Kharazmi University

Journal of Engineering Geology

Journal home page https://jeg.khu.ac.ir

OPEN ACCESS

Online ISSN 2981-1600

Analysis of slope instability mechanism due to unusual rainfall: a case study of talubin village landslides (north of Meyami)

Tahereh Danialnezad[1], Aliakbar Momeni [2]✉

1. MSc student, Faculty of earth sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: taherehdanial84609@gmail.com
2. Associate professor, Faculty of earth sciences Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: Ali_moomeni@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 6 August 2025
Accepted 27 October 2025

Keywords:
Landslide, Tolubin, marl, safety factor, slope stability quasi-static.

ABSTRACT

Following an unusual period of rainfall period at the end of the previous winter, several landslides occurred in Tolubin village in early spring 2019. These landslides resulted in the destruction of 12 houses as well as causingdamage to roads and gas transmission lines. This this research was therefore conducted to investigate the mechanism of these landslides. The study was comprised four main phases: a literature review, field investigations, laboratory studies, and a slope stability assessment using Slide 6.20 software. During the field surveys, landslide-prone profiles were identified, and both disturbed and undisturbed samples were collected. The disturbed samples were used for laboratory tests, including determining the grain size distribution, calculating the Atterberg limits, performing calcimetry, conducting X-ray diffraction (XRD) analysis, and carrying out scanning electron microscopy (SEM) analysis. Additionally, 27 undisturbed samples were prepared for direct shear tests under varying moisture conditions. Finally, stability analyses of the studied profiles were performed in Slide software under different moisture conditions, considering both static and quasi-static states, based on the geometric characteristics of the slopes and shear strength parameters (internal friction angle and cohesion).. The obtained safety factors indicated that all slopes were on the threshold of failure under saturated static conditions and would certainly fail under saturated quasi-static conditions. In conclusion, the high sensitivity of the slope's marly materials to moisture variations and the unusual rainfall in February and March 2019 were identified as the primary factors contributing to these landslides.

Introduction

A landslide is the downward movement of slope material, such as rock, earth or debris, due to the action of gravity.. Landslides pose a serious threat to residential areas located on rocky slopes, particularly slopes composed of marl and other weak geological formations. The instability of these slopes is often exacerbated by fluctuations in groundwater levels, rainfall, and human activities, leading to catastrophic consequences for residents and infrastructure.
Iran has favourable conditions for the potential occurrence of landslides dueto its predominantly mountainous topography, neo-tectonic activities, geographical conditions, and diverse geological formations. Toloubin Village, one of the rainiest areas in Semnan Province, experienced severe rainfall between 2011 and 2019, which triggeredlandslides that destroyedhomes. As a result, 150 houses in the village were damaged and rendered uninhabitable. Since 2011, minor landslides and cracks have appeared in some residential buildings began to appear due to heavy snow and rain. However, during the severe snowstorm and blizzard in late 2018, the cracks in the houses widened, and 12 reinforced concrete structure completely collapsed. Critical infrastructure,

Cite this article: Danialnezad, T., Momeni, A. A. (2025). Analysis of Slope Instability Mechanism Due to Unusual Rainfall: A Case Study of Talubin Village Landslides (North of Meyami). Journal of Engineering Geology, 19 (3), 328-347. https//doi.org/10.22034/JEG.2025.19.3.104488

© The Author(s).
Publisher: Kharazmi University.
DOI: https//doi.org/10.22034/JEG.2025.19.3.104488

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]

[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]

including power and gas transmission lines, roads, water supply networks, and irrigation canals, was alsodamaged. Due to the incomplete evacuation of the village and the ongoing activity of landslides in the area, it is essential to study the mechanisms, contributing factors, and processes behind these landslides in order to determine the most suitable stabilization and mitigation measures for the region.

Materials and methods

his study employed a four-phase investigative approach comprising desk study, field studies, Laboratory analyses and a slope stability evaluation were conducted using Slide 6.20 software. The desk study phase involved collecting comprehensive data, including acquiring relevant maps and aerial imagery of the study area, meteorological data and geological maps at scales of 1:100,000 and 1:25,000, as well as high-resolution Google Earth imagery for topographic evaluation, including slope gradient and aspect analysis. Field investigations included geometric measurements of landslide features (dimensions, scarp morphology, and displacement vectors), assessment of the groundwater table assessment through piezometric monitoring, systematic damage documentation via photogrammetric surveys, representative sampling of the three material types identified in the study area including intact marl, weathered marl deposits, and agricultural topsoil. A total of 27 undisturbed specimens were collected for direct shear testing, supplemented by 6 disturbed samples for complementary geotechnical analyses. The laboratory investigation phase involved comprehensive geotechnical testing to determine the physical and mechanical properties of the samples, including bulk density, grain size distribution through hydrometer analysis, moisture content, Atterberg limits (liquid limit and plastic limit). Direct shear tests were also performed.. Chemical composition and soil microstructure were characterized using X-ray diffraction (XRD) spectroscopy, scanning electron microscopy (SEM), and calcimetry, with all tests conducted in accordance with ASTM standards. Slope stability analysis was subsequently performed using Slide software, incorporating field-collected geometric data to model the slope profiles. The potential failure surfaces and safety factors were calculated by inputting shear strength parameters derived from laboratory testing of the specimens. The stability assessment employed both the simplified Bishop and Spencer methods within the Slide software framework to evaluate slopes with identified landslide potential.

Results and Discussion

The analysis of climatic data revealed a significant increase in precipitation during the 2018-2019, particularly in the months of January, February, March compared to long-term averages. Notably, the majority of landslide-induced damages occurred during this same period. The region experienced exceptionally intense rainfall over three consecutive months, with precipitation intensity reaching approximately 7.5 times the long-term average. Given the air temperatures prevailing during the winter months, most of the precipitation fell as snow and remained on the ground for a prolonged period.. These findings strongly suggest that these unusual precipitation patterns served as one of the primary triggering factors for the landslide events. The results of the specific gravity (Gs) tests indicated a consistent value of approximately 2.56 for all three soil samples. Based on the combined particle size distribution and Atterberg limits data, Sample 1 was classified as OL (organic silt) due to its high organic content, while the remaining samples were classified as CL (inorganic clay of low plasticity) according to the Unified Soil Classification System (USCS). The XRD and EDX analyses revealed that illite is the dominant clay mineral in all examined samples.

The direct shear test results demonstrate a clear inverse relationship between moisture content

and shear strength parameters - as water content increases, both the internal friction angle and cohesion exhibit significant reduction. Quantitatively, the tests revealed: when moisture content rises, the internal friction angle decreases by 80% in agricultural soil, 68% in weathered marl, and 60% in intact marl, while cohesion shows reductions of 75%, 78%, and 85% respectively for these three material types. This pronounced degradation of shear strength parameters with increasing saturation directly correlates with the observed landslide occurrences during wet periods, particularly highlighting the vulnerability of agricultural topsoil which experiences the most dramatic strength reduction (80% decrease in φ). The weathered marl shows intermediate sensitivity to hydration (68% φ reduction), while the intact marl bedrock maintains relatively better performance (60% φ reduction), though still with substantial cohesion loss (85%).

The Slide software modeling results indicate that all three slope profiles maintain stability under natural moisture conditions for both static and quasi-static analyses. However, increasing moisture content leads to significant safety factor reduction, approaching unity (FS ≈ 1) under saturated conditions - demonstrating imminent failure potential. This prediction is validated by observed field evidence including tension cracks and localized slope movements. Under quasi-static conditions with full saturation, the safety factor drops critically to 0.55-0. 86, confirming inevitable slope failure. Notably, dynamic loading shifts the failure threshold from saturated conditions in static analysis to partially saturated conditions (~60% saturation) in quasi-static scenarios, highlighting the slope's heightened sensitivity to coupled hydro-seismic effects. The 30% safety margin reduction when transitioning from static to dynamic saturated conditions quantitatively demonstrates the critical influence of seismic acceleration on slope stability.

Conclusion

The landslides in Toloubin village in February and March 2019 were primarily triggered by extreme precipitation (Bahnman and Esfand 1397), with rainfall intensity reaching 7.5 times the long-term average. This influx of exceptional moisture was absorbed by clay-rich materials with high hydrological sensitivity. Water absorption significantly degraded the shear strength parameters of these materials (φ reduced by 60–80%, and cohesion by 75–85%), creating ideal conditions for slope failure.Slope stability analysis using the *Slide* software package confirms that all three profiles reach critical failure thresholds (FS ≈ 1.0) under static saturated conditions. This is corroborated by field evidence including tensile cracking at the crest of the slope and structural damage. When quasi-static loading (with a seismic coefficient of 0.3g) is applied, safety factors drop below unity (FS < 1.0), guaranteeing slope rupture.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]

نشریه زمین شناسی مهندسی
Journal home page https://jeg.khu.ac.ir
دانشگاه خوارزمی
دسترسی آزاد
شاپا الکترونیکی ۲۹۸۱-۱۶۰۰

تحلیل مکانیزم ناپایداری شیب در اثر بارش غیرمعمول: مطالعه موردی زمین‌لغزش‌های روستای تلوبین (شمال میامی)

طاهره دانیال نژاد[۱]، علی اکبر مومنی[۲] ✉

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. taherehdanial84609@gmail.com
۲. دانشیار، گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. Ali_moomeni@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۵

کلیدواژه‌ها:
زمین لغزش، تلوبین، مارن، ضریب اطمینان،پایداری شیب، شبه استاتیک.

چکیده

در بهار سال ۱۳۹۸ پس از یک دوره بارندگی نامتعارف بخصوص در انتهای زمستان سال قبل، چندین زمین لغزش در روستای تلوبین رخ داد که منجر به تخریب ۱۲ خانه و آسیب به جاده و خط انتقال گاز شد. لذا این تحقیق به منظور بررسی مکانیسم رخداد این زمین لغزش‌ها صورت پذیرفت. بدین منظور روند انجام این پژوهش در غالب چهار مرحله شامل مطالعات کتابخانه‌ای، کاوش‌های صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی و ارزیابی مکانیسم لغزش توسط نرم‌افزار Slide6.20 طرح‌ریزی گردید. در طی کاوش‌های صحرایی پروفیل‌های مستعد به لغزش شناسایی شد و نمونه‌های دست خورده و دست‌نخورده مناسب از آن‌ها تهیه گردید. از نمونه‌های دست‌خورده برای انجام آزمایش‌هایی نظیر دانه‌بندی، حدود آتربرگ، کلسیمتری، XRD و SEM استفاده شد. تعداد ۲۷ نمونه دست نخورده جهت انجام آزمون برش مستقیم در شرایط رطوبتی متفاوت تهیه شد. در نهایت بر مبنای مشخصات هندسی شیب‌ها (طول، شیب و لایه‌بندی) و همچنین پارامترهای مقاومت برشی بدست آمده شامل زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی، پایداری پروفیل‌های مورد مطالعه در نرم‌افزار اسلاید در شرایط رطوبتی متفاوت و در حالت استاتیکی و شبه استاتیکی انجام گرفت. نتایج ضریب اطمینان‌های بدست آمده نشان داد که تمامی پروفیل‌ها در شرایط اشباع استاتیکی در آستانه لغزش بوده و در شرایط اشباع شبه استاتیکی قطعاً خواهد لغزید. در نهایت حساسیت بالای مصالح مارنی دامنه‌ها به تغییرات رطوبت و همچنین بارندگی غیر طبیعی بخصوص در بهمن و اسفند ۱۳۹۷، به عنوان عوامل اصلی مؤثر در رخداد این لغزش‌ها شناسایی گردید.

مقدمه

زمین لغزش‌ها تهدیدی جدی برای مناطق مسکونی واقع در دامنه‌های سنگی، به‌ویژه دامنه‌های متشکل از مارن و دیگر سازندهای زمین‌شناسی ضعیف، محسوب می‌شوند. ناپایداری این دامنه‌ها اغلب تحت تأثیر نوسانات آب‌های زیرزمینی، بارندگی و فعالیت‌های انسانی تشدید شده و منجر به پیامدهای فاجعه‌بار برای ساکنان و زیرساخت‌ها می‌شود (Pradhan et al., 2022). خاک‌های غنی از رس و سازندهای رسوبی رس‌دار، به‌ویژه در شیب‌های تند مجاور مناطق مسکونی، حساسیت بالایی به زمین‌لغزش دارند. به دلیل مقاومت برشی کم و رفتار خمیری، این مواد در صورت اشباع شدن ناپایدار شده و خطر گسیختگی دامنه افزایش می‌یابد. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که فعالیت‌های انسانی مانند حفاری یا زهکشی نامناسب این آسیب‌پذیری را تشدید می‌کند (Zhang et al., 2024; Aeini et al., 2022; Komadja et al., 2021). با افزایش شهرنشینی در مناطق پرخطر، درک ریسک زمین‌لغزش در این نواحی برای کاهش

استناد: دانیال نژاد، ط.، مومنی، ع. ا. (۱۴۰۴). تحلیل مکانیزم ناپایداری شیب در اثر بارش غیرمعمول: مطالعه موردی زمین‌لغزش‌های روستای تلوبین (شمال میامی). مجله زمین شناسی مهندسی، ۱۹ (۳)، ۳۲۸-۳۴۷. https://doi.org/10.22034/JEG.2025.19.3.104488

ناشر: دانشگاه خوارزمی.
© نویسندگان.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]

خطرات و توسعه پایدار ضروری است. بنابراین ارزیابی ژئوتکنیکی دقیق در برنامه‌ریزی شهری در مناطق کوهستانی جهت رسیدن به این هدف بسیار مهم می‌باشد.

ناپایداری دامنه در زمین‌های با سنگ‌های نرم، به‌ویژه در مناطق مسکونی، همواره دغدغه‌ای مهم در مهندسی ژئوتکنیک و زمین‌شناسی بوده است. مطالعات فراوانی به بررسی علل، مکانیسم‌ها و راهکارهای کاهش زمین‌لغزش در مناطق مسکونی پرداخته‌اند. مطالعات اخیر نمونه‌های متعددی از گسیختگی دامنه‌های مارنی در جهان را نشان داده که خسارات قابل‌توجهی به بار آورده‌اند. برای مثال، زمین‌لغزش سال ۲۰۱۹ در کوه‌های ریف مراکش که در اثر بارندگی شدید و نفوذ آب‌های زیرزمینی رخ داد، منجر به تخریب چندین خانه و جاده شد و آسیب‌پذیری چنین مناطقی را آشکار کرد (Es- smairi et al., 2023). به‌طور مشابه، در جنوب ایتالیا، زمین‌لغزش‌های مکرر در سازندهای مارنی خسارات اقتصادی گسترده‌ای ایجاد کرده و لزوم بهبود روش‌های ارزیابی خطر را نشان می‌دهد (Gatto et al., 2023). کشور ایران به علت توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت‌های نئوتکتونیکی، شرایط جغرافیایی و سازندهای متنوع زمین‌شناختی، شرایط مساعدی را برای وقوع لغزش‌ها به طور بالقوه دارا می‌باشد (Parsaie and Alimohammadi, 2012). بسیاری از این زمین لغزش‌های رخ داده در ایران مرتبط با سنگ‌ها یا خاک‌های حاوی رس بوده‌اند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد. ستوهیان و همکاران (Sotouhian et al., 2019)، شیب زیاد، بارندگی فراوان، وفور خاک رسی و رسی-مارنی روی دامنه‌ها را به عنوان عوامل طبیعی مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های استان گیلان نتیجه‌گیری نمودند. شرفی و همکاران (Sharafi et al., 2021) گزارش کردند که وجود لایه‌های مارنی همراه با عواملی مانند بارندگی شدید، فرسایش رودخانه‌ای و شیب‌های تند، نقش اصلی در وقوع یک زمین‌لغزش و تشکیل سد لغزشی در دره مزرین استان لرستان داشته است. این رویداد خسارات قابل‌توجهی به زیرساخت‌های محلی وارد کرد. شفیعی همکاران (Shafiee et al., 2022) نیز عوامل مؤثر بر رخداد یک زمین‌لغزش بزرگ نزدیک شهر شیراز را مطالعه کردند و دریافتند که لایه زیرین رس مارنی نقش کلیدی در وقوع زمین‌لغزش در سازند آهکی آسماری داشته است. این عامل در رخداد زمین لغزش بزرگ سیمره نیز به عنوان یکی از عوامل کلیدی نقش داشته است (Roberts and Evans, 2013; Delchiaro et al., 2020).

روستای تلوبین از مناطق پر باران استان سمنان می‌باشد و بارندگی‌های شدید در طول سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۹۸ سبب رخداد لغزش زمین و تخریب منازل شده است، به طوری که ۱۵۰ منزل در این روستا آسیب دیده و غیر قابل سکونت شده است. از سال ۹۰ با بارش‌های برف و باران برخی لغزش-های جزئی و ترک خوردن تعدادی از منازل مسکونی نیز آغاز شد، اما در برف و کولاک شدید روزهای پایانی سال ۹۷ شکاف خانه‌ها بیشتر و ۱۲ منزل با سازه اسکلتی نیز به طور کامل فروریخته است و برخی زیرساخت‌ها نظیر خطوط انتقال نیرو گاز، جاده‌ها، شبکه‌ی آبرسانی و کانال‌های آبیاری نیز آسیب دیده‌اند. همچنین روند حرکتی لغزش‌ها و ایجاد شکاف‌ها ادامه دارد (شکل ۱). لذا با توجه به عدم تخلیه‌ی کامل این روستا و فعال بودن لغزش رخ داده در این منطقه شناخت مکانیسم، عوامل و فرآیندهای مؤثر در رخداد این لغزش‌ها به منظور ارائه مناسب‌ترین روش‌های بهسازی، در منطقه ضروری می‌باشد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]



شکل ۱. ترک‌های ایجاد شده و تخریب منازل مسکونی روستای تلوبین ناشی از رخداد زمین‌لغزش
Fig. 1.The fissures and damage to residential homes in Tolubin village resulted from a landslide

مواد و روش‌ها

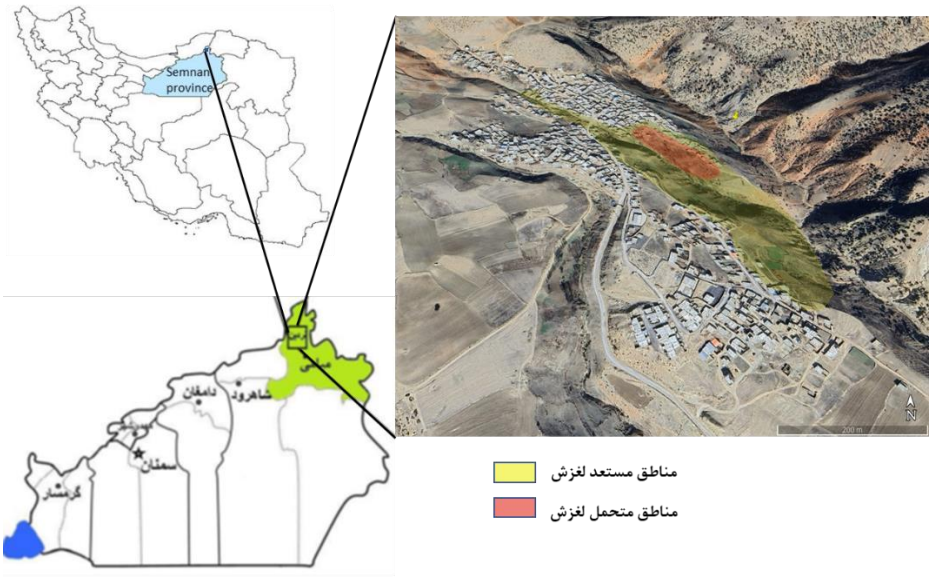
مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از روستاهای استان سمنان، شهرستان میامی و بخش کالپوش می‌باشد. این روستا که جزو دهستان نردین می‌باشد، در ارتفاع ۱۸۰۳ متری از سطح دریا و در بخش مرزی سه استان سمنان، گلستان و خراسان شمالی قرار گرفته است (شکل ۲). با توجه به داده‌های آماری ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه، دمای هوا در حالت کمینه و بیشینه دمایی در روستای تلوبین به ترتیب ۱۳/۷ - و ۳۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و متوسط بارندگی سالانه منطقه تلوبین با توجه به نقشه‌ی هم بارش استان سمنان بین ۲۴۹ تا ۳۰۰ میلی‌متر متغیر است. تعداد روزهای یخبندان در سال ۹۷ در این ناحیه ۱۰۷ روز بوده است. لازم به ذکر است که روستای تلوبین در فاصله ۱۳ کیلومتری از ایستگاه هواشناسی نردین و ۱۸ کیلومتری از ایستگاه کالپوش قرار دارد. با این وجود به دلیل وضعیت ارتفاعی و شباهت بیشتر رفتار بارشی آن به ایستگاه کالپوش، از نتایج آماری این ایستگاه استفاده گردید.

بررسی نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که واحد لیتولوژیکی (Em_2) به عنوان سنگ کف منطقه تلوبین می باشد. رخنمون آن شامل تناوبی از سنگ آهک‌های دگرگونی با لایه‌بندی ضخیم تا متوسط، ماسه سنگ‌های قرمز رنگ، مارن‌های صورتی و قرمز رنگ تا زرد روشن با میان لایه‌هایی از فسیل نومولیت، مارن‌های تبخیری و سنگ آهک‌های مارنی می‌باشد. بازدید محلی از روستا نشان می‌دهد که سنگ

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]

بستر مسئله‌دار روستا، مارن‌های ائوسن بوده که اغلب به رنگ قرمز دیده می‌شود.



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig. 2. Geographical location of the study area

روش تحقیق

روش تحقیق در این پژوهش شامل چهار فاز مطالعاتی شامل مطالعات کتابخانه‌ای، مطالعات صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی و ارزیابی و تحلیل پایداری شیروانی‌ها با استفاده از نرم افزار Slide6.20 بوده است. فاز مطالعات کتابخانه‌ای شامل جمع‌آوری اطلاعات، نقشه‌ها و عکس‌های هوایی مناسب از منطقه مورد مطالعه بوده است. از جمله این اطلاعات می‌توان به اطلاعات هواشناسی منطقه بخصوص داده‌های دما و بارش، نقشه‌های زمین‌شناسی یک صد هزار و یک دویست و پنجاه هزار منطقه و همچنین عکس‌های هوایی مناسب از گوگل ارث جهت ارزیابی وضعیت توپوگرافی، شیب و جهت شیب اشاره کرد. بعلاوه در این فاز مروری بر مطالعات گذشته در ارتباط با رخداد زمین لغزش در مصالح مارنی صورت گرفت.

مطالعات صحرایی شامل اندازه‌گیری مشخصات هندسی لغزش‌ها، ارزیابی وضعیت سطح ایستابی، نمونه‌گیری و ارزیابی و تصویربرداری از آسیب‌های وارده از زمین لغزش بوده است. در طی مطالعات صحرائی موقعیت خانه‌ها، زمین-های لغزیده و ترک‌های کششی در محل زمین لغزش توسط GPSثبت گردید. نیمرخ زمین لغزش‌ها در جناحین چپ و راست توسط متر و با استفاده از شاخص‌گزاری، اندازه‌گیری شد و به منظور ترسیم نیمرخ طولی و بررسی سطح لغزش بحرانی به کار گرفته شد. نمونه‌گیری از سه تیپ مصالح شناسایی شده در منطقه شامل مارن، مارن هوازده، خاک زراعی به دو روش دست خورده و دست نخورده انجام گرفت (شکل ۳-a). برای نمونه‌گیری به روش دست نخورده، جهت انجام آزمایش برش مستقیم، مطابق با قالب دستگاه آزمایش از قالبی به ابعاد تقریبی ۱۰*۱۰*۵/۴ سانتی‌متر استفاده

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]

گردید (شکل ۳- b). به دلیل عدم تراکم در نمونه تیپ ۱ (خاک سطحی) امکان انجام نمونه‌برداری دست نخورد فراهم نشد. لذا آزمون دانسیته برجا جهت انجام بازسازی نمونه‌ها در آزمایشگاه انجام شد. تعداد ۲۷ نمونه جهت آزمایش‌ها برش مستقیم و ۶ نمونه به روش دست خورد جهت انجام سایر آزمون‌ها در فرآیند نمونه‌برداری تهیه گردید.



شکل ۳. a) موقعیت نقاط نمونه‌برداری و b) تصاویری از نمونه‌برداری دست نخورده بلوکی و استوانه‌ای
Fig. 3. a) Location of sampling points, and b) images of undisturbed block and cylindrical sampling

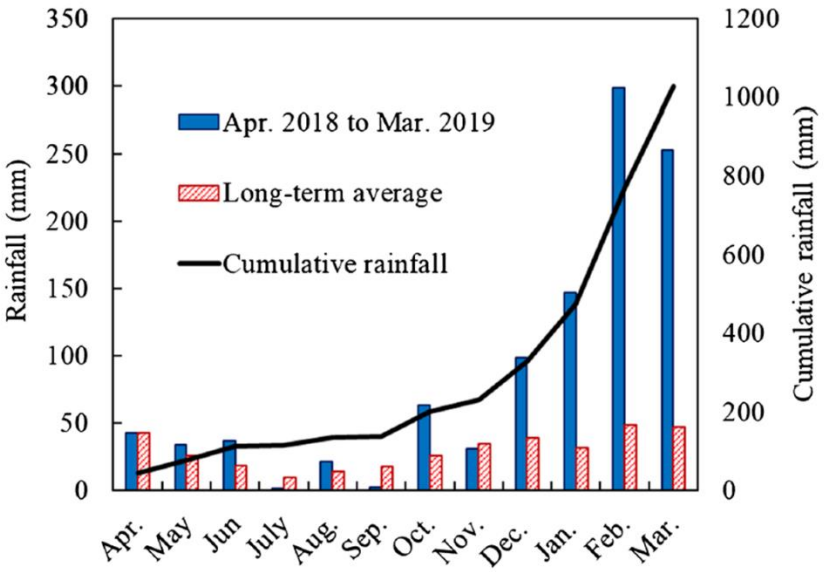
در فاز مطالعات آزمایشگاهی، آزمایش‌های خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک شامل تعیین وزن مخصوص خاک، دانه‌بندی و هیدرومتری، درصد رطوبت، تعیین حدود اتربرگ (حد روانی و حد خمیری) و برش مستقیم بر روی نمونه‌های تهیه شده انجام گردید. جهت شناسایی ترکیب شیمیایی و اجزای خاک از آنالیز طیف سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی (SEM) و آزمایش کلسیمتری استفاده و تمام آزمایش‌ها بر اساس استاندارد ASTM انجام گردید. در نهایت برای شیب‌های با پتانسیل لغزش، تحلیل پایداری با استفاده از نرم‌افزار اسلاید انجام گردید. بدین منظور با استفاده از داده‌های بدست آمده از برداشت‌های صحرایی، هندسه‌ی شیروانی‌های از نظر طول و شیب هر بخش از پروفیل مورد نظر ترسیم گردید. سپس با استفاده پارامترهای مقاومت برشی بدست آمده از نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی انجام گرفته بر روی نمونه‌های خاک در شرایط رطوبت طبیعی، نیمه اشباع و حالت اشباع، سطح لغزش احتمالی و ضرایب اطمینان شیب‌ها تعیین و محاسبه گردیده است. به منظور انجام تحلیل‌ها دو روش بیشاب ساده و اسپنسر در نرم افزار اسلاید به کار گرفته شد. با توجه به قرارگیری پروفیل‌های مذکور در منطقه مسکونی، بار وارد شده حاصل از وزن خانه‌ها به صورت تنش گسترده در مدل لحاظ گردیده است.

نتایج و بحث

نتایج تحلیل اطلاعات اقلیمی و هیدروژئولوژیکی نشان داده که میزان بارندگی در سال ۹۷ در ماه‌های اردیبهشت، بهمن و اسفند نسبت به بازه بلند مدت افزایش چشمگیری داشته

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]

است و عمده خرابی‌ها و آسیب ناشی از لغزش‌ها نیز در همین سال به وقوع پیوسته است. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، بارندگی شدید غیرعادی به مدت ۳ ماه در این منطقه رخ داده است، به گونه‌ای که شدت آن حدود ۷/۵ برابر میانگین بلندمدت است. با توجه به دمای هوا در بهمن و اسفند، عمده بارش از نوع برف بوده که ماندگاری زیادی داشته و می‌توان پیشنهاد نمود که این بارش‌ها یکی از عوامل اصلی مؤثر در رخداد این لغزش‌ها بوده است. همچنین عمق آب زیرزمینی طی عملیات صحرائی در یک چاه فعال واقع در بخش خط‌الرأس شیب در داخل روستای تلوبین به وسیله‌ی متر صوتی اندازه‌گیری و عمق ۳/۲۰ متری ثبت گردید. بنابراین سطح ایستابی در منطقه بالا بوده و احتمال اشباع شدن بخش قابل توجه‌ای از سطح لغزش در شیب‌های ناپایدار وجود دارد.



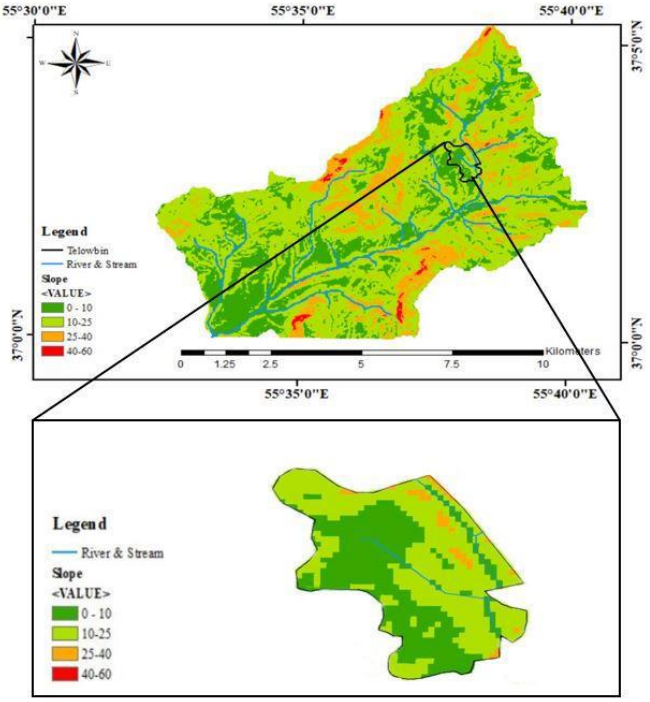
شکل ۴. نمودار تغییرات بارندگی ماهانه در سال ۹۷ در ایستگاه کالپوش (Entezam et al., 2019)

Fig. 4. Monthly precipitation variation chart during Apr 2018–Mar 2019 based on data from Kalpush Meteorological Station(after Entezam et al., 2019)

در شکل (۵) وضعیت شیب روستای تلوبین و ناحیه‌ی مسکونی بر روی نقشه‌ی شیب منطقه نشان داده شده است. وضعیت شیب در این منطقه با استفاده از نرم افزار GIS به ۴ کلاس تقسیم‌بندی شده است. با توجه به نقشه‌ی شیب منطقه تلوبین مناطق مسکونی غالباً دارای شیب کمتر از ۲۵ درجه می‌باشند. عمده لغزش‌ها این روستا در بخش‌هایی با شیب ۲۵تا ۴۰ درجه رخ داده و سازه‌های ساخته شده در این بخش آسیب دیده‌اند. پیشروی لغزش‌های رخ داده به سمت بالایی شیب باعث شده تا مناطق با شیب ۱۰-۲۵ درجه نیز متأثر گردند. همچنین بخش زیادی از لغزش‌ها در دامنه‌ای که شیب آن به سمت جنوب غرب می‌باشد رخ داده چرا که این دامنه نسبت به دامنه روبرو آفتاب کمتری دریافت کرده و با توجه به ماندگاری بیشتر رطوبت ناشی از بارش، عمق هوازدگی و ضخامت خاک در آن بیشتر است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]



شکل ۵. موقعیت روستای تلوبین بر روی نقشه شیب منطقه مورد مطالعه

Fig. 5. The location of Tolubin village on the slope map of the study area

خصوصیات فیزیکی

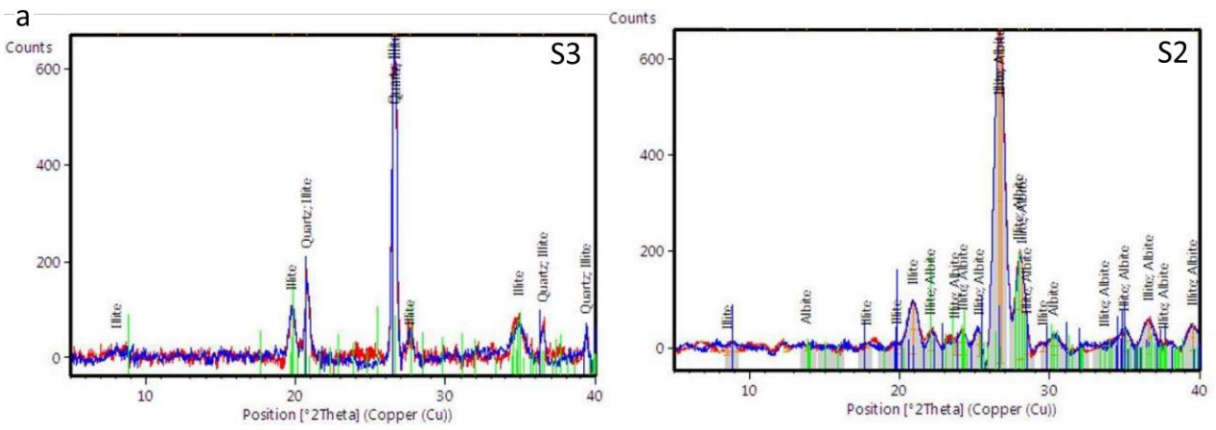
نتایج حاصل از آزمایش تعیین وزن مخصوص ویژه خاک نشان داد که مقدار Gs برای هر سه نمونه تقریباً برابر ۲/۵۶ است. بر اساس نتایج دانه‌بندی و هیدرومتری، درصد عبوری از الک ۲۰۰ از نمونه ۱ تا ۳ افزایش یافته و بین ۵۸ تا ۸۸ درصد می‌باشد. از این مقدار سهم ذرات رسی به ترتیب از نمونه یک تا ۳ برابر ۱۱/۲، ۲۱/۴ و ۳۳/۷ درصد می‌باشد. نتایج آزمون‌های حدود آتربرگ، کلسیمتری و رده‌بندی مهندسی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که در این جدول دیده می‌شود، کمترین و بیشترین شاخص خمیری به ترتیب مربوط به نمونه‌های ۵ و ۴ می‌باشد. با استناد به نتایج کلسیمتری و گراف XRD ، نمونه ۵ دارای درصد قابل توجهی کربنات کلسیم می‌باشد. بنابراین مقدار رس در این نمونه نسبت به سایر نمونه‌ها کمتر و در نتیجه شاخص خمیری نیز کمتر می‌باشد. این در حالی است که نمونه ۴ دارای کمترین مقدار کربنات کلسیم می‌باشد وجود کانی ورمیکولیت به همراه کانی ایلیت در نتایج آنالیز XRD مقدار بالای رس این نمونه را تأیید می‌کند. با توجه به طبقه-بندی ارائه شده توسط پتیجان، برای نامگذاری نمونه‌ها از اصطلاح مارن استفاده می‌شود، زیرا محتوای نمونه‌های آزمایش شده حدوداً از ۳۵ - ۶۵ درصد کربنات کلسیم و رس تشکیل شده است. از نظر رده‌بندی مهندسی نمونه ۱ به دلیل بالا بودن مواد عالی در آن در رده OL و مابقی نمونه‌ها در رده CL قرار دارند.

جدول ۱. نتایج آنالیز خصوصیات فیزیکی نمونه‌های مورد آزمایش

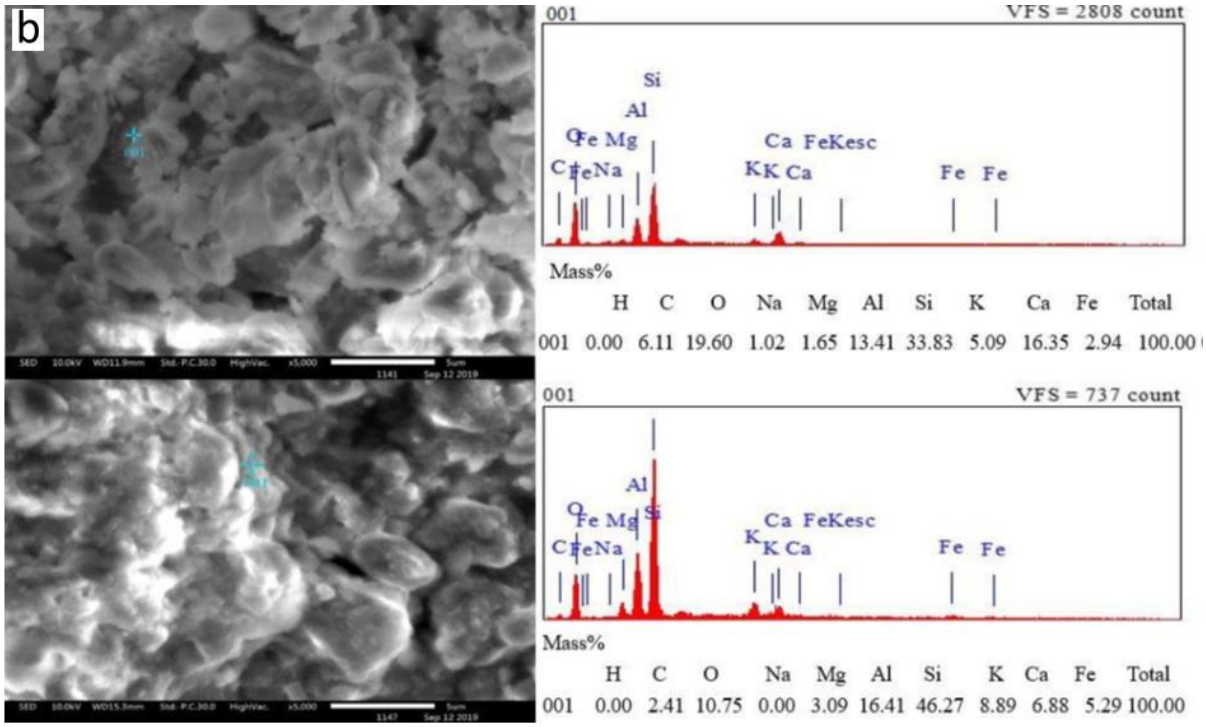
Table 1. Results of the physical properties analysis of the tested samples

Sample No.	Liquid Limit LL	Plastic Limit PL	Plastic Index PI	$CaCO_3$ %	USCS
1	34.35	24.28	10.06	58.47	OL
2	24.97	7.80	17.18	41.07	CL
3	32.86	16.04	16.82	41.33	CL
4	30.02	2.67	27.35	40.34	CL
5	16.92	14.97	1.95	62.70	CL
6	25.58	13.53	12.05	42.62	CL

نتایج آنالیزهای طیف سنجی نشان می‌دهد که بزرگ‌ترین پیک در نمودارهای تحلیلی تمام نمونه‌ها مربوط به کانی کوارتز و یا آلبیت می‌باشد (شکل ۶- a). از میان کانی‌های رسی، کانی ایلیت در نمونه‌ها تشخیص داده شد. در نمونه ۴ مقداری کانی رسی ورمیکولیت به همراه ایلیت مشاهده شده است. در نمونه ۵ پیک‌های مرتبط با کانی‌های رسی رویت نشد. واضح‌ترین طیف قابل تشخیص در نمونه ۵، طیف مربوط به کانی کوارتز می‌باشد. نتایج کانی‌شناسی تطابق خوبی با سایر آزمون‌های فیزیکی انجام شده دارد. با توجه به کیفیت پایین تصویر (بزرگ‌نمایی ۵۰۰۰) و عدم امکان بالا بردن وضوح آن به دلیل ایجاد گرد و غبار حین آزمایش که ناشی از مکش بالای خاک در نمونه‌ها می‌باشد و حساسیت بالای دستگاهSEM نسبت به این موضوع، عملاً از روی تصویر تشخیص نوع کانی‌های رسی مشکل بوده، همچنین کانی رسی ایلیت دارای شکل مشخصی مانند سایر کانی‌های رسی نمی‌باشد. لذا شناسایی آن بر اساس نتایج EDX انجام شده است. با توجه به بالا بودن مقادیر عناصری مانند Al ، Si و K در نتایج EDX نمونه‌های مورد مطالعه که در ترکیب شیمیایی ایلیت به وفور یافت می‌شوند، این آنالیز نیز همانند آنالیز XRD وجود کانی رسی ایلیت در نمونه‌ها را تصدیق نمود(شکل ۶ - b).



[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]



شکل ۶. a) نتایج آنالیز XRD نمونه‌های ۲ و ۳ و b) عکس‌های SEM به همراه آنالیز نقطه EDX آن

Fig. 6. a) The XRD results on sample 2 and 3, and b) SEM Images and their EDX analysis results

خصوصیات مکانیکی

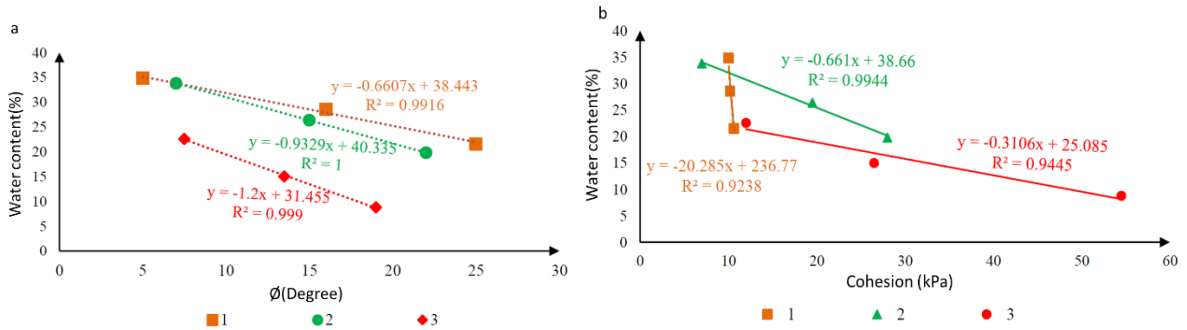
جدول (۲) مقادیر زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی و میانگین درصد رطوبت نمونه‌های معرف پروفیل‌های مورد مطالعه را ارائه می‌دهد. با توجه به داده‌های ثبت شده در جدول ۲ و شکل(۷)، هر چه میزان رطوبت یک نمونه افزایش یابد از میزان زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی کاسته می‌شود. با افزایش درصد رطوبت میزان زاویه اصطکاک داخلی در نمونه‌های خاک زراعی، مارن هوازده و سنگ مارن به ترتیب (۸۰ ٪)، (۶۸٪)، (۶۰ ٪)، و میزان چسبندگی (۵٪)، (۷۵٪) و (۷۸ ٪) کاهش می‌یابد. در شکل (۷) شیب خطوط بیانگر عکس تأثیرپذیری نمونه‌ها از میزان درصد رطوبت می‌باشد. نمودار تغییر زاویه اصطکاک داخلی با درصد رطوبت برای خاک ۱ (خاک نباتی) کم شیب‌تر از دو نمونه دیگر بوده و نشان از تأثیرپذیری بیشتر آن دارد. شیب تغییرات برای نمونه‌های ۲ و ۳ کم و بیش شبیه همدیگر است. نمودار تغییرات چسبندگی با درصد رطوبت نشان می‌دهد که نمودار مربوط به خاک ۱ بسیار پرشیب بوده و نشان از تأثیرپذیری اندک این پارامتر از رطوبت برای این نمونه است. این در حالی است که نمونه ۱ دارای کمترین مقدار رس (حدوداً ۱۱/۲۲٪) می‌باشد. بنابراین هر چه شیب خط بیشتر باشد، درصد رس کمتر می‌باشد و مقدار چسبندگی کمتر خواهد بود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]

جدول ۲. مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نمونه‌ها در پروفیل‌های مورد مطالعه

Table 2. Values of internal friction angle and cohesion of the samples in the studied profiles

Sample No	Water contente (/.)	Cohesion (kPa)	Internal frinction angle (Degree)
1	21.54	10.632	25
	28.58	10.164	16
	34.82	10.033	5
2	19.79	28	22
	26.37	19.5	15
	33.79	7	7
3	8.78	54.5	19
	15.00	26.5	13.5
	22.57	12	7.5

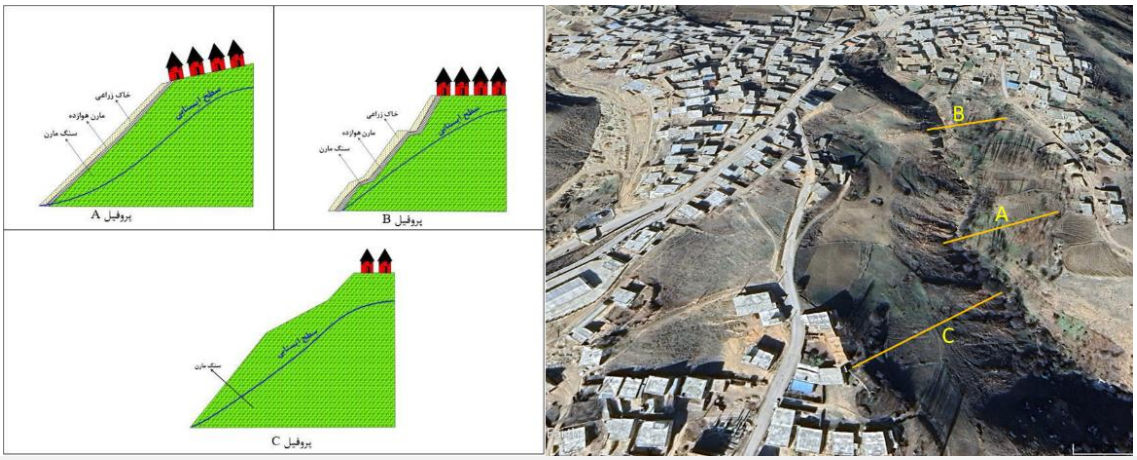


شکل ۷. تأثیر افزایش درصد رطوبت در کاهش a) زاویه اصطکاک داخلی و b) چسبندگی در پروفیل‌های مورد مطالعه

Fig. 7. The effect of increasing moisture percentage on the reduction of a: internal friction angle and b: cohesion in the studied profiles

در شکل (۸)، نیمرخ زمین‌شناسی مرتبط با پروفیل‌های مورد مطالعه آورده شده است. مقادیر ضریب اطمینان هر پروفیل در هر دو حالت استاتیکی و شبه استاتیکی در جدول (۳) آورده شده است. در حالت شبه استاتیک مقدار شتاب ثقل با توجه به نقشه‌ی هم شتاب زلزله ایران (Zare, 2020) و مطالعات پیشین در منطقه‌ی تلوبین 0.3 g در نظر گرفته شد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]



شکل ۸. موقعیت جغرافیایی، وضعیت هندسی و مقاطع زمین‌شناسی پروفیل‌های مورد مطالعه

Fig. 8. Geographic location, geometric setting, and geological cross-sections of the studied profiles.

جدول ۳. مقادیر ضریب اطمینان پروفیل‌های مورد مطالعه در حالت استاتیک و شبه استاتیک

Table 3. The safety factor values of the studied profiles in static and quasi-dynamic states.

Profile No	Water contente status	Static analyses of safty factor		Quasi-Static analyses of safty factor	
		Simplified Bishop	Spencer method	Simplified Bishop	Spencer method
A	Moist	4.76	5.68	3.53	3.55
	Semi-saturated	3.82	3.82	1.82	1.83
	Saturated	1.18	1.73	0.86	0.869
B	Moist	2.05	2.77	1.49	2.22
	Semi-saturated	1.38	2.59	1.01	1.73
	Saturated	0.99	1.29	0.74	0.76
C	Moist	3.2	4.9	2.35	2.36
	Semi-saturated	1.6	2.2	1.20	1.19
	Saturated	0.8	0.9	0.56	0.55

پروفیل A از ۳ لایه سنگ و خاک تشکیل گردیده است که به ترتیب از سطح به عمق خاک زراعی، مارن هوازده و سنگ مارن را شامل می‌شود (شکل ۸). همانطور که در جدول (۳) دیده می‌شود، در حالت استاتیکی شیب پایداری نسبی دارد ولی با افزایش رطوبت و اشباع شدن ضریب اطمینان در روش بیشاب به ۱/۱ خواهد رسید و می‌توان گفت که شیب در آستانه لغزش قرار خواهد گرفت. ایجاد ترک‌های کششی در بالای شیب و حرکت اولیه و محدود در بخش‌های از آن در انتهای سال ۹۷ و ابتدای ۹۸ این مطلب را تأیید می‌کند (شکل ۹). با این حال در حالت شبه استاتیکی و اعمال شتاب افقی ۰/۳ شتاب ثقل، شرایط متفاوت بوده و در حالت اشباع ضریب اطمینان در هر دو روش بیشاب و اسپنسر به زیر ۱ کاهش یافته و لغزش شیب حتمی خواهد بود. جهت ارزیابی بهتر هندسه لغزش این پروفیل، خروجی نرم افزار اسلاید برای شرایط بحرانی اشباع در دو حالت استاتیک و شبه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]

استاتیک برای هر دو روش بیشاب ساده و اسپنسر در شکل (۱۰) نشان داده شده است.



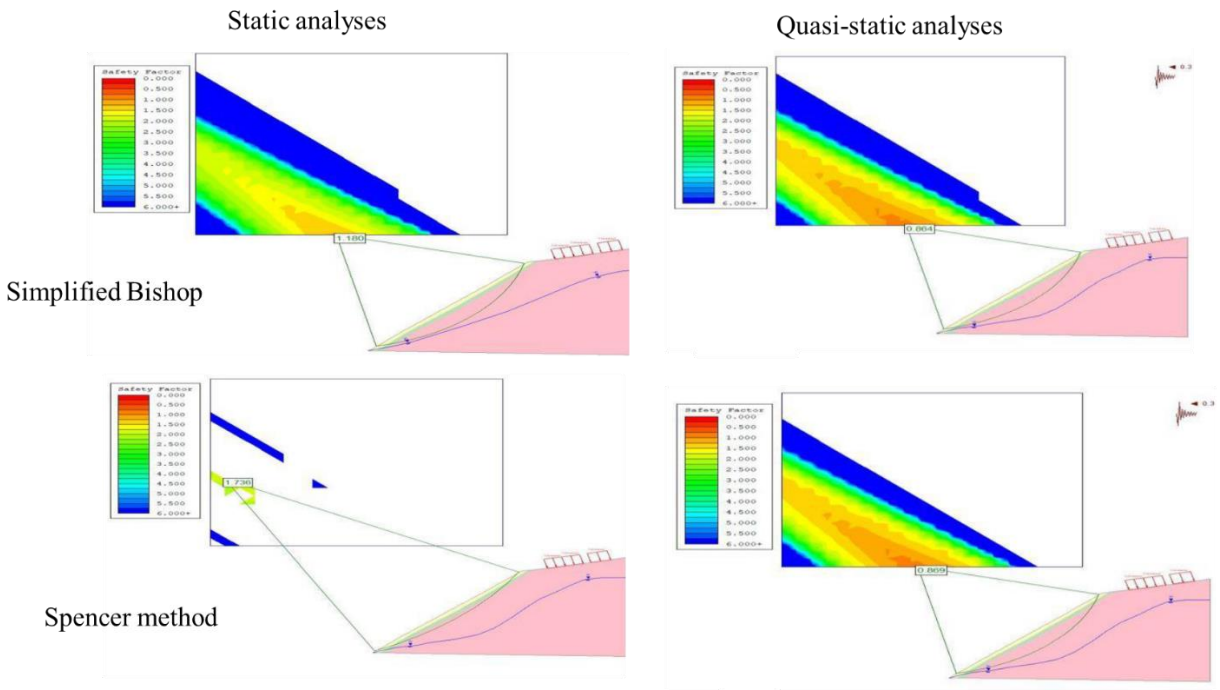
شکل ۹. تصاویری از ایجاد شکاف کششی در تاج شیب و آسیب ناشی از آن به سازه‌ها در پروفیل A

Fig. 9. Images of tensile crack formation at the slope crest and the resulting damage to structures in Profile A

پروفیل B همانند پروفیل A از سه لایه سنگ و خاک با مصالح مشابه تشکیل گردیده است. با این تفاوت که میزان ضخامت لایه‌های خاک‌های زراعی و مارن هوازده در این پروفیل بیشتر است. مقادیر ضریب اطمینان در پروفیل B نیز با افزایش میزان رطوبت کاهش می‌یابد. به مانند پروفیل A، در این پروفیل نیز در شرایط استاتیکی، تنها در حالت اشباع شیب به شرایط مرزی (ضریب اطمینان نزدیک ۱) و آستانه لغزش رسیده (شکل ۱۱) و در شرایط مرطوب و نیمه اشباع پایدار خواهد بود. ظهور ترک‌های کششی در این شیب، شرایط آستانه لغزش آن در حالت اشباع را نشان می‌دهد. چنانچه بار دینامیکی نیز در تحلیل اضافه گردد، در شرایط اشباع و در هر دو روش، ضریب اطمینان در برابر لغزش تا ۰/۷ کاهش یافته و حرکت شیب قطعی خواهد بود (شکل

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]

۱۲). در شرایط نیمه اشباع که معادل شرایط شیب بعد از بارندگی‌های معمولی است، در روش بیشاب ساده ضریب اطمینان ۱ بوده که آستانه لغزش را نشان می‌دهد. در حالت رطوبت طبیعی شیب پایدار خواهد بود. با توجه به تحلیل‌های بیان شده و قرار گرفتن پروفیل B در فاصله‌ی نزدیک به منازل مسکونی، بالا بودن ریسک لغزش در این پروفیل نسبت به سایر پروفیل‌ها را می‌توان نتیجه گرفت.



شکل ۱۰. نتایج تحلیل پایداری نرم افزار اسلاید در شرایط اشباع برای پروفیل A

Fig. 10.The results of the Slide stability analysis under saturated conditions for profile A

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]





شکل ۱۱. تصاویری از ایجاد شکاف کششی در تاج شیب و آسیب ناشی از آن به سازه‌ها در پروفیل B

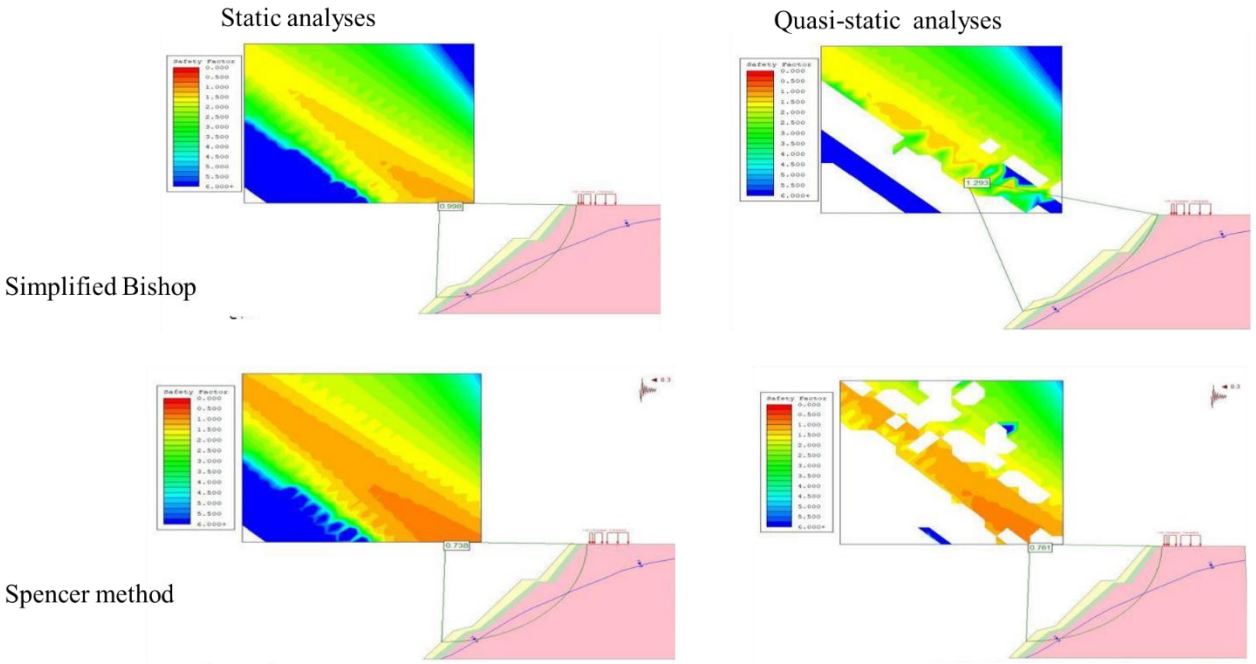
Fig. 11. Images of tensile crack formation at the slope crest and the resulting damage to structures in Profile B

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]

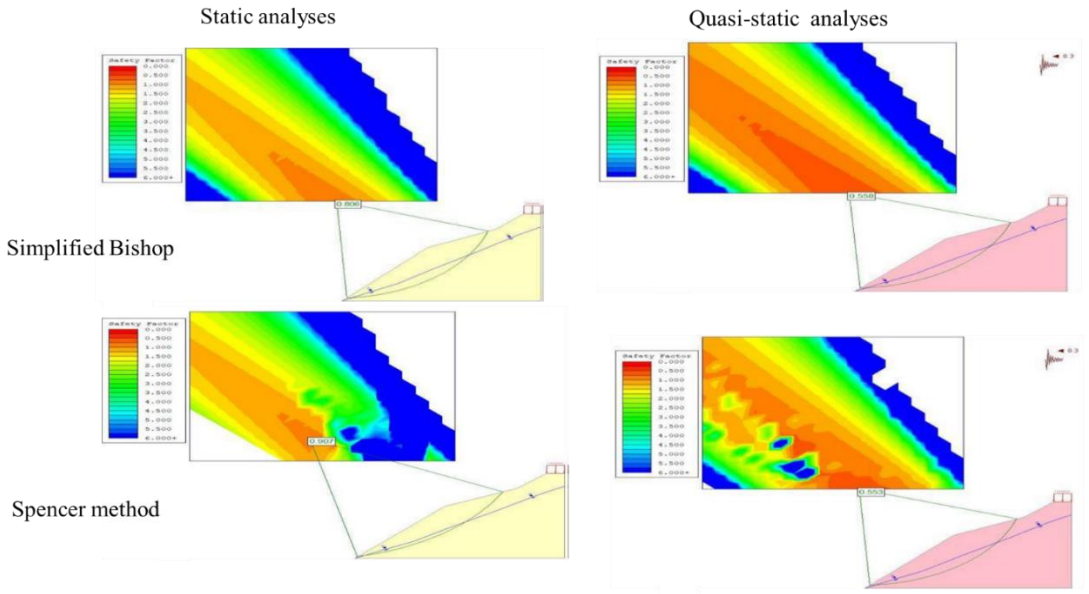
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]



شکل ۱۲. نتایج تحلیل پایداری نرم افزار اسلاید در شرایط اشباع برای پروفیل B

Fig. 12. The results of the Slide stability analysis under saturated conditions for profile B

عملکرد عوامل هوازدگی در پروفیل C به دلیل جهت شیب و آفتاب‌گیر بودن آن، تأثیرگذاری کمتری داشته و متعاقباً ضخامت خاک سطحی کمتر می‌باشد. بنابراین پروفیل مذکور به صورت یک لایه‌ی مارنی در نظر گرفته شده است. پروفیل C در حالت اشباع دارای ضریب اطمینان کمتر از ۱ می‌باشد و به همین سبب در پروفیل C در حالت استاتیک و شبه استاتیک قطعاً لغزش اتفاق خواهد افتاد، در حالی که این پروفیل در حالت دینامیک در وضعیت نیمه اشباع ضریب اطمینان در ۱/۲ بود و تا حدودی شرایط آستانه لغزش را نشان می‌دهد (جدول ۳ و شکل ۱۳). در این پروفیل نیز آثار ترک‌های کششی همانند پروفیل B مشهود است. با این وجود میزان ترک و آثار لغزشی آن کمتر از دو پروفیل دیگر است. این بدان دلیل است که به دلیل مارنی بودن رخنمون از یک طرف و آفتاب‌گیر بودن شیب از طرف دیگر، در بارندگی مشابه سهم نفوذ آب در این شیب نسبت به دو پروفیل قبلی که در روبروی این شیب قرار دارد کمتر بوده و عملاً احتمال اشباع شدن شیب نسبت به آن دو پروفیل کمتر خواهد بود.



شکل ۱۳. نتایج تحلیل پایداری نرم افزار اسلاید در شرایط اشباع برای پروفیل C

Fig. 13. The results of the Slide stability analysis under saturated conditions for profile C

نتیجه‌گیری

با توجه به مباحث ارائه شده در این پژوهش، می‌توان نتایج به دست آمده از این تحقیق را در غالب موارد زیر دسته‌بندی کرد:

- مقایسه میزان بارندگی در سال ۹۷ با میانگین بلند مدت آن نشان داد که بارش‌ها افزایش چشمگیری داشته است، به خصوص در سه ماه انتهای سال که مقدار بارندگی ۶ برابر میانگین بلند مدت است و عمده خرابی‌ها و آسیب ناشی از لغزش‌ها نیز در همین سال به وقوع پیوسته است.
- اکثر نمونه‌های برداشت شده از روستای تلوبین بر اساس سیستم طبقه‌بندی USCS در دسته CL قرار می‌گیرند و به عنوان خاک‌های رسی غیرآلی دارای خمیرایی پایین تا متوسط شناسایی می‌گردند. نتایج آنالیز EDX نشان داد که کانی رسی غالب در این مصالح ایلیت می‌باشد.
- با افزایش درصد رطوبت در آزمایش برش مستقیم، میزان زاویه اصطکاک داخلی در نمونه‌های خاک سطحی، مارن هوازده و مارن به ترتیب (۸۰ ٪)، (۶۸٪) و (۶۰ ٪) کاهش می‌یابد. این در حالی است که مقدار کاهش چسبندگی به ترتیب (۵٪)، (۷۵٪)٪ و (۷۸ ٪) می‌باشد.
- مکانیسم اصلی رخداد لغزش در روستای تلوبین مرتبط به بارش شدید در طول دو ماه بهمن و اسفند ۹۷ بوده که شدت بارش ۷/۵ برابر میانگین بلند مدت و ۲/۵ برابر آستانه بارش برای فعال کردن زمین لغزش بوده است. از طرفی جذب این مقدار از رطوبت توسط مصالحی رس داری است که نسبت به رطوبت حساسیت بالایی دارند و جذب آب باعث کاهش مقاومت برشی این مصالح می‌گردد، شرایط لازم برای فعال شدن زمین لغزش در این روستا را فراهم کرده است.
- نتایج تحلیل پایداری پروفیل‌های مورد مطالعه توسط نرم افزار اسلاید حاکی از آن است که هر سه پروفیل در شرایط استاتیکی و در حالت اشباع در آستانه لغزش خواهند بود. بررسی آسیب‌های رسیده به سازه‌ها و پیدا شدن ترک‌های کششی در بالایی شیب، شرایط آستانه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]

لغزش در این حالت را نشان می‌دهد. در صورت اعمال بار دینامیکی در این شرایط ضریب اطمینان به زیر ۱ رسیده و شیب‌ها قطعاً گسیخته خواهند شد.

قدردانی

نویسندگان از دانشگاه صنعتی شاهرود بابت همکاری به عمل آمده در فراهم نمودن امکانات جهت بازدید از محدوده مورد مطالعه و انجام آزمون‌های آزمایشگاهی کمال تشکر و قدردانی را دارند. همچنین از آقای دکتر کرامتی بابت همکاری در انجام برخی آزمایش‌ها سپاسگزاری می‌گردد.

References

Aeini, M., Hajiazizi, M., & Nasiri, M. (2022). Effect of the chemical compounds of soil on the stability of excavation wall: a case study. International Journal of Mining and Geo-Engineering, 56(2), 107-113.

Delchiaro, M., Rouhi, J., Della Seta, M., Martino, S., Nozaem, R., & Dehbozorgi, M. (2020). The Giant Seymareh Landslide (Zagros Mts., Iran): A Lesson for Evaluating Multi-temporal Hazard Scenarios. In: De Maio, M., Tiwari, A. (eds) Applied Geology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43953-8_13.

Entezam, I., Rezari, A., Vakilzade, Y., Mohammadi, Y., & Babazade, N. (2019). Evaluation and analysis of the Hosein Abad Kalpush landslide.Report TR040, National Geoscience Database of Iran

Es-smairi, A., Elmoutchou, B., Mir, R.A., Touhami, A.Q., & Namous, M. (2023). Delineation of landslide susceptible zones using Frequency Ratio (FR) and Shannon Entropy (SE) models in northern Rif, Morocco. Geosystems and Geoenvironment, 2(4), 100195.

Gatto, M.P.A., Lentini, V., Montrasio, L. & Castelli, F. (2023). A simplified semi-quantitative procedure based on the SLIP model for landslide risk assessment: the case study of Gioiosa Marea (Sicily, Italy). Landslides, 20, 1381–1403. https://doi.org/10.1007/s10346-023-02040-8.

Komadja, G.C., Pradhan, S.P., Oluwasegun, A.D., Roul, A.R., Stanislas, T.T., Laïbi, R.A., Adebayo, B., & Onwualu, A.P. (2021). Geotechnical and geological investigation of slope stability of a section of road cut debris-slopes along NH-7, Uttarakhand, India, Results in Engineering, 10, 100227,

Parsaie, L. A., & Alimohammadi, S., 2012. Landslides in Iran. Jihad Daneshgahi Publications, 1st Edition, 228 p. (In Pesian)

Pradhan, S., Toll, D.G., Rosser, N.J., & Brain, M.J. (2022). An investigation of the combined effect of rainfall and road cut on landsliding. Engineering Geology, 307, 106787.

Roberts, N.J., & Evans, S.G. (2013). The gigantic Seymareh (Saidmarreh) rock avalanche, Zagros Fold–Thrust Belt, Iran. J Geol Soc Lond, 170(4): 685–700. https://doi.org/10.1144/jgs2012-090

Shafiee, A., Falamaki, A., Shafiee, A., & Arjmand, F. (2022). Probabilistic analysis of an 80,000 m^2 landslide in Shiraz, Iran. Landslides, 19, 659–671. https://doi.org/10.1007/s10346-021-01792-5

Sharafi, S., Ehteshami-Moinabadi, M. & Darvishi, S. (2021). Mechanism of landslide damming in Morzarrin Valley and its consequences, Lorestan Province, western Iran Landslides, 18, 1823–1832. https://doi.org/10.1007/s10346-021-01641-5.

Sotouhian, F., Ranjbaran, M., & Haghparast, R. (2019). Investigation of the Causes of Landslides in Gilan Province. The 4th International Congress on Agricultural Development, Natural Resources, Environment, and Tourism of Iran, Tabriz. (In Pesian)

Zhang, J., Cao, Y., Fan, W., Zheng, W., Wang, Z., He, C., & Teng, H. (2024). Spatial distribution characteristics and influence factor analysis of landslides —case study of the Hanwang area in Qinba Mountains, Earthquake Research Advances, 4(3), 100275.

Zare, M. (2020). "Iran Earthquake Hazard Map with 475-year Return Period". International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Iran.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.3.1.8]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.3.104488]