



PHẦN THỨ HAI: NGHIÊN CỨU, ỨNG DỤNG

Xây dựng bản đồ nguy cơ trượt lở đất tỉnh Quảng Bình bằng phương pháp phân tích đa tiêu chí (AHP) tích hợp GIS và ảnh viễn thám

Nguyễn Hồng Phúc¹, Tống Thị Hạnh^{1*} , Nguyễn Thị Thu Nga¹
¹Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn
Email tác giả liên hệ: tonghanh@lqdtu.edu.vn

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17223612>


Tóm tắt:

Là một quốc gia chịu ảnh hưởng nặng nề của biến đổi khí hậu, Việt Nam với đặc điểm địa hình phức tạp và chế độ khí hậu nhiệt đới gió mùa thường xuyên đối mặt với nguy cơ trượt lở đất đá. Tần suất, quy mô và mức độ thiệt hại của các vụ trượt lở ngày càng trầm trọng do sự gia tăng của các hiện tượng mưa lớn kéo dài, thời tiết cực đoan và tác động từ các hoạt động nhân sinh, gây ra mối đe dọa trực tiếp đến đời sống, cơ sở hạ tầng và an sinh xã hội. Trước bối cảnh trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm ứng dụng công nghệ viễn thám và hệ thống thông tin địa lý (GIS), kết hợp với phương pháp Phân tích đa tiêu chí (AHP), để đánh giá toàn diện các yếu tố ảnh hưởng và xây dựng bản đồ nguy cơ trượt lở đất tại tỉnh Quảng Bình. Kết quả của nghiên cứu góp phần cung cấp một cơ sở khoa học cho công tác cảnh báo, quy hoạch lãnh thổ và quản lý rủi ro thiên tai một cách hiệu quả, hướng tới mục tiêu phát triển bền vững.

Từ khóa: Phân tích đa tiêu chí, trượt lở, viễn thám, GIS, Quảng Bình.

Ngày nhận bài: 28/8/2025 Ngày sửa lại: 14/9/2025 Ngày chấp nhận đăng: 16/9/2025 Ngày xuất bản: 04/10/2025

Landslide susceptibility mapping in Quang Binh province using the analytic hierarchy process (AHP) integrated with GIS and remote sensing

Nguyen Hong Phuc¹, Tong Thi Hanh^{1*} , Nguyen Thi Thu Nga¹
¹Le Quy Don Technical University, Hanoi, Vietnam
Email: tonghanh@lqdtu.edu.vn

Abstract:

Vietnam, one of the countries most vulnerable to climate change, faces frequent landslide risks due to its complex topography and tropical monsoon climate. The frequency, scale, and severity of landslides have escalated in recent years, driven by prolonged heavy rainfall, extreme weather events, and human activities, posing serious threats to human lives, infrastructure, and social welfare. In this context, the present study employs remote sensing and Geographic Information Systems (GIS), integrated with the Analytical Hierarchy Process (AHP), to comprehensively evaluate contributing factors and develop a landslide hazard map for Quang Binh Province. The results provide a scientific basis for improving early warning systems, territorial planning, and disaster risk management, thereby supporting sustainable development.

Keywords: Analytic Hierarchy Process (AHP), landslide, remote sensing, GIS, Quang Binh.

Submission received: 28/8/2025 Revised: 14/9/2025 Accepted: 16/9/2025 Published: 04/10/2025

1. Đặt vấn đề

Trượt lở đất là một trong những loại hình thiên tai có mức độ nguy hiểm cao, thường xảy ra đột ngột và gây thiệt hại nghiêm trọng đối với con người, tài sản, cơ sở hạ tầng cũng như môi trường tự nhiên. Hiện tượng này phân bố chủ yếu tại các vùng miền núi có địa hình dốc, bị chia cắt mạnh, nền địa chất yếu và chịu quá trình phong hóa mạnh, điển hình là khu vực miền núi phía Bắc và Bắc Trung Bộ. Dưới tác động của khí hậu nhiệt đới gió mùa cùng với biến đổi khí hậu toàn cầu, tần suất và cường độ các trận mưa lớn, bão mạnh ngày càng gia tăng, làm cho nguy cơ trượt lở trở nên nghiêm trọng hơn. Bên cạnh đó, các hoạt động nhân sinh như phá rừng, khai thác tài nguyên hay mở đường trên sườn dốc cũng góp phần làm trượt lở đất trở thành hiểm họa khó dự báo và kiểm soát [1].

Trong những năm gần đây, đã có nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước tập trung vào đánh giá nguy cơ trượt lở đất. Ở Việt Nam, các nghiên cứu điển hình có thể kể đến như Nguyễn Thanh Long và De Smedt (2019) [2] đã áp dụng các mô hình thống kê để xây dựng bản đồ nhạy cảm trượt lở tại huyện A Lưới, Thừa Thiên Huế, cho thấy mô hình

Certainty Factor đạt độ chính xác cao nhất với AUC $\sim 0,84$. Tại khu vực miền núi phía Bắc, Nguyễn Hữu Thắng và cộng sự (2024) [3] đã xác định các ngưỡng mưa và yếu tố địa chất chi phối sự xuất hiện trượt lở ở Hà Giang, kết quả nhấn mạnh mưa lớn là tác nhân kích hoạt chủ yếu. Trên thế giới, Reichenbach et al. (2018) [4] đã tổng quan các mô hình đánh giá nguy cơ trượt lở dựa trên phương pháp thống kê, cho thấy phương pháp bán định lượng (như AHP) vẫn được sử dụng rộng rãi khi dữ liệu còn hạn chế. Bên cạnh đó, Guzzetti et al. (2006) [5] đã chứng minh hiệu quả của bản đồ nhạy cảm trượt lở trong công tác quy hoạch phòng tránh tại nhiều quốc gia. Tuy nhiên, tại tỉnh Quảng Bình, số lượng nghiên cứu về vấn đề này còn hạn chế và đến nay chưa có bản đồ nguy cơ trượt lở ở quy mô chi tiết với cách tiếp cận tích hợp AHP và dữ liệu viễn thám – GIS. Thực tế đó đặt ra nhu cầu cấp thiết cho nghiên cứu hiện tại.

Về cơ chế hình thành, trượt lở xảy ra khi lực trượt do trọng lực vượt quá khả năng chống cắt của đất, đá hoặc vượt ngưỡng ổn định tại các bề mặt địa hình. Về bản chất, trên mọi sườn dốc đều tồn tại lực cắt, tuy nhiên hiện tượng trượt lở chỉ phát sinh khi trạng thái cân bằng tự nhiên bị phá vỡ. Sự mất cân bằng này thường do nhiều yếu tố tác động, bao gồm: sự gia tăng độ dốc do xói mòn, sự tồn tại của các lớp đất yếu hoặc mặt trượt tiềm ẩn trong cấu trúc địa tầng, hoạt động kiến tạo, hoặc ảnh hưởng của áp lực thủy tĩnh và thủy động gây xói ngầm, rỗng nền và bão hòa nước sau mưa lớn. Trong số đó, mưa lớn được coi là tác nhân kích hoạt chủ yếu gây ra trượt lở đất ở Việt Nam. Ngoài ra, các hoạt động nhân sinh như phá rừng, khai thác khoáng sản, xây dựng công trình hay đào đắp thiếu hợp lý đã làm gia tăng đáng kể cả tần suất và quy mô các hiện tượng trượt lở trong thời gian gần đây [6, 7].

Trước thực trạng đó, việc lập bản đồ nguy cơ trượt lở trở thành một công cụ quan trọng nhằm nhận diện và phân chia không gian thành các khu vực có mức độ nguy cơ khác nhau, từ đó hỗ trợ công tác cảnh báo và quy hoạch phòng tránh. Hiện nay, các phương pháp đánh giá nguy cơ thường được chia thành ba nhóm chính [8]: định tính, bán định lượng và định lượng. Trong đó, tiếp cận định tính dựa trên quan sát và kiến thức chuyên gia, đơn giản nhưng mang tính chủ quan cao; tiếp cận bán định lượng lượng hóa các yếu tố tác động thông qua phân hạng và trọng số, phổ biến với các kỹ thuật như chèn lớp trọng số hay phân tích đa tiêu chí (AHP), cho phép mô hình hóa nguy cơ trong điều kiện dữ liệu hạn chế; trong khi đó tiếp cận định lượng yêu cầu dữ liệu đầy đủ và chính xác để áp dụng các mô hình toán học, thống kê hay học máy, có ưu thế về độ tin cậy và khả năng kiểm định.

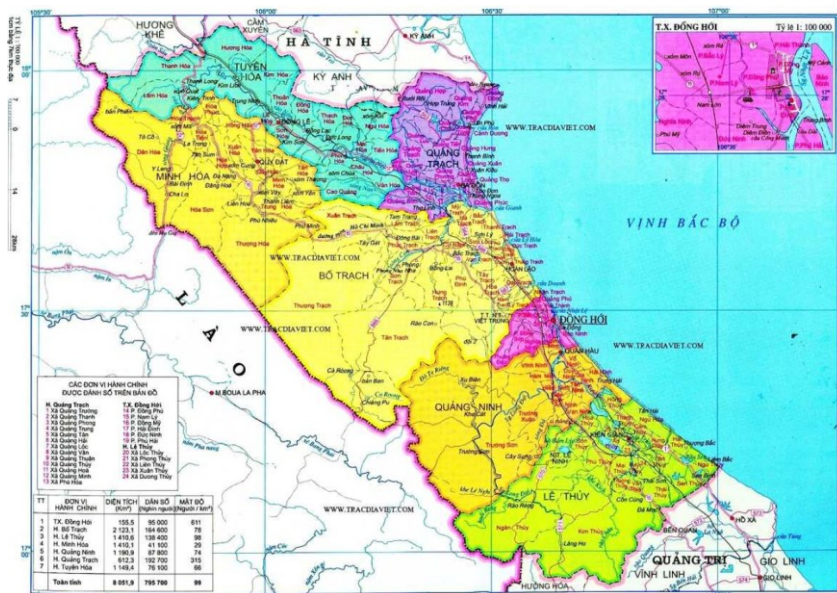
Trong nghiên cứu đánh giá nguy cơ trượt lở, đã có nhiều phương pháp được áp dụng như mô hình thống kê, hồi quy logistic, mạng nơ-ron nhân tạo hay phương pháp học máy [9, 10]. Tuy nhiên, các phương pháp trên thường đòi hỏi khối lượng dữ liệu lớn, độ chính xác cao hoặc quy trình xử lý phức tạp, do đó khó áp dụng trong bối cảnh nguồn dữ liệu còn hạn chế. Với ưu điểm nổi bật trong việc kết hợp cơ sở lý thuyết và kinh nghiệm chuyên gia, phương pháp phân tích đa tiêu chí AHP cho phép xác định trọng số của các yếu tố ảnh hưởng đến trượt lở một cách khách quan, chặt chẽ và có hệ thống [11]. Do vậy, nghiên cứu này đã sử dụng AHP tích hợp với dữ liệu viễn thám và công nghệ GIS, qua đó khai thác hiệu quả các công cụ hiện đại trong xử lý không gian và phân tích đa lớp thông tin. Nhờ đặc tính tính toán được đồng thời nhiều yếu tố ảnh hưởng, phương pháp AHP không chỉ giúp nâng cao độ tin cậy của kết quả mà còn tạo ra sản phẩm bản đồ phân vùng nguy cơ có tính trực quan, dễ dàng áp dụng trong công tác quản lý, theo dõi, cảnh báo và quy hoạch phòng tránh trượt lở đất [12,13]. Đồng thời, kết quả nghiên cứu có thể

trở thành nguồn dữ liệu tham khảo quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo trong lĩnh vực đánh giá nguy cơ thiên tai và quy hoạch sử dụng đất bền vững.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Tỉnh Quảng Bình thuộc vùng Bắc Trung Bộ của Việt Nam, có diện tích tự nhiên 8.065 km² và nằm trong giới hạn tọa độ từ 17°05'02" đến 18°05'12" vĩ độ Bắc, từ 105°36'55" đến 106°59'37" kinh độ Đông. Phía Bắc giáp tỉnh Hà Tĩnh, phía Đông giáp Biển Đông với đường bờ biển dài 116,04 km, phía Nam giáp tỉnh Quảng Trị và phía Tây giáp nước bạn Lào với đường biên giới dài khoảng 201,87 km. Trước khi sáp nhập (trước ngày 01/07/2025), tỉnh Quảng Bình có 8 đơn vị hành chính cấp huyện gồm: Thành phố Đồng Hới, thị xã Ba Đồn và các huyện Lệ Thủy, Quảng Ninh, Bố Trạch, Quảng Trạch, Tuyên Hóa, Minh Hóa.



Hình 1. Bản đồ hành chính tỉnh Quảng Bình



Hình 2. Ảnh trượt lở đất xã Dân Hóa, huyện Minh Hóa, tỉnh Quảng Bình

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, nhiều loại dữ liệu khác nhau đã được sử dụng nhằm phục vụ cho việc phân tích và thành lập bản đồ nguy cơ trượt lở đất tại tỉnh Quảng Bình. Các dữ liệu bao gồm: bản đồ hành chính dùng để xác định ranh giới nghiên cứu và phân chia theo đơn vị quản lý; dữ liệu mạng lưới giao thông phản ánh sự tác động của hệ thống đường bộ đến sự ổn định sườn dốc; dữ liệu độ cao số (DEM) từ SRTM hỗ trợ tính toán các yếu

tổ địa hình như độ dốc, độ cao, mật độ thoát nước, ...; ảnh vệ tinh Landsat-9 dùng để thành lập lớp phủ thực vật và chỉ số NDVI, qua đó đánh giá tình trạng che phủ rừng; bản đồ sử dụng đất phục vụ xác định các lớp đất dễ phong hóa, có nguy cơ trượt lở cao; cùng với đó là dữ liệu lượng mưa trung bình năm phản ánh vai trò của mưa lớn – tác nhân kích hoạt chính của trượt lở đất.

Toàn bộ các dữ liệu trên được chuẩn hóa, xử lý và tích hợp trong môi trường GIS để xây dựng cơ sở dữ liệu không gian phục vụ phân tích đa tiêu chí. Đây là cơ sở quan trọng cho việc thành lập bản đồ nguy cơ trượt lở đất tỉnh Quảng Bình. Toàn bộ thông tin mô tả chi tiết các nguồn dữ liệu này được tổng hợp trong Bảng 1 và Bảng 2 dưới đây.

Bảng 1. Danh sách các nguồn dữ liệu thu thập

Dữ liệu	Định dạng	Thời gian	Nguồn tài
Khu vực hành chính tỉnh, huyện; đường giao thông	Shapefile	2022	DIVA-GIS [14]
Dữ liệu độ cao SRTM 30m	Raster	2020	OpenTopography [15]
Ảnh vệ tinh Landsat 9	Raster	2020 – 2024	Cục khảo sát địa chất Hoa Kỳ USGS [16]
Dữ liệu loại đất	Shapefile		FAO [17]
Dữ liệu lượng mưa	Raster	2020 – 2024	Cơ quan nghiên cứu khí hậu (CRU) [18]
Dữ liệu điểm trượt lở	Point	2022	Công ty TNHH MTV Trắc địa bản đồ [19]

Bảng 2. Dữ liệu ảnh Landsat 9 khu vực nghiên cứu

Mã số ảnh	Thời gian chụp	Path	Row	Mức độ xử lý/ Định dạng	Độ phân giải
LC09_L1TP_125048_2024_0430_20240430_02_T1	30/04/2024	125	48	L1TP/GEOTIFF	30 m
TLC09_L1TP_126048_20240304_20240304_02_T1	04/03/2024	126	48	L1TP/GEOTIFF	30 m

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp phân tích đa tiêu chí

Phương pháp phân tích đa tiêu chí (Analytic Hierarchy Process – AHP) do nhà toán học Thomas L. Saaty [11] đề xuất vào những năm 1980 là một công cụ phân tích đa tiêu chí được sử dụng rộng rãi nhờ tính hệ thống và khả năng định lượng các yếu tố phức tạp. Ưu điểm nổi bật của phương pháp này nằm ở khả năng hệ thống hóa vấn đề thành các cấp bậc rõ ràng và lượng hóa các yếu tố định tính. Phương pháp này hoạt động dựa trên ba nguyên tắc chính: xây dựng mô hình phân cấp các yếu tố ảnh hưởng, thiết lập ma trận so sánh cặp để đánh giá mức độ quan trọng và tổng hợp kết quả để xếp hạng các phương án. Khi được tích hợp với hệ thống thông tin địa lý (GIS) và công nghệ viễn thám, AHP cho phép chuyển đổi hiệu quả dữ liệu không gian thành các chỉ số định lượng, qua đó nâng cao đáng kể độ chính xác của các bản đồ đánh giá rủi ro. Nhờ sự kết hợp giữa tính hệ thống và khả năng xử lý linh hoạt các tiêu chí đánh giá, AHP đã chứng minh được hiệu quả vượt trội trong công tác dự báo và quản lý rủi ro trượt lở đất. Các thang đo chi tiết để xác định mức độ ưu tiên giữa các yếu tố được trình bày cụ thể trong Bảng 3.

Bảng 3. Thang đánh giá mức độ so sánh

Mức độ ưu tiên	Giá trị số
Quan trọng bằng nhau	1
Quan trọng có sự trội hơn	3
Quan trọng nhiều hơn	5
Rất quan trọng, dễ nhận thấy sự khác biệt ảnh hưởng	7



Cực kỳ quan trọng	9
Mức trung gian giữa các mức trên	2, 4, 6, 8

Quá trình thực hiện bắt đầu bằng việc so sánh cặp các yếu tố ảnh hưởng. AHP tiến hành đánh giá đồng thời 2 yếu tố, xác định mức độ ưu tiên của yếu tố này so với yếu tố khác dựa trên đánh giá của chuyên gia. Các đánh giá này được lượng hóa bằng thang đo từ 1 đến 9, trong đó giá trị 1 thể hiện hai yếu tố quan trọng bằng nhau, còn giá trị 9 cho thấy một yếu tố cực kỳ quan trọng so với yếu tố còn lại. AHP cũng cung cấp cách xác định mức độ nhất quán của các chuyên gia thông qua tỉ số nhất quán (Consistency Ratio - CR) phải nhỏ hơn hoặc bằng 10% thì ma trận so sánh cặp mới được sử dụng còn nếu giá trị CR lớn hơn 10% thì cần phải thẩm định lại quá trình so sánh cặp hoặc loại bỏ ý kiến. Tỷ số nhất quán (CR) được tính theo phương trình (1):

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

Trong đó: CI là tỷ số nhất quán của một ma trận AHP cụ thể, chỉ số nhất quán (CI) có thể được tính từ phương trình (2) và RI là chỉ số ngẫu nhiên.

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

Trong đó: λ_{max} là vector nhất quán, “n” là số lượng các yếu tố ảnh hưởng được xem xét. Tỷ số nhất quán (CR) phải nhỏ hơn 10% để đảm bảo tính hợp lý của ma trận so sánh cặp. Khi điều kiện này được thỏa mãn, các trọng số tính toán sẽ được chấp nhận và áp dụng trong quá trình chồng lớp có trọng số nhằm tích hợp các yếu tố để xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ trượt lở đất.

2.3.2. Tích hợp công nghệ GIS và phân tích đa chỉ tiêu để xác định nguy cơ trượt lở đất, đá

Trượt lở đất chịu tác động đồng thời của nhiều yếu tố khác nhau. Tuy nhiên, trên thực tế, việc thu thập đầy đủ toàn bộ các dữ liệu cần thiết để xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ là điều khó khả thi. Vì vậy, trên cơ sở tổng hợp kết quả nghiên cứu trước đây và đánh giá các yếu tố chính có ảnh hưởng lớn đến quá trình trượt lở đất, đồng thời căn cứ vào điều kiện dữ liệu sẵn có, nghiên cứu này lựa chọn 10 yếu tố tiêu biểu để phân tích, bao gồm: độ dốc địa hình, lượng mưa, chỉ số độ ẩm, loại đất, lớp phủ bề mặt, độ cao, mật độ thoát nước, chỉ số thực vật, khoảng cách đến sông và khoảng cách đến đường.

Các yếu tố trên được trích xuất và xác định thông qua các công cụ phân tích không gian của phần mềm ArcGIS. Tiếp đó, các tiêu chí được phân cấp và gán giá trị điểm đánh giá tương ứng. Sau khi xác định trọng số cùng với điểm đánh giá cho từng tiêu chí thành phần, chỉ số nguy cơ trượt lở đất được tính toán dựa trên sự kết hợp giữa điểm số và trọng số, theo công thức (3).

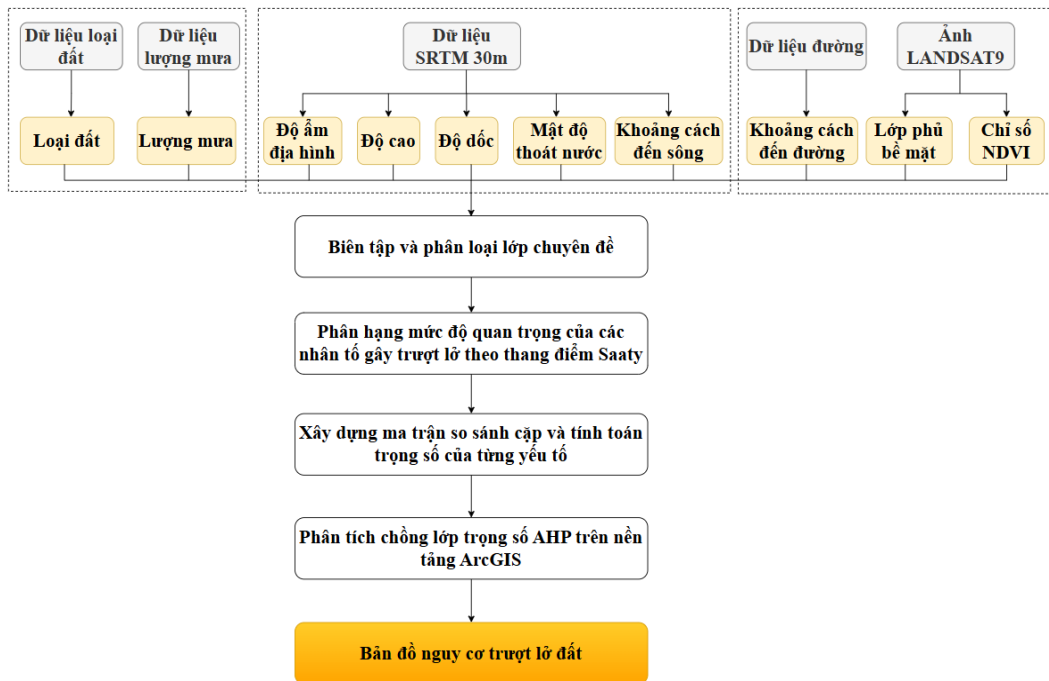
$$LSI = \sum_{j=1}^n W_j X_{ij} \quad (3)$$

Trong đó: LSI (Landside Susceptibility Index): là chỉ số nhạy cảm trượt lở đất

W_j : là trọng số của nhân tố thứ j

X_{ij} : là điểm số của lớp thứ i trong nhân tố gây trượt lở j

Sơ đồ quy trình ứng dụng GIS kết hợp với phương pháp AHP trong xây dựng bản đồ nguy cơ trượt lở đất được minh họa ở Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ ứng dụng GIS và AHP vào xây dựng bản đồ nguy cơ trượt lở đất

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Tính toán trọng số và xây dựng bản đồ thành phần

Độ dốc địa hình được xem là yếu tố then chốt quyết định sự ổn định của sườn dốc, địa hình càng dốc thì nguy cơ trượt lở càng cao. Lượng mưa và chỉ số độ ẩm đóng vai trò tác nhân kích hoạt khi nước thấm vào làm tăng độ bão hòa, giảm lực ma sát và khả năng kháng cắt của đất đá. Loại đất cũng ảnh hưởng rõ rệt, trong đó đất sét dễ trương nở và suy yếu khi ngấm nước, trong khi lớp phủ bề mặt và thảm thực vật có tác dụng giữ đất, hạn chế xói mòn. Ngoài ra, độ cao liên quan đến điều kiện khí hậu và phân bố mưa, mật độ thoát nước phản ánh mức độ chia cắt địa hình và khả năng tập trung dòng chảy, còn chỉ số thực vật (NDVI) thể hiện tình trạng che phủ, với giá trị thấp thường gắn với nguy cơ trượt lở cao. Yếu tố khoảng cách đến sông phản ánh tác động của xói lở chân sườn, trong khi khoảng cách đến đường thể hiện ảnh hưởng của các hoạt động xây dựng và can thiệp nhân sinh. Trên cơ sở mười yếu tố này, phương pháp AHP được áp dụng để xác định trọng số của từng tiêu chí, qua đó lượng hóa mức độ ảnh hưởng và tích hợp vào GIS nhằm xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ trượt lở đất một cách khoa học và hợp lý. Ma trận so sánh cặp và hệ số trọng số tương ứng phản ánh mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố lên nguy cơ trượt lở được thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4. Ma trận so sánh cặp và tính trọng số của các yếu tố ảnh hưởng đến trượt lở

Yếu tố	Độ dốc	Lượng mưa	Chỉ số độ ẩm	Loại đất	Lớp phủ bề mặt	Độ cao	Mật độ thoát	Chỉ số thực vật	Khoảng cách đến	Khoảng cách đến	Trọng số
Độ dốc	1	1	2	3	3	4	4	5	6	7	0,226
Lượng mưa	1	1	2	3	3	4	4	5	6	7	0,226
Chỉ số độ ẩm	1/2	1/2	1	1	2	3	3	3	4	5	0,132
Loại đất	1/3	1/3	1	1	2	3	3	3	4	5	0,124
Lớp phủ bề mặt	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	2	2	3	3	0,076
Độ cao	1/4	1/4	1/3	1/3	1	1	2	2	3	3	0,069



Mật độ thoát nước	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	2	2	0,047
Chỉ số thực vật	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/2	1	1	2	2	0,045
Khoảng cách đến sông	1/6	1/6	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	0,029
Khoảng cách đến đường	1/7	1/7	1/5	1/5	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	0,026
Chỉ số nhất quán CR = 0,015 < 10%											

Kết quả phân tích AHP (Bảng 4) cho thấy chỉ số nhất quán CR của ma trận so sánh cặp đạt 0,015 (<10%), đảm bảo độ tin cậy và tính hợp lý của ma trận so sánh. Trong số 10 yếu tố được xem xét, độ dốc và lượng mưa (cùng có giá trị trọng số là 0,226) là những yếu tố chủ đạo, quyết định trực tiếp đến sự ổn định của sườn dốc và thường đóng vai trò tác nhân kích hoạt trượt lở. Tiếp theo, chỉ số độ ẩm (0,132) và loại đất (0,124) cũng giữ vai trò quan trọng khi ảnh hưởng đến trạng thái bão hòa và đặc tính cơ lý của đất đá. Các yếu tố còn lại như lớp phủ bề mặt (0,076) và độ cao (0,069) có tác động trung bình, trong khi mật độ thoát nước (0,047), chỉ số thực vật (0,045), khoảng cách đến sông (0,029) và khoảng cách đến đường (0,026) thể hiện mức ảnh hưởng thấp hơn. Kết quả này cho thấy nguy cơ trượt lở đất chủ yếu chịu sự chi phối của đặc điểm địa hình và điều kiện khí hậu, còn các yếu tố khác góp phần điều chỉnh và bổ sung trong quá trình đánh giá.

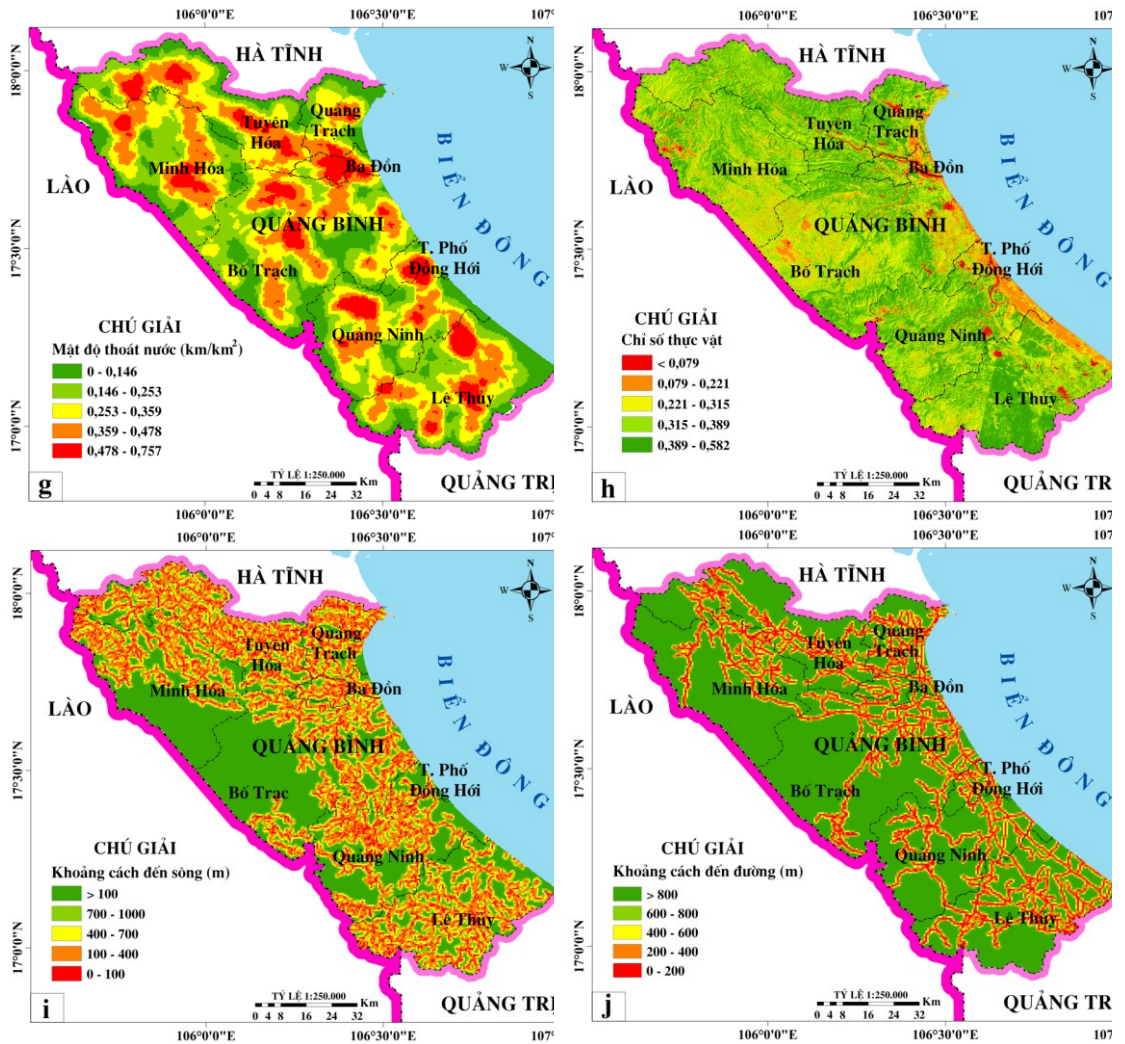
Sau khi xác định trọng số của các yếu tố bằng phương pháp AHP, bước tiếp theo là tiến hành phân cấp rủi ro cho từng yếu tố thành phần. Việc phân cấp này được thực hiện dựa trên các khoảng giá trị đặc trưng, phản ánh mức độ tác động khác nhau của từng yếu tố đến nguy cơ trượt lở đất. Cách tiếp cận này không chỉ giúp chuẩn hóa dữ liệu đầu vào, mà còn tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình tích hợp trong GIS nhằm xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ. Kết quả phân cấp cụ thể của các yếu tố thành phần được thể hiện ở Bảng 5.

Bảng 5. Trọng số và phân cấp rủi ro các yếu tố thành phần

STT	Yếu tố thành phần	Trọng số W_j	Khoảng giá trị	Phân cấp rủi ro	Nguy cơ trượt lở
1	Độ dốc (độ)	0,226	0 – 7,4	Cấp 1	Rất thấp
			7,4 – 16,65	Cấp 2	Thấp
			16,65 – 25,59	Cấp 3	Vừa phải
			25,59 – 36,7	Cấp 4	Cao
			36,7 – 78,63	Cấp 5	Rất cao
2	Lượng mưa (mm/năm)	0,226	1989,18 – 2150,22	Cấp 1	Rất thấp
			2150,22 – 2311,27	Cấp 2	Thấp
			2311,27 – 2472,31	Cấp 3	Vừa phải
			2472,31 – 2633,35	Cấp 4	Cao
			2633,35 – 2794,39	Cấp 1	Rất thấp
3	Chỉ số độ ẩm địa hình	0,132	2,04 – 5728	Cấp 1	Rất thấp
			5,728 – 7,787	Cấp 2	Thấp
			7,787 – 10,361	Cấp 3	Vừa phải
			10,361 – 13,963	Cấp 4	Cao
			13,963 – 23,914	Cấp 1	Rất thấp
4	Loại đất	0,124	Đất phù sa màu mỡ (P, vùng bồi tụ), Cồn cát, bãi cát ven sông (C, Cc), Đất đỏ nâu trên đá Mácma bazơ (Fk), Núi đá, Sông hồ	Cấp 1	Rất thấp
			Đất phù sa không được bồi (P)	Cấp 2	Thấp

STT	Yếu tố thành phần	Trọng số W_j	Khoảng giá trị	Phân cấp rủi ro	Nguy cơ trượt lở
			Đất phù sa Glây (Pg), Đất phù sa úng nước (Pj), Đất vàng đỏ trên đá Mácma axít (Fa), Đất nâu vàng trên phù sa cổ (Fp)	Cấp 3	Vừa phải
			Đất mặn (M, Mn), Đất vàng nhạt trên đá cát (Fq), Đất đỏ vàng trên đá sét (Fs)	Cấp 4	Cao
			Đất xói mòn trơ sỏi đá (E), Đất mùn vàng đỏ trên núi (Hq, Hs), Đất xám bạc màu (X, Xa, Ba)	Cấp 5	Rất cao
5	Lớp phủ bề mặt	0,076	Nước	Cấp 1	Rất thấp
			Rừng, cây lâu năm	Cấp 2	Thấp
			Đất nông nghiệp	Cấp 3	Vừa phải
			Dân cư	Cấp 4	Cao
			Đất trống	Cấp 5	Rất cao
6	Độ cao (m)	0,069	< 123	Cấp 1	Rất thấp
			123 – 315	Cấp 2	Thấp
			315 – 547	Cấp 3	Vừa phải
			547 – 811	Cấp 4	Cao
			811 - 2002	Cấp 5	Rất cao
7	Mật độ thoát nước (km/km ²)	0,047	0 – 0,146	Cấp 1	Rất thấp
			0,146 – 0,253	Cấp 2	Thấp
			0,253 – 0,359	Cấp 3	Vừa phải
			0,359 – 0,478	Cấp 4	Cao
			0,478 – 0,757	Cấp 5	Rất cao
8	Chỉ số thực vật	0,045	< 0,079	Cấp 1	Rất thấp
			0,079 – 0,221	Cấp 2	Thấp
			0,221 – 0,315	Cấp 3	Vừa phải
			0,315 – 0,389	Cấp 4	Cao
			0,389 – 0,582	Cấp 5	Rất cao
9	Khoảng cách đến sông (m)	0,029	> 1000	Cấp 1	Rất thấp
			700 – 1000	Cấp 2	Thấp
			400 – 700	Cấp 3	Vừa phải
			100 – 400	Cấp 4	Cao
			0 – 100	Cấp 5	Rất cao
10	Khoảng cách đến đường (m)	0,026	> 800	Cấp 1	Rất thấp
			600 – 800	Cấp 2	Thấp
			400 - 600	Cấp 3	Vừa phải
			200 – 400	Cấp 4	Cao
			0 – 200	Cấp 5	Rất cao

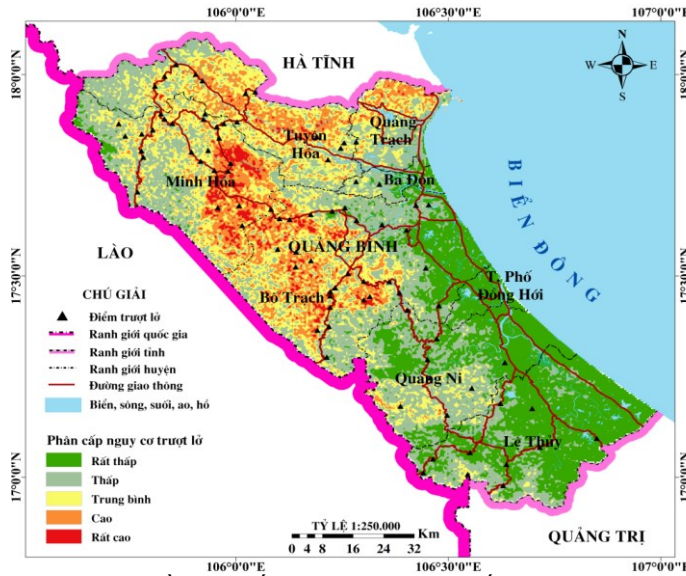
Trên cơ sở trọng số và phân cấp rủi ro của các yếu tố thành phần, các lớp dữ liệu tương ứng được chuẩn hóa và tích hợp trong môi trường GIS. Quá trình này cho phép xây dựng bản đồ của từng yếu tố riêng lẻ, thể hiện sự phân vùng nguy cơ trượt lở theo các cấp độ khác nhau. Đây là bước trung gian quan trọng nhằm trực quan hóa ảnh hưởng không gian của từng yếu tố, đồng thời tạo tiền đề cho việc tổ hợp các lớp thông tin để thành lập bản đồ nguy cơ trượt lở tổng hợp. Bản đồ các yếu tố thành phần được thể hiện trong Hình 4.



Hình 4. Bản đồ thành phần: (a) Độ dốc; (b) Lượng mưa; (c) Chỉ số độ ẩm; (d) Loại đất; (e) Lớp phủ bề mặt; (f) Độ cao; (g) Mật độ thoát nước; (h) Chỉ số thực vật; (i) Khoảng cách đến sông; (j) Khoảng cách đến đường

3.2. Thành lập bản đồ nguy cơ trượt lở đất

Trên cơ sở các bản đồ thành phần đã được xây dựng cho từng yếu tố ảnh hưởng, quá trình tích hợp nhằm thành lập bản đồ nguy cơ tổng hợp được thực hiện trong môi trường GIS. Các lớp thông tin không gian này được chuẩn hóa và chồng xếp dựa trên hệ số trọng số xác định từ phương pháp AHP, bảo đảm phản ánh mức độ đóng góp của từng yếu tố vào sự hình thành trượt lở. Kết quả tích hợp cho phép thiết lập bản đồ phân vùng nguy cơ trượt lở đất tỉnh Quang Binh (Hình 5), được tạo thành từ các bản đồ thành phần bằng phương pháp tổ hợp tuyến tính có trọng số theo công thức (3) trên phần mềm ArcGIS. Chỉ số nhạy cảm trượt lở đất (LST) tại khu vực nghiên cứu dao động từ rất thấp (1,35 – 2,3), thấp (2,3 – 2,7), trung bình (2,7 – 3,02), cao (3,02 – 3,35) đến rất cao (3,35 – 4,05). Các khu vực có chỉ số LST cao thể hiện mức độ nhạy cảm lớn hơn và có khả năng xảy ra trượt lở đất cao hơn so với các khu vực có chỉ số thấp.



Hình 5. Bản đồ phân cấp nguy cơ trượt lở đất tỉnh Quảng Bình

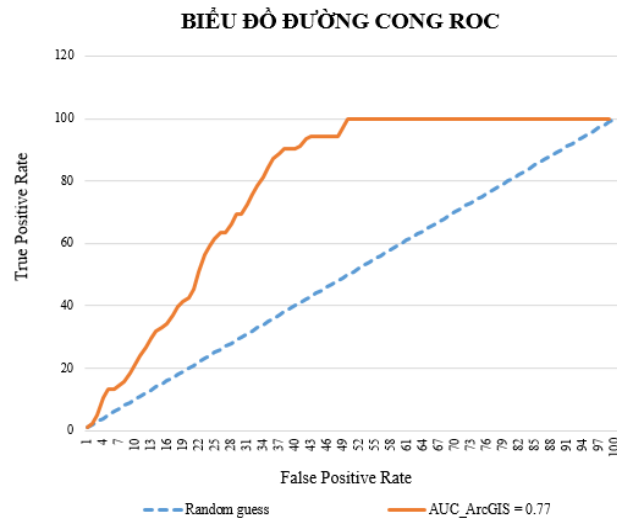
Từ bản đồ phân cấp nguy cơ trượt lở đất (Hình 5) kết hợp với số liệu thống kê trong Bảng 6 có thể nhận thấy sự phân hóa không gian rõ rệt giữa các cấp độ nguy cơ trong phạm vi nghiên cứu. Cụ thể, khu vực có nguy cơ rất thấp chiếm 28% diện tích, phân bố chủ yếu tại các dải ven biển và cửa sông với địa hình thấp, ít bị chia cắt, điển hình là xã Bảo Ninh (TP. Đồng Hới), Cảnh Dương (huyện Quảng Trạch) và Ngư Thủy Bắc (huyện Lệ Thủy). Vùng có nguy cơ thấp chiếm 33% diện tích, tập trung tại đồng bằng ven biển, khu vực đô thị và các vùng đồi thấp, tiêu biểu như nội thành TP. Đồng Hới, xã Hải Trạch (huyện Bố Trạch) và Quảng Phúc (huyện Quảng Trạch). Nguy cơ trung bình chiếm 23% diện tích, phân bố chủ yếu ở các dải đồi thấp và chân núi, nơi địa hình bị chia cắt nhẹ với độ dốc vừa phải, điển hình tại xã Hòa Trạch (huyện Bố Trạch), Gia Ninh (huyện Quảng Ninh) và An Thủy (huyện Lệ Thủy). Trong khi đó, các vùng nguy cơ cao và rất cao chiếm lần lượt 13% và 2% diện tích, chủ yếu phân bố tại khu vực núi cao, sườn dốc và các địa hình hiểm trở dọc biên giới Việt – Lào, nơi đặc trưng bởi địa chất phức tạp và mức độ chia cắt mạnh, với các điểm điển hình như xã Tân Hóa (huyện Minh Hóa), Đức Hóa (huyện Tuyên Hóa) và Tân Trạch (huyện Bố Trạch).

Bảng 6. Phân cấp diện tích có nguy cơ trượt lở đất tại Quảng Bình

Cấp nguy cơ	Diện tích	
	(Km ²)	(%)
Rất thấp	2188,537	28
Thấp	2625,590	33
Trung bình	1845,270	23
Cao	1047,830	13
Rất cao	179,782	2

Để kiểm chứng độ tin cậy của bản đồ nguy cơ trượt lở đất, nghiên cứu đã sử dụng phương pháp đánh giá bằng đường cong ROC (Receiver Operating Characteristic), một công cụ phổ biến và đáng tin cậy trong lĩnh vực địa lý – môi trường [20], [21]. Đường cong ROC được xây dựng dựa trên mối quan hệ giữa tỷ lệ dương tính thật (True Positive Rate – TPR) và tỷ lệ dương tính giả (False Positive Rate – FPR), qua đó phản ánh khả năng mô hình phân biệt giữa các khu vực có và không có hiện tượng trượt lở. Chỉ số diện tích dưới đường cong (Area Under the Curve – AUC) được sử dụng làm thước đo tổng hợp để đánh giá mức độ chính xác của mô hình. Trong nghiên cứu này, bản đồ nguy cơ trượt lở đất được xây dựng theo phương pháp AHP và chia thành năm cấp nguy cơ; 87 điểm trượt lở quan trắc được sử dụng làm mẫu kiểm định. Quá trình phân tích được thực

hiện trên ArcGIS 10.8 và Excel, cho kết quả $AUC = 0,77$. Giá trị này cho thấy bản đồ nguy cơ trượt lở đất tỉnh Quảng Bình đạt độ chính xác tương đối cao và đáng tin cậy, đáp ứng tốt mục tiêu nghiên cứu cũng như có khả năng ứng dụng trong công tác cảnh báo và quản lý rủi ro thiên tai. Theo các nghiên cứu trước đây, giá trị AUC nằm trong khoảng 0,7 – 0,8 thường được xem là thể hiện năng lực dự báo tốt [22], [23]; do đó, kết quả $AUC = 0,77$ trong nghiên cứu này hoàn toàn phù hợp và có thể sử dụng trong công tác cảnh báo, quản lý rủi ro thiên tai.



Hình 6. Đường cong ROC và phân tích giá trị AUC

4. Kết luận

Bản đồ nguy cơ trượt lở đất tỉnh Quảng Bình đã được xây dựng bằng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) kết hợp với công nghệ viễn thám và GIS. Nghiên cứu xem xét 10 yếu tố chính gồm: chỉ số độ ẩm địa hình, độ cao, độ dốc, lượng mưa, lớp phủ thực vật, chỉ số thực vật), khoảng cách đến sông, khoảng cách đến đường, mật độ thoát nước và loại đất. Các bản đồ thành phần được chuẩn hóa và tính toán dưới dạng raster để xác định chỉ số nhạy cảm trượt lở đất (LSI), từ đó phân chia thành 5 cấp độ nguy cơ. Kết quả cho thấy diện tích có nguy cơ rất thấp chiếm 2.188,537 km² (28%), nguy cơ thấp chiếm 2.625,590 km² (33%), nguy cơ trung bình chiếm 1.845,270 km² (23%), nguy cơ cao chiếm 1.047,830 km² (13%) và nguy cơ rất cao chiếm 179,782 km² (2%).

Những kết quả này khẳng định ý nghĩa khoa học và thực tiễn của việc xây dựng bản đồ nguy cơ trượt lở đất. Bản đồ không chỉ cung cấp cơ sở dữ liệu đáng tin cậy cho các nhà quản lý và quy hoạch trong công tác phòng tránh, giảm thiểu thiệt hại mà còn hỗ trợ định hướng phát triển dân cư, hạ tầng giao thông theo hướng bền vững và an toàn. Với việc sử dụng nguồn dữ liệu phổ biến, dễ tiếp cận, phương pháp nghiên cứu này hoàn toàn có thể mở rộng áp dụng cho các khu vực khác, qua đó nâng cao hiệu quả quản lý rủi ro thiên tai trên phạm vi rộng hơn.

Tuy nhiên, để cải thiện độ chính xác và giá trị ứng dụng, cần tích hợp thêm các nguồn dữ liệu có độ phân giải cao như ảnh viễn thám độ phân giải cao/siêu cao, ảnh UAV, hay DEM chi tiết nhằm phản ánh tốt hơn đặc trưng địa hình. Bên cạnh đó, nghiên cứu hiện tại mới chủ yếu tập trung vào các yếu tố tự nhiên, trong khi trượt lở đất còn chịu tác động đáng kể từ các hoạt động nhân sinh như xây dựng, mở đường, khai thác tài nguyên và thay đổi lớp phủ thực vật. Do đó, các nghiên cứu tiếp theo nên bổ sung và phân tích đồng thời cả các yếu tố nhân sinh để hoàn thiện bản đồ nguy cơ trượt lở, nâng cao độ tin



cậy và giá trị ứng dụng trong công tác quản lý, quy hoạch phát triển kinh tế – xã hội bền vững.

Tài liệu tham khảo

- [1] Đất trượt là gì? Nguyên nhân, tác hại và cách phòng tránh. Trang web online: <https://www.vaidiakythuat.info>.
- [2] Nguyen Thanh Long, Florimond De Smedt, “Analysis and Mapping of Rainfall-Induced Landslide Susceptibility in A Luoi District, Thua Thien Hue Province, Vietnam”, *Water*, Vol. 11(1), 2019, 51.
- [3] Nguyen Huu Thang, Satoshi Suzuki, Kazunori Hayashi, Nguyen Quoc Dinh, Nguyen Van Tao, Shinro Abe, “Geologic controls and rainfall thresholds for landslide occurrence in northern Vietnam”, *Journal of the Japan Landslide Society*, Vol. 61(5), 2024, 175–185.
- [4] Paola Reichenbach, Mauro Rossi, Bruce D. Malamud, Monika Mihir, Fausto Guzzetti, “A review of statistically-based landslide susceptibility models”, *Earth-Science Reviews*, Vol. 180, 2018, 60–91.
- [5] Fausto Guzzetti, Alessandro Carrara, Mauro Cardinali, Paola Reichenbach, “Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy”, *Geomorphology*, Vol. 31, 1999, 181–216.
- [6] Landslide, Wikipedia, Trang web online: <https://en.wikipedia.org/wiki/Landslide>.
- [7] Landslide classification, Wikipedia, Trang web online: https://en.wikipedia.org/wiki/Landslide_classification.
- [8] Leulalem Shano, Tarun Kumar Raghuvanshi, Matebie Meten, “Landslide susceptibility evaluation and hazard zonation techniques – a review”, *Geoenvironmental disasters*, Vol. 7(18), 2020.
- [9] Paola Reichenbach, Mauro Rossi, Bruce D. Malamud, Monika Mihir, Fausto Guzzetti, “A review of statistically-based landslide susceptibility models”, *Earth-Science Reviews*, Vol. 180, 2018, 60–91.
- [10] Biswajeet Pradhan, Saro Lee, “Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling”, *Environmental Modelling & Software*, Vol. 25, 2010, 747–759.
- [11] Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill.
- [12] Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., & Ardizzone, F. (2006). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 72(1-4), 272–299.
- [13] 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.
- [14] DIVA-GIS. Download Data by Country. Trang web online: <http://www.diva-gis.org/Download>.
- [15] OpenTopography. Trang web online: <https://www.opentopography.org>.
- [16] USGS. Cục khảo sát địa chất Hoa Kỳ - Landsat Satellite Data. Trang web online: <https://earthexplorer.usgs.gov>.
- [17] FAO. Trang web online: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/>.
- [18] CRU. Cơ quan nghiên cứu khí hậu. Trang web online: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>.
- [19] Công ty TNHH MTV Trắc địa bản đồ. Trang web online: <https://www.samcom.com.vn/>.
- [20] Naceur, I. B., Essghaier, R., & Abbes, A. B. (2022). Performance assessment of landslide susceptibility models using statistical and machine learning methods in the N'fis watershed, Morocco. *Geoscience Letters*, 9(1), 1–13.
- [21] Deng, Y., Li, Z., Guo, P., & Chen, W. (2017). Validation of spatial prediction models for landslide susceptibility mapping using the area under the curve (AUC) and prediction rate methods. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(4), 103.
- [22] Yesilnacar, E., & Topal, T. (2005). Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks method in a medium-scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 79(3–4), 251–266. <https://doi.org/10.3390/app10051741>
- [23] Zhao, T. (2024). Landslide susceptibility mapping using an improved convolutional neural network model: A case study in the Three Gorges Reservoir area, China. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 18(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/19475705.2024.2409198>

