



Journal of Mining and Earth Sciences

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

Landslide susceptibility zonation using geospatial techniques and Analytical Hierarchy Process: A case study in Muong Lay town and its vicinity



Liem Duy Nguyen ^{1,*}, Luc Manh Nguyen ², Thanh Van Duong ², Anh Ngoc Thi Tran², Anh Ngoc Thi Phung ²

¹ Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam

² Institute of Geophysics, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25th Dec. 2022

Revised 04th Apr. 2023

Accepted 25th Apr. 2023

Keywords:

Analytical Hierarchy Process,
Landslide,
Muong Lay town,
Geospatial techniques.

ABSTRACT

This study demonstrates an integrated approach of remote sensing, geographic information system (GIS), and Analytical Hierarchy Process (AHP) method to create a landslide susceptibility map for Muong Lay town and its vicinity in Northern midland and mountainous of Vietnam. Nine landslide-related factors, including petrological composition, active fault density, slope, drainage density, the difference in height per unit area, land cover, soil texture, maximum daily rainfall, and earthquake density were created using ground or remotely sensed data in a GIS environment. Weight for each factor was assigned using AHP depending on its relative importance in landslide occurrence in the study area through literature review. The landslide susceptibility map was generated using a weighted linear combination method in GIS and categorized into five susceptible classes namely, very low, low, moderate, high, and very high using quantile classification. The results revealed that 29% of the study area is at very low susceptibility, 24% at low susceptibility, 21% of moderate susceptibility, 15% of high susceptibility, and 11% of very high susceptibility area coverage. The effectiveness of these results was checked by computing the area under Receiver Operating Characteristic curve (AUC) which showed a satisfactory result of 63.3%. Most of the recorded landslide events were located in high and very high susceptibility areas. These findings could be useful to planners and decision-makers in land use planning and slope management to prevent or reduce future landslides.

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

*Corresponding author

E - mail: nguyenduyliem@hcmuaf.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2023.64(2).02



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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

Phân vùng nhạy cảm trượt lở đất sử dụng công nghệ địa không gian và tiến trình phân tích thứ bậc: Trường hợp nghiên cứu tại thị xã Mường Lay và vùng phụ cận

Nguyễn Duy Liêm^{1,*}, Nguyễn Mạnh Lực², Dương Văn Thành², Trần Thị Ngọc Ánh², Phùng Thị Ngọc Anh²

¹ Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

² Viện Vật lý Địa cầu, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

TÓM TẮT

Quá trình:

Nhận bài 25/12/2022

Sửa xong 04/4/2023

Chấp nhận đăng 25/4/2023

Từ khóa:

Công nghệ địa không gian,
Tiến trình phân tích thứ bậc,
Thị xã Mường Lay,
Trượt lở đất.

Nghiên cứu này trình bày một cách tiếp cận tích hợp viễn thám, hệ thống thông tin địa lý (GIS) và tiến trình phân tích thứ bậc (AHP) để phân vùng nhạy cảm trượt lở đất cho thị xã Mường Lay và vùng phụ cận thuộc Trung du và miền núi phía Bắc. Chín tiêu chí liên quan đến trượt lở đất, bao gồm: thạch học, mật độ đứt gãy hoạt động, độ dốc, phân cắt sâu, phân cắt ngang, lớp phủ mặt đất, thành phần cơ giới đất, lượng mưa ngày lớn nhất và mật độ động đất được tạo ra bằng cách sử dụng dữ liệu quan trắc mặt đất hoặc cảm biến từ xa trong môi trường GIS. Trọng số của mỗi tiêu chí được xác định bằng cách sử dụng AHP tùy thuộc vào tầm quan trọng tương đối đến việc xuất hiện trượt lở đất tại khu vực nghiên cứu thông qua tổng quan tài liệu. Bản đồ nhạy cảm trượt lở đất được tạo ra bằng phương pháp kết hợp tuyến tính có trọng số trong GIS và được phân loại thành năm cấp nhạy cảm là rất thấp, thấp, trung bình, cao và rất cao theo phương pháp phân loại phân vi. Kết quả cho thấy diện tích có cấp nhạy cảm rất thấp, thấp, trung bình, cao và rất cao lần lượt là 29%, 24%, 21%, 15% và 11%. Độ chính xác của các kết quả này ở mức chấp nhận với diện tích dưới đường cong thu nhận (AUC) là 63,3%. Hầu hết các sự kiện trượt lở đất được ghi nhận đều nằm ở các khu vực có độ nhạy cảm cao và rất cao. Những phát hiện này có thể hữu ích cho các nhà quy hoạch và ra quyết định trong việc lập kế hoạch sử dụng đất và quản lý độ dốc để ngăn ngừa hoặc giảm thiểu trượt lở đất trong tương lai.

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

*Tác giả liên hệ

E - mail: nguyenduyliem@hcmuaf.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2023.64(2).02

1. Mở đầu

Trượt lở đất (TLĐ) là một thuật ngữ chung được sử dụng để mô tả sự dịch chuyển xuống dốc của khối đất, đá và các vật liệu hữu cơ dưới tác dụng của trọng lực (Highland & Bobrowsky,

2008). Hiện tượng này xảy ra do các yếu tố kích hoạt như lượng mưa lớn hoặc kéo dài, động đất, tuyết tan nhanh và các hoạt động nhân tạo tác động (Mersha & Meten, 2020). TLĐ là một loại hình thiên tai phổ biến trên thế giới, đặc biệt tại các khu vực miền núi, gây ra thương vong đáng kể về người, thiệt hại về tài sản và cơ sở hạ tầng.

Tính nhạy cảm TLĐ là khả năng xảy ra TLĐ trên một khu vực dựa trên điều kiện địa hình tại khu vực đó (Reichenbach và nnk., 2018). Cho phép dự đoán những vị trí có thể xảy ra TLĐ, làm cơ sở cho quá trình đánh giá rủi ro TLĐ và hỗ trợ đắc lực cho công tác phòng chống thiên tai địa chất (Yong và nnk., 2022). Có thể phân loại các cách tiếp cận nghiên cứu tính nhạy cảm TLĐ thành ba loại: phương pháp dựa trên tri thức, mô hình hướng dữ liệu và mô hình vật lý xác định (Yong và nnk., 2022). Phương pháp dựa trên tri thức sử dụng kinh nghiệm của các chuyên gia nên mang tính chủ quan và có thể không chính xác. Mô hình hướng dữ liệu chủ yếu dựa trên lý thuyết phân tích thống kê nên tương đối đơn giản vì nó đơn giản hóa các yếu tố ảnh hưởng và kiểm soát của các tai biến địa chất mà bỏ qua phân tích các động lực, cơ chế gây ra tai biến địa chất. Đồng thời, mô hình này phụ thuộc nhiều vào chất lượng dữ liệu nên nếu dữ liệu đầu vào thiếu chính xác sẽ có thể dẫn đến sai số lớn trong kết quả. Mô hình vật lý xác định sử dụng phương trình cơ học mô tả quá trình vật lý để phân tích TLĐ. Phương pháp này được áp dụng chủ yếu cho các dạng TLĐ tương đối đơn giản và các thuộc tính vật lý cơ bản của đối tượng nghiên cứu là khá đồng nhất. Phương pháp này phụ thuộc vào các định luật vật lý và có thể phân tích các yếu tố chính, nhưng nó có yêu cầu cao về các thông số nên chỉ phù hợp cho các nghiên cứu ở quy mô nhỏ.

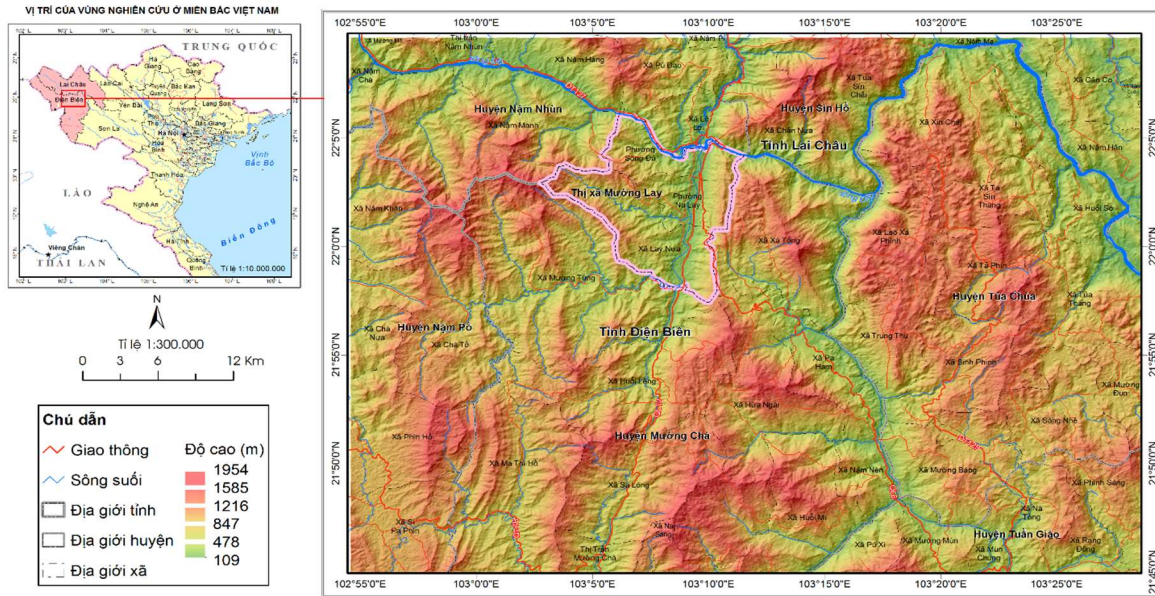
Tại Việt Nam, do địa hình chủ yếu là đồi núi dốc và khí hậu mang tính chất nhiệt đới gió mùa ẩm nên TLĐ diễn ra phổ biến vào mùa mưa và được xếp vào loại thiên tai nguy hiểm (Đoàn và nnk., 2020). Hầu hết các nghiên cứu về TLĐ ở nước ta tập trung tại các khu vực: trung du và miền núi phía Bắc, duyên hải miền Trung và Tây Nguyên. Phương pháp thống kê, học máy thường được sử dụng để đánh giá nguy cơ TLĐ trên quy mô không gian rộng lớn. Tuy nhiên, loại bản đồ này chỉ cung cấp thông tin về “nơi” có khả năng TLĐ mà không cho biết “khi nào” và “tần suất” TLĐ có thể xảy ra. Ngoài ra, việc thu thập, xây dựng cơ

sở dữ liệu về TLĐ chưa được quan tâm đúng mức dẫn đến thiếu thông tin về vị trí và thời điểm xảy ra TLĐ.

Điện Biên là một trong những tỉnh miền núi Tây Bắc chịu ảnh hưởng của TLĐ, gây ra do tác động của các yếu tố tự nhiên, môi trường và xã hội. Trong năm 2016, Đề án “Điều tra, đánh giá và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá các vùng miền núi Việt Nam” do Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản chủ trì đã hoàn thành điều tra và thành lập bản đồ hiện trạng TLĐ tỷ lệ 1:50.000 tại tỉnh Điện Biên. Áp dụng phương pháp đánh giá đa tiêu chí kết hợp với kiến thức chuyên gia, các yếu tố tác nhân tương ứng với 8 lớp bản đồ thành phần đã được sử dụng làm số liệu đầu vào chính cho mô phỏng nguy cơ TLĐ, bao gồm: độ dốc địa hình, mật độ sông suối, mật độ phân cắt ngang, mật độ lineament (đứt gãy, đới phá hủy, khe nứt kiến tạo), kiểu vỏ phong hóa, độ bền kháng cắt của đất đá, mức độ chứa nước của tầng nước ngầm, thảm phủ và biến động thảm phủ (Trịnh, 2017).

Khu vực nghiên cứu có diện tích 2.766 km² nằm phía bắc tỉnh Điện Biên giáp với tỉnh Lai Châu bao gồm toàn bộ thị xã Mường Lay, một phần huyện các Mường Chà, Nậm Pồ, Tủa Chùa của tỉnh Điện Biên và một phần các huyện Nậm Nhùn, Sìn Hồ của tỉnh Lai Châu (Hình 1). Tại khu vực này, TLĐ chủ yếu xảy ra trên địa hình sườn nhân tạo theo kiểu trượt xoay với nhiều quy mô khác nhau. TLĐ xảy ra rất mạnh dọc Quốc lộ 6 và 12, đặc biệt là trong giai đoạn xây dựng thủy điện Sơn La khi mật độ giao thông tăng cao do vận chuyển vật liệu xây dựng. Ngoài ra, còn xảy ra ở các tuyến đường liên huyện, liên thôn, nhất là những con đường mới mở. TLĐ xảy ra hầu hết trong đất đá phong hóa dọc theo các vách taluy đường dốc 40°, một số ít xảy ra trên mái sườn dốc 45°. Các vết trượt có hình thái khá đa dạng nhưng phổ biến dạng vòng cung, phẳng ngược, lòng máng. TLĐ không chỉ xảy ra ở các khu vực taluy dương mà còn xuất hiện ở taluy âm, gần đường giao thông, gây rủi ro cho hoạt động giao thông và khó khăn trong công tác khắc phục hậu quả sau TLĐ.

Mục tiêu của nghiên cứu là tích hợp viễn thám, hệ thống thông tin địa lý (GIS) và tiến trình phân tích thứ bậc (AHP) để phân vùng nhạy cảm TLĐ cho thị xã Mường Lay và vùng phụ cận. Phương pháp AHP được sử dụng để lượng hóa ảnh hưởng của các tiêu chí tiền đề, kích hoạt đến



Hình 1. Vị trí thị xã Mương Lay và vùng phụ cận.

việc xuất hiện TLĐ tại khu vực nghiên cứu. Công nghệ viễn thám được sử dụng để cập nhật hiện trạng lớp phủ mặt đất trong năm 2021 và cải thiện chất lượng dữ liệu lượng mưa ở độ phân giải không gian 4 km, trong khoảng thời gian 20 năm (2001÷2020) với tần suất ngày. Cuối cùng, công nghệ GIS được sử dụng để xây dựng các lớp dữ liệu địa lý cho các tiêu chí đánh giá TLĐ và thành lập bản đồ nhạy cảm TLĐ.

2. Dữ liệu và phương pháp

2.1. Dữ liệu

Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau với thông tin mô tả chi tiết được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu.

TT	Dữ liệu	Nguồn	Mô tả
1	Mô hình độ cao số (DEM) ASTER GDEM v.3	NASA/METI/AIST/Japan Space Systems, U.S./Japan ASTER Science Team	Năm 2019, độ phân giải không gian 30 m
2	Bản đồ địa chất	Viện Địa chất	Tỉ lệ bản đồ 1/50.000
3	Bản đồ đứt gãy hoạt động	Viện Vật lý địa cầu	Năm 2018, tỉ lệ bản đồ 1/200.000
4	Bản đồ đất	Viện Thổ nhưỡng Nông hóa	Năm 1976, tỉ lệ bản đồ 1/1.000.000
5	Số liệu lượng mưa	PERSIANN Dynamic Infrared-Rain Rate (Lượng mưa ước tính từ viễn thám sử dụng mạng thần kinh nhân tạo - Tỷ lệ mưa hồng ngoại động gần thời gian thực)	Giai đoạn: 1/1/2001÷31/12/2020, tần suất ngày, độ phân giải không gian 4 km
6	Bản đồ động đất	Viện Vật lý Địa cầu	Năm 2018
7	Ảnh vệ tinh Sentinel-2	European Space Agency (ESA)	Ảnh đa phổ, xử lý mức độ 2A, giai đoạn: 1÷9/2021, độ phân giải không gian 10 m
8	Bản đồ hiện trạng trượt lở đất	Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản	Tỉ lệ bản đồ 1/50.000

2.2. Phương pháp

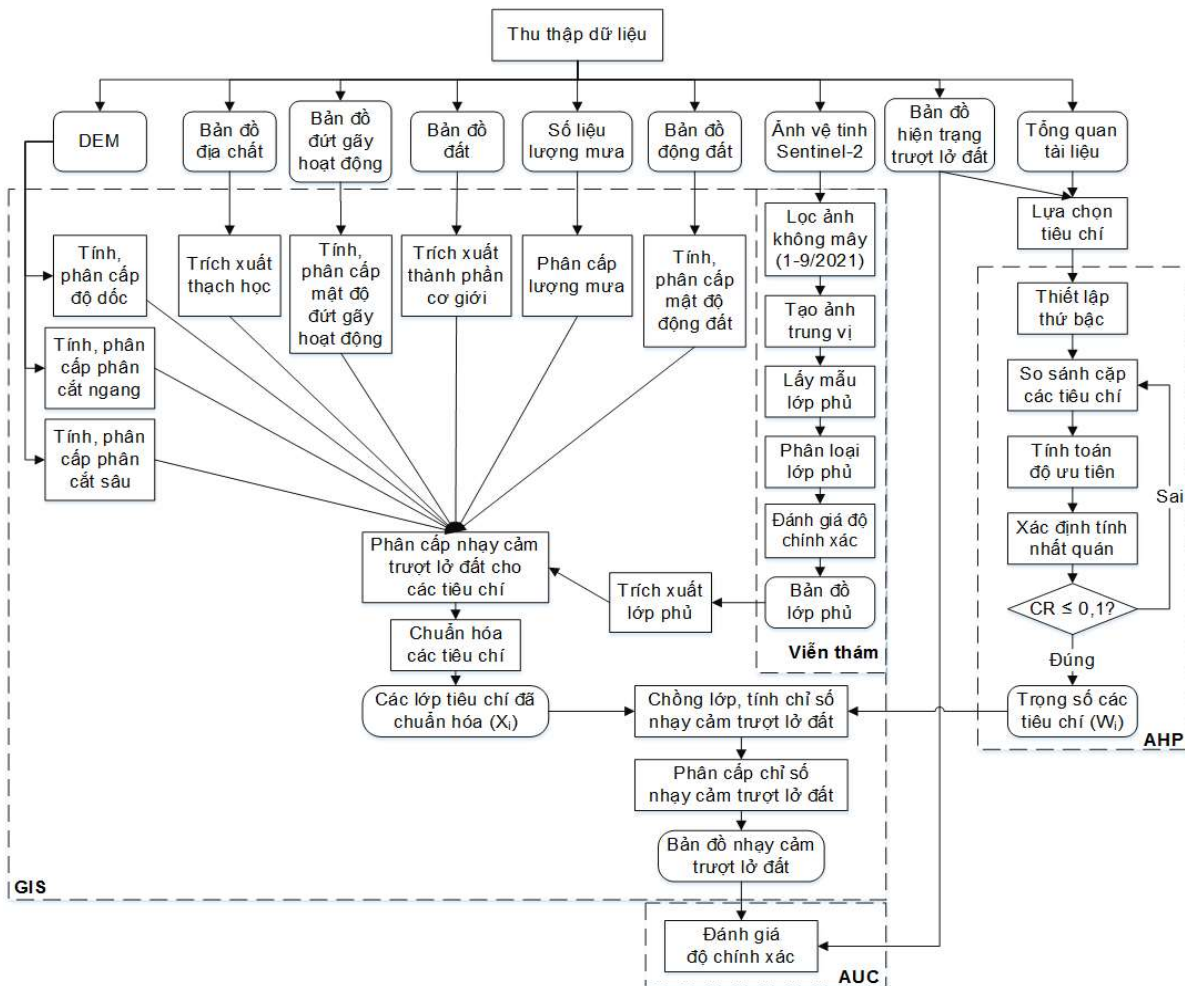
Nghiên cứu sử dụng kết hợp các phương pháp bao gồm: GIS, viễn thám, AHP, đường cong thu nhận (Receiver Operating Characteristic-ROC) với tiến trình thực hiện như Hình 2. Theo đó, dựa trên mục tiêu nghiên cứu, tiến hành thu thập dữ liệu bao gồm: DEM, bản đồ địa chất, bản đồ đứt gãy hoạt động, bản đồ đất, số liệu lượng mưa, bản đồ động đất, ảnh vệ tinh Sentinel-2, bản đồ hiện trạng trượt lở đất.

Căn cứ vào đặc điểm trượt lở đất của vùng nghiên cứu và tổng quan tài liệu, các tiêu chí đánh giá được lựa chọn bao gồm: thạch học, mật độ đứt gãy hoạt động, độ dốc, phân cắt sâu, phân cắt ngang, lớp phủ mặt đất, thành phần cơ giới đất, lượng mưa ngày lớn nhất, và mật độ động đất. Bộ

trọng số tiêu chí được tính toán theo phương pháp AHP.

Các lớp dữ liệu tương ứng với tiêu chí độ dốc, phân cắt ngang, phân cắt sâu, mật độ đứt gãy hoạt động, mật độ động đất được tính, phân cấp từ DEM, bản đồ đứt gãy hoạt động, bản đồ động đất. Lớp dữ liệu thạch học, thành phần cơ giới được trích xuất lần lượt từ bản đồ địa chất, đất. Lớp dữ liệu lượng mưa ngày lớn nhất được phân cấp từ số liệu lượng mưa. Lớp dữ liệu lớp phủ được phân loại có giám định từ ảnh vệ tinh.

Các tiêu chí trên sau đó được phân cấp nhạy cảm trượt lở đất trên cơ sở tham khảo tài liệu. Từ những lớp phân loại tiêu chí, các tiêu chí được chuẩn hóa. Tiếp theo, lớp chuẩn hóa tiêu chí được chồng lớp theo trọng số trong GIS. Sau đó, kết quả chỉ số nhạy cảm trượt lở đất được phân cấp lại, cho ra bản đồ nhạy cảm trượt lở đất.



Hình 2. Tiến trình phân vùng nhạy cảm trượt lở đất.

Cuối cùng, bản đồ nhạy cảm trượt lở đất được chồng lớp với bản đồ hiện trạng trượt lở đất để đánh giá độ chính xác bằng diện tích dưới đường cong thu nhận (AUC).

2.2.1. Tính toán trọng số các tiêu chí ảnh hưởng đến TLĐ

Sử dụng phương pháp AHP, nghiên cứu đã xây dựng hệ thống phân cấp ba bậc cho 9 yếu tố. Cấp I gồm 2 tiêu chí là: tiền đề và kích hoạt. Nhóm tiền đề gồm các tiêu chí cấp II: địa chất, địa mạo,

lớp phủ mặt đất, thành phần cơ giới đất. Nhóm kích hoạt gồm các tiêu chí cấp II: lượng mưa ngày lớn nhất, mật độ động đất. Nhóm địa chất gồm các tiêu chí cấp III: thành phần thạch học, mật độ đứt gãy hoạt động. Nhóm địa mạo gồm các tiêu chí cấp III: độ dốc, phân cắt sâu, phân cắt ngang. Sau đó, tiến hành xây dựng ma trận so sánh cặp giữa các tiêu chí ở cùng cấp trong cùng nhánh với nhau theo thang tầm quan trọng của Saaty (1980) dựa trên tham khảo ý kiến của các chuyên gia địa chất với kết quả như các Bảng 2÷6.

Bảng 2. Ma trận so sánh cặp cấp I giữa tiền đề và kích hoạt.

Tiêu chí	Tiền đề	Kích hoạt
Tiền đề	1	2
Kích hoạt	1/2	1

Bảng 3. Ma trận so sánh cặp cấp II trong nhóm tiền đề.

Tiêu chí	Địa chất	Địa mạo	Lớp phủ mặt đất	Thành phần cơ giới đất
Địa chất	1	1	3	2
Địa mạo	1	1	3	3
Lớp phủ mặt đất	1/3	1/3	1	1
Thành phần cơ giới đất	1/2	1/3	1	1

Bảng 4. Ma trận so sánh cặp cấp II trong nhóm kích hoạt.

Tiêu chí	Lượng mưa ngày lớn nhất	Mật độ động đất
Lượng mưa ngày lớn nhất	1	2
Mật độ động đất	1/2	1

Bảng 5. Ma trận so sánh cặp cấp III trong nhóm địa chất.

Tiêu chí	Thạch học	Mật độ đứt gãy hoạt động
Thạch học	1	3
Mật độ đứt gãy hoạt động	1/3	1

Bảng 6. Ma trận so sánh cặp cấp III trong nhóm địa mạo.

Tiêu chí	Độ dốc	Phân cắt sâu	Phân cắt ngang
Độ dốc	1	4	6
Phân cắt sâu	1/4	1	2
Phân cắt ngang	1/6	1/2	1

Bảng 7. Trọng số tổng hợp của các tiêu chí ảnh hưởng đến TLĐ.

TT	Tiêu chí	Trọng số	Thứ hạng
1	Thạch học	0,174	3
2	Mật độ đứt gãy hoạt động	0,058	7
3	Độ dốc	0,179	2
4	Phân cắt sâu	0,049	8
5	Phân cắt ngang	0,027	9
6	Lớp phủ mặt đất	0,085	6
7	Thành phần cơ giới đất	0,095	5
8	Lượng mưa ngày lớn nhất	0,222	1
9	Mật độ động đất	0,111	4

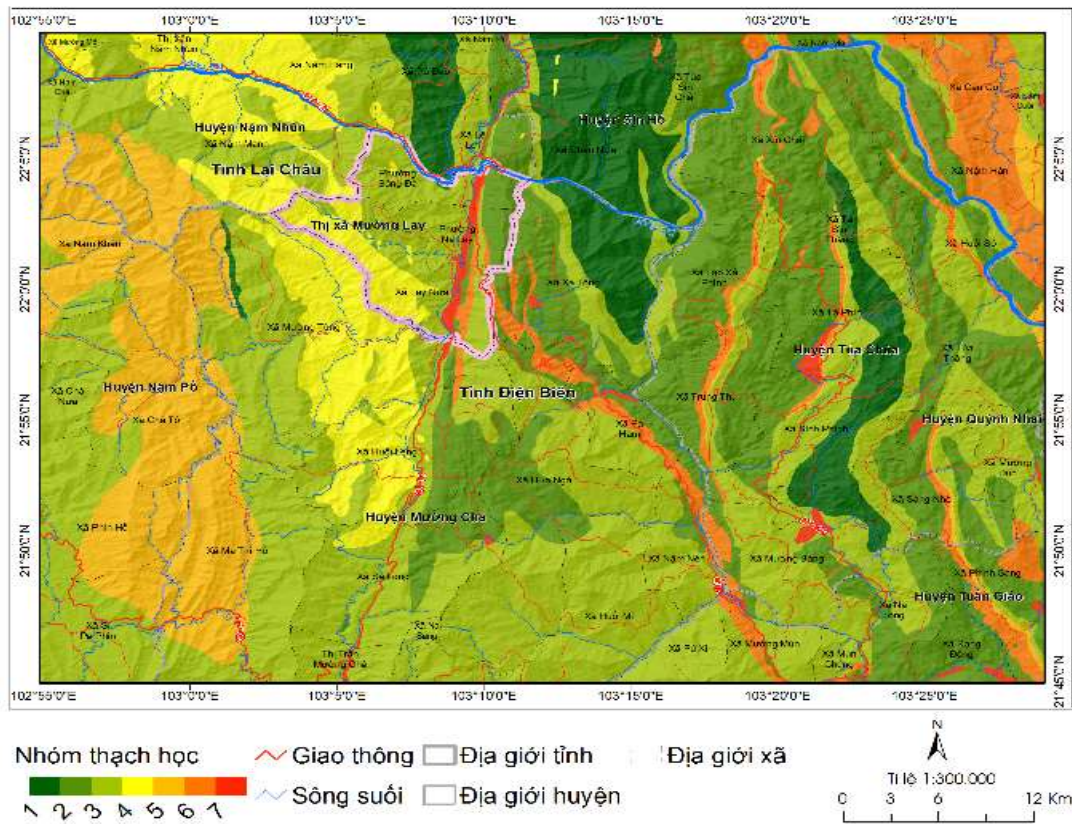
Dựa vào ma trận so sánh cặp, xác định mức độ ưu tiên của các tiêu chí và mức độ nhất quán của ma trận so sánh cặp. Theo đó, giá trị của tỉ số nhất quán của tất cả ma trận so sánh cặp đều nhỏ hơn 0,1 nên bộ trọng số tính toán được chấp nhận. Lượng mưa ngày lớn nhất ảnh hưởng lớn nhất đến TLĐ, sau đó là độ dốc, thành phần thạch học, mật độ động đất (Bảng 7).

2.2.2. Phân cấp nhạy cảm TLĐ cho các tiêu chí

a) Thạch học

Sự ổn định của sườn dốc phụ thuộc chủ yếu vào thành phần đất đá, các đá có độ bền thấp dễ có xu hướng phong hóa thành các vật liệu kém bền vững và mỗi loại đất đá có tính thấm khác nhau. Từ bản đồ địa chất, các hệ tầng có cùng thành phần đất đá được gộp thành các nhóm có đặc điểm giống nhau bằng công cụ Merge trên phần mềm ArcGIS 10.2 (Hình 3). Mức độ ảnh hưởng của thành phần thạch học đến TLĐ tỉ lệ thuận với số trận trượt lở đất ghi nhận trong quá khứ (Bảng 8).

b) Mật độ đứt gãy hoạt động



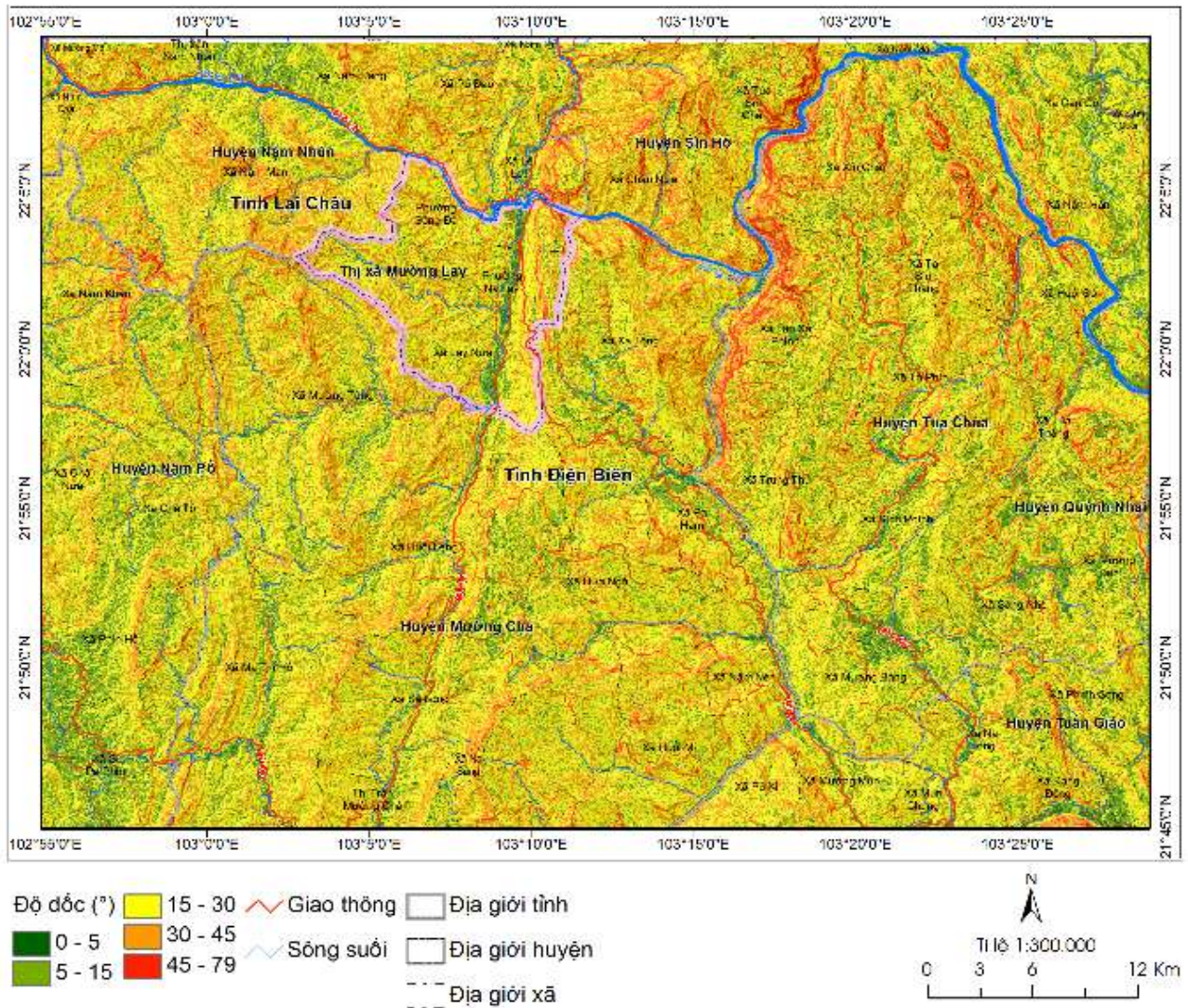
Hình 3. Bản đồ thạch học khu vực nghiên cứu.

Bảng 8. Phân bố thạch học khu vực nghiên cứu.

Thạch học	Nhóm	Diện tích (km ²)	Tỷ lệ (%)	Mức độ ảnh hưởng
Đá biến chất giàu Alumosilicat	1	215,3	7,78	Trung bình
Đá giàu cacbonat	2	658,1	23,79	Thấp
Đá biến chất và trầm tích lục nguyên giàu thạch anh	3	1.156,7	41,82	Rất cao
Đá xâm nhập axit trung tính	4	232,0	8,39	Trung bình
Đá trầm tích lục nguyên giàu Alimosilicat	5	329,7	11,92	Thấp
Đá phun trào mafic và tuf	6	154,8	5,60	Cao
Đá bờ rời-hệ đệ tứ Q	7	19,4	0,70	Rất thấp

Đứt gãy hoạt động là một yếu tố quan trọng gây ra trượt lở đất. Trong cùng một loại đất đá, TLĐ dễ phát sinh ở những đới dập vỡ, nứt nẻ vì ở đây đất đá thường bị phong hóa, dễ bão hòa nước nên có độ bền chống cắt thấp. Mức độ dập vỡ, nứt nẻ của đất đá thường là do quá trình phá hủy kiến

tạo như các đứt gãy kiến tạo, các đới xiết ép và các quá trình phong hóa. Từ bản đồ đứt gãy hoạt động, tính toán mật độ đứt gãy hoạt động bằng công cụ Kernel Density trên phần mềm ArcGIS 10.2 (Hình 4) và phân cấp mức độ ảnh hưởng đến TLĐ (Bảng 9).



Hình 4. Bản đồ mật độ đứt gãy hoạt động khu vực nghiên cứu.

Bảng 9. Phân bố mật độ đứt gãy hoạt động khu vực nghiên cứu.

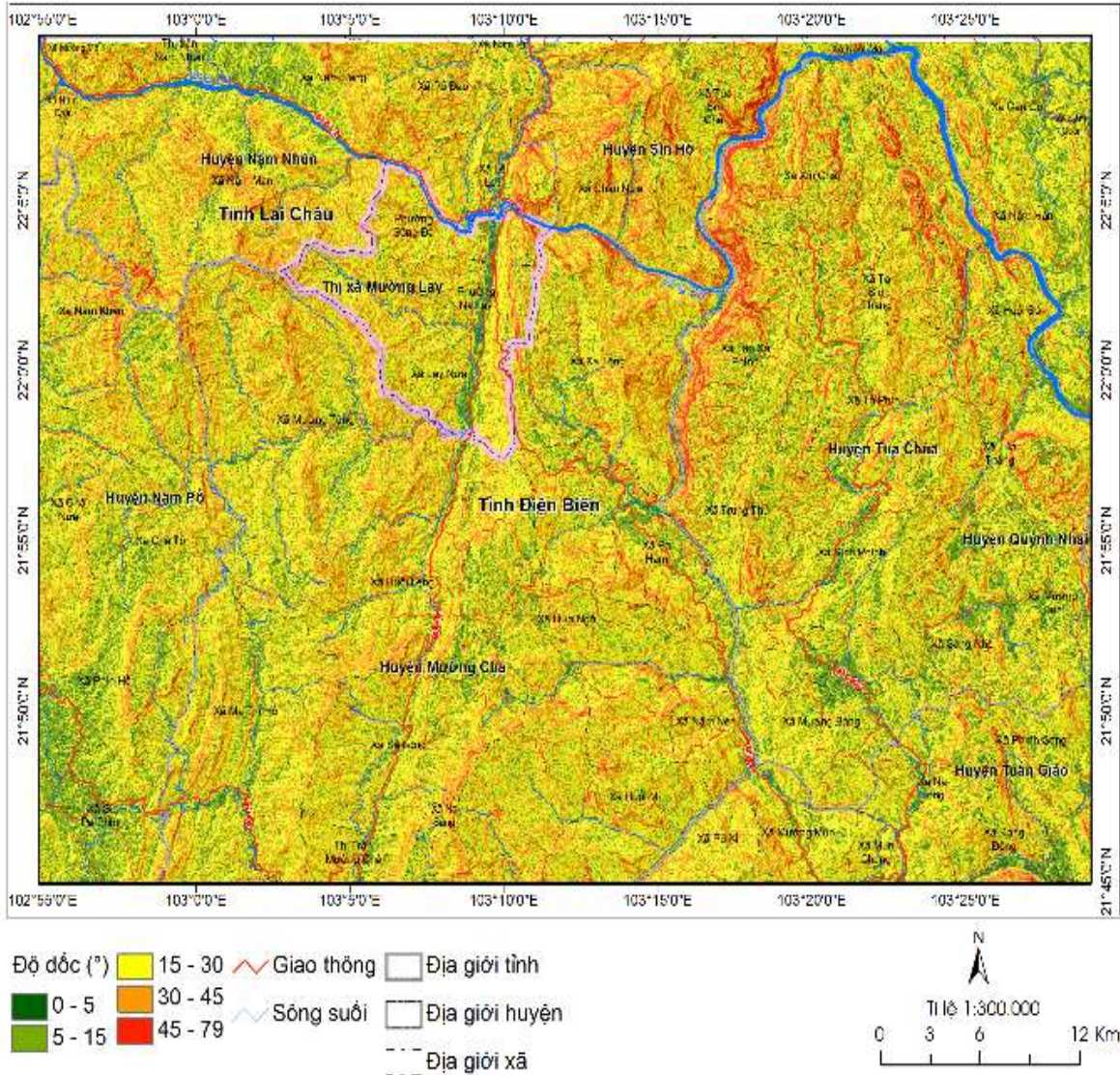
Mật độ đứt gãy hoạt động (km/km ²)	Diện tích (km ²)	Tỷ lệ (%)	Mức độ ảnh hưởng
0,00-0,01	521,15	18,84	Rất thấp
0,01-0,39	573,85	20,75	Thấp
0,39-0,54	564,21	20,40	Trung bình
0,54-0,61	552,54	19,98	Cao
0,61-0,65	554,25	20,04	Rất cao

c) Độ dốc

Độ dốc địa hình là một yếu tố có vai trò quyết định đến sự hình thành và phát triển TLĐ. Từ DEM, tính toán độ dốc bằng công cụ Slope trên phần mềm ArcGIS 10.2 (Hình 5) và phân cấp mức độ ảnh hưởng đến TLĐ (Bảng 10).

d) Phân cắt sâu

Độ cao tương đối của địa hình là biên độ dao động về độ cao của bề mặt đất, nghĩa là độ chênh cao tương đối giữa đỉnh địa hình dương với đáy của các địa hình âm gần nhất. Yếu tố này thể hiện vai trò thế năng của địa hình. Khi độ cao tương đối



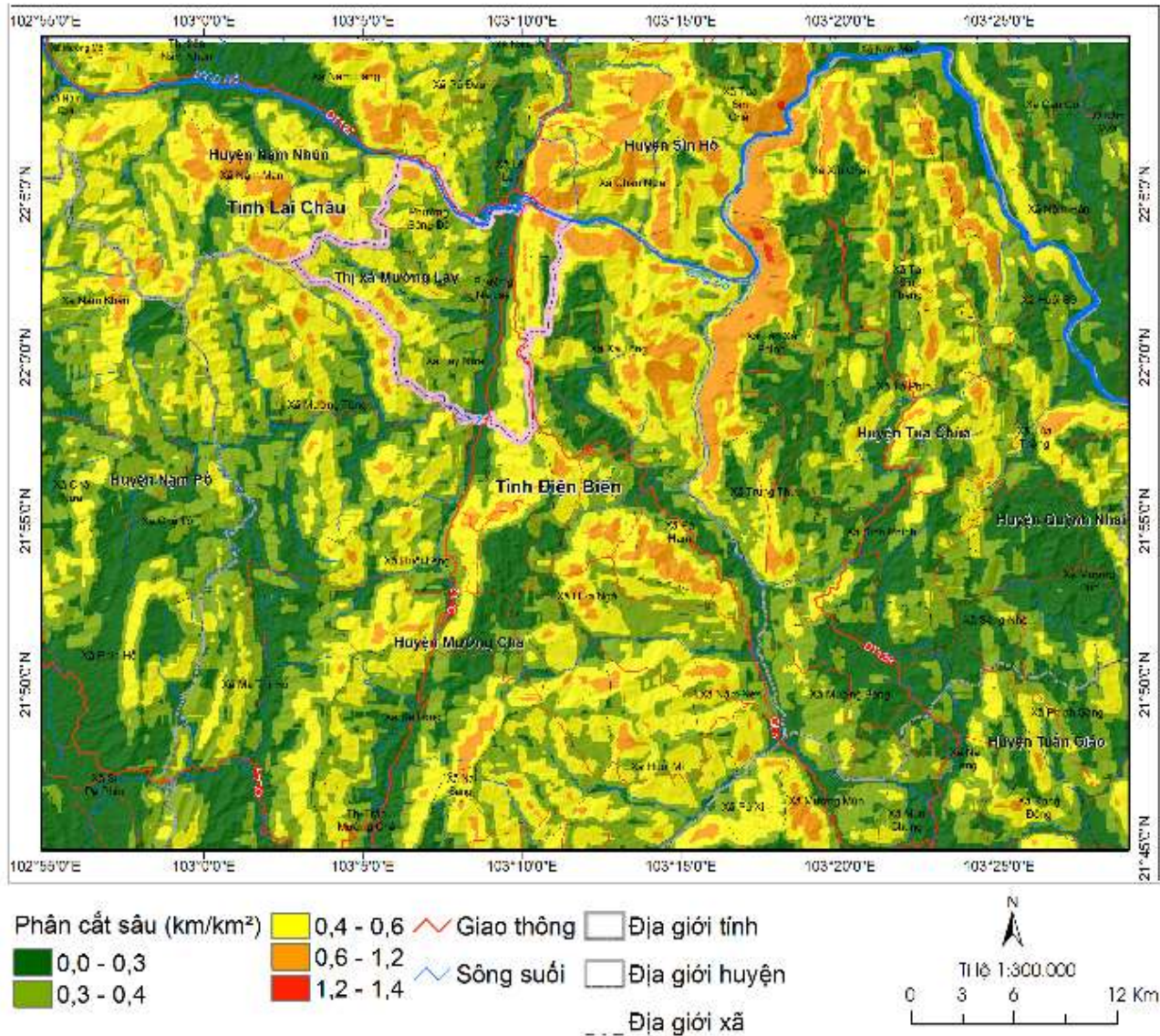
Hình 5. Bản đồ độ dốc khu vực nghiên cứu.

Bảng 10. Phân bố độ dốc khu vực nghiên cứu.

Độ dốc (°)	Diện tích (km ²)	Tỷ lệ (%)	Mức độ ảnh hưởng
0-5	86,10	3,11	Rất thấp
5-15	573,59	20,74	Thấp
15-30	1.386,85	50,14	Trung bình
30-45	642,48	23,23	Cao
45-79	76,99	2,78	Rất cao

càng lớn thì thể năng của địa hình càng cao và ngược lại. Điều này thúc đẩy quá trình dịch chuyển của đất đá xảy ra mạnh hơn và động năng đập vào đất đá thể hiện tính khốc liệt rõ nét hơn. Từ DEM,

tính toán phân cắt sâu bằng công cụ Focal Statistics trên phần mềm ArcGIS 10.2 (Hình 6) và phân cấp mức độ ảnh hưởng đến TLĐ (Bảng 11).
e) Phân cắt ngang



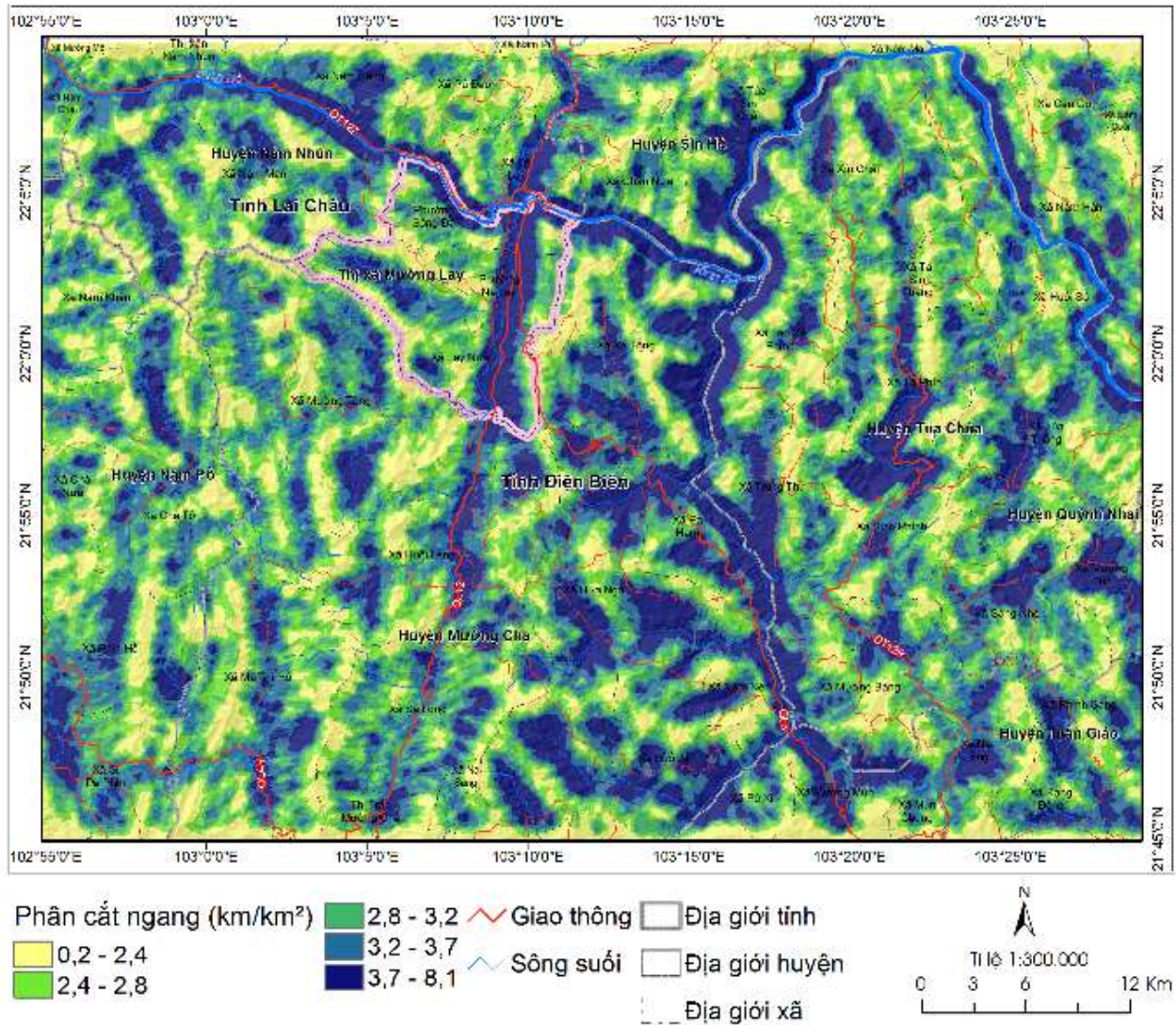
Hình 6. Bản đồ phân cắt sâu khu vực nghiên cứu.

Bảng 11. Phân bố phân cắt sâu khu vực nghiên cứu.

Phân cắt sâu (km/km ²)	Diện tích (km ²)	Tỷ lệ (%)	Mức độ ảnh hưởng
0,0-0,3	826,06	29,86	Rất thấp
0,3-0,6	1389,54	50,24	Thấp
0,6-0,9	535,04	19,34	Trung bình
0,9-1,2	14,22	0,51	Cao
1,2-1,4	1,15	0,04	Rất cao

Hệ thống sông suối thể hiện kết quả phân cắt ngang của địa hình dưới tác động của dòng chảy. Nước trên bề mặt địa hình rất nhạy cảm và linh động với sự thay đổi của địa hình. Mức độ phân cắt ngang của địa hình cũng phản ánh tính liên tục, mức độ liền khối của đất đá. Trong nghiên cứu

này, phân cắt ngang được xác định bằng tổng độ dài tất cả các rãnh xâm thực, khe xói (dòng chảy tạm thời), sông suối (dòng chảy thường xuyên) trên đơn vị diện tích (km²). Từ DEM, tính toán phân cắt ngang bằng công cụ Line Density trên



Hình 7. Bản đồ phân cắt ngang khu vực nghiên cứu.

Bảng 12. Phân bố phân cắt ngang khu vực nghiên cứu.

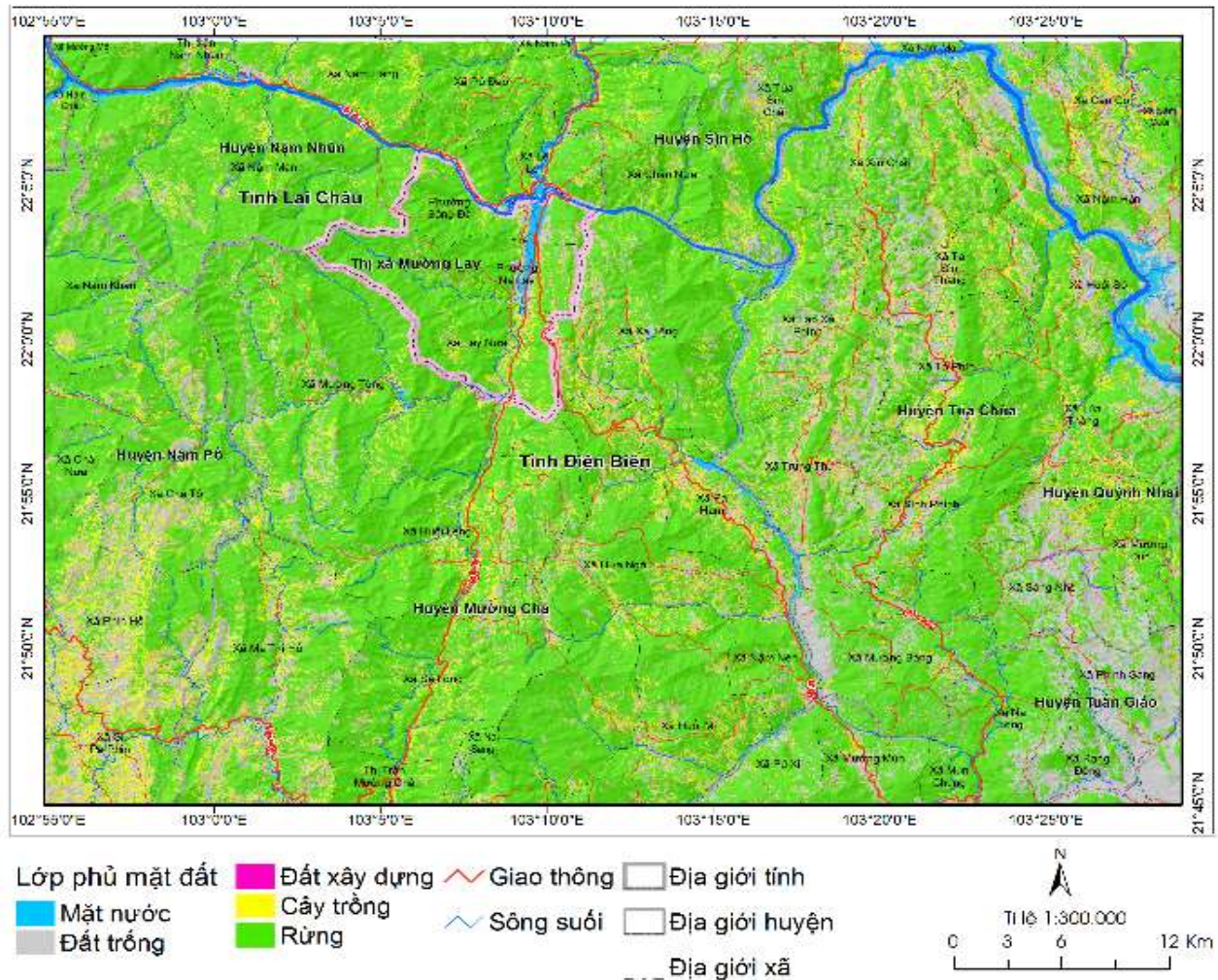
Phân cắt ngang (km/km ²)	Diện tích (km ²)	Tỷ lệ (%)	Mức độ ảnh hưởng
0,2-2,4	521,15	18,84	Rất thấp
2,4-2,8	573,85	20,75	Thấp
2,8-3,2	564,21	20,40	Trung bình
3,2-3,7	552,54	19,98	Cao
3,7-8,1	554,25	20,04	Rất cao

phần mềm ArcGIS 10.2 (Hình 7) và phân cấp mức độ ảnh hưởng đến TLĐ (Bảng 12).

f) Lớp phủ mặt đất

Rễ cây liên kết với các thành phần của đất làm tăng độ ổn định cũng như điều hòa sự thay đổi đột ngột độ ẩm của mái dốc. Thảm thực vật bảo vệ đất khỏi quá trình trượt lở, điều tiết dòng chảy, chuyển một phần nước thành nước ngầm. Từ ảnh trung vị, không mây của vệ tinh Sentinel-2 thu

nhận từ tháng 1÷9/2021, phân loại các lớp phủ mặt đất bằng thuật toán phân loại có giám định Rừng ngẫu nhiên (Random Forest) trên nền tảng Google Earth Engine với chỉ số Kappa 0,95, độ chính xác toàn cục 97% (Hình 8). Mức độ ảnh hưởng của lớp phủ mặt đất đến TLĐ tỉ lệ thuận với số trận trượt lở đất ghi nhận trong quá khứ (Bảng 13).



Hình 8. Bản đồ lớp phủ mặt đất khu vực nghiên cứu.

Bảng 13. Phân bố lớp phủ mặt đất khu vực nghiên cứu.

Lớp phủ	Diện tích (km ²)	Tỷ lệ (%)	Mức độ ảnh hưởng
Mặt nước	65,08	2,35	Thấp
Đất trống	502,90	18,18	Trung bình
Đất xây dựng	17,05	0,62	Rất thấp
Cây trồng	308,23	11,14	Cao
Rừng	1872,73	67,71	Rất cao

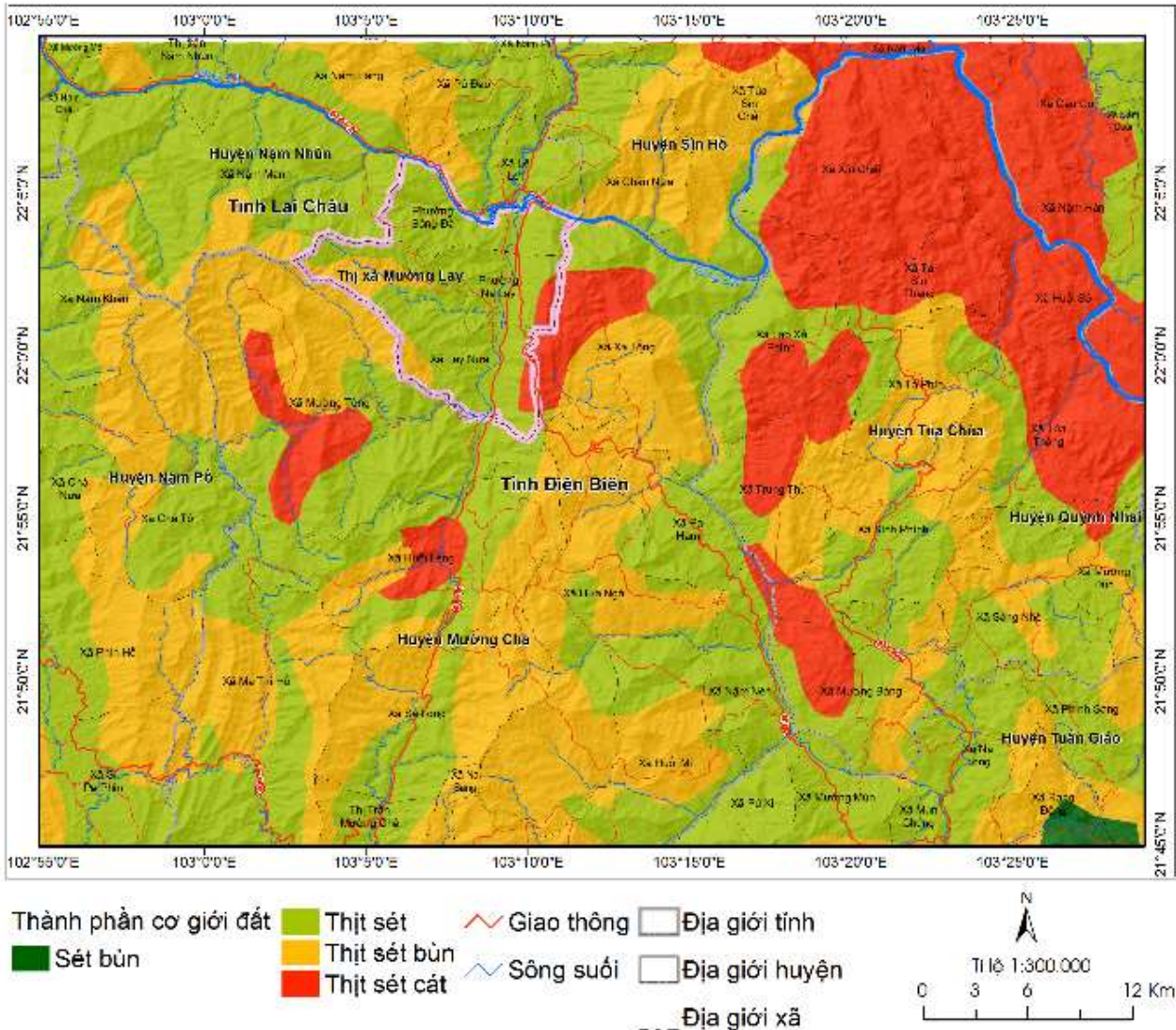
g) Thành phần cơ giới đất

Dựa vào tỷ lệ cát, thịt, sét trong đất, xác định thành phần cơ giới đất tại khu vực nghiên cứu. Mỗi loại đất có thành phần tỷ lệ hạt khác nhau thì có tính thấm, độ ổn định, bờ rời khác nhau. Từ bản đồ đất Việt Nam, cắt ra dữ liệu theo khu vực nghiên cứu bằng công cụ Clip trên phần mềm ArcGIS 10.2

(Hình 9). Mức độ ảnh hưởng của thành phần cơ giới đất đến TLĐ tỉ lệ thuận với số trận trượt lở đất ghi nhận trong quá khứ (Bảng 14).

h) Lượng mưa ngày lớn nhất

Lượng mưa là thông số quyết định đến quá trình trượt lở đất. Nước mưa ngấm xuống khối trượt làm tăng tải trọng của khối đất đá trên sườn



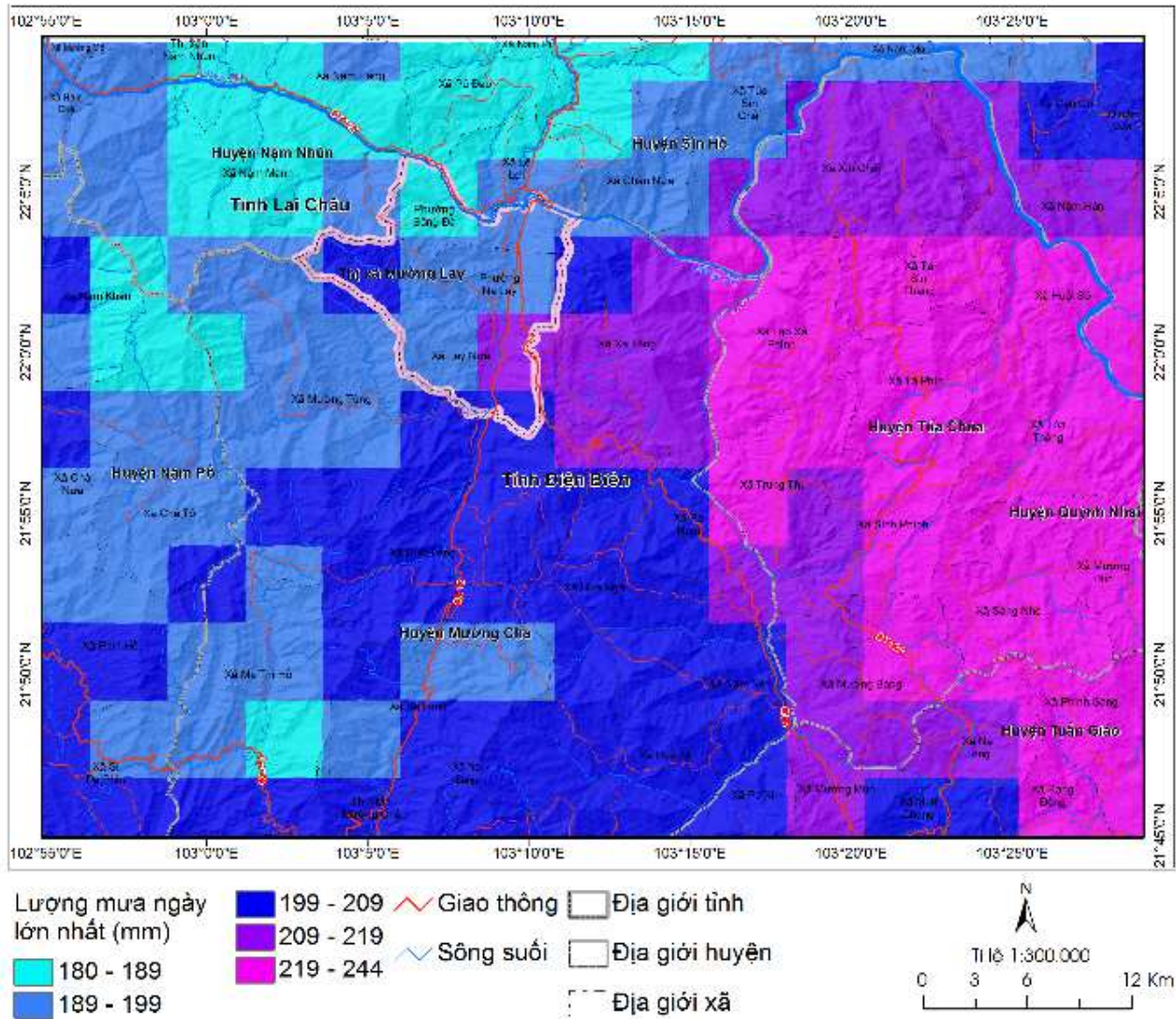
Hình 9. Bản đồ thành phần cơ giới đất khu vực nghiên cứu.

Bảng 14. Phân bố thành phần cơ giới đất khu vực nghiên cứu.

Thành phần cơ giới đất	Diện tích (km ²)	Tỷ lệ (%)	Mức độ ảnh hưởng
Sét bùn	480,96	17,39	Rất thấp
Thịt sét cát	928,74	33,58	Trung bình
Thịt sét bùn	1347,47	48,72	Trung bình
Thịt sét	8,83	0,32	Rất cao

dốc, làm giảm độ bền của đất đá. Mặt khác, hình thành dòng ngầm sinh ra áp lực nước thủy động và thủy tĩnh làm lực gây trượt tăng một cách đáng kể. Cường độ TLĐ gia tăng tỷ lệ thuận với lượng mưa, đặc biệt là mưa trận với cường độ lớn trong nhiều ngày. Từ chuỗi số liệu lượng mưa ngày

trong giai đoạn 1/1/2001÷31/12/2020, tính toán lượng mưa ngày lớn nhất bằng công cụ Cell Statistics trên phần mềm ArcGIS 10.2 và phân cấp mức độ ảnh hưởng đến TLĐ (Hình 10, Bảng 15). Số liệu lượng mưa PERSIANN Dynamic Infrared-Rain Rate đã được kiểm chứng độ chính xác khi so



Hình 10. Bản đồ lượng mưa ngày lớn nhất khu vực nghiên cứu.

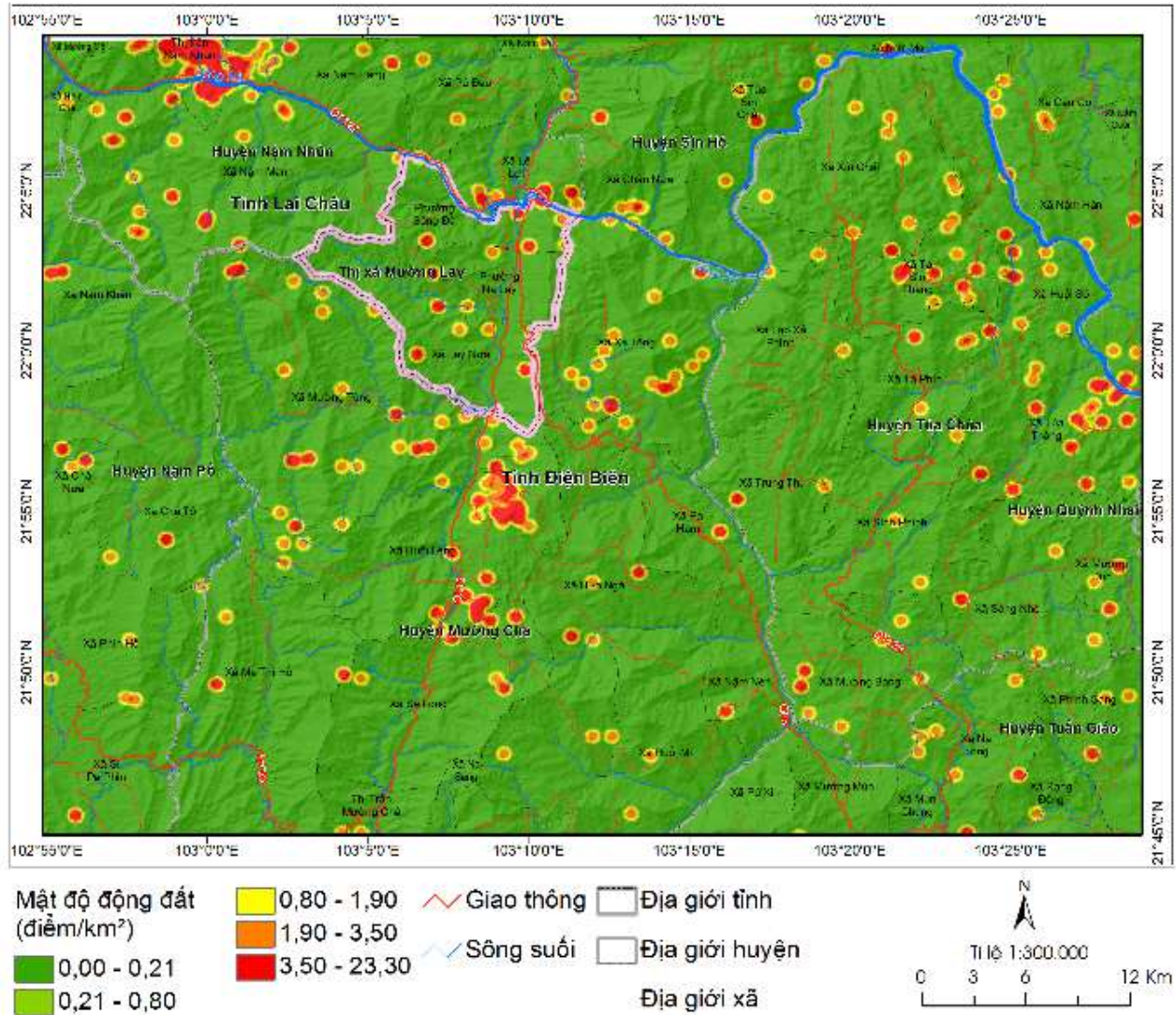
Bảng 15. Phân bố lượng mưa ngày lớn nhất khu vực nghiên cứu.

Lượng mưa ngày lớn nhất (mm)	Diện tích (km ²)	Tỷ lệ (%)	Mức độ ảnh hưởng
180-189	292,69	10,58	Rất thấp
190-199	24,90	24,90	Thấp
200-209	26,69	26,69	Trung bình
210-219	16,35	16,35	Cao
219-244	21,48	21,48	Rất cao

sánh với giá trị lượng mưa thực đo tại trạm Lai Châu (103,15°E, 22,07°N) trong giai đoạn 2001÷2006 với hệ số tương quan 0,26 và RMSE 17,75 mm.

i) Mật độ động đất

Từ bản đồ động đất, tính toán mật độ động đất bằng công cụ Kernel Density trên phần mềm ArcGIS 10.2 (Hình 11) và phân cấp mức độ ảnh hưởng đến TLĐ (Bảng 16).



Hình 11. Bản đồ động đất khu vực nghiên cứu.

Bảng 16. Phân bố mật độ động đất khu vực nghiên cứu.

Mật độ động đất (điểm/km ²)	Diện tích (km ²)	Tỷ lệ (%)	Mức độ ảnh hưởng
0,00-0,21	2.000,42	72,32	Rất thấp
0,21-0,80	649,42	23,48	Thấp
0,80-1,90	51,18	1,85	Trung bình
1,90-3,50	10,87	0,39	Cao
3,50-23,30	54,11	1,96	Rất cao

2.2.3. Chuẩn hóa mức độ nhạy cảm TLĐ của các tiêu chí

Đối với 3 tiêu chí dạng biến định danh là thạch học, lớp phủ mặt đất, thành phần cơ giới đất, mức độ ảnh hưởng đến TLĐ của từng tiêu chí được chuẩn hóa theo thang điểm rời rạc 1, 3, 5, 7, 9 tương ứng với mức rất thấp, thấp, trung bình, cao, rất cao. Đối với 6 yếu tố còn lại dạng biến tỉ lệ là mật độ đứt gãy hoạt động, độ dốc, phân cắt sâu, phân cắt ngang, lượng mưa ngày lớn nhất, mật độ động đất, mức độ ảnh hưởng đến TLĐ của từng tiêu chí được chuẩn hóa theo thang điểm liên tục tuyến tính từ 1 đến 9 tương ứng với mức từ rất thấp đến rất cao.

2.2.4. Tính toán, phân cấp chỉ số nhạy cảm TLĐ

Sử dụng công cụ Weighted Overlay trên phần mềm ArcGIS 10.2, chỉ số nhạy cảm TLĐ (LSI) được xác định bằng phương pháp kết hợp tuyến tính giá trị chuẩn hóa của từng tiêu chí với trọng số tương ứng như sau:

$$LSI = \sum_{i=1}^9 W_i X_i = 0,174X_1 + 0,058X_2 + 0,179X_3 + 0,049X_4 + 0,027X_5 + 0,085X_6 + 0,095X_7 + 0,222X_8 + 0,111X_9 \quad (1)$$

Trong đó: 0,174; 0,058; 0,179; 0,049; 0,027; 0,085; 0,095; 0,222; 0,111 lần lượt là trọng số của các tiêu chí thạch học, mật độ đứt gãy hoạt động, độ dốc, phân cắt sâu, phân cắt ngang, lớp phủ mặt đất, thành phần cơ giới đất, lượng mưa ngày lớn nhất, mật độ động đất; $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9$ lần lượt là giá trị chuẩn hóa của các tiêu chí thạch học, mật độ đứt gãy hoạt động, độ dốc, phân cắt sâu, phân cắt ngang, lớp phủ mặt đất, thành phần cơ giới đất, lượng mưa ngày lớn nhất, mật độ động đất.

Để tính toán trọng số các tiêu chí, phương pháp vector riêng được sử dụng với các bước thực hiện sau đây:

- Tính tổng giá trị từng cột của ma trận so sánh cặp;
- Chia từng thành phần trong ma trận so sánh cặp với tổng cột tương ứng (kết quả được ma trận so sánh cặp chuẩn hóa);
- Tính giá trị trung bình của những thành phần trong từng hàng của ma trận chuẩn hóa, nghĩa là chia tổng các giá trị của mỗi hàng cho số tiêu chí;

- Kết quả tính toán trung bình này cho ra một ước lượng trọng số của các tiêu chí.

Trong các bài toán thực tế, không phải lúc nào cũng có thể xây dựng được quan hệ bắc cầu trong khi so sánh từng cặp. Ví dụ, phương án A có thể tốt hơn B, B có thể tốt hơn C nhưng không phải lúc nào A cũng tốt hơn C. Hiện tượng gọi là sự không nhất quán. Sự không nhất quán là điều thực tế nhưng mức độ không nhất quán không nên quá nhiều vì khi đó nó thể hiện sự đánh giá không chính xác. AHP cung cấp cách đo lường toán học để xác định mức độ không nhất quán của các nhận định thông qua tỉ số nhất quán (CR). Nếu giá trị CR nhỏ hơn hoặc bằng 10%, nghĩa là có thể chấp nhận được, ngược lại nếu giá trị này lớn hơn 10%, cần phải thẩm định lại các bước trước đó. Quá trình ước lượng tỉ số nhất quán bao gồm các bước sau (Drobne và Lisec, 2009):

- Xác định vector tổng trọng số bằng cách nhân ma trận so sánh cặp ban đầu với ma trận trọng số của các tiêu chí;

- Xác định vector nhất quán bằng cách chia vector tổng trọng số cho trọng số của các tiêu chí đã được xác định trước đó;

- Tính giá trị riêng lớn nhất (y_{max}) bằng cách lấy giá trị trung bình của vector nhất quán;

- Tính chỉ số nhất quán (CI), chỉ số đo lường mức độ lệch hướng nhất quán, được xác định theo công thức:

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

Trong đó: y_{max} - giá trị trung bình của vector nhất quán, n - số tiêu chí. Trong ma trận nghịch đảo, giá trị riêng lớn nhất (y_{max}) luôn luôn lớn hơn hoặc bằng số hàng hay cột (n). Nhận định càng nhất quán, giá trị tính toán y_{max} càng gần n . Nếu một ma trận so sánh cặp không có bất kì sự không nhất quán nào, thì $y_{max} = n$.

- Cuối cùng, tỉ số nhất quán (CR) được tính theo công thức:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

Bảng 17. Giá trị chỉ số ngẫu nhiên (RI).

n	1	2	3	4	5
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12

Trong đó: 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.

Chỉ số nhạy cảm TLĐ biến thiên từ 1 đến 9 được phân cấp theo 5 cấp nhạy cảm rất thấp, thấp, trung bình, cao, rất cao bằng công cụ Reclassify trên phần mềm ArcGIS 10.2 theo phương pháp phân loại phân vị. Theo đó, mức độ nhạy cảm TLĐ càng cao thì tỉ lệ diện tích càng nhỏ.

2.2.5. Đánh giá độ chính xác bản đồ nhạy cảm TLĐ

Phương pháp đường cong thu nhận (ROC) được sử dụng để đánh giá độ chính xác của bản đồ nhạy cảm trượt lở đất. Ưu điểm chính của phương pháp ROC là sự độc lập tuyệt đối của nó với số lượng ngưỡng tính toán cũng như các khoảng giao nhau của chúng.

Giả sử bản đồ nhạy cảm trượt lở đất được phân thành n cấp, n + 1 ngưỡng được xác định sao cho giá trị của ngưỡng đầu tiên (i = 1) thấp hơn nhạy cảm nhỏ nhất và giá trị của ngưỡng cuối cùng (i = n + 1) cao hơn nhạy cảm lớn nhất. Mỗi ngưỡng tạo thành một ma trận sai số mà trong đó 4 loại pixel được xác định là:

- Dương tính thật (true positive - TP): xác định đúng sự kiện “có nhạy cảm” trong trường hợp thực tế là “có nhạy cảm”.

- Dương tính giả (false positive - FP): xác định sai sự kiện là “có nhạy cảm” trong trường hợp thực tế là “không nhạy cảm”.

- Âm tính thật (true negative - TN): xác định đúng sự kiện là “không nhạy cảm” trong trường hợp thực tế là “không nhạy cảm”.

- Âm tính giả (false negative - FN): xác định sai sự kiện là “không nhạy cảm” trong trường hợp thực tế là “có nhạy cảm”.

Các pixel TP và FN lần lượt là các điểm trượt lở đất nằm trong các cấp ở trên và dưới giá trị của ngưỡng. Ngược lại, các pixel TN và FP lần lượt là các điểm ổn định nằm trong các cấp ở dưới và trên giá trị của ngưỡng. Dựa trên số lượng pixel này cho mỗi ngưỡng, hai chỉ số thống kê được tính toán, đó là tỷ lệ dương tính thật (true positive rate - TPR) và tỷ lệ dương tính giả (false positive rate - FPR) với công thức tính toán như sau:

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

$$FPR = \frac{FP}{TN + FP} \quad (5)$$

TPR và FPR lần lượt được vẽ trên trục y và trục x của đường cong ROC. Chúng tạo thành điểm (1, 1) trên đường cong cho ngưỡng đầu tiên (i = 1) và điểm (0, 0) cho ngưỡng cuối cùng (i = n + 1). Đường cong càng đi dọc theo biên trái và rồi đi dọc theo biên phía trên của không gian ROC, thì chứng tỏ độ chính xác của bản đồ nhạy cảm trượt lở đất càng cao.

Trong bước kiểm định cuối cùng, diện tích phía dưới đường cong (Area Under Curve - AUC) được tính như sau:

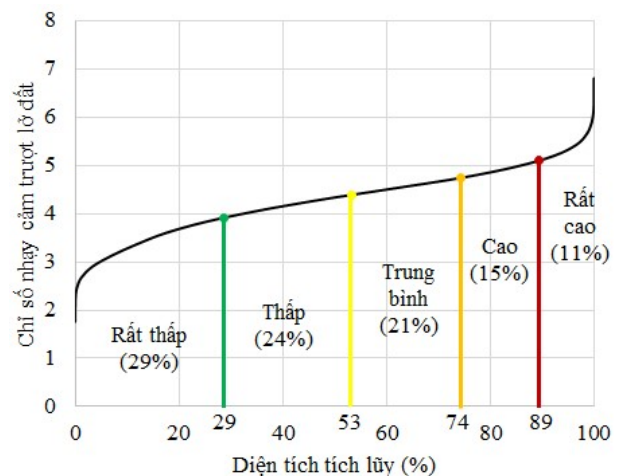
$$AUC = \sum_{i=1}^{n+1} \frac{1}{2} \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2} \cdot (y_i + y_{i+1}) \quad (6)$$

Giá trị AUC thể hiện tỉ lệ thành công của mô hình bằng cách sử dụng tập mẫu huấn luyện và tỉ lệ dự đoán của nó bởi tập mẫu kiểm nghiệm. Tỉ lệ thành công cho biết tỉ lệ phù hợp mô hình, tức là mức độ phân tách các vụ TLĐ giữa các vùng nhạy cảm trên bản đồ nhạy cảm TLĐ. Tuy nhiên, nó không thể tiết lộ chính xác khả năng của mô hình trong việc dự đoán các trận TLĐ trong tương lai; do đó, tỉ lệ dự đoán cần được tính toán.

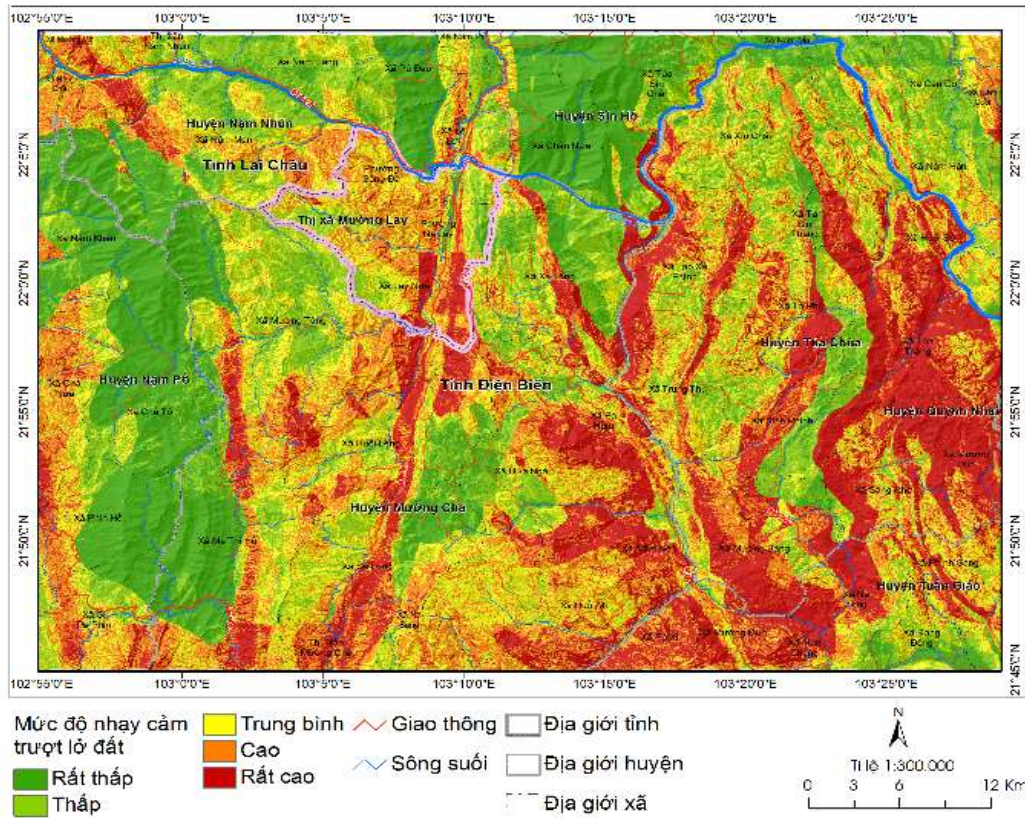
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Bản đồ nhạy cảm TLĐ

Từ bản đồ nhạy cảm TLĐ (các Hình 12, 13), có thể thấy vùng nhạy cảm rất cao chủ yếu dọc các đứt gãy hoạt động, dọc các tuyến quốc lộ QL6, QL12, tập trung ở các xã Mường Đun, Sáng Nhè, Tua Thàng của huyện Tủa Chùa, phường Na Lay



Hình 12. Phân bố diện tích theo các cấp nhạy cảm TLĐ.



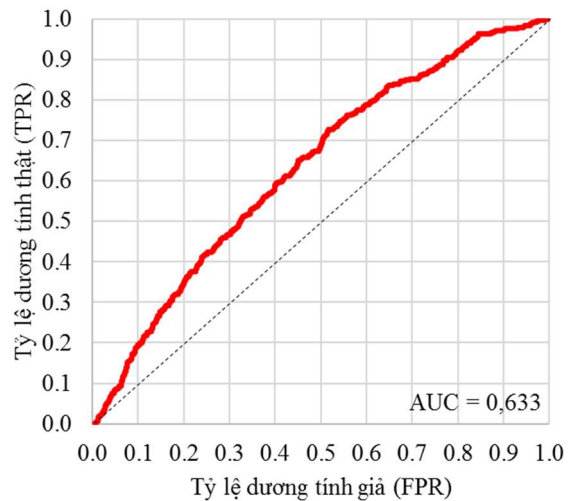
Hình 13. Bản đồ nhạy cảm TLĐ khu vực nghiên cứu.

của thị xã Mường Lay, chiếm 11% diện tích vùng nghiên cứu. Vùng có nhạy cảm cao xảy ra tập trung ở xã Hừa Ngài của huyện Mường Chà, xã Pú Xi của huyện Tuần Giáo, tạo thành dải dọc ở xã Huổi Lèng của huyện Mường Chà, chiếm 15% diện tích vùng nghiên cứu. Vùng có nhạy cảm thấp và trung bình chiếm diện tích tương đối lớn, chiếm tỉ lệ lần lượt là 24%, 21%. Vùng có nhạy cảm rất thấp chiếm 29% diện tích vùng nghiên cứu, tập trung chủ yếu nơi có độ dốc nhỏ, lượng mưa trung bình thấp.

3.2. Độ chính xác của bản đồ nhạy cảm TLĐ

Đường cong ROC được sử dụng để kiểm định bản đồ nhạy cảm TLĐ thông qua việc cho phép đánh giá tỷ lệ dương tính thực (TPR) và tỷ lệ dương tính giả (FPR). Các điểm “dương tính thực” là các pixel được phân loại chính xác là các điểm trượt đất, và các điểm “dương tính giả” là các pixel được phân loại không chính xác là trượt lở đất. Đường cong ROC được suy ra bằng cách vẽ đồ thị TPR so với FPR. AUC là mức độ chính xác của bản đồ nhạy cảm TLĐ. Kết quả so sánh bản đồ hiện trạng trượt lở đất khu vực nghiên cứu (395 điểm TLĐ đã xảy ra trong quá khứ) với bản đồ nhạy cảm

TLĐ cho ra đường cong ROC với giá trị AUC = 0,633 (0,605±0,662), tương ứng với mức độ chấp nhận kết quả. Phần lớn các vị trí TLĐ xuất hiện trong quá khứ đều nằm trong các vùng có mức nhạy cảm cao và rất cao (Hình 14).



Hình 14. Đường cong thu nhận xây dựng từ bản đồ hiện trạng TLĐ so sánh với bản đồ nhạy cảm TLĐ khu vực nghiên cứu.

4. Kết luận

Trên cơ sở tích hợp GIS, viễn thám và AHP, nghiên cứu đã phân vùng nhạy cảm trượt lở đất cho thị xã Mường Lay và vùng phụ cận thông qua xem xét các tiêu chí bao gồm thạch học, mật độ đứt gãy hoạt động, độ dốc, phân cắt sâu, phân cắt ngang, lớp phủ mặt đất, thành phần cơ giới đất, lượng mưa ngày lớn nhất, và mật độ động đất. Kết quả cho thấy lượng mưa ngày lớn nhất ảnh hưởng lớn nhất đến tính nhạy cảm trượt lở đất, sau đó đến độ dốc, thạch học, mật độ động đất, thành phần cơ giới đất, lớp phủ mặt đất, mật độ đứt gãy hoạt động, phân cắt sâu, phân cắt ngang. Trên tổng diện tích 2.766 km² của vùng nghiên cứu, có 29% là nhạy cảm rất thấp, khu vực nhạy cảm rất cao chỉ chiếm 11%, khu vực nhạy cảm thấp, trung bình và cao chiếm lần lượt là 24%, 21% và 15%. Độ chính xác của các kết quả trên ở mức độ chấp nhận với phần lớn các sự kiện TLĐ được ghi nhận đều nằm ở các khu vực có độ nhạy cảm cao và rất cao. Những phát hiện này có thể hữu ích cho các nhà quy hoạch và ra quyết định trong việc lập kế hoạch sử dụng đất và quản lý độ dốc để ngăn ngừa hoặc giảm thiểu TLĐ trong tương lai.

Lời cảm ơn

Để hoàn thành nghiên cứu này, chúng tôi trân trọng gửi lời cảm ơn đến Viện Vật lý Địa cầu đã cấp kinh phí thông qua đề tài cấp Viện năm 2021 “Xây dựng bản đồ nguy cơ trượt lở đất khu vực thị xã Mường Lay bằng phương pháp tích hợp mô hình phân tích thứ bậc AHP vào GIS”.

Đóng góp của các tác giả

Nguyễn Duy Liêm - xây dựng ý tưởng nghiên cứu, lựa chọn phương pháp nghiên cứu, phân tích và đánh giá kết quả, viết bản thảo bài báo, chỉnh sửa bài báo; Phùng Thị Ngọc Anh - xây dựng ý tưởng nghiên cứu, lựa chọn phương pháp nghiên cứu, phân tích và đánh giá kết quả, viết bản thảo bài báo; Nguyễn Mạnh Lực - xử lý số liệu, phân tích, trực quan hóa số liệu; Dương Văn Thành - xử lý số liệu, phân tích, trực quan hóa số liệu; Trần Thị Ngọc Ánh - xử lý số liệu, phân tích, trực quan hóa số liệu.

Tài liệu tham khảo

- Drobne, S., & Lisec, A., (2009). Multi-attribute Decision Analysis in GIS: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Averaging. *Informatica*, 33, 459–474.
- Đoàn Viết Long, Nguyễn Chí Công, Nguyễn Quang Bình, & Nguyễn Tiến Cường, (2020). Đánh giá thực trạng và giải pháp nghiên cứu về sạt lở đất ở Việt Nam giai đoạn 2010 - 2020. *Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ Thủy Lợi*, 61, 119–128.
- Highland, L. M., & Bobrowsky, P., (2008). *The landslide Handbook - A guide to understanding landslides*. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- Mersha, T., & Meten, M., (2020). GIS-based landslide susceptibility mapping and assessment using bivariate statistical methods in Simada area, northwestern Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00155-x>
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, 180(March), 60–91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>
- Saaty, T. L., (1980). *The Analytic Hierarchy Process* Mcgraw Hill, New York. *Agricultural Economics Review*, 70.
- Trịnh Xuân Hòa, (2017). *Thuyết minh bản đồ phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá khu vực tỉnh Điện Biên tỷ lệ 1:50.000*.
- Yong, C., Jinlong, D., Fei, G., Bin, T., Tao, Z., Hao, F., Li, W., & Qinghua, Z. (2022). Review of landslide susceptibility assessment based on knowledge mapping. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, January. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02165-z>.