

Bài báo khoa học

Phân tích ngưỡng mưa phát sinh một số trận lũ quét, lũ bùn đá thuộc các tỉnh Lai Châu, Điện Biên, Yên Bái, Sơn La

Vũ Bá Thao^{1*}, Bùi Xuân Việt¹

¹ Phòng Nghiên cứu Địa kỹ thuật, Viện Thủy Công, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam; vubathao@gmail.com; vietbx188@gmail.com

*Tác giả liên hệ: vubathao@gmail.com; Tel.: +84-961782626

Ban Biên tập nhận bài: 12/4/2023; Ngày phản biện xong: 22/5/2023; Ngày đăng bài: 25/5/2023

Tóm tắt: Cảnh báo lũ quét, lũ bùn đá dựa vào lượng mưa gặp nhiều thách thức như: trạm đo mưa ít và đặt xa khu vực tập trung nước và hình thành lũ, công nghệ dự báo mưa cho lưu vực nhỏ có địa hình chia cắt ở vùng núi còn hạn chế, ngưỡng mưa sinh lũ thay đổi theo không gian và thời gian, v.v.... Nhằm đánh giá mức độ chính xác ngưỡng mưa cảnh báo phát sinh lũ quét, lũ bùn đá, nghiên cứu này phân tích ngưỡng mưa của 16 trận mưa đã từng sinh lũ quét, lũ bùn đá thuộc các tỉnh Lai Châu, Yên Bái, Điện Biên, Sơn La và so sánh với ngưỡng mưa cảnh báo lũ quét theo quy định hiện hành của Việt Nam. Bên cạnh đó, lượng mưa tích lũy sinh lũ và không sinh lũ cũng được phân tích dựa trên số liệu của 142 trận mưa thống kê từ 6 trạm đo mưa: Tam Đường, Mường Tè, Mù Căng Chải, Văn Chấn, Tuần Giáo, Bắc Yên trong khoảng thời gian từ tháng 6 đến tháng 9 thuộc 5 năm từ 2015 đến 2019. Kết quả cho thấy, lượng mưa tích lũy sinh lũ quét, lũ bùn đá chênh lệch lớn giữa các lưu vực, biến động phổ biến trong khoảng từ 80 mm đến 240 mm, trong đó có 7/16 trận có ngưỡng thấp hơn ngưỡng cảnh báo hiện hành, tức nhỏ hơn 100 mm/24h. Rất nhiều trận mưa, 133/142 trận, có lượng mưa tích lũy lớn hơn ngưỡng mưa đã từng sinh lũ nhưng không làm phát sinh lũ quét, lũ bùn đá. Một số đề xuất nâng cao độ chính xác cảnh báo lũ quét, lũ bùn dựa vào lượng mưa cũng được trình bày trong bài báo này.

Từ khóa: Lũ bùn đá; Lũ quét; Ngưỡng mưa.

1. Giới thiệu

Lũ quét, lũ bùn đá xảy ra ở lưu vực nhỏ phía thượng nguồn lưu vực do tổ hợp xảy ra đồng thời nhiều yếu tố bất lợi, trong đó có ba yếu tố chính: một là lượng nước đủ lớn, thường là do mưa liên tục dài ngày hoặc mưa lớn tập trung; hai là địa hình chia cắt mạnh, độ dốc lớn, hình thái lưu vực có dạng lòng chảo hay hình chữ U có ba mặt là đồi núi, mặt còn lại là cửa ra lưu vực, thuận lợi tập trung nước; ba là có nguồn vật liệu đất đá dồi dào hoặc điều kiện mặt đệm thuận lợi cho xói mòn, rửa trôi, sạt, trượt dưới tác động của nước mưa [1-5]. Mưa là yếu tố trực tiếp và là yếu tố kích hoạt phát sinh lũ quét, lũ bùn đá, vì nước mưa gây bão hòa đất và chảy tràn trên mặt đất gây xói mòn, rửa trôi, trượt lở, sạt lở [6-9]. Do vậy, hầu hết các quốc gia trên thế giới và Việt Nam sử dụng lượng mưa như là số liệu đầu vào quan trọng nhất để cảnh báo lũ quét, lũ bùn đá [6-14].

Vào thời gian 1994-2000, [4] thông qua phương pháp thống kê đưa ra các ngưỡng mưa sinh lũ quét 100 mm, 120 mm, 140 mm, 180 mm, 220 mm ứng với các thời đoạn giờ mưa 1, 3, 6, 12, 24 giờ. Các nhà nghiên cứu Việt Nam từng bước nghiên cứu và áp dụng hai phương pháp của nước ngoài về cảnh báo lũ quét, lũ bùn đá dựa vào lượng mưa là phương pháp

Đường tới hạn - *Critical Line* (CLL) của Nhật Bản [9, 15–17] và phương pháp cảnh báo lũ quét dựa theo ngưỡng mưa định hướng có khả năng sinh lũ quét - *Flash Flood Guidance* (FFG) của Mỹ [17–23]. Đây là những phương pháp tiên tiến, có tính ứng dụng cao, tuy nhiên cần có số liệu mưa lịch sử đủ lớn và mật độ trạm đo mưa phù hợp để nâng cao độ chính xác cảnh báo [4–6, 15–26].

Chính phủ Việt Nam đã ban hành Quyết định số 18/2021/QĐ-TTg quy định về dự báo, cảnh báo, truyền tin thiên tai và cấp độ rủi ro thiên tai. Điều 46 hướng dẫn cảnh báo cấp độ rủi ro thiên tai lũ quét, sạt lở đất, sụt lún đất do mưa lũ hoặc dòng chảy. Theo đó, căn cứ lượng mưa lũy tích trong 24 giờ đạt các ngưỡng 100–200 mm, 200–400 mm, > 400 mm lần lượt tương ứng với các cấp cảnh báo cấp độ rủi ro thiên tai lũ quét: cấp 1, cấp 2, cấp 3 [27].

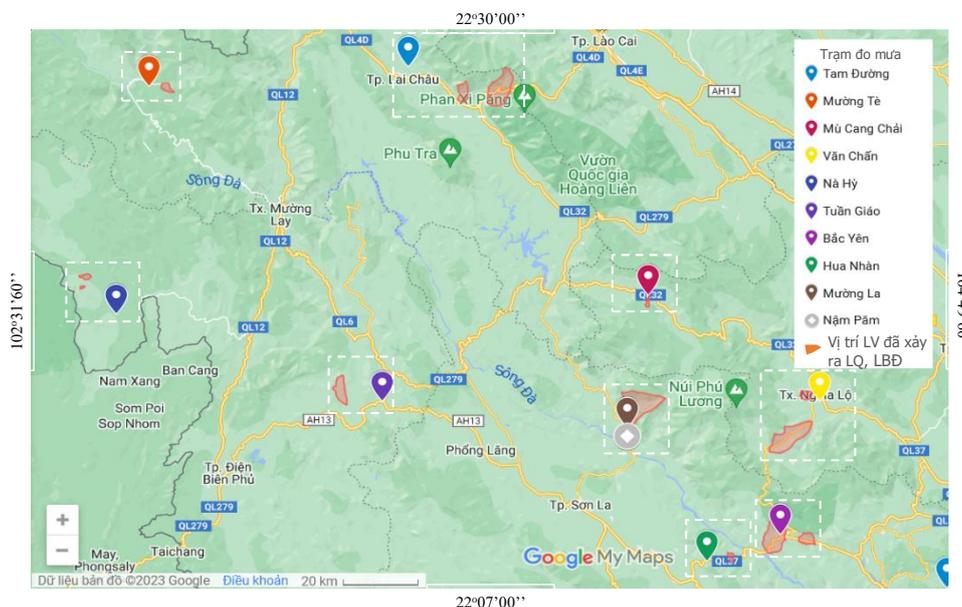
Việc cảnh báo đúng thời điểm và vị trí lưu vực khe/suối phát sinh lũ quét, lũ bùn đá vẫn là thách thức đối với thế giới và Việt Nam. Trong điều kiện biến đổi khí hậu với lượng mưa thay đổi cả về hình thái, cường độ, tổng lượng lẫn thời gian. Cùng với đó là mật độ, lớp thảm phủ đang bị thay đổi mạnh mẽ bởi mặt trái của quá trình phát triển kinh tế-xã hội khu vực miền núi, khiến ngưỡng mưa sinh lũ cũng thay đổi theo không gian và thời gian. Các nghiên cứu trong và ngoài nước vì thế vẫn phải không ngừng nỗ lực hoàn thiện các phương pháp xác định ngưỡng mưa phát sinh lũ quét để phù hợp với mỗi quốc gia, mỗi vùng và thậm chí mỗi lưu vực khe suối.

Nhằm góp phần từng bước cung cấp thêm cơ sở dữ liệu cho việc điều chỉnh ngưỡng mưa cảnh báo lũ quét, lũ bùn đá sát hơn với thực tế tại một số địa phương miền núi, nghiên cứu này không đi sâu vào nghiên cứu phương pháp xác định ngưỡng mưa sinh lũ quét, mà tập trung phân tích ngưỡng mưa đã phát sinh một số trận lũ quét, lũ bùn đá, đồng thời cũng luận bàn lượng mưa lũy tích của những trận mưa lớn mà không phát sinh lũ quét.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu sử dụng

Thông qua thống kê, phân tích số liệu các trận mưa sinh lũ quét, lũ bùn đá tại một số nơi ở miền núi phía Bắc Việt Nam, một số khó khăn, thách thức của việc cảnh báo dựa vào lượng mưa và sự liên hệ giữa lượng mưa với việc phát sinh lũ quét, lũ bùn đá, sẽ được đi sâu phân tích. Đối tượng nghiên cứu là các trận mưa gây lũ quét, lũ bùn đá (gọi là trận mưa sinh lũ - TMSL) đã được ghi nhận tương đối chính xác về thời điểm ngày giờ phát sinh và đủ số liệu lượng mưa giờ. Số liệu lượng mưa giờ thực đo và lượng mưa tích lũy theo từng giờ của trận mưa được sử dụng phân tích.



Hình 1. Sơ họa vị trí các trạm đo mưa và lưu vực đã xảy ra LQ, LBD.

Với sự gia tăng tốc độ phát triển kinh tế xã hội vùng núi trong giai đoạn từ năm 1990 đến nay, ở vùng núi nước ta đã xảy ra rất nhiều trận lũ quét, lũ bùn đá. Mạng lưới trạm đo mưa chưa đủ dày, hơn nữa tại vị khu vực hình thành lũ quét, lũ bùn đá thường không có trạm đo mưa, do đó khó thu thập được đầy đủ số liệu mưa [2, 7, 9, 14]. Chính vì vậy số lượng trận lũ quét, lũ bùn đá mà nhóm nghiên cứu thông qua điều tra, thu thập được chính xác về thời điểm xảy ra và lượng mưa giờ của trận mưa gây ra trận lũ quét tương ứng (tức là TMSL) tại trạm đo gần nhất là khá khiêm tốn, chỉ có 16 TMSL. Số liệu mưa được thu thập từ các nguồn: (1) Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Bộ Tài nguyên và Môi trường (KTTV); (2) Công ty khai thác vận hành các trạm đo mưa tự ghi VRain (VR); (3) Công ty Thủy điện Sơn La (TĐSL). Thông tin của các trận lũ quét, lũ bùn đá (LQ, LBD) và trạm đo mưa được trình bày trong Bảng 1. Vị trí các trạm đo mưa và lưu vực xảy ra LQ, LBD thể hiện trên Hình 1.

Bảng 1. Thông tin các trận lũ quét, lũ bùn đá và trạm đo mưa.

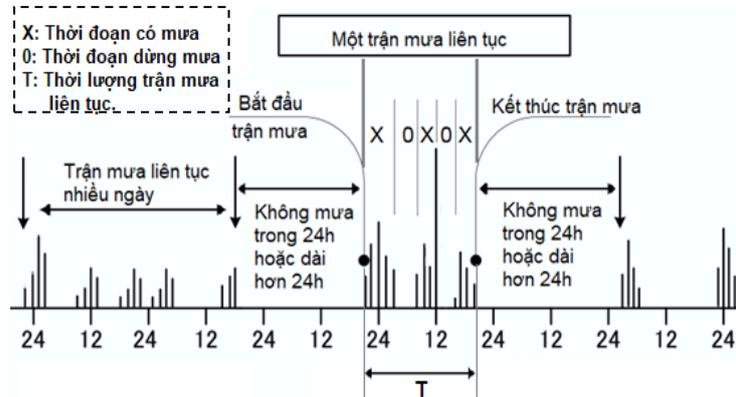
STT	Nơi xảy ra LQ, LBD			Thời điểm xảy ra LQ, LBD (của TMSL)		Thiệt hại	Trạm đo mưa		
	Tỉnh	Huyện/Thị Trấn/Tp	Xã, Bản hoặc sông suối	Giờ	Ngày/Tháng/Năm		Tên Trạm (nguồn số liệu)	Vĩ Độ	Kinh Độ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1		Tam Đường	Bản Tắc, bản Thác Tình,	2h00	12/08/2014	6 người chết, 2 người bị thương. Nhiều nhà dân và công trình bị hư hại.			
2	Lai Châu	Tam Đường	Xã Sơn Bình	6h00	24/06/2018	7 người chết và mất tích, 5 người bị thương. Nhiều nhà dân, nhiều tuyến đường bị hư hỏng nặng, nhiều điểm sạt lở với hàng nghìn khối đất.	Tam Đường (KTTV)	22°25'	103°29'
3		Mường Tè	Bum Nưa; Pa Vệ Sủ	6h00	24/06/2019	Di dời 27 hộ dân. Tại Nà Hừ, xã Bum Nưa, lũ cuốn trôi 7 ngôi nhà cùng nhiều tài sản, vật nuôi và hoa màu.	Mường Tè (KTTV)	22°22'	102°50'
4		Mù Cang Chải	Suối Háng Chứ; xã Kim Nội.	6h00	03/08/2017	24 người bị thương vong. Tổng thiệt hại khoảng 160 tỷ đồng.			
5	Yên Bái	Mù Cang Chải	Diện rộng	7h00	20/07/2018	5 người chết. 20 nhà bị sập, cuốn trôi hoàn toàn và có đến 121 hộ thuộc diện phải di dời. Thiệt hại nặng nề nhất ở xã Nậm Cỏ và Cao Pha.	Mù Cang Chải (KTTV)	21°51'	104°05'
6		Trạm Tấu, Nghĩa Lộ, Văn Chấn	Ngòi Thia	23h30	27/09/2005	Lũ quét, lũ ống trên suối Thia, suối Nung và nhiều suối khác. 40 người chết và mất tích do lũ quét và sạt lở đất.	Văn Chấn (KTTV)	21°35'	104°31'
7		Trạm Tấu, Nghĩa Lộ, Văn Chấn	Ngòi Thia	5h00	11/10/2017	20 người thiệt mạng, mất tích tại huyện Trạm Tấu, TX Nghĩa Lộ, huyện Văn Chấn. 739 ngôi nhà bị cuốn trôi và sập đổ, cầu Ngòi Thia bị sập.			
8	Điện Biên	Nậm Pồ	Xã Nà Khoa	2h00	03/08/2019	Ngầm Nà Khoa bị cuốn trôi một phần, nhiều nhà dân hư hại.	Nà Hỳ (VR)	21°48'	102°45'

STT	Nơi xảy ra LQ, LBD			Thời điểm xảy ra LQ, LBD (của TMSL)		Thiệt hại	Trạm đo mưa		
	Tỉnh	Huyện/Thị Trấn/Tp	Xã, Bản hoặc sông suối	Giờ	Ngày/Tháng/Năm		Tên Trạm (nguồn số liệu)	Vĩ Độ	Kinh Độ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
9		Nậm Pồ	Xã Nậm Nhừ	6h00	17/08/2020	Hơn 4 ngôi nhà bị lũ cuốn trôi hoàn toàn. Hai nhà công vụ và 1 dãy nhà nội trú trường tiểu học Nậm Nhừ 1 bị hư hại nặng; nhiều tài sản, vật dụng bị cuốn đi, ngập sâu trong bùn đá.			
10		Tuần Giáo	Xã Quài Cang, xã Nà Sáy	5h00	03/07/2013	Nhiều điểm bị sạt lở, 4 người bị thương vong; 32 nhà bị hư hại, ngập tới 1m; 4 xe máy, khoảng 800 ha lúa mùa, 150 ha thủy sản bị ngập trôi..	Tuần Giáo (KTTV)	22°35'	103°25'
11		Tuần Giáo	Xã Mùn Chung, xã Nà Tông	10h00	28/08/2018	Lũ quét cao khoảng 2-3m tràn qua đường tỉnh 129 tại cầu Nậm Pay.			
12		Bắc Yên	Xã Phiêng Ban	23h00	04/09/2015	Mưa to gây lũ quét cục bộ xảy ra tại khu vực xã Phiêng Ban, khiến 1 người mất tích. Quốc lộ 37, Tỉnh lộ 112 có nhiều điểm bị sạt trượt khối lượng lớn.	Bắc Yên (KTTV)	21°15'	104°25'
13		Bắc Yên	Toàn huyện	5h00	20/07/2017	Quốc lộ 37, tỉnh lộ 112 và một số tuyến đường khác bị sạt lở và vùi lấp nghiêm trọng; nhiều công trình bị hư hại. Nhiều diện tích lúa và hoa màu bị lũ cuốn trôi và vùi lấp.			
14	Son La	Bắc Yên	Xã Mường Khoa, xã Tạ Khoa	16h00	06/08/2020	Cuốn trôi nhiều diện tích hoa màu, ruộng lúa của bà con dân tộc. Một số tuyến đường bị sạt lở ta luy dương.	Hua Nhàn (VR)	21°11'	104°14'
15		Mường La	Xã Nậm Păm	2h00	03/08/2017	17 người chết, mất tích; hơn 200 ngôi nhà bị cuốn trôi; 120 ngôi nhà và hệ thống giao thông, hạ tầng thiết yếu bị hư hỏng nặng; thiệt hại ước tính hơn 460 tỷ đồng.	Mường La (KTTV)	21°31'	104°02'
16		Mường La	Xã Nậm Păm	5h00	25/08/2021	550 hộ phải sơ tán tạm thời; sạt lở 6km đường giao thông, 1 nhà và một số công thoát lũ bị cuốn trôi; 37 ha lúa và hoa màu bị thiệt hại.	Nậm Păm (VR)	21°30'	104°02'

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Như đã trình bày ở trên, nghiên cứu sử dụng số liệu lượng mưa giờ thực đo và lượng mưa tích lũy theo từng giờ của trận mưa làm số liệu phân tích trực tiếp. Số liệu mưa giờ thực đo được sử dụng trực tiếp từ các nguồn cung cấp được nhắc tới ở Mục 2.1, số liệu mưa tích lũy được tính bằng cách cộng dồn số liệu mưa giờ. Vì ở nước ta, trong nghiên cứu lũ quét, lũ bùn đá chưa có sự thống nhất phương pháp tính toán thời lượng trận mưa để làm căn cứ tính toán lượng mưa tích lũy sinh lũ nên nhóm tác giả lựa chọn áp dụng phương pháp tính toán theo phương pháp CLL của Nhật Bản [5, 9, 15], cụ thể được trình bày như dưới đây.

Với R_i (mm) là lượng mưa đo được trong giờ thứ i của trận mưa, thì lượng mưa tích tại giờ i là $R_{wi} = \sum_{k=1}^i R_k$ (mm), trong đó: R_k là lượng mưa giờ trước, $k := \overline{1..i}$, $i := \overline{1..T_f}$, $k=i=1$ là giờ đầu tiên có mưa, T_f là giờ cuối cùng có mưa. Trận mưa ở đây được định nghĩa là trận mưa liên tục (TMLT), mà thời lượng (T, giờ) của trận mưa được tính từ lúc bắt đầu mưa cho đến giờ có mưa cuối cùng, bao gồm các thời đoạn có mưa và các thời đoạn dừng mưa. Trong đó, không có thời đoạn dừng mưa nào có độ dài lớn hơn hoặc bằng 24 giờ đồng hồ. Như vậy, ngăn cách giữa các TMLT là các khoảng thời gian không có mưa có độ dài từ 24 giờ trở lên. Minh họa trận mưa liên tục được thể hiện trong Hình 2. Các trận mưa không có thời đoạn dừng mưa gọi là trận mưa đơn (TMD), là các thời đoạn có mưa của TMLT. Trong bài báo này, thuật ngữ “trận mưa” có nghĩa là “trận mưa liên tục”, “trận mưa sinh lũ” có nghĩa là “trận mưa liên tục, mà trong thời lượng của nó, có lũ quét, lũ bùn đá xảy ra”, “trận mưa không sinh lũ (TMKSL)” có nghĩa là “trận mưa liên tục, mà trong thời lượng của nó, không có lũ quét, lũ bùn đá xảy ra”.

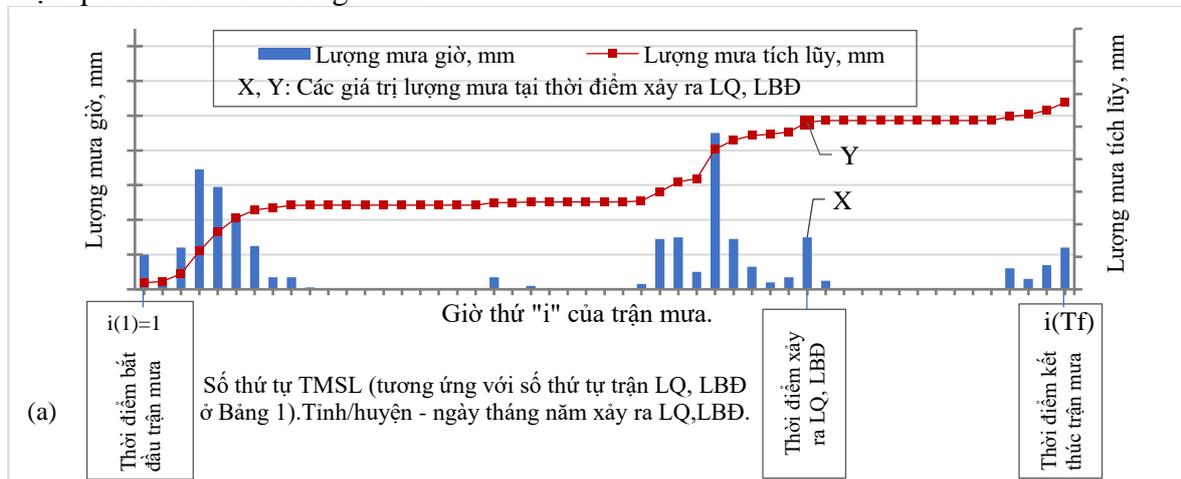


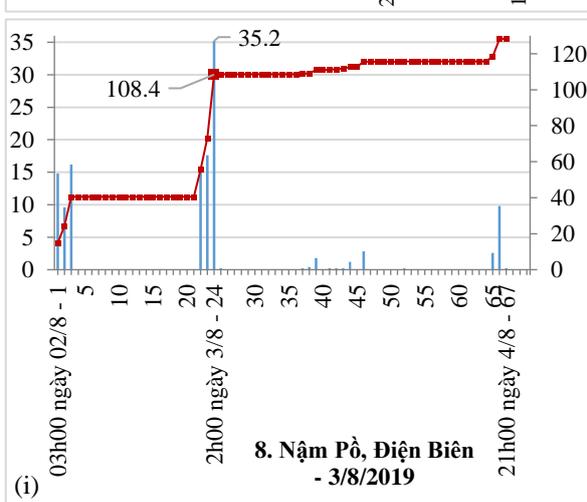
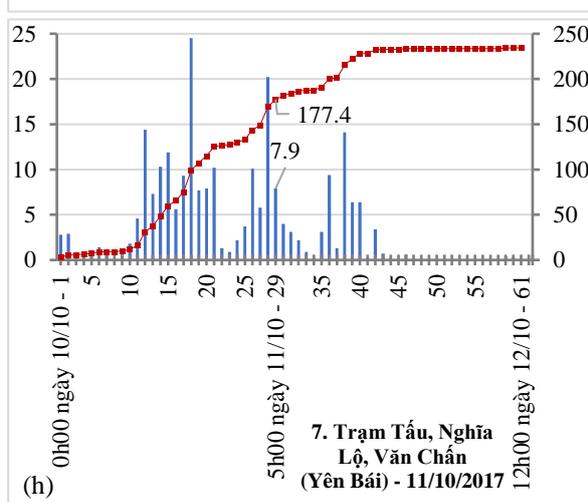
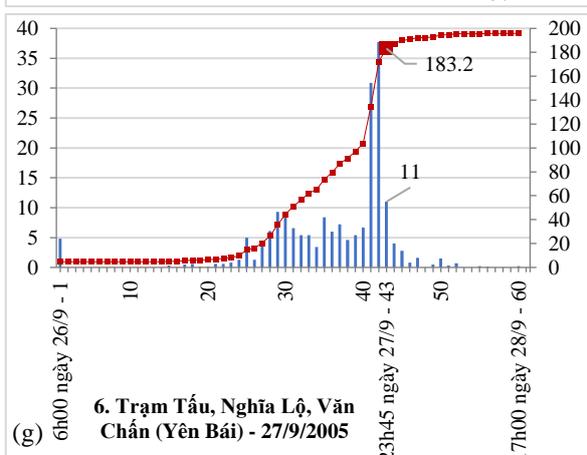
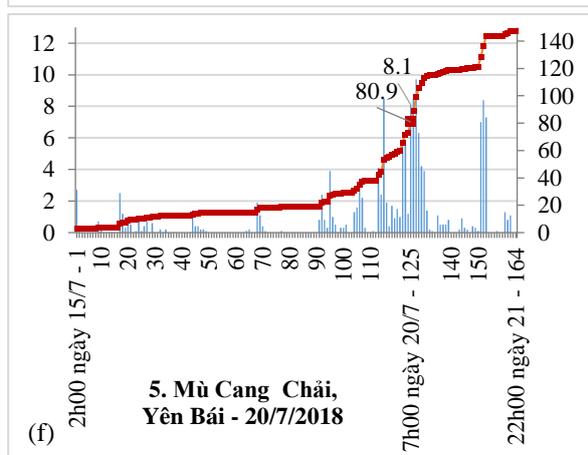
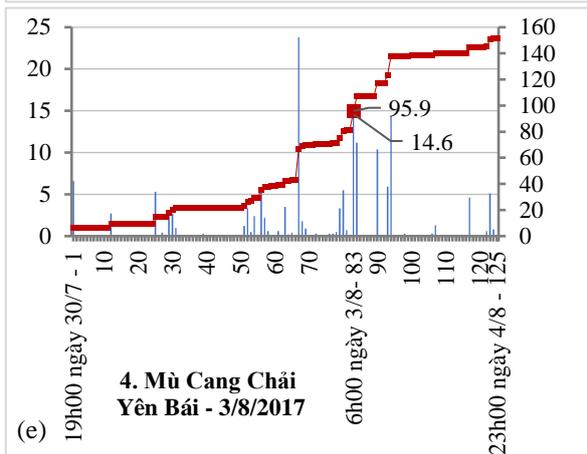
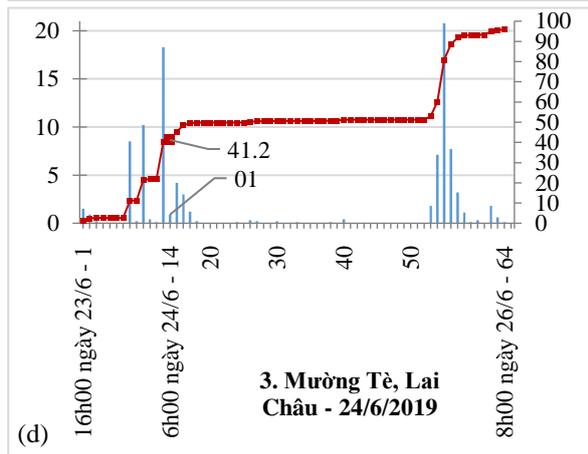
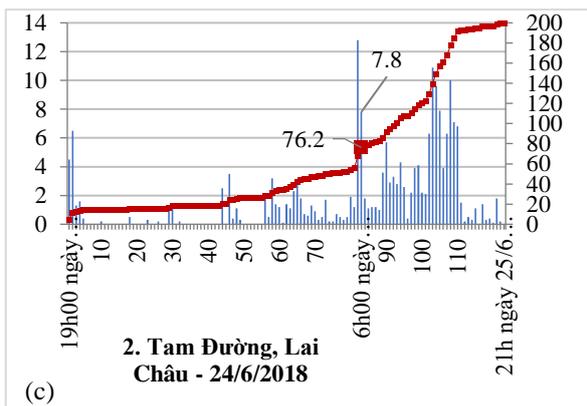
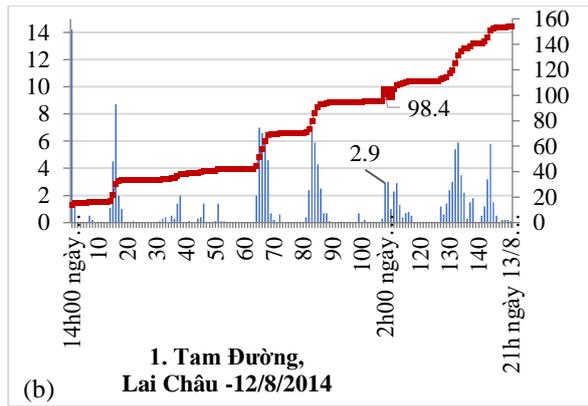
Hình 2. Minh họa định nghĩa và cách tính thời lượng một trận mưa liên tục [15].

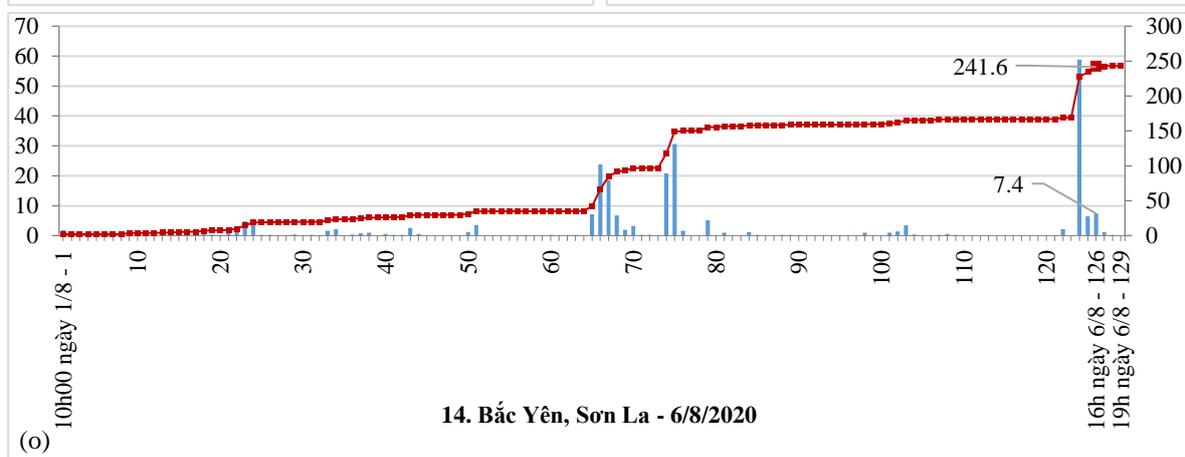
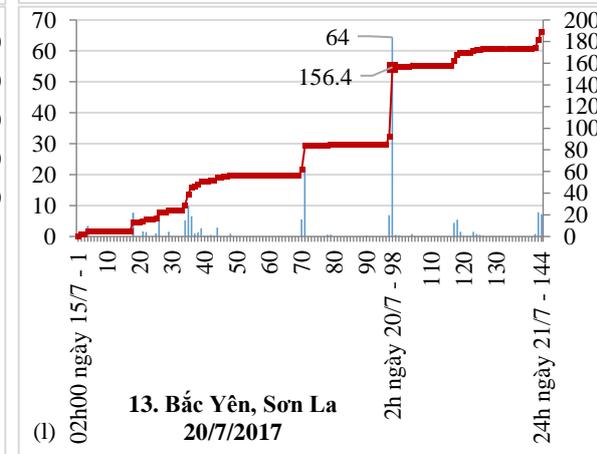
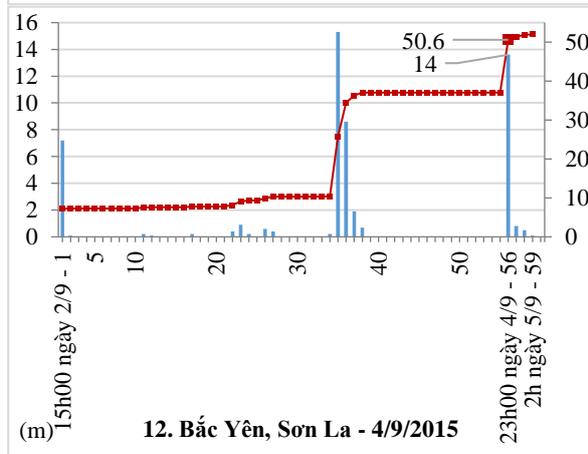
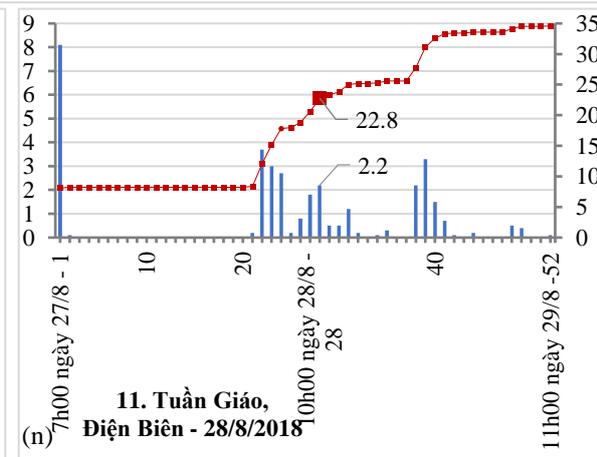
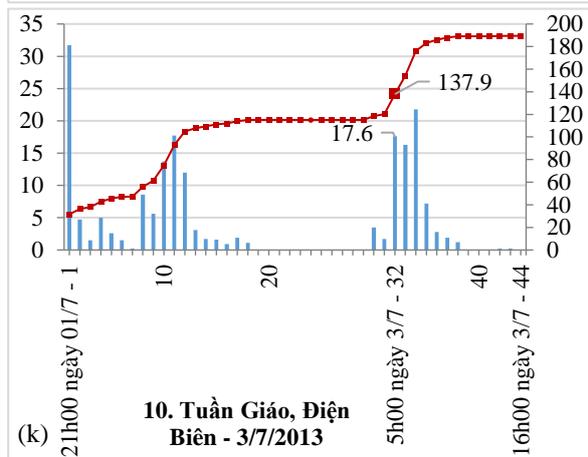
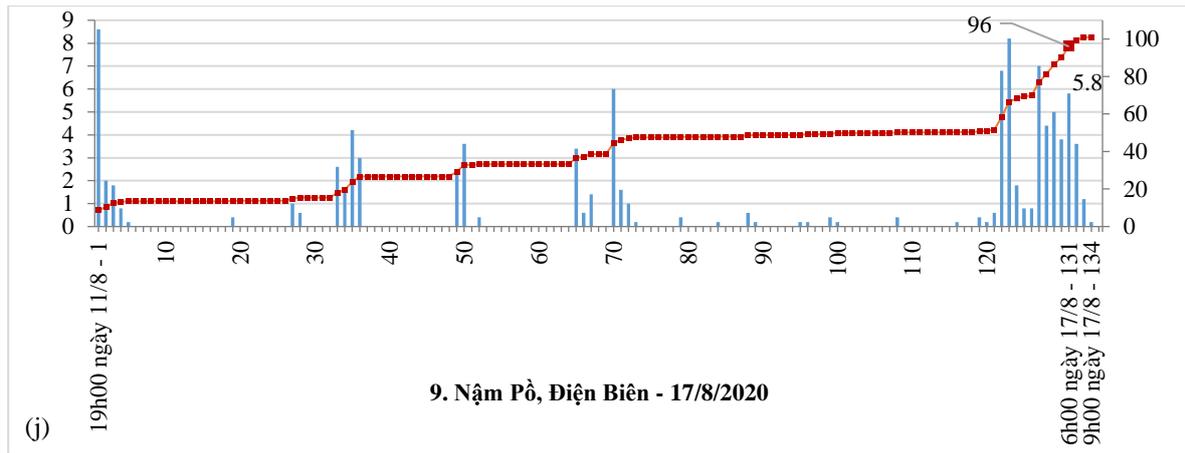
3. Kết quả và thảo luận

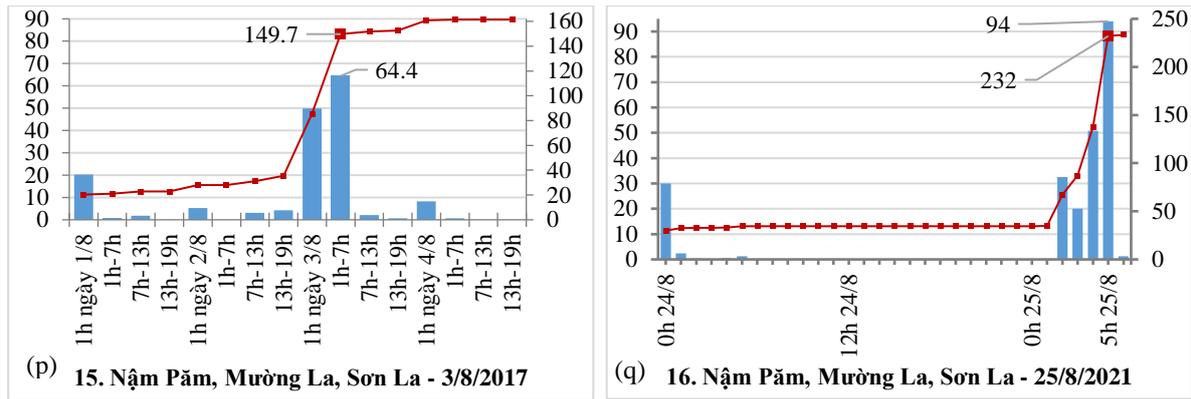
3.1. Kết quả phân tích các trận mưa đã sinh lũ quét, lũ bùn đá

Từ số liệu lượng mưa giờ thu thập được, diễn biến lượng mưa của 16 TMSL được thể hiện qua các biểu đồ trong Hình 3.









Hình 3. Biểu đồ diễn biến lượng mưa của các trận mưa sinh lũ: a) Biểu đồ mẫu minh họa giải thích các giá trị trên các biểu đồ; b) đến q) Biểu đồ của 16 trận LQ, LBD đã nêu trong Bảng 1.

Các biểu đồ diễn biến lượng mưa của các TMSL cho thấy, lũ quét, lũ bùn đá phát sinh phổ biến trong ba trường hợp: (1) Mưa lớn, mưa rất lớn tập trung: Phát sinh chỉ sau một vài giờ mưa lớn hoặc mưa rất lớn tập trung (xem biểu đồ Hình 3 d, i, n, q); (2) Mưa lớn đột biến sau nhiều ngày mưa nhỏ, mưa vừa: Phát sinh tại thời điểm lượng mưa tăng đột biến trong giai đoạn nhiều ngày trước đó có mưa nhỏ, mưa vừa (xem biểu đồ Hình 3 e, f, g, k, m, l, o, p); (3) Mưa nhỏ, mưa vừa dài ngày: Phát sinh sau khoảng thời gian dài chỉ có mưa nhỏ và mưa vừa, tại thời điểm phát sinh lũ vẫn chỉ có mưa nhỏ hoặc rất nhỏ (xem biểu đồ Hình 3 b, c, h, j).

Kết quả tính toán chi tiết hơn về số liệu toàn trận mưa, thời điểm xảy ra lũ quét, lũ bùn đá được tổng hợp trong Bảng 2 và thể hiện trên các biểu đồ Hình 4 và Hình 5. Vì lượng mưa trực tiếp kích hoạt xảy ra lũ là lượng mưa tích lũy từ trước khi xảy ra lũ cho nên các số liệu tính toán về lượng mưa cho đến thời điểm xảy ra lũ đóng vai trò rất quan trọng.

Bảng 2. Tính toán số liệu lượng mưa, thời lượng mưa của 16 TMSL.

STT	Toàn trận mưa				Lượng mưa tích lũy toàn trận	Tại thời điểm xảy ra lũ quét (giờ thứ “i” ngày thứ “x”)							
	Tổng giờ có mưa, giờ	Thời lượng trận mưa	Tổng ngày, ngày	Tỉ lệ % thời gian có mưa/tổng thời gian trận mưa		Ngày thứ “x” của trận mưa, ngày	Tổng lượng mưa trong ngày “x”, mm	Thời lượng trận mưa đến lúc xảy ra lũ, giờ	Tổng giờ có mưa đến lúc xảy ra lũ, giờ	Lượng mưa giờ i, mm	Lượng mưa tích lũy sinh lũ, mm	Lượng mưa giờ max từ đầu trận đến khi xảy ra lũ, mm	
(1)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	
1	77	151	7	51,0	153,9	6	21,7	108	46	2,9	98,4	14,2	
2	83	122	6	68,0	199,2	5	70,9	83	45	7,8	76,2	12,8	
3	32	64	4	50,0	95,8	2	39,5	14	10	0,9	41,2	18,3	
4	60	124	6	48,4	151,3	5	67,2	83	44	14,6	95,9	23,8	
5	94	164	7	57,3	278,4	6	120,5	61	61	8,1	80,9	8,1	
6	40	60	3	66,7	195,8	2	176,9	43	29	11,0	183,2	37,7	
7	47	60	3	78,3	234,4	2	104,0	29	28	7,9	177,4	24,5	
8	19	67	3	28,4	128,4	2	60,0	24	6	35,2	108,4	35,2	
9	48	134	7	35,8	101,0	7	31,8	131	45	5,8	96,0	8,2	
10	29	43	3	67,4	189,5	3	74,4	32	21	17,6	137,9	31,7	
11	25	52	3	48,1	34,6	2	25,1	28	10	2,2	22,8	8,1	

STT	Toàn trận mưa				Lượng mưa tích lũy toàn trận	Tại thời điểm xảy ra lũ quét (giờ thứ “i” ngày thứ “x”)						
	Tổng giờ có mưa, giờ	Thời lượng trận mưa	Tổng ngày, ngày	Tỉ lệ % thời gian có mưa/tổng thời gian trận mưa		Ngày thứ “x” của trận mưa, ngày	Tổng lượng mưa trong ngày “x”, mm	Thời lượng trận mưa đến lúc xảy ra lũ, giờ	Tổng giờ có mưa đến lúc xảy ra lũ, giờ	Lượng mưa giờ i, mm	Lượng mưa tích lũy sinh lũ, mm	Lượng mưa giờ max từ đầu trận đến khi xảy ra lũ, mm
(1)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
12	19	59	3	32,2	52,0	3	41,1	56	16	13,6	50,6	15,3
13	53	144	6	36,8	189,0	5	84,5	98	33	64,4	156,4	23,8
14	68	128	6	53,1	243,0	6	76,2	126	66	7,4	241,6	58,8
15	57	84	5	67,9	160,1	3	117,1	62	x	30,0	123,0	30
16	11	31	3	33,1	233,4	3	198,8	30	10	94,0	232,1	94

Từ số liệu Bảng 2 thể hiện trên Hình 4 các nội dung: (1) Lượng mưa giờ tại thời điểm xảy ra lũ quét, lũ bùn đá; (2) Lượng mưa giờ lớn nhất (max) của trận mưa cho tới lúc xảy ra lũ; (3) Lượng mưa lũy tích từ đầu trận mưa tại thời điểm xảy ra lũ quét, lũ bùn đá; (4) Ngưỡng mưa 24h trong cảnh báo lũ quét, sạt lở đất theo QĐ 18/2021/QĐ-TTg [27].

Từ Hình 4 có thể thấy:

- Về lượng mưa giờ: 50% số trận có lượng mưa giờ tại thời điểm xảy ra lũ quét nhỏ hơn 10 mm, 75% số trận có lượng mưa giờ tại thời điểm xảy ra lũ quét nhỏ hơn 20 mm, 88% số trận có lượng mưa giờ tại thời điểm xảy ra lũ quét nhỏ hơn 50 mm. Lũ quét, lũ bùn đá phát sinh tại thời điểm lượng mưa giờ đạt mức cao nhất kể từ đầu trận mưa chiếm tỷ lệ thấp, khoảng 19% số trận. Đa số lũ quét, lũ bùn đá xảy ra sau một vài tiếng hoặc vài ngày có lượng mưa giờ đạt cao nhất từ đầu trận mưa, chiếm 81%.

- Về lượng mưa lũy tích: có 2/16 trận, chiếm 12,5% số trận có lượng mưa lũy tích tại thời điểm xảy ra lũ nhỏ hơn 50 mm; 7/16 trận, chiếm 44% số trận có lượng mưa lũy tích tại thời điểm xảy ra lũ nhỏ hơn ngưỡng cảnh báo thấp nhất xảy ra lũ quét, sạt lở đất của quốc gia là 100 mm; 9/16 trận, chiếm 56% số trận phù hợp ngưỡng của quốc gia, tức trên 100 mm. Như vậy, lượng mưa lũy tích sinh lũ biến động phổ biến trong khoảng 80 mm đến 240 mm, chiếm 75% tổng số trận.

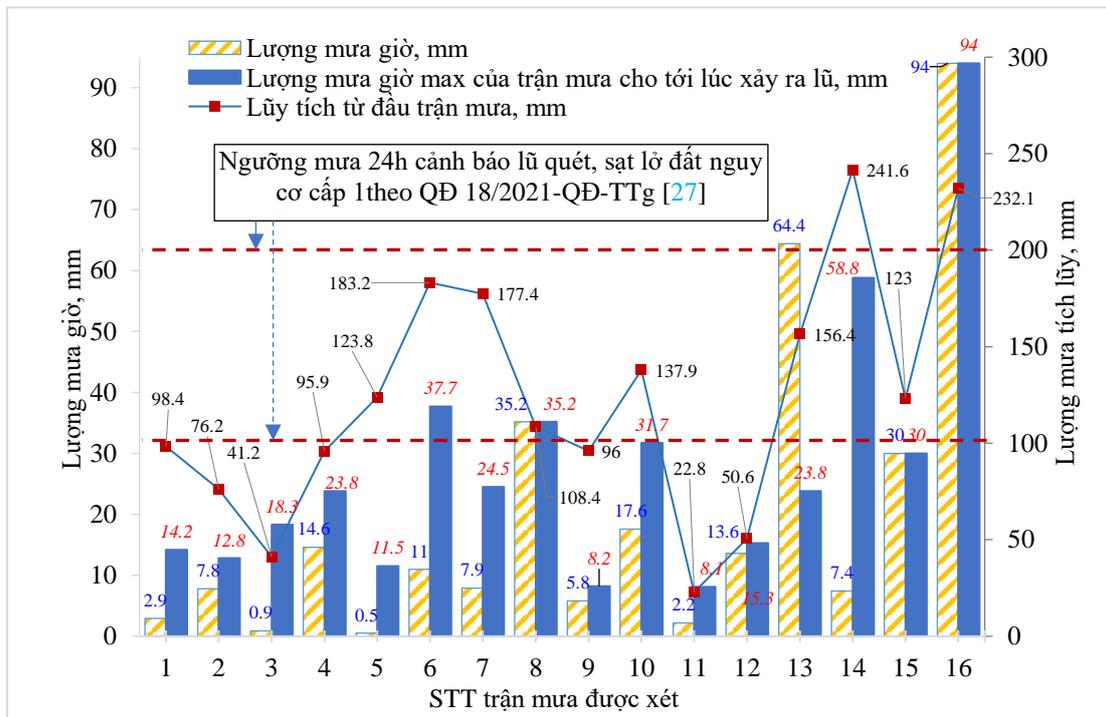
Một số nhận xét thông qua số liệu thống kê ở Bảng 2 và quy luật trên biểu đồ diễn biến các trận mưa trên Hình 4.

- Lượng mưa giờ và lượng mưa giờ max nằm ở nhiều khoảng giá trị khác nhau, không đại biểu được khả năng xảy ra lũ, vì vậy, để dự báo lũ quét, lũ bùn đá thông qua lượng mưa nên căn cứ vào lượng mưa tích lũy. Cần phân tích lượng mưa tích lũy của trận mưa tối thiểu theo từng giờ, tiến tới chi tiết hơn theo phút, để nâng cao mức độ chính xác của cảnh báo. Tại nước ta nên từng bước thống nhất về cách tính toán lượng mưa tích lũy sinh lũ quét.

- Ngưỡng lượng mưa 24 giờ thấp nhất trong dự báo, cảnh báo lũ quét sạt lở đất của Quốc gia (100 mm) có thể xem xét tham khảo kết quả phân tích trong nghiên cứu này để điều chỉnh để hạn chế được rủi ro cho người dân nếu xảy ra lũ quét, lũ bùn đá mà lượng mưa lũy tích sinh trận lũ đó trong ngày dự báo thấp hơn nhiều so với ngưỡng 100 mm. Ngoài việc điều chỉnh ngưỡng cảnh báo thì cần tăng cường mật độ các trạm đo mưa ở các khu vực nguy cơ cao và thường xuyên phát sinh lũ quét, lũ bùn đá. Bên cạnh đó, cần chỉ ra rằng, hạn chế của nghiên cứu này là không có trạm đo mưa tại đúng vùng tập trung nước làm phát sinh lũ quét, lũ bùn đá. Hơn nữa, hiện tượng lấp dòng, nghẽn dòng bởi trượt lở trong quá trình phát sinh lũ quét, lũ bùn đá không được đánh giá cụ thể. Một số quốc gia đã khắc phục hạn chế này bằng cách lắp đặt các hệ thống quan trắc và giám sát lũ bùn đá tại các lưu vực nguy cơ cao và tập trung đông dân cư [14].

Từ số liệu Bảng 2 thể hiện trên Hình 5 các nội dung: (1) Thời lượng trận mưa (cả lúc có mưa và không có mưa) của TMSL; (2) Tổng giờ có mưa của trận mưa cho đến lúc xảy ra lũ

quét, lũ bùn đá; (3) Cường độ mưa trung bình của trận mưa liên tục cho tới thời điểm xảy ra lũ quét, lũ bùn đá; (4) Cường độ mưa trung bình 24h tạm tính từ ngưỡng mưa cảnh báo lũ quét, sạt lở đất của Quốc gia. Trong biểu đồ này không thể hiện trận lũ tại Nậm Pấm năm 2017 vì không có số liệu mưa 1 giờ.



Hình 4. Biểu đồ lượng mưa giờ và lượng mưa lũy tích đến tại thời điểm xảy ra lũ quét, lũ bùn đá.

Từ biểu đồ Hình 5 có thể nhận xét như sau:

- Về thời lượng trận mưa, số giờ có mưa, chỉ có 1 trận lũ quét (Mường Tè, 2019, trận số 3) xảy ra ngay trong ngày đầu tiên của trận mưa liên tục, chiếm 7% trong tổng số trận được xét; Tỷ lệ % số trận lũ quét, lũ bùn đá xảy ra ở ngày thứ 2, 3, 4, 5, 6 của các trận mưa liên tục được xét lần lượt là 27%, 13%, 13%, 13%, 20%; Đa phần các trận mưa sinh lũ này, đến thời điểm xảy ra lũ quét, có số giờ có mưa chiếm từ 1/3 đến 2/3 thời lượng trận mưa;

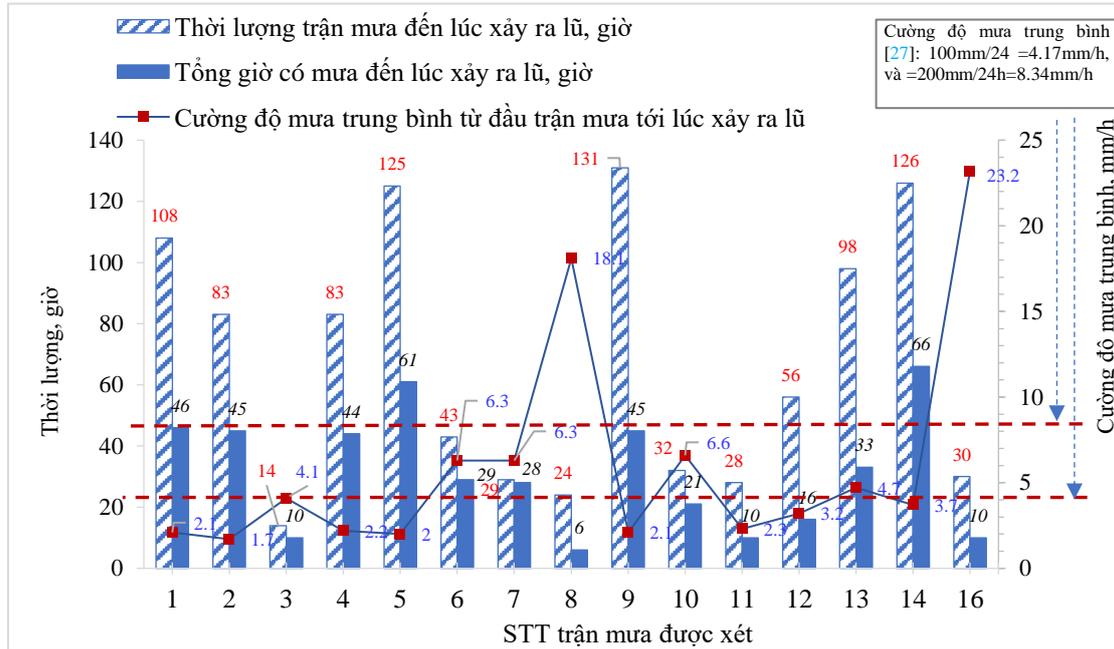
- Về cường độ mưa trung bình: Có 9/15 trận (60%) có cường độ mưa trung bình nhỏ hơn cường độ mưa trung bình tạm tính theo ngưỡng mưa 24h nhỏ nhất dự báo lũ quét, sạt lở đất của quốc gia, tăng thêm 2 trận so với 7 trận dưới ngưỡng 100 mm/24h (Hình 5).

- Mối quan hệ giữa cường độ mưa với tổng thời lượng trận mưa và số giờ có mưa của các trận sinh lũ ở cùng khu vực: nhiều trận mưa có cường độ mưa lớn hơn, lại mất nhiều thời gian mưa hơn mới xảy ra lũ quét so với trận mưa cường độ thấp hơn trong thời gian có mưa ngắn hơn. Đây là do sự khác nhau về đặc trưng hình thái lưu vực, chiều dài, chiều rộng, độ dốc, mật độ sông suối, mức độ chia cắt, điều kiện mặt đệm dẫn đến thời gian và mức độ tập trung nước và khả năng phát sinh trượt lở gây lũ quét, lũ bùn đá [1-4, 16, 28].

Ở đây có thể thấy được, đa phần các trận lũ quét thường xảy ra sau khi trận mưa liên tục bắt đầu được 24h. Có 60% các trận mưa sinh lũ với cường độ mưa trung bình thấp hơn cường độ mưa trung bình tạm tính từ lượng mưa 24h cảnh báo lũ quét, sạt lở đất của quốc gia cho thấy việc điều chỉnh ngưỡng mưa 24h của cảnh báo là cần thiết. Sự thiếu tương đồng của cường độ mưa trung bình, thời lượng trận mưa, tổng giờ có mưa cho đến thời điểm xảy ra lũ quét, lũ bùn đá giữa các trận mưa sinh lũ của cùng khu vực càng khẳng định thêm rằng, việc dự báo xảy ra lũ quét, lũ bùn đá chỉ dựa vào lượng mưa là rất khó.

Từ việc so sánh lượng mưa lũy tích tại thời điểm xảy ra lũ quét, lũ bùn đá với ngưỡng mưa dự báo, cảnh báo lũ quét, sạt lở đất của quốc gia [27] cho thấy, để nâng cao độ chính xác của dự báo, cảnh báo hơn nữa, chúng ta cần đưa ra các ngưỡng cảnh báo riêng cho từng

khu vực, lưu vực. Đây cũng là cách tiếp cận của phương pháp FFG dựa trên Q tràn bờ và FFT [18, 22–23]. Tuy nhiên, đòi hỏi đầu tư rất lớn nguồn lực về lắp đặt hệ thống thiết bị quan trắc, giám sát, cũng như nghiên cứu ngưỡng phát sinh phù hợp với điều kiện từng lưu vực.



Hình 5. Biểu đồ thời lượng trận mưa, số giờ mưa và cường độ mưa trung bình từ đầu trận mưa đến thời điểm xảy ra lũ quét, lũ bùn đá.

3.2. Kết quả phân tích các trận mưa không sinh lũ quét, lũ bùn đá

Để làm rõ hơn mối tương quan giữa lượng mưa và khả năng xảy ra lũ quét, lũ bùn đá cũng như sự khó khăn của việc dự báo, cảnh báo lũ quét, lũ bùn đá dựa vào lượng mưa, nhóm nghiên cứu đã rà soát 142 trận mưa trong khoảng thời gian từ tháng 6 đến tháng 9 trong 5 năm 2015–2019 ở 6 khu vực đặt trạm đo mưa được chọn trong cột 8 Bảng 1. Kết quả phân tích cho thấy 133 TMKSL đều có lượng mưa tích lũy lớn hơn lượng mưa tích lũy đã từng sinh lũ nhỏ nhất (trong cột 13, Bảng 2). Kết quả rà soát này được thể hiện trong Bảng 3.

Trong 4 tháng của mùa mưa trong 5 năm 2015–2019, số lượng các TMKSL có lượng mưa tích lũy lớn hơn lượng mưa tích lũy nhỏ nhất sinh lũ quét, lũ bùn đá ở các địa điểm đã xảy ra lũ được xét (Bảng 1) là rất nhiều, đa phần đều nhiều hơn từ 30 trận. Trong khi số lượng lũ quét, lũ bùn đá xảy ra trong thực tế ở mỗi địa điểm trong thời gian này lại rất nhỏ, chỉ 1 đến 2 trận, có nơi không xảy ra như ở khu vực trạm Văn Chấn.

Bảng 3. Rà soát số lượng TMKSL tại khu vực trạm đo mưa đã xảy ra lũ quét, lũ bùn đá được xét trong Bảng 1, từ tháng 6 đến tháng 9 của 5 năm (2015–2019).

Tên trạm đo mưa	Lượng mưa tích lũy sinh lũ Min, mm	Số TMKSL, trận	Số TMSL thực tế, trận
Tam Đường	76.2	36	2
Mường Tè	41.2	49	1
Mù Cang Chải	48.4	37	2
Văn Chấn	177.4	7	0
Tuần Giáo	22.8	54	1
Bắc Yên	50.6	30	2
Tổng cộng		133	8

Số liệu phân tích này phản ánh rằng, mặc dù lượng mưa là yếu tố kích hoạt và trực tiếp làm phát sinh lũ quét, lũ bùn đá, tuy nhiên chỉ có lượng mưa lớn thì không đủ gây nên lũ quét mà phải tổ hợp xảy ra đồng thời các điều kiện thuận lợi phát sinh khác như nguồn vật chất

đất đá rời rạc phong phú, mặt đệm bị phá hủy mạnh. Ví dụ như lưu vực suối Nậm Kim thị trấn Mù Cang Chải đã từng xảy ra nhiều trận mưa lớn gây nhiều trận lũ quét dạng nước, nhưng chưa từng gây thiệt hại về nhà cửa và cơ sở hạ tầng. Ngày 3/8/2017 xảy ra trận mưa dài ngày và có trận mưa lớn kích hoạt, đã làm bão hòa đất trên các sườn dốc, xảy ra xói mòn, rửa trôi và hàng hàng lớp lớp các khối trượt xảy ra trên sườn núi, tạo nên trận lũ bùn đá quy mô lớn và thiệt hại nặng nề nhất trong lịch sử tại lưu vực này [29]. Ví dụ tương tự cũng xảy ra ở lưu vực suối Nậm Pấm tỉnh Sơn La [30]. Quy luật này cũng là cơ sở cho các nghiên cứu sâu hơn về tần suất tái phát sinh lũ quét, lũ bùn đá tại một lưu vực dựa vào lượng mưa.

3.3. Thảo luận

Như đã đề cập, phát sinh lũ quét, lũ bùn đá cần xảy ra đồng thời các yếu tố bất lợi: lượng mưa lớn, địa hình dốc với hình thái địa mạo hình lòng chảo thuận lợi tập trung nước [1–5, 28], lượng vật chất đất đá rời rạc dồi dào hoặc mặt đệm, lớp thảm phủ bị phá hủy [1, 28]. Câu hỏi đặt ra ở đây, nếu khả năng xảy ra lũ quét, lũ bùn đá phụ thuộc nhiều hơn vào địa hình và lượng mưa thì tại sao ở cùng điều kiện địa hình, với các trận mưa có lượng mưa lớn hơn thậm chí lớn hơn nhiều lượng mưa lũy tích tại thời điểm đã xảy ra lũ lịch sử mà không xảy ra lũ quét, lũ bùn đá? Điều này có thể lý giải theo 3 khả năng:

(1) Lượng vật chất đất, cát, đá, sỏi, gỗ, cây đổ v.v... phát sinh dưới tác động của mưa tạo dòng chảy mặt và rửa trôi, xói mòn, sạt, trượt hoặc/và thêm các tác động của con người làm dịch chuyển và tích tụ số lượng đủ lớn vật chất tại các vị trí, mà đến thời điểm nào đó sẽ sinh ra nghẽn, lấp dòng chảy (đập tạm, đập tự nhiên) tạo thành các hồ nước trước các vị trí đó, khi lượng mưa đủ lớn khiến đập tạm bị phá vỡ, tức điểm nghẽn bị phá hủy, nước chảy đột ngột, ồ ạt và gây ra lũ quét, lũ bùn đá.

(2) Có sạt lở, trượt lở đất với khối lượng lớn đất đá ở vị trí nào đó trên hướng dòng chảy, lượng vật chất vừa bị cuốn theo dòng nước làm co hẹp dòng chảy dẫn đến làm giảm lưu lượng dòng chảy tại chỗ có sạt lở, khiến nước dồn về bị ứ lại, thậm chí ngừng chảy, tạo thành hồ nước, lượng nước tăng lên đủ lớn sẽ cuốn cả hồ nước và vật chất đi, năng lượng dòng chảy tăng thêm bởi độ dốc lòng dẫn lớn sẽ tạo thành dòng lũ bùn đá có sức tàn phá rất lớn.

(3) Có nhiều điểm bị nghẽn nhỏ do khả năng (1) hoặc/và (2), nhiều điểm nghẽn nhỏ nối tiếp nhau bị vỡ theo hướng thượng nguồn xuống hạ nguồn, dẫn đến, sau điểm nghẽn cuối cùng là dòng lũ quét, lũ bùn đá.

Chính vì sự bất quy luật xảy ra 1 trong 3 hoặc hỗn hợp các khả năng trên, dẫn đến sự khó dự đoán và cảnh báo phát sinh lũ. Đặc biệt trong khi mưa lũ trên các lưu vực khe suối miền núi, gần như không có người tiếp cận suối ở thượng nguồn lưu vực để chứng kiến thấy “đập tạm” hoặc “hồ nước trong lũ”. Nói một cách khác, cảnh báo lũ quét, lũ bùn đá chỉ dựa vào lượng mưa sẽ không bao hàm được nguyên nhân do nghẽn dòng, lấp dòng. Cả 3 khả năng trên đều làm cho lượng vật chất được sinh ra trong thời gian dài hoặc tức thời trong thời gian xảy ra trận mưa.

Cho đến nay việc đánh giá, theo dõi, giám sát hiện tượng vỡ đập tạm chưa được thực hiện tại Việt Nam. Tuy nhiên, việc quan sát và cảnh báo lũ bùn đá tại suối nguy cơ cao xảy ra lũ quét, lũ bùn đá đã bắt đầu được thực hiện. Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản đã lắp đặt trạm đo mưa, căng kẻ, camera giám sát dòng lũ bùn đá tại suối Bản Khoang tỉnh Lào Cai năm 2019 và tại suối Kim Nội thị trấn Mù Cang Chải tỉnh Yên Bái năm 2022.

4. Kết luận

Thông qua phân tích 16 trận mưa đã phát sinh lũ quét, lũ bùn đá và 142 trận mưa ở khu vực của 6 trạm đo mưa từ năm 2015 đến 2019, một số phát hiện như sau: (1) Giá trị ngưỡng mưa phát sinh lũ quét, lũ bùn đá chênh lệch rất lớn giữa các lưu vực, biến động phổ biến từ 80 mm đến 240 mm, trong đó có 44% số trận có ngưỡng thấp hơn ngưỡng cảnh báo thấp nhất hiện hành (100 mm); (2) Số lượng trận mưa không làm phát sinh lũ quét, lũ bùn đá, mặc dù có giá trị lượng mưa tích lũy lớn hơn ngưỡng mưa đã từng phát sinh lũ trong lịch sử tại cùng

một lưu vực suối, là rất nhiều so với số lượng trận mưa làm phát sinh lũ quét, lũ bùn đá (133 trận không sinh lũ so với 8 trận sinh lũ); (3) Cảnh báo lũ quét, lũ bùn đá chỉ dựa vào các thông số mưa là chưa sát thực tế, đặc biệt là thời điểm và vị trí lũ. Cần kết hợp với điều kiện địa hình, địa chất, thảm phủ và tác động của con người.

Một số đề xuất đối với cảnh báo lũ quét, lũ bùn đá: (1) lựa chọn một phương pháp tính toán thời lượng một trận mưa sinh lũ quét, lũ bùn đá thống nhất chung trong nghiên cứu cũng như ứng dụng thực tiễn tại Việt Nam; (2) nghiên cứu sâu hơn về đánh giá mức độ rủi ro nghẽn dòng, lấp dòng do tổ hợp các yếu tố của lưu vực như: diện tích lưu vực lớn nhưng độ dốc trung bình cao, có nhiều điểm sạt lở hoặc có nguy cơ sạt lở, độ dốc lòng dẫn lớn lại có nhiều khúc quanh hay nhiều đoạn bị co hẹp, nhiều cây đổ, gỗ trôi, Kết hợp mức độ rủi ro nghẽn dòng và lượng mưa tích lũy để cảnh báo cho phạm vi hẹp như: huổi, khe, suối sẽ tăng mức độ chính xác trong công tác dự báo, cảnh báo lũ quét, lũ bùn đá.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: V.B.T.; Xử lý số liệu: B.X.V.; Viết bản thảo bài báo: B.X.V., V.B.T.; Chỉnh sửa bài báo: V.B.T., B.X.V.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của đề tài cấp Nhà nước: “Nghiên cứu cơ chế phát sinh, quy luật vận động và xác định các thông số lũ bùn đá phục vụ thiết kế công trình đập chắn bùn đá khu vực miền núi phía Bắc”, mã số: 79/2021.ĐLĐL.CN, 2021-2024.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Takahashi, T. Debris flow. *Annu. Rev. Fluid Mech.* **1981**, 13(1), 57–77.
2. Huỳnh, L.B.; Dư, C.Đ. Các biện pháp phòng chống lũ quét ở Việt Nam. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **1996**, 431, 8–26.
3. Thuận, N.T. Một số đặc điểm của lũ quét. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **1995**, 414, 1–5.
4. Dư, C.Đ.; Huỳnh, L.B. Lũ quét nguyên nhân và biện pháp phòng tránh. Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội, 2000.
5. Thục, T.; Hà, L.T. Lũ quét – Khái niệm và phương pháp nghiên cứu. Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội, 2012.
6. Twamoto, M.; Hirano, M. Mechanical Characteristics of Debris Flow. *J. Hydraul. Div.* **1978**, 104 (8), 151–161.
7. Arattano, M.; Marchi, L. Systems and Sensors for Debris-flow Monitoring and Warning. *Sensors* **2008**, 8(4), 2436–2452.
8. Tuấn, N.Đ. Lũ quét và phòng tránh lũ quét. *Tap chí Thủy lợi và Môi trường* **2008**.
9. Hà, L.T.; Đại, H.V.; Hàng, V.T.; Vân, L.T.M. Phương pháp xác định ngưỡng mưa phục vụ cảnh báo nguy cơ xuất hiện lũ quét cho khu vực miền núi Bắc Bộ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2012**, 613, 38–44.
10. Hürlimann, M.; Coviello, V.; Bel, C.; Guo, X.; Berti, M.; Graf, C.; Hübl, J.; Miyata, S.; Smith, J.B.; Yin, H.Y. Debris-flow monitoring and warning: Review and examples. *Earth Sci. Rev.* **2019**, 199, 102981.
11. Badoux, A.; Graf, C.; Rhyner, J.; Kuntner, R.; McArdell, B.W. A debris-flow alarm system for the Alpine Illgraben catchment: design and performance. *Nat. Hazards* **2009**, 49, 517–539.
12. Jakob, M.; Owen, T.; Simpson, T. A regional real-time debris-flow warning system for the District of North Vancouver, Canada. *Landslides* **2012**, 9, 165–178.
13. Jakob, M.; Hungr, O. Debris-flow Hazards and Related Phenomena. Praxis Publishing, Springer, 2005, pp. 739.

14. Thao, V.B.; Minh, P.V.; Tuấn, L.Q.; Kiên, N.T. Tổng quan về quan trắc và cảnh báo sớm lũ quét bùn đá. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2018**, 45, 1–13.
15. Guidelines for construction technology transfer. Development of warning and evacuation system against sediment disasters in developing countries. Ministry of Land, Infrastructure and Transport Infrastructure Development Institute – Japan, 2004.
16. Du, C.Đ.; Chính, P.Đ. Mưa gây lũ quét ở vùng núi Bắc Bộ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2006**, 547, 1–7.
17. Huy, H.A.; Đại, H.V.; Hằng, V.T. Xây dựng quy trình cảnh báo lũ quét bằng phương pháp ngưỡng mưa cảnh báo lũ quét FFG và đường tới hạn CL, thí điểm cho thượng nguồn sông Cả. *Tap chí khí tượng Thủy văn* **2018**, 694, 16–27.
18. Typhoon Committee, WMO; Mizuno, H. Sedimen-related disaster forecasting warning system project. World Meteorological Organization, 2010, WMO/TD-No 1520, 1–59.
19. River Forecast Center Development Management Team. Flash flood guidance improvement team-final report. Report to the operations subcommittee of the NWS corporate board, 2003.
20. Sweeney, T.L.; Baumgardner, T.F. Modernized flash flood guidance. NWS Office of Hydrology, Web Site Version, Updated 8, 1999, pp. 16–99.
21. Zeng, Z.; Tang, G.; Long, D.; et al. A cascading flash flood guidance system: development and application in Yunnan Province, China. *Nat. Hazards* **2016**, 84, 2071–2093.
22. Mai, T.T.; Hải, Đ.V.; Phương, T.T. Nghiên cứu ứng dụng công cụ khai thác sản phẩm của hệ thống định hướng cảnh báo lũ quét của Ủy hội sông Mê Công quốc tế (MRCFFGS) phục vụ xác định vùng nguy cơ lũ quét. *Tap chí khí tượng Thủy văn* **2020**, 720, 10–22.
23. Dũng, L.H.; Tuyển, H.M.; Thủy, N.T.; Hằng, V.T.; Phương, D.H. Đánh giá khả năng cảnh báo của hệ thống VNFFGS qua các trận lũ quét xảy ra tại Yên Bái và Sơn La. *Tap chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2022**, 24, 32–42.
24. Hapuarachchi, H.A.P.; Wang, Q.J.; Pagano, T.C. A review of advances in flash flood forecasting. *Hydrol. Process* **2011**, 25, 2771–2784.
25. Nikolopoulos, E.I.; Crema, S.; Marchi, L.; Marra, F.; Guzzetti, F.; Borga, M. Geomorphology Impact of uncertainty in rainfall estimation on the identification of rainfall thresholds for debris flow occurrence. *Geomorphology* **2014**, 221, 286–297.
26. Ligong, S.; Sidek, L.M.; Hayder, G.; Dom, N.M. Application of Rainfall Threshold for Sediment-Related Disasters in Malaysia: Status, Issues and Challenges. *Water* **2022**, 14(20), 3212.
27. Quyết định số 18/2021/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ, Quy định về: dự báo, cảnh báo, truyền tin thiên tai và cấp độ rủi ro thiên tai, 22/04/2021.
28. Thao, V.B.; Hương, N.T.T.; Hải, N.V. Đánh giá đặc trưng hình thái lưu vực suối đến sự hình thành lũ bùn đá khu vực miền núi phía Bắc. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2022**, 70, 1–16.
29. Thao, V.B., Kiên, N.T. Nghiên cứu đề xuất giải pháp đập ngăn bùn đá tại suối Háng Chú Mù Cang Chải tỉnh Yên Bái. *Tap chí Địa kỹ thuật* **2020**, 3, 18–25.
30. Thao, V.B., Kien, N.T., Tachi, K. Proposing preliminary countermeasures against debris flow: case study in NamPam commune Son La Province. Proceeding of the International conference on science and technology for water security disaster reduction and climate change adaptation, Science and Technics publishing house **2019**, 383–388.

Rainfall threshold analysis for flash floods and debris flows in Lai Chau, Dien Bien, Yen Bai, and Son La provinces

Vu Ba Thao^{1*}, Bui Xuan Viet¹

¹ Department of Geotechnical Engineering, Hydraulic Construction Institute, Vietnam Academy for Water Resources; vubathao@gmail.com; vietbx188@gmail.com

Abstract: Flash flood and debris flow warnings based on rainfall thresholds are challenges due to limited rain gauge stations located in the formation areas, limited technology for forecasting rainfall at narrow-scale and fragmented terrain in mountainous regions. The rainfall thresholds for flash flood warnings vary in space and time. To assess the accuracy of flash flood and debris flow warning rainfall thresholds, this study analyzes the rainfall thresholds of 16 rainfall events that have caused flash floods and debris flows in Lai Chau, Yen Bai, Dien Bien, and Son La provinces. We then compare them with the current flash flood warning thresholds in Vietnam. Also, accumulated rainfall that leads to flash flood, debris flow and non-flash flood, debris flow events is analyzed from 142 rainfall events recorded at six rain gauge stations: Tam Duong, Muong Te, Mu Cang Chai, Van Chan, Tuan Giao, and Bac Yen, collected between June and September from 2015 to 2019. The results show significant variations in accumulated rainfall leading to flash floods and debris flows among different river basins, ranging from 20 mm to 242 mm. Among the 16 events analyzed, 7 events had rainfall thresholds lower than the current warning thresholds, i.e., below 100 mm/24h. A large number of rainfall events (133 out of 142) exceeded the rainfall thresholds that had previously caused flash floods and debris flows but did not result in such events. This study also presents some proposals to enhance the accuracy of flash flood and debris flow warnings based on rainfall.

Keywords: Debris flows; Flash Floods; Rainfall threshold.