Hydrogeomorphology Vol.11, No. 40, Fall 2024

Research Paper

Spatial analysis of lithology in the occurrence of landslides in the eastern Alamut basin case study: Mo'alem-Kelayeh Basin

Golam Hassan Jafari[1]* , Zeinab Barati [2]

This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.

DOI:10.22034/hyd.2024.61470.1738

Refference to this article: Jafari,Golamhasan; Barati, Zeinab. (2024). Spatial analysis of lithology in the occurrence of landslides in the eastern Alamut basin. Hydrogeomorphology, 11(39): 124–142.

Keywords

Mass movement, Erosion, Landslide, Alamut, Northern Iran

Receive Date: 2024/05/01

Accept Date: 2024/08/17

Available: 2024/10/21

ABSTRACT

The analysis of some geological features and structures can be used to determine Quaternary developments. Analyzing the types of landslides, their density, and scale is the key to identify the evolution of landforms. Based on this, the current research was carried out with the aim of spatial analysis of landslides that occurred in different lithologies of Mo'alem-Kelayeh basin, a part of eastern Alamut basinin of Qazvin province, between the longitudes 50°26'00″ to 50°31'20″ and the latitude 36°22'00″ to 36°30'00″, based on topographical, geological conditions, vegetation, the condition of waterways, and the proximity of different rocks in the area. According to the results, the Karaj, Rute, Shamshek and Neogene and destructive sediments are the most erodible formations in the studied area, which are the most important factors involved in the occurrence of mass movements on a micro and macro scale under the Mo'alem-Kelayeh basin. The nonresistant lithology is more extensive in the geographical levels downstream of the rivers.

In such areas, in addition to the loosening of the lithology in wide sections, the material and energy flowing in the river also increases, if due to the lower slope of the slopes, the effect of the river on the movements of the slopes becomes more limited. In the terrestrial levels close to the ridge line, matter and energy are less and lithology is more resistant; But due to the greater slope of the slopes and the involvement of physical weathering in the porosity of the rocks, the effect of the river on the occurrence of surface slope movements increases.

*** Corresponding Author: Jafari, Golam Hassan**
E-mail: jafarihas@znu.ac.ir

1. * Corresponding author, Associate Professor of Geomorphology, Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2. Ph.D student of Geomorphology, Tehran University, Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction

The Earth's surface, both on land and under the oceans, is constantly being changed by mass movements acting in response to gravitational forces. Landslides represent one type of these mass movements and describe "the movement of a mass or rock, debris, or soil down a slope" (Cruden, 1991). Landslide research is an interdisciplinary field that mainly attracts scientists of geomorphology, engineering geology and geotechnical engineering and requires the cooperation of researchers from fields such as geodesy, hydrogeology, geophysics and many others (Arbanas and Arbanas, 2015). Different classifications of landslides are associated with specific mechanics of slope failure and the properties and characteristics of failure types; Understanding the characteristics of the landslide hazard type in the study area is very important to consider when planning or taking appropriate measures to reduce the risk of casualties and damages. In determining the possible effects of a landslide and appropriate measures, the type of landslide, the potential speed of movement, the possible volume of movement, and the distance should be considered. Landslides can be classified into different types based on the type of movement and the type of material involved. Investigations show that less attention has been paid to the role of the proximity of different lithologies and the condition of waterways in relation to them in a single and combined manner in the investigation of landslides. In this study area, the density of landslides is high and due to the population concentration, it threatens the potential danger of abundance in the area.

Methodology

In order to investigate the effect of lithology on the occurrence of domain movements, if other effective factors are kept constant in this event, Moalem-Kalayeh basin was selected. For this purpose, the study area has been observed in several stages by collecting information in the library and in the field. In addition, using the 1:100,000 geological map of Qazvin-Rasht, lithologic map was prepared. 1:50000 topographic maps were georeferenced as geometric correction. In the analysis of landslides, an attempt was made to evaluate the difference of landslides in terms of extent, depth and density, without prejudice and with a phenomenological perspective, by making multiple visits to the region. For this purpose, landslides were compared and analyzed according to the lithology of the place, the way they are adjacent, the topography and slope of the place, the distance from the main and secondary ridges of the place, and the distance of the landslide from the nearest river valley of the place.

Results and Discussion

The lithology of the mirage basin at an altitude of more than 3000 meters is in a position that can cause micro-scale rotational landslides. At a distance of 280 to 480 meters from the water dividing line, the effect of lithology on slope movements decreases and the effect of the river on the occurrence of slope movements increased. Wherever there is a rock outcrop, range movements have produced a combination of slip and fall. In limestone and dolomite mass, no clear landslide has formed and most of the phenomenon of falling has occurred. However, at the junction of lime and dolomite with shale, siltstone and mudstone, sliding marks can be seen. Water penetration at the lithology boundary enables the conditions for the occurrence of range movements. In the conglomerate mass, the factors that increase the shear pressure have caused the mass movement of the transfer slip type. The rupture of materials in weak surfaces starts when the weight increases due to the amount of rainfall or the movement of rock fragments or the decrease in the resistance of sedimentary layers. The translational sliding movement in Mo'alem-Kelayeh basin has caused the creation of flat rupture surface in this mass. Rotational sliding along the banks of the river is a type of sliding that occurs due to the digging phenomenon of the river at the foot of the resistant layers; The transfer of materials from the base of resistant layers reduces the resistance of domains; In such a situation, the resistant mass becomes more resistant by receiving moisture, but the excavation and transfer of materials from their foot provides the

basis for the movement of upstream materials to the downstream side, which in case of absorbing a lot of water by the lithology in the area, the conditions are provided for the creation of landslides.

Conclusions

Karaj, Ruteh, Shemshak formations, and destructive sediments (Neogene) as the most important formations of the area are mostly erodible; For this reason, in the area of Mo'alem-Kelayeh, mass movements have occurred on a macro scale (the main slide overlooking Mo'alem-Kelayeh) and micro (including all kinds of sliding, falling and creeping movements). In resistant lithology, the slope of land surfaces is more susceptible to water flows, and the effect of the river on mass movements is greater. The nonresistant lithology is more extensive in the geographical levels downstream of the rivers. In such areas, in addition to the loosening of the lithology in wide sections, the material and energy flowing in the river also increases, if due to the lower slope of the slopes, the effect of the river on the movements of the slopes becomes more limited; Of course, due to the higher density of waterways, small landslides become denser. In the terrestrial levels close to the ridge line, matter and energy are less and lithology is more resistant; But due to the greater slope of the slopes and the involvement of physical weathering in the porosity of the rocks, the effect of the river on the occurrence of surface slope movements increases.

References

Arbanas, S. M., & Arbanas, Ž. (2015). Landslides: A guide to researching landslide phenomena and processes. In *Transportation Systems and Engineering: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 1393-1428). IGI Global. DOI: 10.4018/978-1-4666-8473-7.ch070

Cruden, D. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of Engineering Geology & the Environment*, *43*(1).

Guerra, A. J. T., Fullen, M. A., Jorge, M. D. C. O., Bezerra, J. F. R., & Shokr, M. S. (2017). Slope processes, mass movement and soil erosion: A review. *Pedosphere*, *27*(1), 27-41. http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1315.P.20160627.1639.038.html

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقاله پژوهشی

تحلیل فضایی لیتولوژی در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه الموت شرقی
مطالعه موردی حوضه معلم‌کلایه

غلام حسن جعفری[1*]، زینب براتی[2]

این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کریتیو کامانز قابل استفاده است.

ارجاع به این مقاله: جعفری، غلامحسن؛ براتی، زینب؛ (۱۴۰۳). تحلیل فضایی لیتولوژی در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه الموت شرقی(مطالعه موردی حوضه معلم‌کلایه). هیدروژئومورفولوژی، (۴۰)۱۱: 124-142.

DOI:10.22034/hyd.2024.61470.1738

کلیدواژه‌ها

حرکات توده‌ای، فرسایش، زمین‌لغزش، الموت، شمال ایران

چکیده

تحلیل برخی از عوارض و ساختارهای زمین‌شناسی می‌تواند برای تبیین تحولات کواترنری مورداستفاده قرار گیرد. تحلیل انواع لغزش‌ها، وضعیت تراکم و مقایسه آن‌ها با هم، کلیدی برای شناسایی تکامل لندفرم‌ها است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل مکانی زمین لغزش‌های رخداده در لیتولوژی‌های مختلف حوضه معلم کلایه بخشی از حوضه الموت شرق در استان قزوین، بین طول‌های جغرافیایی ″۰۰ ′۲۶ °۵۰ تا ″۲۰ ′۳۱ °۵۰ و عرض جغرافیایی ″۰۰ ′۲۲ °۳۶ تا ″۰۰ ′۳۰ °۳۶، بر اساس شرایط توپوگرافیکی، ژئولوژیکی، پوشش گیاهی، وضعیت آبراهه ها، مجاورت سنگ های مختلف منطقه صورت پذیرفت. بر اساس نتایج حاصله سازند کرج، روته، شمشک و رسوبات نئوژن و تخریبی به عنوان فرسایش پذیرترین سازندهای موجود در محدوده‌ی مورد مطالعه هستند که مهمترین عوامل دخیل در وقوع حرکات دامنه‌ای در مقیاس میکرو و ماکرو در زیر حوضه ی معلم کلایه می‌باشند. در سطوح ارضی پایین‌دست رودخانه‌ها، لیتولوژی آسیب‌پذیر وسعت بیشتری دارد. در چنین مناطقی علاوه بر سست‌تر شدن لیتولوژی در مقاطع وسیع و منقطع، ماده و انرژی جاری در رودخانه نیز افزایش می‌یابد، در صورتی که به دلیل شیب کمتر دامنه‌ها، اثرگذاری رودخانه بر حرکات دامنه‌ای محدودتر می‌شود. در سطوح ارضی نزدیک به خط الرأس، ماده و انرژی کمتر و لیتولوژی مقاوم‌تر است؛ ولی به علت شیب بیشتر دامنه‌ها و دخالت هوازدگی فیزیکی در تخلخل سنگ‌ها زمینه اثرگذاری رودخانه بر روی وقوع حرکات دامنه‌ای بیشتر می‌شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/12

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰4

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/30

*نویسنده مسئول: غلام حسن جعفری

رایانامه: jafarihas@znu.ac.ir

۱. دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

مقدمه

ارزیابی کمی حساسیت زمین لغزش برای کاهش تلفات، خسارات مالی و خسارات اقتصادی ضروری است(گازتی و همکاران[1] ۲۰۱۲). نقش حرکات توده‌ای و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی مرتبط، همراه با پارامترهای تشخیصی برای تشخیص انواع مختلف حرکت توده‌ای در میدان مورد بحث بسیاری از تحقیقات قرار می‌گیرد(گوئرا و همکاران[2] ۲۰۱۷). زمین‌شناسان، مهندسان و سایر متخصصان اغلب بر تعاریف منحصربه‌فرد و کمی متفاوت از زمین‌لغزش تکیه می‌کنند. این تنوع در تعاریف منعکس‌کننده پیچیدگی بسیاری از رشته‌های مرتبط بامطالعه پدیده‌های رانش زمین است (پردهن و همکاران[3] ۲۰۱۹). تحقیقات زمین‌لغزش یک زمینه میان‌رشته‌ای است که عمدتاً توجه دانشمندان ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی مهندسی و مهندسی ژئوتکنیک را به خود جلب می‌نماید و همکاری محققان رشته‌هایی مانند ژئودزی، هیدروژئولوژی، ژئوفیزیک و بسیاری دیگر را می‌طلبد (ارباناس[4]و ارباناس، ۲۰۱۵). زمین‌لغزش ممکن است اشکال بسیار متفاوتی داشته باشد. بنابراین، اصطلاحات جامعی در مورد این پدیده‌ها در ادبیات وجود دارد (کرودن[5]۱۹۹۱). ترزاقی[6](۱۹۵۰) علل زمین‌لغزش را به علل خارجی و داخلی تقسیم می‌کند. علل خارجی منجر به افزایش تنش برشی می‌شود (عوامل زمین‌شناسی شامل سنگ‌شناسی یا نوع خاک، ویژگی‌های ناپیوستگی ساختاری، مقاومت برشی مواد، وضعیت آب‌های زیرزمینی و تأثیر آن، هندسه شیب شامل شیب، جهت، ارتفاع و خمیدگی، تخلیه پای شیب، بارگذاری در قسمت‌های فوقانی شیب، ضربه‌ها و ارتعاشات، کاهش و یا تغییر رژیم آب). علل داخلی که منجر به کاهش مقاومت برشی می‌شود شامل شکست پیشرونده، هوازدگی، فرسایش کندوکاوی، لرزه‌خیزی و فعالیت‌های دست‌ساز مانند؛ فعالیت‌های ساختمانی و شیوه‌های کشت در مناطق کوهستانی) (بامر و رودری گوئز[7] ۲۰۰۲). تنوع زیاد حرکات توده‌ای نشان دهنده تنوع شرایط ناپایدار کننده شیب از یک سو و فرایندهای دخیل در وقوع حرکات توده‌ای از سوی دیگر است. شرایط زمین استاتیک را به اندازه کافی تغییر می دهند تا باعث از کار افتادن سیستم شیب شود (پوپسکو[8] ۱۹۸۴).

در نقشه‌برداری حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از ترکیب خطی وزنی مبتنی بر ArcGIS منطقه تسوگاوا در رودخانه آگانو، استان نیگاتا[9] ژاپن میزان تولید رسوبی سالانه منطقه بسیار زیاد برآورد گردید به گونه‌ای که علی رغم کوچکی منطقه یکی از بالاترین رقم‌های تولید رسوب در جهان محسوب شد (آیالاو و همکاران[10]؛ ۲۰۰۴). بر اساس کاوش داده‌های فضایی حاصل از دانش سنجش‌ازدور، رانش زمین در سه گردنه از کشور ژاپن پیش‌بینی فضایی گردید. بدین منظور از دو روش شی‌گرا و پیکسل‌گرا برای مطالعه زمین لغزش بهره گرفته شد، نتایج تحقیق حاکی از آن است که روش شی‌گرا در مقایسه با روش پیکسل گرا کارایی بالاتری دارد و نتایجِ طبقه بندی پیوسته‌تر و دقت پیش‌بینی بالاتر دارند (وانگ و نایو[11]؛ ۲۰۱۰). با بررسی عملکرد رسوب حوضه‌های صخره‌ای تایوان در ارتباط با زمین‌لغزش و بارندگی نتیجه گرفته شد که وقتی رانش‌های بزرگ‌تر از بارش‌های بیشتر ایجاد شوند، مواد سست‌تر به وسیله رودخانه‌ها حمل می‌شوند و منجر به رسوب بیشتر و افزایش قابل‌توجه حرکات توده ای در تایوان می‌گردند (چن و همکاران[12]؛ ۲۰۱۸). بر طبق داده‌های به‌دست‌آمده از توده زمین‌لغزش در دامنه آسیب‌پذیر رودخانه گلدانیسخوی[13]نتیجه گرفتند که زمین‌لغزش روی‌داده در مرحله فعال خود قرار دارد که خطر اکولوژیکی بزرگی متوجه جمعیت سکونتگاه مامکودا[14]و بزرگراه مجاور این دامنه محسوب می‌شود (کوبولاوا و چاخایا،[15] ۲۰۱۸). نتیجه بررسی و منطقه بندی واحدهای مسکونی بخش دبیرخانه حلی‌اله سریلانکا[16]در سه گروه خطرناک، بسیار خطرناک و خطرناک، چنین بود که پایداری دامنه تپه توسط تعادل عوامل پایداری کنترل می شود. اگر ثبات از بین برود، به تدریج یا فورا، شکست شیب رخ می‌دهد. ارزیابی علل ناپایداری برای تجزیه و تحلیل خطر و کاهش خطر و برای در نظر گرفتن نقش زمین‌لغزش در سیستم‌های چشم‌انداز و تکامل مفید است (پراسانا و گناانتیپان[17]؛ ۲۰۱۸). در بررسی وقوع لغزش در امتداد جاده‌های کوهستانی در بخش شمالی الجزایر چنین

1. Guzzetti et al
2. Guerra et al
3. Pradhan et al
4. Arbanas
5. Cruden
6. Terzaghi
7. Bommer & Rodrı guez
8. Popescu
9. Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture
10. Ayalew et al
11. Wang & Niu
12. Chen & et al
13. Gldaniskhevi River
14. Mamkoda
15. Khubulava & Chakhaia
16. Hali-Ela of Sri Lanka
17. Prasanna & Gnanatheepan

نتیجه گرفته شد که لغزش‌ها در امتداد جاده کوهستانی بزرگراه شمال شرقی الجزایر عمدتاً در لایه رسی که بلافاصله در زیر سطح مرطوب یافت می‌شود رخ می‌دهد. تغییر شکل شیب معمولاً پس از چندین دوره خشک و مرطوب شدن اتفاق می‌افتد که منجر به ایجاد ترک‌های عمودی زیادی در تاج شیب می‌شود. علاوه بر آن فعالیت لرزه‌ای یک عامل محرک بسیار مهم در ناپایداری شیب محسوب می‌شود (اوگیلا[1] ۲۰۲۱). نتایجبررسی علل زمین لغزش و زمان‌بندی منطقه‌ای آن این بود که زمان‌بندی شکست، توسط یک محرک خاص، می‌تواند با شناسایی و ارزیابی الگوهای حرکتی، ایجاد آستانه‌های تحریک یا استفاده از روش‌های احتمالی پیش‌بینی شود (مک‌کول[2] ۲۰۲۲).

عوامل مختلف طبیعی و انسانی مؤثر بر زمین‌لغزش را رمضانی گورابی و ابراهیمی (۱۳۸۸) شناسایی و توصیف نمودند. برای جلوگیری از وقوع این بلایای طبیعی راهکارهای تثبیت مواد دامنه ای را ارائه نمودند که می توان از آن‌ها در مدیریت بحران استفاده نمود. با اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نتیجه گرفته شد که عوامل سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و درصد شیب به ترتیب بیشترین تأثیر را بر وقوع زمین‌لغزش‌های بخش شمالی استان فارس دارند (سوری و همکاران، ۱۳۹۲). با تلفیق مکانی پهنه‌های زمین‌لغزش‌های شناسایی شده در گستره رودبار با پهنه‌های تکتونیکی استخراج شده، نتیجه گرفته شد که ۴۰ درصد پهنه‌های لغزشی زیر حوضه رودبار در پهنه‌های دارای فعالیت تکتونیکی شدید و ۶۰ درصد پهنه‌های لغزشی در زیر حوضه مذکور در مناطق فعال تکتونیکی رخ داده است (کیانی و همکاران، ۱۳۹۹). در بررسی منطقه‌ی پایین دست سد سنندج براساس مدل‌سازی به این نتیجه رسیدند که حدود ۳۹ درصد(مدل شبکه‌ی عصبی) و ۴۲ درصد(مدل تاپسیس) از منطقه مورد مطالعه در محدوده‌ی مناطق نامطلوب و بسیار نامطلوب واقع شده اند (حجازی و همکاران، ۱۳۹۹). معیارهای مؤثر بر ناپایداری‌ها، مانند بارش، زلزله، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، رودخانه، گسل، شیب و جهت شیب و راه‌های ارتباطی استان تهران با رویکرد واریزه موردبررسی قرار گرفت (ساسان‌پور و محمدی، ۱۴۰۰). با بررسی نقاط حادثه‌خیز زمین‌لغزش استان مازندران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی[3]و به کمک روش توصیفی و تحلیلی و پیمایش، به این نتایج رسیدند که حداکثر زلزله‌ی قابل رخداد در این استان به مقدار ۸/۲ ریشتر و به‌واسطه فعالیت گسل خزر خواهد بود (خزاعی و همکاران، ۱۴۰۰). نتیجه بررسی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش دهستان زاورود بر اساس مدل تلفیقی فازی این بود که منطقه از نظر پتانسیل لغزش از خیلی زیاد، زیاد، متوسط تا کم در چهار رده طبقه‌بندی می‌شود (جمال‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۰). ریسک زمین‌لغزش حوزه‌آبخیز شاهرود استان قزوین و تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مقادیر مختلف گاما این نتایج را نشان داد که بالاترین مقدار شاخص مجموع مطلوبیت متعلق به عملگر فازی با گامای برابر با ۰/۹۳ بوده و لذا این مدل از دقت بالاتری نسبت به سایر مقادیر گاما برخوردار است (مصفایی و همکاران، ۱۴۰۱). نتایج مطالعه زمین لغزش‌های استان چهارمحال و بختیاری با اجرای مدل رگرسیون لجستیک نشان داند که از بین متغیرهای مورد بررسی، به ترتیب جنس(آهک، شیل و مارن) و شیب زمین، موثرترین عوامل ایجاد زمین لغزش منطقه محسوب می شوند (تخریب صدیقی و قاسمی، ۱۴۰۲). نتایج بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان گرمی نشان می دهد که معیارهای کاربری اراضی، شیب، لیتولوژی به ترتیب مهم ترین عوامل دخیل در ایجاد خطرزمین‌لغزش هستند (آقایاری و همکاران، ۱۴۰۲).

به دلیل نقش کم کربنات‌ها در سیمانه شدن کنگلومرا شرایط را برای زمین لغزش بزرگ فراهم می کند؛ براثر وقوع زمین‌لغزش وسیع با ابعاد چندین هکتار (جعفری و خدایی، ۱۴۰۲؛ رجبی و همکاران، ۱۴۰۱؛ بهشتی راد و همکاران، ۱۳۸۸) گسیختگی‌ای در کنگلومرای معلم کلایه با رخنمون قائم ۲۰۰ متری ایجاد شده است. در بررسی زمین‌لغزش به نقش مجاورت لیتولوژی‌های مختلف و وضعیت آبراهه‌ها نسبت به آن‌ها کمتر توجه شده است. حوضه الموت شرقی و بالتبع حوضه معلم کلایه، حوضه‌هایی به شدت شکسته شده‌ای هستند که لیتولوژی‌های مختلف به انواع متفاوتی در مجاورت هم قرار گرفته اند؛ به‌گونه‌ای که از خط ارأس به سمت آبریز، تناوبی از لیتولوژی‌های

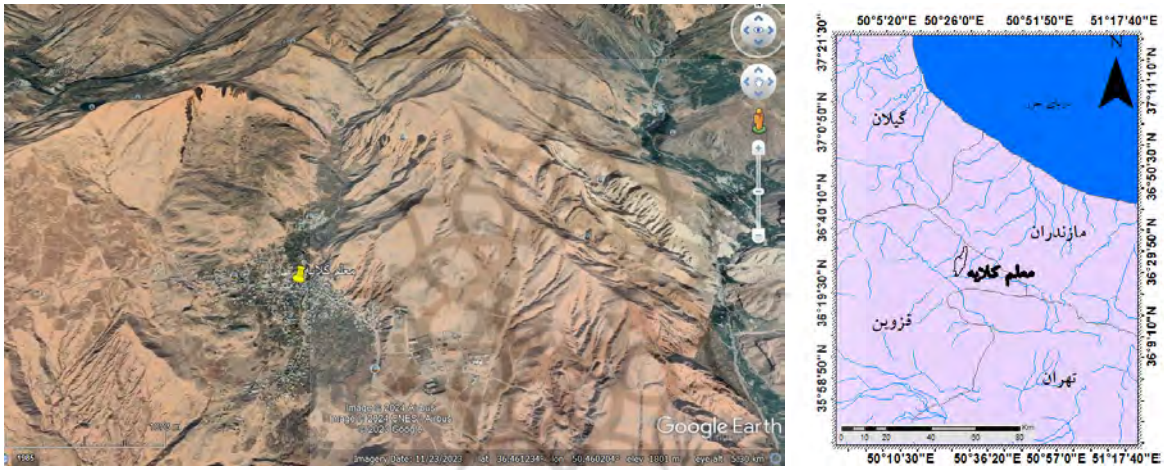
[1]. Ogila [2]. McColl [3]. ARC GIS

مختلف وجود دارد؛ چنین وضعیتی گاه تقویت کننده و گاه تحلیل برنده حرکات دامنه‌ای است. براین اساس مکانیسم وقوع انواع زمین لغزش در حوضه معلم کلایه با در نظر گرفتن لیتولوژی‌های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه‌ی موردمطالعه در شمال شرق استان قزوین و بین طول‌های جغرافیایی ″۰۰ ′۲۶ °۵۰ تا ″۲۰ ′۳۱ °۵۰ و عرض جغرافیایی ″۰۰ ′۲۲ °۳۶ تا ″۰۰ ′۳۰ °۳۶ قرار دارد. این حوضه‌ی آبریز، زیرحوضه‌ای از حوضه‌ی وسیع سفیدرود، در شمال شرقی قزوین، در بخش معلم‌کلایه واقع گردیده است. معلم‌کلایه در فاصله ۸۶ کیلومتری قزوین قرار دارد (شکل ۱). مساحت حوضه ۳۹ کیلومترمربع و محیط حوضه آبریز برابر با ۳۵ کیلومتر می‌باشد. حداکثر ارتفاع در حوضه ۳۲۴۲ متر در قله خشچال و حداقل ارتفاع ۱۱۲۹ متر مربوط به نقطه خروجی حوضه در محل الحاق الموت رود به رودخانه شاهرود می‌باشد. ارتفاع متوسط حوضه ۲۱۸۵ متر محاسبه گردیده است. شیب سطحی حوضه بین صفرتا ۶۴ درصد در متغیر است.



شکل(۱): موقعیت حوضه معلم‌کلایه.

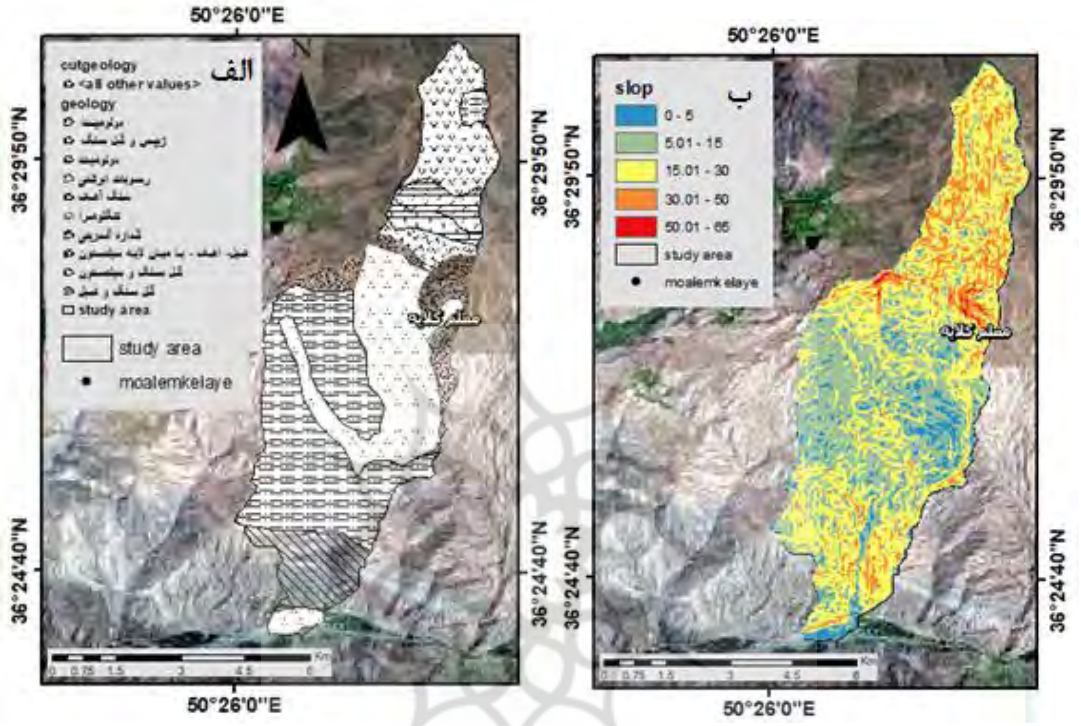
Figure (1): Location of Mualem Kalaye watershed.

ازنظر زمین‌شناسی حوزه مطالعاتی مشتمل بر رسوبات چینه‌شناسی دوران اول، تشکیلات اینفراکامبرین، بین خطالرأس ارتفاعات شمالی از شمال روستای معلم کلایه به‌طرف شرق تا شمال شرق است. سنگ‌های سازند کرج (پالئوژن) در حوزه موردبررسی شامل گدازه بازیک و آندزیت می‌باشد. رخساره‌هایی از سنگ‌آهک سازند مبارک و ماسه‌سنگ لالون همراه میان لایه شیل و دولومیت نیز بخشی از محدوده را به خود اختصاص داده است. تشکیلات سازند قرمز بالایی و هزار دره وسیع‌ترین تشکیلات منطقه به شمار می‌رود، به‌طوری‌که حدود ۶۰ درصد سطح حوضه را می‌پوشاند. تقریباً به‌جز بخش شمالی، تمام بخش‌های دیگر، متشکل از رخساره‌های گوناگون این سازند است و تنها در ارتفاعات شمالی است که بین رسوبات کرتاسه و اینفرا کامبرین و تشکیلات نئوژن، از وسعت آن کاسته می‌شود (شرح نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ برگ قزوین – رشت - سازمان زمین‌شناسی کشور ۱۳۵۲)(شکل ۲).

روش

این پژوهش از نوع تحقیقات کاربردی-تجربی و از نظر روش، جزء تحقیقات توصیفی-تحلیلی است. جهت بررسی میزان اثرگذاری لیتولوژی در وقوع حرکات دامنه‌ای در صورت ثابت نگه‌داشتن فاکتورهای مؤثر دیگر در این رخداد، حوضه معلم‌کلایه انتخاب گردید. بدین منظور با جمع‌آوری اطلاعات به‌صورت کتابخانه‌ای و میدانی در چندین مرحله به مشاهده‌ی منطقه‌ی موردمطالعه پرداخته‌شده است. علاوه بر این به کمک نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قزوین، رشت نقشه لیتولوژی تهیه گردید. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ به‌صورت تصحیح

هندسی ژئورفرنس شد. در بازدیدهای میدانی جی‌پی‌اس، قطب‌نما و دوربین عکاسی از ابزارهای مورداستفاده بود. پردازش داده‌ها در محیط نرم‌افزارهای گلوبال‌مپر[1]۱۸، آرک جی.آی.اس ۱۰/۶و پورت‌ایبل‌بیس‌مپ‌سرور[2]و تهیه بانک لایه‌های اطلاعاتی در آرک جی.آی.اس صورت گرفت. از گوگل‌ارث[3]برای بررسی و نمایش لغزش‌های شناسایی‌شده استفاده گردید (شکل ۳). در تجزیه و تحلیل زمین‌لغزش‌ها سعی بر آن شد که بدون پیش داوری قبلی و با دید پدیدارشناسانه (دیدی که اجازه ظهور به پدیده‌ها را آنگونه که هستند بدهد)، با انجام بازدیدهای متعدد از منطقه، تفاوت زمین‌لغزش‌ها را از نظر وسعت و عمق و تراکم مورد ارزیابی قرار دهیم. برای این منظور زمین‌لغزش‌ها با توجه به وضعیت لیتولوژی محل، نحوه همجواری آن‌ها، وضعیت توپوگرافی و شیب محل، فاصله از خط الرأس اصلی و فرعی محل و فاصله زمین‌لغزش از نزدیک ترین تالوگ رودخانه‌ای محل با یکدیگر مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



شکل(۲): تصویر الف) نقشه شیب منطقه مطالعاتی. تصویر سمت ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه

Figure (2): A). Slope map of the study area. B). Geological map of the area

یافته‌های تحقیق

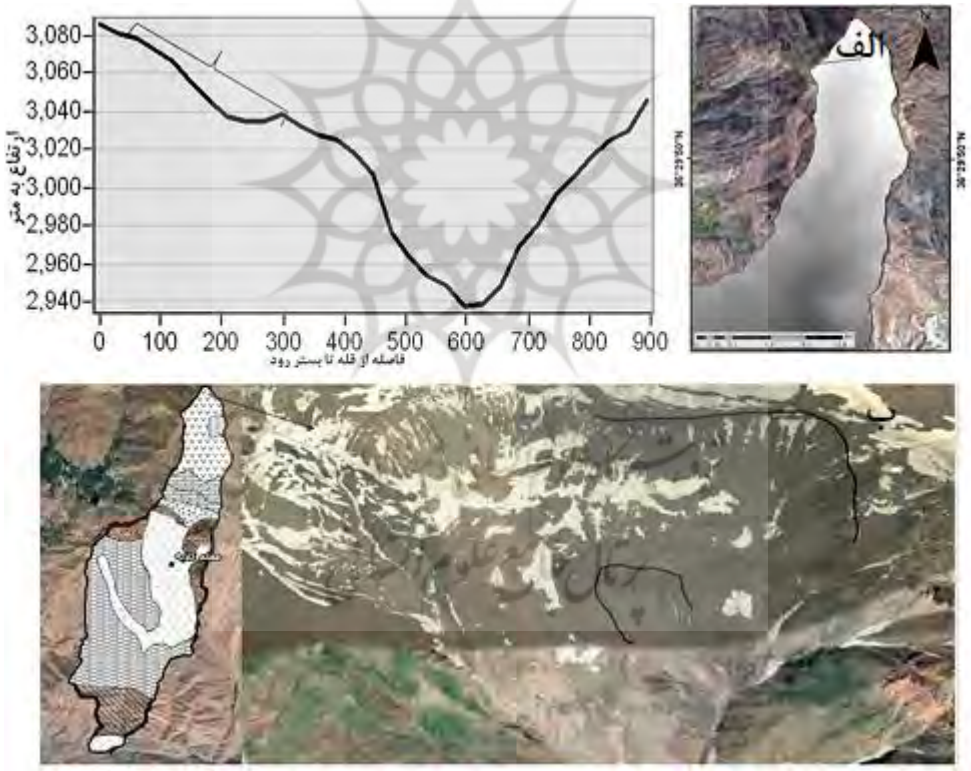
در این مقاله سعی بر بررسی نقش سازندهای زمین شناسی در وقوع رخداد زمین لغزش شده و سه نوع از انواع حرکات دامنه‌ای (انتقالی- چرخشی- خاک روانی) در ارتباط با لیتولوژِ ی شناسایی شده است. ۱- حرکات چرخشی: بر اساس عامل مؤثر در وقوع آن خود به دو نوع الف) گسیختگی ساختی و شرایط زمین شناسی و ب) زیربری رودخانه تقسیم می شود. لیتولوژی سراب حوضه در ارتفاع بالاتر از ۳۰۰۰ متری (مرتفع‌ترین قسمت حوضه که خط تقسیم آب نیز شناخته می شود) در وضعیتی قرار دارد که می‌تواند زمین‌لغزش چرخشی با ابعاد میکرو را ایجاد کند (شکل ۴الف). بافاصله ۲۸۰ تا ۴۸۰ متری از خط تقسیم آب اثر لیتولوژی در حرکات دامنه کاهش می‌یابد و اثر زیریری رودخانه بر روی وقوع حرکات دامنه‌ای بیشتر می‌شود؛ یعنی هرچند لیتولوژی حوضه تا فاصله‌ای از مرز تقسیم آب یکدست است ولی به‌صورت مجزا و انتزاعی با توجه به ویژگی های زمین شناسی و ساختی فقط منجر به ناپایداری دامنه با غلبه ریزش و حرکات انتقالی ساده شده است؛ در صورتی که بافاصله ۲۸۰ تا ۴۸۰ متری از خط الرأس حرکات دامنه‌ای متأثر از زیربری رودخانه شده‌اند. ۲- حرکات انتقال (ساده) در رخنمون‌های رخنمون سنگی، حرکات دامنه‌ای ترکیبی از لغزش و ریزش هستند. این وضعیت تقریباً در اکثر

[1]. Global Mapper
[2]. Portable Basemap Server
[3]. Google Earth

لیتولوژی بالادست (آندزیت و گل‌سنگ و سیلتستون) غلبه دارد. لغزش‌های اتفاق افتاده در این قسمت معمولاً عمق زیاد ندارند و سطحی هستند و به علت وقوع دائمی این نوع حرکات دامنه‌ای شرایط تشکیل پوشش گیاهی و خاک ضخیم فراهم نشده است (شکل ۴ب).

شکل (۳): فلوچارت تحقیق نقش لیتولوژی در وقوع زمین‌لغزش حوضه معلم‌کلایه.

Figure (3): Flowchart of research on the role of lithology in the occurrence of landslides in Mo'alem-Kelayeh basin.

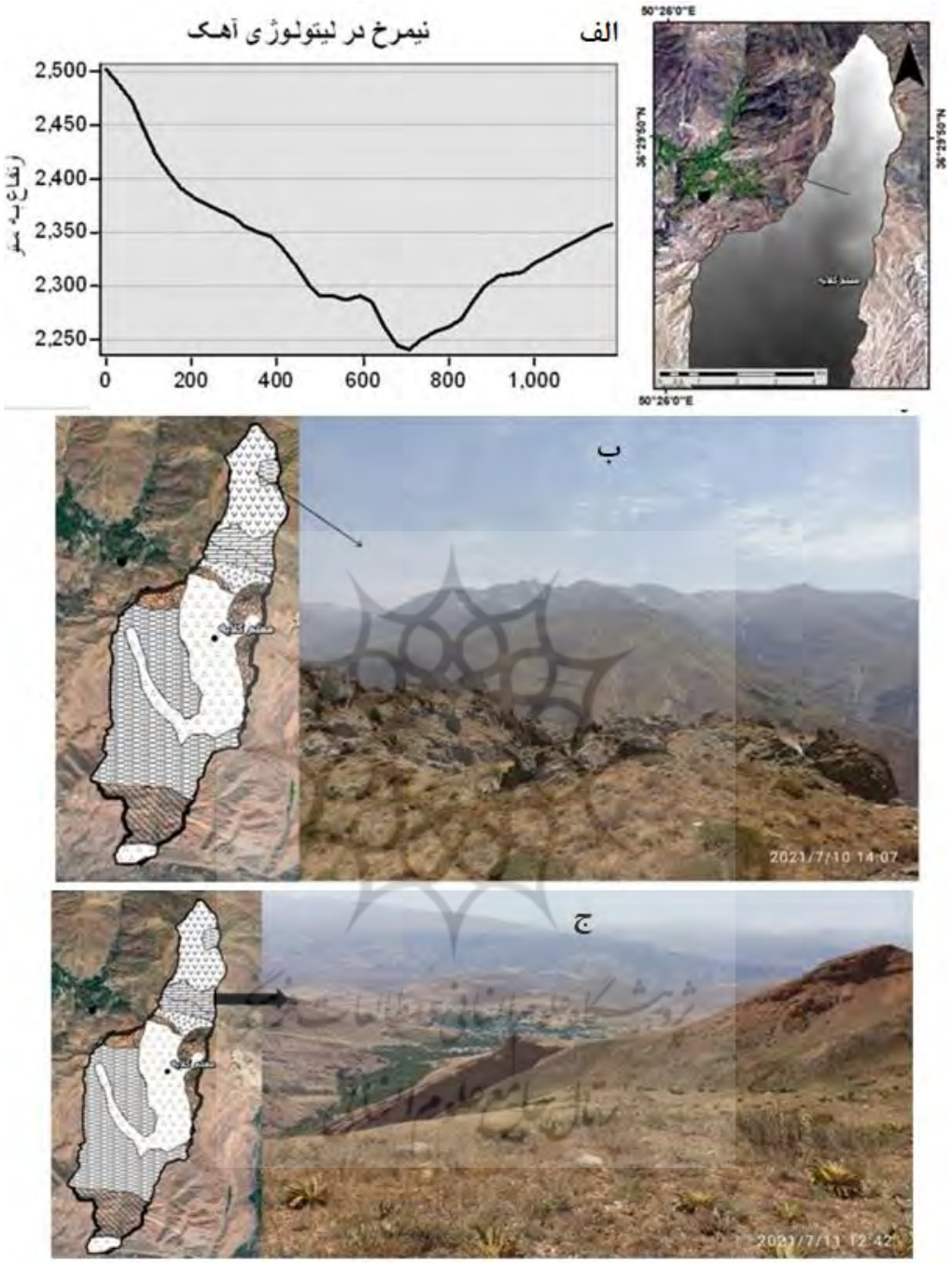


شکل(۴): زمین‌لغزش چرخشی با ابعاد میکرو در سراب حوضه (الف). ترکیبی از لغزش و ریزش در لیتولوژی مقاوم (ب).

Figure (4): Rotational landslide with micro dimensions in the mirage of the basin (a). A combination of slip and fall in resistant lithology (b)

در توده آهکی و دولومیتی، زمین‌لغزش واضحی شکل نگرفته و بیشتر پدیده ریزش رخ داده است (شکل ۵الف و ب). بااین‌وجود در محل اتصال آهک و دولومیت به شیل سیلتستون و مادستون آثار لغزشی قابل‌مشاهده است (شکل ۵ج). نفوذ آب در مرز لیتولوژی (آهک و دولومیت با شیل سیلتستون و مادستون) شرایط را برای وقوع حرکات دامنه‌ای میسر می‌سازد. آهک و دولومیت در منطقه مطالعاتی به‌صورت لایه ضخیم و پیوسته نیست بلکه همراه میان لایه‌های شیل و سیلتستون مشاهده می‌شود. وجود این میان لایه شرایط لازم

برای وقوع لغزش چرخشی را فراهم می‌کند. البته با توجه به اثر انحلال در آهک و شکل گیری دولین، اثرِ انحلال را در وقوع چنین لغزش‌های نمی توان نادیده گرفت؛ ولی تسلط سیلتستون در لیتولوژی اجازه انحلال کامل و تشکیل هالوکارست را نداده است.

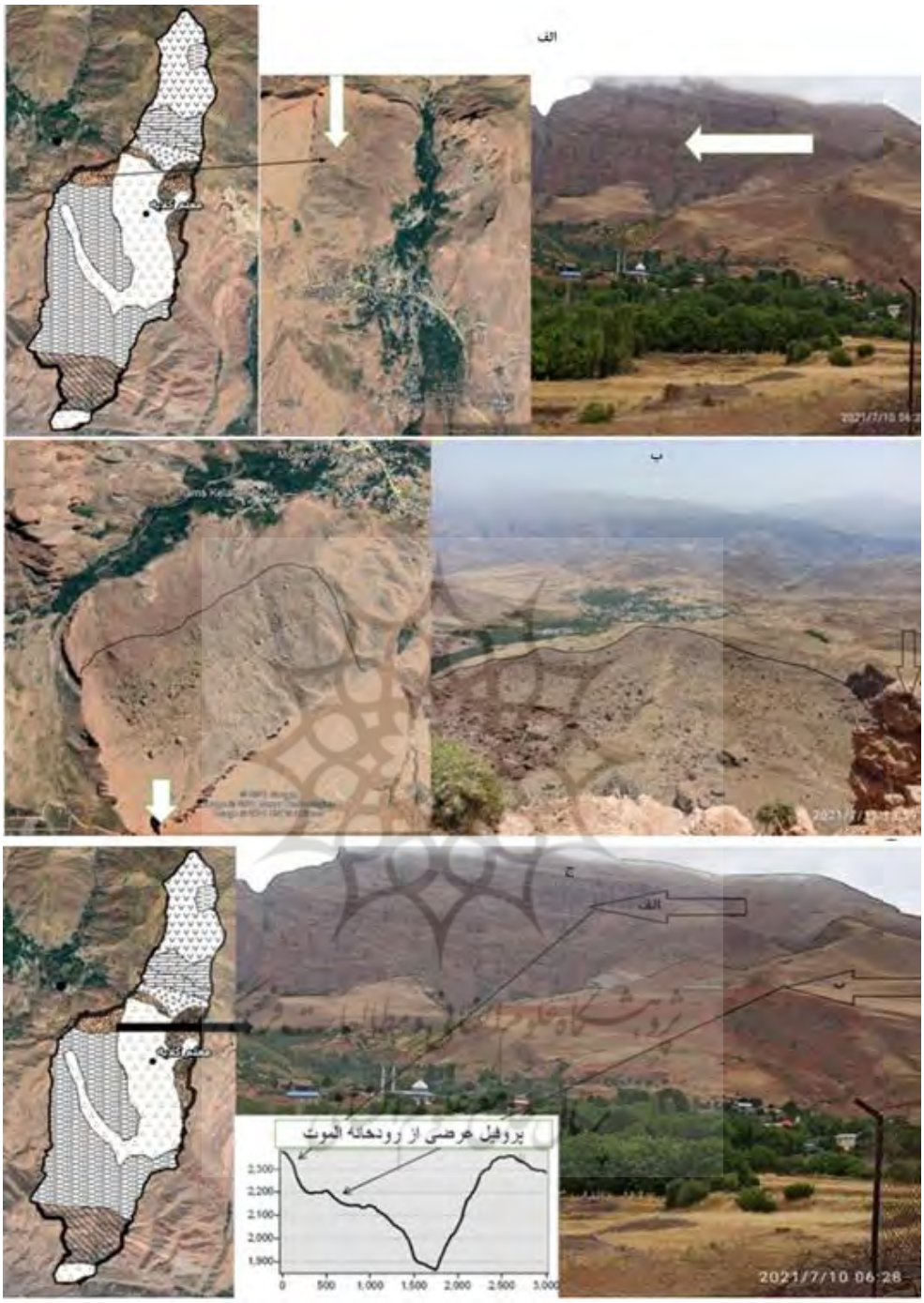


شکل (۵): وقوع زمین‌لغزش در لیتولوژی آهکی. نمایش در لایه رقومی ارتفاع همراه با نمودار (الف). نمایش در سطح زمین با لیتولوژی نسبتا یکدست (ب)، در جوار لیتولوژی آهکی (ج).

Figure (5): Occurrence of landslides in limestone lithology. Display in the digital layer of the height along with the diagram (a). Representation on the surface of the earth with relatively uniform lithology (b), next to calcareous lithology (c)

با بررسی ساختارهای زمین‌شناسی تشکیل‌دهنده حوضه معلم‌کلایه، نقش توده کنگلومرایی موجود در حوزه مطالعاتی برای مساعد کردن رخداد زمین‌لغزش اصلی معلم‌کلایه در مقیاس ماکرو کاملاً مشخص است. در این توده عواملی که فشار برشی را افزایش می‌دهند باعث وقوع حرکت توده‌ای از نوع لغزش انتقالی شده است. گسیختگی مواد در سطوح ضعیف زمانی آغاز می‌شود که افزایش وزن براثر مقدار بارندگی یا حرکت قطعه سنگ‌ها و یا کم شدن مقاومت لایه‌های رسوبی رخ دهد. حرکت لغزشی انتقالی در حوضه معلم‌کلایه باعث ایجاد

سطح گسیختگی مسطح در این توده شده است. با توجه به وضعیت قرارگیری لیتولوژی‌های مختلف به صور گوناگون در اطراف توده کنگلومرایی انواع مختلف زمین‌لغزش در آن رخ خواهد داد (شکل ۶الف، ب وج)



شکل (۶): زمین‌لغزش در کنگلومرا. الف) از سمت راست: جهت فلش نمایانگر قسمت مرتفع کنگلومرا و شروع سطح گسیختگی. موقعیت قسمت آن در تصویر گوگل ارث و لایه زمین شناسی. ب) زمین‌لغزش انتقالی بزرگ معلم‌کلایه در کنگلومرا. سمت راست عکس میدانی و سمت چپ تصویر گوگل ارث. ج) لغزش انتقالی ماکرو و چرخشی میکرو در مشاهدات میدانی و تصویر گوگل ارث.

Figure (6): Landslide in conglomerate. A) From the right side: the direction of the arrow represents the high part of the conglomerate and the beginning of the rupture surface. The position of its part in the Google Earth image and geological layer. b) Large transition landslide of Mo'alem-Kelayeh in conglomerate. The right side of the field photo and the left side of the Google Earth image. c) Macro translational and micro rotational slip in field observations and Google Earth image.

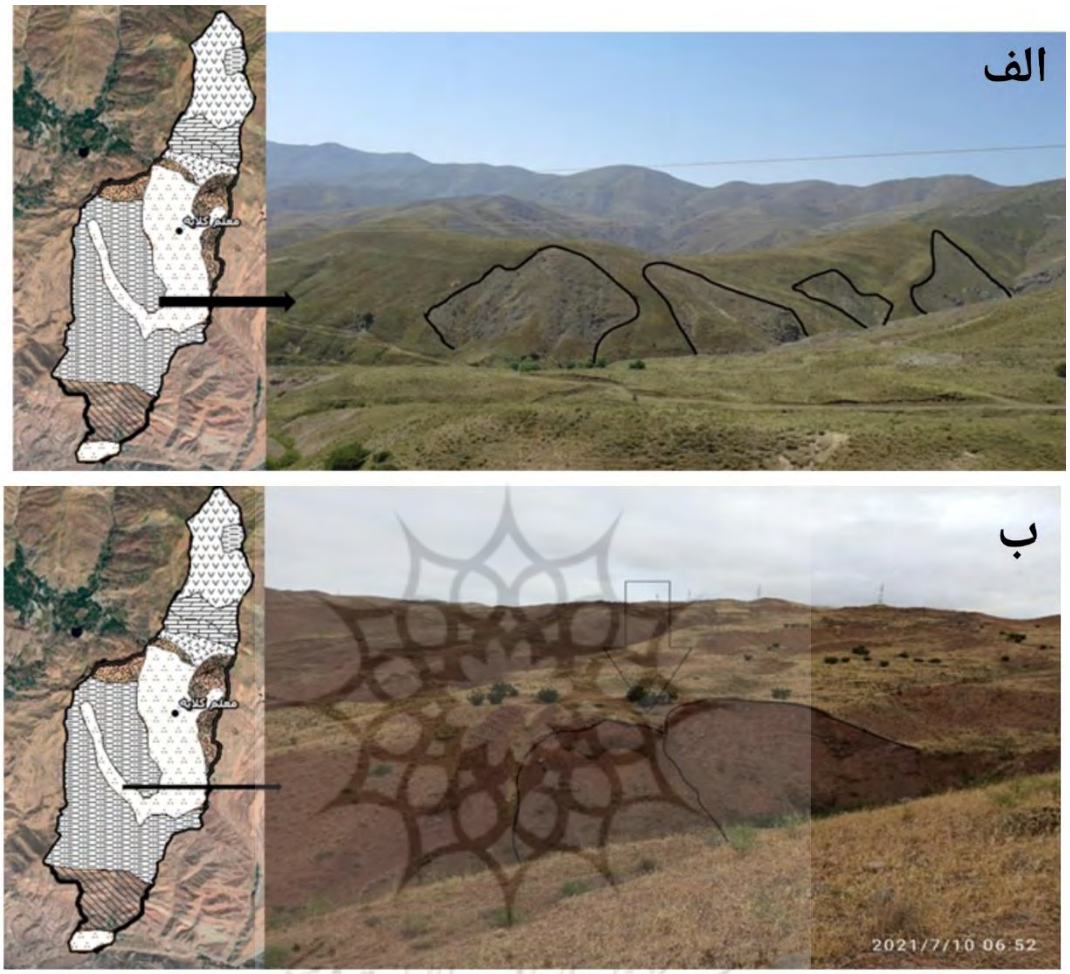
در کنار لیتولوژی کنگلومرا، سیلتستون، شیل همراه میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ نیز دیده می‌شود. عرض حوضه در این قسمت به حداکثر خود می‌رسد (حدود ۱۲ کیلومتر). محدوده مذکور را در چهار بخش می‌توان مورد بررسی قرار داد. در قسمت غربی (شکل ۷ الف)، غلبه لیتولوژی با سیلتستون با شیب ۳۰ درجه بر روی کنگلومرا است. این محدوده فاقد پوشش گیاهی بوده و زمین‌لغزش مکرراً در این قسمت رخ می‌دهد. وجود سیلتستون ضخیم بامیان لایه‌هایی ماسه‌سنگی باعث شده است که زمین‌لغزش‌های این محدوده در مقیاس میکرو و از نوع چرخشی باشد. مشرف به این قسمت (شکل ۷ ب)، رخنمون‌های کنگلومرا قابل‌مشاهده است که عامل اصلی زمین‌لغزش بزرگ معلم‌کلایه هستند و حجم زیادی از مواد را در وسعت ۱۰ الی ۱۲ کیلومتر جابجا کرده و باعث شده است که سیلتستون نقش کمتری را ایفا کند. جابجایی توده‌ای کنگلومرا با ضخامت ۳۰۰ متر و در امتداد ۸۰ متر، منجر به توزیع ۲۴ هزار مترمکعب کنگلومرا روی سیلتستون شده است. لازم به ذکر است که همراه جابجایی کنگلومرا، در حدود ۶۵ هزار مترمکعب سیلتستون نیز جابجا شده که روی‌هم‌رفته ۹۰ هزار کیلومترمربع جابجایی مواد صورت گرفته است (جعفری و خدایی، ۱۴۰۲). در این محدوده دو نوع لغزش (چرخشی و انتقالی) رخداده است. علت وقوع این زمین‌لغزش جای بحث دارد. خارج از نقش درز و شکاف و لیتولوژی کنگلومرا و سیلتستون، شرایط لیتولوژیکی و هیدرولوژیکی اطراف محدوده قابل‌بررسی است. سیلتستون مسلط به کنگلومرا در قسمت غربی این منطقه، همراه لایه‌های آهکی بالادست، باعث شدند که در فاصله یک کیلومتری از این محدوده حوضچه‌های لغزشی ایجاد شوند که باعث نفوذ آب به داخل زمین شده و هم‌زمان درز و شکاف سطحی و عمقی در کنگلومرا شرایط لازم برای وقوع زمین‌لغزش معلم‌کلایه را فراهم کرده است. در قسمت شرقی رودخانه معلم‌کلایه (شکل ۷ ج) کنگلومرا با شیب ۳۰ درجه وجود دارد که سیلتستون آن را در برگرفته است. زمین‌لغزش چرخشی روی کنگلومرا در این منطقه رخ نداده است و منطقه بیشتر تحت تأثیر حرکات دامنه‌ای از نوع ریزشی است. سیلتستون موجود در قسمت شرقی زمین لغزش (شکل ۷ د) عملکردی مشابه سیلتستون قسمت غربی را دارد و منطقه‌ای بدون پوشش گیاهی را ایجاد کرده است. در قسمت انتهایی حوضه مورد بررسی در اثر وقوع حرکات دامنه‌ای سطح اصلی منطقه به مجموعه‌ای از ارتفاعات کوچک و فرورفتگی‌ها تقسیم‌شده است.

شکل (۷): زمین‌لغزش در لیتولوژی مجاور کنگلومرا. الف) سیلتستون. ب) کنگلومرا. ج) سیلتستون. د) کنگلومرای مسلط به سیلتستون.

Figure (7): Landslide in conglomerate adjacent lithology. A) Siltstone. b) Conglomerate. c) Siltstone. d) Conglomerate dominated by siltstone.

لغزشِ چرخشی در امتداد سواحل رودخانه نوعی از لغزش است که براثر پدیده کندوکاو رودخانه در پای لایه‌های مقاوم به وجود می‌آید؛ انتقال مواد از پای لایه‌های مقاوم، باعث کاهش مقاومت دامنه‌ها می‌شود؛ در چنین شرایطی توده مقاوم با دریافت رطوبت، مقاوم‌تر می‌شود (به دلیل افزایش نیروی کششی بین ملکول‌ها و اجزای نفوذپذیر لایه رسوبی) ولی حفر و انتقال مواد از پای آن‌ها زمینه حرکت مواد بالادست را به سمت پایین‌دست فراهم می‌کند که در صورت جذب آب فراوان توسط لیتولوژی موجود در دامنه، شرایط برای ایجاد زمین‌لغزش جریانی فراهم می‌شود. شواهد این نوع لغزش را می‌توان به‌وفور در اطراف رودخانه الموت مشاهده کرد (شکل ۸الف). این

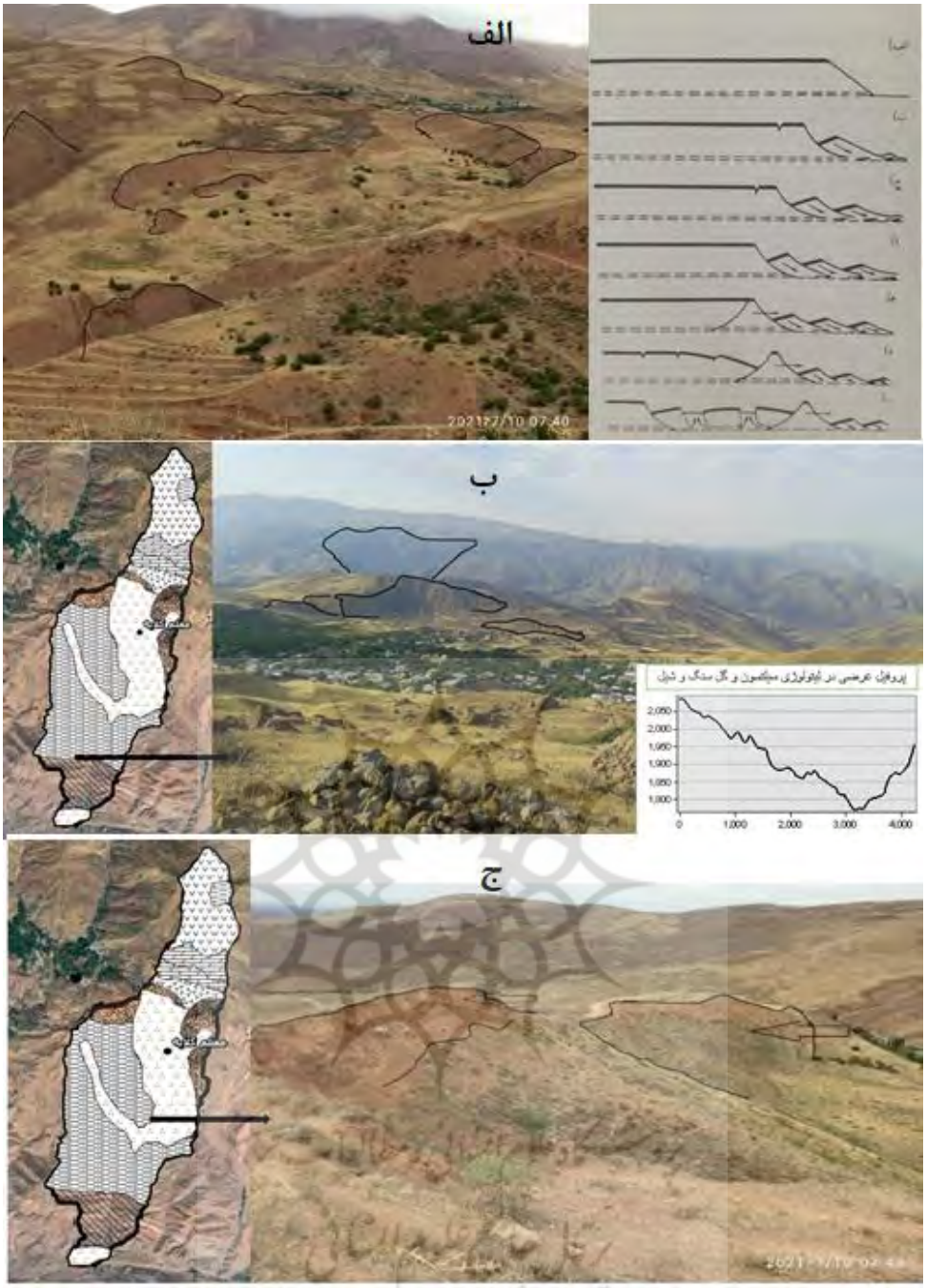
مطلب در راستای یافته‌های زمردیان (۱۳۹۱: ۸۷) است که یکی از فاکتورهای اثرگذار برای ایجاد زمین‌لغزش وجود لایه‌های رس سیلتی یا مارنی است که در اکثر کوهپایه‌های ایران گسترش‌یافته‌اند. این سازندها به‌ویژه اگر در جهت شیب طبقات زمین‌شناسی باشند به‌عنوان سطوح گسیختگی عمل کرده و باعث لغزش می‌شوند. مطلب مذکور را می‌توان در شکل (۸ب) مشاهده کرد. همان‌طور که مشخص است لغزش چرخشی رخ‌داده باعث ایجاد سطوح گسیختگی مقعر شده است.



شکل (۸): لغزش چرخشی. الف) در امتداد دامنه مشرف‌به ساحل رودخانه الموت. ب) گسیختگی مقعر در لغزش چرخشی سیلتستون دور از آبراهه اصلی.

Figure (8): Rotational slip. A) Along the slope overlooking the Alamut river bank. b) Concave rupture in siltstone rotational slip away from the main channel.

۳- خاک روانی: محدوده‌ای که ازنظر لیتولوژی، لایه‌ها متشکل از سیلتستون و مادستون و گلسنگ است، زمین‌لغزش‌هایی رخ می‌دهد که بیشتر ناشی از کم شدن مقاومت لایه‌های رسی موجود در بین ساختار زمین‌شناسی منطقه است؛ نمای کلی منطقه به‌صورت تراس‌های لغزشی در می‌آید. یک سری از لغزش‌های چرخشی باعث حرکت رو به بالا و پایین سطح زمین همراه با انفصال لایه با مقاومت ضعیف از محل اثر لغزش شده است (شکل ۹ الف و ب). در هر یک از تراس‌های مذکور، لغزش‌های ثانوی به علت ثابت نبودن سطح اساس رودخانه الموت در مقیاس میکرو رخ‌داده است. جریان خاک یا خاک روانی یک جریان دانه‌ای به پایین است که در فواصل بارش‌های سنگین رخ می‌دهد خاک روانی تیپیک در رأس خود با یک پرتگاه تند تلاقی پیدا می‌کند درواقع این محل مرز بین مواد جابجا شده از زمین غیر آشفته دامنه می‌باشد (شکل ۹ج).



شکل (۹): الف) سمت چپ: مکانیسم انفصال در مدل آزمایشی. *منبع: سید و ویلسون، ۱۹۷۶: ۳۴۸؛ به نقل از چورلی و شوم، ۱۳۹۳* **. سمت راست: تراس‌های لغزشی در رسوبات سیلتستون و مادستون. ب) نمایی دورتر از تراس‌های لغزشی در رسوبات سیلتستون و مادستون و شیل. ج) روانی خاک در دامنه مشرف‌به رودخانه معلم‌کلایه**

Figure (9): a) Left side: Detachment mechanism in the experimental model. Source: Said and Wilson, 1976: 348; Quoted from Chorley and Shum, 2013. Right side: sliding terraces in siltstone and mudstone sediments. b) Farther view of sliding terraces in siltstone, mudstone and shale sediments. c) Flow of the soil in the slope overlooking Mo'alem-Kelayeh River

بحث

مواد در حرکات دامنه‌ای، به سه نوع اصلی (قائم، مورب و جانبی) جابجا می‌شوند. حرکات قائم شامل سقوط مواد خاکی در صخره و فرونشینی در اثر حرکت مواد تحت‌الارضی است (چورلی و شوم، ۱۳۹۲: ۶۷). بر این اساس علاوه بر توجه به خصوصیات سنگ‌شناسی در منطقه مطالعاتی باید به نیروهای عمل‌کننده بر دامنه نیز توجه کرد. به‌طوری‌که اگر این نیروها بر روی دامنه نسبت به مواد موجود قدرت

فشار بیشتری داشته باشد حرکت توده‌ای را در دو بخش می‌توان موردبررسی قرارداد. مورد اول عواملی که فشار برشی را افزایش می‌دهند که شامل جابجایی تکیه‌گاهی جانبی (برش‌های داخلی- شیب‌دار شدن دامنه)، اضافه شدن بار دامنه‌ای، جابجایی لایه‌های تحتانی که نقش تکیه‌گاه دارند، فشار جانبی (مانند آبگیری رس‌ها) است و بخش دوم عواملی همچون تغییرات در نیروهای موجود در بین دانه‌ها در ارتباط با آب محتوی رسوب، هوازدگی و واکنش‌های فیزیکوشیمیایی، تغییرات در ساختمان مانند شکاف برداشتن شیل‌ها و استحکام‌پذیری رس‌ها و درنهایت وجود مواد آلی مانند پوسیدگی ریشه‌ها است که منجر به کاهش مقاومت برشی می‌شوند (وارن، ۱۹۸۸: ۳۷۲[1]) (جدول ۱). در این راستای عوامل بخش اول برای نمونه زمین لغزش بزرگ معلم کلایه را می توان در نظر گرفت که از یک طرف لایه کنگلومراییمحصور در بین سیلتستوان، براثر تغییرات محیطی شرایط افزایش نیرو و گسیختگی برایش فراهم می گردد و از پایین دست نیز لایه سیلتستونی باحساسیت بیشتر در مقابل عوامل فرسایشی پای کنگلومرا را تخلیه می کند و ترکیب توأمان نیروها باعث بزرگ‌ترین زمین لغزش منطقه می‌گردد. درراستای عوامل دوم نیز می توان از زمین لغزش‌های درون لیتولوژیکی حوضه معلم کلایه نام برد؛ بخصوص زمین لغزش‌های رخ‌داده در سیلتستون و مادستون موجود در منطقه که با جذب آب و فرایندهای فیزیکوشیمیایی حادث در ذرات به مرور زمان چالاب‌های را ایجاد می‌کنند که منجر به دام انداختن رواناب‌ها شده و به مرور زمان، با آبگیری بیشتر دانه‌ها شرایط را برای زمین لغزش های بعدی که در مقیاس متفاوتی رخ می‌دهند فراهم می‌نماید.در یک ناحیه معین پراکندگی حرکت توده‌ای مواد می‌تواند با تنوع ساختمانی و سنگ‌شناسی مرتبط باشد. به‌عنوان‌مثال رخنمون‌های سیلت از رخنمون‌های ماسه‌سنگی برای این پدیده مستعدتر هستند (چورلی و شوم، ۱۳۹۲: ۹۱). در حوضه معلم کلایه هرجا لیتولوژی‌های مختلف در کنار هم قرار گرفته اند، عملکرد متفاوت آن‌ها در مقابل رواناب، شرایط مساعدی برای زمین لغزش فراهم نموده اند. برای مثال در بخش‌هایی از حوضه که لیتولوژی کربناته رخنمون دارد، به علت نفوذناپذیری مستقیم آن، رواناب ها بر آن‌ها بعد از هرگونه بارشی سریعاً به جریان می‌افتد و زمانی که به سیلتستون یا مادستون مجاور می‌رسد در آن نفوذ کرده و به همراه آب نفوذی باریده شده بر خود آن‌ها شرایط را برای زمین لغزش فراهم می نمایند. با توجه به ثابت نگه‌داشتن فاکتورهای اثرگذار در وقوع حرکات دامنه‌ای در مناطقی که لیتولوژی متفاوتی دارند ممکن است سنگ‌هایی که نسبتاً نامقاوم هستند (همانند کنگلومرای محصور در حوضه معلم کلایه) پیوستگی خود را حفظ نکرده و باعث ایجاد حرکات دامنه‌ای شوند.

جدول ۱: جهت و حرکت توده‌ای مواد. *منبع: وارن، ۱۹۸۸*

Table (1): direction and mass movement of materials. Source: Warren, 1988

جهت حرکت	نوع حرکات دامنه‌ای		
قائم	ریزشی (سقوط)	فرونشینی	-
جانبی	لغزشی (انتقالی- چرخشی)	پراکندگی	-
مورب	لغزشی (انتقالی- چرخشی)	جریانی	خزشی

جریان ماده و انرژی در آبراهه‌ها متناسب با محیط، در طی زمان، حریم شکل‌زایی ایجاد می‌نماید. معمولاً این حریم برای جریان سیال آب بستر و کناره رودخانه بسیار کمتر از حریمی است که رودخانه با برهم زدن شیب کناره‌ها در حرکات توده‌ای و دامنه‌ای ایجاد می‌نماید. در مطالعات سیستم‌های باز سعی محقق بر آن است که با ثابت فرض نمودن اجزاء مختلف، نقش جزء یا اجزایی از سیستم را پررنگ‌تر نموده و مطالعه نمایند. بر همین اساس با نگاه سیستمی به حرکات دامنه‌ای و بخصوص زمین‌لغزش، تلاش بر آن است که نقش لیتولوژی را در وقوع حرکات دامنه‌ای بررسی نمود. با تمرکز بر خصوصیات لیتولوژیکی مشخص گردید که رودخانه به‌عنوان یک بردار ثابت در انواع لیتولوژی‌ها عملکرد حرکات دامنه‌ای را متأثر نموده است. بر این اساس زمین‌لغزش‌های حوضه معلم‌کلایه با توجه به لیتولوژی و حریم رودخانه‌ها مورد ارزیابی قرارگرفته است. با توجه سازندهای حوضه، به‌صورت گام‌به‌گام انواع زمین‌لغزش‌ها از سراب حوضه به پایاب، به صورت گام به گام مورد ارزیابی قرار گرفت. در حوضه معلم‌کلایه سازند کرج، روته، شمشک و رسوبات نئوژن و تخریبی مهم‌ترین سازندهای زمین شناسی هستند کـه عمدتا فرسایش پذیر بوده و قابلیت فرسایش‌پذیری بالایی دارنـد. تـشکیل لندفرم هزاردره یا بدلند، گویای این

[1].Warren, 1988

حساسیت در منطقه است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در نقش لیتولوژی در وقع انواع حرکات دامنه‌ای، نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که در حوضه معلم‌کلایه حرکات دامنه‌ای در مقیاس ماکرو (لغزش اصلی مشرف‌به معلم‌کلایه) و میکرو (شامل انواع حرکات لغزشی، ریزشی و خزشی) با توجه به رسوبات حساس موجود در منطقه رخ‌داده است. هرچند، در شرایط کنونی، مهمترین عامل فرسایشی حوضه، فرایند آبی است ولی با توجه به حساسیت لیتولوژی‌ها و وضعیت مجاور آن‌ها چنین می‌توان نتیجه گرفت که حرکات دامنه‌ای و حمل مواد فراهم شده ناشی از آن توسط آب‌های جاری، مسئول نهایی شکل گیری سطوح ارضی در این قسمت از ایران هستند.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با جنبه‌های تجربی محیط جغرافیایی زمین‌لغزش‌های معلم‌کلایه موردبررسی قرار گرفت. بدین منظور با تکیه بر دید چندجانبه و توجه به خصوصیات اساسی تجربه محیطی، زمینه‌های ارتباط لیتولوژی با زمین‌لغزش و تلفیق اطلاعات موجود با اطلاعات زمینه‌ای فراهم گردید. نتایج بررسی نقش لیتولوژی بر وقوع حرکات دامنه‌ای در حوزه مطالعاتی حاکی از این است که لیتولوژی به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم بر وقوع حرکات دامنه‌ای اثرگذار است. اثر مستقیم آن از طریق تفاوت در نفوذپذیری آب در لیتولوژی‌های مختلف است که هرچه لیتولوژی نفوذپذیرتر باشد امکان حرکات توده‌ای در آن بیشتر است. به گونه‌ای که در حوضه معلم کلایه لیتولوژی سیلتستون و مادستوان با نفوذ بیشتر آب به درون زمین شرایط را برای ناپایداری دامنه‌ها و وقوع انواع مختلف حرکات توده‌ای فراهم نموده‌اند. اینگونه لیتولوژی‌ها با نفوذ آب به درون خود و افزایش فشار و نیرویی که در سطوح شیب‌دار، دامنه ها را ناپایدار و دچار زمین لغزش‌های عمدتاً از نوع چرخشی نموده اند. اثر غیر مستقیم لیتولوژی بر حرکات دامنه‌ای به عوامل جانبی مختلفی بستگی دارد: رودخانه، موقعیت آن نسبت به خط تقسیم آب، مجاورت با لیتوژی‌های دیگر، گسیختگی.معمولاً رودخانه‌ها در اثرگذاری بر حرکات دامنه‌ای دارای حریمی هستند که وسعت آن علاوه بر ماده و انرژی جاری در بستر رودخانه، به نوع لیتولوژی که رودخانه از آن عبور می‌کنند نیز بستگی دارد. جایی که لیتولوژی مقاوم باشد و شیب سطوح ارضی برای جریان‌های آبی مستعدتر باشد حریم اثرگذاری، وسعت بیشتری به خود می‌گیرد. لیتولوژی واقع در سطوح ارضی پایین‌دست رودخانه‌ها (مناطق دورتر از خط تقسم آب یا سراب حوضه)، در مقابل حرکات دامنه‌ای آسیب‌پذیرتر شده و حرکات دامنه‌ای وسعت بیشتری می‌گیرند؛ چرا که با گذشت زمان و اثرگذاری فرسایش بر سطوح ارضی، لیتولوژی‌هایی با مقاوم بیشتر در اسکلت اصلی ناهمواری به صورت مرتفع رخنمون می‌یابند و لیتولوژی حساس‌تر در مقابل فرسایش، به طرف خط القعرها قسمت‌های کم ارتفاع‌تر را نسبت به لیتولوژی‌های مقاوم‌تر موجود در محیط پیدا می‌کنند. در چنین مناطقی علاوه بر سست‌تر شدن لیتولوژی به صورت مقطعی، ماده و انرژی جاری در رودخانه نیز افزایش می‌یابد، ولی به دلیل شیب کمتر سطوح ارضی، حریم اثرگذاری رودخانه محدودتر می‌شود، ولی مواد را در ضخامت بیشتری جابه‌جا نموده و منجر به شکل گیری دره‌های عمیقی در منطقه شده‌اند. البته حوضه های کوچک و محلی در اینگونه مناطق (با رودخانه‌هایی با رتبه عمدتاً یک یا دو) امکان زمین‌لغزش میکروی بیشتری را فراهم می‌آورند. این دو موضوع باعث ناپایداری دائمی سطوح ارضی، با لیتوژی سست، در قسمت‌هایی پایاب حوضه معلم کلایه شده است. در سطوح ارضی نزدیک به خط الرأس‌ها و در سراب حوضه، هرچند ماده و انرژی کمتر و لیتولوژی مقاوم‌تری وجود دارد، ولی به علت شیب بیشتر دامنه‌ها و دخالت هوازدگی فیزیکی در تخلخل سنگ‌ها (به دلیل اختلاف دمای بیشتر و تکرار بیشتر آن با توجه به ارتفاع بیشتر) باید زمینه اثرگذاری رودخانه بر وقوع حرکات دامنه‌ای بیشتر شود؛ در صورتی که با تسلط بیشتر لیتولوژی مقاوم در مناطق مرتفع تر و وقوع ریزش های مکرر، امکان وقوع دیگر حرکات دامنه ای را به حداقل می رساند. لیتولوژی‌های مقاوم در جوار لیتولوژی‌های سست شرایط مساعدی را برای نفوذ بیشتر آب به درون لیتولوژی سست فراهم می‌کنند؛ این امر به همراه آبی که به طور مستقیم در لیتولوژی سست نفوذ نموده است منجر به افزایش فشار و در نتیجه نیروی برشی در مواد دامنه‌ای شده و زمینه را برای حرکات توده ای وسیع‌تر فراهم می‌نماید. در چنین شرایطی اگر توده نفوذناپذیری در پایین دست لغزش‌ها وجود داشته باشد به مرور زمان برجسته‌تر شده و اگر از زیر آب به درون آن نفوذ نماید، زمینه را برای گسیختگی لیتولوژی مقاوم فراهم می‌نماید. چنین شرایطی در کنگلومرای

مسلط بر شهر معلم کلایه، به همراه تکیه‌گاه سست کنگلومرا بر سیلتستون، شرایط را برای بزرگترین زمین لغزش حوضه، یعنی زمین لغزش معلم لایه فراهم نموده است.

منابع

Aghayary, L., Asghari Saraskanrood, S., & Zeynali, B. (2024). Identification and zoning of landslide prone areas in Germi city. *Hydrogeomorphology*, (), -. Doi: 10.22034/hyd.2024.58703.1709 [In Persian]

Arbanas, S. M., & Arbanas, Ž. (2015). Landslides: A guide to researching landslide phenomena and processes. In *Transportation Systems and Engineering: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 1393-1428). IGI Global. DOI: 10.4018/978-1-4666-8473-7.ch070

Ayalew, L., Yamagishi, H., & Ugawa, N. (2004). Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. *Landslides*, 1, pp 73-81. https://doi.org/10.1007/s10346-003-0006-9

Beheshtirad, M., Feiznia, S., Salajegheh, A., Ahmadi, H. (2009). Investigating applicability of certainty factor landslide hazard zonation model (a case study Mo'alem-Kelayeh h watershed). *Journal of physical geography*, 2(5), pp 19-28. [In Persian] https://sid.ir/paper/185094/en

Bommer, J. J., & Rodríguez, C. E. (2002). Earthquake-induced landslides in Central America. *Engineering Geology*, 63(3-4), pp 189-220.

Chen, W., Zhang, S., Li, R., & Shahabi, H. (2018). Performance evaluation of the GIS-based data mining techniques of best-first decision tree, random forest, and naïve Bayes tree for landslide susceptibility modeling. *Science of the total environment*, 644, pp 1006-1018. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.389

Chorley, Richard J.; Shum, Stanley E; Soden, David A. (2012). Geomorphology, volume three: range, watercourse, coastal and wind processes. Translated by Ebrahimi Moghimi and Ahmed Motamed. Tehran: Samit Publications. 455 p. [In Persian]

Cruden, D. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of Engineering Geology & the Environment*, *43*(1).

Guerra, A. J. T., Fullen, M. A., Jorge, M. D. C. O., Bezerra, J. F. R., & Shokr, M. S. (2017). Slope processes, mass movement and soil erosion: A review. *Pedosphere*, *27*(1), 27-41. http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1315.P.20160627.1639.038.html

Guzzetti F, Mondini, A C, Cardinali M, Fiorucci F, Santangelo M, Chang K T. (2012). Landslide inventory maps: new tools for an old problem. *Earth Science Reviews*. 112: 42-66. http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001

Hijazi, A., Rezaei Moghadam, M., H., & Naseri, A. (2020). Landslide hazard zoning using artificial neural network models and TOPSIS downstream of Sanandaj Dam, *Hydrogeomorphology Journal*, 7(24), 65-82. [in persian].

Jafari, G. H., & Khodaei, R. (2023). Morphometry and reconstruction of the Moallem-Kalaye landslide. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(35), 59-78. [In Persian] DOI: 10.22111/jneh.2022.40129.1849

Jamalabadi, J., Safari, F., Borabadi, A., & Al-Mohammad, M. (2021). Identification and zoning of susceptible area of landslide in the Javroud rural district. *Emergency Management*, 10(2), pp 47-55. [In Persian]

Kayani, Sh., Muzazi, A., Gholam Nia, Kh., Ainali, G. (2019). Evaluating the effectiveness of the logistic regression model in landslide risk zoning (case study: Hasht Chin catchment area of Ardabil province).*15th*

National conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran, Sari. [In Persian] https://civilica.com/doc/1255420

Khazaei, N., Darrafshi, S., Sheikhzadeh Shandiz, R., Bagheri Jamkhane, Z. (2021). Investigation of landslide accident points using GIS in Mazandaran province. National Conference on Architecture, Civil Engineering, Urban Development and Horizons of Islamic Art in the Second Step Statement of the Revolution, Tabriz. [In Persian] https://civilica.com/doc/1251957

Khubulava, I., & Chakhaia, G. (2018). The forecast of stability of the landslide slope existing in the River Gldaniskhevi Valley. *Annals of Agrarian Science*, 16(3), pp 321-323. https://doi.org/10.1016/j.aasci.2018.05.008

Kiani, T., Hydrad, N., Parastoo, G.A. (2020). Active tectonics of the Roudbar region: with special reference to the landslides of the area. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards* 2020; 7 (1), pp 65-88. [In Persian] URL: http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2780-en.html

McColl, S. T. (2022). Landslide causes and triggers. In *Landslide hazards, risks, and disasters* (pp. 13-41). Elsevier.

Mosaffaie J, Salehpour Jam A, Tabatabaei M. (2022) Landslide risk assessment and management in Shahroud watershed of Qazvin province. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*. 9 (3): 199-212. [In Persian]
URL: http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3336-fa.html

Ogila, W. A. M. (2021). Analysis and assessment of slope instability along international mountainous road in North Africa. *Natural hazards*, *106*(3), 2479-2517. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04552-9

Popescu, M. E. (2002, July). Landslide causal factors and landslide remediatial options. In *3rd international conference on landslides, slope stability and safety of infra-structures* (pp. 61-81). CI-Premier PTE LTD Singapore.

Pradhan, S. P., Vishal, V., & Singh, T. N. (Eds.). (2019). Landslides: theory, practice and modelling. *Springer International Publishing*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77377-3

Prasanna, J., Gnanatheepan, W. (2018). Study on housing units locate in very high and high landslide hazard prone areas of Hali-Ela divisional secretariat division, Sri Lanka. *Procedia engineering*, 212, pp 22-29. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.004

Rajabi, M., Rezaei Moghadam, M. H., Takzare, A. (2022). Quantitative Analysis of Landslide Risk and Its Zoning in Alamut River Basin Using Logistic Regression Method. *Geographic Space* 22(77), pp 1-14. [In Persian] URL: http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-3407-fa.html

Ramezani Gurabi, B., Ebrahimi, H. (2010). Landslide and its stabilization. *Environmental based territorial planning (Amayesh)*, 2(7), pp 129-139. [In Persian] https://sid.ir/paper/130428/en

Sasanpour, F., Mohammadi, N. (2021). Management of natural landslide risk reduction using regional statistics, Tehran province. The second international conference and the fifth national conference on protection of natural resources and environment, Ardabil. [In Persian] https://elmnet.ir/doc/470124460-74691

Seddighi, H., & Ghasemi, A. R. (2023). Landslide risk modeling using logistics regression model (Case study: Chaharmahal and Bakhtiari province). *Researches in Earth Sciences*, *14*(4), 42-60. [In Persian] doi: 10.48308/esrj.2023.104053

Soori, S., Lashkaripour, G., Ghafoori, M., & Farhadi, T. (2013). Prioritization of landslide effective factors and its hazard mapping using AHP model (A case study: Keshvari watershed). *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 6(Number 1 & 2), pp 1-12. [In Persian] https://doi.org/10.22071/gsj.2010.57315

Wang, X., & Niu, R. (2010). Landslide intelligent prediction using object-oriented method. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(12), pp 1478-1486.

Warren, W. H. (1988). Action modes and laws of control for the visual guidance of action. *In Advances in psychology* (Vol. 50, pp. 339-379). North-Holland. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62564-9

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی