

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Vietnam Journal of Hydro - Meteorology

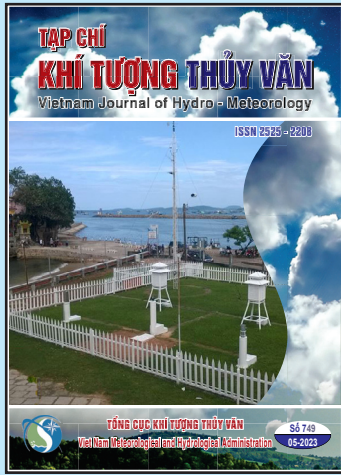
ISSN 2525 - 2208



TỔNG CỤC KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN
Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration

Số 749

05-2023



Q. TÔNG BIÊN TẬP

PGS. TS. Đoàn Quang Trí

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1. GS. TS. Trần Hồng Thái | 14. PGS. TS. Mai Văn Khiêm |
| 2. GS. TS. Trần Thực | 15. PGS. TS. Nguyễn Bá Thủy |
| 3. GS. TS. Mai Trọng Nhuận | 16. TS. Tống Ngọc Thanh |
| 4. GS. TS. Phan Văn Tân | 17. TS. Đinh Thái Hưng |
| 5. GS. TS. Nguyễn Kỳ Phùng | 18. TS. Võ Văn Hòa |
| 6. GS. TS. Phan Đình Tuấn | 19. TS. Nguyễn Đắc Đồng |
| 7. GS. TS. Nguyễn Kim Lợi | 20. GS. TS. Kazuo Saito |
| 8. PGS. TS. Nguyễn Văn Thắng | 21. GS. TS. Jun Matsumoto |
| 9. PGS. TS. Dương Văn Khảm | 22. GS. TS. Jaecheol Nam |
| 10. PGS. TS. Dương Hồng Sơn | 23. TS. Keunyong Song |
| 11. TS. Hoàng Đức Cường | 24. TS. Lars Robert Hole |
| 12. TS. Bạch Quang Dũng | 25. TS. Sooyoul Kim |
| 13. PGS. TS. Đoàn Quang Trí | |

Giấy phép xuất bản

Số: 225/GP-BTTTT - Bộ Thông tin Truyền thông cấp ngày 08/6/2015

Tòa soạn

Số 8 Pháo Đài Láng, Đống Đa, Hà Nội
Điện thoại: 024.39364963
Email: Tapchikttv@gmail.com

Chế bản và In tại:

Công ty TNHH Đầu Tư Nông Nghiệp Việt Nam
ĐT: 0243.5624399

Ảnh bìa: Trạm Quan trắc Khí tượng bề mặt Phú Quốc

Giá bán: 40.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

SỐ 749 - 05/2023

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- Trần Thanh Vũ, Lê Thiên Bảo, Nguyễn Trọng Nhân, Nguyễn Văn Khánh, Đỗ Minh Tuấn, Trần Thống Nhất:** Đánh giá thiệt hại tiềm năng diện tích đất trồng lúa do hạn mặn năm 2018 ở khu vực huyện Ba Tri, tỉnh Bến Tre
- Nguyễn Văn Sơn, Phùng Chí Sỹ, Nguyễn Thế Tiến, Hồ Kỳ Quang Minh:** Đánh giá mức độ đa dạng của cộng đồng vi khuẩn hiếu khí và xác định các loài vi khuẩn hiếu khí đóng vai trò chủ đạo phân hủy chất hữu cơ trong nước sông Cái – tỉnh Đồng Nai bằng phương pháp MALDI-TOF
- Lê Thị Thu Hà, Nguyễn Quốc Long:** Kết hợp công nghệ chụp ảnh từ UAV và mặt đất xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D cho thành phố thông minh
- Lê Ngọc Viên, Nguyễn Mai Đăng:** Phân tích diễn biến của các chỉ số mưa trong bối cảnh biến đổi khí hậu trên lưu vực Vu Gia – Thu Bồn
- Nhữ Việt Hà, Trần Vũ Long, Phạm Minh Tuấn, Nguyễn Việt Nghĩa:** Phân tích địa không gian đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường và nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai, Việt Nam
- Nguyễn Khắc Quân, Phạm Thị Thanh Nga:** Phân loại đặc điểm mưa và ước tính mưa bằng quan trắc Ra đa phân cực cho khu vực Tây Bắc
- Thái Thị Bé Vân, Lê Thị Thanh Nga:** Nghiên cứu xây dựng lượng mưa trên lưới kết hợp giữa dữ liệu mưa vệ tinh GSMaP và mưa tự động tại Việt Nam
- Vũ Bá Thao, Bùi Xuân Việt:** 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

Bài báo khoa học

Đánh giá thiệt hại tiềm năng diện tích đất trồng lúa do hạn mặn năm 2018 ở khu vực huyện Ba Tri, tỉnh Bến Tre

Trần Thanh Vũ¹, Lê Thiên Bảo², Nguyễn Trọng Nhân², Nguyễn Văn Khánh², Đỗ Minh Tuấn², Trần Thống Nhất^{2*}

¹ Công ty TNHH MTV Tài Nguyên và Môi Trường miền Nam – Đoàn Công tác 309; tranthanhvutd1@gmail.com

² Đại học Tài Nguyên và Môi Trường thành phố Hồ Chí Minh; ltbao@hcmunre.edu.vn; ntnhan@hcmunre.edu.vn; nvkhanh@hcmunre.edu.vn; tuandm@hcmunre.edu.vn; ttnhat@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ttnhat@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84–868696265

Ban Biên tập nhận bài: 15/3/2022; Ngày phản biện xong: 18/4/2023; Ngày đăng bài: 25/5/2023

Tóm tắt: Hiện nay tình hình đất nhiễm mặn đang diễn ra phức tạp và đã ảnh hưởng trực tiếp đến các hoạt động sản xuất nông nghiệp của các huyện ven biển, điển hình là huyện Ba Tri tỉnh Bến Tre. Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu đo mặn thực địa kết hợp với công nghệ viễn thám và GIS để thành lập bản đồ phân vùng chịu mặn của lúa bằng phương pháp phân loại lớp phủ theo hướng đối tượng trên ảnh Sentinel 2A có độ chính xác toàn cục là 80,83 % và chỉ số Kappa là 0,76, đồng thời xác định diện tích đất trồng lúa là 8220,942 ha. Kết hợp với thuật toán nội suy bề mặt IDW các điểm đo mặn nhằm phân ngưỡng chịu mặn của lúa vụ Đông Xuân năm 2018 và kết quả tính toán cho thấy diện tích đất trồng lúa bị thiệt hại là 7164,4381(ha) chiếm 87,15%. Chính vì vậy, đánh giá thiệt hại tiềm năng diện tích đất trồng lúa bị từ hạn mặn là vấn đề cần thực hiện nghiêm túc nhằm kịp thời đưa ra cảnh báo về mức độ ảnh hưởng và xu hướng của hạn mặn.

Từ khóa: Độ mặn; Đất trồng lúa; GIS; IDW; Viễn thám.

1. Đặt vấn đề

Biến đổi khí hậu và xâm nhập mặn ngày càng diễn ra bất thường tại đồng bằng Sông Cửu Long, trong đó huyện Ba Tri thuộc tỉnh Bến Tre là một trong những huyện giáp biển chịu ảnh hưởng nặng nề bởi tình hình nước biển dâng có xu hướng tăng dần và xâm nhập sâu vào nội đồng. Tại huyện Ba Tri có độ mặn tăng hằng năm từ 1 đến 3‰, đặc biệt vào năm 2016 độ mặn tăng đột ngột lên đến 10‰ đã gây hậu quả nghiêm trọng đến nền nông nghiệp như cây lương thực và hoa màu bị mất mùa với tổng diện tích là 12,079 ha, con số ước tính thiệt hại hơn 370 tỷ đồng, đồng thời hơn 15000 hộ dân thiếu nước ngọt phục vụ sinh hoạt và sản xuất [1]. Trước tình hình cấp bách này, đất nhiễm mặn ở huyện Ba Tri cần được giám sát và theo dõi hằng năm để cung cấp thông tin cần thiết cho người dân về những khu vực có độ mặn cao nhằm kịp thời chuyển đổi cơ cấu cây trồng. Đây được xem là vấn đề đáng được lưu ý trong bối cảnh hiện nay.

Trước đây, để giám sát đất nhiễm mặn các nhà nghiên cứu trong và ngoài nước đã ứng dụng các phương pháp truyền thống như phân tích, thí nghiệm các mẫu đất hoặc sử dụng các thiết bị đo độ mặn trực tiếp ngoài thực địa [2–3]. Tuy các phương pháp này giúp xác định nhanh chóng độ mặn với độ chính xác cao nhưng lại rất tốn kém, mất nhiều thời gian, chỉ thích hợp giám sát cho khu vực có diện tích nhỏ và không phù hợp với những vùng có độ

mặn thay đổi theo mùa [4]. Thay vào đó, GIS là một công cụ hữu ích được sử dụng rộng rãi trong phân tích bề mặt không gian nhờ vào các thuật toán nội suy giúp xây dựng bề mặt liên tục và bao quát toàn khu vực rộng lớn. Mặt khác, dữ liệu ảnh vệ tinh đa phổ và đa thời gian có khả năng giám sát liên tục và theo dõi hiệu quả các đối tượng biến động trên bề mặt Trái Đất như đất nông nghiệp, đất ở, đất lâm nghiệp, đất trồng, các loại đất khác. Điển hình như một nghiên cứu đã ứng dụng GIS để thực hiện đánh giá ảnh hưởng đất nông nghiệp bởi tình hình xâm nhập mặn nghiêm trọng tại huyện Vũng Liêm, tỉnh Vĩnh Long bằng phương pháp nội suy bề mặt mặn. Kết quả cho thấy qua từng cấp độ mặn tác giả tính toán được diện tích các loại đất canh tác bị thiệt hại như 557,9 ha đất trồng lúa, 299,4 ha đất trồng cây ăn trái và 191,2 ha đất trồng cây hàng năm tương ứng mức độ mặn trên 4‰ [5]. Ngoài ra để đánh giá thiệt hại trên đất nông nghiệp do ảnh hưởng của xâm nhập mặn có thể sử dụng phương pháp đánh giá tổn thương theo khung đánh giá IPCC và UNESCO-IHE [6–7] bao gồm 3 yếu tố: chỉ số phơi nhiễm, độ nhạy cảm và khả năng thích ứng. Đồng thời kết hợp phân loại bộ ảnh MODIS và Landsat để thành lập bản đồ hiện trạng cơ cấu mùa vụ, kết quả phân tích đưa ra các biện pháp khắc phục thiệt hại bởi mặn như chuyển đổi cơ cấu cây trồng, cơ cấu mùa vụ như chuyển từ lúa 3 vụ sang lúa 2 vụ hoặc lúa 1 vụ sang mô hình nuôi trồng thủy sản tại huyện Ba Tri tỉnh Bến Tre [8].

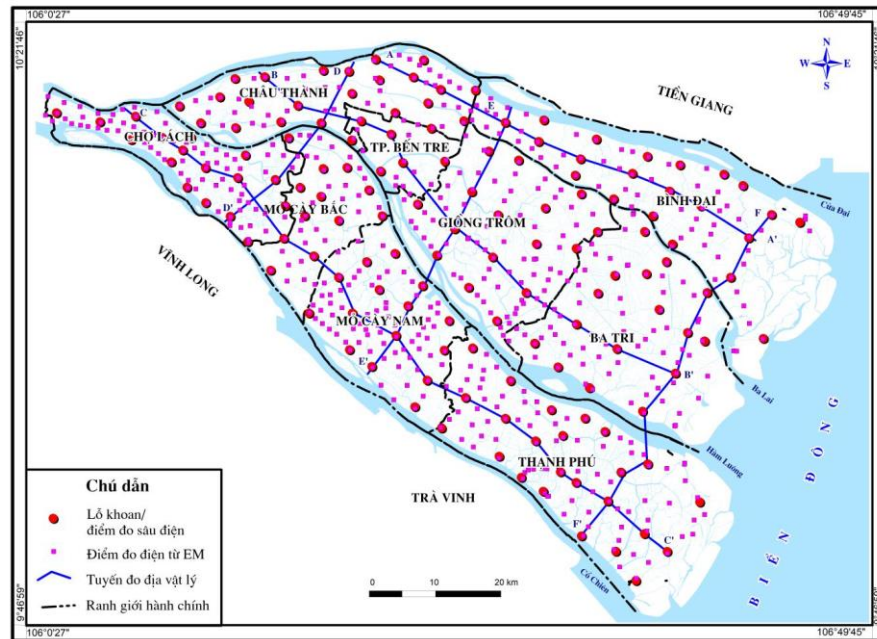
Không chỉ thế, sự ảnh hưởng của đất nhiễm mặn đến đất nông nghiệp còn được đánh giá qua những mô hình toán học giữa dữ liệu viễn thám (ảnh Landsat 8) và giá trị đo của các kim loại nặng trong đất như sắt (Fe), chì (Pb), đồng (Cu), Crom (Cr) và kẽm (Zn) tại AI-Hawizeh ở miền nam Iraq qua 4 mùa (xuân, hạ, thu, đông) năm 2017. Kết quả cho thấy chất lượng đất nông nghiệp phụ thuộc vào nồng độ mặn và các kim loại, cụ thể suy giảm vào mùa hè và tăng vào mùa đông [9]. Bên cạnh đó, mô hình hồi quy tuyến tính cũng được xây dựng kết hợp giữa dữ liệu ảnh Landsat 8 với nồng độ mặn tại khu vực trồng cây lương thực ở phía Nam của Kazakhstan như lúa, yến mạch và lúa mì. Ở độ sâu 0–20 cm, nồng độ mặn ảnh hưởng của yến mạch có sự tương quan với kênh B2 và B9 (có hệ số xác định là $R^2 = 0,64$), mặt khác độ sâu 50–100 cm, nồng độ mặn của lúa mì có sự tương quan với kênh B2, B6, B9 và chỉ số NDVI có hệ số xác định $R^2 = 0,9$. Qua đây, thấy được ở các độ sâu khác nhau thì mức độ ảnh hưởng của đất mặn đến các loại cây trồng cũng khác nhau [10]. Vì thế có thể tận dụng dữ liệu đo đạc thực địa kết hợp với công nghệ viễn thám và GIS để giám sát các nguồn tài nguyên thiên nhiên và môi trường, trong đó có giám sát đất nhiễm mặn. Mặc dù, có nhiều phương pháp giám sát hiệu quả nhưng nghiên cứu này ứng dụng phương pháp nội suy độ mặn giúp xây dựng nhanh chóng bề mặt mặn liên tục với mật độ điểm dày để thành lập bản đồ đất nhiễm mặn tại huyện Ba Tri nhằm mục đích đánh giá thiệt hại diện tích đất trồng lúa bị ảnh hưởng bởi hạn mặn và kịp thời cảnh báo cho người dân về mức độ mặn.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Tỉnh Bến Tre có diện tích 2360,2 km², riêng diện tích tự nhiên của huyện Ba Tri là 352,2 km² trong đó đất sản xuất nông nghiệp là 20,642 ha, chiếm 14,7% so với toàn tỉnh [11]. Khí hậu mang tính chất nhiệt đới gió mùa với hai mùa là mùa mưa (từ tháng 5 đến tháng 11) và mùa khô (từ tháng 12 đến tháng 4). Lượng mưa trung bình từ 1200–1500 mm và nhiệt độ trung bình là 27°C. Năm 2017, dân số trung bình là 1267,067 người, trong đó, hơn 90,3% dân số sinh sống ở khu vực nông thôn, nơi sản xuất nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản là những ngành kinh tế chính. Khoảng 75,4% tổng diện tích là đất nông nghiệp với 178000 ha, bao gồm đất trồng lúa (45,5%), đất trồng rau màu (3,0%), đất trồng mía (3,3%), đất nuôi trồng thủy sản (18,0%) và đất khác [11–12]. Theo niên giám thống kê tỉnh Bến Tre, năm 2017 cho thấy diện tích đất trồng lúa vụ Đông Xuân của huyện Ba Tri là 12066 ha và sản lượng lúa đứng đầu cả tỉnh [13]. Do huyện Ba Tri có vị trí địa lý thuận lợi được sông Ba Lai và sông Hàm Luông bồi đắp phù sa hằng năm đã tạo điều kiện tốt trong canh tác và trồng lúa

nước (hình 1). Tuy nhiên do tình hình xâm nhập mặn vào sâu nội đồng đã gây ra thiệt hại lớn trong sản xuất nông nghiệp như cần phải chuyển đổi cơ cấu mùa vụ, cơ cấu cây trồng, hệ thống canh tác ... nhằm thích nghi với hạn mặn và đồng thời phát triển kinh tế của huyện.



Hình 1. Bản đồ ranh giới hành chính và điểm đo mặn.

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

Ảnh quang học Sentinel 2A có độ phân giải không gian 10m được xử lý ở mức độ 2 (bao gồm hiệu chỉnh khí quyển) giúp tăng cường chất lượng ảnh. Nghiên cứu này chọn thời gian lấy ảnh vào ngày 24/03/2018 có độ phủ mây dưới 10% và trùng với thời điểm vụ lúa gần thu hoạch.

Kết hợp dữ liệu mặt đất gồm 150 điểm đo độ mặn (hay độ dẫn điện – EC, đơn vị dS/m) được lấy mẫu đất trực tiếp ngoài thực địa ở độ sâu từ 0–30 cm trên địa bàn tỉnh Bến Tre vào mùa khô tháng 4/2018 (Hình 1) do Viện Địa Lý Tài Nguyên TP. Hồ Chí Minh cung cấp và trích số liệu trong báo cáo “Xác định nguyên nhân, dự báo tình hình xâm nhập mặn vào đất và nước tại tỉnh Bến Tre trong điều kiện biến đổi khí hậu–nước biển dâng”.

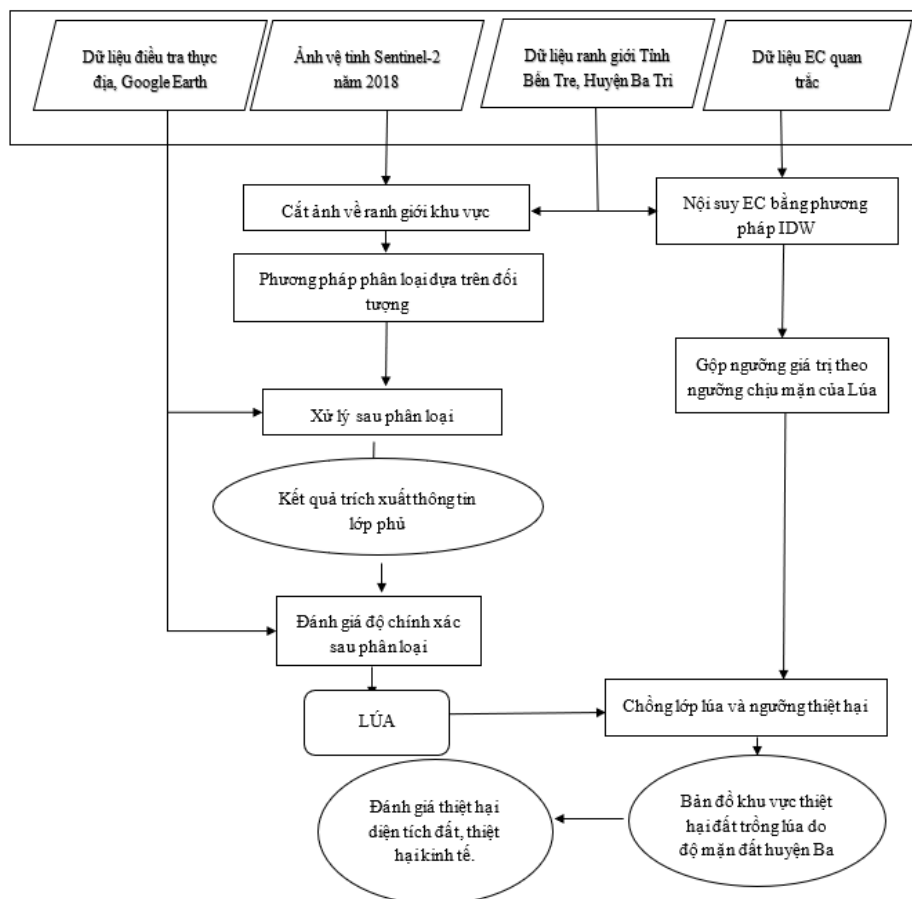
2.3. Phương pháp nghiên cứu

Để xác định vùng thiệt hại đất nông nghiệp bị ảnh hưởng bởi đất nhiễm mặn, nghiên cứu đã sử dụng phương pháp phân tích chồng lớp giữa đất trồng lúa được trích xuất từ lớp phủ giải đoán và vùng chịu mặn cũng được trích xuất từ bề mặt nội suy đất nhiễm mặn (Hình 2).

Phương pháp nội suy là một kỹ thuật tạo ra bề mặt liên tục dựa trên giá trị của các mẫu khảo sát. Trong nghiên cứu này, thuật toán nội suy IDW (*Inverse Distance Weighted*) được sử dụng để xây dựng bề mặt đất nhiễm mặn cho tỉnh Bến Tre vì số lượng điểm đo mặn dày đặc (150 điểm) và có sự phân bố không gian đồng đều trên toàn khu vực giúp tạo ra bề mặt mịn và chính xác. Thuật toán IDW là một kỹ thuật nội suy bề mặt đơn giản và phổ biến với khả năng xác định giá trị của các điểm chưa biết bằng cách trung bình trọng số khoảng cách của những điểm đã biết giá trị trong vùng lân cận [14–15]. Công thức tính trọng số (1):

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i * d_1^{-n}}{\sum_{i=1}^N d_1^{-n}} \quad (1)$$

Trong đó Z_0 là giá trị ước tính của biến z tại i ; Z_i là giá trị mẫu tại i ; d_1 là khoảng cách của điểm mẫu để ước tính; N là hệ số xác định trọng số dựa trên khoảng cách.



Hình 2. Quy trình thực hiện.

Phương pháp phân loại có giám sát được sử dụng để lập bản đồ lớp phủ nhằm trích xuất vùng trồng lúa trên ảnh Sentinel 2A. Dựa vào tính chất đặc trưng của các kênh phổ và tổ hợp màu NIR-RED-GREEN để lấy mẫu các đối tượng như mặt nước, nuôi trồng thủy sản, đất trồng lúa, thực vật khác, đất trồng và đất khác. Sau khi phân loại ảnh vệ tinh, sẽ tiến hành đánh giá độ chính xác bằng ma trận sai số và hệ số Kappa nhằm thống kê đánh giá và kiểm tra sự phù hợp giữa các nguồn dữ liệu khác nhau [16]. Cụ thể là lấy mẫu trên Google Earth để kiểm chứng với kết quả giải đoán. Hệ số Kappa dao động trong khoảng [0,1] với $K > 0,8$ độ chính xác cao; $0,5 < K < 0,8$ độ chính xác trung bình; $K < 0,5$ độ chính xác thấp. Công thức tính hệ số kappa (2):

$$K = (T - E) / (1 - E) \quad (2)$$

Trong đó T là độ chính xác toàn cục; E là kỳ vọng được tính theo tích của hàng và cột biên của ma trận sai số.

Sau khi phân vùng thiệt hại đất nông nghiệp ảnh hưởng bởi đất nhiễm mặn, nghiên cứu tiến hành đánh giá thiệt hại kinh tế bởi hạn mặn gây ra theo từng xã (đơn vị: hecta) theo công thức sau (3):

$$\text{Thiệt hại kinh tế} = \text{Diện tích lúa thiệt hại} * \text{Năng suất lúa} * \text{Giá lúa} \quad (3)$$

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá độ chính xác sau phân loại

Qua kết quả giải đoán ảnh vệ tinh và ma trận sai số trong bảng 1 cho thấy đối tượng đất trồng lúa giải đoán và thực tế trùng khớp 36/39 pixels tương ứng độ tin cậy nhà sản xuất là 84,6%, trong khi đó độ tin cậy người sử dụng ở mức độ là 71,7%. Đồng thời, độ chính xác

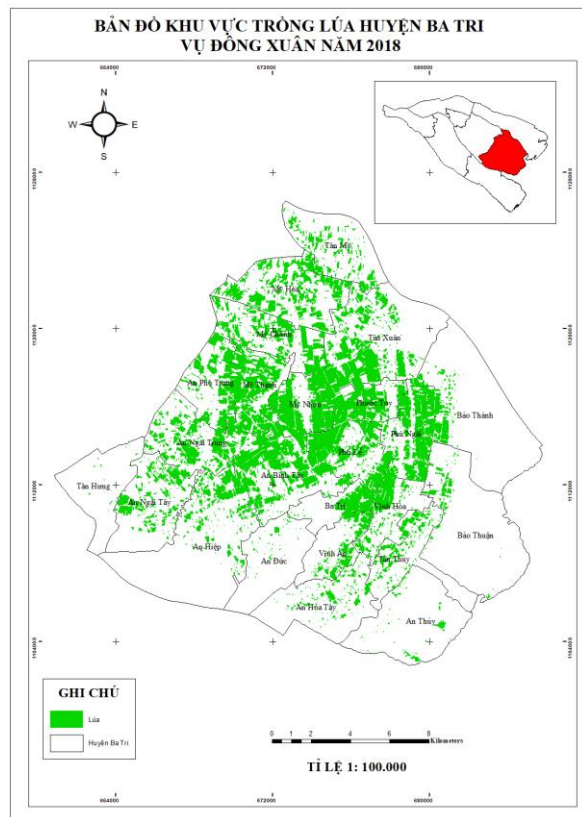
toàn cục được tính toán dựa vào ma trận sai số là 80,82% và hệ số kappa $k = 0,76$ có độ chính xác được chấp nhận.

Bảng 1. Ma trận sai số.

		Loại giải đoán						
		Lúa	Đất trồng	NTTS	Thực vật khác	Đất khác	Mặt nước	Tổng hàng
Loại thực	Lúa	36	4	0	3	3	0	46
	Đất trồng	1	18	0	2	3	0	24
	NTTS	0	0	6	2	5	2	15
	Thực vật khác	2	2	0	25	3	0	32
	Đất khác	0	0	0	4	51	0	55
	Mặt nước	0	0	0	0	1	20	21
	Tổng cột	39	24	6	36	66	22	193
Sai số bỏ sót (%)		2,6%	25%	0%	25%	21,5%	9,1%	
Sai số thực hiện (%)		21,7%	25%	53,8%	21,9%	7,3%	4,8%	Kappa
Độ chính xác nhà sản xuất (%)		84,6%	50%	0%	38,9%	56,9%	81,8%	= 0,76
Độ chính xác người sử dụng (%)		71,7%	50%	0%	43,75%	65,5%	85,71%	
Độ chính xác toàn cục							80,82%	

3.2. Bản đồ khu vực trồng lúa huyện Ba Tri vụ Đông Xuân năm 2018

Khu vực trồng lúa huyện Ba Tri được trích xuất từ kết quả giải đoán lớp phủ và diện tích vụ lúa Đông Xuân là 8220,942 (ha). Qua bản đồ hình 3 cho thấy các xã Tân Hưng, An Hiệp, An Đức, An Hòa Tây, An Thủy, Bảo Thuận, Bảo Thành và Tân Xuân có đất trồng lúa rất ít và thưa thớt, mặc dù là các xã này có vị trí thuận lợi ven sông, ven biển được bồi đắp phù sa màu mỡ nhưng do hiện tượng xâm nhập mặn đã ảnh hưởng rất nhiều đến chất lượng đất canh tác và năng suất giảm mạnh. Mặt khác để thích nghi với tình trạng đất nhiễm mặn, người dân nơi đây đã thực hiện chuyển đổi cơ cấu cây trồng, cơ cấu mùa vụ và chuyển đất trồng lúa sang mô hình nuôi trồng thủy sản. Trong khi đó, đất trồng lúa tập trung nhiều hầu hết ở các xã cách xa biển theo hướng Bắc, Tây Bắc và trung tâm của huyện. Tuy nhiên, mạng lưới sông ngòi chằng chịt, nước mặn dễ dàng xâm nhập vào sâu bên trong nội đồng sẽ ảnh hưởng đến chất lượng đất trồng của các xã này.

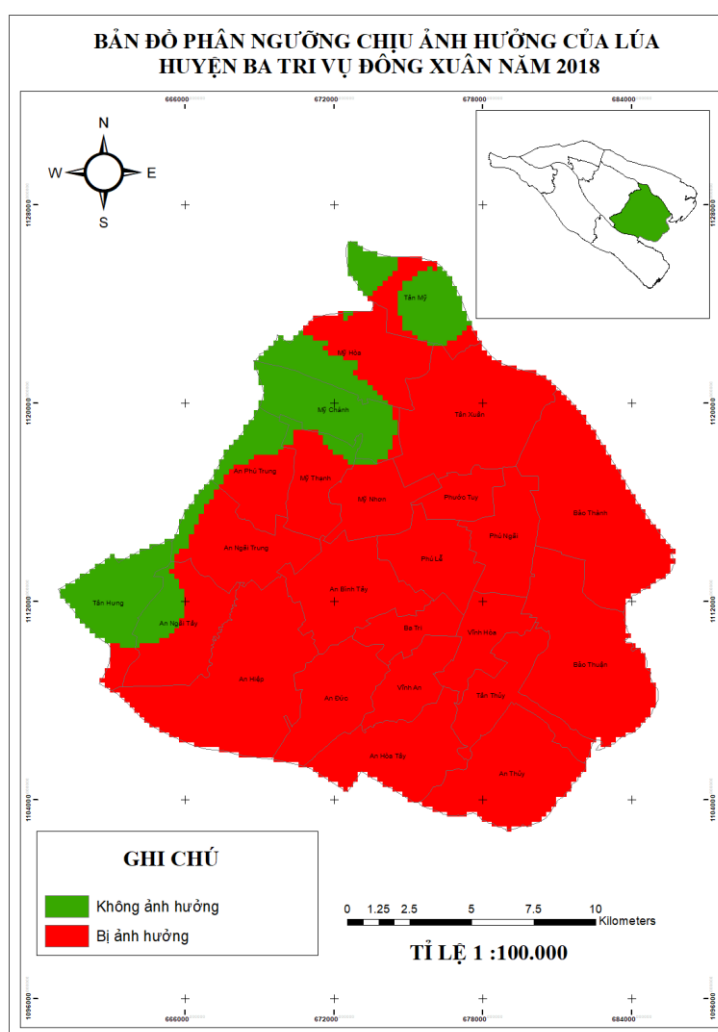


Hình 3. Bản đồ khu vực trồng lúa huyện Ba Tri vụ Đông Xuân năm 2018.

3.3. Bản đồ phân ngưỡng chịu ảnh hưởng của lúa

Căn cứ vào giá trị phân ngưỡng độ mặn trong đất của một số nghiên cứu trong và ngoài nước [4, 11, 17, 18] cho thấy đất không nhiễm mặn nằm trong khoảng $EC < 2$ dS/m, còn lại là đất bị nhiễm mặn theo các mức độ khác nhau

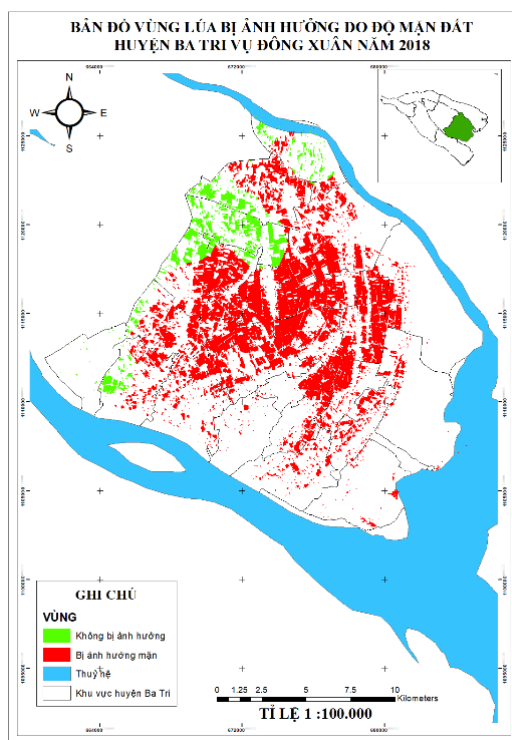
như mặn yếu: $2 < EC < 4$ dS/m, mặn trung bình: $4 < EC < 8$ dS/m, mặn nhiều: $8 < EC < 16$ dS/m và rất mặn: $EC > 16$ dS/m. Mặt khác, dựa vào đặc điểm sinh trưởng của lúa là cây trồng chịu mặn khá [19]. Ở cấp độ mặn $EC > 6$ dS/m thì hầu hết các giống lúa chống chịu mặn đều bị ảnh hưởng bởi hạn mặn và các giống lúa nhạy cảm sẽ bị tổn thương ở cấp độ mặn thấp với $EC = 2$ dS/m. Tuy nhiên, năng suất lúa giảm từ 10–15% tại những khu vực có ngưỡng mặn $EC > 4$ dS/m và năng suất lúa giảm trên 50% tương ứng với vùng có $EC > 10$ dS/m [3, 20, 21]. Hiện nhiên có thể thấy rằng giá trị độ mặn và năng suất lúa có quan hệ nghịch với nhau, khi độ mặn tăng thì năng suất lúa bị giảm mạnh do chất lượng đất suy yếu. Đây là cơ sở để nghiên cứu phân ngưỡng chịu mặn của lúa và chia thành 2 mức độ bao gồm lúa không thiệt hại (hay không ảnh hưởng) với $EC < 2$ dS/m và lúa bị thiệt hại (hay bị ảnh hưởng) với $EC \geq 2$ dS/m nhằm thành lập bản đồ chịu mặn của lúa được trích xuất từ kết quả nội suy bề mặt 150 điểm đo mặn của toàn tỉnh Bến Tre. Qua bản đồ hình 4 cho thấy hầu như lãnh thổ huyện Ba Tri đều bị ảnh hưởng bởi mặn, chỉ còn 1 phần nhỏ phía Bắc, Tây Bắc và Tây của xã Tân Hưng, Tân Mỹ, Mỹ Chánh là không bị ảnh hưởng.



Hình 4. Bản đồ phân ngưỡng chịu mặn của lúa.

3.4. Bản đồ vùng lúa bị ảnh hưởng do đất nhiễm mặn

Kết quả chồng lớp giữa bản đồ hình 3 và 4 cho thấy diện tích thiệt hại đất trồng lúa bị nhiễm mặn rất cao là 7164,438 (ha) chiếm 87,15% trên tổng diện tích đất nông nghiệp là 8220,942 (ha) vào thời điểm vụ lúa Đông Xuân năm 2018. Ngoại trừ các xã Tân Mỹ, Mỹ Chánh, An Phú Trung, An Ngãi Trung và An Ngãi Tây có đất trồng lúa không bị ảnh hưởng bởi mặn (Hình 5).



Hình 5. Bản đồ vùng lúa bị ảnh hưởng do đất nhiễm mặn.

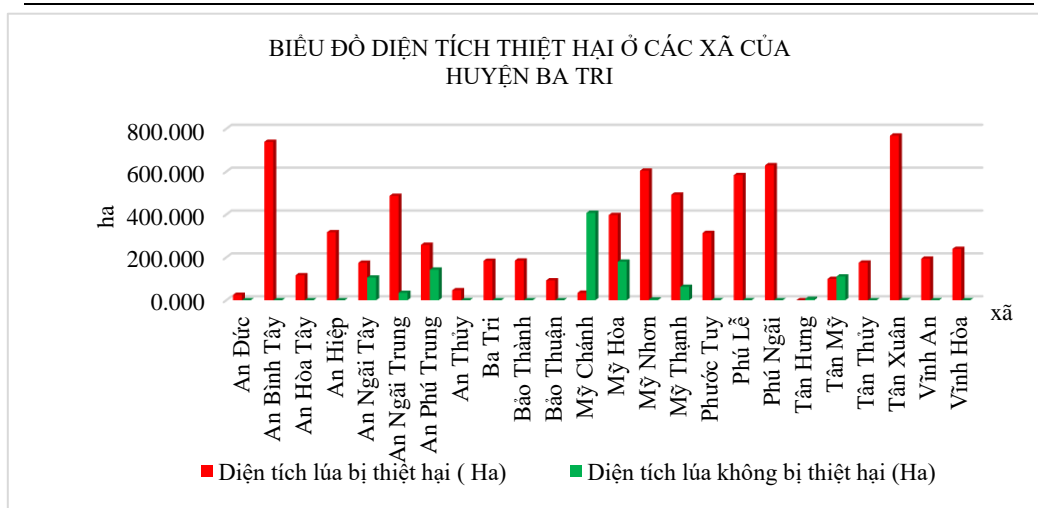
3.5. Đánh giá thiệt hại diện tích lúa bởi hạn mặn

Theo niên giám thống kê tỉnh Bến Tre năm 2018, cho thấy năng suất lúa vụ Đông Xuân phân theo huyện Ba Tri là 55,1 tạ/ha [13] và theo công thông tin điện tử Bnews giá lúa năm 2018 tại đồng bằng Sông Cửu Long nói chung và huyện Ba Tri nói riêng ước tính khoảng 550.000 đồng/tạ [22]. Mặt khác, sử dụng công cụ tính toán trên ArcGIS để tính diện tích đất trồng lúa vượt ngưỡng thích nghi hạn mặn theo từng xã nhằm xác định thiệt hại về kinh tế do hạn mặn gây ra. Áp dụng công thức (3) để tính thiệt hại kinh tế bằng tích diện tích lúa thiệt hại với năng suất lúa và giá lúa tại thời điểm 2018. Kết quả tính toán được thể hiện qua số liệu bảng 2 và biểu đồ thống kê trong hình 6 và 7 cho thấy tình trạng nền nông nghiệp và kinh tế của huyện Ba Tri bị ảnh hưởng nghiêm trọng bởi hạn mặn. Trong đó, thiệt hại về diện tích đất trồng lúa cao nhất là xã Tân Xuân với 768,273 ha và ảnh hưởng nhiều ở các xã khác như An Bình Tây, Mỹ Nhơn, Phú Ngãi và Phú Lễ có diện tích đất trồng lúa thiệt hại trên 500,000 ha. Song song đó, 2 xã chịu thiệt hại kinh tế nặng nề nhất cũng là xã Tân Xuân và An Bình Tây, hầu hết các xã còn lại cũng bị thiệt hại.

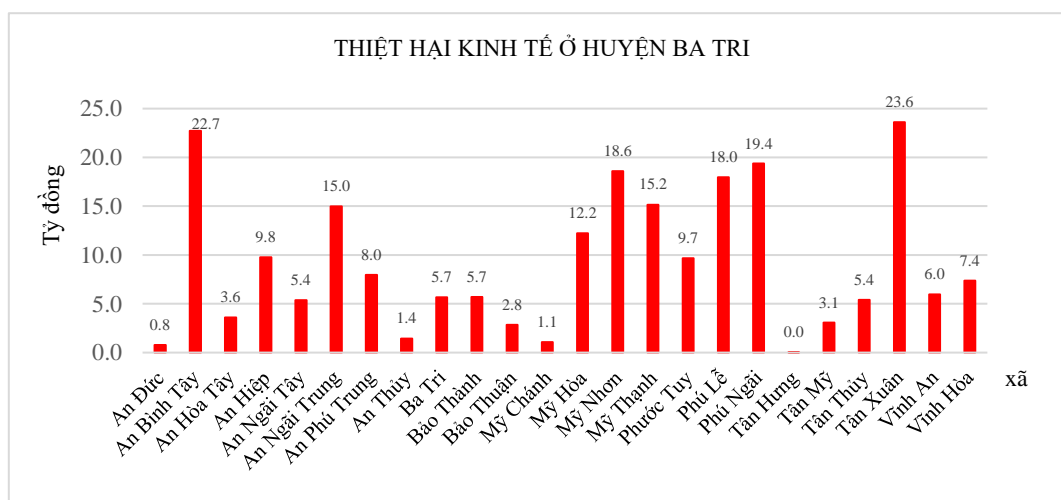
Bảng 2. Thiệt hại kinh tế các xã của huyện Ba Tri năm 2018.

Xã	Diện tích lúa bị thiệt hại (ha)	Thiệt hại kinh tế
An Đức	25,167	773.759.415,0
An Bình Tây	739,097	22.723.537.265,0
An Hòa Tây	116,651	3.586.434.995,0
An Hiệp	317,363	9.757.325.435,0
An Ngãi Tây	174,984	5.379.883.080,0
An Ngãi Trung	487,274	14.981.239.130,0
An Phú Trung	258,693	7.953.516.285,0
An Thủy	46,957	1.443.692.965,0
Ba Tri	184,111	5.660.492.695,0

Xã	Diện tích lúa bị thiệt hại (ha)	Thiệt hại kinh tế
Bảo Thành	185,19	5.693.666.550,0
Bảo Thuận	92,641	2.848.247.545,0
Mỹ Chánh	34,672	1.065.990.640,0
Mỹ Hòa	397,878	12.232.759.110,0
Mỹ Nhơn	604,776	18.593.838.120,0
Mỹ Thạnh	493,108	15.160.605.460,0
Phước Tuy	314,138	9.658.172.810,0
Phú Lễ	584,052	17.956.678.740,0
Phú Ngãi	629,864	19.365.168.680,0
Tân Hưng	0,189	5.810.805,0
Tân Mỹ	99,515	3.059.588.675,0
Tân Thủy	175,846	5.406.385.270,0
Tân Xuân	768,272	23.620.522.640,0
Vĩnh An	194,25	5.972.216.250,0
Vĩnh Hòa	239,751	7.371.144.495,0



Hình 6. Thiệt hại về diện tích lúa.



Hình 7. Thiệt hại về kinh tế các xã huyện Ba Tri.

Nguyên nhân dẫn đến hậu quả này là do nước biển dâng hằng năm tăng làm suy giảm lưu lượng các nguồn nước ngọt phục vụ cho tưới tiêu, canh tác lúa và hầu hết các sông đều bị nhiễm mặn vào mùa khô, điều này làm cho nước mặn dễ dàng xâm nhập vào sâu nội đồng. Bên cạnh đó, các yếu tố tự nhiên cũng thúc đẩy quá trình đất nhiễm mặn diễn biến ngày càng phức tạp hơn như lượng mưa thấp, phân bố không đều kèm theo nhiệt độ tăng cao làm cho chất lượng đất suy yếu [15]. Sự thiệt hại về nông nghiệp là một trong những nguyên nhân làm cho nền kinh tế của huyện Ba Tri suy giảm vào năm 2018. Để khắc phục hậu quả không đáng có trên và đứng trước tình hình biến đổi khí hậu thường xuyên diễn ra và bất thường qua hằng năm, người dân được chính quyền địa phương hỗ trợ đẩy mạnh gia tăng sản xuất như chủ động trong chuyển đổi cơ cấu cây trồng (chọn giống lúa chịu mặn tốt) [20], chuyển lúa 1 vụ sang mô hình nuôi trồng thủy sản tại xã An Đức, chuyển lúa 3 vụ sang lúa 2 vụ tại các xã nhằm thích ứng với điều kiện xâm nhập mặn hiện nay [8].

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã khẳng định việc tích hợp công nghệ viễn thám và GIS với phân tích, đánh giá, thống kê không gian đối với việc xác định diện tích đất trồng lúa bị thiệt hại do mặn đem lại nhiều lợi ích trong công tác quản lý, khai thác thông tin, nghiên cứu khoa học, phục vụ công tác xây dựng bản đồ, đánh giá biến động nhanh chóng, đáp ứng nhu cầu kiểm kê, giám sát tài nguyên môi trường trên phạm vi nhỏ. Nhìn chung, nghiên cứu này đã đạt được mục tiêu ban đầu đề ra, phương pháp phân loại có độ chính xác toàn cục 80,82% và hệ số kappa $k = 0,76$ hoàn toàn có thể tin cậy.

Tuy nhiên, đề tài vẫn còn tồn tại một số hạn chế như chỉ có thể sử dụng dữ liệu ảnh Google Earth với độ chính xác 2–4 m lấy mẫu vào năm 2018 để kiểm chứng kết quả giải đoán. Bên cạnh đó, kết quả nội suy bề mặt đất mặn còn phụ thuộc khá nhiều vào việc lấy mẫu trên thực địa và chỉ giám sát tại một thời điểm nhất định. Vì thế cần xây dựng mô hình hồi quy để mô phỏng và dự đoán độ mặn trong đất cho nhiều thời điểm khác nhau tại những khu vực có độ mặn thay đổi theo mùa hoặc hằng năm giúp đánh giá nhanh chóng thiệt hại đất trồng lúa ảnh hưởng bởi mặn nhằm kịp thời luân phiên chuyển đổi cơ cấu sản xuất kinh tế trong thời đại thích ứng với tình hình biến đổi khí hậu hiện nay.

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

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. Khoa, N.V. Mô hình chuyển đất lúa nhiễm mặn sang trồng cỏ nuôi bò theo hướng an toàn sinh học và giảm phát thải tại Ba Tri. Sở khoa học và công nghệ tỉnh Bến Tre. 2022.
2. Pankova, E.I.; Konyushkova, M.V.; Gorokhov, I.N. On the problem of soil salinity assessment and the method large scale digital mapping salted soils. *Ecosyst.: Ecol. Dyn.* **2017**, *1(1)*, 26–54. (In Russian)
3. Vargas, R.; Pankova, E.I.; Balyuka, S.A.; Krasilnikov, P.V.; Khasankhanovo, G.M. Guide management of saline soils. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Lomonosov Moscow State University. 2017, pp. 3–6. ISBN 978-92-5-409772-1. (In Russian)
4. Nhân, N.T.; Tùng, L.H. Ứng dụng thuật toán Machine Learning trên điện toán đám mây Google Earth Engine phục vụ xây dựng WEBGIS giám sát độ mặn trong đất tỉnh Bến Tre. Kỷ yếu hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc 2022, **2022**, tr. 381–387.
5. Hậu, N.Q.; Minh, Q.M.; Khoa, L.V.; Quyên, C.T.; Phong, V.T. Đánh giá ảnh hưởng của xâm nhập mặn đến đất nông nghiệp tại huyện Vũng Liêm, tỉnh Vĩnh Long dưới

- sự hỗ trợ của hệ thống thông tin địa lý – GIS. Hội thảo Ứng dụng GIS toàn quốc 2016, tại trường Đại học Huế, 2016, tr. 364–372.
6. IPCC. IPCC fourth assessment report. The AR4 synthesis report, Glossary, 2007.
 7. IPCC. Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001.
 8. Điệp, N.T.H.; Diễm, P.K.; Nhung, Đ.T.C.; Trung, P.K.; Nguyễn, T.N.; Hiếu, D.C. Đánh giá tổn thương trên đất nông nghiệp do tác động của xâm nhập mặn tại tỉnh Bến Tre. Kỷ yếu hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc 2022, 2022, tr. 346–359.
 9. Hashim Ali Hasab.; Hayder Dibs.; Abdulameer Sulaiman Dawood.; Wuwood Hasan Hadi.; Hussain, M.; Hussain.; Nadhir Al-Ansari. Monitoring and Assessment of Salinity and Chemicals in Agricultural Lands by a Remote Sensing Technique and Soil Moisture with Chemical Index Models. *Geosciences* 2020, 10, 207.
 10. Gabdullin, B.S.; Zhogolev, A.V.; Savin, I.Yu.; Otarov, A.; Ibraev, M.A.; Golovanov, D.L. Use of multi-zone satellite data for Interpretation of salinity of soils in irrigated massives (by the example of Southern Kazakhstan). *Moscow University Geography Bulletin*, 2015, No. 5. (In Russian)
 11. Hoa, P.V.; Jang, N.V.; Binh, N.A.; Hai, L.V.H.; Pham, T.D.; Hasanlu, M.; Dieu, T.B. Mapping soil salinity using SAR Sentinel-1 data and advanced machine learning algorithms: a case study in the Ben Tre Province of the Mekong Delta (Vietnam). *Remote Sens.* 2019, 11(2), 128.
 12. Thuong, V.T.; Duy, X.T.; Soe, W.; Myint; Huang, C.Y.; Hoa, V.P.; Tung, H.L.; Tien, M.T.V. Examining spatiotemporal salinity dynamics in the Mekong River Delta using Landsat time series imagery and a spatial regression approach. *Sci. Total Environ.* 2019, 687, 1087–1097.
 13. Ủy ban nhân dân tỉnh Bến Tre. Trang cơ sở dữ liệu thông tin kinh tế xã hội. Niên giám thống kê Tỉnh Bến Tre. Truy cập ngày 20/3/2023. Trục tuyến: <https://bcktxh.bentre.gov.vn/service-tracuuthongtin-ngtk.html/>.
 14. Hormoz, S.; Ziari, Y. To compare two interpolation methods: IDW, Kriging for Providing propertie (Area) surface interpolation map land price district 5, municipality of Tehran area1. Strategic Integration of Surveying Services, FIG Working Week 2007. Hong Kong SAR, China, 2007, pp. 13–17.
 15. Oanh, N.T. Ứng dụng GIS và thuật toán nội suy đánh giá chất lượng môi trường không khí tại tỉnh Đồng Nai. Trường đại học Nông Lâm, 2014.
 16. Trung, L.V. Viễn Thám. Tái bản lần 2. TP. HCM: NXB đại học quốc gia TP Hồ Chí Minh, 2012.
 17. Brown, J.W.; Hayward, H.E.; Richards, A.; Bernstein, L.; Hatcher, J.T.; Reeve, R.C.; Richards, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture, Agriculture handbook, 1954.
 18. Scudiero, E.; Anderson, R.; Corwin, D.L. Remote sensing is an effective tool for mapping the salinity of soils on agricultural lands. *California Agriculture*, 2017, 71(2).
 19. Maas, E.; Hoffman, G. Crop salt tolerance current assessment. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.* 1997, 115–134.
 20. Sen, T.T. Tuyển chọn giống lúa chịu mặn và nghiên cứu một số biện pháp kỹ thuật để sản xuất lúa chịu mặn ở Quảng Ngãi. Luận văn Tiến Sĩ Nông Nghiệp, Trường đại học Huế, 2016.
 21. Dobermann, A.; Thomas, F. Rice: Nutrient disorders & nutrient management. *J. Int. Rice Res. Inst.* 2000, 140–141.
 22. Công thông tin điện tử Bnews, Lúa gạo vụ Đông Xuân 2017-2018 được giá: Vừa mừng vừa lo, truy cập ngày 19/03/2023 từ <https://bnews.vn/lua-gao-vu-dong-xuan-2017-2018-duoc-gia-vua-mung-vua-lo/78078.html>

Assessment of potential damage of rice land area affected by salinity drought in 2018 in Ba Tri district, Ben Tre province

Tran Thanh Vu¹, Le Thien Bao², Nguyen Trong Nhan², Nguyen Van Khanh², Do Minh Tuan², Tran Thong Nhat^{2*}

¹ Southern Environment and Natural Resources Company Limited - Delegation 309; tranthanhvutd1@gmail.com

² Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; ltbao@hcmunre.edu.vn; ntnhan@hcmunre.edu.vn; nvkhanh@hcmunre.edu.vn; tuandm@hcmunre.edu.vn; ttnhat@hcmunre.edu.vn

Abstract: Currently, the saline soil situation is complicated directly and affects agricultural production activities of coastal districts, typically Ba Tri district, Ben Tre province. This study uses field salinity measurement data combined with remote sensing technology and GIS to map the salt tolerance zone of rice by object-oriented overlay classification method on Sentinel 2A image with global accuracy of 80,83 % and Kappa index of 0,76, the rice land area was determined as 8220,942 ha. Combined with the IDW surface interpolation algorithm of salinity measurement points to classify the salt tolerance threshold of Winter-Spring rice in 2018 and the calculation results show that the damaged rice land area is 7164,4381(ha), accounting for 87,5%. Therefore, assessing the potential damage of rice land from drought and salinity is an issue that needs to be taken seriously in order to promptly give warnings about the impact and trend of drought and salinity.

Keywords: Salinity, rice land, GIS, IDW, remote sensing

Bài báo khoa học

Đánh giá mức độ đa dạng của cộng đồng vi khuẩn hiếu khí và xác định các loài vi khuẩn hiếu khí đóng vai trò chủ đạo phân hủy chất hữu cơ trong nước sông Cái – tỉnh Đồng Nai bằng phương pháp MALDI–TOF

Nguyễn Văn Sơn^{1*}, Phùng Chí Sỹ¹, Nguyễn Thế Tiến¹, Hồ Kỳ Quang Minh²

¹ Viện Nhiệt đới môi trường; sonvittep@gmail.com; entecvn@yahoo.com; thetien1960@gmail.com

² Trường Đại học Sài Gòn; hkqminh@sgu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: sonvittep@gmail.com; Tel.: +84–909 988 410

Ban Biên tập nhận bài: 14/4/2023; Ngày phản biện xong: 28/4/2023; Ngày đăng bài: 25/5/2023

Tóm tắt: Vi sinh vật được xem là nhân tố chính của quá trình tự làm sạch nước tự nhiên, trong đó vi khuẩn hiếu khí đóng vai trò hết sức quan trọng trong quá trình phân hủy chất hữu cơ để phân hủy sinh học trong nước sông. Đánh giá mức độ đa dạng của cộng đồng vi khuẩn hiếu khí và xác định các loài vi khuẩn hiếu khí đóng vai trò chủ đạo phân hủy chất hữu cơ trong nước sông nhằm làm rõ bản chất của quá trình phân hủy chất hữu cơ để phân hủy sinh học và bổ sung vào cơ sở dữ liệu thống kê thành phần vi khuẩn hiếu khí trong nước sông, từ đó làm cơ sở khoa học để đưa ra các giải pháp bảo vệ chất lượng nước sông. Trong nghiên cứu này mẫu nước sông là mẫu tổ hợp của 18 mẫu đơn lấy theo 2 thời điểm triều cường và triều kiệt tại 1 vị trí và 1 thời điểm; có tất cả 5 vị trí lấy mẫu theo chiều dài dòng sông Cái và lấy tại 6 thời điểm: tháng 6/2019, 8/2019, 10/2019, 12/2019, 2/2020, 4/2020. Kết quả đã xác định 25 dòng khuẩn lạc hiếu khí ở nước sông Cái, trong đó có 6 loài vi khuẩn hiếu khí đóng vai trò chủ đạo phân hủy chất hữu cơ trong nước sông và có 2 loài tồn tại quanh năm trong số 6 loài vi khuẩn hiếu khí chủ đạo này.

Từ khóa: Vi khuẩn hiếu khí; Sông Cái; MALDI–TOF.

1. Giới thiệu

Vi sinh vật được xem là nhân tố chính của quá trình tự làm sạch nước tự nhiên; chúng phân hủy và sử dụng các chất hữu cơ hòa tan để xây dựng tế bào cho cơ thể và biến thành các chất vô cơ trong nước [1]. Trong nước có nhiều loại vi sinh vật như: Vi khuẩn, nấm mốc, nấm men, xạ khuẩn, vi rút (siêu vi khuẩn). Trong những loại này, vi khuẩn đóng vai trò quan trọng hay chủ đạo trong quá trình phân hủy chất hữu cơ, làm sạch nguồn nước sông. Theo phương thức dinh dưỡng, vi khuẩn được chia làm 2 nhóm: Vi khuẩn dị dưỡng và vi khuẩn tự dưỡng. Vi khuẩn dị dưỡng sử dụng các chất hữu cơ làm nguồn cacbon dinh dưỡng và nguồn năng lượng để hoạt động sống, xây dựng tế bào, phát triển. Có 3 loại vi khuẩn dị dưỡng: Vi khuẩn hiếu khí cần oxy để sống, oxy cung cấp cho quá trình oxy hóa các chất hữu cơ; vi khuẩn kỵ khí sống và hoạt động ở điều kiện kỵ khí (không cần oxy của không khí), sử dụng oxy trong những hợp chất nitrat, sulphat để oxy hóa các chất hữu cơ; vi khuẩn tùy nghi có thể sống trong điều kiện có hoặc không có oxy tự do, năng lượng giải phóng một phần được sử dụng cho việc sinh tổng hợp hình thành tế bào mới, một phần thoát ra ở dạng nhiệt [2]. Vi khuẩn tự dưỡng có khả năng oxy hóa chất vô cơ để thu năng

lượng và sử dụng CO₂ làm nguồn cacbon cho quá trình sinh tổng hợp, trong nhóm này có vi khuẩn nitrat hóa [2]. Tóm lại, quá trình phân hủy chất hữu cơ trong nước sông chủ yếu do các vi khuẩn hiếu khí. Hiện nay có các phương pháp phân loại vi sinh vật như: Phương pháp phân loại vi sinh vật truyền thống [3–4], phương pháp phân loại vi sinh vật bằng sinh học phân tử [4–6], phương pháp phân loại vi sinh vật bằng khối phổ protein MALDI–TOF [7–10]. Phương pháp MALDI–TOF được sử dụng cho nghiên cứu này do đây là phương pháp định loại vi sinh vật một cách nhanh chóng, hiệu quả và đáng tin cậy [7–10]. Trên thế giới có nhiều công trình nghiên cứu về hệ số tốc độ phân hủy chất hữu cơ của nước sông với kết quả xác định giá trị K₁ trong khoảng thời gian nghiên cứu tới 20 ngày và có xem xét ảnh hưởng của các yếu tố tới giá trị K₁. Tại Việt Nam, đã có một số ít công trình nghiên cứu có xác định hệ số phân hủy chất hữu cơ trong nước sông bởi nhóm vi khuẩn hiếu khí nhưng quy mô thực hiện với số lượng mẫu ít, thời gian thực hiện ngắn và đặc biệt là chưa có xác định các loài vi khuẩn hiếu khí đóng vai trò chủ đạo tham gia vào quá trình phân hủy chất hữu cơ trong nước sông [11–14].

Sông Cái là một nhánh của sông Đồng Nai, chảy qua địa bàn các xã Đại Phước, Long Tân, Phú Thạnh của huyện Nhơn Trạch, tỉnh Đồng Nai. Sông Cái có vai trò hết sức quan trọng đối với khu vực thông qua các chức năng của nó như: Vận tải (vận chuyển phù sa, giao thông thủy), bảo vệ (tiếp nhận, đồng hóa các chất ô nhiễm, thoát lũ, điều hòa vi khí hậu), sản xuất (tưới tiêu, cung cấp nước sinh hoạt) [11–14]. Vì vậy, đánh giá mức độ đa dạng của cộng đồng vi khuẩn hiếu khí và xác định các loài vi khuẩn hiếu khí đóng vai trò chủ đạo phân hủy chất hữu cơ trong nước sông Cái bằng phương pháp MALDI–TOF nhằm làm rõ bản chất của quá trình phân hủy chất hữu cơ để phân hủy sinh học và bổ sung vào cơ sở dữ liệu thống kê thành phần vi khuẩn hiếu khí trong nước sông, từ đó làm cơ sở khoa học để đưa ra giải pháp bảo vệ chất lượng nước sông.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Sông Cái có chiều dài khoảng 10km, chiều rộng 220–380 m, độ sâu giữa dòng 15–20 m tùy theo từng vị trí. Theo TCVN 6663–6:2018 [15], mẫu nước sông được lấy theo chiều dài sông tại 5 vị trí, mỗi vị trí cách nhau 2,0–2,5 km (kí hiệu N1–N5). Tại từng vị trí lấy 18 mẫu: Giữa dòng lấy 3 mẫu theo độ sâu, giữa bờ phải lấy 2 mẫu theo độ sâu, giữa bờ trái lấy 2 mẫu theo độ sâu, bờ phải lấy 1 mẫu và bờ trái lấy 1 mẫu và mẫu nước sông được lấy theo triều kiệt và triều cường. Mẫu nước sông tại từng vị trí là mẫu tổ hợp của 18 mẫu đơn. Sử dụng thiết bị lấy mẫu theo độ sâu của hãng Wildco (Mỹ). Mẫu được chứa trong can nhựa, bảo quản lạnh ở nhiệt độ 1–5°C, vận chuyển về phòng thí nghiệm trong ngày.

Bảng 1. Các hóa chất sử dụng cho quá trình nghiên cứu.

TT	Hóa chất	Mô tả
1	NA (Nutrient agar)	Dạng bột, M001, hãng Himedia/Ấn Độ. Sử dụng NA làm môi trường để cấy trang vi sinh vật.
2	NB (Nutrient broth)	Dạng bột, M002, hãng Himedia/Ấn Độ. Sử dụng NB để làm môi trường tăng sinh vi sinh vật.
3	Axit formic 98%	Dạng lỏng, hãng Merck/Đức. Sử dụng axit formic trong định danh vi khuẩn.
4	Matrix IVD HCCA– portioned	Dạng lỏng, hãng Bruker/Đức. Sử dụng dung dịch matrix IVD HCCA–portioned trong định danh vi khuẩn.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

a. Phương pháp phân lập vi sinh vật

Theo [16–17], phân lập vi sinh vật gồm 4 bước: Chuẩn bị thạch đĩa, pha loãng mẫu, phân lập và định lượng vi sinh vật bằng phương pháp đếm khuẩn lạc.

b. Phương pháp phân loại vi khuẩn bằng khối phổ protein MALDI-TOF

Định danh vi khuẩn bằng dấu ấn phân tử dựa trên nguyên tắc so sánh sự tương đồng của phổ protein từ mẫu vi khuẩn mục tiêu với cơ sở dữ liệu của gần 6.000 chủng vi sinh vật khác nhau trong thư viện Database. Thư viện MBT database version MSP 5627 thuộc hệ thống định danh Maldibio typer System. Phần mềm định danh: MBT RTC 3.1. Thiết bị Model: Microflex LT/SH; Hãng sản xuất: Bruker/Đức. Kết quả được đánh giá phân tích dựa trên mức tương đồng với database thông qua điểm tương đồng (*score values*).

Theo [18], quy trình định danh vi khuẩn bằng khối phổ protein MALDI-TOF gồm 4 bước: Phết mẫu và thêm matrix, đưa mẫu vào hệ thống và tạo phổ, so sánh phổ với dữ liệu và xem kết quả.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Số dòng khuẩn lạc hiếu khí

Kết quả xác định số dòng khuẩn lạc hiếu khí của nước sông Cái bằng phương pháp phân lập vi sinh ở các thời điểm khác nhau được trình bày trong hình sau.

Thời gian/mẫu	Kí hiệu dòng khuẩn lạc hiếu khí																																																	
Tháng 6/2019																																																		
N1					6										13						21				23																									
N2		3								8					13							16					20		22																					
N3	1				6					9																19	20																							
N4	1	3								7																19	20																							
N5		3								7																16		19		21		23																		
Tháng 8/2019																																																		
N1										8	9															13					19	20																		
N2										7																						20		22																
N3	1				6										10												13				16		19		21															
N4		3								8																					16				22															
N5		3													10																			21																
Tháng 10/2019																																																		
N1	1				5	6	7			9																			17				20				23													
N2																																	16				25													
N3	1	2								7	8																										21													
N4	1									7	9																										25													
N5	2				5					7	8																	12						16			20													
Tháng 12/2019																																																		
N1	1	2			5					7	8																									20														
N2										7																										21		25												
N3	1				5					7																										16														
N4	2									7																									12		16													
N5										7	8	9																									12													
Tháng 2/2020																																																		
N1										6	7																									18		21		24										
N2					4																																14	15	16		21									
N3					4																																18		20	21	22									
N4										6	8	9																										14	15		21									
N5										7	9																											14	15		21									
Tháng 4/2020																																																		
N1																																					9		18		21									
N2										4																													11		16	18	21	22						
N3																																									14	15		20	21		24			
N4																																											7	9		15		20		24
N5																																											8	9		14			21	

Hình 1. Số dòng khuẩn lạc hiếu khí ở nước sông Cái.

Tổng số dòng khuẩn lạc hiếu khí ở nước sông Cái xác định tại 6 thời điểm là 25 dòng khuẩn lạc hiếu khí, kí hiệu từ (1) đến (25).

– Tại thời điểm tháng 6/2019 phát hiện 14 dòng khuẩn lạc hiếu khí, đó là các dòng có kí hiệu: (1), (3), (6), (7), (8), (9), (10), (13), (16), (19), (20), (21), (22), (23).

– Tại thời điểm tháng 8/2019 phát hiện 13 dòng khuẩn lạc hiếu khí, đó là các dòng có kí hiệu: (1), (3), (6), (7), (8), (9), (10), (13), (16), (19), (20), (21), (22).

– Tại thời điểm tháng 10/2019 phát hiện 15 dòng khuẩn lạc hiếu khí, đó là các dòng có kí hiệu: (1), (2), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (12), (16), (17), (20), (21), (23), (25).

– Tại thời điểm tháng 12/2019 phát hiện 12 dòng khuẩn lạc hiếu khí, đó là các dòng có kí hiệu: (1), (2), (5), (7), (8), (9), (10), (12), (16), (20), (21), (25).

– Tại thời điểm tháng 2/2020 phát hiện 14 dòng khuẩn lạc hiếu khí, đó là các dòng có kí hiệu: (4), (6), (7), (8), (9), (10), (14), (15), (16), (18), (20), (21), (22), (24).

– Tại thời điểm tháng 4/2020 phát hiện 14 dòng khuẩn lạc hiếu khí, đó là các dòng có kí hiệu: (4), (6), (7), (8), (9), (11), (14), (15), (16), (18), (20), (21), (22), (24).

Tại từng thời điểm số dòng khuẩn lạc hiếu khí trong nước sông Cái phát hiện dao động trong khoảng 12–15 dòng; trong đó có 7 dòng khuẩn lạc hiếu khí luôn luôn hiện diện cả trong 6 đợt thu mẫu, đó là dòng có kí hiệu: (6), (7), (8), (9), (16), (20), (21). Điều này cho thấy 7 dòng khuẩn lạc hiếu khí này tồn tại quanh năm trong nước sông Cái. Các dòng khuẩn lạc hiếu khí còn lại tùy thuộc vào điều kiện môi trường tại từng thời điểm trong năm (như mùa mưa, mùa khô, giao mùa) có thể xuất hiện hoặc không.

3.2. Định danh các loài vi khuẩn hiếu khí

Trên cơ sở số dòng khuẩn lạc hiếu khí xác định ở trên, định danh các loài vi khuẩn hiếu khí bằng phương pháp khối phổ protein MALDI–TOF.

Bảng 2. Định danh các loài vi khuẩn hiếu khí trong nước sông Cái.

Kí hiệu dòng khuẩn lạc	Tên loài vi khuẩn hiếu khí
1	<i>Achromobacter xylosoxidans</i>
2	<i>Acinetobacter radioresistens</i>
3	<i>Aeromonas caviae</i>
4	<i>Aeromonas enteropelogenes</i>
5	<i>Arthrobacter gangotriensis</i>
6	<i>Bacillus atrophaeus</i>
7	<i>Bacillus cereus</i>
8	<i>Bacillus megaterium</i>
9	<i>Bacillus pumilus</i>
10	<i>Bacillus sonorensis</i>
11	<i>Chromobacterium violaceum</i>
12	<i>Comamonas testosteroni</i>
13	<i>Enterobacter kobei</i>
14	<i>Escherichia coli</i>
15	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
16	<i>Lactobacillus amylovorus</i>
17	<i>Neisseria meningitidis</i>
18	<i>Pantoea agglomerans</i>
19	<i>Pseudomonas mendocina</i>
20	<i>Pseudomonas putida</i>
21	<i>Pseudomonas libanensis</i>
22	<i>Pseudomonas otitidis</i>
23	<i>Rheinheimera soli</i>
24	<i>Sphingomonas adhaesiva</i>
25	<i>Stenotrophomonas nitritireducens</i>

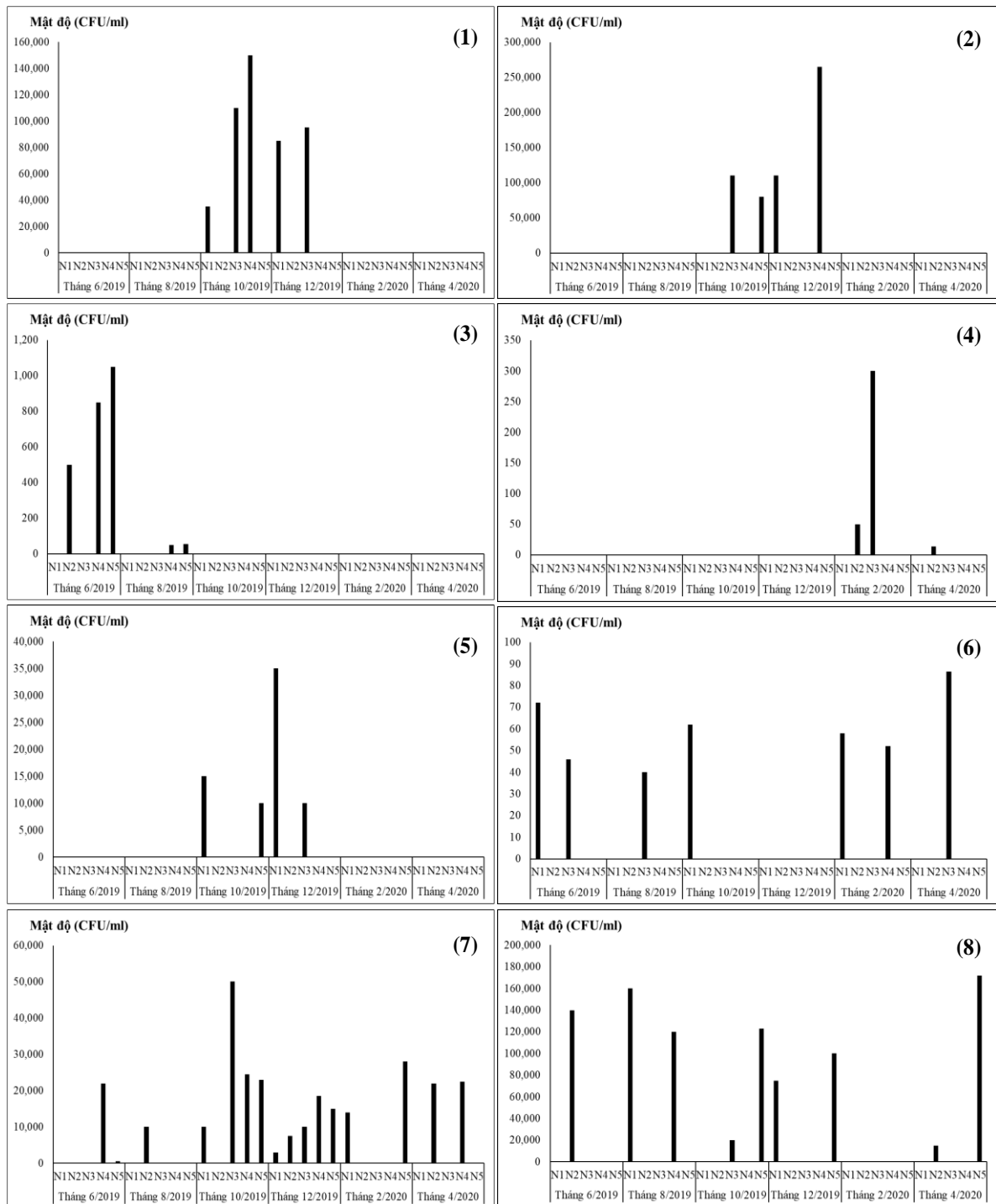
Bằng phương pháp khối phổ protein MALDI–TOF đã định danh được 25 loài vi khuẩn hiếu khí trong nước sông Cái là: *Achromobacter xylosoxidans*, *Acinetobacter radioresistens*, *Aeromonas caviae*, *Aeromonas enteropelogenes*, *Arthrobacter gangotriensis*, *Bacillus atrophaeus*, *Bacillus cereus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus sonorensis*, *Chromobacterium violaceum*, *Comamonas testosteroni*,

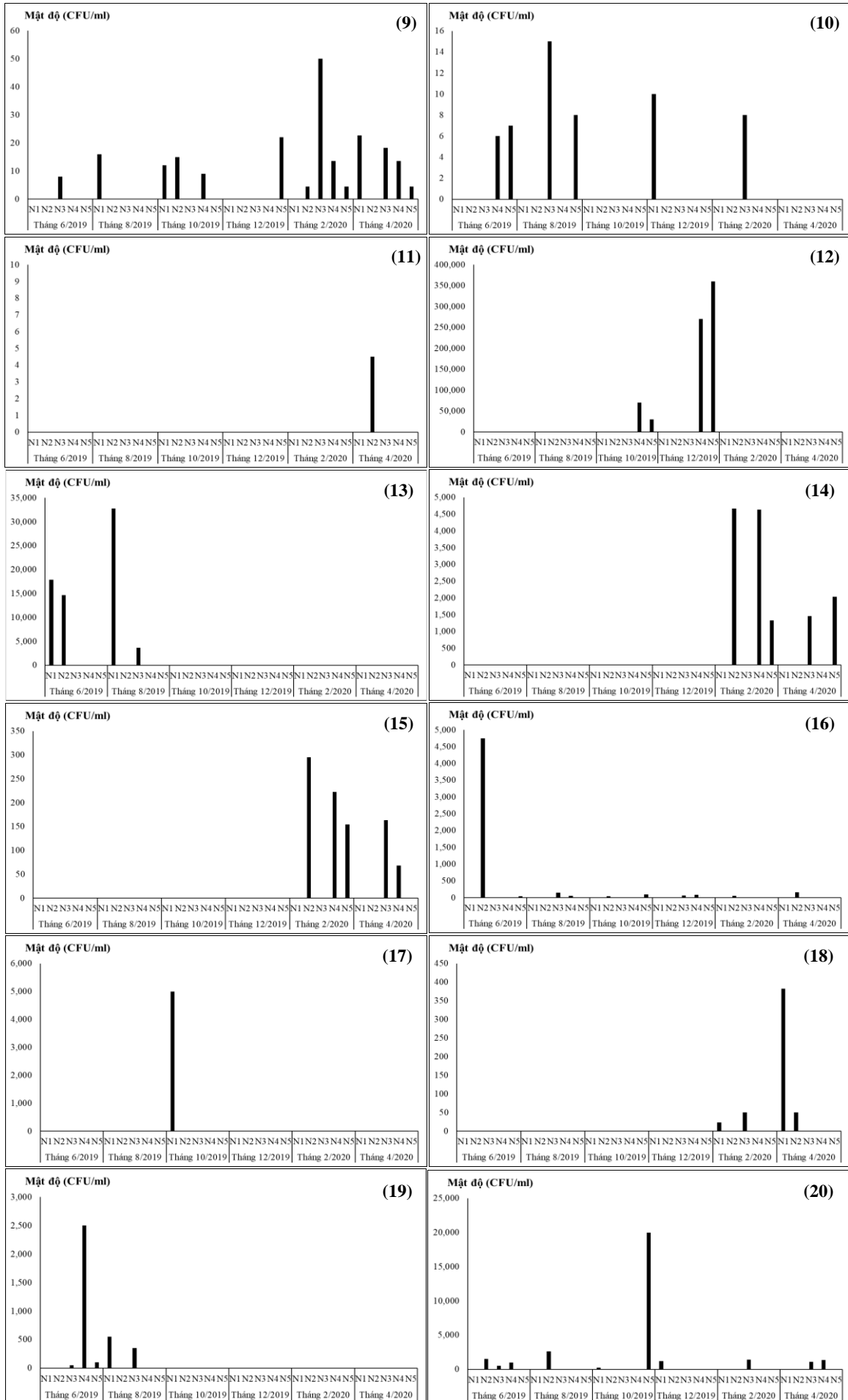
Enterobacter kobei, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Lactobacillus amylovorus*, *Neisseria meningitidis*, *Pantoea agglomerans*, *Pseudomonas mendocia*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas libanensis*, *Pseudomonas otitidis*, *Rheinheimera soli*, *Sphingomonas adhaesiva*, *Stenotrophomonas nitritireducens*.

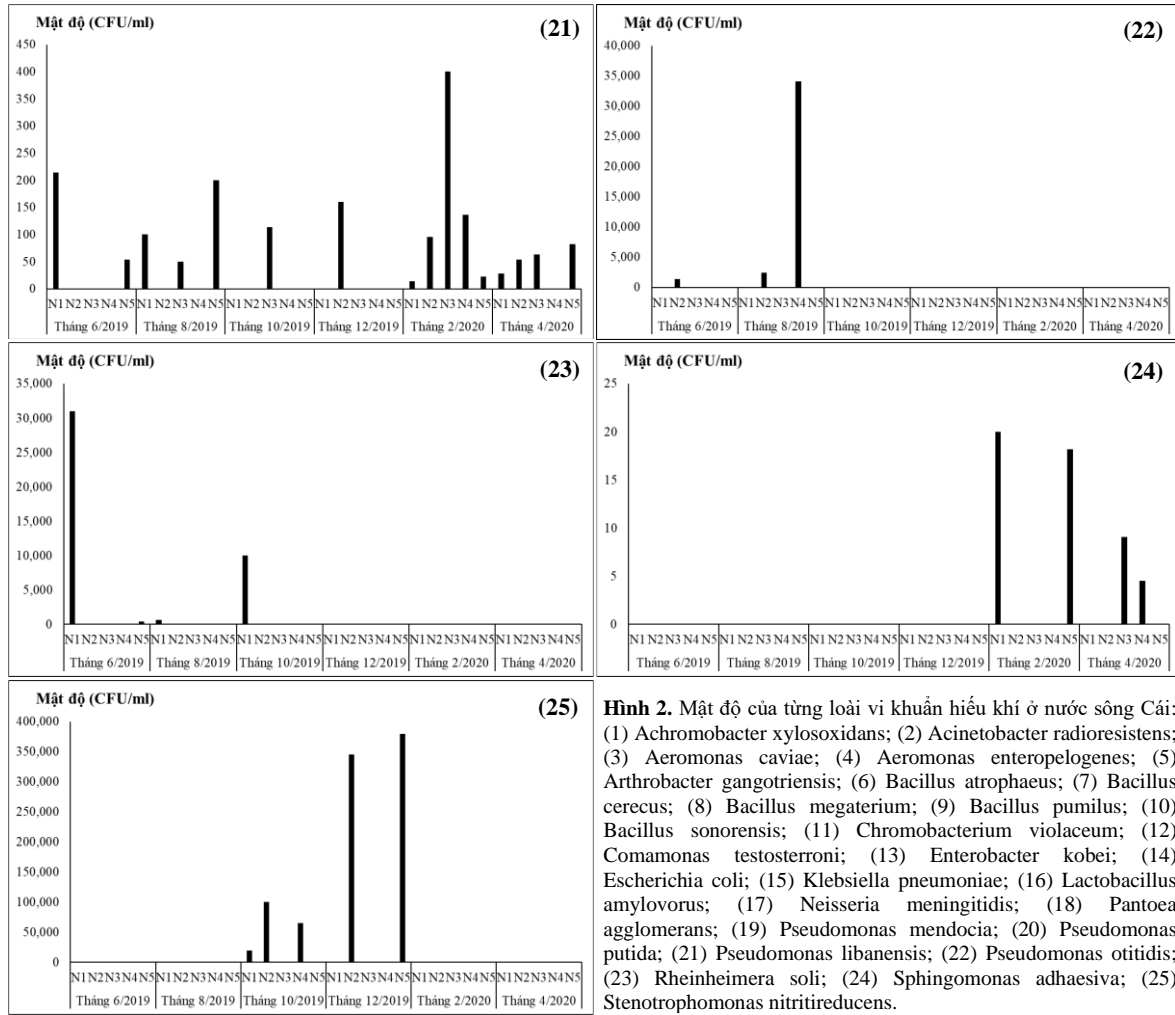
Các loài vi khuẩn hiếu khí tồn tại quanh năm trong nước sông Cái là: *Bacillus atrophaeus*, *Bacillus cereus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Lactobacillus amylovorus*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas libanensis*.

3.3. Mật độ của từng loài vi khuẩn hiếu khí

Mật độ của từng loài vi khuẩn hiếu khí trong nước sông Cái xác định bằng phương pháp đếm khuẩn lạc được trình bày trong hình 2.







Hình 2. Mật độ của từng loài vi khuẩn hiếu khí ở nước sông Cái: (1) *Achromobacter xylosoxidans*; (2) *Acinetobacter radioresistens*; (3) *Aeromonas caviae*; (4) *Aeromonas enteropelogenes*; (5) *Arthrobacter gangotriensis*; (6) *Bacillus atrophaeus*; (7) *Bacillus cereus*; (8) *Bacillus megaterium*; (9) *Bacillus pumilus*; (10) *Bacillus sonorensis*; (11) *Chromobacterium violaceum*; (12) *Comamonas testosteroni*; (13) *Enterobacter kobei*; (14) *Escherichia coli*; (15) *Klebsiella pneumoniae*; (16) *Lactobacillus amylovorus*; (17) *Neisseria meningitidis*; (18) *Pantoea agglomerans*; (19) *Pseudomonas mendocina*; (20) *Pseudomonas putida*; (21) *Pseudomonas libanensis*; (22) *Pseudomonas otitidis*; (23) *Rheinheimera soli*; (24) *Sphingomonas adhaesiva*; (25) *Stenotrophomonas nitritireducens*.

Trong số 25 loài vi khuẩn hiếu khí trong nước sông Cái có 6 loài có mật độ vi khuẩn trung bình > 9.000 CFU/ml, đó là: *Achromobacter xylosoxidans*, *Acinetobacter radioresistens*, *Bacillus cereus*, *Bacillus megaterium*, *Comamonas testosteroni*, *Stenotrophomonas nitritireducens*. Đây là những loài vi khuẩn hiếu khí đóng vai trò chủ đạo phân hủy chất hữu cơ trong nước sông Cái. Trong số 6 loài vi khuẩn hiếu khí này có 2 loài tồn tại quanh năm là *Bacillus cereus*, *Bacillus megaterium*.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã xác định 25 dòng khuẩn lạc hiếu khí ở nước sông Cái. Trong đó có 6 loài có mật độ vi khuẩn trung bình > 9.000 CFU/ml, đó là: *Achromobacter xylosoxidans*, *Acinetobacter radioresistens*, *Bacillus cereus*, *Bacillus megaterium*, *Comamonas testosteroni*, *Stenotrophomonas nitritireducens*. Đây là những loài vi khuẩn hiếu khí đóng vai trò chủ đạo phân hủy chất hữu cơ trong nước sông Cái. Trong số 6 loài vi khuẩn hiếu khí này có 2 loài tồn tại quanh năm là *Bacillus cereus*, *Bacillus megaterium*. Hạn chế của kết quả nghiên cứu này là tính không đồng nhất tại từng vị trí lấy mẫu (không đồng nhất tại từng mặt cắt sông: chiều rộng và chiều sâu của dòng sông).

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: P.C.S., N.V.S.; Xử lý số liệu: N.V.S., H.K.Q.M.; N.T.T.; Viết bản thảo bài báo: N.V.S., H.K.Q.M.; P.C.S., N.T.T.; Chính sửa bài báo: N.V.S., H.K.Q.M.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của luận án tiến sĩ kỹ thuật “Nghiên cứu quá trình phân hủy chất hữu cơ trong nước sông Cái bởi vi sinh vật”.

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. Thông, P.M.D. Nghiên cứu hằng số động học phân hủy chất hữu cơ dễ phân hủy sinh học làm cơ sở đánh giá khả năng tự làm sạch của sông Sài Gòn (đoạn từ cầu Bình Phước đến cầu Bình Lợi). Báo cáo tổng kết đề tài, Trung tâm Công nghệ Môi trường, 2015, tr. 75.
2. Phạm, L.Đ. Công nghệ xử lý nước thải bằng biện pháp sinh học. NXB Giáo dục, 2007, tr. 339.
3. Microbiology. API (analytical profile index) 20E test – procedure, uses and interpretation. 2022.
4. Pitt, T.L.; Barer, M.R. Classification, identification and typing of micro-organisms. *Mol. Biol.* **2012**, 24–38.
5. National Library of Medicine. Basic local alignment search tool (BLAST). 2023.
6. Kumar, S.; Stecher, G.; Tamura, K. Molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets. *Mol. Biol. Evol.* **2016**, 33(7), 1870–1874.
7. Etienne, C.; Cécile, M.; Emmanuelle, B.; Nesrine, D.; Brunhilde, D.; Jean, L.B.; Agnès, F.; Laurent, G.; Xavier, N. MALDI–TOF mass spectrometry tools for bacterial identification in clinical microbiology laboratory. *Clin. Biochem.* **2011**, 44(1), 104–9.
8. Sachio, T.; Hiroshi, U.; Tomohiro, N. Current status of matrix–assisted laser desorption/ionization–time–of–flight mass spectrometry (MALDI–TOF MS) in clinical diagnostic microbiology. *Molecules* **2020**, 25(20), 4775.
9. Luke, P.R.; Fabrizio, L.; Mark, K.; Jon, R.; Roger, D.A.; Danny, W.; Monika, K.; Andrew, S.; Kirsty, L.; Peter, W.; Jakub M.; Markus K.; Adrian M.W. Evaluation of MALDI–ToF as a method for the identification of bacteria in the veterinary diagnostic laboratory. *Res. Vet. Sci.* **2015**, 101, 42–49.
10. Agustín, C.; Silvana, D.; Claudia, B.; Cesar, B.; Mirta, L.; Carlos, V.; Liliana, O.; Carina, P.; Claudia, R. Differentiation of non–aureus staphylococci species isolated from bovine mastitis by PCR–RFLP of groEL and gap genes in comparison to MALDI–TOF mass spectrometry. *Microbial Pathogenesis* **2020**, 149, 104489.
11. Sơn, N.V. Xác định tốc độ phân hủy chất hữu cơ trong nước sông Cái. *Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ quân sự* **2020**, số đặc san Hội thảo Quốc gia FEE, 10/2020, tr. 403–407.
12. Sơn, N.V. Xác định ảnh hưởng của độ mặn đến tốc độ phân hủy chất hữu cơ trong nước sông Cái. *Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ quân sự* **2021**, số đặc san HNKH dành cho NCS và CBNC trẻ, tr. 223–228.
13. Sơn, N.V.; Sy, P.C.; Tien, N.T. Determination of the pH effect on deoxygenation rate in water of Cai river – Dong Nai province. *Tạp chí Khoa học Đại học Sài Gòn* **2023**, 85, 3–9.
14. Sơn, N.V.; Sy, P.C.; Tien, N.T. Xác định ảnh hưởng của nhiệt độ đến tốc độ phân hủy chất hữu cơ trong nước sông Cái – tỉnh Đồng Nai. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*. **2023**, 748, 42–52.
15. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 6663–6:2018. Chất lượng nước – Lấy mẫu – Phần 6: Hướng dẫn lấy mẫu nước sông và suối, tr. 27.
16. Đức, V.T.M. Thực tập vi sinh vật học. NXB Đại học Quốc gia Hà Nội, 2001, tr. 146.
17. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 11039–1:2015. Phần 1: Xác định tổng số vi sinh vật hiếu khí bằng kỹ thuật đếm đĩa, tr. 12.

18. Neelja, S. MALDI–TOF mass spectrometry: An emerging technology for microbial identification and diagnosis. *Front Microbiol.* **2015**, *6*, 791.
19. Alvarez–Buylla A.; Culebras, E.; Picazo, J.J. Identification of Acinetobacter species: is Bruker biotyper MALDI–TOF mass spectrometry a good alternative to molecular techniques. *Infect. Genet. Evol.* **2012**, *12*, 345–349.
20. Alshawa, K.; Beretti, J.L.; Lacroix, C.; Feuilhade, M.; Dauphin, B.; Quesne, G. Successful identification of clinical dermatophyte and neoscytalidium species by matrix–assisted laser desorption ionization–time of flight mass spectrometry. *J. Clin. Microbiol.* **2012**, *50*, 2277–2281.

Evaluation of the diversity of aerobic bacteria community and identification of aerobic bacteria species that play a key role in decomposing organic matter of Cai river – Dong Nai province by the MALDI–TOF method

Nguyen Van Son^{1*}, Phung Chi Sy¹, Nguyen The Tien¹, Ho Ky Quang Minh²

¹ Vietnam Institute for Tropical Technology and Environmental Protection; sonvittep@gmail.com; entecvn@yahoo.com; thetien1960@gmail.com

² Sai Gon University; hkqminh@sgu.edu.vn

Abstract: Microorganisms are considered as key in the natural self–cleaning process, in which aerobic bacteria play a very important role in the decomposition of biodegradable organic matter for the river. Evaluation of the diversity of aerobic bacteria community and identification of aerobic bacteria species that play a key role in decomposing organic matter for the river is aimed to better clarify the decomposition process of biodegradable organic matter for the river and added to the statistical database of aerobic bacteria composition in river water, from that making a scientific basis for proposal of solutions to protect river water quality. In this study, the river water sample is a composite sample of 18 samples taken at two times of high tide and low tide at one location and one time; there are all 5 sampling locations along the length of the Cai river and taken at 6 times: June 2019, August 2019, October 2019, December 2019, February 2020, April 2020. The results have identified 25 aerobic bacteria species for Cai river, in which there are 6 aerobic bacteria species that play a key role in decomposing organic matter in river water and 2 aerobic bacteria species exist all time during year round among these 6 dominant aerobic bacteria species.

Keywords: Aerobic bacteria; Cai river; MALDI–TOF.

Bài báo khoa học

Kết hợp công nghệ chụp ảnh từ UAV và mặt đất xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D cho thành phố thông minh

Lê Thị Thu Hà¹, Nguyễn Quốc Long^{1*}

¹ Trường Đại học Mở – Địa chất; lethithuha@humg.edu.vn;
nguyenquoclong@humg.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nguyenquoclong@humg.edu.vn; Tel.: +84–916196336

Ban Biên tập nhận bài: 5/2/2023; Ngày phản biện xong: 28/4/2023; Ngày đăng bài: 25/5/2023

Tóm tắt: Hạ tầng cơ sở dữ liệu của thành phố thông minh bao gồm một hệ thống dữ liệu không gian địa lý 3D được sử dụng như một nền tảng cho các ứng dụng như thiết kế, xây dựng, đề xuất phương án ứng phó trong các trường hợp khẩn cấp. Hiện nay, trong quá trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý thành phố 3D thường sử dụng phương pháp thu thập dữ liệu bằng các công nghệ địa không gian trong đó công nghệ chụp ảnh mặt đất và công nghệ chụp ảnh bằng máy bay không người lái (UAV) là phương pháp đảm bảo độ tin cậy và có giá thành thấp. Mặc dù các tiêu chuẩn đã được quy định theo chuẩn quốc tế, tuy nhiên do sự khác nhau về độ tin cậy của các loại dữ liệu, các mức độ chi tiết khác nhau đối với mỗi loại đối tượng địa lý cho từng khu vực cụ thể, do vậy vẫn cần phải nghiên cứu bổ sung, kết hợp các loại dữ liệu cho phù hợp với nhu cầu và đặc thù từng khu vực. Nghiên cứu này tập trung vào đề xuất quy trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D cho thành phố thông minh từ các dữ liệu bay chụp ảnh bằng UAV và chụp ảnh mặt đất. Kết quả thực nghiệm đã xây dựng được dữ liệu không gian địa lý 3D của dãy biệt thự liền kề ở mức độ chi tiết cao (LoD3), mức LoD3 với sai số trung phương của các điểm kiểm tra nhân được $m\Delta x = 1,4$ cm; $m\Delta y = 1,6$ cm; $m\Delta z = 1,7$ cm.

Từ khóa: Dữ liệu không gian địa lý 3D; UAV; Chụp ảnh mặt đất; Thành phố thông minh.

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh chuyển đổi số để xây dựng thành phố thông minh, dữ liệu không gian địa lý 3D của thành phố ngày càng trở thành dữ liệu không gian quan trọng, nó có thể là nền tảng cho hệ thống thông tin tích hợp của thành phố thông minh [1–2]. Thành phố thông minh là thành phố phát triển bền vững dựa trên những ứng dụng công nghệ thông tin. Một trong những hợp phần cốt lõi của công nghệ thông tin là CSDL không gian địa lý 3D [3]. Để thành lập dữ liệu không gian địa lý thành phố 3D, có nhiều phương pháp đã được thực hiện bao gồm: phương pháp ảnh hàng không lập thể, phương pháp sử dụng ảnh vệ tinh lập thể, phương pháp bản đồ sẵn có, phương pháp chụp ảnh panorama từ nhiều điểm đứng máy, phương pháp sử dụng ảnh máy bay không người lái, phương pháp từ quay phim 3D, phương pháp quét Lidar mặt đất; phương pháp sử dụng hệ thống bản đồ di động (*Mobile mapping system*), ...Hoặc có sự kết hợp từ hai phương pháp trở lên để có độ chi tiết và độ chính xác cao hơn theo từng nhu cầu cụ thể như: phương pháp kết hợp ảnh hàng không và bản đồ có sẵn; phương pháp sử dụng hệ thống thông tin địa lý kết hợp các dữ liệu đo đạc, phương pháp sử dụng ảnh vệ tinh đơn lẻ độ phân giải rất cao kết hợp điểm khống chế và bóng địa vật, ... [4–20].

[21] đã thử nghiệm phương pháp sử dụng dữ liệu từ UAV với độ phân giải thấp (640 × 480 pixel) để thành lập mô hình thành phố dạng 3D. Phim được quay và nắn chỉnh hình học

Tạp chí Khí tượng Thủy văn 2023, 749, 21-31; doi:10.36335/VNJHM.2023(749).21-31 <http://tapchikttv.vn/>

đồng thời với việc bay chụp, do đó, sử dụng ảnh với kích thước ảnh lớn thường sẽ không khả thi do giới hạn xử lý của máy tính. Trung tâm thành phố Konya của Thổ Nhĩ Kỳ đã được xây dựng ở dạng dữ liệu không gian địa lý thành phố 3D với diện tích đạt tới 300 km², bao gồm 300 000 tòa nhà, 5 khu vực lịch sử và du lịch nổi tiếng, quan trọng của thành phố đã được xây dựng ở mức chi tiết cao, nhóm tác giả Yalcin và Selcuk đã thực hiện công việc này năm 2014 dựa trên 42.000 tấm ảnh hàng không có độ phân giải cao [22]. Một ví dụ điển hình của việc sử dụng kết hợp bởi nhiều dữ liệu không gian khác nhau, Over và cs. đã sử dụng dữ liệu từ OpenStreetMap và mô hình số bề mặt để thành lập dữ liệu không gian địa lý 3D các thành phố ở Đức [23]. OpenStreetMap là dự án thu thập dữ liệu không gian từ người dùng tự nguyện thông qua nhiều phương tiện như ảnh chụp phổ thông có gắn GPS hoặc số hóa ảnh vệ tinh, ảnh máy bay. Nguồn dữ liệu này thường có độ chính xác không đồng nhất do được xây dựng từ đa nguồn dữ liệu thứ cấp. Công nghệ máy bay không người lái UAV được sử dụng phổ biến trong khoảng 10 năm gần đây để xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D của các công trình kiến trúc cũng như cho các thành phố trên thế giới. Mô hình 3D của lâu đài Landenberg đã được xây dựng dựa trên máy ảnh thông thường gắn trên máy bay để chụp vòng quanh nhà thờ ở góc nghiêng 70° và chụp thẳng trên nóc với độ phân giải mặt đất là 10 m. Hơn nữa ảnh chụp từ mặt đất bốn phía của lâu đài cũng được sử dụng để bổ sung hình ảnh bề mặt lâu đài trong mô hình 3D [24].

Tổng công ty Tài nguyên và Môi trường Việt Nam là đơn vị có nhiều nghiên cứu ứng dụng các công nghệ địa không gian trong nghiên cứu và xây dựng quy trình thành lập cơ sở dữ liệu không gian địa lý và bản đồ ba chiều tỷ lệ lớn phục vụ quy hoạch phát triển đô thị, kiến trúc, trong nhiệm vụ bảo trì duy tu các di tích lịch sử, mô phỏng thực địa trong mục đích phân định đường biên giới quốc gia,... [25–29]. [30] đã sử dụng dữ liệu trong khu vực thử nghiệm là ảnh chụp từ UAV kết hợp với các dữ liệu bản đồ khác để thành lập dữ liệu không gian địa lý 3D khu vực nghiên cứu với định dạng CityGML. Kết quả nghiên cứu [31] cũng đã tiến hành đề xuất được bộ thuật toán giúp tự động phân loại dữ liệu đám mây điểm ra 8 phân lớp khác nhau, đồng thời đề xuất được quy trình xây dựng mô hình 3D thành phố tự động từ dữ liệu LiDAR hàng không cho khu vực Hòn Gai, Hạ Long, Quảng Ninh. [32] đã xây dựng và thử nghiệm thành công quy trình xây dựng và biểu diễn trực quan mô hình 3D toàn bộ khuôn viên Khu A–HUMG trên nền web bằng công cụ mã nguồn mở 3DCityDB và thư viện CesiumJS. [33] đã thử nghiệm ứng dụng kết hợp dữ liệu ảnh UAV với dữ liệu quét Lidar mặt đất trong xây dựng mô hình số 3D mức độ chi tiết cao (LoD-3) cho công trình nhà cao tầng trong khu vực đô thị ven biển tại Hạ Long, Quảng Ninh, Việt Nam. Các công trình nghiên cứu liên quan đến kết hợp các thiết bị bay và máy ảnh, máy quét LiDAR cho công tác xây dựng dữ liệu thành phố 3D ở Việt Nam còn chưa phổ biến do giá thành rất cao, các yêu cầu phần mềm và phần cứng cho lưu trữ, xử lý số liệu còn hạn chế.

Nghiên cứu này tập trung xây dựng phương án thành lập dữ liệu không gian địa lý 3D với tiêu chí giảm tối đa giá thành, phương án triển khai đơn giản, hiệu quả, được thực hiện với các thiết bị phổ biến trên thị trường tại Việt Nam. Để xử lý dữ liệu không gian thành dữ liệu không gian địa lý 3D, một chuỗi các phần mềm đã sử dụng bao gồm: xử lý ảnh chụp từ UAV và số hóa các đường đặc trưng (lề đường, cạnh tòa nhà, mái nhà, ống khói và đường bên trong tòa nhà) bằng phần mềm SketchUp. Các đường, đối tượng, số hóa và phân loại thủ công theo các mức độ chi tiết khác nhau. Tất cả các đường đặc trưng sau đó được đưa vào phần mềm FME để xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D cho thành phố và xuất ra kết quả theo tiêu chuẩn CityGML. Phương pháp kết hợp dữ liệu ảnh máy bay UAV và chụp ảnh mặt đất sẽ cần xử lý một khối lượng lớn dữ liệu không gian. Đồng thời độ phân giải của ảnh chụp từ UAV cho độ phân giải cao, việc bay chụp sẽ phải thực hiện lặp lại ở các góc khác nhau để đáp ứng được việc xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D với độ chính xác tương đương hoặc lớn hơn bản đồ tỷ lệ 1:1.000.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu sử dụng

2.1.1. Số liệu ảnh chụp từ UAV

Đi đôi với UAV có gắn máy ảnh, các UAV hiện tại còn lắp đặt thiết bị đo GPS động độ chính xác cao (RTK) sẽ giảm đáng kể việc phải bố trí đo đạc các điểm khống chế ngoài thực địa. Các kỹ thuật bay chụp theo sơ đồ thiết kế tuyến bay theo lưới vòng góc, bay chụp ở các độ cao với góc nghiêng ống kính được áp dụng cho nhà cao tầng trong đô thị nhằm cung cấp mô hình số bề mặt (DSM) ở dạng đám mây điểm với độ chính xác có thể phục vụ xây dựng dữ liệu không địa lý 3D ở LoD2 hoặc LoD3.

2.1.2. Số liệu ảnh chụp mặt đất

Mặc dù UAV có khả năng cung cấp mô hình số bề mặt ở phạm vi rộng nhờ bay chụp được ở trên cao. Tuy nhiên một số bề mặt của đối tượng (nhà, cây,...) ở gần mặt đất sẽ bị che khuất bởi các đối tượng bên cạnh và mái hoặc tán của chúng. Để giải quyết phần bị che lấp trong dữ liệu được thành lập bằng ảnh UAV. Phương pháp chụp ảnh lập thể mặt đất có thể cung cấp dữ liệu không gian địa lý 3D cho phần còn thiếu đó. Các ảnh chụp mặt đất sẽ phục vụ xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D ở LoD3 xung quanh các đối tượng mà ảnh UAV không cung cấp được.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Chuẩn dữ liệu CityGML

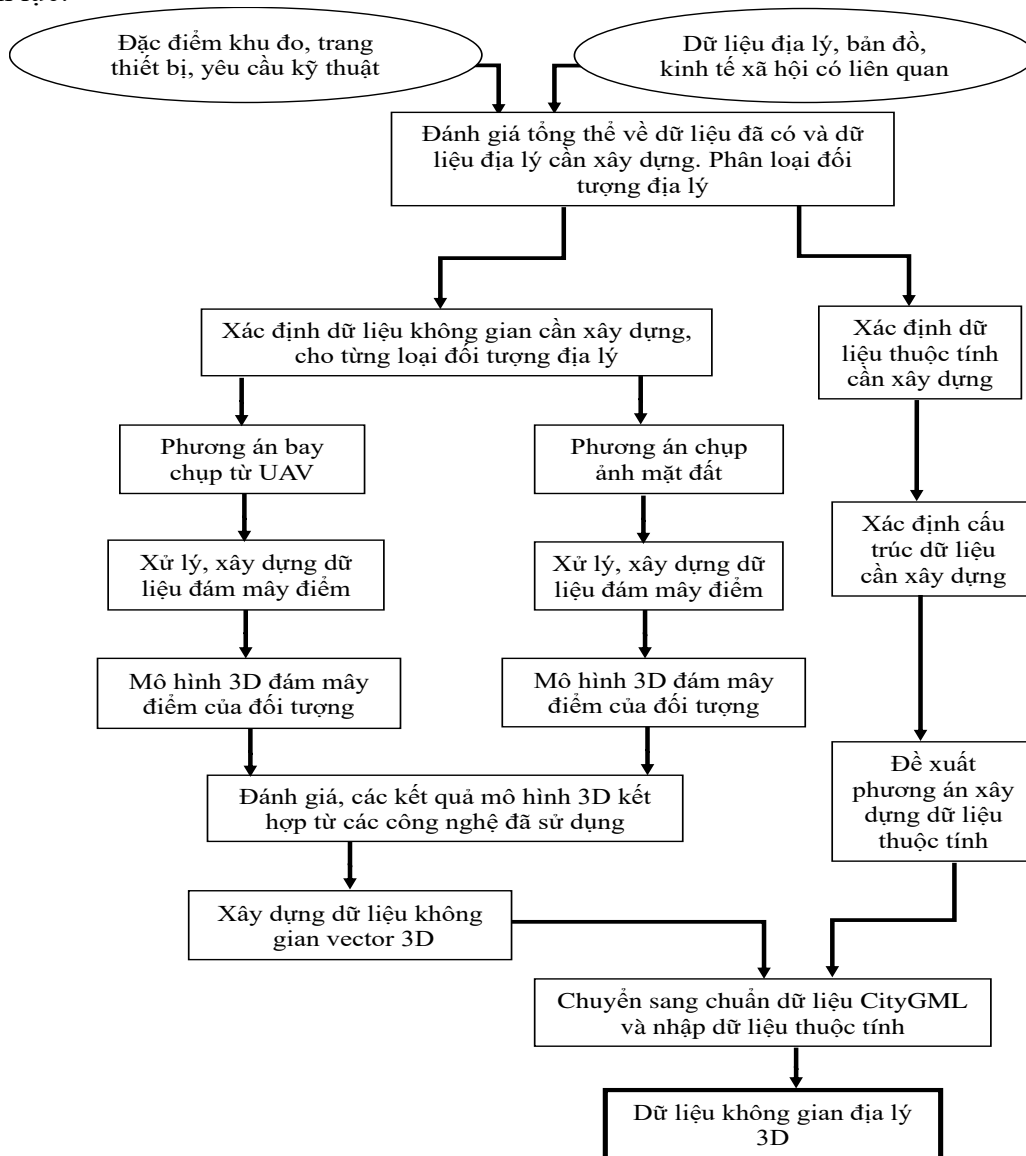
CityGML là chuẩn dưới dạng ngôn ngữ eXtensible Markup Language được xây dựng thành tiêu chuẩn quốc tế do Open GIS Consortium (OGC) đề xuất với mục đích thành lập và trao đổi dữ liệu không gian đô thị 3D. CityGML được xây dựng trên nền tảng của GML 3.1.1 bởi nhóm Special Interest Group 3D (SIG 3D) nằm trong chương trình Geodata Infrastructure North-Rhine Westphalia, Đức. CityGML trình bày cả 4 khía cạnh của mô hình thành phố bao gồm: chuyên đề và ngữ nghĩa, đối tượng hình học, quan hệ hình học giữa các đối tượng và bề ngoài của các đối tượng. Ngoài ra, CityGML còn có các định nghĩa về mức độ chi tiết (LoD) của đối tượng theo 5 mức khác nhau từ LoD0 tới LoD4.

2.2.2. Quy trình thực nghiệm

Nghiên cứu này tập trung xây dựng phương án xây dựng dữ liệu địa lý 3D với tiêu chí giảm tối đa giá thành, phương án triển khai đơn giản, hiệu quả, các thiết bị phổ biến trên thị trường. Hiện nay công nghệ UAV đã có những phát triển đáng kể, UAV có thể mang máy ảnh phổ thông chụp ảnh độ phân giải ở mức cm, độ chính xác rất cao, giá thành rất phải chăng so với công nghệ khác, linh hoạt trong thực hiện bay chụp xử lý, và đặc biệt rất phổ biến trên thị trường. Kết quả xử lý ảnh bay chụp ảnh UAV bao gồm mô hình số bề mặt, đám mây điểm, và bình đồ ảnh. Dữ liệu bình đồ ảnh ở mức chi tiết (cm) sẽ cung cấp hình ảnh chụp từ trên cao của các đối tượng mặt đất, là cơ sở để phân loại đối tượng, xác định ranh giới địa lý của các đối tượng. Nhìn chung, dữ liệu xây dựng từ ảnh máy bay không người lái là dữ liệu cơ bản cho xây dựng cơ sở dữ liệu địa lý 3D. Tuy nhiên, chỉ mình công nghệ ảnh UAV sẽ không đủ để đáp ứng nhu cầu về độ chi tiết, độ chính xác cho một dữ liệu địa lý 3D nói chung. Do đó, cần có sự kết hợp với các công nghệ hiện đại khác phổ biến hiện nay như công nghệ chụp ảnh mặt đất.

Các thiết bị chụp ảnh mặt đất hiện nay cũng đã phổ biến, dễ vận hành và sử dụng. Trong thành lập dữ liệu địa lý 3D khu vực thành phố, công nghệ chụp ảnh mặt đất có thể cung cấp đám mây điểm cho tất cả các ngõ ngách và các sườn của tòa nhà, không những cho các nhà thấp tầng mà còn cho những nhà cao tầng. Đám mây điểm từ chụp ảnh mặt đất sẽ bổ khuyết

cho phần thiếu hụt đám mây điểm tạo lập từ công nghệ UAV. Vì đám mây điểm tạo lập từ công nghệ UAV sẽ cho kết quả theo hướng nhìn xiên từ trên cao xuống, các góc phía trên của mái che hoặc ban công sẽ được hiển thị rõ, nhưng thiếu phần dưới của mái che hoặc ban công. Trong khi công nghệ chụp ảnh mặt đất sẽ bổ xung đám mây điểm ở phần dưới, bị che khuất bởi ban công. Hơn nữa, mật độ điểm trong đám mây điểm của chụp ảnh mặt đất sẽ được tùy chỉnh và có độ chính xác cao nhất, có thể làm dữ liệu tham khảo để hiệu chỉnh dữ liệu tọa độ của đám mây điểm ảnh tạo lập từ UAV và ảnh mặt đất. Tuy nhiên, một nhược điểm của công nghệ chụp ảnh mặt đất là tạo ra được đám mây điểm, từ đó sẽ tạo ra được DSM bề mặt ngang nhưng không tạo ra được ảnh trực giao các mặt của tòa nhà. Công nghệ chụp ảnh mặt đất sẽ là công nghệ được sử dụng để bổ khuyết phần thiếu hụt của công nghệ chụp ảnh mặt đất. Tuy nhiên, dựa trên đặc điểm của khu vực nghiên cứu, đặc điểm của các loại đối tượng địa lý khác nhau, sự tham gia của các công nghệ phụ trợ như chụp ảnh mặt đất, GNSS cũng được áp dụng linh hoạt nhằm tăng độ chính xác, tiết kiệm thời gian, chi phí, nhân lực.



Hình 1. Sơ đồ quy trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D từ dữ liệu UAV, chụp ảnh mặt đất và các dữ liệu địa không gian khác.

Dựa trên phân tích ở trên, công việc này nhằm đề xuất quy trình với sự kết hợp của các công nghệ bao gồm chụp ảnh từ máy bay không người lái và chụp ảnh mặt đất phục vụ xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D của thành phố thông minh. Bên cạnh đó, các công nghệ

truyền thống như toàn đạc điện tử có chế độ đo không gương, đo tọa độ bằng công nghệ RTK GNSS cũng được sử dụng để đo đạc điểm khống chế ảnh, điểm kiểm tra, điểm nối các trạm chụp ảnh mặt đất và đo chi tiết một số điểm ở thực địa. Quy trình được đề xuất bao gồm các bước có sử dụng từng công nghệ riêng và có sự kết hợp các công nghệ để xây dựng được đám mây điểm hoàn chỉnh của tất cả các đối tượng không gian địa lý 3D cần đo vẽ (Hình 1). Ngoài ra, công việc đánh giá độ chính xác các đám mây điểm thành lập từ các công nghệ cũng được thực hiện, từ đó đề xuất các phương án kết hợp các công nghệ thông qua ghép các đám mây điểm cho các đối tượng để đảm bảo yêu cầu cho xây dựng dữ liệu không gian vector 3D cho LoD3. Bên cạnh việc kết hợp các công nghệ để xây dựng đám mây điểm hoàn chỉnh, việc vẽ các đối tượng không gian ở dạng vector 3D và chuyển sang định dạng dữ liệu không gian CityGML cũng được đưa ra trong quy trình. Dữ liệu không gian CityGML là dữ liệu có thể sử dụng để nhập các dữ liệu thuộc tính gắn với các dữ liệu không gian nhằm tạo ra sản phẩm dữ liệu không gian địa lý 3D hoàn chỉnh cuối cùng.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Khu vực thực nghiệm

Khu thực nghiệm trong Hình 2 thuộc phường Bãi Cháy và phường Hùng Thắng, thành phố Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh bao gồm phần chủ yếu thuộc khu đô thị cao cấp ven biển của tập đoàn BIM group xây dựng. Khu đô thị gồm có các biệt thự riêng biệt hoặc các biệt thự liền kề. Ngoài ra có các hệ thống giao thông, cấp thoát nước nội bộ và các công trình công cộng phục vụ sinh hoạt cộng đồng. Một số nhà cao tầng phục vụ nơi ở, khách sạn hoặc trụ sở làm việc của các tổ chức dọc các trục đường chính.



Hình 2. Khu vực thực nghiệm.

3.2. Mô hình đám mây điểm

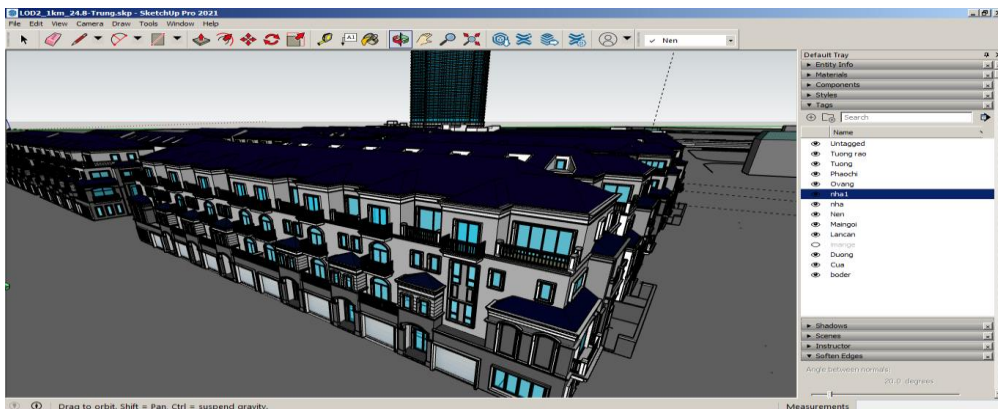
Hình 3 biểu diễn đám mây điểm 3D của một khu biệt thự liền kề (Townhouse) với kiến trúc độc đáo thuộc khu đô thị Grand Bay Hạ Long nhận được từ kết quả bay chụp UAV và chụp ảnh mặt đất trong khu vực 1 (màu xanh) trên Hình 2. Trong đó, Hình 3a biểu diễn đám mây điểm 3D nhận được từ ảnh chụp UAV, Hình 3b thể hiện từ ảnh chụp mặt đất và Hình 3c là kết quả ghép hai đám mây điểm 3D từ chụp ảnh UAV và chụp ảnh mặt đất.



Hình 3. Kết quả đám mây điểm của một dãy biệt thự liền kề từ: (a) Ảnh chụp UAV; (b) Chụp ảnh mặt đất; (c) Ghép từ hai công nghệ UAV và chụp ảnh mặt đất.

3.3. Xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D từ dữ liệu đám mây điểm

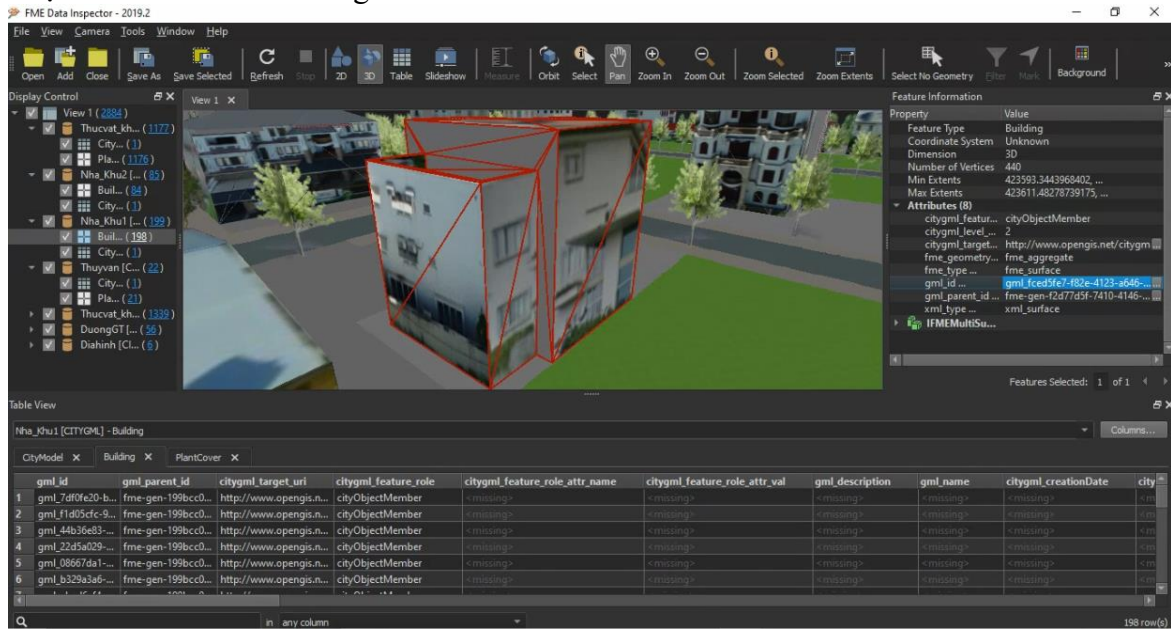
Dữ liệu đồ họa vector 3D với mức độ chi tiết cấp 3 (LoD3) là mức độ đối tượng sẽ được thể hiện giống với thực tế nhất. Dữ liệu này thể hiện chi tiết góc cạnh các mặt của đối tượng, độ lồi lõm của các vật thể trên đối tượng như cửa chính, cửa sổ, hành lang. Mô hình này được tạo từ quá trình đo đạc thực địa và xây dựng trên mô hình trực tiếp trên phần mềm SketchUp Pro 2021. Các đám mây điểm của dãy biệt thự liền kề được vector hóa trong các Hình 4.



Hình 4. Mô hình vector 3D dãy biệt thự liền kề được xây dựng ở LoD3.

3.4. Chuẩn hóa dữ liệu không gian vector 3D theo tiêu chuẩn GML

Sau khi chuyển đổi sang GML mỗi đối tượng trên mô hình 3D được định dạng chuẩn và phân biệt bằng ID, có thể lựa chọn hiển thị thông tin thuộc tính theo các trường dữ liệu mặc định của city GML hoặc cũng có thể liên kết với thông tin thuộc tính do người dùng thiết lập. Đối với lớp dữ liệu không gian Nhà ở sau khi chuyển đổi sang phần mềm FME có dạng bảng thuộc tính chưa có các thông tin như Hình 5.



Hình 5. Nhà ở sau khi chuyển đổi sang chuẩn dữ liệu CityGML.

3.4. Đánh giá độ chính xác dữ liệu đã xây dựng được

Dựa vào các kết quả đo tọa độ (x, y, z) của 12 điểm đặc trưng trên địa vật gồm các góc cửa và góc nhà (Hình 6) trực tiếp trên mô hình 3D của đám mây điểm lấy được sau khi xử lý từ kết quả chụp ảnh và được sử dụng để so sánh với tọa độ (x, y, z) các điểm đặc trưng tương ứng được đo bằng chế độ đo không gương của máy toán đạc điện tử. Sai số trung phương nhận được $m_{\Delta x} = 1,4$ cm; $m_{\Delta y} = 1,6$ cm; $m_{\Delta z} = 1,7$ cm. Với độ chính xác các điểm kiểm tra như trong Bảng 1, mô hình 3D hoàn toàn có thể đạt độ chính xác về mặt bằng và độ cao đối với bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 500.



Hình 6. Các điểm kiểm tra độ chính xác trên dãy biệt thự liền kề.

Bảng 1. Kết quả đánh giá độ chính xác của mô hình 3D.

TT	Ký hiệu điểm	Điểm lấy từ kết quả chụp ảnh			Điểm lấy từ kết quả đo toàn đạc điện tử không gương			Sai số giữa 2 phương pháp		
		X (m)	Y (m)	Z(m)	X (m)	Y (m)	Z(m)	ΔX (cm)	ΔY (cm)	ΔZ (cm)
1	206	2317860,907	423488,709	15,231	2317860,507	423489,309	14,731	0,4	-0,6	0,5
2	208	2317874,369	423509,929	15,936	2317876,869	423513,229	14,736	-2,5	-3,3	1,2
3	209	2317854,096	423478,560	6,682	2317852,196	423477,960	6,882	1,9	0,6	-0,2
4	216	2317876,050	423509,368	11,268	2317874,850	423511,068	7,468	1,2	-1,7	3,8
5	224	2317876,282	423456,367	12,857	2317874,482	423456,767	11,557	1,8	-0,4	1,3
6	228	2317867,293	423461,408	7,344	2317865,493	423460,308	6,044	1,8	1,1	1,3
7	244	2317877,199	423462,313	8,805	2317877,099	423460,913	6,905	0,1	1,4	1,9
8	246	2317885,009	423470,343	17,139	2317884,709	423472,743	14,739	0,3	-2,4	2,4
9	265	2317890,242	423515,297	9,391	2317890,042	423513,297	10,291	0,2	2,0	-0,9
10	269	2317901,673	423504,768	6,292	2317902,573	423505,668	7,792	-0,9	-0,9	-1,5
11	273	2317897,669	423491,230	7,443	2317897,369	423490,530	7,543	0,3	0,7	-0,1
12	275	2317893,952	423485,024	16,693	2317891,352	423483,324	18,793	2,6	1,7	-2,1
Sai số trung phương								1,4	1,6	1,7

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã đề xuất qui trình thực nghiệm xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D từ các đám mây điểm nhận được từ các công nghệ chụp ảnh UAV và chụp ảnh mặt đất phù hợp với điều kiện ở khu vực thực nghiệm. Bên cạnh đó các dữ liệu thuộc tính về các đối tượng không gian cũng được thu thập và nhập vào để minh họa đầy đủ các bước của qui trình.

Các kết quả thực nghiệm về mô hình 3D đám mây điểm, dữ liệu thuộc tính và dữ liệu không gian địa lý được đưa ra thể hiện tính khả thi của qui trình đã đề xuất. Việc đánh giá độ chính xác kết quả dữ liệu mô hình 3D bằng cách so sánh với các kết quả đo bằng toàn đạc điện tử không gương khẳng định kết quả dữ liệu nhận được có độ chính xác đáp ứng yêu cầu của dữ liệu không gian địa lý 3D ở LoD3.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.T.T.H., N.Q.L.; Xử lý số liệu: L.T.T.H.; Viết bản thảo bài báo: L.T.T.H.; Chính sửa bài báo: N.Q.L.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của cấp cơ sở Trường Đại học Mở – Địa chất, mã số T22-48 với tên “Nghiên cứu thành lập mô hình 3D công trình xây dựng cấp độ chi tiết cao (LoD 3) bằng kết hợp công nghệ máy bay không người lái (UAV) và quét Laser mặt đất” và đề tài cấp KH-CN cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường: “Nghiên cứu ứng dụng công nghệ địa không gian xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D cho thành phố thông minh ven biển phù hợp với điều kiện Việt Nam, thí điểm tại khu vực thành phố Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh”, mã số: TNMT.2021.04.04.

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. Anilkumar, P.P. Geographic Information System for Smart Cities. India, Copal Publishing Group, 2014.
2. Biljecki, F.; Stoter, J.; Ledoux, H.; Zlatanova, S.; Çöltekin, A. Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2015**, *4*, 2842–2889.
3. Gózdź, K.; Pachelski, W.; Oosterom, P.O.; Coors, V. The possibilities of using CityGML for 3D representation of buildings in the cadastre. Proceedings of the 4th International Workshop on 3D Cadastres, 2014, pp. 339–362.
4. Singh, S.P.; Jain, K.; Mandla, V.R. Virtual 3D city modeling: techniques and applications. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **2013**, *XL-2/W2*, 73–91.

5. Hải, D.V. và cs. Nghiên cứu, ứng dụng các công nghệ thu thập dữ liệu không gian địa lý phục vụ xây dựng cơ sở dữ liệu đa mục tiêu. Báo cáo tổng hợp đề tài NCKH cấp Bộ, 2017.
6. Long, V.P. và cs. Bay chụp ảnh bằng máy bay không người lái (UAV) thành lập bản đồ không gian 3 chiều (3D). *Tap chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* **2017**, 31, 23–28.
7. Yoo, C.I.; Oh, Y.S.; Choi, Y.J. Coastal Mapping of Jinu–Do with UAV for Busan Smart City, Korea. *Proceeding of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **2018**, XLII–4, 725–729.
8. Çağdaş, V. An Application domain extension to CityGML for immovable property taxation: A Turkish case study. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2013**, 21, 545–555.
9. Chaturvedi, K.; Matheus, A.; Nguyen, S.H.; Kolbe, T.H. Securing spatial data infrastructures for distributed smart city applications and services. *Future Gener. Comput. Syst.* **2019**, 101, 723–736.
10. Chen, Y.; Hong, T.; Luo, X.; Hooper, B. Development of city buildings dataset for urban building energy modeling. *Energy Build* **2019**, 183, 252–265.
11. Gui, D.Z.; Lin, Z.J.; Zhang, C.C.; Zhi, X.D. Automated texture mapping of 3D city models with images of wide–angle and light small combined digital camera system for UAV. *Proc. SPIE 7498, MIPPR 2009: Remote Sensing and GIS Data Processing and Other Applications*, 2009, 74982A.
12. Egusquiza, A.; Prieto, I.; LuisIzkara, J.; Béjar, R. Multi–scale urban data models for early–stage suitability assessment of energy conservation measures in historic urban areas. *Energy Build* **2018**, 164, 87–98.
13. Eicker, U.; Zirak, M.; Bartke, N.; Rodríguez, L.R.; Coors, V. New 3D model based urban energy simulation for climate protection concept. *Energy Build* **2018**, 163, 79–91.
14. Eisenbeiss, H. UAV photogrammetry in plant sciences and geology. 6th ARIDA Workshop on Innovations in 3D measurement, modeling and visualization, Povo (Trento), Italy, 2008.
15. Roschlaub, R. An INSPIRE–conform 3D model building model of Bavaria using cadastre information, LiDAR and image matching. *ISPRS–Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf.* **2016**, 747–754.
16. Gózdź, K.; Pachelski, W.; Oosterom, P.O.; Coors, V. The possibilities of using CityGML for 3D representation of buildings in the cadastre. *Proceedings of the 4th International Workshop on 3D Cadastres*, 2014, pp. 339–362.
17. Gröger, G.; Plümer, L. CityGML–Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sen.* **2012**, 71, 12–33.
18. Li, J.; Yao, Y.; Duan, P. Studies on Three–Dimensional (3D) Modeling of UAV Oblique Imagery with the Aid of Loop–Shooting. *ISPRS Int. J. Geo–Inf.* **2018**, 7(9), 356.
19. Jusuf, S.K. Integrated modeling of CityGML and IFC for city/neighborhood development for urban microclimates analysis. *Energy Procedia* **2017**, 122, 145–150.
20. Li, L. et al. 3D spatial data model of the solar rights associated with individual residential properties. *Comput. Environ. Urban Syst.* **2019**, 74, 88–99.
21. Hà, L.T.T.; Trung, N.V. Xây dựng cơ sở dữ liệu không gian địa lý 3D phục vụ cho thành phố thông minh ven biển trong bối cảnh CMCN 4.0. Hội nghị Khoa học Trái đất, Mỏ và Môi trường (EME), 2021.
22. Eugster, H.; Nebiker, S. Real–time georegistration of video streams from mini or micro uas using digital 3d city models. 6th International Symposium on Mobile Mapping Technology, Presidente Prudente, São Paulo, Brazil, 2009.
23. Yalcin, G.; Selcuk, O. 3D City Modelling with Oblique Photogrammetry Method. *Procedia Technology* **2015**, 19, 424–431.

24. Over, M.; Schilling, A.; Neubauer, S.; Zipf, A. Generating web-based 3D City Models from OpenStreetMap: The current situation in Germany. *Comput. Environ. Urban Syst* **2010**, 34(6), 496–507.
25. Hannes, P.; Martin, S.; Henri, E. A 3-D Model of castle Landenberg (CH) from combined photogrammetric processing of terrestrial and UAV based images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **2008**, 37, 93–98.
26. Tú, C.X. và cs. Nghiên cứu, xây dựng quy trình thành lập cơ sở dữ liệu không gian địa lý và bản đồ ba chiều tỷ lệ lớn. Báo cáo tổng hợp đề tài NCKH cấp Bộ, 2017.
27. Anh, L.T. và cs. Ứng dụng công nghệ tích hợp Lidar và chụp ảnh hàng không – CityMapper tại Tổng Công ty Tài Nguyên và Môi Trường Việt Nam. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học Công nghệ toàn quốc ngành Đo đạc và Bản đồ, 2018.
28. Anh, L.T. và cs. Ứng dụng công nghệ tích hợp Lidar và chụp ảnh hàng không (City Mapper – Leica) trong thu nhận, xử lý và thành lập dữ liệu không gian địa lý. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học, Công nghệ toàn quốc ngành Đo đạc và Bản đồ, 2018, tr. 372–379.
29. Hiền, L.Đ. Ứng dụng hệ thống Lidar tích hợp chụp ảnh hàng không CityMapper (Leica) của tổng công ty tài nguyên môi trường Việt Nam trong thành lập mô hình 3D. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Phát triển công nghệ Đo đạc và Bản đồ trong thu nhận dữ liệu địa không gian, 2019, tr. 163–173.
30. Hiền, L.Đ. và cs. Tích hợp công nghệ UAV và quét laser mặt đất (TLS) trong thu thập dữ liệu địa không gian để thành lập mô hình 3D. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Phát triển công nghệ Đo đạc và Bản đồ trong thu nhận dữ liệu địa không gian, 2019, tr. 117–127.
31. Sỹ, M.V. Nghiên cứu xây dựng mô hình thành phố ảo phục vụ công tác quy hoạch đô thị. Báo cáo tổng hợp luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ – Địa chất, 2019.
32. Hiền, L.Đ. Nghiên cứu xây dựng các thuật toán tự động phân loại dữ liệu đám mây điểm hỗ trợ xây dựng mô hình thành phố thông minh. Báo cáo tổng hợp luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ – Địa chất, 2022.
33. Hiền, L.P. Ứng dụng một số thư viện mã nguồn mở biểu diễn trực quan mô hình 3D thành phố trên nền Web. Báo cáo tổng hợp đề tài cấp cơ sở Trường Đại học Mỏ – Địa chất, 2018.
34. Hà, L.T.T. và cs. Nghiên cứu kết hợp công nghệ máy bay không người lái (UAV) và quét Laser mặt đất thành lập mô hình 3D cấp độ chi tiết cao (LoD 3) cho nhà cao tầng trong khu vực đô thị. *Tap chí khoa học kỹ thuật Mỏ–Địa chất* **2022**, 63(4), 53–62.

Combination of UAV image and terrestrial photogrammetry to build 3D geospatial data for smart cities

Le Thi Thu Ha¹, Nguyen Quoc Long^{1*}

¹ Hanoi university of Mining and Geology; lethithuha@humg.edu.vn;
nguyenquoclong@humg.edu.vn

Abstract: The database infrastructure of the smart city includes a 3D geospatial data system that serves as a platform for various applications, such as designing, building, and proposing emergency response plans in. Currently, ground imaging technology and unmanned aerial vehicle (UAV) imaging technology are the data collection methods often employed in building the 3D geospatial data, ensuring reliability and low cost. Although international standards regulated the process, additional research is necessary to combine data types that suit the specifics of each region, given the variations in the reliability and level of detail of

data types. This study focuses on proposing a process for building 3D geospatial data for a smart city using geospatial data collected by UAV and terrestrial photogrammetry. The experimental results have produced 3D geospatial data of adjacent villas in LoD3, with the root mean square error of the received test points $m\Delta x = 1.4$ cm, $m\Delta y = 1.6$ cm, and $m\Delta z = 1.7$ cm.

Keywords: 3D geospatial data, UAV, terrestrial photogrammetry, smart city.

Bài báo khoa học

Phân tích diễn biến của các chỉ số mưa trong bối cảnh biến đổi khí hậu trên lưu vực Vu Gia – Thu Bồn

Lê Ngọc Viên¹, Nguyễn Mai Đăng^{2*}

¹ Trường Cao đẳng Công nghệ, Kinh tế và Thủy lợi miền Trung; lnvckt@gmail.com

² Trung tâm Đào tạo Quốc tế, Trường Đại học Thủy lợi; dang@tlu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: dang@tlu.edu.vn; Tel.: +84-989551699

Ban Biên tập nhận bài: 2/4/2023; Ngày phản biện xong: 10/5/2023; Ngày đăng bài: 25/5/2023

Tóm tắt: Biến đổi khí hậu (BĐKH) đã làm thay đổi quá trình mưa và dòng chảy trên các lưu vực sông, ảnh hưởng đến việc quy hoạch, thiết kế và quản lý các công trình thủy lợi, thủy điện và phòng, chống thiên tai... Do vậy, bài báo này nghiên cứu sự biến đổi của các chỉ số mưa trên lưu vực sông Vu Gia–Thu Bồn trên cơ sở phân tích số liệu mưa thực đo và từ các mô hình khí hậu toàn cầu. Kết quả cho thấy các chỉ số liên quan đến mưa sinh lũ P95p, Prcp, R5dp đều tăng trong tương lai, và P95p tăng khoảng 50–100 mm so với thời kỳ nền, do vậy nguy cơ lũ lụt sẽ cao hơn. Chỉ số tổng lượng mưa năm (Ptot) và cường độ mưa ngày trung bình (SDII) cũng đều tăng, sự gia tăng này chủ yếu tập trung vào những tháng mưa lũ chính vụ (IX–XI). Bên cạnh đó, nguy cơ các đợt khô hạn cũng sẽ xuất hiện nhiều hơn do chỉ số Pcdd (số ngày không mưa liên tục trong năm) tăng lên, cụ thể số đợt có số ngày không mưa liên tục > 20 ngày sẽ tăng khoảng 15%, dẫn đến nguy cơ hạn hán sẽ gia tăng. Những thông tin này có thể tham khảo cho nhà quản lý và chuyên môn đề xuất các giải pháp đề thích ứng với BĐKH và đảm bảo an ninh nguồn nước trong tương lai.

Từ khóa: Chi tiết hóa thống kê; Biến đổi khí hậu; Hiệu chỉnh sai số; Chỉ số mưa; Vu Gia–Thu Bồn.

1. Giới thiệu

Có thể khẳng định rằng BĐKH đã có những tác động không thể đảo ngược đến các yếu tố khí tượng thủy văn và gây ra mối đe dọa lớn đối với sự sống [1]. Vì vậy, để phát triển kinh tế xã hội bền vững cần có những nghiên cứu đáng tin cậy về tác động của biến đổi khí hậu đối với môi trường và tài nguyên nước. Do các yếu tố trong tương lai luôn có tính không chắc chắn và khó dự đoán, đặc biệt khi chỉ áp dụng các công cụ thống kê cơ bản để phân tích các dữ liệu quan quan trắc, nên Mô hình khí hậu toàn cầu (*Global Climate Model – GCM*) được đánh giá là công cụ tốt nhất để nghiên cứu khí hậu khi xem xét các giả định/ các biên bên ngoài khác nhau. Nhiều GCM đã được phát triển bởi các cơ quan nghiên cứu uy tín để mô phỏng khí hậu dài hạn và định lượng tác động của biến đổi khí hậu [1]. Dự án so sánh liên mô hình theo cặp giai đoạn 5 (CMIP5) là bộ mô phỏng mô hình khí hậu mới nhất để nghiên cứu đánh giá toàn cầu hoặc khu vực [2–3]. Tuy nhiên, sản phẩm thô của GCM thường không được coi là nghiên cứu khí hậu ở quy mô địa phương do độ phân giải không gian thô của GCM [4–5]. Các phương pháp tăng độ phân giải của GCM đã khắc phục dần sự không phù hợp về độ phân giải khi đánh giá tác động của biến đổi khí hậu ở cấp lưu vực, chẳng hạn như lưu vực đầu nguồn để có được dữ liệu phân giải tốt hơn nhằm mô phỏng tốt hơn các quá trình thủy văn và thủy động lực học [6–7]. Chủ yếu có hai cách tiếp cận để chi tiết hóa GCM ở cấp

địa phương là chi tiết hóa động lực và chi tiết hóa thống kê [6–8]. Đầu ra của phương pháp tiếp cận chi tiết hóa động lực được coi là vượt trội do mô hình hóa tốt hơn các cơ chế khí hậu và hiện tượng vật lý [9–10]. Phương pháp chi tiết hóa thống kê lợi thế hơn so với chi tiết hóa động lực về sự thuận lợi trong tính toán và yêu cầu ít thời gian [5]. Vì vậy, chi tiết hóa thống kê được áp dụng nhiều cho các nghiên cứu ở quy mô khu vực (vùng) để đạt kết quả nhanh hơn [2, 6].

Bằng cách tiếp cận thống kê, phương pháp chi tiết hóa của GCM cũng không tránh khỏi sai số mô hình. Sai số mô hình là sự sai lệch có hệ thống của dữ liệu được mô hình hóa so với giá trị mong đợi [11]. Đầu ra của GCM bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, như là các giả định được đưa ra để phát triển GCM, trạng thái ban đầu, phương trình toán học và tương tác của các biến khác nhau được xem xét... Tuy nhiên, những yếu tố này gây ra sai số ngẫu nhiên hoặc hệ thống dẫn đến có thể đánh giá thiên lớn (hoặc thiên nhỏ) các biến khí hậu [11–13]. Mặt khác, các biến khí hậu thu được từ các GCM có độ phân giải không gian thô thường không phù hợp cho các ứng dụng ở quy mô khu vực. Mô hình GCM trung bình theo nhóm thường được áp dụng để giảm bớt hạn chế này giữa quá trình mưa quan trắc và quá trình mưa tính toán của GCM [14–15]. Tuy nhiên, cách tiếp cận này thích hợp hơn trong trường hợp nhiệt độ đồng nhất và không thay đổi đột ngột, đồng thời không thích hợp với lượng mưa có độ biến thiên cao vì lượng mưa không chỉ chịu ảnh hưởng của hoàn lưu quy mô lớn mà còn bị ảnh hưởng mạnh bởi các đặc điểm địa phương như độ cao, đặc điểm địa lý, thảm phủ thực vật,... [16–18]. Ngoài trừ nhiệt độ, áp suất và độ ẩm, các biến khác của GCM không nên sử dụng trực tiếp làm dữ liệu thô cho quy mô vùng và lượng mưa cho thấy ít phù hợp nhất với số liệu thực đo [18]. Do đó, quy trình hiệu chỉnh sai số thường được áp dụng để thu hẹp khoảng cách giữa kết quả tính toán mưa từ GCM và tài liệu quan trắc [19]. Quy trình hiệu chỉnh độ lệch cũng được áp dụng để điều chỉnh độ lệch trong mô hình tuần hoàn khu vực RCM và kết quả của GCM [13, 20, 21]. Các mô hình RCM được coi là tốt hơn so với GCM, tuy nhiên không thể khái quát hóa cho lượng mưa do có sự ảnh hưởng lớn của các đặc điểm khu vực [22–23]. Vì vậy, hiệu chỉnh sai số đã được ứng dụng cho các đầu ra của GCM trong nghiên cứu này. Các phương pháp hiệu chỉnh sai số khác nhau được các nhà nghiên cứu đề xuất và áp dụng để chi tiết hóa kết quả của các loại GCM. Ví dụ như: chuyển đổi tuyến tính (*Linear Scaling – LS*), tỷ lệ với cường độ mưa địa phương (*Local Precipitation Intensity Scaling – LOCI*), chuyển đổi theo hàm mũ, chuyển đổi theo phương sai, phân bố xác suất (*Distribution Mapping – DM*), và cách tiếp cận thay đổi khoảng delta,... [13].

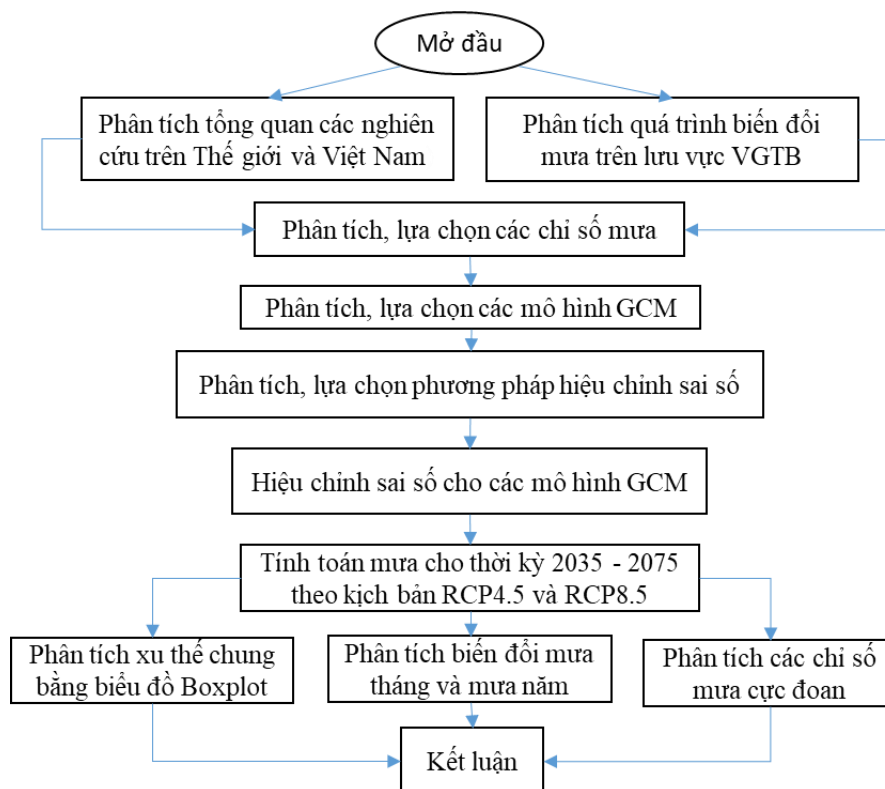
Nghiên cứu biến đổi khí hậu liên quan đến nhiệt độ và lượng mưa chủ yếu tập trung vào việc đánh giá những thay đổi về trung bình dài hạn, gần đây có xu thế chuyển sang xem xét ảnh hưởng của các trận mưa cực trị [24]. Bởi vì trong phân bố tần suất của các trị số mưa cực trị, chỉ cần thay đổi ít về trị số tần suất cũng có thể làm thay đổi lớn về trị số mưa cực trị, tức là mưa sinh lũ lớn và có thể gây ra thiệt hại lớn cho xã hội [25]. Tuy nhiên, vẫn có rất ít nghiên cứu xem xét các hiện tượng cực đoan dưới tác động của biến đổi khí hậu [26–28].

Đối với lưu vực nghiên cứu, kết quả từ số liệu thực đo 1978–2020 cho thấy xu thế mưa $X_{1\max}$, $X_{3\max}$, và $X_{5\max}$ của các trạm trên lưu vực đều tăng trung bình từ 0,5–3,0 mm/năm, 0,8–6,5 mm/năm, và 1,0–7,0 mm/năm. Đặc biệt khu vực tâm mưa Trà My có xu hướng tăng nhiều nhất. Theo kịch bản biến đổi khí hậu của Bộ TNMT công bố năm 2020, tổng lượng mưa năm các thời kỳ tương lai giữa thế kỷ và cuối thế kỷ bình quân khu vực Quảng Nam – Đà Nẵng tăng 14,4–21,5% so với kỳ cơ sở (1986–2005); tổng lượng mưa các mùa đông, xuân, hè, thu cũng đều tăng trung bình từ 1,3–25,4% (trừ trường hợp cá biệt có thời kỳ giảm). Tuy nhiên các kết quả theo kịch bản này không cho biết cụ thể cho từng khu vực, và cũng chưa có thông tin chi tiết cho từng chỉ số mưa, đặc biệt là các chỉ số mưa cực đoan.

Từ các đánh giá tổng quan trên, thấy rằng đến nay chưa có nghiên cứu nào chi tiết để đánh giá sự biến đổi các chỉ số mưa cực đoan cho lưu vực VGTB. Bài báo này tập trung đi sâu vào đánh giá biến đổi các trận mưa cực trị trong tương lai do tác động của BĐKH nhờ sự xem xét các chỉ số mưa cực đoan khác nhau trên lưu vực VGTB.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu dùng để tính toán

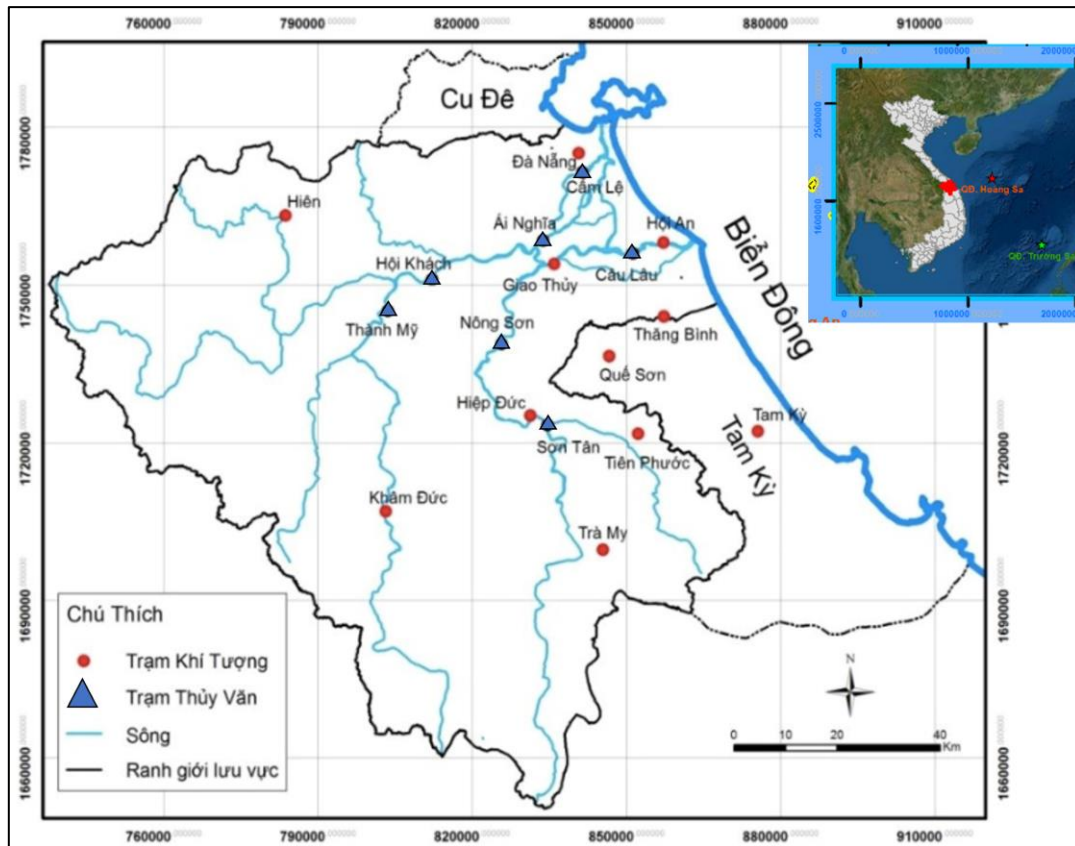
Các bước nghiên cứu được khai quát hóa trong sơ đồ ở Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ mô tả các bước nghiên cứu.

2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

Lưu vực sông VGTB thuộc loại lớn ở miền Trung với tổng diện tích lưu vực khoảng 10.350 km² (Hình 2), có 2 nhánh chính là Vu Gia và Thu Bồn. Bắt nguồn từ dãy Trường Sơn, đi qua một vùng đồng bằng hẹp dọc theo bờ biển và cuối cùng đổ ra Biển Đông [26, 29]. Địa hình khu vực này rất phức tạp với cảnh quan đồi núi hẹp ở thượng nguồn và cửa sông bằng phẳng ở cuối hạ lưu về phía Đông [30]. Khí hậu lưu vực là nhiệt đới gió mùa với ảnh hưởng vùng chi phối của dãy Trường Sơn, ảnh hưởng đến khí hậu vùng này có hai mùa rõ rệt: mùa đông (tháng 11 đến tháng 4) và mùa hạ (tháng 5 đến tháng 10) [31]. Lượng mưa mùa mưa chiếm 57–74% lượng mưa hàng năm, thường kéo dài trong khoảng 4 tháng từ tháng 9 đến tháng 12. Lưu vực nhận được 26–43% lượng mưa hàng năm vào mùa khô (I–VIII). Lượng mưa trên lưu vực sông VGTB giảm dần theo hướng dịch chuyển từ Tây sang Đông. Vùng núi cao nhận được lượng mưa trung bình hàng năm khoảng 3.100–4.200 mm, vùng núi trung bình khoảng 2.500–3.000 mm trong khi vùng núi thấp và vùng ven biển nhận được khoảng 2.100–2.500 mm [32–33]. Trong trận mưa lịch sử 1–5/11/1999 đã ghi nhận lượng mưa 1 ngày lớn nhất lên đến 667 mm tại Hội An, ít nhất cũng là 405 mm tại Tam Kỳ. Tuy nhiên, ngày 5/11/2017 tại Trà My đã phá kỷ lục với $X_{1max} = 782$ mm. Đối với X_{3max} , X_{5max} và X_{7max} thì ghi nhận tại trạm Trao trong đợt mưa 14–20/11/1980 lần lượt là 1124 mm, 1488 mm và 1677 mm. Ngược lại với mưa lớn cực trị xảy ra trong mùa mưa, thì trong mùa khô lượng mưa lại suy giảm đã khiến tình hình hạn hán, xâm nhập mặn diễn ra rất nghiêm trọng trên lưu vực. Năm 2014, 2015 và 2016 có tổng lượng mưa thiếu hụt nhiều so với cùng kỳ trung bình nhiều năm lần lượt là 150 ÷ 790 mm, 50 ÷ 550 mm và 30 ÷ 300 mm. Đến 2020 cũng là năm thời tiết bất thường, từ tháng 1–9 tình hình hạn hán thiếu nước xảy ra nghiêm trọng ảnh hưởng đến hoạt động sản xuất và sinh hoạt của người dân.



Hình 2. Lưu vực sông VGTB và các trạm KTTV.

2.2. Số liệu dùng để tính toán

Các loại số liệu thực đo và dữ liệu từ các GCM đã được sử dụng để nghiên cứu và tính toán trong nghiên cứu này. Mưa ngày thực đo giai đoạn 1978–2020 từ sáu trạm đo mưa trên lưu vực VGTB là Đà Nẵng, Hiên, Nông Sơn, Hội An, Khâm Đức và Trà My, được thể hiện trong Hình 1.

Có 10 tổ hợp dữ liệu mưa từ 5 mô hình GCM tính toán cho hai kịch bản phát thải trong tương lai AR5 (RCP4.5, RCP8.5) đã được sử dụng (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>) trong nghiên cứu này. Phương pháp nội suy đồng tuyến tính đã được áp dụng để có được kết quả đầu ra GCM tại các vị trí của 6 trạm mưa. Chi tiết về dữ liệu GCM được sử dụng trong nghiên cứu này thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số của các GCM.

Mô hình GCM	Quốc gia	Kịch bản phát thải	Độ phân giải không gian
CCSM4	NCAR/USA	RCP 4.5, 8.5	$0.94^{\circ} \times 1.25^{\circ}$
CSIRO-Mk 3.6	Australia	RCP 4.5, 8.5	$1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$
HadGEM2-ES	Hadley/UK	RCP 4.5, 8.5	$1.25^{\circ} \times 1.875^{\circ}$
MPI-ESM-LR	Germany	RCP 4.5, 8.5	$1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$
ACCESS 1.0	Australia	RCP 4.5, 8.5	$1.25^{\circ} \times 1.875^{\circ}$

2.3. Phương pháp tính toán và thiết lập mô hình

2.3.1. Phương pháp chi tiết hóa thống kê và hiệu chỉnh sai số

Các phương pháp hiệu chỉnh sai số theo LS, LOCI và DM đã được áp dụng trong nghiên cứu này để chi tiết hóa kết quả mưa từ các GCM. Các biến số và chỉ số được sử dụng để mô tả các phương pháp này được đưa ra trong Bảng 2.

Bảng 2. Các biến số và chỉ số sử dụng trong nghiên cứu.

Biến số	Mô tả	Chỉ số	Mô tả
α, β	Các tham số hình dạng và tỷ lệ phân phối Gamma	$*$, γ	Các chỉ số hình dạng và tỷ lệ phân phối Gamma
d	Thời khoảng ngày	γ	Phân phối Gamma
F	Hàm phân phối tích lũy (CDF)	m	Thời khoảng tháng
F^{-1}	Nghịch đảo của CDF	obs	Thực đo
μ	Trị số trung bình	ref	Mô hình RCM mô phỏng cho thời kỳ 1980–2011
P	Mưa	fut	Mô hình RCM mô phỏng cho thời kỳ 2012–2039
s	Hệ số tỷ lệ	th	Ngưỡng (Threshold)

2.3.2. Phương pháp hiệu chỉnh sai số theo tỷ lệ tuyến tính (*Linear scaling – LS*)

Phương pháp hiệu chỉnh sai số theo tỷ lệ tuyến tính [34] được đánh giá là phù hợp nhất để hiệu chỉnh sai số cho dữ liệu mưa thời đoạn tháng. Giả định cơ bản trong phương pháp này là: các giá trị hiệu chỉnh dựa trên sự khác biệt giữa lượng mưa thực đo được và mô phỏng GCM trong thời gian tham chiếu (thời kỳ nền) sẽ không thay đổi, và các giá trị mô phỏng của GCM trong tương lai được hiệu chỉnh theo sự khác biệt trong thời kỳ nền. Lượng mưa ngày được điều chỉnh để tham khảo và thời gian trong tương lai được thu thập bằng cách sử dụng Công thức (1) và (2).

$$P'_{ref}(d) = P_{ref}(d) \times \left(\frac{\mu_m(P_{obs}(d))}{\mu_m(P_{ref}(d))} \right) \tag{1}$$

$$P'_{fut}(d) = P_{fut}(d) \times \left(\frac{\mu_m(P_{obs}(d))}{\mu_m(P_{ref}(d))} \right) \tag{2}$$

2.3.3. Phương pháp hiệu chỉnh sai số theo cường độ mưa địa phương (LOCI)

Phương pháp LS chỉ hiệu chỉnh sai số được giá trị trung bình, nên sử dụng phương pháp LOCI để hiệu chỉnh được cả giá trị trung bình cũng như tần suất và cường độ mưa ngày theo địa phương [35] (theo các trạm mưa đại diện cho từng tiểu lưu vực). Các bước liên quan đến phương pháp LOCI được mô tả dưới đây:

- Ngưỡng lượng mưa (*rainfall threshold*) được chọn từ lượng mưa mô phỏng trong các GCM sao cho những ngày có lượng mưa nhỏ hơn lượng mưa ngưỡng được chọn là những ngày không mưa có giá trị bằng 0, và những ngày mưa vượt ngưỡng sẽ lấy giá trị bằng những ngày mưa quan trắc (tại trạm). Sau đó, số lượng các trận mưa cho cả giai đoạn tham chiếu (thời kỳ nền) và trong tương lai được điều chỉnh bằng cách áp dụng ngưỡng lượng mưa:

$$P^*_{ref}(d) = \begin{cases} 0, & \text{nếu } P_{ref}(d) < P_{th} \\ P_{ref}(d) & \end{cases} \tag{3}$$

$$P^*_{fut}(d) = \begin{cases} 0, & \text{nếu } P_{fut}(d) < P_{th} \\ P_{fut}(d) & \end{cases} \tag{4}$$

- Hệ số tỷ lệ tuyến tính được ước tính dựa trên cường độ mưa ngày trung bình theo tháng với chuỗi số liệu nhiều năm. Chọn những ngày có mưa từ dữ liệu quan trắc với lượng mưa > 0 mm và những ngày có lượng mưa lớn hơn ngưỡng mưa trong mô phỏng của các GCM. Các hệ số tỷ lệ cường độ mưa được tính bằng công thức (5).

$$s = \frac{\mu_m (P_{\text{obs}}(d) | P_{\text{obs}}(d) > 0 \text{ mm})}{\mu_m (P_{\text{ref}}(d) | P_{\text{ref}}(d) > P_{\text{th}}) - P_{\text{th}}} \quad (5)$$

- Cuối cùng, việc hiệu chỉnh lượng mưa được mô phỏng theo GCM và các giai đoạn tham chiếu và thời kỳ tương lai được thực hiện như sau:

$$P'_{\text{ref}}(d) = P^*_{\text{ref}}(d) \times s \quad (6)$$

$$P'_{\text{fut}}(d) = P^*_{\text{fut}}(d) \times s \quad (7)$$

2.3.4. Phương pháp hiệu chỉnh sai số theo phân bố xác suất (DM)

Phương pháp hiệu chỉnh sai số theo DM là một dạng của phương pháp hiệu chỉnh phân vị (quantile mapping), hiệu chỉnh hàm phân phối xác suất của lượng mưa ngày dựa trên các hàm phân phối tần suất lũy tích (CDF) của dữ liệu mưa thực đo [13]. CDF được xây dựng cho cả lượng mưa thực đo và lượng mưa mô phỏng GCM, tức là, cho tất cả các ngày trong một tháng của giai đoạn 1978–2005. Sau đó, giá trị của lượng mưa mô phỏng GCM của ngày (d) trong tháng (m) được tìm kiếm trên hàm phân phối lũy tích thực nghiệm (ECDFs) của mô phỏng GCM cùng với xác suất lũy tích tương ứng của nó. Sau đó, giá trị của lượng mưa có cùng xác suất lũy tích được xác định trên các ECDF của các giá trị thực đo. Cuối cùng, lượng mưa ngày cho các thời kỳ nền và thời kỳ tương lai được tính toán bằng công thức (8) và (9), theo CDF của phân bố Gamma (F_γ) và nghịch đảo (F_γ^{-1}).

$$P'_{\text{ref}}(d) = F_\gamma^{-1} \left(F_\gamma (P_{\text{ref}}(d) | \alpha_{\text{ref},m}, \beta_{\text{ref},m}) | \alpha_{\text{obs},m}, \beta_{\text{obs},m} \right) \quad (8)$$

$$P'_{\text{fut}}(d) = F_\gamma^{-1} \left(F_\gamma (P_{\text{fut}}(d) | \alpha_{\text{ref},m}, \beta_{\text{ref},m}) | \alpha_{\text{obs},m}, \beta_{\text{obs},m} \right) \quad (9)$$

2.3.5. Phân tích các chỉ số mưa cực đoan

Những biến đổi trong các hiện tượng mưa cực đoan đã được đánh giá dựa trên 6 chỉ số sau: (1) lượng mưa phân vị thứ 95 (P95p, mm) tức là mưa ứng với tần suất 5%; (2) tổng số ngày mưa lớn trong năm (Prcp, ngày); (3) cường độ mưa ngày tính trung bình cho những ngày có mưa (SDII, mm/ngày); (4) lượng mưa 5 ngày liên tiếp lớn nhất (R5dp, mm); (5) tổng lượng mưa năm (Ptot, mm); và (6) tổng số ngày không mưa liên tục dài nhất hàng năm (Pcdd, ngày) [36–38]. Các chỉ số này rất hữu ích để mô tả phần lớn các hiện tượng và đặc điểm mưa cực đoan.

a) Tổng lượng mưa năm tại phân vị mức 95% (P95p_(j), mm)

P95p_(j) là tổng lượng mưa năm của năm thứ 'j' tại phân vị mức 95% khi chỉ xét những ngày có mưa trong năm đó. Ngày có mưa được quy ước là ngày có lượng mưa $\geq 1,0$ mm, còn lại nếu $< 1,0$ mm coi như không mưa.

b) Tổng số ngày mưa lớn trong năm (Prcp_(j), ngày)

Chỉ số này cho biết tổng số ngày mưa lớn trong năm (j), quy ước là những ngày có lượng mưa > lượng mưa ngày tại phân vị mức 95% (P95p_(j) đã tính ở trên).

c) Cường độ mưa ngày trung bình của những ngày có mưa (SDII_(j), mm/ngày)

SDII_j (Simple Precipitation Intensity Index) là chỉ số cường độ mưa ngày trung bình của những ngày có mưa trong năm thứ (j), được tính theo công thức:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W} \quad (10)$$

d) Tổng lượng mưa 5 ngày liên tiếp lớn nhất (R5dp_(j), mm)

Chỉ số này đưa ra tổng lượng mưa 5 ngày liên tiếp lớn nhất trong năm 'j'.

e) Tổng lượng mưa năm ($P_{tot(j)}$, mm)

Chỉ số này đưa ra tổng lượng mưa của tất cả những ngày có mưa (theo quy ước có lượng mưa ≥ 1.0 mm) trong năm (j), được tính theo công thức:

$$P_{tot_j} = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \tag{11}$$

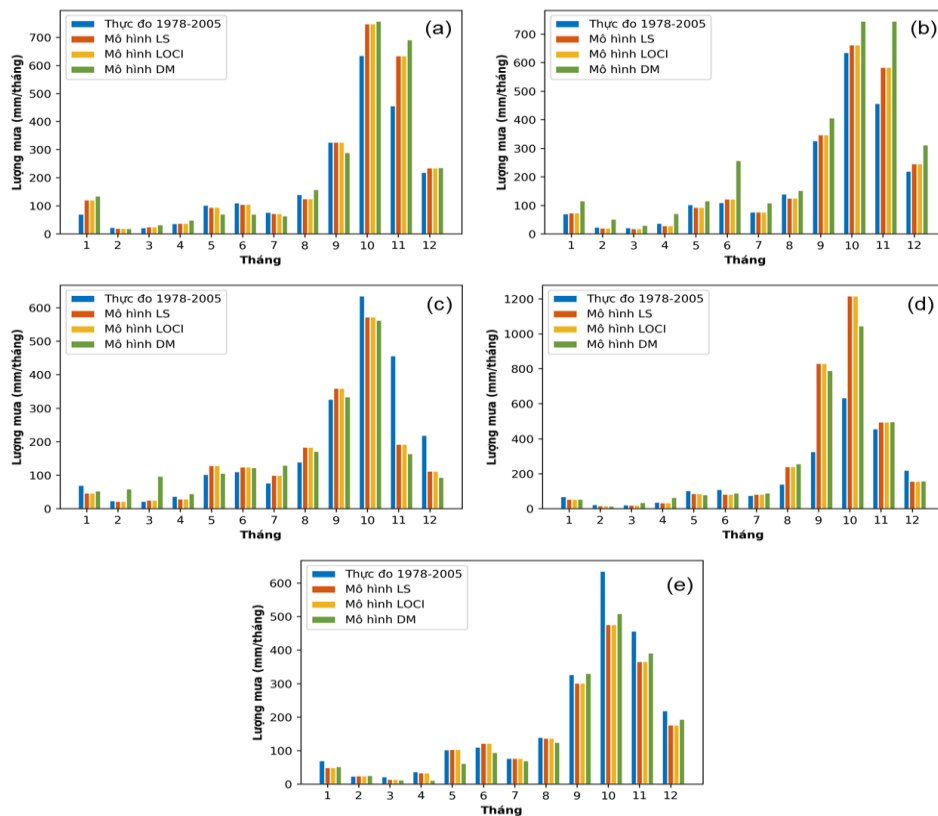
f) Tổng số ngày không mưa liên tục dài nhất trong năm ($P_{cdd(j)}$, ngày)

Chỉ số này mô tả tổng số ngày không mưa liên tục lớn nhất trong từng năm (j).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiệu chỉnh sai số cho 6 trạm đo mưa

Ba phương pháp hiệu chỉnh sai số đã được áp dụng để hiệu chỉnh sai số về giá trị trung bình, tần số xuất hiện của lượng mưa trong các GCM. Kịch bản thời kỳ cơ sở (nền) cho các GCM là lượng mưa thực đo thời kỳ 1987–2005, trong khi tính toán cho tương lai là các thời kỳ 2035–2075 (giai đoạn giữa thế kỷ). Hiệu quả thống kê của các phương pháp hiệu chỉnh sai số được trình bày trong Bảng 3, được đánh giá bằng các chỉ số hiệu suất RMSE, MAE và R^2 . Có thể thấy rằng có sự thay đổi nhỏ trong tất cả các chỉ số hiệu quả tại các trạm mưa khác nhau, cụ thể là: RMSE và MAE lần lượt thay đổi từ 7,849 đến 14,177 và 4,54 đến 7,809; R^2 dao động trong phạm vi 0,419–0,557 đối với biến lượng mưa ngày. Trên cơ sở đánh giá hiệu quả, phương pháp LS và LOCI tốt hơn so với phương pháp DM.



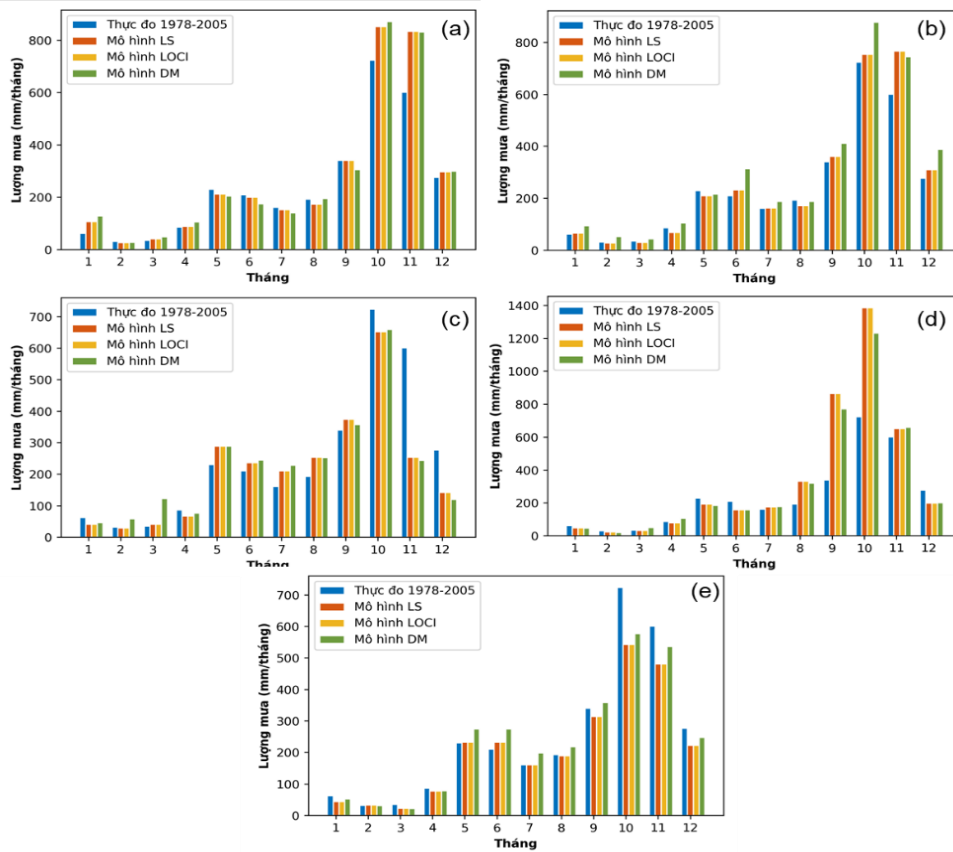
Hình 1. Kết quả của các phương pháp hiệu chỉnh sai số cho các mô hình RCM: (a) ACCESS (b) CCSM (c), CSIRO (d), HadGEM và (e) MPI-GCM tại trạm Đà Nẵng.

Lượng mưa tháng tại các trạm Đà Nẵng và Nông Sơn sau khi hiệu chỉnh sai số lần lượt được thể hiện trên Hình 3 và Hình 4. Có thể thấy dữ liệu GCM khi đã hiệu chỉnh sai số có sự phù hợp khá tốt với số liệu mưa thực đo của thời kỳ cơ sở. Không có nhiều biến động về lượng mưa từ thấp đến trung bình. Tuy nhiên, một số ngày lượng mưa lớn không thể được mô phỏng tốt do trong một số thời kỳ có lượng mưa ngày biến động lớn. Ở đây cũng cho thấy các phương pháp hiệu chỉnh sai số LS và LOCI thực hiện tốt hơn so với phương pháp DM.

Có thể nhận thấy rằng lượng mưa được điều chỉnh sai số bằng cách sử dụng CCSM và CSIRO gần với các số liệu thực đo hơn nhiều so với các GCM khác. Mô hình HadGCM không thể mô phỏng tốt khi so sánh với mưa thực đo, và cho thấy mưa từ mô hình cao hơn so với mưa thực đo trong những tháng mùa mưa (IX–XII) và thấp hơn trong mùa khô (I–VIII).

Bảng 3. Kết quả của hiệu chỉnh sai số bằng 3 phương pháp (LS, LOCI, DM) cho 6 trạm mưa.

Phương pháp hiệu chỉnh sai số	Chỉ số đánh giá hiệu quả	Đà Nẵng	Hiên	Nông Sơn	Hội An	Khâm Đức	Trà My
LS	RMSE	8,139	7,849	9,647	8,311	11,21	14,177
	MAE	4,540	4,501	5,631	4,662	6,020	7,809
	R ²	0,546	0,419	0,531	0,533	0,557	0,543
LOCI	RMSE	8,429	7,965	9,874	8,632	12,51	15,472
	MAE	4,65	4,672	5,863	4,945	6,532	7,944
	R ²	0,521	0,402	0,511	0,512	0,517	0,499
DM	RMSE	9,252	8,98	10,326	9,849	11,274	13,626
	MAE	5,246	5,108	6,251	5,535	6,395	8,12
	R ²	0,487	0,358	0,495	0,458	0,55	0,551

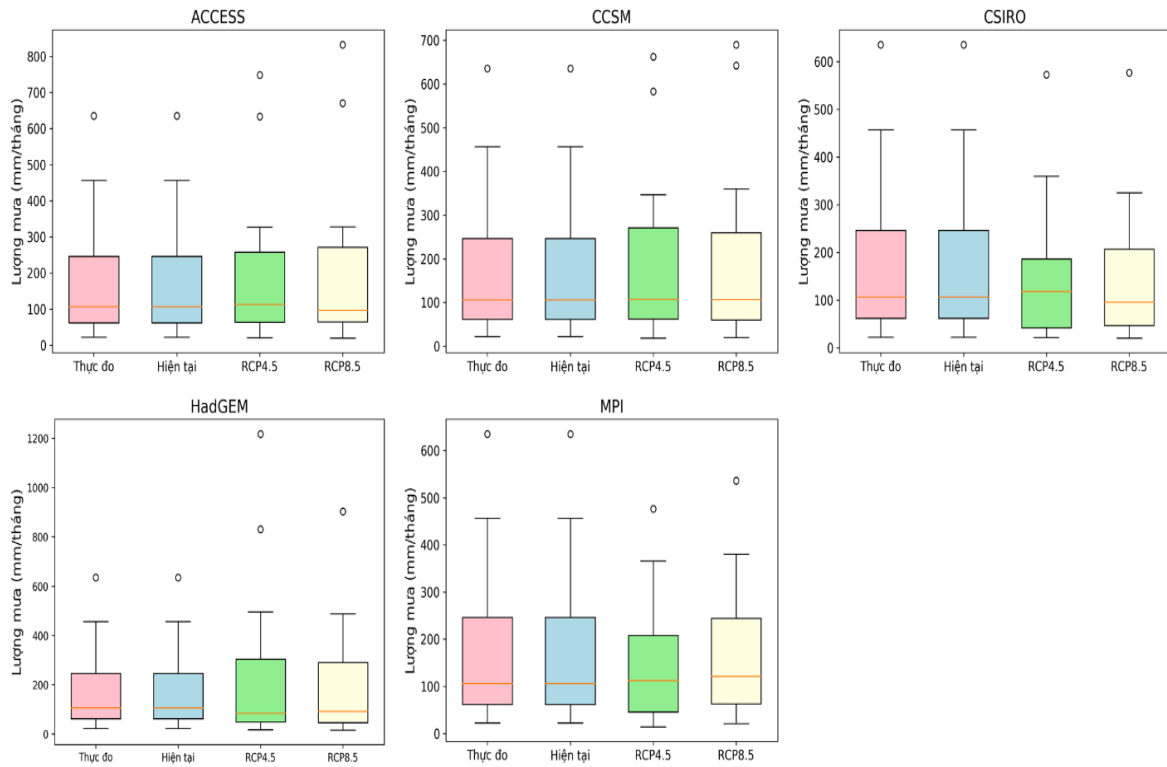


Hình 2. Kết quả hiệu chỉnh sai số cho các mô hình ACCESS: (a) và CCSM (b), CSIRO (c), HadGEM (d) và MPI-GCM (e) tại trạm Nông Sơn.

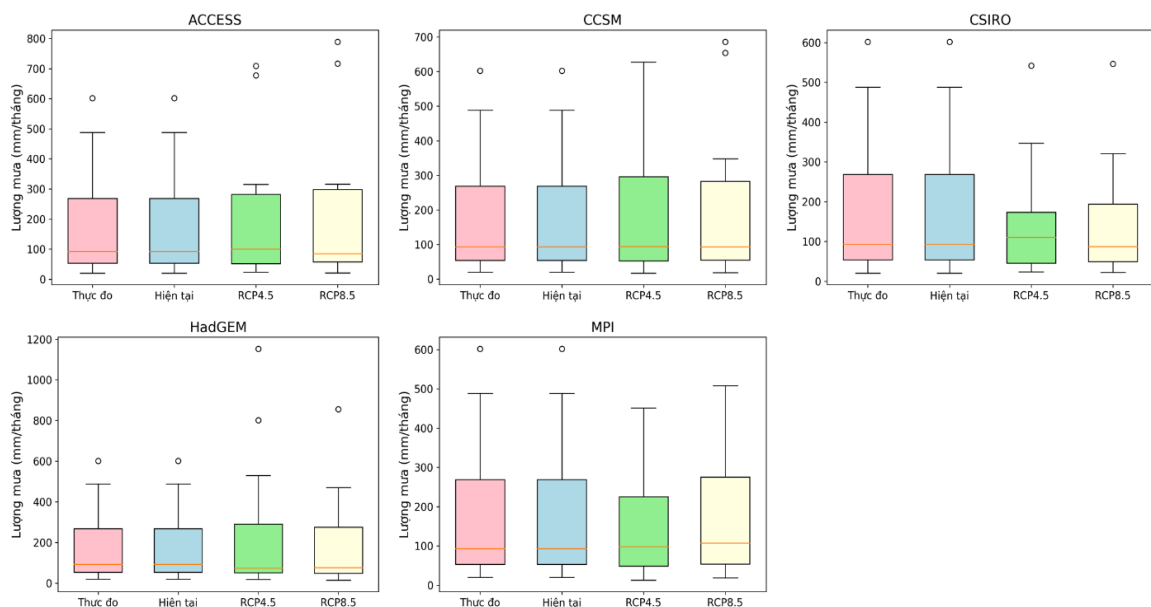
3.2. Tính toán các kịch bản mưa trong tương lai

Kết quả đánh giá, so sánh mưa thực đo (1978–2005) và mưa từ các GCM giai đoạn nền (1978–2005) và giai đoạn tương lai (2035–2075) ứng với các kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 tại trạm Đà Nẵng và Nông Sơn được thể hiện ở hình 5 và hình 6. Sử dụng phương pháp đánh giá các đặc trưng thống kê và thể hiện trên biểu đồ Boxplot để dễ xem xét, phân tích kết quả tính toán giữa các mô hình. Kết quả từ biểu đồ cho thấy quá trình mưa tính toán của GCM khá khớp với mưa thực đo ở giai đoạn nền. Sự mô phỏng quá trình mưa trên lưu vực của mô

hình CCSM thể hiện tốt hơn so với các mô hình khác, nên các kết quả từ mô hình này được xem là đáng tin cậy và được chọn ưu tiên tính toán trong nghiên cứu này. Mô hình CSIRO cũng có thể phù hợp tốt với các quá trình mưa thực đo.



Hình 3. Kết quả đánh giá thống kê bằng biểu đồ Boxplot cho mưa thực đo và BĐKH của 5 GCM tại trạm Đà Nẵng.

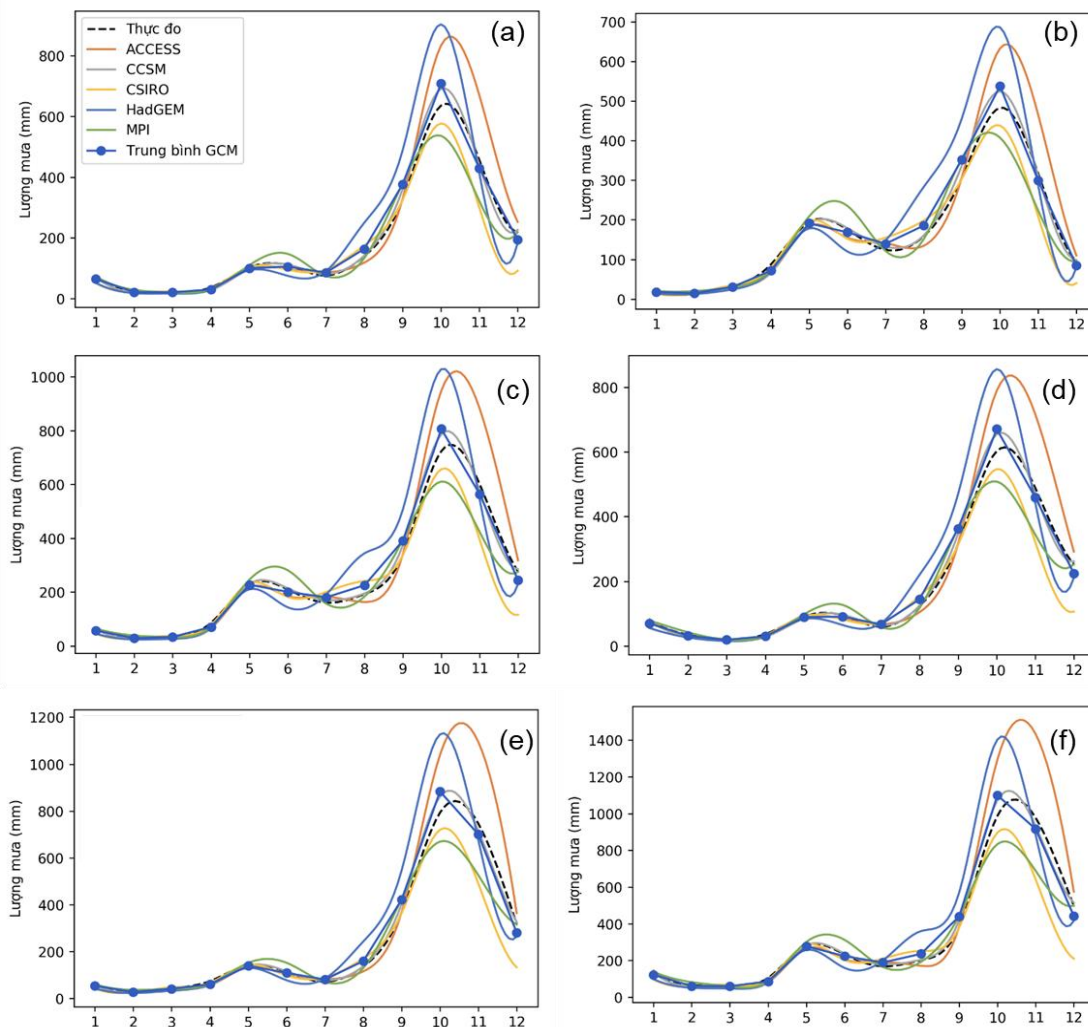


Hình 4. Kết quả đánh giá thống kê bằng biểu đồ Boxplot cho mưa thực đo và BĐKH của 5 GCM tại trạm Nông Sơn.

Có thể quan sát thấy từ các biểu đồ thống kê của CCSM thì lượng mưa trung bình hàng tháng sẽ tăng lên trong tương lai khi xem xét các kịch bản RCP4.5 và RCP8.5. Mô hình CCSM chỉ ra trong tương lai sẽ có số lượng các trận mưa cực đoạn ($X > 500$ mm) sẽ nhiều hơn so với quá khứ. Tuy nhiên, RCP4.5 của CSIRO cho biết lượng mưa trung bình tháng cao

hơn so với thời kỳ nền và số lượng các tháng có mưa nhỏ ($X < 50$ mm) cũng nhiều hơn so với thời kỳ nền; trong khi RCP8.5 của CCSM lại cho thấy tần suất xuất hiện của những tháng có mưa cực đoạn ($X > 500$ mm) tăng nhiều hơn của những tháng có mưa bình thường ($X = 250$ mm). Xem xét tổng thể các tính toán trong tương lai của các GCM, có thể kết luận rằng sẽ có nhiều các trận mưa lớn hơn so với so với thời kỳ nền.

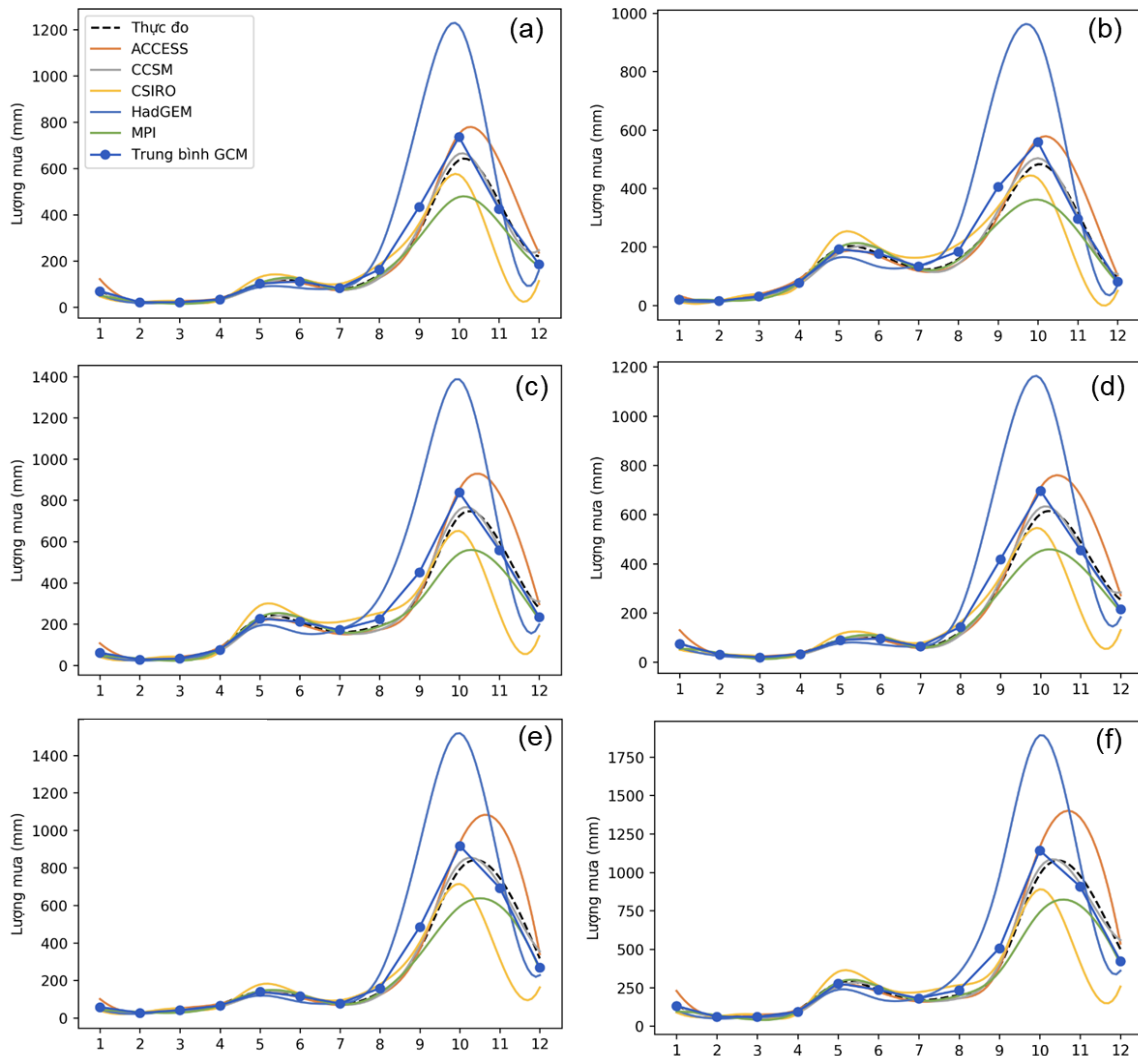
Kết quả cho thấy sự khác biệt lớn giữa mưa trong tương lai trên các tính toán của GCM. Điều này dễ hiểu vì tất cả các mô hình GCM đều có giả định trạng thái ban đầu khác nhau để mô phỏng các hiện tượng nhà kính [39], dẫn đến sẽ có sự khác biệt trong các sản phẩm chi tiết hóa thống kê từ các GCM. Do đó, trên thực tế trung bình của tổ hợp GCM được áp dụng để giảm đáng kể sự không chắc chắn trong nghiên cứu biến đổi khí hậu [40, 41]. Trung bình tổ hợp GCM (*Ensemble average – EAG*) được tính bằng cách lấy trung bình cộng của tất cả các phép chiếu của các mô hình GCM tại mỗi trạm.



Hình 5. Tính toán mưa cho kịch bản RCP4.5 tại các trạm: a) Đà Nẵng, b) Hiên, c) Nông Sơn, d) Hội An, e) Khâm Đức, f) Trà My.

Kết quả hình 7 và hình 8 cho thấy thời kỳ mùa khô (I–V) số liệu từ các mô hình GCM rất sát với thực đo, tuy nhiên những tháng mùa mưa có sự khác biệt rõ rệt, đặc biệt là thời kỳ lũ chính vụ IX–XII. Mô hình HadGEM và ACCESS dự đoán lượng mưa trong tương lai tăng rõ rệt so với thời kỳ nền, nhưng MPI và CSIRO lại cho kết quả lượng mưa giảm. Mô hình HadGEM tính toán lượng mưa tháng lớn nhất trong mùa lũ dao động 1.000–1.750 mm mỗi tháng, trong khi mô hình CSIRO ước tính lượng mưa hàng tháng cao nhất từ 400–800 mm, thấp hơn nhiều so với kết quả từ HadGEM trên cả 6 trạm mưa với kịch bản RCP4.5. Điều này cho thấy sự thay đổi đáng kể giữa các dự đoán của GCM về lượng mưa theo cả phân bố không gian và thời gian. Các kết quả của mô hình CCSM và đường trung bình GCM gần như

tương tự nhau và cho thấy lượng mưa trong mùa mưa tăng 10–25% so với thời kỳ nền đã quan trắc được. Phần lớn các kết quả từ GCM đã cho thấy sự thay đổi chút ít về thời gian xuất hiện mưa lớn so với thời kỳ nền, thời kỳ lũ tiểu mãn (lũ sớm: V–VII) các mô hình GCM kịch bản RCP4.5 cho lượng mưa cao hơn so với mưa thực đo của thời kỳ nền.

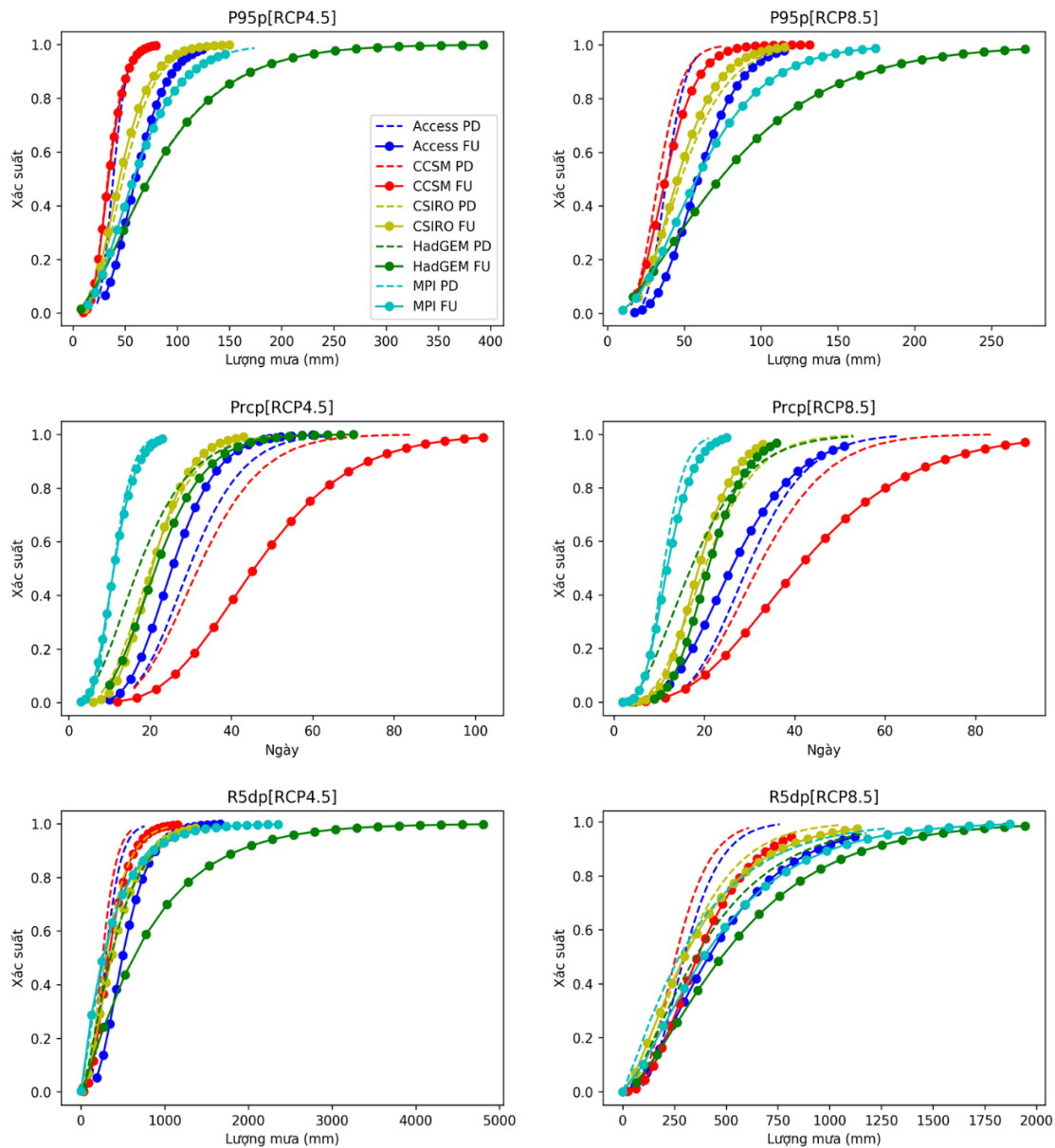


Hình 6. Tính toán mưa cho kịch bản RCP8.5 tại các trạm: a) Đà Nẵng, b) Hiên, c) Nông Sơn, d) Hội An, e) Khâm Đức, f) Trà My.

Kết quả tính toán theo kịch bản RCP8.5 chỉ ra lượng mưa trong các tháng mùa mưa cao hơn 5–15% so với kịch bản RCP4.5, điều đó cho thấy các hiện tượng mưa cực đoạn sẽ xuất hiện nhiều hơn vào mùa mưa. Thể hiện trội nhất là mô hình HadGEM rồi đến ACCESS. Tương tự như kịch bản RCP4.5, thời kỳ lũ tiểu mãn (lũ sớm: V–VII) các mô hình GCM kịch bản RCP8.5 cũng cho lượng mưa cao hơn so với thời kỳ nền.

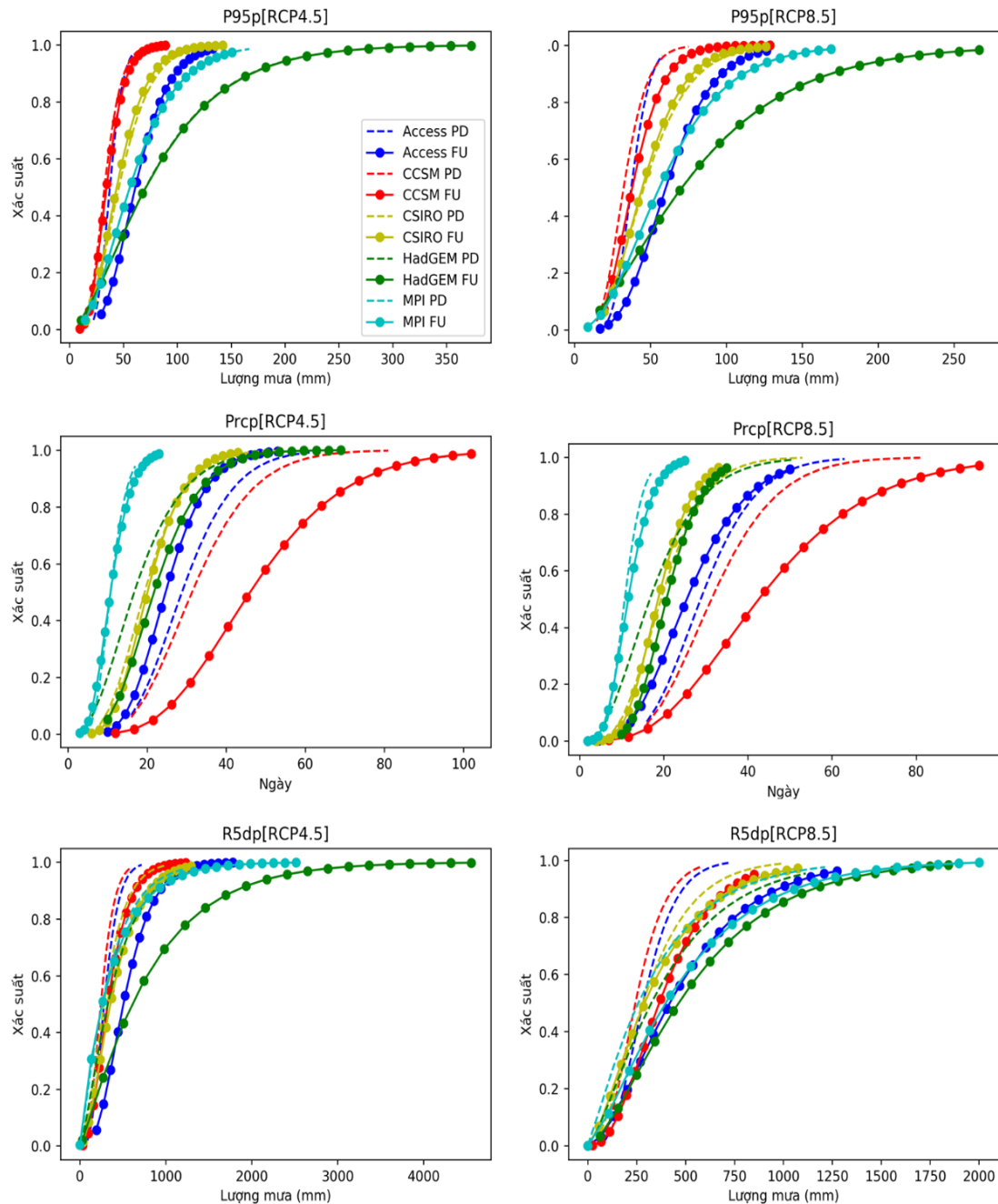
3.3. Xu thế của các chỉ số mưa cực đoạn

Hình 9 và hình 10 mô tả các hàm phân phối Gama lũy tích (CDF) của lượng mưa phân vị thứ 95 (P_{95p} , mm) – mưa ngày ứng với tần suất 5%; số ngày mưa lớn ($P > P_{95p}$) trong năm (Pr_{cp} , ngày); và lượng mưa 5 ngày liên tiếp lớn nhất (R_{5dp} , mm) của kịch bản RCP4.5 và 8.5 tại trạm đo mưa Đà Nẵng và Nông Sơn. Xét cho thời kỳ hiện tại (PD) và tương lai (FU) của 5 mô hình GCM.



Hình 7. Hàm phân bố Gamma lũy tích (CDF) của mưa phân vị thứ 95 (P95p, mm), số ngày mưa lớn trong năm (Prcp, day), lượng mưa 5 ngày liên tiếp lớn nhất (R5dp, mm) cho hiện tại (PD) và tương lai (FU) của 5 mô hình GCMs với 2 kịch bản RCP4.5 và 8.5 tại trạm Đà Nẵng.

Kết quả cho thấy phân phối tần suất lũy tích (CDF) Gamma đều phù hợp với quá trình mưa hiện tại và tương lai của trạm Đà Nẵng và Nông Sơn (Hình 9 và Hình 10). Chỉ số P95p cho biết lượng mưa của các trận mưa có xác suất vượt ngưỡng 5% (tức là 95% khả năng lượng mưa thấp hơn P95p) và các quá trình (patterns) mưa của các trận mưa lớn cực trị. Kịch bản RCP4.5 cho tất cả các mô hình GCM cho thấy các trận mưa P95p cao hơn nhiều so với hiện nay. Cả phần dưới và phần trên của CDF của các kịch bản trong tương lai đều hạ thấp hơn so với hiện tại, cho thấy sự gia tăng của cả 2 loại mưa P95p thấp và cao. Mô hình ACCESS cho thấy mưa P95p tăng 2,5–3 lần so với thời kỳ hiện nay, khoảng từ 50–100 mm. Kịch bản RCP8.5 chỉ ra quá trình mưa tương tự như RCP4.5, nhưng nghiêng hơn về phía trước có nghĩa là trong tương lai các trận mưa P95p sẽ tăng.

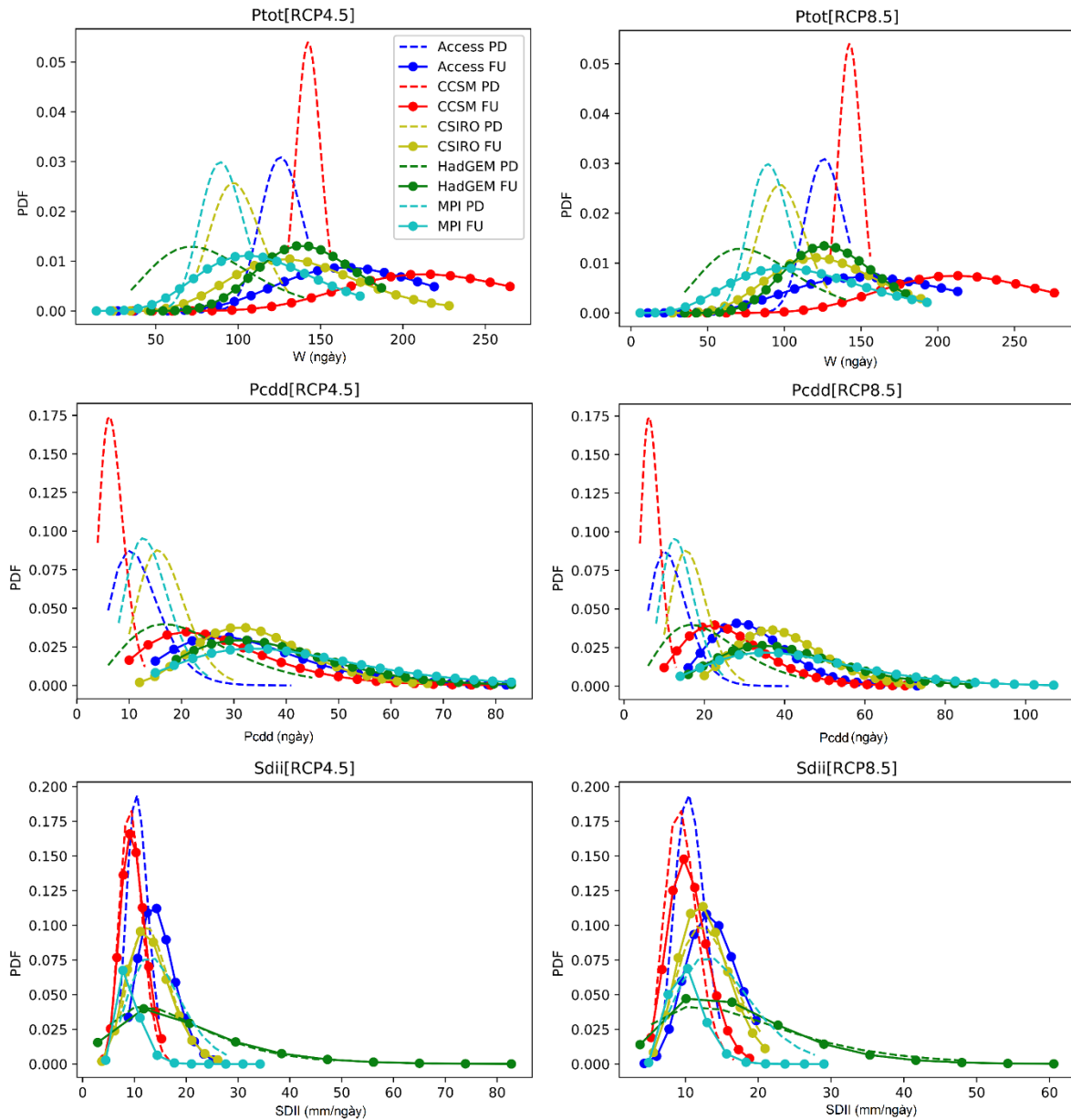


Hình 8. Hàm phân phối Gama lũy tích (CDF) của mưa phân vị thứ 95 (P95p, mm), số ngày mưa lớn trong năm (Prcp, day), lượng mưa 5 ngày liên tiếp lớn nhất (R5dp, mm) cho hiện tại (PD) và tương lai (FU) của 5 mô hình GCMs với 2 kịch bản RCP4.5 và 8.5 tại trạm Nông Sơn.

Ngoại trừ mô hình ASSESS, tất cả các GCM khác đều cho thấy xu hướng Prcp tăng, điều này cho thấy số ngày có mưa lớn cực đoan sẽ tăng trong tương lai. R5dp là đại lượng biểu thị tổng lượng mưa lớn nhất trong 5 ngày liên tiếp. Chỉ số này mô tả những trận mưa lớn cường độ cao có thời gian dài hơn, đây là nguyên nhân chính sinh ra lũ lụt. Có thể quan sát thấy từ Hình 9 và hình 10 rằng CDF của R5dp cho các kịch bản trong tương lai đã dịch chuyển sang phải so với kịch bản nền. Điều đó có nghĩa là lượng mưa lớn nhất trong 5 ngày liên tiếp cao hơn thời kỳ nền, do đó khả năng xảy ra lũ lụt trong tương lai sẽ cao hơn. Kịch bản RCP4.5 cho thấy các trận mưa 5 ngày xuất hiện nhiều hơn so với kịch bản RCP8.5.

Nhìn chung, có thể quan sát từ Hình 9 và hình 10 rằng lượng mưa của các trận mưa cực đoan sẽ tăng lên, dẫn đến là cùng độ lớn của trận mưa đó sẽ có tần suất (độ lặp lại) giảm đi.

Xét về mặt không gian, không có sự khác biệt đáng kể của các chỉ số mưa trong tương lai giữa các trạm Đà Nẵng và Nông Sơn.

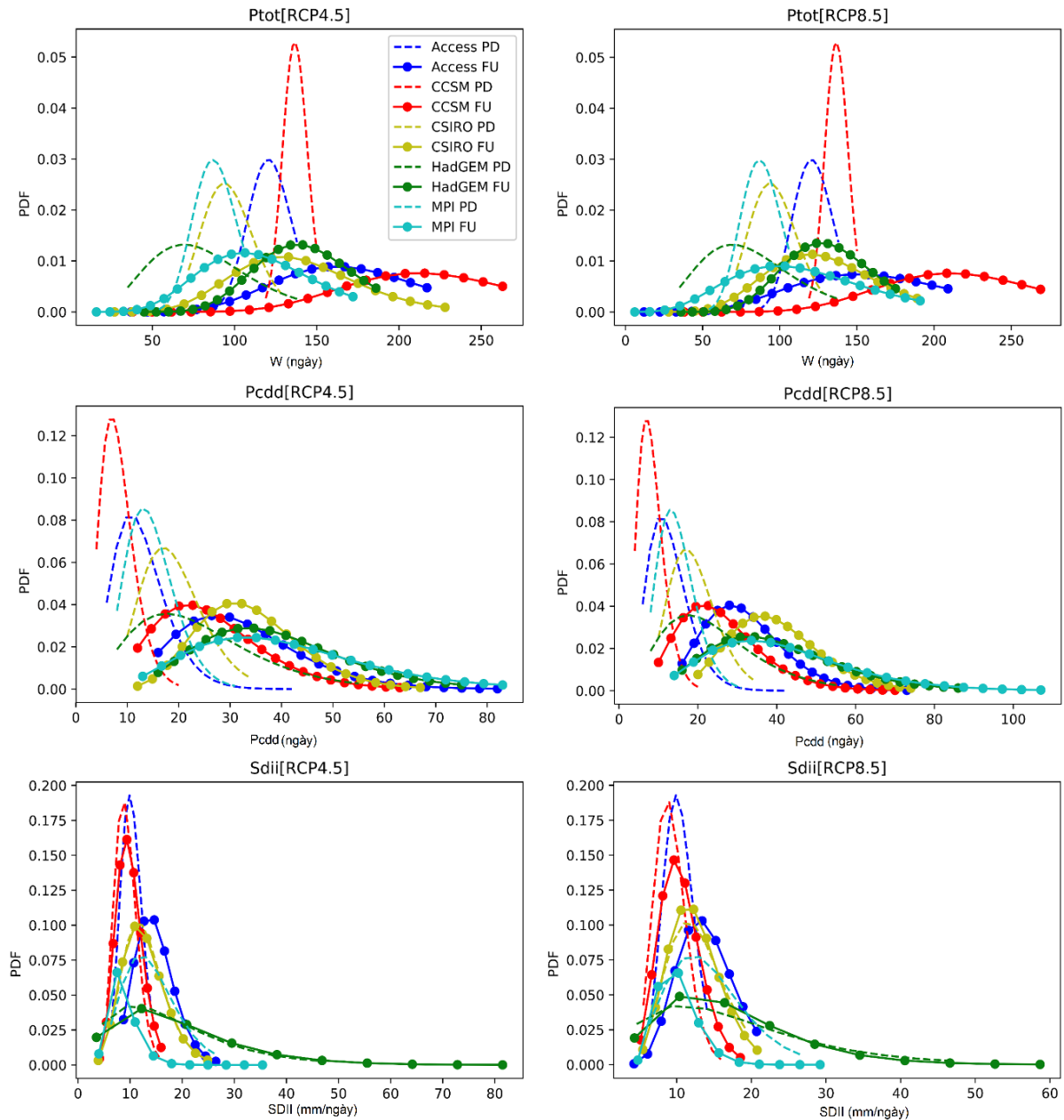


Hình 9. Hàm phân phối xác suất Gamma (PDF) của tổng lượng mưa năm (Ptot), số ngày không mưa liên tục dài nhất trong năm (Pcdd) và cường độ mưa ngày trung bình (SDII) cho thời kỳ hiện tại (PD) và tương lai (FU) của 5 mô hình GCMs với 2 kịch bản RCP4.5 và 8.5 tại trạm Đà Nẵng.

Các chỉ số như: tổng lượng mưa năm (Ptot, mm), tổng số ngày mưa trong năm (W, ngày), tổng số ngày không mưa liên tục dài nhất trong năm (Pcdd, ngày), và cường độ mưa trung bình của những ngày có mưa (SDII, mm/ngày) của thời kỳ nền và tương lai tại các trạm Đà Nẵng và Nông Sơn được thể hiện trong Hình 11 và hình 12.

Diện tích của biểu đồ Ptot thể hiện mưa năm, phụ thuộc vào biến số ngày có mưa trong năm W (quy ước ngày có mưa khi $X > 1$ mm). Trong các nghiên cứu trước đây đều chỉ ra rằng tất cả các GCM đều có bản chất thống kê trong thời kỳ nền tương tự như quá trình thực đo [42]. Đó là sự xuất hiện thường xuyên của các trận mưa trung bình, và các trận mưa lớn có tần suất ít hơn. Các GCM tính toán mưa trong tương lai cho các kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 trên lưu vực sông VGTB đã cho thấy xu hướng các đường trong tương lai của biểu đồ Ptot lệch về bên phải nhiều hơn, vì vậy, trong tương lai lưu vực sẽ có lượng mưa năm nhiều hơn so với hiện nay. Tuy nhiên, vẫn chưa thể lý giải được nguyên nhân sự gia tăng

tổng lượng mưa năm là do các trận mưa trong mùa mưa ngày càng lớn hơn, hay do số ngày mưa tăng lên, mà cần sử dụng thêm thông tin của P_{cdd} và S_{dii} để phân tích nguyên nhân gia tăng này.



Hình 10. Hàm phân phối xác suất Gamma (PDF) của tổng lượng mưa năm (Ptot), tổng số ngày không mưa liên tục dài nhất trong năm (P_{cdd}) và cường độ mưa trung bình ngày (S_{dii}) cho thời kỳ hiện tại (PD) và tương lai (FU) của 5 mô hình GCM với 2 kịch bản RCP4.5 và 8.5 tại trạm Nông Sơn.

Dựa trên phân tích chỉ số P_{cdd} (tổng số ngày không mưa liên tục dài nhất trong năm), kết quả từ ACCESS cho thấy những đợt khô hạn lớn nhất dao động từ 5 đến 40 ngày, trong đó hơn 80% là các đợt kéo dài đến 20 ngày. Mô hình khác của GCM cũng biểu diễn mô phỏng ngày tương tự như vậy. Tuy nhiên, các kết quả trong tương lai cho thấy số ngày khô hạn sẽ tăng mạnh, số ngày không mưa liên tục trên 20 ngày sẽ tăng từ 15% ở hiện tại lên 80% trong tương lai, đồng thời thời gian mùa khô sẽ kéo dài hơn so với hiện nay. Như vậy trong tương lai thời kỳ khô hạn sẽ dài hơn và tần suất xuất hiện sẽ nhiều hơn nên hậu quả của hạn hán sẽ khốc liệt hơn.

Chỉ số SDII là cường độ mưa ngày trung bình trong năm (chỉ xét cho ngày có mưa), được tính toán bằng tỷ số giữa P_{tot} và số ngày có mưa (W). Các kịch bản mưa trong tương lai cho thấy số các trận mưa có cường độ trung bình và thấp thì giảm xuống, nhưng số các trận mưa có cường độ cao lại tăng lên.

So với các nghiên cứu trước đây, bài báo này đã đánh giá cụ thể về sự phù hợp của mô hình ACCESS đối với lưu vực sông VGTB so với các mô hình GCM khác; đồng thời cũng chỉ ra rằng phương pháp hiệu chỉnh sai số LS hiệu quả hơn 2 phương pháp LOCI và DM. Kết quả 6 chỉ số mưa cũng cho thấy mức độ biến đổi trong tương lai của các đặc trưng mưa lớn trong mùa mưa, mưa tháng và mưa năm với mức độ chi tiết tại 6 vị trí trạm mưa đại diện trên lưu vực.

4. Kết luận

Các quá trình mưa thực đo và tính toán trong tương lai (giai đoạn giữa thế kỷ 2035–2075) trên lưu vực sông VGTB đã được mô phỏng, phân tích và tính toán. Sáu trạm đo mưa trong lưu vực đã được xem xét để đánh giá sự biến đổi không gian, kết quả cho thấy sự biến đổi theo tháng của mưa thực đo tại các trạm gần tương tự nhau. Tuy nhiên, tổng lượng mưa năm có thay đổi theo địa hình, cụ thể trạm Hiền có lượng mưa năm thấp nhất, trong khi trạm Khâm Đức có lượng mưa năm cao nhất.

Trong số 5 mô hình GCM, thì mô hình ACCESS được cho kết quả mô phỏng tốt nhất các quá trình mưa trên lưu vực. Sáu chỉ số mưa được sử dụng để phân tích xu hướng và những thay đổi của quá trình mưa trong tương lai khi xét các kịch bản BĐKH RCP4.5 và RCP8.5, tất cả các chỉ số đều thay đổi trong cả 2 kịch bản. Trong tương lai, chỉ số mưa P95p và Prep đều tăng, và lượng mưa của các trận mưa lớn (vượt tần suất 5%) tăng so với thời kỳ nền khoảng 50–100 mm tùy từng vị trí của lưu vực. Đồng thời chỉ số R5dp của các kịch bản tương lai cũng có xu thế lớn hơn kịch bản nền, có nghĩa là lượng mưa lớn nhất trong 5 ngày liên tiếp sẽ cao hơn, dẫn đến nguy cơ lũ lụt. Chỉ số tổng lượng mưa năm (P_{tot}) và cường độ mưa ngày trung bình (SDII) đều tăng, sự gia tăng này lại chỉ tập trung vào những tháng mưa lũ chính vụ (IX–XI). Bên cạnh đó, nguy cơ các đợt khô hạn cũng sẽ xuất hiện nhiều hơn do chỉ số Pddd (số ngày không mưa liên tục dài nhất trong năm) tăng lên, cụ thể là số ngày không mưa liên tục > 20 ngày sẽ tăng khoảng 15%, dẫn đến nguy cơ hạn hán sẽ ngày càng khốc liệt hơn.

Nhìn chung, có thể kết luận rằng hiện tượng ấm lên toàn cầu có thể có tác động lớn đến tổng lượng mưa và quá trình diễn biến mưa trên lưu vực VGTB ở các tháng mùa mưa, đặc biệt là các tháng lũ chính vụ. Tần suất và cường độ của các hiện tượng cực đoan có thể sẽ tăng lên, cường độ mưa của các trận mưa lớn có thể tăng, nhưng ngược lại số ngày không mưa cũng có thể kéo dài hơn. Trong khi diễn biến mưa những tháng mùa khô ít thay đổi.

Một số hạn chế của nghiên cứu này là: mới chỉ tính toán mưa trong tương lai theo các kịch bản BĐKH cho 6 trạm mưa điển hình (mưa điểm) mà chưa xác định được các bản đồ phân bố mưa theo không gian (mưa diện); và chưa xét đến các đặc trưng mưa mùa khô. Rất mong muốn các nghiên cứu tiếp theo sẽ bổ sung khắc phục những hạn chế này.

Đóng góp tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.M.Đ.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.M.Đ.; Xử lý số liệu: L.N.V.; Tính toán: L.N.V.; Phân tích kết quả: L.N.V., N.M.Đ.; Viết bản thảo bài báo: L.N.V.; Chỉnh sửa bài báo: N.M.Đ.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn các cơ quan của Tổng cục Khí tượng Thủy văn đã cung cấp tài liệu; các chuyên gia trong nước và quốc tế đã đóng góp ý kiến để hoàn thành nghiên cứu này.

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, 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. Pachauri, R.K.; Allen, M.R.; Barros, V.R.; Broome, J.; Cramer, W.; Christ, R.; Church, J.A.; Clarke, L.; Dahe, Q.; Dasgupta, P. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2014.
2. Cheng, L.; Zhu, J. Benefits of CMIP5 Multimodel Ensemble in Reconstructing Historical Ocean Subsurface Temperature Variations. *J. Clim.* **2016**, *29*, 5393–5416.
3. Taylor, K.E.; Stouffer, R.J.; Meehl, G.A. An Overview of CMIP5 and Experiment Design. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2012**, *93*, 485–498.
4. Liu, X.; Coulibaly, P.; Evora, N. Comparison of Data-Driven Methods for Downscaling Ensemble Weather Forecasts. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2008**, *12*, 615–624.
5. Sunyer, M.A.; Madsen, H.; Ang, P.H. A Comparison of Different Regional Climate Models and Statistical Downscaling Methods for Extreme Rainfall Estimation under Climate Change. *Atmospheric Res.* **2012**, *103*, 119–128.
6. Samadi, S.; Ehteramian, K.; Sarraf, B.S. SDSM Ability in Simulate Predictors for Climate Detecting over Khorasan Province. *Procedia-Soc. Behav. Sci.* **2011**, *19*, 741–749.
7. Tumbo, S.D.; Mpeti, E.; Tadross, M.; Kahimba, F.C.; Mbillinyi, B.P.; Mahoo, H.F. Application of Self-Organizing Maps Technique in Downscaling GCMs Climate Change Projections for Same, Tanzania. *Phys. Chem. Earth Parts ABC* **2010**, *35*, 608–617.
8. Fowler, H.J.; Blenkinsop, S.; Tebaldi, C. Linking Climate Change Modelling to Impacts Studies: Recent Advances in Downscaling Techniques for Hydrological Modelling. *Int. J. Climatol. J. R. Meteorol. Soc.* **2007**, *27*, 1547–1578.
9. Maraun, D.; Wetterhall, F.; Ireson, A.M.; Chandler, R.E.; Kendon, E.J.; Widmann, M.; Brienen, S.; Rust, H.W.; Sauter, T.; Themeßl, M. Precipitation Downscaling under Climate Change: Recent Developments to Bridge the Gap between Dynamical Models and the End User. *Rev. Geophys.* **2010**, *48*.
10. von Storch, H. Review of Empirical Downscaling Techniques. In Proceedings of the Regional climate development under global warming. General technical report no. 4. Conference proceedings regclim spring meeting Jevnaker, Torbjornrud, Norway, 2000.
11. Teutschbein, C.; Seibert, J. Bias Correction of Regional Climate Model Simulations for Hydrological Climate-Change Impact Studies: Review and Evaluation of Different Methods. *J. Hydrol.* **2012**, *456*, 12–29.
12. Terink, W.; Hurkmans, R.; Torfs, P.; Uijlenhoet, R. Evaluation of a Bias Correction Method Applied to Downscaled Precipitation and Temperature Reanalysis Data for the Rhine Basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2010**, *14*, 687–703.
13. Teutschbein, C.; Seibert, J. Is Bias Correction of Regional Climate Model (RCM) Simulations Possible for Non-Stationary Conditions? *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2013**, *17*, 5061–5077.
14. Déqué, M.; Rowell, D.P.; Lüthi, D.; Giorgi, F.; Christensen, J.H.; Rockel, B.; Jacob, D.; Kjellström, E.; De Castro, M.; van den Hurk, B. An Intercomparison of Regional Climate Simulations for Europe: Assessing Uncertainties in Model Projections. *Clim. Change* **2007**, *81*, 53–70.
15. Giorgi, F. Regional Climate Modeling: Status and Perspectives. Proceedings of the Journal de Physique IV (proceedings), EDP sciences, 2006, 139, pp. 101–118.
16. Aalbers, E.E.; Lenderink, G.; van Meijgaard, E.; van den Hurk, B.J. Local-Scale Changes in Mean and Heavy Precipitation in Western Europe, Climate Change or Internal Variability? *Clim. Dyn.* **2018**, *50*, 4745–4766.

17. Chen, Z.; Wang, W.; Fu, J. Vegetation Response to Precipitation Anomalies under Different Climatic and Biogeographical Conditions in China. *Sci. Rep.* **2020**, *10*, 1–16.
18. Johnson, F.; Sharma, A. Measurement of GCM Skill in Predicting Variables Relevant for Hydroclimatological Assessments. *J. Clim.* **2009**, *22*, 4373–4382.
19. Arora, H.; Ojha, C.S.P.; Buytaert, W.; Kaushika, G.S.; Sharma, C. Spatio–Temporal Trends in Observed and Downscaled Precipitation over Ganga Basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* **2017**, 1–19.
20. Fang, G.H.; Yang, J.; Chen, Y.N.; Zammit, C. Comparing Bias Correction Methods in Downscaling Meteorological Variables for a Hydrologic Impact Study in an Arid Area in China. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2015**, *19*, 2547–2559.
21. Luo, M.; Liu, T.; Meng, F.; Duan, Y.; Frankl, A.; Bao, A.; De Maeyer, P. Comparing Bias Correction Methods Used in Downscaling Precipitation and Temperature from Regional Climate Models: A Case Study from the Kaidu River Basin in Western China. *Water* **2018**, *10*, 1046.
22. Eden, J.M.; Widmann, M.; Maraun, D.; Vrac, M. Comparison of GCM–and RCM–Simulated Precipitation Following Stochastic Postprocessing. *J. Geophys. Res. Atmospheres* **2014**, *119*, 11–040.
23. Zou, L.; Zhou, T. Near Future (2016–40) Summer Precipitation Changes over China as Projected by a Regional Climate Model (RCM) under the RCP8.5 Emissions Scenario: Comparison between RCM Downscaling and the Driving GCM. *Adv. Atmospheric Sci.* **2013**, *30*, 806–818.
24. Adeyeri, O.E.; Lawin, A.E.; Laux, P.; Ishola, K.A.; Ige, S.O. Analysis of Climate Extreme Indices over the Komadugu–Yobe Basin, Lake Chad Region: Past and Future Occurrences. *Weather Clim. Extrem.* **2019**, *23*, 100194.
25. Karl, T.R.; Meehl, G.A.; Miller, C.D.; Hassol, S.J.; Waple, A.M.; Murray, W.L. Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and US Pacific Islands. *Synth. Assess. Prod.* **2008**, *3*, 16–19.
26. Nam, D.H.; Hoa, T.D.; Duong, P.C.; Thuan, D.H.; Mai, D.T. Assessment of Flood Extremes Using Downscaled CMIP5 High–Resolution Ensemble Projections of near–Term Climate for the Upper Thu Bon Catchment in Vietnam. *Water* **2019**, *11*, 634.
27. Phuong, D.N.D.; Duong, T.Q.; Liem, N.D.; Tram, V.N.Q.; Cuong, D.K.; Loi, N.K. Projections of Future Climate Change in the Vu Gia Thu Bon River Basin, Vietnam by Using Statistical Downscaling Model (SDSM). *Water* **2020**, *12*, 755.
28. Tien Thanh, N.; Dutto Aldo Remo, L. Projected Changes of Precipitation Idf Curves for Short Duration under Climate Change in Central Vietnam. *Hydrology* **2018**, *5*, 33.
29. Van Tra, T.; Thinh, N.X.; Greiving, S. Combined Top–down and Bottom–up Climate Change Impact Assessment for the Hydrological System in the Vu Gia–Thu Bon River Basin. *Sci. Total Environ.* **2018**, *630*, 718–727.
30. Vu, M.T.; Vo, N.D.; Gourbesville, P.; Raghavan, S.V.; Liong, S.–Y. Hydro–Meteorological Drought Assessment under Climate Change Impact over the Vu Gia–Thu Bon River Basin, Vietnam. *Hydrol. Sci. J.* **2017**, *62*, 1654–1668.
31. Nguyen, H.T.; Duong, T.Q.; Nguyen, L.D.; Vo, T.Q.; Tran, N.T.; Dang, P.D.; Nguyen, L.D.; Dang, C.K.; Nguyen, L.K. Development of a Spatial Decision Support System for Real–Time Flood Early Warning in the Vu Gia–Thu Bon River Basin, Quang Nam Province, Vietnam. *sensors* **2020**, *20*, 1667.
32. Vo, N.D.; Gourbesville, P. Flood Risk Assessment: A View of Climate Change Impact at Vu Gia Thu Bon Catchment, Vietnam. In Proceedings of the Advances in

- Hydroinformatics: SimHydro 2017–Choosing The Right Model in Applied Hydraulics; Springer, 2018; pp. 727–737.
33. Vo, N.D.; Gourbesville, P. Establishing the Flood Map for the Downstream of Vu Gia–Thu Bon Catchment – a Coastal Region of Viet Nam Central. Scale Variability of Inundation Area under the Impact of Climate Change. In Proceedings of the 36th IAHR World Congress – The Hague, Netherlands, 28 June–3 July, 2015.
 34. Lenderink, G.; Buishand, A.; Van Deursen, W. Estimates of Future Discharges of the River Rhine Using Two Scenario Methodologies: Direct versus Delta Approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2007**, *11*, 1145–1159.
 35. Schmidli, J.; Goodess, C.M.; Frei, C.; Haylock, M.R.; Hundecha, Y.; Ribalaygua, J.; Schmith, T. Statistical and Dynamical Downscaling of Precipitation: An Evaluation and Comparison of Scenarios for the European Alps. *J. Geophys. Res. Atmospheres* **2007**, *112*.
 36. dos Santos, C.A.C.; de Brito, J.I.; Júnior, C.H. da S.; Dantas, L.G. Trends in Precipitation Extremes over the Northern Part of Brazil from ERA40 Dataset. *Rev. Bras. Geogr. Física* **2012**, *5*, 836–851.
 37. Sharma, D.; Babel, M.S. Trends in Extreme Rainfall and Temperature Indices in the Western Thailand. *Int. J. Climatol.* **2014**, *34*, 2393–2407.
 38. Yazid, M.; Humphries, U. Regional Observed Trends in Daily Rainfall Indices of Extremes over the Indochina Peninsula from 1960 to 2007. *Climate* **2015**, *3*, 168–192.
 39. Pan, Z.; Christensen, J.H.; Arritt, R.W.; Gutowski Jr, W.J.; Takle, E.S.; Otieno, F. Evaluation of Uncertainties in Regional Climate Change Simulations. *J. Geophys. Res. Atmospheres* **2001**, *106*, 17735–17751.
 40. Mondal, A.; Mujumdar, P.P. On the Basin–Scale Detection and Attribution of Human–Induced Climate Change in Monsoon Precipitation and Streamflow. *Water Resour. Res.* **2012**, *48*.
 41. Sharma, C.; Ojha, C.S.P.; Shukla, A.K.; Pham, Q.B.; Linh, N.T.T.; Fai, C.M.; Loc, H.H.; Dung, T.D. Modified Approach to Reduce GCM Bias in Downscaled Precipitation: A Study in Ganga River Basin. *Water* **2019**, *11*, 2097.
 42. Sharma, C.; Ojha, C.S.P. Statistical Parameters of Hydrometeorological Variables: Standard Deviation, SNR, Skewness and Kurtosis. Proceedings of the Advances in Water Resources Engineering and Management: Select Proceedings of TRACE 2018, Springer, 2020, pp. 59–70.

Analysis of the changes of rainfall indicators in the context of climate change in Vu Gia–Thu Bon River basin

Le Ngoc Vien¹, Nguyen Mai Dang^{2*}

¹ Central Region College of Technology, Economics and Water Resources;
Invckt@gmail.com

² Center for International Education, Thuyloi University; dang@tlu.edu.vn

Abstract: Climate change made the changes of precipitation and flow on river basins, it is needed to adjust the planning, design and management of hydraulic works, hydropower, and natural disaster prevention system. Therefore, this paper studies the variation of rainfall indices in Vu Gia–Thu Bon river basin on the basis of analysis of real rain data and from global climate models. The results show that the heavy rainfall indicators P95p, Prcp, R5dp all increase in the future, and P95p increases by about 50–100 mm compared to the baseline period, so the flood risk will be higher. The total annual rainfall index (Ptot) and the average daily rainfall intensity (SDII) also increased; these increases were mainly concentrated in

the main flood season (IX-XI). Besides, the drought hazard is also increases due to the Podd index (number of consecutive days without rain in a year) also increases, specifically, the number of days without continuous rain > 20 days will increase by about 15%, leading to the risk of drought would be more severe. This information could be useful for managers and researchers to propose measures to adapt to climate change and ensure water security in the future.

Keywords: Statistical downscaling; Climate change; Bias correction; Precipitation indicators; Vu Gia –Thu Bon.

Bài báo khoa học

Phân tích địa không gian đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường và nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai, Việt Nam

Nhữ Việt Hà^{1*}, Trần Vũ Long¹, Phạm Minh Tuấn¹, Nguyễn Việt Nghĩa¹

¹ Trường đại học Mở - Địa chất; nhuvietha@humg.edu.vn; tranvulong@humg.edu.vn; xinghiepkhaosat@gmail.com; nguyenvietnghia@humg.edu.vn.

*Tác giả liên hệ: nhuvietha@humg.edu.vn; Tel.: +84-903462689

Ban Biên tập nhận bài: 5/4/2022; Ngày phản biện xong: 19/5/2023; Ngày đăng bài: 25/5/2023

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả phân tích địa không gian đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường và nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai. Hệ phương pháp phân tích không gian GIS bao gồm 03 bước đã được sử dụng, cho phép tạo lập cơ sở dữ liệu địa không gian về nước ngầm mạch lộ và 12 yếu tố có quan hệ ảnh hưởng. Theo đó, mức độ quan hệ chặt chẽ được đánh giá ở các khu vực độ dốc địa hình nhỏ hơn 12,8 độ, hướng sườn bằng phẳng, độ cong địa hình -0,004-0,005, ngưỡng cao độ 666-802,6 m, các thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa hệ tầng Túc Trung, thực phủ cây thân gỗ, và các chỉ số NDVI 0,45-0,54, NDMI -03-0,04, NDWI 0-0,17. Với yếu tố khoảng cách tới đứt gãy và sông, mức độ quan hệ được đánh giá chưa rõ nét. Với yếu tố lượng mưa, mức độ quan hệ chưa phù hợp quy luật tuyến tính bổ cập trữ lượng. Từ các đánh giá định lượng, kết quả nghiên cứu đã cung cấp bức tranh toàn diện về sự ảnh hưởng và tác động giữa nước ngầm mạch lộ và 12 yếu tố môi trường tự nhiên. Là cơ sở khoa học đầu vào tin cậy cho các mô hình dự báo, đánh giá nguy cơ suy thoái nước ngầm mạch lộ phục vụ quản lý, khai thác bền vững.

Từ khóa: Nước ngầm mạch lộ; Địa không gian; GIS; Gia Lai; Việt Nam.

1. Mở đầu

Tài nguyên nước đã được xác định là một trong những thách thức quan trọng nhất của thế kỷ 21 trên toàn thế giới [1-2]. Trong đó nước ngầm, đặc biệt là nước ngầm mạch lộ ở các khu vực khan hiếm nước được coi là một trong những nguồn tài nguyên thiên nhiên quý giá nhất [3-4] do một số đặc điểm như nhiệt độ ổn định, phổ biến, khả năng chịu ô nhiễm hạn chế, chi phí phát triển thấp và đáng tin cậy trong thời kỳ hạn hán. Sự gia tăng dân số nhanh kết hợp với biến đổi khí hậu đã làm tăng nhu cầu sử dụng tài nguyên nước cho các mục đích uống, nông nghiệp và công nghiệp [5].

Khu vực Gia Lai là địa bàn trung tâm của Tây Nguyên - vùng có vị trí chiến lược trong phát triển kinh tế - xã hội và bảo vệ an ninh - quốc phòng, và thuộc một trong 7 vùng kinh tế của Việt Nam. Trong 10 năm trở lại đây, khu vực này là “chảo lửa” của hạn hán, đặc biệt trong mùa khô, kéo dài từ tháng 11 đến tháng 4 hàng năm [6-7], gây thiếu hụt nguồn nước nghiêm trọng trên diện rộng, ảnh hưởng nặng nề đến hoa màu và cây công nghiệp. Do ảnh hưởng của hạn hán khó dự báo và có xu hướng xấu, kết hợp với nạn chặt phá rừng đầu nguồn, vấn đề tăng dân số cơ học (khoảng 1,13% năm) và phát triển các cây công nghiệp tốc độ cao tự phát, đã dẫn đến nguồn nước ngầm bị khai thác và sử dụng cạn kiệt, kém hiệu quả, đã và đang tác động rất tiêu cực tới công cuộc phát triển kinh tế - xã hội, làm mất dần cân bằng hệ

sinh thái và phát triển bền vững [8]. Bên cạnh đó, sự tái tạo và bổ cập trữ lượng nước ngầm không kịp đáp ứng yêu cầu. Hậu quả là, nước trở thành vấn đề nghiêm trọng, đe dọa nghiêm trọng đến kinh tế xã hội và đời sống của nhân dân. Khi nhu cầu nước sinh hoạt trở thành phổ biến, đặc biệt là nguồn nước sạch đã trở lên hết sức khan hiếm khi hạn hán, nước ngầm mạch lộ ngày càng trở thành quý giá. Yêu cầu về dự báo trữ lượng và đánh giá nguy cơ suy thoái phục vụ quản lý, khai thác bền vững nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai có ý nghĩa rất quan trọng và cấp bách.

Mạch lộ là nơi nước ngầm xuất lộ tự nhiên, tạo thành dòng chảy, có thể thoát ra từ đá gốc hay từ lớp đất phủ trên mặt đất. Mạch nước có thể là mạch nước lên (xuất lộ của nước có áp) hoặc mạch nước xuống (xuất lộ nước ngầm). Động thái của các mạch nước rất khác nhau, có loại mạch nước chỉ chảy vào mùa mưa và biến mất vào mùa khô, có loại chảy quanh năm với lưu lượng ổn định, lại có loại xuất lộ theo chu kỳ. Có thể gặp mạch nước xuất lộ theo dạng mạch rỉ rất nhỏ (chỉ đủ quan sát thấy dòng chảy), tới các mạch nước xuất lộ tràn trề lưu lượng cực lớn. Mạch nước cũng có khi gặp trên sườn núi, bên bờ sông, hay mạch đùn lên thành đầm lầy hay thậm chí gặp mạch nước ngọt ở ngoài biển [9].

Nước ngầm mạch lộ có đặc điểm địa chất thủy văn khác biệt so với nước ngầm tồn tại trong các đất đá trầm tích. Bên cạnh các yếu tố nhân tạo, nước ngầm mạch lộ có quan hệ phụ thuộc vào nhiều yếu tố tự nhiên. Động thái, trữ lượng và nguy cơ suy thoái của nước ngầm mạch lộ liên quan chặt chẽ với các yếu tố địa hình, địa mạo, địa chất, thực phủ, thổ nhưỡng, lượng mưa, và khí tượng [4, 9–16]. Đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ có thể cung cấp bức tranh thông tin toàn diện về sự ảnh hưởng và tác động giữa chúng.

Trong công tác mô hình hóa dự báo trữ lượng và đánh giá nguy cơ suy thoái phục vụ quản lý, khai thác bền vững; nước ngầm mạch lộ và các yếu tố môi trường tự nhiên là dữ liệu đầu vào quan trọng bậc nhất. Có ba nhóm phương pháp [17] đã được đề xuất và ứng dụng tốt, gồm: (i) nhóm các mô hình và phương pháp truyền thống; (ii) nhóm các mô hình thống kê; và (iii) nhóm các mô hình máy học - trí tuệ nhân tạo. Nhóm (i) sử dụng trực tiếp các số liệu điều tra, khảo sát và phân tích địa chất thủy văn [18, 19] nên thường cho độ chính xác cao, nhưng tốn chi phí và thời gian. Nhóm (ii) sử dụng các mô hình thống kê (DRASTIC [20], tần suất thống kê (*Frequency Ratio*) [21], mô hình thống kê Bayesian (*Weight of Evidence*) [22], và mô hình hồi quy logic (*logistic regression*) [23]) và các dữ liệu khảo sát (độ chính xác phụ thuộc vào lượng dữ liệu), phù hợp hơn cho vùng lớn. Nhóm (iii) sử dụng các thuật toán trí tuệ nhân tạo mới hiện đang được quan tâm do khả năng dự báo chính xác cao (mạng nơ-ron nhân tạo [22], mô hình tập hợp rừng ngẫu nhiên và hàm thông tin cực đại [24], mô hình cây hồi quy và phân loại [25], mô hình cây hồi quy [26], và mô hình kết hợp logic mờ và nơ-ron nhân tích hợp với các thuật toán tối ưu hóa toàn cục [27], mô hình tập hợp và đa biến [19, 28–29]), phù hợp cho phạm vi rộng. Theo đó, các đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ sẽ thiết lập các cơ sở khoa học cho các nhóm phương pháp mô hình hóa này. Đặc biệt với nhóm các mô hình thống kê và máy học - trí tuệ nhân tạo.

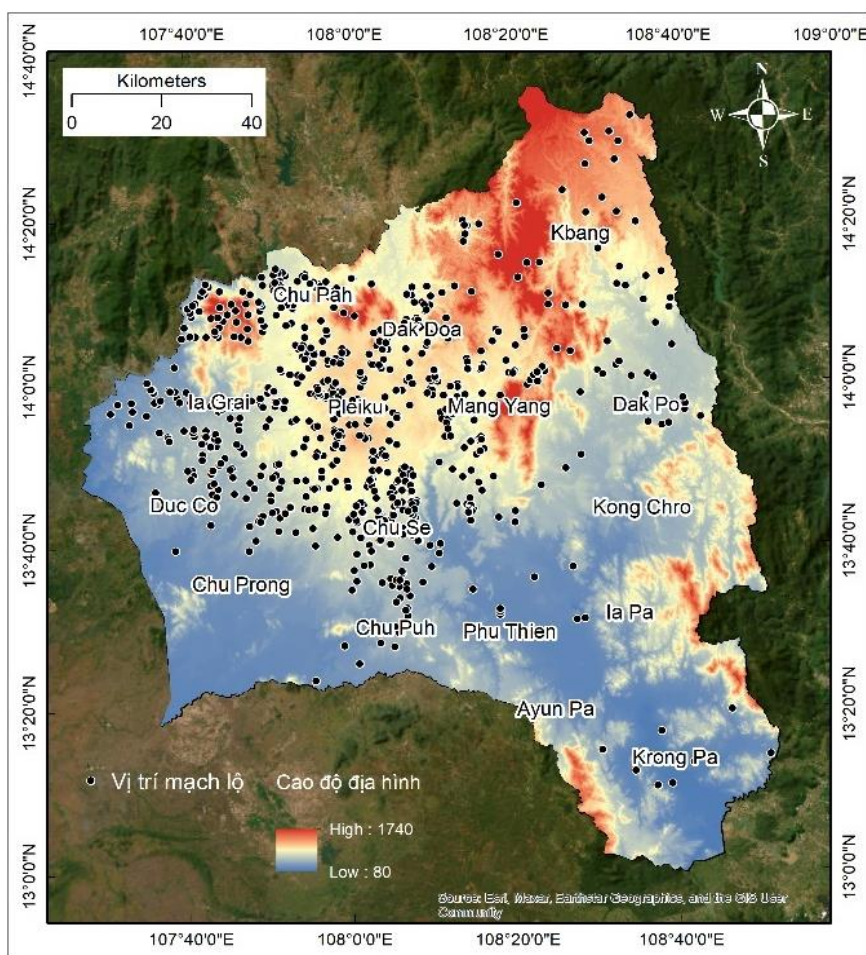
Các kỹ thuật xử lý không gian trong môi trường hệ thông tin địa lý (GIS) có thể được sử dụng để dễ dàng xử lý và chuẩn hóa cho các tập dữ liệu lớn. Môi trường GIS cũng là tối ưu cho công tác xây dựng, quản lý, và phân tích cơ sở dữ liệu địa không gian. Các công cụ phân tích không gian GIS cung cấp tính năng mạnh mẽ để phân tích mối quan hệ thống kê không gian. Trong mô hình hóa nước ngầm mạch lộ, cơ sở khoa học là mối quan hệ giữa mạch lộ nước ngầm đã biết và các nhóm yếu tố môi trường tự nhiên về địa hình, địa mạo, địa chất, thực phủ, thổ nhưỡng, lượng mưa, và khí tượng [4, 13–16]. Kết quả cho phép đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường và nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai, Việt Nam.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu có diện tích khoảng 15.500 km², ranh giới từ 15°58'20" đến 14°36'36" vĩ độ Bắc, từ 107°27'23" đến 108°94'40" kinh độ Đông (Hình 1). Địa giới hành chính thuộc địa bàn tỉnh Gia Lai. Phía bắc giáp tỉnh Kon Tum, phía nam giáp tỉnh Đắk Lắk, phía tây giáp Campuchia với 90 km đường biên giới Quốc gia, phía đông giáp các tỉnh Quảng Ngãi, Bình Định và Phú Yên.

Địa hình khu vực nghiên cứu có cao độ 600-800 m, biến đổi thấp dần từ Bắc xuống Nam và nghiêng từ Đông sang Tây (Hình 1). Điều kiện địa hình có tương quan chặt chẽ với điều kiện khí hậu, gồm 03 dạng: (i) địa hình đồi núi: chiếm 40% tổng diện tích với dãy núi Mang Yang kéo dài từ đỉnh Kon Ko Kinh đến huyện Kông Pa, chia thành 2 vùng khí hậu rõ rệt là Đông Trường Sơn và Tây Trường Sơn; (ii) địa hình cao nguyên: chiếm 33% tổng diện tích, gồm là cao nguyên Pleiku và Kon Hà Nừng; và (iii) địa hình thung lũng: phân bố dọc theo các sông, suối, khá bằng phẳng, ít bị chia cắt. Khí hậu có đặc trưng của vùng khí hậu cao nguyên nhiệt đới gió mùa, dồi dào về độ ẩm, có lượng mưa lớn, không có bão và sương muối. Khí hậu chia làm 2 mùa rõ rệt: (i) mùa mưa bắt đầu từ tháng 5 và kết thúc vào tháng 10 và (ii) mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau. Lượng mưa trung bình năm 1.200-2500 mm, biến đổi tùy theo khu vực địa hình. Nhiệt độ trung bình năm là 22-25°C.



Hình 1. Sơ đồ khu vực nghiên cứu và sự phân bố không gian nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai, Việt Nam.

Nước ngầm mạch lộ khu vực nghiên cứu được xác định là các nguồn xuất lộ nước dưới đất trong tầng nông tức là tầng nước dưới đất trong vỏ phong hóa bazan. Quy luật xuất lộ phụ thuộc vào mức độ phân cắt của địa hình. Địa hình càng phân cắt càng mạnh thì số lượng mạch lộ càng nhiều, song lưu lượng mạch lộ thường không lớn mà chủ yếu là các mạch lộ nhỏ (lưu lượng thường gặp từ 0,5 đến 1l/s). Ở những nơi địa hình có mức độ phân cắt thấp thì số lượng nguồn xuất lộ nước dưới đất ít gặp hơn, nhưng thường có lưu lượng lớn hơn (Hình 1).

2.2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Dữ liệu sử dụng

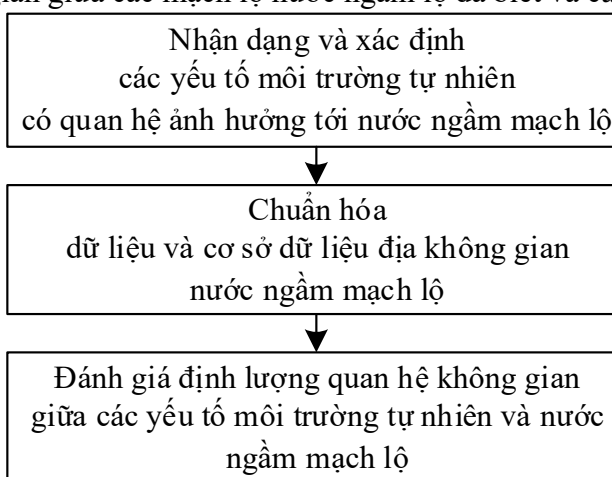
Dữ liệu trong nghiên cứu bao gồm dữ liệu không gian và phi không gian, là kết quả điều tra thu thập trong khuôn khổ đề tài cấp bộ mã số B2021-MDA-12. Theo đó, số liệu nước ngầm mạch lộ được thu thập từ công tác điều tra thực địa và các nghiên cứu đã thực hiện. Đặc biệt là các đề tài nghiên cứu cấp Quốc gia về nước dưới đất khu vực Tây Nguyên và địa bàn khu vực Gia Lai [11, 30–34]. Các dữ liệu môi trường tự nhiên (địa hình, địa mạo, địa chất, thực phủ, thổ nhưỡng, lượng mưa, và khí tượng) được thu thập từ các kết quả nghiên cứu tại khu vực Gia Lai về địa chất, địa chất thủy văn, nước ngầm [11, 30–34], và các nguồn mở khác nhau. Dữ liệu mạch lộ nước ngầm có tổng cộng 938 vị trí mạch lộ phân bố trên toàn khu vực Gia Lai. Dữ liệu môi trường tự nhiên, gồm: ảnh vệ tinh Landsat8 OLI của USGS [35], ảnh vệ tinh ALOS DEM 30m từ Trung tâm nghiên cứu quan sát trái đất JAXA [36], bản đồ sử dụng đất và độ che phủ đất (LULC) độ phân giải cao từ JAXA [37], bản đồ địa hình 1:50.000 [38] và bản đồ Địa chất và khoáng sản 1:200.000 [39] từ Bộ tài nguyên và môi trường, dữ liệu lượng mưa từ Dự án POWER, cơ quan hàng không và vũ trụ Quốc gia (NASA) Hoa Kỳ [40]. Tập hợp dữ liệu và bản đồ từ các nguồn cùng thuộc tính tương ứng được tóm tắt trong Bảng 1.

Bảng 1. Bảng dữ liệu và bản đồ điều tra và thu thập.

Dữ liệu/Bản đồ	Nguồn	Thuộc tính
Nước ngầm mạch lộ	Đề tài, điều tra	Vị trí
Ảnh vệ tinh Landsat8 OLI	USGS	15 m
Ảnh vệ tinh ALOS DEM	JAXA	30 m
Bản đồ thực phủ phân giải cao	JAXA	20 m
Bản đồ địa hình	Bộ TNMT	1:50.000
Bản đồ địa chất và khoáng sản	Bộ TNMT	1:200.000
Lượng mưa	NASA	1981-2021

2.2.2. Phương pháp nghiên cứu

Để có thể đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ tại khu vực Gia Lai, hệ phương pháp phân tích không gian GIS được sử dụng để phân tích mối quan hệ thống kê không gian giữa các mạch lộ nước ngầm lộ đã biết và các nhóm yếu tố môi trường tự nhiên về địa hình, địa mạo, địa chất, thực phủ, thổ nhưỡng, lượng mưa, và khí tượng [4, 13–16]. Hệ phương pháp phân tích không gian GIS bao gồm 03 bước: (1) Nhận dạng và xác định các yếu tố môi trường tự nhiên có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ, (2) Chuẩn hóa dữ liệu và cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ, và (3) Đánh giá định lượng quan hệ không gian giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ. Quy trình và phương pháp phân tích được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2. Hệ quy trình và phương pháp phân tích

Chuẩn hóa dữ liệu và cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ sử dụng chương trình ArcMap và ArcCatalog của bộ phần mềm ESRI ArcGIS desktop 10.8.2. Dữ liệu chuẩn hóa bao gồm tất cả các dữ liệu khả dụng về nước ngầm mạch lộ và các yếu tố môi trường tự nhiên có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ. Dữ liệu tồn tại dưới dạng cả không gian và phi không gian. Dữ liệu không gian chứa đựng những thông tin của các đối tượng mạch lộ, địa hình, địa mạo, địa chất, thực phủ, thổ nhưỡng, lượng mưa, và khí tượng. Các đối tượng không gian được định dạng về dạng điểm, đường và vùng. Lưu trữ các dữ liệu không gian sử dụng cả mô hình dữ liệu raster và mô hình dữ liệu vector. Dữ liệu phi không gian là những diễn tả đặc tính, số lượng, mối quan hệ của các đối tượng mạch lộ, địa hình, địa mạo, địa chất, thực phủ, thổ nhưỡng, lượng mưa, và khí tượng với vị trí địa lý của chúng. Các số liệu phi không gian được gọi là dữ liệu thuộc tính, chúng liên quan đến vị trí địa lý hoặc các đối tượng không gian và liên kết chặt chẽ với chúng trong GIS thông qua một cơ chế thống nhất chung. Dữ liệu phi không gian gồm các đối tượng dạng text, các thông số thuộc tính của các đối tượng không gian.

Các dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau được chuẩn hóa, chuyển đổi về cùng một khuôn dạng và hệ tọa độ địa lý trước khi đưa vào Cơ sở dữ liệu địa không gian. Nội dung chuẩn hóa được thực hiện gồm: (i) cơ sở toán học bản đồ, (ii) chuẩn hóa mức độ chi tiết, (iii) chuẩn hóa nội dung dữ liệu, (iv) chuẩn hóa khuôn dạng dữ liệu, (v) chuẩn hóa thuộc tính dữ liệu, và (vi) chuẩn hóa mô hình dữ liệu. Chuẩn hóa về mặt cơ sở toán học bản đồ sử dụng hệ tọa độ VN2000, kinh tuyến trục 105 múi 60; mức độ chi tiết tương đương tỷ lệ 1/50.000-1/200.000 tùy theo đối tượng và tính khả dụng của dữ liệu. Chuẩn hóa về nội dung dữ liệu theo đúng yêu cầu của Bộ Tài nguyên và môi trường quy định về các lớp dữ liệu thuộc tính, dữ liệu thông tin. Chuẩn hóa về khuôn dạng dữ liệu theo khuôn dạng *.Shp (*shapefile*) của phần mềm ESRI ArcGIS. Chuẩn hóa thuộc tính dữ liệu là chuẩn hóa các thông tin chi tiết cho đối tượng hoặc các số liệu thống kê cho đối tượng. Các dữ liệu vector và raster chủ yếu được tổ chức thành các bảng dữ liệu, gồm có các cột dữ liệu (trường dữ liệu): mỗi cột diễn đạt một trong nhiều thuộc tính của đối tượng; và các hàng tương ứng với một bản ghi: gồm toàn bộ nội dung thuộc tính của một đối tượng quản lý.

Chuẩn hóa về mô hình dữ liệu theo quy định xây dựng mô hình dạng vector và raster. Mô hình này thể hiện được đầy đủ nhất dữ liệu địa lý. Nó cho phép không chỉ mô tả vị trí, hình dạng của đối tượng không gian mà nó còn miêu tả mối quan hệ về không gian với các đối tượng khác. Cơ sở dữ liệu địa không gian chứa đựng những thông tin định vị của các đối tượng, cho biết vị trí, sự phân bố, ... của các đối tượng. Mô hình dữ liệu dạng raster phản ánh toàn bộ vùng nghiên cứu dưới dạng một lưới các điểm (cell) hay điểm ảnh (pixel). Các hệ thống trên cơ sở raster hiển thị, định vị và lưu trữ dữ liệu đồ họa nhờ sử dụng các ma trận hay lưới các điểm ảnh. Độ phân giải dữ liệu raster phụ thuộc vào kích thước của điểm ảnh. Dữ liệu raster được thiết lập bằng cách mã hoá mỗi điểm ảnh bằng một giá trị theo các đặc trưng và tính chất trên bản đồ, có thể sử dụng số nguyên, số thực, ký tự hay tổ hợp chúng để làm giá trị. Mỗi đặc tính giống nhau sẽ có cùng giá trị số.

Phân tích, đánh giá định lượng quan hệ không gian giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ được thực hiện thông qua cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ đã được thành lập và chuẩn hóa trên môi trường GIS. Hệ cơ sở dữ liệu địa không gian cho phép tận dụng các công cụ trích xuất dữ liệu không gian đa tầng (*Extract Multi Values to Points*) ở trình các công cụ phân tích không gian (*Spatial Analyst Tools*) trong phần mềm ESRI ArcGIS desktop 10.8.2. Các kết quả sau đó được kết xuất ra Microsoft Excell để tổng hợp, phân tích đánh giá các mối quan hệ thống kê không gian giữa các mạch lộ nước ngầm lộ đã biết và các nhóm yếu tố môi trường tự nhiên có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ.

3. Phân tích kết quả và thảo luận

3.1. Nhận dạng và xác định các yếu tố môi trường tự nhiên có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ

Nhiều tài liệu nghiên cứu [4, 10–12] đã xác nhận nước ngầm mạch lộ có quan hệ chặt chẽ với các yếu tố đặc trưng về địa hình, địa mạo, địa chất, thực phủ, thổ nhưỡng, lượng mưa, và khí tượng. Tuy nhiên, việc tiếp cận định lượng trong xác định mối quan hệ và sự ảnh hưởng của nước ngầm mạch lộ phụ thuộc rất nhiều vào tính khả dụng và chất lượng của dữ liệu. Trong khuôn khổ nghiên cứu này, 12 yếu tố môi trường tự nhiên đã được nhận dạng và xác định có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ, gồm: (1) Độ dốc địa hình, (2) Hướng sườn địa hình, (3) Độ cong địa hình, (4) Cao độ địa hình, (5) Thực phủ, (6) Chỉ số thực vật khác biệt chuẩn (NDVI), (7) Chỉ số độ ẩm khác biệt chuẩn (NDMI), (8) Chỉ số thủy văn khác biệt chuẩn (NDWI), (9) Khoảng cách tới đứt gãy, (10) Khoảng cách tới sông, (11) Thành tạo địa chất, và (12) Lượng mưa.

Yếu tố độ dốc địa hình: là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ. Nó có thể ảnh hưởng đến sự bổ cập và lưu trữ. Trên các địa hình dốc, nước mưa có thể chảy nhanh chóng trên bề mặt đất và khó thấm thấu vào đất để trở thành nước ngầm. Trên các địa hình ít dốc, nước mưa có thể thấm thấu vào đất dễ dàng hơn và hình thành nước ngầm mạch lộ. Bên cạnh đó, độ dốc địa hình cũng có thể ảnh hưởng đến suy thoái nước ngầm bằng cách tăng tốc độ vận động của nước trong các khe nứt, thoát tới các nguồn khác. Điều này có thể làm giảm trữ lượng nước ngầm và gây ra tình trạng suy thoái. Độ dốc địa hình cũng có thể ảnh hưởng đến chất lượng nước ngầm trong trường hợp nước chảy qua các khu vực đất dốc, hòa tan các chất độc hại từ đất và mặt đất, làm tăng độ ô nhiễm của nước ngầm mạch lộ.

Yếu tố hướng sườn địa hình: Hướng sườn, hay còn gọi là hướng dốc của mái đất cũng có thể ảnh hưởng đến trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ. Điều này bởi vì hướng sườn có thể ảnh hưởng đến các yếu tố như lượng bức xạ mặt trời, nhiệt độ và sự bốc thoát hơi nước của cây cối, ảnh hưởng đến các quá trình thủy văn và bổ cập cho nước ngầm mạch lộ.

Yếu tố độ cong địa hình: độ cong của địa hình cũng có thể ảnh hưởng đến trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ. Điều này bởi vì độ cong có thể ảnh hưởng đến lượng mưa rơi trực tiếp trên một vùng đất, tốc độ thoát nước và sự tương tác giữa nước mưa và đất.

Yếu tố cao độ địa hình: cao độ địa hình có thể ảnh hưởng đến lượng mưa nhận được trong một khu vực, tốc độ chảy của nước mặt. Do đó có thể ảnh hưởng đến quá trình bổ cập và suy thoái nước ngầm mạch lộ.

Yếu tố thực phủ: thực phủ bề mặt có ảnh hưởng đáng kể đến trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ. Lớp phủ thực vật có thể giúp tăng cường thấm thấu và giữ lại nước mưa trên bề mặt đất, từ đó giúp tăng cường bổ cập cho hệ thống nước ngầm mạch lộ. Khi có lớp phủ thực vật đầy đủ, nước mưa sẽ được giữ lại trên lá, thân cây, rễ cây, lá cây khô, v.v. Nước mưa sẽ không trực tiếp tiếp xúc với đất và có thể dễ dàng thấm thấu vào đất, giúp tăng cường trữ lượng nước ngầm. Ngoài ra, lớp phủ thực vật cũng giúp duy trì độ ẩm cho đất và giảm tốc độ thoát nước từ bề mặt đất, giảm nguy cơ sạt lở đất và hạn chế sự xuất hiện của vùng ngập úng. Tuy nhiên, khi thực vật phủ đất bị mất đi hoặc bị thiếu hụt do các hoạt động như khai thác lâm nghiệp, đô thị hóa hay đất trồng cây công nghiệp, đất trống, v.v. thì nước mưa sẽ trực tiếp chảy xuống mặt đất, gây ra hiện tượng ngập úng và mất nước.

Chỉ số thực vật khác biệt chuẩn (NDVI): là một chỉ số được sử dụng để đo lường mật độ và sự phát triển của lớp phủ thực vật. NDVI được tính bằng cách sử dụng các giá trị phổ của đất và thực vật được thu thập từ ảnh vệ tinh hoặc máy bay không người lái. Mật độ lớp phủ thực vật được coi là yếu tố quan trọng trong quản lý tài nguyên nước ngầm mạch lộ. Tuy nhiên, NDVI không có ảnh hưởng trực tiếp đến trữ lượng nước ngầm mạch lộ. Thay vào đó, NDVI có thể được sử dụng để ước tính mức độ thấm thấu của đất và khả năng thoát nước, từ đó ảnh hưởng đến trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ.

Chỉ số độ ẩm khác biệt chuẩn (NDMI): là một chỉ số được sử dụng để đánh giá độ ẩm của đất. NDMI được tính bằng cách so sánh giá trị của các bước sóng trong khoảng tầm gần hồng ngoại gần (NIR) và hồng ngoại gần (SWIR) trong vùng phổ của đất và nước. Chỉ số

NDMI cũng có thể được sử dụng để ước tính vùng nguy cơ suy thoái nước ngầm mạch lộ. Khi NDMI cao, tức là đất có độ ẩm cao, điều này có thể góp phần tăng cường bổ cập cho hệ thống nước ngầm mạch lộ. Tuy nhiên, nếu NDMI quá cao, tức là đất bị quá ẩm, có thể dẫn đến tình trạng mất nước mưa và gây ra suy thoái nước ngầm mạch lộ. Khi NDMI thấp, tức là đất có độ ẩm thấp, điều này có thể chỉ ra rằng khu vực đó đang trong tình trạng hạn hán hoặc không có đủ nước để duy trì các lớp phủ thực vật. Trong trường hợp này, có thể đưa ra các biện pháp quản lý tài nguyên nước để tăng cường bổ cập cho hệ thống nước ngầm mạch lộ và ngăn ngừa suy thoái nước dưới đất. NDMI là một chỉ số quan trọng để đánh giá trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ.

Chỉ số thủy văn khác biệt chuẩn (NDWI): là một chỉ số được sử dụng để đo lường thủy văn trong một khu vực. NDWI được tính bằng cách sử dụng các giá trị phổ của đất và nước được thu thập từ ảnh vệ tinh hoặc máy bay không người lái. Khi NDWI cao, tức là nước trong khu vực đó cao, điều này có thể góp phần tăng cường bổ cập cho hệ thống nước ngầm mạch lộ. Khi NDWI thấp, tức là lượng nước trong khu vực đó thấp, điều này có thể chỉ ra rằng khu vực đó đang trong tình trạng hạn hán hoặc không có nguồn nước đủ để duy trì các lớp phủ thực vật. Tương tự, NDWI là một chỉ số quan trọng để đánh giá trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ.

Yếu tố khoảng cách tới đứt gãy: là yếu tố được xem xét để đánh giá sự ảnh hưởng của hoạt động kiến tạo đến trữ lượng và suy thoái của nước ngầm mạch lộ. Sự ảnh hưởng có thể bằng cách ảnh hưởng đến tính thấm của đất và hệ thống dòng chảy ngầm. Các đứt gãy kiến tạo có thể giúp nước mưa thấm vào đất nhanh hơn và dễ dàng hơn, điều này có thể tạo ra nhiều nước ngầm hơn trong các khu vực gần các đứt gãy. Tuy nhiên, nếu các đứt gãy quá gần nhau, nước mưa có thể chảy qua các đứt gãy và không thấm vào đất để tạo ra nước ngầm, điều này có thể làm giảm trữ lượng nước ngầm. Khoảng cách đến các đứt gãy kiến tạo cũng có thể ảnh hưởng đến trữ lượng nước ngầm bằng cách tạo ra một hệ thống dòng chảy nước ngầm phức tạp hơn. Về chất lượng nước ngầm, nó có thể ảnh hưởng bằng cách tác động đến quá trình trao đổi nước và chất lượng nước giữa các đứt gãy và đất xung quanh. Nếu khoảng cách quá xa, các đứt gãy có thể không tác động đến quá trình trao đổi này, còn nếu quá gần, chất lượng nước có thể bị ảnh hưởng bởi các chất độc hại được giải phóng từ các đứt gãy.

Yếu tố khoảng cách tới sông: là một yếu tố quan trọng cần được xem xét trong việc đánh giá trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ. Nếu khoảng cách đến sông gần, thì nguồn nước từ sông có thể dễ dàng thấm vào đất và đóng góp vào trữ lượng nước ngầm mạch lộ. Tuy nhiên, nếu khoảng cách đến sông quá xa, thì nước từ sông có thể không thể thấm vào được đất và không đóng góp vào trữ lượng nước ngầm mạch lộ.

Yếu tố thành tạo địa chất: điều kiện địa chất với các thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa có vai trò rất lớn đến quá trình hình thành trữ lượng và sự suy thoái nước ngầm mạch lộ. Đặc tính của các loại đá khác nhau có thể ảnh hưởng đến khả năng thấm nước và lưu giữ do đó ảnh hưởng đến trữ lượng và chất lượng nước ngầm mạch lộ. Thực tế, các loại đá vôi, dolomit, cát đá có khả năng thấm nước và lưu giữ nước tốt hơn so với các loại đá phiến, đá granit. Tuy nhiên, các loại đá này có thể có khả năng hòa tan cao và gây ra tình trạng suy thoái nước ngầm mạch lộ. Các sản phẩm phong hóa từ đá vôi cũng có thể làm tăng trữ lượng nước ngầm mạch lộ bằng cách tạo ra các khe và hốc, cho phép nước thấm sâu vào dưới đáy. Các sản phẩm phong hóa từ đá granit thường không gây ra ảnh hưởng đáng kể đến trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ. Các sản phẩm phong hóa từ sỏi, sạn kết thường có tác động lớn đến trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ. Sỏi sạn thường có các khe và hốc lớn, cho phép nước thấm qua và tích tụ trong các lớp đất dưới đó.

Yếu tố lượng mưa: mưa là nguồn nước quan trọng để bổ sung cho trữ lượng nước ngầm. Khi mưa, nước sẽ thấm sâu vào đất và đá, và tích tụ trong các lỗ trống, khe hở, tầng chứa nước ngầm. Do đó, mưa thường dẫn đến tăng trữ lượng nước ngầm trong mạch lộ. Tuy nhiên, mưa cũng có thể gây ra suy thoái nước ngầm nếu lượng mưa quá lớn và quá nhanh. Khi lượng mưa vượt quá khả năng thấm của đất và đá, nước sẽ chảy dồn về các khu vực thấp hơn, gây

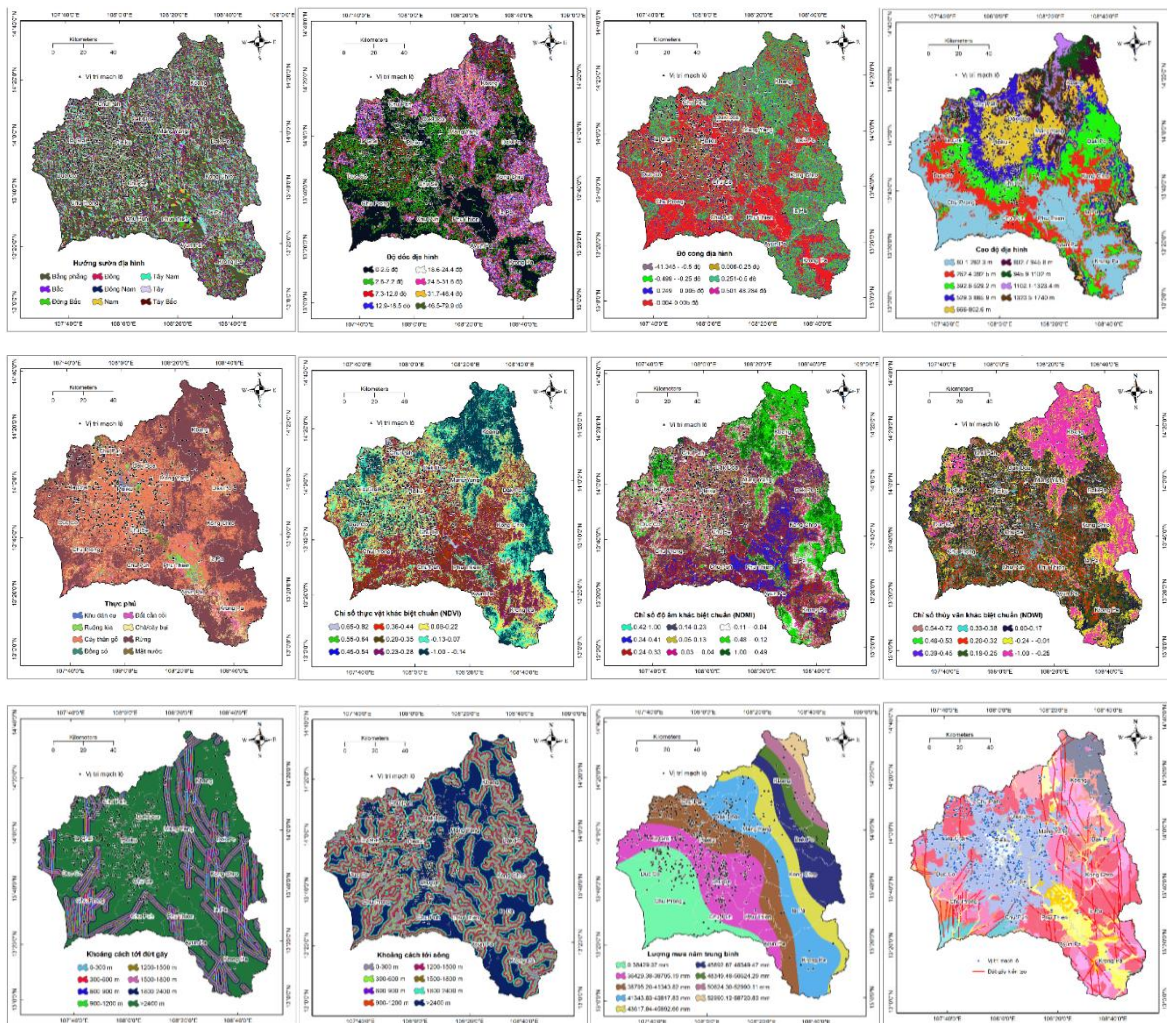
ra lũ lụt, làm suy thoái nước ngầm trong mạch lộ. Bên cạnh đó, mưa có thể làm cho các chất ô nhiễm từ các nguồn khác nhau như đất đai, phân bón, hóa chất... được đưa xuống nước ngầm mạch lộ. Điều này có thể làm giảm chất lượng nước ngầm và gây hại cho sức khỏe con người và động vật.

3.2. Chuẩn hóa dữ liệu và cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ

Dữ liệu nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai đã được xử lý, chuẩn hóa về cơ sở toán học bản đồ, mức độ chi tiết, nội dung dữ liệu, thuộc tính dữ liệu và khuôn dạng dữ liệu. Tổng cộng 938 mạch lộ nước ngầm với thuộc tính trữ lượng 0,01-118,35 l/s và độ khoáng hoá 0,01-0,980 g/L đã được xây dựng dưới dạng bản đồ vector các điểm trên hệ to độ VN2000, kinh tuyến trục 105 múi 60 (Hình 1).

Dữ liệu các yếu tố môi trường tự nhiên có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ sau khi được nhận dạng và xác định cũng đã được xử lý, chuẩn hóa về cơ sở toán học bản đồ mức độ chi tiết, nội dung dữ liệu và khuôn dạng dữ liệu. Tổng cộng 12 bản đồ các yếu tố môi trường tự nhiên có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ đã được xây dựng dưới dạng các bản đồ raster trên hệ tọa độ VN2000, kinh tuyến trục 105 múi 60.

Hình 3 thể hiện nội dung chi tiết các bản đồ yếu tố độ dốc, hướng sườn, độ cong, cao độ, thực phủ, NDVI, NDMI, NDWI, khoảng cách tới đứt gãy, khoảng cách tới sông, thành tạo địa chất và lượng mưa.



Hình 3. Bản đồ độ dốc, hướng sườn, độ cong, cao độ, thực phủ, NDVI, NDMI, NDWI, khoảng cách tới đứt gãy, khoảng cách tới sông, thành tạo địa chất, và lượng mưa khu vực Gia Lai, Việt Nam.

Kết quả chuẩn hóa, yếu tố độ dốc địa hình đã được mã hóa gồm 08 ngưỡng thành phần: 0-2,5 độ, 2,6-7,2 độ, 7,3-12,8 độ, 12,9-18,5 độ, 18,6-24,4 độ, 24,5-31,6 độ, 31,7-46,4 độ, và 46,5-79,9 độ. Chi tiết thể hiện trong Bảng 2. Với hướng sườn địa hình, có 09 ngưỡng thành phần đã được mã hóa: Bằng phẳng, Bắc, Đông Bắc, Đông, Đông Nam, Nam, Tây Nam, Tây, và Tây Bắc (Bảng 3). Độ cong địa hình được phân chia thành 07 ngưỡng: -41,345 - -0,5, -0,499 - -0,25, -0,249 - -0,005, -0,004-0,005, 0,006-0,25, 0,251-0,5, 0,501-48,284 (Bảng 4). Cao độ địa hình gồm 09 ngưỡng thành phần: 80,1-262,3 m, 262,4-392,5 m, 392,6-529,2 m, 529,3-665,9 m, 666-802,6 m, 802,7-945,8 m, 945,9-1102 m, 1102,1-1323,4 m, và 1323,5-1740 m (Bảng 5). Đây là sự phân chia tự động theo thuật toán Natural Break trong ESRI ArcGIS. Ngược lại, sự phân ngưỡng thành phần đối với yếu tố thực phủ được tuân theo loại: Khu dân cư, Ruộng lúa, Cây thân gỗ, Đồng cỏ, Đất cằn cỗi, Chà/cây bụi, Rừng, và Mặt nước (Bảng 6). Bộ 03 chỉ số NDVI, NDMI và NDWI đều được phân thành 09 ngưỡng thành phần theo Natural Break. NDVI: 0,65-0,82, 0,55-0,64, 0,45-0,54, 0,36-0,44, 0,29-0,35, 0,23-0,28, 0,08-0,22, -0,13-0,07, và -1,00 - -0,14 (Bảng 7). NDMI: 0,42-1,00, 0,34-0,41, 0,24-0,33, 0,14-0,23, 0,05-0,13, -0,03 - -0,04, -0,11 - -0,04, -0,48 - -0,12, và -1,00 - -0,49 (Bảng 8). NDWI: 0,54-0,72, 0,46-0,53, 0,39-0,45, 0,33-0,38, 0,26-0,32, 0,18-0,25, 0,00-0,17, -0,24 - -0,01, và -1,00 - -0,25 (Bảng 9). Hai yếu tố khoảng cách tới đứt gãy và tới sông đều được phân ngưỡng thành 08 thành phần: 0-300 m, 300-600 m, 600-900 m, 900-1200 m, 1200-1500 m, 1500-1800 m, 1800-2400 m, và > 2400 m (Bảng 10 và Bảng 11). Đối với yếu tố địa chất, ngưỡng thành phần được phân chia theo 43 thành tạo đất đá trong khu vực Gia Lai, bao gồm 24 hệ tầng (Chư Prông, Chư Sê, Đắc Bùng, Đại Nga, Đăk Lô, Đơn Dương, Đray Linh, Ea Súp, Ia Ban, Khâm Đức, Kon Cot, Kon Tum, Mang Yang, Sông Ba, Tắc Pô, Túc Trung, Xa Lam Cô, Xuân Lộc, Holocen Hạ-Trung, Holocen Thượng, Holocen Trung-Thượng, Pleistocen Hạ, Pleistocen Thượng, Pleistocen Trung-Thượng) và 19 phức hệ (Cù Mông, Đăk Long, Đèo Cả, Diên Bình, Điện Bông, Hiệp Đức, Kon Kbang, Nậm Nin, Phan Rang, Phù Mỹ, Phước Thiện, Plei Man Ko, Sông Ba, Tu Mơ Rông, Vân Canh, Xâm nhập không xác định tuổi) (Bảng 12). Yếu tố lượng mưa, thuật toán Natural Break phân chia thành 09 ngưỡng thành phần: 0-36429,37 mm, 36429,38-38795,19 mm, 38795,20-41343,82 mm, 41343,83-43617,83 mm, 43617,84-45892,66 mm, 45892,67-48349,47 mm, 48349,48-50624,29 mm, 50624,30-52990,11 mm, và 52990,12-56720,83 mm (Bảng 13).



Hình 4. Mô hình cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai, Việt Nam.

Sau khi chuẩn hóa chuyển đổi về cùng một khuôn dạng và hệ tọa độ địa lý, toàn bộ các lớp dữ liệu nước ngầm mạch lộ và các yếu tố môi trường có quan hệ ảnh hưởng được chuẩn hóa về mô hình dữ liệu để tổ hợp thành cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ trên môi trường GIS. Mô hình cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai được trình bày trên Hình 4.

3.3. Đánh giá định lượng quan hệ không gian giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ

Kết quả phân tích, đánh giá định lượng quan hệ không gian giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai cho thấy phần lớn nước ngầm mạch lộ (> 90% tổng mạch lộ) ở khu vực có địa hình có độ dốc nhỏ hơn 12,8 độ (chiếm 75% tổng diện tích). Lần lượt ở độ dốc 0-2,5 độ (41% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,01-61,27 l/s), 2,6-7,2 độ (40% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-78,22 l/s) và 7,3-12,8 độ (12% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-118,35 l/s). Ở các khu vực có độ dốc địa hình cao hơn, mối quan hệ với nước ngầm mạch lộ được ghi nhận kém chặt chẽ hơn: độ dốc 12,9-18,5 độ (4% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,01-6,70 l/s), 18,6-24,4 độ (2% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,04-1,81 l/s) và > 24,4 độ (1% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-0,20 l/s) (Bảng 2).

Bảng 2. Quan hệ mạch lộ và độ dốc địa hình.

Độ dốc địa hình (độ)	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
0-2,5	40,55	40,62
2,6-7,2	21,55	40,09
7,3-12,8	13,21	11,83
12,9-18,5	10,00	4,26
18,6-24,4	7,87	1,81
24,5-31,6	4,92	1,07
31,7-46,4	1,62	0,11
46,5-79,9	0,28	0,21

Trương đồng với yếu tố hướng sườn địa hình, khoảng 25% mạch lộ (lưu lượng 0,01-61,27 l/s) phân bố ở các khu vực bằng phẳng (chiếm 24,2% tổng diện tích), 13-15% phân bố tại các sườn có hướng Tây Nam (13% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-23,20 l/s), Tây (15% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-0,20 l/s) và Tây Bắc (13% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-23,20 l/s), Tây (15% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-30,01 l/s), các hướng sườn còn lại, chiếm <10% các mạch lộ nước ngầm tại mỗi hướng (Bảng 3).

Bảng 3. Quan hệ mạch lộ và hướng sườn địa hình.

Hướng sườn địa hình	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
Bằng phẳng	24,20	25,37
Bắc	6,83	9,91
Đông Bắc	9,11	5,54
Đông	9,87	5,22
Đông Nam	10,12	6,29
Nam	9,41	5,01
Tây Nam	11,39	13,22
Tây	10,51	14,82
Tây Bắc	8,55	14,61

Ứng với các thành phần độ cong địa hình, các mạch lộ nước ngầm được ghi nhận phân bố lớn nhất (40,51% tổng mạch lộ) ở độ cong địa hình -0,004-0,005 (chiếm 37,4% tổng diện tích), tiếp đến là ở độ cong 0,006-0,25 và -0,249 - -0,005 lần lượt 19,3% và 24,2%, còn lại chỉ có dưới 9% mạch lộ nước ngầm phân bố ở mỗi mức độ cong độ địa hình (Bảng 4).

Bảng 4. Quan hệ mạch lộ và độ cong địa hình.

Độ cong địa hình	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
-41,345 - -0,5	2,35	0,75
-0,499 - -0,25	12,20	8,53
-0,249 - -0,005	16,19	24,20
-0,004-0,005	37,39	40,51
0,006-0,25	17,19	19,30
0,251-0,5	12,43	6,40
0,501-48,284	2,25	0,32

Tại các yếu tố cao độ địa hình, các mạch lộ nước ngầm được ghi nhận phân bố lớn nhất (33,48%) ở ngưỡng cao độ 666-802,6 m (chiếm 15,35 tổng diện tích), tiếp đến là ở cao độ 392,6-529,2 m và 529,3-665,9 m lần lượt 23,24% và 25,37%, còn lại chỉ có dưới 8% mạch lộ nước ngầm phân bố ở mỗi mức cao độ địa hình (Bảng 5).

Bảng 5. Quan hệ mạch lộ và cao độ địa hình.

Cao độ địa hình (m)	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
80,1-262,3	22,07	4,05
262,4-392,5	16,40	7,68
392,6-529,2	18,00	23,24
529,3-665,9	13,04	25,37
666-802,6	15,35	33,48
802,7-945,8	6,59	3,09
945,9-1102	5,28	2,56
1102,1-1323,4	2,56	0,53
1323,5-1740	0,72	-

Mối quan hệ không gian giữa nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai với các yếu tố lớp phủ thực vật ghi nhận mối quan hệ chặt chẽ nhất với các khu vực Cây thân gỗ (chiếm 42,21% tổng diện tích với 69% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,01-118,35 l/s), tiếp đó là khu vực Rừng (chiếm 48,12% tổng diện tích với 18,76% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,02-26,50 l/s). Các khu vực còn lại như ruộng lúa, khu dân cư, cây bụi, và đặc biệt là khu vực đất cần cỗi có mối quan hệ với nước ngầm mạch lộ được ghi nhận rất thấp, chỉ 1-5% (Bảng 6).

Bảng 6. Quan hệ mạch lộ và thực phủ.

Thực phủ	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
Khu dân cư	1,13	1,60
Ruộng lúa	2,71	5,76
Cây thân gỗ	42,21	71,86
Đồng cỏ	0,11	-
Đất cần cỗi	1,53	0,53
Chà/cây bụi	3,42	1,49
Rừng	48,12	18,76
Mặt nước	0,77	-

Với các chỉ số NDVI, NDMI, và NDWI; mối quan hệ với nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai được ghi nhận chặt chẽ nhất tại các khu vực có NDVI 0,45-0,54 và 0,55-0,64 ứng với 48% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,01-118,35 l/s và 40% tổng số mạch lộ với lưu lượng

0,01-43,22 l/s (Bảng 7), NDMI 0,05-0,13 và -03-0,04 ứng với 30% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,01-118,35 l/s và 31% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,03-78,22 l/s (Bảng 8), NDWI 0-0,17, 0,18-0,25 và -0,24 - -0,01 ứng với 46% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,01-118,35 l/s, 21% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,01-43,22 l/s và 16% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,03-36,00 l/s (Bảng 9).

Bảng 7. Quan hệ mạch lộ và NDVI.

NDVI	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
0,65-0,82	0,32	–
0,55-0,64	0,49	–
0,45-0,54	5,15	1,39
0,36-0,44	14,32	7,36
0,29-0,35	17,55	15,67
0,23-0,28	15,16	29,00
0,08-0,22	14,94	34,01
-0,13-0,07	12,91	7,14
-1,00 - -0,14	19,16	5,44

Bảng 8. Quan hệ mạch lộ và NDMI.

NDMI	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
0,42-1,00	0,01	–
0,34-0,41	8,79	1,28
0,24-0,33	16,53	5,33
0,14-0,23	18,08	15,14
0,05-0,13	13,76	30,17
-0,03 - -0,04	11,60	31,34
-0,11 - -0,04	9,68	9,70
-0,48 - -0,12	13,71	3,84
-1,00 - -0,49	7,83	3,20

Bảng 9. Quan hệ mạch lộ và NDWI.

NDWI	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
0,54-0,72	0,39	–
0,46-0,53	0,33	–
0,39-0,45	0,73	0,21
0,33-0,38	4,81	1,81
0,26-0,32	13,03	8,53
0,18-0,25	20,87	21,11
0,00-0,17	22,32	46,38
-0,24 - -0,01	17,53	16,20
-1,00 - -0,25	19,99	5,76

Với các đứt gãy kiến tạo, mối quan hệ không gian với nước ngầm mạch lộ được ghi nhận mức độ chặt chẽ chưa rõ ràng. Phần lớn mạch lộ nước ngầm, chiếm 83% tổng số mạch, được phân bố ở khoảng cách >2400 m tới đứt gãy kiến tạo. Các khoảng cách: 0-300 m (2% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,01-21,00 l/s), 300-600 m (3% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-4,00 l/s), 600-900 m (2% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,04-2,50 l/s), 900-1200 m (2% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,10-6,24 l/s), 1200-1500 m (2% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-4,46 l/s), 1500-1800 m (4% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,08-5,72 l/s) (Bảng 10).

Liên quan đến dòng chảy mặt, mối quan hệ không gian giữa sông với nước ngầm mạch lộ được ghi nhận mức độ chặt chẽ chưa rõ ràng. Phần lớn mạch lộ nước ngầm, chiếm 26,55%, được phân bố ở khoảng cách > 2400 m tới sông. Các khoảng cách: 0-300 m (10% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,01-29,66 l/s), 300-600 m (7% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,07-30,00 l/s), 600-

900 m (9% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-78,22 l/s), 900-1200 m (10% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,05-22,87), 1200-1500 m (10% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-61,27 l/s), 1500-1800 m (9% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,02-118,35 l/s) và 1800-2400 m (17% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-40,00 l/s) (Bảng 11).

Bảng 10. Quan hệ mạch lộ và khoảng cách tới đứt gãy.

Khoảng cách tới đứt gãy	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
0-300 m	6,08	1,92
300-600 m	6,05	2,88
600-900 m	5,78	1,60
900-1200 m	5,40	1,71
1200-1500 m	4,95	2,45
1500-1800 m	4,56	2,35
1800-2400 m	8,05	3,62
>2400 m	59,13	83,48

Bảng 11. Quan hệ mạch lộ và khoảng cách tới sông.

Khoảng cách tới sông (m)	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
0-300	13,97	10,49
300-600	10,05%	7,39
600-900	9,04	9,42
900-1200	8,30	9,74
1200-1500	7,62	9,64
1500-1800	6,98	9,31
1800-2400	12,03	17,45
> 2400	32,02	26,55

Kết quả phân tích mối quan hệ không gian với các thành tạo địa chất cho thấy chủ yếu nước ngầm mạch lộ (68,87% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,02-118,35 l/s) phân bố tại các thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa hệ tầng Túc Trung (chiếm 25,77% tổng diện tích) (Bảng 12). Thành phần gồm bazan của 3-5 đợt phun trào phủ chồng lên nhau, thành phần là các tập bazan đặc sít bazan lỗ hồng màu xám tro, xám đen, nứt nẻ không đều xen kẽ các tập tuf bazan, dăm kết núi lửa và các lớp bazan phong hóa thành đất đỏ giữa tầng. Rải rác một số chỗ gặp các tập trầm tích đầm hồ dày 5-30 m xen kẽ gồm cát kết, sét kết gắn kết yếu. Lớp vỏ phong hóa trên cùng dày trung bình 15-20 m là bột sét màu nâu đỏ lẫn sạn vón laterit chuyển xuống bazan phong hóa dờ dang dạng mảnh cục lẫn ít sét. Bề dày chung của hệ tầng 50-300 m. Đây cũng là hệ tầng có thành phần đất đá chủ yếu hình thành cao nguyên Pleiku.

Các thành tạo đất đá khác có mối quan hệ với nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai thấp hơn hẳn so với hệ tầng Túc Trung. Lớn nhất trong số này là các thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa hệ tầng Xuân Lộc (9,59% tổng mạch lộ trên 1,55% tổng diện tích) và phức hệ Vân Canh (8,21% tổng mạch lộ trên 20,02% tổng diện tích). Lưu lượng nước ngầm mạch lộ phân bố ở hệ tầng Xuân Lộc biến đổi từ 0,04 đến 78,22 l/s, ở phức hệ Vân Canh biến đổi từ 0,01-10,33 l/s (Bảng 12). Phức hệ Vân Canh là một thể xâm nhập, trong khi hệ tầng Xuân Lộc là bazan của 3-5 đợt phun phủ chồng lên nhau. Vỏ phong hóa trên mặt dày 20-50 m, gồm bột sét màu nâu đỏ chuyển xuống bazan phong hóa dờ dang vỡ vụn. Bề dày chung của hệ tầng khoảng 20-150 m. Tiếp theo là các thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa của các thành tạo Đệ tứ (bao gồm Holocen, Pleistocen và đệ tứ không phân chia), hệ tầng Đại Nga, hệ tầng Kan Nack và phức hệ Bến Giàng-Quế Sơn - nơi bắt gặp 2-4% mạch lộ nước ngầm trong khu vực với lưu lượng lần lượt 0,02-6,0 l/s, 0,03-0,64 l/s, 0,03-1,0 l/s và 0,01-3,20 l/s (Bảng 12). Các thành tạo địa chất còn lại ghi nhận mối quan hệ với nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai không đáng kể, trung bình chỉ bắt gặp 1 đến dưới 10 mạch lộ trên tổng số 938 mạch lộ ở khu vực nghiên cứu. Các mạch lộ này có lưu lượng: 0,3-0,4 l/s (hệ tầng Khâm Đức), 0,3-1,0 l/s

(hệ tầng Kon Tum), 0,03-0,75 l/s (hệ tầng Mang Yang); 0,05-0,5 l/s (hệ tầng Tắc Pô), 0,01-0,10 l/s (hệ tầng Đray Linh), 0,01 l/s (phức hệ Đăk Bùng, Sông Ba, Đèo Cả).

Bảng 12. Quan hệ mạch lộ và thành tạo địa chất.

Thành tạo địa chất	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
Xâm nhập không xác định tuổi	0,02	–
Phức hệ Phan Rang	0,16	–
Hệ tầng Đăk Lô	1,06	0,11
Phức hệ Plei Man Ko	0,47	–
Phức hệ Vân Canh	20,02	8,21
Phức hệ Kon Kbang	0,02	–
Phức hệ Sông Ba	0,04	–
Phức hệ Cù Mông	0,05	–
Hệ tầng Xa Lam Cô	2,40	0,75
Phức hệ Bến Giằng-Quế Sơn	14,63	2,24
Phức hệ Đèo Cả	1,03	0,11
Phức hệ Đăk Long	1,34	0,32
Phức hệ Cheo Reo	0,01	–
Hệ tầng Kon Cot	1,95	1,17
Phức hệ Nậm Nin	0,01	–
Phức hệ Phù Mỹ	0,01	–
Phức hệ Diên Bình	0,01	–
Phức hệ Hiệp Đức	0,01	–
Phức hệ Phước Thiện	0,01	–
Pleistocen Thượng	1,53	0,32
Holocen Hạ-Trung	3,34	1,71
Hệ tầng Kon Tum	0,24	0,53
Hệ tầng Mang Yang	6,48	1,17
Hệ tầng Túc Trung	25,77	68,87
Hệ tầng Đại Nga	4,93	1,71
Holocen Thượng	1,22	0,32
Hệ tầng Khâm Đức	0,28	0,43
Holocen Trung-Thượng	0,40	0,85
Hệ tầng Chư Prông	1,61	–
Hệ tầng Ea Súp	0,41	–
Hệ tầng Đăk Bùng	0,57	0,11
Hệ tầng Chư Sê	0,03	–
Hệ tầng Đơn Dương	0,91	–
Hệ tầng Sông Ba	1,41	0,11
Pleistocen Hạ	1,21	0,21
Hệ tầng Ia Ban	0,32	–
Hệ tầng Đray Linh	1,52	0,32
Pleistocen Trung-Thượng	0,93	0,21
Phức hệ Điệng Bông	0,01	–
Phức hệ Chu Lai	0,03	–
Phức hệ Tu Mơ Rông	0,01	–
Hệ tầng Tắc Pô	2,07	0,64
Hệ tầng Xuân Lộc	1,55	9,59

Với yếu tố lượng mưa, mối quan hệ không gian giữa lượng mưa và nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai được ghi nhận chưa phù hợp quy luật tuyến tính về trữ lượng - lượng mưa. Điều này có thể đến từ khía cạnh mật độ trạm khí tượng quá thưa cho khu vực rộng lớn, địa hình phức tạp. Mặc dù số liệu lượng mưa được đưa vào xem xét là lượng mưa trung bình nhiều năm (1981-2021) của các trạm khí tượng khu vực Gia Lai và lân cận (khu vực Tây

Nguyên) nhưng giới hạn thuật toán nội suy chưa xét đến sự phân cắt địa hình và lưu vực dẫn đến độ sai số. Kết quả phân tích cho thấy, 36% số lượng mạch lộ nước ngầm (lưu lượng 0,02-78,22 l/s) phân bố ở các khu vực có lượng mưa trung bình nhiều năm 36429,38-38795,19 mm, tiếp đến là 31% số lượng mạch lộ nước ngầm (lưu lượng 0,01-118,35 l/s) phân bố ở các khu vực có lượng mưa trung bình nhiều năm 38795,20-41343,82 mm. Các khu vực có lượng mưa trung bình nhiều năm còn lại, có số lượng các mạch lộ phân bố ít hơn (Bảng 13).

Bảng 13. Quan hệ mạch lộ và lượng mưa.

Lượng mưa (mm)	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
0-36429,37	17,55	14,29
36429,38-38795,19	19,65	35,50
38795,20-41343,82	16,03	30,92
41343,83-43617,83	18,04	12,69
43617,84-45892,66	9,66	2,03
45892,67-48349,47	9,30	1,39
48349,48-50624,29	3,93	1,17
50624,30-52990,11	3,87	1,39
52990,12-56720,83	1,98	0,64

4. Kết luận

Nghiên cứu đã sử dụng kết quả điều tra thu thập về nước ngầm mạch lộ và các yếu tố môi trường tự nhiên tới nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai trong khuôn khổ đề tài cấp bộ mã số B2021-MDA-12, sử dụng Hệ phương pháp phân tích không gian GIS bao gồm 03 bước. Kết quả đã xây dựng được cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ tích hợp các dữ liệu không gian/phi không gian. Cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ bao gồm dữ liệu không gian về nước ngầm mạch lộ và 12 yếu tố môi trường tự nhiên có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai. Mười hai yếu tố môi trường tự nhiên, gồm: độ dốc, hướng sườn, độ cong, cao độ, thực phủ, NDVI, NDMI, NDWI, khoảng cách tới đứt gãy, khoảng cách tới sông, thành tạo địa chất, và lượng mưa. Cơ sở dữ liệu địa không gian là cơ sở để tiến hành phân tích định lượng về các mối quan hệ không gian giữa các yếu tố môi trường tự nhiên đến sự hình thành, trữ lượng và nguy cơ suy thoái nước ngầm mạch lộ khu vực nghiên cứu.

Kết quả phân tích đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ cho thấy nước ngầm mạch lộ có mối quan hệ không gian chặt chẽ với các khu vực: độ dốc địa hình thấp < 12,8 độ (> 90% tổng mạch lộ trên 75% tổng diện tích), hướng sườn bằng phẳng (25% tổng mạch lộ trên 24,2% tổng diện tích), độ cong địa hình - 0,004 - 0,005 (40,51% tổng mạch lộ trên 24,2% tổng diện tích), cao độ địa hình 666-802,6 m (33,48% tổng mạch lộ trên 15,35 tổng diện tích), thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa hệ tầng Túc Trung (68,87% tổng mạch lộ trên 25,77% tổng diện tích), thực phủ là cây thân gỗ, và các chỉ số NDVI 0,45-0,54, NDMI -03-0,04, NDWI 0-0,17. Thành phần đất đá của Hệ tầng Túc Trung là bazan của 3-5 đợt phun trào phủ chồng lên nhau, thành phần là các tập bazan đặc sít bazan lỗ hồng màu xám tro, xám đen, nứt nẻ không đều xen kẽ các tập tuf bazan, dăm kết núi lửa và các lớp bazan phong hóa thành đất đỏ giữa tầng, bề dày 50-300m. Trong khi đó, mối quan hệ không gian giữa nước ngầm mạch lộ với các yếu tố đứt gãy kiến tạo và hệ thống sông chưa rõ nét ở khu vực Gia Lai. Nguyên nhân có thể do tính khả dụng của dữ liệu trên diện tích nghiên cứu lớn cũng như điều kiện địa chất, địa hình-địa mạo phức tạp nên kết quả phân tích chưa ghi nhận được sự nổi bật về đặc điểm quan hệ giữa nước ngầm mạch lộ với các thành phần cụ thể trong các yếu tố này. Mối quan hệ giữa lượng mưa trung bình nhiều năm với trữ lượng nước ngầm mạch lộ cũng chưa phù hợp quy luật tuyến tính về trữ lượng-lượng mưa. Điều này có thể đến từ khía cạnh mật độ trạm khí tượng quá thưa cho

khu vực rộng lớn, địa hình phức tạp và giới hạn thuật toán nội suy chưa xét đến sự phân cắt địa hình và lưu vực dẫn đến độ sai số nhất định.

Từ kết quả đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường và nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai, nghiên cứu đã cung cấp bức tranh thông tin toàn diện về sự ảnh hưởng và tác động giữa chúng. Kết quả này cũng góp phần thiết lập các cơ sở khoa học cho các mô hình dự báo trữ lượng và đánh giá nguy cơ suy thoái nước ngầm mạch lộ phục vụ quản lý, khai thác bền vững. Đặc biệt với các mô hình hiện đang được quan tâm do khả năng dự báo chính xác cao như máy học - trí tuệ nhân tạo.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của đề tài cấp bộ mã số: B2021-MDA-12.

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. Altenburger, R.; et al. Future water quality monitoring-Adapting tools to deal with mixtures of pollutants in water resource management. *Sci. Total Environ.* **2015**, *512*, 540–551.
2. Chezgi, J.; et al. Assessment of a spatial multi-criteria evaluation to site selection underground dams in the Alborz Province, Iran. *Geocarto Int.* **2016**, *31(6)*, 628–646.
3. Todd, D.K.; Mays, L.W. Groundwater hydrology. John Wiley & Sons, 2004.
4. Nhu, V.H.; Rahmati, O.; Falah, F.; Shojaei, S.; Al-Ansari, N.; Shahabi, H.; Shirzadi, A.; Górski, K.; Nguyen, H.; Ahmad, B.B. Mapping of Groundwater Spring Potential in Karst Aquifer System Using Novel Ensemble Bivariate and Multivariate Models. A tree-based intelligence ensemble approach for spatial prediction of potential groundwater. *Water* **2020**, *12(4)*, 1–25.
5. Lee, S.; Song, K.Y.; Kim, Y.; Park, I. Regional groundwater productivity potential mapping using a geographic information system (GIS) based artificial neural network model. *Hydrogeol. J.* **2012**, *20(8)*, 1511.
6. VOV. Biến đổi khí hậu ở Tây Nguyên: Người làm nông rất mệt. 2017. Trục tuyến: <https://vov.vn/kinh-te/bien-doi-khi-hau-o-tay-nguyen-nguoi-lam-nong-rat-mat-649162.vov>.
7. Nhat Ha. Tây Nguyên trong 'chảo lửa' hạn hán. 2016. Trục tuyến: <https://vnexpress.net/tin-tuc/thoi-su/tay-nguyen-trong-chao-lua-han-han-3376415.html>.
8. Viện Quy hoạch Thủy lợi. Quy hoạch tổng thể thủy lợi vùng Tây Nguyên. 2015.
9. Kresic, N.; Stevanovic, Z. Groundwater hydrology of springs: engineering, theory, management and sustainability. Butterworth-heinemann, 2010. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-19145-6>.
10. Nhu, V.H.; Shahabi, H.; Nohani, E.; Shirzadi, A.; Al-Ansari, N.; Bahrami, S.; Miraki, S.; Geertsema, M.; Nguyen, H. Daily Water Level Prediction of Zrebar Lake (Iran): A Comparison between M5P, Random Forest, Random Tree and Reduced Error Pruning Trees Algorithms. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2020**, *9(8)*, 479.
11. Dân, N.L. Nghiên cứu cơ sở khoa học cho giải pháp tổng thể giải quyết các mâu thuẫn lợi ích trong việc khai thác sử dụng tài nguyên nước lãnh thổ Tây Nguyên”, Mã số TN3/T02 thuộc Chương trình Tây Nguyên 3. 2015.
12. Vinh, P.T. Nghiên cứu đề xuất các mô hình thu gom khai thác bền vững nguồn nước mạch lộ phục vụ cấp nước sạch cho các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Tây Nguyên. Mã số ĐTĐL.CN-64/15. 2018, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.

13. Naghibi, S.A.; Dashtpajardi, M.M. Evaluation of four supervised learning methods for groundwater spring potential mapping in Khalkhal region (Iran) using GIS-based features. *Hydrogeol. J.* **2017**, *25(1)*, 169.
14. Mousavi, S.M.; Golkarian, A.; Naghibi, S.A.; Kalantar, B.; Pradhan, B. GIS-based groundwater spring potential mapping using data mining boosted regression tree and probabilistic frequency ratio models in Iran. *Aims Geosci.* **2017**, *3(1)*, 91–115.
15. Moghaddam, D.D.; Rezaei, M.; Pourghasemi, H.R.; Pourtaghie, Z.S.; Pradhan, B. Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan Watershed, Iran. *Arabian J. Geosci.* **2015**, *2(8)*, 913–929.
16. Pourtaghi, Z.S.; Pourghasemi, H.R. GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran. *Hydrogeol. J.* **2014**, *22(3)*, 643–662.
17. Chowdhury, A.; Jha, M.K.; Chowdary, V.M.; Mal, B.C. Integrated remote sensing and GIS-based approach for assessing groundwater potential in West Medinipur district, West Bengal, India. *Int. J. Remote Sens.* **2009**, *30(1)*, 231–250. doi:10.1080/01431160802270131.
18. Sander, P.; Chesley, M.M.; Minor, T.B. Groundwater assessment using remote sensing and GIS in a rural groundwater project in Ghana: lessons learned. *Hydrogeol. J.* **1996**, *4(3)*, 40–49.
19. Mohammadtaghi, A.; Saeid, J.; Dieu, T.B.; Hoa, P.V.; Ngo, P.T.T.; Nhu, V.H. A tree-based intelligence ensemble approach for spatial prediction of potential groundwater. *Int. J. Digital Earth* **2020**, 1–22.
20. Aller, L.; et al. DRASTIC: a standardized system to evaluate groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. National Water Well Association, Worthington, Ohio, United States of America, 1987.
21. Oh, H.-J.; et al. GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *J. Hydrol.* **2011**, *399(3-4)*, 158–172.
22. Corsini, A.; Cervi, F.; Ronchetti, F. Weight of evidence and artificial neural networks for potential groundwater spring mapping: an application to the Mt. Modino area (Northern Apennines, Italy). *Geomorphology* **2009**, *111(1-2)*, 79–87.
23. Ozdemir, A. Using a binary logistic regression method and GIS for evaluating and mapping the groundwater spring potential in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). *J. Hydrol.* **2011**, *405(1-2)*, 123–136.
24. Rahmati, O.; Pourghasemi, H.R.; Melesse, A.M. Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: A case study at Mehran Region, Iran. *Catena* **2016**, *137*, 360–372.
25. Golkarian, A.; et al. Groundwater potential mapping using C5.0, random forest, and multivariate adaptive regression spline models in GIS. *Environ. Monit. Assess.* **2018**, *190(3)*, 149.
26. Rahmati, O.; et al. Groundwater spring potential modelling: Comprising the capability and robustness of three different modeling approaches. *J. Hydrol.* **2018**, *565*, 248–261.
27. Khosravi, K.; Panahi, M.; Dung, B.T. Spatial prediction of groundwater spring potential mapping based on an adaptive neuro-fuzzy inference system and metaheuristic optimization. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2018**, *22(9)*, 4771–4792.
28. Nhu, V.H.; et al. Mapping of groundwater spring potential in karst aquifer system using novel ensemble bivariate and multivariate models. *Groundwater Modelling in Karst Areas. Water* **2020**, *12(4)*, 985. <https://doi.org/10.3390/w12040985>.
29. Hà, N.V. Using artificial intelligence in predicting groundwater potential for water scarcity area in the Central Highlands (Vietnam). RefNo: VIE 11 888 11/REGIE/019.

30. Sử dụng trí tuệ nhân tạo dự báo tiềm năng nước dưới đất cho vùng khan hiếm nước khu vực Tây Nguyên (Việt Nam). Mã số: VIE 11 888 11/REGIE/019. 2018, Facility for Capacity Building project (FCB) - Enabel Viet Nam.
31. Cảnh, Đ.V.; cs. Nghiên cứu xây dựng cơ sở khoa học và đề xuất các giải pháp bảo vệ và sử dụng hợp lý tài nguyên nước vùng Tây Nguyên. Mã số KC08.05. 2008.
32. Cảnh, Đ.V.; cs. Nghiên cứu cơ sở khoa học và xây dựng các giải pháp lưu giữ nước mưa vào lòng đất phục vụ chống hạn và bảo vệ tài nguyên nước dưới đất vùng Tây Nguyên. Mã số: ĐTĐL.2007G/44. 2010.
33. Dương, H.H.; cs. Nghiên cứu đề xuất các mô hình, giải pháp công nghệ khai thác và bảo vệ nguồn nước trong các thành tạo Bazant phục vụ cấp nước sinh hoạt bền vững tại các vùng núi cao, khan hiếm nước khu vực Tây Nguyên. 2018.
34. Vinh, P.T. Nghiên cứu đề xuất các mô hình thu gom khai thác bền vững nguồn nước mạch lộ phục vụ cấp nước sạch cho các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Tây Nguyên. Đề tài nghiên cứu ứng dụng và phát triển công nghệ cấp Quốc Gia - Mã số: ĐTĐL.CN-64/15. 2018, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
35. Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 264/QĐ-Ttg về việc Phê duyệt Chương trình điều tra, tìm kiếm nguồn nước dưới đất để cung cấp nước sinh hoạt ở các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước. 2015.
36. Survey, U.S.G. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. 2020. Online available: <https://www.usgs.gov/centers/eros> (accessed March 18, 2020).
37. JAXA. Advanced Land Observing Satellite. 2020. Online available: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30_e.htm (accessed March 18, 2020).
38. JAXA. Advanced Land Observing Satellite. 2020. Online available: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/lulc/lulc_vnm_v2104_e.htm (accessed March 18, 2020).
39. MONRE. Bản đồ địa hình, tỷ lệ 1:50.000. 2018, Bộ Tài nguyên và Môi trường.
40. MONRE. Địa chất và khoáng sản, tỷ lệ 1:200.000. 2010, Bộ Tài nguyên và Môi trường.
41. NASA. Nasa Power. Online available: <https://power.larc.nasa.gov/docs/referencing/#:~:text=When%20referencing%20POWER%20data%20products,version%20number%2C%20and%20date%20accessed.&text=The%20data%20was%20obtained%20from%20the%20POWER%20Project's%20Hourly%20,on%20YYYY%2FMM%2FDD> (accessed March 18, 2020).

Geo-spatial analysis to quantitatively assess the relationship between environmental factors and spring groundwater in Gia Lai area, Vietnam

Nhu Viet Ha^{1*}, Tran Vu Long¹, Pham Minh Tuan¹, Nguyen Viet Nghia¹

¹ Hanoi University of Mining and Geology; nhuvietha@humg.edu.vn; tranvulong@humg.edu.vn; xinghiepkhaosat@gmail.com; nguyenvietnghia@humg.edu.vn

Abstract: This paper presents the results of geospatial analysis to evaluate the quantitative relationship between natural environmental factors and spring groundwater in Gia Lai area. GIS spatial analysis method including 03 steps has been used, allowing the creation of a geospatial database on spring groundwater and 12 influencing factors. Accordingly, the level of close relationship is assessed in areas with terrain slope less than 12.8 degrees, aspect of flat, curvature of -0.004 to 0.005, elevation of 666-802.6 meters, Tuc Trung formation, land use/landcover of woody crops, and indices of NDVI of 0.45-0.54, NDMI of -0.3-0.04, and NDWI of 0-0.17. The relationship with factors of distance to faults and rivers

was not clearly defined. The relationship with rainfall does not conform to the linear rule of reserves supplementation. From the quantitative assessment, the research results have provided a comprehensive picture of the influence and impact between the spring groundwater and 12 natural environmental factors. As a reliable input scientific basis for forecasting models, assessing the risk of groundwater degradation for sustainable management and exploitation.

Keywords: Spring groundwater; Geo-spatial; GIS; Gia Lai; Viet Nam.

Bài báo khoa học

Phân loại đặc điểm mưa và ước tính mưa bằng quan trắc Ra đa phân cực cho khu vực Tây Bắc

Nguyễn Khắc Quân^{1*}, Phạm Thị Thanh Nga²

¹ Đài khí tượng thủy văn khu vực Tây Bắc; mr.nguyenkhacquan@gmail.com

² Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; pttnga.monre@gmail.com

*Tác giả liên hệ: mr.nguyenkhacquan@gmail.com; Tel.: +84-966031851

Ban Biên tập nhận bài: 5/4/2023; Ngày phản biện xong: 20/5/2023; Ngày đăng bài: 25/5/2023

Tóm tắt: Mưa nhìn chung có thể mang đặc điểm đối lưu và phân tầng, mỗi loại mưa gắn với các quá trình phát triển vi vật lý mây là khác nhau dẫn đến sự khác nhau về cường độ, thời gian và diện mưa. Sử dụng số liệu quan trắc Ra đa phân cực trên khu vực Tây Bắc, nghiên cứu đã tiến hành xây dựng một phương pháp nhằm phân loại đặc điểm mưa dựa trên thuật toán phân loại Máy vector hỗ trợ. Kết quả phân loại sau đó được sử dụng nhằm tìm ra các hệ số thực nghiệm trong các công thức ước tính mưa dựa trên phương pháp bình phương tối thiểu. Qua đánh giá cho thấy với phương pháp phân loại được đưa ra chỉ dưới 10% khu vực có dải sáng bị phân loại là mưa đối lưu, phương pháp cũng đã khắc phục được các phân loại sai so với phương pháp tham khảo trong các trường trường hợp mưa được xem xét. Kết quả ước tính mưa cho thấy lượng mưa ước tính từ Ra đa thấp hơn giá trị quan trắc, các công thức với việc phân loại đặc điểm mưa và sử dụng các biến phân cực có kết quả tốt hơn công thức chỉ sử dụng giá trị của Z, trong đó công thức R(Z, ZDR, KDP) có hệ số tương quan cao và sai số nhỏ nhất.

Từ khóa: Phân loại đặc điểm mưa; Máy vector hỗ trợ; Ra đa phân cực; Tây Bắc.

1. Mở đầu

Trên khu vực nhiệt đới mưa nhìn chung có thể mang đặc điểm phân tầng và đối lưu. Mưa đối lưu xuất phát từ hệ thống mây tích (*Cumulus*), bao phủ một khu vực nhỏ, cường độ mưa lớn, thời gian mưa ngắn. Mưa phân tầng thường từ các đám mây tầng (*Stratus*), có cấu trúc đồng nhất theo phương ngang, cường độ mưa thấp và kéo dài [1]. Việc phân loại đặc điểm mưa có ý nghĩa trong nghiên cứu hệ thống mưa với cơ chế vật lý khác nhau nhằm cải thiện ước tính mưa từ quan trắc Ra đa và dự báo mưa từ mô hình số trị [2].

Trên thế giới đã có nhiều các phương pháp khác nhau được xây dựng nhằm phân loại đặc điểm mưa của một hệ thống mây từ các quan trắc trên mặt đất và trên không. Các phương pháp đầu tiên sử dụng số quan trắc từ các máy đo mưa bề mặt khi giá trị mưa vượt qua một ngưỡng cố định—phương pháp BET [3–4], tuy nhiên phương pháp này chỉ giúp xác định được khu vực tâm mưa đối lưu. Trước yêu cầu mở rộng khu vực phân loại, trong 30 năm trở lại đây các phương pháp phân loại sử dụng số liệu Ra đa thời tiết đã được nghiên cứu và phát triển. Đối với các Ra đa phân cực đơn các thuật toán được phát triển chủ yếu dựa trên giá trị từ Phản hồi vô tuyến (*Reflectivity – Z*) và các biến dẫn xuất được đưa ra [5–9]. Tiêu biểu trong một nghiên cứu của Stainer và CCS [10] đã đưa ra phương pháp sử dụng bán kính ảnh hưởng xung quanh mỗi tâm đối lưu biến đổi theo kính thước và là một hàm phụ thuộc vào độ lớn của giá trị Z trung bình nền khu vực (phương pháp SHY95). Bằng việc kiểm tra bằng giả thuyết dải sáng xuất hiện trong lớp từ 4–5 km, phương pháp

cho kết quả phân loại sai nhỏ hơn 10%, tác giả cũng đã tiến hành việc ước tính lượng mưa dựa trên kết quả phân loại bằng cách sử dụng hai mối quan hệ Z-R riêng cho từng loại mưa là: $Z = 82R^{1.47}$ (mưa đối lưu) và $Z = 143R^{1.5}$ (mưa phân tầng) kết quả đã cho thấy có sự cải thiện đáng kể độ chính xác về ước tính lượng mưa, tuy nhiên hạn chế chính đối với phương pháp SHY95 đó là việc đôi khi phân loại quá cao với những vùng PHVT thành mưa đối lưu. Đối với Ra đa thời tiết phân cực đã có một số các nghiên cứu thực hiện [11–15], các nghiên cứu này tập trung chính vào việc phân tích đặc điểm của các biến quan trắc phân cực qua đó nhận dạng hai loại đặc điểm mưa dựa trên các thuật toán máy học hiện đại, kết quả so sánh với các phương pháp được xây dựng trước đó cho thấy có thể phân loại được hai loại mưa trong hệ thống mây và cũng rất hữu ích trong việc cải thiện độ chính xác của ước tính mưa.

Các nghiên cứu trước đây tại Việt Nam hầu hết chỉ sử dụng số liệu từ các Ra đa phân cực đơn, tập trung chủ yếu vào nhận biết các hiện tượng khí tượng dựa trên việc khảo sát, đưa ra các ngưỡng giá trị và xây dựng công thức ước tính mưa dựa trên mối quan hệ giữa Z-R cho từng khu vực nghiên cứu [16–20].

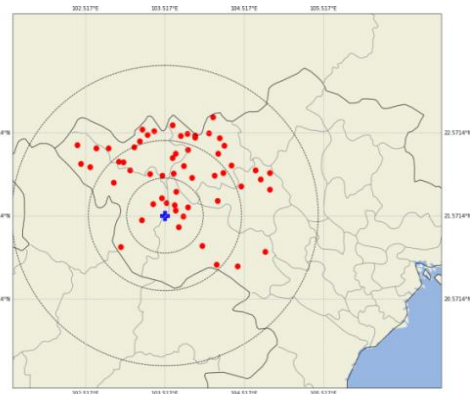
Với sự phát triển của thế hệ các Ra đa thời tiết phân cực thì việc sử dụng số liệu quan trắc phân cực nhằm phân loại đặc điểm mưa đối lưu hay mưa tầng và nâng cao độ chính xác trong ước tính mưa đang được tập trung nghiên cứu. Việc có thêm một lượng lớn số liệu mưa quan trắc được bởi Ra đa nêu sử dụng các thuật toán máy học sẽ góp phần giải quyết được những bài toán phức tạp đặt ra. Do đó nghiên cứu trình bày một phương pháp nhằm hỗ trợ việc phân loại đặc điểm mưa, kết quả phân loại phân loại sau đó được sử dụng nhằm tìm ra các hệ số thực nghiệm trong các công thức ước tính mưa cho khu vực Tây Bắc.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu sử dụng

Số liệu mưa: Nghiên cứu sử dụng giá trị lượng mưa (mm) quan trắc được từ 55 máy đo mưa tự động thuộc hệ thống Vrain (Hình 1) trong bán kính quan trắc 200 km của Ra đa Pha Đin, độ phân giải thời gian là 10 phút. Số liệu mưa được thu thập từ 68 đợt mưa diễn ra trong khoảng thời gian từ tháng 2 đến tháng 8 trong hai năm 2021 và 2022, trong đó thời gian bắt đầu của một đợt mưa được xác định là thời điểm mà ở đó có ít nhất một nửa số máy đo mưa tự động có báo lượng mưa, thời gian kết thúc khi hơn một nửa số máy đo mưa không còn ghi nhận giá trị lượng mưa.

Số liệu quan trắc phân cực: Nghiên cứu sử dụng số liệu quan trắc từ trạm Ra đa thời tiết Pha Đin (21°34' N, 103°31' E), thu thập trong bán kính 200 km với độ phân giải thời gian là 10 phút và cũng được phân chia theo các đợt mưa để đảm bảo trùng khớp về thời gian với số liệu mưa. Các biến phân cực sử dụng gồm: Phản hồi vô tuyến (Z), Độ lệch phản hồi vô tuyến (*Differential Reflectivity - ZDR*), Độ lệch pha riêng (*Specific Differential Phase - KDP*), Hệ số tương quan (*Correlation Coefficient - CC*). Sau khi thu thập số liệu trải qua bước thứ nhất là kiểm soát chất lượng nhằm loại bỏ các phản hồi từ nhiễu bề mặt, tiếp theo số liệu sẽ được nội suy trên lưới Đề-các 3 chiều tại 7 mực độ cao (0 tới 9 km) và độ cao 3 km sẽ được lựa chọn sử dụng để tránh ảnh hưởng của dải sáng.



Hình 1. Vị trí Trạm Ra đa thời tiết Pha Đin (chấm xanh) và 55 máy đo mưa tự động (chấm đỏ).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

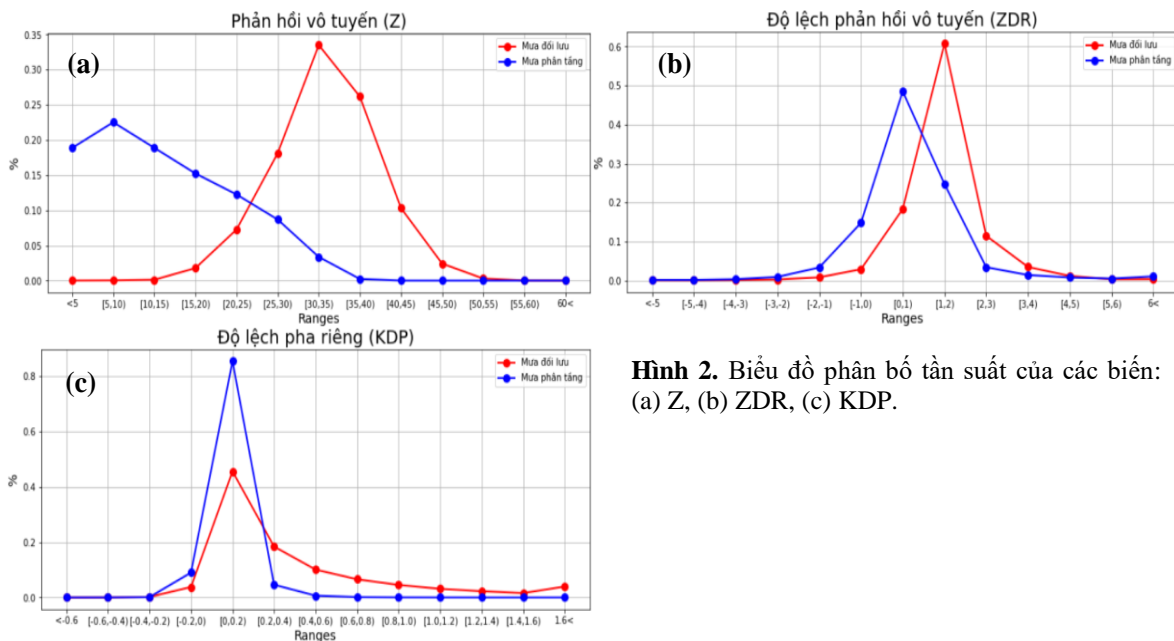
2.2.1. Phương pháp phân loại đặc điểm mưa

Việc sử dụng các thuật toán trí thông minh nhân tạo (AI) đối với số liệu Ra đa thời tiết đã được phát triển mạnh trong hai thập kỉ qua. Dựa trên việc tham khảo kết quả từ các nghiên cứu trước đó, tác giả lựa chọn sử dụng thuật toán Máy vector hỗ trợ (*Support Vector Machine*) [21–22] nhằm mục đích xây dựng một phương pháp phân loại đặc điểm mưa (phương pháp SVM). Với một bộ các thuộc tính (điểm) thuộc một trong hai lớp cho trước (tập huấn luyện), thuật toán SVM sẽ xây dựng một siêu phẳng (hyperplane) nhằm phân loại các điểm thành hai phần sao cho các điểm cùng một lớp nằm về một phía với siêu phẳng, đồng thời thỏa mãn điều kiện lề phân tách của hai đối tượng cần phân tách đạt giá trị cực đại. Cụ thể bằng cách đưa vào một tập số liệu huấn luyện $\{(X_i, y_i)\}_{i=1}^N$, mục tiêu sẽ phải tìm Vector trọng số tối ưu W và độ lệch b sao cho:

$$\min \frac{\langle W, W \rangle}{2} \quad \left. \begin{matrix} \\ \text{Với điều kiện: } y_i(WX_i + b) \geq 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, \end{matrix} \right\} \quad (1)$$

Trong đó $X_i \in R^m$ là vector đầu vào (m là số thuộc tính của hai đối tượng cần phân tách - trong nghiên cứu sử dụng $m = 2$), N là số mẫu sử dụng để huấn luyện, y_i là đầu ra của thuật toán với giá trị $+1$ hoặc là -1 (trong nghiên cứu tương ứng với mưa đối lưu hoặc phân tầng). Các điểm với cặp số liệu đặc biệt (X_i, y_i) nếu thỏa mãn điều kiện trong (1) với dấu bằng thì các điểm này được gọi các Vector hỗ trợ.

Với mục đích xây dựng và đánh giá phương pháp SVM, nghiên cứu lựa chọn sử dụng phương pháp SHY95 [10] làm phương pháp tham khảo, phương pháp có tính ứng dụng cao bởi việc áp dụng chỉ cần duy nhất số liệu từ Z . Tuy nhiên, để tăng độ chính xác thì thuật toán SVM yêu cầu giá trị của các biến phân cực sử dụng phải có sự khác nhau đáng kể trong hai loại mưa [9, 15], do đó sự biến đổi giá trị tần suất của các biến phân cực tại các khoảng giá trị được xác định và so sánh. Việc khảo sát thực hiện thông qua 18 đợt mưa được lựa chọn trong năm 2021, qua đồ thị tần suất của của các biến phân cực (Hình 2) cho thấy chỉ có giá trị của Z và ZDR có sự khác biệt trong hai loại mưa và do đó có thể được sử dụng trong việc phân loại đặc điểm mưa.



Hình 2. Biểu đồ phân bố tần suất của các biến: (a) Z , (b) ZDR , (c) KDP .

Để sử dụng thuật toán SVM thì W và b trong công thức (1) cần phải được giải thông qua việc sử dụng một tập số liệu huấn luyện. Sau khi xem xét phân bố tần suất nghiên cứu đã lựa chọn được các ngưỡng giá trị để xây dựng tập huấn luyện như sau: với mưa đối lưu giá trị được lựa chọn theo tiêu chí $Z > 25\text{dBZ}$ và $ZDR > 0\text{dB}$, đối với mưa phân tầng là $Z < 35\text{dBZ}$ và $ZDR < 2\text{dB}$, cuối cùng trong cả hai loại số liệu huấn luyện chỉ những vị trí điểm

lưới nào được xác nhận là mưa loại phân tầng hoặc đối lưu bởi phương pháp SHY95 mới được sử dụng để huấn luyện thuật toán SVM.

Tập huấn luyện thuật toán có 236.442 bộ số liệu (226.156 bộ số liệu mưa phân tầng và 10 285 bộ số liệu mưa đối lưu) được sử dụng. Một bộ số liệu được xác định gồm số liệu từ Z và ZDR từ một điểm lưới bất kỳ thỏa mãn tiêu chí lựa chọn số liệu và một biến E biểu diễn loại mưa (nhãn phân loại) tương ứng đã được xác định trước (với +1/-1 tương ứng là mưa đối lưu và phân tầng). Cụ thể hơn một bộ số liệu huấn luyện là một Vectơ có dạng $[Z(i,j); ZDR(i,j); E(i,j);]$ với i và j lần lượt là vị trí kinh vĩ độ của điểm lưới.

2.2.2. Phương pháp ước tính mưa

Nghiên cứu tiến hành xây dựng các công thức ước tính mưa bằng việc sử dụng kết hợp giữa 3 nguồn số liệu gồm: số liệu mưa quan trắc từ máy đo mưa, số liệu từ quan trắc phân cực và kết quả từ phương pháp SVM. Dựa trên việc kết hợp của một hay nhiều biến phân cực với số liệu quan trắc mưa tự động, các dạng công thức được nghiên cứu sử dụng lượt R (Z, ZDR, KDP), R (Z, ZDR), R (Z) và R (KDP) và được viết dưới dạng tổng quát:

$$R = aZ^bZDR^cKDP^d \quad (2)$$

Trong đó R là lượng mưa ước tính từ Ra đa; Z, ZDR, KDP là các biến phân cực a, b, c, d là các hệ số thực nghiệm.

Tùy vào dạng công thức khác nhau mà các biến Z, ZDR, KDP có thể xuất hiện trong công thức. Việc có sử dụng KDP trong công thức dựa trên cơ sở của các nghiên cứu đã chỉ cho rằng KDP không phải là một phép đo năng lượng sóng điện từ mà là một phép đo dựa trên pha dao động, vì vậy KDP ít bị ảnh hưởng bởi sự suy giảm tín hiệu, nhiễu địa hình vv...do đó việc sử dụng KDP trong các công thức có thể làm tăng sự chính xác trong các công thức ước tính mưa. Để thu được các công thức ước tính mưa từ (2), nghiên cứu sử dụng phương pháp Bình phương tối thiểu [18–20] nhằm xác định các hệ số thực nghiệm thông qua việc sử dụng tập số liệu của 27 đợt mưa được thu thập.

2.2.3. Phương pháp đánh giá

Phương pháp SVM được đánh giá dựa trên phương pháp SHY95 bằng việc xem xét sự khác nhau về phân bố xác định khu vực mưa bởi hai phương pháp, trong đó một khu vực mưa là phân tầng hoặc đối lưu được xác định nhờ vào điểm lưới. Nghiên cứu cũng đánh giá độc lập hai phương pháp thông qua việc tính Tỷ lệ phần trăm phân loại sai để thu được sai số trong từng phương pháp, cho biết tỷ lệ điểm lưới được phương pháp phân loại là mưa đối lưu nhưng lại thể hiện tín hiệu dải sáng so với tổng số điểm lưới có sự xuất hiện của dải sáng trong cấu trúc của Z theo chiều thẳng đứng tại điểm lưới đó [10].

Nhằm đánh giá ước tính mưa một số chỉ số đánh giá thống kê được sử dụng bao gồm:

- Tỷ lệ phát hiện mưa (RD): $RD = \frac{n_{R,G>0.2}}{n_{G>0.2}}$

- Hệ số tương quan (r): $r = \frac{\sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})(G_i - \bar{G})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2 \sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2}}$

- Sai số quân phương (RMSE): $RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_i - G_i)^2}$

- Sai số hệ thống (ME): $ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_i - G_i)$

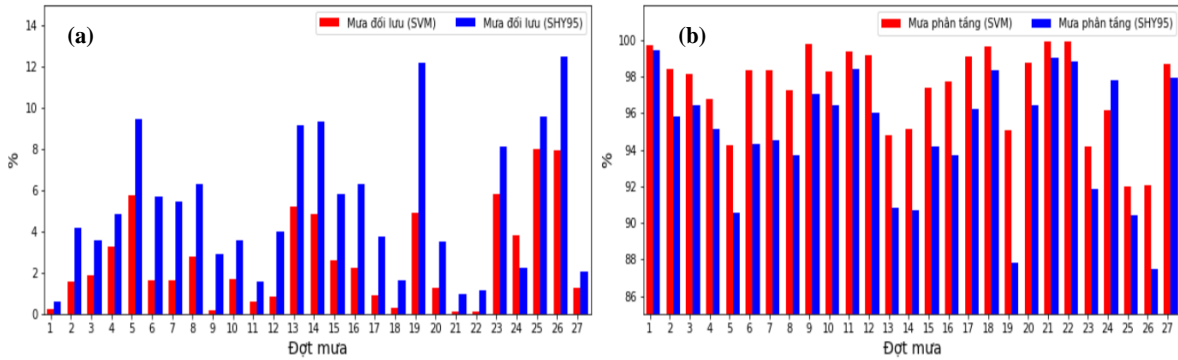
Trong đó $n_{R,G}$ là số cặp giá trị mưa mà ở đó lượng mưa ước tính từ Ra đa và máy đo mưa cùng vượt ngưỡng giá trị 0,2 mm; n_G là số quan trắc từ máy đo mưa vượt quá ngưỡng giá trị 0,2 mm.

R_i và G_i là giá trị ước tính mưa từ Ra đa và giá trị quan trắc mưa từ máy đo mưa (mm); N là dung lượng mẫu. Giá trị R_i được lấy tại độ cao 3 km trung bình trong một miền tròn bán kính 2 km có tâm trùng với vị trí của máy đo mưa.

3. Kết quả và thảo luận

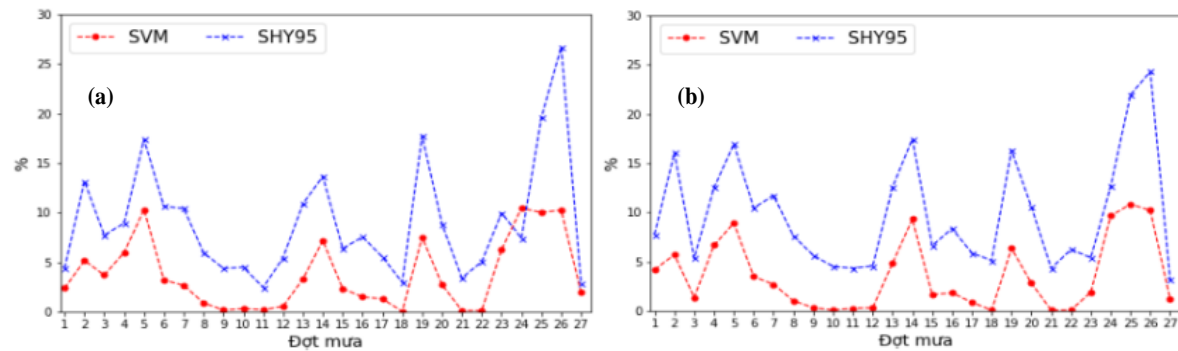
3.1. Kết quả phân loại đặc điểm mưa

Nhằm đánh giá phương pháp được đưa ra trong nghiên cứu, kết quả phân loại đặc điểm mưa từ phương pháp SVM bước đầu được so sánh với phương pháp SHY95 dựa trên việc xem xét tỉ lệ phân bố khu vực mưa và phần trăm phân loại sai của cả hai phương pháp.



Hình 3. Tỉ lệ phân bố của mưa (a) đôi lưu và (b) phân tầng đối với hai phương pháp phân loại đặc điểm mưa SVM (màu đỏ) và SHY95(màu xanh) qua các đợt mưa.

Qua tỉ lệ phân bố khu vực điểm lưới được xác định là mưa phân tầng hoặc đôi lưu bởi hai phương pháp (Hình 3) có thể thấy cả hai đều đã xác định loại mưa chủ yếu là phân tầng với tỉ lệ trung bình từ 87,1-99,2%, mưa đôi lưu chỉ chiếm tỉ lệ từ 0,1-13,7%. Với mưa đôi lưu (Hình 3a) phương pháp SVM có xu hướng phân loại khu vực mưa thấp hơn so với phương pháp SHY95, với phương pháp SVM tỉ lệ dao động chỉ từ 0,1-8,0% trong khi đó với SHY95 là từ 0,5-13% khu vực mưa. Đối với mưa phân tầng (Hình 3b) phương pháp SVM lại có xu hướng phân loại cao hơn so với phương pháp tham khảo, tỉ lệ xác định mưa phân tầng với phương pháp SVM dao động từ 92,1-99,9 % trong khi đó SHY95 là từ 87,4-99,4%.



Hình 4. Tỉ lệ phần trăm phân loại sai bởi phương pháp SVM và SHY95 qua từng đợt mưa với mỗi điều kiện xác định độ lớn dải sáng 2dBZ (a) và 5dBZ (b).

Nhằm đánh giá giá độc lập hai phương pháp, tỉ lệ phần trăm phân loại sai sẽ được xem xét (Hình 4). Với cả 2 điều kiện độ lớn nhằm xác định khu vực có sự xuất hiện của dải sáng nhìn chung phần trăm phân loại sai đối với phương pháp SVM thấp hơn so với phương pháp SHY95. Cụ thể phương pháp SVM có tỉ lệ chỉ dao động trong khoảng từ 0-10%, với phương pháp SHY95 tỉ lệ này dao động trong khoảng từ 2-25%. Xét trên toàn bộ tập số liệu đánh giá (Bảng 1), với điều kiện độ lớn dải sáng lần lượt là > 2dBZ và > 5dBZ trung bình phương pháp SHY95 có lần lượt 8,1% và 9,1% khu vực mưa phân tầng thực tế đã bị phân loại sai thành đôi lưu. So với phương pháp SHY95 trong cả hai điều kiện thì phân loại sai đối với phương pháp SVM giảm hơn một nửa chỉ còn lần lượt 3% và 2,9%.

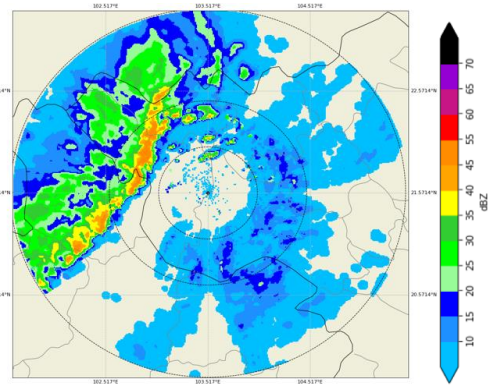
Bảng 1. Trung bình của tỉ lệ phần trăm phân loại sai bởi SHY95 và SVM.

Phương pháp	Độ lớn dải sáng	
	> 2 dBZ	> 5 dBZ
SHY95	8,1 %	9,1 %
SVM	3,0 %	2,9 %

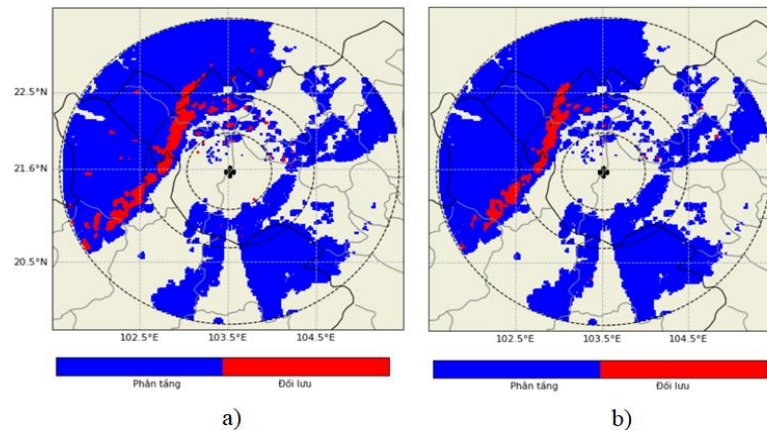
Trong nghiên cứu [8] khi đánh giá hai trường hợp mưa là: Đường tổ và Mưa đối lưu trong khu vực mưa phân tầng, dựa trên xem xét số liệu 3 chiều từ Z cho thấy phương pháp SHY95 đôi khi đã phân loại sai những khu vực có mưa phân tầng với cường độ mạnh thành những ô mưa đối lưu cục bộ làm xuất hiện những khu vực mưa đối lưu bên trong khu vực mưa phân tầng diện rộng, những khu vực mưa đối lưu phân loại sai này có vị trí biến đổi lớn, thời gian tồn tại ngắn khi xem xét liên tục theo thời gian. Để xem xét vấn đề này cũng như đánh giá hiệu quả phương pháp SVM cần thiết phải tiến hành những phân tích độc lập trong những trường hợp mưa thực tế khác nhau, do đó 03 trường hợp mưa bao gồm: Đường tổ, Mưa phân tầng diện rộng và Mưa đối lưu trong khu vực mưa phân tầng đã được nghiên cứu lựa chọn xem xét.

a) Trường hợp đường tổ

Các đám mây đối lưu đôi khi xếp thành dải kết thành một màn mây gần như liên tục rộng khoảng từ 10-50 km, dài vài trăm km dọc theo đường front lạnh, chuyển động theo hướng ổn định hay gây nên gió giật. Dải này được gọi là đường gió giật hay đường tổ. Đường tổ hình thành do không khí lạnh di chuyển nhanh đã đẩy không khí nóng ẩm ở phía trước front lên cao, tạo ra các ô mây đối lưu sâu (thường là mây Cb hình đe) dính liền với nhau thành một dải, trên màn hình hiển thị của Ra đa đường tổ thường có hình dạng cánh cung [1]. Hình 5 biểu diễn một trường hợp xảy ra trên khu vực quan trắc bởi Ra đa Pha Đin vào hồi 18:10' (UTC) ngày 5/5/2021, đường tổ ban đầu hình thành phía Tây Bắc của Ra đa sau đó mở rộng và dịch chuyển theo hướng Đông Nam.



Hình 5. Sản phẩm MAX của Z từ Ra đa Pha Đin trong trường hợp đường tổ lúc 18:10'(UTC) ngày 5/5/2021.



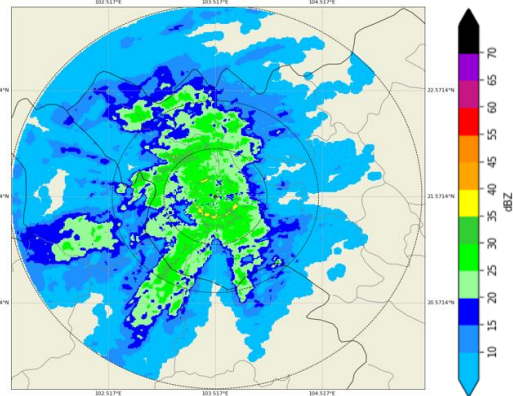
Hình 6. Kết quả phân loại cho trường hợp đường tổ quan trắc bởi Ra đa Pha Đin lúc 18:10'(UTC) ngày 5/5/202 từ a) phương pháp SHY95, b) phương pháp SVM.

Kết quả phân loại đặc điểm mưa (Hình 6) cho thấy hai phương pháp đã xác định mưa trong khu vực có dạng dải hình cánh cung (gồm tập hợp các ô đối lưu nối liền nhau) là mưa đối lưu. Tuy nhiên với phân loại mưa trong khu vực nằm phía sau đường tổ đã có sự khác biệt khi phương pháp SHY95 (Hình 6a) đã mở rộng khu vực phân loại là mưa đối lưu với sự xuất hiện của các ô mưa đối lưu có kích thước nhỏ nằm riêng lẻ bên trong khu vực mưa phân tầng, trong khi đó phương pháp SVM (Hình 6b) phân loại hoàn toàn khu vực này

là mưa phân tầng. Theo [23] sau khi nghiên cứu đã đưa ra kết luận mưa phía sau các ô đối lưu trong trường hợp đường tổ có thể được phân loại là phân tầng bởi chuyển động không khí thẳng đứng trong khu vực này yếu hơn tốc độ rơi của các hạt mưa, điều này thỏa mãn điều kiện khu vực có mưa phân tầng.

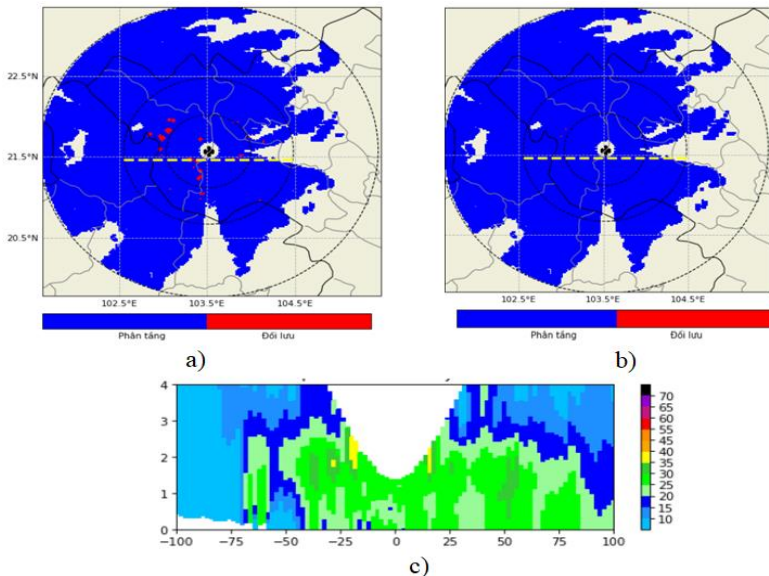
b) Trường hợp mưa phân tầng diện rộng

Trong trường hợp này toàn bộ khu vực quan trắc bởi Ra đa được bao phủ gần như hoàn toàn bởi mưa loại phân tầng, với đặc điểm nhận dạng khi giá trị Z nhỏ cùng với đó là việc có hoặc không có sự xuất hiện của dải sáng đặc trưng. Hình 7 thể hiện một trường hợp mưa diễn ra vào hồi 11:40'(UTC) ngày 8/2/2021, giá trị Z cực đại ≤ 40 dBZ trên sản phẩm MAX, có thể quan sát thấy được sự xuất hiện của dải sáng hình nhẫn với giá trị Z ~ 40 dBZ, cực đại xung quanh phạm vi bán kính < 50 km của Ra đa, việc có sự xuất hiện của dải sáng cho thấy đây là một trường hợp mưa phân tầng đặc trưng [2, 24].



Hình 7. Sản phẩm MAX của Z từ Ra đa thời tiết Pha Đin trong trường hợp mưa phân tầng diện rộng lúc 11:40'(UTC) ngày 8/2/2021.

Phương pháp SHY95 (Hình 8a) trong trường hợp này đã phân loại sai khi phân loại mưa đối lưu (các ô đối lưu nhỏ) tại đúng vị trí của dải sáng, điều này đã tạo ra các ô nhiễu đối lưu nằm bên trong khu vực mưa phân tầng và làm tăng khu vực mưa đối lưu. Ngược lại, phương pháp SVM (Hình 8b) đã phân loại hoàn toàn mưa phân tầng cho khu vực, với dải sáng xung quanh vị trí của Ra đa cũng được phân loại là mưa phân tầng. Để kiểm tra nghiên cứu sử dụng một lát cắt theo vĩ độ $21^{\circ}48'N$ (Hình 8c) đi qua khu vực được phân loại khác nhau giữa hai phương pháp, qua lát cắt có thể thấy khu vực hai phương pháp phân loại khác nhau thể hiện một cấu trúc PHVT phân tầng với cực đại Z nằm ở ~ 2 km, phần bên trên và dưới cực đại này Z đều giảm. Như vậy việc phân loại khu vực này là mưa phân tầng trong phương pháp SVM là hoàn toàn phù hợp.

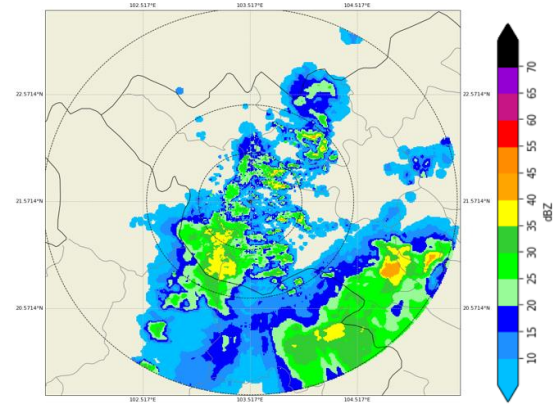


Hình 8. Kết quả phân loại cho trường hợp Mưa phân tầng diện rộng quan trắc từ Ra đa Pha Đin lúc 11:40'(UTC) 8/2/2021 từ: (a) phương pháp SHY95, (b) phương pháp SVM. Đường màu vàng biểu diễn vị trí lát cắt theo vĩ độ $21^{\circ}48'N$, (c) qua khối quét của Ra đa.

c) Trường hợp mưa đối lưu trong khu vực phân tầng

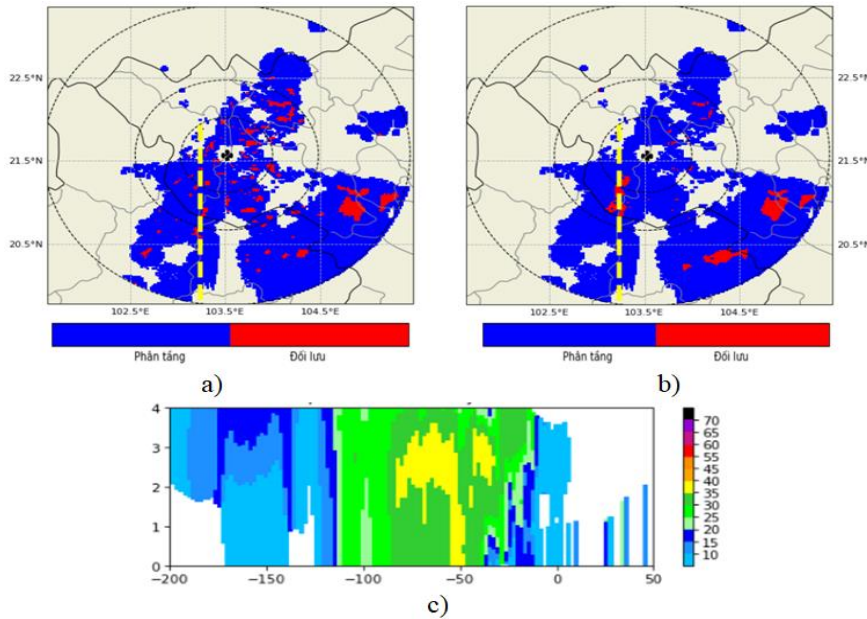
Khác với trường hợp đường tổ đã phân tích, đặc trưng của trường hợp mưa loại này đó là khu vực được bao phủ hầu hết bởi mưa phân tầng, tuy nhiên bên trong khu vực mưa phân tầng sẽ có sự xuất hiện của một số ô mưa đối lưu mới được hình thành hoặc đang trong quá trình tan rã nằm riêng rẽ.

Trên khu vực Tây Bắc qua số liệu thống kê quan trắc Ra đa trong hai năm nghiên cứu cho thấy trường hợp mưa này chiếm phần lớn các trường hợp mưa quan trắc từ Ra đa thời tiết trên khu vực. Hình 9 thể hiện một đợt mưa diễn ra vào lúc 19:20'(UTC) ngày 7/7/2021 từ sản phẩm MAX. Có thể thấy sự xuất hiện của các ô mưa đối lưu nằm riêng lẻ ở phía Đông Bắc và phía Nam của Ra đa với giá trị PHVT cực đại > 50dBZ bao quanh các trung tâm này là khu vực mưa với giá trị < 35dBZ.



Hình 9. Sản phẩm MAX của Z từ Ra đa Pha Đin trong trường hợp mưa đối lưu trong khu vực phân tầng lúc 19:20'(UTC) ngày 7/7/2021.

Kết quả sử dụng phương pháp phân loại đặc điểm mưa SVM cho trường hợp mưa này được biểu diễn trên Hình 10b qua quan sát có thể thấy phương pháp đã xác định được một số ô đối lưu lớn nằm ở phía Đông Bắc và phía Nam của Ra đa, phía Đông Bắc cũng xuất hiện các ô đối lưu tuy nhiên có kích thước nhỏ hơn. Các ô đối lưu này có vị trí trùng với vị trí Z cực đại trên sản phẩm MAX, các khu vực còn lại xung quanh các ô đối lưu này được phân loại là mưa phân tầng. Trong khi đó phương pháp SHY95 (Hình 10a) phân loại có sự khác biệt khi tạo ra rất nhiều các ô đối lưu nằm riêng lẻ, có kích thước nhỏ nằm bên trong khu vực được xác định là mưa phân tầng, qua việc kiểm tra trên tập số liệu của cả đợt cho thấy các ô này tồn tại không có sự liên tục theo thời gian.



Hình 10. Kết quả phân loại cho trường hợp Mưa đối lưu trong khu vực phân tầng quan trắc từ Ra đa Pha Đin lúc 19:20'(UTC) ngày 7/7/ 2021 từ a) phương pháp SHY95, b) phương pháp SVM. Đường màu vàng biểu diễn vị trí lát cắt theo kinh độ 103°23'E c) qua khối quét của Ra đa.

Sử dụng một lát cắt theo kinh độ 103°23'E đi qua khu vực có sự phân loại khác nhau giữa hai phương pháp (Hình 10c), có thể thấy khu vực lát cắt đi qua có duy nhất một vị trí có giá trị cực đại của Z dạng cột thẳng đứng thể hiện mưa đối lưu ở vị trí phía Nam Tây Nam cách Ra đa một khoảng 50-100 km, đây là khu vực đối lưu duy nhất các khu vực còn lại đều có giá trị của Z thấp, như vậy phương pháp SVM đã phân loại chính xác, trong khi đó phương pháp SHY95 cũng xác định được vị trí mưa đối lưu nhưng cùng với đó cũng xuất hiện những ô đối lưu nhỏ khác.

3.2. Kết quả ước tính mưa

Một số các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng việc phân loại mưa cũng như sử dụng số liệu phân cực có thể làm tăng độ chính xác của lượng mưa ước tính từ Ra đa thời tiết. Bằng việc sử dụng kết hợp giữa số liệu từ máy đo mưa tự động, quan trắc Ra đa phân cực và kết quả từ phương pháp SVM. Nghiên cứu tiến hành thử nghiệm xây dựng hệ số thực nghiệm trong các công thức ứng với hai loại đặc điểm mưa. Ngoài ra nhằm xem xét hiệu quả phân loại, nghiên cứu cũng sử dụng một công thức ước tính không sử dụng kết quả phân loại SVM (B1) và một công thức được tham khảo của Marshall (B2). Sau khi tính toán hệ số trong các công thức được thể hiện trong Bảng 2.

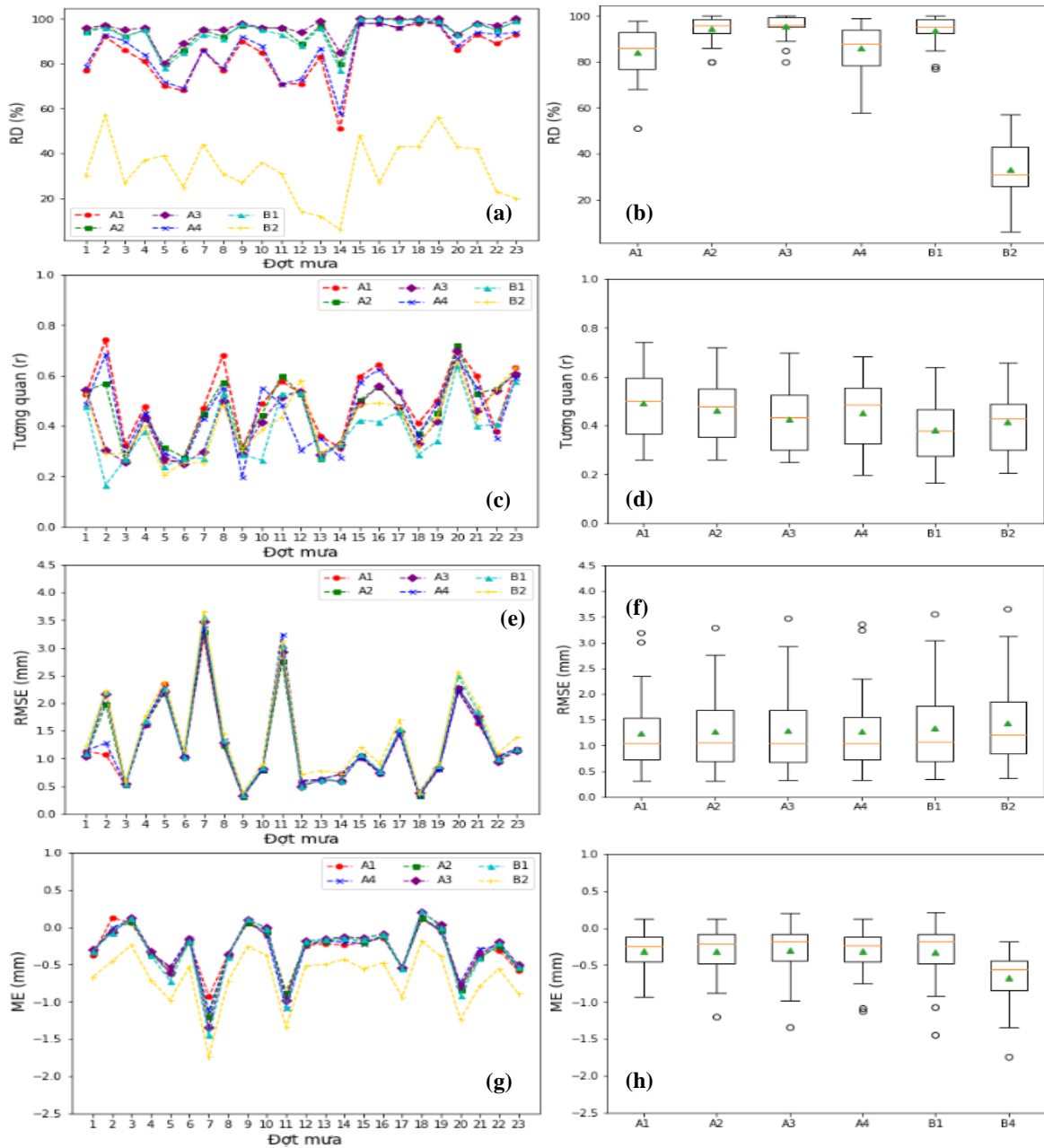
Bảng 2. Hệ số trong các công thức ước tính mưa.

STT	Kí hiệu	Công thức	Đặc điểm mưa	a	b	c	d
1	A1	$R = aZ^bZDR^cKDP^d$	Phân tầng	2,11	0,20	-0,86	0,19
			Đồi lưu	64,50	-0,03	-2,25	0,50
2	A2	$R = aZ^bZDR^c$	Phân tầng	1,19	0,23	-0,77	
			Đồi lưu	3,03	0,28	-2,10	
3	A3	$R = aZ^b$	Phân tầng	1,15	0,21		
			Đồi lưu	3,05	0,19		
4	A4	$R = aKDP^b$	Phân tầng	7,34	0,38		
			Đồi lưu	21,86	0,47		
5	B1	$R = aZ^b$	Không phân loại	1,02	0,24		
6	B2	$R = aZ^b$ (Marshall)	Không phân loại	0,0365	0,625		

Với mục đích đánh giá chất lượng của các công thức ước tính mưa, nghiên cứu đã lựa chọn 23 đợt mưa độc lập với các đợt mưa đã được sử dụng để xây dựng các công thức ước tính lượng mưa để đánh giá. Kết quả đánh giá được biểu diễn trong Hình 11.

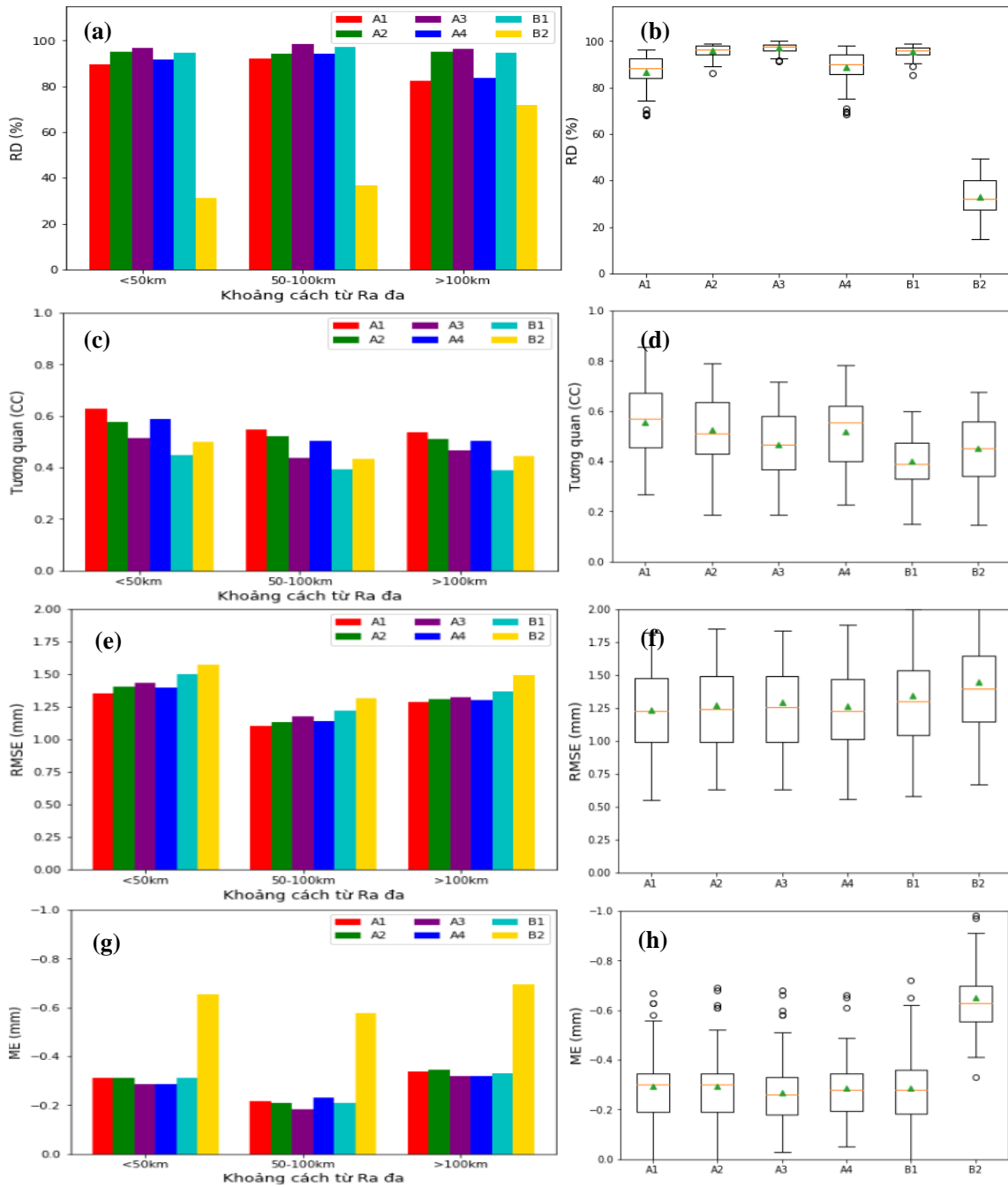
Nhìn chung tất cả các công thức đều cho RD biến đổi qua từng đợt mưa trong khoảng 65-100%, ngoại trừ công thức B2 có RD thấp nhất từ 10-56% (Hình 11a), công thức với Z và ZDR (A2, A3 và B1) có RD cao hơn công thức với KDP (A1 và A4), biểu đồ hộp Hình 11b cũng chỉ ra RD ~95% đối với A2, A3 cùng với đó độ trải giữa (IQR) thấp nhất. Về tương quan giữa lượng mưa ước tính từ Ra đa và máy đo mưa tự động (Hình 11c), công thức với ZDR và KDP (A1, A2, A4) có r cao hơn so với chỉ sử dụng Z (A3, B1, B2) trong đó A1 có r cao nhất trong khoảng từ 0,30-0,74.

Việc sử dụng kết quả phân loại từ phương pháp SVM có tương quan cao hơn so với không phân loại mưa, biểu đồ hộp Hình 11d chỉ ra A1 có r cao nhất và thấp nhất là B1. Hình 11e chỉ ra RMSE giữa các cặp giá trị lượng mưa giữa Ra đa và máy đo mưa trong đó RMSE có sự biến đổi theo từng đợt mưa khác nhau, sai số cao đối với các đợt mưa có cường độ mạnh (đợt 7 và 11) và tương đối nhỏ với các đợt mưa có cường độ nhỏ (đợt 9 và 18), qua biểu đồ hộp Hình 11f có thể thấy A1 có sai số nhỏ nhất ~1,25 mm, B1 và B2 có sai số lớn nhất lần lượt là 1,44 mm và 1,34 mm. Như vậy RMSE cũng có cùng xu thế như đối với r. Hình 11g và 11h biểu diễn phân bố của giá trị ME, có thể thấy hầu hết đều cho kết quả ước tính thấp hơn so với giá trị quan trắc ở tất cả các đợt. Nguyên nhân dẫn tới việc ước tính thấp có thể bởi các quan trắc từ Ra đa bị ảnh hưởng bởi cả sai số ngẫu nhiên lẫn sai số hệ thống gồm: sự suy giảm tín hiệu trong mưa, sự che khuất bởi tín hiệu và việc hiệu chỉnh Ra đa,...



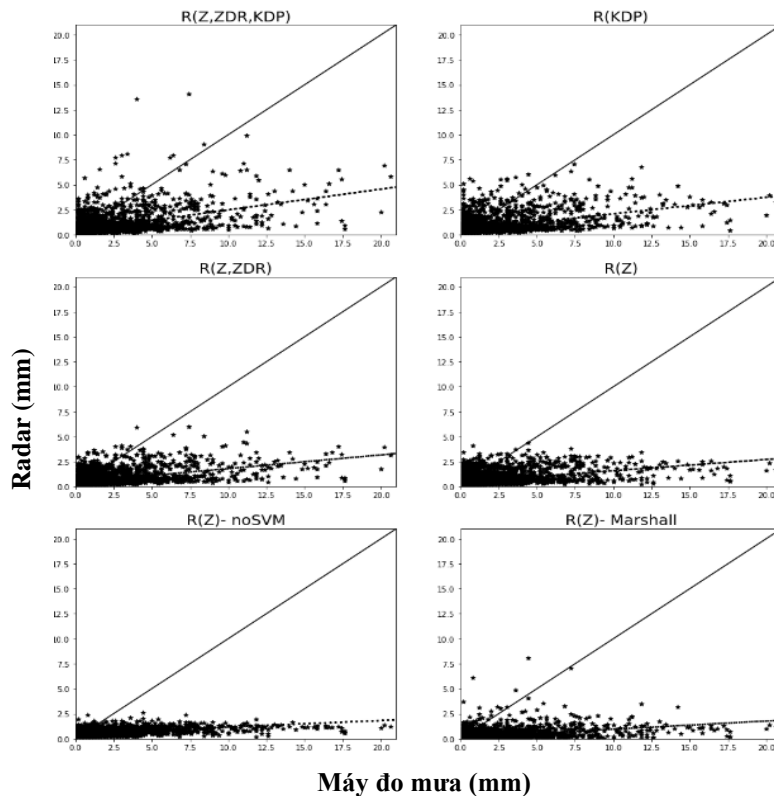
Hình 11. Giá trị RD (a), (b); r (c), (d); RMSE (e), (f); ME (g), (h) giữa lượng mưa ước tính từ Ra đa và quan trắc từ máy đo mưa tự động cho từng đợt mưa.

Chỉ số đánh giá đối với mỗi công thức tại những khoảng cách khác nhau so với vị trí Ra đa cũng được xem xét đánh giá. Hình 12a biểu diễn giá trị RD tại các khoảng cách trong phạm vi hoạt động của Ra đa, ngoại trừ công thức B2 còn lại đều có RD cao trên 85% và có ít sự thay đổi. Biểu đồ hộp Hình 12b cho thấy A2, A3, B1 đạt giá trị cao với RD trung bình ~95% cùng với đó là IQR thấp. Hình 12c chỉ ra giá trị r giữa lượng mưa ước tính từ Ra đa và máy đo mưa, nhìn chung r giảm khi khoảng cách giữa máy đo mưa so với vị trí Ra đa tăng lên, điều này có thể do tín hiệu Ra đa nhận được bị suy giảm theo khoảng cách. Công thức ước tính mưa sử dụng kết hợp việc phân loại đặc điểm và các biến phân cực có r cao hơn so với khi không có sự phân loại. Biểu đồ hộp Hình 12d cho thấy A1 có r cao nhất ~0,66%, trong khi đó B1 có r trung bình thấp nhất ~0,38%. Giá trị ME được thể hiện trong Hình 12g,h. Qua hình 12g có thể thấy tất cả các công thức đều cho giá trị lượng mưa ước tính từ Ra đa thấp hơn so với giá trị quan trắc dao động trong khoảng từ 20-40%, thậm chí B2 cho độ lệch tới hơn 70%. Biểu đồ hộp hình 12h cho thấy không có sự chênh lệch của giá trị ME giữa các công thức sử dụng biến phân cực, phân loại và không phân loại mưa.



Hình 12. Giá trị RD (a), (b); r (c), (d); RMSE (e), (f); ME (g), (h) giữa lượng mưa ước tính từ Ra đa và quan trắc từ máy đo mưa tự động tại từng khoảng cách.

Biểu đồ phân tán giữa các cặp giá trị lượng mưa ước tính từ Ra đa (R) và lượng mưa quan trắc từ máy đo mưa (G) với mỗi công thức ước tính mưa được thể hiện trong Hình 13. Trong hình các đường nét đứt biểu diễn đường hồi quy tuyến tính dưới dạng $R = aG + b$ của các cặp R-G qua tất cả các đợt mưa, có thể thấy đường hồi quy của tất cả các công thức mưa đều nằm bên dưới đường một - một cho thấy tất cả đều cho kết quả ước tính lượng mưa thấp hơn giá trị quan trắc từ máy đo mưa tự động. Công thức kết hợp giữa việc phân loại đặc điểm mưa và sử dụng các biến phân cực có kết quả tốt hơn so với việc không phân loại và chỉ sử dụng Z (gần với đường một - một nhất). Trong đó công thức R (Z, ZDR, KDP) cho kết quả tốt nhất, với lượng mưa có giá trị ≤ 5 mm cho kết quả tương đối gần sát với giá trị quan trắc, ngược lại với lượng mưa trên > 5 mm thường cho kết quả thấp hơn giá trị quan trắc.



Hình 13. Biểu đồ phân tán giữa lượng mưa ước tính từ Ra đa và quan trắc từ máy đo mưa đối với từng công thức mưa.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã tập trung phân loại mưa bằng quan trắc radar phân cực cho các hệ thống mưa trên khu vực tây bắc bằng các áp dụng thuật toán học máy SVM. Kết quả cho thấy phương pháp SVM có xu hướng phân loại thấp khu vực mưa đối lưu và phân loại cao đối với khu vực mưa phân tầng hơn so với phương pháp tham khảo SHY95. Bằng việc sử dụng chỉ tiêu dài cho thấy phương pháp SVM đã hạn chế được sai số, khi chỉ dưới 10% khu vực có dải sáng bị xác định sai là mưa đối lưu. Với 03 trường hợp mưa được xem xét, phương pháp SVM đã khắc phục được một số các khu vực đã bị phân loại sai bởi phương pháp SHY95 như: mưa phía sau đường tó, vị trí dải sáng xung quanh Ra đa bị xác định là mưa đối lưu.

Đối với ước tính lượng mưa qua đánh giá cho thấy lượng mưa ước tính từ Ra đa có xu hướng thấp hơn giá trị quan trắc từ máy đo mưa. Công thức sử dụng các biến phân cực có giá trị tương quan cao và sai số nhỏ hơn chỉ sử dụng giá trị của Z. Các công thức có sự phân loại đặc điểm mưa có độ chính xác cao hơn so với việc không phân loại. Công thức $R(Z,ZDR,KDP)$ ứng với hai loại đặc điểm mưa có r cao nhất và sai số RMSE thấp.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.K.Q., P.T.T.N.; Xử lý số liệu: N.K.Q.; Viết bản thảo bài báo: N.K.Q.; Chỉnh sửa bài báo: N.K.Q., P.T.T.N.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của luận văn thạc sĩ: “Phân loại đặc điểm mưa và ước tính mưa bằng quan trắc Ra đa phân cực cho khu vực Tây Bắc”.

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. Điền, N.H.; Đa, T.V. Khí tượng Ra đa, Nhà xuất bản Trường Đại Học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 2009, tr. 208.

2. Houze, R.A. Cloud Dynamics. Academic Press: Cambridge, MA, USA, First Eds.: 1993, pp. 573.
3. Austin, P.M.; Houze Jr, R.A. Analysis of the structure of precipitation patterns in New England. *J. Appl. Meteorol.* **1972**, *11*, 926–935.
4. Houze Jr, R.A. A Climatological study of vertical transports by cumulus-scale convection. *J. Atmos. Sci.* **1973**, *30*, 1112–1123.
5. Houze Jr, R.A. Structure and dynamics of a tropical squall-line system. *Mon. Wea. Rev.* **1977**, *105*, 1540–1567.
6. Houze Jr, R.A.; Smull, B.F.; Dodge, P. Mesoscale organization of springtime rainstorms in Oklahoma. *Mon. Wea. Rev.* **1990**, *118*, 613–654.
7. Adler, R.F.; Negri, A.J. A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *J. Appl. Meteorol.* **1988**, *27*, 30–51.
8. Biggerstaff, M.I.; Listemaa, S.A. An improved scheme for convective/stratiform echo classification using radar reflectivity. *J. Appl. Meteorol.* **2000**, *39*, 2129–2150.
9. Yang, Y.; Chen, X.; Qi, Y. Classification of convective/stratiform echoes in radar reflectivity observations using a fuzzy logic algorithm. *J. Geophys. Res. Atmos.* **2013**, *118*, 1896–1905.
10. Steiner, M.; Houze Jr, R.A.; Yuter, S.E. Climatological characterization of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data. *J. Appl. Meteorol.* **1995**, *34*, 1978–2007.
11. Ikeda, K.; Brandes, E.A. Freezing level determinations with polarimetric radar: Retrieval model and application. *J. Appl. Meteorol.* **2003**, *43*, 1541–1553.
12. Rico-Ramirez, M.A.; Cluckie, I.D.; Han, D. Correction of the bright band using dual-polarisation radar. *Atmos. Sci. Lett.* **2005**, *6*, 40–46.
13. Bringi, V.N.; Williams, C.R.; Thurai, M.; May, P.T. Using dualpolarized radar and dual-frequency profiler for DSD characterization: a case study from Darwin, Australia. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **2009**, *26*, 2107–2122.
14. Wang, H.; Shao, N.; Ran, Y. Identification of Precipitation Clouds Based on the Dual-Polarization Doppler Weather Radar Echoes Using Deep-Learning Method. *IEEE Access.* **2018**, *7*, 12822–12831.
15. Wang, Y.; Tang, L.; Chang, P.; Tang, Y. Separation of convective and stratiform precipitation using polarimetric radar data with a support vector machine method. *Atmos. Meas. Tech.* **2021**, *14*, 185–197.
16. Sơn, T.D. Nghiên cứu sử dụng thông tin ra đa thời tiết phục vụ theo dõi, cảnh báo mưa, dông và bão. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, Bộ Tài nguyên và Môi Trường, 2007.
17. Thắng, N.V. và cs. Nghiên cứu khai thác các định dạng số liệu, tổ hợp và xây dựng phần mềm xác định vị trí tâm mắt bão, hướng và tốc độ di chuyển của tâm bão cho mạng lưới ra đa thời tiết ở Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, Bộ Tài nguyên và Môi Trường, 2012.
18. Toán, H.M. Xây dựng công thức tính lượng mưa từ số liệu Ra đa Đốp-Le cho khu vực Trung Trung Bộ. Luận văn thạc sĩ, Trường Đại Học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 2009.
19. Điền, N.H. Công thức thực nghiệm tính toán cường độ mưa từ độ phản hồi vô tuyến quan trắc bởi Ra đa cho khu vực Trung Trung Bộ. *Tap chí khoa học: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2010**, *26(38)*, 317–321.
20. Điền, N.H. Công thức thực nghiệm tính toán cường độ mưa từ độ phản hồi radar cho khu vực Đông Nam Bộ. *Tap chí Khoa học: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2015**, *31(35)*, 66-70.
21. Burges, C.J.C. A tutorial on Support Vector Machines for pattern recognition. *Data Min. Knowl. Discovery.* **1988**, *2*, 955–974.

22. Haykin, S.O. Neural networks and learning machines, Pearson Higher Education, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 2011.
23. Houghton, H.G. On precipitation mechanisms and their artificial modification. *J. Appl. Meteor.* **1968**, 7, 851–859.
24. Houze Jr, R.A. Stratiform precipitation in regions of convection: A meteorological paradox. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **1997**, 78, 2179–2196.

Study on the classification of rain characteristics and rainfall estimation by dual-polarization radar observations for the Northwest region

Nguyen Khac Quan^{1*}, Pham Thi Thanh Nga²

¹ Northwestern Regional Hydro - Meteorological Center; mr.nguyenkhacquan@gmail.com

² Vietnam Institute of Meteorology, Hydrology and Climate change; pttnga.monre@gmail.com

Abstract: Rain can generally have convective and stratiform characteristics, associating with the different processes of cloud microphysics development which leads to differences in intensity, time and area of rain. Using dual-polarization radar observations in the Northwest region, the study applied the Support Vector Machine classification algorithm for classifying rain characteristics. The classification results are then used to find the empirical coefficients in the rainfall estimation formulas based on the Least Squares Method. The evaluation shows that with the proposed method, only less than 10% of the areas with bright bands are wrongly identified as convective rain, the method has also overcome some misclassifications compare to the reference method in some specific rain cases. Rainfall estimation results show that the estimated rainfall is lower than the observed values, the formulas with the classification of rain characteristics and using dual-polarization variables have better results than the formulas using only the of Z, in which the formula R (Z, ZDR, KDP) provides the highest correlation and the smallest error.

Keywords: Classification of rain characteristics; Support Vector Machine; Northwest region.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu xây dựng lượng mưa trên lưới kết hợp giữa dữ liệu mưa vệ tinh GSMaP và mưa tự động tại Việt Nam

Thái Thị Bé Vân^{1,2*}, Lê Thị Thanh Nga³

¹ Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia; thaivan.meteo@gmail.com

² Học viên cao học Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; thaivan.meteo@gmail.com

³ Trung tâm Ứng dụng công nghệ khí tượng thủy văn; thanhnga1324@gmail.com

*Tác giả liên hệ: thaivan.meteo@gmail.com; Tel.: +84–941365898

Ban Biên tập nhận bài: 3/4/2023; Ngày phản biện xong: 22/5/2023; Ngày đăng bài: 25/5/2023

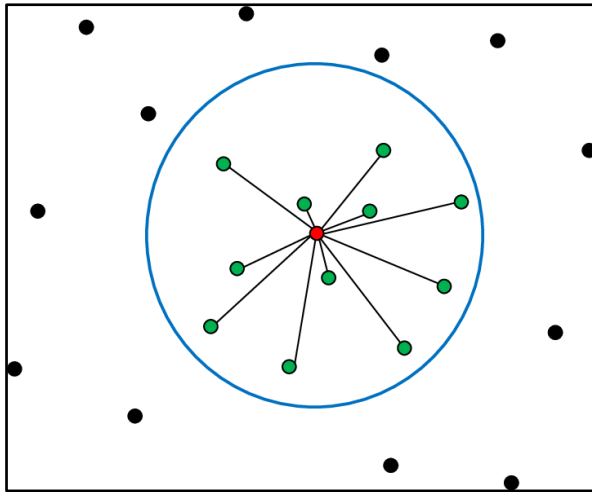
Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả tính toán lượng mưa trên lưới bằng việc kết hợp giữa số liệu mưa vệ tinh GSMaP và các trạm đo mưa tự động tại Việt Nam trong 04 tháng, tháng 8 và 9 của năm 2020 và 2021 thông qua phương pháp phân tích khách quan. 80 trạm quan trắc mưa tự động (tương đương 40% số liệu) đã được tách riêng để làm số liệu độc lập, 60% số trạm đưa vào chương trình phân tích khách quan để kết hợp 2 loại số liệu với nhau. Kết quả cho thấy, bộ số liệu kết hợp cho chất lượng ước lượng mưa tốt hơn khoảng 2–5% so với số liệu GSMaP gốc; số liệu kết hợp với bán kính ảnh hưởng 30km (L30) có sai số RMSE nhỏ nhất, cải thiện khoảng 5% so với số liệu GSMaP và có thể ứng dụng làm đầu vào cho các bài toán dự báo cực ngắn lượng mưa cũng như dự báo lũ, lũ quét và sạt lở đất.

Từ khóa: Mưa trên lưới; GSMaP; Phân tích khách quan; Mưa tự động; Số liệu mưa kết hợp.

1. Giới thiệu

Mục đích chính của bước phân tích khách quan của thuật toán đồng hóa số liệu là sự kết hợp thông tin từ các trường nền (trường phân tích, dự báo của mô hình, trường ước lượng mưa vệ tinh, ước lượng mưa từ radar, trường tái phân tích lượng mưa...), số liệu quan trắc địa phương (quan trắc trạm thủ công, tự động...) nhằm tạo ra một trường ban đầu tốt nhất có thể thông qua cực tiểu hàm giá (*cost function*), nhờ đó giúp nâng cao chất lượng trường phân tích, tạo ra ước lượng tốt nhất cho thời điểm ban đầu. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra, trong các yếu tố tạo nên chất lượng của một hệ thống dự báo tốt thì dữ liệu đầu vào, trường ban đầu là một phần rất quan trọng, đặc biệt là khi các nguồn dữ liệu ngày càng nhiều, thông tin đo đạc đa dạng, bằng cả phương pháp gián tiếp và trực tiếp [1–3]). Các mô hình dự báo (số trị, thống kê tuyến tính, thống kê phi tuyến...) phụ thuộc rất lớn vào trường ban đầu: kết quả dự báo sẽ hoàn toàn sai lệch khi điều kiện ban đầu của các mô hình dự báo, đặc biệt là dự báo định lượng mưa không chính xác. Mục đích của phân tích khách quan là xác định chính xác nhất sử dụng tất cả thông tin có sẵn kết hợp với các số liệu bổ sung và trường nền để thu được trường điều kiện ban đầu tối ưu, làm đầu vào cho các mô hình dự báo khác nhau. Theo Daley, vấn đề xác định điều kiện ban đầu cho công cụ dự báo là rất cần thiết, tuy nhiên, đây là một quá trình vô cùng phức tạp do không chỉ cần phân tích khách quan mà còn phải kiểm tra tính nhất quán theo không gian và các mối quan hệ động lực [4]. [5] đã sử dụng phương pháp phân tích khách quan thực nghiệm và đưa ra một chương trình nội suy cho độ

cao địa thế vị bằng việc vẽ các vòng tròn quanh từng điểm lưới, chỉ những điểm quan trắc nằm trong vòng tròn (của từng điểm lưới) mới có ảnh hưởng đến giá trị của điểm lưới đó (Hình 1). Phương pháp này có nhược điểm là nếu dữ liệu quá thừa và phân bố dữ liệu theo thời gian không đồng đều sẽ không đủ để khởi tạo trường điều kiện ban đầu.



Hình 1. Điểm lưới (chấm đỏ), các điểm quan trắc (màu xanh lá cây) nằm trong vùng bán kính ảnh hưởng (màu xanh dương) mới có ảnh hưởng tới giá trị phân tích tại điểm lưới (màu đỏ).

[6–7] đã giới thiệu phương pháp hiệu chỉnh liên tiếp để khắc phục lượng dữ liệu quan trắc nghèo nàn bằng việc bổ sung thêm các thông tin từ trường nền, trường dự báo hạn ngắn hoặc từ các phân tích trước đó cho trường ban đầu. Nhìn chung có ba loại chính của kỹ thuật đồng hóa dữ liệu: phương pháp thực nghiệm của Gilchrist và Cressman, phương pháp biến phân dựa trên

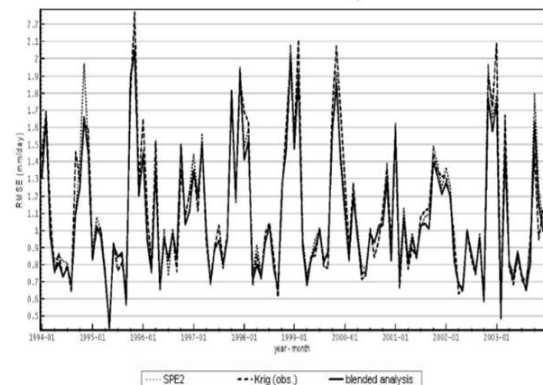
lý thuyết điều khiển tối ưu [8] và phương pháp thống kê dựa trên lý thuyết về ước lượng thống kê tối ưu [9] áp dụng trong lĩnh vực khí tượng.

Bước ngoặt của đồng hóa số liệu là các phương pháp biến phân (3D-VAR, 4D-VAR) lần đầu tiên được giới thiệu trong khí tượng bởi [10–11]. Bằng cách tối ưu hóa một hàm giá (*cost function*), bài toán biến phân tập trung vào việc tìm kiếm trạng thái khí quyển có khả năng xảy ra cao nhất ứng với một tập quan trắc và một trạng thái nền cho trước. Ưu điểm của phương pháp này là hàm giá được cực tiểu hóa trên toàn miền và các quan trắc được dàn đều, tránh được tình huống “mắt trâu” từ một điểm có giá trị quá lớn. Nhìn chung cùng với sự phát triển mạnh mẽ của máy tính, cho phép thực hiện được các thuật toán phân tích khách quan một cách nhanh chóng và có hiệu quả, nên đồng hóa số liệu trong khí tượng chỉ thực sự phát triển mạnh trong khoảng 20 năm gần đây mặc dù đã được quan tâm từ đầu những năm 50 của thế kỷ 20.

[12] nghiên cứu đề xuất thuật toán kết hợp giữa ước lượng mưa vệ tinh SPEs và số liệu đo mưa tại trạm cho Canada. Kết quả cho thấy, khi so sánh với ước lượng mưa vệ tinh và nội suy dữ liệu từ trạm đo bằng phương pháp kriging thì ước lượng mưa kết hợp (blended analysis) giữa hai loại dữ liệu có RMSE nhỏ nhất (Hình 2), ít sai lệch nhất và có thể được sử dụng cho tất cả các mùa, ngoài ra, khu vực có mật độ trạm đo càng thấp thì số liệu đồng hóa càng tốt, thể hiện ưu điểm khi so với phương pháp nội suy kriging.

[13] đã kết hợp giữa số liệu mưa vệ tinh GSMaP và số liệu mưa tại trạm trên khắp Australia. Kết quả đánh giá trong 20 năm (2001 đến 2020) đã cho thấy tính khả thi của phương pháp đề xuất: bộ dữ liệu kết hợp (GSMaP-bl, Hình 3) cho kết quả tốt hơn so với các bộ dữ liệu không dựa trên số liệu quan trắc khác cũng như có phân bố mưa thực tế hơn so với bộ số liệu khí hậu hiện có của Australia (AGCD), đặc biệt ở những khu vực không có điểm đo mưa.

[14] đã kết hợp số liệu mưa ước lượng vệ tinh CMORPH và số liệu đo mưa tại trạm trong khoảng thời gian 5 tháng (từ tháng 4–9/2007). Bộ số liệu mưa vệ tinh sau khi được hiệu chỉnh sẽ kết hợp với bộ số liệu tại trạm thông qua phương pháp nội suy tối ưu OI (*OI - Optimal*



Hình 2. So sánh sai số RMSE cho 100 trạm giữa số liệu SPE, Kriging và ước lượng mưa kết hợp [12].

Interpolation). Bộ số liệu sau khi kết hợp sẽ được kiểm chứng chéo với bộ số liệu độc lập. Kết quả cho thấy bộ số liệu sau khi kết hợp đã tối ưu hơn, hạn chế được sai số hơn so với các bộ số liệu ban đầu.

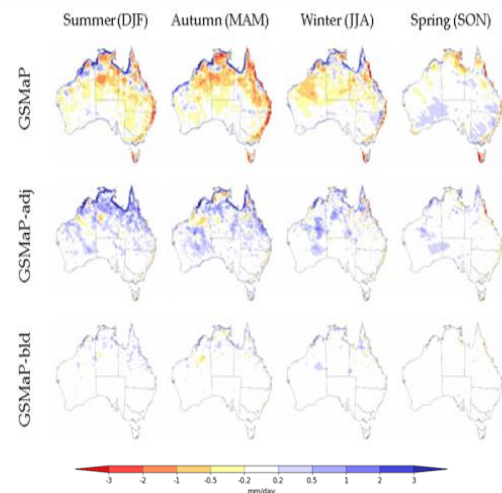
Ngoài ra, một số công trình nghiên cứu và đánh giá về số liệu ước lượng mưa vệ tinh GSMaP đã được một số tác giả thực hiện. Các kết quả cho thấy chất lượng của GSMaP trong mùa hè tốt hơn so với mùa đông [15], khu vực đồng bằng tốt hơn so với khu vực trung du và miền núi trong đó sai số RMSE dao động khoảng 4,8 mm/ngày ở khu vực Himalaya [16] và khoảng từ 4,93 đến 5,16 cho khu vực Việt Nam [17]. Các giá trị POD dao động khoảng 91% và FAR dao động trong khoảng 12–16%, điều đó có nghĩa là GSMaP khá tốt trong việc ước tính các sự kiện mưa và tỷ lệ các sự kiện cảnh báo sai chỉ khoảng 12–16% [18].

Tại Việt Nam, [19–20] đã đánh giá chất lượng số liệu mưa vệ tinh GSMaP trong các tình huống mưa lớn và ứng dụng vào tính toán lũ cho lưu vực sông Mã (Hình 4). Trong nghiên cứu này tác giả đã so sánh sản phẩm mưa GSMaP_MKV, GSMaP_NRT, GSMaP_NOW với dữ liệu thực đo cho 11 trận mưa vừa và lớn cho các trạm mưa trên và lân cận của lưu vực sông Mã thời đoạn 6 giờ trong 2 năm 2017 (6 trận mưa) và 2018 (5 trận mưa). Kết quả cho thấy, các sản phẩm mưa GSMaP có khả năng phát hiện được phân bố theo không gian, diễn biến mưa theo thời gian của các trận mưa. Ngoài ra, ba sản phẩm GSMaP đã được đánh giá và nhóm tác giả nhận thấy số liệu GSMaP_MKV cho kết quả tốt nhất, số liệu GSMaP_NOW cho kết quả kém nhất [19–20].

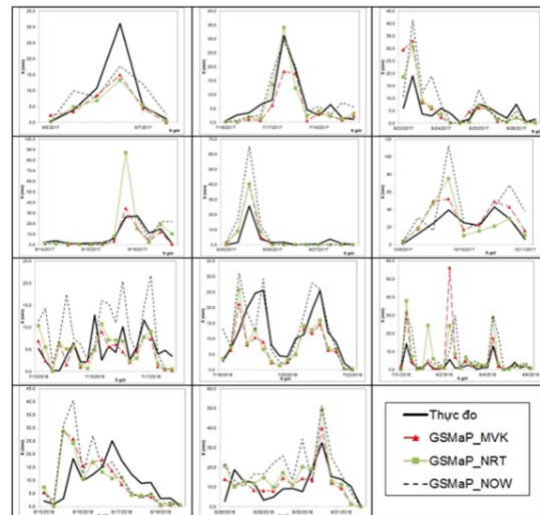
[21] đã nghiên cứu xây dựng bộ số liệu lượng mưa ngày VNGP_1deg trên lưới 1×1 độ kinh vĩ cho Việt Nam. [21] đã được kết hợp với nhau sử dụng phương pháp nội suy Cressman để đã tạo ra một bộ số liệu mưa ngày trên lưới 1×1 kinh vĩ (VnGP_1deg), cho giai đoạn từ 10/1996–12/2007. Kết quả đánh giá bộ dữ liệu VnGP_1deg với bộ số liệu mưa APHORODITE của Nhật Bản cho một số trường hợp mưa cụ thể cho thấy ưu điểm nổi trội của VnGP_1deg cả về phương diện phân bố thời gian và không gian.

Dữ liệu quan trắc hàng ngày từ 481 trạm đo mưa được sử dụng để xây dựng bộ dữ liệu lượng mưa mới cho Việt Nam dựa trên kỹ thuật nội suy Spheremap [22]. Tập dữ liệu mới được gọi là tập dữ liệu lượng mưa trên lưới cho Việt Nam (VnGP) giai đoạn 1980–2010. Kết quả đánh giá, so sánh cho thấy VnGP có chất lượng khá tốt so với các bộ dữ liệu khác vì đã sử dụng các kỹ thuật nội suy khác hoặc các phương pháp sử dụng số lượng đầu vào ít hơn.

[23] đã thử nghiệm phương pháp đồng hóa 3DVAR cho mưa vệ tinh vệ tinh trên lưu vực sông Hồng với việc sử dụng 2 nguồn số liệu mưa vệ tinh GSMaP và số liệu đo mưa toàn cầu GPM thông qua công cụ Delft-FEWS. Kết quả kiểm định cho thấy, mưa phân tích của



Hình 3. So sánh sai số trung bình theo 4 mùa DJF, MAM, JJA và SON giữa các bộ số liệu GSMaP, GSMaP-adj và GSMaP-bld [13].



Hình 4. Đường quá trình mưa thời đoạn 6 giờ trung bình lưu vực theo thực đo và các sản phẩm GSMaP_MKV, GSMaP_NRT và GSMaP_NOW cho 11 trận mưa trong hai năm 2017 và 2018 [19].

GSMaP cho hệ số tương quan $R = 0,53$, trong khi đó GPM chỉ là 0,21. Các nghiên cứu xây dựng các bộ số liệu trước đây chủ yếu tập trung vào lượng mưa ngày và sử dụng các phương pháp nội suy như Cressman, Krigging mà theo đánh giá, so sánh của các công trình gần đây thì có sai số lớn hơn so với phương pháp phân tích khách quan, kết hợp số liệu mưa trên lưới với số liệu quan trắc.

Nghiên cứu sẽ ứng dụng kỹ thuật phân tích khách quan để tạo ra trường ước lượng lượng mưa trên lưới thời gian thực kết hợp trường quan trắc lượng mưa tự động với trường nền là ước lượng mưa từ vệ tinh GSMaP. Kết quả thử nghiệm cho tháng 8–9 năm 2020–2021 để có thể ứng dụng trong các bài toán dự báo lũ cho lưu vực sông Mã. Bộ số liệu tạo ra sẽ được đánh giá và so sánh với các lượng mưa giờ tại các trạm độc lập để chỉ ra được hiệu quả của kỹ thuật phân tích khách quan và trường lượng mưa trên lưới tối ưu có thể ứng dụng trong các bài toán dự báo định lượng mưa hạn cực ngắn, dự báo lũ, cảnh báo lũ quét và sạt lở đất.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

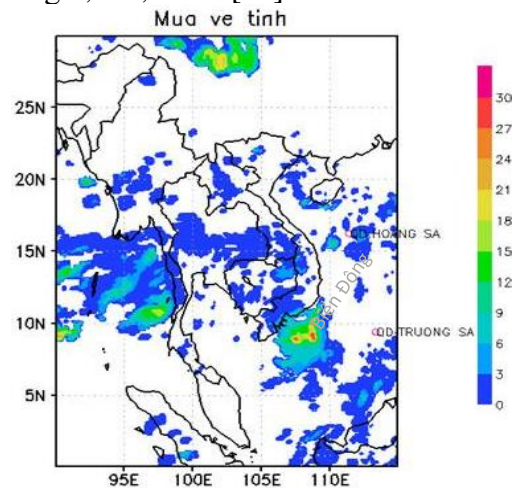
2.1. Số liệu

Số liệu mưa tự động: bộ số liệu quan trắc mưa tự động 1 giờ/1 lần bao gồm khoảng 200 trạm trong tháng 8 và tháng 9 năm 2020–2021 của các trạm trên toàn lãnh thổ Việt Nam được thu thập từ Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn. Sai số quan trắc lượng mưa của các thiết bị đo là khoảng 0,2–0,5 mm [22].

Số liệu Radar: Số liệu radar sử dụng chủ yếu là độ phản hồi vô tuyến của sản phẩm quét tròn (PPI) được thu thập cho những giờ nghỉ ngơi có quan trắc sai của bộ số liệu mưa giờ của các trạm đo mưa tự động trong 2 tháng 8 và 9 của 2 năm 2020–2021. Số liệu được cung cấp bởi Đài Khí tượng Cao không, Tổng cục Khí tượng Thủy văn.

Số liệu mưa ước lượng vệ tinh GSMaP: sử dụng sản phẩm NOW cho số liệu mưa giờ của bộ số liệu ước lượng lượng mưa vệ tinh toàn cầu (GSMaP) của JAXA (Nhật Bản) và là sản phẩm của Nhiệm vụ Đo mưa toàn cầu (PMM – *Precipitation Measuring Mission*) cung cấp trên website: <https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index.htm>.

Miền tính được lựa chọn bao gồm khu vực Việt Nam và vùng lân cận, tọa độ 0–30°N; 90°E–115°E (Hình 5).



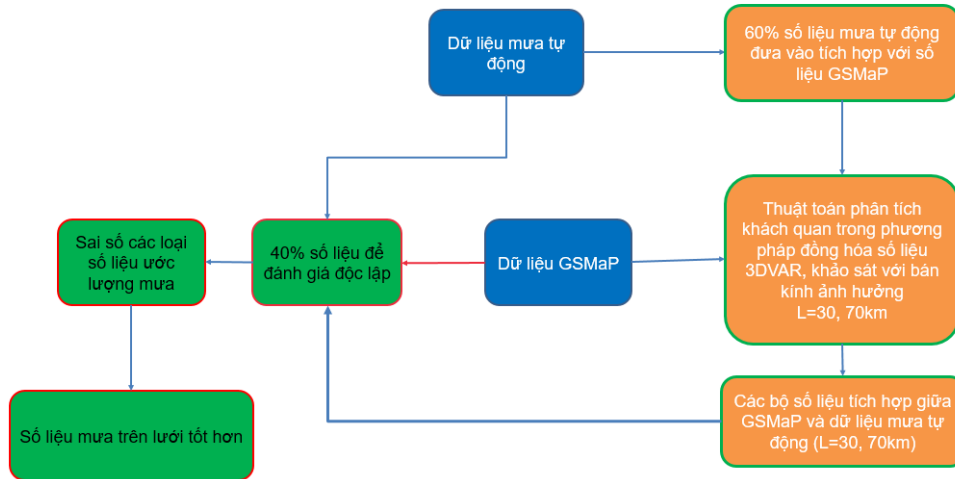
Hình 5. Khu vực thu thập số liệu ước lượng mưa từ vệ tinh GSMaP và số liệu minh họa cho lượng mưa giờ lúc 20 giờ ngày 3/9/2021.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này sẽ sử dụng kỹ thuật phân tích khách quan để kết hợp hai loại số liệu là số liệu ước lượng mưa giờ GSMaP của JAXA và số liệu đo mưa tự động từng giờ của Việt Nam sử dụng các giả thiết về sai số trường nền Σ_b của số liệu GSMaP, sai số quan trắc của số liệu mưa tự động Σ_o của các trạm tự động trong mạng lưới đo đạc của Tổng cục KTTV. Tiến hành thử nghiệm cho dữ liệu mưa các tháng 8 và 9 của năm 2020 và 2021, khảo sát với các bán kính ảnh hưởng khác nhau là 30 km và 70 km.

Trong số khoảng 200 trạm đo mưa tự động, sau khi rà soát, chuẩn hoá và loại bỏ sai số, sẽ sử dụng 80 trạm (tương đương khoảng 40% số liệu) để làm số liệu độc lập, đánh giá chất lượng số liệu ước lượng mưa GSMaP và số liệu mưa sau khi phân tích khách quan; còn lại khoảng 60% để đưa vào đồng hóa và khảo sát ảnh hưởng bán kính ảnh hưởng L đối với kết quả tích hợp.

Kết quả khảo sát sẽ được đánh giá dựa trên so sánh sai số của số liệu GSMaP ban đầu (trường nền) và số liệu trên lưới thời gian thực sau khi kết hợp hai loại số liệu kể trên với hai trường hợp bán kính ảnh hưởng $L = 30 \text{ km}$ và $L = 70 \text{ km}$, nhằm mục tiêu xác định được bộ tham số tối ưu cho bài toán đồng hóa số liệu mưa giờ của GSMaP và số liệu mưa tự động của Việt Nam.

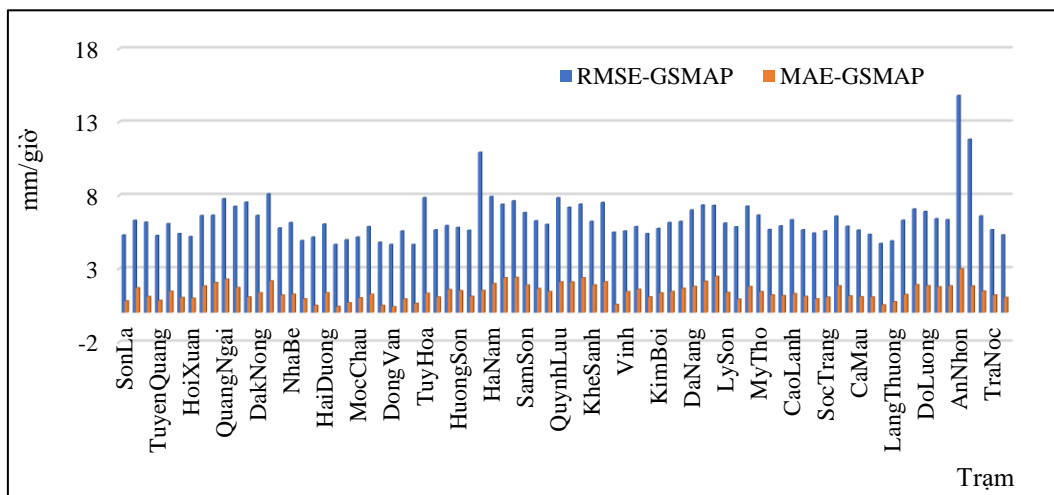


Hình 6. Thiết kế nghiên cứu với mục tiêu tạo ra bộ số liệu mưa trên lưới khi kết hợp số liệu GSMaP và đo mưa tự động sử dụng kỹ thuật phân tích khách quan.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá chất lượng số liệu GSMaP

Số liệu GSMaP sẽ được đánh giá với khoảng 80 trạm mưa tự động (chọn ngẫu nhiên, tương đương 40% tổng số trạm) đã được rà soát và đánh dấu các số liệu sai (-99 – missing_value). Đây sẽ là 80 trạm độc lập, không đưa vào phân tích khách quan để đánh giá, so sánh chất lượng số liệu GSMaP gốc và số liệu phân tích khách quan kết hợp hai loại số liệu GSMaP và đo mưa tự động.



Hình 7. Sai số tuyệt đối trung bình MAE (màu cam đậm) và sai số bình phương trung bình RMSE (màu xanh) của số liệu ước lượng mưa GSMaP.

Chất lượng số liệu ước lượng mưa từ vệ tinh GSMaP được đánh giá qua các sai số MAE, RMSE và được thể hiện qua Hình 7, các đặc trưng sai số được cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông kê sai số MAE và RMSE của bộ số liệu mưa vệ tinh GSMaP.

Đặc trưng	MAE	RMSE
Trung bình	1,41	6,39
Cực đại	2,98	14,81
Cực tiểu	0,40	4,64
Phân vị 25	1,06	5,56
Phân vị 75	1,81	6,92
Độ lệch chuẩn	0,54	1,54

Đối với sai số bình phương trung bình RMSE cho biết biên độ trung bình của sai số ước lượng mưa của từng trạm trong bộ số liệu độc lập trên toàn quốc, sai số RMSE dao động trong khoảng 4,64–14,81mm/giờ, RMSE trung bình khoảng 6,39 mm/giờ và độ lệch chuẩn của sai số là 1,54, tương đương 24% giá trị RMSE trung bình; khoảng sai số RMSE phổ biến (khoảng giá trị từ phân vị 25 đến phân vị 75) là 5,56 tới 6,92 mm/giờ. Như vậy có thể thấy là sai số của bộ số liệu GSMaP vẫn còn khá lớn, 6,40 mm/giờ cho trên khu vực Việt Nam.

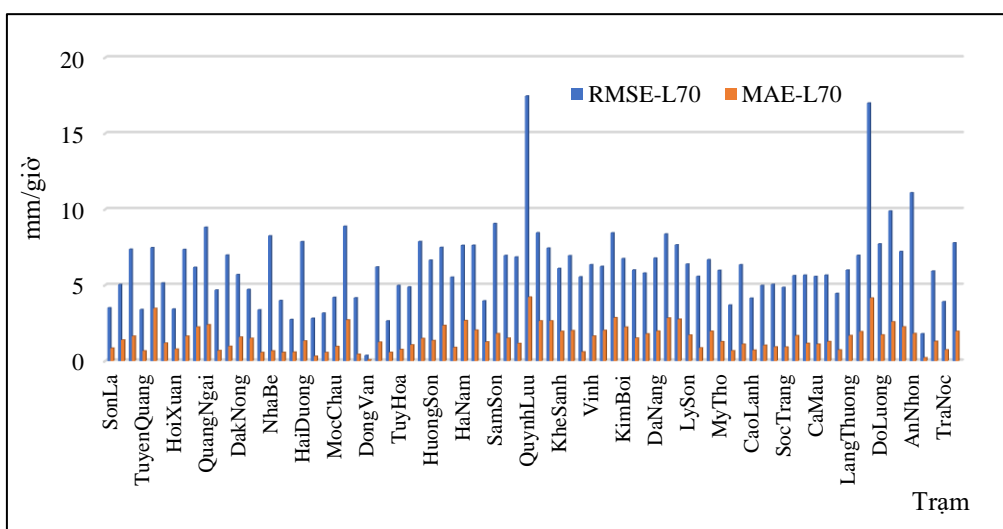
Sai số tuyệt đối trung bình MAE, dao động trong khoảng 0,40–2,98 mm/giờ, MAE trung bình khoảng 1,41 mm/giờ và độ lệch chuẩn của sai số là 0,24, tương đương 38,5% giá trị MAE trung bình; khoảng sai số tuyệt đối trung bình phổ biến là 1,06 tới 1,81 mm/giờ.

Khi so sánh hai loại sai số MAE và RMSE có thể thấy giá trị RMSE lớn hơn rất nhiều so với giá trị MAE, lên tới 4,5 lần (6,39 so với 1,41). Điều này cho thấy trong chuỗi số liệu so sánh giữa GSMaP và quan trắc tự động, có xuất một số giá trị sai số rất lớn, khiến cho giá trị sai số bình phương trung bình bị khuếch đại lên so với sai số tuyệt đối trung bình.

3.2. Đánh giá chất lượng số liệu mưa phân tích khách quan L70

Trong phần này, 60% chuỗi số liệu sau khi được lọc bỏ các quan trắc sai sẽ được sử dụng làm đầu vào cho chương trình phân tích khách quan để kết hợp với trường nền là số liệu GSMaP trên lưới của miền tính từ 90°E–115°E và 5°N–25°N, sau đó được đánh giá lại với bộ số liệu độc lập như đã đề cập ở trên.

Chương trình phân tích khách quan cho phép khảo sát sự ảnh hưởng của kích thước bán kính ảnh hưởng đối với chất lượng số liệu sau đồng hóa. Để thực hiện điều đó, nghiên cứu lấy xấp xỉ sai số trường nền của số liệu GSMaP Sigma_b = 6,5 mm/giờ dựa trên kết quả đánh giá sai số của số liệu GSMaP, sai số quan trắc của số liệu mưa tự động Sigma_o = 0,1 mm/giờ. Hai giá trị khác nhau của bán kính ảnh hưởng L sẽ được khảo sát để so sánh là L = 30 km và L = 70 km. Kết quả đánh giá cho trường hợp L = 70 km được cho trong Hình 8.



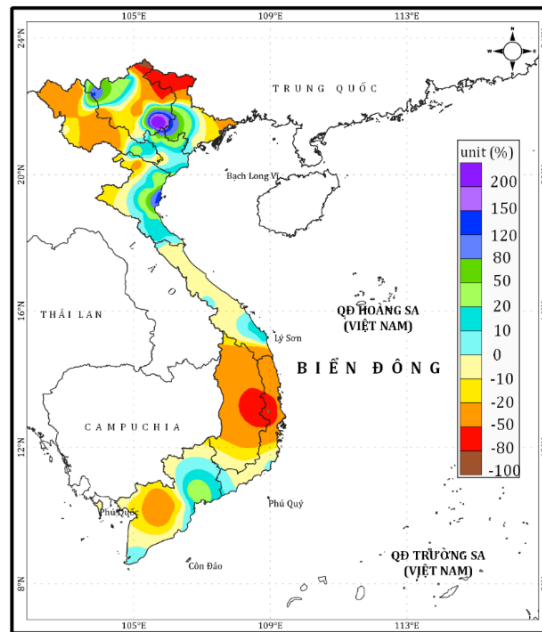
Hình 8. Sai số tuyệt đối trung bình MAE (màu cam đậm) và sai số bình phương trung bình RMSE (màu xanh) của số liệu phân tích khách quan với bán kính ảnh hưởng L = 70 km.

Bảng 2. Thống kê sai số MAE và RMSE của bộ số liệu phân tích khách quan với bán kính ảnh hưởng $L = 70$ km.

Đặc trưng	MAE	RMSE
Trung bình	1,51	6,23
Cực đại	4,21	17,47
Cực tiểu	0,07	0,37
Phân vị 25	0,84	4,28
Phân vị 75	1,96	7,45
Độ lệch chuẩn	0,84	2,61

Sai số RMSE dao động trong khoảng từ cực tiểu là 0,37 mm/giờ tại trạm Đồng Văn cho tới giá trị cực đại 17,47 mm/giờ tại trạm Tĩnh Gia, giá trị RMSE trung bình là 6,23 mm/giờ, độ lệch chuẩn 2,61 mm/giờ; so với giá trị RMSE trung bình của GSMaP là 6,39 thì RMSE của phiên bản L70 đã cải thiện chất lượng khoảng 2,5% sai số RMSE. Khi so sánh phân bố sai số RMSE và MAE của bộ số liệu L70 với số liệu GSMaP cho thấy: Sai số RMSE và MAE đều giảm.

Phân tích phân bố của tỷ lệ thay đổi sai số RMSE trên toàn quốc (Hình 9) khi so sánh số liệu L70 với GSMaP cho thấy, khu vực được cải thiện đáng kể nhất là Tây Nguyên, miền Tây Nam Bộ, khu vực biên giới tỉnh Cao Bằng; trong khi đó khu vực giữa Việt Bắc và đồng bằng Bắc Bộ, trong đó có thủ đô Hà Nội lại ít được cải thiện nhất. Hình 9 cũng cho thấy, số liệu mưa trên các khu vực trung du, vùng núi thường được cải thiện nhiều hơn so với vùng đồng bằng và ven biển. Sai số MAE của bộ số liệu L70 có tăng nhẹ, 1,46 mm/giờ so với sai số MAE của số liệu GSMaP là 1,41 mm/giờ.



RMSE70vsGSMAP

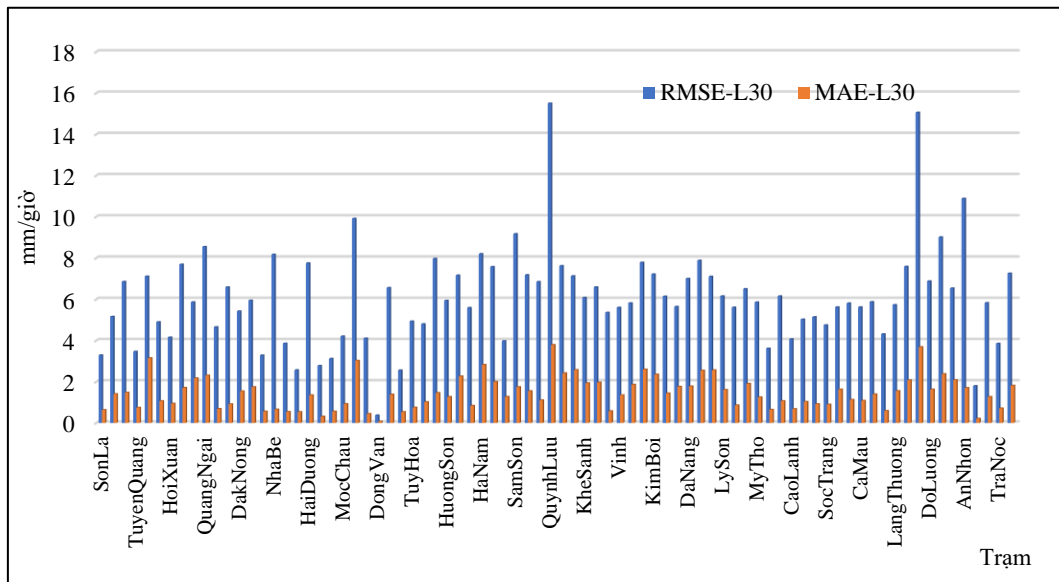
Hình 9. Tỷ lệ thay đổi sai số bình phương trung bình RMSE của số liệu L70 so với số liệu GSMaP (đơn vị: %). Tỷ lệ âm (màu nóng) tương ứng với sai số RMSE giảm, dương (màu lạnh) tương ứng với sai số RMSE tăng.

3.3 Đánh giá chất lượng số liệu mưa phân tích khách quan L30

Khảo sát thứ hai được thực hiện sau khi trong khảo sát với bán kính ảnh hưởng 70 km thấy trên số liệu xuất hiện những vùng “mắt trâu” với tâm mưa có lượng lớn và giảm đều về các phía (không chỉ ra ở đây). Để thử nghiệm, tác giả tiến hành giảm bán kính ảnh hưởng từ 70 km xuống 30 km và đánh giá lại với bộ số liệu độc lập để xem khi giảm bán kính ảnh hưởng sẽ thay đổi các sai số như thế nào. Kết quả đánh giá sai số MAE và RMSE của tất cả

các trạm độc lập được cho trong Hình 10 và thống kê đặc trưng cực đại, cực tiểu, trung bình... của các sai số RMSE, MAE cho các trạm độc lập được cho trong Bảng 3.

Sai số RMSE với trường hợp L30 của các trạm có sai số lớn như Tĩnh Gia đã giảm từ 17,47 xuống 15,50 mm/giờ (Hình 10); giá trị trung bình RMSE cho tất cả 80 trạm độc lập cũng giảm từ 6,23 trong trường hợp L70 xuống còn 6,09 mm/giờ trong trường hợp L30 (Bảng 3), cải thiện khoảng 4,63% so với chất lượng số liệu GSMaP và cải thiện khoảng 2,19% so với trường hợp L70.



Hình 10. Sai số tuyệt đối trung bình MAE (màu cam đậm) và sai số bình phương trung bình RMSE (màu xanh) của số liệu đồng hóa với bán kính ảnh hưởng L = 30 km.

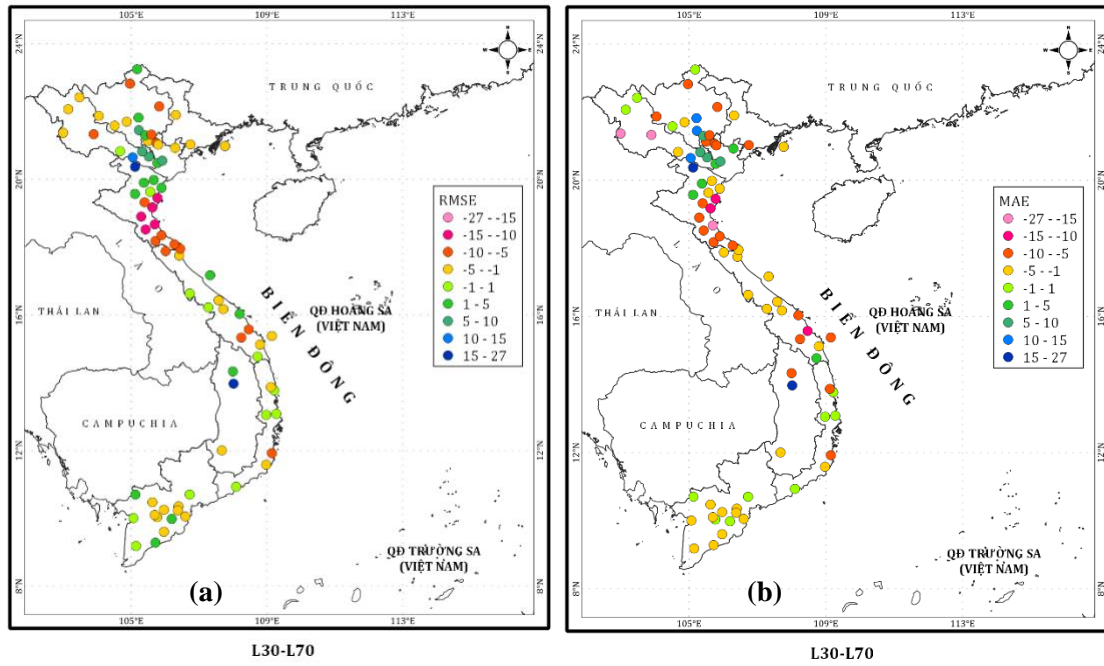
Sai số MAE trung bình của bộ số liệu L30 (1,46 mm/giờ) cũng giảm so với bộ số liệu L70 (1,51mm/giờ), khoảng giá trị phổ biến của MAE của bộ số liệu L30 trong khoảng 0,86 đến 1,91 mm/giờ, sai số MAE cực đại là 3,79 và cực tiểu là 0,37 mm. Đây đều là những trị số sai số khá tốt, đồng nghĩa với việc bộ số liệu có khả năng khai thác trong các bài toán dự báo tiếp theo.

Bảng 3. Thống kê sai số MAE và RMSE của bộ số liệu đồng hóa với bán kính ảnh hưởng L = 30km.

Đặc trưng	MAE	RMSE
Trung bình	1,46	6,09
Cực đại	3,79	15,50
Cực tiểu	0,37	0,37
Phân vị 25	0,86	4,78
Phân vị 75	1,91	7,17
Độ lệch chuẩn	0,79	2,37

Để thấy rõ hơn sự thay đổi và cải thiện của các sai số RMSE, MAE giữa bộ số liệu L30 so với bộ số liệu L70, nghiên cứu tính toán và biểu diễn bản đồ phân bố tỷ lệ giảm sai số RMSE và MAE trong Hình 11. Trong hình này, các trạm có trị số âm (màu nóng) có nghĩa là sai số của bộ số liệu L30 nhỏ hơn so với bộ số liệu L70, ngược lại các trạm có trị số dương (màu lạnh) là có sai số của bộ số liệu L30 lớn hơn bộ số liệu L70.

Như vậy, có thể thấy với cả hai loại sai số RMSE và MAE thì hầu hết các trạm đều có tỷ lệ cải thiện là khoảng từ 1–5% (màu cam), một số nơi cải thiện nhiều hơn trong phiên bản L30 như đối với hầu hết các trạm ở khu vực từ phía nam Thanh Hóa trở vào đến Hà Tĩnh, trong khi khu vực vùng núi Thanh Hóa, khu vực nam đồng bằng Bắc Bộ và phía bắc Thanh Hóa chất lượng lại giảm. Khu vực phía Tây Bắc Bộ cũng có các sai số được giảm đáng kể, đặc biệt là sai số MAE với các trạm ở Điện Biên, Lai Châu có sai số MAE giảm tới trên 15%.



Hình 11. Tỷ lệ giảm sai số RMSE (trái) và MAE (phải) của bộ số liệu L30 so với bộ số liệu L70. Tỷ lệ âm (màu nóng) tương ứng với sai số giảm, dương (màu lạnh) tương ứng với sai số tăng.

4. Kết luận

Tổng hợp các kết quả đánh giá độc lập đối với 03 bộ số liệu mưa: GSMaP, L30 và L70 cho thấy:

- Số liệu ước lượng mưa GSMaP vẫn có sai số tương đối lớn, khoảng 6,5 mm/giờ đối với sai số bình phương trung bình RMSE.
- Khi tích hợp với số liệu quan trắc mưa tự động tại Việt Nam sử dụng kỹ thuật phân tích khách quan đã giúp giảm sai số. Tuy nhiên các đợt mưa lớn vẫn có sai số lớn nên dẫn đến sai số RMSE vẫn còn cao hơn nhiều so với sai số MAE.
- Bán kính ảnh hưởng càng lớn thì sai số được cải thiện càng ít. Kết quả cho thấy bộ số liệu L70 có sai số lớn hơn bộ số liệu L30, nguyên nhân có thể là do mưa là yếu tố cục bộ, việc hạn chế bán kính ảnh hưởng của số liệu quan trắc mưa là cần thiết, tránh giả thiết các vùng lân cận cũng có cùng đặc điểm mưa.
- Bộ số liệu L30 đã giúp cải thiện đáng kể sai số ở khu vực vùng núi, đặc biệt là vùng núi Tây Bắc, một số nơi có sai số MAE được cải thiện tới trên 15%.

Tổng hợp lại, bộ số liệu L30 cho kết quả phân tích khách quan, kết hợp số liệu GSMaP và số liệu đo mưa tự động có sai số RMSE trung bình trên toàn quốc tốt nhất, khoảng 6mm/giờ, cải thiện khoảng 5% so với số liệu GSMaP, trong đó sai số cực tiểu 0,37 mm/giờ, sai số cực đại là 15,5 mm/giờ. Như vậy, số liệu tạo ra có thể sử dụng được làm đầu vào cho các bài toán dự báo cực ngắn lượng mưa, dự báo lũ, lũ quét và sạt lở đất. Tuy nhiên cần lưu ý lượng mưa tính toán được vẫn có sai số lớn trong các trường hợp mưa lớn.

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

Lời cảm ơn: Bài báo là một phần kết quả của luận văn thạc sĩ của học viên Thái Thị Bé Vân dưới sự hướng dẫn của TS. Hoàng Phúc Lâm, sử dụng số liệu và phương pháp nghiên cứu và là kết quả của các nhiệm vụ TNMT.2022.06.06 và TNMT.2022.02.12.

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. Lorenz E.N. The predictability of hydrodynamic flow. *Trans. N. Y. Acad. Sci.* **1963**, 25(4), 409–432.
2. Krishnamurthy, V. Predictability of weather and climate. *Earth Space Sci.* **2019**, 6(7), 1043–1056.
3. Ferrari, F.; Cassola, F.; Tuju, P.E.; Stocchino, A.; Brotto, P.; Mazzino, A. Impact of Model Resolution and Initial/Boundary Conditions in Forecasting Flood-Causing Precipitations. *Atmosphere* **2020**, 11, 592.
4. Daley, R. Atmospheric Data Analysis. Cambridge Atmospheric and Space Science Series, 1991, pp. 457.
5. Gilchrist, B.; Cressman, G. An experiment in objective analysis. *Tellus* **1954**, 6, 309.
6. Bergthorsson, P.; Doos, B. Numerical weather map analysis. *Tellus* **1955**, 7(3), 329–340.
7. Cressman, G.P. An operational objective analysis system. *Mon. Weather Rev.* **1959**, 87, 367.
8. Lions, J.L. Contrôle optimal de syst`emes gouvern`es par des`equations aux d`eriv`ees partielles”. Dunod, 1968.
9. Bennett, A.F. Inverse Modeling of the Ocean and Atmosphere. Cambridge University Press, Cambridge. 2022.
10. Lewis, J.M.; Derber, J.C. The use of adjoint equations to solve a variational adjustment problem with convective constraints. *Tellus* **1985**, 37A, 309–322.
11. Talagrand, O.; Courtier, P. Variational assimilation of meteorological observations with the adjoint vorticity equation. Part I: Theory. *Q. J. R. Meteorolog. Soc.* **1987**, 113, 1311–1328.
12. Lin, A.; Wang, X.L. An algorithm for blending multiple satellite precipitation estimates with in situ precipitation measurements in Canada. *J. Geophys. Res. Atmos.* **2011**, 116, D21111. <https://doi.org/10.1029/2011JD016359>.
13. Chua, Z.W.; Kuleshov, Y.; Watkins, A.B.; Choy, S.; Sun, C.A. Two-Step Approach to Blending GSMaP Satellite Rainfall Estimates with Gauge Observations over Australia. *Remote Sens.* **2022**, 14, 1903. <https://doi.org/10.3390/rs14081903>.
14. Xie, P.; Xiong, A.Y. A conceptual model for constructing high-resolution gauge-satellite merged precipitation analyses. *J. Geophys. Res. Atmos.* **2011**, 116, D21106. <https://doi.org/10.1029/2011JD016118>.
15. Tian, Y.; Peters-Lidard, C.D.; Adler, R.F.; Kubota, T.; Ushio, T. Evaluation of GSMaP Precipitation Estimates over the Contiguous United States. *J. Hydrometeorol.* **2010**, 566–574. <https://doi.org/10.1175/2009JHM1190.1>
16. Mandira Shrestha và cs. Verification of GSMaP Rainfall Estimates over the Central Himalayas. *J. Jpn. Soc. Civil Eng. Ser B1* **2012**, 67(4), I_37–I_42. Doi:10.2208/jscejhe.67.I_37.
17. Hung, M.K.; et al. Application of GSMaP Satellite data in precipitation estimation and nowcasting: evaluations for October 2019 to January 2020 period for Vietnam, *VNJ. Hydrometeorol.* **2020**, 8, 79–93. doi: 10.36335/VNJHM.2020(5).80-94.
18. Nurlatifah, A.; Susanti, I.; Sipayyung, S.B.; Latifah, H. Application of GSMaP on estimating rainfall condition in Jakarta during 16 December. AIP Conference Proceedings Published by American Institute of Physics. **2021**, 2366, 060027. Doi:10.1063/5.0060373,
19. Kiên, N.T.; An, N.L.; Thành, L.Đ. Đánh giá chất lượng mưa vệ tinh GSMaP mô phỏng mưa lớn - Ứng dụng cho lưu vực sông Mã. *Tạp chí khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2019**, 64, 76–83.

20. Saito, K.; Hung, M.K.; Hung, N.V.; Vinh, N.Q.; Tien, D.D. Heavy rainfall in central Viet Nam in December 2018 and modification of precipitation analysis at VNMHA. *VNJ. Hydrometeorol.* **2020**, 5, 65–78. Doi: 10.36335/VNJHM.2020(5).65-79.
21. Đức, T.A.; Tân, P.V.; Thành, N.Đ. Xây dựng bộ số liệu lượng mưa ngày VNGP_1deg trên lưới 1'×1' kinh vĩ cho Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2010**, 590, 42–48.
22. Thanh, N.X.; Thanh, N.D.; Kamomera, H.; Long, T.T.; Matsumoto, J.; Inoue, T.; Tan, P.V. The Vietnam Gridded Precipitation (VnGP) Dataset: Construction and Validation. *Sci. Online Lett. Atmos.* **2016**, 12, 291–296.
23. Huyền, T.T.; Chanh, K.Q.; DĐuwcs. T.Q. Đồng hóa mưa vệ tinh bằng phương pháp 3Dvar, áp dụng thử nghiệm cho lưu vực sông Hồng. *Tạp chí khoa học biến đổi khí hậu* **2019**, 10, 15–20.
24. Thông tư số 30/2018/TT-BTNMT: Quy định kỹ thuật về quan trắc và cung cấp thông tin, dữ liệu khí tượng thủy văn đối với trạm khí tượng thủy văn chuyên dùng.

Constructing gridded rainfall by combining GSMaP satellite rainfall estimation and automatic rain gauge observation in Vietnam

Thai Thi Be Van^{1,2*}, Le Thi Thanh Nga³

¹ National Center for Hydro-Meteorological Forecasting; thaivan.meteo@gmail.com

² Master student, Hanoi University of Sciences, Hanoi National University; thaivan.meteo@gmail.com

³ Center for Hydro-Meteorological Technology Application; thanhnga1324@gmail.com

Abstract: This article presents the results of the construction of gridded rainfall by combining GSMaP satellite rainfall estimation data and automatic rain gauge observation in Vietnam in four months of August and September 2020 and 2021 using objective analysis method. 80 automatic rain gauge stations (equivalent to 40% of the data) have been separated to be used as independent data, 60% of the stations are input for the objective analysis program to combine the two data types. The results show that combined data improve the quality of rainfall estimation by 2-5% compared to original GSMaP data; the combined data with influence radius of 30km (L30) have the smallest RMSE which improves about 5% compared to GSMaP data and can be used as input for rainfall nowcasting, flood forecast and flash flood and landslide warning programs.

Keywords: Gridded rainfall; GSMaP; Objective analysis; Automatic rain gauge; Combined rainfall data.

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].

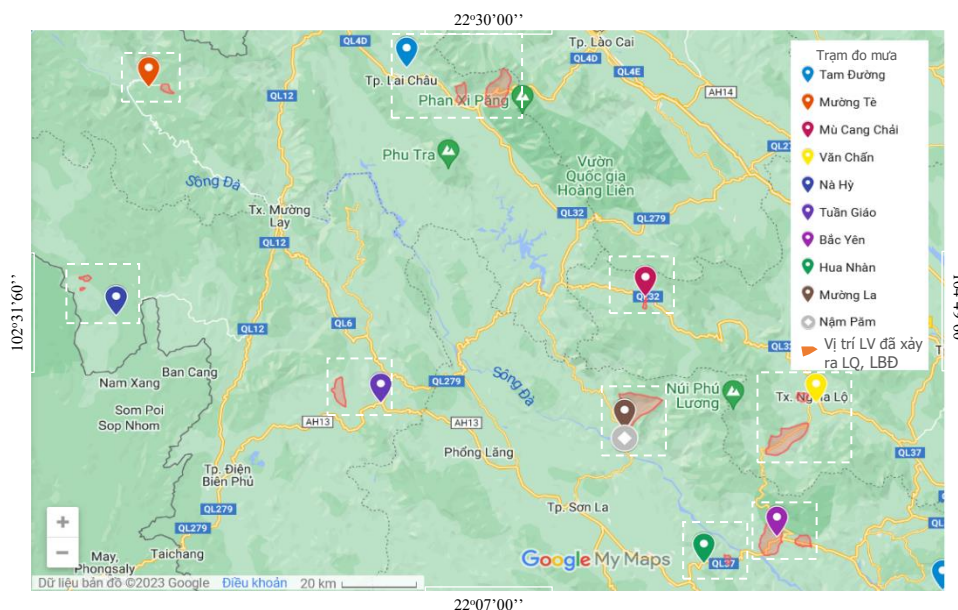
Việc cảnh báo đúng thời điểm và vị trí lưu vực khe/suối phát sinh lũ quét, lũ bùn đá vẫn là thách thức đối với thế giới và Việt Nam. Trong điều kiện biến đổi khí hậu với lượng mưa thay đổi cả về hình thái, cường độ, tổng lượng lẫn thời gian. Cùng với đó là mật độ, lớp thảm phủ đang bị thay đổi mạnh mẽ 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 Nọi.	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'

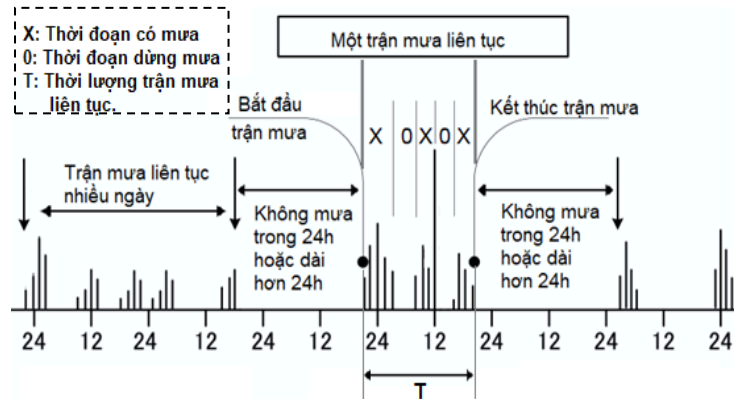
STT	Nơi xảy ra LQ, LBD			Thời điểm xảy ra LQ, LBD (của TMSL)		Thiệt hại	Trạm đo mưa		
	Tỉnh	Huyện/Thị Trấn/Tp	Xã, Bản hoặc sông suối	Giờ	Ngày/Tháng/Năm		Tên Trạm (nguồn số liệu)	Vĩ Độ	Kinh Độ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
9		Nậm Pồ	Xã Nậm Nhừ	6h00	17/08/2020	Hơn 4 ngôi nhà bị lũ cuốn trôi 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 $R_i(\text{mm})$ 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”.

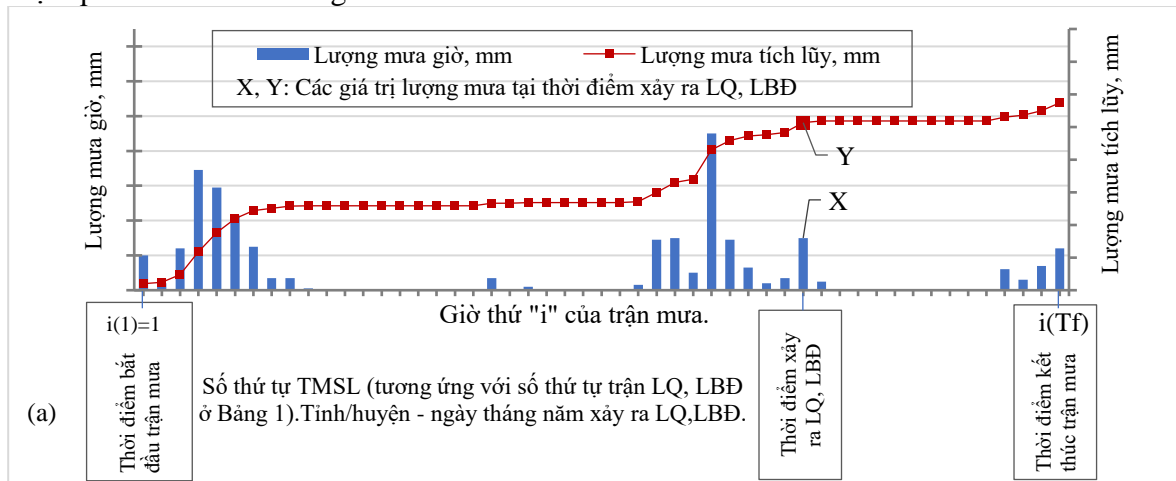


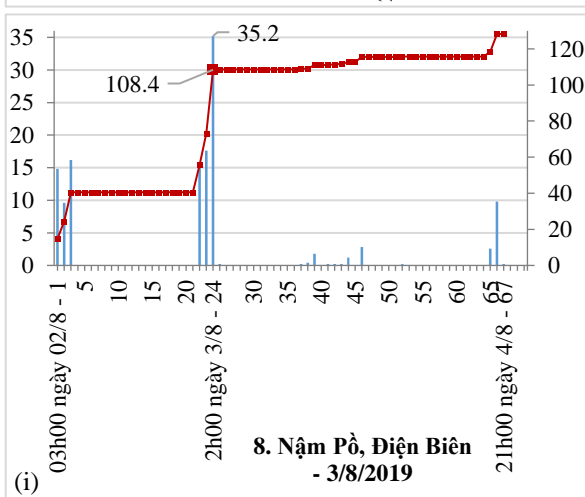
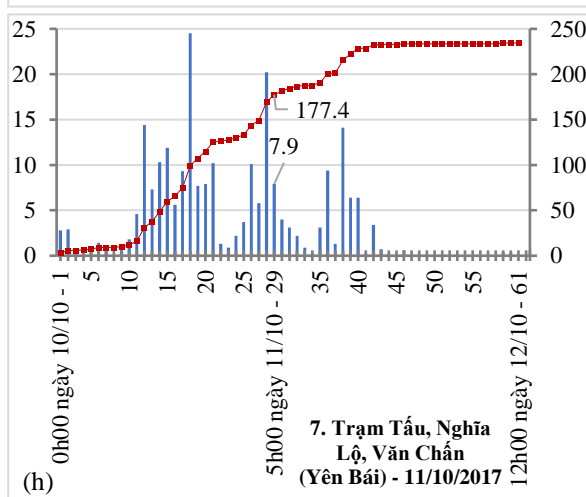
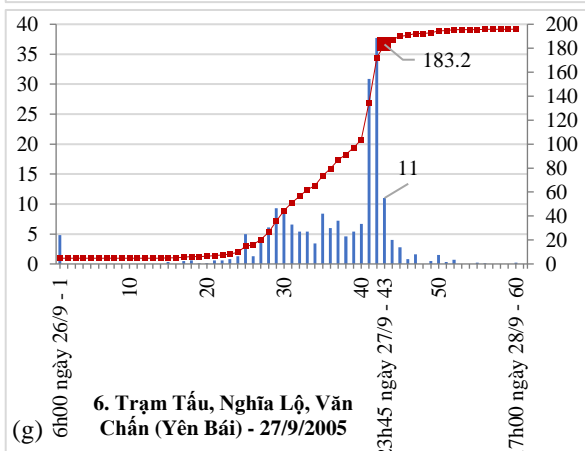
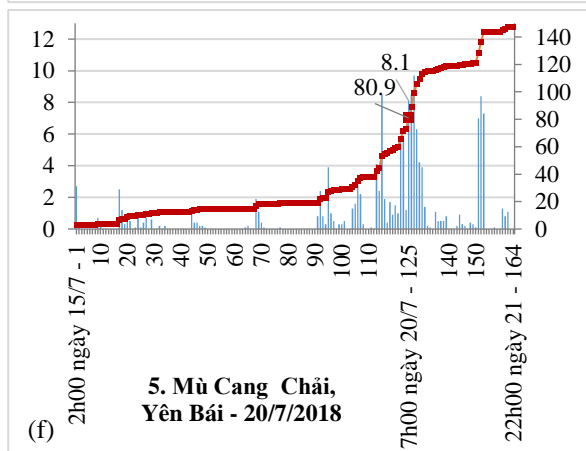
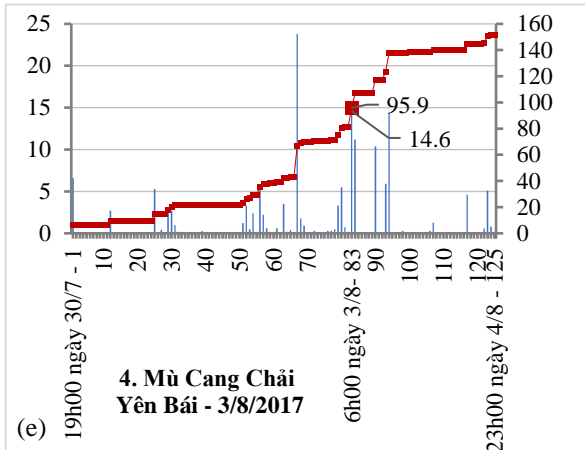
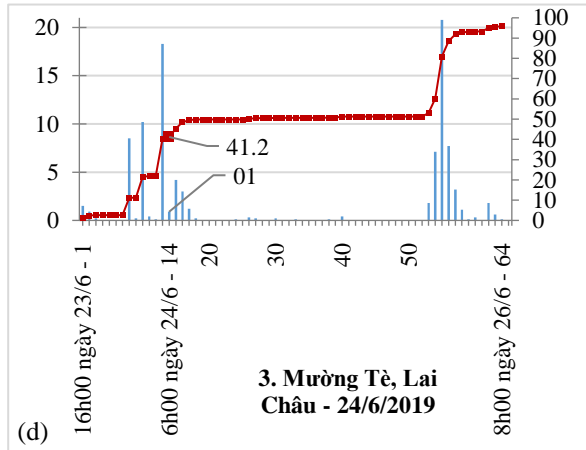
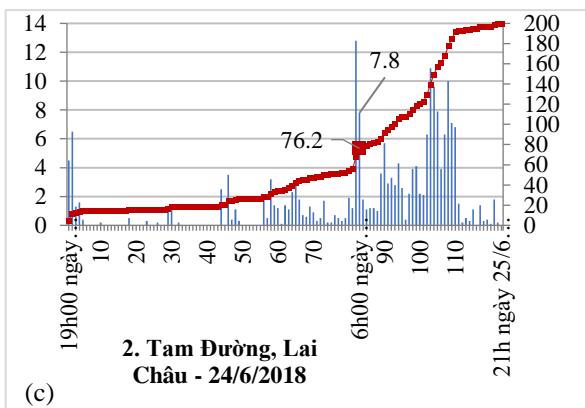
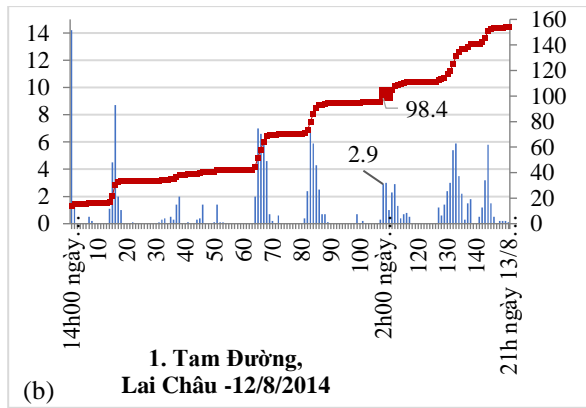
Hình 2. Minh họa định nghĩa và cách tính thời lượng một trận mưa liên tục [15].

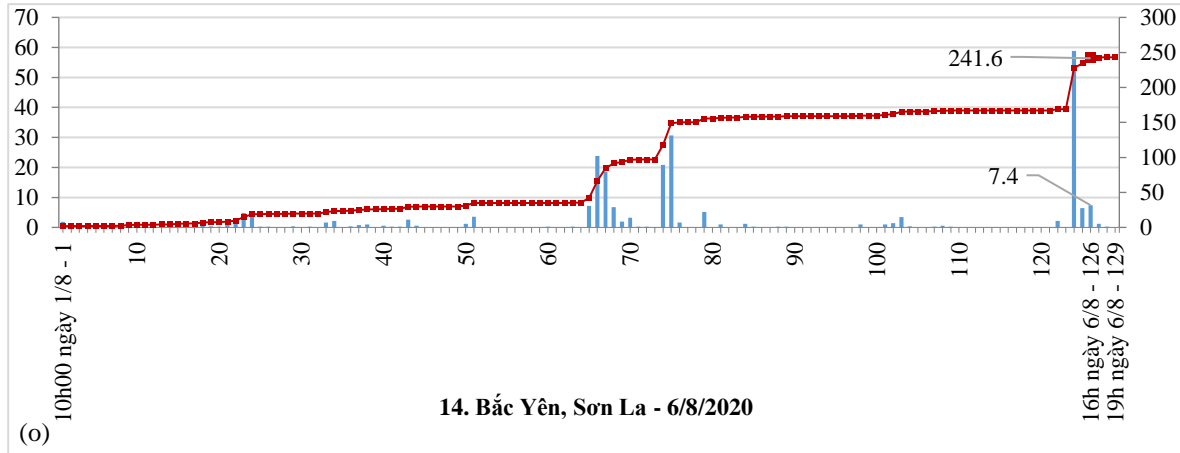
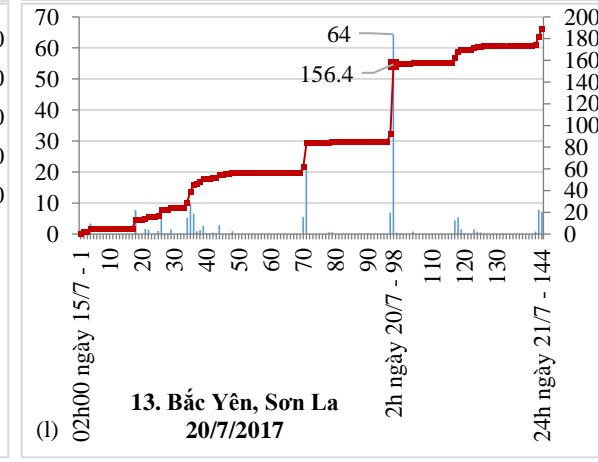
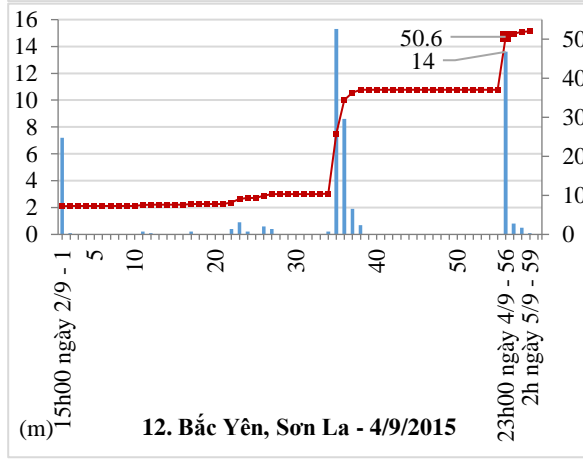
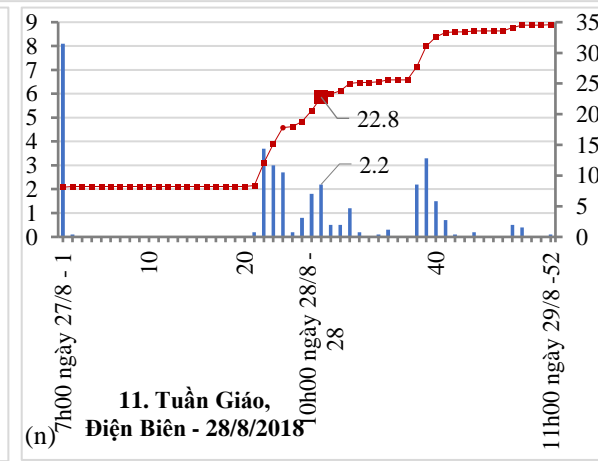
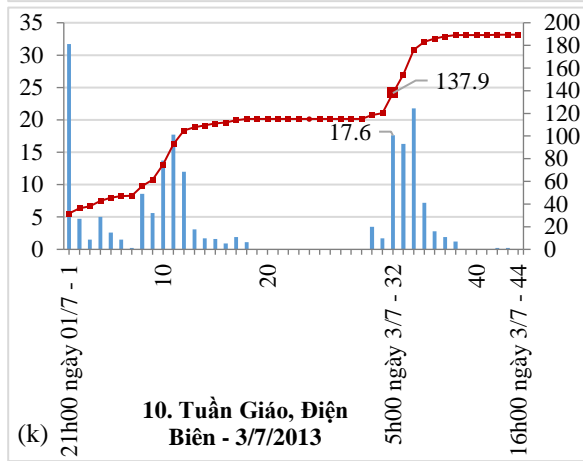
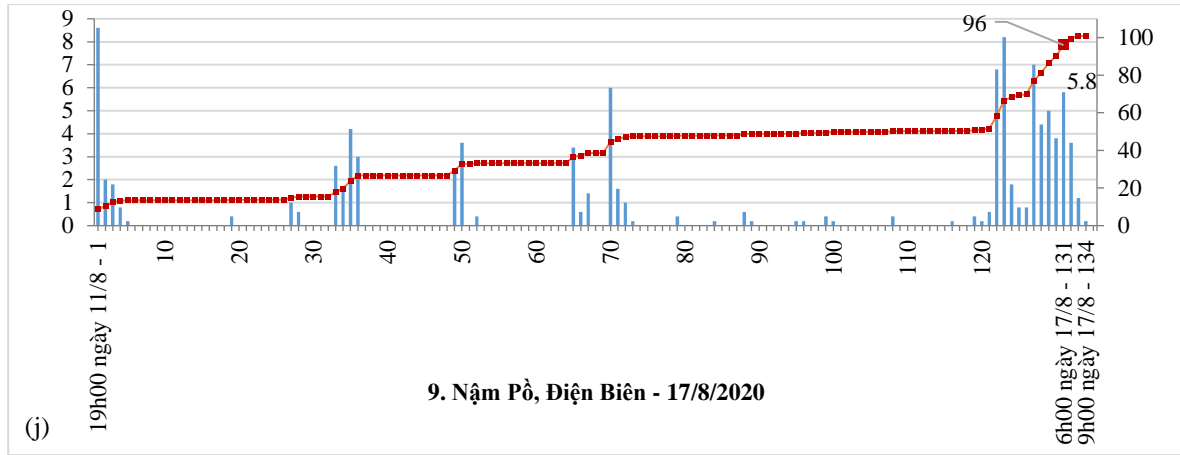
3. Kết quả và thảo luận

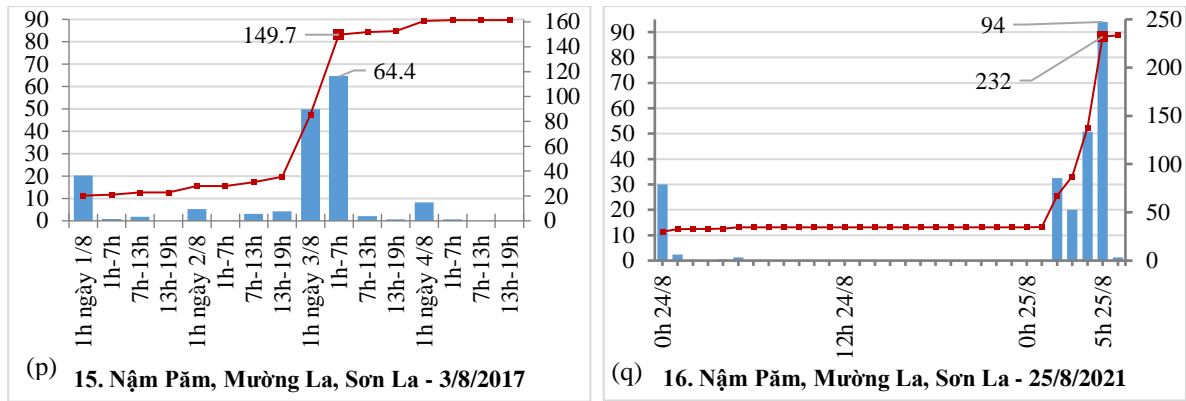
3.1. Kết quả phân tích các trận mưa đã sinh lũ quét, lũ bùn đá

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.

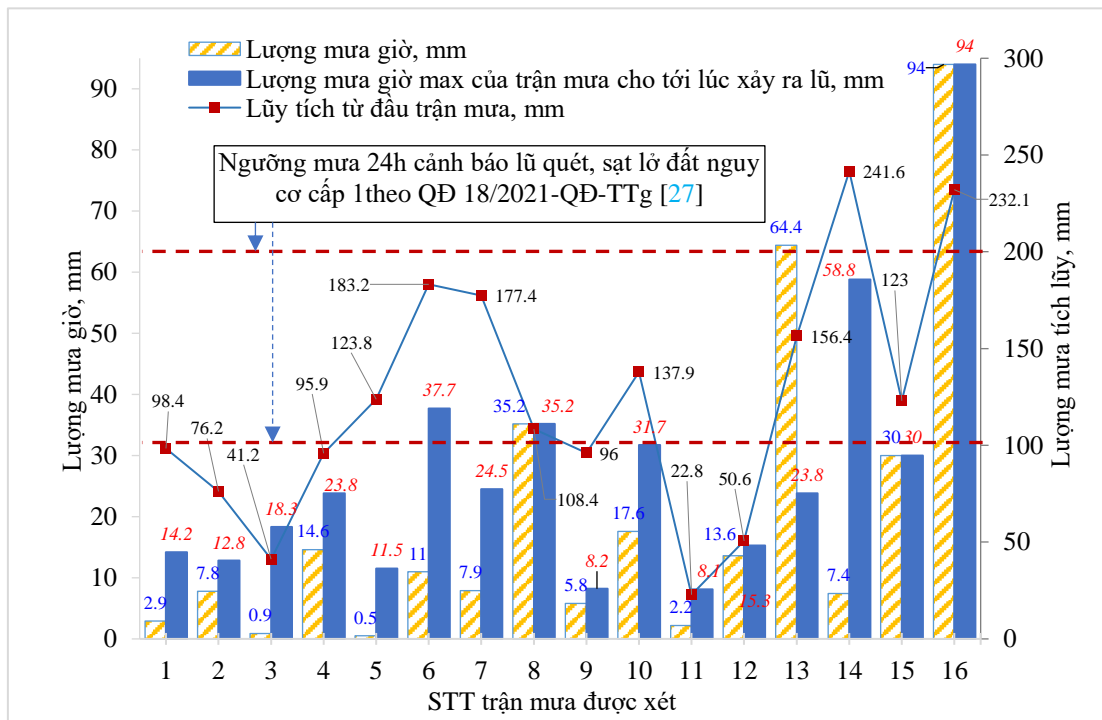
Một số nhận xét thông qua số liệu thống kê ở Bảng 2 và quy luật trên biểu đồ diễn biến các trận mưa trên Hình 4.

- 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;

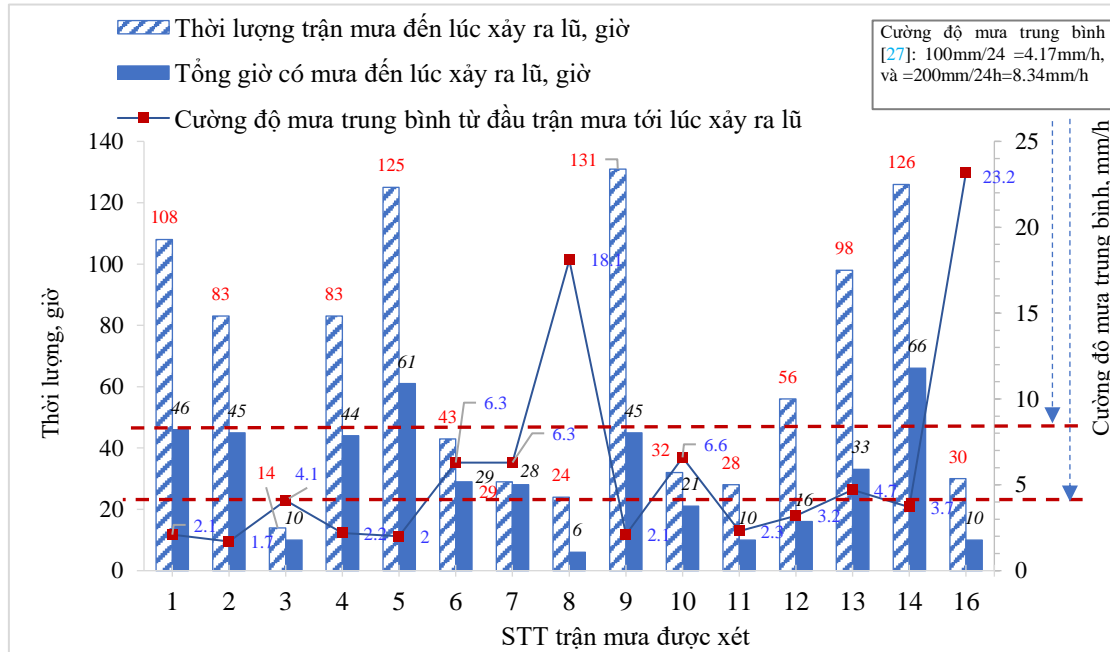
- Về cường độ mưa trung bình: Có 9/15 trận (60%) có cường độ mưa trung bình nhỏ hơn cường độ mưa trung bình tạm tính theo ngưỡng mưa 24h nhỏ nhất dự báo lũ quét, sạt lở đất của quốc gia, tăng thêm 2 trận so với 7 trận dưới ngưỡng 100 mm/24h (Hình 5).

- 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.

Table of content

- 1 Vu, T.T.; Bao, L.T.; Nhan, N.T.; Khanh, N.V.; Tuan, D.M.; Nhat, T.T. Assessment of potential damage of rice land area affected by salinity drought in 2018 in Ba Tri district, Ben Tre Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, 749, 1–11.
- 12 Son, N.V.; Sy, P.C.; Tien, N.T.; Minh, H.K.Q. Evaluation of the diversity of aerobic bacteria community and identification of aerobic bacteria species that play a key role in decomposing organic matter of Cai River – Dong Nai Province by the MALDI–TOF method. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, 749, 12–20.
- 21 Ha, L.T.T.; Long, N.Q. Combination of UAV image and terrestrial photogrammetry to build 3D geospatial data for smart cities. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, 749, 21–31.
- 34 Vien, L.N.; Dang, N.M. Analysis of the changes of rainfall indicators in the context of climate change in Vu Gia–Thu Bon River basin. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, 749, 32–51.
- 52 Ha, N.V.; Long, T.V.; Tuan, P.M.; Nghia, N.V. Geo-spatial analysis to quantitatively assess the relationship between environmental factors and spring groundwater in Gia Lai area, Vietnam. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, 749, 52–70.
- 71 Quan, N.K.; Nga, P.T.T. Study on the classification of rain characteristics and rainfall estimation by dual-polarization radar observations for the Northwest region. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, 749, 71–84.
- 85 Van, T.T.B.; Nga, L.T.T. Constructing gridded rainfall by combining GSMaP satellite rainfall estimation and automatic rain gauge observation in Vietnam. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, 749, 85–95.
- 96 Thao, V.B.; Viet, B.X. Analyzing the rainfall threshold for occurrence of flash floods and debris flows. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, 749, 96–110.