



## Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>

# Comparison analytical hierarchy process (AHP) and frequency ratio (FR) method in assessment of landslide susceptibility. A case study in Van Yen district, Yen Bai province



Dong Thanh Khuc <sup>1,\*</sup>, Hang Thi Ha <sup>1</sup>, Phong Duc Bui <sup>2</sup>, Quang Xuan Truong <sup>2</sup>, Anh Van Tran <sup>3</sup>, Hien Quang Pham <sup>1</sup>, Trong Dinh Tran <sup>1</sup>, Cong Chi Nguyen <sup>2</sup>, Huong Thi Tran <sup>2</sup>, Anh Van Truong <sup>2</sup>, Minh Hong Thi Tran <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hanoi University of Civil Engineering, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup> Hanoi University of Natural Resources and Environment, Hanoi, Vietnam

<sup>3</sup> Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 09<sup>th</sup> Dec. 2022

Revised 24<sup>th</sup> Mar. 2023

Accepted 13<sup>th</sup> Apr. 2023

#### Keywords:

AHP,  
Analytical Hierarchy Process,  
FR,  
Frequency Ratio,  
Landslide.

### ABSTRACT

Landslides are a natural disasters that frequently occur in the northern mountainous region of Vietnam. This study aims to compare the effectiveness of the Analytical Hierarchy Process (AHP) and Frequency Ratio (FR) modeling in mapping susceptibility to landslides with the support of a Geographic Information System (GIS). The study area is Van Yen district in Yen Bai province, which experiences a high frequency of landslides annually. Ten factors were used as variables in the model, including the lithology map, slope, aspect, plan curvature, profile curvature, topographic wetness index, fault network, river network, road network, and land cover data. The study used a landslide statistical report that including 211 landslide points to create the frequency ratio model, while the pairwise comparison method based on expert opinion was used to establish the weights for the AHP method. The results produced a spatial distribution of landslide susceptibility with five levels: very low, low, moderate, high, and very high. The study used the Area Under the Curve (AUC) to evaluate the performance of both models. The results indicated that the model using the Frequency Ratio method outperformed the Analytical Hierarchy Process model by 4.7% in addition to the similarity between landslide susceptibility maps and past landslide locations.

Copyright © 2023 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

\*Corresponding author

E - mail: [dongkt@huce.edu.vn](mailto:dongkt@huce.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.2023.64(2).08



## Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>

# So sánh phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) và tỷ số tần suất (FR) trong đánh giá tính nhạy cảm với trượt lở đất. Trường hợp nghiên cứu tại huyện Văn Yên, tỉnh Yên Bái

Khúc Thành Đông <sup>1,\*</sup>, Hà Thị Hằng <sup>1</sup>, Bùi Đức Phong <sup>2</sup>, Trương Xuân Quang <sup>2</sup>, Trần Vân Anh <sup>3</sup>, Phạm Quang Hiến <sup>1</sup>, Trần Đình Trọng <sup>1</sup>, Nguyễn Chí Công <sup>2</sup>, Trần Thị Hương <sup>2</sup>, Trương Vân Anh <sup>2</sup>, Trần Thị Hồng Minh <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Xây dựng, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup> Trường Đại học Tài Nguyên và Môi trường, Hà Nội, Việt Nam

<sup>3</sup> Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 09/12/2022

Sửa xong 24/3/2023

Chấp nhận đăng 13/4/2023

Từ khóa:

AHP,

FR,

Phân tích thứ bậc,

Trượt lở đất,

Tỷ số tần suất.

### TÓM TẮT

Trượt lở đất là một trong những tai biến thiên nhiên thường xuyên xảy ra ở miền núi phía Bắc Việt Nam. Nghiên cứu này nhằm so sánh hiệu quả của phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) và mô hình tỷ số tần suất (FR) với sự hỗ trợ của hệ thống thông tin địa lý (GIS) trong lập bản đồ tính nhạy cảm với trượt lở đất. Khu vực nghiên cứu huyện Văn Yên, tỉnh Yên Bái là địa phương có tần suất xảy ra trượt lở cao hằng năm. Mười yếu tố được sử dụng trong mô hình làm các biến bao gồm bản đồ thạch học, độ dốc, hướng sườn, độ cong địa hình, độ lõm địa hình, chỉ số độ ẩm địa hình, khoảng cách đến đứt gãy, khoảng cách đến sông suối, khoảng cách đến giao thông, dữ liệu lớp phủ. Nghiên cứu sử dụng báo cáo thống kê trượt lở đất bao gồm 211 điểm trượt lở cho mô hình tỷ số tần suất, bên cạnh đó phương pháp so sánh từng cặp thông qua ý kiến chuyên gia được sử dụng để xây dựng trọng số cho phương pháp AHP. Kết quả đưa ra bản đồ nhạy cảm trượt lở đất với 5 cấp độ: rất thấp, thấp, vừa phải, cao, rất cao. Nghiên cứu sử dụng diện tích dưới đường cong (AUC) để đánh giá hiệu quả của cả hai mô hình. Kết quả nghiên cứu cho thấy ngoài sự tương đồng giữa bản đồ nhạy cảm trượt lở đất đối với các vị trí trượt lở đất đã xảy ra trong quá khứ thì mô hình sử dụng phương pháp tỷ số tần suất cho hiệu suất tốt phương pháp phân tích thứ bậc là 4,7%.

© 2023 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

\*Tác giả liên hệ

E - mail: [dongkt@huce.edu.vn](mailto:dongkt@huce.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.2023.64(2).08

## 1. Mở đầu

Trượt lở đất là hiện tượng tai biến địa chất liên quan đến sự dịch chuyển của các khối đất đá so với phần còn lại dưới tác dụng trọng lực do sự mất ổn định của trọng lượng bản thân khối đất đá (Wang và nnk., 2023). Trượt lở đất là một vấn đề rất nóng tại Việt Nam cũng như trên toàn thế giới trong nhiều năm gần đây, đặc biệt do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu (Trần và nnk., 2020). Hàng năm tại Việt Nam, vào các mùa mưa bão kéo dài thường xảy ra rất nhiều vụ trượt lở tại các khu vực miền núi, gây thiệt hại lớn về người và tài sản, ảnh hưởng trực tiếp đến đời sống tinh thần người dân cũng như kinh tế của khu vực (Tran và nnk., 2021). Với sự phát triển của khoa học công nghệ, đã có nhiều giải pháp trong dự báo, giám sát hiện tượng trượt lở đất được sử dụng như mô hình ổn định mái dốc, công nghệ quan trắc tích hợp cảm biến, mô hình đánh giá đa tiêu chí, mô hình xác suất, mô hình trí tuệ nhân tạo sử dụng dữ liệu địa không gian và công nghệ hệ thống thông tin địa lý (GIS) (Khan và nnk., 2019).

Các nghiên cứu về trượt lở đất sử dụng dữ liệu địa không gian như ảnh viễn thám, dữ liệu từ mạng lưới các trạm đo có ưu điểm trong việc đánh giá các bài toán trên quy mô lớn (Khúc và nnk., 2021; Tran và nnk., 2021). Dữ liệu ảnh viễn thám được phát triển với độ phân giải không gian và thời gian ngày càng nâng cao là tài liệu hữu ích trong việc kiểm kê các điểm trượt lở đất kết hợp với công tác khảo sát thực địa. Sự phân bố không gian và khả năng xảy ra trượt lở đất phụ thuộc vào các yếu tố nguyên nhân như địa hình, thạch học, công trình giao thông, thủy lợi, đút gãy, lượng mưa,... (Yordanov và nnk., 2021). Các bản đồ kiểm kê trượt lở đất khi kết hợp với các dữ liệu nguyên nhân này sẽ giúp xác định được ảnh hưởng của chúng đồng thời giúp xây dựng bản đồ nhạy cảm với trượt lở đất của khu vực nghiên cứu (Khan và nnk., 2019). Các kỹ thuật đánh giá này được chia thành hai nhóm định tính và định lượng. Các nghiên cứu định tính như phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) hoặc các phương pháp đánh giá đa tiêu chí (MCA) cân nhắc xếp hạng các giá trị trọng số dựa trên đánh giá của các chuyên gia trong lĩnh vực nghiên cứu, trong khi các nghiên cứu định lượng tập trung vào việc phân tích mối quan hệ giữa các yếu tố nguyên nhân và kiểm kê trượt lở (Das và nnk., 2023). Một số mô hình trong nhóm

định lượng có thể kể đến như hồi quy logistic, tỷ số tần suất, logic mờ, cây quyết định,... (Wang và nnk., 2023). Nhìn chung, các nghiên cứu đều thể hiện khá tốt trong việc đánh giá nguy cơ trượt lở đất nhưng chưa có nhiều sự so sánh cụ thể giữa các mô hình định tính và định lượng.

Mục tiêu của nghiên cứu này là so sánh phương pháp AHP và FR là hai đại diện của hai nhóm định tính và định lượng trong việc đánh giá độ nhạy cảm trượt lở đất thông qua dữ liệu địa không gian của các yếu tố ảnh hưởng. Các so sánh theo cặp được thực hiện bởi các chuyên gia để tiến hành tính toán giá trị trọng số của phương pháp phân tích thứ bậc trong khi các dữ liệu điểm khảo sát trượt lở thực địa được sử dụng để tính toán giá trị tỷ số tần suất. Các bản đồ phân bố không gian về mức độ nhạy cảm với trượt lở đất được thành lập và so sánh vị trí tương đối với các điểm trượt lở từ thực địa. Cuối cùng, kỹ thuật đường cong ROC (Receiver Operating Characteristic) và diện tích dưới đường cong AUC (Area Under the Curve) được sử dụng để đánh giá và so sánh hiệu suất hoạt động của cả hai mô hình.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Huyện Văn Yên có tọa độ địa lý từ 21°50'30" đến 22°12'00" vĩ độ Bắc; từ 104°23'00" đến 104°30'00" kinh độ Đông. Phía Bắc giáp với huyện Văn Bàn và huyện Bảo Yên của tỉnh Lào Cai, phía Nam giáp huyện Trấn Yên, phía Đông giáp huyện Lục Yên và Yên Bình, phía Tây giáp huyện Văn Chấn. Tổng diện tích đất tự nhiên của Văn Yên là 1391,54 km<sup>2</sup> với 24 xã và 1 thị trấn (Trinh và nnk., 2021).

Địa hình Văn Yên tương đối phức tạp với nhiều dạng địa hình khác nhau, các đồi núi liên tiếp và cao dần từ Đông Nam lên Tây Bắc thuộc thung lũng sông Hồng kẹp giữa dãy núi cao là Con Voi và Púng Luông. Hệ thống sông, ngòi trên địa bàn huyện rất phong phú bao gồm gần 70 km chiều dài chính và khoảng 40 con ngòi, suối lớn là phụ lưu chảy ra sông Hồng, trong đó lớn nhất là ngòi Thia và ngòi Hút chảy từ huyện Văn Chấn qua địa phận huyện có chiều dài tổng cộng hơn 100 km. Văn Yên là một trong những huyện có nhiều điểm trượt lở đất xảy ra nhất của tỉnh Yên Bái, đặc biệt là vào mùa mưa (Trinh và nnk., 2021).

## 2.2. Phương pháp phân tích thứ bậc (AHP)

Phương pháp phân tích thứ bậc AHP (Analytical Hierarchy Process) đánh giá vai trò và mức độ ảnh hưởng của các yếu tố có liên quan đến nguy cơ gây ra trượt lở đất (Das và nnk., 2023; Kayastha và nnk., 2013). Phương pháp dựa trên việc xây dựng một hệ thống các cặp ma trận so sánh giữa các yếu tố khác nhau tác động đến việc xảy ra trượt lở đất thông qua mức độ ưu tiên. Giá trị tính cho mỗi cặp được đánh giá theo thang đo tiêu chuẩn 9 mức dựa trên kiến thức chuyên môn, tài liệu và kinh nghiệm của các chuyên gia (Bảng 1). Ma trận so sánh cặp được tổng hợp từ các bảng hỏi để xây dựng ma trận so sánh cặp chuẩn hóa. Từ đó, ma trận trọng số các yếu tố được xác định bằng cách tính trung bình theo hàng của ma trận so sánh cặp chuẩn hóa. Mục tiêu của phương pháp sẽ đưa ra trọng số thể hiện mức độ quan trọng của từng yếu tố (Das và nnk., 2023).

Bảng 1. Bảng mức độ quan trọng giữa hai yếu tố của phương pháp AHP.

Giá trị	Mức độ quan trọng (giữa hai yếu tố)
1	Quan trọng như nhau
3	Quan trọng hơn một chút
5	Quan trọng nhiều hơn
7	Rất quan trọng
9	Cực kỳ quan trọng
2,4,6,8	Mức trung gian giữa các mức trên

Giá trị trung bình của các yếu tố được sắp xếp theo thứ bậc được sử dụng để tính trọng số và giá trị riêng cùng tỷ số nhất quán (CR) được xác định như sau:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

Trong đó: CI là chỉ số nhất quán

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n w_i * \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (3)$$

Trong đó: n - số phần tử được so sánh theo cặp; RI là chỉ số ngẫu nhiên được xác định thông qua tra cứu.

Chỉ số nhạy cảm trượt lở (Landslide Susceptibility Index) được xác định bằng cách tích hợp các giá trị phân cấp của từng lớp yếu tố và trọng số đã được tính toán. Chỉ số nhạy cảm trượt lở được xác định bằng công thức sau:

$$LSI = \sum_{j=1}^n M_j W_{ij} \quad (4)$$

Trong đó: LSI (Landslide Susceptibility Index) - chỉ số nhạy cảm trượt lở;  $M_j$  - trọng số của yếu tố thứ j;  $W_{ij}$  - điểm số của lớp thứ i trong nhân tố gây trượt j.

## 2.3. Phương pháp tỷ số tần suất (FR)

Tỷ số tần suất (Frequency Ratio) là một phương pháp định lượng được dùng để đánh giá tính nhạy cảm với trượt lở đất với nguyên tắc dựa trên tỷ số giữa xác suất xảy ra và xác suất không xảy ra đối với từng loại yếu tố cụ thể. Giá trị FR cao hơn cho thấy mối liên hệ chặt chẽ hơn giữa sự xuất hiện trượt lở đất và các yếu tố nguyên nhân. Giá trị FR được tính bằng cách áp dụng công thức (5) (Khan và nnk., 2019):

$$Fr = \frac{Npix(1)/Npix(2)}{\sum Npix(3)/\sum Npix(4)} \quad (5)$$

Trong đó:  $Npix(1)$  - số pixel trượt lở đất của lớp yếu tố;  $Npix(2)$  - tổng số pixel của lớp yếu tố trên toàn khu vực nghiên cứu;  $Npix(3)$  - tổng số pixel trượt lở đất của khu vực nghiên cứu;  $Npix(4)$  - tổng số pixel của khu vực nghiên cứu.

Tỷ số tần suất thu được được tổng hợp để biên tập bản đồ Chỉ số nhạy cảm trượt lở đất (LSI) bằng cách sử dụng công thức (6):

$$LSI = Fr_1 + Fr_2 + \dots + Fr_n \quad (6)$$

Trong đó:  $Fr$  - tỷ số tần suất; n - số lượng các yếu tố nguyên nhân gây trượt lở được sử dụng.

## 2.4. Đánh giá hiệu suất mô hình

Đường cong ROC và chỉ số diện tích dưới đường cong AUC được sử dụng để đánh giá hiệu suất của các mô hình trong khả năng dự báo trượt lở đất. Đường cong ROC mô tả mối liên hệ giữa các cặp chỉ số TPR (tỷ lệ dương tính thực) và FPR (tỷ lệ dương tính giả) của các vị trí trượt lở và không trượt lở. Các điểm tham chiếu với kết quả tốt sẽ có giá trị tỷ lệ dương tính thực cao và giá trị tỷ lệ dương tính giả thấp và ngược lại. Các giá trị TPR

và FPR được tính lần lượt bởi công thức (7) và (8) dưới đây:

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad (7)$$

$$FPR = \frac{FP}{TN + FP} \quad (8)$$

Trong đó: TP - giá trị dương tính thực; TN là giá trị âm tính thực; FP - giá trị dương tính giả; FN - giá trị âm tính giả.

## 2.5. Dữ liệu sử dụng

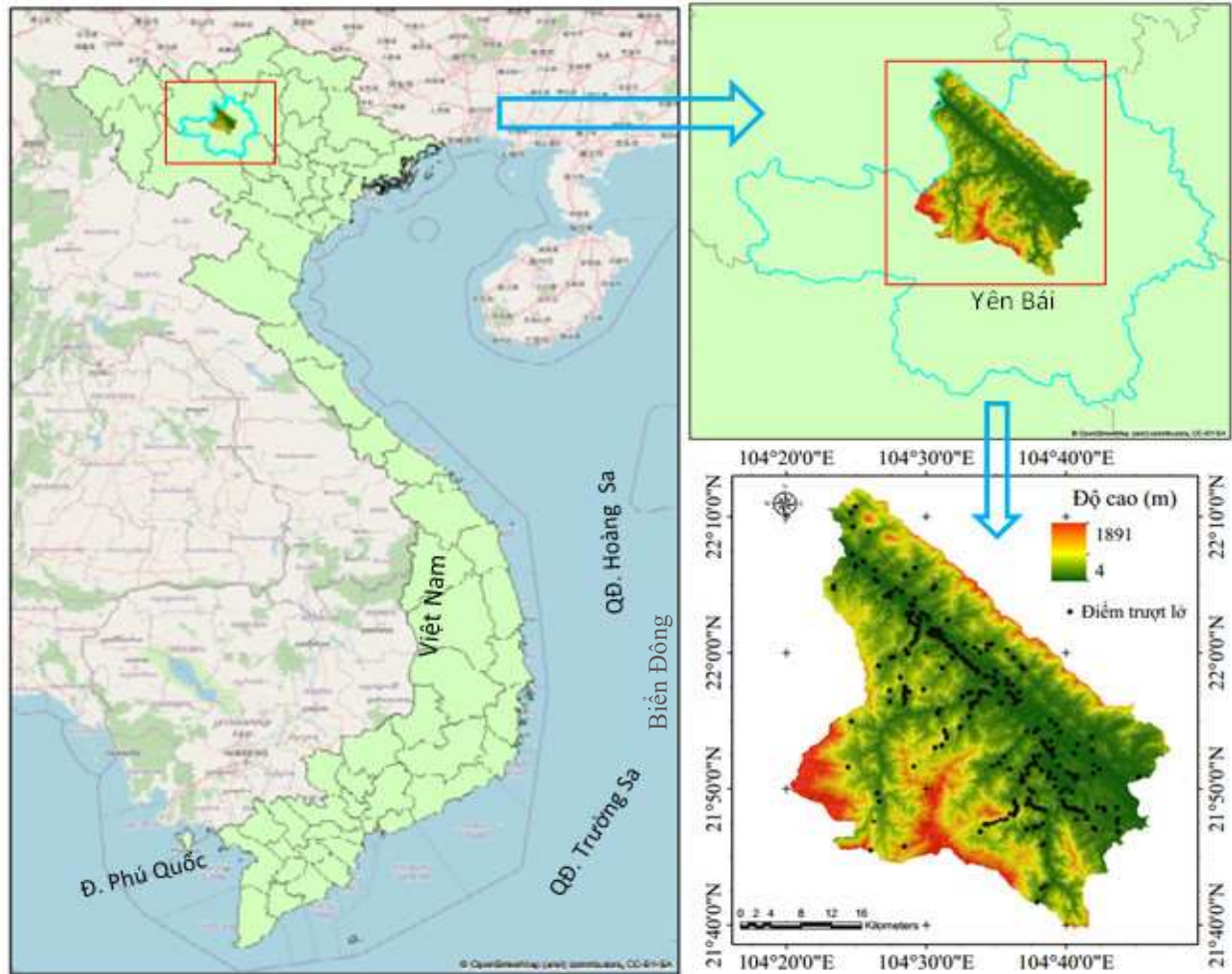
### 2.5.1. Kiểm kê trượt lở đất

Kiểm kê trượt lở đất là một yếu tố cần thiết để đánh giá tính nhạy cảm với trượt lở đất của khu vực nghiên cứu. Bộ dữ liệu kiểm kê bao gồm 211 điểm mẫu trượt lở đất theo các tiêu chí trong khuôn khổ dự án quốc gia được thu thập thông qua điều tra thực địa và giải đoán ảnh vệ tinh vào

năm 2013, 2017 và 2023 được sử dụng để xác định vị trí các điểm trượt lở thực tế (Hình 1). Các yếu tố như hình dạng, kích thước, màu sắc để nhận diện các đặc điểm và cấu trúc địa hình đã được xác định để so sánh với ảnh vệ tinh, từ đó lập bản đồ các vị trí trượt lở.

### 2.5.2. Các yếu tố điều kiện

Các lớp dữ liệu yếu tố điều kiện được sử dụng để mô tả các nguyên nhân hình thành hiện tượng trượt lở đất. Trong đó, nghiên cứu tập trung vào 10 yếu tố thuộc nhóm các yếu tố nguy cơ tiềm ẩn để xây dựng mô hình và thành lập bản đồ nhạy cảm trượt lở đất (Lee và nnk., 2023; Xiao và nnk., 2020). Các dữ liệu yếu tố điều kiện này được đánh giá tính độc lập thống kê và loại bỏ hiện tượng đa cộng tuyến trước khi tiến hành phân tích. Hình 3 mô tả giá trị hai chỉ số VIF và Tolerance của bộ dữ liệu các yếu tố. Hiện tượng đa cộng tuyến được cho rằng sẽ xảy ra khi giá trị VIF > 10 và Tolerance

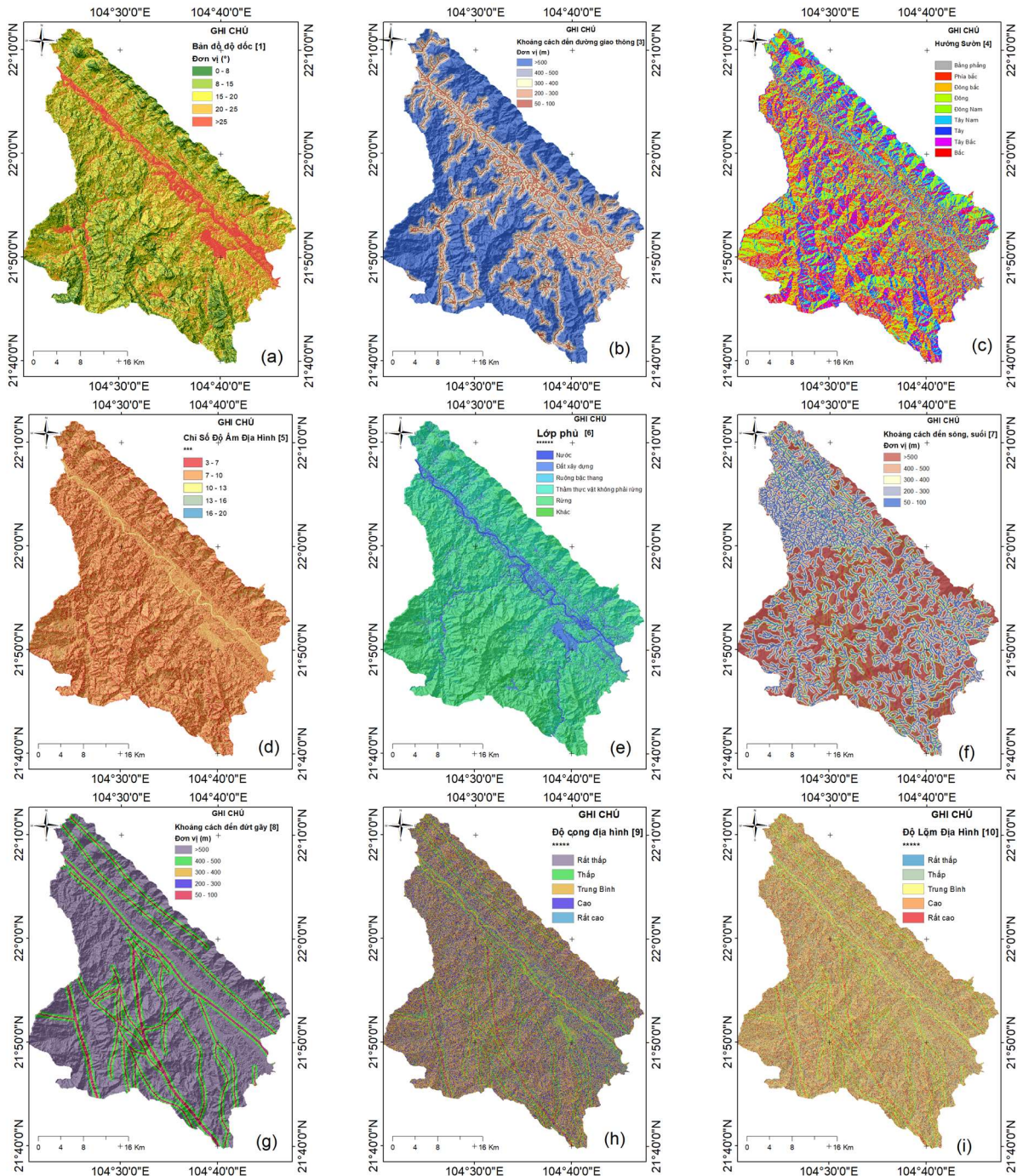


Hình 1. Khu vực nghiên cứu huyện Văn Yên, tỉnh Yên Bái.

< 0,1 (Lin và nnk., 2017). Kết quả trên cho thấy rằng các biến được lựa chọn là độc lập và không có hiện tượng đa cộng tuyến xảy ra.

Độ dốc là yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến độ ổn định của sườn dốc và quyết định tới sự hình thành hiện tượng trượt lở đất. Khi góc dốc càng

lớn thì mức độ ổn định của sườn dốc càng thấp và ngược lại. Dựa trên ảnh hưởng của độ dốc đến khả năng xảy ra trượt lở đất, giá trị độ dốc của khu vực nghiên cứu được chia thành 5 cấp từ không ảnh hưởng đến ảnh hưởng rất lớn (Hình 2a).



Hình 2. (a) Độ dốc; (b) Khoảng cách đến đường giao thông; (c) Hướng sườn; (d) Chỉ số độ ẩm địa hình; (e) Lớp phủ; (f) Khoảng cách đến sông suối; (g) Khoảng cách đến đứt gãy; (h) Độ lồi địa hình; (i) Độ cong địa hình.

Hướng sườn (Hình 2b) liên quan trực tiếp đến khả năng tiếp nhận ánh sáng Mặt trời, gió và lượng mưa. Đây là yếu tố có tác động đến sự thay đổi giá trị của các yếu tố gây ra trượt lở khác như độ ẩm đất, thảm phủ, gia tăng quá trình phong hoá làm thay đổi bề mặt.

Hình dáng sườn núi có thể là lồi hoặc có thể lõm và thẳng. Những khu vực lồi, các vật chất trượt lở thường tập trung tại một khu vực từ trên đỉnh xuống dưới chân sườn. Do đó, thông số thể hiện được sự phân tán hay tập trung vật chất do trượt lở và nước theo hướng dòng chảy trên các sườn. Những khu vực lồi thường sẽ tập trung dòng chảy trên sườn, có nguy cơ trượt lở cao hơn so với những sườn lõm.

Chỉ số độ ẩm địa hình (TWI) được tính toán từ mô hình số độ cao là đại lượng đại diện cho độ ẩm của đất. TWI được xác định trên nguồn dữ liệu DEM thông qua các thuật toán dòng chảy MFD (Multiple Flow Direction). Giá trị TWI càng bé thì khả năng tụ nước cũng như đất bão hòa nước càng lớn, khả năng bị trượt lở, lũ quét càng cao. Chỉ số này được tính toán dựa vào công thức [7]:

$$TWI = \ln \frac{a}{\tan \beta} \quad (7)$$

Trong đó: a - diện tích ngược dốc cục bộ tiêu thoát qua một điểm nhất định trên mỗi đơn vị chiều dài của đường đồng mức;  $\beta$  - độ dốc cục bộ tính bằng radian.

Các yếu tố địa chất và thành phần thạch học có vai trò quan trọng đến độ ổn định của sườn dốc và được xem là yếu tố cơ sở ảnh hưởng đến quá trình trượt lở đất. Các nhóm thành phần đá với độ bền vững thấp có xu hướng phong hoá thành các vật liệu kém bền vững hơn. Các đá có thành phần sét, cát, sạn, sỏi bờ rời có chỉ số ngậm nước lớn,

chúng có xu thế kém ổn định hơn khi độ ẩm tăng cao. Ngoài ra nhóm trầm tích bờ rời và nhóm macma phun trào có khả năng phong hóa mạnh, tạo nên lớp phủ thổ nhưỡng dày và dễ gây ra hiện tượng trượt lở. Dựa vào đặc tính cơ lý của các loại đất đá, nghiên cứu đã phân loại 5 nhóm đá chính theo độ ổn định và khả năng gây ra trượt lở đất (Hình 3).

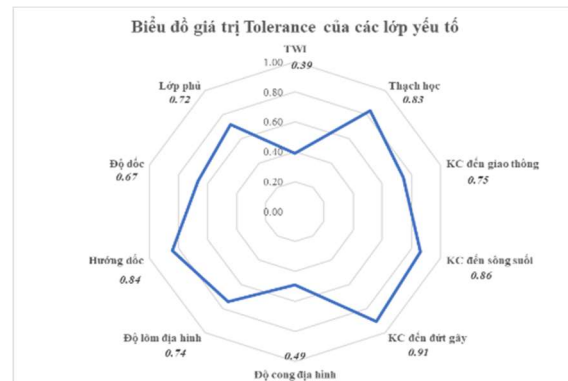
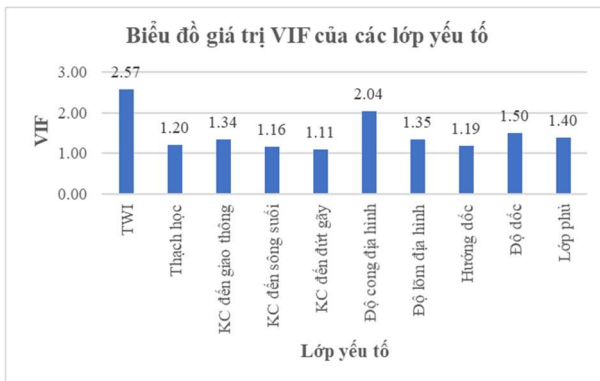
Hệ thống giao thông tại các khu vực miền núi thường được xây dựng trên những địa hình gồ ghề dọc theo các sông và thường xuyên phải cắt qua các sườn dốc. Điều này làm cho khu vực sườn dốc mất sự ổn định tự nhiên và dễ phát sinh hiện tượng trượt lở đất, đặc biệt là khu vực có độ dốc lớn. Đối với mạng lưới sông và hệ thống đút gãy, các yếu tố này được đưa vào nhóm các yếu tố môi trường. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố này được xác định dựa trên phương pháp buffer với mỗi mức ảnh hưởng cách nhau 100m. Dữ liệu sử dụng đất được chia thành 6 nhóm bao gồm: nước, đất xây dựng, nông nghiệp, ruộng bậc thang, thảm thực vật không phải rừng, rừng và các loại khác.

Dữ liệu các điểm trượt lở và giá trị các lớp dữ liệu yếu tố ảnh hưởng được tích hợp thông qua phần mềm ArcGIS 10.3 và tính toán bằng phần mềm Microsoft Excel cho cả hai phương pháp AHP và FR.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Mô hình phân tích thứ bậc (AHP)

Trong nghiên cứu này, mô hình AHP đưa ra giá trị trọng số của từng yếu tố ảnh hưởng đến khả năng xảy ra trượt lở đất. Kết quả tính toán chỉ số CR = 0,03 < 0,1 cho thấy sự đảm bảo về tính đồng nhất của các ý kiến chuyên gia.

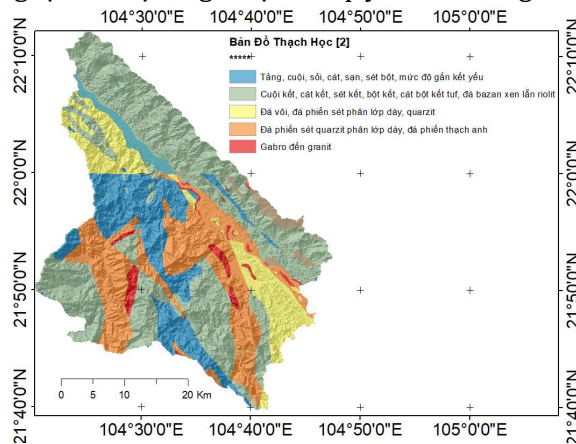


Hình 3. Kết quả chỉ số VIF và Tolerance của bộ dữ liệu các yếu tố.

Bảng 2 trình bày ma trận so sánh theo cặp và kết quả tính toán trọng số theo phương pháp AHP đối với mười yếu tố ảnh hưởng đến khả năng xảy ra trượt lở đất. Kết quả cho thấy trọng số lớn nhất là khoảng cách đến đường giao thông với giá trị bằng 0,188. Điều này thể hiện rằng việc xâm lấn đất tự nhiên nhằm mục đích xây dựng các tuyến đường giao thông có mức tác động mạnh đến việc gia tăng khả năng xảy ra trượt lở đất. Trong khi đó, các yếu tố về độ dốc, thạch học và lớp phủ cũng được đánh giá cao trong mức độ ảnh hưởng với giá trị trọng số theo thứ tự là 0,145; 0,130 và 0,11.

### 3.2. Mô hình tỷ số tần suất (FR)

Hình 4 mô tả số lượng các điểm trượt lở trong các phân lớp của từng lớp yếu tố ảnh hưởng trượt lở và phân bố của giá trị tỷ số tần suất trong từng phân lớp. Nhìn chung, sự thay đổi của số lượng các điểm trượt lở trong các phân lớp có xu hướng thay đổi cùng với sự thay đổi của giá trị tỷ số tần suất ngoại trừ một số giá trị của lớp yếu tố khoảng cách



Hình 4. Bản đồ thạch học

đến đứt gãy và lớp phủ. Các nhóm dữ liệu địa hình cho thấy xu hướng tỷ lệ điểm trượt lở tăng khi tăng độ dốc địa hình và các khu vực có hướng sườn phía Bắc và Đông Nam. Trong trường hợp độ dốc sườn lớn  $>25^\circ$  ( $FR = 4,303$ ) cùng với hệ thống giao thông, mạng lưới khe suối có các thung lũng hẹp và dốc, mức độ phân cắt mạnh đây là một trong những yếu tố rất quan trọng gây ra trượt lở đất. Đối với khoảng cách đến đường giao thông và khoảng cách đến sông suối cho thấy xu hướng các điểm trượt lở tăng lên ở khoảng cách gần của hai mạng lưới này. Tuy nhiên, đối với hệ thống sông suối cho thấy tỷ lệ cao nhất khi khoảng cách đến các hệ thống này trong khoảng từ 200÷300 m.

Trong kết quả nghiên cứu cho thấy có 211 điểm trượt có thì có 81 điểm có nguy cơ trượt lở cao trên các vách sườn tự nhiên và từ 52÷74 điểm trượt trên các vách sườn nhân tạo. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy các điểm trượt chủ yếu phân bố trong nhóm 1 và 2 của yếu tố địa chất thạch học với nhóm 1 thuộc phức hệ đất cuội sỏi sạn, bột trầm tích đệ tứ (Q), sét kết, bột kết, thấu kính cát kết, thạch anh phân phiến, phức hệ Tú Lệ - Ngòi Thia, phức hệ đá phun trào hệ tầng Trạm Tấu, Suối Bé, Viên Nam.

### 3.3. Đánh giá kết quả

Bản đồ mức độ nhạy cảm trượt lở đất của cả hai phương pháp được chia thành năm mức đánh giá bao gồm rất thấp, thấp, trung bình, cao, rất cao (Hình 5). Kết quả nghiên cứu cho thấy khu vực có khả năng xảy ra trượt lở đất từ cao đến rất cao chiếm tới 23,1% đối với phương pháp FR và 20,6% đối với phương pháp AHP. Mức độ nhạy cảm với trượt lở mạnh nhất nằm dọc các tuyến

Bảng 2. Ma trận so sánh cặp và trọng số cho các yếu tố ảnh hưởng của phương pháp AHP.

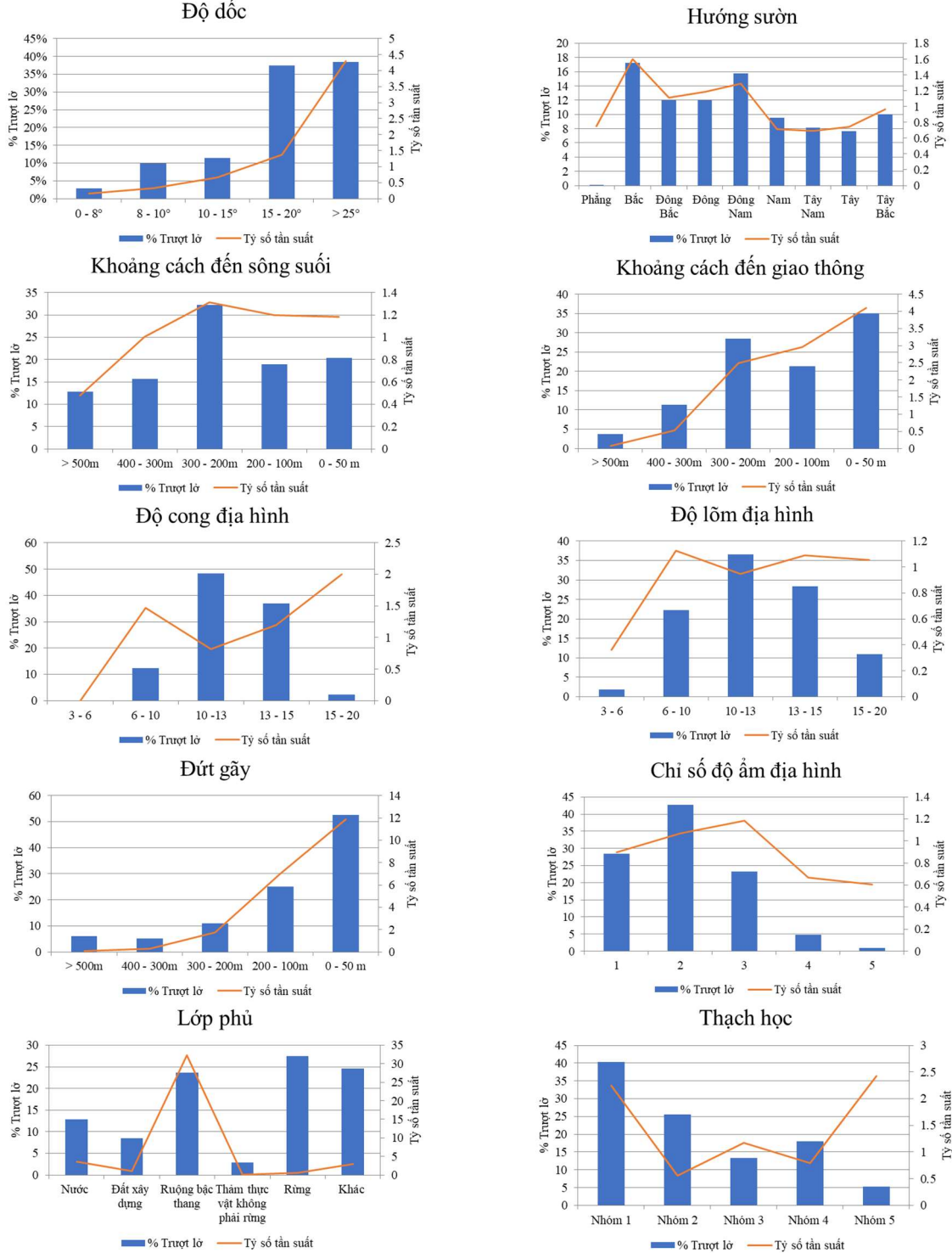
Yếu tố	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	Trọng số
[1] Độ dốc	1										0,145
[2] Thạch học	0,83	1									0,113
[3] Giao thông	1,5	1,8	1								0,188
[4] Hướng sườn	0,67	0,8	0,56	1							0,105
[5] TWI	0,33	0,4	0,22	0,4	1						0,042
[6] Lớp phủ	0,83	1,2	0,67	1,2	3	1					0,130
[7] Sông suối	0,17	0,2	0,11	0,2	1,5	0,14	1				0,029
[8] Đứt gãy	0,5	0,6	0,33	0,6	1,5	0,43	3	1			0,063
[9] Độ lồi	0,33	1,4	0,44	0,8	2	0,57	4	1,33	1		0,086
[10] Độ cong	0,67	0,8	0,56	1	2,5	0,71	4	1,67	1,25	1	0,099

Với CI = 0,05; RI = 1,49; CR = 0,03 < 0,1 Thỏa mãn.



đường giao thông chính và tại các khu vực có mức độ che phủ thực vật thấp. Trong khi các khu vực có độ nhạy cảm trượt lở dưới mức trung bình và dưới trung bình chủ yếu phân bố tại các khu vực ít người dân sinh sống, nơi có mật độ thực vật cao,

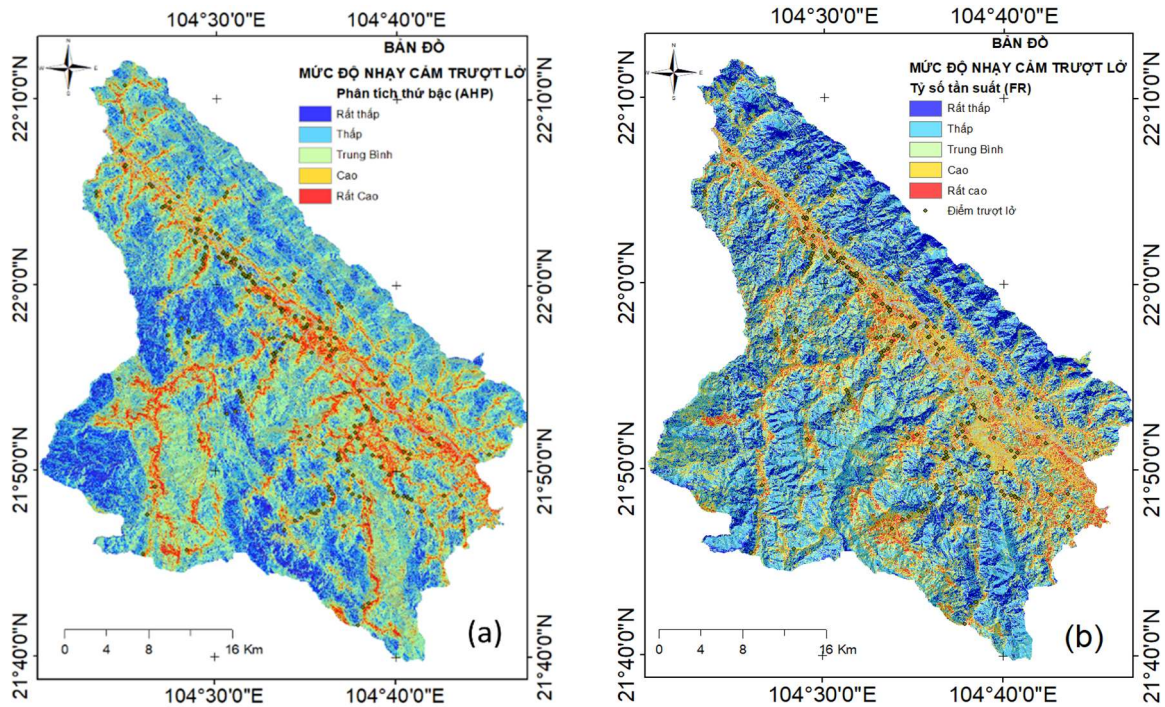
có khoảng cách xa hệ thống giao thông và sông suối. Phân bố không gian của các ngưỡng đánh giá độ nhạy cảm trượt lở có mức độ tin cậy cao khi các điểm trượt lở khảo sát từ thực địa đồng nhất vị trí với khu vực nhạy cảm cao và rất cao.



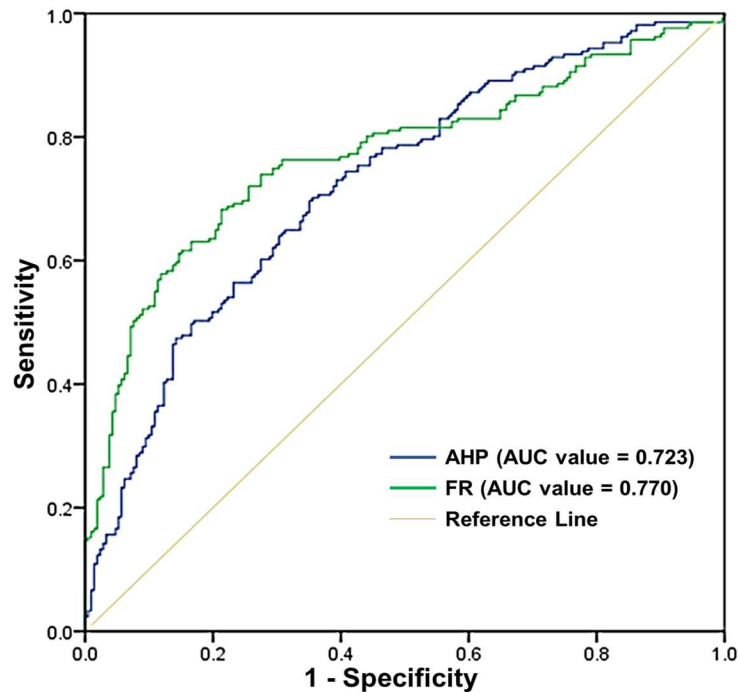
Hình 5. Tỷ lệ điểm trượt lở đất và giá trị tỷ số tần suất của các yếu tố điều kiện trượt lở.

Hình 6 và 7 thể hiện kết quả đánh giá hiệu suất của hai mô hình AHP và FR. Kết quả cho thấy cả mô hình AHP và FR đều cho hiệu suất tốt với giá trị AUC lần lượt là 72,3% và 77,0%. Khi so sánh

giữa hai mô hình có thể thấy rằng mô hình FR cho hiệu suất tốt hơn một chút với độ chênh lệch hiệu suất là 4,7%.



Hình 6. Bản đồ nhạy cảm trượt lở đất sử dụng mô hình AHP (a) và FR (b) khu vực huyện Văn Yên, tỉnh Yên Bái.



Hình 7. Đánh giá AUC của mô hình AHP và FR.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã so sánh và đánh giá hai mô hình phân tích thứ bậc và tỷ số tần suất trong việc tính toán độ nhạy cảm với trượt lở đất ở khu vực huyện Văn Yên, tỉnh Yên Bái. Mức độ nhạy cảm trượt lở được chia thành năm mức bao gồm rất thấp, thấp, trung bình, cao, rất cao. Hai bản đồ độ nhạy cảm trượt lở đất được xác minh bằng đường cong ROC và vị trí phân bố các mức độ nhạy cảm trượt lở với các điểm khảo sát thực địa. Sự phân bố không gian của các khu vực dễ bị trượt lở đất cho thấy phần lớn các khu vực dễ xảy ra trượt lở đất nằm dọc các tuyến đường giao thông và là nơi có độ dốc lớn.

Bên cạnh việc cung cấp các phân bố không gian đánh giá mức độ nhạy cảm với trượt lở đất của khu vực nghiên cứu, kết quả đã chứng minh khả năng trong dự đoán trượt lở đất của hai mô hình phân tích thứ bậc và tỷ số tần suất. Giá trị diện tích dưới đường cong AUC của mô hình tỷ số tần suất bằng 77% cao hơn một chút khi so sánh với phương pháp phân tích thứ bậc là 72,3%. Kết quả cho thấy hiệu suất tốt của cả hai mô hình trong việc đánh giá tính nhạy cảm trượt lở đất. Kết quả đã chứng minh rằng bản đồ nhạy cảm với trượt lở đất được phát triển là đáng tin cậy và có khả năng cung cấp các dự đoán tốt về sự phân bố không gian của trượt lở đất xảy ra trong khu vực nghiên cứu. Các bản đồ nhạy cảm với trượt lở đất của nghiên cứu này là kết quả tiềm năng để thành lập các bản đồ dự báo trượt lở đất theo thời gian thực khi kết hợp với số liệu đo liên tục của nhóm các yếu tố kích hoạt.

#### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này nằm trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu khoa học song phương được tài trợ bởi Bộ Ngoại giao và Hợp tác Quốc tế Ý và Bộ Khoa Học và Công Nghệ Việt Nam. Tên đề tài phía Việt Nam: Tích hợp trí tuệ nhân tạo và công nghệ giám sát trái đất trong nghiên cứu tai biến trượt lở đất ở vùng núi phía Bắc Việt Nam, mã số NĐT/IT/21/14.

#### Đóng góp của tác giả

Khúc Thành Đông, Trương Xuân Quang, Trần Văn Anh - lên ý tưởng, tóm tắt bản thảo; Bùi Đức Phong, Phạm Quang Hiến - phân tích dữ liệu, biên

tập kết quả, lên bản thảo; Hà Thị Hằng, Trần Đình Trọng - đánh giá, góp ý; Nguyễn Chí Công, Trần Thị Hương, Trương Văn Anh, Trần Thị Hồng Minh - chỉnh sửa bản thảo.

#### Tài liệu tham khảo

- Das, S., Sarkar, S., & Kanungo, D. P. (2023). GIS-based landslide susceptibility zonation mapping using the analytic hierarchy process (AHP) method in parts of Kalimpong Region of Darjeeling Himalaya. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(4), 234. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09851-7>.
- Kayastha, P., Dhital, M. R., & De Smedt, F. (2013). Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal. *Computers & Geosciences*, 52, 398-408. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.11.003>.
- Khan, H., Shafique, M., Khan, M. A., Bacha, M. A., Shah, S. U., & Calligaris, C. (2019). Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(1), 11-24. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.03.004>.
- Khúc, T. Đ., Trần, Đ. T., Hà, T. H., Hà, T. K. (2021). Đánh giá tác động của lớp phủ đến nhiệt độ bề mặt đất và phân bố không gian nhiệt độ tại một số tuyến đường trên địa bàn thành phố Hà Nội bằng ảnh viễn thám. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCVN)-ĐHXDH*, 15(7V), 143-155.
- Lee, J. J., Song, M. S., Yun, H. S., & Yum, S. G. (2023). Dynamic landslide susceptibility analysis that combines rainfall period, accumulated rainfall, and geospatial information. *Scientific Reports*, 12(1), 18429. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21795-z>.
- Lin, G. F., Chang, M. J., Huang, Y. C., & Ho, J. Y. (2017). Assessment of susceptibility to rainfall-induced landslides using improved self-organizing linear output map, support vector machine, and logistic regression. *Engineering Geology*, 224, 62-74. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.05.009>.

- Tran, V. A., Truong, X. Q., Nguyen, D. A., Longoni, L., Yordanov, V., (2021). Landslides monitoring with time series of Sentinel-1 imagery in Yen Bai province-Vietnam. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.* 46, 197-203. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W2-2021-197-2021>.
- Trần, V. A., Nguyễn, A. B., Đinh, T., Nguyễn, T. H. Y., Lê, T. N., (2020). Xác định trượt lở đất khu vực huyện Bát Xát, tỉnh Lào Cai sử dụng chuỗi ảnh Radar ALOS PALSAR bằng phương pháp đường dây ngắn (SBAS). *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất* 61, 1-10. [https://doi.org/10.46326/jmes.2020.61\(4\).01](https://doi.org/10.46326/jmes.2020.61(4).01).
- Trinh, P. T., Van Hieu, N., & Nguyen, X. T. (2021). Research and application of hydraulic 1D model to simulate flood season flow of Ngoi Thia river system. *VNUHCM Journal of Earth Science and Environment*, 5(SI2), SI120-SI133. <https://doi.org/10.32508/stdjsee.v5iSI2.626>.
- Wang, Y., Tang, H., Huang, J., Wen, T., Ma, J., & Zhang, J. (2023). A comparative study of different machine learning methods for reservoir landslide displacement prediction. *Engineering Geology*, 298, 106544. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2023.106544>.
- Xiao, T., Segoni, S., Chen, L., Yin, K., Casagli, N., (2020). A step beyond landslide susceptibility maps: a simple method to investigate and explain the different outcomes obtained by different approaches. *Landslides* 17, 627-640. <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01299-0>.
- Yordanov, V., Biagi, L., Truong, X. Q., Tran, V. A., & Brovelli, M. A. (2021). An overview of geoinformatics state-of-the-art techniques for landslide monitoring and mapping. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 205-212. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W2-2021-205-2021>.