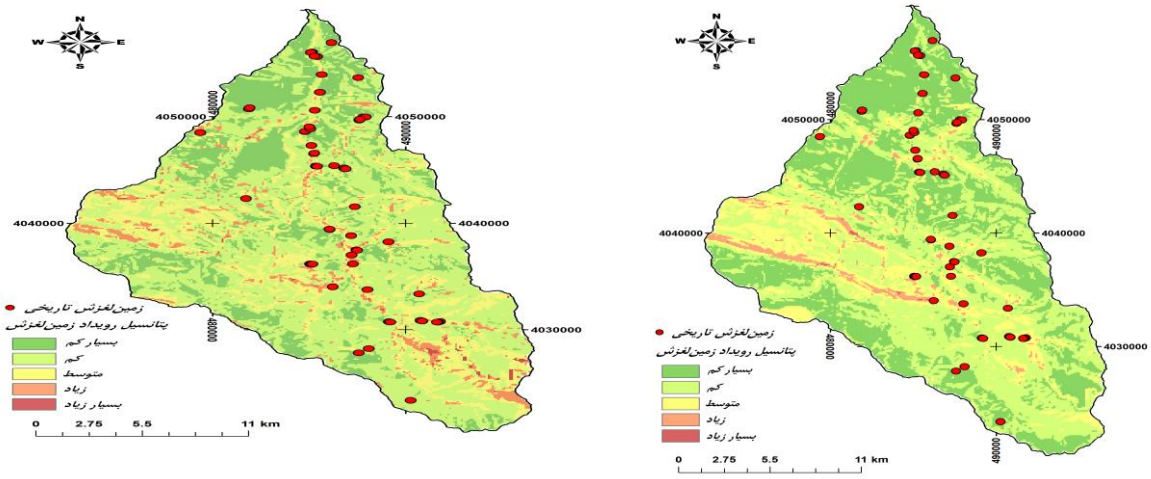
ماتریس مقایسه دو دویی برای عوامل موثر در زمین‌لغزش و کلاس‌های موجود برای هر عامل بر اساس روش AHP

عوامل ایجاد کننده و کلاسهای مختلف هر فاکتور		ماتریس مقایسه هر جفت							وزن	نسبت قوام، ثبات به درصد
		[۱]	[۲]	[۳]	[۴]	[۵]	[۶]	[۷]		
معیارهای زمین شناسی										
[۱]	سنگ شناسی	۱	۲						۰/۶۶	۰
[۲]	فاصله از گسل		۱						۰/۳۴	
معیارهای محیطی										
[۱]	کاربری اراضی	۱	۵						/۸۳۳ ۰	۰
[۲]	فاصله از جاده بر حسب متر		۱						/۱۶۷ ۰	
معیارهای ژئومورفولوژیکی										
[۱]	شیب زمین	۱	۳	۷					۰/۶۶۹	۰/۷
[۲]	جهت شیب		۱	۳					/۲۴۳ ۰	
[۳]	ارتفاع زمین			۱					/۰۸۸ ۰	
معیارهای هیدرولوژیکی										
[۱]	بارش	۱	۲	۳					/۵۴۰ ۰	۱
[۲]	فاصله از رودخانه		۱	۲					/۲۹۷ ۰	
[۳]	تراکم چشمه ها			۱					/۱۶۳ ۰	
خطر زمین لغزش										
[۱]	معیارهای زمین شناسی	۱	۲	۳	۴				/۴۶۷ ۰	۱/۱
[۲]	معیارهای ژئومورفولوژیکی		۱	۲	۳				/۲۷۷ ۰	
[۳]	معیارهای محیطی			۱	۲				۰/۹۶	
[۴]	معیارهای هیدرولوژیکی				۱				/۰۱۶ ۰	

جدول ۳

رده بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش مبتنی بر وزن‌های نهایی

وزن دامنه	سطح خطر	وزن دامنه	سطح خطر
۰/۱ -۰/۱۵	کم	>	بسیار بالا
<۰/۱	بسیارکم	۰/۳ -۰/۲	بالا
		۰/۲ -۰/۱۵	در حد متوسط



شکل۱۴. نقشه پهنه‌بندی مخاطره زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP (سمت راست) و مدل ANP (سمت چپ)

جدول ۴

تعداد زمین لغزش ها در دو مدل ANPو AHP

درصدکل ANP	درصد کل AHP	ANP	AHP	بازه وزنی	سطح خطر
۰	۴	۰	۲	<۰/۱	بسیار کم
۲۰	۴۲	۱۱	۲۳	۰/۱ -۰/۱۵	کم
۲۹	۳۱	۱۶	۱۷	۰/۱۵ -۰/۲	متوسط
۴۹	۲۲	۲۷	۱۲	۰/۲- ۰/۳	زیاد
۲	۲	۱	۱	۰/۳>	خیلی زیاد
۱۰۰	۱۰۰	۵۵	۵۵	مجموع	

شکل۱۵. تصاویری از نقش عوامل طبیعی و انسانی در وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز خانیان

نتیجه گیری

ناپایداری‌ها و حرکات دامنه‌ای تحت تاثیر عوامل مختلفی از قبیل شیب، بارش، جنس مصالح، آب زیرزمینی، گسل، جاده ، رودخانه و عامل انسانی قرار دارد. در پژوهش حاضر از نظر جنس مصالح زمین‌شناسی، رسوبات گچی و رسی سازند شمشک بیش‌ترین تاثیر را بر رخداد لغزش دارند. از لحاظ کاربری اراضی 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. عملیات جاده سازی که موجب تمرکز هرزآب‌های بالا دست در آبراهه‌های جاده و ایجاد زمین‌لغزش در پایین دست جاده شده‌اند. در فواصل کمتر از ۱۵۰ متر از جریان‌های سطحی احتمال وقوع لغزش‌ها به شدت افزایش داشت . خیلی از لغزش‌های رخ داده در نزدیکی رودخانه‌ها اتفاق افتاده است. شیب‌هایی با جهت جنوب و غرب دارای بیش‌ترین پتانسیل رخداد لغزش را دارند. برای وقوع لغزش می‌بایست میزان باران به اندازه‌ای باشد که بتواند در خاک نفوذ کرده و باعث افزایش وزن توده خاک در روی دامنه‌ها شود، همان طوری که مشاهده شد، مناطق پر بارش با مناطق وقوع زمین‌لغزش‌های شناسایی شده همپوشانی دارد. با توجه به اینکه شیب جز عوامل تشدید کننده در زمین لغزش می‌باشد. در روش ANP ملاحظه می شود عامل شیب زمین اولین عامل تاثیرگذار در زمین‌لغزش با ۲۰درصد تاثیر می‌باشد. ولی در روش AHP کمترین تاثیر را داشته و در رده آخر قرار گرفته است. در نتیجه بیشتر زون مخاطره آمیز زمین‌لغزش حوضه مورد مطالعه با مدل ANP ارتباط دارند و اینکه تطابق بهتری از لحاظ بصری دارد. در منطقه مورد مطالعه شیب زمین به عنوان یکی از عوامل بسیار مهم و موثر در زمین‌لغزش مورد توجه قرار گرفته است. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی و اطلاعات زمینی بدست آمده و سپس تجزیه و تحلیل آن‌ها مشخص شده است که شیب زمین به شدت در تشکیل زمین‌لغزش های منطقه مورد نظر تاثیر دارد و تمام زمین‌لغزش‌ها در مسیر شیب زمین تشکیل شده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به مطالعات انجام شده و بازدیدهای میدانی و ترتیب و اولویت‌بندی که در هریک از روش‌ها بر اساس عوامل موثر در بروز زمین‌لغزش بدست آمده است، با استفاده از روش AHP به ترتیب : فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، جهت شیب، فاصله از گسل، تراکم چشمه‌ها، کاربری اراضی، تراز توپوگرافی، بارش، لیتولوژی و فاصله از شیب و در روش ANP به ترتیب: شیب زمین، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، تراکم چشمه‌ها، جهت شیب، فاصله از گسل، تراز توپوگرافی، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه مورد مقایسه قرار گرفتند و نتایج بازدیدهای میدانی و تحقیق بدست آمده از منطقه مورد مطالعه نشان دهنده آن بود که روش ANP از دقت بیشتری نسبت به روش AHP برخوردار می‌باشد زیرا ترتیب اولویت‌بندی عوامل موثر درآن منطقی‌تر و قابل قبول‌تر بوده است.

منابع

حجازی، سید اسدالله؛ روستایی، شهرام؛ رنجبریان شادباد، مریم (۱۳۹۸). ارزیابی و پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل ویکور، در حوضه آبریز حاجیلرچای. *جغرافیای طبیعی*، ۱۲(۴۴)، ۶۵-۵۱.

خواجوند، رضا (۱۳۹۴). مطالعه ژئوتکنیکی و زیست محیطی زمین لغزش غرب روستای گت‌کش منطقه کجور نوشهر. *فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط زیست*، ۹ (۳۳). ۶۴-۴۷.

رحیم پور، توحید؛ روستایی، شهرام؛ نخستین روحی، مهسا(۱۳۹۶). پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسه مراتبی AHP (مطالعه موردی: حوضه آبریز سردول چای استان اردبیل)، *هیدروژئوموزفولوژی*، ۴(۱۳)، ۲۰-۱.

عابدینی، موسی؛ روستایی، شهرام؛ فتحی، محمد حسین(۱۳۹۵). پهنه بندی حساسیت وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل هیبریدی قضیه بیز- ANP (مطالعه موردی: کرانه جنوبی حوضه آبخیز اهرچای از روستای نصیر کندی تا سد ستارخان)، *پژوهش های ژئومورفولوژی کمی*، ۵(۱)، ۱۵۹-۱۴۲.

عابدینی، موسی؛ فتحی، محمد حسین. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز خلخال چای با استفاده از مدل‌های چند معیاره، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۲(۴)، ۸۵-۷۱.

کر نژادی، آیدینگ؛ اونق، مجید؛ پورقاسمی، حمید رضا ؛ بهره مند، عبدالرضا؛ معتمدی، منوچهر(۱۳۹۹). پیش‌بینی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ترکیبی فاصله ماهالانوبیس و یادگیری ماشین (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اوغان، استان گلستان)، *پژوهش‌های دانش زمین*، ۱۱(۲). ۱۸-۱.

متولی، صدر الدین؛ ۱۳۹۶. پهنه‌بندی زمین لغزش در حوضه آبخیز خانیان تنکابن با استفاده از مدل ارزش اطلاعات Winf، *جغرافیای طبیعی*، ۱۰ (۶۳)، ۴۵-۳۱.

مغزز، سمیه؛ روستایی، شهرام؛ رحیم پور، توحید. (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)، ۳۷-۲۳.

References

Abedini, M., Fathi, M.H. (2014). Landslide risk sensitivity zoning in Khalkhal Chai watershed using multi-criteria models, Quantitative Geomorphological Research,2(4), PP.71-85. (In Persian)

Abedini, M., Rostaei, SH., Fathi, M.H. (2016). Landslides susceptibility mapping using hybrid model of Bayes' theorem & ANP, Case Study: Ahar drainage basin South boundary (From Nasirabad to Sattar Khan dam), Quantitative Geomorphological Research 5(1), pp.142-159. (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(1),pp: 15–31.

Bin, Y. Yu, M and Yafa, W. (2013). Case Stady Of A giant Debris Fiow In The WenjiGully, Sichuan Province , China , Natural Hazards ,65(1), pp: 835- 849.

Cevik, E., Topal, T., (2003). GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). Environmental Geology. 44, pp: 949–962.

Chen, X, Chen, W. (2021). GIS-based landslide susceptibility assessment using optimized hybrid mechine learning methods, Catena,196.

Çimren, E., Çatay, B., Budak, E. (2007). Development of a machine tool selection system using AHP, International Journal of Advanced Manufacturing Technology,35,pp.365-376.

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. Environmental Geology. 40,pp: 381–391

Ercanoglu, M., Gokceoglu, C. (2002). Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. Environmental Geology, 41,pp.720-730

Feby, B., Achu, A.L., jimnisha, K., Ayisha, V.A., Reghunath, R. (2020) . Land slide susceptibility modelling using integrated evidential belief function based logistic regression method: a study from southern western Ghats, India, remote sensing applications: society and environment,20,pp.1-14

Hejazi, S.A., Roostaei, S., Ranjbarianshadbad, M. (2019). Landslide risk assessment and zoning using Vicor model in Hajilerchai catchment, Natural Geography Quarterly,12(44), pp.51-65. (In Persian)

Khajevand, R.(2015). Geotechnical- Environmental Study of Landslide in West of Gateh-kash Village in Kojour Area, Noshahr, Journal of Environmental Geology,33(9), pp.47-64. (In Persian)

Kornejady, A., Ownegh, M., Pourghasemi, H.R., Bahremand, A., Motamedi, M. (2020). Landslide susceptibility prediction using the coupled Mahalanobis distance and machine learning models (case study: Owghan watershed, Golestan province),11(2),pp.1-18. (In Persian)

Moazzez, S., Roostaei, SH., Rahimpour, T. (2019). Landslide Hazard Zonation Using ANP model and GIS technique in the Nahand Chai Basin, Quantitative Geomorphological Research, 8(2), PP.23-37. (In Persian)

Moreiras, S.M. (2004). Landslide incidence zonation in the Rio Mendoza valley, Mendoza province, Argentina. Earth Surface Process and Landforms 29(2), pp:255–266.

Motevali, S. (2018). Landslide zoning in Khanian Tankabon watershed using Winf information value model.,Natural Geography Quarterly,10(36), pp.31-45. (In Persian)

ourghasemi, H.R., Pradhan, B., Gokceoglu, C. (2012). Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. Natural Hazards, 63, pp:965–996.

Pourghasemi, H. R., Kariminejad, N., Gayen, A., & Komac, M. (2020). Statistical functions used for spatial modelling due to assessment of landslide distribution and landscape-interaction factors in Iran. Geoscience Frontiers.11(4), pp.1257-1269.

Rahimpour, T., Roostaei, SH., nakhostinrouhi, M. (2018). Landslide Hazard Zonation Using Analytical Hierarchy Process and GIS A Case Study of Sardool Chay Basin, Ardabil Province,Hydrogeomorphology 4(13), PP.1-20. (In Persian)

Saaty, T. (1991). How to make a decision: the analytic hierarchy process, European Journal of Operational Research 48(1), pp: 9-26.

Saaty, T.L. (2005). Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes. European Journal of Operational Research,. 168(2),pp: 557–570.

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), pp:1–12

How to Cite:
Emadodin, S., Salimzadeh, F., & Arekhi, S. (2022). Examining the landslide risk in watershed of Khaniam, Tonekabon using analytic hierarchy process (AHP) and analytical network process (ANP). *Geographical Engineering of Territory*, 6(2), 411-427.

ارجاع به این مقاله:
عمادالدین، سمیه، سلیم زاده، فاطمه و آرخی، صالح. (۱۴۰۱). ارزیابی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز خانیان تنکابن با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ای. *مهندسی جغرافیایی سرزمین*، ۶(۲)، ۴۱۱-۴۲۷.