

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH TRỌNG SỐ DẪN CHỨNG (WOE) TRONG XÂY DỰNG BẢN ĐỒ NGUY CƠ SẠT LỞ TẠI TỈNH QUẢNG NAM

Đỗ Công Thành^a, Phạm Thái Bình^a, Nguyễn Đức Đảm^{a,*}

^aKhoa Công trình, Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải,
54 phố Triều Khúc, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 12/05/2021, Sửa xong 09/03/2022, Chấp nhận đăng 16/5/2022

Tóm tắt

Trong nghiên cứu này, mục tiêu chính là tiến hành xây dựng bản đồ đánh giá và phân vùng nguy cơ sạt lở đất trên địa bàn tỉnh Quảng Nam phục vụ công tác lập quy hoạch xây dựng đường ô tô sử dụng mô hình trọng số dẫn chứng (WOE) dựa trên công cụ hệ thống thông tin địa lý GIS. Dữ liệu nghiên cứu bao gồm 520 vụ sạt lở đất trong quá khứ và 10 yếu tố ảnh hưởng tới quá trình sạt lở đất đã được thu thập bao gồm: độ cao địa hình, góc mái dốc, hình dáng bề mặt địa hình, hướng dốc, khoảng cách tới các sông, độ ẩm địa hình, tích lũy dòng chảy, hướng dòng chảy, lượng mưa, và tình trạng sử dụng đất. Kết quả nghiên cứu cho thấy có khoảng 30,35% và 16,48% diện tích khu vực nghiên cứu nằm trong vùng có nguy cơ cao và rất cao. Kết quả kiểm chứng bản đồ cho thấy có tới 42,14% số vụ sạt lở đất được ghi nhận nằm trong vùng có nguy cơ rất cao 29,56% số vụ sạt lở đất nằm trong vùng nhạy cảm cao khoảng 18,24% số vụ sạt lở nằm trong vùng nhạy cảm trung bình và lần lượt 8,81% và 1,26% số vụ sạt lở đất nằm trong vùng nhạy cảm thấp và rất thấp. Kết quả này cho thấy rằng bản đồ phân vùng nhạy cảm sạt lở đất được xây dựng đảm bảo độ tin cậy và có thể sử dụng trong việc giảm thiểu rủi ro thiên tai, quản lý, phục vụ tốt công tác quy hoạch và xây dựng trên địa bàn.

Từ khoá: sạt lở đất; trọng số dẫn chứng; GIS; Quảng Nam; Việt Nam.

USING WEIGHTS OF EVIDENCE (WOE) FOR LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING IN QUANG NAM PROVINCE

Abstract

In this study, the main objective is to build landslide susceptibility map in Quang Nam province for the planning of construction of roads using weights of evidence (WOE) model based on Geographic Information System (GIS). Data including 520 past landslides and 10 factors influencing the landslides including: topographic elevation, slope angle, topographic surface shape, direction slope, distance to rivers, topographic humidity, flow accumulation, flow direction, precipitation, and land use were collected. The results show that 30,35% and 16,48% of the study area fall into high and very high susceptibility zones. Verification results show that 42,14% of the recorded landslides were found in very high susceptibility areas 29,56% in high susceptibility areas, around 18, 24% in moderate susceptibility areas and 8,81% and 1,26%, respectively, in low and very low susceptibility areas. It means that the constructed landslide susceptibility map ensures reliability, which can be used in landslide risk reduction, management and good planning of construction in the area.

Keywords: landslide; weight of evidence; GIS; Quang Nam; Viet Nam.

[https://doi.org/10.31814/stce.huice\(nuce\)2022-16\(2V\)-12](https://doi.org/10.31814/stce.huice(nuce)2022-16(2V)-12) © 2022 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Giới thiệu

Sạt lở đất là hiện tượng di chuyển của khối đất, đá trượt từ trên cao xuống dốc trên các triền đồi, núi và là một thảm họa thiên nhiên gây ra thiệt hại lớn cả về con người, kinh tế và môi trường [1]. Các

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: damnd@utt.edu.vn (Đảm, N. Đ.)

thảm họa này ảnh hưởng rất lớn đến đời sống của con người. Đặc biệt, với sự gia tăng đô thị hóa, nạn phá rừng và biến đổi khí hậu dẫn đến các thiệt hại do sạt lở đất dự đoán sẽ tăng trong các năm tiếp theo [2]. Một trong những biện pháp để giảm thiểu thiệt hại do sạt lở đất là lập bản đồ nguy cơ sạt lở đất [3]. Bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở đất là một công cụ hữu ích để khoanh vùng các khu vực có nguy cơ cao xảy ra mất ổn định mái dốc, dự báo các vụ sạt lở đất có thể xảy ra trong tương lai để từ đó đưa ra các biện pháp phòng tránh cũng như giảm thiểu tối đa hậu quả của thiên tai này để lại [4, 5].

Hiện nay, trên thế giới đã áp dụng rất nhiều phương pháp khác nhau để lập bản đồ phân vùng nguy cơ xảy ra sạt lở đất như: mô hình hồi quy Logistic [6], tỷ số tần xuất (FR) [7], phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) [8], chỉ số thống kê [9], mô hình trọng số dẫn chứng (WOE) [10]. Ở Việt Nam, các mô hình trên cũng được áp dụng để nghiên cứu phân vùng sạt lở đất tại một số tỉnh thành có nguy cơ cao như: tỉnh Hà Giang [11], tỉnh Sơn La [12], tỉnh Yên Bái [13], tỉnh Quảng Bình [14] và đạt được hiệu quả cao.

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã sử dụng mô hình trọng số dẫn chứng (WOE) trong việc đánh giá và phân vùng nguy cơ xảy ra sạt lở đất. Mô hình trọng số bằng chứng (WOE) về cơ bản là phương pháp thống kê Bayes sử dụng nhiều thông tin từ nhiều nguồn thành phần để từ đó đưa ra bằng chứng đáp ứng yêu cầu của thông tin và được đánh giá là phương pháp hữu hiệu [15]. Khu vực được lựa chọn nghiên cứu là tỉnh Quảng Nam, là có địa hình đồi núi và thường xuyên hứng chịu những hậu quả do sạt lở đất gây ra nhất là tại vùng núi có lượng mưa nhiều. Đặc biệt hơn, trong năm 2020 tại Quảng Nam ghi nhận rất nhiều vụ sạt lở đất trong đó có những vụ cực kì nghiêm trọng ở các huyện Nam Trà My và Phước Sơn gây thiệt hại lớn về người và tài sản.

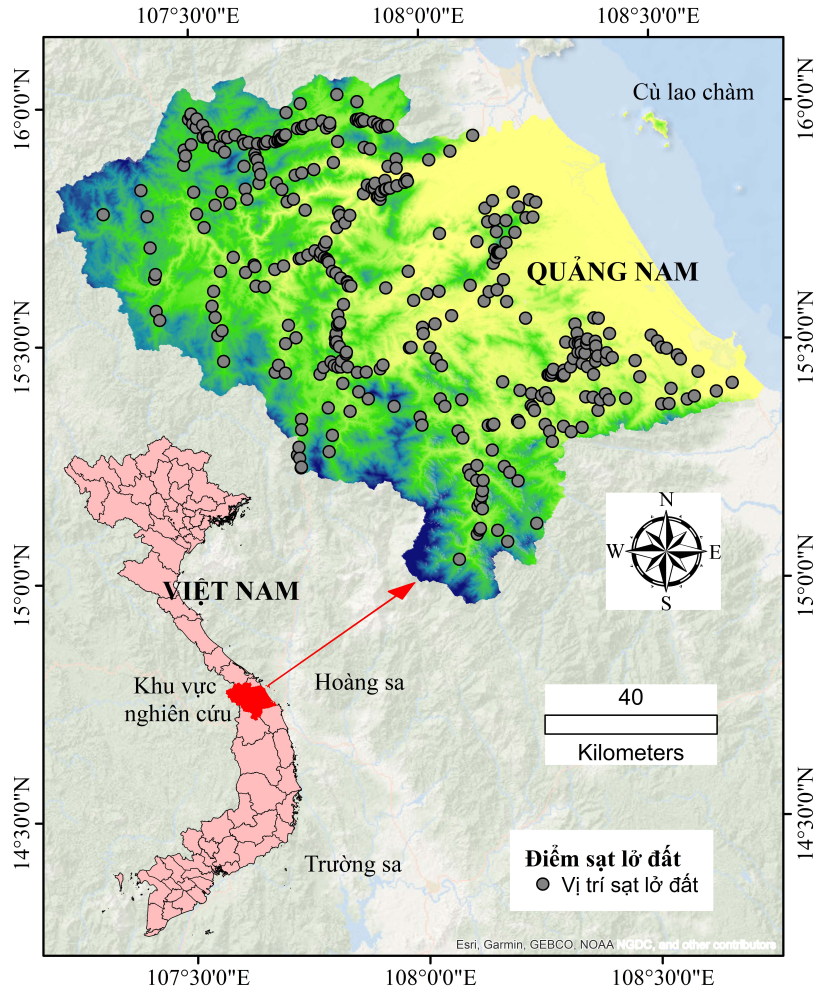
2. Khu vực nghiên cứu và cơ sở dữ liệu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Quảng Nam là một tỉnh thuộc Trung Bộ có tọa độ $15^{\circ}13' \div 16^{\circ}12'$ vĩ độ Bắc và $107^{\circ}13' \div 108^{\circ}44'$ kinh độ Đông với tổng diện tích vào khoảng 10.574 km^2 . Phía Bắc giáp với Đà Nẵng và Thừa Thiên Huế, phía Nam giáp Quảng Ngãi và Kon Tum, phía Tây giáp Cộng hòa Dân chủ Nhân dân Lào và phía Đông giáp Biển Đông.

Về địa hình, Quảng Nam có địa hình tương đối phức tạp dốc thấp dần từ Tây sang Đông và được chia làm ba vùng sinh thái: Vùng núi cao, vùng trung du, vùng đồng bằng và ven biển. Quảng Nam có nhiều dãy núi cao chạy nối tiếp nhau theo hướng Tây Bắc – Đông Nam. Vùng đồi núi chiếm 72% diện tích đất tự nhiên. Bề mặt địa hình khu vực bị chia cắt bởi hệ thống sông ngòi dày đặc bao gồm: Sông Thu Bồn, sông Tam Kỳ, sông Trường Giang. Đất tự nhiên chủ yếu được sử dụng cho lâm nghiệp tiếp theo là đất sản xuất nông nghiệp và thổ cư. Diện tích đất tự nhiên nhiều tuy nhiên diện tích đất đồi trọc và đất cát ven biển chưa được sử dụng còn khá cao.

Quảng Nam nằm trong vùng nhiệt đới với nhiệt độ trung bình hàng năm là $25,4^{\circ}\text{C}$, độ ẩm trung bình là 84 - 85%. Lượng mưa trung bình hàng năm $2.000 \text{ mm} \div 2.500 \text{ mm}$ nhưng phân bố không đều theo thời gian và không gian, mưa ở miền núi nhiều hơn đồng bằng, mưa tập trung vào các tháng 9 ÷ 12, chiếm 80% lượng mưa cả năm; mùa mưa trùng với mùa bão, nên các cơn bão đổ vào miền Trung thường gây ra lở đất, lũ quét ở các huyện trung du miền núi và gây ngập lũ ở các vùng ven sông ảnh hưởng rất lớn đến kinh tế, đời sống của con người (Hình 1).



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu và hiện trạng sạt lở đất

2.2. Hiện trạng sạt lở đất khu vực nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, bản đồ hiện trạng sạt lở đất được xây dựng bằng việc kết hợp hai phương pháp là: khảo sát thực địa và giải đoán hình ảnh vệ tinh sử dụng Google Earth, được thực hiện thông qua đề tài cấp nhà nước (mã số: 105.08-2019.03). Sau khi kiểm chứng, các điểm sạt lở được tổng hợp lại dựa trên phần mềm GIS [16] và các khối trượt được coi là một điểm và hiển thị trên bản đồ hiện trạng. Tổng cộng có 520 điểm sạt lở đất đã xảy ra trong quá khứ tại khu vực và được sử dụng để nghiên cứu bản đồ phân vùng sạt lở đất. Trong đó, chọn ngẫu nhiên 361 (70%) điểm sạt lở để phục vụ công tác xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở đất và 159 (30%) điểm sạt lở để phục vụ công tác kiểm tra và đánh giá độ chính xác bản đồ đã xây dựng [17].

2.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến sạt lở đất

Việc lựa chọn các tham số nguyên nhân gây ra sạt lở đất là một trong những bước quan trọng để đánh giá nguy cơ của sạt lở đất khu vực [18]. Trong nghiên cứu này, có tổng cộng 10 tham số được đánh giá và lựa chọn để xây dựng bản đồ phân vùng sạt lở đất tại tỉnh Quảng Nam bao gồm: Độ cao

địa hình, góc mái dốc, hình dáng bề mặt địa hình, hướng dốc, khoảng cách tới các sông, độ ẩm địa hình, tích lũy dòng chảy, hướng dòng chảy, lượng mưa và tình trạng sử dụng đất. Số liệu đầu vào để xây dựng bản đồ dự báo và phân vùng sạt lở đất tại khu vực nghiên cứu bao gồm bản đồ số, bản đồ địa chất, bản đồ sử dụng đất, các số liệu về lượng mưa được thu thập từ việc điều tra và nguồn dữ liệu quốc gia. Ngoài ra, bản đồ góc mái dốc, hướng mái dốc, hình dáng bề mặt địa hình, độ cao địa hình số (DEM) với độ phân giải 30m đã thu thập được dữ liệu từ Hiện hội khảo sát địa chất Mỹ (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Các bản đồ nguyên nhân được phân chia thành nhiều lớp khác nhau trên phần mềm GIS (Bảng 1).

a. Bản đồ độ cao địa hình

Có thể nói rằng độ cao địa hình là một trong các yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng ổn định của mái dốc [19]. Với mỗi độ cao lại có mức độ phong hóa khác nhau. Bản đồ độ cao địa hình là bản đồ có dạng số hóa thể hiện cao độ của bề mặt địa hình. Trong nghiên cứu này bản đồ độ cao địa hình được trích xuất từ mô hình DEM bao gồm các lớp sau: $(0 \div 370)$; $(370 \div 740)$; $(740 \div 1.110)$; $(1.110 \div 1.480)$; $(1.480 \div 1.850)$; $(1.850 \div 2.220)$; $(2.220 \div 2.586,17)$ (Hình 2(a)).

b. Bản đồ góc mái dốc

Bản đồ góc mái dốc là bản đồ thể hiện độ dốc bề mặt địa hình với đơn vị tính là “độ”. Góc mái dốc là một trong những yếu tố quan trọng tác động trực tiếp đến khả năng xảy ra sạt lở đất [20]. Khi độ dốc càng lớn thì mức độ ổn định mái dốc càng thấp và ngược lại. Bản đồ góc mái dốc được trích xuất từ mô hình DEM và được thể hiện thông qua phần mềm GIS. Trong nghiên cứu này độ dốc của khu vực nghiên cứu được chia làm 6 cấp bao gồm: $(0 \div 8)$; $(8 \div 15)$; $(15 \div 25)$; $(25 \div 35)$; $(35 \div 45)$; (≥ 45) (Hình 2(b)).

c. Bản đồ hình dáng bề mặt địa hình

Bản đồ hình dáng bề mặt địa hình là bản đồ hiển thị hình dạng hoặc độ cong của mái dốc có thể là lồi, lõm hoặc bằng phẳng. Hình dáng bề mặt địa hình ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ dòng chảy từ đó tác động đến xói mòn và bồi tụ [21]. Đây cũng là một trong các nguyên nhân dẫn tới sạt lở đất. Những vị trí lõm thường sẽ tập chung dòng chảy trên sườn vì vậy sạt lở đất thường xảy ra tại những nơi có địa hình lõm nhiều hơn là những nơi có địa hình lồi hoặc bằng phẳng. Trong nghiên cứu này bản đồ hình dáng bề mặt địa hình được trích xuất từ mô hình DEM bao gồm các lớp sau: Lõm $(< -0,05)$; Mặt bằng $(-0,05 \div 0,05)$; Lồi $(> 0,05)$ (Hình 2(c)).

d. Bản đồ hướng dốc

Bản đồ hướng dốc là bản đồ thể hiện hướng của dốc xuống. Hướng mái dốc là nhân tố tác động trực tiếp đến khả năng nhận ánh sáng mặt trời, gió và mưa của sườn dốc, từ đó gây ảnh hưởng đến các nguyên nhân gây ra sạt lở như: mức độ phong hóa, lớp thảm thực vật và độ ẩm [22]. Vì vậy đây là một trong các yếu tố ảnh hưởng trực tiếp tới khả năng mất ổn định mái dốc trong khu vực. Trong nghiên cứu này, bản đồ hướng dốc được trích xuất từ mô hình DEM bao gồm các lớp sau: Mặt bằng, Bắc, Đông Bắc, Đông, Đông Nam, Nam, Tây Nam, Tây, Tây Bắc (Hình 2(d)).

e. Bản đồ khoảng cách tới các sông

Khoảng cách tới các sông là yếu tố ảnh hưởng trực tiếp tới sự ổn định của mái dốc. Các mái dốc gần sông suối hơn thường có độ ẩm cao hơn các nơi khác vì vậy khó ổn định hơn [23]. Ngoài ra, dòng chảy còn tác động lên các sườn dốc và làm xói mòn các khối đất đá gần sông. Bản đồ khoảng cách tới các sông được trích xuất từ bản đồ địa hình và được thể hiện lại bằng phần mềm GIS. Cuối cùng được thêm các lớp khoảng cách với các lớp cụ thể như sau: $(< 1 \text{ km})$; $(1 \div 2 \text{ km})$; $(2 \div 3 \text{ km})$; $(> 3 \text{ km})$ (Hình 2(e)).

f. Bản đồ độ ẩm địa hình

Bản đồ chỉ số độ ẩm được trích xuất từ bản đồ mô hình DEM. Dòng chảy thường chảy từ những nơi có cao độ cao xuống những nơi có cao độ thấp [24]. Chỉ số TWI càng cao thể hiện tính thoát nước trên sườn dốc càng tốt, nghĩa là khi TWI càng nhỏ rất dễ xảy tích tụ nước tại sườn dốc từ đó dễ xảy ra sạt lở, lũ quét và mất ổn định mái dốc tại các khu vực này. Bản đồ độ ẩm địa hình được trích xuất từ mô hình DEM thông qua phần mềm GIS và được chia thành các lớp cụ thể như sau: $(1,01 \div 5)$; $(5 \div 10)$; $(10 \div 15)$; $(15 \div 20)$; $(20 \div 25,47)$ (Hình 2(f)).

g. Bản đồ tích lũy dòng chảy

Sau những trận mưa, dòng nước sẽ được tích tụ lại ở các đường tụ thủy. Bản đồ tích lũy dòng chảy thể hiện diện tích phần mặt đất đóng góp nước vào các đường tụ thủy. Tích lũy dòng chảy có tác động trực tiếp tới khả năng ổn định của mái dốc [25]. Thông thường những vị trí tập trung nước sau khi mưa sẽ có nguy cơ xảy ra mất ổn định sườn dốc cao hơn những vị trí khác. Trong nghiên cứu này bản đồ tích lũy dòng chảy được trích xuất từ mô hình DEM bao gồm các lớp sau: $(0 \div 200)$; $(200 \div 1.000)$; $(1.000 \div 2.000)$; $(2.000 \div 5.000)$; $(5.000 \div 21.134)$ (Hình 2(g)).

h. Bản đồ hướng dòng chảy

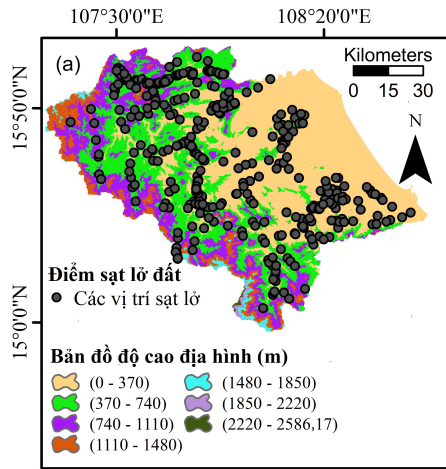
Hướng của dòng chảy ảnh hưởng tới quá trình sạt lở đất bởi vì nó tác động trực tiếp tới những mái dốc trên khu vực. Thông thường các vị trí có dòng chảy đi qua sẽ có khả năng xảy ra sạt lở cao hơn những vùng còn lại. Trong nghiên cứu này bản đồ hướng của dòng chảy được trích xuất từ mô hình DEM thông qua phần mềm GIS bao gồm các lớp sau: $(1 \div 51)$; $(51 \div 102)$; $(102 \div 153)$; $(153 \div 204)$; $(205 \div 255)$ (Hình 2(h)).

i. Bản đồ lượng mưa

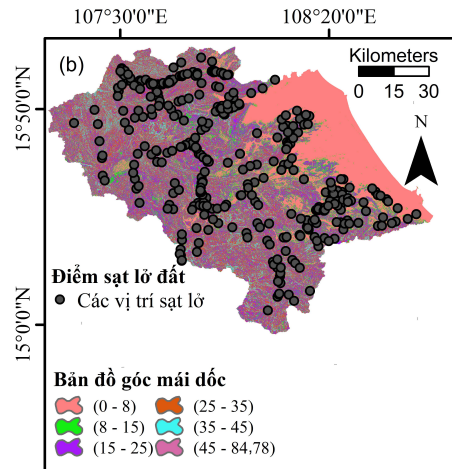
Mưa là một trong những nguyên nhân phổ biến nhất gây ra quá trình sạt lở đất đá. Mưa càng lớn thì dòng chảy mặt phát triển càng mạnh, ngoài ra mưa còn là nguyên nhân làm tăng tải trọng khối đất đá từ đó tạo ra sự bất ổn trong sườn dốc, mưa còn làm mềm và phong hóa đất đá trên sườn dốc [26]. Bên cạnh đó mưa nhiều còn cung cấp cho đất một độ ẩm cao dẫn đến mất ổn định sườn dốc. Chính vì vậy những vùng có lượng mưa lớn thường sẽ có nguy cơ xảy ra sạt lở đất cao hơn các vùng còn lại. Bản đồ lượng mưa được xây dựng dựa trên lượng mưa trung bình năm trên khu vực nghiên cứu được đài quan trắc tổng hợp và thể hiện trên phần mềm GIS. Bản đồ lượng mưa được chia thành các lớp sau: $< 2.400 \text{ mm/yr}$; $2.400 \div 2.800 \text{ mm/yr}$; $2.800 \div 3.200 \text{ mm/yr}$; $3.200 \div 3.600 \text{ mm/yr}$; $> 3.600 \text{ mm/yr}$ (Hình 2(i)).

j. Bản đồ sử dụng đất

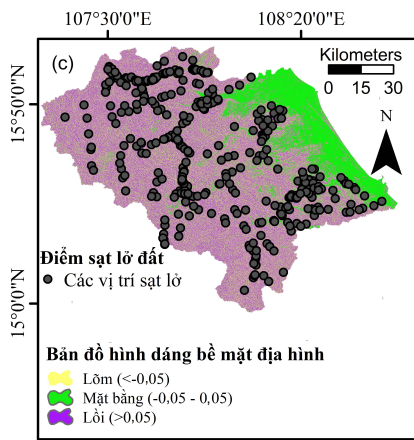
Tình trạng sử dụng đất có ảnh hưởng trực tiếp tới quá trình sạt lở đất. Những sườn núi cần cỗi sẽ có nguy cơ sạt lở đất cao hơn. Ngược lại với những khu vực có thực vật hoặc các công trình nhân tạo che phủ thì sườn dốc sẽ ít bị tác động của các yếu tố thiên nhiên như mưa hay khí hậu [25]. Vì vậy nguy cơ xảy ra sạt lở đất cũng thấp hơn ở những vùng này. Trong nghiên cứu này, bản đồ tình trạng sử dụng đất được xây dựng bằng phương pháp giải đoán ảnh vệ tinh sử dụng công nghệ viễn thám với các lớp như sau: Công trình đang xây dựng, Giao thông, khu công trình, khu dân cư, khu khai thác, khu vực canh tác nông nghiệp, khu vực đồng cỏ, mặt nước, rừng, thực vật trong khu dân cư, vùng chưa thành rừng và vùng đất trống (Hình 2(j)).



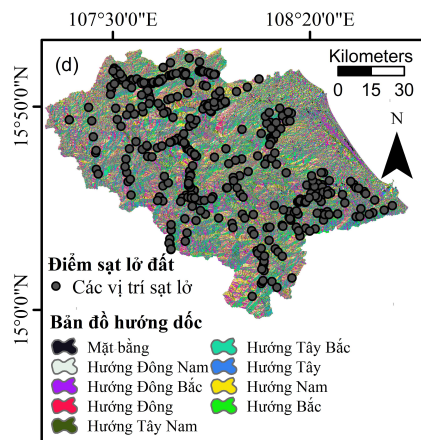
(a) Bản đồ độ cao địa hình



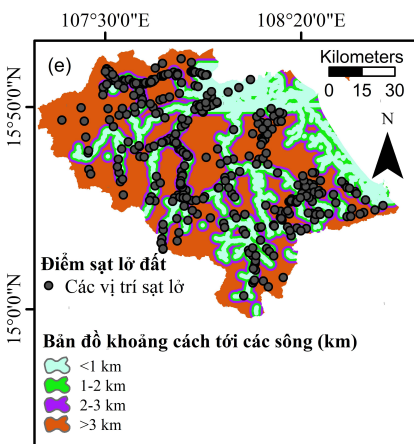
(b) Bản đồ góc mái dốc



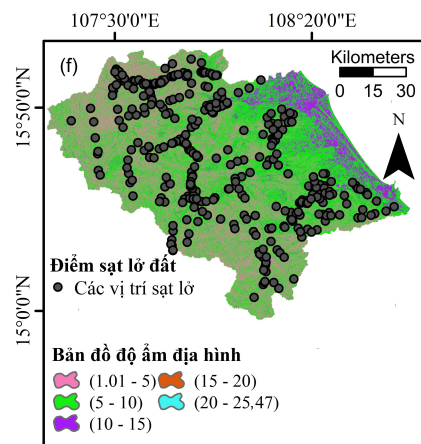
(c) Bản đồ hình dáng bề mặt địa hình



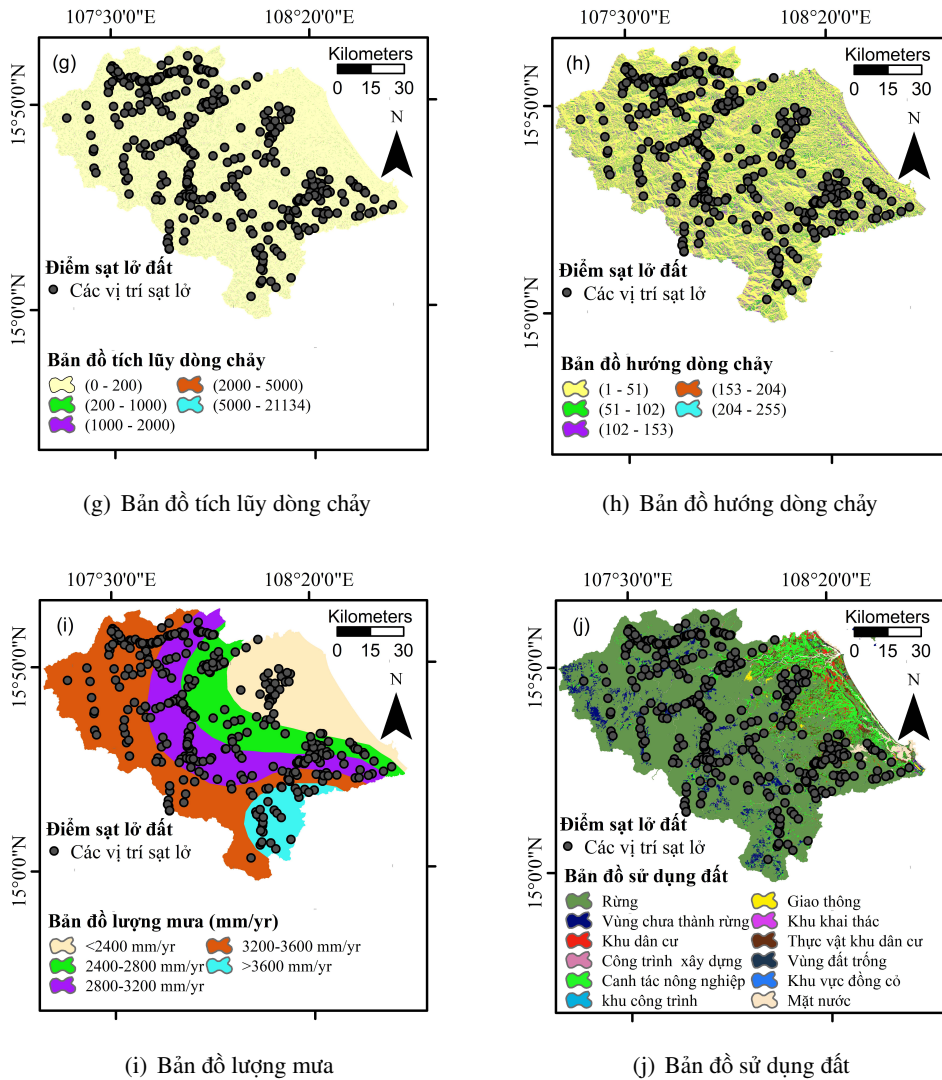
(d) Bản đồ hướng dốc



(e) Bản đồ khoảng cách tới sông



(f) Bản đồ độ ẩm địa hình



Hình 2. Bản đồ thành phần các yếu tố gây sụt lở

3. Lý thuyết mô hình trọng số dẫn chứng

Mô hình trọng số dẫn chứng (WOE) về cơ bản là phương pháp xác suất thống kê Bayes sử dụng để dự đoán mối quan hệ không gian giữa các vụ sụt lở đất và các lớp tham số nguyên nhân gây ra sụt lở [15].

Nội dung của phương pháp được tóm tắt như sau:

Giả sử khu vực nghiên cứu A có diện tích là $N(A)$. Trong vùng nghiên cứu các khu vực đã ghi nhận sụt lở đất là B có số lượng là $N(B)$. Một bản đồ tham số ảnh hưởng trực tiếp tới sụt lở đất là C có diện tích là $N(C)$. Theo giả thiết xác suất Bayes, ta có:

Xác suất xuất hiện tham số C căn cứ vào những điểm sụt lở đã ghi nhận trước đó được xác định

theo công thức:

$$P(C/B) = \frac{P(C \cap B)}{P(B)} = \frac{N(C \cap B)}{N(B)} \quad (1)$$

Xác suất xuất hiện tham số C căn cứ vào những vị trí không ghi nhận các vụ sạt lở đất trước đó được xác định theo công thức:

$$P(C/\bar{B}) = \frac{P(C \cap \bar{B})}{P(\bar{B})} = \frac{N(C \cap \bar{B})}{N(\bar{B})} \quad (2)$$

Xác suất không xuất hiện tham số C căn cứ vào những điểm sạt lở đã ghi nhận trước đó được xác định theo công thức:

$$P(\bar{C}/B) = \frac{P(\bar{C} \cap B)}{P(B)} = \frac{N(\bar{C} \cap B)}{N(B)} \quad (3)$$

Xác suất không xuất hiện tham số C căn cứ vào những vị trí không ghi nhận các vụ sạt lở đất trước đó được xác định theo công thức:

$$P(\bar{C}/\bar{B}) = \frac{P(\bar{C} \cap \bar{B})}{P(\bar{B})} = \frac{N(\bar{C} \cap \bar{B})}{N(\bar{B})} \quad (4)$$

Trọng số dẫn chứng dương (W^+) xác định theo công thức:

$$W^+ = \frac{P(C/B)}{P(C/\bar{B})} \quad (5)$$

Trọng số dẫn chứng âm (W^-) xác định theo công thức:

$$W^- = \frac{P(\bar{C}/B)}{P(\bar{C}/\bar{B})} \quad (6)$$

Dựa vào trọng số: Trọng số dẫn chứng dương (W^+) thể hiện sự có mặt của yếu tố ảnh hưởng và độ lớn của nó thể hiện mức độ thuận lợi của yếu tố ảnh hưởng đối với trượt lở. Trọng số dẫn chứng âm (W^-) thể hiện sự vắng mặt yếu tố ảnh hưởng và độ lớn của nó thể hiện mức độ không thuận lợi của yếu tố ảnh hưởng đối với trượt lở.

Độ tương phản giữa trọng số dẫn chứng dương và âm được xác định theo công thức:

$$C = W^+ - W^- \quad (7)$$

Độ tương phản (C) thể hiện mối quan hệ không gian giữa các tham số ảnh hưởng trực tiếp tới sạt lở đất và các vụ sạt lở đất trên khu vực, nếu (C) bằng không hoặc gần bằng không thì yếu tố ảnh hưởng không tác động hoặc tác động rất ít đến trượt lở.

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Mối quan hệ không gian giữa các vụ sạt lở và các yếu tố nguyên nhân sử dụng WOE

Mối quan hệ không gian giữa các vụ sạt lở trong quá khứ và các yếu tố ảnh hưởng được phân tích như trong (Bảng 1). Từ bảng phân tích giữa yếu tố góc mái dốc trong khu vực có thể thấy rằng lớp ($15 \div 25$)° có số điểm sạt lở cao nhất 130 điểm và giá trị $C = 0,353$ là lớn nhất, có thể thấy rằng góc mái

dốc có ảnh hưởng trực tiếp tới khả năng gây ra sạt lở đất. Đối với bản đồ cao độ, kết quả phân tích cho thấy các điểm sạt lở đất chủ yếu tập chung tại lớp có cao độ từ $(0 \div 370)$ m là 222 điểm và giá trị là $C = 0,541$, điều này là do ở mỗi một cao độ sườn dốc có một mức độ phong hóa khác nhau, ảnh hưởng tới quá trình sạt lở đất. Trong bản đồ bề mặt địa hình cho thấy, trượt đất xảy ra cao nhất tại các vị trí có địa hình lồi hoặc lõm cụ thể là 163 vụ tại những nơi có địa hình lõm và 167 vụ với những nơi có địa hình lồi.

Từ bảng phân tích yếu tố hướng dốc có thể thấy rằng số lượng sạt lở đất lớn nhất là tại những vị trí có hướng dốc Tây Bắc 52 điểm và tại lớp này cũng có trị số $C = 0,212$ là cao nhất, những nơi có địa hình bằng phẳng chỉ ghi nhận 3 điểm sạt lở đất, chứng tỏ rằng hướng dốc ảnh hưởng trực tiếp tới độ ổn định mái dốc vì nó là một trong các yếu tố quyết định tới độ ẩm, lớp thảm thực vật, khả năng đón ánh nắng ... của mái dốc [27]. Đối với bản đồ khoảng cách tới các sông số vụ sạt lở đất xảy ra nhiều nhất tại những vị trí cách sông > 1 km ghi nhận 164 điểm sạt lở, lý giải là tại những vị trí này sẽ có độ ẩm cao hơn và mái dốc cũng bị tác động bởi các dòng chảy. Bản đồ chỉ số TWI cho thấy đối với các lớp $(1.01 \div 5)$ và lớp $(5 \div 10)$ có số vụ sạt lở đất ghi nhận lần lượt là 122, 224 điểm và chỉ số C lần lượt là 0,109 và 0,163, kết quả chứng tỏ chỉ số TWI thấp hiện tượng sạt lở đất cũng diễn ra nhiều hơn. Đối với bản đồ tích lũy dòng chảy vị trí xảy ra sạt lở đất chủ yếu ở lớp $(0 \div 200)$ với 355 điểm sạt lở và chỉ số C ở lớp này cũng lớn nhất bằng 0,382.

Bản đồ hướng của dòng chảy cho thấy với lớp $(1 \div 51)$ ghi nhận các vụ sạt lở nhiều nhất là 260 vụ và chủ yếu xảy ra đối với lớp thấp. Trong bản đồ lượng mưa điểm sạt lở lớn nhất là vùng có lượng mưa $3.200 \div 3.600$ mm/năm với 112 điểm sạt lở, kết quả đánh giá tại những vùng có lượng mưa lớn thường dễ xảy ra sạt lở đất hơn những vùng có lượng mưa nhỏ. Tại bảng phân tích tình trạng sử dụng đất có thể thấy rằng các điểm sạt lở chủ yếu tập chung tại các vùng công trình đang xây dựng, giao thông và khu khai thác cụ thể lần lượt ghi nhận số điểm sạt lở là 268; 42; 21 điểm, có thể thấy rằng yếu tố con người có ảnh hưởng rất lớn tới sự mất ổn định của mái dốc.

Bảng 1. Phân tích tỷ số tần suất của các yếu tố gây sạt lở đất

Các yếu tố	Các lớp	Số điểm ảnh của các lớp	Số điểm ảnh sạt lở đất	Phần trăm điểm ảnh sạt lở đất	WOE		
					W+	W-	C
Góc mái dốc ($^{\circ}$)	0 - 8	3.371.709	77	21,330	-0,299	0,099	-0,398
	8 - 15	1.729.305	68	18,837	0,245	-0,049	0,294
	15 - 25	3.323.894	130	36,011	0,240	-0,113	0,353
	25 - 35	2.489.390	68	18,837	-0,119	0,030	-0,149
	35 - 45	746.041	17	4,709	-0,301	0,018	-0,318
	45 - 84,78	68.450	1	0,277	-0,745	0,003	-0,748
Cao độ (m)	0 - 370	5.660.139	222	61,496	0,244	-0,297	0,541
	370 - 740	3.369.025	121	33,518	0,156	-0,070	0,226
	740 - 1.110	1.838.578	17	4,709	-1,201	0,122	-1,323
	1.110 - 1.480	699.820	1	0,277	-3,068	0,059	-3,127
	1.480 - 1.850	137.418	0	0	0	0,012	0
	1.850 - 2.220	32.246	0	0	0	0,003	0
	2.220 - 2.586,17	10.892	0	0	0	0,001	0

Các yếu tố	Các lớp	Số điểm ảnh của các lớp	Số điểm ảnh sạt lở đất	Phần trăm điểm ảnh sạt lở đất	WOE		
					W+	W-	C
Hình dáng bề mặt địa hình	Lõm < - 0,05	4.746.718	163	45,152	0,111	-0,083	0,194
	Mặt bằng - 0,05 – 0,05	2.193.618	31	8,587	-0,777	0,117	-0,894
	Lồi > 0,05	4.807.782	167	46,260	0,123	-0,095	0,217
Hướng dốc	Mặt bằng	123.802	3	0,831	-0,239	0,002	-0,241
	Hướng Bắc	1.538.969	48	13,296	0,013	-0,002	0,015
	Hướng Đông Bắc	1.646.936	45	12,465	-0,119	0,018	-0,137
	Hướng Đông	1.469.897	39	10,803	-0,149	0,020	-0,168
	Hướng Đông Nam	1.478.086	48	13,296	0,054	-0,008	0,062
	Hướng Nam	1.402.210	40	11,080	-0,076	0,010	-0,086
	Hướng Tây Nam	1.406.765	49	13,573	0,124	-0,018	0,142
	Hướng Tây	1.257.038	37	10,249	-0,045	0,005	-0,050
	Hướng Tây Bắc	1.405.086	52	14,404	0,184	-0,028	0,212
Khoảng cách tới các sông (m)	< 1 km	3.165.039	164	45,429	-0,021	0,004	-0,025
	1 – 2 km	1.963.763	59	16,343	-0,337	0,044	-0,381
	2 – 3 km	1.597.266	35	9,695	0,524	-0,292	0,816
	> 3 km	5.040.112	103	28,532	-0,406	0,223	-0,630
Độ ẩm địa hình	1,01 – 5	3.684.026	122	33,795	0,073	-0,035	0,109
	5 – 10	6.819.607	224	62,050	0,065	-0,098	0,163
	10 – 15	1.185.112	14	3,878	-0,958	0,067	-1,025
	15 – 20	39.884	1	0,277	-0,205	0,001	-0,206
	20 – 25,47	160	0	0	0	0	0
Tích lũy dòng chảy	0–200	11.464.180	355	98,338	0,008	-0,374	0,382
	200–1.000	234.920	6	1,662	-0,185	0,003	-0,188
	1.000–2.000	33.425	0	0	0	0,003	0
	2.000–5.000	14.254	0	0	0	0,001	0
	5.000–21.134	1.339	0	0	0	0	0
Hướng của dòng chảy	1 – 51	8.516.021	260	72,022	-0,007	0,017	-0,023
	51 – 102	1.775.328	51	14,127	-0,067	0,012	-0,079
	102 – 153	1.437.430	46	12,742	0,041	-0,006	0,046
	153 – 204	4.667	1	0,277	1,942	-0,002	1,945
	205 – 255	14.672	3	0,831	1,895	-0,007	1,903
Lượng mưa (mm/yr)	< 2.400	2.271.595	30	8,310	-0,848	0,129	-0,977
	2.400 – 2.800	1.902.197	85	23,546	0,371	-0,091	0,462
	2.800 – 3.200	2.333.418	105	29,086	0,378	-0,121	0,499
	3.200 – 3.600	4.358.020	112	31,025	-0,183	0,094	-0,277
	> 3.600	837.590	29	8,033	0,116	-0,010	0,125

Các yếu tố	Các lớp	Số điểm ảnh của các lớp	Số điểm ảnh sạt lở đất	Phần trăm điểm ảnh sạt lở đất	WOE		
					W+	W-	C
Tình trạng sử dụng đất	Công trình đang xây dựng	8.814.612	268	74,238	-0,004	0,011	-0,015
	Giao thông	717.176	42	11,634	0,652	-0,061	0,713
	Khu công trình	217.967	8	2,216	0,185	-0,004	0,188
	Khu dân cư	11.826	1	0,277	1,019	-0,002	1,021
	Khu khai thác	1.215.635	21	5,817	-0,569	0,049	-0,618
	Khu vực canh tác nông nghiệp	1.498	0	0	0	0	0
	Khu vực đồng cỏ	35.199	1	0,277	-0,072	0	-0,072
	Mặt nước	7.489	0	0	0	0,001	0,000
	Rừng	415.310	7	1,939	-0,594	0,016	-0,610
	Thực vật trong khu dân cư	106.310	7	1,939	0,769	-0,011	0,780
	Vùng chưa thành rừng	2.703	0	0	0	0	0
	Vùng đất trống	283.532	6	1,662	-0,366	0,008	-0,374

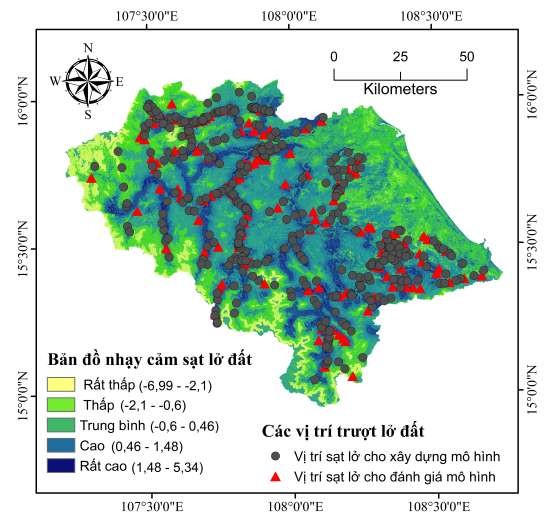
4.2. Xây dựng bản đồ nhạy cảm sạt lở đất khu vực nghiên cứu

Bản đồ đánh giá và phân vùng sạt lở đất là sản phẩm cuối cùng và được thể hiện ở các mức độ nguy cơ sạt lở đất khác nhau của khu vực nghiên cứu. Để xây dựng được bản đồ đánh giá phân vùng sạt lở đất cần phải gán các trọng số “C” đã tính toán được vào các lớp của bản đồ tương ứng (Hình 3). Sau đó sử dụng công cụ “Raster calculator” trên phần mềm GIS để tiến hành cộng các bản đồ tham số để tạo ra bản đồ đánh giá và phân vùng sạt lở đất [28]. Ta có công thức sau:

$$LSI = \sum_{i=1}^{10} M_i \quad (8)$$

trong đó: LSI là bản đồ sạt lở đất; M_i là các bản đồ các tham số nguyên nhân gây ra sạt lở đất.

Để phân loại giá trị nhạy cảm sạt lở đất, phương pháp điểm nghỉ tự nhiên (Natural Break) trong phần mềm Arcgis 10.8 đã được sử dụng và được phân loại thành 5 cấp độ nhạy cảm [29] bao gồm: Nhạy cảm rất thấp ($-6,99 \div -2,1$), nhạy cảm thấp ($-2,1 \div -0,6$), nhạy cảm trung bình ($-0,6 \div 0,46$), nhạy cảm cao ($0,46 \div 1,48$), nhạy cảm rất cao ($1,48 \div 5,34$). Kết quả phân tích nghiên cứu cho thấy rằng: Vùng nhạy cảm rất thấp chiếm 7,82% diện tích khu vực nghiên cứu; 22,72% diện tích khu vực nghiên cứu là vùng nhạy cảm thấp, tiếp theo là

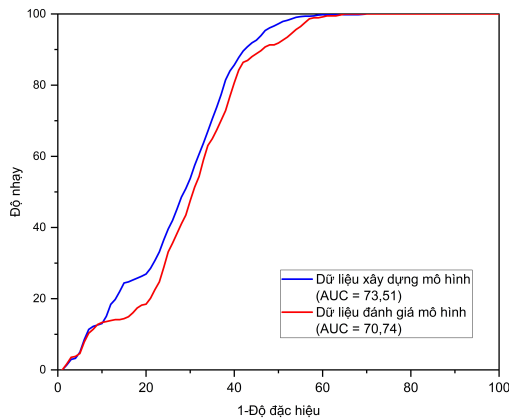


Hình 3. Bản đồ phân vùng sạt lở đất khu vực tỉnh Quảng Nam

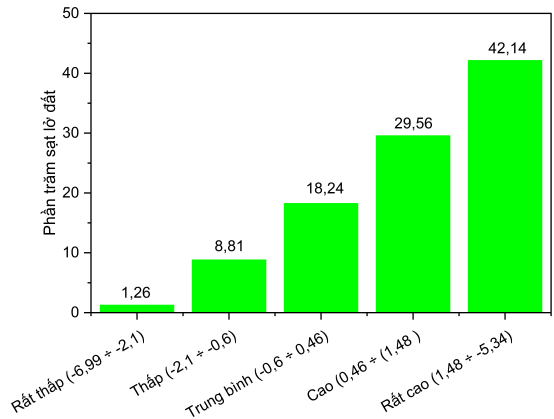
vùng nhạy cảm trung bình chiếm 22,64% diện tích khu vực. Vùng nhạy cảm cao và rất cao chiếm lần lượt 30,35% và 16,48% diện tích khu vực.

4.3. Đánh giá bản đồ phân vùng nhạy cảm sụt lún đất

Trong nghiên cứu, đường cong đặc hiệu AUC đã được sử dụng để phân tích dữ liệu và hiệu suất. Diện tích dưới đường cong AUC được sử dụng như một tiêu chí để đo độ chính xác dự đoán của các thuật toán. Giá trị AUC thay đổi giữa “0,5 ÷ 1”. Giá trị 0,5 cho thấy hiệu suất kém của các thuật toán trong việc dự đoán sự nhạy cảm với các mối nguy hiểm sụt lún. Giá trị tiệm cận 1 cho thấy hiệu suất mạnh mẽ của các thuật toán trong việc dự đoán độ nhạy cảm với sụt lún đất. Kết quả đánh giá hiệu suất của mô hình (Hình 4) cho thấy năng lực dự báo của mô hình WOE là chấp nhận được (AUC = 73,51 cho dữ liệu đào tạo và AUC = 70,74 cho dữ liệu kiểm chứng).



Hình 4. Giá trị AUC của phương pháp WOE



Hình 5. Đánh giá độ chính xác bản đồ phân vùng sụt lún đất khu vực nghiên cứu

Để đánh giá độ tin cậy của bản đồ nhạy cảm sụt lún đất của khu vực nghiên cứu. Cần sử dụng 30% số vụ sụt lún đất còn lại bằng cách chồng lần các vụ sụt lún đất này với các lớp của bản đồ đánh giá và phân vùng sụt lún đất đã xây dựng trước đó. Kết quả cho thấy rằng (Hình 5), khoảng 42,14% các vụ sụt lún đất nằm trên vùng nhạy cảm rất cao, khoảng 29,56% số vụ sụt lún đất nằm trên vùng nhạy cảm cao, vùng nhạy cảm trung bình và thấp lần lượt chỉ chiếm 18,24% và 8,81% số vụ sụt lún đất. Chỉ có 2 vụ xảy ra ở vùng rất thấp chiếm khoảng 1,26%. Như vậy, bản đồ đánh giá và phân vùng sụt lún đất được xây dựng đảm bảo độ tin cậy có thể sử dụng trong việc giảm thiểu rủi ro, quản lý và xây dựng đường giao thông.

5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành xây dựng bản đồ đánh giá và phân vùng nguy cơ sụt lún đất trên địa bàn tỉnh Quảng Nam sử dụng mô hình trọng số dẫn chứng (WOE) dựa trên phần mềm hệ thống thông tin địa lý GIS. Để thực hiện nghiên cứu, tiến hành thu thập dữ liệu bao gồm 520 vụ sụt lún đất trong quá khứ và 10 bản đồ tham số là các nguyên nhân trực tiếp dẫn tới sụt lún đất được thu thập và sử dụng. Trong đó, 70% số vụ sụt lún đất được lựa chọn ngẫu nhiên để phục vụ công tác xây dựng bản đồ nguy cơ sụt lún đất và 30% số vụ sụt lún đất còn lại dùng để đánh giá độ tin cậy bản đồ.

Kết quả nghiên cứu cho thấy chỉ có khoảng 7,82% diện tích khu vực nằm trong vùng nhạy cảm rất thấp, 22,72% diện tích khu vực nằm trong vùng nhạy cảm thấp, 22,64% diện tích khu vực nghiên

cứu nằm trong vùng nhạy cảm trung bình, 30,35% và 16,48% là vùng nhạy cảm cao và rất cao. Kết quả kiểm chứng bản đồ cho thấy, 42,14% các vụ sạt lở đất nằm trên vùng nhạy cảm rất cao, khoảng 29,56% số vụ sạt lở đất nằm trên vùng nhạy cảm cao, vùng nhạy cảm trung bình và thấp lần lượt chỉ chiếm 18,24% và 8,81% số vụ sạt lở đất, chỉ có 2 vụ xảy ra ở vùng rất thấp chiếm khoảng 1,26%. Như vậy có thể thấy rằng bản đồ đánh giá và phân vùng sạt lở đất được xây dựng đảm bảo độ tin cậy có thể sử dụng trong việc giảm thiểu rủi ro, quản lý và xây dựng đường giao thông.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này là kết quả của đề tài Luận văn thạc sĩ trường Đại học công nghệ GTVT: “Đánh giá, phân vùng nguy cơ sạt lở đất phục vụ xây dựng đường ô tô sử dụng mô hình trọng số dẫn chứng (WOE) dựa trên ứng dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS)” năm 2021.

Tài liệu tham khảo

- [1] Chakraborty, S., Pradhan, R. (2012). [Development of GIS based Landslide Information System for the Region of East Sikkim](#). *International Journal of Computer Applications*, 49(7):5–9.
- [2] Kanungo, D. P., Arora, M. K., Sarkar, S., Gupta, R. P. (2012). Landslide Susceptibility Zonation (LSZ) Mapping—A Review. *South Asia Journal of Disaster Research*, 2(1):81–105.
- [3] Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (1995). [Gis Technology in Mapping Landslide Hazard](#). *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, Springer Netherlands, 135–175.
- [4] Pham, B. T., Phong, T. V., Nguyen-Thoi, T., Trinh, P. T., Tran, Q. C., Ho, L. S., Singh, S. K., Duyen, T. T., Nguyen, L. T., Le, H. Q., Le, H. V., Hanh, N. T. B., Quoc, N. K., Prakash, I. (2020). [GIS-based ensemble soft computing models for landslide susceptibility mapping](#). *Advances in Space Research*, 66(6):1303–1320.
- [5] van Westen, C. J., Rengers, N., Terlien, M. T. J., Soeters, R. (1997). [Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation](#). *Geologische Rundschau*, 86(2):404–414.
- [6] Erener, A., Mutlu, A., Düzgün, H. S. (2016). [A comparative study for landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis \(MCDA\), logistic regression \(LR\) and association rule mining \(ARM\)](#). *Engineering Geology*, 203:45–55.
- [7] Mondal, S., Maiti, R. (2013). [Integrating the Analytical Hierarchy Process \(AHP\) and the frequency ratio \(FR\) model in landslide susceptibility mapping of Shiv-khola watershed, Darjeeling Himalaya](#). *International Journal of Disaster Risk Science*, 4(4):200–212.
- [8] Kayastha, P., Dhital, M. R., Smedt, F. D. (2013). [Application of the analytical hierarchy process \(AHP\) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal](#). *Computers & Geosciences*, 52:398–408.
- [9] Gholami, M., Ghachkanlu, E. N., Khosravi, K., Pirasteh, S. (2019). [Landslide prediction capability by comparison of frequency ratio, fuzzy gamma and landslide index method](#). *Journal of Earth System Science*, 128(2).
- [10] Ma, S., Qiu, H., Hu, S., Pei, Y., Yang, W., Yang, D., Cao, M. (2019). [Quantitative assessment of landslide susceptibility on the Loess Plateau in China](#). *Physical Geography*, 41(6):489–516.
- [11] Đỗ, M. N., Đỗ, M. Đ. (2016). Ứng dụng GIS và phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) thành lập bản đồ nguy cơ trượt lở huyện Xín Mần, tỉnh Hà Giang, Việt Nam. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, 32(2S).
- [12] Quy, Đ. T., Lan, P. T. H. (2015). Xây dựng bản đồ hiểm họa trượt lở đất tỉnh Sơn La. *Tạp chí Khoa kỹ thuật thủy lợi và môi trường*, 51:50–54.
- [13] Đặng, T. H., Bùi, T. T. T., Nguyễn, K. T. (2019). Nghiên cứu xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở đất cho huyện Văn Yên, tỉnh Yên Bái. *Bản B của Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, 61(3).
- [14] Lê, H. (2018). *Xây dựng hệ thống thông tin hỗ trợ cảnh báo sạt lở cho tỉnh Quảng Bình*.

- [15] Bonham-Carter, G. F. (1994). Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. *Computer Methods in the Geosciences*, 13(13):398.
- [16] Tuyên, N. V., Dương, T. Q. (2014). Application of GIS technology in the post-planning management of Duonglam old village, Sontay, Hanoi. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐH XDHN*, 8 (2).
- [17] Pham, B. T., Bui, D. T., Indra, P., Dholakia M., B. (2015). [Landslide Susceptibility Assessment at a Part of Uttarakhand Himalaya, India using GIS – based Statistical Approach of Frequency Ratio Method](#). *International Journal of Engineering Research and*, V4(11).
- [18] Nguyen, Tuyen, Shirzadi, Pham, Shahabi, Omidvar, Amini, Entezami, Prakash, Phong, Vu, Thanh, Saro, Bui (2019). [Development of a Novel Hybrid Intelligence Approach for Landslide Spatial Prediction](#). *Applied Sciences*, 9(14):2824.
- [19] Dao, D. V., Jaafari, A., Bayat, M., Mafi-Gholami, D., Qi, C., Moayedi, H., Phong, T. V., Ly, H.-B., Le, T.-T., Trinh, P. T., Luu, C., Quoc, N. K., Thanh, B. N., Pham, B. T. (2020). [A spatially explicit deep learning neural network model for the prediction of landslide susceptibility](#). *CATENA*, 188:104451.
- [20] Pham, B. T., Pradhan, B., Bui, D. T., Prakash, I., Dholakia, M. B. (2016). [A comparative study of different machine learning methods for landslide susceptibility assessment: A case study of Uttarakhand area \(India\)](#). *Environmental Modelling & Software*, 84:240–250.
- [21] Nohani, Moharrami, Sharafi, Khosravi, Pradhan, Pham, Lee, Melesse (2019). [Landslide Susceptibility Mapping Using Different GIS-Based Bivariate Models](#). *Water*, 11(7):1402.
- [22] Dou, J., Yunus, A. P., Bui, D. T., Merghadi, A., Sahana, M., Zhu, Z., Chen, C.-W., Han, Z., Pham, B. T. (2019). [Improved landslide assessment using support vector machine with bagging, boosting, and stacking ensemble machine learning framework in a mountainous watershed, Japan](#). *Landslides*, 17(3):641–658.
- [23] Pham, B. T., Avand, M., Janizadeh, S., Phong, T. V., Al-Ansari, N., Ho, L. S., Das, S., Le, H. V., Amini, A., Bozchaloei, S. K., Jafari, F., Prakash, I. (2020). [GIS Based Hybrid Computational Approaches for Flash Flood Susceptibility Assessment](#). *Water*, 12(3):683.
- [24] Merghadi, A., Yunus, A. P., Dou, J., Whiteley, J., ThaiPham, B., Bui, D. T., Avtar, R., Abderrahmane, B. (2020). [Machine learning methods for landslide susceptibility studies: A comparative overview of algorithm performance](#). *Earth-Science Reviews*, 207:103225.
- [25] Đức, Đ. N., Thanh, T. N., Văn, P. T., Thái, B. P. et al. (2022). Phát triển mô hình học máy cây quyết định và cây quyết định xen kẽ thành lập bản đồ dự báo không gian sạt lở đất tại huyện Mường Nhé, tỉnh Điện Biên, Việt Nam. *Tạp chí điện tử Khoa học và Công nghệ Giao thông*, 36–56.
- [26] Mai, T. T., Ngô, V. L., Đoàn, A. T., Nguyễn, V. T. (2015). Phân tích tương quan giữa trượt lở đất và lượng mưa khu vực Mai Châu-Hòa Bình. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, 31(4).
- [27] Isard, S. A. (1986). [Factors Influencing Soil Moisture and Plant Community Distribution on Niwot Ridge, Front Range, Colorado, U.S.A](#). *Arctic and Alpine Research*, 18(1):83.
- [28] Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H. R., Rezaeian, J., Sattarian, A. (2014). [GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran](#). *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(4):909–926.
- [29] Pham, B. T., Jaafari, A., Prakash, I., Bui, D. T. (2018). [A novel hybrid intelligent model of support vector machines and the MultiBoost ensemble for landslide susceptibility modeling](#). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(4):2865–2886.