

# ỨNG DỤNG GIS VÀ PHƯƠNG PHÁP CHỈ SỐ THỐNG KÊ TRONG XÂY DỰNG BẢN ĐỒ NHẠY CẢM TRƯỢT LỞ ĐẤT KHU VỰC THÀNH PHỐ BẮC KẠN

Nguyễn Tiếp Tân, Nguyễn Hồng Trường

Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Đỗ Văn Vững

Công ty Cổ phần Xây dựng và Chuyển giao Công nghệ Thủy lợi

**Tóm tắt:** Khu vực miền núi phía Bắc có địa hình sườn đất dốc, nhiều núi cao,...nên trượt lở đất diễn ra khá phổ biến và là một loại hình thiên tai nguy hiểm. Trong nghiên cứu này, hệ thống Thông tin Địa lý (GIS) và phương pháp thống kê đã được áp dụng để xây dựng bản đồ nhạy cảm trượt lở đất khu vực thành phố Bắc Kạn. Bản đồ được xây dựng trên cơ sở tích hợp có trọng số các yếu tố về điều kiện và nguyên nhân gây trượt lở như: địa chất thạch học, địa mạo, vỏ phong hóa, địa chất công trình, độ dốc, độ cao, ... và các hoạt động của con người (sử dụng đất). Đánh giá độ chính xác của mô hình chỉ số thống kê cho thấy mô hình có độ chính xác tương đối cao khi các điểm trượt lở hầu hết xảy ra trên các khu vực nhạy cảm với trượt lở Rất mạnh và Mạnh. Khu vực cảnh báo trượt lở Rất mạnh, mức đảm bảo là 63,83%, tiếp đó lần lượt là các vùng nhạy cảm với trượt lở Mạnh, Trung bình và Yếu có các mức đảm bảo dự báo trượt lở là 29,79; 4,26 và 2,13%.

**Từ khóa:** trượt lở đất, yếu tố gây trượt lở, mô hình thống kê, cảnh báo trượt lở đất

**Summary:** The northern mountainous region of Vietnam has steep terrain with many high mountains, landslides are quite common and are a dangerous type of natural disaster. In this study, GIS and statistical method has been applied to develop landslide sensitive map of Bac Kan city. The map is built on an integrated basis with weighted factors of conditions and causes of landslides such as: meteorology, geomorphology, weathering crust, engineering geology, slope, altitude, ... and human activities (using land). Evaluation of the accuracy of the statistical index model shows that the model has a relatively high accuracy when the slide points mostly occur on areas sensitive to landslides Very strong and Strong. The area that is alerted to landslide is Very strong, the guarantee level is 63.83%, followed by the areas that are sensitive to the slide of Strong, Medium, and Weak with the slip guarantee level of 29.79; 4.26 and 2.13%.

**Key words:** Landslide, landslide factors, statistical model, landslide warning

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trượt lở là một trong những tai biến tự nhiên chủ yếu, xảy ra hàng năm, gây thiệt hại đáng kể một cách trực tiếp và gián tiếp đến tính mạng, tài sản của con người. Ở Việt Nam các nghiên cứu xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở đất đang được quan tâm ở khu vực miền núi phía Bắc và miền Trung - Tây Nguyên, đặc biệt ở các khu vực

miền núi phía Bắc, do đặc điểm đất dốc, núi cao, cùng hoạt động khai thác sử dụng đất không hợp lý, các sự cố trượt lở, sạt lở, lũ bùn đá xảy ra rất phổ biến và thường xảy ra trong mùa mưa. Ước tính, gần 1/4 tổng diện tích miền núi phía Bắc có nguy cơ cao trước 3 loại tai biến địa chất là trượt lở, lũ quét-lũ bùn đá và nứt - sụt đất, tập trung chủ yếu ở các tỉnh Lai Châu, Sơn La, Lào

Ngày nhận bài: 14/9/2020

Ngày thông qua phản biện: 08/10/2020

Ngày duyệt đăng: 12/10/2020

Cai, Yên Bái, Hà Giang, Bắc Kạn và một phần tỉnh Tuyên Quang, Quảng Ninh. Số công trình nghiên cứu ở vùng này chiếm đến 67% trên tổng số công trình nghiên cứu trong phạm vi cả nước, [1]. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu tập trung đánh giá nguy cơ sạt lở đất ở cấp độ không gian. Các bản đồ cảnh báo chỉ cung cấp thông tin về nơi có khả năng sạt lở, chưa thể hiện được tần suất, khả năng đảm bảo mà sự cố sạt lở có thể xảy ra. Phương pháp đánh giá nguy cơ sạt lở đất có thể là định tính hoặc định lượng, gồm 3 phương pháp chính là: i) phương pháp phát hiện (các nhà điều tra xếp loại và đánh giá trọng số của các yếu tố gây sạt lở dựa trên giả định hoặc tầm quan trọng của các yếu tố dẫn đến sạt lở. Đây là phương pháp định tính, có khả năng sai sót do phụ thuộc vào ý kiến chủ quan của các chuyên gia); ii) phương pháp quyết định (dựa trên việc tính toán và phân tích điều kiện ổn định của mái dốc, đây là phương pháp định lượng có độ chính xác cao nhưng chỉ áp dụng cho phạm vi nghiên cứu nhỏ do yêu cầu phải khảo sát chi tiết các số liệu đầu vào) và iii) phương pháp thống kê (dựa trên sự phân bố không gian của các yếu tố gây sạt lở trong quá khứ để phân tích và đưa ra dự báo về nguy cơ sạt lở trong tương lai. Đây là phương pháp định lượng có thể áp dụng cho vùng nghiên cứu rộng lớn).

Trong nghiên cứu này, ứng dụng Hệ thống Thông tin Địa lý (Geographic Information System – GIS) và phương pháp thống kê đã được áp dụng để xây dựng bản đồ nhạy cảm trượt lở đất khu vực thành phố Bắc Kạn. GIS là công cụ hữu hiệu với các thể mạnh trong lưu trữ, chuyển đổi các dạng dữ liệu khác nhau, phân tích không gian và hiển thị bản đồ, GIS đã được ứng dụng rất nhiều để đánh giá và xây dựng các mô hình dự báo trượt lở. Mô hình chỉ số thống kê cho phép xác định giá trị trọng số của mỗi lớp trong từng thông số tác nhân gây trượt qua phép tính tỉ lệ giữa mật độ trượt lở của từng lớp với mật độ trượt lở trên toàn vùng. Tất cả các tác nhân như địa chất thạch học, địa mạo,

sườn địa chất công trình, vô phong hóa, mật độ phân cắt ngang, phân cắt sâu, độ cao, độ dốc, hướng dốc địa hình, hiện trạng sử dụng đất,... đều được phân lớp theo các phương pháp khác nhau và tính mật độ trượt lở theo diện tích từng lớp. Phần mềm ArcGIS cho phép chồng các lớp theo công thức với các trọng số xác định mức độ ảnh hưởng của các nhân tố đến trượt lở đất, và từ đó đánh giá tổng hợp được nguy cơ trượt lở tại mỗi điểm trong toàn vùng nghiên cứu.

## 2. CƠ SỞ DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1 Cơ sở dữ liệu

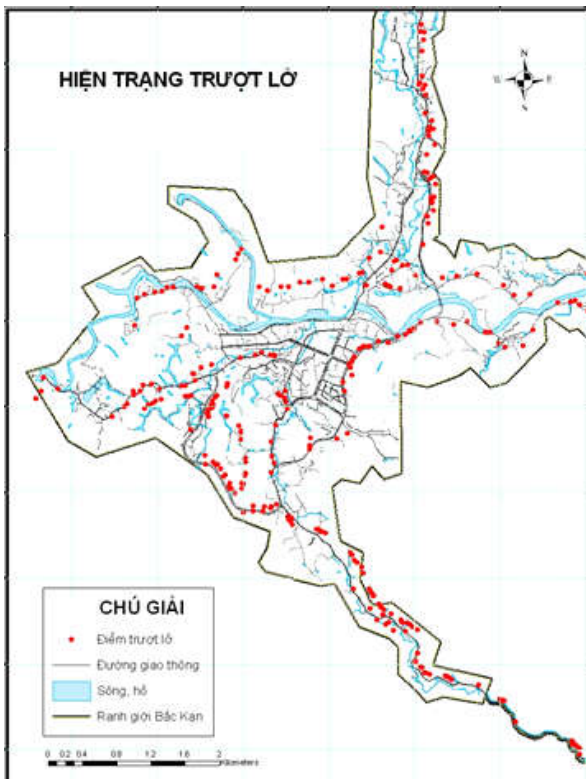
Dữ liệu thu thập phân thành 2 loại chính: (i) *Nhóm yếu tố ảnh hưởng*: độ dốc, địa mạo, độ cao, đứt gãy, thạch học, mật độ sông suối, sử dụng đất và loại đất và (ii) *Nhóm yếu tố tác động*: lượng mưa, động đất, sử dụng đất (hoạt động của con người).

- Các bản đồ xây dựng trực tiếp: được thu thập từ các cơ quan quản lý chuyên ngành như: bản đồ địa hình, địa chất, địa mạo, địa chất công trình, thạch học, hiện trạng sử dụng đất, bản đồ hiện trạng trượt lở.

- Các bản đồ xây dựng gián tiếp: nội suy từ các điểm độ cao và đường đồng mức địa hình tạo ra Mô hình số độ cao (DEM) và các bản đồ thành phần như độ dốc, hướng phơi sườn, phân cắt sâu, phân cắt ngang và bản đồ mật độ Lineament xây dựng từ DEM và ảnh vệ tinh.

Bản đồ hiện trạng trượt lở (Hình 1) được xây dựng trên bản đồ nền địa hình tỉ lệ 1/10.000 từ các điểm trượt lở trên thực tế. Số liệu về các điểm sạt lở được kế thừa từ kết quả của đề án “Điều tra, đánh giá và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá các vùng miền núi Việt Nam”, [2]. Tổng cộng có 326 điểm trượt đã được thu thập, trong đó 279 điểm dùng để biên tập bản đồ hiện trạng trượt lở và chồng chập với các lớp bản đồ trọng số tác nhân gây trượt lở dưới dạng bản đồ số trong môi trường GIS. Còn lại 47 điểm trượt lở không đưa vào tính toán mà dùng

để kiểm tra, đánh giá xác suất đảm bảo xảy ra trượt lở đất ở các vùng được dự báo có nguy cơ trượt lở mạnh, trung bình và yếu.



Hình 1: Bản đồ hiện trạng trượt lở đất khu vực thành phố Bắc Kạn, [2]

## 2.2 Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp phân tích thống kê dựa trên nguyên tắc đưa ra bởi Varnes (1984), [3]: “hiện trạng và quá khứ là chìa khóa dự báo tương lai” - “the past and present are keys to the future”. Dựa trên nguyên tắc này, trong nghiên cứu phân vùng nhạy cảm với trượt lở đất, các tác nhân gây trượt chủ yếu trong quá khứ và hiện tại được thống kê lại nhằm dự báo sự xuất hiện trượt lở ở những khu vực có điều kiện tương tự. Đây là phương pháp định lượng, dựa trên sự phân bố không gian của các yếu tố gây sạt lở trong quá khứ để phân tích và đưa ra dự báo về nguy cơ sạt lở trong tương lai. Phương pháp thống kê được sử dụng nhiều trong nghiên cứu hiện nay và áp dụng hiệu quả cho vùng phạm vi nghiên cứu rộng.

Cũng tương tự như trong các phương pháp đánh giá tổ hợp các nhân tố tác động tới trượt lở, trong phương pháp chỉ số thống kê, giá trị trọng số cho một lớp thông số ảnh hưởng tới quá trình trượt lở đất được sử dụng nhằm thể hiện mức độ tác động khác nhau của từng nhân tố tới trượt lở của khu vực nghiên cứu, và được định nghĩa là logarit tự nhiên của mật độ trượt lở trong lớp trên mật độ trượt lở trong toàn bản đồ. Thang đo logarit cho phép thu hẹp đại lượng về phạm vi nhỏ hơn. Sử dụng phần mềm ArcGIS để tính các giá trị trọng số ( $w_{ij}$ ) cho mỗi lớp của từng tác nhân gây trượt lở theo công thức (1) của Van Westen (1997), [4]

$$w_{ij} = \ln \left( \frac{\text{Densclass}}{\text{Densmap}} \right) = \ln \left( \frac{D_{ij}}{D} \right) = \ln \left( \frac{\frac{\sum_{i=1}^n \text{Npix} (S_i)}{\sum_{i=1}^n \text{Npix} (N_i)}}{\frac{\sum_{i=1}^n \text{Npix} (S_i)}{\sum_{i=1}^n \text{Npix} (N_i)}} \right) \quad (1)$$

(Van Westen, 1997)

Trong đó:

$W_{ij}$  - Trọng số của lớp  $i$  thuộc tác nhân gây trượt lở  $j$

(1)  $D_{ij}$  - Mật độ trượt lở trong lớp  $i$  thuộc tác nhân gây trượt lở  $j$

$D$  - Mật độ trượt lở trên toàn bộ bản đồ

$\text{Npix}(S_i)$ : Số pixel (số ô hay diện tích) trượt lở trong lớp  $i$  thuộc tác nhân gây trượt lở  $j$

$\text{Npix}(N_i)$ : Tổng số pixel (số ô hay diện tích) của lớp  $i$  thuộc tác nhân gây trượt lở  $j$

$\sum \text{Npix}(S_i)$ : Tổng số pixel (số ô hay diện tích) trượt lở thuộc tác nhân gây trượt lở  $j$

$\sum \text{Npix}(N_i)$ : Tổng số pixel (số ô hay diện tích) của tác nhân gây trượt lở  $j$

Cùng với sự phát triển không ngừng của công nghệ GIS, phương pháp thống kê đã được ứng dụng trong phân tích không gian các nhân tố tác động tới trượt lở, và bản đồ chỉ số nhạy cảm với trượt lở đất LSI được tính toán trong môi trường

GIS dựa theo công thức của Voogd (1983), [5]:

$$LSI = \sum_{j=1}^n W_j \times w_{ij} \quad (2)$$

Trong đó:

LSI: Chỉ số nguy cơ xảy ra trượt lở đất trượt lở đất

$w_{ij}$ : Trọng số của lớp  $i$  thuộc tác nhân gây trượt lở  $j$

$W_j$ : Điểm số (theo phương pháp chuyên gia) của tác nhân gây trượt lở  $j$

$n$ : Số lượng tác nhân gây trượt lở của khu vực nghiên cứu

Ứng dụng ArcGIS để tính các giá trị trọng số ( $w_{ij}$ ) cho mỗi lớp của từng tác nhân gây trượt lở theo công thức (1)

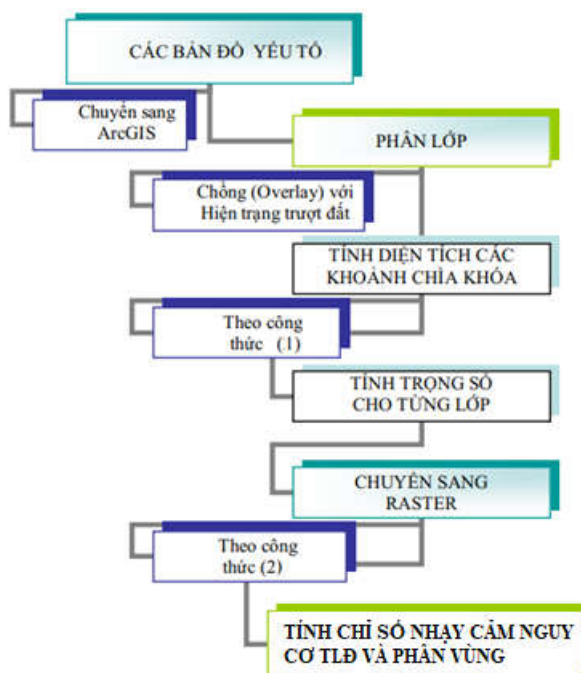
Trọng số ( $W_j$ ) cho mỗi tác nhân gây trượt lở được đánh giá từ 1-9 tương ứng với mức độ ảnh hưởng đến trượt lở đất trượt lở của từng tác nhân trong vùng nghiên cứu từ rất thấp đến rất cao bằng phương pháp phân tích thứ bậc - Analytical Hierarchy Process (AHP), [6]. Phương pháp AHP đã được áp dụng nhiều trong đánh giá thứ bậc quan trọng của các yếu tố tác động, [7], [8]. Đánh giá trọng số này theo phương pháp chuyên gia, cụ thể như sau:

| Tác nhân gây trượt lở:           | Trọng số |
|----------------------------------|----------|
| Tác động kém tới trượt lở        | 1-3      |
| Tác động trung bình tới trượt lở | 4-6      |
| Tác động mạnh tới trượt lở       | 7-8      |
| Tác động rất mạnh tới trượt lở   | 9        |

Dựa vào các công thức (1) và (2) trong môi trường GIS, quy trình xây dựng bản đồ nhạy cảm với trượt lở như Hình 2 dưới đây:

Tất cả các bản đồ yếu tố từ nhiều dạng khác nhau như Mapinfo, Microstation, ảnh,... đều được chuẩn hóa lại về cùng lưới chiếu, quan hệ không gian cũng như khuôn dạng (ArcGIS) để tiến hành phân tích chồng chập với bản đồ hiện trạng trượt lở. Các thông tin được chuẩn hóa và gán trọng số theo các mức độ quan trọng khác nhau sử dụng mô hình chồng ghép thông tin trên

GIS. Trên cơ sở đó, số điểm trượt lở được đếm một cách chuẩn xác cho tính toán mật độ và trọng số của từng lớp. Với những lợi thế trong tính toán và mức độ chi tiết đến từng pixel, toàn bộ bản đồ này một lần nữa được chuyển đổi từ mô hình Vector sang mô hình Raster, hiện thực hóa việc chồng chập các lớp theo công thức (2) để ra bản đồ nhạy cảm với trượt lở đất.



Hình 2: Quy trình ứng dụng GIS và chỉ số thống kê trong xây dựng bản đồ nhạy cảm với trượt lở

### 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1 Bản đồ nhạy cảm trượt lở do tác nhân Địa chất thạch học

Ảnh hưởng của điều kiện địa chất, kiến tạo được coi là một nhân tố cơ bản gây ra quá trình trượt lở đất, đặc biệt thành phần thạch học là một trong những nhân tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến sự ổn định của sườn. Các đá có độ bền thấp dễ có xu hướng phong hoá thành các vật liệu kém bền vững.

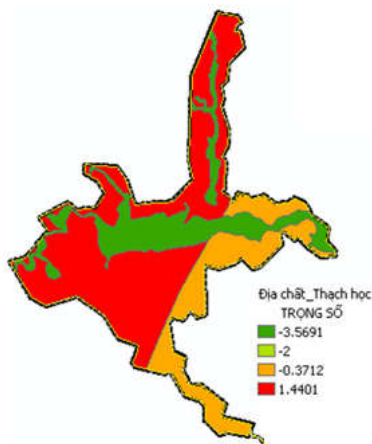
Trên cơ sở của bản đồ địa chất 1: 50.000 đã biên tập và phân lớp các thành phần thạch học có mặt trong khu vực nghiên cứu. Trong đó đá gốc

thuộc hệ tầng Mía Lé chiếm 16,95% và không quan sát được điểm trượt lở nào phát triển trên hệ tầng này. Trong khi đó trên các tập đá phiến sét đen, sét silic của hệ tầng Phú Ngũ giữa, cũng có diện tích chiếm 16,95% diện tích vùng nghiên cứu, thu thập được 196 điểm trượt lở. Mặc dù diện tích che phủ phát triển nhất khu vực nghiên cứu, nhưng trên các thành tạo đá phiến sét, cát bột kết của hệ tầng Phú Ngũ dưới chỉ ghi nhận được 76 điểm trượt lở. Trên các thành tạo bờ rời Đệ Tứ chỉ có 2 điểm trượt lở phát triển.

Áp dụng công thức (1) tính trọng số cho từng phân lớp thạch học, giá trị trọng số, tức mức độ tác động đến quá trình trượt lở, của mỗi phân lớp được trình bày trong Bảng 1. Các trọng số của từng lớp được biểu diễn dưới dạng lớp bản đồ GIS như Hình 2

**Bảng 1: Phân lớp địa chất thạch học và trọng số mức độ tác động đến trượt lở đất**

| Tác nhân           | Phân lớp                                   | Số điểm trượt lở | Diện tích lớp (Km <sup>2</sup> ) | Trọng số của lớp |
|--------------------|--------------------------------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
| Địa chất thạch học | Đá gốc (Mía Lé)                            | 0                | 2,63                             | -2,0000          |
|                    | Đá phiến sét đen, sét silic (Phú Ngũ giữa) | 196              | 2,63                             | 1,4401           |
|                    | Đá phiến sét, cát bột kết (Phú Ngũ dưới)   | 76               | 6,24                             | -0,3712          |
|                    | Cuội, sỏi, cát, sét (Đệ tứ)                | 2                | 4,02                             | -3,5691          |



**Hình 3: Bản đồ giá trị trọng số của tác nhân địa chất thạch học tác động đến trượt lở**

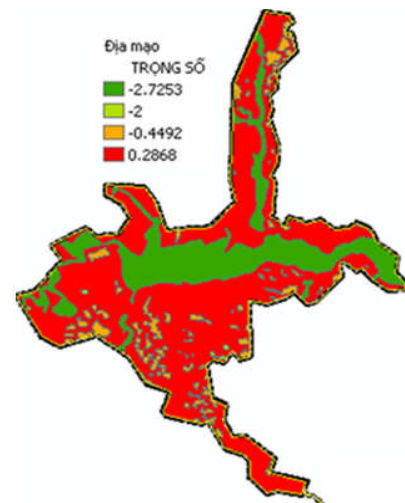
### 3.2 Bản đồ nhạy cảm trượt lở do tác nhân Địa mạo

Các quá trình địa mạo như xâm thực, bóc mòn tạo nên các bề mặt sườn lồi lõm khác nhau và là nhân tố tác động đến trượt lở. Từ bản đồ Địa mạo tỉ lệ 1/25.000, với các bề mặt san bằng khác nhau, đã xác định được hoạt động trượt lở trong khu vực phát triển chính trên bề mặt bóc mòn tổng hợp (260/272 điểm trượt).

Trọng số của từng lớp được tính theo mật độ trượt lở của từng lớp theo công thức (1), kết quả thể hiện như Bảng 2. Trong môi trường GIS, đã thành lập được bản đồ trọng số cho tác nhân Địa mạo như trong Hình 4

**Bảng 2: Phân lớp bề mặt Địa mạo và trọng số mức độ tác động đến trượt lở đất**

| Tác nhân | Phân lớp                 | Số điểm trượt lở | Diện tích lớp (km <sup>2</sup> ) | Trọng số của lớp |
|----------|--------------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
| Địa mạo  | Bề mặt vôi               | 0                | 0.14                             | -2.0000          |
|          | Bề mặt san bằng 260-290m | 0                | 0.04                             | -2.0000          |
|          | Bề mặt san bằng 190-230m | 10               | 1.34                             | -0.4492          |
|          | Bề mặt bóc mòn tổng hợp  | 260              | 16.69                            | 0.2868           |
|          | Bề mặt san bằng tích tụ  | 4                | 5.22                             | -2.7253          |



**Hình 4: Bản đồ giá trị trọng số của tác nhân địa mạo tác động đến trượt lở**

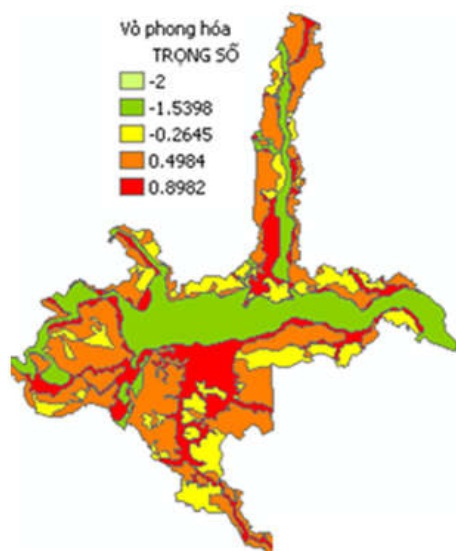
### 3.3 Bản đồ nhạy cảm trượt lở do tác nhân Vô phong hóa

Bản đồ Vô phong hóa tỉ lệ 1/25.000 được phân lớp theo trường địa hóa tương quan với thành phần vật chất của đất đá, là một trong những nhân tố quan trọng gây trượt lở. Trong phạm vi vùng nghiên cứu phát hiện các đới Bán phong

hóa và Tích tụ trầm tích là những lớp vỏ phong hóa phát triển rộng rãi nhất, lần lượt chiếm 36% và 25% diện tích khu vực. Tiếp đó là đới Tích tụ hỗn hợp, chiếm 17% diện tích khu vực. Tuy nhiên, trượt lở phát triển mạnh nhất trên đới bán phong hóa, tích tụ hỗn hợp và sét litoma (Bảng 3). Trong môi trường GIS, đã thành lập được bản đồ trọng số cho tác nhân vỏ phong hóa như trong Hình 5

**Bảng 3: Phân lớp vỏ phong hóa và trọng số mức độ tác động đến trượt lở đất**

| Tác nhân     | Phân lớp              | Số điểm trượt lở | Diện tích lớp (km <sup>2</sup> ) | Trọng số của lớp |
|--------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
| Vỏ phong hóa | Đá gốc_Đá vôi         | 0                | 1.62                             | -2.0000          |
|              | Đới bán phong hóa     | 135              | 7.43                             | 0.3344           |
|              | Đới sét (Litoma)      | 26               | 2.67                             | -0.4285          |
|              | Đới tích tụ trầm tích | 16               | 5.22                             | -1.7038          |
|              | Đới tích tụ hỗn hợp   | 98               | 3.57                             | 0.7343           |



Hình 5: Bản đồ giá trị trọng số của nhân tố vỏ phong hóa tác động đến trượt lở

### 3.4. Bản đồ nhạy cảm trượt lở do tác nhân Địa chất công trình

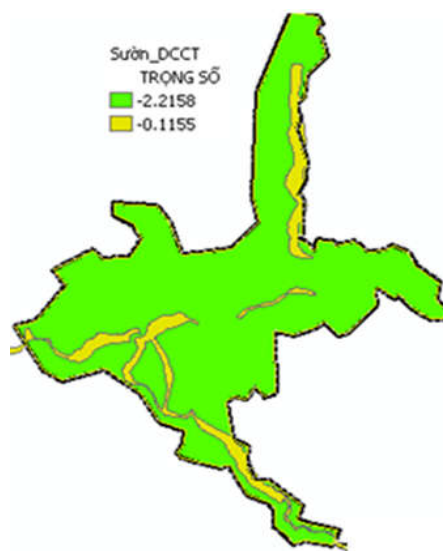
Nhân tố Địa chất công trình là một trong những nhân tố quan trọng trong đánh giá trượt lở đất. Các thông tin về địa chất công trình bao gồm các thông tin về các dạng sườn dốc. Vì vậy, trong nghiên cứu này đã sử dụng phân loại 02 dạng sườn dốc từ bản đồ Địa chất công trình đã

có, là sườn cắt xén và sườn tự nhiên. Số lượng điểm trượt lở xảy ra trên sườn tự nhiên nhiều hơn trên sườn cắt xén nhưng không khác biệt hoàn toàn.

Áp dụng công thức (1) tính mức độ tác động của từng loại sườn lên quá trình trượt lở của khu vực nghiên cứu cho kết quả như trong Bảng 4. Trong môi trường GIS, bản đồ lớp trọng số thể hiện mức độ ảnh hưởng của hai loại sườn địa chất công trình được trình bày như trong Hình 6

**Bảng 4: Phân loại sườn ĐCCT và trọng số mức độ tác động đến trượt lở đất**

| Tác nhân                 | Phân lớp      | Số điểm trượt lở | Diện tích lớp (km <sup>2</sup> ) | Trọng số của lớp |
|--------------------------|---------------|------------------|----------------------------------|------------------|
| Sườn địa chất công trình | Sườn cắt xén  | 122              | 2.02                             | -0.1155          |
|                          | Sườn tự nhiên | 160              | 21.64                            | -2.2158          |



Hình 6: Bản đồ giá trị trọng số của tác nhân sườn ĐCCT tác động đến trượt lở

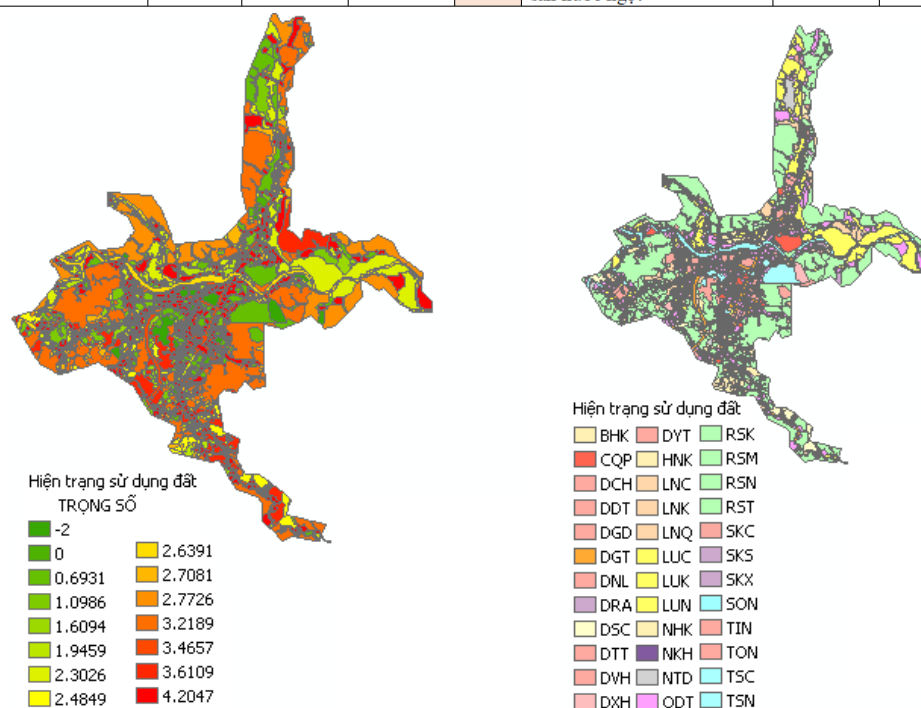
### 3.5. Bản đồ nhạy cảm trượt lở do tác nhân Sử dụng đất

Hoạt động nhân sinh, hiện trạng sử dụng đất là một trong những tác nhân ảnh hưởng lớn đến trượt lở. Trong đó, trượt lở phát triển mạnh nhất trên các hình sử dụng đất làm giao thông, đô thị, và rừng sản xuất (Bảng 5).

Trong môi trường GIS, bản đồ lớp trọng số được thể hiện mức độ ảnh hưởng của hiện trạng sử dụng đất được trình bày như trong Hình 7.

**Bảng 5: Phân loại sử dụng đất và trọng số mức độ tác động đến trượt lở đất**

| TT  | Phân lớp                          | Số điểm trượt lở | Diện tích lớp (km <sup>2</sup> ) | Trọng số của lớp | TT  | Phân lớp                                              | Số điểm trượt lở | Diện tích lớp (km <sup>2</sup> ) | Trọng số của lớp |
|-----|-----------------------------------|------------------|----------------------------------|------------------|-----|-------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
| 1.  | Đất trồng cây hàng năm khác       | 7                | 0.6276                           | -0.0697          | 19. | Đất trồng lúa nước còn lại                            | 2                | 0.9399                           | -1.7263          |
| 2.  | Đất quốc phòng                    | 2                | 0.2713                           | -0.4838          | 20. | Đất trồng lúa nương                                   | 1                | 0.0019                           | 3.7845           |
| 3.  | Đất chợ                           | 0                | 0.0180                           | -2.0000          | 21. | Đất nương rẫy trồng cây hàng năm khác                 | 12               | 0.2826                           | 1.2672           |
| 4.  | Đất có di tích, danh thắng        | 0                | 0.0012                           | -2.0000          | 22. | Đất nông nghiệp khác                                  | 0                | 0.0055                           | -2.0000          |
| 5.  | Đất cơ sở giáo dục - đào tạo      | 3                | 0.2941                           | -0.1590          | 23. | Đất nghĩa trang, nghĩa địa                            | 3                | 0.1785                           | 0.3403           |
| 6.  | Đất giao thông                    | 32               | 0.9554                           | 1.0299           | 24. | Đất ở tại đô thị                                      | 67               | 3.4593                           | 4.207            |
| 7.  | Đất công trình năng lượng         | 0                | 0.0155                           | -2.0000          | 25. | Đất khoanh nuôi phục hồi rừng sản xuất                | 3                | 0.0552                           | 1.5140           |
| 8.  | Đất bãi thải, xử lý chất thải     | 0                | 0.0242                           | -2.0000          | 26. | Đất trồng rừng sản xuất                               | 37               | 1.4159                           | 0.7817           |
| 9.  | Đất đồi núi chưa sử dụng          | 12               | 0.3919                           | 0.9402           | 27. | Đất có rừng tự nhiên sản xuất                         | 16               | 3.2930                           | -0.9007          |
| 10. | Đất cơ sở thể dục - thể thao      | 0                | 0.0548                           | -2.0000          | 28. | Đất có rừng trồng sản xuất                            | 25               | 5.1088                           | 3.6109           |
| 11. | Đất cơ sở văn hóa                 | 0                | 0.1627                           | -2.0000          | 29. | Đất cơ sở sản xuất, kinh doanh                        | 2                | 0.3632                           | -0.7755          |
| 12. | Đất cơ sở dịch vụ về xã hội       | 0                | 0.1237                           | -2.0000          | 30. | Đất cho hoạt động khoáng sản                          | 0                | 0.0164                           | -2.0000          |
| 13. | Đất cơ sở y tế                    | 1                | 0.0479                           | 0.5572           | 31. | Đất sản xuất vật liệu xây dựng, gốm sứ                | 3                | 0.0522                           | 1.5698           |
| 14. | Đất trồng cây hàng năm khác       | 0                | 0.0307                           | -2.0000          | 32. | Đất sông ngòi, kênh, rạch, suối                       | 14               | 1.0082                           | 0.1494           |
| 15. | Đất trồng cây công nghiệp lâu năm | 5                | 0.2880                           | 0.3728           | 33. | Đất tín ngưỡng                                        | 0                | 0.0004                           | -2.0000          |
| 16. | Đất trồng cây lâu năm khác        | 15               | 0.8718                           | 0.3638           | 34. | Đất tôn giáo                                          | 0                | 0.0023                           | -2.0000          |
| 17. | Đất trồng cây ăn quả lâu năm      | 3                | 0.2105                           | 0.1754           | 35. | Đất trụ sở cơ quan, công trình sự nghiệp của nhà nước | 2                | 0.1458                           | 0.1372           |
| 18. | Đất chuyên trồng lúa nước         | 10               | 2.2105                           | -0.9721          | 36. | Đất chuyên nuôi trồng thủy sản nước ngọt              | 2                | 0.4016                           | -0.8760          |



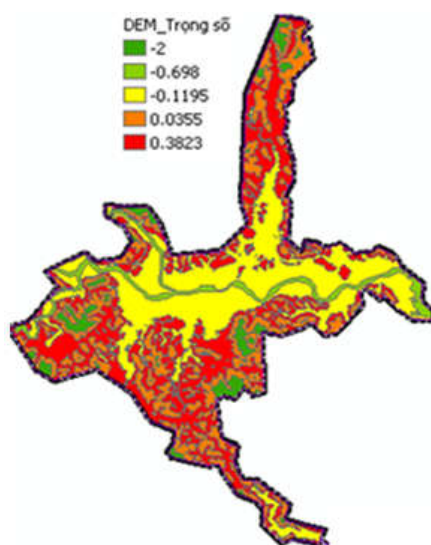
*Hình 7: Bản đồ Hiện trạng Sử dụng đất và giá trị trọng số tác động đến trượt lở*

### 3.6. Bản đồ nhạy cảm trượt lở do tác nhân địa hình

Độ cao địa hình là một yếu tố liên quan chặt chẽ tới quá trình trượt lở đất. Để phân tích mức độ tác động của các mức độ cao khác nhau tới quá trình trượt lở, từ bản đồ địa hình 1: 10.000, mô hình số độ cao (DEM) được nội suy từ các điểm độ cao và đường đồng mức địa hình với độ phân giải 10 m

**Bảng 6: Phân lớp theo độ cao địa hình và trọng số mức độ tác động đến trượt lở đất**

| Tác nhân                  | Phân lớp        | Số điểm trượt lở | Diện tích lớp (km <sup>2</sup> ) | Trọng số của lớp |
|---------------------------|-----------------|------------------|----------------------------------|------------------|
| DEM_Mô hình số độ cao (m) | 90.08 - 124.65  | 17               | 2.94                             | -0.6980          |
|                           | 124.65 - 150.36 | 76               | 7.37                             | -0.1195          |
|                           | 150.36 - 176.95 | 124              | 7.28                             | 0.3823           |
|                           | 176.95 - 211.52 | 59               | 4.90                             | 0.0355           |
|                           | 211.52 - 317.01 | 0                | 1.26                             | -2.0000          |
|                           |                 | 276              | 23.75                            |                  |



Hình 8: Bản đồ giá trị trọng số của tác nhân độ cao địa hình tác động đến trượt lở

### 3.7. Bản đồ nhạy cảm trượt lở do tác nhân độ dốc địa hình

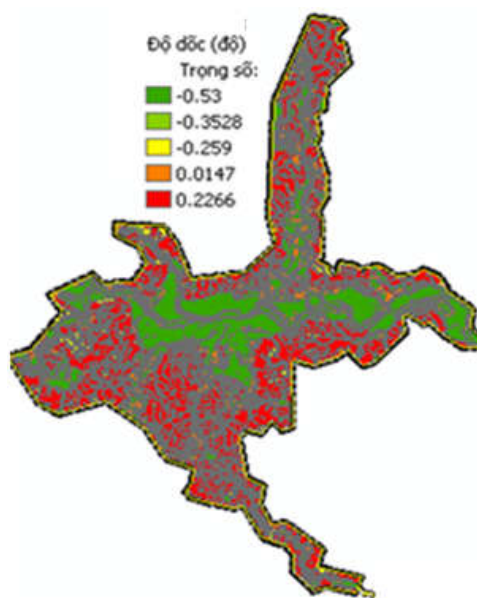
Phần lớn các vụ trượt lở đã xảy ra đều nằm trên những sườn có độ dốc lớn. Bản đồ độ dốc được phân chia thành nhiều lớp độ dốc khác nhau với thang độ dốc được nhiều nhà nghiên cứu trượt lở sử dụng: Hơi dốc (0-5°); Dốc vừa (5°-15°); Dốc (15°-35°); Rất dốc (35°-45°); Dốc đứng và vách treo (> 45°). Kết hợp với bản đồ phân bố trượt lở, cho thấy lớp độ dốc 15° - 35° có nhiều

điểm trượt lở nhất, đồng thời chiếm diện tích lớn nhất khu vực nghiên cứu. Với tác nhân độ dốc, nghiên cứu này cũng đồng nhất với nhiều kết quả nghiên cứu khác, mật độ điểm trượt tỷ lệ thuận với độ dốc. Các khối trượt rất ít khi xảy ra ở bậc độ dốc 0-5°, ở bậc độ dốc cao hơn, mật độ các khối trượt tăng, tuy nhiên, mật độ các điểm trượt lở ở độ dốc trên 35° lại không lớn hơn bậc độ dốc 15°-35°, [9], [8].

Dùng công thức (1) để tính trọng số cho từng lớp độ dốc đối với trượt thì lớp độ dốc này cũng có trọng số cao nhất (Bảng 7). Trong môi trường GIS, trọng số của từng lớp độ dốc được biểu diễn dưới dạng lớp bản đồ số như Hình 9

**Bảng 7: Phân loại độ dốc địa hình và trọng số mức độ tác động đến trượt lở đất**

| Tác nhân         | Phân lớp | Số điểm trượt lở | Diện tích lớp (km <sup>2</sup> ) | Trọng số của lớp |
|------------------|----------|------------------|----------------------------------|------------------|
| Độ dốc sườn (độ) | 0° - 5°  | 40               | 5.85                             | -0.5300          |
|                  | 5°-15°   | 58               | 4.92                             | 0.0147           |
|                  | 15°-35°  | 161              | 11.05                            | 0.2266           |
|                  | 35°-45°  | 13               | 1.45                             | -0.2590          |
|                  | > 45°    | 4                | 0.49                             | -0.3528          |



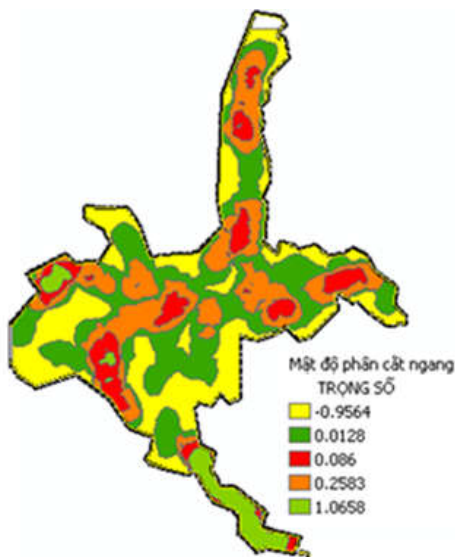
Hình 9: Bản đồ giá trị trọng số của tác nhân độ dốc địa hình tác động đến trượt lở

### 3.8. Bản đồ nhạy cảm trượt lở do tác nhân mật độ phân cắt ngang địa hình

Bản đồ phân cắt ngang hay hệ thống thủy văn khu vực được chiết xuất từ DEM. Bằng công cụ Acr Hydro của ARCGIS, từ DEM xây dựng được mạng lưới hệ thống dòng chảy và nội suy ra bản đồ mật độ phân cắt ngang địa hình, thể hiện tổng chiều dài mạng lưới sông suối (km) trên diện tích (km<sup>2</sup>)

**Bảng 8: Mật độ phân cắt ngang địa hình và trọng số mức độ tác động đến trượt lở đất**

| Tác nhân                                    | Phân lớp     | Số điểm trượt lở | Diện tích lớp (km <sup>2</sup> ) | Trọng số của lớp |
|---------------------------------------------|--------------|------------------|----------------------------------|------------------|
| Mật độ phân cắt ngang (km/km <sup>2</sup> ) | 0 - 1.26     | 31               | 6.87                             | -0.9564          |
|                                             | 1.26 - 2.9   | 84               | 7.06                             | 0.0128           |
|                                             | 2.9 - 4.82   | 81               | 5.33                             | 0.2583           |
|                                             | 4.82 - 7.61  | 32               | 2.50                             | 0.0860           |
|                                             | 7.61 - 14.02 | 42               | 1.23                             | 1.0658           |



Hình 10: Bản đồ giá trị trọng số của tác nhân mật độ phân cắt ngang tác động đến trượt lở

### 3.9. Bản đồ nhạy cảm trượt lở do tác nhân Độ phân cắt sâu địa hình

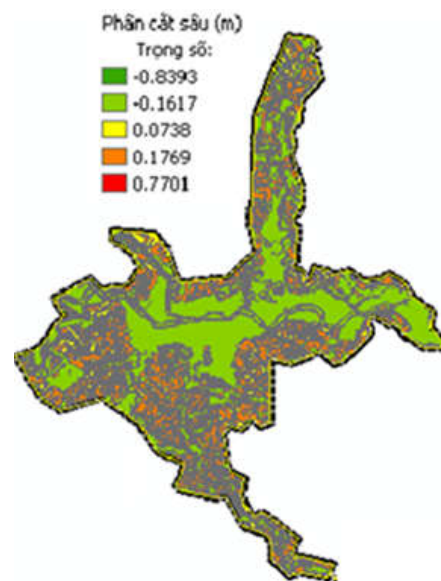
Từ bản đồ độ dốc, độ chênh cao địa hình được xây dựng và phân lớp. Nguyên tắc phân lớp độ phân cắt sâu dựa trên đồ thị phân bố với các mức ngắt tự nhiên “Natural Break”. Kết quả, trong khu vực nghiên cứu độ phân cắt sâu nằm trong khoảng từ 0 đến 33m, được chia thành 05 phân lớp như trong Bảng 9. Lớp bản đồ số giá trị trọng số của các lớp phân cắt sâu được biểu

diễn như trong Hình 11

**Bảng 9: Phân cắt sâu địa hình và trọng số mức độ tác động đến trượt lở đất**

| Tác nhân         | Phân lớp | Số điểm trượt lở | Diện tích lớp (km <sup>2</sup> ) | Trọng số của lớp |
|------------------|----------|------------------|----------------------------------|------------------|
| Phân cắt sâu (m) | 0 - 2    | 115              | 11.68                            | -0.1617          |
|                  | 2 - 5    | 117              | 8.47                             | 0.1769           |
|                  | 5 - 9    | 39               | 3.13                             | 0.0738           |
|                  | 9 - 15   | 2                | 0.40                             | -0.8393          |
|                  | 15 - 33  | 2                | 0.08                             | 0.7701           |

Rõ ràng trong khoảng phân cắt sâu từ 0 - 9m, hoạt động trượt lở rất mạnh. Tuy nhiên diện tích của các khoảng phân cắt này chiếm hơn 90% diện tích khu vực nghiên cứu. Vì vậy, mặc dù chỉ phát hiện 02 điểm trượt lở trên địa hình có độ phân cắt sâu từ 15-33m, theo công thức (1), trọng số của lớp phân cắt sâu này có giá trị cao nhất, có nghĩa là mức độ tác động của nó tới trượt lở là cao nhất.



Hình 11: Bản đồ giá trị trọng số của tác nhân phân cắt sâu địa hình tác động đến trượt lở

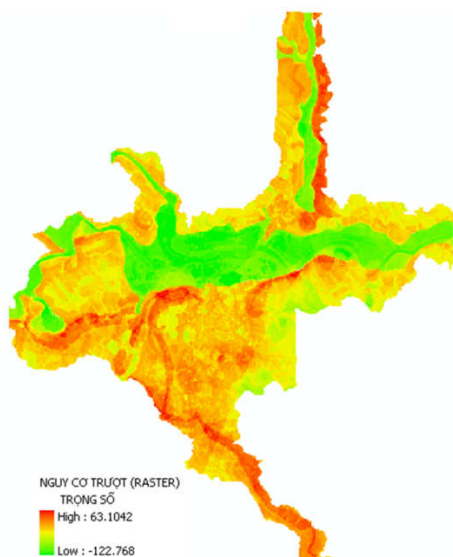
Từ các bản đồ do các tác nhân riêng rẽ này, việc chồng nhiều lớp để tính toán ở dạng ảnh số (Raster) trong các phần mềm GIS sẽ nhanh và chính xác. Bởi vậy tất cả các lớp bản đồ đã được chuyển sang dạng Raster và Bản đồ chỉ số nhạy cảm với trượt lở LSI được tính bằng công thức (2), trong đó giá trị trọng số ( $W_j$ ) là điểm số theo đánh giá chuyên gia về mức độ

ảnh hưởng của mỗi tác nhân gây ra trượt lở đất (Bảng 10). Kết quả bản đồ thể hiện chỉ số nhạy cảm với trượt lở dạng Raster như trong Hình 12.

**Bảng 10: Trọng số của các tác nhân gây trượt lở**

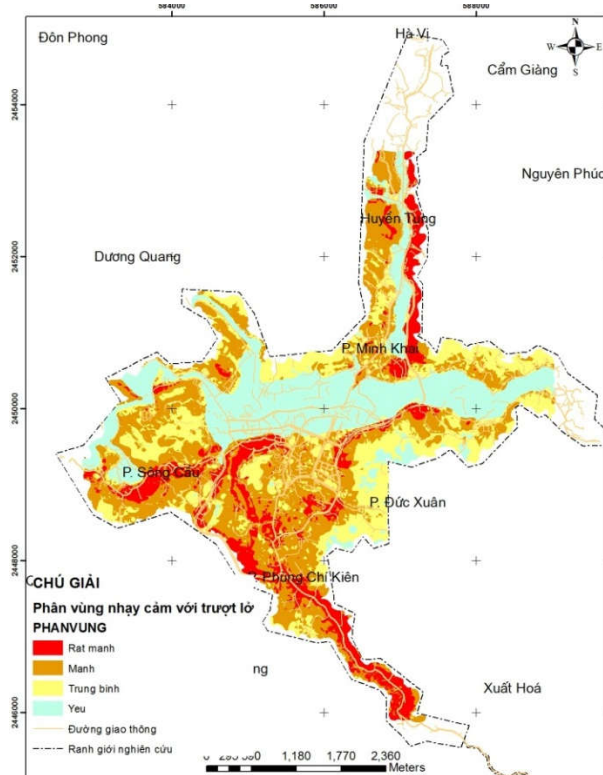
| TT | Tác nhân               | Trọng số ( $W_i$ ) |
|----|------------------------|--------------------|
| 1. | Địa chất thạch học     | 7                  |
| 2. | Địa mạo                | 5                  |
| 3. | Vỏ phong hóa           | 7                  |
| 4. | Địa chất công trình    | 9                  |
| 5. | Hiện trạng sử dụng đất | 5                  |
| 6. | Độ cao                 | 8                  |
| 7. | Độ dốc                 | 8                  |
| 8. | Mật độ phân cắt        | 5                  |
| 9. | Độ phân cắt sâu        | 5                  |

Các giá trị LSI trong bản đồ kết quả này nằm trong khoảng -122 đến 63. Rõ ràng với dạng giá trị số, rất khó có thể xác định và so sánh các khu vực nhạy cảm với trượt lở với nhau. Vì vậy, trong tất các nghiên cứu khoanh vùng đánh giá nhạy cảm với trượt lở, bản đồ LSI sẽ được phân loại và đánh giá dạng mô tả để thành tạo Bản đồ nhạy cảm với trượt lở.



**Hình 12: Bản đồ Raster thể hiện chỉ số nhạy cảm với trượt lở LSI**

Bản đồ phân vùng nhạy cảm với trượt lở đất được xây dựng bằng phép phân loại bản đồ chỉ số LSI. Dùng phương pháp phân loại ngắt tự nhiên "Natural Break", là phương pháp dựa trên việc phân nhóm các giá trị với các đường biên thể hiện các bước nhảy tương đối lớn trong các giá trị của chúng. Natural Break phân thành 4 khoảng giá trị, tương ứng với 4 cấp nhạy cảm với trượt lở: Rất mạnh; Mạnh; Trung bình; và Yếu. Kết quả thu được Bản đồ Phân vùng nhạy cảm với trượt lở như ở Hình 13. Các khu vực có mức độ nhạy cảm với trượt lở mạnh nhất nằm dọc các tuyến đường giao thông chính và tại các khu vực có mức độ che phủ thực vật thấp Phường Chí Kiên, phường Sông Cầu, và xã Huyện Tụng; Khu vực nhạy cảm với trượt lở Trung bình và Yếu nằm ở trung tâm vùng nghiên cứu.



**Hình 13: Bản đồ Phân vùng nhạy cảm với trượt lở thành phố Bắc Kạn**

Mức đảm bảo dự báo xảy ra trượt lở (%), bằng tỷ số giữa số điểm trượt lở đã xảy ra trong mỗi vùng có nhạy cảm với trượt lở và tổng số điểm trượt lở đã khảo sát trong toàn vùng. Với 47 điểm trượt lở không đưa vào tính toán, dùng để

kiểm tra lại kết quả bản đồ phân vùng nhạy cảm với trượt lở. Kết quả cho thấy trong vùng nhạy cảm với trượt lở Rất mạnh có 30 điểm trượt với mức đảm bảo dự báo trượt là 63,83%, tiếp đó lần lượt là các vùng nhạy cảm với trượt lở Mạnh, Trung Bình, Yếu có các mức đảm bảo dự báo trượt là 29,79; 4,26 và 2,13%

**Bảng 11: Kiểm tra mức bảo đảm dự báo trượt lở (%)**

| Phân vùng nguy cơ trượt lở | Số điểm trượt | Mức bảo đảm trượt (%) | Diện tích (ha) |
|----------------------------|---------------|-----------------------|----------------|
| Rất mạnh                   | 30            | 63,83                 | 560,27         |
| Mạnh                       | 14            | 29,79                 | 229,01         |
| Trung bình                 | 2             | 4,26                  | 356,6          |
| Yếu                        | 1             | 2,13                  | 391,27         |

Như vậy, thông qua đánh giá độ chính xác của mô hình Chỉ số thống kê, cho thấy mô hình có độ chính xác tương đối cao khi các điểm trượt lở kiểm tra hầu hết xảy ra trên các khu vực nhạy cảm với trượt lở Rất mạnh và Mạnh.

#### 4. KẾT LUẬN

- Phương pháp thống kê dựa trên sự phân bố

không gian của các yếu tố gây sạt lở trong quá khứ để phân tích và đưa ra dự báo về nguy cơ sạt lở trong tương lai là phương pháp định lượng có hiệu quả dự báo tốt và có thể áp dụng cho vùng nghiên cứu rộng lớn.

- Trong khu vực nghiên cứu, các yếu tố sườn, địa hình được cho là có tác động mạnh nhất tới nguy cơ trượt lở. Tiếp đó là các yếu tố về địa chất, vỏ phong hóa. Các hoạt động nhân sinh (hiện trạng sử dụng đất) được đánh giá có mức độ tác động trung bình tới nguy cơ trượt lở đất.

- Kết quả ứng dụng GIS và chỉ số thống kê trong xây dựng bản đồ nhạy cảm với trượt lở khu vực thành phố Bắc Kạn cho thấy các vùng có mức độ nhạy cảm với trượt lở mạnh nhất nằm dọc các tuyến đường giao thông chính và tại các khu vực có mức độ che phủ thực vật thấp, chủ yếu tập trung ở phường Phùng Chí Kiên, phường Sông Cầu, và xã Huyền Tung. Vùng trượt lở yếu nằm ở trung tâm khu vực nghiên cứu, với diện tích khoảng 30% diện tích khu vực nghiên cứu. Đây là một yếu tố quan trọng cho công tác di dời tái định cư trong các khu vực chịu thiên tai về trượt lở.

- Thông qua đánh giá độ chính xác của mô hình chỉ số thống kê, cho thấy mô hình có độ chính xác tương đối cao khi các điểm trượt lở kiểm tra hầu hết xảy ra trên các khu vực nhạy cảm với trượt lở Rất mạnh và Mạnh. Khu vực cảnh báo trượt lở Rất mạnh, mức đảm bảo là 63,83%, tiếp đó lần lượt là các vùng nhạy cảm với trượt lở Mạnh, Trung bình và Yếu có các mức đảm bảo dự báo trượt là 29,79; 4,26 và 2,13%.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đoàn Viết Long, Nguyễn Chí Công, Nguyễn Quang Bình, Nguyễn Tiến Cường, "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, Hà Nội, ISSN:1859-4255, 08/2020,.
- [2] Quyết định số 351/QĐ-TTg ngày 27/3/2012 Phê duyệt đề án "Điều tra, đánh giá và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá các vùng miền núi Việt Nam".
- [3] Varnes, D.J. (1984). Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. Natural Hazards. UNESCO, Paris.

- [4] Cees van Westen (1997), "Statistical landslide hazard analysis", ITC Publication, Eschede, Netherland, tr. 73-84.
- [5] Voogd.H (1983), "Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning", University of Groningen, The Netherlands.
- [6] Saaty, T.L, "The analytic hierarchy process," McGraw-Hill. New York, 1980.
- [7] Đỗ Minh Ngọc, Đặng Thị Thùy, Đỗ Minh Đức, "Ứng dụng GIS và phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) thành lập bản đồ nguy cơ trượt lở thứ bậc (AHP) thành lập bản đồ nguy cơ trượt lở," Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường, Tập 32, Số 2S (2016) 206-216.
- [8] Trần Mạnh Liễu, Nguyễn Quang Huy, Nguyễn Thị Khang, Trần Mạnh Liễu, Nguyễn Quang Huy, Nguyễn Thị Khang, "Dự báo nguy cơ và cường độ phát triển trượt lở khu vực thị xã Bắc Kạn" Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng số 3+4/2013.
- [9] Trần Thanh Hà, "Quan hệ giữa đặc điểm địa mạo và trượt lở đất tại tỉnh Lào Cai," Viện Việt Nam học và Khoa học Phát triển, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam, Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Các Khoa học Trái đất và Môi trường, Tập 29, Số 3 (2013) 35-44.