



ISSN 0866-7608

TẠP CHÍ KHOA HỌC TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG HÀ NỘI

HANOI UNIVERSITY OF NATURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

NGÀY MÔI TRƯỜNG THẾ GIỚI
05/6/2026

World Environment Day 2026

KÊU GỌI TOÀN CẦU
CHUNG TAY HÀNH ĐỘNG
VÌ KHÍ HẬU

Số 62

Tháng 6/2026

TỔNG BIÊN TẬP
PGS.TS. Lê Thị Trinh

PHÓ TỔNG BIÊN TẬP
PGS.TS. Nguyễn Bá Dũng

ỦY VIÊN HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP

1. GS.TS. Huỳnh Thị Lan Hương
2. PGS.TS. Nguyễn Hoàn
3. GS.TS. Phạm Quý Nhân
4. TS. Phạm Anh Tuấn
5. TS. Nguyễn Hồng Lân
6. PGS.TS. Phí Trường Thành
7. PGS.TS. Nguyễn Thị Hồng Hạnh
8. PGS.TS. Trịnh Thị Thắm
9. TS. Lê Phú Hưng
10. PGS.TS. Hoàng Anh Huy
11. PGS.TS. Trịnh Lê Hùng
12. PGS.TS. Mai Văn Khiêm
13. GS.TS. Nguyễn Thị Huệ
14. PGS.TS. Đỗ Thị Tám
15. PGS.TS. Nguyễn Văn Trung
16. GS.TS. Đặng Kim Chi
17. GS.TS. Võ Chí Mỹ
18. PGS.TS. Trần Đình Trọng
19. TS. Trương Văn Vinh
20. TS. Trần Thanh Tâm
21. PGS.TS. Lien Duong

THƯ KÝ TÒA SOẠN
TS. Đào Hoàng Tùng

Trị sự - Tổng hợp
ThS. Nguyễn Đức Mạnh

Giấy phép xuất bản

Số: 367/GP-BTTTT - Bộ Thông tin và Truyền thông
cấp ngày 29 tháng 9 năm 2023

In tại: Công ty TNHH In và Thương mại Châu Anh

Tòa soạn - Trị sự

Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Đ/c: 41 A Phú Diễn, phường Phú Diễn, Hà Nội

Điện thoại: 84-24-37645798, Fax: 84-24-38370597

Email: tapchikhtnmt@hunre.edu.vn

ISSN 0866 - 7608

NGHIÊN CỨU

1. **Vũ Thị Phương Thảo, Nguyễn Bách Thảo:** Sử dụng khung PRISMA nghiên cứu tổng quan về nghề dòng đầu nguồn ở khu vực miền núi3
2. **Nguyễn Quỳnh Mai, Phạm Trà My, Nguyễn Xuân Sơn, Đặng Thị Cẩm Vân, Nguyễn Thị Kim Cúc, Ngô Thị Hoài Thu:** Đánh giá thành phần dinh dưỡng và tác dụng sinh học của vỏ lụa cà phê Arabica làm nguyên liệu chế biến thực phẩm14
3. **Phạm Thị Dậu, Đoàn Thị Ngọc Vân, Nguyễn Thùy Liên:** Đặc điểm quần xã thực vật nổi và mối liên hệ với chất lượng nước hồ Triều Khúc, Hà Nội.....24
4. **Trịnh Thị Hoài Thu, Bùi Thị Hồng Thắm, Lê Duy Thành:** Ước tính sinh khối rừng mặt đất từ dữ liệu viễn thám đa nguồn sử dụng mô hình học máy tại khu vực Thái Nguyên.....37
5. **Nguyễn Hải Đông, Vũ Văn Doanh, Trần Thị Hiền, Trịnh Việt Nga, Trần Bình Minh:** Nghiên cứu khả năng ứng dụng mô hình CH4Net và ảnh Sentinel-2 trong nhận diện phân bố không gian liên quan đến phát thải CH₄ tại đồng bằng Sông Hồng.....52
6. **Thái Thị Thanh Minh, Trần Thị Duyên:** Nghiên cứu lựa chọn bộ tiêu chí công nghệ carbon thấp cho lĩnh vực năng lượng tại phường Vĩnh Yên, tỉnh Phú Thọ67
7. **Ngô Thúy An, Nguyễn Trần Thiện Khánh, Phan Thị Bảo Châu:** Khép kín vòng tuần hoàn nông nghiệp thông qua việc chuyển hóa rơm rạ thành vật liệu cải tạo đất74
8. **Đỗ Hồng Lam, Nguyễn Thanh Giao:** Đánh giá sơ bộ về hiện trạng quản lý chất thải rắn sinh hoạt tại xã Rạch Chèo, tỉnh Cà Mau....83
9. **Nguyễn Thị Tâm, Nguyễn Thị Thuỳ Linh:** Tín chỉ cacbon từ hệ sinh thái rừng ngập mặn và tiềm năng phát triển sinh kế bền vững của cộng đồng ven biển Việt Nam99
10. **Nguyễn Kim Thanh, Trương Hoàng Đan, Nguyễn Thanh Giao:** Phân tích các quy định quản lý môi trường đối với chất thải bệnh viện tại Việt Nam.....109
11. **Hoàng Minh Thành, Lê Công Thành, Cấn Anh Minh, Đào Thị Phương Anh, Lê Thị Kiều Oanh:** Ứng dụng mô hình ngôn ngữ lớn trong nhận diện và phân tích trang lừa đảo Facebook.....118
12. **Bùi Đức Tấn, Hồ Thanh Sang:** Đánh giá chất lượng nước Sông Mã đoạn chảy từ cầu Bản Lát đến hợp lưu Sông Đơ và Sông Mã, tỉnh Thanh Hóa năm 2025 và đề xuất giải pháp quản lý129
13. **Đào Văn Khánh:** Đánh giá thực trạng và các nhân tố ảnh hưởng đến quá trình phát triển đô thị thông minh tại thành phố Hà Nội theo định hướng không gian đa cực.....143
14. **Bùi Thị Thanh Loan, Nguyễn Thị Như Ngọc:** Nghiên cứu sự tích lũy một số kim loại nặng trong trầm tích biển ven bờ thành phố Hải Phòng.....157
15. **Phạm Thanh Tâm, Lưu Nguyên Long, Lê Thị Hạnh, Đỗ Tiến Thuận:** Đánh giá chất lượng đất đai hỗ trợ định hướng sản xuất nông nghiệp tại đặc khu Vân Đồn, tỉnh Quảng Ninh.....168
16. **Trần Văn Tình, Nguyễn Quốc Việt, Nguyễn Thị Bích Ngọc:** Nghiên cứu đánh giá mô hình HEC - HMS dự báo dòng chảy lũ tại trạm thủy văn Ngòi Hút182
17. **Lê Thu Hương, Nguyễn Thị Thanh Hương, Nguyễn Tuấn Anh:** Phân loại và dự báo ung thư vú dựa trên mạng nơ-ron nhân tạo sử dụng dữ liệu chẩn đoán tế bào.....192
18. **Thái Thị Thanh Minh, Trần Thị Duyên:** Khung pháp lý cho thị trường carbon tại Việt Nam200
19. **Phan Lê Na, Khương Mạnh Hà, Trần Thị Hiền, Đỗ Thị Lan Anh, Phạm Quốc Thăng, Đinh Thị Thu Trang, Nguyễn Thực Anh:** Tác động của biến đổi khí hậu đến đời sống dân cư vùng đồng bào dân tộc thiểu số và miền núi tỉnh Nghệ An.....207
20. **Nguyễn Thành Phương, Trần Kim Thoa, Nguyễn Mộng Cầm:** Rủi ro pháp lý trong thu hồi đất đối với doanh nghiệp chậm tiến độ: Yêu cầu cải cách trong bối cảnh phát triển thị trường vốn.....220

SỬ DỤNG KHUNG PRISMA NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ NGHẼN DÒNG ĐẦU NGUỒN Ở KHU VỰC MIỀN NÚI

Vũ Thị Phương Thảo*, Nguyễn Bách Thảo
Trường Đại học Mở - Địa chất

Tóm tắt

Nghẽn dòng đầu nguồn là hiện tượng thủy địa mạo phức tạp, thường liên quan đến trượt lở đất, lũ bùn đá và lũ quét ở khu vực miền núi. Khi vật liệu trượt lở, bùn đá hoặc các tác động của con người làm tắc nghẽn dòng chảy, các hồ tạm thời có thể hình thành. Những hồ này tiềm ẩn nguy cơ vỡ đập đột ngột, gây thiệt hại nghiêm trọng cho khu vực hạ lưu. Trong bối cảnh biến đổi khí hậu làm gia tăng tần suất và cường độ mưa cực đoan, nguy cơ nghẽn dòng đang gia tăng tại nhiều lưu vực miền núi Việt Nam. Nghiên cứu này tổng hợp có hệ thống các tiến bộ gần đây về cơ chế hình thành, phương pháp phát hiện và mô hình dự báo nghẽn dòng thượng nguồn sông theo khung PRISMA 2020. Kết quả cho thấy các nghiên cứu hiện còn phân mảnh, chủ yếu tập trung vào ngưỡng mất ổn định sườn dốc hoặc thủy lực sau vỡ đập, trong khi ít xem xét toàn bộ chuỗi sự kiện liên hoàn từ mưa cực đoan, sạt lở, tắc nghẽn dòng chảy, tích nước tạo đập đến khi đập bị vỡ. Điều này hạn chế khả năng dự báo xác suất hình thành đập tự nhiên, thời gian tồn tại hồ tạm và động học vỡ đập. Trên cơ sở tổng hợp, nghiên cứu đề xuất một khung khái niệm tích hợp phục vụ cảnh báo sớm, kết hợp ngưỡng mưa động, mô hình xác suất mất ổn định sườn dốc, phát hiện nghẽn dòng bằng dữ liệu vệ tinh và mô phỏng lan truyền lũ hai chiều. Khung này nhấn mạnh vai trò của học máy có ràng buộc vật lý và tích hợp dữ liệu đa nguồn nhằm giảm tính bất định và tăng tính diễn giải. Trong điều kiện mưa cực đoan gia tăng và áp lực nhân sinh ngày càng lớn, kết quả nghiên cứu cung cấp định hướng chiến lược cho đánh giá rủi ro dựa trên xác suất và quá trình đối với nghẽn dòng do sạt lở đất, đồng thời tạo nền tảng khoa học cho phát triển hệ thống cảnh báo sớm tại các vùng gió mùa kiến tạo hoạt động mạnh và thiếu dữ liệu như vùng Tây Bắc Việt Nam.

Từ khóa: Nghẽn dòng đầu nguồn; Lũ quét; Lũ bùn đá; Viễn thám; Học máy; Hệ thống cảnh báo sớm.

Abstract

Using the PRISMA framework to conduct a comprehensive study of source stream occurrence in mountain areas

Headwater stream blockages present a significant hydrogeomorphic challenge, often linked to landslides, flash floods, and debris flows in mountainous regions. Blockage caused by landslides, debris flows, or human activities can create temporary reservoirs, heightening the risk of sudden dam failure and severe downstream impacts. As climate change intensifies the frequency and severity of extreme rainfall, the threat of stream blockages is rising in Vietnam's mountainous river basins. This study systematically reviews recent advances in the mechanisms, detection methods, and predictive modelling of stream blockage using a structured evidence synthesis approach

consistent with PRISMA 2020 guidelines. The review reveals that current research is predominantly fragmented, focusing either on slope instability thresholds or post-failure dam-break hydraulics, with limited efforts to model the full event chain linking extreme rainfall, landslides, headwater stream blockages, temporary impoundment, and dam failure. Based on the synthesis, this study proposes a conceptual integrated framework for early warning that combines dynamic rainfall thresholds, probabilistic slope instability modelling, satellite-based blockage detection, and two-dimensional flood routing simulation. The framework emphasises the need for physics-informed machine learning and multi-source data integration to reduce uncertainty and enhance interpretability. In the context of intensifying extreme precipitation under climate change and increasing anthropogenic disturbance in mountainous catchments, the findings provide a strategic direction for advancing probabilistic, process-based hazard assessment of landslide-induced upstream flow blockage. The proposed framework offers a scientific foundation for developing operational early warning systems in data-scarce, tectonically active monsoon regions such as Northwestern Vietnam.

Keywords: Headwater stream blockage; Flash flood; Debris flow; Remote sensing; Machine learning; Early warning systems

BBT nhận bài: 24/02/2026; Phản biện xong: 17/3/2026; Chấp nhận đăng: 12/6/2026

*Tác giả liên hệ, Email: vuthiphuongthao@humg.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.63064/khtnmt.2026.841>

1. Đặt vấn đề

Dưới tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu, tần suất và cường độ của các hiện tượng khí hậu cực đoan đang gia tăng rõ rệt, đặc biệt tại các vùng núi nơi hệ thống địa hình - thủy văn vốn đã nhạy cảm với nhiễu động môi trường [1, 2]. Mưa lớn cường độ cao trong thời gian ngắn, kết hợp với địa hình dốc và nền địa chất phân cắt mạnh, làm gia tăng nguy cơ mất ổn định sườn dốc và kích hoạt các quá trình địa mạo cực đoan. Trong bối cảnh đó, hiện tượng nghẽn dòng đầu nguồn nổi lên như một mắt xích quan trọng trong chuỗi tai biến thủy văn - địa mạo ở miền núi.

Nghẽn dòng đầu nguồn thường xảy ra khi khối trượt đất hoặc dòng bùn đá lấp kín lòng dẫn, hình thành các đập tự nhiên tạm thời [17, 18]. Các đập này có thể tích nước nhanh chóng và vỡ đột ngột

khi vượt quá ngưỡng ổn định cơ học hoặc thủy lực, tạo ra lũ quét với năng lượng lớn. Điểm đáng chú ý là tác động của chuỗi quá trình sạt lở - hình thành đập - vỡ đập thường vượt xa phạm vi ảnh hưởng ban đầu của sự cố sạt lở, khuếch đại thiệt hại xuống hạ lưu thông qua sóng lũ đột biến và vận chuyển trầm tích quy mô lớn. Vì vậy, nghẽn dòng đầu nguồn không chỉ là một hiện tượng địa mạo cục bộ mà còn là một cơ chế khuếch đại rủi ro thiên tai theo không gian và thời gian.

Trên phạm vi toàn cầu, hiện tượng các đập tự nhiên được hình thành do sạt lở đất đã được ghi nhận ở các khu vực hoạt động kiến tạo mạnh như dãy Himalaya, Đài Loan, dãy Andes và Tây Nam Trung Quốc [5, 17, 26, 27]. Các khu vực này đặc trưng bởi hoạt động kiến tạo mạnh, địa hình chia cắt sâu và nguồn cung cấp trầm

tích dồi dào, tạo điều kiện thuận lợi cho sự hình thành các đập tự nhiên quy mô lớn và các sự kiện vỡ đập rất thảm khốc. Sự phân bố không gian của các hiện tượng này phản ánh mối liên hệ chặt chẽ giữa động lực kiến tạo, cấu trúc địa chất và quá trình thủy văn cực đoan.

Tại Đông Nam Á, lượng mưa do gió mùa và địa chất phức tạp tạo điều kiện thuận lợi cho sự mất ổn định của sườn dốc và sự dịch chuyển của trầm tích [25]. Trong bối cảnh đó, khu vực Tây Bắc Việt Nam, đặc trưng bởi địa hình dốc, địa chất nhiều vết nứt và cường độ mưa cao, đã trải qua nhiều trận lũ quét và dòng chảy bùn đá do tác nghẽn thượng nguồn [28, 29].

Các nghiên cứu trước đây cho thấy sự hình thành và ổn định của nghẽn dòng chịu sự chi phối bởi tổ hợp nhiều yếu tố, bao gồm lượng mưa cực đoan, tốc độ cung cấp trầm tích, độ dốc lòng dẫn, hình thái thung lũng hẹp và đặc tính cơ lý của vật liệu sạt lở [9, 22, 23]. Hai hướng tiếp cận chủ đạo đã được phát triển. Hướng thứ nhất tập trung vào điều tra thực địa và mô hình hóa động lực học của chuỗi quá trình sạt lở - lũ bùn đá - hình thành đập - vỡ đập, nhằm làm rõ cơ chế vật lý và điều kiện ngưỡng. Hướng thứ hai khai thác viễn thám, dữ liệu địa không gian và trí tuệ nhân tạo để phát hiện sớm, theo dõi diễn biến và xây dựng hệ thống cảnh báo.

Tuy nhiên, các kết quả nghiên cứu vẫn còn phân tán, thiếu một khung tổng hợp hệ thống để liên kết chuỗi thiên tai. Do đó, việc xây dựng một tổng quan có cấu trúc, tích hợp các bằng chứng về cơ chế hình thành, mô hình hóa động lực và ứng dụng công nghệ quan trắc là cần thiết. Cách tiếp cận này không chỉ góp phần

củng cố nền tảng lý thuyết về nghẽn dòng đầu nguồn, mà còn định hướng phát triển các giải pháp dự báo và giảm nhẹ rủi ro thiên tai một cách chủ động, đặc biệt tại các vùng núi chịu tác động mạnh của biến đổi khí hậu.

2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu áp dụng phương pháp đánh giá hệ thống theo hướng dẫn PRISMA 2020 do Matthew J. Page và cộng sự (2021) đề xuất. Khung PRISMA được lựa chọn nhằm bảo đảm tính minh bạch, khả năng tái lập và kiểm soát sai lệch trong quá trình tổng hợp tài liệu, đặc biệt phù hợp với các chủ đề liên ngành như nghẽn dòng do sạt lở, nơi bằng chứng phân tán giữa địa mạo, thủy văn và kỹ thuật.

2.1. Câu hỏi nghiên cứu

Quy trình tổng quan được định hướng bởi ba câu hỏi cốt lõi:

(1) Những yếu tố địa mạo - thủy văn nào chi phối sự hình thành và duy trì nghẽn dòng đầu nguồn?

(2) Chuỗi quá trình mưa cực đoan - sạt lở - lũ bùn đá - hình thành đập tự nhiên - vỡ đập được mô hình hóa theo những cách tiếp cận nào?

(3) Viễn thám và trí tuệ nhân tạo được tích hợp ra sao trong phát hiện nghẽn dòng và xây dựng hệ thống cảnh báo sớm?

2.2. Chiến lược tìm kiếm và bộ lọc thông tin

Việc tìm kiếm tài liệu được thực hiện trên các cơ sở dữ liệu khoa học chính bao gồm: Scopus, Web of Science và Google Scholar, trong khoảng thời gian từ năm 2000 đến năm 2025.

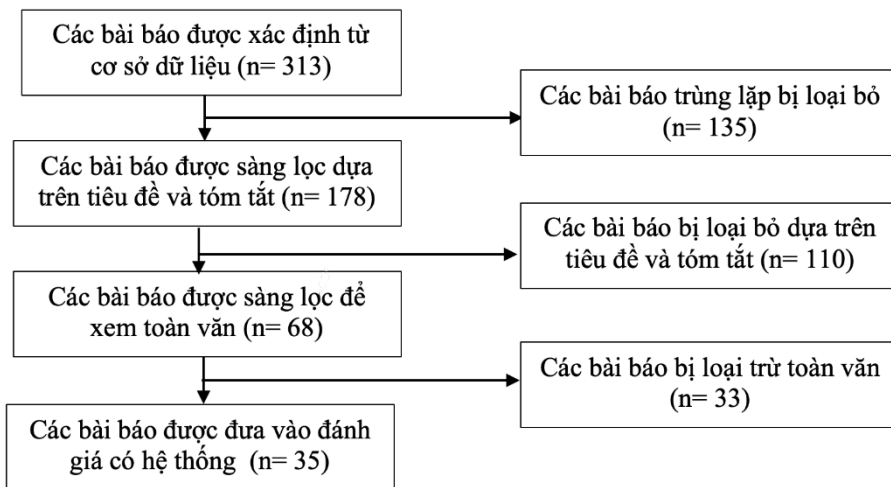
Tài liệu được truy xuất từ các cơ sở dữ liệu học thuật bằng tổ hợp từ khóa

Nghiên cứu

liên quan đến “landslides”, “upstream flow blockage”, “debris flow”, “remote sensing”, “machine learning” và “early warning system”.

Bộ lọc thông tin được xây dựng theo các tiêu chí: Bài báo được bình duyệt, công bố bằng tiếng Anh hoặc tiếng Việt; Bài báo có nội dung liên quan trực tiếp đến cơ chế, mô hình hoặc phát hiện nghẽn dòng; Bài báo có dữ liệu thực nghiệm, mô hình định lượng hoặc phân tích tổng quan có hệ thống về nghẽn dòng. Các tài liệu trùng lặp, thiếu thông tin phương pháp hoặc không liên quan trực tiếp đến chuỗi tai biến bị loại bỏ ở giai đoạn sàng lọc tiêu đề và tóm tắt.

Quy trình này được minh họa trong sơ đồ PRISMA dưới đây:



Hình 1: Sơ đồ quy trình PRISMA

2.4. Tối ưu hóa tính tái lập

Chiến lược tìm kiếm, từ khóa, tiêu chí lựa chọn và quy trình sàng lọc được mô tả rõ ràng nhằm cho phép các nghiên cứu sau có thể lặp lại quy trình với cùng điều kiện. Sơ đồ dòng PRISMA được sử dụng để minh họa quá trình lựa chọn và loại trừ tài liệu.

2.3. Quy trình sàng lọc theo PRISMA

Quy trình sàng lọc được thực hiện theo ba bước: đọc tiêu đề, đọc tóm tắt, đánh giá toàn văn. Ở mỗi bước, các tiêu chí loại trừ được áp dụng nhất quán nhằm giảm nhiễu và thiên lệch lựa chọn. Thông tin then chốt từ mỗi nghiên cứu (bối cảnh địa lý, phương pháp, biến số, kết quả chính, hạn chế) được trích xuất theo biểu mẫu chuẩn hóa để đảm bảo tính đồng nhất. Tổng cộng 313 tài liệu được thu thập ban đầu. Sau khi loại bỏ các bản trùng lặp, còn lại 178 tài liệu. Qua quá trình sàng lọc tiêu đề và tóm tắt, 68 bài báo được lựa chọn để đánh giá toàn văn. Cuối cùng, 35 nghiên cứu đáp ứng đầy đủ tiêu chí và được đưa vào tổng hợp.

2.5. Tổng hợp bằng chứng theo cấu trúc logic

Các nghiên cứu được phân nhóm theo ba trục nội dung: (i) Cơ chế và ngưỡng kích hoạt; (ii) Mô hình hóa chuỗi quá trình và động học vỡ đập; (iii) Tích hợp viễn thám và trí tuệ nhân tạo. Phương pháp tổng hợp mang tính định tính có cấu trúc, nhấn mạnh so sánh phương pháp, phát hiện

điểm tương đồng và khác biệt, đồng thời nhận diện khoảng trống nghiên cứu.

Cách tiếp cận này cho phép chuyển từ mô tả rời rạc sang phân tích hệ thống, làm rõ các mắt xích còn thiếu trong mô hình hóa chuỗi nghẽn dòng đầu nguồn và tạo nền tảng đề xuất khung tích hợp cho cảnh báo sớm.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Kết quả tổng hợp cho thấy số lượng nghiên cứu về nghẽn dòng đầu nguồn gia tăng rõ rệt theo thời gian. Thời gian từ 2010 trở về trước ghi nhận số lượng nghiên cứu hạn chế, chủ yếu tập trung vào mô tả hiện tượng [5, 6, 11, 17, 18,...]. Từ năm 2010 trở lại đây, số lượng nghiên cứu tăng nhanh, đặc biệt trong lĩnh vực viễn thám và học máy [30, 31, 32, 33, 34, 35,...].

3.1. Cơ chế hình thành và ngưỡng kích hoạt nghẽn dòng: từ mô tả hiện tượng đến lượng hóa động lực

Tổng hợp tài liệu cho thấy nghẽn dòng đầu nguồn không phải là hệ quả đơn lẻ của một sự kiện sạt lở, mà là kết quả của tương tác giữa điều kiện địa mạo - kiến tạo, động lực mưa - dòng chảy và nguồn cung cấp vật liệu bờ rời. Các nghiên cứu về đập tự nhiên do sạt lở của Costa & Schuster [5, 6] và Korup [17] đã chỉ ra rằng thung lũng hẹp, độ dốc lớn và tải trọng trầm tích cao là các điều kiện hình thái chi phối sự hình thành đập tạm. Cơ sở dữ liệu toàn cầu RAGLAD [10] tiếp tục khẳng định vai trò của địa hình phân cắt mạnh và hoạt động kiến tạo trong phân bố không gian của đập sạt lở.

Về cơ chế vật lý, Iverson [11] và Yu và cộng sự [1] làm rõ vai trò của trạng thái bão hòa và áp lực nước lỗ rỗng trong chuyển đổi từ trượt khối sang dòng mảnh vụn. Khi tải trầm tích tức thời vượt quá

năng lực tải của lòng dẫn, vật liệu tích tụ tại các đoạn hẹp tạo thành đập tạm. Điều này cho thấy nghẽn dòng là biểu hiện của sự mất cân bằng động giữa cung và tải trầm tích, thay vì chỉ là sản phẩm hình học của một khối trượt.

Các mô hình tích hợp như TRIGRS-MassFlow [20] và mô hình thủy văn - thủy động lực của Wei và cộng sự [35] đã lượng hóa quan hệ cường độ - thời gian mưa kích hoạt dòng mảnh vụn. Tuy nhiên, đa số nghiên cứu hiện dừng ở giai đoạn khởi phát trượt lở, trong khi xác suất hình thành nghẽn dòng, thể tích tích nước và thời gian tồn tại hồ tạm chưa được mô hình hóa một cách hệ thống. Đây là mắt xích còn thiếu trong chuỗi tai biến hoàn chỉnh từ mưa cực đoan - trượt lở - nghẽn dòng - vỡ đập - lũ hạ lưu.

Tại Việt Nam, các khảo sát thực địa ở Yên Bái và Trạm Tấu [12, 15, 16] cho thấy đập tự nhiên có thể tồn tại từ vài giờ đến vài ngày. Tuy nhiên, chưa có mô hình định lượng liên hệ giữa thể tích khối trượt, hình thái thung lũng và thời gian lưu hồ. Sự thiếu vắng mối quan hệ định lượng này làm hạn chế khả năng dự báo vỡ đập thứ cấp.

Nhìn chung, xu hướng nghiên cứu đang chuyển từ mô tả hiện trường sang lượng hóa cơ chế. Tuy nhiên, mô hình hóa tích hợp toàn bộ chuỗi sự kiện vẫn còn phân mảnh, đặc biệt trong điều kiện mưa gió mùa có tính không ổn định cao như Tây Bắc Việt Nam.

3.2. Viễn thám và trí tuệ nhân tạo: mở rộng không gian quan trắc và thách thức động học

Viễn thám đã mở rộng phạm vi nghiên cứu nghẽn dòng từ cấp điểm sang quy mô

Nghiên cứu

lưu vực và liên lưu vực. Ảnh Landsat, Sentinel và ALOS DEM [13, 14, 30] cho phép phát hiện nhanh vùng tích nước và biến đổi hình thái sông. Dữ liệu SAR đặc biệt hữu ích trong điều kiện mây che phủ phổ biến ở vùng gió mùa. Ở quy mô toàn cầu, Yang và cộng sự [32] xây dựng cơ sở dữ liệu vật cản trên sông từ chuỗi ảnh vệ tinh, cho thấy khả năng tự động hóa phát hiện nghẽn dòng ở quy mô lớn.

Trong lĩnh vực trí tuệ nhân tạo, các thuật toán Random Forest, SVM

và XGBoost [3, 8, 24] được ứng dụng rộng rãi trong mô hình hóa nhạy cảm trượt lở. Zeng và cộng sự [34] đã chứng minh khả năng nhận diện nghẽn dòng từ ảnh đa nguồn với độ chính xác cao. Tuy nhiên, phần lớn các mô hình hiện nay mang tính phân loại nhị phân, tập trung vào khả năng xảy ra sạt lở hoặc nghẽn dòng tại một thời điểm, chưa tích hợp thành phần tiến triển theo thời gian và chưa mô phỏng được quá trình vỡ đập.

Bảng 1. So sánh các mô hình nghiên cứu nghẽn dòng

| Mô hình | Loại | Ưu điểm | Hạn chế | Ví dụ |
|---------------------|-------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------|
| TRIGRS | Vật lý | Mô phỏng ổn định sườn dốc tốt | Không mô phỏng nghẽn dòng | [20, 35] |
| RAMMS | Dòng bùn đá | Mô phỏng động lực học chi tiết | Yêu cầu dữ liệu cao | [1, 11] |
| Mô hình kinh nghiệm | Thống kê | Đơn giản, dễ áp dụng | Độ chính xác thấp | [5, 6, 12, 15, 16] |
| Viễn thám | Dữ liệu | Phát hiện nhanh, linh hoạt | Độ chính xác cao | [13, 14, 30, 32, 33] |
| Học máy | Dữ liệu | Phát hiện nhanh, linh hoạt | Thiếu diễn giải vật lý | [3, 8, 24, 31, 33] |

3.3. Khoảng trống nghiên cứu và hàm ý đối với khu vực gió mùa kiến tạo hoạt động mạnh

Phân tích tài liệu theo khung PRISMA 2020 [21] cho thấy bốn xu hướng nổi bật trong nghiên cứu nghẽn dòng do sạt lở. *Thứ nhất*, các nghiên cứu đã chuyển từ ngưỡng mưa tĩnh sang ngưỡng động có xét đến tiền điều kiện ẩm đất và lịch sử mưa tích lũy, dựa trên nền tảng cơ học sườn dốc của Iverson R. M. [4, 7, 11]. *Thứ hai*, sự hình thành các cơ sở dữ liệu toàn cầu như Global Landslide Dam Database đã cải thiện đáng kể hiểu biết về phân bố không gian và điều kiện địa mạo của đập sạt lở [10]. *Thứ ba*, học máy (Random Forest, SVM, XGBoost) ngày càng được ứng dụng trong lập bản đồ nhạy cảm và phát hiện tự động [31, 33]. *Thứ tư*, viễn

thám đa thời gian (Landsat, Sentinel, SAR) mở rộng khả năng giám sát ở quy mô lưu vực [30, 33].

Tuy vậy, các tiến bộ này vẫn mang tính phân đoạn. Khoảng trống quan trọng nhất là thiếu mô hình xác suất tích hợp toàn bộ chuỗi sự kiện từ mưa cực đoan đến sạt lở, tắc nghẽn dòng, hình thành hồ tạm và vỡ đập. Phần lớn nghiên cứu tách rời giữa cơ chế khởi phát trượt lở và mô phỏng vỡ đập trong khi các tổng quan của Costa J. E. và Robert L. S. đã nhấn mạnh tính liên hoàn của tai biến đập tự nhiên [5].

Bên cạnh đó, việc dự báo thời gian tồn tại hồ tạm và động học vỡ đập vẫn thiếu khung định lượng đáng tin cậy. Các nghiên cứu thủy lực thường giả định hình học đập đơn giản, chưa tích hợp biến đổi hình thái lòng dẫn theo thời gian. Khoảng

trông thứ ba nằm ở sự thiếu liên kết giữa mô hình khoa học và hệ thống quản lý rủi ro địa phương; Xác suất mô hình chưa được chuyển hóa thành ngưỡng cảnh báo vận hành. Cuối cùng, điều kiện mưa gió mùa có tính biến động nội mùa cao và xu thế cực đoan gia tăng do biến đổi khí hậu vẫn chưa được lượng hóa đầy đủ trong các mô hình hiện hữu.

So với các khu vực nghiên cứu quốc tế như Himalaya hay Trung Quốc, nghiên cứu tại Việt Nam còn hạn chế về dữ liệu dài hạn và mô hình tích hợp. Điều này dẫn đến độ bất định cao trong dự báo. Các nguồn bất định chính bao gồm thiếu dữ liệu địa hình độ phân giải cao; Giả định đơn giản về hình học đập; Biến động lớn của mưa gió mùa. Việc tích hợp dữ liệu đa nguồn và mô hình học máy có ràng buộc vật lý được xem là hướng đi tiềm năng nhằm giảm bất định này.

Trong bối cảnh đó, Tây Bắc Việt Nam, với địa hình dốc, kiến tạo nâng cao mạnh dọc theo đới đứt gãy sâu và chế độ mưa gió mùa cường độ lớn, hội tụ các yếu tố thuận lợi cho chuỗi tai biến nghề dòng. Sự tương tác giữa nâng cao kiến tạo, phong hóa mạnh và thay đổi sử dụng đất làm gia tăng tính nhạy cảm sườn dốc. Điều này tạo điều kiện để khu vực trở thành một “phòng thí nghiệm tự nhiên” cho phát triển mô hình tích hợp xác suất - quá trình, kết hợp dữ liệu viễn thám, khí tượng và thủy động lực.

Việc xây dựng khung mô hình liên hoàn tại đây không chỉ có ý nghĩa khoa học trong hoàn thiện lý thuyết về tai biến chuỗi, mà còn có giá trị thực tiễn cho các hệ thống núi gió mùa kiến tạo hoạt động mạnh trong khu vực Đông Nam Á.

3.4. Khung cảnh báo sớm tích hợp đề xuất

Trên cơ sở tổng hợp, nghiên cứu đề xuất một khung tích hợp bốn tầng liên kết theo chuỗi động. Điểm cốt lõi của khung này là xem nghề dòng như một chuỗi tai biến liên hoàn có tính điều kiện, trong đó mỗi tầng vừa là kết quả của tầng trước, vừa là điều kiện đầu vào cho tầng sau. Cách tiếp cận này giúp giảm sai lệch khi đánh giá từng hiện tượng riêng lẻ.

Tầng 1 - Giám sát khí hậu động: Việc tích hợp dữ liệu mưa trạm, radar và vệ tinh cho phép xây dựng ngưỡng mưa động thay vì ngưỡng tĩnh. Trong điều kiện gió mùa, cường độ mưa ngắn hạn và mưa tích lũy nhiều ngày có thể cùng đóng vai trò kích hoạt. Ngưỡng động phản ánh trạng thái bão hòa theo thời gian thực, giúp giảm hiện tượng cảnh báo giả hoặc bỏ sót. Đây là tiền đề để chuyển từ phân tích hồi cứu sang dự báo vận hành.

Tầng 2 - Dự báo bất ổn định sườn dốc: Sự kết hợp giữa bản đồ nhạy cảm, ngưỡng mưa động và cập nhật Bayes cho phép chuyển từ tiếp cận tất định sang tiếp cận xác suất. Bản đồ nhạy cảm cung cấp nền địa hình - địa chất dài hạn; Ngưỡng mưa phản ánh điều kiện kích hoạt ngắn hạn, còn cập nhật Bayes giúp điều chỉnh xác suất khi có dữ liệu mới. Nhờ đó, hệ thống không chỉ trả lời “có hay không”, mà cung cấp xác suất khởi phát trượt lở theo không gian - thời gian.

Tầng 3 - Phát hiện nghề dòng: Việc phân đoạn ảnh vệ tinh bằng AI cho phép nhận diện nhanh khu vực tích nước hoặc biến đổi hình thái lòng dẫn sau sự kiện mưa lớn. So sánh DEM trước - sau sự kiện giúp xác nhận sự thay đổi hình học thung lũng

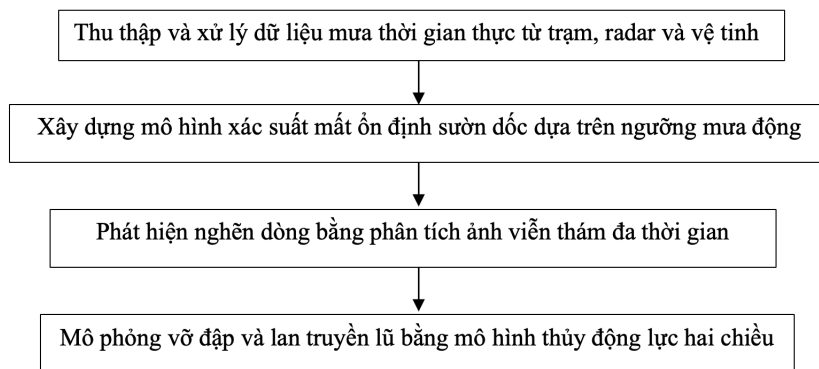
Nghiên cứu

và ước tính sơ bộ thể tích vật cản. Tầng này đóng vai trò cầu nối giữa cảnh báo nguy cơ và xác nhận thực địa, đặc biệt hữu ích ở vùng miền núi khó tiếp cận.

Tầng 4 - Mô phỏng vỡ đập và lan truyền lũ: Mô hình thủy động lực hai chiều cho phép ước tính lưu lượng đỉnh, thời gian truyền lũ và phạm vi ngập tiềm năng. Đây là bước chuyển từ đánh giá nguy cơ sang lượng hóa hậu quả, cung cấp thông tin trực tiếp cho sơ tán và quản lý rủi ro. Việc tích hợp tham số hình học đập tự nhiên từ tầng 3 giúp giảm giả định đơn giản hóa thường gặp trong mô phỏng vỡ đập.

Tổng thể, khung này dịch chuyển trọng tâm từ cảnh báo từng hiện tượng riêng lẻ sang dự báo chuỗi động có điều kiện. Cấu trúc nhiều tầng cũng cho phép vận hành linh hoạt trong điều kiện thiếu dữ liệu: nếu một tầng chưa đầy đủ, hệ thống vẫn có thể cập nhật khi dữ liệu mới xuất hiện. Điều này đặc biệt phù hợp với các vùng núi gió mùa kiến tạo hoạt động mạnh, nơi dữ liệu quan trắc còn hạn chế nhưng nguy cơ tai biến chuỗi ngày càng gia tăng.

Khung đề xuất có thể được tóm tắt trong Hình 2 - Sơ đồ đề xuất quy trình dự báo nghẽn dòng



Hình 2: Sơ đồ đề xuất quy trình dự báo nghẽn dòng

Ví dụ, tại khu vực Tây Bắc Việt Nam, dữ liệu mưa lịch sử tại Yên Bái có thể được sử dụng để xây dựng ngưỡng mưa động. Kết hợp với ảnh Sentinel-1 SAR, các khu vực tích nước bất thường có thể được phát hiện sớm, từ đó làm đầu vào cho mô hình mô phỏng vỡ đập.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã hệ thống hóa một cách có cấu trúc các hướng tiếp cận nghiên cứu nghẽn dòng đầu nguồn theo khung PRISMA 2020, qua đó làm rõ bản chất của hiện tượng như một chuỗi tai biến liên hoàn thay vì một sự cố địa mạo đơn lẻ.

Về mặt khái niệm, nghiên cứu tái cấu trúc nghẽn dòng đầu nguồn trong khung động lực chuỗi sự kiện: mưa cực đoan - trượt lở - tích tụ vật liệu - hình thành đập tạm - vỡ đập - lũ hạ lưu. Cách tiếp cận này giúp nhận diện những mắt xích còn thiếu trong mô hình hóa hiện nay, đặc biệt là xác suất hình thành đập và thời gian tồn tại hồ tạm. Về phương pháp, nghiên cứu phân tích sự hội tụ giữa mô hình vật lý, viễn thám đa nguồn và trí tuệ nhân tạo, đồng thời nhấn mạnh vai trò của các mô hình học máy có ràng buộc vật lý trong giảm bất định và tăng khả năng diễn giải. Về hàm ý ứng

dụng, nghiên cứu đề xuất một khung cảnh báo sớm tích hợp bốn tầng có khả năng chuyển hóa từ khái niệm sang vận hành thực tế tại các lưu vực miền núi thiếu dữ liệu. Khung này đặc biệt phù hợp với các vùng núi gió mùa kiến tạo hoạt động mạnh như Tây Bắc Việt Nam. Trong bối cảnh biến đổi khí hậu làm gia tăng tính cực đoan của mưa và áp lực nhân sinh lên lưu vực, việc phát triển mô hình xác suất động dựa trên chuỗi sự kiện và cơ sở dữ liệu đa thời gian là hướng đi chiến lược. Nghiên cứu này góp phần định hình nền tảng khoa học cho cách tiếp cận tích hợp liên ngành trong đánh giá và quản lý rủi ro nghề dòng đầu nguồn, hướng tới nâng cao năng lực cảnh báo sớm và khả năng chống chịu của cộng đồng miền núi.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin gửi lời cảm ơn tới Chương trình khoa học và công nghệ cấp Bộ Nông nghiệp và Môi trường đã hỗ trợ nghiên cứu này thông qua đề tài: “Nghiên cứu thành lập bản đồ nguy cơ nghề dòng đầu nguồn vùng núi trên cơ sở ứng dụng trí tuệ nhân tạo và dữ liệu viễn thám đa nguồn phục vụ công tác cảnh báo lũ, trượt lở đất”. Mã số: 20260907001.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. B. Yu, C. Yang, M. Yu (2022). *Experimental study on the critical condition of river blockage by a viscous debris flow*. Catena. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106198>

[2]. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2022). *Nghiên cứu cơ sở khoa học để lựa chọn hệ phương pháp, mô hình phân vùng cảnh báo chi tiết và xác định ngưỡng mưa kích hoạt tại các khu vực nhạy cảm về trượt, trượt lở đất đá, lũ bùn đá, lũ ống, lũ quét khu vực miền núi, trung du Việt Nam*. Đề tài Bộ Tài nguyên và Môi trường, mã số: TNMT.2021.02.09

[3]. Bui, D. T. (2020). *A novel intelligence approach of a sequential minimal optimization-based support vector machine for landslide susceptibility modeling*. Sustainability, 12(4), 1 - 22.

[4]. Castelli F., Freni G., Lentini V., Fichera A., (2017). *Modelling of a Debris Flow Event in the Enna Area for Hazard Assessment*. Procedia Engineering 175(1160), 287 - 292. Doi:10.1016/j.proeng.2017.01.026.

[5]. Costa, J. E., & Schuster, R. L., (1988). *The formation and failure of natural dams*. Geological Society of America Bulletin, 100(7), 1054 - 1068.

[6]. Costa, J. E., & Schuster, R. L., (1991). *Documented historical landslide dams from around the world*. U.S. Geological Survey Open-File Report, 91 - 239.

[7]. Fan, X., van Westen, C. J., Korup, O., Gorum, T., Xu, Q., Dai, F.,... Huang, R., (2012). *Transient water and sediment storage of the decaying landslide dams induced by the 2008 Wenchuan earthquake*. Geomorphology, 171 - 172, 58 - 68.

[8]. Goetz, J. N., Brenning, A., Petschko, H., & Leopold, P., (2015). *Evaluating machine learning and statistical prediction techniques for landslide susceptibility modeling*. Computers & Geosciences, 81, 1 - 11.

[9]. Hang W., Trigg, M. A., Murphy, W., & Fuentes, R., (2024). *A global-scale applicable framework of landslide dam formation susceptibility*. Landslides.

[10]. Hang W., Mark A. Trigg, William M. & Fuentes R., (2022). *A new global landslide dam database (RAGLAD) and analysis*. Landslides.

[11]. Iverson, R. M., (1997). *The physics of debris flows*. Reviews of Geophysics, 35(3), 245 - 296.

[12]. Nguyễn Thị Hòa, Hoàng Văn Long (2022). *Đánh giá nguy cơ vỡ đập tự nhiên tại Trạm Tầu sau lở đất bằng UAV*. Tạp chí Địa lý tự nhiên, 35(1), 67 - 75.

Nghiên cứu

- [13]. Nguyễn Văn Hồng, Đặng Trường An (2021). *Đánh giá diễn biến hình thái sông dựa trên sự kết hợp mô hình hóa và phân tích ảnh viễn thám*. Tạp chí Khí tượng Thủy văn 726: 36 - 46. Doi:10.36335/VNJHM.2021(726).36 - 46.
- [14]. Nông Thanh Huyền, Trần Việt Khanh (2020). *Nghiên cứu hiện tượng lũ quét và sạt lở đất ở vùng Trung du và miền núi phía Bắc Việt Nam giai đoạn 2018 - 2019*. TNU Journal of Science and Technology 225(07), 168 - 175.
- [15]. Trần Thị Huyền, Đinh Văn Chiến (2020). *Ứng dụng phân loại đất và điều kiện mưa để xác định nguy cơ nghẽn dòng do sạt đất tại Yên Bái*. Tạp chí Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 16(1), 89 - 97.
- [16]. Phạm Văn Hưng, Trần Anh Quang, Nguyễn Đức Trí (2020). *Điều tra hiện trường các điểm nghẽn dòng sau lũ tại Yên Bái*. Hội nghị Khoa học Tài nguyên nước, Trường Đại học Thủy lợi.
- [17]. Korup, O., (2005). *Geomorphic hazards from landslide dams*. Geomorphology, 66(1 - 4), 347 - 361.
- [18]. Korup, O., Tweed, F., (2007). *Ice, moraine, and landslide dams in mountainous terrain*. Quaternary Science Reviews, 26(25 - 28), 3406 - 3422.
- [19]. Korup, O., Montgomery, D. R., Hewitt, K., et al., (2010). *Natural hazards, extreme events, and mountain topography*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(22), 9897 - 9902.
- [20]. Li Y., Wang M., Ma F., Zhang J., Li G., Meng X., Chen G., Yue D., Guo F. & Zhao Y. (2024). *Constructing Rainfall Threshold for Debris Flows of a Defined Hazardous Magnitude*. Remote Sens. 16(7), 1265. <https://doi.org/10.3390/rs16071265>.
- [21]. Matthew J. P., Joanne E. M., Patrick M. B. et al., (2021). *The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews*. British Medical Journal. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
- [22]. Peng, M., Zhang, L. M. (2012). *Breaching parameters of landslide dams*. Landslides, 9(1), 13 - 31.
- [23]. Schuster, R.L., Costa, J.E., (1986). *Perspective on landslide dams, Landslide Dams: Processes, Risk, and Mitigation*. Proceedings of a Session in Conjunction with the ASCE Convention, Seattle, WA, USA, p. 1 - 20.
- [24]. Qi T., Meng X. & Zhao Y., (2024). *Landslide Susceptibility Assessment in Active Tectonic Areas Using Machine Learning Algorithms*. Remote Sens. 16(15), 2724. <https://doi.org/10.3390/rs16152724>.
- [25]. Qian H., Ziyu J., Jiang M., Wang M., Wang K., Liu K. (2021). *Landslide and Wildfire Susceptibility Assessment in Southeast Asia Using Ensemble Machine Learning Methods*. Remote Sensing 13(8):1572. Doi: 10.3390/rs13081572.
- [26]. Qiang X., Xuanmei F., Runqiu H., Van W. C. J., (2009). *Landslide dams triggered by the 2008 Wenchuan earthquake, China*. Landslides, 6, 373 - 386.
- [27]. Sichangi A.W., Wang L., and Hu Z., (2018). *Estimation of River Discharge Solely from Remote-Sensing Derived Data: An Initial Study Over the Yangtze River*. Remote Sensing 10(9), 1385. <https://doi.org/10.3390/rs10091385>.
- [28]. Vũ Bá Thao, Nguyễn Thị Thu Hương (2022). *Đặc trưng hình thái lưu vực lũ bùn đá miền núi phía Bắc*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi.
- [29]. Thắng Trung (2018). *Công tác phòng, chống thiên tai: Khó khăn, kinh nghiệm và hướng tới thực hiện đồng bộ các giải pháp*. Báo ảnh dân tộc và miền núi.
- [30]. Nguyễn Quốc Tuấn, Lê Văn Long, Trần Thanh Tùng (2018). *Ứng dụng DEM ALOS trong phát hiện vùng có nguy cơ tích nước do sạt lở tại Lào Cai*. Tạp chí Khoa học Trái đất, 44(2), 122 - 131.

- [31]. Tsai Y.L., Irvin J., Chundi S., Araujo J. E. G., (2022). *Improving debris flow evacuation alerts in Taiwan using machine learning*. Computer Science. Doi:10.21203/rs.3.rs-2235385/v1.
- [32]. Yang X., T. M. Pavelsky, M. R. V. Ross et al., (2022). *Mapping Flow-Obstructing Structures on Global Rivers*. 2022. *Mapping Flow-Obstructing Structures on Global Rivers*. Water Resources Research, 58 (1), e2021WR030386. <https://doi.org/10.1029/2021WR030386>.
- [33]. Yokoya N., Yamanoi K., He W., Baier G., (2020). *Breaking Limits of Remote Sensing by Deep Learning From Simulated Data for Flood and Debris-Flow Mapping*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 99, 1 - 15. Doi:10.1109/TGRS.2020.3035469.
- [34]. Zeng J., Zhao Y., Zheng J., Zhang Y., Shi P., Li Y., Chen G., Meng X., and Yue D., (2024). *Early Identification of River Blockage Disasters Caused by Debris Flows in the Bailong River Basin, China*. Remote Sens. 2024, 16(7), 1302. <https://doi.org/10.3390/rs1607130>.
- [35]. Wei Z.L., Shang Y.Q., Liang Q.H., and Xia X.L., (2024). *A coupled hydrological and hydrodynamic modeling approach for estimating rainfall thresholds of debris-flow occurrence*. Natural Hazards and Earth System Sciences 24 (10). <https://doi.org/10.5194/nhess-24-3357-2024>.