




The Impact of Groundwater on the Landslide Occurrence in the Southern Slope of Shah Neshin Mountain

Ali Rezapoor¹ , Iraj Jabbari² , Kazem Bahrami³ 

1. Department of Natural Geography, Faculty of Literature and Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran

Email: alirezapoor431@gmail.com

2. (Corresponding Author) Department of Natural Geography, Faculty of Literature and Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran

Email: Iraj.jabbari@razi.ac.ir

3. Department of Geological Engineering, Faculty of Literature and Human Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran

Email: bahrami.kazem@gmail.com

Article Info

Article type:

Review Article

Article History:

Received:

22 May 2023

Received in revised form:

27 August 2023

Accepted:

28 September 2023

Available online:

1 November 2023

Keywords:

Landslide,
Groundwater,
Mechanical Properties of
Soil,
Shah_Neshin Mountain,
Sarpol Zahab.

ABSTRACT

Landslides are a critical geohazard, often triggered by seismic activity, intense rainfall, and water table fluctuations. Understanding the complex interplay of these factors is a key task in hazard assessment and mitigation strategies. This comprehensive study investigates the regional potential for water flow dynamics, displacement mechanisms, and landslide genesis. Based on a dual approach of rigorous fieldwork and meticulous laboratory analysis, approximately 5 kg of fine-grained clay and 100 kg of coarse-grained material were collected for in-depth mechanical property testing. These investigations focused primarily on assessing Atterberg limits and shear strength characteristics. The results showed a striking correlation between the water table and the site's structural integrity. In particular, the marl and alluvial layers exhibited a significant decrease in resistance, ranging from 40% to 55% and 60% to 80%, respectively, in different regions of the study area. In addition, the cohesion of the layers decreased with increasing slope steepness, resulting in a reduction in internal friction angles. This empirical evidence highlights the region's susceptibility to increased landslide risk, particularly in precipitation-induced surface water infiltration and potential seismic upheaval, such as the powerful 7.3 magnitude earthquake in Sarpol Zahab in 2017. These combined factors highlight the imminent threat of landslides and call for proactive risk management and disaster preparedness measures.

Cite this article: Rezapoor, A., Jabbari, I., & Bahrami, K. (2023). The Impact of Groundwater on the Landslide Occurrence in the Southern Slope of Shah Neshin Mountain. *Physical Geography Research Quarterly*, 55 (3), 19-36.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.364630.1007788>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

The landslide on the southern slope of Shahneshin Mountain (Male Kabud) lies within the western region of Kermanshah province, positioned between 45°53' to 45°54' east longitude and 34°31' to 34°33' north latitude, covering an area of 6 square kilometers, this landslide occurred approximately 8 kilometers north of Sarpol-Zahab city. This area's geological structure, influenced by tectonic activities and various climatic periods, has shaped distinct landforms as rocky outcrops, fractures, sharp ridges, valleys, wall-like abysses (known as Giloi), dolines, karens, scree, and springs. Abundant springs and water seepage along valley sides and slopes suggest a proximity of groundwater to the surface, notably visible as springs emerging from joints and cracks during heavy rainfall. This area is situated in the tectonically active Zagros earthquake zone and experiences significant seismic activity. The mountainous terrain, unique geological compositions, and alternating layers of marl and limestone create a predisposition for landslides in this region. These conditions form a landscape where the convergence of factors sets the stage for landslide occurrences.

Methodology

This article aimed to assess the impact of groundwater on potential landslide occurrences and their influence on underlying formations. It delved into various parameters, including surface water dynamics, cracks, faults, groundwater flow, and geotechnical soil properties. The investigation relied on a comprehensive analysis combining field operations and laboratory studies. Identifying the area's cracks and faults was crucial to understanding surface water infiltration and groundwater flow patterns. Satellite imagery facilitated fault direction measurement, while Branton's compass aided in assessing seams, cracks, and primary ruptures resulting from recent landslides. These observations were then translated into directional and slope representations via rose diagrams using Stereonet software. This multifaceted

approach allowed for a comprehensive evaluation of the terrain's vulnerabilities and potential triggers for landslide occurrences.

In the subsequent phase, the influence of groundwater on the geotechnical properties of soils underwent a thorough examination. This involved assessing Atterberg limits, shear resistance, adhesion, and internal friction characteristics. To evaluate the alluvial materials and marl beds, samples were obtained both in their dry state and following a 40 mm rainfall event on the slip surface. Laboratory analysis focused on geotechnical features such as Atterberg's limits encompassing shrinkage, plastic, and liquid limits; tests for plastic and liquid limits adhered to Iranian Standard Number 10731. Additionally, direct cutting tests were conducted to measure parameters like adhesion (c) and friction angle (ϕ). Results from assessing Atterberg's limits and shear strength of alluvial materials and marl beds revealed a noteworthy trend as moisture content increased; the beds exhibited decreased resistance, particularly in marl layers. Given the prevalence of marl formations across numerous sections of the study area, the potential impact of groundwater on slope stability warrants comprehensive investigation.

Results and discussion

"One of the pivotal factors influencing the occurrence of significant landslides on the southern slope of Shah Neshin Mountain is the presence and influence of groundwater. The stratigraphic column of the studied area comprises limestone-dolomite and marl beds affected by faults, joints, and cracks. This unique combination, including the almost pure Asmari carbonate formation sequences, intense tectonic activity, and numerous joints and fissures, has fostered the development of karst formations within the mountain. The alternation of permeable limestone and impermeable marl beds results in surface water infiltrating through the limestone layers and accumulating on the impermeable *marl beds*. *This water accumulates atop impermeable marl beds, heightening instability* within sensitive marl formations and amplifying the risk of landslides. Moreover, the recent landslide-

induced cracks, expanding the waterway network, predominantly perpendicular to their direction, impede surface water flow. Consequently, these cracks exacerbate surface water infiltration into the ground, leading to aquifer formation on marl layers, providing ideal conditions for slip occurrences due to their low resistance against water infiltration.

The region exhibits a rich presence of groundwater, notably influencing recent landslides and potentially affecting future occurrences. Laboratory analyses on alluvial materials and marl beds confirm a significant decline in resistance attributed to groundwater, particularly pronounced in marl layers. This diminished resistance contributes to landslide occurrences, especially during seismic events and heavy rainfall. The fracture system within the region directs water flow towards lower beds, raising groundwater levels, resulting in the emergence of springs and limited vegetation development. Furthermore, laboratory results indicate a notable decrease in resistance, especially in marl beds, due to water presence, further exacerbating landslide risks in the area. Tectonic movements and earthquakes compromising lower beds' shear resistance and changes in pore water pressure sans precipitation escalate landslide probabilities. The combination of created gaps and preserved waterways amplifies landslide risks during heavy rainfalls or seismic activities akin to the 1918 earthquake. Consequently, this intricate interplay of geological factors and water dynamics accentuates the area's vulnerability to landslide occurrences. "

Conclusion

"The presence of dense and brittle limestone-dolomite beds, coupled with faults, joints, and fractures within these rock formations, facilitates water infiltration and downward movement into lower beds. Consequently, these waters accumulate on the impermeable marl layers, creating conditions conducive to forming aquifers. A visible manifestation of this process is the emergence of springs and water seepage across the region. The influence of these waters extends to

diminishing the resistance of the beds, particularly the marl beds. Laboratory tests assessing Atterberg limits and soil shear strength from both marl and alluvial layers reveal a notable trend as the beds exhibit decreased resistance as moisture content increases. Additionally, with heightened slope angles, adhesion decreases while the angle of internal friction increases. These combined conditions create a favorable environment for landslide occurrences."

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content 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.

تأثیر آب‌های زیرزمینی بر زمین‌لغزش دامنه جنوبی کوه شاه نشین

علی رضاپور^۱، ایرج جباری^۲، کاظم بهرامی^۳

- ۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: alirezapoor431@gmail.com
- ۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: Iraj.jabbari@razi.ac.ir
- ۲- گروه مهندسی زمین شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: bahrami.kazem@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

زمین‌لغزش یکی از مهم‌ترین مخاطرات ژئومورفیک است که تحت تأثیر عوامل مختلفی همچون لرزش‌های ناشی از زمین‌لرزه، بارش شدید باران و تغییر در تراز آب زیرزمینی اتفاق می‌افتد. به همین دلیل شناسایی و بررسی عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش، امری بسیار مهم و ضروری است. هدف از این تحقیق، بررسی پتانسیل‌های منطقه برای عملکرد جریان آب و جابه‌جایی و تولید زمین‌لغزش‌ها است. این تحقیق با ترکیبی از عملیات میدانی و تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی اجرا شد و برای بررسی ویژگی‌های مکانیکی ذرات، مواد ریزدانه رسی در حدود ۵ کیلوگرم و مواد درشت‌دانه مقدار ۱۰۰ کیلوگرم برداشت شد. سپس در آزمایشگاه حدود آتربرگ و مقاومت برشی مورد آزمایش و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که آب‌های زیرزمینی می‌تواند باعث افت مقاومت لایه‌های مارنی و آبرفتی بین ۴۰ تا ۵۵ درصد و مارنی بین ۶۰ تا ۸۰ درصد در نمونه‌های برداشت‌شده در نقاط مختلف محدوده مورد مطالعه شود و با افزایش شیب میزان چسبندگی لایه‌ها کم و زاویه اصطکاک داخلی زیاد می‌شود؛ بنابراین نفوذ آب‌های سطحی ناشی از بارش و تأثیر آن بر تراز آب‌های زیرزمینی و وقوع زلزله‌های مشابه زلزله ۷/۳ ریشتری سال ۱۳۹۶ سرپل ذهاب می‌تواند احتمال وقوع زمین‌لغزش را افزایش دهد.

نوع مقاله:

مقاله مروری

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۳/۰۱

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۲/۰۶/۰۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۷/۰۶

تاریخ چاپ:

۱۴۰۲/۰۸/۱۰

واژگان کلیدی:

آب‌های زیرزمینی،

زمین‌لغزش،

سرپل ذهاب،

کوه شاه‌نشین،

ویژگی‌های مکانیکی خاک.

استناد: رضاپور، علی؛ جباری، ایرج و بهرامی، کاظم. (۱۴۰۲). تأثیر آب‌های زیرزمینی بر زمین‌لغزش دامنه جنوبی کوه شاه نشین. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۵ (۳)، ۳۶-۱۹.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.364630.1007788>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

© نویسندگان



مقدمه

زمین‌لغزش فرایند تغییر در حالت تنش-کرنش یک توده زمین بر روی یک دامنه است که در مناطق کوهستانی پرباران و لرزه‌خیز رخ می‌دهد (Kazeev & Postoev, 2017: 2). اهمیت این پدیده را می‌توان از دیدگاه‌های گوناگونی مورد بحث و بررسی قرار داد. مهم‌ترین دلیل با اهمیت بودن آن زمانی است که فعالیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار دهد و موجب خسارات مالی و جانی فراوانی شود؛ بنابراین بررسی عوامل مؤثر در ایجاد حرکت‌های توده‌ای به منظور برنامه‌ریزی و انجام کارهای اصولی و ارائه راهکارهای مدیریتی صحیح در مناطق حساس ضروری می‌نماید. اگر چه این پدیده تحت تأثیر عوامل متعددی مانند: زمین‌شناسی، نوع و عمق خاک، شیب، پوشش گیاهی، فعالیت‌های انسانی و زلزله قرار دارد (Dahal et al, 2008: 496؛ Bera et al, 2019: 45)؛ اما نقش عوامل هیدرولوژیکی (بارش، رطوبت خاک، جریان‌های زیرسطحی و عمق آب‌های زیرزمینی) می‌تواند در بروز خطر آن نقش اساسی داشته باشد (نفرزادگان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۲).

نقش بارش در وقوع لغزش از طریق جریان زیرسطحی معلوم می‌شود. رواناب‌های ناشی از بارش می‌تواند از طریق گسل‌ها و درز و شکاف‌های سنگ‌های آهکی و شکاف‌های ایجادشده در مسیر آبراهه‌ها به داخل زمین نفوذ پیدا کند. با شناسایی جهت گسل‌ها و درز و شکاف‌ها می‌توان جهت آب‌های زیرزمینی را مشخص کرد. نفوذ رواناب‌های ناشی از بارش شدید باران و ذوب برف‌ها به وسیله گسل‌ها و درز و شکاف‌ها، باعث تغییر در تراز آب‌های زیرزمینی شده و شرایط را برای وقوع زمین‌لغزش‌ها ایجاد می‌کند (Dai & Lee, 2002:186; Mondini et al, 2013:140). در این ارتباط شرفی و همکاران (۱۳۹۷:۱۸۴) در بازسازی پالتوژئومورفولوژی زمین‌لغزش دلا و شکل‌گیری دریاچه سدی شیمبار در شهرستان اندیکای استان خوزستان به این نتیجه دست یافتند که دامنه‌هایی با شیب زیاد و انحلال سنگ‌های آهکی و توسعه درز و شکاف‌ها در کوه دلا به عنوان یک منطقه کارستی، موجب مساعد شدن شرایط وقوع زمین‌لغزش شده است. علاوه بر درز و شکاف‌ها، لایه‌های درشت‌دانه مانند مواد آبرفتی می‌توانند موجب نفوذ آب‌های سطحی به داخل زمین شوند. در این خصوص صالحی و همکاران (۱۳۹۶:۸۷) در مطالعات خود نتیجه گرفتند که وجود لایه‌های درشت‌دانه، نفوذ آب‌های سطحی را تسهیل می‌کند و باعث تغییرات سطح سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. تغییرات سطح آب زیرزمینی سبب بالا رفتن مقدار فشار منفذی و افزایش وزن خاک می‌شود و دامنه را مستعد لغزش می‌کند. در خاک‌ها نیز فشار آب، نقش مهم‌تری در مقایسه با مقدار آب دارند. از این رو گسیختگی‌ها و حرکات دامنه‌ای را نباید محصول عمل لغزنده‌کنندگی آب دانست؛ بلکه بیشتر به دلیل بالا رفتن فشار آب منفذی است (معماریان ۱۳۷۷:۱۰۹؛ Azañón et al, 2010:31). وقوع لغزش بر اثر افزایش فشار منفذی ناشی از تجمع آب بر روی لایه نفوذناپذیر و بالا آمدن سطح سفره آب‌های زیرزمینی است که موجب به هم خوردن تعادل تنش‌ها در بدنه شیب می‌شود (شعاعی ۱۳۹۵: ۱۲۶)؛ بنابراین فشار آب منفذی باعث کاهش تنش عمودی مؤثر بر سطح گسیختگی شده به عبارت دیگر باعث کاهش مقاومت برشی مواد دامنه می‌گردد (Giannecchini, 2006: 359؛ طالبی و همکاران، ۱۳۸۸: ۶۷).

نفوذ آب به توده نفوذناپذیر رسی مانند مارن، موجب می‌شود که فشار آب منفذی بالا رفته و حالت خمیری و روانی به خود گیرد؛ بنابراین مقاومت برشی کاهش و زمینه را برای وقوع لغزش فراهم می‌کند. این پدیده در مناطقی مانند زاگرس که دارای چشمه‌های فراوان در ترازهای مختلف هستند، اتفاق می‌افتد (شعاعی، ۱۳۹۵: ۱۲۷). مکانیسم فعالیت این پدیده بدین گونه است که در سازندهای ریزدانه (رس، مارن و شیل) در اثر نفوذ آب، خاصیت کلونیدی مواد به هم می‌خورد و تا محلی که آب نفوذ کرده باشد؛ خاک از توده اصلی جدا شده و در نتیجه نیروی ثقل در روی دامنه حرکت می‌کند و زمین‌لغزش اتفاق می‌افتد (احمدی، ۱۳۸۶: ۲۳۰).

هرچند آب‌های زیرزمینی می‌تواند در وقوع زمین‌لغزش‌ها نقش داشته باشد ولی این عامل زمانی می‌تواند موجب جابجایی مواد در سطح دامنه‌ها شود که خصوصیات خاک دامنه نیز مستعد لغزش باشد. برای بررسی و اطلاع از لایه‌های زیرین از طریق حفر چاهک‌ها و گمانه‌ها می‌توان به وجود این لایه‌ها پی برد. در این خصوص (Naude et al, 2008:162) با ترکیب ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و ژئوفیزیکی به ارزیابی لغزش روستای واقع در جنوب ایتالیا پرداختند و برای واسنجی اقدام به حفر گمانه نمودند و به این نتیجه دست یافتند که منطقه دارای تشکیلات رسی-مارنی بوده و نتایج نشان داد که ذوب شدید برف و تغییر در تراز آب‌های زیرزمینی موجب شده است که این لغزش‌ها اتفاق بیفتد؛ بنابراین سازندهای حساس و نفوذناپذیر مانند شیل و مارن مستعدترین خاک‌ها برای وقوع زمین‌لغزش هستند (امامی و همکاران، ۱۳۹۵:۱۸۳). نفوذ آب‌های زیرزمینی در لایه‌های رسی (مارن و شیل) باعث کاهش مقاومت برشی آن‌ها می‌شود و شرایط مساعدی برای وقوع زمین‌لغزش ایجاد می‌کند. یکی از عواملی که در بیشتر مواقع موجب ناپایداری دامنه‌ها می‌شود، حضور رس‌های تورم‌پذیر در ترکیب مواد سازنده دامنه‌ها است (Mugagga et al, 2012:1122). خاک‌های متورم شونده به علت داشتن کانی‌های رسی مانند مارن و شیل، با افزایش نفوذ آب در آن‌ها، فاصله بین ورقه‌های کانی‌های رسی بیشتر می‌شود و شرایط مساعدی برای لغزش فراهم می‌کند (Azañón et al, 2010:28; Jie et al, 2017:161) در این زمینه طلایی دولق و همکاران (۱۳۸۰:۱۳۸) در شناخت و بررسی عوامل موثر در لغزش خیزی روستاهای جنوب غرب خلخال به این نتیجه دست یافتند که وجود رس در سازندهای حساس منطقه با جذب آب و بر اثر خاصیت تورم و خمیری به‌عنوان یکی از عوامل اصلی حرکات دامنه‌ای بوده است. همچنین بونزا (۲۰۰۲:۳۴۵) در بررسی زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی زمین‌لغزش منطقه باواریان آلپ به این نتیجه دست یافتند که محتوای بالای رس در مارن‌ها، اصطکاک داخلی و میزان چسبندگی و در نتیجه مقاومت برشی نسبت به رسوبات یخچالی بسیار کمتر است.

برخی از خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های دارای کانی‌های رسی از جمله حد خمیری و روانی و درصد ذرات رسی بالا از علل اصلی وقوع زمین‌لغزش می‌توان معرفی کرد (Manish, 2016: 336; Meisina, 2006: 832). بنابراین کانی‌های رسی ریزدانه در اثر نفوذ آب‌های زیرزمینی مقاومت برشی خود را از دست می‌دهند. در این ارتباط اکرامی راد و همکاران (۱۳۹۸:۱۲۴) در بررسی زمین‌لغزش دشتگان رودبار، تراوش آب در بخش ریزدانه در رس‌ها و ایجاد ترانشه در پای شیب به‌صورت توأمان علت اصلی وقوع زمین‌لغزش است. آن‌ها با توجه به اطلاعات ژئوتکنیکی آنالیزهای پایداری و برگشتی مقاطع که با استفاده از نرم‌افزار Geo-slope انجام دادند، به این نتیجه دست یافتند که عامل اصلی زمین‌لغزش نفوذ آب در خاک و کاهش شدید پارامترهای مقاومتی بخش ریزدانه خاک است. در این ارتباط آبیبه^۱ و همکاران (۲۰۱۰:۱۳۵) در بررسی لغزش‌های ارتفاعات و حاشیه دره‌ها در اتیوپی، توپوگرافی ناهموار، شیب، ایجاد افق رسی در لایه‌های رسوبی، شبکه متراکم گسیختگی‌های تکتونیکی و گسل‌ها، لایه‌های ضخیم آبرفتی و نفوذ آب از عوامل ایجادکننده انواع مختلف حرکت‌های توده‌های معرفی کردند.

با توجه به کوهستانی بودن و توالی لایه‌های آهکی - و مارنی، توسعه درز و شکاف‌ها، بارش فراوان و لرزه‌خیزی خاص منطقه سرپل ذهاب، انتظار می‌رود که محدوده مورد مطالعه در معرض انواع مخاطرات محیطی، خصوصاً زمین‌لغزش قرار داشته باشد. نمونه آن، می‌توان به زمین‌لغزش مله‌کیود در دامنه جنوبی کوه شاه‌نشین اشاره کرد که در اثر زلزله ۷/۳ ریشتری سال ۱۳۹۶ اتفاق افتاد. این زمین‌لغزش بزرگ‌ترین زمین‌لغزش روی داده در چند دهه اخیر ایران است

(گزارش زمین‌لرزه ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۶ سرپل ذهاب). در اثر این زمین‌لغزش شکاف‌های طولی و عرضی زیادی با اعماق متفاوت ایجاد گردید و باعث خشک شدن سه چشمه و ظهور دو چشمه جدید شده است. فراوانی چشمه‌ها و نشت آب‌ها در پهلوی دره‌ها و سرایشی‌های دامنه‌ای، حاکی از نزدیک بودن سطح آب‌های زیرزمینی، به سطح دامنه‌ها است. به طوری که در بارش‌های سنگین، آب از درز و شکاف‌ها و به صورت چشمه تراوش پیدا می‌کند؛ بنابراین در این تحقیق سعی خواهد شد که تأثیر آب‌های زیرزمینی بر احتمال وقوع زمین‌لغزش مورد بررسی قرار گیرد.

روش پژوهش

در این تحقیق، ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای موقعیت و ابعاد لغزش را شناسایی و اطلاعات اولیه از منطقه و محدوده لغزشی حاصل شد. به منظور ارزیابی تأثیر آب‌های زیرزمینی بر وقوع احتمالی زمین‌لغزش و تأثیر آن بر سازندهای زیرین، پارامترهایی مانند آب‌های سطحی، درزو شکاف‌ها و گسل‌ها، جریان آب‌های زیرزمینی، ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک‌ها مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن بر اساس تجزیه و تحلیل عملیات میدانی و مطالعات آزمایشگاهی به دست آمد. برای نفوذ آب‌های سطحی و جهت جریان آب‌های زیرزمینی، لازم بود درز و شکاف‌ها و گسل‌های منطقه شناسایی و مورد بررسی قرار گیرند. برای شناسایی گسل‌ها از نقشه زمین‌شناسی شیت ۱:۱۰۰۰۰۰ سرپل ذهاب و نتایج بررسی‌های نگارندگان مانند تصاویر ماهواره‌ای، بازدیدهای میدانی، تغییر مسیر شبکه آبراهه‌ها، تغییرات توپوگرافی و تغییر در جنس لایه‌ها استفاده شد. در ادامه برای مشخص شدن موقعیت جریان آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه، جهت و شیب گسل‌ها و درز و شکاف‌های آهکی ناودیس ریجاب با گسیختگی‌های اصلی ناشی از زمین‌لغزش اخیر، اندازه‌گیری و سپس تطبیق داده شد. برای اندازه‌گیری جهت گسل‌ها از تصاویر ماهواره‌ای و برای اندازه‌گیری درز و شکاف‌ها از دستگاه کمپاس برانتون استفاده شد (شکل ۱) و سپس در نرم‌افزار استریونت جهت و شیب آن‌ها به صورت نمودار گلسرخی ترسیم گردید.



شکل ۱. تصویر الف) اندازه‌گیری گسیختگی‌های اصلی زمین‌لغزش اخیر تصویر ب) درز و شکاف‌های سنگ‌های آهکی

پس از اندازه‌گیری جهت و امتداد گسیختگی‌های اصلی ناشی از زمین‌لغزش مله کبود در دامنه جنوبی کوه شاه‌نشین، و آبراهه‌های محدوده مورد مطالعه، جهت بررسی جریان آب‌های سطحی، نقشه آن‌ها در محیط نرم‌افزار (Arc GIS) ترسیم و سپس همپوشانی شد.

در مرحله بعد، تأثیر آب‌های زیرزمینی بر ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین برای

اندازه‌گیری مواد آبرفتی و لایه‌های مارنی از طریق حفر چاهک‌ها و درجهایی که شکاف‌های ناشی از زمین‌لغزش مله‌کبود در دامنه کوه شاه‌نشین باعث رخنمون لایه‌های مارنی شده است، برداشت شد (شکل ۲). از لایه‌های آبرفتی ۴ نمونه و از لایه‌های مارنی ۴ نمونه به‌صورت خشک و بعد از بارش ۴۰ میلی‌متری در نقاط مختلف محدوده مورد مطالعه نمونه‌گیری شد و سپس جهت آزمایش حدود آتربریگ و آزمایش مقاومت برشی، به آزمایشگاه انتقال داده شد.



شکل ۲. تصویر الف) برداشت از لایه‌های مارن به‌صورت خشک تصویر ب) برداشت لایه‌های مارن بعد از بارش ۴۰ میلی‌متری تصویر ج) برداشت مواد آبرفتی از طریق حفر چاهک

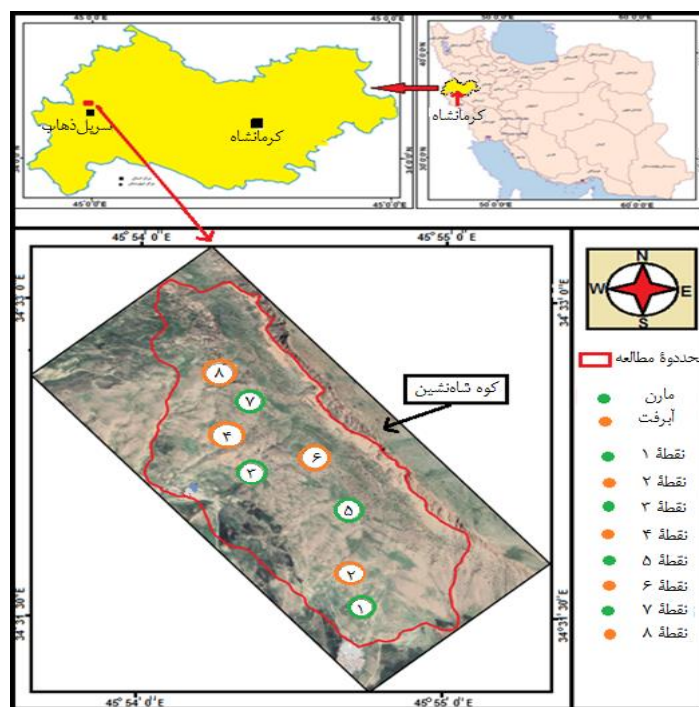
حجم نمونه برداشت‌شده متناسب با روش حفاری و اندازه ذرات متغیر است. برای ذرات ریزدانه رسی برداشت نمونه در حدود ۵ کیلوگرم، ولی در نمونه‌های درشت‌دانه با توجه به لزوم انجام آزمایش برش مستقیم بزرگ‌مقیاس، لازم بود حدود ۱۰۰ کیلوگرم نمونه برداشت شود. در چاهک‌های دستی امکان برداشت نمونه به وزن ۱۰۰ کیلوگرم برای لایه‌های کمتر از ۱ متری نیز امکان‌پذیر است. نمونه‌برداری از بخش‌های مختلف زمین متناسب با تغییر در جنس زمین (از هر لایه و یا جنس نمونه‌برداری انجام شد) به‌صورت دست‌خورده و دست‌نخورده انجام شد. پس‌از آن نمونه‌های برداشت‌شده در آزمایشگاه از نظر ویژگی‌های ژئوتکنیکی مانند حدود آتربریگ (حد انقباض، حد خمیری و روانی) بررسی گردید. حد خمیری و حد روانی مطابق با شماره استاندارد ایران (۱۰۷۳۱) و آزمایش برش مستقیم جهت آزمایش پارامترهایی مانند چسبندگی (c) و زاویه اصطکاک (φ) انجام شد.

در پایان تأثیر آب‌های زیرزمینی بر روی خاک‌های آبرفتی و مارنی از طریق شبیه‌سازی رطوبتی با درصدهای مختلف انجام و برای مقاومت تراکمی این نتیجه مشخص شد که افزایش رطوبت تأثیر بسیار زیادی بر خاک‌های مارنی دارد. با توجه به این‌که بخش‌های زیادی از منطقه از سازندهای مارنی تشکیل شده است؛ بنابراین می‌توان اثر آب‌های زیرزمینی بر ناپایداری دامنه موردبررسی قرار گیرد.

محدوده مورد مطالعه

زمین‌لغزش دامنه جنوبی کوه شاه‌نشین (مله‌کبود) در غرب استان کرمانشاه با موقعیت جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۴ درجه عرض شمالی قرار دارد. این زمین‌لغزه با وسعت ۶ کیلومترمربع در فاصله ۸ کیلومتری شمال شهرستان سرپل ذهاب رخ داده است (شکل ۳). توپوگرافی بخش شمالی و شمال غربی این زمین‌لغزش از تنوع خاصی برخوردار است. در این قسمت به دلیل ساختار زمین‌شناسی،

فعالیت‌های تکتونیکی و تأثیر دوره‌های مختلف اقلیمی بر آن، اشکال برجسته و صخره‌ای، شکستگی‌ها و درزها، یال‌های تیز، دره‌ها، پرتگاه دیوار مانند (گیلویی)، دولین‌ها، لایه‌ها، واریزه‌ها و سراب‌ها پدید آمده است. میانگین و حداقل و حداکثر بارندگی در ایستگاه‌های منتخب سرپل ذهاب، پاتاق و زرده، از حداقل ۲۷۳/۷ میلی‌متر در کم باران‌ترین ایستگاه سرپل ذهاب تا حداکثر ۸۶۱ میلی‌متر بارندگی سالانه در پرباران‌ترین ایستگاه زرده متغیر می‌باشد. میانگین بارش شهرستان سرپل ذهاب در سال زراعی (از اول مهرماه ۹۷ تا خرداد ۹۸)، ۸۵۱/۷ میلی‌متر بوده است و این نشان می‌دهد که منطقه از بارندگی کافی برخوردار است. از نظر ساختاری کوه شاه‌نشین در یال جنوبی بخش غربی ناودیس ریجاب قرار گرفته است که از لایه‌های مقاوم آهک آسماری بر روی سازندهای ماسه‌سنگی تله زنگ، مارنی پابده، و در زیر سازند تبخیری - تخریبی ریزدانه گچساران تشکیل شده است. تفاوت مقاومت لایه‌های سخت و مقاوم آسماری بر روی سازندهای سست و ضعیف به همراه ساختار تکتونیکی تنوعی از عوارض ژئومورفولوژیکی را به وجود آورده است. از دیدگاه ساختمانی و در تقسیم‌بندی زمین‌ساخت ایران، این منطقه جزو واحد زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شود. این منطقه همراه کمربند زاگرس، به دنبال تحولات زمین‌ساختی اواخر ترشیاری به تدریج به وجود می‌آید و از آن زمان تاکنون نیز تحت تأثیر فرایندهای فرسایشی و زمین‌ساخت جدید در حال تحول بوده است.



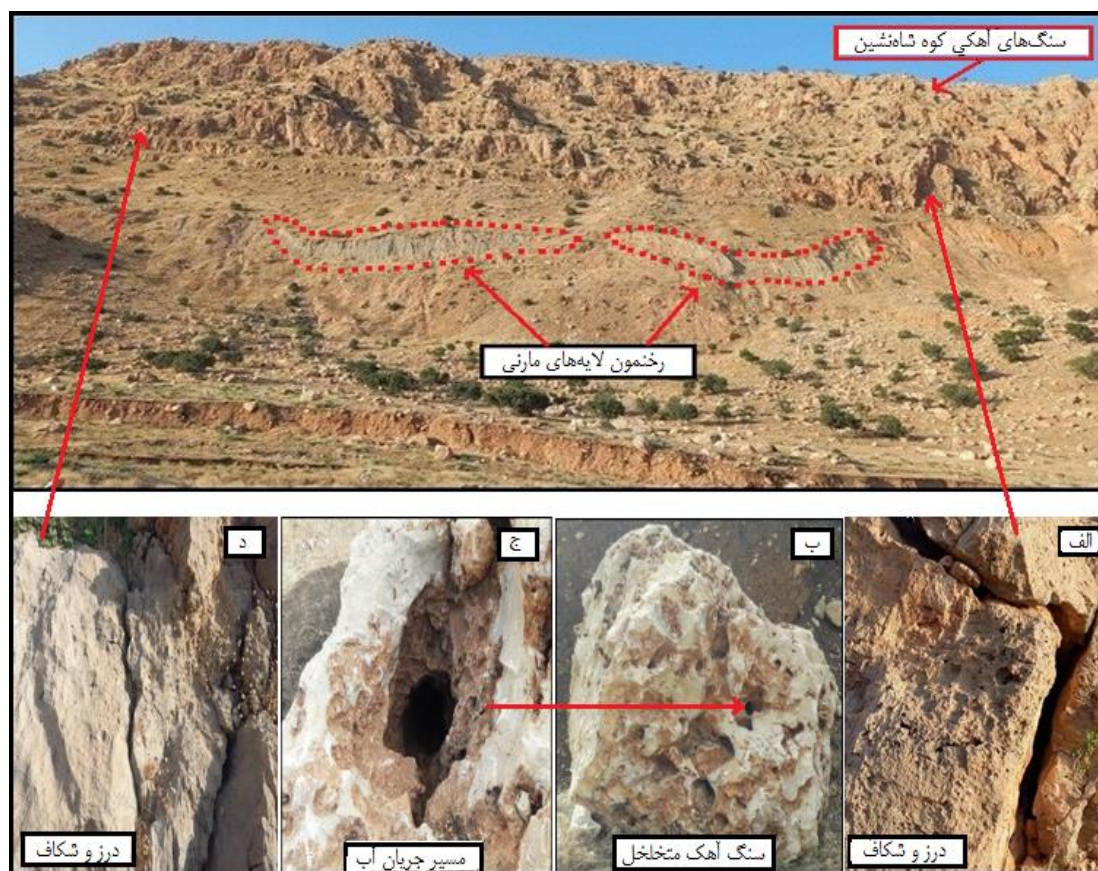
شکل ۳. موقعیت جغرافیایی و موقعیت نمونه‌های برداشت‌شده از محدوده مورد مطالعه

یافته‌ها

چینه‌شناسی منطقه

بر اساس بازدیدهای میدانی، چین‌خوردگی جوان بخش شمالی محدوده مورد مطالعه به نام کوه شاه‌نشین مورد بررسی قرار گرفت. این کوه از نظر ساختاری از لایه‌های مقاوم آهک آسماری بر روی سازندهای ماسه‌سنگی تله زنگ، مارنی پابده تشکیل شده است. وجود سازند کربناته آسماری تقریباً خالص، تکتونیزه شدن شدید آن و داشتن درز و شکاف‌های فراوان در این کوه باعث شده که پدیده کارست در آن توسعه یابد. توالی لایه‌های آهکی و مارنی به‌عنوان لایه‌های آب‌بند و نفوذناپذیر، وجود درز و شکاف‌ها و تخلخل سنگ‌های آهکی در این منطقه (شکل ۴) باعث تسهیل نفوذ آب‌های

سطحی ناشی از بارش برف و باران و تجمع آن بر روی لایه‌های زیرین مارن شده است.

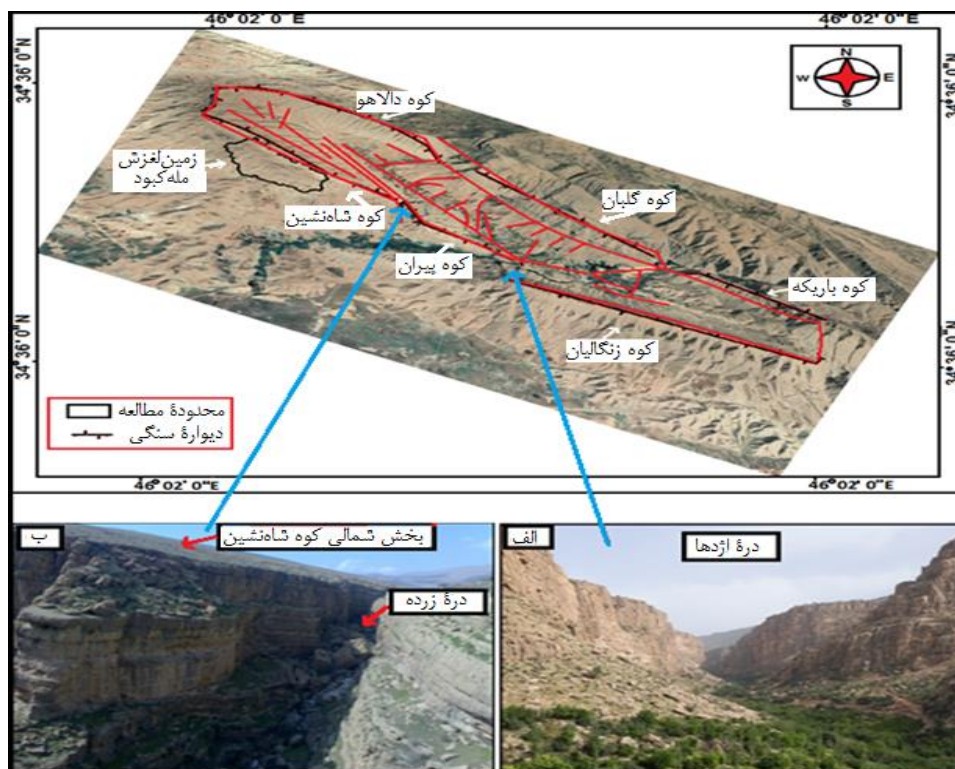


شکل ۴. توالی لایه‌های آهکی و مارنی و درز و شکاف‌های محدوده

همان‌طور که در تصویر الف و د (شکل ۴) مشخص شده است درز و شکاف‌های سنگ‌های آهکی انحلال‌پذیر کوه شاه‌نشین باعث پدیده کارست شده است. تصویر ب سنگ آهکی متخلخل کنده شده از بدنه کوه شاه‌نشین است که در اثر زلزله اخیر به پایین دامنه سقوط کرده است. در این سنگ پدیده انحلال باعث نفوذ آب‌های سطحی به لایه‌های زیرین و تشکیل آبخوان‌ها بر روی لایه‌های مارنی شده است؛ بنابراین لایه‌های مارنی در ارتباط با آب‌های زیرزمینی افت مقاومت زیادی دارند، پس می‌توانند عاملی برای وقوع لغزش باشد.

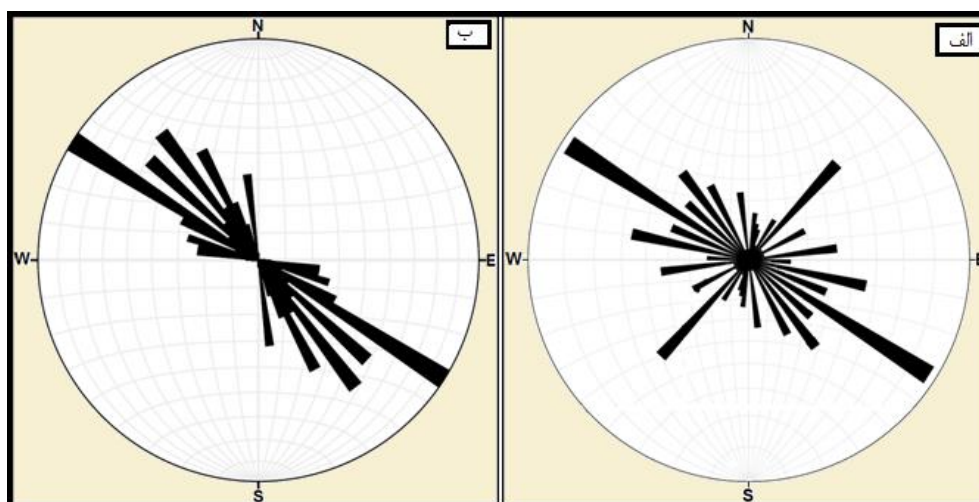
گسل‌ها و درز و شکاف‌ها

گسل نیز از عوامل محرک زمین‌لغزش‌ها به شمار می‌رود. گسل‌ها باعث خردشدگی و ایجاد درز و شکاف در توده‌های سنگی اطراف شده و نفوذ عوامل فرسایشی به داخل توده را آسان می‌کنند. نفوذ آب‌های سطحی به داخل درز و شکاف‌ها با افزایش فشار منفذی و کاهش اصطکاک همراه بوده و ناپایداری دامنه را افزایش می‌دهد (جعفری، ۱۳۷۹). همان‌طور که در روش تحقیق تشریح گردید، برای شناسایی گسل‌های منطقه از روش‌های مختلفی استفاده شد و نقشه گسل‌ها و بزرگ درزه‌های منطقه باز ترسیم شد (شکل ۵)



شکل ۵. نقشه گسل‌های و تصویر نمونه‌های از گسل‌های منطقه مورد مطالعه

شکل (۵) گسل‌های منطقه را نشان می‌دهد که تصویر الف مسیر جریان رود ریجاب و تصویر ب مسیر جریان رود زرده است که نقش گسل در مسیر جریان آب‌ها به تصویر کشیده است. علاوه بر گسل‌های منطقه وجود درز و شکاف‌ها در سنگ‌های آهکی، نفوذ آب‌های سطحی حاصل از بارش به داخل زمین را فراهم می‌کند و با تأثیر در تراز آب‌های زیرزمینی و افزایش فشار منفذی، موجب کاهش اصطکاک سازنده‌های حساس ماری شده و ناپایداری دامنه‌ای را افزایش می‌دهد. لایه‌های سخت و شکننده آهک و دولومیت و درز و شکاف‌های ناشی از گسل‌های منطقه مورد مطالعه باعث گردیده که درز و شکاف‌ها در جهات مختلفی ایجاد شوند (شکل ۶).

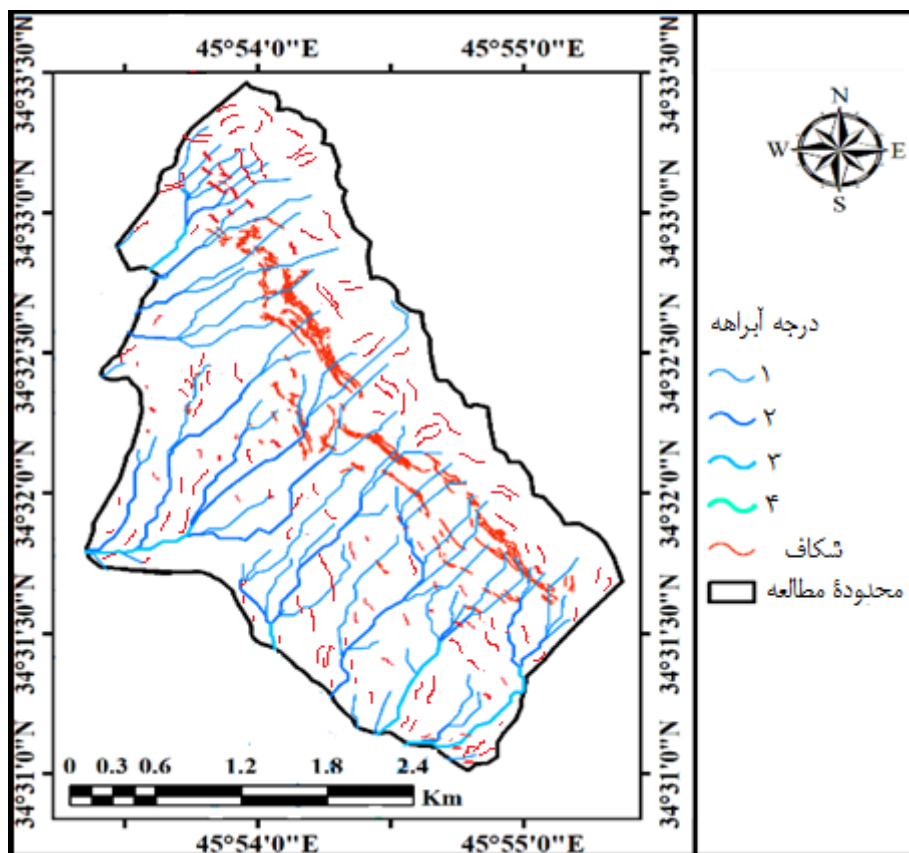


شکل ۶. الف: نمودار گلسرخی گسل‌ها و درزشکاف در سنگ‌های آهکی ناودیس ریجاب (۲۵۰ درز و شکاف). ب: شکاف‌های ناشی از زمین‌لغزش اخیر در دامنه جنوبی کوه شاهنشین (۱۰۰ شکاف)

در این شکل تصویر الف جهت گسل‌ها و درز و شکاف‌های سنگ‌های آهکی ناودیس ریجاب را نشان می‌دهد و تصویر (ب) شکاف‌های ناشی زمین‌لغزش اخیر در دامنه جنوبی کوه شاه‌نشین را نمایش می‌دهد. این شکاف‌ها با گسل‌ها و درز و شکاف‌های ناودیس ریجاب بر اساس نمایش نمودار گلسرخی تقریباً منطبق است؛ بنابراین نفوذ آب‌های سطحی از طریق گسل‌ها و درز و شکاف‌ها می‌تواند باعث تغییر سطح آب‌های زیرزمینی شوند و زمینه را برای زمین‌لغزش مهیا کند.

شکاف‌های ناشی از زمین‌لغزش

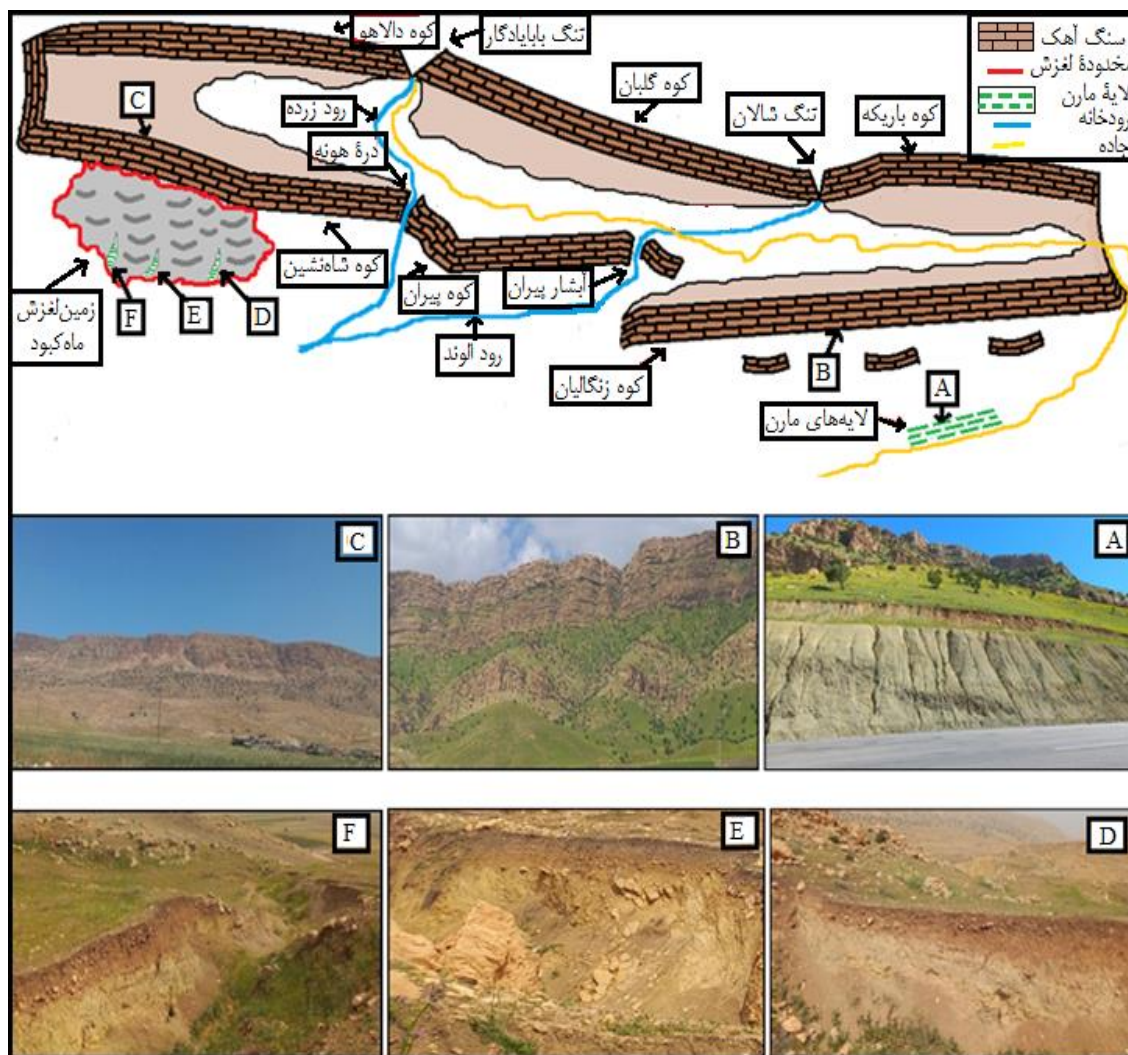
یکی دیگر از عواملی که می‌تواند بر ناپایداری محدوده مورد مطالعه تأثیر داشته باشد وجود شکاف‌های ناشی از زمین‌لغزش دامنه جنوبی کوه شاه‌نشین است. در این زمین‌لغزش شکاف‌های طولی و عرضی زیادی با اعماق متفاوت ایجاد گردید و روستاهای قورچی باشی و مله کبود را در معرض خطر قرار داد (رضاپور و همکاران). عمق شکاف‌های قابل‌رویت در برخی مناطق تا ۵۰ متر اندازه‌گیری شده است (گورابی، ۱۴۰۰). با توجه به این که شبکه آبراهه‌ها از درجه ۱ تا ۴ در این دامنه گسترش یافته‌اند و شکاف‌های ایجادشده عموماً عمود بر جهت آبراهه‌ها است، این موضوع می‌تواند باعث ممانعت جریان یافتن آب‌های سطحی شود (شکل ۷)؛ بنابراین، این شکاف‌ها موجب نفوذ بیشتر آب‌های سطحی به داخل زمین و تجمع و تشکیل آبخوان‌ها بر روی لایه‌های ماری می‌گردد و با توجه به مقاومت کم این لایه‌ها در برابر نفوذ آب، شرایط مساعدی برای وقوع لغزش فراهم می‌کند.



شکل ۷. نقشه آبراهه‌ها و شکاف‌های ناشی از زلزله

رخنمون لایه‌های مارنی

در دامنه‌های جنوبی کوه زنگالیان و کوه شاه‌نشین لایه‌های مارنی رخنمون پیدا کرده‌اند. در (شکل ۸) تصویر A دامنه جنوبی کوه زنگالیان را نشان می‌دهد که لایه‌های مارن در اثر تراشه‌های جاده‌ای نمایان شده است و در تصویرهای D، E و F دامنه‌های جنوبی کوه شاه‌نشین را نشان می‌دهد که لایه‌های مارن دره‌های ایجاد شده ناشی از فرسایش رخنمون پیدا کرده‌اند.

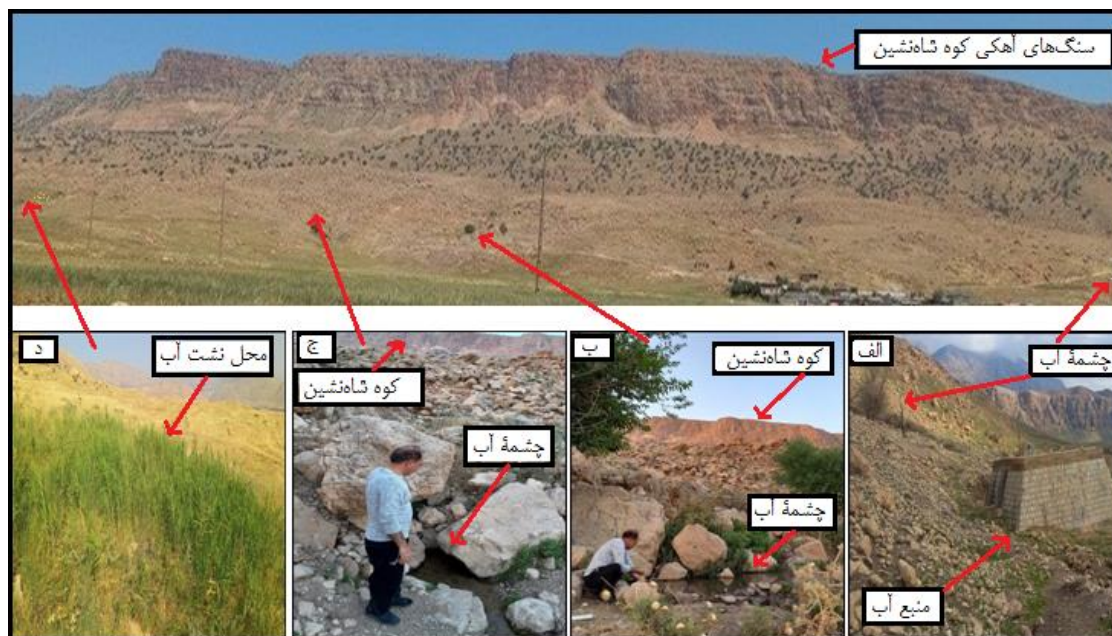


شکل ۸. رخنمون لایه‌های مارن در دامنه‌های جنوبی کوه زنگالیان و کوه شاه‌نشین

همان‌طور که در (شکل ۸) مشاهده می‌شود، بخش زیادی از منطقه مورد مطالعه از لایه‌های آهکی و مارنی تشکیل شده است. تصاویر D و E و F لایه‌های مارنی در بخش جنوب غربی، پایین دست دامنه کوه شاه‌نشین را نشان می‌دهد. نفوذ آب‌ها از طریق درز و شکاف‌ها بر روی این لایه‌ها باعث شده است که در طول این رخنمون‌ها، نشت آب و چشمه‌ها ظهور پیدا کنند. حضور آب‌ها بر روی این لایه‌های نفوذناپذیر موجب افت مقاومت آن‌ها شده و می‌تواند بر وقوع زمین‌لغزش تأثیر بگذارد.

چشمه‌ها

نفوذ آب‌های حاصل از بارش‌ها از طریق سیستم درز و شکاف‌ها، بر روی لایه‌های سست نفوذناپذیر زیرین مانند مارن باعث تجمع آب در پشت این لایه‌ها شده و به‌صورت چشمه ظهور پیدا کرده‌اند (شکل ۹).



شکل ۹. ظهور چشمه‌ها و نشت آب در پایین‌دست دامنه جنوبی کوه شاه‌نشین

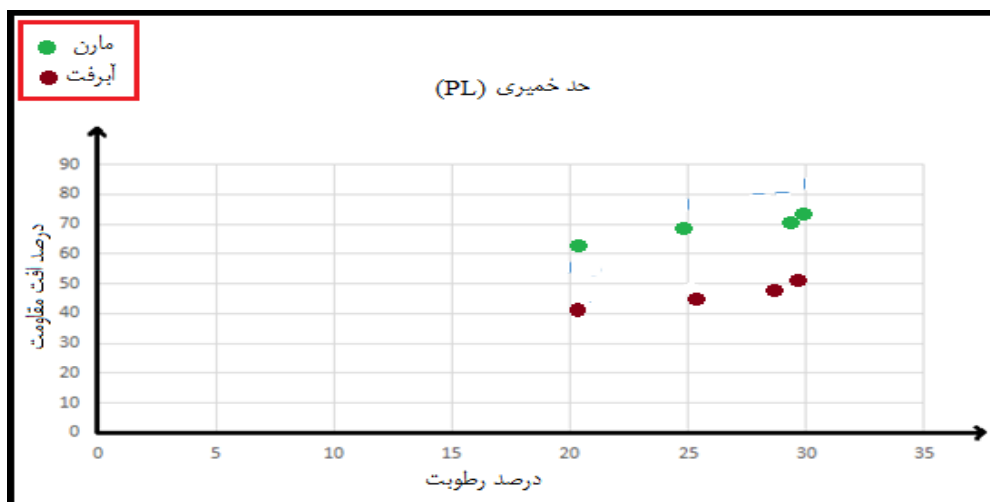
شکل (۹) محدوده زمین‌لغزش، در دامنه جنوبی کوه شاه‌نشین را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، چشمه‌ها و نشت آب در پایین‌دست این دامنه در جایی که لایه‌های مارن رخنمون پیدا کرده‌اند، ایجاد شده است. نفوذناپذیری لایه‌های مارن موجب تجمع آب‌های زیرزمینی و تشکیل آبخوان‌ها بر روی این لایه‌ها گردیده است؛ بنابراین زمانی که این آب‌ها به سطح رخنمون نزدیک شود باعث ظهور چشمه‌ها می‌شود. با توجه به ظهور چشمه‌ها در بخش جنوب و جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه و مشخص شدن جهت گسل‌ها و درز و شکاف‌ها مطابق با نمودار گلسرخی در (شکل ۶)، جریان آب‌های زیرزمینی منطقه، بیشتر از سمت شمال و شمال غرب به سمت جنوب و جنوب شرق است؛ بر این اساس نتیجه می‌گیریم که محدوده مورد مطالعه دارای آب زیرزمینی غنی است. وجود لایه‌های مارنی و مقاومت کم آن در برابر نفوذ آب‌های زیرزمینی توانسته است در وقوع زمین‌لغزش اخیر تأثیرگذار باشد و می‌تواند در زمین‌لغزش‌های آتی هم تأثیر داشته باشد.

نتایج آزمایشگاهی

حدود آتبرگ

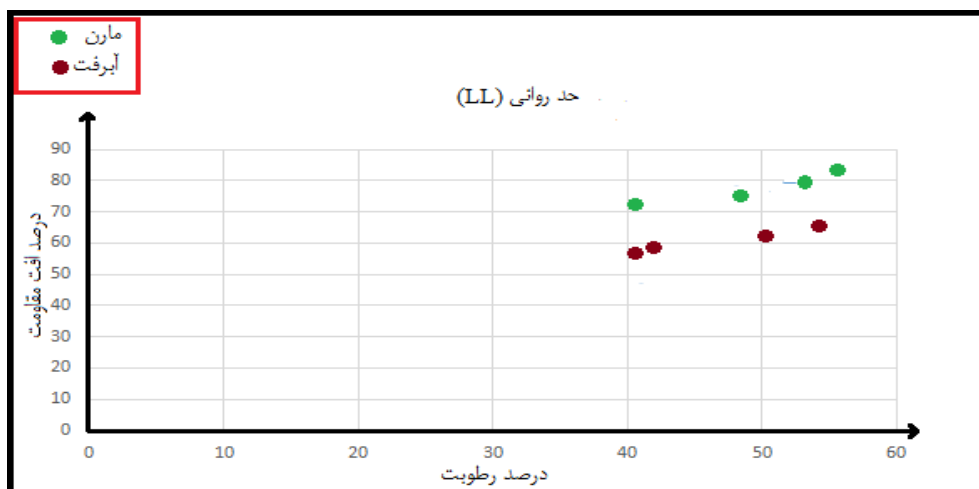
از این معیار برای اندازه‌گیری، رطوبت بحرانی خاک ریزدانه استفاده می‌شود. مرزهای این معیار با عنوان‌های حد انقباض (SL)، حد خمیری (PL) و حد روانی (LL) تعریف شده‌اند. حد انقباض (SL)، زمانی اتفاق می‌افتد که رطوبت باعث تغییر وضعیت خاک از حالت جامد به نیمه جامد شود و خاک سخت‌تر از حالت خمیری و نرم‌تر از حالت جامد است. در حد خمیری (PL)، با افزایش رطوبت، مقاومت برشی خاک کاهش پیدا می‌کند و از حالت نیمه جامد به حالت خمیری تغییر وضعیت می‌دهد. در رطوبت‌های بیشتر از حد انقباض (حالت نیمه جامد) و کمتر از حد روانی (حالت مایع) خاک

به صورت خمیری شکل می‌گیرد (علیزاده مجدی و همکاران، ۱۳۹۸).
به منظور ارزیابی اثر آب‌های زیرزمینی بر مقاومت خاک آزمایش‌های مقاومت تراکمی تک‌محوری در رطوبت‌های متفاوت بر روی ۸ نمونه خاک‌های ماری و آبرفتی انجام گرفت. همچنین در ارزیابی روابط اثر آب‌های زیرزمینی بر مقاومت خاک حدود آتبرگ مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در (شکل ۱۰) نشان داده شده است.



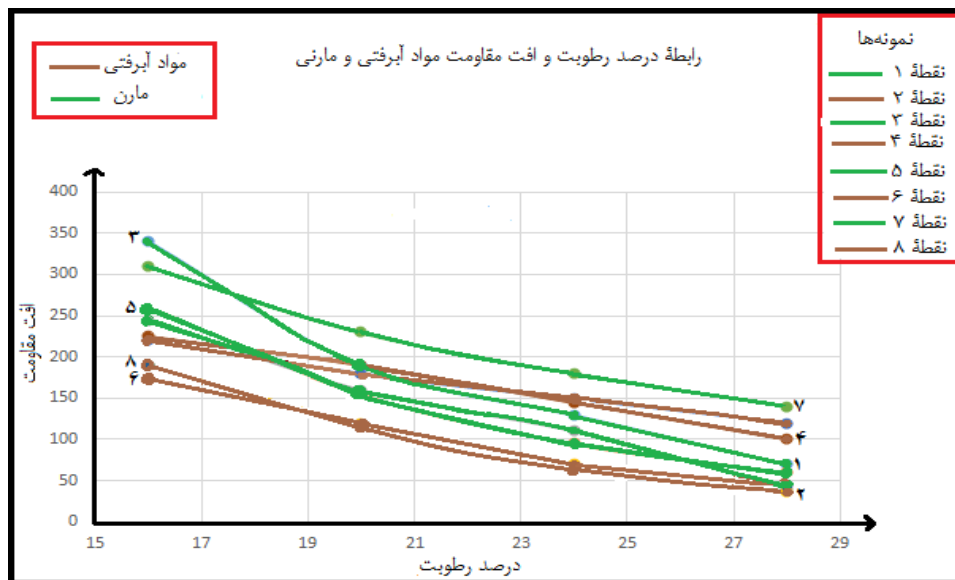
شکل ۱۰. رابطه افت مقاومت و رطوبت حد خمیری محدوده مورد مطالعه

حدود آتبرگ پارامتری است که بر اساس آن می‌توان اثر آب‌های زیرزمینی را بر خاک‌ها تخمین زد. هر چه قدر حدود آتبرگ بیشتر باشد اثر آب‌های زیرزمینی بر مقاومت خاک بیشتر است. همان‌طور که در (شکل ۱۰) مشخص شده است، خاک‌های ماری عموماً حدود آتبرگ بالاتری دارند، بنابراین خاک‌های ماری در اثر جریان آب افت مقاومت بیشتری دارند. زمانی که رطوبت خاک زیاد شود، خاک از حالت خمیری خارج شده و به حالت روان در می‌آید. نتایج آزمایش مارن‌های برداشت‌شده از محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش مقدار آب، مارن‌ها از حالت خمیری به حالت روان تبدیل می‌شود (شکل ۱۱). این شکل بیانگر افت شدید مقاومت آن‌ها در برابر نفوذ آب‌های زیرزمینی است و در نهایت شرایط را برای وقوع زمین‌لغزش فراهم می‌کنند.



شکل ۱۱. رابطه افت مقاومت و رطوبت حد روانی محدوده مورد مطالعه

پس از مشخص شدن حد آتبرگ نمونه‌های برداشت‌شده، میزان افت مقاومت نمونه‌های مارنی و آبرفتی که در نقاط مختلف محدوده مورد مطالعه برداشت‌شده بودند مورد ارزیابی قرار گرفت که نتیجه این ارزیابی در (شکل ۱۲) نشان داده شده است.



شکل ۱۲. رابطه رطوبت و مقاومت در محدوده مورد مطالعه

در این شکل، با توجه به نمونه‌های برداشت‌شده از نقاط مختلف محدوده مورد مطالعه مشخص شد که در همه نقاط با افزایش میزان رطوبت، افت مقاومت بیشتر می‌شود و نقاط ۳، ۷، ۵، ۱، ۴، ۲ و ۶ به ترتیب با افزایش رطوبت بیشترین افت مقاومت را نشان می‌دهد. در واقع بالا بودن افت مقاومت نقاط ۳ و ۷ حاکی از ذرات ریزدانه تشکیل‌دهنده سازندها و نفوذپذیری زیاد است. در تصویر ماهواره‌ای (شکل ۱) موقعیت نمونه‌های برداشت‌شده در نقاط مختلف محدوده مورد مطالعه نمایش داده شده است.

مقاومت برشی خاک

اغلب وقوع لغزش‌ها با مقاومت برشی دامنه‌ها ارتباط نزدیکی دارد. به طوری که با تقلیل مقاومت برشی که در آن عوامل آبیگری کانی‌های رسی، تغییرات در نیروهای موجود در دامنه‌ها، تغییرات در ساختمان مواد رسی، کاهش چسبندگی، نوع خاک و گسل‌ها دخالت دارد، دامنه‌ها ناپایدار شده و لغزش اتفاق می‌افتد. مقاومت برشی توده خاک، مقاومت داخلی واحد سطح آن خاک است که می‌تواند برای مقابله با گسیختگی یا لغزش در امتداد هر صفحه داخلی رخ دهد (براجا، ۲۰۰۶). برای تعیین مقاومت برشی خاک از آزمایش برش مستقیم که برای مواد درشت‌دانه و ریزدانه کاربرد دارد می‌توان استفاده کرد. در این آزمایش پارامترهایی مانند چسبندگی (c) و زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)، قابل اندازه‌گیری هستند. در ویژگی‌های مکانیکی خاک، مقاومت برشی می‌تواند بر اساس معیار شکست موهر-کلمب (Mohr-Coulomb) ارزیابی گردد. این رابطه به صورت زیر بیان می‌شود.

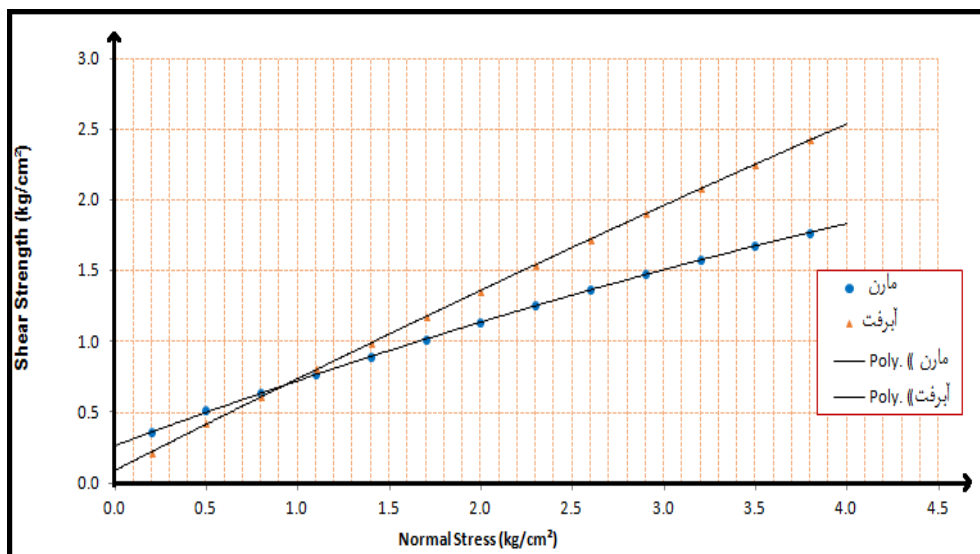
$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

که در آن

c چسبندگی ϕ زاویه اصطکاک داخلی

t_f □ □ مقاومت برشی σ □ □ تنش قائم خاک

به‌منظور تأثیر آب‌های زیرزمینی بر روی چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی لایه‌های آبرفتی و مارنی آزمایش برش مستقیم در تنش‌های مختلف انجام گرفت (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. مقاومت برشی لایه‌های مارن و آبرفتی محدوده مورد مطالعه

همان‌طور که شکل (۱۲) مشخص است با افزایش تنش و شیب زیاد، چسبندگی کم و زاویه اصطکاک داخلی زیاد می‌شود نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش برش مستقیم، نشان می‌دهد که خاک‌های منطقه افت شدید مقاومتی دارند. این افت مقاومت در لایه‌های مارنی مشهودتر است. افت شدید مقاومت لایه‌ها می‌تواند عاملی برای وقوع لغزش خصوصاً در زمان رخداد زلزله و بارش‌های سنگین باشد. برش عرضی محدوده مورد مطالعه نشان‌دهنده حرکت و انتقال توده‌های مارنی به داخل توده‌های آبرفتی است. این شواهد می‌تواند، بیانگر لغزش لایه‌های درونی مارن و آبرفتی باشد. با توجه به نتیجه آزمایش انجام‌شده، بیشترین گسیختگی و شکاف‌های ناشی از زمین‌لغزش اخیر درجایی رخ داده است که شیب زیادتر است. در (شکل ۵) شکاف‌های ناشی از زمین‌لغزش اخیر نشان داده شده است. در این شکل بیشترین شکاف‌ها در بالادست دامنه، یعنی درجایی که شیب بیشتر است؛ اتفاق افتاده است.

به‌طور کلی سیستم شکستگی‌های منطقه می‌تواند باعث نفوذ و هدایت جریان آب به لایه‌های زیرین و در نهایت بالا آمدن سطح آب زیرزمینی شود که ظهور چشمه‌ها و جریان‌های نشت آب و توسعه محدود پوشش گیاهی خاص ناشی از این آب‌ها می‌تواند، شواهدی بر این موضوع باشد. از سوی دیگر با توجه به نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی، لایه‌ها خصوصاً لایه‌های مارنی در اثر وجود آب به‌شدت دچار افت مقاومت می‌شوند، که این موضوع می‌تواند عامل تشدیدکننده وقوع زمین‌لغزش در منطقه باشد. با توجه به شکاف‌های ایجادشده ناشی از زمین‌لغزش مله‌کبود در دامنه جنوبی کوه شاه‌نشین و نفوذ جریان‌های سطحی به داخل آن‌ها می‌توان گفت، زمانی که بارش سنگین باشد و زلزله‌های مشابه زلزله سال ۹۶ رخ دهد احتمال وقوع زمین‌لغزش زیاد می‌شود.

بحث

زمین‌لغزش زمانی رخ می‌دهد که تنش برشی مواد روی دامنه بیش از مقاومت برشی آن باشد. عوامل متعددی مانند

وضعیت توپوگرافی، شرایط هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی، مورفولوژی و زلزله می‌توانند بر پایداری یک دامنه تأثیر بگذارند و باعث وقوع زمین‌لغزش شوند (زرر و همکاران، ۲۰۰۸). یکی از مهم‌ترین عوامل، آب‌های زیرزمینی است که با تأثیر بر عوامل دیگر در وقوع زمین‌لغزش بزرگ دامنه جنوبی کوه شاه‌نشین نقش زیادی داشته است. در منطقه مورد مطالعه همان‌طور که در ستون چینه‌شناسی مشخص است توالی لایه‌های آهکی - دولومیتی و مارن و توسعه گسل‌ها و درز و شکاف‌ها و نفوذ آب‌های سطحی از طریق آن‌ها باعث تشکیل سفره‌های آب زیرزمینی بر روی لایه‌های نفوذناپذیر مارن شده است. تشکیل این آبخوان‌ها در جاهایی که لایه‌های مارن به سطح رخنمون نزدیک شده‌اند؛ موجب ظهور چشمه‌ها و نشت آب‌شده که پوشش گیاهی در اطراف آن‌ها مشهود است. این موضوع می‌تواند، نشان‌دهنده وجود آب‌های زیرزمینی فراوان در محدوده مورد مطالعه باشد. زمانی آب‌های زیرزمینی می‌تواند بر ناپایداری یک دامنه تأثیر داشته باشد که خاک آن دامنه مستعد لغزش باشد؛ بنابراین برای بررسی ویژگی درونی خاک‌ها در برابر رطوبت از مواد آبرفتی و لایه‌های مارنی نمونه‌هایی جهت انجام آزمایش برداشت گردید. نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی باعث افت مقاومت شدید این لایه‌ها می‌شود. این افت مقاومت در لایه‌های مارنی مشهودتر است. بر این اساس افت شدید مقاومت لایه‌ها در برابر آب‌های زیرزمینی می‌تواند عاملی برای وقوع زمین‌لغزش خصوصاً در زمان رخداد زلزله و بارش‌های سنگین باشد.

نتیجه‌گیری

هدف این تحقیق بررسی پتانسیل‌های منطقه برای عملکرد جریان آب و جابه‌جایی و تولید زمین‌لغزش است. کوهستانی بودن و توالی لایه‌های آهکی و مارنی، وجود گسل‌ها و توسعه درز و شکاف‌ها، بارش فراوان و لرزه‌خیزی خاص منطقه سرپل ذهاب باعث شده است که این منطقه در معرض انواع مخاطرات محیطی خصوصاً زمین‌لغزش قرار گیرد. شکل‌گیری لایه‌های سخت و شکننده آهکی - دولومیتی و وجود درز و شکاف‌ها در این سنگ‌ها باعث نفوذ و هدایت جریان آب‌های سطحی به لایه‌های زیرین مارنی شده است. نفوذناپذیری لایه‌های مارنی و تجمع آب‌ها بر روی آن‌ها باعث ظهور چشمه‌ها و نشت آب در محدوده مورد مطالعه شده است. نتایج حاصل از آزمایش حدود آتربرگ و مقاومت برشی مواد آبرفتی و لایه‌های مارنی نشان می‌دهد که با افزایش درصد رطوبت در این مواد، مقاومت لایه‌ها کاهش می‌یابد و افت مقاومت در لایه‌های مارنی مشهودتر است. این افت مقاومت با افزایش تنش و شیب در لایه‌های آبرفتی باعث می‌شود که چسبندگی کم و زاویه اصطکاک داخلی زیاد شود؛ اما در لایه‌های مارنی چسبندگی زیاد و زاویه اصطکاک داخلی کمتر است. چون توده لغزشی در اعماق بیشتر از ۲۰ متر اتفاق افتاده است و در این عمق زاویه اصطکاک داخلی بسیار بیشتر از چسبندگی است، بنابراین زاویه اصطکاک داخلی نقش بسیار مهمی در گسیختگی دامنه لغزشی دارد. افت شدید مقاومت لایه‌ها در برابر آب‌های زیرزمینی می‌تواند عاملی برای وقوع زمین‌لغزش خصوصاً در زمان رخداد زلزله و بارش‌های سنگین باشد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سه‌م نویسنده‌گان در پژوهش

نویسنده‌گان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- احمدی، حسن (۱۳۸۶). ژئومورفولوژی کاربردی. جلد اول. فرسایش آبی. چاپ پنجم. انتشارات دانشگاه تهران.
- اکرامی راد، عبدالله؛ اسلامی، ابوالفضل و رازقی، جواد (۱۳۹۸). زمین‌لغزش بزرگ دشتگان رودبار (مسیر آزادراه رشت- قزوین) بررسی علل و چگونگی پایداری سازی آن. مهندسی عمران شریف، ۲۸ (۱)، ۱۲۷-۱۱۹.
- امامی، سید نعیم؛ جلالیان، احمد و خسروی، عباس (۱۳۹۵). نقش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در وقوع زمین‌لغزش (مطالعه موردی: منطقه افسرآباد چهارمحال و بختیاری). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۷ (۱۳)، ۱۹۲-۱۸۲.
- Doi:10.18869/acadpub.jwmr.7.13.192
- جعفری، محسن؛ مهدویفر، محمدرضا؛ حیدری، محمود (۱۳۷۹). مطالعات زمین‌لغزش‌های مرتبط با زلزله در البرز (گزارش مرحله اول)، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- رضاپور، علی و جباری، ایرج (۱۴۰۱). عوارض ژئومورفیک ناشی از زلزله آبان ماه ۱۳۹۶ سرپل ذهاب - ازگله. فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۱۴ (۵۸)، ۶۸-۴۹.
- Doi: 20.1001.1.20085656.1401.15.58.3.1
- شرفی، سیامک؛ صادقی راد، مسعود و جوادی‌نیا، زهرا (۱۳۹۷). بازسازی پالئوژئومورفولوژی زمین‌لغزش دلا و شکل‌گیری دریاچه سدی شیمبار شهرستان اندیکا- استان خوزستان. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۰ (۵۶)، ۱۹۲-۱۷۸.
- Doi:10.29252/jgs.20.56.177
- شعاعی، ضیاءالدین (۱۳۹۱). (زمین‌لغزش‌ها، شناخت، ارزیابی و کنترل). انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- صالحی، محسن؛ صفا مهر مجید؛ نصری، مسعود و بور، حسین (۱۳۹۶). تأثیر زمین‌لغزش بر ایمنی راه‌ها و مناطق روستایی در ایران و راهکارهای پایداری آن‌ها مطالعه موردی: زمین‌لغزش‌های محور ناغان- سد کارون ۴. مسکن و محیط روستا، ۳۶ (۱۵۸)، ۷۷-۸۸.
- طالبی، علی؛ نفرزادان، علیرضا و ملکی‌نژاد، حسین (۱۳۸۸). مروری بر مدل‌سازی تجربی و فیزیکی زمین‌لغزش‌های ناشی از بارندگی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۳ (۷۰)، ۶۴-۴۵.
- طلایی دولق، رضا و جعفر، غیومیان (۱۳۸۰). شناخت و بررسی عوامل موثر در لغزش خیزی جنوب غرب خلخال. مجموعه مقالات دومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، صص ۱۴۰-۱۲۹.
- گزارش زمین‌لرزه ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۶ سرپل ذهاب، استان کرمانشاه (ویرایش پنجم)، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۵ دی‌ماه ۱۳۹۶، ۱۲۱-۱.
- گورابی، ابوالقاسم. (۱۴۰۰). کمی‌سازی زمین‌لغزش بزرگ مله کبود ناشی زمین‌لرزه ۷/۳ سال ۱۳۹۶ کرمانشاه با استفاده از اینترفرومتری. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۱ (۶)، ۶۳-۴۸.
- Doi: 10.52547/jgs.21.60.47
- معماریان، حسین، مرتضی، سیارپور (۱۳۸۵). نقش پارامتر شیب دامنه در بروز خطا در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش. نشریه دانشکده فنی، ۴۰ (۱)، ۱۱۳-۱۰۵.
- نفرزادگان، علیرضا؛ طالبی، علی؛ ملکی‌نژاد، حسین (۱۳۸۸). بررسی سیر تکاملی مدل‌سازی هیدرولوژیکی در مطالعات زمین‌لغزش. پنجمین کنفرانس ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی). دانشگاه علوم کشاورزی و منابع

طبیعی گرگان.

نوعی، بهنام (۱۳۸۹). ارزیابی خطر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن با استفاده از مدل (LIM) مطالعه موردی حوضه آبخیز گیوی چای. اردبیل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما عقیل مددی. دانشگاه محقق اردبیلی.

References

- Abebe, B. F., Dramis, G., Fubelli, M., & Asrat, A. (2010). Landslides in the Ethiopian highlands and the Rift margins. *Journal of African Earth Sciences*, 56, 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2009.06.006>
- Ahamdi, H., & Talebi, Y.E. (2001). Effective agents in creation of movement masses (Case study: Ardal in Charmahl and Bakhtiary Province). *Journal of natural resource*, 1(54): 323-329. [In Persian].
- Ahmadi, H. (2007). *Applied geomorphology*. first volume. Water erosion. Fifth Edition. Tehran University Publications. [In Persian].
- Akrami Rad, A., Islami, A., & Razaghi, J. (2018). The great landslide of the Rudbar Plains (Rasht-Qazvin free route) investigating its causes and how to stabilize it. *Sharif Civil Engineering*, 28 (1), 119-127. [In Persian].
- Azañón, J.M., Azor, A., Yesares, J., Tsige, M., Mateos, R. M., Nieto, F., Delgado, J., López-Chicano, M., Martín W., & Rodríguez-Fernández, J. (2010). Regional-scale high-plasticity clay-bearing formation as controlling factor on landslides in Southeast Spain. *Geomorphology*, 120, 26–37. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.09.012>
- Somnath, B., Balamurugan, G., & Ramesh, V. (2019). Evaluation of landslide susceptibility models: a comparative study on the part of Western Ghat Region, India, Remote Sensing Applications: Society and Environment, PII: S2352-9385, (17) 30309-9, 39-52. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.10.010>
- Braja, M. D. (2006). *Principles of geotechnical engineering*. Fifth Edition.
- Bunza, G. (2002). Causes, Processes and Risk Assessment of a Landslide on a Talus Slope of the Bavarian Alps. *Proceeding of the 1th European Conference on Landslides. Prague, vol I. 343-348.*
- Dahal, R.K., Hasegawa, Sh., Nonoura, A., Yamanka, M., Dhakal, S., & Paudyal., P. (2008). Predictive modeling of rainfall-induced landslide hazard in the lesser Himalaya of Nepal based on weights of evidence. *Geomorphology*, 102, 496- 510. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.041>
- Dai, F.C., Lee, C.F., & Xu, Z.W. (2002). Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environ Geol*, 40, 381–391. <https://doi.org/10.1007/s002540000163>.
- Earthquake report of November 21, 2016, Sarpol Zahab, Kermanshah province (5th edition), *International Research Institute of Seismology and Earthquake Engineering*, 5, 2016, 1-121. [In Persian].
- Emami, S. N., Jalalian, A., & Khosravi, A. (2015). The role of physical and chemical characteristics of soil in the occurrence of landslides (case study: Afsarabad, Chaharmahal and Bakhtiari region). *Watershed Management Journal*, 7 (13), 182-192. [Doi:10.18869/acadpub.jwmr.7.13.192](https://doi.org/10.18869/acadpub.jwmr.7.13.192) [In Persian].
- Giannecchini, R. (2006). Relationship between rainfall and shallow landslides in the southern apuan Alps (Italy), *J Nat hazardse syst sci* 6, 357-364. *Integrated geophysical and geomorphological approach to investigate the snowmeltriggered*
- Gourabi, A. (2021). Quantification of the large Mele Kobud landslide caused by the Kermanshah earthquake 7/3 of 2016 using interferometry. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 21(6), 63-48. [Doi: 10.52547/jgs.21.60.47](https://doi.org/10.52547/jgs.21.60.47) [In Persian].
- Jafari, M., Mahdwayfar, M. R., & Heydari, M. (2000). Studies of earthquake-related landslides in Alborz (first stage report). *International Institute of Seismology and Earthquake Engineering*. [In Persian].
- Jie, X., Chao, T., & He-ping, X. (2017). Causes of shallow landslides of expansive soil slopes.

- Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 11(1), 1-6.
- landslide of Bosco Piccolo village (Basilicata, southern Italy). *Engineering Geology* 98: 156-167. <https://doi.org/10.1061/JHTRCQ.0000543>
- Kazeev, A., & Postoev, G. (2017). Landslide investigations in Russia and the former USSR. *Natural Hazards*, 1-21. DOI: 10.1007/s11069-016-2688-z.
- Manish, D. (2016). Damage mechanism in problematic soils. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 7(5), 232-241.
- Meisina, C. (2006). Characterisation of weathered clayey soils responsible for shallow landslides. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 825-838.
- Memarian, H., & Siarpur, M. (2006). The role of the domain slope parameter in the occurrence of errors in landslide risk zoning. *Journal of Technical Faculty*, 40 (1), 113-105. [In Persian].
- Mondini, A. C., Marchesini, I., Rossi, M., Chang, K.T., Pasquariello, G., & Guzzetti, F. (2013). Bayesian framework for mapping and classifying shallow landslides exploiting remote sensing and topographic data. *Geomorphology*, 2013, 135-147. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.06.015>
- Mugagga, F., Kakembo, V., & Buyinza, M. (2012). A characterisation of the physical properties of soil and the implications for landslide occurrence on the slopes of Mount Elgon, Eastern Uganda. *Natural Hazards*, 60(3), 1113-1131.
- Nafarzadegan, A., Talebi, A., Melkinejad, H. (2009). Investigating the evolution of hydrological modeling in landslide studies. *The 5th National Conference of Watershed Sciences and Engineering of Iran (Sustainable Management of Natural Disasters)*. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. [In Persian].
- Naudet, V., Lazzari, M., Perrone, A., Loperte, A., Piscitelli, S., Lapenna, V. (2008). Integrated geophysical and geomorphological approach to investigate the snowmelttriggered landslide of Bosco Piccolo village (Basilicata, southern Italy). *Engineering Geology*, 98, 156-167. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.02.008>
- Noee, B. (2010). *Assessment of landslide risk and its zoning using model (LIM) case study of Givi Chai watershed. Ardabil*. Master's thesis, supervisor Agil Madadi. Mohaghegh Ardabili University. [In Persian].
- Rezapour, A., & Jabbari, I. (2022). Geomorphic effects caused by the November 2016 Sarpol Zahab-Ezgole earthquake. *Natural Geography Quarterly*, 14(58), 68-49. [Dor: 20.1001.1.20085656.1401.15.58.3.1](https://doi.org/10.1001.1.20085656.1401.15.58.3.1) [In Persian].
- Rossi, M., Guzzetti, F., Salvati, P., Donnini, M., Napolitano, E., & Bianchi, C. (2019). A predictive model of societal landslide risk in Italy, *Earth Sci. Rev.*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.021>
- Salehi, M., Safa Mehr, M., Nasri, M., & Bor, H. (2016). The impact of landslides on the safety of roads and rural areas in Iran and their stabilization strategies. Case Study: Landslides of Naghan axis - Karun Dam 4. *housing and village environment*, 36 (158), 77-88. [In Persian].
- Sharafi, S., Sadeghi Rad, M., & Javadi-nia, Z. (2017). Palaeogeomorphology reconstruction of the Dela landslide and formation of Shimbar dam lake, Andika city, Khuzestan province. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 20 (56), 178-192. [Doi:10.29252/jgs.20.56.177](https://doi.org/10.29252/jgs.20.56.177) [In Persian].
- Shua'i, Ziauddin (2011). (Landslides, recognition, assessment and control). *Publications of the Geological Organization of the country*. [In Persian].
- Talai Doleq, R., & Jafar, Gh. (2001). Identifying and investigating the effective factors in the landslide in the southwest of Khalkhal. *Proceedings of the Second Conference on Engineering Geology and Environment of Iran*, Tarbiat Modares University, Tehran, pp. 129-140. [In Persian].
- Talebi, A., Nafarzadan, A., & Malkinejad, H. (2008). A review of experimental and physical modeling of landslides caused by rainfall. *Natural geography researches*, 53 (70), 64-45. [In Persian].
- Zezeze, J. L., Garcia, R. A. J., Oliveira, S., & Reis, C. (2008). Integration of spatial and temporal data for the definition of different landslide hazard scenarios in the area north of Lisbon. *Journal of Geomorphology*, 94, 467-49.