

ỨNG DỤNG GIS VÀ VIỄN THÁM CẢNH BÁO LỞ ĐẤT, NGẬP LỤT, CHÁY RỪNG TẠI XÃ THƯỢNG TRẠCH, HUYỆN BỐ TRẠCH, TỈNH QUẢNG BÌNH

TRẦN XUÂN MÙI¹, VÕ VĂN TRÍ¹, PHẠM HỒNG THÁI¹, LÊ THỊ PHƯƠNG LAN¹
PHAN THANH QUYẾT², CAO THỊ THANH THỦY²

¹ Vườn quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng

² Trường Đại học Quảng Bình

Tóm tắt:

Xã Thượng Trạch, huyện Bố Trạch, tỉnh Quảng Bình có địa hình dốc, chia cắt bởi hệ thống sông ngòi, lớp thực vật bề mặt ngày càng giảm, quy hoạch cơ sở hạ tầng ngày càng tăng, các vùng sản xuất nông nghiệp, khu dân cư lại chủ yếu là núi đất, dẫn đến có nguy cơ cao về tai biến thiên nhiên khi chịu ảnh hưởng của mưa, bão, hạn hán. Nghiên cứu các tai biến sạt lở, ngập lụt, cháy rừng ở khu vực này nhằm đưa ra những cảnh báo để giảm thiểu tác động tiêu cực lên hệ sinh thái và cộng đồng người dân ở đây. Trong nghiên cứu này, các dữ liệu đầu vào gồm: Ảnh viễn thám; bản đồ địa chất và các thông tin về vết lũ; vùng ngập, điểm sạt lở, vùng cháy ghi nhận từ các điều tra thực địa được sử dụng để phân tích. Dựa vào đặc điểm của mỗi vùng sẽ xác định trọng số khác nhau, từ đó nội suy 5 cấp độ cảnh báo.

Từ khóa: Tai biến, sạt lở đất, ngập lụt, cháy rừng, Thượng Trạch.

Ngày nhận bài: 18/5/2023; **Ngày sửa chữa:** 21/6/2023; **Ngày duyệt đăng:** 18/7/2023.

Applicationgis andremotes to warninglandslide, flood, forestfires in Thuong Trach commune, Bo Trach district, Quang Binh province

Abstract:

Thuong Trach commune, Bo Trach district, Quang Binh province has a steep terrain, divided by a system of rivers, the surface vegetation layer is decreasing, infrastructure planning is increasing, agricultural production areas, Residential areas are mainly mountainous areas, leading to a high risk of natural disasters when affected by rain, storm, and drought. Research on landslides, floods, and forest fires in this area to give warnings to minimize negative impacts on the ecosystem and local communities. In this study, the input data including: Remote sensing image data, geological map and information on flood spots, flooded areas, landslide points, fire zones recorded from field investigations are used. for analysis. Based on the characteristics of each zone, different weights will be determined, thereby interpolating 5 warning levels.

Keywords: Disasters, landslides, floods, forest fires, Thuong Trach.

JEL Classifications: O13, Q54, Q56, Q57, Y10.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vùng Phong Nha - Kẻ Bàng nằm ở miền Trung Việt Nam, nơi hứng chịu nhiều thiên tai như bão, lũ, hạn hán do tác động của thời tiết cực đoan và biến đổi khí hậu. Khu vực này địa hình dốc, chia cắt mạnh, lại nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới ẩm, mưa nhiều, lượng mưa lớn, bình quân từ 2.000 - 2.500 mm, có nơi lên tới 3.000 mm, phân bố không đều trong năm. Mùa khô tuy lượng mưa thấp nhưng số ngày mưa bình quân tháng tối thiểu là 10 ngày do có nhiều đợt mưa tiểu mãn. Phong Nha - Kẻ Bàng còn nằm trong lưu vực của các dòng sông Chày,

sông Troóc, sông Son... đều là thượng nguồn của sông Gianh [5].

Xã Thượng Trạch, vùng đệm Vườn Quốc gia (VQG) Phong Nha - Kẻ Bàng, có diện tích 74.151,83 ha. Từ phía Nam đến Đông chủ yếu là núi đất, xen với núi đá vôi; phía Bắc đến Tây chủ yếu là núi đá vôi. Theo hiện trạng sử dụng đất, phần lớn diện tích trong ranh giới địa chính của xã Thượng Trạch là rừng đặc dụng (do VQG Phong Nha - Kẻ Bàng quản lý), phần ngoài ranh giới VQG là đất rừng sản xuất, rừng phòng hộ, nương rẫy, đất giao thông, cơ sở hạ tầng, đất ở. Hệ thống thủy văn

khu vực này khá phức tạp, chứa nhiều sông ngấm với chức năng điều hòa, cung cấp nước duy trì sự ổn định của hệ sinh thái cũng như giá trị đa dạng sinh học của VQG Phong Nha - Kẻ Bàng (Hình 1).

Trong những năm qua, thời tiết cực đoan đã gây hậu quả nghiêm trọng, lũ lụt, trượt lở, cháy rừng xảy ra thường xuyên, ảnh hưởng trực tiếp đến hoạt động sản xuất và đời sống của người dân. Do vậy, để ứng phó với tai biến thiên nhiên, nghiên cứu về hiện trạng thực tế trên các công cụ công nghệ là sự lựa chọn tốt nhất. Chu Văn Ngợi, Nguyễn Thị Thu Hà, 2002 thực hiện Nghiên cứu “Đánh giá nguy cơ tai biến trượt lở dọc tuyến đường 4D trên cơ sở nghiên cứu mối quan hệ giữa cấu trúc địa chất và địa hình”, kết quả thể hiện rõ nguyên nhân gây ra sạt lở đất, đồng thời phân tích mối quan hệ giữa cấu trúc địa chất và đặc điểm địa hình tác động đến quá trình sạt lở đất [2]. Nhóm tác giả Lại Tuấn Anh và nnk năm 2005 cũng nghiên cứu các yếu tố tác động đến sạt lở đất, đã sử dụng công nghệ viễn thám và GIS để phân tích các yếu tố tác động đến sạt lở đất, từ đó thành lập bản đồ chuyên đề khu vực sạt lở đất nguy hiểm ở khu vực huyện Xín Mần, tỉnh Hà Giang. Trong đó, mối quan hệ định lượng giữa sạt lở đất và các yếu tố ảnh hưởng đến sạt lở đất đã được thành lập bằng hệ số chắc chắn CF (Certainty Factor). Các yếu tố ảnh hưởng được các tác giả đề cập đến như độ dốc, độ cao, lớp đất

mặt, địa chất, khả năng thoát nước... và phân tích bằng công nghệ viễn thám, GIS [4]. Các nghiên cứu về chỉ số khô hạn, nguy cơ cháy của Đỗ Thị Phương Thảo và nnk, 2020 “Thành lập bản đồ khô hạn tổng hợp tỉnh Ninh Thuận bằng phương pháp chiết xuất, tổng hợp thông tin địa không gian từ dữ liệu Landsat 8 OLI-TIR”, kết quả đã thành lập được bản đồ khô hạn tổng hợp kết hợp của cả dữ liệu khách quan cũng như chủ quan (ý kiến đánh giá từ chuyên gia) [3]. Nghiên cứu của Bùi Thanh Hưng, Nguyễn Thanh Thủy Vân, 2019 “Nghiên cứu sử dụng QGIS và phân tích thứ bậc (AHP) để phân cấp nguy cơ cháy rừng tại huyện Mường Chà, tỉnh Điện Biên”, kết quả đã xây dựng được 9 lớp bản đồ tương ứng với 9 nhân tố có thể ảnh hưởng tới nguy cơ cháy rừng: Độ dốc, hướng phơi, độ cao, khoảng cách đến sông suối, đường giao thông, khu dân cư, nương rẫy, loại trạng thái rừng và loại đất. Sau đó các lớp được phân loại theo 5 cấp cháy rừng từ 1 - 5. Trong đó, 1 là khu vực có nguy cơ thấp và 5 là khu vực có nguy cơ cháy rừng cao nhất. Phương pháp phân tích thứ bậc AHP được sử dụng để tìm, xếp hạng được trọng số cho 9 nhân tố ảnh hưởng [1]. Nghiên cứu ngập lụt điển hình của tác giả Trần Thị Ân và nnk, 2022 “Đánh giá tính dễ bị tổn thương do lũ lụt ở quy mô địa phương bằng kỹ thuật viễn thám và GIS: Nghiên cứu điển hình tại Thành phố Đà Nẵng, Việt Nam”, tập trung vào việc tạo ra một bộ tiêu chí xem xét 3 khía cạnh của tính dễ bị tổn thương do lũ lụt: Mức độ ảnh hưởng, độ nhạy cảm và khả năng thích ứng (AC) theo cách tiếp cận dựa trên chỉ số, bản đồ tính dễ bị tổn thương do lũ lụt ở quy mô địa phương được xác định dựa trên sự tích hợp các yếu tố đóng góp của nó.

Trên cơ sở khảo sát thực địa và các nghiên cứu trước đây, cùng với dữ liệu vệ tinh, bản đồ địa chất ứng dụng công cụ GIS để nội suy, xây dựng các bản đồ cảnh báo đối với sạt lở đất, ngập lụt, cháy rừng ở khu vực xã Thượng Trạch. Kết quả nghiên cứu là tài liệu phục vụ cho công tác quy hoạch, bố trí công trình, phục vụ quản lý, hoạch định chính sách và đánh giá, dự báo tác động đến tài nguyên cũng như các giá trị ngoại hạng của Di sản thiên nhiên thế giới VQG Phong Nha - Kẻ Bàng.

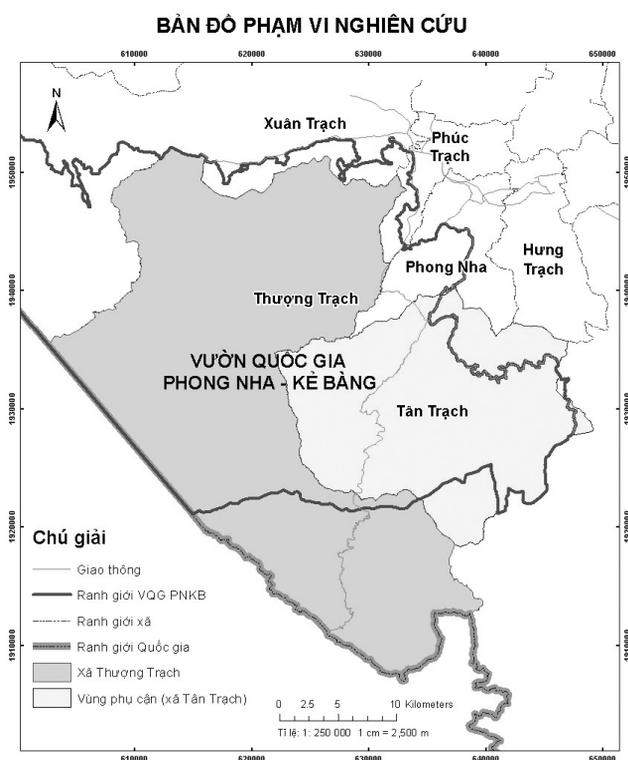
2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Dữ liệu

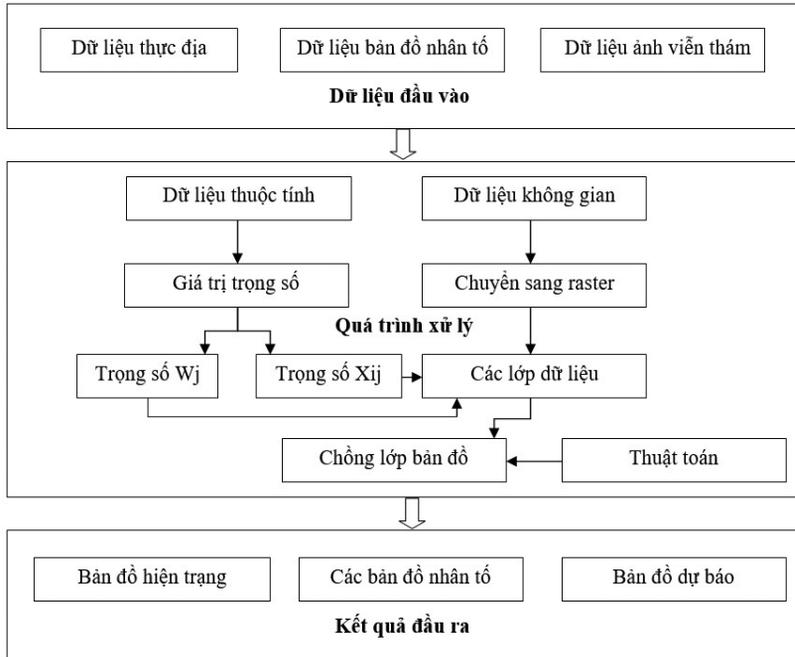
- Dữ liệu ảnh viễn thám: Ảnh Sentinel 2A chụp năm 2020; ảnh Landsat 8 chụp năm 2016; ảnh Spot 5 chụp năm 2010; ảnh DEM (mô hình số độ cao); ảnh trích xuất trên google earth (Bảng 1).

- Bản đồ: Địa chất, độ dốc, mật độ sông suối, thủy văn, loại đất, hiện trạng rừng, lượng mưa.

- Số liệu thực địa năm 2022, 2023, gồm thông tin về lớp phủ, các điểm sạt lở, điểm ngập, vết lũ, điểm



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu



Hình 2. Quy trình thành lập bản đồ dự báo

Bảng 1. Thông số ảnh viễn thám

TT	Sensor	Ngày chụp	Ghi chú
1	Aster GDEM	17/10/2011	Sử dụng dự báo sạt lở, ngập lụt, cháy rừng
2	Aster GDEM	17/10/2011	
3	Landsat 8	7/4/2016	Khoang vùng sạt lở
4	SPOT 5	5/14/2010	
5	SPOT 5	3/12/2010	
6	SPOT 5	3/3/2010	
7	SPOT 5	3/23/2010	
8	Sentinel 2A	05/05/2020	Khoang vùng ngập lụt
9	Sentinel 2A	22/10/2020	

Bảng 2. Ví dụ về ma trận so sánh cặp của 3 yếu tố i, j và k

	Yếu tố i	Yếu tố j	Yếu tố k
Yếu tố i	1	a _{ij}	a _{ik}
Yếu tố j	1/a _{ij}	1	a _{jk}
Yếu tố k	1/a _{ik}	1/a _{jk}	1

Bảng 3. Thang đánh giá mức độ so sánh

Mức độ	Định nghĩa	Giải thích
1	Quan trọng bằng nhau (equal).	Hai yếu tố có mức độ quan trọng như nhau.
3	Sự quan trọng yếu giữa một yếu tố này trên yếu tố kia (moderate).	Kinh nghiệm và nhận định hơi nghiêng về yếu tố này hơn yếu tố kia.
5	Quan trọng nhiều giữa yếu tố này và yếu tố kia (strong).	Kinh nghiệm và nhận định nghiêng mạnh về cái này hơn cái kia.
7	Sự quan trọng biểu lộ rất mạnh giữa yếu tố này hơn yếu tố kia (very strong).	Một yếu tố được ưu tiên rất nhiều hơn cái kia và được biểu lộ trong thực hành
9	Sự quan trọng tuyệt đối giữa yếu tố này hơn yếu tố kia (extreme).	Sự quan trọng hơn hẳn của một yếu tố ở trên mức có thể.
2,4,6,8	Mức trung gian giữa các mức nêu trên.	Cần sự thỏa hiệp giữa hai mức độ nhận định.

nguy cơ cháy và mô tả hiện trạng của các điểm điều tra cập nhật trong Argis online, Survey 123 (Bảng 1).

2.2. Phương pháp

2.2.1. Quy trình thực hiện

Thể hiện như Hình 2.

2.2.2. Phương pháp thành lập bản đồ dự báo sạt lở, ngập lụt và cháy rừng

a) Phương pháp thành lập bản đồ dự báo sạt lở:

- Trên các tham số địa hình (độ dốc), địa chất, đất, lượng mưa, mật độ sông suối, thảm phủ, hiện trạng sạt lở và các điểm điều tra sạt lở... Mỗi lớp dữ liệu được gán một trọng số tương ứng với tầm quan trọng của chúng trong quá trình sạt lở đất.

- Chồng xếp bản đồ: Bản đồ dự báo trượt lở được biên tập theo công thức 1 [9,10,11]:

$$LSI = \sum W_j * X_{ij} \quad (1)$$

Trong đó:

LSI (Landslide Susceptibility Index): Chỉ số nhạy cảm trượt lở đất.

W_j: Trọng số của nhân tố thứ j.

X_{ij}: Điểm số của lớp thứ i trong nhân tố gây trượt j.

Xác định điểm số của các lớp trong nhân tố gây trượt X_{ij} theo công thức [9]:

$$X_{ij} = S_i * 100/S$$

Trong đó:

S_i: Diện tích xảy ra tai biến.

S: Diện tích tự nhiên.

Xác định trọng số của các yếu tố tác động đến trượt lở W_j:

Phương pháp phân tích thứ bậc (Analytical Hierarchy Process - AHP, còn gọi là phương pháp mô hình trọng số) là một phương pháp bán định lượng [7, 8, 11] (Bảng 2).

Đây là ma trận nghịch đảo với sự so sánh cặp: Nếu i so sánh với j có một giá trị a_{ij} thì khi j so sánh với i sẽ có giá trị nghịch đảo là 1/a_{ij}. Để điền vào ma trận, dùng thang đánh giá từ 1 - 9 như sau [7, 8, 11]: (Bảng 3).

Tiến hành điều tra 4 chuyên gia bằng phiếu câu hỏi, nội dung trong phiếu câu hỏi xoay quanh 2 vấn đề:

- Xếp hạng mức độ ưu tiên của các yếu tố.

- Đánh giá và cho điểm đối với từng cặp yếu tố theo thang đánh giá của Satty (Bảng 4).

Tổng hợp kết quả phỏng vấn và tính toán mức độ ưu tiên của từng cặp yếu tố bằng phương pháp trung bình cộng. Kết quả thể hiện tại Bảng 4.

Dựa trên nguyên tắc AHP, thứ tự ưu tiên của các yếu tố sẽ được so sánh từng đôi một. Kết quả so sánh thể hiện ở Bảng 3. Trọng số của các yếu tố được xác định bằng giá trị trung bình (Bảng 5).

Việc tính toán trọng số được thực hiện khi chia từng giá trị trong mỗi cột của ma trận cho tổng số giá trị trong cột đó, điều này sẽ cho một ma trận mới (Bảng 5) với các giá trị nằm trong khoảng từ 0 - 1. Giá trị trung bình trên mỗi dòng của ma trận tương ứng với trọng số của chỉ tiêu nằm trên dòng đó (Bảng 6).

b) Phương pháp thành lập bản đồ dự báo ngập lụt:

- Nội suy mức ngập bằng ảnh DEM: Trong ảnh DEM chứa đựng các giá trị độ cao tương ứng trong mỗi pixel.

Công thức phân lớp độ ngập theo mô hình độ cao số DEM

$$Y = \sum_{i=k}^n i \quad (2)$$

Trong đó:

Y: Giá trị của lớp độ ngập tại mức ngập i.

i: Giá trị của pixel trong phân lớp

n: Tổng số các pixel có cùng giá trị i.

k: Giá trị của một pixel được phân lớp

- Nội suy mức ngập từ số liệu vết lũ đợt điều tra sử dụng công cụ IDW trên phần mềm ArcGIS.

Bảng 4. Bảng tổng hợp mức độ ưu tiên các yếu tố

Mã	Yếu tố so sánh từng đôi	Phiếu phỏng vấn chuyên gia				Tổng hợp
		(1)	(2)	(3)	(4)	
1	Độ dốc và địa chất	3	5	3	5	4
2	Độ dốc và đất đai	7	5	7	5	6
3	Độ dốc và lượng mưa	3	5	5	3	4
4	Độ dốc và mật độ sông suối	7	5	9	7	7
5	Độ dốc và lớp phủ thực vật	5	7	9	7	7
6	Địa chất và đất đai	-3	-5	-7	-5	-5
7	Địa chất và lượng mưa	-5	-3	-5	-7	-5
8	Địa chất và mật độ sông suối	-5	-3	-5	-3	-4
9	Địa chất và lớp phủ thực vật	-5	-3	-5	-3	-4
10	Đất đai và lượng mưa	1	-3	-3	-3	-2
11	Đất đai và mật độ sông suối	1	-3	-3	-3	-2
12	Đất đai và lớp phủ thực vật	1	3	5	3	3
13	Lượng mưa và mật độ sông suối	5	7	3	5	5
14	Lượng mưa và lớp phủ thực vật	3	5	5	3	4
15	Mật độ sông suối và lớp phủ thực vật	5	5	3	3	4

Bảng 5. Ma trận xác định trọng số các yếu tố

Chỉ tiêu	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
Độ dốc (A)	1	4	6	4	7	7
Địa chất (B)	1/4	1	1/5	1/5	1/4	1/4
Đất đai (C)	1/6	5	1	1/2	1/2	3
Lượng mưa (D)	1/4	5	2	1	5	4
Mật độ sông suối (E)	1/7	4	2	1/5	1	4
Lớp phủ thực vật (F)	1/7	4	1/3	1/4	1/4	1

Bảng 6. Tính toán trọng số cho các yếu tố gây ra trượt lở đất

Chỉ tiêu	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	Trọng số
Độ dốc (A)	0,51	0,17	0,52	0,65	0,5	0,36	0,451
Địa chất (B)	0,13	0,04	0,02	0,03	0,02	0,01	0,041
Đất đai (C)	0,09	0,22	0,09	0,08	0,04	0,16	0,113
Lượng mưa (D)	0,13	0,22	0,17	0,16	0,36	0,21	0,208
Mật độ sông suối (E)	0,07	0,17	0,17	0,03	0,07	0,21	0,120
Lớp phủ thực vật (F)	0,07	0,17	0,03	0,04	0,02	0,05	0,063

- Sử dụng phần mềm ArcGIS khoanh vẽ, phân loại các vùng ngập dựa trên ảnh Sentinel và SPOT.

- Xác định khoảng cách đến sông suối; sử dụng công cụ buffer trong phần mềm ArcGIS tiến hành phân loại khoảng cách đến sông suối. Phân loại mức độ theo khoảng cách gần sông suối có mức độ cao và ngược lại.

- Sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2A để tính toán chỉ số nước khác biệt chuẩn hóa hiệu chỉnh (MNDWI).

- Chồng gộp bản đồ: Bản đồ phân vùng dự báo nguy cơ ngập lụt tổng hợp được chồng gộp có trọng số dựa trên các bản đồ chỉ số thành phần theo phương pháp trung bình trọng số theo công thức tổng quát như sau [13]:

$$P = \sum W_i * X_i \quad (3)$$

Trong đó:

P: Chỉ số nguy cơ cháy.

W_i : Trọng số của các bản đồ chỉ số thành phần i.

X_i : Điểm mức độ nguy cơ cháy các bản đồ chỉ số thành phần i.

Tầm quan trọng của các bản đồ chỉ số thành phần được quyết định bằng cách xác định trọng số các yếu tố ảnh hưởng. Nhóm nghiên cứu sử dụng kỹ thuật phân tích thứ bậc AHP (Analytic Hierarchy Process) để xác định trọng số.

c) Thành lập bản đồ dự báo cháy:

* Chiết xuất thông tin nhiệt độ

- Chuyển đổi giá trị số (DN) sang giá trị bức xạ phổ (L λ)

Dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat 8 được thu nhận dưới dạng ảnh số, do đó cần phải chuyển đổi giá trị của dữ liệu ảnh số này sang giá trị bức xạ phổ là giá trị phản ánh năng lượng phát ra từ mỗi vật thể được thu nhận trên kênh nhiệt. Việc chuyển đổi này được thực hiện theo biểu thức sau [12]:

$$L\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (4)$$

Trong đó:

L λ : Giá trị bức xạ phổ.

M_L : Hệ số đối với từng kênh ảnh cụ thể (giá trị RADIANCE_MULT_BAND_10 trong dữ liệu ảnh LANDSAT 8).

A_L : Hệ số đối với từng kênh ảnh cụ thể (giá trị RADIANCE_ADD_BAND_10 trong dữ liệu ảnh LANDSAT 8).

Q_{cal} : Giá trị số của kênh ảnh.

- Hiệu chỉnh phản xạ khí quyển

Tương tự như chuyển đổi sang bức xạ phổ, các giá trị số nguyên 16-bit trong kênh ảnh cũng có thể được chuyển đổi thành phản xạ khí quyển (TOA). Phương trình sau đây được sử dụng để chuyển đổi các giá trị cấp độ sáng (DN) sang phản xạ TOA:

$$\rho\lambda' = M_p * Q_{cal} + A_p \quad (5)$$

Trong đó:

$\rho\lambda'$: Phản xạ quang phổ của TOA, mà không hiệu chỉnh góc mặt trời (đơn lẻ).

M_p : Hệ số đối với từng kênh ảnh cụ thể (REFLECTANCE_MULT_BAND_4 và REFLECTANCE_MULT_BAND_5 trong dữ liệu ảnh LANDSAT 8).

A_p : Hệ số đối với từng kênh ảnh cụ thể (REFLECTANCE_ADD_BAND_4 và REFLECTANCE_ADD_BAND_5 trong dữ liệu ảnh

LANDSAT 8).

Q_{cal} : Giá trị số của kênh ảnh.

Giá trị $\rho\lambda'$ không đúng phản xạ khí quyển TOA, bởi vì nó không có sự điều chỉnh góc độ mặt trời cho từng pixel. Hệ số điều chỉnh này được bỏ ra khỏi thang đo của ảnh theo yêu cầu của người sử dụng; một số người dùng có thể hài lòng với góc độ độ cao mặt trời trung tâm trong metadata, còn trong nghiên cứu của chúng tôi muốn tính toán góc độ mặt trời trên mỗi pixel trên toàn bộ cảnh. Một khi sử dụng góc chiếu mặt trời để hiệu chỉnh, sự chuyển đổi thành phản xạ TOA chính xác như sau:

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{SE})} \quad (6)$$

Trong đó:

$\rho\lambda$: Giá trị phản xạ ở tầng khí quyển (TOA) được hiệu chỉnh góc chiếu mặt trời.

$\rho\lambda'$: Giá trị phản xạ ở tầng khí quyển (TOA) chưa chỉnh sửa góc.

θ_{SE} : Góc chiếu mặt trời (SUN_ELEVATION).

- Tính giá trị nhiệt độ độ sáng (brightness temperature)

Ảnh kênh 10 của Landsat 8 có thể được chuyển đổi từ giá trị bức xạ phổ sang biến vật lý hữu ích hơn. Đây là nhiệt độ hiệu quả trên vệ tinh (nhiệt độ vật thể đen) của hệ thống được nhìn từ Trái đất - Khí quyển dưới giả thiết sự phát xạ bằng 1. Công thức chuyển đổi tính theo công thức Planck [16]:

$$T_B = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (7)$$

Trong đó:

T_B : Nhiệt độ độ sáng (đơn vị Kelvin).

$K1$: 774,89 W/m².sr.μm (hằng số đối với ảnh hồng ngoại nhiệt LANDSAT 8).

$K2$: 1.321,08 K (hằng số đối với ảnh hồng ngoại nhiệt LANDSAT 8).

L_λ : Giá trị bức xạ phổ.

- Tính nhiệt độ bề mặt đất LST (Land Surface Temperature)

Nhiệt độ có liên quan mật thiết đến độ phát xạ của bề mặt (ϵ). Độ phát xạ được hiểu là tỉ số năng lượng phát xạ từ bề mặt tự nhiên, năng lượng phát xạ từ vật đen ở cùng bước sóng và nhiệt độ. Phương pháp hiệu chỉnh nhiệt độ dựa vào độ phát xạ bề mặt được thực hiện như sau [12]:

$$LST = \frac{T_B}{1 + \left(\frac{\lambda T_B}{\rho}\right) * \ln \epsilon} \quad (8)$$

Trong đó:

T_B : Nhiệt độ độ sáng (brightness temperature).

λ : Giá trị bước sóng trung tâm.

$\rho = \frac{h \cdot c}{\sigma}$ (với: σ (hằng số Stefan - Boltzmann) = $1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K; h (hằng số Plank) = $6.626 \cdot 10^{-34}$ Js; c (vận tốc ánh sáng) = $2.998 \cdot 10^8$ m/s).

ϵ : Độ phản xạ bề mặt (surface emissivity).

Để tính độ phát xạ của bề mặt () trong bài báo sử dụng chỉ số thực vật chuẩn hóa NDVI (Normalized difference vegetation index). Chỉ số thực vật NDVI là tỉ số giữa hiệu số giá trị phản xạ phổ ở kênh cận hồng ngoại và kênh đỏ trên tổng của chúng [16].

$$NDVI = \frac{\rho\lambda NIR - \rho\lambda RED}{\rho\lambda NIR + \rho\lambda RED} \quad (9)$$

Trong đó:

NDVI: Chỉ số thực vật hiệu chỉnh giá trị phản xạ quang phổ TOA.

$\rho\lambda NIR$: Giá trị kênh cận hồng ngoại hiệu chỉnh phản xạ quang phổ TOA.

$\rho\lambda RED$: Giá trị kênh đỏ hiệu chỉnh phản xạ quang phổ TOA.

Trong trường hợp ảnh LANDSAT 8, kênh cận hồng ngoại tương ứng là kênh 5 và kênh đỏ tương ứng là kênh 4. Chỉ số NDVI nhận giá trị trong khoảng -1 đến 1, trong đó thực vật có giá trị nằm trong khoảng 0,2 - 1,0. Trường hợp NDVI > 0,5, khu vực được xem là phủ kín bởi thực vật (sóng điện từ không tới được lớp đất). Đối với đất trống không có thực vật bao phủ, NDVI < 0,2. Đối với nước và đất ẩm, NDVI nhận giá trị âm.

Dựa trên chỉ số thực vật NDVI, độ phát xạ bề mặt có thể được tính bằng phương pháp do Valor E., Caselles V. (1996). Phương pháp này dựa trên chỉ số NDVI áp dụng tại các khu vực không đồng nhất với nhiều kiểu bề mặt thay đổi. Trong phương pháp này, độ phát xạ của một pixel được tính bằng tổng độ phát xạ của các thành phần chứa trong đó [14]:

$$\epsilon = \epsilon_v \cdot P_v + \epsilon_s (1 - P_v) \quad (10)$$

Trong đó:

ϵ : Độ phát xạ bề mặt.

ϵ_v : Tán xạ bề mặt thực vật.

ϵ_s : Tán xạ bề mặt đất trống.

P_v : Hợp phần thực vật (tỉ lệ thực vật trong một pixel). P_v có giá trị bằng 0 đối với đất trống và bằng 1 đối với khu vực được phủ kín bởi thực vật. P_v được tính theo công thức [14]:

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2 \quad (11)$$

- Chuyển nhiệt độ Kelvin về đơn vị Celcius (°C)

Giá trị nhiệt độ tính theo °C:

$$T (°C) = T_s (K) - 273.16 \quad (12)$$

Chuyển giá trị nhiệt về dạng số nguyên:

$$Fix(T) = T (°C) \quad (13)$$

- Xác định chỉ số tình trạng nhiệt độ TCI (Temperature Condition Index)

TCI là chỉ số được sử dụng để xác định các tình huống hạn hán liên quan đến nhiệt độ. Chỉ số này giả định rằng trong thời gian hạn hán, độ ẩm của đất giảm đáng kể và gây ảnh hưởng đến thực vật. Khi nhiệt độ cao hoặc hạn hán tăng, thực vật sẽ có xu hướng suy giảm trong thời kỳ sinh trưởng. Khi nhiệt độ thấp hoặc khả năng hạn hán thấp, đa phần sẽ thuận lợi cho thảm thực vật trong quá trình phát triển (Eskinder và nnk., 2018). TCI được xác định theo công thức:

$$TCI = 100 * \frac{LST_{max} - LST}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (14)$$

Trong đó:

LST_{max} , LST_{min} : Giá trị nhiệt độ bề mặt lớn nhất và nhỏ nhất.

- Phân lớp nhiệt độ có nguy cơ cháy từ thấp đến cao (1 - 5). Trong đó, các vùng nhiệt độ cao có nguy cơ cao, vùng nhiệt độ thấp có nguy cơ thấp.

- Xác định khoảng cách đến đường và khu dân cư; sử dụng công cụ buffer trong phần mềm ArcGIS tiến hành phân loại khoảng cách đến đường giao thông và khu vực dân cư. Phân loại mức độ theo khoảng cách gần đường giao thông, gần khu dân cư có mức độ cao và ngược lại.

- Phân lớp độ cao dựa trên mô hình số độ cao (DEM) theo 5 cấp độ dựa trên công cụ Reclassify trong phần mềm ArcGIS.

- Chồng gộp bản đồ: Bản đồ phân vùng dự báo nguy cơ cháy tổng hợp được chồng gộp có trọng số dựa trên các bản đồ chỉ số thành phần theo phương pháp trung bình trọng số theo công thức tổng quát:

$$F = \sum W_i \cdot X_i \quad (15)$$

Trong đó:

F: Chỉ số nguy cơ cháy.

W_i : Trọng số của các bản đồ chỉ số thành phần i.

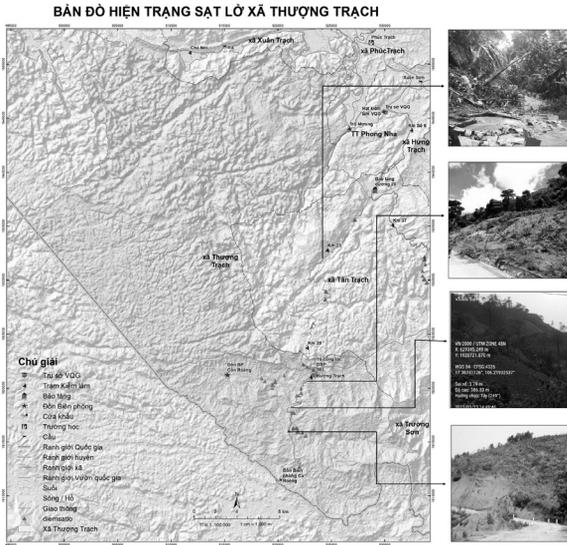
X_i : Điểm mức độ nguy cơ cháy các bản đồ chỉ số thành phần i.

Tầm quan trọng của các bản đồ chỉ số thành phần được quyết định bằng cách xác định trọng số các yếu tố ảnh hưởng. Nhóm nghiên cứu sử dụng kỹ thuật phân tích thứ bậc AHP (Analytic Hierarchy Process) để xác định trọng số.

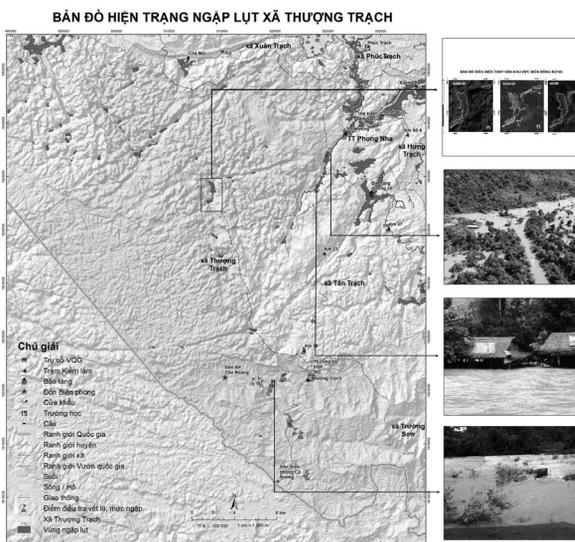
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hiện trạng trượt lở đất, ngập lụt và cháy rừng tại xã Thượng Trạch

Theo kết quả nghiên cứu của Nguyễn Đức Lý năm 2016, hiện tượng trượt lở xảy ra tại 5 địa điểm trên tuyến



Hình 3. Bản đồ hiện trạng sạt lở xã Thượng Trạch



Hình 4. Bản đồ hiện trạng ngập lụt xã Thượng Trạch



Hình 5. Bản đồ hiện trạng cháy rừng xã Thượng Trạch

đường Hồ Chí Minh nhánh Tây, các vị trí này nằm trong phạm vi của VQG Phong Nha - Kẻ Bàng và phát sinh từ các mái dốc độ cao, dao động từ 57 - 287 m [6]. Theo kết quả điều tra, khảo sát trong khuôn khổ Đề tài “Nghiên cứu tác động thiên tai và con người ảnh hưởng lên tài nguyên Di sản VQG Phong Nha - Kẻ Bàng làm cơ sở để xuất giải pháp bảo tồn và phát triển: Trường hợp tại xã Thượng Trạch, huyện Bố Trạch, tỉnh Quảng Bình” ghi nhận 64 điểm sạt lở với diện tích hơn 14.000 m² (Hình 3).

Cũng theo quả điều tra, khảo sát sau mưa lũ tháng 10/2020, mưa lớn gây tình trạng ngập lụt xã Thượng Trạch diện tích 300 ha. Theo kết quả điều tra thủy văn, vết lũ năm 2022 và 2023, khu vực xã Thượng Trạch đã điều tra được 30 điểm, mức ngập dao động 3 - 8 m (Hình 4).

Theo kết quả điều tra năm 2022 và 2023, khu vực xã Thượng Trạch ghi nhận có 5 điểm cháy rừng. Ngoài ra, theo dữ liệu thu thập có 10 điểm có nguy cơ xảy ra cháy trên địa bàn xã Thượng Trạch, phân bố chủ yếu ở gần khu vực dân cư, vùng canh tác nương rẫy và gần đường giao thông (Hình 5).

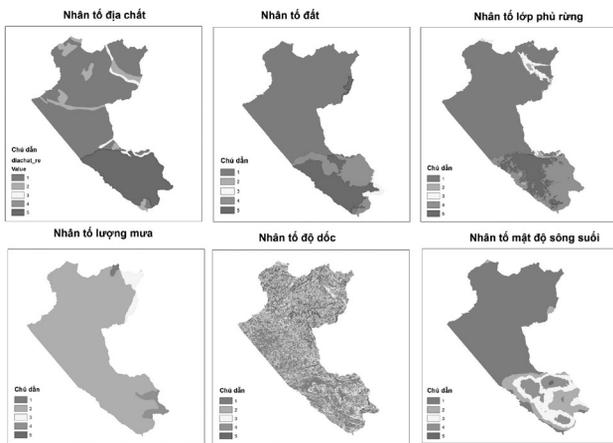
3.2. Bản đồ các nhân tố tác động đến sạt lở đất, ngập lụt, cháy rừng

Bảng 7. Phân cấp trọng số các bản đồ nhân tố sạt lở đất

TT	Phân cấp	Địa chất	Đất đai	Lớp phủ	Mưa (mm/năm)	Độ dốc (độ)	Mật độ sông suối (km/km ²)
1	Cấp 1	CPbs; C-P bs	Núi đá	Rừng TXNĐ trên núi đá vôi ở độ cao trên 700m	2.000	0 - 10	0,5 - 1
2	Cấp 2	C ₁ lk, D ₂ mb, D ₃ fm cd, D ₃ fr dt, O ₃ Sild, P ₂ kg	Đất mùn vàng đỏ trên đá Mácma axit; Đất vàng đỏ trên đá Mácma axit	Rừng TXNĐ trên núi đất ở độ cao trên 700m; Cây bụi, thảm cỏ trên núi đá vôi	2.100	10 - 20	1 - 1,5
3	Cấp 3	C ₁ lk, yaC1 ts1	Đất mùn đỏ vàng trên đá sét	Rừng kín thường xanh nhiệt đới ẩm trên núi đất dưới 700m	2.150	20 - 30	1,5 - 2
4	Cấp 4	O ₃ - S ₁ ld ₁	Đất mùn vàng nhạt trên đá cát; Đất vàng nhạt trên đá cát	Rừng lá rộng thường xanh; Cây bụi, thảm cỏ trên núi đất; Đất trồng có cây gỗ rải rác	2.200	30 - 40	2 - 2,5
5	Cấp 5	K ₂ mg ₃ , K ₂ mg ₂	Đất đỏ vàng trên đá sét	Đất nông nghiệp và đất khác; Đất trồng có Cỏ, Cây bụi	2.300	40 - 75	2,5 - 3

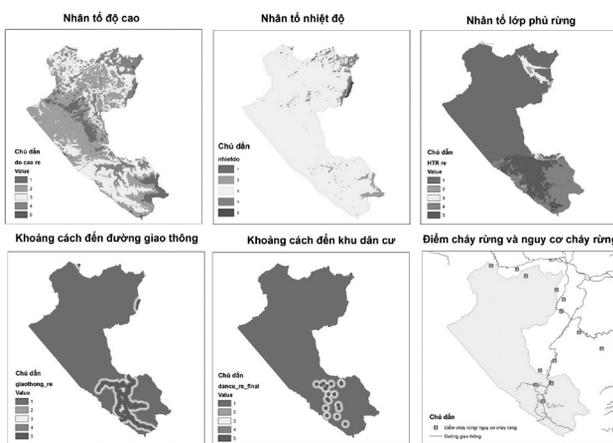
Bảng 8. Diện tích phân cấp trọng số các bản đồ nhân tố sạt lở đất

TT	Phân cấp	Địa chất (ha)	Đất đai (ha)	Lớp phủ (ha)	Mưa (ha)	Độ dốc (ha)	Mật độ sông suối (ha)
1	Cấp 1	46.274,95	51.335,61	66.758,55	429,86	19.168,21	72.402,58
2	Cấp 2	5.534,44	3.838,365	3.545,71	84.540,36	24.391,00	15.350,95
3	Cấp 3	1.548,74	754,15	11.360,67	11.100,52	16.185,23	13.148,75
4	Cấp 4	6.427,446	9.035,62	18.177,66	3.162,01	9.801,37	6.589,78
5	Cấp 5	12.854,89	7.676,73	7.738,92	8.348,76	3.094,66	89,46

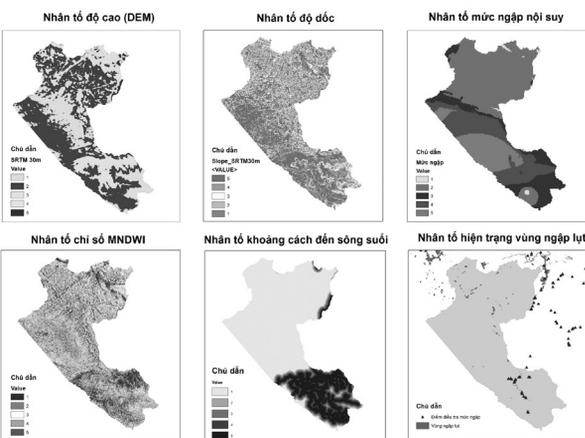


Hình 6. Bản đồ các nhân tố ảnh hưởng đến sạt lở đất

3.2.1. Bản đồ các nhân tố tác động đến sạt lở đất (Hình 6), (Bảng 7), (Bảng 8)



Hình 7. Bản đồ các nhân tố ảnh hưởng đến cháy rừng



Hình 8. Bản đồ các nhân tố ảnh hưởng đến ngập lụt

Bảng 9. Phân cấp trọng số các bản đồ nhân tố cháy

TT	Phân cấp	Độ cao (m)	Nhiệt độ (oC)	Lớp phủ	Khoảng cách đến đường giao thông (m)	Khoảng cách đến dân cư (m)
1	Cấp 1	Trên 1.200	17 - 21	Mặt nước; Rừng TXND trên núi đá vôi	Trên 1.200	Trên 1.200
2	Cấp 2	800 - 1.200	22 - 25	Cây bụi, thảm cỏ trên núi đất và núi đá vôi; đất trồng có cây gỗ rải rác; Rừng thường xanh núi đất trên 700 m	900 - 1.200	900 - 1.200
3	Cấp 3	400 - 800	26 - 29	Rừng thường xanh núi đất trên 700 m	600 - 900	600 - 900
4	Cấp 4	100 - 400	30 - 35	Rừng LRTX già, trung bình, nghèo	300 - 600	300 - 600
5	Cấp 5	0 - 100	35 - 38	Đất nông nghiệp và đất khác, đất trồng có cỏ cây bụi	0 - 300	0 - 300

Bảng 10.

Diện tích phân cấp trọng số các bản đồ nhân tố cháy

TT	Phân cấp	Độ cao (m)	Nhiệt độ (oC)	Lớp phủ (ha)	Khoảng cách đến đường giao thông (ha)	Khoảng cách đến dân cư (ha)
1	Cấp 1	328,63	10,35	51.404,95	62.824,92	68.327,84
2	Cấp 2	6.100,58	1.315,74	921,13	2.010,38	1.944,79
3	Cấp 3	59.003,00	69.791,51	2.110,96	2.312,57	1.774,71
4	Cấp 4	8.310,86	2.462,44	11.829,30	2.866,46	1.318,98
5	Cấp 5	126,15	289,18	7.602,88	3.854,90	502,90

3.2.2. Bản đồ các nhân tố tác động đến cháy rừng (Hình 7), (Bảng 9), (Bảng 10).

Bảng 11. Phân cấp trọng số các bản đồ nhân tố ngập lụt

TT	Phân cấp	Độ cao (m)	Độ dốc (độ)	Mức ngập (m)	Chỉ số MNDWI	Khoảng cách đến sông suối (m)
1	Cấp 1	Trên 400	Trên 40	1 - 2	(-0.771384) - (-0.591223)	Trên 1.200
2	Cấp 2	300 - 400	30 - 40	2 - 4	(- 0.591223) - (- 0.557443)	1.200
3	Cấp 3	200 - 300	20 - 30	4 - 6	(- 0.557443) - (-0.51991)	900
4	Cấp 4	100 - 200	10 - 20	6 - 7	(- 0.51991) - (-0.448596)	600
5	Cấp 5	0 - 100	0 - 10	7 - 9	(- 0.448596) - (+ 0.189474)	300

Bảng 12.

Diện tích phân cấp trọng số các bản đồ nhân tố ngập lụt

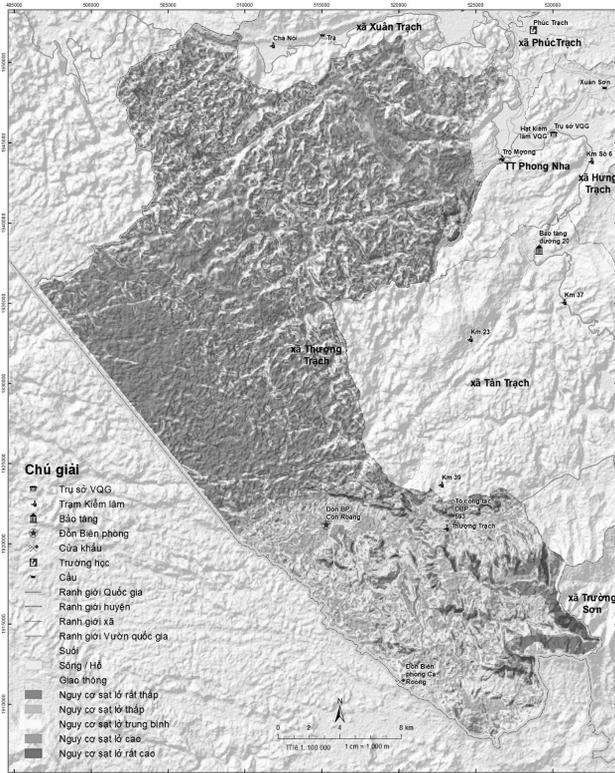
TT	Phân cấp	Độ cao (m)	Độ dốc (độ)	Mức ngập (m)	Chỉ số MNDWI (ha)	Khoảng cách đến sông suối (ha)
1	Cấp 1	18.865,84	3.119,30	437,66	10.960,37	51.825,62
2	Cấp 2	35.313,13	9.858,04	33.824,06	26.879,77	2.008,96
3	Cấp 3	17.134,22	16.337,17	11.048,23	26.988,30	2.894,96
4	Cấp 4	1.499,53	24.662,83	16.879,58	8.805,27	5.160,43
5	Cấp 5	635,27	19.470,65	11.258,46	486,22	11.558,02

3.2.3. Bản đồ các nhân tố tác động đến ngập lụt (Hình 8), (Bảng 11), (Bảng 12)

3.3. Bản đồ phân vùng dự báo trượt lở đất, ngập lụt và cháy rừng

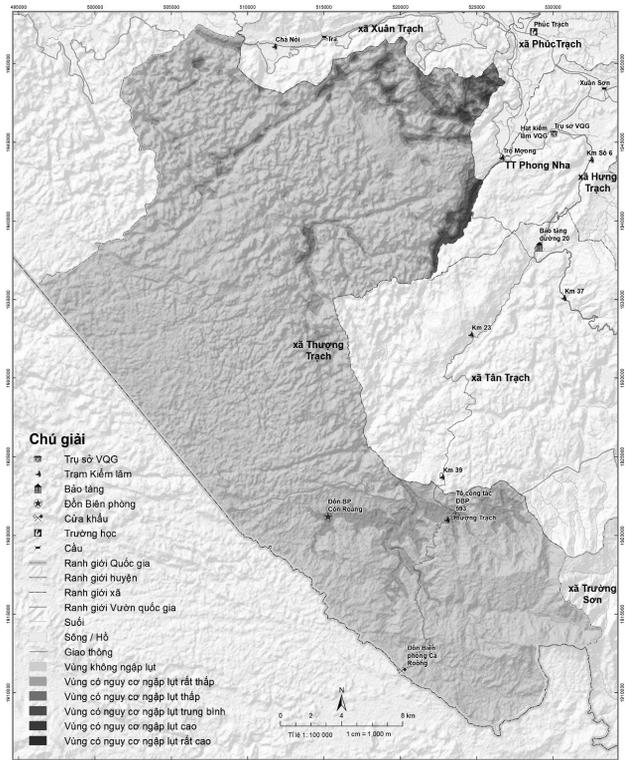
- Bản đồ phân vùng dự báo trượt lở được thành lập theo phương pháp tích hợp nhiều lớp thông tin của các bản đồ đơn tính đã xác định trọng số. Quy trình xử lý phân vùng dự báo sạt lở theo công thức (1). Bản đồ phân vùng dự báo trượt lở được thành lập theo phương pháp tích hợp nhiều lớp thông tin của các bản đồ đơn tính đã xác định trọng số (Hình 9).

BẢN ĐỒ DỰ BÁO SẠT LỖ XÃ THƯỢNG TRẠCH



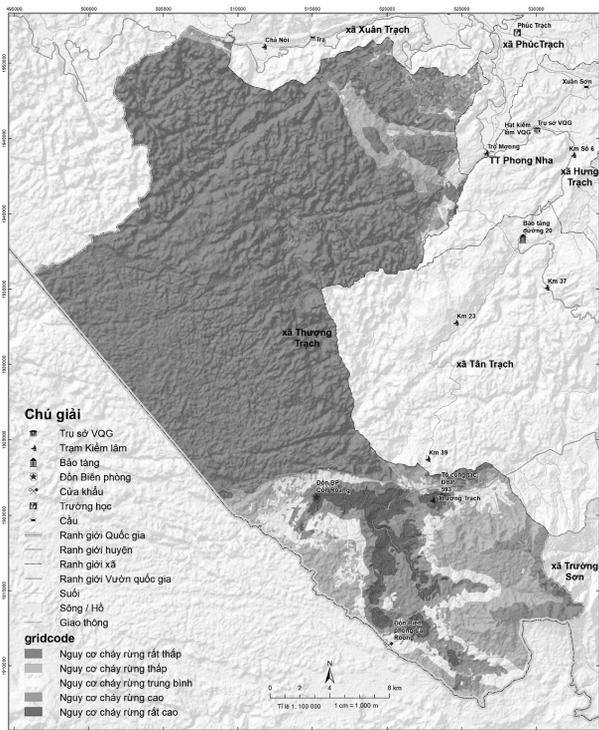
Hình 9. Bản đồ dự báo nguy cơ sạt lở tại xã Thượng Trạch

BẢN ĐỒ DỰ BÁO NGẬP LỤT XÃ THƯỢNG TRẠCH



Hình 10. Bản đồ dự báo nguy cơ ngập lụt tại xã Thượng Trạch

BẢN ĐỒ DỰ BÁO NGUY CƠ CHÁY RỪNG XÃ THƯỢNG TRẠCH



Hình 11. Bản đồ dự báo nguy cơ trượt cháy rừng tại xã Thượng Trạch

$$LSI = 0.451 \cdot A + 0.041 \cdot B + 0.113 \cdot C + 0.208 \cdot D + 0.120 \cdot E + 0.063 \cdot F$$

Trong đó: Độ dốc (A); Địa chất (B); Đất đai (C); Lượng mưa (D); Mật độ sông suối (E); Lớp phủ thực vật (F).

- Bản đồ phân vùng dự báo cháy rừng được thành lập theo phương pháp tích hợp nhiều lớp thông tin của các bản đồ đơn tính đã xác định trọng số (Hình 10).

$$P = 0.112 \cdot A + 0.112 \cdot B + 0.229 \cdot C + 0.412 \cdot D + 0.181 \cdot E$$

Trong đó: Khoảng cách tới khu dân cư (A); Khoảng cách tới đường giao thông (B); Hiện trạng rừng (C); Nhiệt độ bề mặt (D); Độ cao (E).

- Bản đồ phân vùng dự báo ngập lụt được thành lập theo phương pháp tích hợp nhiều lớp thông tin của các bản đồ đơn tính đã xác định trọng số (Hình 11)

$$F = 0.17 \cdot A + 0.06 \cdot B + 0.19 \cdot C + 0.10 \cdot D + 0.30 \cdot E$$

Trong đó: Độ cao cư (A); Chỉ số MNDWI (B); Khoảng cách đến sông suối (C); Độ dốc (D); Mức ngập nội suy (E) (Hình 11).

Kết quả chồng xếp bản đồ đã xác lập được bản đồ dự báo nguy cơ trượt lở đất khu vực VQG Phong Nha - Kẻ Bàng phân theo 5 cấp độ: Rất thấp, thấp, trung bình, cao và rất cao (Bảng 13).

Bảng 13. Thống kê diện tích theo cấp trượt lở

TT	Phân cấp dự báo	Diện tích dự báo sạt lở (ha)	Tỉ lệ (%)	Diện tích dự báo ngập lụt (ha)	Tỉ lệ (%)	Diện tích dự báo cháy rừng (ha)	Tỉ lệ (%)
1	Nguy cơ rất thấp	27.175,39	37,4	71.709,27	97,0	50.470,35	68,4
2	Nguy cơ thấp	19.723,01	27,2	1.538,74	2,1	11.422,66	15,5
3	Nguy cơ trung bình	16.686,42	23,0	550	0,7	5.144,24	7,0
4	Nguy cơ cao	7.576,2	10,4	124,82	0,2	4.135,69	5,6
5	Nguy cơ rất cao	1.479,45	2,0	1,2	0,0	2.646,31	3,6

Theo kết quả thống kê tại Bảng 8 cho thấy, diện tích dự báo sạt lở đất có nguy cơ rất thấp (27.175,39 ha, chiếm 37,4%); diện tích dự báo sạt lở đất có nguy cơ thấp (19.723,01 ha, chiếm 27,2%); diện tích dự báo sạt lở đất có nguy cơ trung bình (16.686,42 ha, chiếm 23,0%); diện tích dự báo sạt lở đất có nguy cơ cao (7.576,2 ha, chiếm 10,4%); diện tích dự báo sạt lở đất có nguy cơ rất cao 1.479,45 ha, chiếm 2 %).

Diện tích dự báo ngập lụt có nguy cơ rất thấp (71.709,27 ha, chiếm 97%); diện tích dự báo có nguy cơ thấp (1.538,74 ha, chiếm 2,1%); diện tích có nguy cơ trung bình (550 ha, chiếm 0,2%); diện tích dự báo sạt lở đất có nguy cơ cao (7.576,2 ha, chiếm 10,4%); diện tích dự báo sạt lở đất có nguy cơ rất cao (1,2 ha).

Diện tích dự báo cháy có nguy cơ rất thấp (50.470,35 ha, chiếm 68,4%); diện tích dự báo có nguy cơ thấp (11.422,66 ha, chiếm 15,5%); diện tích có nguy cơ trung bình (5.144,24 ha, chiếm 7%); diện tích dự báo sạt lở đất có nguy cơ cao (4.135,69 ha, chiếm 5,6%); diện tích dự báo sạt lở đất có nguy cơ rất cao (2.646,31 ha, chiếm 3,6%).

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở dữ liệu đầu vào là ảnh viễn thám, mô hình độ cao số (DEM) và các thông tin khảo sát để nội suy xây dựng cảnh báo ngập lụt, sạt lở, cháy với 5 cấp độ: Rất thấp, thấp, trung bình, cao, rất cao trong phạm vi nghiên cứu ở xã Thượng Trạch, huyện Bố Trạch, tỉnh Quảng Bình.

Nguy cơ sạt lở cao chủ yếu tập trung ở khu vực núi đất, độ che phủ thấp, gần đường giao thông, độ dốc lớn, mật độ sông suối cao. Nguy cơ ngập chủ yếu tập trung ở vùng gần sông suối, thấp về độ cao địa hình. Nguy cơ cháy cao tập trung chủ yếu ở vùng canh tác nương rẫy, gần khu dân cư.

Tuy nhiên, để có mức độ tin cậy cao đối với cảnh báo, cần có các bộ dữ liệu viễn thám độ phân giải cao, bản đồ địa chất tỉ lệ cao, đồng thời kết hợp với các khảo sát thực địa nhiều điểm, trong nhiều thời điểm khác nhau ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bùi Thanh Hưng, Nguyễn Thanh Thủy Vân, 2019. Sử dụng QGIS và phân tích thứ bậc (AHP) để phân cấp nguy cơ cháy rừng tại huyện Mường Chà, tỉnh Điện Biên. Tạp chí Khoa học và công nghệ lâm nghiệp, số 2/2019.
 2. Chu Văn Ngợi, Nguyễn Thị Thu Hà (2002), đánh giá nguy cơ tai biến trượt lở dọc tuyến đường 4D trên cơ sở nghiên cứu mối

quan hệ giữa cấu trúc địa chất và địa hình, Đề tài NCKH cấp Bộ, Viện Địa lí.

3. Đỗ Thị Phương Thảo và nkk, 2020. Thành lập bản đồ khô hạn tổng hợp tỉnh Ninh Thuận bằng phương pháp chiết xuất và tổng hợp thông tin địa không gian từ dữ liệu Landsat 8 OLI-TIR. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, Tập 6, kỳ 4 năm 2020.

4. Lại Tuấn Anh và nkk (2005). Thành lập bản đồ chuyên đề khu vực trượt lở đất nguy hiểm huyện Xín Mần, Hà Giang sử dụng công nghệ viễn thám và GIS, Đề tài NCKH cấp cơ sở, Viện Địa lí.

5. Nguyễn Đức Lý, Ngô Hải Dương, Nguyễn Đại (2013), khí hậu và thủy văn Quảng Bình. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

6. Nguyễn Đức Lý (2016), Tai biến trượt lở đất đá trên sườn dốc giao thông miền núi tỉnh Quảng Bình. Tạp chí Thông tin Khoa học và Công nghệ Quảng Bình, tập 40(số 3): 3 - 4.

7. Nguyễn Trường Ngân (2011), Ứng dụng tiến trình phân cấp thứ bậc xác định các yếu tố chủ đạo ảnh hưởng đến quá trình xói mòn đất lưu vực sông Bé. Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ, tập 14(số M4-2011): 43 - 44.

8. Nguyễn Thám, Nguyễn Đăng Độ, Ưng Đình Khanh (2012), Xây dựng bản đồ nguy cơ trượt lở đất tỉnh Quảng Trị bằng phương pháp tích hợp mô hình phân tích thứ bậc (AHP) vào GIS, Tạp chí Khoa học, Đại học Huế, tập 74B(số 5): 145.

9. Nguyen Ngoc Thach (2001), Application of Remote sensing and GIS for Prediction of Landslide and Flood Hazards in Hoa Binh Provine, Scientific report of Project QG-00-17, Ha Noi.

10. Trương Phước Minh, Nguyễn Thị Diệu, Trần Thị Ân, Nguyễn Văn Nam (2011), Ứng dụng GIS và Viễn thám nghiên cứu trượt lở đất ở thành phố Đà Nẵng, Kỷ yếu Hội thảo Ứng dụng GIS toàn quốc năm 2011, Đà Nẵng.

11. Trần Xuân Mùi, Võ Văn Trí, 2017, Ứng dụng GIS và viễn thám nghiên cứu hiện tượng trượt lở đất tại Vườn Quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng. Kỷ yếu Hội thảo Ứng dụng GIS toàn quốc năm 2017.

12. Trịnh Lê Hùng, 2014. Nghiên cứu sự phân bố nhiệt độ bề mặt bằng dữ liệu ảnh đa phổ Landsat, Tạp chí các khoa học về Trái đất, số 36(1), 3 - 2014.

13. Tran Thị An, et al. (2022). Flood vulnerability assessment at the local scale using remote sensing and GIS techniques: a case study in Da Nang City, Vietnam. urnal of Water and Climate Change Vol 13 No 9, 3217 doi: 10.2166/wcc.2022.029.