

## Journal of Mining and Earth Sciences

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

# Identification of inundated area by debris flow using LAHARZ model - A case study in the Trong La catchment in Ho Bon, Mu Cang Chai, Yen Bai



Hieu Trung Tran <sup>1,\*</sup>, Tien Van Pham <sup>1</sup>, Quan Cong Nguyen <sup>1</sup>, Cuong Quoc Tran <sup>2</sup>, Hai Thanh Pham <sup>1</sup>, Dung Van Chu <sup>3</sup>, Thanh Trung Nguyen <sup>1</sup>, Anh Duc Nguyen <sup>1</sup>, Thao Phuong Bui <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geological Science - Vietnam Academy of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup> Ministry of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

<sup>3</sup> The Vietnam Geological Department, Hanoi, Vietnam

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 12<sup>th</sup> Sept. 2024

Revised 29<sup>th</sup> Dec. 2024

Accepted 08<sup>th</sup> Jan. 2025

#### Keywords:

Debris flow,  
Ho Bon,  
LAHARZ,  
Mu Cang Chai.

### ABSTRACT

Debris flow is one of the most common geological disasters in Vietnam, occurring in mountainous areas and causing catastrophic impacts on both the economy and human lives. This article shows the results of a debris flow simulation that took place on August 5, 2023, in Trong La village, Ho Bon commune, Mu Cang Chai district, Yen Bai province, through an empirical model called LAHARZ and digital elevation model (DEM). The debris flow also was assessed for damage to the built-up area. The LAHARZ model is based on empirical equations that were derived from historical debris flood statistics. The equations include  $A = 0.05 V^{(2\beta)}$  and  $B = 200 V^{(2\beta)}$ , in which  $A$  is the cross-sectional area,  $B$  is the planimetric area, and  $V$  is the volume. This study uses drone images and digital elevation model with 0.5m spatial resolution, which were created on August 12, 2023, by using the Phantom 3 Professional drone. The debris flow's source area is roughly 78104 m<sup>2</sup>, corresponding to a volume of 8,000÷10,000 m<sup>3</sup>. For this reason, the LAHARZ model is simulated with volumes of 5,000; 8,000; 10,000; 15,000 and 20,000 m<sup>3</sup>. LAHARZ simulation results were validated by comparing them to field survey evidence. The result shows that the model results are quite similar to the actual inundated area with TPR and TS values being 0.717 and 65.9%, respectively. This study also demonstrates that the false irregular edges in the delineated inundation zones supposedly originated because of a lack of DEM accuracy. The LAHARZ model simulation has many advantages in terms of time and the few parameters used, which enable rapid evaluation of debris flow scenarios.

Copyright © 2025 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

\*Corresponding author

E - mail: [trunghieu95ctb@gmail.com](mailto:trunghieu95ctb@gmail.com)

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(1).04



## Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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



# Đánh giá phạm vi ảnh hưởng dòng lũ bùn đá bằng mô hình LAHARZ - Trường hợp nghiên cứu tại lưu vực đầu nguồn bản Trống Là, xã Hồ Bốn, Mù Cang Chải, Yên Bái

Trần Trung Hiếu <sup>1,\*</sup>, Phạm Văn Tiền <sup>1</sup>, Nguyễn Công Quân <sup>1</sup>, Trần Quốc Cường <sup>2</sup>, Phạm Thanh Hải <sup>1</sup>, Chu Văn Dũng <sup>3</sup>, Nguyễn Trung Thành <sup>1</sup>, Nguyễn Đức Anh <sup>1</sup>, Bùi Phương Thảo <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Viện Địa chất- Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup> Bộ Khoa học và Công Nghệ, Hà Nội, Việt Nam

<sup>3</sup> Cục Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

#### Quá trình:

Nhận bài 12/9/2024

Sửa xong 29/12/2024

Chấp nhận đăng 08/01/2025

#### Từ khóa:

Hồ Bốn,

LAHARZ,

Lũ bùn đá,

Mù Cang Chải.

### TÓM TẮT

Lũ bùn đá là một trong những tai biến địa chất phổ biến ở Việt Nam, xuất hiện ở các khu vực đồi núi gây ra nhiều thiệt hại về kinh tế và sinh mạng con người. Bài báo này trình bày kết quả mô phỏng một dòng lũ bùn đá tại xã Hồ Bốn, huyện Mù Cang Chải, tỉnh Yên Bái xảy ra ngày 5/8/2023 sử dụng mô hình thực nghiệm LAHARZ trên mô hình số địa hình, đồng thời sử dụng kết quả này đánh giá thiệt hại với công trình xây dựng. Mô hình LAHARZ được xây dựng dựa trên các phương trình thực nghiệm được tính toán từ các thống kê các sự kiện lũ bùn đá trong quá khứ. Các phương trình sử dụng bao gồm:  $A=0,05 V^{(2/3)}$ ;  $B=200 V^{(2/3)}$ . Trong đó  $A$  là diện tích mặt cắt,  $B$  là diện tích trên mặt phẳng,  $V$  là thể tích. Nghiên cứu sử dụng ảnh drone và mô hình số địa hình với độ phân giải không gian 0,5 m được xây dựng tại thời điểm 12/8/2023 bằng drone Phantom 3 Professional. Với diện tích vùng nguồn xác định trong khoảng 78.104 m<sup>2</sup> tương ứng thể tích dòng 8.000÷10.000 m<sup>3</sup>, mô hình LAHARZ được mô phỏng theo các thể tích 5.000; 8.000; 10.000; 15.000; 20.000 m<sup>3</sup>. Đối sánh với các vị trí khảo sát thực địa cho thấy kết quả mô hình khá tương đồng với vùng ảnh hưởng thực tế. Việc đánh giá mô hình được tính thông qua phần diện tích chồng lấn cho giá trị TPR và TS lần lượt là 0,717 và 65,9%. Bài viết cũng chỉ ra hiện tượng cạnh không đều của kết quả bị ảnh hưởng nhiều bởi độ chính xác của DEM. Việc mô phỏng mô hình LAHARZ có nhiều ưu điểm về thời gian, ít các thông số sử dụng và có ý nghĩa thực tiễn trong việc đánh giá nhanh các kịch bản lũ bùn đá có thể xảy ra.

© 2025 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

\*Tác giả liên hệ

E - mail: [trunghieuv95ctb@gmail.com](mailto:trunghieuv95ctb@gmail.com)

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(1).04

## 1. Mở đầu

Lũ bùn đá thường chứa khoảng từ 10-15% đến 40-60% hàm lượng các vật liệu rắn (tảng, dăm, cuội, sạn, cát, bùn, sét). Lũ bùn đá thường xuất hiện đột ngột với cường độ cao và tốc độ lớn trên các sông, suối nhỏ ở vùng núi. Đặc điểm của lũ bùn đá là thời gian xuất hiện rất ngắn với hàm lượng chất rắn cao và có sức tàn phá lớn. Nó có thể được hình thành do mưa lớn, hoặc khi không có mưa do vỡ hồ, đập tự nhiên do hiện tượng trượt lở chặn dòng sông, suối.

Lũ bùn đá là mối hiểm họa đối với cơ sở hạ tầng, tính mạng con người và là thách thức lớn đối với sự phát triển kinh tế xã hội ở nhiều nước trên thế giới. Tại Việt Nam, lũ bùn đá là một trong những thiên tai tàn khốc, hay xảy ra đặc biệt ở các khu vực miền núi phía bắc. Một số trận lũ bùn đá lớn đã xảy ra gồm Mường Lay (8/1996); Nam Coong, Sìn Hồ, Lai Châu (10/2000); Tân Nam, Xín Mần, Hà Giang (7/2002); Du Tiến, Yên Minh, Hà Giang (7/2004); Khen Lên, Pắc Nam, Bắc Kạn

(7/2009); Nam Lục, Bắc Hà, Lào Cai (9/2012); Bản Khoang, Sa Pa, Lào Cai (9/2013); Mù Cang Chải, Yên Bái (3/8/2017); Nặm Păm, Mường La, Sơn La (3/8/2017); Tà Cạ, Kỳ Sơn, Nghệ An (10/2022); Hồ Bốn, Mù Cang Chải, Yên Bái (5/8/2023),...

Với sự xuất hiện thường xuyên của các đợt mưa lớn do biến đổi khí hậu, tần suất, quy mô và mức độ phức tạp của dòng lũ bùn đá có thể tiếp tục gia tăng trong tương lai. Do đó, việc xác định chính xác vị trí, đường đi và phạm vi ảnh hưởng tại các khu vực có nguy cơ lũ bùn đá có thể giúp giám sát dòng bùn đá hiệu quả và thực hiện các chính sách kinh tế xã hội kịp thời. Đã có nhiều tiến bộ đáng kể về quá trình phát triển các mô hình mô phỏng các đặc tính của các vụ lũ bùn đá. Trong đó nổi bật với các kiểu mô hình chính là mô hình thống kê thực nghiệm, mô hình động. Các mô hình này đã được hiệu chỉnh lại trong nhiều nghiên cứu (Bảng 1) và trong một số trường hợp chúng được sử dụng làm công cụ dự báo tai biến lũ bùn đá trong khu vực.

Bảng 1. Một số phần mềm mô phỏng lũ bùn đá hiện nay.

Phần mềm	Phương pháp	Ưu điểm	Nhược điểm	Nguồn
LAHARZ, DFLOWZ	Thống kê thực nghiệm	- Giao diện dễ sử dụng - Dự đoán nhanh vùng ảnh hưởng	Khu vực bị ảnh hưởng phụ thuộc vào mức độ tin cậy của thể tích dòng bùn đá. Do đó thể tích có thể được đánh giá quá cao hoặc quá thấp	Berti & Simoni, 2014; Schilling, 1998.
FLO-2D	Sai phân hữu hạn (Finite Difference Method - FDM)	- Có khả năng tích hợp nhiều loại dữ liệu không gian trong một mô hình đơn lẻ (shape file, ảnh UAV, DEM,...). - Phần mềm có thể được kết hợp với SWMM, MODFLOW. - Không cần dữ liệu sự phân bố khối trượt ban đầu.	- Các phần tử lưới đại diện cho một giá trị độ cao duy nhất, hệ số nhám Manning và độ sâu dòng chảy. - Dòng 1D (không có dòng thứ cấp, hoặc sự phân bố vận tốc thẳng đứng). - Phần mềm có thể tính toán quá vùng ảnh hưởng thực tế.	Cesca & D'Agostino, 2008
Debris-2D	FDM	- Không yêu cầu giá trị hệ số nhám Manning (n) và hệ số nhớt - Thời gian kết thúc, độ sâu dòng chảy tối đa và vùng bị ảnh hưởng khớp với quan sát hiện trường.	- Dữ liệu đầu vào cần có sự phân bố khối trượt ban đầu. - Có giao diện phần mềm nhưng chưa hoàn thiện.	Liu & Wu, 2018
RAMMS	Thể tích hữu hạn (Finite Volume Method - FVM)	- Được sử dụng để mô phỏng áp suất, chiều cao dòng tối đa, sự xói mòn ở các phần khác nhau của dòng bùn đá. - Phân tích gần thời gian thực	- Cần hiệu chỉnh thông số ma sát và hỗn hợp. - Do không sử dụng ứng suất cắt nên dòng chảy có cùng vận tốc trung bình ở mọi điểm.	Bartelt & nnk, 2017

Các phương pháp mô hình động phát triển sử dụng các mô hình vật lý, các định luật bảo toàn khối lượng, động lượng và năng lượng cũng như cơ chế dòng bùn đá. Một số mô hình thường được sử dụng để mô tả đặc tính của dòng bùn đá là mô hình lực cản ma sát Coulomb; mô hình Bingham; Coulomb-Viscous và mô hình khả năng chống ma sát-hỗn loạn Voellmy. Cách tiếp cận này cho phép xác định đặc điểm hình học duy nhất và đặc điểm vật liệu địa phương được tính đến một cách rõ ràng và nó cung cấp các ước tính về vận tốc và độ sâu dòng chảy tại các điểm khác nhau trên đường đi. Các mô hình này thường được phát triển từ các mô hình thủy động lực học trung bình theo độ sâu (dòng chảy nông), mô phỏng chuyển động lũ bùn đá trên mô hình số địa hình với nhiều các tham số cơ lý đất (Bảng 1). Các mô hình điển hình dạng này như FLO-2D, Debris-2D, RAMMS, Massmov2D,... Các mô hình vật lý yêu cầu khá nhiều các tham số đầu vào như DEM, hệ số nhám Manning- $n$ , hệ số nhớt, giới hạn chảy (Pa), nồng độ thể tích (Cv), sự phân bố vật liệu ban đầu,...

Các phương pháp thống kê thực nghiệm không quan tâm nhiều đến các quá trình vật lý cũng như độ phức tạp của các dòng lũ bùn đá. Chúng mô tả dòng bùn đá như mô hình vật lý 1 pha dựa trên các chỉ số thống kê từ các trận bùn đá trong quá khứ. Một số phương trình mô tả mối quan hệ khoảng cách dịch chuyển khối trượt, lũ bùn đá và thể tích (Li, 1983; Nicoletti & Sorriso, 1991; Fell và nnk, 2007) có dạng  $\log(H/L) = -a \log V + b$ . Trong đó  $a$  là hệ số góc của đường thẳng,  $b$  là giao điểm của đường thẳng tại  $\log V = 0$ ,  $H$  và  $L$  là chiều cao và khoảng cách khối, và  $V$  là thể tích khối. Các giá trị của hệ số  $a$  và  $b$  khác nhau với từng cách tiếp cận và khu vực khác nhau. Li (1983) đã thu thập một tập mẫu gồm 76 vụ trượt lở đất để tìm ra tương quan giữa thể tích và  $H/L$ , cũng như giữa thể tích trượt lở và diện tích lan rộng. Bỏ qua tất cả các sự kiện với thể tích nhỏ hơn  $105 \text{ m}^3$ , thu được công thức  $\log(H/L) = -0,1529 \log V + 0,664$ .

Ngoài ra một số phương trình thực nghiệm khác mô tả mối tương quan thống kê giữa thể tích, diện tích ảnh hưởng và diện tích tiết diện dòng cũng đã được đề xuất (Iverson & nnk, 1998) với các phương trình hồi quy thường có dạng  $A = cV^{(2/3)}$  và  $B = d.V^{(2/3)}$ . Điển hình là các mô hình như LAHARZ (Schilling, 1998), DFLOWZ (Berti & Simoni, 2014),... Tỷ lệ  $2/3$  cố định và đã được chứng minh bởi Iverson & nnk (1998) bằng sự

tương đồng hình học. Tuy nhiên hệ số  $c$ ,  $d$  có sự khác biệt trong các nghiên cứu như  $c=0,05$ ,  $d=200$  (Schilling, 1998);  $c=0,07$ ,  $d=18$  (Simoni & nnk, 2011),... Những khác biệt này được giải thích bởi sự phân tán của dữ liệu do sự không chắc chắn của các phép đo. Do trong thực tế, tính di động của dòng bùn đá chắc chắn bị ảnh hưởng bởi hàm lượng nước, phân phối kích thước hạt, hoặc sự có sẵn vật liệu. Tuy nhiên không tìm thấy sự khác biệt có hệ thống giữa các bộ dữ liệu thu thập trong các môi trường địa chất khác nhau (Simoni & nnk, 2011). Các mô hình động cho kết quả đáng tin cậy nhất, là một trong những cách tiếp cận hiệu quả hiện nay trong nghiên cứu tai biến địa chất như trượt lở và lũ bùn đá. Tuy nhiên chúng yêu cầu về nhiều tham số đầu vào như hệ số nhớt, giới hạn chảy (Pa), nồng độ thể tích (Cv), sự phân bố vật liệu ban đầu,... hoặc các thử nghiệm trong phòng thí nghiệm ở tỉ lệ nhỏ hoặc tỉ lệ thực ngoài hiện trường rất phức tạp và tốn kém chi phí.

Nghiên cứu này xác định diện tích ảnh hưởng dòng lũ bùn đá sử dụng mô hình thực nghiệm LAHARZ tại lưu vực đầu nguồn bản Trống Là, xã Hồ Bốn huyện Mường Chải, tỉnh Yên Bái. Khu vực này xảy ra trận lũ bùn đá lớn ngày 5/8/2023, gây thiệt hại về người và tài sản với nhiều công trình nhà cửa ruộng vườn bị vùi lấp và cuốn trôi. Nghiên cứu mang lại nhiều ý nghĩa thực tiễn trong việc áp dụng mô hình LAHARZ trong quản lý rủi ro lũ bùn đá tại Việt Nam.

## 2. Khu vực nghiên cứu

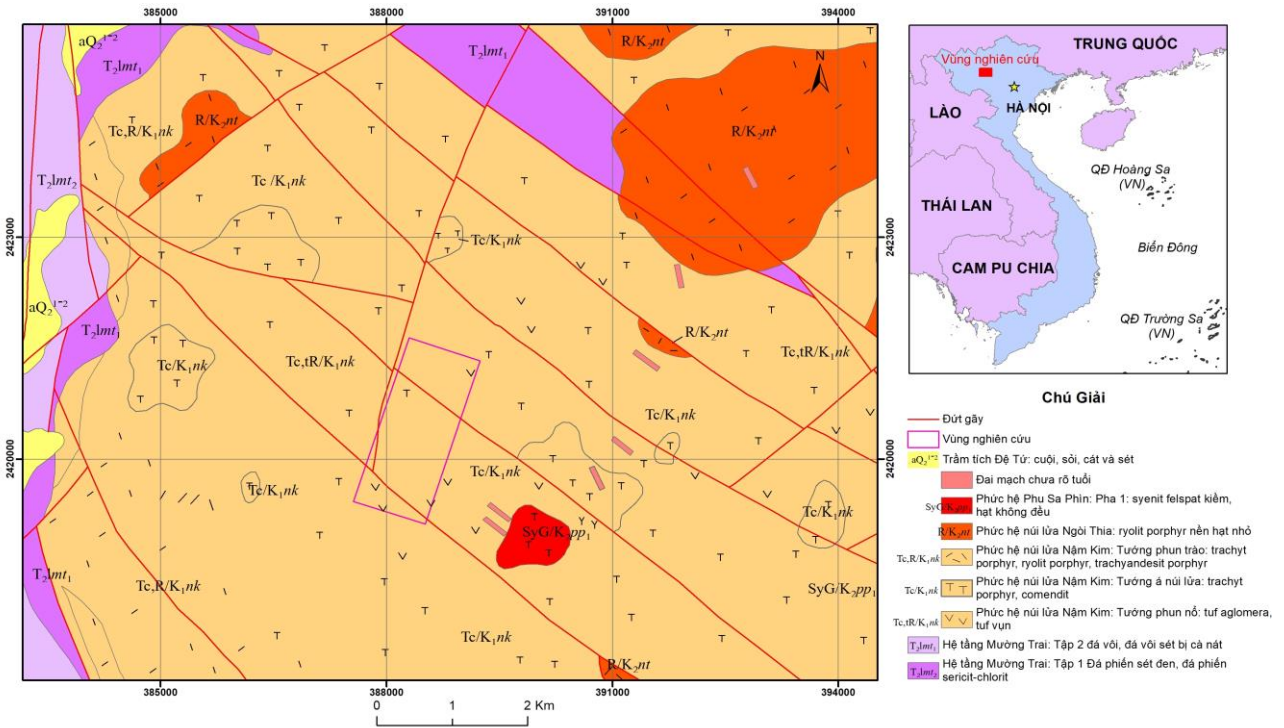
Khu vực nghiên cứu thuộc bản Trống Là, xã Hồ Bốn, Mường Chải, Yên Bái nằm ở rìa bồn trũng Tú Lệ - được coi là rift nội lục, là bồn độc lập dạng hình máng, hình thành trong Mesozoi (Trần & Nguyễn, 1988). Các thành tạo nổi bật trong khu vực nghiên cứu thuộc phức hệ núi lửa Nậm Kim, phức hệ Ngòi Thia, phức hệ Phú Sa Phìn (Hình 1) bao gồm trachyt porphyr, rhyolit porphyr,... Các đá núi lửa phức hệ Nậm Kim bị biến đổi khá mạnh như albit hóa, berezit hóa, thành phần nhiều khoáng vật sét tạo điều kiện thuận lợi cho các tai biến trượt lở, lũ bùn đá xảy ra. Vùng nghiên cứu có địa hình núi cao với độ cao dao động từ  $400 \div 2042 \text{ m}$ . Địa hình khu vực Hồ Bốn có độ chia cắt sâu lớn, độ dốc sườn trung bình lớn ( $> 45^\circ$ ). Do đó các suối nhánh thường ngắn, dốc, lòng suối hẹp, phân bố dọc theo các đứt gãy lớn trong khu vực. Do ảnh hưởng của mưa lớn, hiện tượng trượt lở hàng loạt xuất hiện tại hàng

trăm vị trí trên một khu vực rộng tại xã Hồ Bốn vào ngày 5/8/2023. Dạng trượt lở chính gồm trượt chảy và trượt tịnh tiến trên vỏ phong hóa mỏng. Thảm thực vật khá thưa thớt chủ yếu là rừng thưa tái sinh, ... Lượng mưa trước và sau thời điểm xảy ra lũ bùn đá tại khu vực khá lớn từ 41,8 mm (03/8/2023) đến 163,4 mm (ngày 06/8/2023). Trượt lở hàng loạt trên diện rộng xuất hiện đã phát sinh nhiều dòng lũ bùn đá và lũ quét tàn phá nhiều khu vực dân cư và sản xuất của xã. Đáng chú ý là

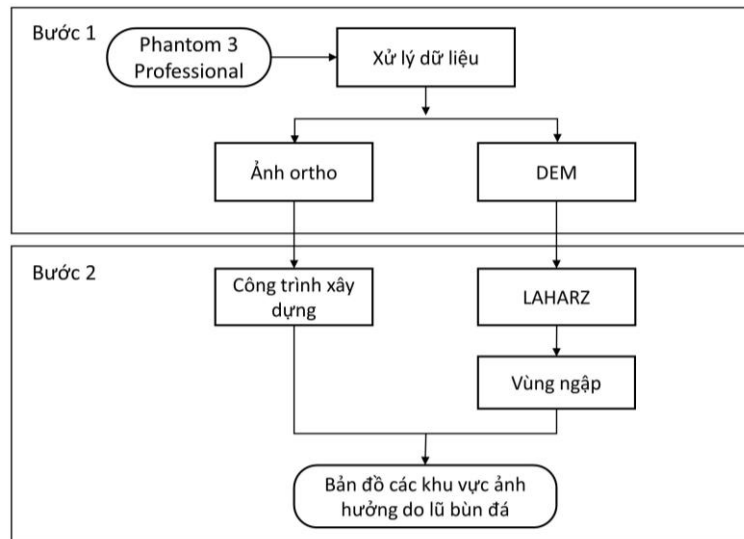
dòng lũ bùn đá xuất hiện dọc khe suối phía sau Ủy ban Nhân dân xã Hồ Bốn thuộc lưu vực đầu nguồn bản Trống Là gây thiệt hại nặng nề tại khu vực trung tâm xã. Khe suối này bắt đầu từ bản Trống Gầu Bua và đổ ra sông Nậm Kim phía trước Ủy ban Nhân dân xã.

### 3. Dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

Quy trình nghiên cứu (Hình 2) gồm 2 bước chính: (1) Thu nhận ảnh drone và xử lý số liệu xây



Hình 1. Bản đồ địa chất khu vực nghiên cứu tỷ lệ 1: 50.000 (Đình, 2004).



Hình 2. Sơ đồ quy trình nghiên cứu.

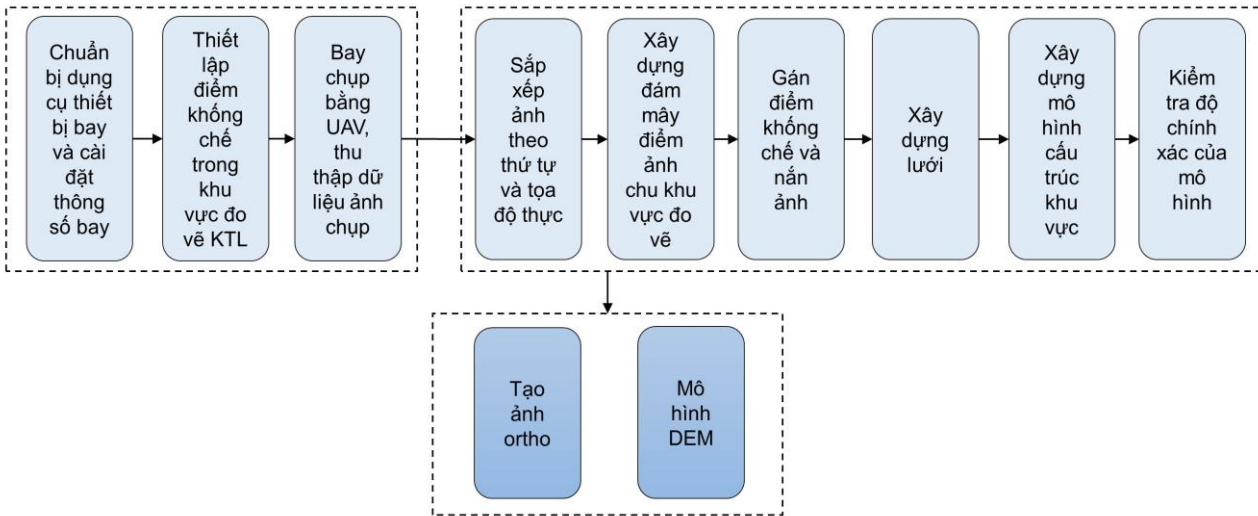
dựng ảnh ortho và mô hình DEM (Hình 3); (2) Ứng dụng mô hình LAHARZ cho xây dựng các kịch bản thể tích dòng lũ bùn đá, xây dựng dữ liệu hiện trạng công trình xây dựng và thành lập bản đồ các khu vực ảnh hưởng do lũ bùn đá.

**3.1. Thu nhận ảnh drone**

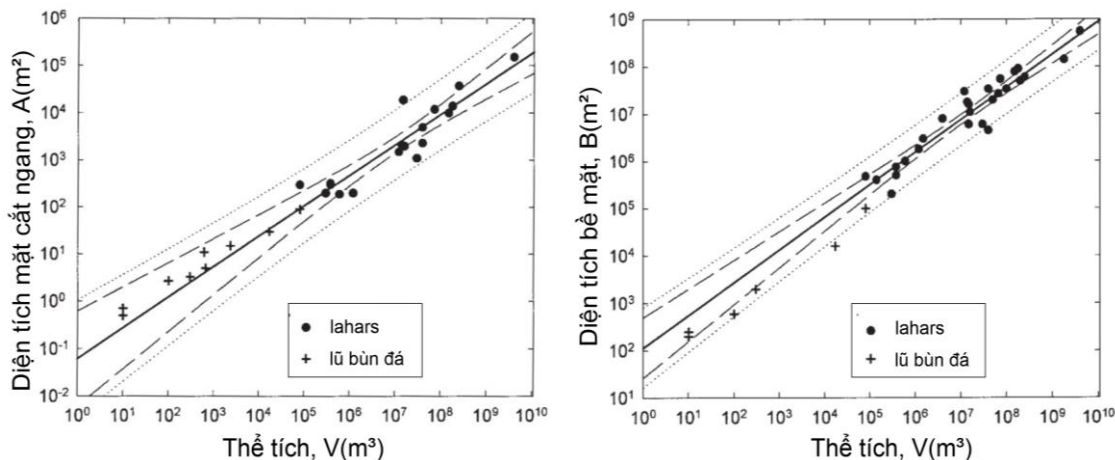
Nghiên cứu sử dụng Phantom 3 Professional là thiết bị đại diện cho thế hệ máy bay bốn cánh của DJI. Ngay cả khi không có tín hiệu GPS, hệ thống định vị tầm nhìn cho phép máy bay di chuyển chính xác tại chỗ. Camera chụp được những bức ảnh 12 megapixel. Cảm biến nâng cao mang lại độ rõ nét cao hơn, độ nhiễu thấp hơn.

**3.2. Mô hình LAHARZ**

LAHARZ là một công cụ viết bằng Python trong phần mềm ARCGIS phát triển bởi USGS (United States Geological Survey) (Schilling, 1998), sử dụng các phương trình thực nghiệm được tính toán từ các thống kê các sự kiện lũ bùn đá trong quá khứ để dự đoán các khu vực có khả năng ảnh hưởng trong tương lai. Các thông số được đo đạc tại 27 điểm tích tụ bùn đá tại 9 vị trí khác nhau ở USA, Mexico, Colombia, Canada và Philippines (Hình 4). Các phương trình này bị hạn chế bởi các thông số chia tỷ lệ với giả sử rằng dòng chảy phát triển theo hướng xuôi dòng, khối lượng và thể tích không đổi (Schilling, 1998). Các phương trình sử dụng bao gồm:

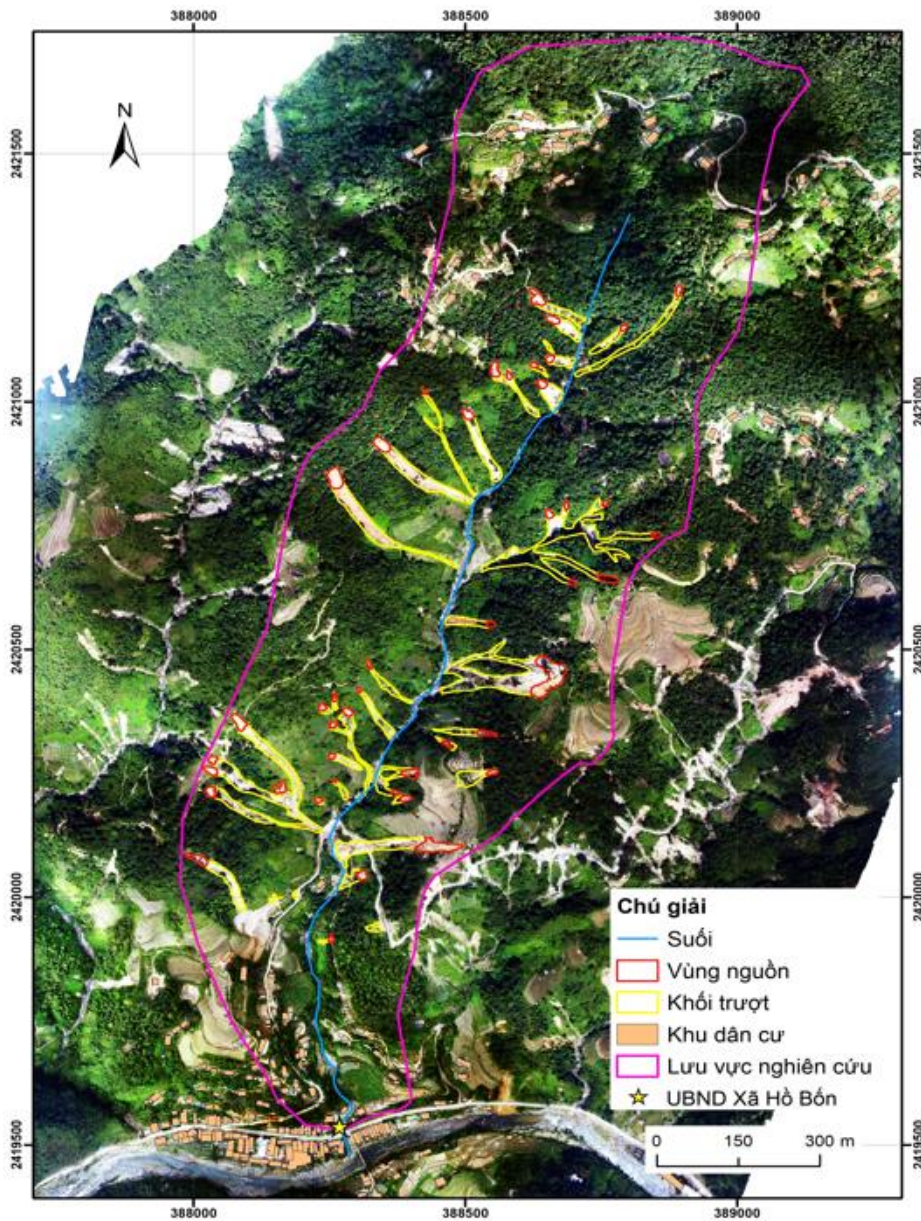


Hình 3. Quy trình xây dựng mô hình số bề mặt từ ảnh chụp drone.



Hình 4. Các biểu đồ phân tán thể hiện mối quan hệ diện tích mặt cắt ngang và diện tích bề mặt B với thể tích V. Đường hồi quy (đường liền), khoảng tin cậy 95% cho hồi quy (đường đứt nét) và dự đoán (đường nét chấm) (Schilling, 1998).





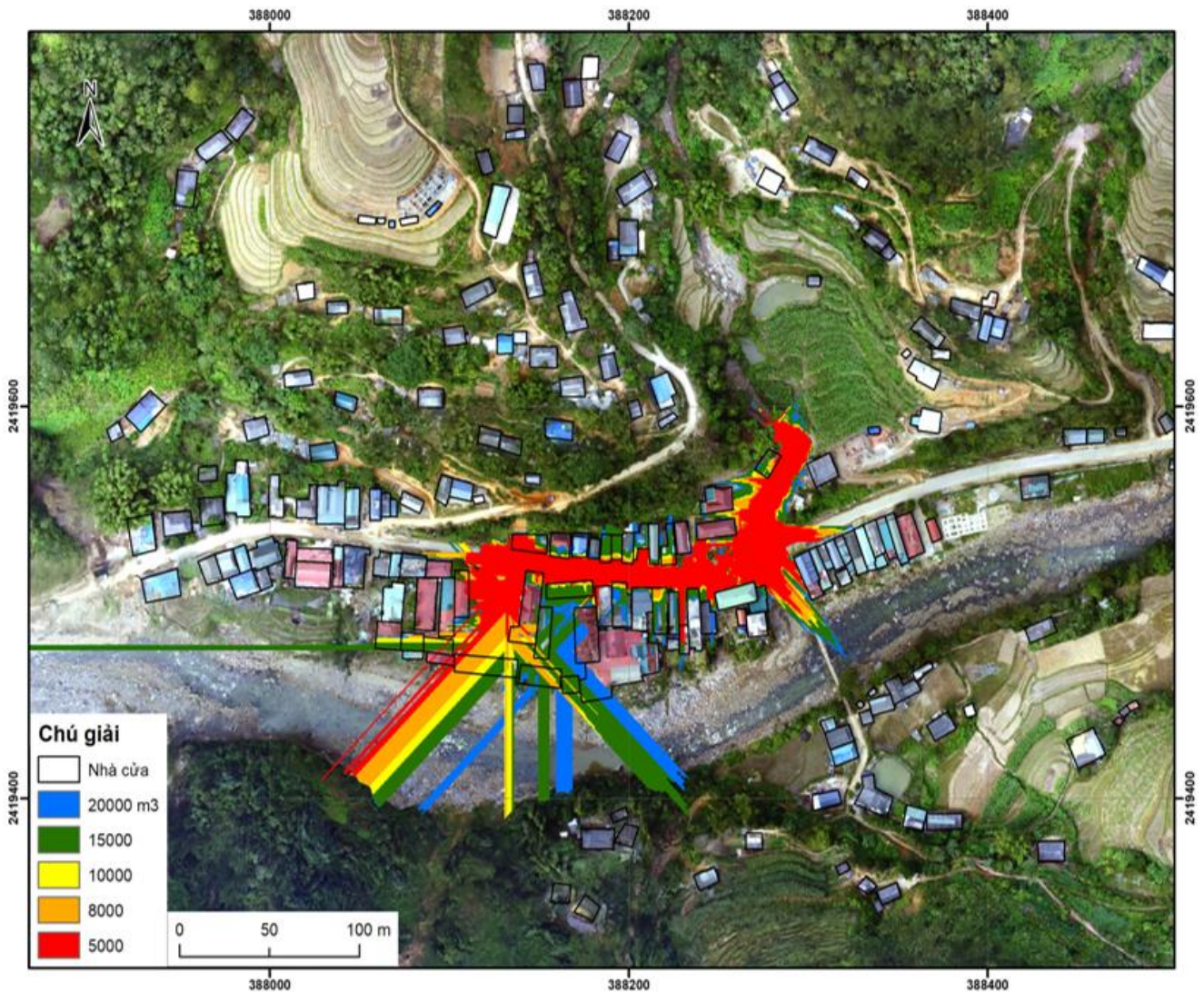
Hình 6. Ảnh drone khu vực nghiên cứu.

Ngoài ra để đánh giá thể tích dòng lũ bùn đá, các vị trí vùng nguồn từng khối trượt được xác định. Các vị trí vùng nguồn được xác định trên các quan sát địa mạo, các vách trượt đã xác định trên mô hình số địa hình. Thể tích dòng bùn đá được tính theo công thức (2) theo tổng diện tích vùng nguồn. Với vật liệu kéo theo, thể tích cộng thêm được ước lượng bằng 10% thể tích vùng nguồn (hệ số được tham khảo theo một số kết quả mô phỏng bằng mô hình LS-RAPID) (Kyoji & nnk, 2010; Tien & nnk, 2023). Kết quả cho thấy diện tích vùng nguồn trong khoảng 78.104 m<sup>2</sup> tương ứng thể tích dòng 8.000÷10.000 m<sup>3</sup>. Theo đó mô hình LAHARZ

được mô phỏng theo các thể tích 5.000; 8.000; 10.000; 15.000; 20.000 m<sup>3</sup> (Hình 7). Vị trí đỉnh nón phóng vật được chọn với tỷ số H/L=0,45 dựa trên việc thử nghiệm nhiều giá trị và vị trí thực tế quan sát từ thực địa.

Quan sát kết quả (Hình 7) cho thấy hiện tượng các cạnh sai khác không đều nguyên nhân do thiếu độ chính xác của DEM. Diện tích mặt cắt ngang của dòng là một trong những thông số chính cần thiết cho mô hình để tính toán diện ảnh hưởng. Do đó DEM càng tiến đến gần đúng với hình dạng thực của dòng thì kết quả càng đáng tin cậy (Muñoz-Salinas & nnk, 2009).





Hình 7. Sơ đồ vùng ảnh hưởng lũ bùn đá theo các kịch bản thể tích khác nhau.

Để đánh giá độ chính xác mô hình, diện tích ảnh hưởng dòng bùn đá thực tế được xác định từ khảo sát thực địa ngay sau khi tai biến xảy ra. Các vị trí thiệt hại được xác định theo Hình 8. Vùng ảnh hưởng của dòng bùn đá kéo dài từ UBND xã Hồn Bốn đến trường tiểu học xã Hồ Bốn với vùng thoát dòng lũ bùn đá là vị trí sân trường tiểu học.

Kết quả từ mô hình LAHARZ được đánh giá bằng việc so sánh với các kết quả khảo sát thực địa (Hình 9). Các giá trị bao gồm true positive (TP), false negative (FN) và false positive (FP) được tính toán thông qua phần diện tích chồng lấn. Trong đó TP thể hiện phần nhận dạng đúng, FP thể hiện diện tích xác định từ mô hình nhưng không đúng hiện trạng thực tế và FN là phần diện tích xác định thực tế nhưng không đúng với mô hình. Các chỉ số đánh

giá bao gồm true positive rate (TPR), false positive rate (FPR) và false negative rate (FNR) được tính bằng việc chia lần lượt các giá trị TP, FN, FP cho tổng diện tích ảnh hưởng xác định thực tế (Bessette & nnk, 2019). Bên cạnh đó, giá trị điểm rủi ro TS (Threat score) (Staley & nnk, 2017) được tính toán để đánh giá mô hình, được tính bằng  $TPR / (TPR + FPR + FNR)$ . Độ chính xác của mô hình càng tốt khi giá trị TPR và TS càng cao (Bessette & nnk, 2019). Kết quả cho thấy mô hình có giá trị TPR và TS lần lượt là 0,717 và 65,9% (Bảng 2). Kết quả cho thấy mức độ đáng tin cậy khi so sánh với các nghiên cứu trước như mô hình FLO-2D (TPR = 0,8; TS = 64%), mô hình LAHARZ (TPR = 0,6; TS = 44%) (Bessette & nnk, 2019); (TPR = 0,4; TS = 35%) (Matthew & nnk, 2023).



Hình 8. Vị trí dòng lũ bùn đá thực tế (A-Vùng thoát; B-Vùng di chuyển; C- Vùng bắt đầu tích tụ vật liệu).



Hình 9. So sánh vị trí dòng bùn đá thực tế và mô hình LAHARZ.

Bảng 1. Đối sánh kết quả từ mô hình và kết quả khảo sát thực địa.

Vùng	Phân loại	Diện tích (m <sup>2</sup> )	Các chỉ số
Vùng xác định từ mô hình nhưng khác thực tế	FP	3.911,49	TPR= 0,717
Vùng xác định từ thực địa nhưng khác mô hình	FN	2.141,82	FNR= 0,282
Vùng xác định từ mô hình và thực địa	TP	5.436,4	FPR= 0,516 TS= 65,9%

## 5. Kết luận

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của dòng lũ bùn đá tại lưu vực đầu nguồn bản Trống Là, xã Hồ Bốn, Mù Cang Chải, Yên Bái sử dụng mô hình LAHARZ. Trong nghiên cứu này, diện tích vùng nguồn trong khoảng 78.104÷85.914,4 m<sup>2</sup> tương ứng thể tích dòng 8.000÷10.000 m<sup>3</sup>. Kết quả đánh giá độ chính xác mô hình cho giá trị TPR và TS lần lượt là 0,717 và 65,9%. Việc mô phỏng mô hình LAHARZ có nhiều ưu điểm về thời gian, ít các thông số sử dụng, cho phép đánh giá nhanh các kịch bản lũ bùn đá và có ý nghĩa thực tiễn trong việc đánh giá nguy cơ, rủi ro lũ bùn đá.

## Đóng góp của các tác giả

Trần Trung Hiếu - xây dựng ý tưởng, phương pháp luận, viết bản thảo bài báo, thực địa kiểm chứng; Phạm Văn Tiền, Chu Văn Dũng - phân tích tài liệu, thu thập dữ liệu, chụp ảnh drone; Trần Quốc Cường, Nguyễn Công Quân, Nguyễn Trung Thành, Phạm Thanh Hải - đóng góp ý kiến, đánh giá, chỉnh sửa bài báo; Nguyễn Đức Anh, Bùi Phương Thảo - tổng hợp tài liệu cho phần đánh giá tổng quan.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được sự hỗ trợ từ đề tài “Nghiên cứu sử dụng công nghệ địa không gian nhằm đánh giá nguy cơ, khả năng thiệt hại do trượt lở và lũ bùn đá khu vực miền núi phía Bắc”- Mã số: ĐTĐL.CN-82/21

## Tài liệu tham khảo

Bartelt, P., Bieler, C., Bühler, Y., Christen, M., Deubelbeiss, Y., Graf, C., McArdeall, B. W., Salz, M. & Schneider, M. (2017). *RAMMS: Debrisflow User Manual*. WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF. [https://ramms.slf.ch/ramms/downloads/RAMMS\\_DBF\\_Manual.pdf](https://ramms.slf.ch/ramms/downloads/RAMMS_DBF_Manual.pdf)

Berti, M. & Simoni, A. (2014). DFLOWZ: A free program to evaluate the area potentially inundated by a debris flow. *Computers and Geosciences*, 67, 14-23.

Bessette-Kirton, E. K., Kean, J. W., Coe, J. A., Rengers, F. K., Staley, D. M. (2019). An evaluation of debris-flow runout model accuracy and complexity in Montecito, California: Towards a framework for regional inundation-hazard forecasting. *Proceedings of 7th International Conference on Debris Flow Hazards Mitigation*, 28, 257-264. <https://hdl.handle.net/11124/173211>.

Cesca, M. & D'Agostino, V. (2008). Comparison between FLO-2D and RAMMS in debris-flow modelling: A case study in the Dolomites. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 60, 197-206.

Christopher S. M, Peter G. G, Robert H. W. (2010). Analyzing debris flows with the statistically calibrated empirical model LAHARZ insoutheastern Arizona, USA. *Geomorphology*, 119(1-2), 111-124.

Đình, V. T. (2004). Bản đồ địa chất khu vực Nậm Kim (Than Uyên F-48-76-B). Liên đoàn Bản đồ Địa chất Miền Bắc.

Fell, R., Glastonbury, J., Hunter, G. (2007). Rapid landslides: the importance of understanding mechanisms and rupture surface mechanics. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 40, 9-27.

Griswold, J. P., Iverson, R. (2008). *Mobility Statistics and Automated Hazard Mapping for Debris Flows and Rock Avalanches*. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/sir20075276>.

Iverson, R. M., Schilling, S. P., and Vallance, J. W. (1998). Objective delineation of areas at risk from inundation by lahars. *Geological Society of America Bulletin*, 110 (8), 972-984.

- Kyoji, S., Osamu, N., Renato, S., Yoichi, Y. & Hidemasa, O. (2010). An integrated model simulating the initiation and motion of earthquake and rain induced rapid landslides and its application to the 2006 Leyte landslide. *Landslides*, 7, 219-236.
- Li, T. (1983). A mathematical model for predicting the extent of a major rockfall. *Zeitsch Geomorph*, 27, 473-482.
- Liu, K. F. & Wu, Y. (2018). *Debris2D Tutorial. In Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools*. Springer. New York, 836 pages. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57777-7>.
- Matthew, A. T., Jason W. K., Scott W. M., Donald N. L., Jaime, K., David, B. C., Francis, K. R., Amy, E. E., Jonathan, Y. S., Douglas, P. S., Brian, D. C. (2023). Postfire hydrologic response along the Central California (USA) coast: insights for the emergency assessment of postfire debris-flow hazards. *Landslides*, 20, 2421-2436.
- Muñoz Salinas, E, Castillo-Rodríguez, M, Manea, V, Manea, M, Palacios, D. (2009). Lahar flow simulations using LAHARZ program: Application for the Popocatépetl volcano, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 182, 13-22.
- Nicoletti, G., Sorriso, V. M. (1991). Geomorphic control of the shape and mobility of rock avalanches. *Geol Soc Am Bull*, 103, 1365-1373.
- Scheidl, C., Rickenmann, D. (2010). Empirical relationships for debris flow mobility and deposition on fans. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 157-173.
- Schilling, S. P. (1998). *LAHARZ- GIS Programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones*. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ofr20141073>.
- Simoni, A., Mammoliti, M., Berti, M. (2011). Uncertainty of debris flow mobility relationships and its influence on the prediction of inundated areas. *Geomorphology*, 132, 249-259.
- Staley, D. M., Negri, J. A., Kean, J. W., Laber, J. L., Tillery, A. C. & Youberg, A. M. (2017). Prediction of spatially explicit rainfall intensity-duration thresholds for post fire debris flow generation in the western United States. *Geomorphology*, 278, 149-162.
- Tien, P. V, Luong, L. H, Nhan, T. T, Phi, N. Q, Trinh, P. T, Quynh, D. T, Duc, D. M, Lan, N. C, Cuong, N. H. (2023). Mechanism and numerical simulation of a rapid deep seated landslide in Van Hoi reservoir, Vietnam. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 45(3), 357-373.
- Trần, D. L., Nguyễn, X. B. (1988). Bản đồ Địa chất Việt Nam tỷ lệ 1:500,000. Cục Địa chất Việt Nam.