



TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC

KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

Hà Nội, 11 - 11 - 2022

ERSD 2022



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

ĐƠN VỊ TỔ CHỨC

Trường Đại học Mở - Địa chất (HUMG)

CÁC ĐƠN VỊ PHỐI HỢP TỔ CHỨC

Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam
Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam
Tổng hội Địa chất Việt Nam
Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam
Cục Bản đồ - Bộ Tổng tham mưu
Hội Cơ học Đá Việt Nam
Hội Công trình ngầm Việt Nam
Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam
Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam
Hội Địa chất Kinh tế Việt Nam
Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam
Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam
Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam
Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam
Viện Địa chất và Địa vật lý biển
Viện Khoa học và Công nghệ Mỏ
Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai
Trường Đại học Thủ Dầu Một

BAN TỔ CHỨC

Trưởng ban

GS.TS Trần Thanh Hải, *Trường Đại học Mở Địa - chất*

Phó Trưởng ban

GS.TS. NGUYỄN BUI Xuân Nam, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Triệu Hùng Trường, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Ủy viên

GS.TS. NGUYỄN VÕ Chí Mỹ, *Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam*

GS.TS Đỗ Như Tráng, *Hội Cơ học Đá Việt Nam*

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Lê Hồng Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS. TS Đỗ Văn Bình, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Công Giang, *Hội Công trình ngầm Việt Nam*

PGS.TS Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Phùng Mạnh Đắc, *Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam*

PGS.TS. NGUYỄN VĂN Lâm, *Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam*

PGS.TS Khổng Cao Phong, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS. NGUYỄN PHƯƠNG, *Hội Địa chất Kinh tế Việt Nam*

PGS.TS Đặng Trung Thành, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS. NGUYỄN TẠ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*

PGS.TS Lê Đức Tình, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Như Trung, *Hội Khoa học kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam*

PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Trần Thị Phúc An, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Đỗ Huy Cường, *Viện Địa chất và Địa vật lý biển*

TS Công Tiến Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Tiến Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Ngô Hồng Điệp, *Trường Đại học Thủ Dầu Một*

TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*
TS Nguyễn Đắc Đồng, *Tổng hội Địa chất Việt Nam*
TS Lê Quốc Hùng, *Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam*
TS Lê Đại Ngọc, *Cục Bản đồ - Bộ Tổng tham mưu*
TS Đào Hồng Quảng, *Viện Khoa học Công nghệ Mỏ*
TS Lê Văn Quyền, *Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam*
TS Bùi Thị Thu Thủy, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS Đặng Kim Triết, *Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai*

BAN KHOA HỌC

Trưởng ban

GS.TS. NGUYỄN Bùi Xuân Nam, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

Phó trưởng ban

PGS.TS. ĐỖ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

Ủy viên

GS.TSKH. NGUYỄN Hoàng Ngọc Hà, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
GS.TS. NGUYỄN Võ Trọng Hùng, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
GS.TS. NGUYỄN Trương Xuân Luận, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
GS.TS. ĐỖ Như Tráng, *Hội Cơ học Đá Việt Nam*
PGS.TS. ĐỖ Văn Bình, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
PGS.TS. Phùng Mạnh Đắc, *Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam*
PGS.TS. Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
PGS.TS. Lê Văn Hưng, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
PGS.TS. Hoàng Văn Long, *Viện Dầu khí Việt Nam*
PGS.TS. Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
PGS.TS. Nguyễn Quang Minh, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
PGS.TS. Phạm Xuân Núi, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
PGS.TS. Khổng Cao Phong, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

PGS.TS. Bùi Ngọc Quý, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
PGS.TS. Ngô Xuân Thành, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
PGS.TS. NGUYỄN Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*
PGS.TS. Nguyễn Thế Vinh, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
PGS.TS. Nguyễn Văn Xô, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
PGS.TS. Lê Hồng Anh, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Đỗ Huy Cường, *Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện Hàn lâm Khoa học và công nghệ Việt Nam*
TS. Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*
TS. Công Tiến Dũng, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Phạm Đức Thọ, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Bùi Thị Thu Thủy, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

BAN BIÊN TẬP

Trưởng ban

TS. Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

Phó Trưởng ban

TS. Nguyễn Viết Nghĩa, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

Ủy viên

PGS.TS. Tống Thị Thanh Hương, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
PGS.TS. Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

PGS.TS. Bùi Ngọc Quý, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
PGS.TS. ĐỖ Như Ý, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Tô Xuân Bản, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Nguyễn Thị Mai Dung, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Phạm Đức Thọ, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

BAN THƯ KÝ

Trưởng ban

PGS.TS. ĐỖ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

Phó Trưởng ban

TS. Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

Ủy viên

PGS.TS. Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Tô Xuân Bản, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Lê Quang Duyên, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Nguyễn Duy Huy, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

TS. Ngô Thanh Tuấn, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Phạm Đức Thọ, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
TS. Trần Thị Hải Vân, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
ThS. Hoàng Thu Hằng, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
ThS. Nguyễn Thanh Hải, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
ThS. Phạm Đức Nghiệp, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

Nghiên cứu đặc điểm môi trường địa hoá đất trồng khu vực Đại Thịnh - Mê Linh - Hà Nội phục vụ phát triển bền vững rau an toàn Đặng Thị Vinh, Nguyễn Khắc Giảng	78
Nghiên cứu đánh giá ô nhiễm môi trường sau khai thác ở một số mỏ pyrit và giải pháp giảm thiểu Nguyễn Thị Liên, Phạm Tích Xuân, Phạm Thanh Đăng, Nguyễn Xuân Quả, Đoàn Thị Thu Trà, Nguyễn Văn Phổ	85
Một số đặc điểm địa chất các thành tạo basalt-diabas Cẩm Thủy, Viên Nam mức tuổi Mesozoi muộn Tây Bắc Việt Nam Lê Tiến Dũng, Nguyễn Hữu Trọng, Trương Đức Tuấn, Nguyễn Khắc Giảng, Trương Xuân Luận, Tô Xuân Bản, Phạm Trung Hiếu, Trần Văn Đức, Hà Thành Như, Nguyễn Thị Ly Ly, Trần Bá Duy, Phạm Văn Nam	92
Quá trình phát triển trong các chu kỳ ngắn thời gian gần đây tại Cồn Nổi, huyện Kim Sơn, tỉnh Ninh Bình Tô Xuân Bản, Phạm Quang Sơn	100
Earthquake-induced landslide hazard assessment in Trung Chai commune, Sapa, Vietnam using a deterministic method Binh Van Duong, Fomenko I. K., Kien Trung Nguyen, Dang Hong Vu, Zerkal O. V., Ha Ngoc Thi Pham	107
Bàn về công tác thí nghiệm trong phòng xác định một số đặc trưng cơ lý của đất Đỗ Minh Toàn, Phạm Thị Nhung, Nguyễn Anh Đức, Nguyễn Thị Bích Hạnh	113
Đặc điểm điều kiện địa kỹ thuật thành phố Hải Dương phục vụ quy hoạch xây dựng thành phố đến năm 2030 Đỗ Hồng Thắng, Nguyễn Văn Phóng, Đỗ Minh Toàn	117
Đặc điểm biến đổi áp lực nước lỗ rỗng dư trong đất cát cho khu vực thành phố Quy Nhơn tỉnh Bình Định dưới tác dụng tải trọng chu kỳ Hứa Thành Thân, Nguyễn Ngọc Phúc, Nguyễn Văn Phóng, Hoàng Công Vũ	126
Possibility of replacing cement with rice husk ash in soft soil improvement using soil-cement column Nguyen Thanh Duong, Bui Truong Son, Nguyen Thi Nu	133
So sánh các phương pháp đánh giá chất lượng khối đá đường hầm thủy điện Đăk Mi 2, tỉnh Quảng Nam và đề xuất giải pháp gia cố Bùi Trường Sơn, Đào Mạnh Tùng, Phùng Hồng Quảng, Đỗ Minh Tuấn, Nguyễn Thị Nụ	140
Một số phương pháp dự báo độ lún bề mặt khi thi công đường hầm bằng khiên đào (TBM) Nguyễn Văn Hiến	148
Ứng dụng các phương pháp địa vật lý trong đánh giá hiện trạng đê hiện hữu phục vụ quản lý, duy tu đê điều Nguyễn Thị Nụ, Phan Văn Quang, Bùi Trường Sơn	155
Đặc trưng biến dạng động của đất yếu amQ_2^{-2-3} khu vực Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng Nguyễn Văn Phóng, Lê Văn Quyền	164
Đánh giá khả năng mất ổn định của đoạn tuyến Km40+650 – KM 40+ 950 đê Hữu Cầu, tỉnh Bắc Ninh hiện hữu phục vụ quản lý, duy tu đê điều Nguyễn Thị Nụ, Bùi Trường Sơn, Tạ Thị Toán, Vũ Hoàng Dương	174

Earthquake-induced landslide hazard assessment in Trung Chai commune, Sapa, Vietnam using a deterministic method

Binh Van Duong ^{1,2,*}, Fomenko I. K. ², Kien Trung Nguyen ³, Dang Hong Vu ⁴, Zerkal O. V. ⁵, Ha Ngoc Thi Pham ¹

¹ Hanoi University of Mining and Geology

² Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI)

³ Vietnam Academy of Science and Technology

⁴ Vietnam Institute of Geosciences and Mineral Resources

⁵ Lomonosov Moscow State University

ABSTRACT

The study of landslide processes has received considerable attention in Vietnam over the last two decades. Landslides are often triggered by rainfall in Vietnam, particularly in the northern mountainous regions, resulting in significant damage to people and property and the destruction of infrastructure and the environment. Along with rainfall, earthquakes are the trigger of many landslide events worldwide. The Northwest region of Vietnam frequently has experienced small to medium magnitude earthquakes. Therefore, studies on the influence of earthquakes on the occurrence of landslides should be conducted at various scales. Scoops3D – a physically-based model was employed in the present study to assess the landslide hazard in Trung Chai commune, Sapa, under the effect of earthquakes. In this study, the digital elevation model (DEM), the spatial distribution of the thickness and physico-mechanical parameters of slope material layers, and the horizontal pseudo-acceleration coefficient (k_{eq}) are the input data for the model preparation. The influence of earthquakes was simulated using four k_{eq} values of 0.025, 0.05, 0.1, and 0.2. Based on the analysis outcomes, landslide hazard maps were established, which categorize the study area into four hazard zones: unstable, quasi-stable, moderately stable, and stable. The simulation results have shown no slope instability in the study area for $k_{eq} = 0.025, 0.05, \text{ and } 0.1$. Whereas simulating with $k_{eq} = 0.2$, the unstable zone accounts for 12.34% of the study area. This study provided significant results for assessing the influence of earthquakes on the occurrence of landslides in the study area, which aids in land use management and disaster prevention. Future studies may be conducted by analyzing scenarios of simultaneous influences of rainfall and earthquakes on the landslide process.

Keywords: earthquake, landslide hazard, deterministic method, Scoops3D, Trung Chai

1. Introduction

Exogenous geological processes such as landslides and associated disasters such as flash floods and debris flows have caused significant damage to people and property in Sapa district, Laoai province (Tien Bui et al., 2017). Most landslide events in the Sapa district have occurred because of the complex combination of high precipitation, topographical features, thick weathering crust, land use, and human activities. Trung Chai is one of the communes in Sapa that is highly prone to landslides. All the recorded landslides in the Trung Chai commune have been triggered by rainfall. In addition, the study area has the potential for earthquake-induced landslides since it is located in a seismically active region of Vietnam (L. M. Nguyen et al., 2011). Therefore, landslide hazard assessment concerning the effect of earthquakes is the topic of interest in landslide studies. In the worldwide strategy for landslide disaster management, landslide hazard assessments have been conducted using various approaches, including deterministic methods. Numerous deterministic models have been developed for mapping landslide hazards at different study scales. However, the uncertainty of the input data is a significant drawback of the deterministic methods (e.g., variation of soil and rock parameters, variation of pore pressure in soil) (Palacio Cordoba et al., 2020). Therefore, the performance of deterministic models for landslide prediction is highly dependent on the study scale and the quality of the input data. In this study, the Scoops3D deterministic model was used to assess the landslide hazard in Trung Chai commune, Sapa district. Under the effect of the earthquake, as

* Corresponding author

Email: duongvanbinh@humg.edu.vn

expressed by the horizontal pseudo-acceleration coefficient (k_{eq}), landslide hazard maps and the relationship between the k_{eq} values and the stable zone for the study area have been established.

2. Materials and methods

2.1. Study area

A mountainous commune in the northwest part of Sapa, Trung Chai covers an area of around 38.6 km² and has an elevation range from 581 meters up to 2176 meters (Figure 1). Because it is situated within the high precipitation zone, the Trung Chai commune receives between 2,000 and 3,600 mm of precipitation annually (Tien Bui et al., 2017). Trung Chai has experienced various landslide events, including the Mong Sen landslide, which is regarded as the most well-known event occurring in the study area. Geologically, the Trung Chai area has the distribution of Posen complex rocks of moderate strength. The outcome of the weathering process is the production of material layers that are the origin of sedimentary catastrophes, including landslides. Landslides have frequently occurred in this area due to a combination of heavy and concentrated rainfall and other factors.

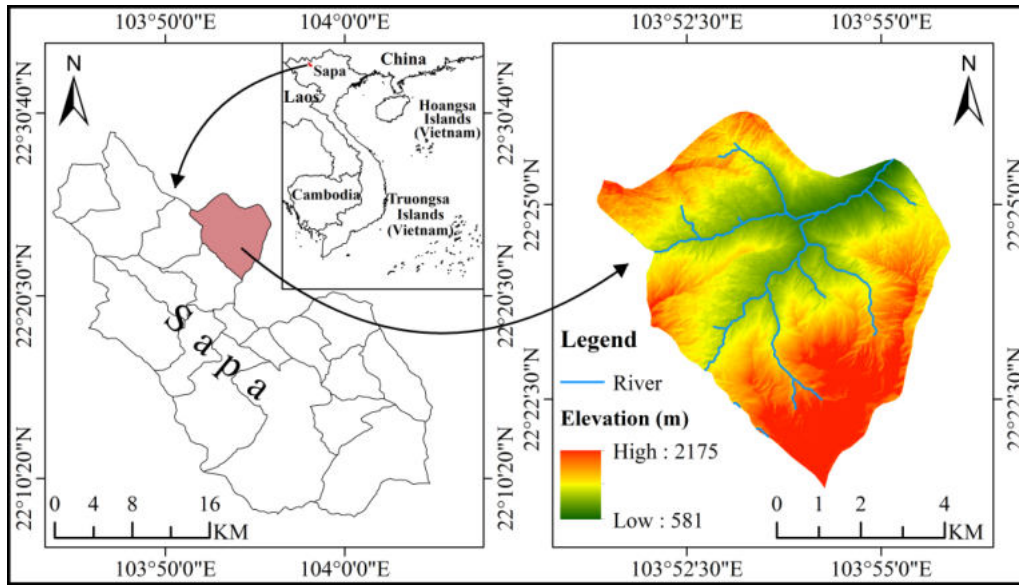


Figure 1. Location of study area.

2.2. Application of Scoops3D model in landslide hazard assessment

Scoops3D (Reid et al., 2015), developed by the U.S. Geological Survey (USGS), has been effectively used in various landslide stability studies worldwide, including in Vietnam.

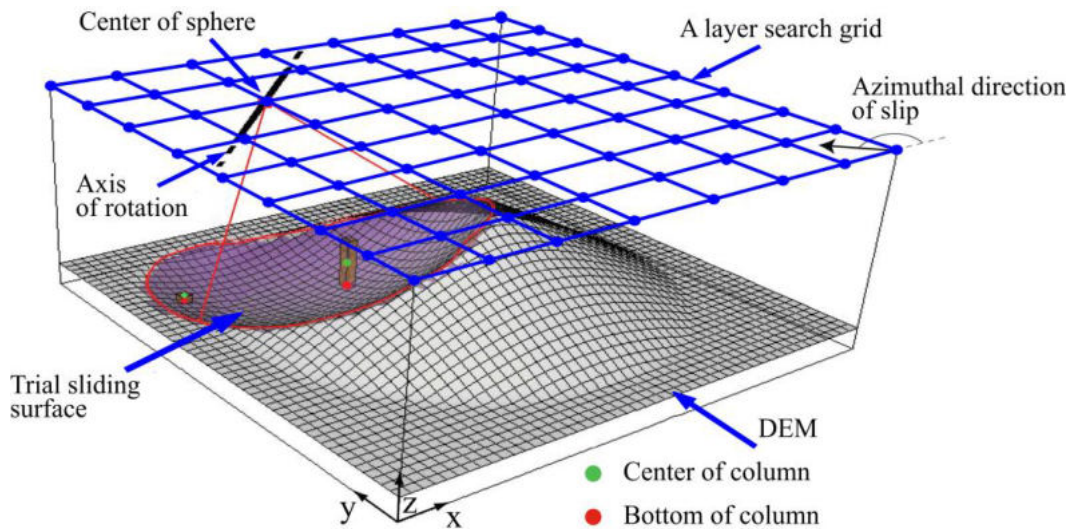


Figure 2. Schematic drawing of Scoops3D model including a DEM with potential trial sliding surface and search grid (modified from Reid et al. (2015))

A DEM is considered the foundation for the 3D slope-stability analysis carried out by the Scoops3D model. In Scoops3D, the most accurate available information may be used to evaluate the relative stability of examined slopes throughout a landscape, thus improving the effectiveness of landslide susceptibility or hazard assessments. For determining the slope state, the three-dimensional extension of Bishop's simplified method is integrated into the Scoops3D model to compute the factor-of-safety (FS) value as follows (Reid et al., 2015):

$$FS = \frac{\sum R_{i,j} [c_{i,j} A_{h_{i,j}} + (W_{i,j} - u_{i,j} A_{h_{i,j}}) \tan \phi_{i,j}] / m_{\alpha_{i,j}}}{\sum W_{i,j} (R_{i,j} \sin \alpha_{i,j} + k_{eq} e_{i,j})} \quad (1)$$

Additional details on equation (1) are available in the Scoops3D documentation (Reid et al. 2015).

Figure 3 depicts the fundamental elements that build the Scoops3D model and the procedure of landslide hazard assessment. As shown in Figure 3, physics-based models, including Scoops3D, require input data, such as topographic data, the distribution and characteristics of slope materials, and groundwater conditions.

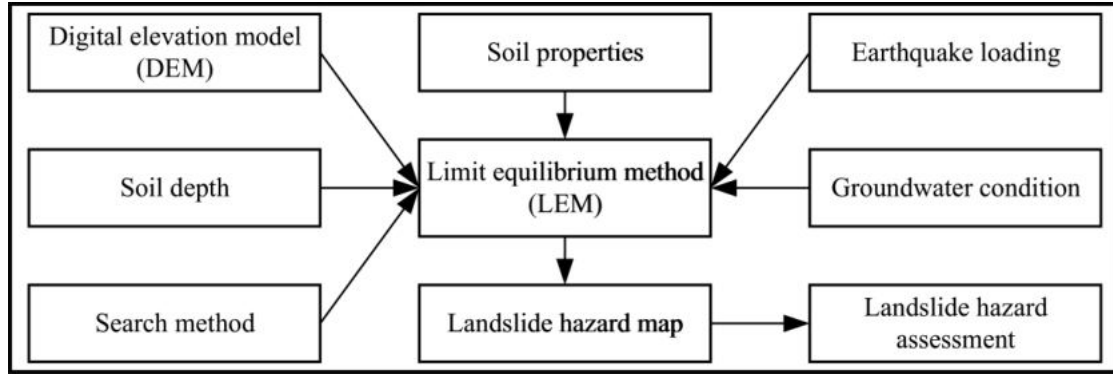


Figure 3. Scheme of landslide hazard assessment using Scoops 3D.

This study was conducted using a DEM map and slope material properties obtained from the geotechnical investigation process. Since topographical features considerably contribute to the evaluation outcomes of physically-based models, it is necessary to select an appropriate DEM. Therefore, the 5m DEM was used in this study for analyzing landslide hazards. In addition, the distribution of slope material layers must be determined for stability analysis using the Scoops3D model. Since the field survey only measured the thickness of the soil layer at several locations, we mapped the distribution of soil thickness throughout the study area using the relation between topographic slope and measured soil thickness (Tran et al., 2018).

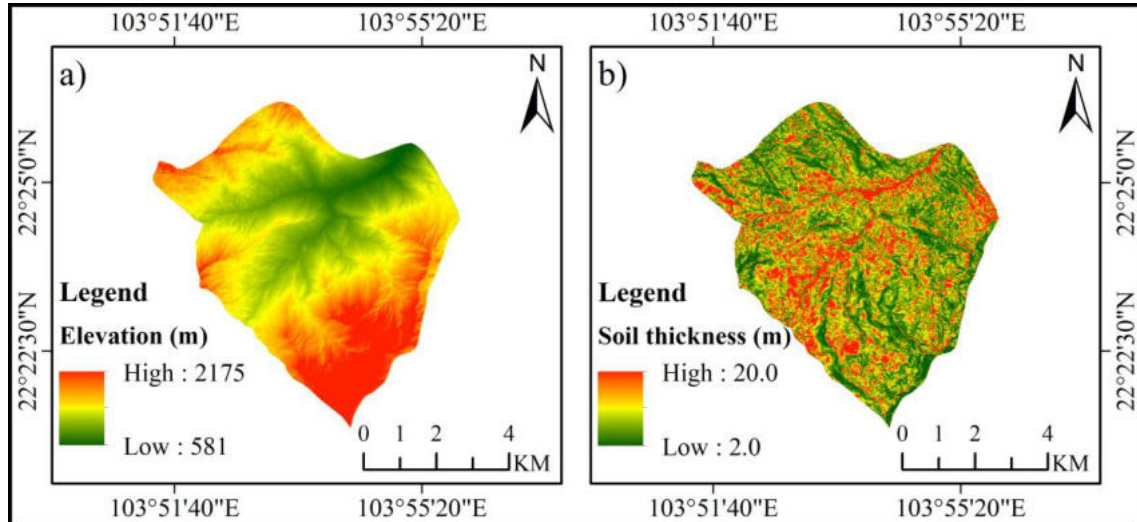


Figure 4. DEM map (a) and soil thickness distribution map (b).

When conducting a slope stability analysis, the properties of the soil, including its shear strength, play a significant role in the stability of slopes. The higher the shear resistance of the slope materials, the smaller the zone of instability under the identical simulation conditions. In this analysis, simulations used soil shear strength properties, including cohesion (c), friction angle (ϕ), and soil unit weight (γ) (Table 1).

Table 1. Soil parameters for landslide hazard assessment

Parameters		Symbol	Unit	Value
Unit weight		γ	kN/m ³	18.2
Friction angle		ϕ	(⁰)	16.3
Cohesion		c	kN/m ²	20.2

Stability calculations in Scoops3D can include simplistic effects of earthquake or seismic loading in a pseudo-static analysis by adding a specified pseudo-acceleration, k_{eq} . Different reference values of k_{eq} were proposed by numerous authors, such as Terzaghi (1950), Hynes-Griffin and Franklin (1984), and Kavazanjian et al. (1997). In this study, based on the history of earthquakes in the study area (A. D. Nguyen, 2014) and the landslide study of Pendin V. V. and Fomenko I. K. (2015), we assigned $k_{eq} = 0.025, 0.05, 0.1$, and 0.2 for assessing the influence of earthquake loading on slope stability (Table 2).

Table 2. k_{eq} value for analyzing slope stability

Earthquake intensity (MSK-64 scale)	6	7	8	9
Peak horizontal ground acceleration (in fractions of gravity acceleration, g) (Pendin V. V. & Fomenko I. K., 2015)	0.05	0.1	0.2	0.4
k_{eq} value	0.025	0.05	0.1	0.2

3. Results and Discussion

When seismic acceleration is combined with gravitational acceleration, the resulting short-lived stress might exceed the shear strength of the slope materials, leading to a landslide (Saito et al., 2018). There are around 130 earthquake-induced landslide inventories published throughout the world. Therefore, it is essential for susceptibility mapping to identify and comprehend the relationships between these landslides and contributing variables. Some conditioning factors, such as seismic factors, geological features, geomorphometric features, hydrological features, and environmental factors, have been extensively used in earthquake-induced landslide susceptibility assessments (Shao & Xu, 2022).

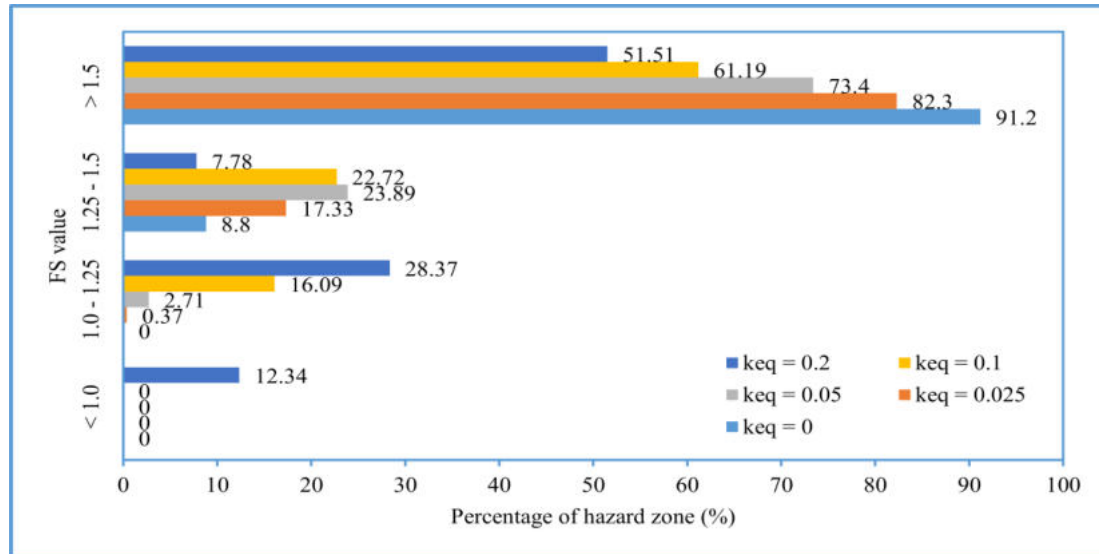
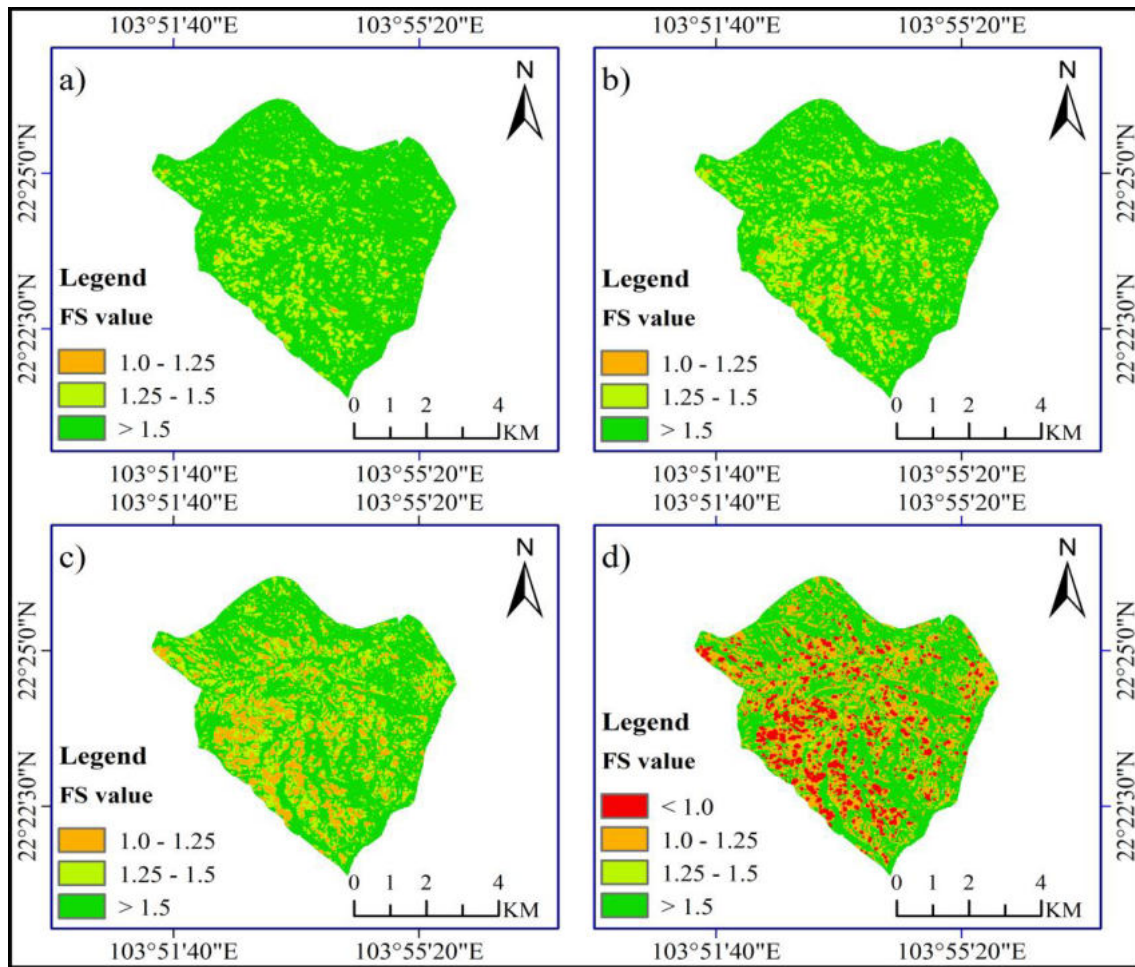


Figure 5. Statistics of hazard zones by the change of k_{eq} .

The results of the simulations have shown that there is no slope instability in the study area for $k_{eq} = 0.025, 0.05$, and 0.1 . However, when the k_{eq} value of 0.2 was used to simulate, the results showed that the unstable zone ($FS < 1$) accounted for 12.34% of the entire study area. The quasi-stable zone area also tends to increase, suggesting that these zones would become unstable under adverse conditions such as a rise in the water table. The stable zone ($FS > 1.5$) also plays a critical role in landslide hazard assessment. Figure 5 represents a decrease in the extent of this zone, corresponding to an increase in the value of k_{eq} . Under natural conditions, 91.2% of the study area contains slopes in a stable state. However, when the k_{eq} value was 0.2 , the stable zone area decreased to 51.51% . Four landslide hazard maps have been established, and the study area was divided into four zones: unstable, quasi-stable, moderately stable, and stable (Figure 6). Based on the simulation results, a relationship between stable zone area and k_{eq} has been established, which is a significant outcome of this study (Figure 7).



(a) $k_{eq} = 0.025$, (b) $k_{eq} = 0.05$, (c) $k_{eq} = 0.1$, (d) $k_{eq} = 0.2$

Figure 6. Landslide hazard maps.

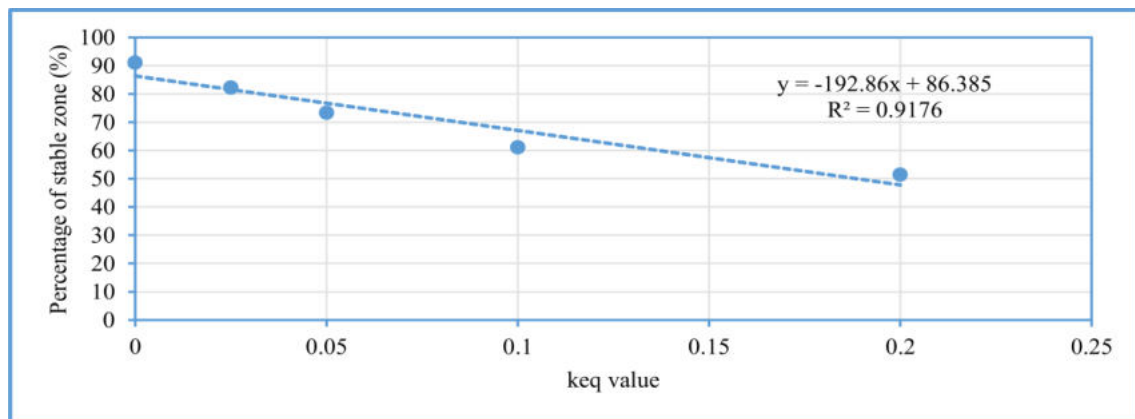


Figure 7. The relationship between the k_{eq} value and the stable zone.

4. Conclusion

In this study, a landslide hazard assessment was conducted to improve the efficacy of the landslide study and reduce the damage caused by landslides in the Trung Chai commune, Sapa district. To build the Scoops3D model for landslide stability analysis, topographic and climatic data, earthquake loading, and soil parameters were used. As a result, landslide hazard maps were established corresponding to earthquake scenarios, and the study area was categorized into four hazard zones. The study results indicated that slope instability only occurs when the k_{eq} value exceeds 0.1. The proportion of the landslide-unstable zone corresponding to the highest k_{eq} value is 12.34%. Simultaneously, the extent of the landslide-stable zones

was reduced, corresponding to an increase in the magnitude of the earthquakes. The study results showed that the landslide-unstable and landslide-stable zones play an essential role in land use management, the design of residential areas, and long-term planning. In further studies, it will be critical to enhance the quality of the input data to increase the reliability of the prediction outcomes. In addition, it is necessary to develop scenarios to examine the simultaneous effect of rainfall and earthquake on the landslide occurrence in the study area. The Scoops3D model may be widely applied in other mountainous districts in Vietnam with appropriate simulation conditions.

Acknowledgement

This study was sponsored by the Institute of Geological Sciences – Vietnam Academy of Science and Technology as part of the national science and technology project under grant number ĐTĐL.CN-81/21.

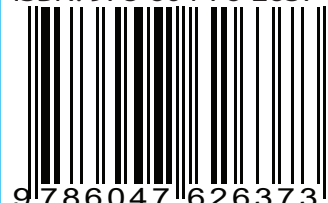
References

- Hynes-Griffin, M. E., & Franklin, A. G., 1984. Rationalizing the seismic coefficient method. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg, Mississippi, 37 pages.
- Kavazanjian, E., Jr., Matasovic, N., Hadj-Hamou, T., & Sabatini, P. J., 1997. Geotechnical Engineering Circular No. 3: Design Guidance. Geotechnical Earthquake Engineering for Highways. Volume I - Design Principles. U.S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Engineering: Office of Technology Applications. Washington, DC, 186 pages.
- Nguyen, A. D., 2014. Tectonic deformation and earthquake hazard in Northwestern Vietnam inferred from GPS observations. Doctoral Thesis, Nagoya University. Nagoya, Japan, 110 pages.
- Nguyen, L. M., Lin, T.-L., Wu, Y.-M., Huang, B.-S., Chang, C.-H., Huang, W.-G., . . . Dinh, V. T., 2011. The first ML scale for North of Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40(1), 279-286.
- Palacio Cordoba, J., Mergili, M., & Aristizábal, E., 2020. Probabilistic landslide susceptibility analysis in tropical mountainous terrain using the physically based r.slope.stability model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(3), 815-829.
- Pendin V. V., & Fomenko I. K., 2015. Methodology of landslide hazard assessment and prediction (in Rus). LENAND. Moscow, 320 pages.
- Reid, E., Christian, S. B., Brien, D. L., & Henderson, S. T., 2015. Scoops3D - Software to analyze 3D slope stability throughout a digital landscape. U.S. Geological Survey. Reston, VA, USA, 218 pages.
- Saito, H., Uchiyama, S., Hayakawa, Y. S., & Obanawa, H., 2018. Landslides triggered by an earthquake and heavy rainfalls at Aso volcano, Japan, detected by UAS and SfM-MVS photogrammetry. *Progress in Earth and Planetary Science*, 5(1), 15.
- Shao, X., & Xu, C., 2022. Earthquake-induced landslides susceptibility assessment: A review of the state-of-the-art. *Natural Hazards Research*.
- Terzaghi, K. (1950). Mechanism of Landslides. In S. Paige (Ed.). *Application of Geology to Engineering Practice*. Geological Society of America. 83-123. <https://doi.org/10.1130/Berkey.1950.83>
- Tien Bui, D., Tuan, T. A., Hoang, N.-D., Thanh, N. Q., Nguyen, D. B., Van Liem, N., & Pradhan, B., 2017. Spatial prediction of rainfall-induced landslides for the Lao Cai area (Vietnam) using a hybrid intelligent approach of least squares support vector machines inference model and artificial bee colony optimization. *Landslides*, 14(2), 447-458.
- Tran, T. V., Alvioli, M., Lee, G., & An, H. U., 2018. Three-dimensional, time-dependent modeling of rainfall-induced landslides over a digital landscape: a case study. *Landslides*, 15(6), 1071-1084.

KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG



ISBN: 978-604-76-2637-3



9 786047 626373