



## Journal of Mining and Earth Sciences

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



# Multi - criteria analysis based on GIS and open data resources on the internet to establish the landslide susceptibility area of Lam Dong province



Nam Van Nguyen <sup>1</sup>, Ha Thu Thi Le <sup>2,3,\*</sup>

<sup>1</sup> Hanoi University of Natural Resources & Environment, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup> Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

<sup>3</sup> Geomatics in Earth Sciences (GES), Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 13<sup>rd</sup> Mar. 2024

Revised 03<sup>rd</sup> May 2024

Accepted 25<sup>th</sup> May. 2024

#### Keywords:

GIS,  
Lam Dong province,  
Landslide susceptibility,  
Multi - Criteria Analysis,  
Remote sensing.

### ABSTRACT

*Evaluating the risk of landslides to implement preventative measures and aid in development planning is crucial, particularly in regions prone to such occurrences. Employing a landslide susceptibility map proves beneficial in managing land in landslide-prone zones. In this research, we introduce a GIS technology-based approach along with the multi-criteria analysis (MCA) method, incorporating the analytical hierarchy process (AHP) to determine optimal weight allocation for the criteria influencing landslide risk and compute landslide risk assessment indices. Eight criteria affecting landslide risk were chosen from publicly available data sources on the internet: elevation, slope, terrain moisture index (TWI), precipitation, land cover, normalized difference vegetation index (NDVI), soil type, and drainage density. Subsequently, overlaying simple maps facilitated the calculation of the Landslide Susceptibility Index (LSI), leading to the partitioning of the study area into five levels of landslide risk: very high, high, medium, average, low, and very low, covering approximately 8.6%, 24.3%, 32.0%, 23.9%, and 11.2% of the study area, respectively.*

Copyright © 2024 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

\*Corresponding author

E - mail: [lethithuha@humg.edu.vn](mailto:lethithuha@humg.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.2024.65(3).08



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

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

# Phân tích đa tiêu chí dựa trên GIS và các nguồn dữ liệu mở trên internet để thành lập bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở đất khu vực tỉnh Lâm Đồng

Nguyễn Văn Nam<sup>1</sup>, Lê Thị Thu Hà<sup>2,3,\*</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Tài Nguyên và Môi trường, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup> Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

<sup>3</sup> Nhóm nghiên cứu Công nghệ Địa tin học trong Khoa học Trái đất (GES), Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 13/3/2024

Sửa xong 03/5/2024

Chấp nhận đăng 25/5/2024

Từ khóa:

GIS,

Nguy cơ sạt lở đất,

Phân tích đa tiêu chí,

Tỉnh Lâm Đồng,

Viễn thám.

### TÓM TẮT

Đánh giá nguy cơ sạt lở đất để có các biện pháp phòng tránh thiên tai và phục vụ quy hoạch phát triển là rất cần thiết đặc biệt là đối với những vùng dễ bị ảnh hưởng bởi hiện tượng này. Bản đồ nguy cơ sạt lở đất đóng vai trò quan trọng như một công cụ hỗ trợ quản lý sử dụng đất trong các khu vực dễ xảy ra sạt lở đất. Trong nghiên cứu này, phương pháp tiếp cận kết hợp công nghệ GIS, phân tích đa tiêu chí (MCA), và phương pháp phân tích phân cấp (AHP) đã được trình bày để xác định trọng số tối ưu cho các yếu tố ảnh hưởng đến nguy cơ sạt lở đất, từ đó tính toán các chỉ số đánh giá nguy cơ sạt lở đất. Nghiên cứu đã đánh giá và lựa chọn tám tiêu chí có ảnh hưởng lớn đến nguy cơ sạt lở đất từ các nguồn dữ liệu mở trên Internet, bao gồm: độ cao, độ dốc, chỉ số độ ẩm địa hình (TWI), lượng mưa, lớp phủ bề mặt, chỉ số thực vật (NDVI), loại đất và mật độ thoát nước. Sau đó, các bản đồ đơn tính được chồng lên nhau để tính toán chỉ số sạt lở đất (LSI), từ đó phân vùng khu vực nghiên cứu thành 5 cấp độ nguy cơ sạt lở đất: rất cao, cao, trung bình, thấp và rất thấp, chiếm lần lượt khoảng 8,6%, 24,3%, 32,0%, 23,9% và 11,2% diện tích của khu vực nghiên cứu.

© 2024 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

\*Tác giả liên hệ

E - mail: lethithuha@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2024.65(3).08

## 1. Mở đầu

Sạt lở đất đang trở thành một trong những hiểm họa thiên nhiên đáng lo ngại, không chỉ gây tổn thất trực tiếp về người và tài sản mà còn ảnh hưởng đáng kể đến môi trường và phát triển kinh tế - xã hội của đất nước. Trong những năm gần đây, tại Việt Nam, hiện tượng lũ quét và sạt lở đất thường xảy ra đồng thời với tần suất và cường độ gia tăng, làm tăng nguy cơ và gây ra thiệt hại nghiêm trọng, đặc biệt là ở các tỉnh miền núi Bắc Bộ, khu vực Tây Nguyên, và các vùng có địa hình dốc (Bui và nnk., 2017; Huyền và nnk., 2023).

Nguy cơ sạt lở đất đã được các nhà khoa học nghiên cứu và đánh giá với nhiều cấp độ và phương pháp tiếp cận khác nhau (Brenning, 2005, Ayalew và nnk., 2005; Dahal và nnk., 2008; Li và nnk., 2010; Corominas và nnk., 2014; Reichenbach và nnk., 2018). Các phương pháp đánh giá nguy cơ sạt lở đất có thể chia thành ba loại cơ bản: phương pháp dựa trên kiến thức (Knowledge-based methods), phương pháp vật lý (Physical methods) và phương pháp dựa trên dữ liệu (Data-based methods) (Corominas và nnk., 2014). Cả ba phương pháp đều có ưu điểm và nhược điểm riêng và chưa có phương pháp nào được chứng minh là có hiệu quả nhất (Li và nnk., 2010). Tuy nhiên, theo Corominas và nnk., 2014, phương pháp dựa trên dữ liệu (Data-based methods) phù hợp và cho kết quả chính xác hơn cho đánh giá nguy cơ sạt lở đất ở một số khu vực cụ thể.

Trong những năm gần đây, công nghệ quan sát trái đất dựa trên vệ tinh và phương pháp phân tích nguy cơ dựa trên dữ liệu đã được các nhà khoa học và đội ngũ phản ứng thiên tai sử dụng ngày càng nhiều để đánh giá nhanh tình hình thiên tai trên toàn cầu (Ayalew và nnk., 2005; Bui và nnk., 2017; Wu & Abdel, 2020). Giả định rằng một vụ sạt lở đất có khả năng xảy ra nhiều hơn dưới điều kiện tương tự như những điều kiện đã gây ra các vụ lở đất trong quá khứ (Bui và nnk., 2017), các phương pháp dựa trên dữ liệu sử dụng một mô hình khoa học để dự đoán xác suất xảy ra lở đất dựa trên phân bố không gian của một loạt các yếu tố ảnh hưởng đến sạt lở đất trong các khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ để xảy ra hiện tượng sạt lở đất (Wu & Abdel, 2020). Phương pháp học máy vector hỗ trợ (SVM), là thuật toán máy học phân tích dữ liệu để phân loại và phân tích hồi quy

(Huang & Zhao, 2020). SVM là một phương pháp máy học có giám sát, xem xét dữ liệu và sắp xếp nó thành một trong hai loại. Máy học vector hỗ trợ (SVM) là một giải thuật phân lớp có hiệu quả cao và đã được áp dụng nhiều trong lĩnh vực khai phá dữ liệu và nhận dạng, là một thuật toán học máy đã trở nên phổ biến với sự phát triển của trí tuệ nhân tạo và việc sử dụng rộng rãi các hệ thống thông tin địa lý (GIS) và cảm biến từ xa (RS).

Bản đồ nguy cơ sạt lở đất là một trong những thông tin quan trọng trong quy hoạch không gian cho các khu vực dễ xảy ra lở đất. Nó cung cấp mô tả về xác suất không gian của sạt lở đất có thể hữu ích trong quy hoạch sử dụng đất. Do đó, nghiên cứu về khả năng xảy ra sạt lở đất đang nhanh chóng trở thành trọng tâm của nghiên cứu khoa học, nghiên cứu kỹ thuật và thực hành, và chính sách sử dụng đất trên toàn thế giới (Pourghasemi và nnk., 2018). Việc quản lý một số lượng lớn các yếu tố tương quan và ước tính để xác định mức độ sạt lở đất được thực hiện trong hầu hết các trường hợp thông qua việc sử dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS) (Ayalew và nnk., 2005). GIS sử dụng các kỹ thuật tích hợp dữ liệu, đây là một công cụ rất phù hợp để lập bản đồ nguy cơ sạt lở đất. Thực tế, do sự sẵn có ngày càng tăng của các bộ dữ liệu không gian có độ phân giải cao, GIS, viễn thám và điện toán tốc độ cao, các quy trình đánh giá rủi ro sạt lở đất và lập bản đồ nguy cơ có thể trở nên tự động hóa một phần và do đó giảm thiểu công tác thực địa (Saaty, 2004). Độ tin cậy của những bản đồ này phụ thuộc phần lớn vào phương pháp luận và dữ liệu sẵn có được sử dụng để ước tính rủi ro thiên tai. Hơn nữa, GIS là một công cụ hữu ích để lập bản đồ mức độ nhạy cảm của một khu vực có nguy cơ xảy ra lở đất.

Ở Việt Nam, sạt lở đất chủ yếu xảy ra vào mùa mưa, ở các tỉnh miền núi phía Bắc và khu vực miền Trung - Tây Nguyên (Bui và nnk., 2017; Tuấn & Tuyết, 2021; Huyền và nnk., 2023). Trong đó, Lâm Đồng là tỉnh nằm ở phía nam Tây Nguyên, địa hình đa số là núi và cao nguyên, có khí hậu nhiệt đới gió mùa biến thiên theo độ cao, do đó hiện tượng sạt lở đất thường diễn ra và được xếp vào loại thiên tai nguy hiểm, khiến người dân thiệt mạng và thiệt hại nhiều tài sản. Tại Lâm Đồng, ngay trong khoảng thời gian từ tháng 6-8 năm 2023 đã liên tiếp xảy ra các vụ sạt lở đất: ngày 17/6 xảy ra 2 điểm sạt lở đất tại TP Đà Lạt và 1 điểm sạt lở bờ taluy tại thành phố Bảo Lộc, ngày 30/7/2023 đã

xảy ra một số điểm sạt lở đất, ngã đổ cây rừng tại đèo Bảo Lộc (Hình 1) (Nguồn: <https://moitruong.net.vn>).



Hình 1. Sạt lở đất nghiêm trọng tại đèo Bảo Lộc, tỉnh Lâm Đồng.

Bài báo này tập trung trình bày ứng dụng phương pháp phân tích đa tiêu chí (Multi - Criteria Analysis) dựa trên GIS, ảnh viễn thám Landsat 9 và các nguồn dữ liệu mở trên Internet để thành lập bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở đất cho khu vực tỉnh Lâm Đồng.

Các kết quả của nghiên cứu này mang lại thông tin hữu ích cho các quản lý đất đai, nhà quy hoạch và người ra quyết định để lập kế hoạch sử dụng đất và quản lý độ dốc, nhằm mục đích ngăn chặn hoặc giảm thiểu nguy cơ sạt lở đất trong tương lai.

## 2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Lâm Đồng là một tỉnh thuộc Nam Tây Nguyên, có tọa độ địa lý từ 11°12'÷12°15' vĩ độ bắc và 107°45' kinh độ đông. Lâm Đồng là khu vực đầu nguồn của nhiều hệ thống sông suối lớn. Với địa hình tương đối phức tạp, chủ yếu nằm ở trên 2 cao nguyên và đa số là núi và cao nguyên với độ cao trung bình từ 800÷1.000 m so với mực nước biển với diện tích tự nhiên 9772,19 km<sup>2</sup>. Phía bắc giáp tỉnh Đắk Lắk; phía đông giáp các tỉnh Khánh Hòa và Ninh Thuận; phía tây giáp tỉnh Đồng Nai; phía nam giáp tỉnh Bình Thuận (Hình 2). Tỉnh có khí hậu nhiệt đới gió mùa biến thiên theo độ cao, do đó hiện tượng sạt lở đất thường diễn ra và được xếp vào loại thiên tai nguy hiểm (Nguồn: <https://lamdong.gov.vn>).

### 2.2. Dữ liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này, các dữ liệu được thu thập từ nguồn dữ liệu mở trên Internet ở nhiều định dạng khác nhau được thể hiện ở Bảng 1.

## 3. Phương pháp nghiên cứu

### 3.1. Phân tích đa tiêu chí



Hình 2. Khu vực nghiên cứu tỉnh Lâm Đồng.

Bảng 1. Danh sách các nguồn dữ liệu thu thập.

Dữ liệu	Định dạng	Thời gian	Nguồn
Ảnh vệ tinh Landsat 9	Raster	2022	Cục khảo sát địa chất Hoa Kỳ USGS (USGS)
Dữ liệu địa hình DEM	Raster	30/11/2013	Earth Data (EARTHDATA)
Khu vực hành chính	Shapefile	2022	DIVA-GIS (DIVA-GIS)
Dữ liệu loại đất	Shapefile	2022	FAO (FAO) và Open Development Mekong (ODM)
Dữ liệu lượng mưa	Raster	2013÷2022	Dữ liệu PERSIANN-CCS của Trung tâm Khí tượng Thủy văn và Viễn thám (CHRS). Đại học California, Irvine, CA, Hoa Kỳ.

Nghiên cứu này dựa trên việc thu thập dữ liệu viễn thám và các dữ liệu GIS để thành lập bản đồ nguy cơ sạt lở đất. Tám yếu tố đầu vào đã được lựa chọn để chuẩn bị bản đồ sạt lở đất. Các bản đồ chuyên đề trong nghiên cứu về các yếu tố này đã được sử dụng kỹ thuật phân tích thứ bậc (Analytic Hierarchy Process - AHP) để xác định trọng số. AHP là phương pháp được phát triển bởi Saaty (1988), đây là một công nghệ mạnh sử dụng trong việc ra các quyết định phức tạp và rộng rãi trong phân tích dựa trên GIS. Việc thực hiện AHP đòi hỏi ý kiến chuyên gia, kiểm chứng và đánh giá tính nhất quán của ma trận so sánh cặp (Awawdeh và nnk., 2014; El Jazouli và nnk., 2019; Thanh và nnk., 2021). Nhóm nghiên cứu đã áp dụng phương pháp AHP bằng cách chọn các tiêu chí gây nguy cơ sạt lở đất, phân bố điểm số tương đối, tiến hành lập ma trận so sánh theo cặp và đánh giá các ma trận nhất quán. Mức độ quan trọng các yếu tố của các biến thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Thang đo mức độ quan trọng của các tiêu chí theo cặp từ 1÷9 của Saaty (Saaty, 1988).

Mức độ	Giải thích
1	Quan trọng như nhau
3	Quan trọng có sự ưu tiên hơn một ít
5	Quan trọng sự ưu tiên hơn hẳn
7	Rất quan trọng, mạnh hơn hẳn dễ nhận thấy sự khác biệt ảnh hưởng
9	Vô cùng quan trọng, khẳng định ở mức độ cao nhất
2, 4, 6, 8	Mức trung gian chuyển tiếp giữa các mức 1, 3, 5, 7 và 9

Nhiều nghiên cứu đã thành công trong việc áp dụng phương pháp AHP để lập bản đồ nguy cơ. AHP là một phương pháp hiệu quả có thể sử dụng để xác định ưu tiên giữa nhiều yếu tố bằng cách so sánh từng cặp (Saaty, 1988). Do đó, trong nghiên cứu này, GIS - AHP đã được áp dụng để tính toán trọng số của 8 yếu tố ảnh hưởng đến sạt lở đất.

AHP đánh giá đồng thời 2 yếu tố ảnh hưởng và ưu tiên một yếu tố hơn một yếu tố khác dựa trên các đánh giá thực tiễn. Đánh giá này được thực hiện trên một thang điểm từ 1÷9 (Bảng 2). Ngoài ra, AHP cung cấp cách xác định mức độ nhất quán của các chuyên gia thông qua tỉ lệ nhất quán (Consistency Ratio - CR), mà phải nhỏ hơn hoặc bằng 10% để chấp nhận sự không nhất quán. Tuy nhiên, nếu giá trị CR vượt quá 10%, sự đánh giá chủ quan cần được xem xét lại quá trình so sánh từng cặp hoặc có thể cần loại bỏ ý kiến. Tỷ số nhất quán (CR). Giá trị được tính theo phương trình (1):

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

Trong đó:  $CI$  - chỉ số nhất quán của một ma trận AHP cụ thể, chỉ số nhất quán (CI) có thể là được tính từ phương trình (2);  $RI$  - chỉ số ngẫu nhiên, hay giá trị trung bình của CI khi nhận định so sánh ngẫu nhiên, phụ thuộc vào số tiêu chí được so sánh.

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

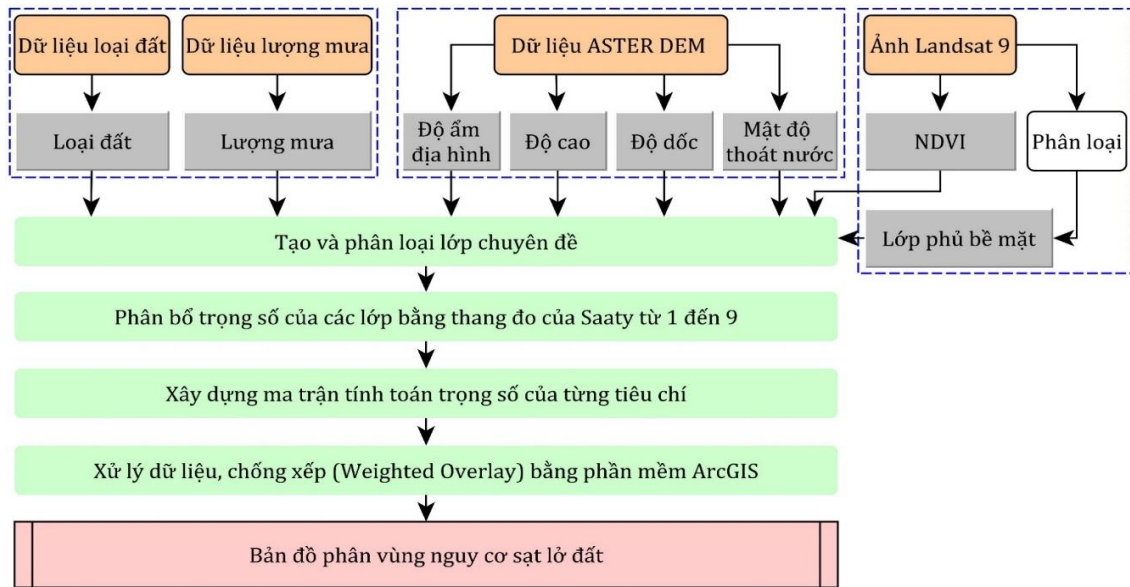
Trong đó:  $\lambda_{max}$  - giá trị trung bình của vector nhất quán và " $n$ " - số tiêu chí. Giá trị CR phải nằm trong giới hạn < 10% (Richards, 1999), giá trị này được chấp nhận để thực hiện các tính toán lớp phủ có trọng số để kết hợp các thông số có trọng số cho việc phân vùng nguy cơ sạt lở đất (Kết quả trọng số được thể hiện ở Bảng 3).

### 3.2. Tích hợp công nghệ GIS và phân tích đa tiêu chí để xác định nguy cơ sạt lở đất

Dựa trên sự tổng quan của các dữ liệu thu thập được ở (Bảng 1), nhóm tác giả đã đánh giá, lựa chọn được 8 yếu tố gây ra sạt lở đất, bao gồm: chỉ số độ ẩm địa hình (TWI), độ cao, độ dốc, lượng mưa, lớp phủ bề mặt, chỉ số thực vật (NDVI), mật độ thoát nước và loại đất. Để thành lập được bản đồ nguy cơ sạt lở đất cho khu vực nghiên cứu,

Bảng 3. Ma trận (8×8) so sánh theo cặp các yếu tố ảnh hưởng đến nguy cơ sạt lở đất.

Tiêu chí	Chỉ số độ ẩm địa hình (TWI)	Độ dốc	Mật độ thoát nước	Lượng mưa	Lớp phủ bề mặt	Độ cao	Chỉ số thực vật (NDVI)	Loại đất	Trọng số
Chỉ số độ ẩm địa hình (TWI)	1	1	2	1	4	2	1	2	0,177
Độ dốc	1	1	3	1	2	2	1	1	0,159
Mật độ thoát nước	1/2	1/3	1	1	3	1	2	1	0,120
Lượng mưa	1	1	1	1	5	2	1	1	0,163
Lớp phủ bề mặt	1/4	1/2	1/3	1/5	1	1	3	2	0,094
Độ cao	1/2	1/2	1	1/2	1	1	3	1	0,103
Chỉ số thực vật (NDVI)	1	1	1/2	1	1/3	1/3	1	1	0,089
Loại đất	1/2	1	1	1	1/2	1	1	1	0,095



Hình 3. Sơ đồ các bước thành lập bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở đất trong nghiên cứu.

nhóm tác giả đã chuyển đổi các lớp này thành định dạng raster với độ phân giải 30 m và chuyển đổi sang hệ tọa độ WGS-84 múi 48N. Tiếp theo, các tiêu chí này được phân cấp và gán giá trị điểm đánh giá. Sau khi xác định trọng số và điểm đánh giá cho từng tiêu chí, chỉ số nguy cơ sạt lở đất được tính toán dựa trên tổng số điểm đánh giá của mỗi tiêu chí và trọng số theo công thức (3). Chỉ số nguy cơ sạt lở đất được thực hiện thông qua công cụ Weighted Overlay của phần mềm ArcGIS.

$$LSI = \sum_{i=1}^n h_i \times W_i \quad (3)$$

Trong đó: *LSI* (Landslide risk index) - chỉ số nguy cơ sạt lở đất; *n* - đại diện cho số lượng các yếu tố ảnh hưởng; *h<sub>i</sub>* - giá trị thay đổi tỷ lệ của yếu

tố ảnh hưởng *i* và *W<sub>i</sub>* - trọng số của yếu tố ảnh hưởng *i*.

Chỉ số nguy cơ sạt lở đất *LSI* được tính ra trong khoảng từ 0÷5, sau đó chia làm 5 khoảng đều nhau. Dựa trên các giá trị của *LSI*, các cấp độ nguy cơ sạt lở đất trên khu vực nghiên cứu được phân thành 5 cấp độ: rất thấp (< 1); thấp (1,1÷2); vừa phải (2,1÷3); cao (3,1÷4) và rất cao (> 4). Quy trình tổng thể của nghiên cứu này được thể hiện trong Hình 3.

#### 4. Kết quả và thảo luận

##### 4.1. Các nhân tố ảnh hưởng đến nguy cơ sạt lở đất

###### 4.1.1. Bản đồ phân cấp lượng mưa

Tổng quan về dữ liệu đã chỉ ra rằng lượng mưa đóng vai trò quan trọng trong quá trình sạt lở đất, với lượng mưa cao khiến cho nền đất trở nên yếu và dễ gây sạt lở đất (Bui và nnk., 2017), do đó, lượng mưa đã được chọn là một trong những yếu tố chính ảnh hưởng đến sạt lở đất. Dữ liệu về lượng mưa trung bình hàng năm của khu vực nghiên cứu trong giai đoạn từ 2013÷2022 đã được thu thập từ dữ liệu của PERSIANN-CCS, được cung cấp bởi Trung tâm

Khí tượng Thủy văn và Viễn thám (CHRS) Đại học California, Irvine, CA, Hoa Kỳ. PERSIANN-CCS là một nguồn dữ liệu về lượng mưa toàn cầu có sẵn gần thời gian thực. (Nguyen và nnk., 2019)

Nhóm tác giả đã tính toán lượng mưa trung bình trong 10 năm (2013÷2022) và chuyển đổi dữ liệu lượng mưa dạng raster sang dạng điểm ứng dụng công cụ "Conversion Tools" trong ArcGIS 10.7. Sau đó, nội suy từ các điểm bằng phương pháp nội suy khoảng cách có trọng số (IDW), cắt theo ranh giới khu vực nghiên cứu và chuyển đổi sang hệ tọa độ WGS-84 múi 48N để tạo bản đồ lượng mưa khu vực nghiên cứu (Hình 4).

#### 4.1.2. Bản đồ phân cấp độ cao

Độ cao được xem là một trong những yếu tố quan trọng trong việc đánh giá nguy cơ sạt lở đất. Trong nhiều nghiên cứu khác nhau về đánh giá nguy cơ sạt lở đất, Mô hình số địa hình (DEM) được sử dụng làm một thông số đánh giá chính (Trang và nnk., 2023). Dữ liệu DEM được thu thập từ Hệ thống Dữ liệu Khoa học Trái đất của NASA - EARTHDATA Search (EARTHDATA) bằng cách chọn khu vực quan tâm và tải về "Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global DEM V003". Dữ liệu DEM toàn cầu có độ phân giải 30m đã được cắt theo ranh giới khu vực nghiên cứu và chuyển đổi sang hệ tọa độ WGS-84 múi 48N tải về. Sau đó, nhóm tác giả sử dụng phần mềm ArcGIS 10.7 để (Hình 5).

#### 4.1.3. Bản đồ phân cấp độ dốc địa hình

Độ dốc địa hình là mức độ thay đổi độ cao trong các khoảng liên kề, đóng một vai trò quan trọng trong sạt lở đất vì do trọng lực tác động vào đất và khi độ dốc vượt quá giới hạn, đất không thể duy trì tính ổn định và bị sụp đổ (Hadji và nnk., 2016) và do đó được chọn làm thông số gây sạt lở trong nghiên cứu. Dữ liệu ASTER DEM đã được sử

dụng để tính toán độ dốc địa hình của khu vực bằng cách sử dụng công cụ Spatial Analyst Tool/ Surface → Slope trong ArcGIS 10.7. Kết quả bản đồ phân cấp độ dốc địa hình được thể hiện ở Hình 6.

#### 4.1.4. Bản đồ phân cấp lớp phủ bề mặt

Lớp phủ bề mặt không chỉ làm thay đổi các đặc tính vật lý của đất mà còn ảnh hưởng đến tình trạng hiện tại của lớp phủ và địa hình bề mặt đất. Dưới tác động của con người và các hoạt động sản xuất, lớp phủ bề mặt thay đổi, và ở những khu vực có mật độ thực vật cao, nguy cơ sạt lở đất thường thấp hơn, trong khi ở những khu vực mà lớp phủ thực vật thấp như các khu đô thị hoặc khu vực trống trải, nguy cơ sạt lở đất thường cao hơn (Deng và nnk., 2015). Dữ liệu về lớp phủ bề mặt đã được trích xuất từ dữ liệu hình ảnh của vệ tinh Landsat 9, trên trang web của Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ USGS (USGS, 2023). Hình ảnh từ vệ tinh Landsat 9 được phân loại thành năm loại lớp phủ: Rừng cây lâu năm, khu đất trống, khu dân cư, khu vực nông nghiệp và khu vực nước. Quá trình phân loại đã được thực hiện dưới sự giám sát bằng phần mềm xử lý ảnh ENVI 5.3. Phương pháp phân loại dưới sự giám sát yêu cầu thời gian, nhưng cung cấp độ chính xác cao hơn so với phân loại không giám sát (Enderle & Weih, 2005). Kết quả của quá trình phân loại lớp phủ bề mặt được thể hiện trong Hình 7.

#### 4.1.5. Bản đồ phân cấp mật độ thoát nước

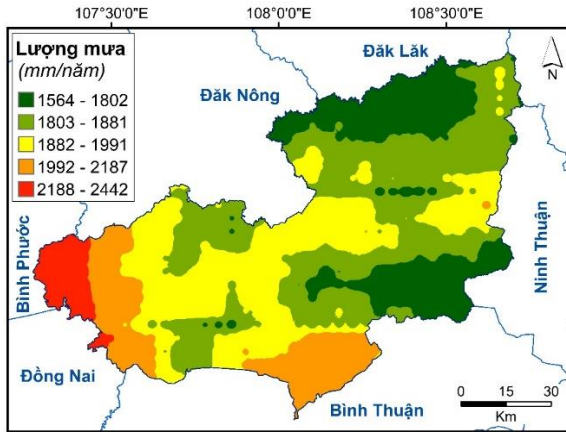
Mật độ thoát nước là yếu tố gây nguy cơ sạt lở đất, trong đó hệ thống thoát nước kiểm soát sạt lở đất và mật độ của nó tương ứng với bản chất của các đặc điểm địa kỹ thuật cũng như tính chất của đất (Singh và nnk., 2014). Mật độ thoát nước, ảnh hưởng đến thời gian tập trung của dòng chảy và do đó thể hiện tiêu chí cho việc tích tụ nước kéo dài ngấm xuống đất dễ xảy ra sạt lở đất. Mật độ thoát nước trong nghiên cứu được tiến hành xây dựng từ dữ liệu ASTER DEM và sử dụng công cụ "Spatial Analyst Tool" trong phần mềm ArcGIS 10.7 qua các bước như sau: Hydrology/Fill DEM → Flow direction và Flow accumulation; Spatial Analyst Tool/ Conditionnal → Con (Valus > 500); Hydrology/ Stream Order → Stream to feature; Density → Line Density. Kết quả bản đồ phân cấp mật độ thoát nước được thể hiện ở Hình 8.

#### 4.1.6. Bản đồ phân cấp loại đất

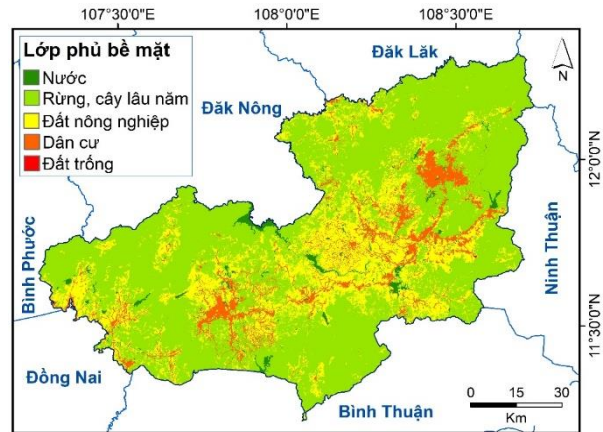
Loại đất đóng một vai trò quan trọng trong việc xác định các đặc tính về giữ nước của khu vực và ảnh hưởng đến khả năng thấm thấu của nước (Bui và nnk., 2017), cũng như độ nhạy cảm với sạt lở đất (Trang và nnk., 2023). Vì vậy, các thuộc tính của đất được lựa chọn làm các tham số khác trong phân tích nghiên cứu. Nhóm tác giả đã trích xuất bản đồ loại đất của khu vực từ bản đồ loại đất của

Tổ chức Nông Lương Liên hợp quốc (FAO) (FAO, 2023). Ngoài ra, các loại đất cũng được thu thập từ kho dữ liệu mở Open Development Mekong. (ODM, 2023). Kết quả bản đồ phân cấp loại đất được thể hiện ở Hình 9.

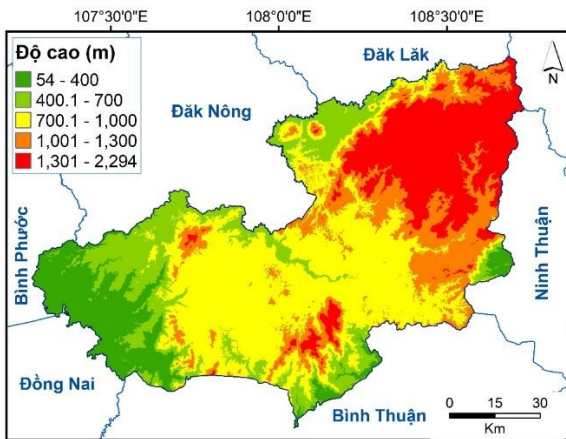
4.1.7. Bản đồ phân cấp chỉ số độ ẩm địa hình (TWI)



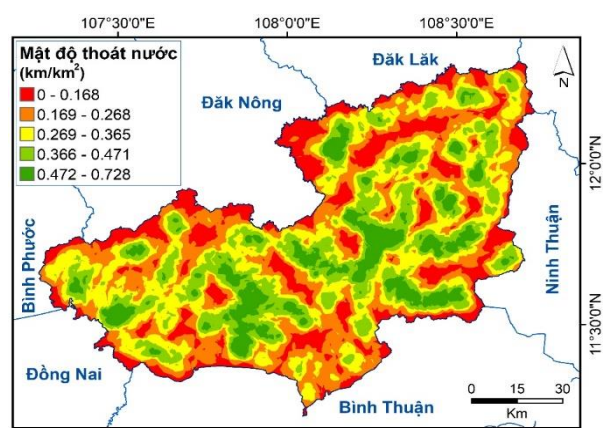
Hình 4. Bản đồ phân cấp lượng mưa hàng năm.



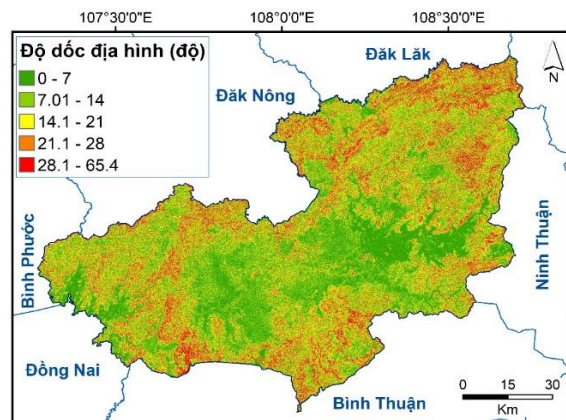
Hình 7. Bản đồ lớp phủ bề mặt.



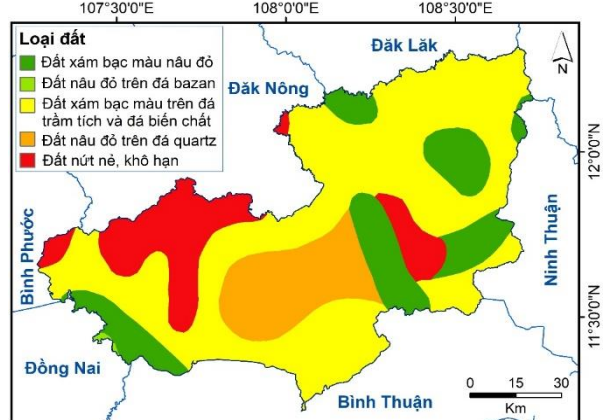
Hình 5. Bản đồ phân cấp độ cao.



Hình 8. Bản đồ phân cấp mật độ thoát nước.



Hình 6. Bản đồ phân cấp độ dốc địa hình.



Hình 9. Bản đồ phân cấp loại đất.



Chỉ số độ ẩm địa hình TWI được tính toán dựa vào công thức 4 (Bui và nnk., 2017):

$$TWI = \ln\left(\frac{a}{\tan\beta}\right) \quad (4)$$

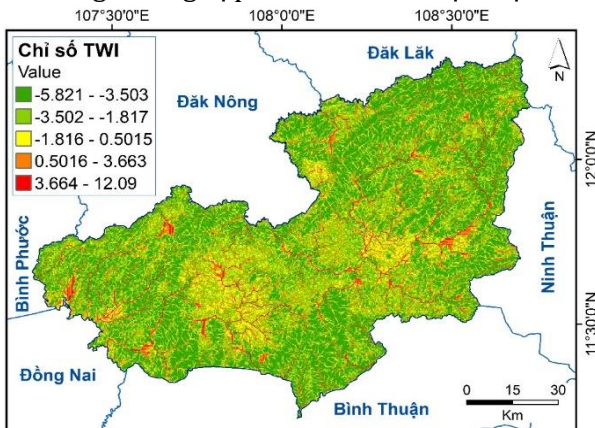
Trong đó:  $a$  - Diện tích khu vực tụ nước;  $\beta$  - Độ dốc bề mặt địa hình. Dòng chảy thường chảy từ các pixel có độ cao lớn hơn xuống các pixel có độ cao thấp hơn ở lân cận. Giá trị TWI càng bé thì khả năng tụ nước cũng như đất bão hòa nước càng lớn, khiến cho nền đất bị yếu, khả năng sạt lở đất càng cao. Dữ liệu ASTER DEM đã được sử dụng để tính chỉ số TWI của khu vực bằng cách sử dụng công cụ trong phần mềm ArcGIS 10.7 qua các bước sau: DEM → Fill DEM → Flow direction → Flow accumulation → Slope in degree → Radians of slope = (Slope in degree\*1.570796)/90 → Tan slope = con (slope>0, tan(slope), 0.001) → Flow accumulation scaled = (flow accumulation + 1) \* cell size → TWI = Ln(Flow accumulation scaled/Tan slope). Kết quả chỉ số độ ẩm địa hình (TWI) được thể hiện ở Hình 10.

4.1.8. Bản đồ phân cấp chỉ số chỉ số thực vật NDVI

Trong nghiên cứu về lớp phủ thực vật, chỉ số NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) là phương pháp được sử dụng nhiều nhất và hiệu quả nhất. Chỉ số NDVI được xác định bởi tỉ số giữa hiệu số giá trị phổ kênh cận hồng ngoại và kênh đỏ trên tổng của chúng, với ảnh Landsat 9 các kênh ảnh này là kênh 5 và 4 tương ứng.

$$NDVI = \frac{Band\ 5 - Band\ 4}{Band\ 5 + Band\ 4} \quad (5)$$

Chỉ số NDVI nhận giá trị trong khoảng [-1, +1], trong đó thực vật có giá trị trong khoảng lớn hơn 0,2. Trong trường hợp NDVI > 0,5, bề mặt được coi



Hình 10. Bản đồ phân cấp chỉ số độ ẩm địa hình (TWI).

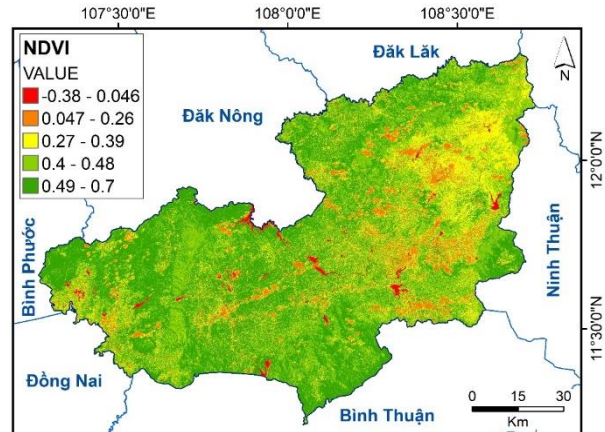
là bị phủ kín bởi thực vật (sóng điện từ không tới được lớp đất). Đối với đất trống không có thực vật bao phủ, NDVI < 0,2. Đối với mặt nước và đất ẩm, NDVI nhận giá trị âm. Kết quả chỉ số NDVI của khu vực nghiên cứu được thể hiện trên Hình 11.

4.2. Phân tích mức độ ảnh hưởng của các nhân tố đến nguy cơ sạt lở đất

Bảng 3 thể hiện trọng số của các yếu tố ảnh hưởng được thu được từ AHP. Các yếu tố có trọng số cao hơn biểu thị rằng chúng có ảnh hưởng lớn hơn đến nguy cơ sạt lở đất so với các yếu tố khác trong khu vực nghiên cứu. Ba yếu tố, bao gồm độ ẩm địa hình, lượng mưa và độ dốc, có trọng số lớn nhất lần lượt là 0,18; 0,16 và 0,16, chỉ ra rằng chúng có ảnh hưởng lớn nhất đến sạt lở đất tại khu vực nghiên cứu. Tiếp theo là các yếu tố mật độ thoát nước và độ cao địa hình, với trọng số tương ứng là 0,12 và 0,13. Điều này cho thấy sau độ ẩm địa hình, lượng mưa và độ dốc, mật độ thoát nước và độ cao có đóng góp đáng kể hơn vào nguy cơ sạt lở đất so với các yếu tố còn lại. 3 yếu tố tiếp theo là loại đất, lớp phủ bề mặt và chỉ số NDVI có trọng số tương ứng là 0,10; 0,09 và 0,09, là các yếu tố có ít ảnh hưởng hơn so với 5 yếu tố trên. Yếu tố chỉ số thực vật (NDVI) với giá trị trọng số thấp nhất là 0,09. Điều này thể hiện yếu tố chỉ số thực vật có ảnh hưởng ít nhất đến nguy cơ sạt lở đất trong khu vực nghiên cứu.

4.3. Bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở đất

Bản đồ phân cấp nguy cơ sạt lở đất được thành lập (Hình 12) từ việc chồng xếp 8 bản đồ phân cấp thành phần: chỉ số độ ẩm địa hình (TWI), mô hình số địa hình (DEM), độ dốc, lượng mưa,



Hình 11. Bản đồ phân cấp chỉ số thực vật NDVI.

lớp phủ bề mặt, chỉ số thực vật (NDVI), khoảng cách đến sông, mật độ thoát nước, loại đất thông qua công cụ Weighted OverLay của phần mềm ArcGIS 10.7.

Bản đồ phân cấp nguy cơ sạt lở đất là kết quả của việc kết hợp dữ liệu khách quan và chủ quan (tức là ý kiến đánh giá từ các chuyên gia). Các yếu tố thành phần trên bản đồ được đánh điểm, sau đó phân tích bằng phương pháp AHP để xác định trọng số của chúng.

Trọng số này phản ánh mức độ ảnh hưởng của mỗi yếu tố đối với từng khu vực, với các yếu tố như chỉ số độ ẩm địa hình (TWI), mô hình số địa hình (DEM), độ dốc, lượng mưa, lớp phủ bề mặt, chỉ số thực vật (NDVI), khoảng cách đến sông, mật độ thoát nước và loại đất (Bảng 4).

Các trọng số này được tính toán dựa trên ma trận đánh giá được tạo ra từ ý kiến đóng góp của

các chuyên gia địa lý, với mức độ nhất quán dưới 0,1 cho khu vực nghiên cứu, đảm bảo tính tin cậy của kết quả.

Tám yếu tố được lựa chọn được sử dụng trong lập bản đồ nguy cơ sạt lở đất đã tạo ra một bản đồ nguy cơ sạt lở đất với 5 cấp độ (Hình 12). Các khu vực này mô tả nguy cơ sạt lở đất rất cao, cao, trung bình, thấp và rất thấp này có độ bao phủ lần lượt là 11,2%, 23,9%, 32,0%, 24,3% và 8,6% diện tích khu vực (Bảng 5). Nhìn chung, các vùng có nguy cơ sạt lở đất cao trùng với các khu vực đồi núi có địa hình sườn dốc cao. Trong nghiên cứu này, các vùng nguy cơ sạt lở đất cao và rất cao nằm ở phía Bắc của tỉnh Lâm Đồng đặc biệt là tại huyện Lâm Hà, Bảo Lâm, Bảo Lộc, thành phố Đà Lạt. Các vùng nguy cơ sạt lở đất thấp và rất thấp chủ yếu nằm ở các khu vực phía Nam của tỉnh Lâm Đồng (Hình 12).

Bảng 4. Giá trị trọng số và điểm phân cấp với các lớp tiêu chí ảnh hưởng đến nguy cơ sạt lở đất.

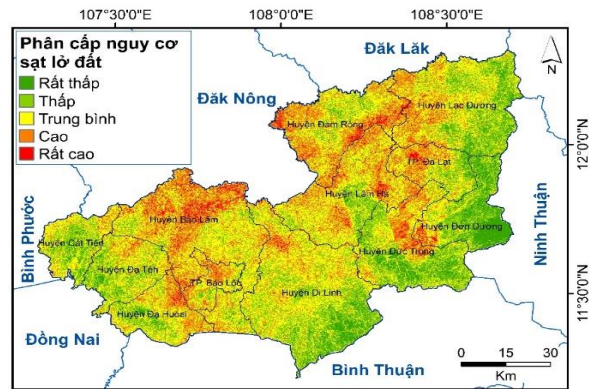
TT	Yếu tố (đơn vị)	Trọng số	Khoảng giá trị	Điểm	Phân cấp rủi ro (Cấp)	Nguy cơ sạt lở đất
1	Chỉ số độ ẩm địa hình (TWI)	0,177	-5,821 ÷ -3,5	1	1	Rất thấp
			-3,500 ÷ -1,800	2	2	Thấp
			-1,800 ÷ 0,500	3	3	Vừa phải
			0,500 ÷ 3,700	4	4	Cao
			3,700 ÷ 12,092	5	5	Rất cao
2	Độ cao (m)	0,103	54 ÷ 500	1	1	Rất thấp
			500 ÷ 1000	2	2	Thấp
			1000 ÷ 1500	3	3	Vừa phải
			1500 ÷ 2000	4	4	Cao
			2000 ÷ 2294	5	5	Rất cao
3	Độ dốc (độ)	0,159	0 ÷ 7	1	1	Rất thấp
			7 ÷ 14	2	2	Thấp
			14 ÷ 21	3	3	Vừa phải
			21 ÷ 29	4	4	Cao
			29 ÷ 65,4	5	5	Rất cao
4	Lượng mưa (mm/năm)	0,163	1564 ÷ 1802	1	1	Rất thấp
			1803 ÷ 1881	2	2	Thấp
			1882 ÷ 1991	3	3	Vừa phải
			1992 ÷ 2187	4	4	Cao
			2188 ÷ 2442	5	5	Rất cao
5	Lớp phủ bề mặt	0,094	Nước	1	1	Rất thấp
			Rừng, cây lâu năm	2	2	Thấp
			Đất nông nghiệp	3	3	Vừa phải
			Dân cư	4	4	Cao
			Đất trống	5	5	Rất cao
6	Chỉ số thực vật (NDVI)	0,089	-0,38 ÷ 0,04	5	5	Rất cao
			0,04 ÷ 0,25	4	4	Cao
			0,25 ÷ 0,38	3	3	Vừa phải

TT	Yếu tố (đơn vị)	Trọng số	Khoảng giá trị	Điểm	Phân cấp rủi ro (Cấp)	Nguy cơ sạt lở đất
			0,38 ÷ 0,48	2	2	Thấp
			0,48 ÷ 0,70	1	1	Rất thấp
7	Mật độ thoát nước (km/km <sup>2</sup> )	0,120	0 ÷ 0,168	5	5	Rất cao
			0.169 ÷ 0.268	4	4	Cao
			0.269 ÷ 0.365	3	3	Vừa phải
			0.366 ÷ 0.471	2	2	Thấp
			0.472 ÷ 0.728	1	1	Rất thấp
8	Loại đất	0,095	Đất xám bạc màu nâu đỏ	1	1	Rất thấp
			Đất nâu đỏ trên đá bazan	2	2	Thấp
			Đất xám bạc màu trên đá trầm tích và đá biến chất	3	3	Vừa phải
			Đất nâu đỏ trên đá quartz	4	4	Cao
			Đất nứt nẻ, khô hạn	5	5	Rất cao

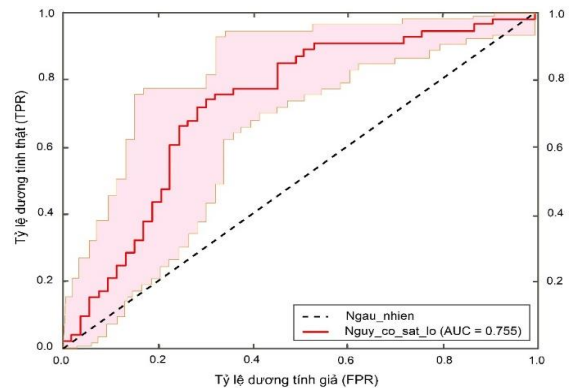
Bảng 5. Phân cấp nguy cơ sạt lở đất ở khu vực nghiên cứu.

TT	Cấp nguy cơ	Diện tích (km <sup>2</sup> )	% Diện tích
1	Rất thấp	1083,1	11,2
2	Thấp	2312,0	23,9
3	Trung bình	3096,3	32,0
4	Cao	2350,5	24,3
5	Rất cao	830,2	8,6

Đánh giá độ chính xác của một mô hình thông qua đường cong ROC (receiver operating characteristic) là một phương pháp phổ biến được áp dụng trong nhiều nghiên cứu trước đó (Corsini & Mulas, 2017). Đường cong ROC biểu thị một biểu đồ hai chiều thể hiện hiệu suất của một hệ thống phân loại khi ngưỡng phân biệt thay đổi đối với biến dự đoán. Diện tích dưới đường cong (AUC - area under the curve) của mô hình đại diện cho khả năng phân biệt giữa các giá trị thực. Trong nghiên cứu này, bản đồ phân cấp sạt lở đất dựa trên AHP đã được chia thành năm lớp. 106 vị trí quan trắc sạt lở đất đã được chọn làm điểm thử nghiệm để đánh giá bản đồ phân cấp sạt lở đất. Công việc này được thực hiện trong ArcGIS 10.7 sử dụng công cụ ArcSDM. Để tính toán đường cong ROC và giá trị AUC, bản đồ nguy cơ sạt lở đất đã được chuyển đổi thành định dạng raster và sử dụng làm mô hình phân loại với các điểm thử nghiệm trong ArcGIS 10.7. Việc này cho phép tạo ra đường cong ROC và giá trị AUC trong định dạng \*.tif (Hình 13). Với giá trị AUC cao đạt 0,755 (tương đương 75,5%), kết quả này cho thấy bản đồ phân cấp nguy cơ sạt lở đất tại tỉnh Lâm Đồng



Hình 12. Bản đồ phân cấp nguy cơ sạt lở đất ở khu vực nghiên cứu.



Hình 13. Đường cong ROC và phân tích giá trị AUC.

tương ứng với mức độ chấp nhận kết quả và đáng tin cậy trong phạm vi nghiên cứu này.

### 5. Kết luận

Nghiên cứu này đã sử dụng kết hợp giữa công nghệ viễn thám, hệ thống thông tin địa lý (GIS) và phương pháp phân tích đa tiêu chí để tạo ra bản

đồ phân vùng nguy cơ sạt lở đất tại tỉnh Lâm Đồng. Tám yếu tố đầu vào ảnh hưởng đến sạt lở đất, bao gồm chỉ số độ ẩm địa hình (TWI), mô hình số địa hình (DEM), độ dốc, lượng mưa, lớp phủ bề mặt, chỉ số thực vật (NDVI), mật độ thoát nước và loại đất, đã được chọn để phân tích sử dụng phương pháp phân tích phụ thuộc toàn bộ cấu trúc (AHP). Sau đó, các bản đồ đơn biểu thị cho mỗi tiêu chí đã được chuyển đổi thành dạng raster và xếp chồng lên nhau để tính toán chỉ số sạt lở đất LSI và phân loại thành 05 cấp nguy cơ sạt lở đất trong phần mềm ArcGIS.

Kết quả nghiên cứu cũng đã chỉ ra 1083,1 km<sup>2</sup> tương ứng 11,2% diện tích ít có nguy cơ sạt lở đất, 2312 km<sup>2</sup> tương ứng với 23,9% diện tích có nguy cơ sạt lở đất thấp, 3096,3 km<sup>2</sup> tương ứng 32,0% diện tích có nguy cơ sạt lở đất trung bình, 2350,5 km<sup>2</sup> tương ứng 24,3 % diện tích có nguy cơ sạt lở đất cao và 830,2 km<sup>2</sup> tương ứng 8,6% diện tích có nguy cơ sạt lở đất rất cao. Các huyện, thị, thành phố ở khu vực đồi núi có độ dốc địa hình cao đặc biệt có huyện Lâm Hà, Bảo Lâm, Bảo Lộc, thành phố Đà Lạt mức độ nguy cơ sạt lở đất rất cao.

Các kết quả của nghiên cứu này đã cung cấp một cái nhìn tổng thể về các khu vực có nguy cơ sạt lở đất tại tỉnh Lâm Đồng. Thông tin này là hữu ích cho các nhà quy hoạch, quản lý, và các bên liên quan khác để áp dụng các biện pháp phòng ngừa sạt lở đất, cũng như phát triển các khu đô thị và hệ thống giao thông một cách an toàn, tránh xa các vùng có nguy cơ sạt lở đất cao. Hơn nữa, dữ liệu trong nghiên cứu phần lớn có sẵn trên Internet và dễ dàng thu thập, điều này có nghĩa là phương pháp và chỉ tiêu sử dụng có thể dễ dàng áp dụng cho các khu vực khác.

### Đóng góp của tác giả

Nguyễn Văn Nam - lên ý tưởng và viết bản thảo bài báo, thu thập dữ liệu và phân tích dữ liệu; Lê Thị Thu Hà - thu thập dữ liệu, chỉnh sửa nội dung và các bản đồ chuyên đề và xử lý số liệu bài báo.

### Tài liệu tham khảo

Awawdeh, M., Obeidat, M., Al-Mohammad, M., Al-Qudah, K. & Jaradat, R. (2014). Integrated GIS and remote sensing for mapping groundwater potentiality in the Tulul al Ashaqif, Northeast Jordan. *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 2377-

2392. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-0964-8>.

Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H. & Kanno, T. (2005). Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. *Engineering geology*, 81(4), 432-445. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.08.004>.

Brenning, A., (2005). Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 853-862. <https://doi.org/10.5194/nhess-5-853-2005>.

Bui, T. 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, 447-458. <https://doi.org/10.1007/s10346-016-0711-9>.

CHRS. Trung tâm Khí tượng Thủy văn và Viễn thám. Đại học California, Irvine, CA, Hoa Kỳ. *Website*: <https://chrsdata.eng.uci.edu/> (truy cập ngày 19 tháng 12 năm 2023).

Corominas, J., Westen, C. V., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J. P., Fotopoulou, S., Catani, F., Van Den Eeckhaut, M., Mavrouli, O., Agliardi, F., Pitilakis, K., Winter, M. G., Pastor, M., Ferlisi, S., Tofani, V., Herva's, J., Smith, J. T. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Volume 73, pages 209-263. <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0538-8>.

Corsini, A. & Mulas, M. (2017). Use of ROC curves for early warning of landslide displacement rates in response to precipitation (Piagneto landslide, Northern Apennines, Italy). *Landslides*, 14(3), 1241-1252. <https://doi.org/10.1007/s10346-016-0781-8>.

Dahal, R. K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Masuda, T. & Nishino, K. (2008). GIS-based weights-of-evidence

- modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, 54, 311-324. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0818-3>.
- Deng, Z., Zhang, X., Li, D., & Pan, G. (2015). Simulation of land use/land cover change and its effects on the hydrological characteristics of the upper reaches of the Hanjiang Basin. *Environmental Earth Sciences*, 73(3), 1119-1132. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3465-5>.
- Diva-Gis. Download Data by Country. Website: <http://www.diva-gis.org/datadown> (truy cập ngày 17 tháng 12 năm 2023).
- Earthdata. Website: <https://search.earthdata.nasa.gov/search> (truy cập ngày 18 tháng 12 năm 2023).
- El Jazouli, A., Barakat, A., & Khellouk, R. (2019). GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco). *Geoenvironmental Disasters*, 6(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40677-019-0119-7>.
- Enderle, D. I., & Weih Jr, R. C. (2005). Integrating supervised and unsupervised classification methods to develop a more accurate land cover classification. *Journal of the Arkansas Academy of Science*, 59(1), 65-73.
- FAO. Tổ chức Nông Lương Liên hợp quốc. Website: <https://data.apps.fao.org/map/catalog/srv/eng/catalog.search#/home> (truy cập ngày 18 tháng 12 năm 2023).
- Hadji, R., Chouabi, A., Gadri, L., Raïs, K., Hamed, Y., & Boumazbeur, A. (2016). Application of linear indexing model and GIS techniques for the slope movement susceptibility modeling in Bousselam upstream basin, Northeast Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2169-9>.
- Huang, Y., & Zhao, L. (2018). Review on landslide susceptibility mapping using support vector machines. *Catena*, 165, 520-529. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.03.003>.
- Huyền, N. T., Khánh, N. Q., Dương, N. H., Hoàng, N. & Ninh, N. Đ. H. (2023). Kết quả khoanh định các khu vực nhạy cảm về trượt lở, lũ quét khu vực Thành phố Đà Nẵng. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 745, 21-33. [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2023\(745\).21-33](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2023(745).21-33).
- Li, Z., Nadim, F., Huang, H., Uzielli, M., Lacasse, S. (2010). Quantitative vulnerability estimation for scenario-based landslide hazards. *Landslides* 7(2):125-134.
- Nguyen, P., Shearer, E. J., Tran, H., Ombadi, M., Hayatbini, N., Palacios, T. & Sorooshian, S. (2019). The CHRS Data Portal, an easily accessible public repository for PERSIANN global satellite precipitation data. *Scientific data*, 6(1), 1-10. DOI: 10.1038/sdata. 2018. 296.
- ODM. Open Development Mekong. *Soil types in vietnam*: Website: <https://data.opendevelopmentmekong.net/dataset/soil-types-in-vietnam> (truy cập ngày 22 tháng 12 năm 2023).
- Pourghasemi, H. R., Teimoori Yansari, Z., Panagos, P., & Pradhan, B. (2018). Analysis and evaluation of landslide susceptibility: a review on articles published during 2005-2016 (periods of 2005-2012 and 2013-2016). *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3531-5>.
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-science reviews*, 180, 60-91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>.
- Richards, J. A. (1999). Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. *Springer-Verlag, Berlin, Germany*, 240 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03978-6>.
- Saaty, T. L. (1988). What is the analytic hierarchy process? In Mathematical models for decision support. 109-121. *Springer*. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-83555-1\\_5](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-83555-1_5).
- Saaty, T. L. (2004). Decision making-the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *Journal of systems science and systems engineering*, 13, 1-35.

- Sạt lở đất ở Việt Nam - Hậu quả và đánh giá từ các chuyên gia - Nguyên nhân, thực trạng và thách thức. Tạp chí điện tử Môi trường và Cuộc sống. Website: <https://moitruong.net.vn>. (truy cập ngày 10 tháng 12 năm 2023).
- Singh, P., Gupta, A., Singh, M. (2014). Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 17, 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.09.003>.
- Thanh, L. N., Dũng, N. Q., Nhân, N. S., Hùng N. P., Tùng L. H. (2021). Thành lập bản đồ phân vùng nguy cơ trượt lở đất Thành phố Đà Lạt bằng phương pháp phân tích thứ bậc và hệ thống tin địa lý. *Tạp chí Khoa học Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh - Kỹ thuật và Công nghệ*, 16(1), 142-155. <https://doi.org/10.46223/HCM>
- COUJS.tech.vi.16.1.1229.2021.
- Trang, T. T. T., Hieu, P. T., & Vi, T. N. H. (2023). Landslides Study in Bac Can Province, Vietnam by Analytic Hierarchy Process Method. *Iraqi Journal of Science*, 5691-5706. <https://doi.org/10.24996/ijs.2023.64.11.19>.
- Tuấn, H. N., & Tuyết, V. T. (2021). Nghiên cứu xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở đất cho khu vực miền núi tỉnh Quảng Nam. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ thủy lợi*, số, 68.
- USGS (2023). Cục khảo sát địa chất Hoa Kỳ - Landsat Satellite Data. Website: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (truy cập ngày 18 tháng 12 năm 2023).
- Wu, T. H., Abdel-Latif M. A., (2000). Prediction and mapping of landslide hazard. *Canadian Geotechnical Journal*, 37,781-795. <https://doi.org/10.1139/t00-006>.