Physical Geography Research Quarterly

Journal Homepage: www.jphgr.ut.ac.ir

Research Paper

Evaluation of Geomorphic Stability of Lashkarak-Dizin road with Emphasis on Geotechnical data with the Aim of Safety and Development

Ataolah Kazemi Imanabadi [a], Mansour Jafar Baglou [b*], Ebrahim Moghimi [b]

[a]. *Department of Natural Geography, Kish International Campus, University of Tehran, Tehran, Iran*

[b]. *Department of Natural Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran*

ARTICLEINFO

Keywords:
Evaluation,
Road safety,
Geomorphic stability,
Road development,
Lashkarak-Dizin road
geomorphology

Received:
2 September 2022
Received in revised form:
1 December 2022
Accepted:
1 February 2023
pp.482-496

ABSTRACT

The studied road starts from Lashkarak in the northeast of Tehran and at the entrance of Lavasan, changing its direction to the northwest, passing through the areas of Zardband, Rudak, Haji Abad, Fasham, Migun, Jiroud, Durud, Darbandsar and Shamshak to Dizin in the province. Alborz extends. This road does not have a good level of safety in the current conditions despite having a relatively high traffic load, so increasing the safety of the road to facilitate the connection of the east of the city and the province of Tehran to the Tehran-North Freeway by developing this road is one of the main goals of the present study. . In this research, geological maps, topography and satellite images were used to identify the condition of the slopes around the road and prepare information layers and route zoning in the GIS environment. and the results of geomechanical evaluations were compared with the areas obtained from geomorphological data and the length of the route was divided into six categories in terms of geomorphic stability and road safety. The results showed that the alignment of the slope of the slopes with the direction of the stone layers and the soil cover of the roadside slopes is one of the most important factors of slope instability and determines the type of activity of the processes in this direction. This research, which was conducted by combining the information obtained from geomorphological and geomechanical results, has the ability to be used in the evaluation of other transportation routes in the country and can be used for road safety management and development.

Citation: Kazemi Imanabadi, A., Jafar Baglou, M., & Moghimi, E. (2022). Evaluation of Geomorphic Stability of Lashkarak-Dizin road with Emphasis on Geotechnical data with the Aim of Safety and Development. *Physical Geography Research Quarterly, 54* (4), 482-496.

http://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.346394.1007718

* . Corresponding author (Email: mjbeglou@ut.ac.ir)

Copyright © 2022 The Authors. Published by University of Tehran. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Extended Abstract

Introduction

Lashkark road starts from Lashkark in the northeast of Tehran city and extends towards Shamshak and Dizin. This route runs along the length of the Alborz mountain range, after Lashkarak, passing through the Quchak Stem at the entrance of Lavasan city, with a northwesterly direction from the residential areas of Zardband, Roodak, Hajiabad, Fashm, Meigun, Jiroud, Durood, Darbandsar and Shemshak at the end of the range. It crosses Tehran province and then extends towards Dizin in Alborz province and finally connects to Kandovan road in Shahrestanak region. The need to increase traffic safety in this route due to the increase in traffic and at the same time the possibility of connecting the east of the city and Tehran province to Tehran-North Freeway is the focus of this study. In addition, by establishing this communication, especially during peak traffic times, which usually occur during official holidays, or when there is a traffic problem in a part of the Tehran-North Freeway, It can help to traffic on Tehran – North Freeway.

Methodology

In this research, using geological maps, topography and satellite images, the initial identification of the active points of the field and the existing conditions of the route was done. Then, by determining the factors affecting the instability of the track domain, the information layers related to them were prepared in the GIS environment. Since the physical properties of sediments and rocks are considered to be the most important foundations of engineering calculations, along with field surveys and route zoning, sampling of soil and rock domains in order to know more precisely the effective Sedimentological and lithological characteristics. It was done on the slopes overlooking the road. In this regard, the important physical characteristics including internal friction angle and adhesion, grain measurement and determination of Atterberg limits in soil domains, compressive strength in rocky slopes, texture , sorting of sediments and slope rocks were investigated and compared.

Results and Discussion

According to the results of the tests, Physical properties including angle of internal friction, cohesion and texture are similar in a large number of harvested samples. This is consistent with the stratigraphy of the studied area. The results of the internal friction angle are in the range of 32 to 40 degrees and the soil cohesion is in the range of 0 to 0.02 kg/cm2, which indicates that the grain is separated and with low cohesion of the slopes and indicates the high ability of slope sediments to fall and slide .The grains sorting the sediments are also generally in a very poor range. But in the end ranges of the studied route, especially in the Shemshak area, they have a medium rating. The results of Atterberg tests also confirm the non-cohesion of the range sediments, and according to the results of the same test, it can be said that the possibility of range movements in the form of creep or solifluction is very limited. The results of the compressive strength of the rock slopes show that the uniaxial compressive strength of the rock slopes of the path, except for one case with a resistance of 23 kg/cm2, is generally in the range of 80 to 110 kg/cm2, which indicates the uniform characteristics of the rocks. The texture of these rocks varies depending on the type, but they are mainly includ limestones from Karaj, Shemshak, Route and Doroud, as well as pyroclastic rocks. Considering the texture, low compressive strength and layered nature of the rocks in the majority of the path, it can be predicted that the erosion potential as well as the power of falling of these slopes is high and its effects can be seen in different parts of the path. In the rocky slopes of the path to Fasham, the type of rock formations includes pyroclastic and limestone layers, and depending on the direction of the layering and the slope of the slope, the erosion performance varies from lahar erosion to the fall of stone fragments. The most prominent example of this function can be seen in the Haji Abad area after the Galukan bridge, where weathered sediments in the form of

Lahars are seen on the slopes of the road, and later, By changing the direction of the rock layers in relation to the road, rockfalls prevail.

By passing Meigun, changing the geological formations and the type of rocks, their compressive strength and texture also changed, subsequently the type of activity of the rocky slopes was also different. Rockfalls of the slopes were less seen and the stability of the slopes increased significantly.

Conclusion

The results obtained from the analysis of geomorphic factors, including weathering conditions, elevation, slope and hydrological data, show similar results with the results obtained from geomechanical tests on the samples of sediments and rocks on the slopes of the road in terms of the stability of the slopes. In general, the length of the road that has traversed the Alborzmountain range is mostly consistent with the stratigraphic structures of the route. The slope direction of the slopes in relation to the road trenches is one of the most important factors of slope instability in this route, in such a way that the direction of the slope of the rock layers or soil cover with the road trenches causes rock falls or slope slides in the route has been lengthened and at the same time it has affected the possibility of transverse expansion of the road. This research, which has been done by combining the information obtained from the analysis of geomorphological processes and the results obtained from geomechanical data, has the ability to be used in the evaluation of other transportation routes in the country and can be used to help manage the safety of the route as well as the road development plan by the Ministry of Roads and Urbanization is used.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved thecontent of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی

Journal Homepage: www.jphgr.ut.ac.ir

مقاله پژوهشی

ارزیابی پایداری ژئومورفیکی جاده لشکرک به دیزین با تاکید بر داده های ژئو مکانیکی با هدف ایمنی و توسعه

عطاله کاظمی ایمن آبادی – گروه جغرافیای طبیعی، پردیس کیش، دانشگاه تهران، تهران ایران

منصور جعفر بگلو[1] – گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران ایران

ابراهیم مقیمی – گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران ایران

اطلاعات مقاله

واژگان کلیدی:
ارزیابی مخاطرات جاده‌ای، ایمنی و توسعه جاده‌ها، پایداری ژئومورفیک، لشکرک – دیزین.

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۶/۱۱
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۱/۰۹/۱۰
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۱۱/۱۲
صص. ۴۹۶-۴۸۲

چکیده

جاده مورد مطالعه از لشکرک در شمال شرق تهران شروع و در ورودی لواسان با تغییر جهت به سمت شمال غربی با عبور از مناطق زردبند، رودک، حاجی آباد، فشم، میگون، جیرود، دورود، سه راهی دربندسر و شمشک به سمت دیزین در استان البرز امتداد می‌یابد. این جاده در شرایط فعلی با وجود داشتن بار ترافیکی نسبتاً زیاد از ایمنی مطلوبی برخوردار نیست بنابراین افزایش ایمنی مسیر جهت تسهیل ارتباط شرق شهر و استان تهران به آزاد راه تهران–شمال با توسعه این جاده، از اهداف اصلی مطالعه حاضر می‌باشد. در این تحقیق، با استفاده از نقشه‌های زمین-شناسی، توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای نسبت به شناسائی وضعیت دامنه‌های اطراف جاده و تهیه لایه‌های اطلاعاتی و منطقه‌بندی مسیر در محیط GIS اقدام شد و با نمونه‌برداری از سنگ‌ها و دامنه‌های خاکی جاده، آزمایش‌های ژئومکانیکی انجام گرفت و نتایج ارزیابی‌های ژئومکانیکی با پهنه‌های به دست آمده از داده‌های ژئومورفولوژیکی مورد مقایسه قرار گرفت و طول مسیر از نظر پایداری ژئومورفیکی و ایمنی جاده به شش طبقه تقسیم‌بندی شد. نتایج حاصله نشان داد که هم راستا بودن جهت شیب دامنه‌ها با جهت لایه‌های سنگی و پوشش خاکی دامنه‌های حاشیه جاده، از مهم‌ترین عوامل ناپایداری دامنه‌ای و تعیین کننده نوع فعالیت فرایندها در این مسیر است. این پژوهش که با روش تلفیق اطلاعات حاصل از نتایج ژئومورفولوژیکی و ژئومکانیکی انجام شده است، قابلیت کاربرد در ارزیابی سایر مسیرهای مواصلاتی کشور را داشته و می‌تواند جهت مدیریت ایمنی و توسعه جاده‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: کاظمی ایمن آبادی، عطاله؛ جعفر بگلو، منصور و مقیمی، ابراهیم. (۱۴۰۱). ارزیابی پایداری ژئومورفیکی جاده لشکرک به دیزین با تاکید بر داده های ژئو مکانیکی با هدف ایمنی و توسعه. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۴ (۴)، ۴۹۶-۴۸۲.

http://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.346394.1007718

۱. نویسنده مسئول

Email: mjbeglou@ut.ac.ir

مقدمه

سطح زمین متشکل از عارضه‌ها و اشکال مختلفی است که دائماً در حال تغییرند. این‌تغییر و تحول اشکال یا مورفودینامیک لندفرم‌های زمین، عامل مهمی در تعیین نوع بهره‌برداری و ایجاد تاسیسات مختلف در بستر زمین می‌باشد. راه‌ها به‌عنوان یکی از تاسیسات و شریان‌های حیاتی جوامع بشری با توجه به گسترش خطی و عبور از محیط‌های مورفوتکتونیک و مورفوکلیماتیک مختلف، تحت تاثیر فرایندهای ژئومورفولوژیکی مختص هرمحیط قرار می‌گیرند. نگهداری و مرمت راه‌های موجود و یا انتخاب مسیرهای بهینه برای احداث راه‌های جدید، مستلزم بهره‌گیری از یافته‌های علمی در رشته‌های مختلف علوم محیطی و علوم مهندسی است. در این میان اطلاعات مربوط به تحول لندفرم‌ها و سازوکار فرایندهای فعال در سطح زمین و نزدیک به سطح زمین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که از مطالعات ژئومورفولوژی حاصل می‌شوند. راه‌ها، زمینه رشد و توسعه اقتصادی و اجتماعی را فراهم ساخته و از بخش‌های مهم چشم‌اندازهای محیطی بوده و در برخی از موارد نیز از مظاهر تخریب توسط عوامل انسانی به شمار می روند. نگهداری بزرگراه‌ها و جاده‌های موجود در نواحی کوهستانی در مقابل عوامل وقوع لغزش‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ناپایداری دامنه های طبیعی بوسیله حرکات توده ای یکی از پدیده های ژئورمورفولوژیکی و زمین شناسی است که در تغییر شکل سطح زمین نقش موثری دارند بنابراین شناسائی مناطق مستعد حرکات دامنه ای از موضوعات مهم برای مدیریت ریسک خطر می باشد (کلکسن و همکاران ،۲۰۱۶). باتوجه به اینکه نتیجه ژئومورفولوژی بر محیط، تغییرات زیربنایی ساختارها در سطح زمین است (شافین و اسکون،۲۰۱۸). بنابراین می‌تواند جزو عوامل کاربردی در تشخیص مسیرهای ارتباطی مناسب در نظر گرفته شود. امروزه حفاری و خاک برداری برای احداث راه‌ها و ساختمان سازی در مجاورت ارتفاعات، از عوامل مهم در ناپایداری دامنه‌ای محسوب می‌شود (مختاری،۱۳۸۴).

ناپایداری‌ها برحسب نوع اقلیم، شکل و نوع پراکنش مکانی متفاوت هستند و در هر پهنه شکل‌زایی، فرایندهای هوازدگی خاصی فعالیت دارند که متناسب با ویژگی‌های اقلیمی در منطقه است (عمادالدین و همکاران،۱۳۹۳). ساخت و ساز راه و توزیع توده سنگی، شیب جاده را تغییر و فرسایش را افزایش می‌دهد. حرکت آب‌های زیرزمینی به دلیل فعالیت‌های ساخت و ساز، از عوامل زمین لغزش هستند (هی و همکاران،۲۰۱۹). زمین لغزش به مفهوم عام، ناشی از حرکات روبه پایین و بیرونی مواد شیب ساز است که ناشی از نیروی گرانشی زمین می‌باشد (پارادهان و سیدداقیو ،۲۰۲۰). محل‌های لغزش یک توده زمین خاکی و سنگی، عموما در شیب ۲۰–۴۰ درجه و بر اثر نفوذ آب در خاک سست و در نتیجه کاهش مقاومت به نسبت لایه‌های خاکی رخ می‌دهد (پورنومو و همکاران،۲۰۱۷).

از دیگر موارد ناپایداری دامنه‌ای، پدیده ریزش‌های سنگی است که دربریدگی های شیب بسیاری از جاده‌ها رخ می‌دهد. این پدیده با شناسائی شدت ریزش سنگ و در نظر گرفتن مشکلات ناشی از آن درطبقات مختلف شیب‌های دامنه‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد (اندریا نو پولوس و همکاران،۲۰۱۳) . مطالعه بر روی ناپایداری های دامنه‌ای به روش های مختلف و هدف های متفاوت انجام می‌گیرد. بعنوان مثال هارابینوف (۲۰۱۷) مطالعه بروی شیب‌های جادهای در اسلواکی را قبل و پس از اثر سیل سال ۲۰۱۰ با کمک نرم افزار GEO 5 انجام و سپس بر مبنای آن اقدامات اصلاحی را برای اطمینان از پایداری شیب‌های جاده را ارائه داد بطور کلی در بحث ایمنی راه‌ها مواردی نظیر مدیریت دسترسی راه‌های جانبی و وضعیت منطقه تقاطع، تعیین جانمائی مناسب جهت احداث تاسیسات جانبی راه نظیر توقفگاه‌ها و پمپ‌های سوخت، ایستگاه‌های اتوبوس، پاسگاه‌های پلیس، راهدارخانه‌ها، مراکز امداد جاده‌ای، ایستگاه‌های اخذ عوارض، گذرگاه‌های غیر همسطح، اصلاح گلوگاه‌ها و حذف یا کاهش نقاط پر تصادف، مورد توجه طراحان قرار می‌گیرد. همچنین در طراحی راه‌ها معیارهای طرح هندسی راه نظیر فاصله دید، قوس‌های مسیر، تغییر عرض راه، روشنائی راه، خروجی‌های اضطراری، عرض و دهانه پل‌ها، دیوارهای حایل، تونل‌ها،

حفاظ‌های ایمنی، ضربه‌گیرها و جداول حفاظتی توسط مهندسان راه‌سازی در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند در بحث‌های ایمنی جاده‌ای نیز مورد توجه باشد (نشریه شماره ۴۱۵ سازمان برنامه و بودجه ایران، آئین نامه طرح هندسی راه ایران).

مسیر جاده لشکرک شمشک به دیزین بطول۴۳ کیلومتر در استان تهران، یک راه فرعی درجه ۱ است که بنابر آیین‌نامه راه‌های ایران، برقرارکننده ارتباط بین یک بخش یا دهستان یا چندین روستا به راه با طبقه‌بندی بالاتر یا به شهر بزرگ‌تر است و به‌علت وجود مناظر طبیعی زیبا و اماکن ورزشی و تفریحی، از مسیرهای پرتردد و توریستی در استان تهران است. در مسیر مورد مطالعه، فرایندهای دامنه‌ای بستگی به جنس دامنه‌ها و فعالیت‌های زمین‌ساختی از تنوع زیادی برخوردارند که شامل ریزش‌های سنگی، لغزش، جریان واریزه و همچنین فعال شدن دامنه ها پس از ایجاد ترانشه می باشد.

با توجه به شرایط موجود، هرگونه ساخت و ساز بدون شناخت از وضعیت مورفودینامیکی موجود در مسیر، می‌تواند به برهم خوردن تعادل مورفولوژیک منطقه منجر شود. ایجاد ترانشه‌ها، تغییر وزن ناشی از خاک‌برداری و خاکریزی‌ها و از بین رفتن پوشش گیاهی موجود دامنه‌ها از جمله مواردی است که می‌توانند به عدم تعادل و ناپایداری دامنه‌ها در طول مسیر منجرگشته و نگهداری و توسعه راه موجود را با مشکل همراه سازند. این تغییرات به وجود آمده، همواره با عوامل مورفولوژیکی ارتباط داشته و عامل تاثیر گذاری در پایداری و کیفیت ساخت جاده هستند. انتخاب مناسب محل تونل‌ها، بهمن‌گیرها، دیوارهای حفاظتی دامنه‌ها، رعایت حداکثر شیب مجاز و کاهش پیچ و خم‌های جاده با مطالعه ویژگی‌های ژئومورفولوژیک، لیتولوژیک و زمین‌شناسی‌صورت می‌گیرد. در این پژوهش با استفاده از نتایج حاصل از مشاهدات میدانی و آزمایشگاهی (ژئوتکنیکی) مناطق با پتانسیل بالای تغییرات ژئومورفیک شناسائی و پهنه‌های خطر جهت مدیریت بهینه در طرح های توسعه جاده تعیین شده است که با استفاده از آنها می توان خسارت های مالی و جانی محتمل را کاهش داد.

روش پژوهش

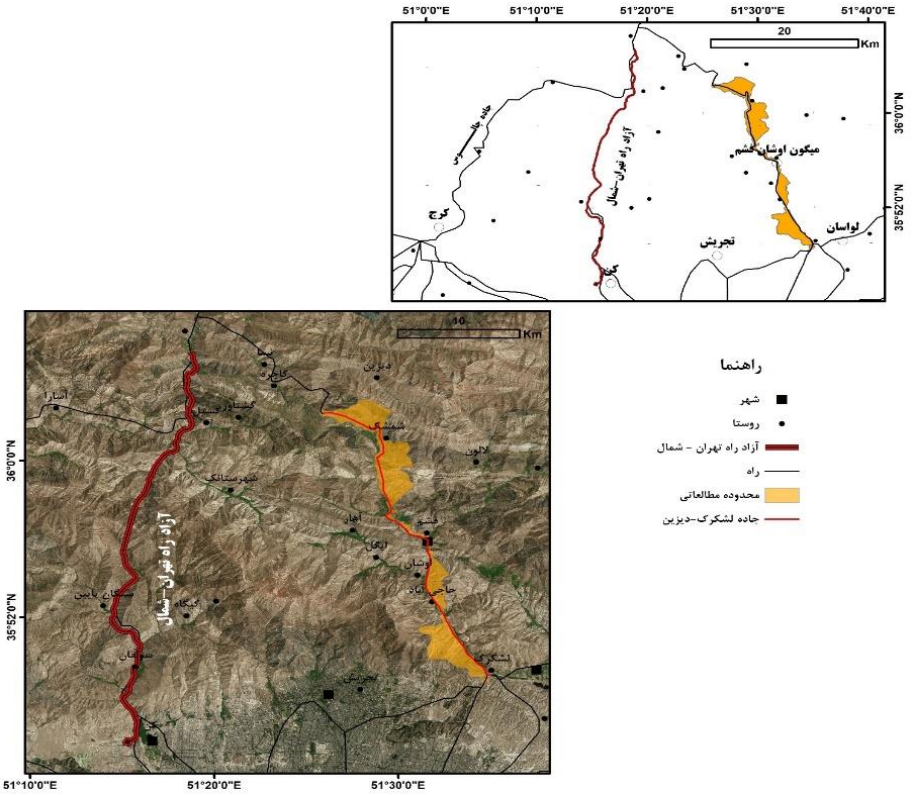
در این تحقیق ابتدا به جمع آوری اطلاعات از کتب، مجلات و نقشه‌ها و همچنین استفاده از منابع الکترونیکی و کتابخانه ای پرداخته شد و از داده های تصویری شامل تصاویر ماهواره LandSat8 مربوط به سال۲۰۲۰ میلادی و همچنین تصاویر Google Earth جهت تشخیص لندفرم‌ها استفاده گردید. سپس چند مرحله پیمایش میدانی جهت شناسائی نقاط مسئله‌دار در طول مسیر انجام شد و نمونه برداری از سنگ‌ها وخاک‌ها انجام گرفت. پارامترهای ژئومکانیکی نمونه‌های برداشت شده نیز با کمک روش‌های آزمایشگاهی ، نظیر آزمایش‌های دانه‌بندی به کمک الک‌های استاندارد، تعیین حد روانی و خمیری[1] بوسیله دستگاه کاساگراند، تعیین زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی بوسیله دستگاه برش مستقیم و تعیین مقاومت فشاری تک محوری[2] سنگ پس از تهیه نمونه های مناسب با کمک دستگاه مغزه‌گیری سنگ و جک‌های تعیین مقاومت فشاری تک محوره بدست آمد. همچنین پارامترهای ژئومورفومتری شامل جورشدگی[3] و بافت[4] نمونه‌های سنگ و خاک تعیین گردید. با کمک نرم افزارEnvi به بازسازی تصاویر جهت تشخیص لندفرم‌ها اقدام شد و با کمک نرم‌افزارهای ,ArcGIS Google Map, Global mapper, لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز محدوده مطالعاتی آماده و پهنه‌های ژئومورفیکی تهیه گردید پس از آن یافته‌های حاصل از آزمایش‌های ژئومکانیکی با نقشه‌ها و پهنه‌های تهیه شده تطبیق داده شد و با

1 . Atterberg Limite
2 . Uniaxial
3 . Sorting
4 . Texture

استفاده از ابزارهای تحلیل مکانی در محیط GIS به تجزیه و تحلیل داده‌ها و تولید نقشه‌های تفکیک میزان ناپایداری دامنه ها و ایمنی مسیر (شکل۱۱) اقدام گردید.

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، دامنه‌های مشرف بر جاده در طول مسیر لشکرک به شمشک در محدوده استان تهران است که از لشکرک در شرق تهران با مختصات جغرافیائی $35,48,21.4N - 51,34,28.1E$ شروع و تا غرب شمشک با مختصات جغرافیائی $36.02.23.4N - 51.25,35.6E$ امتداد دارد. ادامه مسیر در خارج از محدوده مورد مطالعه با عبور از دیزین تا جاده چالوس در استان البرز امتداد می یابد. درپژوهش حاضر دامنه‌های موثر بر جاده در طول این مسیر مورد بررسی قرار گرفته است. شکل شماره ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان داده است.



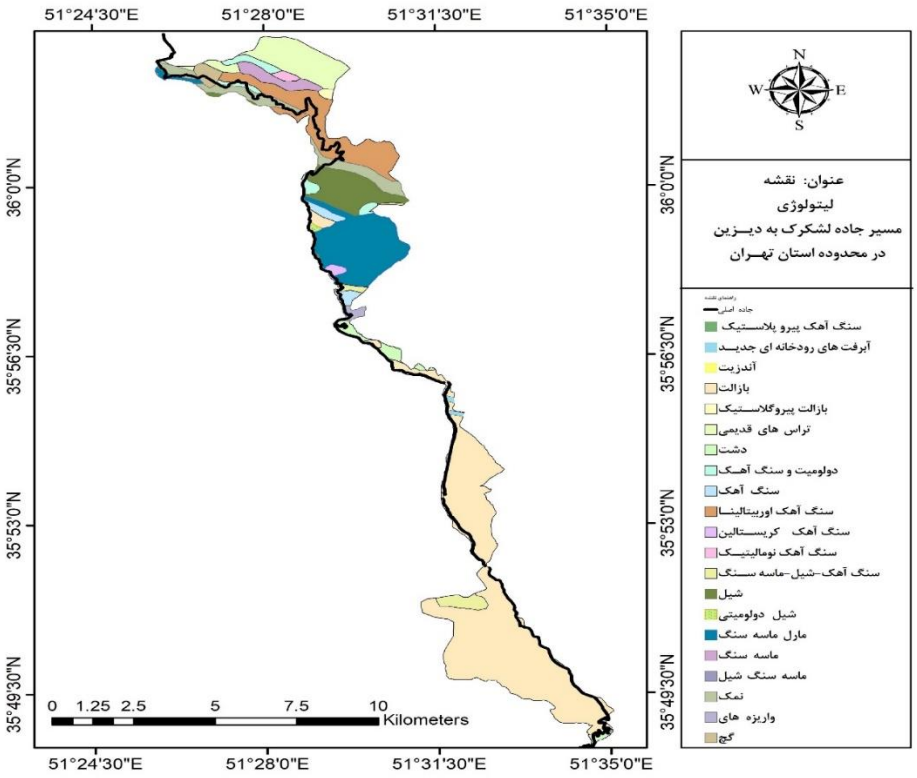
شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

یافته‌ها و بحث

داده‌های لیتوژئومورفولوژی

جهت تهیه نقشه زمین شناسی از ۲ برگه نقشه زمین شناسی مرزن آباد و شرق تهران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شده است. قسمت عمده لیتوژئومورفولوژی مسیر مورد مطالعه در ابتدای لشکرک با رسوبات سازند هزاردره شروع و سپس از ابتدای خروجی لواسان تا میگون رسوبات و سنگ‌های متنوع زون‌های مختلف سازند کرج دیده می‌شود. پس از میگون تا شمشک، سنگ‌های سازندهای جیرود، نسن، الیکا و شمشک در مسیر جاده رخنمون داشته و باتوجه به وضعیت لیتولوژی هر نوع از سنگ، عوارض ویژه خود را در مسیر دامنه‌ها بروز می‌دهند. طبق اطلاعات موجود، ۲۱ نوع سنگ و آبرفت در

منطقه مطالعاتی شناسایی شده است. سنگ‌های آذرین و آذرآواری[1] با ۴۲ درصد، سنگ آهک اوربیتولین‌دار[2] با ۱۰ درصد، شیل با ۶ درصد بیشترین مساحت منطقه را پوشش می‌دهند که هر کدام به ترتیب حدودا ۲۰۰۱، ۴۸۶، ۳۰۹ هکتار از مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. شکل ۲ نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

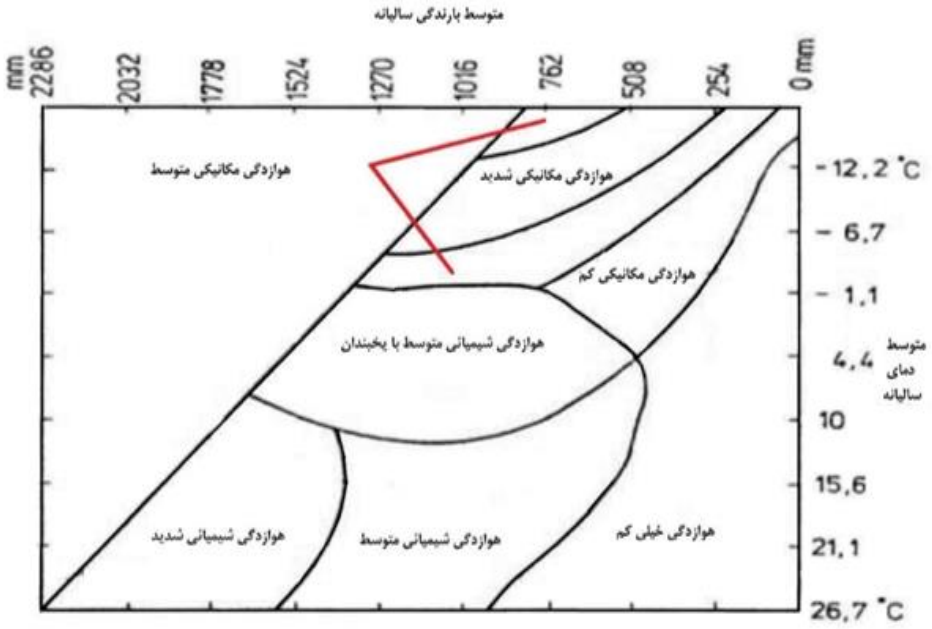


شکل ۲. نقشه زمین شناسی مسیر مورد مطالعه

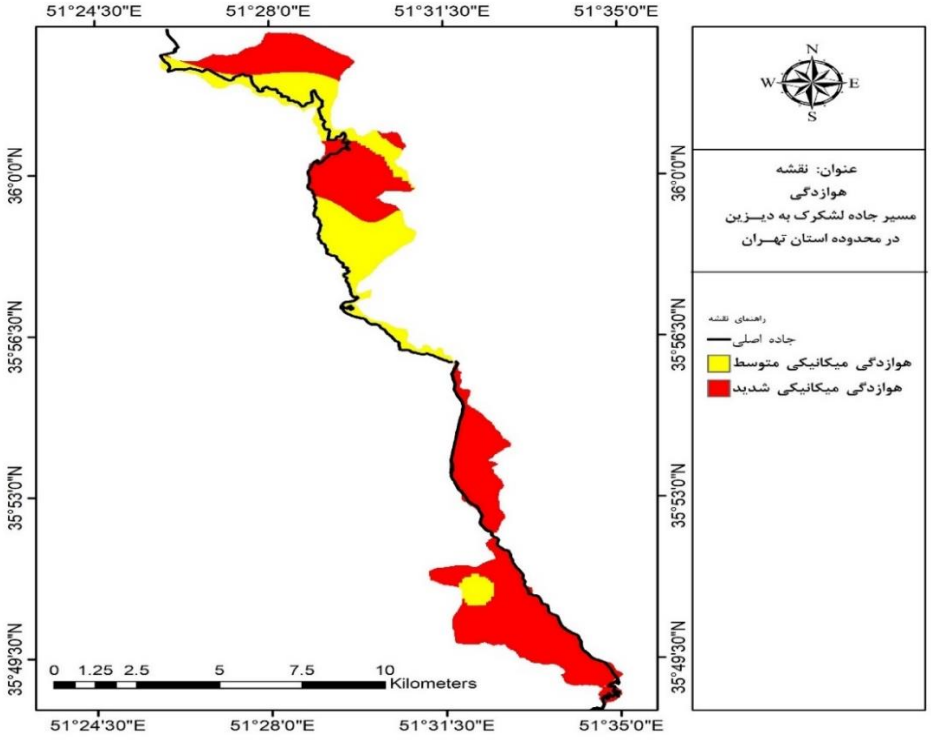
هوازدگی

هوازدگی به تغییر شکل سنگ‌های سطحی زمین که بر اثر فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و یا زیستی ایجاد می‌گردد، گفته می‌شود. این عمل می‌تواند به وسیله اقلیم، عوامل گیاهی و جانوری صورت گیرد. عمادالدین و همکاران (۱۳۹۳) شدت و تیپ هوازدگی در نقاط مختلف استان های تهران و البرز بررسی نمودند. نقشه هوازدگی منطقه با توجه به مدل (نمودار) پلتیر (شکل ۳) در محیط Raster Calculator ترسیم گردید. همانطور که در شکل مربوطه مشاهده می‌گردد، با دو نوع کلاس هوازدگی در منطقه مواجه هستیم که شامل کلاس هوازدگی مکانیکی متوسط با ۱۵۰۵/۸۵ هکتار از مساحت محدوده مورد مطالعه که با رنگ زرد نشان داده شده و کلاس هوازدگی مکانیکی شدید که با رنگ قرمز در تصویر مشخص شده و شامل۳۰۷۲/۱ هکتار از مساحت محدوده مورد مطالعه است. شکل ۴ نقشه هوازدگی مسیر مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1 . Pyroclastic
2 . Orbitoulin Limestone



شکل۳. نمودار پلتیر



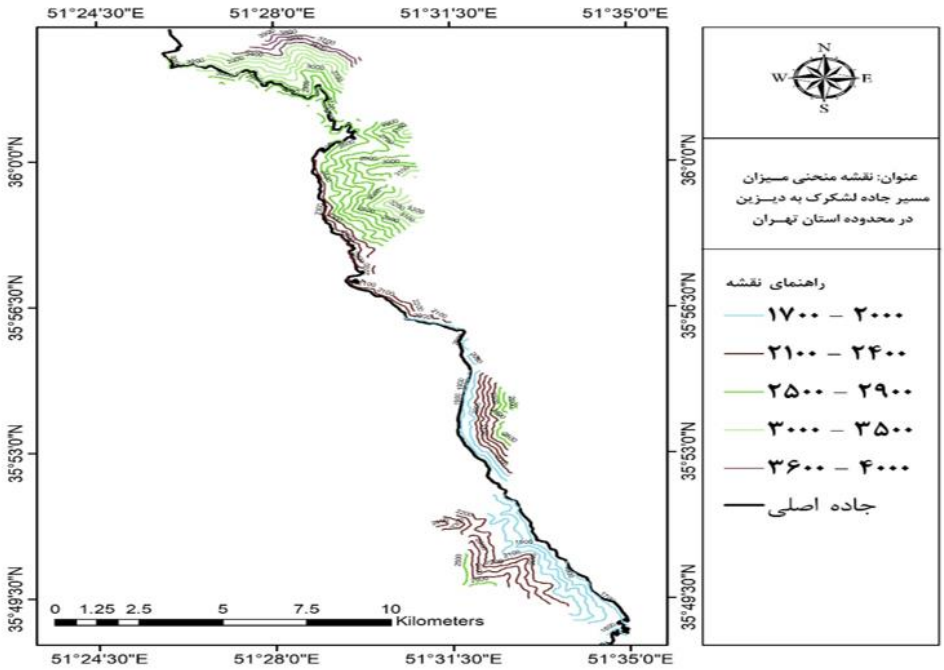
شکل٤. نقشه هوازدگی مسیر مورد مطالعه

وضعیت ارتفاعی و شیب

این لایه اطلاعاتی با استفاده از داده‌های DEM در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS و Global mapper تولید شده است. منطقه مورد نظر کوهستانی و دارای تغییرات ارتفاعی زیادی بوده که کم ارتفاع‌ترین بخش منطقه در جنوب و مرکز آن با ارتفاع حدود ۱۶۵۲ متر از سطح دریا و بیشترین ارتفاع در بخش شمالی با ارتفاع حدود ۳۹۰۰ متر از سطح دریا است که به

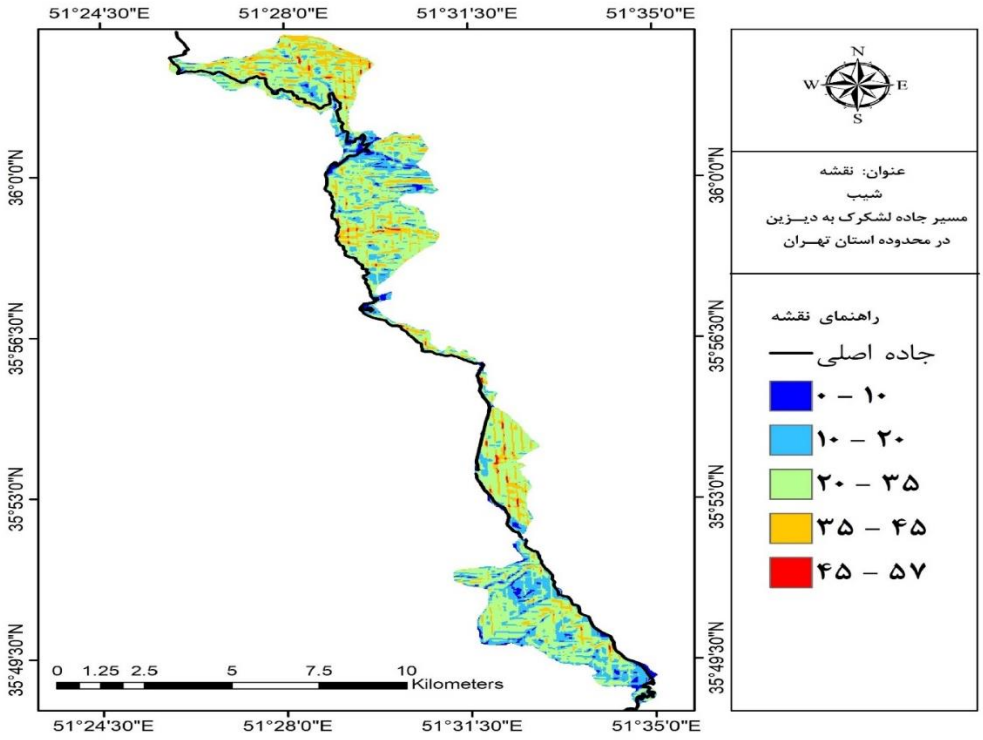
این ترتیب اختلاف ارتفاع مسیر مورد مطالعه به حدود ۲۳۰۰ متر می‌رسد. شکل ۵ وضعیت ارتفاعی مسیر از لشکرک تا شمشک که با استفاده از تصاویر Google Earth تهیه شده را نشان می‌دهد، شکل۶ نقشه توپوگرافی، شکل ۷ نقشه مقدار شیب و شکل ۸ نقشه جهت شیب‌های مسیر مطالعه را نشان می‌دهد.

شکل۵. وضعیت ارتفاعات و نیمرخ توپوگرافی مسیر

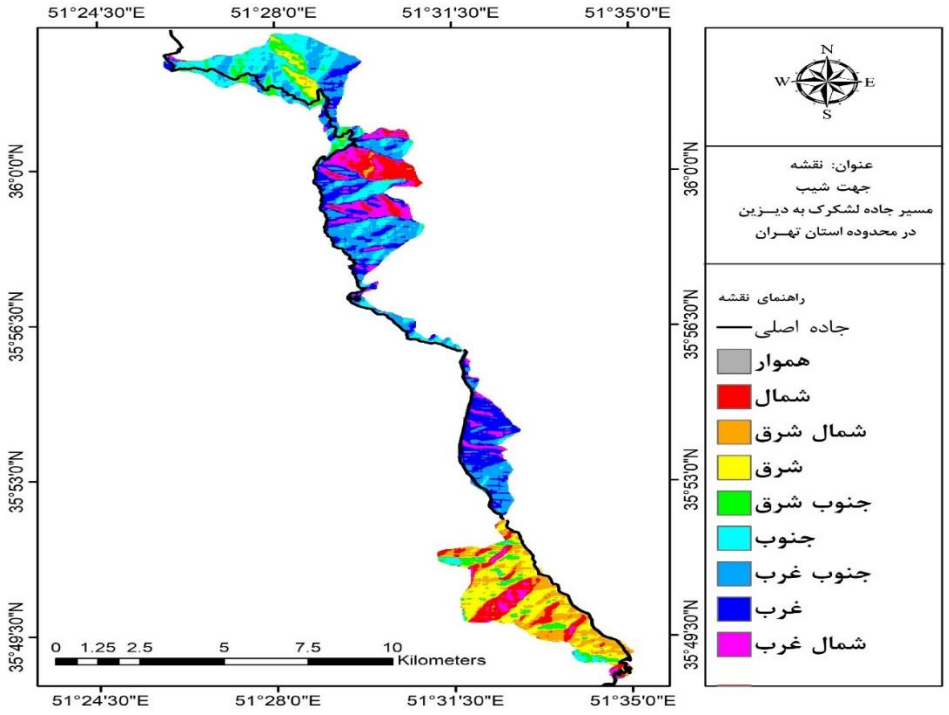


شکل ٦. نقشه توپوگراقی مسیر مورد مطالعه

نقشه شیب منطقه به درجه نیز با استفاده از لایه DEM بدست امده از ماهواره SRTM به ابعاد ۳۰ متر و در محیط نرم افزار Arc GIS تولید شده است. با توجه به اطلاعات موجود، شیب منطقه مورد مطالعه از ۰ تا ۵۷ درجه متغیر بوده که در ۵ کلاس طبقه‌بندی شد. بیشترین مساحت منطقه که حدود ۱۱۶۹ هکتار معادل ۲۶ درصد از کل منطقه بوده، دارای شیبی ۲۰ تا ۳۵ درجه است. دومین کلاس از نظر مساحت، مناطقی با شیب ۳۵ تا ۴۵ درجه را شامل می‌شود. این کلاس با داشتن مساحت ۱۱۳۶ هکتار، معادل ۲۵ درصد از مساحت منطقه بوده و سومین کلاس از نظر مساحت دارای شیب ۱۰–۲۰ درجه است که ۱۰۰۵ هکتار معادل ۲۲ درصد از مساحت را به خود اختصاص می‌دهد. کلاس‌های با ۰–۱۰ و ۴۵–۵۷ درجه شیب به ترتیب معادل ۵۳۹ و ۵۹۰ هکتار معادل ۱۲ و ۱۳ درصد از مساحت کل را پوشش داده‌اند. شکل ۷ نقشه مقدار شیب و شکل ۸ جهت شیب دامنه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد



شکل۷. نقشه مقدار شیب مسیر مورد مطالعه

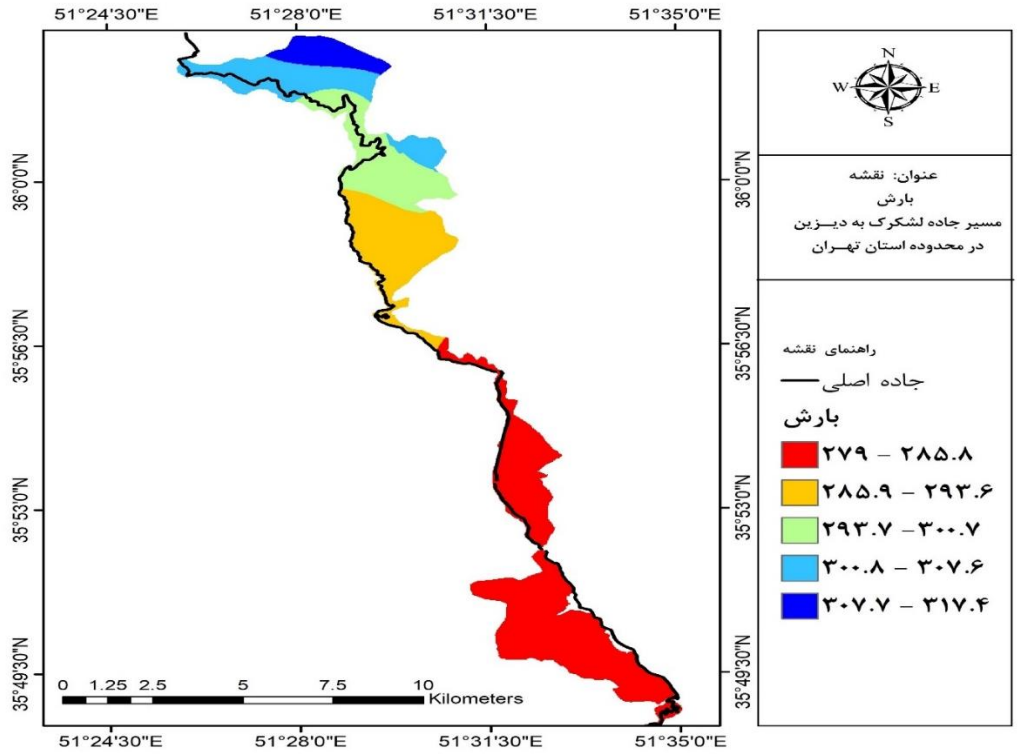


شکل۸. نقشه جهت شیب مسیر مورد مطالعه

داده‌های دما و بارش

جهت بررسی داده‌های آماری دما و بارش از اطلاعات آماری سال های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۹ ایستگاه‌های هواشناسی دربندسر، میگون، آهار، امامه، لالون و رودک استفاده شد و با محاسبه ضریب همبستگی بین این عناصر با تغییرات ارتفاع معادله

رگرسیون آن‌ها محاسبه گردید سپس با استفاده از داده‌های DEM منطقه در محیط GIS نسبت به درون‌یابی جهت تهیه نقشه‌های هم بارش و هم دما اقدام شد. خروجی نقشه‌ها نشان می‌دهد که متوسط بارندگی در محدوده و بازه زمانی مورد مطالعه ۲۹۰,۹ و دارای کمینه ۲۷۹ و بیشینه ۳۷۴ میلی‌متر در سال هستند. نقشه هم بارش در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده که کلاس ۲۷۹–۲۸۷ با ۴۵,۰۳ درصد بالاترین فراوانی را دارد و در جنوب محدوده مورد مطالعه واقع شده و هرچه به سمت شمال می‌رویم مقدار بارش افزوده شده تا اینکه در ارتفاع بالای ۴۰۰۰ متر مقدار بارش با ۳۷۴ میلی‌متر برابر با ۳,۹۶ درصد از کل مساحت منطقه را در بر می‌گیرد. همچنین بررسی داده‌های هواشناسی نشان می‌دهد که مقدار متوسط دما سالانه محدوده در بازه زمانی مورد مطالعه با حداقل دمای میانگین ۱/۷– درجه سانتیگراد و حداکثر میانگین ۲۳ درجه سانتی‌گراد است. شکل ۹ نقشه هم بارش مسیر مورد مطالعه را در دوره زمانی ۹۹–۱۳۸۸ نشان می‌دهد.

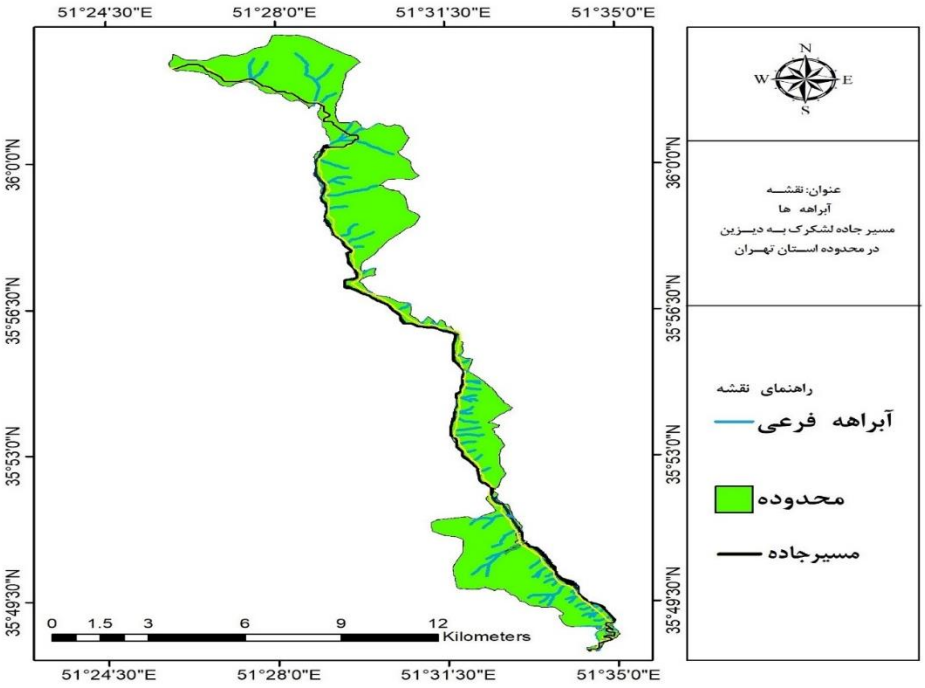


شکل۹. نقشه هم بارش مسیر مورد مطالعه(دوره زمانی ۹۹–۱۳۸۸)

آبراهه‌های مسیر

فرسایش و اشباع دامنه‌ها می تواند بر شروع فعالیت‌های دامنه‌ای تاثیر عمده داشته باشد (بوی و همکاران،۲۰۱۱). با توجه به اینکه قسمت عمده مسیر مورد مطالعه در حاشیه آبراهه اصلی منطقه (سرشاخه رودخانه جاجرود) قرار دارد و در مسیر خود نیز تعدادی از آبراهه‌های فرعی را قطع می‌نماید، نقش آب در گسیختگی شیب‌ها، بصورت عامل کاهش دهنده مقاومت مکانیکی موثر است (شریفی پیچون و همکاران، ۱۴۰۰). با توجه به تحقیقات صورت گرفته توسط فیاضی و همکاران (۱۳۸۸) می‌توان استنباط نمود که زیر حوضه‌های فشم و میگون دارای کمترین مشکلات ناشی از فرسایش و رسوب‌گذاری بوده و پس از پیوستن زیر حوضه آهار به مسیر مورد مطالعه همچنان مشکل خاصی در براورد رسوب‌گذاری و فرسایش مسیر مشهود نیست، اما برابر اطلاعات بدست آمده، بیشترین تولید رسوب مربوط به زیر حوضه امامه است که علت آن را

می‌توان شیب زیاد این زیر حوضه، زمان تمرکز پائین و تراکم بالای آن دانست که طبیعتاً پس از اتصال این آبراهه به آبراهه اصلی مسیر، می‌توان انتظار داشت که بر میزان رسوبگذاری افزوده شده و باید تمهیدات مناسب برای اجتناب از تاثیر نامطلوب آن بر مسیر در نظر گرفته شود. شکل۱۰ نقشه فاصله آبراهه‌های مسیر مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل۱۰.آبراهه های مسیر مورد مطالعه

داده‌های ژئومکانیکی

از آنجائی که خصوصیات فیزیکی رسوبات و سنگ‌ها از مهم‌ترین پایه‌های محاسبات مهندسی محسوب می‌گردد، جهت شناخت دقیق‌تر خصوصیات فیزیکی رسوبات و سنگ‌های دامنه‌های مشرف به جاده نسبت به نمونه برداری و انجام آزمایشات در طول مسیر اقدام گردید. در این خصوص، خصوصیات فیزیکی مهم شامل زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی، دانه سنجی و تعیین حد خمیری و روانی[1] در دامنه‌های خاکی، مقاومت فشاری در دامنه‌های سنگی و بافت و جورشدگی رسوبات و سنگ های دامنه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. بافت سنگ‌ها بستگی به جنس متنوع بوده ودر جدول شماره ۱ ذکر شده است. با توجه به بافت، مقاومت فشاری کم و لایه لایه بودن سنگ‌های دامنه‌ای در غالب نقاط مسیر می‌توان پیش بینی نمود که پتانسیل فرسایشی و همچنین توان ریزشی این دامنه‌ها زیاد بوده و نمونه آثار آن نیز در مسیر قابل مشاهده است. در دامنه‌های سنگی مسیر تا فشم، جنس قالب سنگ‌های دامنه‌ای شامل لایه‌های پیروکلاستیک و آهکی بوده و بسته به جهت شیب، لایه‌بندی و شیب دامنه‌ها عملکرد فرسایشی متفاوت داشته و از فرسایش بصورت جریان‌های لاهاری تا سقوط قطعات سنگی متفاوت است. شاخص‌ترین مثال این عملکرد در منطقه حاجی آباد بعد از پل گلوکان دیده می‌شود که در بخشی از دامنه‌های مسیر جاده، رسوبات هوازده به شکل لاهار دیده شده و در ادامه با تغییر جهت شیب لایه‌های آهکی نسبت به جاده، ریزش‌های سنگی غالب می‌شود. با عبور از میگون و تغییر سازندهای زمین شناسی و جنس

1 . Atterberg Limite

سنگ‌ها، مقاومت فشاری و بافت آن‌ها نیز تغییر یافته و متعاقبا نوع فعالیت دامنه‌های سنگی نیز متفاوت شده و ریزش‌های سنگی دامنه‌ها کمتر شده و پایداری دامنه‌ها به شکل چشم‌گیری افزایش می‌یابد.

بحث

جهت شناسائی وضعیت پایداری دامنه‌ها در طول راه مورد مطالعه، نخست ۲۵ نقطه شاخص مسیر از نظر ژئومورفولوژیکی و فعالیت‌های دامنه‌ای شامل مناطق با دامنه‌های ایمن، نسبتا ایمن، نسبتا نا ایمن، نا ایمن و بسیار ناایمن مشخص و سپس در هر منطقه نمونه‌برداری رسوبات خاکی و سنگی دامنه‌ها انجام گرفت و پس از آزمایش های ژئومکانیکی شامل آزمایش‌های دانه‌بندی جهت تعیین درصد دانه‌های تشکیل دهنده بافت‌های خاکی و تعیین جورشدگی دانه‌ها، آزمایش تعیین حدود آتربرگ جهت مشخص شدن میزان حد روانی و خمیری خاک‌های دامنه‌ای و همچنین آزمایش برش مستقیم جهت تعیین میزان زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نمونه‌های خاکی انجام شد. همچنین با نمونه برداری از قطعات سنگی وتهیه مغزه سنگ مناسب با کمک دستگاه مغزه گیری[1]، نمونه‌های لازم جهت انجام آزمایش تهیه و نسبت به تعیین مقاومت فشاری تک محوری با کمک جک تعیین مقاومت فشاری تک محوری سنگ اقدام شد. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش های انجام شده که در (جدول۱) نشان داده شده است، بطور کلی می‌توان گفت که خصوصیات فیزیکی رسوبات دامنه‌ای شامل زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی و جورشدگی و بافت در بخش بزرگی از نمونه‌های اخذ شده در طول مسیر مشابه هستند که این موضوع با روند لیتولوژی و چینه شناسی دامنه‌های مسیر نیز منطبق است. نتایج زاویه اصطکاک داخلی در محدوده ۳۲ تا ۴۰ درجه و چسبندگی خاک نیز در محدوده صفر تا ۰/۰۲ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است که نشان دهنده دانه‌بندی منفصل و با چسبندگی کم دامنه‌ها بوده و بیانگر قابلیت زیاد رسوبات دامنه‌ای جهت ریزش و لغزش است. جورشدگی دانه‌های رسوبی تشکیل دهنده دامنه‌ها نیز عموما در محدوده بسیار ضعیف قرارگرفته و فقط در محدوده‌های انتهائی مسیر مورد مطالعه بویژه در منطقه شمشک دارای جورشدگی متوسط هستند. نتایج آزمایش های حد خمیری و روانی نیز عدم چسبندگی رسوبات دامنه‌ای را تائید می‌نماید و با توجه به نتایج همین آزمایش می‌توان گفت که امکان حرکات دامنه‌ای بصورت سولیفلکسیون بسیار محدود است. نتایج مقاومت فشاری دامنه‌های سنگی نشان می‌دهد که مقاومت فشاری تک محوری سنگ‌های دامنه‌ای مسیر جز یک مورد با مقاومت ۲۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، عموما در محدود ۸۰ تا۱۱۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع بوده که به خصوصیات یکنواخت سنگ‌های مسیر اشاره دارد.

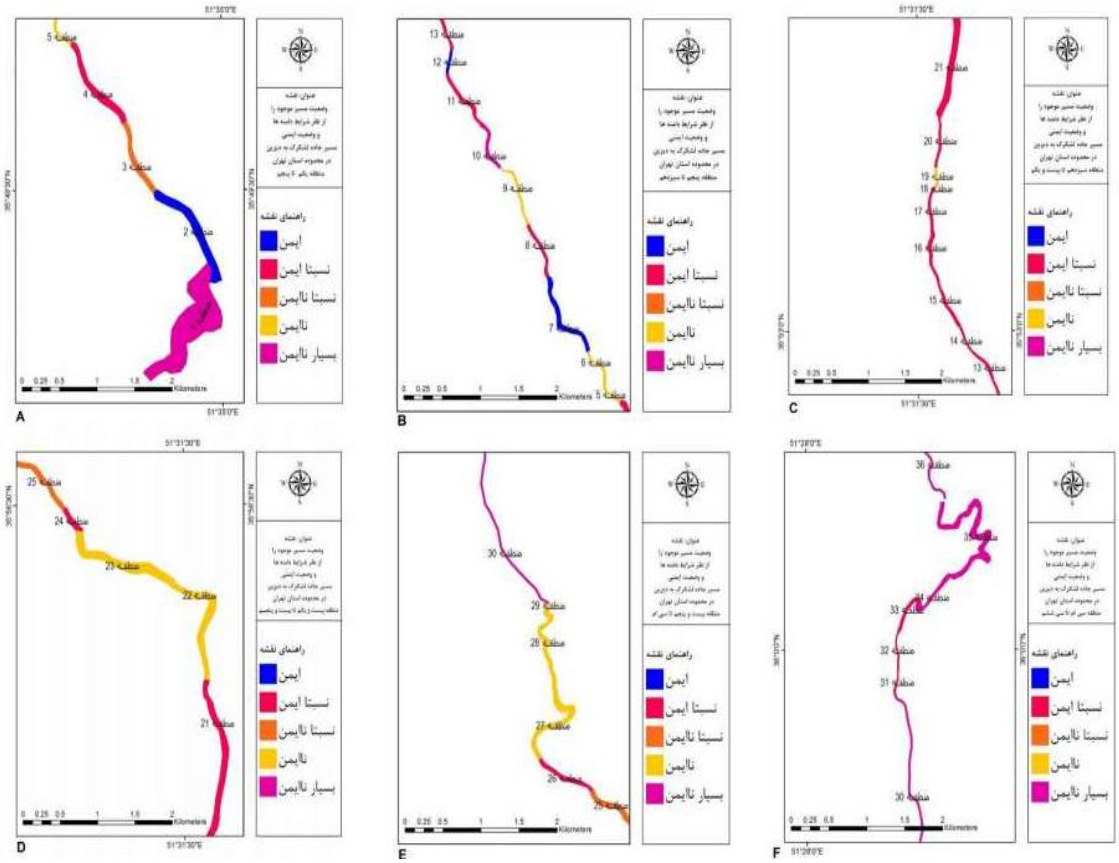
با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌های ژئومکانیکی و با فرض تشابه عملکرد دامنه‌های مسیر با شرایط ژئومورفولوژیک و ژئودینامیکی مشابه، با استفاده از نرم افزار Global mapper فرم‌های KML زون‌های مشخص شده در نرم افزار Google earth به حالت Shape file تبدیل شدند و در ادامه در محیط ArcGIS با سایر لایه‌های اطلاعاتی تلفیق شدند سپس نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه‌ها با منطقه‌بندی‌های ایجاد شده مطابقت داده شد و با استفاده از ابزار Reclassify مسیر مورد مطالعه از نظر ایمنی و ناپایداری دامنه‌ها در ۶ بخش ایمن، نسبتاً ایمن، نسبتاً ناایمن، ناایمن و بسیار ناایمن طبقه‌بندی شده و کل مسیر در نقشه‌های پیوسته بصورت مجزا ترسیم شد. شکل شماره ۱۱ نقشه تفکیکی میزان ناپایداری دامنه‌ها و ایمنی طول مسیر را نشان می‌دهد. باتوجه به نقشه های ناپایداری دامنه‌ها (شکل شماره۱۱) می توان گفت که در حدفاصل لشکرک تا ورودی لواسان به منظور ایمنی جاده نیاز است نسبت به پایداری دامنه‌ها در برابر آبشستگی و لغزش‌های احتمالی، پیش بینی‌های لازم بعمل آید. ضمن اینکه شیب زیاد جاده مانع از اصلاح زیرسازی و کارائی قابل قبول آسفالت‌های اجرا شده بویژه در پیچ‌ها و منحنی‌های جاده گردیده و هزینه‌های زیادی را جهت تعمیر و نگهداری راه تحمیل می‌نماید. بهترین گزینه در این بخش ساخت و جایگزینی مسیری جدید بجای جاده فعلی است. در حدفاصل زردبند –رودک – حاجی آباد تا مسافت حدودا" ۴ کیلومتر، مسیر دارای ایمنی نسبتاً مناسب است اما پس از آن

1 . Core

تا انتهای این بخش از مسیر، دامنه‌ها متناوبا با شیب تندتر و فرسایش شدیدتر و دارای ریزش‌های سنگی و خاکی (لاهار) است که در بخشی از مسیر سعی شده با استفاده از شبکه‌ها و دیواره‌های توری فلزی از خطرات احتمالی برای خودروهای عبوری جلوگیری گردد. در بخش دیگری از این مسیر نیاز است تا با استفاده از دیواره‌های حائل نسبت به رفع خطر روانه های لاهاری دامنه‌ها اقدام گردد. در این منطقه شیب جاده متعادل و فضای لازم برای گسترش عرضی مسیر فعلی در بیشتر نقاط وجود دارد. در حد فاصل حاجی آباد –اوشان– فشم– میگون، دامنه‌ها مستعد لغزش و ریزش‌های واریزه‌ای بوده و در نقاط زیادی از مسیر آثار لغزش‌های قدیمی و جدید به چشم می‌خورد. در این منطقه با خاک‌برداری دامنه‌ها امکان گسترش عرضی جاده مقدور بوده و هم‌زمان نیاز به تثبیت دامنه‌ها با روش‌هایی نظیر استفاده از پوشش گیاهی مناسب، زهکشی دامنه، استفاده از خاک‌ریز یا آب برگردان، تغییر هندسه شیب، شمع کوبی، استفاده از دیواره‌های حائل یا محافظ، استفاده از میل مهار و کابل مهار، استفاده از ژئوتکستایل و استفاده از تکنیک‌های تراکم ضروری است. ضمن اینکه در ورودی شهرهای فشم و میگون بدلیل فضای متراکم شهری و همچنین اجتناب از تخریب دامنه‌ها، می‌توان با استفاده از پل‌های روگذر نسبت به تغییر مسیر جاده فعلی و احداث کمربندی اقدام نمود. پس از میگون تا انتهای مسیر مورد مطالعه (حدفاصل میگون – جیرود– دورود – لشکرک– دربند سر) با فاصله گرفتن از میگون و با افزایش مقاومت لیتولوژیک سنگ‌های دامنه‌ها، جاده باریک شده و با توجه به شیب تند دامنه‌های سنگی در یک سمت جاده و وجود دره ناشی از فرسایش رودخانه در حاشیه دیگر آن، امکان گسترش عرضی راه فعلی در بخشی از مسیر مقدور نبوده و در صورت طرح توسعه راه، نیاز به حفر چند قطعه تونل تا دورود ضروری به نظر می‌رسد.

جدول ۱. نتایج آزمایش های انجام شده بروی نمونه ها

مختصات جغرافیائی محل نمونه برداری		Texture	Sorting	C	Ø	q (Mpa)	حدود آتربرگ	
طول	عرض						LL	PL
35°, 48 ,́23.07	51°, 34 ,́27.48	Silty gravel with sand		0.06	32.2	-	NLL	NPL
35°, 48 ,́29.5	51°, 34 ,́39.48	Silty gravel with sand	Poorly Sorted	0.08	31.8	-	NLL	NPL
35°, 48 ,́46.8	51°, 34 ,́49.16	Silty gravel with sand	Poorly Sorted	0.05	32.8	-	NLL	NPL
35°, 49 ,́27.86	51°, 34 ,́25.35	Limoneux	-	-	-	83	-	-
35°, 49 ,́49.5	51°, 34 ,́10.20	Limoneux	-	-	-	92	-	-
35°, 50 ,́33.17	51°, 33 ,́31.26	Argileues	-	-	-	23	-	-
35°, 51 ,́19.7	51°, 32 ,́22.99	Cobble &Pebble &gravel Sand with	Moderately Sorted	0.01	40.0	-	NLL	NPL
35°, 51 ,́28.52	51°, 32 ,́52.92	Gravel with Silt & Sand	Poorly Sorted	0.02	37.2	-	NLL	NPL
35°, 51 ,́51.57	51°, 32 ,́37.18	Silty gravel with Sand	Poorly Sorted	0.07	33.0	-	NLL	NPL
35°, 51 ,́58.5	51°, 32 ,́30.50	Gravel with Silt & Sand	Poorly Sorted	0.02	34.6	-	NLL	NPL
35°, 52 ,́8.7	51°, 32 ,́28.10	Limoneux	-	-	-	95	-	-
35°, 52 ,́45.13	51°, 32 ,́09.96	Silty gravel with sand	Poorly Sorted	0.08	31.4	-	NLL	NPL
35°, 53 ,́27.62	51°, 31 ,́37.65	Silty gravel with sand	Poorly Sorted	0.04	32.6	-	NLL	NPL
35°, 53 ,́45.7	51°, 31 ,́38.70	Gravel with Silt & Sand	Poorly Sorted	0.03	35.0	-	NLL	NPL
35°, 54 ,́16.33	51°, 31 ,́42.80	Silty gravel with Sand	Poorly Sorted	0.03	33.8	-	NLL	NPL
35°, 54 ,́48.5	51°, 31 ,́52.29	Silty gravel	Poorly Sorted	0.06	35.0	-	NLL	NPL
35°, 55 ,́58.32	51°, 31 ,́31.42	Silty gravel with sand	Poorly Sorted	0.02	37.0	-	NLL	NPL
35°, 56 ,́04.13	51°, 31 ,́17.56	Pyroclastic	-	-	-	108	-	-
35°, 56 ,́07.39	51°, 31 ,́0.79	Gravel with Silt & Sand	Poorly Sorted	0.04	36.0	-	NLL	NPL
35°, 56 ,́11.8	51°, 30 ,́42.2	Pyroclastic	-	-	-	105	-	-
35°, 57 ,́8.2	51°, 29 ,́25.3	gravel with Sand	Moderately Sorted	0.06	34.9	-	NLL	NPL
35°, 57 ,́14.31	51°, 29 ,́36.51	gravel with Sand	Poorly Sorted	0.00	40.0	-	NLL	NPL
35°, 58 ,́34.87	51°, 29 ,́1.68	Aphanetic	-	-	-	110	-	-
36°, 1 ,́31.34	51°, 28 ,́38.45	gravel with Sand	Moderately Sorted	0.00	40.0	-	NLL	NPL
35°, 2 ,́15.47	51°, 26 ,́51.93	gravel with Silt	Moderately Sorted	0.06	33.5	-	NLL	NPL



شکل۱۱. نقشه‌های تفکیکی میزان ناپایداری دامنه ها و ایمنی مسیر مورد مطالعه به ترتیب حروف از لشکرک تا شمشک

نتیجه‌گیری

بحث ایمنی و گسترش جاده‌های مواصلاتی از منظر اقتصادی و اجتماعی همواره مهم بوده و مسیر مورد مطالعه نیز با توجه به گسترش مراکز جمعیتی و اقتصادی در اطراف آن از این امر مستثنی نیست. مطالعات انجام شده در مسیر مورد مطالعه می‌تواند به عنوان مطالعات اولیه، جهت افزایش ایمنی و توسعه سایر راه‌ها نیز توسط مراجع مربوطه مد نظر قرار گیرد. در مجموع با توجه به مطالعات انجام شده و شرایط عمومی این جاده می‌توان گفت که برای افزایش ایمنی و توسعه مسیر در بخش‌هائی از آن امکان توسعه عرضی و افزایش باند رفت و امد امکانپذیر بوده اما در بخش‌های ابتدائی یعنی از لشکرک تا ورودی لواسان (گردنه قوچک) نیازمند ایجادمسیر مناسب جدید ضروری بنظر می‌رسد که با توجه به اختلاف ارتفاع زیاد این منطقه استفاده از پل جهت اصلاح شیب پیشنهاد می‌گردد. در انتهای مسیر نیز جهت ارتباط به دیزین درحال حاضر عبور از منطقه شمشک با شیب زیاد امکان‌پذیر است که با توجه به شرائط خاص ارتفاعی و پیچ‌ها و شیب‌های تند مسیر، امکان توسعه این قسمت منطقی بنظر نمی‌رسد و تغییر مسیر موجود از دو راهی دربندسر و حفر تونل ارتباطی پس از دربندسر تا دیزین می‌تواند گزینه مناسب، اقتصادی و ایمن جهت ارتباط آن با آزاد راه تهران شمال باشد.

تقدیر و تشکر

این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

۱) افشاری آزاد، محمدرضا و پورکی، هاله. (۱۳۹۱). ارزیابی مخاطرات محیطی و ژئومورفولوژیکی و نقش آن در حمل و نقل جاده ای (مطالعه موردی:گردنه الماس). *نشریه جغرافیا و برنامه ریزی*، ۱۶ (۴۲)، ۲۳-۴۴.

۲) آئین نامه طراحی هندسی راه ایران. (۱۳۹۱). *معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری*.

۳) حاجی حسینلو، حسن. (۱۳۹۵). ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه ولدیان با استفاده از روش آنبالاکان، شرق شهرستان خوی. *فصلنامه جغرافیایی سرزمین* ، ۵۲، ۲۱-۳۸.

۴) رجبی بانیابی، سیران و خندان، محمد. (۱۳۹۸). *مطالعه و بررسی مکانیک خاک ناپایداری دامنهای دربندسر به منظور ارائه روش پایداری*، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، وزارت صنعت، معدن، تجارت.

۵) شریفی پیچون، محمد؛ شیرانی، کورش و شیرانی، مائده. (۱۴۰۰). اولویت بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمینلغزش و پهنه بندی حساسیت آن بـــا اســـتفاده از روش رگرســـیون چنـــدمتغیرهٔ خطی مطالعه موردی: حوضه آبریز و هرگان- غرب استان اصفهان. *هیدروژئومورفولوژی*، ۸ (۲۶) ، ۱۳۹-۱۶۳.

۶) عمادالدین، سمیه؛ نامجو، فخرالدین؛ محمدی، شهرام و ولوی، روزبه. (۱۳۹۳). پهنه بندی قلمرو هوازدگی سنگ ها در استان تهران و البرز. *دو فصلنامه ژئومورفواوژی کاربردی ایران*،۴، ۵۹-۷۷.

۷) فیاضی، فائزه؛ بوربوری، فرج الله؛ نخعی، محمد و متکان، علی اکبر. (۱۳۸۸). برآورد میزان تولید رسوب رودخانه جاجرود در بالا دست سد لتیان با استفاده از رگرسیون چند متغیره. *زمین شناسی ژئوتکنیک*، ۳ ،۲۱۳-۲۱۹.

۸) کرم، امیر؛ آقاعلیخانی، مرضیه؛ قلی زاده، آیلا و احمدزاده، حسن. (۱۳۹۴). پهنه بندی مناطق مستعد حرکات دامنه ای(مطالعه موردی: شهرستان ماکو). *جغرافیا و مطالعات محیطی*، ۱۴ ، ۲۰۵-۱۹۳.

۹) مختاری، داود. (۱۳۸۴). ارزیابی ژئومورفولوژیکی بخشی از مسیر راه تبریز-مرند درگردنه پیام پیام در شمال غرب ایران. *فصلنامه مدرس علوم انسانی*، ۹ (۴)،۱۱۱-۸۷.

۱۰) مقصودی، مجتبی؛ جعفربگلو، منصور و جعفری، رضا. (۱۳۹۹). ارزیابی تکتونیک فعال در حوضه های حبله رود و کردان براساس شاخص‌های ژئومورفیک. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۳۵، ۷۷-۵۷.

References

1) Afshari Azad, M. R., & Pouraki, H. (2011). Evaluation of environmental and geomorphological hazards and its role in road transportation (case study: Gardne Almas). *Journal of Geography and Planning, 16* (42), 23-44. [In Persian].

2) Afshari Azad, M., & Pourki, H. (2013). Assessment of environmental and geomorphological hazards and its role in road transportation (case study: Gardne Almas). *Scientific and Research Journal of Geography and Planning, 16* (42), 23-44.

3) Andrianopoulos, A., Saroglou, H., & Tsiambaos, G. (2013). Rockfall hazard and risk assessment of road slopes. *Bulletin of the Geological Society of Greece, 47*(4), 1664-1673.

4) Bou kheir, R.; Cerdan, O. & Abdelah, C. (2006). Regional soil erosion risk mapping in Lebanon. *Geomorphology, 82*, 347-359.

5) Brandolini, P., Cappadonia, C., Luberti, G. M., Donadio, C., Stamatopoulos, L., Di Maggio, C.,& Del Monte, M. (2020). Geomorphology of the Anthropocene in Mediterranean urban areas.Progress in Physical Geography. *Earth and Environment, 44*(4), 461-494.

6) Bui, D.T., Lofman, O., Revhaug, I., & Dick, O. (2011). Landslide susceptibility analysis in the Hoa Binh province of Vietnam using statistical index and logistic regression. *Natural Hazards, 59* (3), 1413-1444.

7) Chaffin, B. C., & Scown, M. (2018). Social-ecological resilience and geomorphic systems. *Geomorphology, 305*, 221-230.

8) Colkesen, I.; Sahin, E. and Kavzoglu, Taskin .2016. Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression. *Journal of African Earth Sciences, 118*, 53-64.
9) Devkota, Ch., Regmi, A. D., Pourghasemi, H. R., Yoshida, K., Radhan, B., Ryu, Ch., Dhital, O, F. (2013). Landslide susceptibility mapping using certainty factor, Index of Entropy and Logestic Regression in GIS and their comparison at Mugling- Narayanghat road section in Nepal Himalaya. *Natural hazard, 65*, 135-165.
10) Emaduddin, S., Namjoo, F., Mohammadi, Sh., & Valvi, R. (2013). Zoning of rock weathering territory in Tehran and Alborz province. *Two Quarterly of Applied Geomorphology of Iran, 4*, 59-77. [In Persian].
11) Emaduddin, S., Namjoo, F., Mohammadi, Sh., & Valvi, R. (2014). Zoning of rock weathering territory in Tehran and Alborz province. *Bi-Quarter Journal of Applied Geomorphology of Iran, 2* (4), 77-59.
12) Fayazi, F., Burbouri, F., Nakhai, M., & Mutkan, A. A. (1388). Estimation of sediment production rate of Jajroud River upstream of Letyan Dam using multivariate regression. *Geotechnical Geology, 3*, 213-219. [In Persian].
13) Haji Hosseinlou, H., & Moghadam Dizj Herrik, M. (2015). Landslide risk assessment and zoning in Voldian region using Anbalakan method, East of Khoi city. *Scientific-Research Geographic Quarterly, 52*, 21-38.
14) Haji Hosseinlu, H. (2015). Landslide risk assessment and zoning in Voldian region using Anbalakan method, east of Khoy city. *Geographical Quarterly of the Land, 52*, 21-38. [In Persian].
15) Harabinová, S. (2017). Assessment of slope stability on the road. *Procedia engineering, 190*, 390-397.
16) He, K., Ma, G., Hu, X., Luo, G., Mei, X., Liu, B., & He, X. (2019). Characteristics and mechanisms of coupled road and rainfall-induced landslide in Sichuan China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk, 10*(1), 2313-2329.
17) Karam, A., Agha Alikhani, M., Qolizadeh, A., & Ahmadzadeh, H. (2014). Zoning of areas susceptible to range movements (case study: Mako city). *Quaternary Journal of Iran, 14*, 193-205.
18) Karam, A., Agha Alikhani, M., Qolizadeh, A., & Ahmadzadeh, H. (2014). Zoning of areas prone to range movements (case study: Mako city). *Geography and Environmental Studies, 14*, 193-205. [In Persian].
19) Komadja, G. C., Pradhan, S. P., Oluwasegun, A. D., Roul, A. R., Stanislas, T. T., Laïbi, R. A., & Onwualu, A. P. (2021). Geotechnical and geological investigation of slope stability of a section of road cut debris-slopes along NH-7, Uttarakhand, India. *Results in Engineering, 10*, 100227.
20) Liu, Z., Gilbert, G., Cepeda, J. M., Lysdahl, A. O. K., Piciullo, L., Hefre, H., & Lacasse, S. 2021. Modelling of shallow landslides with machine learning algorithms. *Geoscience Frontiers, 12*(1), 385-393.
21) Maghsoudi, M., Jafar Beglu, M., Jafari, R. (2019). Evaluation of active tectonics in the Hable Rood and Kurdan basins based on geomorphic indicators. *geography and environmental hazards, 35*, 57-77.
22) Maqsodi, M., Jafarbaglou, M., & Jafari, R. (2019). Evaluation of active tectonics in Hable Rood and Kurdan basins based on geomorphic indicators. *Geography and Environmental Hazards, 35*, 77-57. [In Persian].
23) Mokhtari, D. (2004). Geomorphological evaluation of a part of the Tabriz-Marand road in Payam Payam pass in northwest Iran. *Modares Humanities Quarterly, 9* (4), 87-111.

24) Mokhtari, D. (2005). Geomorphological assessment of a part of the Tabriz-Marand road in Payam Payam pass in northwest Iran. *Modares Humanities Quarterly, 9* (4), 111-87. [In Persian].
25) Pradhan, S. P., & Siddique, T. (2020). Stability assessment of landslide-prone road cut rock slopes in Himalayan terrain: a finite element method based approach. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 12*(1), 59-73.
26) Purnomo, J. S., Purwana, Y. M., & Surjandari, N. S. (2017). Analysis of slope slip surface case study landslide road segment. Purwantoro-Nawangan/Bts Jatim Km 89+ 400. *In Journal of Physics: Conference Series, 795*(1), 012069.
27) Rabby, Y.W., Li, Y., Abedin, J., & Sabrina, S. (2022). Impact of Land Use/Land Cover Change on Landslide Susceptibility in Rangamati Municipality of Rangamati District, Bangladesh. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 89*(11), 1-16.
28) Rajabi Baniai, S. & Khandan, M. (2018). *Studying and investigating unstable soil mechanics of Darbandsar valleys in order to provide stability method*, Geological and Mineral Exploration Organization of the country, Ministry of Industry, Mining, Trade. [In Persian].
29) Rajabi Baniai, S., & Khandan, M. (2018). *Studying and investigating unstable soil mechanics of Darbandsar valleys in order to provide stability method, Organization of Geology and Mineral Exploration of the country*. Ministry of Industry, Mines, Trade.
30) Regulations for geometric design of Iranian roads. (2011). *Vice President of Strategic Planning and Supervision*. [In Persian].
31) Regulations for the Geometrical Design of Roads in Iran. (2013). *Deputy Planning and Strategic Supervision of the Presidency*.
32) Sharifi Paichoon, M., Shirani, K., & Shirani, M. (2021). Prioritization of Factors Affecting the Occurrence of Landslides and Zoning Its Sensitivity Using Multiple Linear Regression Case Study: Vahargan Catchment-west of Isfahan Province. *Hydrogeomorphology, 26* (8), 163-139.
33) Sharifi Pichon, M., Shirani, K., & Shirani, M. (2012). Prioritization of factors affecting the occurrence of landslides and its sensitivity zoning using the multivariate linear regression method, case study: Abriz and Hargan basins - west of Isfahan province. *Hydrogeomorphology, 8* (26), 139-163. [In Persian].
34) Xiong, L., Tang, G., Yang, X., & Li, F. (2021). Geomorphology-oriented digital terrain analysis: Progress and perspectives. *Journal of Geographical Sciences, 31*(3), 456-476.