

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Vietnam Journal of Hydro - Meteorology

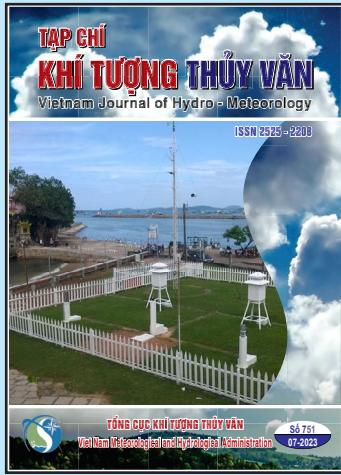
ISSN 2525 - 2208



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

Số 751

07-2023



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 751 - 07/2023

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- Nguyễn Quốc Khánh:** Ứng dụng hệ thống viễn thám, GIS theo dõi sự biến động của một số thành phần môi trường do hoạt động khai thác khoáng sản bauxite
- Phan Thị Thùy Dương, Nguyễn Thị Tuyết, Trần Thị Thu Thảo, Vũ Thị Vân Anh, Cấn Thu Văn:** Nghiên cứu đánh giá sự suy giảm năng suất lúa do bất lợi về nguồn nước tỉnh An Giang
- Nguyễn Thị Bích Ngọc, Trần Văn Tình, Vũ Duy Hưng, Trần Thị Tú:** Đánh giá tác động biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước lưu vực sông Trà Khúc, tỉnh Quảng Ngãi
- Nguyễn Tuấn Thành, Nguyễn Đăng Mậu, Thái Thị Thanh Minh, Nguyễn Văn Sơn, Nguyễn Hồng Sơn:** Tác động của biến đổi khí hậu đến hoạt động du lịch ngoài trời ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long dựa trên chỉ số TCI (Tourism Climate Index)
- Lê Ngọc Viên, Nguyễn Mai Đăng:** Phát triển khung đánh giá an ninh nước cho lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn trong bối cảnh biến đổi khí hậu và phát triển lưu vực
- Nguyễn Thị Hoa:** Đánh giá nồng độ bụi mịn (PM_{2.5}) tại thành phố Hồ Chí Minh năm 2021
- Phạm Trọng Huynh:** Dự đoán khả năng sạt lở đất ở Việt Nam bằng các thuật toán học máy
- Nguyễn Hoàng Minh, Phùng Tiến Dũng, Vũ Thị Thanh Vân, Đoàn Văn Hải, Mai Văn Khiêm:** Nghiên cứu tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar và mô hình số trị để nâng cao độ chính xác dự báo lũ

Bài báo khoa học

Ứng dụng hệ thống viễn thám, GIS theo dõi sự biến động của một số thành phần môi trường do hoạt động khai thác khoáng sản bauxite

Nguyễn Quốc Khánh^{1*}

¹ Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; khanhrsc@gmail.com

*Tác giả liên hệ: khanhrsc@gmail.com; Tel.: +84-969679559

Ban Biên tập nhận bài: 14/5/2023; Ngày phản biện xong: 22/6/2023; Ngày đăng bài: 25/7/2023

Tóm tắt: Việc khai thác bauxite ở Việt Nam sẽ tác động đến môi trường và ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Cần có sự cân nhắc và đánh giá chính xác để đảm bảo việc khai thác bauxite đem lại lợi ích cho nền kinh tế mà không gây tác động đến môi trường. Các năm gần đây, việc khai thác khoáng sản bauxite và sản xuất alumin có thể gây ra nhiều tác động tiêu cực đến môi trường, đặc biệt là gây ô nhiễm cho đất, nước, không khí, môi trường sinh thái và suy giảm đa dạng sinh học. Do đó, việc nghiên cứu ứng dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS) và dữ liệu viễn thám (như Landsat, Vinareadsat-1 và Palsar) theo dõi sự biến động của một số thành phần môi trường do hoạt động khai thác khoáng sản bauxite để đảm bảo an toàn cho môi trường và đa dạng sinh học là hết sức cần thiết. Kết quả thu được từ hoạt động giám sát nêu trên sẽ giúp cho các nhà nghiên cứu và quản lý môi trường đánh giá được hiện trạng của môi trường trong quá trình khai thác khoáng sản bauxite, từ đó đưa ra các biện pháp bảo vệ và phục hồi môi trường hiệu quả hơn trong giai đoạn hiện nay.

Từ khóa: GIS; Dữ liệu ảnh viễn thám; Bauxite.

1. Giới thiệu

Trong thời gian qua việc sử dụng dữ liệu ảnh viễn thám, GIS ở nước ta như: thành lập bản đồ cho mục đích khai thác lãnh thổ và bảo vệ thiên nhiên [1], định loại và phân tích cấu trúc thảm thực vật nhiệt đới [2], nghiên cứu môi trường [3], xây dựng bản đồ phân bố các vùng nhạy cảm môi trường [4], đánh giá biến động lớp phủ hiện trạng và quan hệ với biến đổi sử dụng đất [5], giám sát một số thành phần tài nguyên, môi trường tại các khu vực xây dựng công trình thủy điện [6] trong thời gian qua đã thu được một số kết quả song còn ít, tản mạn và trên thực tế chưa đáp ứng được các nhu cầu cụ thể. Ngày nay công nghệ vũ trụ và hệ thống tin Địa lý (GIS) đã được sử dụng rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới cho mục đích điều tra, quản lý tài nguyên. Trong đó việc ứng dụng chỉ số thực vật (NDVI) đã được nhiều nước quan tâm.

Ở Việt Nam công nghệ viễn thám cũng đã bắt đầu được ứng dụng trong công tác điều tra tài nguyên thiên nhiên, quản lý nông nghiệp. Chỉ số thực vật cũng bắt đầu được đề cập trong một số đề tài nghiên cứu khoa học ứng dụng. Tuy nhiên, so sánh tình hình nghiên cứu và ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS trên cơ sở tính toán chỉ số thực vật NDVI trên thế giới và Việt Nam còn tồn tại một khoảng cách khá xa. Chúng ta cần có định hướng nghiên cứu phù hợp, đầu tư trang thiết bị cần thiết, tập trung trí tuệ nghiên cứu khoa học của các ngành có liên quan, giảm ngắn khoảng cách tụt hậu với thế giới. Trong “Áp dụng viễn thám và GIS để nghiên cứu hiện trạng và biến động môi trường tỉnh Ninh Thuận” [7]. Ảnh vệ tinh đa thời gian là nguồn tư liệu để phân tích sự thay đổi về vị trí và diện tích các đơn vị môi

trường, sự biến đổi thảm thực vật, biến đổi hình thức sử dụng đất, biến đổi về diện tích và vị trí các loại tai biến.

Hiện nay, hoạt động khai thác và chế biến bauxite ở nước ta, đặc biệt là dự án tổ hợp Bauxit - Nhôm Lâm Đồng nằm ở huyện Bảo Lâm, tỉnh Lâm Đồng có vai trò quan trọng trong việc phát triển công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước, được sự quan lớn của Đảng và Chính phủ. Hiện nay trong khu vực khai thác bauxite chất lượng không khí, khí thải, chất thải và nước thải sinh hoạt và sản xuất, biến động lớp phủ rừng đang được giám sát để đảm bảo việc khai thác bauxite không gây tổn hại đến môi trường. Hoạt động giám sát này được Bộ Tài nguyên và Môi trường và địa phương thực hiện định kỳ và liên tục nhằm đưa ra các giải pháp và biện pháp quản lý môi trường trong các khu vực khai thác và chế biến khoáng sản bauxite. Như vậy cần có các phương pháp hiện đại để kết hợp sử dụng hệ thống viễn thám, GIS thu thập, xử lý và phân tích dữ liệu từ đó đưa ra các kết quả, bản đồ hiện trạng, biến động và cơ sở dữ liệu cụ thể nhằm xây dựng được báo cáo sự biến động môi trường do hoạt động khai thác khoáng sản bauxite để báo cáo Quốc hội và các cơ quan của chính phủ thường kỳ [8]. Việc đưa ra các kết quả và số liệu cụ thể về các yếu tố này sẽ giúp cho các nhà quản lý đưa ra kế hoạch khai thác bauxite được đưa ra một cách khoa học và có tính bảo vệ môi trường cao. Để làm được các công việc nêu trên cần nghiên cứu, xây dựng quy trình theo dõi sự biến động của một số thành phần môi trường (lớp phủ mặt đất, dân cư, cơ sở hạ tầng, rừng) do hoạt động khai thác khoáng sản bauxite sử dụng GIS kết hợp và dữ liệu ảnh viễn thám để có thể đáp ứng các yêu cầu giám sát nêu trên.

2. Phương pháp nghiên cứu và thu thập tài liệu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Phạm vi theo dõi biến động của một số thành phần môi trường (lớp phủ mặt đất, dân cư, cơ sở hạ tầng, rừng) do hoạt động khai thác khoáng sản bauxite nằm trong khu vực dự án tổ hợp Bauxite - Nhôm Lâm Đồng nằm trong 3 xã Lộc Thắng, Lộc Phú và Lộc Ngãi, huyện Bảo Lâm, tỉnh Lâm Đồng, có diện tích 42 km², cách Tp. Đà Lạt 71,5 km về phía Tây Nam, cách thị trấn Bảo Lộc 20 km về phía Đông Bắc. Tọa độ địa lý của mỏ: 11°38'08" đến 11°41'56" vĩ độ Bắc, 107°49'54" đến 107°53'12" kinh độ Đông (Hình 1).



Hình 1. (a) Toàn cảnh tổ hợp dự án; (b) Vị trí hồ bùn đỏ mở rộng; (c) Ảnh chụp từ vệ tinh viễn thám.

Hồ bùn đỏ Bauxite ở Tân Rai của dự án được hoàn thiện hai ngăn chứa, với các lớp vải kỹ thuật chống thấm phía dưới đáy, khi một hồ đầy chất thải sẽ theo đường ống chảy vào hồ kế bên. Giữa hồ là các tháp thu nước mặt, nước mặt sau khi được thu từ hồ bùn đỏ được đưa trở lại nhà máy để tái sử dụng cho các công đoạn kỹ thuật (Hình 2).



Hình 2. (a) Khoang chứa của hồ bùn đỏ; (b) Giáp ranh giữa 2 hồ bùn đỏ; (c) Ảnh chụp từ vệ tinh viễn thám. Tọa độ điểm khảo sát: Tọa độ X: 805174.9400; Tọa độ Y: 1290525.109.

Phạm vi thời gian: theo dõi sự biến động của các thành phần môi trường (đối tượng): lớp phủ mặt đất, cơ sở hạ tầng, lớp phủ thực vật rừng trong giai đoạn từ năm 2007 đến năm 2013.

2.2. Xây dựng quy trình theo dõi sự biến động của một số thành phần môi trường do hoạt động khai thác khoáng sản Bauxite

1. Chỉ số RVI (*Ratio Vegetation Index*)

Chỉ số RVI là một chỉ số thực vật được mô tả [9]. Đây là chỉ số được sử dụng rộng rãi. Trong thực tế chỉ số này được ứng dụng trong công nghệ viễn thám để ước lượng suất phản chiếu Albedo. Người ta sử dụng tỷ số NIR và đỏ.

$$RVI = NIR/RED$$

Chỉ số tỷ số cơ bản

Đường thẳng chuẩn thực vật hội tụ tại điểm gốc.

Đường ranh giới đất có hệ số nghiêng là 1 và đi qua điểm gốc.

Phạm vi từ 0 đến ∞ .

2. Chỉ số NDVI (*Nomallized Difference Vegetation Index*)

NDVI là chỉ số thực vật quy chuẩn được mô tả [9], nhưng khái niệm về chỉ số thực vật quy chuẩn lần đầu tiên được trình bày bởi [10]. Khi nói đến chỉ số thực vật người ta thường nghĩ đến chỉ số này. Giá trị của chỉ số này từ -1 đến +1, trong khi đó chỉ số RVI có giá trị trong phạm vi từ 0 đến ∞ . Giữa chỉ số RVI và chỉ số NDVI có quan hệ như sau:

$$NDVI = (RVI-1)/(RVI+1)$$

Chỉ số tỷ số cơ bản

Đường thẳng chuẩn thực vật hội tụ tại điểm gốc.

Đường ranh giới đất có hệ số nghiêng là 1 và đi qua điểm gốc.

Phạm vi từ -1 đến +1.

$$NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED)$$

3. Chỉ số IPVI (*Infrared Percentage Vegetation Index*)

IPVI là chỉ số thực vật phần trăm hồng ngoại [11] như phần trừ của band đỏ ở tử số không liên quan và được đề xuất chỉ số này như là một cách cải thiện tốc độ tính toán. Nó cũng bị giới hạn bởi giá trị từ 0 đến 1. Chỉ số này ước lượng sự cần thiết trong việc lưu trữ tín hiệu giá trị chỉ số thực vật và ước lượng giá trị âm cho chỉ số thực vật. Chỉ số IPVI và chỉ số NDVI là hàm tương quan và được liên hệ bởi phương trình:

$$IPVI = (NDVI+1)/2$$

Chỉ số tỷ số cơ bản

Đường thẳng chuẩn thực vật hội tụ tại điểm gốc.

Đường ranh giới đất có hệ số nghiêng là 1 và đi qua điểm gốc.

Phạm vi từ 0 đến +1.

$$IPVI = NIR/(NIR+RED)$$

4. Chỉ số DVI (*Difference Vegetation Index*)

DVI là chỉ số thực vật hiệu được mô tả [12].

Chỉ số trục giao

Đường thẳng chuẩn thực vật song tuyến với đường ranh giới đất.

Đường ranh giới đất có hệ số nghiêng tùy ý và đi qua điểm gốc.

Phạm vi vô cực (∞).

$$DVI = (NIR-RED) / (NIR+RED)$$

5. Chỉ số PVI (*Perpendicular Vegetation Index*)

PVI là chỉ số thực vật trục giao được mô tả [13].

Chỉ số DVI rất nhạy cảm với biến số khí quyển.

Chỉ số trục giao

Đường thẳng chuẩn thực vật song tuyến với đường ranh giới đất.

Đường ranh giới đất có hệ số nghiêng tùy ý và đi qua điểm gốc.

Phạm vi từ -1 đến +1.

$$PVI = \sin(a)NIR - \cos(a) RED$$

Trong đó (a) là góc giữa đường ranh giới đất và trục NIR.

6. Chỉ số WDV (*Weighted Difference Vegetation Index*)

WDVI là chỉ số thực vật sai phân trọng số được mô tả [14]. Nó có quan hệ tương tự như quan hệ IPVI với NDVI. Giống như PVI, WDV rất nhạy cảm với các biến số khí quyển.

Chỉ số trục giao

Đường thẳng chuẩn thực vật song tuyến với đường ranh giới đất.

Đường ranh giới đất có hệ số nghiêng tùy ý và đi qua điểm gốc.

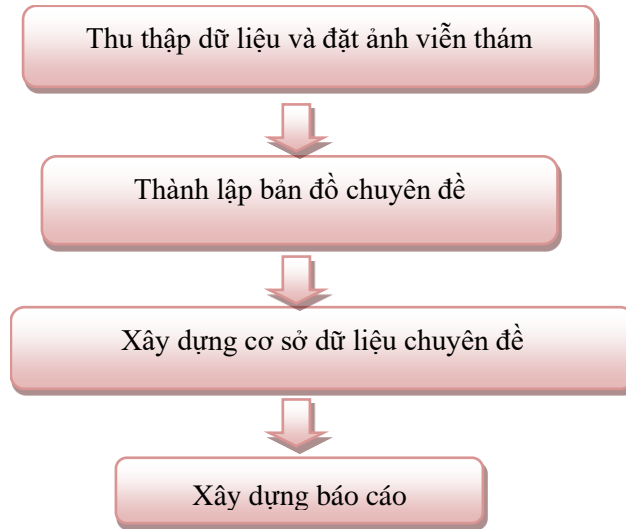
Phạm vi vô cực (∞).

$$WDVI = NIR - g \times RED$$

Trong đó (g) độ nghiêng của đường ranh giới đất.

Như vậy ứng dụng viễn thám và hệ thống tin địa lý “GIS” nói chung, chỉ số thực vật “NDVI” nói riêng là công cụ đắc lực hữu ích và hiện đại trong theo dõi và nghiên cứu lớp phủ bề mặt trái đất đã được sử dụng rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới, trong đó có các nước Đông Nam Á. Việc Nghiên cứu mối liên hệ giữa chỉ số thực vật của ảnh vệ tinh quang học SPOT5, VNREDSAT-1 (NDVI) giúp cho quá trình giám sát lớp phủ thực vật rừng, biến động mạng lưới thủy văn khu vực khai thác bauxite nhanh chóng, chính xác hơn, có tính chính hợp và hiện thời cao so với các phương pháp truyền thống trước đây. Dựa vào các số liệu biến động lớp phủ thực vật rừng các nhà khoa học, các nhà quản lý có thể đưa ra các chính sách hợp lý giúp cho việc khai thác, bảo vệ tài nguyên rừng có hiệu quả tại khu vực khai thác bauxite. Nghiên cứu đề xuất ra quy trình theo dõi sự biến động của một số thành phần môi trường (lớp phủ mặt đất, dân cư, cơ sở hạ tầng, rừng) do hoạt động khai thác khoáng sản

bauxite sử dụng GIS kết hợp và dữ liệu ảnh viễn thám cụ thể trong Sơ đồ quy trình theo dõi sự biến động của một số thành phần môi trường (Hình 3). Cụ thể các bước trong quy trình:



Hình 3. Sơ đồ quy trình theo dõi sự biến động của một số thành phần môi trường.

2.2.1. Thu thập dữ liệu và đặt ảnh vệ tinh

Thu thập tài liệu, tư liệu bản đồ (bản đồ địa hình, bản đồ chuyên đề các tỷ lệ); tư liệu ảnh vệ tinh (ảnh quang học); các số liệu thống kê; các thông tin liên quan đến chuyên đề lớp phủ thực vật rừng và hệ thống nước mặt; các báo cáo đánh giá tác động môi trường; báo cáo hiện trạng môi trường; các báo cáo chuyên đề; các kết quả quan trắc; tài liệu khí tượng thủy văn và các tài liệu liên quan khác khu vực dự án khai thác bauxite.

Tư liệu viễn thám sử dụng chính trong nghiên cứu là ảnh viễn thám quang học ảnh VNREDSAT-1. Các tư liệu ảnh viễn thám khác như: Landsat TM, ảnh radar (nếu thu thập được) là tư liệu hỗ trợ.

Thu thập các tư liệu khác và tư liệu quan trắc: Các báo cáo hiện trạng môi trường; các đề tài, nghiên cứu khoa học liên quan đến nội dung nhiệm vụ, báo cáo môi trường hàng tháng, mặt bằng tổng thể của nhà máy, sơ đồ bố trí các điểm quan trắc môi trường của dự án; báo cáo ĐTM của dự án.

2.2.2. Thành lập bản đồ chuyên đề

Quy trình thành lập bản đồ để phục vụ theo dõi sự biến động của một số thành phần tài nguyên môi trường (lớp phủ mặt đất, cơ sở hạ tầng, lớp phủ thực vật rừng) do hoạt động khai thác khoáng sản bauxite được xây dựng dựa theo quy trình thành lập bản đồ chuyên đề bằng dữ liệu ảnh viễn thám đã được Bộ Tài nguyên và Môi trường quy định [15]. Bao gồm các bước chính sau:



Hình 4. Sơ đồ quy trình thành lập bản đồ để phục vụ theo dõi sự biến động của một số thành phần tài nguyên môi trường.

- a) Biên tập khoa học (xây dựng thiết kế kỹ thuật) bao gồm các công đoạn sau:
1. Xác định khu vực cần thành lập bản đồ
 2. Xác định chủ đề của bản đồ, tỷ lệ, đặt tên bản đồ, các chỉ tiêu thể hiện nội dung, bố cục nội dung, định dạng bản đồ sản phẩm.
 3. Xác định các nguồn tư liệu thành lập bản đồ
 4. Các chỉ tiêu thể hiện nội dung, bố cục nội dung, định dạng bản đồ sản phẩm:
- Các văn bản pháp lý sử dụng trong thiết kế và thi công:
- Quy trình hiện chỉnh bản đồ địa hình bằng ảnh vệ tinh do Tổng cục Địa chính ban hành năm 2002.
 - Quy phạm hiện chỉnh bản đồ địa hình tỷ lệ 1:10.000, 1:25.000, 1:50.000 do Cục Đo đạc và Bản đồ Nhà nước ban hành năm 1989.
 - Kí hiệu bản đồ địa hình tỷ lệ 1:10.000, 1:25.000 do Tổng cục Địa chính ban hành năm 1995.
 - Quy định kỹ thuật số hoá bản đồ địa hình tỷ lệ 1:10.000, 1:25.000, 1:50.000 và 1:100.000 do Tổng cục Địa chính ban hành năm 2000 [16].
 - Quyết định số 83/QĐ-TTg ngày 12 tháng 07 năm 2000 của Thủ tướng Chính phủ về sử dụng hệ quy chiếu và hệ tọa độ quốc gia VN 2000.
 - Thông tư số 973/2001/TT-TCĐC ngày 20 tháng 06 năm 2001 của Tổng cục Địa chính về việc hướng dẫn áp dụng hệ quy chiếu và hệ tọa độ quốc gia VN 2000.
- Các quy định chung:
- Các bản đồ hiện trạng và biến động được thành lập ở tỷ lệ 1:25.000, hệ tọa độ VN-2000 (lưới chiếu UTM, Elipxoid WGS-84, múi chiếu 6°, kinh tuyến trục 105°).
 - Độ chính xác về hình học: lấy tương đương theo quy định của bản đồ nền ở cùng tỷ lệ.
 - + Sai số tương hỗ chuyển vẽ các yếu tố nội dung bản đồ nền $\leq \pm 0,3$ mm tính theo tỷ lệ bản đồ nền (tương đương 7,5 m trên thực tế với tỷ lệ bản đồ 1:25.000).
 - + Sai số chuyển vẽ vị trí các yếu tố nội dung bản đồ nền $\leq \pm 0,2$ mm tính theo tỷ lệ bản đồ nền (tương đương 5 m trên thực tế với tỷ lệ bản đồ 1:25.000).
 - + Sai số tương hỗ chuyển vẽ các yếu tố nội dung chuyên môn lên bản đồ nền không vượt quá $\pm 0,7$ mm tính theo tỷ lệ bản đồ nền (tương đương 17,5 m trên thực tế với tỷ lệ bản đồ 1:25.000).
 - Mức độ chi tiết về nội dung bản đồ:
 - + Về hình học các yếu tố nội dung được thể hiện với diện tích 4-159 mm² tùy theo đặc điểm từng đối tượng.
 - + Về định tính thể hiện theo quy định hệ phân loại của bản đồ.
 - Phần mềm sử dụng: Số hóa: MicroStation; Phân tích thông tin: ArcGIS 9.0.
 - Tài liệu sử dụng để thành lập bản đồ: Tất cả các loại bản đồ địa hình, chuyên đề, ảnh vệ tinh và các tài liệu khác đã được thu thập.
5. Xây dựng đề cương chi tiết thành lập bản đồ
- Quá trình thành lập bộ bản đồ biến động lớp phủ mặt đất, biến động dân cư và biến động cơ sở hạ tầng khu vực khai thác bauxite được thành lập với tỷ lệ 1:25.000 trên cơ sở ứng dụng công nghệ viễn thám, GIS và dựa trên kết quả điều tra, phân tích số liệu ngoại nghiệp của các nhà khoa học theo quy trình công nghệ tổng quát sau:
- Xây dựng đề cương: Công việc đầu tiên trong giai đoạn chuẩn bị là xây dựng đề cương và lập bảng chú giải của bản đồ.
 - Thu thập, đánh giá tư liệu ảnh viễn thám và các tư liệu khác: Để thành lập các loại bản đồ trên, việc thu thập đầy đủ tài liệu có ý nghĩa đặc biệt. Các mốc thời gian, nội dung và mức độ chi tiết của bản đồ đều phụ thuộc vào tài liệu. Nét đặc biệt ở đây là ngoài tư liệu ảnh viễn thám (ảnh hàng không, ảnh vệ tinh) và các tư liệu bản đồ mới, cần phải thu thập cả các tư liệu cũ, thường chỉ còn lưu lại ở các cơ quan lưu trữ các ngành ở trung ương và địa phương hoặc Cục lưu trữ nhà nước.

- Xây dựng thiết kế kỹ thuật: Thiết kế chung bộ bản đồ, lập chỉ dẫn biên tập của từng bản đồ.

- Xử lý ảnh viễn thám.
 - Thành lập bản đồ nền gồm các công đoạn sau: biên tập nội dung bản đồ địa hình (tổng hợp, lấy bỏ nội dung), kết hợp với suy giải ảnh vệ tinh chỉnh sửa các lớp thông tin cơ bản: thủy hệ, giao thông, dân cư, địa giới hành chính,... theo tài liệu mới nhất.

- Xác định nội dung hiện trạng lớp phủ bao gồm các công đoạn sau:
 + Điều vẽ nội nghiệp ảnh viễn thám theo nội dung của bản đồ.
 + Điều vẽ ngoại nghiệp ảnh viễn thám theo nội dung của bản đồ.
 + Chuyển vẽ kết quả điều vẽ ảnh và kết quả xử lý tài liệu bản đồ.
 + Số hoá, biên tập.
 + Thành lập lớp thông tin hiện trạng.
 - Kiểm tra, nghiệm thu: Tại cơ quan có thẩm quyền.
 - Giao nộp sản phẩm: Sản phẩm bao gồm bản đồ, các báo cáo, cơ sở dữ liệu (dạng số ghi đĩa CD và in trên giấy).

6. Thu thập, xử lý tài liệu, thiết kế kỹ thuật

- Bản đồ địa hình tỷ lệ 1:10.000 và 1:25.000 trong cơ sở dữ liệu do Cục Công nghệ Thông tin cung cấp là nền chung của toàn bộ các dữ liệu của dự án.

- Các sơ đồ khảo sát thực địa do các nhóm khảo sát của dự án cung cấp.

- Bản đồ hiện trạng sử dụng đất.

- Một số dữ liệu, tư liệu bản đồ, sơ đồ về khu vực nhà máy Alumin khác.

- Ảnh vệ tinh Landsat, Spot 5 và VNREDSat-1.

Quá trình tìm hiểu cho thấy dữ liệu nền địa lý được xây dựng trên cơ sở các nhóm lớp thông tin cơ bản của bản đồ địa hình thành lập trước đây nên cần phải bổ sung nhiều thông tin, đặc biệt ở các khu vực phát triển đô thị, khu công nghiệp và các bãi bồi, đường bờ nước vùng cửa sông... Vì vậy, trên cơ sở dữ liệu nền này cần hiện chỉnh theo tư liệu ảnh viễn thám mới được thu nhận.

Mục tiêu là xây dựng được bộ bản đồ biến động phủ mặt đất, biến động dân cư và biến động cơ sở hạ tầng khu vực khai thác bauxite nên tất cả các tài liệu ở các thời điểm khác nhau đều có ý nghĩa rất quan trọng giúp cho công tác thành lập các bản đồ, sơ đồ này.

b) Thành lập bản đồ nền

Bao gồm các công việc:

- Biên tập các yếu tố nội dung nền đã có trên bản đồ địa hình tỷ lệ 1:25.000 theo đúng chỉ tiêu kỹ thuật.

- Hiện chỉnh các yếu tố nội dung nền (thủy hệ, giao thông, địa hình, dân cư) theo ảnh LANDSAT, VNREDSat-1 thu thập mới nhất, sau đó kiểm tra và chỉnh sửa theo kết quả khảo sát ngoại nghiệp.

1. Nhóm lớp cơ sở toán học

+ Bản đồ được thành lập ở tỷ lệ 1:25 000, hệ tọa độ VN-2000 (lưới chiếu UTM, Elipsoid WGS-84, kinh tuyến trục 105°, múi chiếu 6°).

+ Tọa độ địa lý khu vực thành lập bản đồ: Khu vực bauxite theo sơ đồ phân mảnh chung của hệ thống bản đồ dự án.

2. Nhóm các lớp thông tin nền

Nhóm lớp các yếu tố nội dung mang tính chất định hướng và bổ trợ thêm thông tin cho các yếu tố nội dung chuyên môn. Nhóm lớp thông tin này được sử dụng chung cho cả bộ bản đồ và bao gồm các lớp thông tin sau: Cơ sở toán học, thủy hệ, địa hình, giao thông, dân cư, ranh giới.

3. Nhóm các lớp thông tin khác

Bao gồm những đối tượng không thuộc lớp chuyên đề như UBND xã; trạm xá; trường học; trạm biến thế; đình, chùa, đền, miếu; trạm xăng; sông suối ao hồ có nước thường xuyên theo mùa; đường ô tô nhựa; đường cấp phối; đường đất lớn; đường đất nhỏ; đường mòn; cầu,

công; bình độ, đường độ cao và ghi chú độ cao; địa giới tỉnh; địa giới huyện; địa giới xã nằm trong khu vực thành lập bản đồ.

Nội dung của bản đồ cần phải đảm bảo tính thống nhất với tất cả các bản đồ và các lớp thông tin khác về cơ sở toán học, nền địa lý, cấu trúc, khuôn dạng dữ liệu, nguồn tài liệu để thành lập bản đồ,... Điều vẽ hiện chỉnh các đối tượng của bản đồ nền khu vực dự án khai thác Bauxite bao gồm: thủy hệ, giao thông, dân cư, địa giới hành chính theo ảnh vệ tinh mới nhất. Sau đó kiểm tra và chỉnh sửa theo kết quả khảo sát ngoại nghiệp. Các quy định kỹ thuật đối với ký hiệu bản đồ chuyên đề hiện trạng sử dụng đất tuân thủ theo quy định của Bộ Tài nguyên và Môi trường [17].

c) Thành lập bình đồ ảnh vệ tinh

Thành lập bình đồ ảnh viễn thám bằng phương pháp số sử dụng các phần mềm PCI, ENVI, ERDAS... hiện đang có ở Việt Nam.

Diễn giải một số công đoạn chính.

- Nhập dữ liệu ảnh: Các tư liệu ảnh vệ tinh được lưu trữ ở nhiều khuôn dạng khác nhau; có loại ảnh đã ở dạng số tương thích với các thiết bị và phần mềm xử lý hiện có, nhưng có loại chưa tương thích, nên để đăng nhập dữ liệu vào hệ thống xử lý ảnh cần phải chuẩn hoá dữ liệu cho phù hợp hoặc nhập vào hệ thống thông qua một phần mềm trung gian.

- Không chế ảnh: Điểm không chế ảnh được chọn để phục vụ cho việc mô hình hóa, nắn ảnh vệ tinh và được xác định bằng phương pháp đo đạc ngoại nghiệp với công nghệ đo GPS.

Số lượng điểm không chế được chọn tùy thuộc vào phương pháp nắn ảnh và loại ảnh được sử dụng. Nhưng nhìn chung số lượng điểm vào khoảng từ 10 đến 12 điểm cho 1 cảnh ảnh và được bố trí rải đều. Trường hợp nhiều tấm ảnh nằm trên cùng một dải ảnh (Segment) thì có thể chọn 15-18 điểm cho cả dải, trên mỗi cảnh ảnh phải có ít nhất 2 điểm kiểm tra.

- Nắn ảnh, ghép ảnh và cắt mảnh bình đồ ảnh: Trên cơ sở mô hình số độ cao và các điểm không chế, tiến hành công việc nắn ảnh vệ tinh. Đó là việc nắn chỉnh về hệ tọa độ của bản đồ và khử các sai số do chênh cao của địa hình gây ra. Bình đồ ảnh sau khi thành lập phải đảm bảo các yêu cầu về độ chính xác như sau: Sai số vị trí điểm đối với các địa vật rõ rệt $\leq 0,4$ mm và $\leq 0,6$ mm đối với các địa vật không rõ ràng trên ảnh.

Để thuận lợi cho việc tiếp biên và công tác điều vẽ ở khâu sau các mảnh bình đồ ảnh được cắt chòem ra ngoài khung 8 mm ở tỉ lệ bản đồ cần hiện chỉnh.

Khi ghép mảnh phải xử lý ở mức tối đa để tông màu ở hai bên đường ghép gần như nhau. Vết ghép không được đi qua các điểm không chế. Vết ghép phải đi qua các điểm địa vật có sai số tiếp khớp nhỏ nhất, không được cắt theo các địa vật hình tuyến.

- Xử lý phổ: Chất lượng của bình đồ ảnh phụ thuộc rất nhiều vào việc xử lý phổ. Đối với mỗi loại ảnh vệ tinh khác nhau sẽ có những phương án xử lý phổ khác nhau. Nhưng kết quả cuối cùng phải đảm bảo về khả năng thông tin của ảnh để đoán đọc nhất. Các công cụ được dùng để xử lý phổ gồm có: Dẫn tuyến tính, phi tuyến và các phin lọc (tần số cao: Nổi bật các yếu tố đường nét; tần số thấp: Giảm nhiễu). Có rất nhiều phương án về tổ hợp màu khác nhau; nhưng phương án tạo tổ hợp màu giả - tự nhiên được lựa chọn vì đã kiểm nghiệm trong thực tế sản xuất nhiều năm qua tại Trung tâm Viễn thám.

Dữ liệu bình đồ ảnh số được xuất ra khuôn dạng file *.tif để có thể sử dụng thuận tiện trong các phần mềm thông dụng khác.

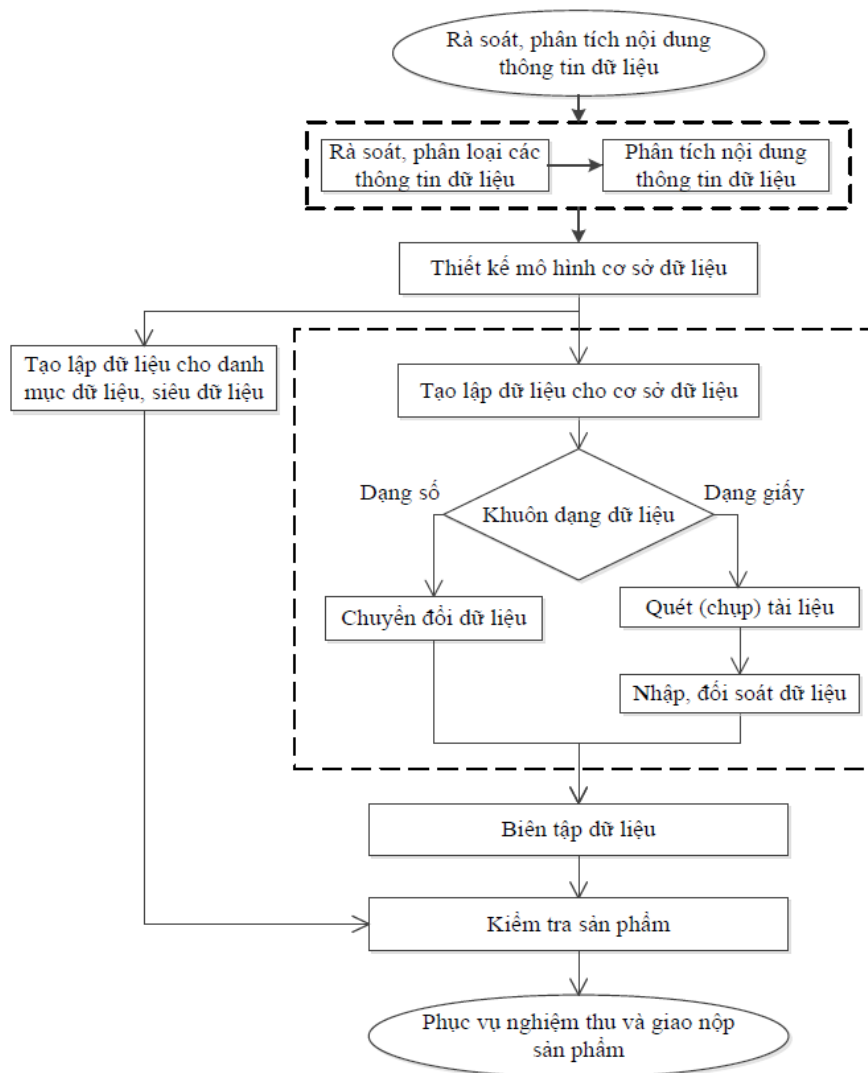
d) Suy giải các yếu tố nội dung chuyên đề

Điều vẽ các đối tượng lớp phủ mặt đất, cơ sở hạ tầng, lớp phủ thực vật rừng bằng ảnh vệ tinh kết hợp các tài liệu thu thập được của khu vực dự án khai thác Bauxite có thể sử dụng phương pháp giải đoán bằng mắt hoặc phương pháp phân loại ảnh bán tự động tùy theo yêu cầu và mục đích sử dụng của bản đồ.

2.2.3. Xây dựng cơ sở dữ liệu chuyên đề

Cơ sở dữ liệu chuyên đề phục vụ theo dõi sự biến động của một số thành phần tài nguyên môi trường (lớp phủ mặt đất, cơ sở hạ tầng, lớp phủ thực vật rừng) do hoạt động khai thác khoáng sản bauxite được xây dựng theo quy trình và định mức kinh tế - kỹ thuật xây dựng

CSDL tài nguyên và môi trường được đã được Bộ Tài nguyên và Môi trường quy định (Hình 5) [18].



Hình 5. Sơ đồ quy trình xây dựng cơ sở dữ liệu tài nguyên và môi trường.

2.2.4. Tư liệu sử dụng để tiến hành thực nghiệm

- Các tư liệu ảnh vệ tinh: Landsat TM chụp năm 2007; SPOT 5 chụp năm 2009, 2013; Vinaretsat-1 chụp năm 2014, 2015 với độ phân giải 2,5 m đã được nắn chỉnh về hệ tọa độ VN 2000.

- Tư liệu bản đồ: Bản đồ địa hình các tỷ lệ 1:100.000 năm 2004, 1:50.000 năm 2000, 1/25.000 năm 2003; Các Bản đồ quy hoạch sử dụng đất, Bản đồ hiện trạng sử dụng đất 2005, 2010; Bản đồ thảm thực vật.

- Tư liệu khác: Các báo cáo môi trường hàng tháng của tổ hợp Nhôm - bauxite Tân Rai, Sơ đồ bố trí các điểm quan trắc môi trường, Báo cáo ĐTM của dự án, Các thống kê diện tích sử dụng đất của huyện Lâm Đồng năm 2007-2013,

Trong quá trình thu thập tài liệu tại các tỉnh trong khu vực nghiên cứu đoàn công tác đã thu thập được khá nhiều loại, ở nhiều khuôn dạng khác nhau. Các tài liệu văn bản dạng giấy, số (Word, PDF, Excel), dữ liệu bản đồ số (Microstation, MapInfo, JPG).

Tại Lâm Đồng thu thập được bản đồ hiện trạng sử dụng đất các năm 2005 và 2010, bản đồ hiện trạng và quy hoạch 3 loại rừng. Tại tổ hợp Nhôm - Bauxite Tân Rai thu thập được các báo cáo môi trường hàng tháng, mặt bằng tổng thể của nhà máy, sơ đồ bố trí các điểm quan trắc môi trường của dự án. Báo cáo ĐTM của dự án...

Các điểm khảo sát được đánh dấu trên bản đồ trước đợt công tác. Dựa vào các điểm cần xác minh ngoài thực địa đoàn khảo sát lên sơ đồ sơ bộ tuyến khảo sát từ trước. Kết hợp máy đo GPS cầm tay và bản đồ chuyên đề in trên giấy tiến hành đo đạc khảo sát bổ sung tại các tỉnh. Trong quá trình đo đạc kết hợp với các thông tin từ dân địa phương để xác định chính xác các nội dung cần khảo sát. Một số ghi chú về điểm khảo sát có thể được đánh dấu và ghi chú trực tiếp trên bản đồ hoặc sổ tay.

Qua điều tra khảo sát đã xác minh được nhiều điểm khó giải đoán trên ảnh vệ tinh cập nhật tốt cho việc điều vẽ các nội dung chuyên môn của dự án cũng như cho công tác xây dựng cơ sở dữ liệu.

Khảo sát khu vực hiện trạng của dự án, cung cấp cái nhìn tổng thể thực tế tại tổ hợp Nhôm - Bauxite Lâm Đồng. Khảo sát hồ bùn đỏ nơi chứa chất thải của quá trình tinh luyện quặng bauxite thành Alumin. Với ảnh vệ tinh SPOT 5, Vinaretsat-1 độ phân giải cao 2,5 m có thể giám sát hiện trạng thi công công trình cũng như quy mô các hồ bùn đỏ, hiện trạng khai thác quặng cũng như quá trình trồng cây hoàn thổ đất sau khai thác. Trên ảnh SPOT hiện có cũng thể hiện khá tốt hiện trạng xây dựng nhà máy, đường băng tải quặng từ khu khai thác đến nhà máy tinh luyện.

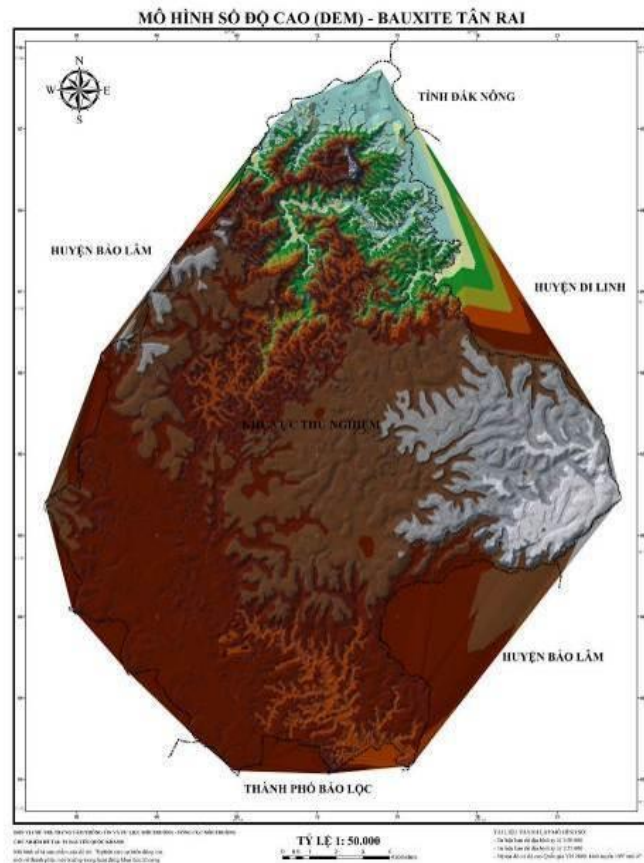
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả ứng dụng

Hoạt động khai thác và chế biến bauxite có nguy cơ tiềm ẩn lớn về ô nhiễm môi trường và phức tạp, đây cũng vẫn đề được dư luận quan tâm đặc biệt trong các kỳ họp Quốc hội hay trên các phương tiện thông tin đại chúng. Chính vì vậy, giám sát vấn đề bảo vệ môi trường trong khu vực thực hiện dự án là việc cần làm. Quá trình nghiên cứu sự biến động của một số thành phần môi trường trong hoạt động khai thác khoáng sản bauxite hiện nay vẫn chưa đáp ứng đầy đủ yêu cầu quản lý, đó là theo dõi diễn biến môi trường khu vực khai thác bauxite theo chu kỳ (1 thời gian lặp lại nhất định), trên một phạm vi rất rộng, đặc biệt ở những nơi có địa hình phức tạp, nơi mà các hoạt động xâm hại môi trường có thể diễn ra mà không thể nhận biết được.

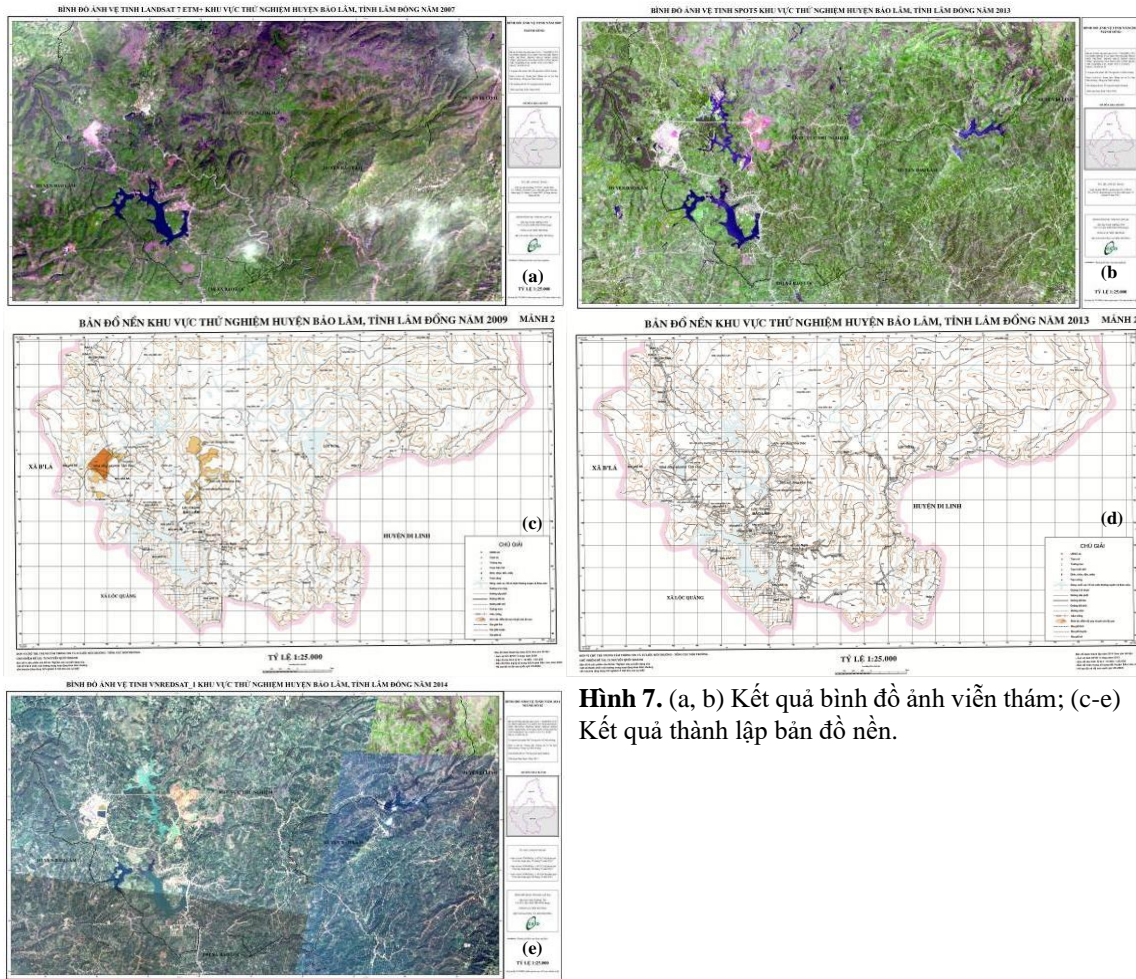
Vì vậy, cần có sự nghiên cứu sự biến động của một số thành phần môi trường trong hoạt động khai thác khoáng sản bauxite, đề xuất ra được quy trình giám sát sự biến động của một số thành phần môi trường do hoạt động khai thác khoáng sản bauxite sử dụng GIS và ảnh viễn thám quang học Landsat, VNRedsat-1 và ảnh Palsar để có thể đáp ứng các yêu cầu trên (Hình 6, Hình 7).

Kết quả bản đồ hiện trạng lớp phủ: Nội dung đối tượng trên bản đồ gồm: Đất trồng cây hàng năm, Đất trồng cây công nghiệp lâu năm, Đất rừng có độ che phủ < 30%, Đất rừng có độ che phủ > 30%, Đất dân cư, Đất chuyên dùng, Đất nhà máy Alumin, Đất nhà máy đang

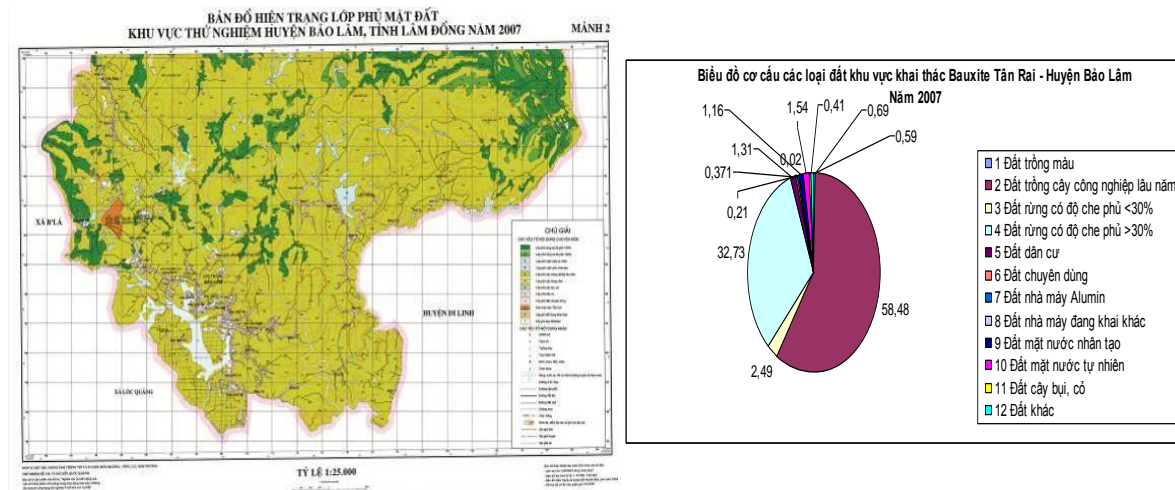


Hình 6. Mô hình số độ cao DEM dạng Vector TIN khu vực thử nghiệm huyện Bảo Lâm.

khai thác, Đất mặt nước nhân tạo, Đất mặt nước tự nhiên, Đất cây bụi, cỏ, Đất khác (Hình 8).



Hình 7. (a, b) Kết quả bình đồ ảnh viễn thám; (c-e) Kết quả thành lập bản đồ nền.

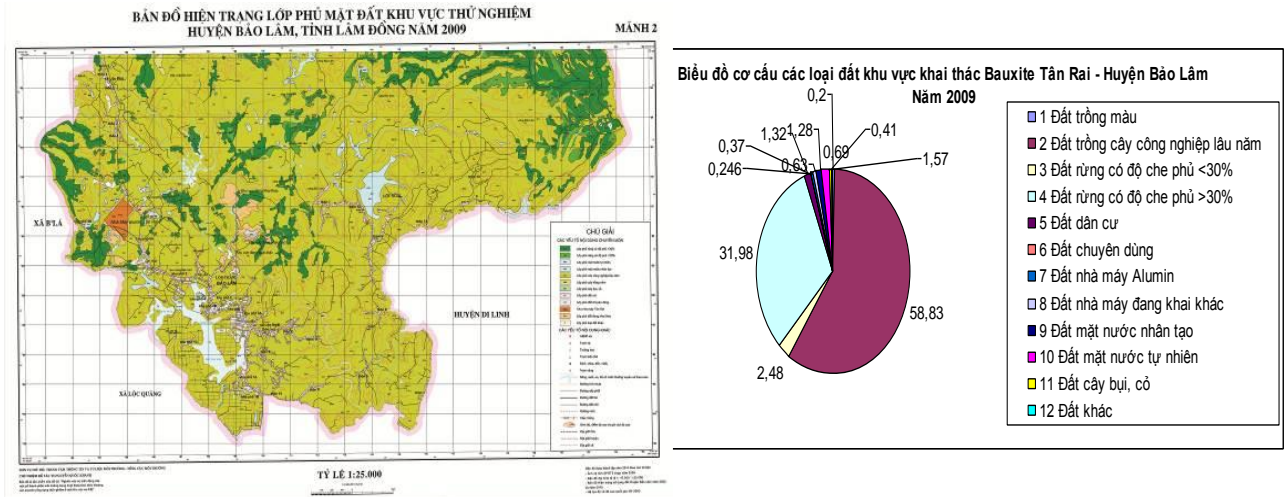


Hình 8. Bản đồ hiện trạng lớp phủ năm 2007.

Bảng 1. Diện tích các loại đất khu vực 3 xã trong dự án khai thác bauxite Tân Rai năm 2007.

STT	Loại đất	Diện tích 2007 (ha)
1	Đất trồng cây hằng năm	208,66
2	Đất trồng cây công nghiệp lâu năm	17813,37
3	Đất rừng có độ che phủ <math> < 30\% </math>	758,89
4	Đất rừng có độ che phủ > 30%	9968,48
5	Đất dân cư	399,47

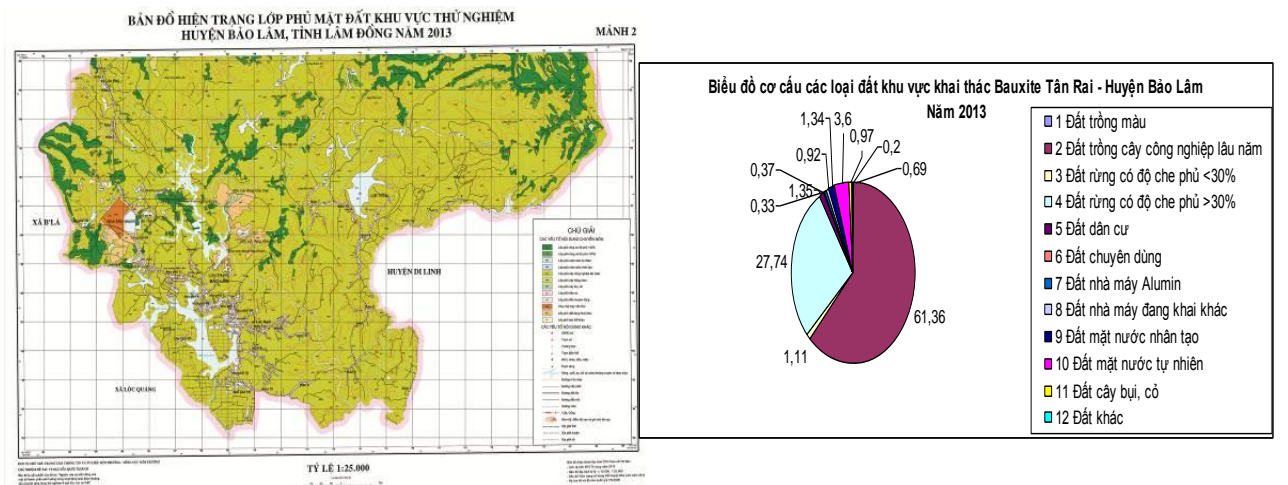
STT	Loại đất	Diện tích 2007 (ha)
6	Đất chuyên dùng	113,69
7	Đất nhà máy Alumin	64,19
8	Đất nhà máy đang khai khác	0
9	Đất mặt nước nhân tạo	6,41
10	Đất mặt nước tự nhiên	352,73
11	Đất cây bụi, cỏ	468,89
12	Đất khác	125,41



Hình 9. Bản đồ hiện trạng lớp phủ năm 2009.

Bảng 2. Diện tích các loại lớp phủ mặt đất khu vực 3 xã thuộc dự án khai thác bauxite Tân Rai năm 2009.

STT	Loại đất	Diện tích 2009 (ha)
1	Đất trồng cây hằng năm	208,66
2	Đất trồng cây công nghiệp lâu năm	17852,45
3	Đất rừng có độ che phủ <30%	751,70
4	Đất rừng có độ che phủ >30%	9703,29
5	Đất dân cư	399,36
6	Đất chuyên dùng	112,60
7	Đất nhà máy Alumin	72,14
8	Đất nhà máy đang khai khác	0
9	Đất mặt nước nhân tạo	189,84
10	Đất mặt nước tự nhiên	389,90
11	Đất cây bụi, cỏ	477,69
12	Đất khác	125,41



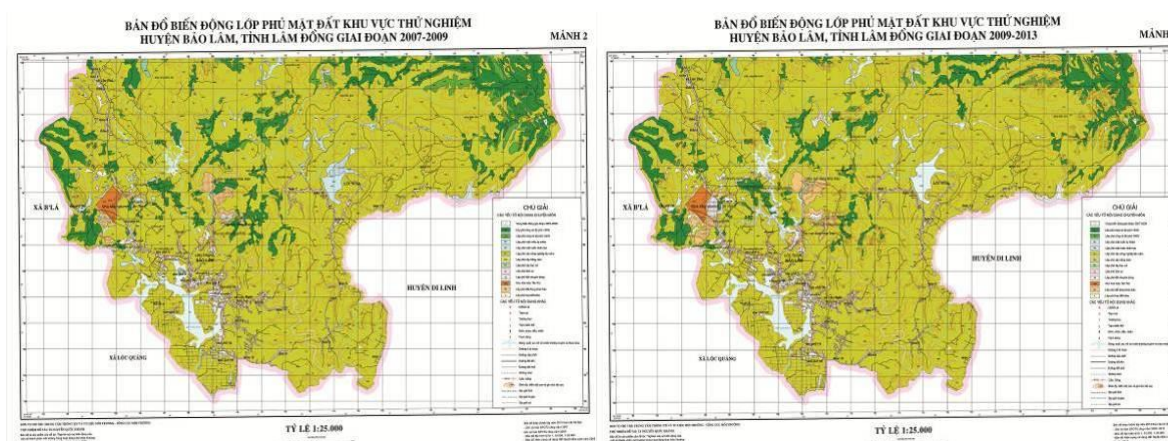
Hình 10. Bản đồ hiện trạng lớp phủ năm 2013.

Bảng 3. Diện tích các loại lớp phủ mặt đất khu vực 3 xã thuộc dự án khai thác bauxite Tân Rai năm 2013.

STT	Loại đất	Diện tích 2013 (ha)
1	Đất trồng cây hằng năm	208,66
2	Đất trồng cây công nghiệp lâu năm	18627,69
3	Đất rừng có độ che phủ <30%	335,45
4	Đất rừng có độ che phủ >30%	8422,09
5	Đất dân cư	409,36
6	Đất chuyên dùng	113,69
7	Đất nhà máy Alumin	72,14
8	Đất nhà máy đang khai khác	28,46
9	Đất mặt nước nhân tạo	279,66
10	Đất mặt nước tự nhiên	407,99
11	Đất cây bụi, cỏ	1094,88
12	Đất khác	295,89

Bảng 4. Biến động diện tích các loại đất thuộc 3 xã trong khu vực khai thác bauxite Tân Rai năm 2007-2009-2013.

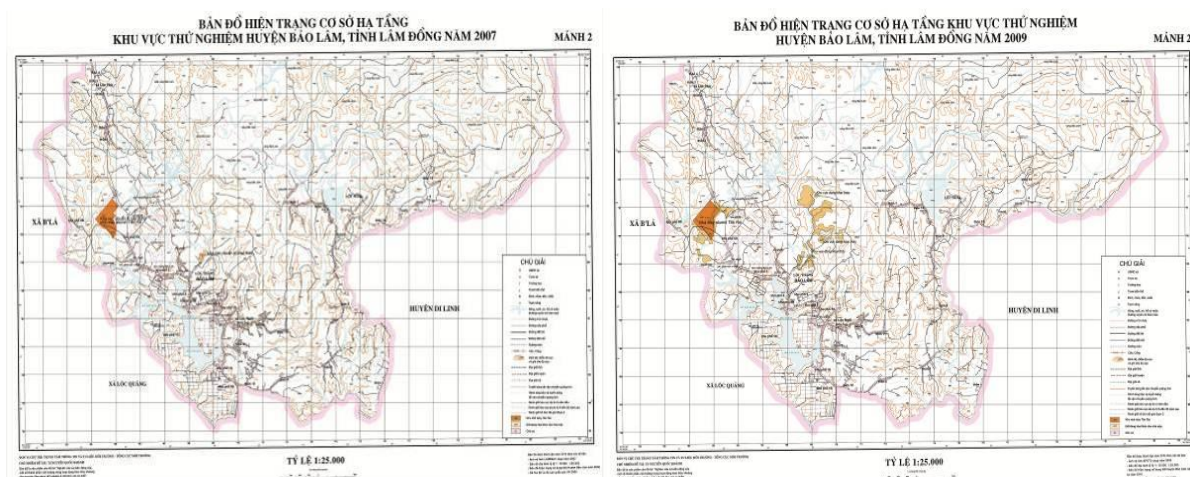
STT	Loại đất	Biến động giai đoạn 2007-2009 (ha)	Biến động giai đoạn 2009-2013 (ha)
1	Đất trồng cây hằng năm	0	0
2	Đất trồng cây công nghiệp lâu năm	39,08	775,24
3	Đất rừng có độ che phủ <30%	-7,19	-416,25
4	Đất rừng có độ che phủ >30%	-265,19	-1281,20
5	Đất dân cư	-0,11	10,00
6	Đất chuyên dùng	-1,09	1,09
7	Đất nhà máy Alumin	7,95	28,46
8	Đất nhà máy đang khai khác	183,43	89,82
9	Đất mặt nước nhân tạo	37,17	18,09
10	Đất mặt nước tự nhiên	8,80	617,19
11	Đất cây bụi, cỏ	0	170,48
12	Đất khác	-120,45	0,24



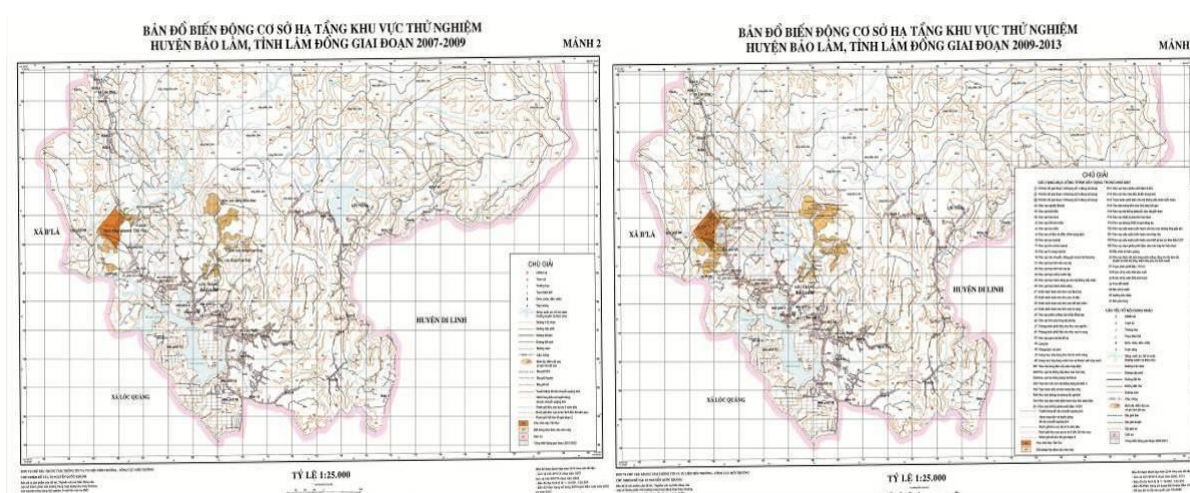
Hình 11. Kết quả thành lập bản đồ biến động lớp phủ khu vực khai thác bauxite Tân Rai.

Bảng 5. Diện tích các loại đất cơ sở hạ tầng khu vực 3 xã trong dự án khai thác bauxite Tân Rai.

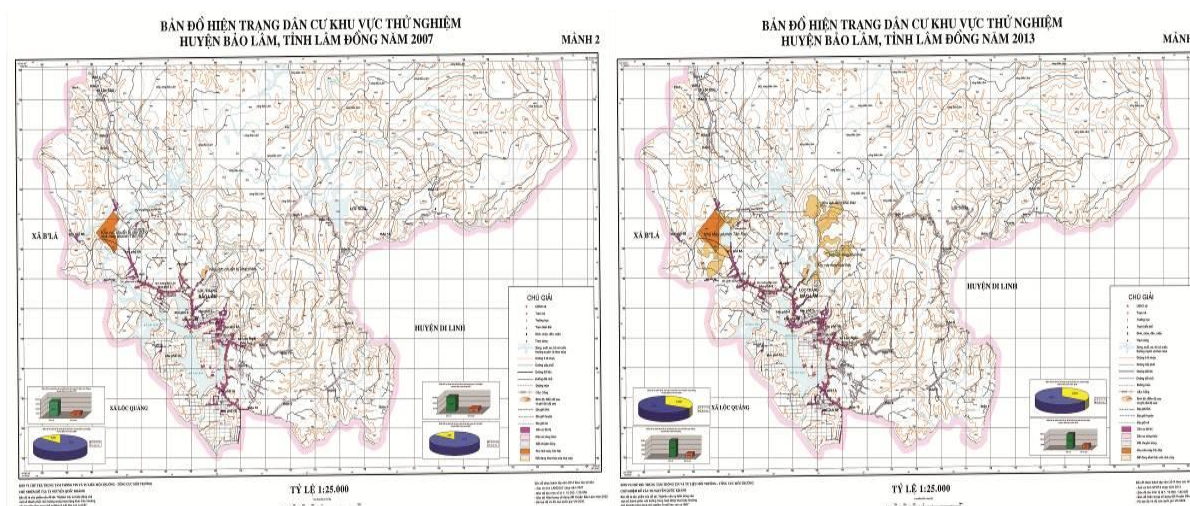
STT	Loại đất	Diện tích(ha) năm 2007	Diện tích (ha) năm 2009	Diện tích (ha) năm 2013
1	Đất chuyên dùng	113,69	112,6	143,60
2	Đất dân cư	399,47	399,36	409,36
3	Đất nhà máy Alumin	272,8	322,81	938,37
4	Đất nhà máy đang khai khác	6,41	189,84	279,66



Hình 12. Bản đồ hiện trạng cơ sở hạ tầng.



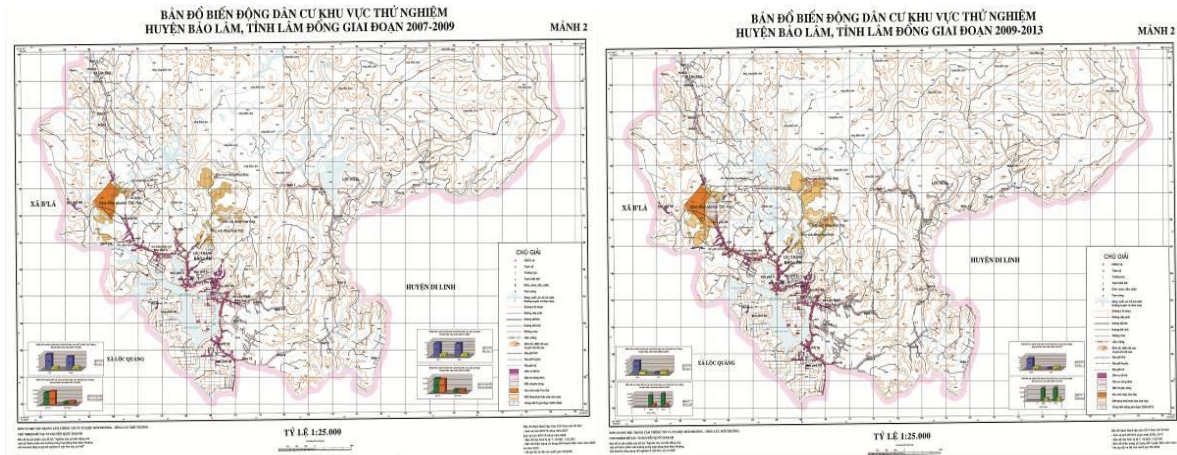
Hình 13. Kết quả thành lập bản đồ biến động cơ sở hạ tầng khu vực khai thác bauxite Tân Rai.



Hình 14. Bản đồ hiện trạng dân cư.

Bảng 6. Diện tích các loại đất dân cư khu vực 3 xã trong dự án khai thác bauxite Tân Rai.

STT	Loại đất	Diện tích (ha) năm		Diện tích (ha) năm 2013
		2007	2009	
1	Dân cư đô thị	170,14	199,68	178,91
2	Dân cư nông thôn	199,68	227,77	232,8



Hình 15. Kết quả thành lập bản đồ biến động dân cư khu vực khai thác bauxite Tân Rai.

Bảng 7. So sánh diện tích giám sát bằng ảnh vệ tinh và diện tích thực tế theo báo cáo tổng hợp tình hình sử dụng đất của nhà máy Alumin Tân Rai.

STT	Tên đối tượng	Diện tích theo thực tế	Diện tích giám sát bằng ảnh viễn thám			Ghi chú
			Năm 2007	Năm 2009	Năm 2013	
1	Mặt bằng Nhà máy ALUMIN và mặt bằng mở rộng	53,87	64,19	72,14	72,14	Cho thuê 30 năm và trả tiền hàng năm
	Diện tích các Mỏ Đất	46,27	0	0	28,46	
2	Mới sử dụng mỏ đất số 01 và 03	22,35	0	0	28,46	Cho thuê 30 năm và trả tiền hàng năm
	Lấy đất đắp đập Cai Bàng, văn phòng htu và nhà ở CB.CNV	34,95	0	0	33,89	
3	Đã cắm mốc giới	21,85				
	Hồ bùn đỏ Giai đoạn 01 K1+K2	27,50	0	0	28,46	Cho thuê 30 năm và trả tiền hàng năm
	Hồ bùn đỏ Giai đoạn 01 K3	15,00	0	0	0	Đang làm
4	Hồ bùn đỏ giai đoạn 02	72,92	0	0	0	Chưa làm
	Khai thác quặng 5 năm đầu	464,00	6,41	189,84	279,66	Được cấp phép 1619,5 ha 5 năm đầu 464 ha

Theo bảng trên ta có thể thấy, về cơ bản số liệu giám sát bằng ảnh vệ tinh trùng khớp với số liệu báo cáo của nhà máy, sai số dưới 10%. Như vậy kết quả giám sát bằng ảnh vệ tinh là hoàn toàn chính xác và có tính khả thi khi thực hiện.

4. Kết luận

1. Việc nghiên cứu cơ sở khoa học kết hợp ứng dụng ảnh viễn thám quang học Landsat, VNREDSat-1 và GIS trong việc theo dõi sự biến động của một số thành phần môi trường (lớp phủ mặt đất, cơ sở hạ tầng, lớp phủ rừng) trong hoạt động khai thác khoáng sản bauxite là rất quan trọng và cần thiết. Trong thời gian tới tư liệu ảnh vệ tinh VNREDSat-1 của Việt nam là tư liệu chính, chủ yếu được sử dụng theo dõi sự biến động của một số thành phần môi trường (lớp phủ mặt đất, cơ sở hạ tầng). Trong giai đoạn hiện nay, cùng với sự phát triển của công nghệ thông tin, công nghệ GIS, công nghệ viễn thám ngày càng hiện đại và mang nhiều ứng dụng hơn. Việc thu nhận và xử lý tư liệu viễn thám đã được thực hiện tại Cục Viễn thám Quốc gia, Bộ Tài nguyên và Môi trường cung cấp cho người sử dụng nguồn tư liệu chủ động

và phong phú hơn, đây là những tư liệu ảnh vệ tinh mới nhất dạng số, có độ phân giải cao nên có thể áp dụng các công nghệ xử lý ảnh như tăng cường độ phân giải, chiết xuất các thông tin chuyên đề...giúp cho việc theo dõi sự biến động của một số thành phần môi trường (lớp phủ mặt đất, cơ sở hạ tầng) thực hiện một cách nhanh chóng, chính xác, khách quan, khoa học và hiệu quả.

2. Đã xây dựng được quy trình theo dõi sự biến động của một số thành phần môi trường (lớp phủ mặt đất, dân cư, cơ sở hạ tầng, rừng) do hoạt động khai thác khoáng sản bauxite sử dụng GIS và ảnh viễn thám (Landsat, VNRedsat-1) nhằm phục vụ xây dựng báo cáo Quốc hội và các cơ quan của chính phủ về sự biến động môi trường do hoạt động khai thác khoáng sản bauxite thường kỳ. Xây dựng quy định khung báo cáo theo dõi sự biến động của một số thành phần môi trường (lớp phủ mặt đất, cơ sở hạ tầng, lớp phủ thực vật rừng) do hoạt động khai thác khoáng sản bauxite sử dụng GIS và ảnh viễn thám (Landsat, VNRedsat-1).

3. Trong quá trình thực hiện nghiên cứu, nhóm thực hiện đã xây dựng và đề xuất Tổng cục Môi trường phê duyệt nhiệm vụ giám sát hoạt động khai thác khoáng sản Bauxite ở các tỉnh Đắk Nông, Lâm Đồng trên cơ sở ứng dụng viễn thám và GIS [19] nhằm phục vụ xây dựng báo cáo Quốc hội và các cơ quan của chính phủ về sự biến động môi trường do hoạt động khai thác khoáng sản bauxite thường kỳ đồng thời giúp cho việc giám sát công tác cải tạo, phục hồi môi trường trong hoạt động khai thác khoáng sản thực hiện quy định của Chính phủ [20–21].

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của đề tài: “Nghiên cứu sự biến động của một số thành phần môi trường trong hoạt động khai thác khoáng sản bauxite (Ứng dụng thử nghiệm tại 1 khu vực cụ thể)”, Mã số: TNMT.04.39 do TS. Nguyễn Quốc Khánh là chủ nhiệm đề tài. Tác giả trân trọng cảm ơn các ý kiến đóng góp quý báu của các phản biện, góp phần giúp nhóm tác giả hoàn thiện công trình công bố của mình.

Lời cam đoan: 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. Đề tài NCKH cấp Nhà nước (mã số 46-A-06-01): “Sử dụng tư liệu viễn thám để thành lập bản đồ cho mục đích khai thác lãnh thổ và bảo vệ thiên nhiên”.
2. Thụy, T.V. Sử dụng kỹ thuật, tư liệu và phương pháp viễn thám để định loại và phân tích cấu trúc thảm thực vật nhiệt đới (lấy ví dụ vườn quốc gia KANHA bang Pradesh India). Tuyển tập các công trình nghiên cứu Địa lý. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà nội, 1994, tr. 398–405.
3. Dương, N.Đ. Nghiên cứu môi trường bằng kỹ thuật Viễn thám và hệ thống tin Địa lý. Tuyển tập các báo cáo khoa học tại Hội nghị môi trường toàn quốc năm 1998. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà nội, 1999, tr. 1199–1210.
4. Dự án sản xuất thử nghiệm “Nghiên cứu xây dựng bản đồ phân bố các vùng nhạy cảm môi trường” (Quyết định phê duyệt số 1657/QĐ - BTNMT ngày 29/10/2003).
5. Cự, P.V. và cs. Sử dụng tư liệu viễn thám đa thời gian để đánh giá biến động chỉ số thực vật của lớp phủ hiện trạng và quan hệ với biến đổi sử dụng đất tại tỉnh Thái Bình. Tuyển tập các công trình khoa học, Hội nghị khoa học Địa lý - Địa chính. Hà Nội, 2006, tr. 399–407.
6. Lâm, N.X. và cs. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ “Nghiên cứu ứng dụng phương pháp viễn thám và hệ thống thông tin địa lý phục vụ mục đích giám sát một số thành phần tài nguyên, môi trường tại các khu vực xây dựng công trình thủy điện”, 2006.

7. Thạch, N.N.; Trâm, N.B.; Thu, T.H. Áp dụng Viễn thám và GIS nghiên cứu đánh giá biến động môi trường tỉnh Ninh Thuận. Tuyển tập báo cáo khoa học tại Hội nghị khoa học: Ứng dụng Viễn thám trong nhiên và quản lý cứu môi trường ở Việt Nam. Bộ KHCN&MT quản lý, 1999.
8. Khánh, N.Q. Nghiên cứu sự biến động của một số thành phần môi trường trong hoạt động khai thác bôxít. *Tạp chí Môi trường* số 10/2013, tr. 31–33.
9. Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium, Greenbelt, 10-14 December 1973, SP-351, 309–317.
10. Kriegler, F.; Malila, W.; Nalepka, R.; Richardson, W. Preprocessing transformations and their effect on multispectral recognition. Proceedings of the 6th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, MI: University of Michigan, 1969, pp. 97–131.
11. Crippen, R.E. Calculating the vegetation index faster. *Remote Sens. Environ.* **1990**, *34*, 71–73.
12. Richardson, A.; Everitt, J. Using Spectral Vegetation Indices to Estimate Rangeland Productivity. *Geocarto Int.* **1992**, *1*, 63–77.
13. Richardson, A.J.; Wiegand, C. Distinguishing Vegetation from Soil Background Information. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* **1977**, *43*, 1541–1552.
14. Clevers, J.G. The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture. *Remote Sens. Environ.* **1988**, *24*, 53–69.
15. Thông tư số 37/2011/TT-BTNMT ngày 14 tháng 10 năm 2011 của Bộ Tài nguyên và Môi trường quy định về định mức kinh tế - kỹ thuật thành lập bản đồ chuyên đề tỷ lệ 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000, 1:250.000 bằng tư liệu ảnh vệ tinh.
16. Quyết định số 70/2000/QĐ-ĐC ngày 25 tháng 2 năm 2000 của Tổng cục trưởng Tổng cục Địa chính quy định kỹ thuật số hóa bản đồ địa hình tỉ lệ 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000 và 1:100 000.
17. Thông tư 13/2011/TT-BTNMT ngày 15 tháng 4 năm 2011 của Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường quy định về ký hiệu bản đồ hiện trạng sử dụng đất phục vụ quy hoạch sử dụng đất và bản đồ quy hoạch sử dụng đất tỷ lệ 1:1000; 1:2000; 1:5000; 1:10 000; 1:25 000; 1:50 000; 1:100 000; 1:250 000 và 1:1 000 000.
18. Thông tư số 26/2014/TT-BTNMT ngày 28 tháng 05 năm 2014 của Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường quy định quy trình và định mức kinh tế - kỹ thuật xây dựng CSDL tài nguyên và môi trường.
19. Quyết định số 356/QĐ-TCMT ngày 07 tháng 05 năm 2014 của Tổng cục trưởng Tổng cục Môi trường phê duyệt “Chương trình giám sát lớp phủ mặt đất và mặt nước khu vực dự án khai thác Bauxite ở các tỉnh Đắk Nông, Lâm Đồng trên cơ sở ứng dụng viễn thám và GIS”.
20. Quyết định số 18/2013/QĐ-TTg ngày 29 tháng 3 năm 2013 của Thủ tướng Chính phủ về cải tạo, phục hồi môi trường và ký quỹ cải tạo, phục hồi môi trường đối với hoạt động khai thác khoáng sản.
21. Thông tư số 38/2015/TT-BTNMT ngày 30 tháng 6 năm 2015 của Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường về cải tạo, phục hồi môi trường trong hoạt động khai thác khoáng sản.

Applying remote sensing and GIS systems to monitor the fluctuations of some environmental components due to bauxite mining activities

Nguyen Quoc Khanh^{1*}

¹ Vietnam institute of meteorology, Hydrology and Climate change; khanhrsc@gmail.com

Abstract: The mining of bauxite in Vietnam will affect the environment and affect human health. Accurate consideration and assessment is required to ensure that bauxite mining benefits the economy without having an impact on the environment. In recent years, bauxite mining and alumina production can cause many negative impacts on the environment, especially pollution of soil, water, air, ecological environment and degradation of biodiversity. biological form. Therefore, the study and application of geographical information systems (GIS) and remote sensing data (such as Landsat, Vinaredsat-1 and Palsar) to monitor the fluctuations of some environmental components due to mining activities. bauxite production to ensure safety for the environment and biodiversity is essential. The results obtained from the above monitoring activities will help environmental researchers and managers to assess the current status of the environment in the process of bauxite mining, thereby offering protection and protection measures. more effective environmental restoration in the current period.

Keywords: GIS; Remote sensing data; Bauxite.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu đánh giá sự suy giảm năng suất lúa do bất lợi về nguồn nước tỉnh An Giang

Phan Thị Thùy Dương¹, Nguyễn Thị Tuyết¹, Trần Thị Thu Thảo¹, Vũ Thị Vân Anh¹,
Cần Thu Văn^{1*}

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh;
pttduong@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ctvan@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-983738347

Ban Biên tập nhận bài: 18/5/2023; Ngày phản biện xong: 23/6/2023; Ngày đăng bài:
25/7/2023

Tóm tắt: Các tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) như nước biển dâng, lũ lụt, hạn hán, xâm nhập mặn, thời tiết cực đoan... đang hiện hữu ngày càng nhiều hơn, rõ rệt hơn, gây thiệt hại đáng kể đến kinh tế - xã hội Việt Nam, đặc biệt là ngành trồng lúa. Có nhiều yếu tố tác động làm ảnh hưởng đến năng suất lúa như: các yếu tố khí tượng, thủy văn, xâm nhập mặn, canh tác, sâu bệnh, ... Tuy nhiên, trong nghiên cứu này chỉ đánh giá sự thay đổi năng suất lúa do tác động của sự thay nguồn nước (về lượng) ở tỉnh An Giang. Nghiên cứu sử dụng mô hình Cropwat tính toán năng suất lúa ứng với sự thay đổi nguồn nước trong các trường hợp lũ lớn, lũ nhỏ và lũ trung bình. Kết quả cho thấy đối với vụ Đông Xuân và vụ Mùa, trong trường hợp lũ nhỏ, năng suất tính toán đạt tỷ lệ thấp hơn so với trường hợp lũ trung bình và lớn. Tổng thiệt hại trong sản xuất vụ Đông Xuân khi có lũ nhỏ cao hơn 2 trường hợp còn lại. Đối với vụ Hè Thu, năng suất tính toán đạt tỷ lệ cao nhất trong trường hợp lũ trung bình, thiệt hại do bất lợi về nguồn nước khi có lũ trung bình ít hơn 2 trường hợp lũ nhỏ và lớn. Cụ thể, trong trường hợp lũ nhỏ, năng suất lúa vụ Đông Xuân giảm 3,2%, vụ Hè Thu giảm 6,1% và vụ Mùa giảm 1,5%. Trong trường hợp lũ trung bình và lớn, năng suất lúa vụ Đông Xuân giảm 3,1%, vụ Hè Thu giảm 5,7%. Năng suất lúa vụ Mùa trong trường hợp lũ lớn giảm 1% và giảm 1,3% trong trường hợp lũ trung bình.

Từ khóa: Cropwat; Lượng giá; Thiệt hại; Năng suất lúa.

1. Mở đầu

An Giang là một trong bốn tỉnh (An Giang, Kiên Giang, Cần Thơ và Cà Mau) thuộc vùng kinh tế trọng điểm của đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), đã và đang chịu nhiều ảnh hưởng do BĐKH. Điều kiện tự nhiên nơi đây là vùng ngập lũ trong mùa mưa và nguồn nước sinh hoạt, tưới tiêu quanh năm luôn dồi dào. Bên cạnh đó, An Giang là một trong những địa phương có sản lượng lúa lớn nhất của ĐBSCL, với diện tích canh tác lúa mỗi năm khoảng 600.000 ha [1]. Đây là địa bàn đã có đóng góp tích cực vào thành tích chung của cả vùng ĐBSCL. Sau hơn 10 năm (2010-2020), diện tích gieo trồng lúa hàng năm của tỉnh An Giang đã tăng 47.974 ha, từ 589.254 ha (2010) lên 637.228 ha (năm 2020 - trong đó hơn 70% diện tích gieo trồng được sử dụng các loại giống lúa chất lượng cao). Năng suất lúa giai đoạn 2014-2020 trung bình đạt 62,27 tạ/ha [2-3]. Trong những năm gần đây, nhiều quy luật thời tiết thay đổi dẫn đến một số nơi xuất hiện khô hạn và nắng nóng, gây nên tình trạng thiếu nước vào mùa khô và ảnh hưởng đến sản xuất nói chung [4-6].

Có nhiều nghiên cứu về lượng giá liên quan đến tài nguyên nước như đánh giá lợi ích phát triển của rạn san hô dựa vào phương pháp đánh giá ngẫu nhiên hay nghiên cứu định

giá nguồn tài nguyên nước có xét đến những yếu tố ảnh hưởng của môi trường [7–8]. Đối với cây lúa, sự biến động của năng suất và sản lượng có sự tham gia rất lớn của các yếu tố khí tượng thủy văn [9]. Vấn đề đặt ra là các bất lợi về nguồn nước như độ sâu ngập quá mức (mùa lũ) hay thiếu nước (mùa kiệt) làm ảnh hưởng (thiệt hại) như thế nào đến giá trị kinh tế của ngành sản xuất lúa. Để ước tính và lượng giá sự ảnh hưởng của các yếu tố khí tượng thủy văn lên năng suất cây trồng nói chung và cây lúa nói riêng, tổ chức lương thực thế giới (FAO) đã phát triển mô hình Cropwat năm 1990, dựa trên điều kiện nhiệt độ, lượng mưa, số giờ nắng, độ ẩm, tốc độ gió.

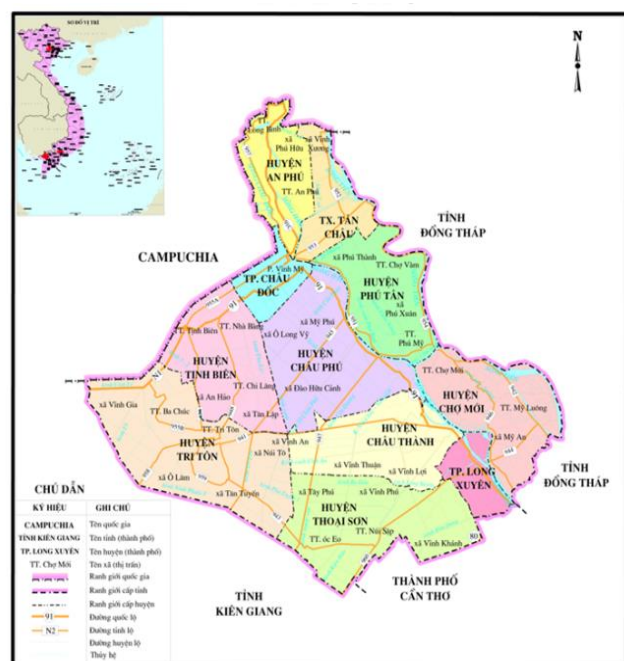
Trong giai đoạn tiếp theo, dự báo vùng ĐBSCL, trong đó, tỉnh An Giang sẽ gặp phải nhiều thách thức, trong đó vấn đề BĐKH và khả năng hạn hán, xâm nhập mặn gia tăng do nước biển dâng và sự thiếu hụt nguồn nước... Cây lúa lại đóng vai trò rất quan trọng trong ngành nông nghiệp của vùng. Ở Việt Nam, trong khoảng 50 năm qua, nhiệt độ trung bình đã tăng khoảng 2-3 độ C và mực nước biển đã dâng thêm khoảng 20 cm [10]. Ước tính, đến cuối thế kỷ XXI, so với trung bình thời kỳ 1980-2005, nhiệt độ trung bình ở Việt Nam có thể tăng thêm 2,3 độ C, lượng mưa hàng năm tăng khoảng 5% và mực nước biển có thể dâng thêm 75 cm. Nhiệt độ tăng, hạn hán sẽ ảnh hưởng đến sự phân bố của cây trồng, đặc biệt làm giảm năng suất. Cụ thể là năng suất lúa của vụ Xuân có xu hướng giảm mạnh hơn so với năng suất lúa của vụ mùa ở Nam Bộ [11]. Có nhiều yếu tố tác động làm ảnh hưởng đến năng suất lúa như: các yếu tố khí tượng, thủy văn, xâm nhập mặn, canh tác, sâu bệnh,... Tuy nhiên, trong nghiên cứu này chỉ đánh giá sự thay đổi năng suất lúa do tác động của sự thay đổi nguồn nước trong các trường hợp lũ lớn, lũ nhỏ, lũ trung bình để làm rõ hơn ảnh hưởng của nguồn nước đến năng suất lúa tại An Giang.

Sự thay đổi của nguồn nước trong vùng có thể ảnh hưởng đến năng suất cây trồng nói chung và năng suất lúa nói riêng [4, 12–13]. Những giá trị thiệt hại do thiên tai cũng đã được định lượng, tuy nhiên cơ bản là ở mức điều tra thực tế. Hướng nghiên cứu và đánh giá thiệt hại trực tiếp của sản xuất từ việc thừa/thiếu (bất lợi) do một yếu tố tự nhiên nào đó còn là vấn đề mới và chưa có phương pháp cụ thể và hoàn chỉnh. Vì vậy, nghiên cứu áp dụng mô hình Cropwat tính nhu cầu dùng nước và tính năng suất lúa nhằm đánh giá ảnh hưởng của nguồn nước lên năng suất lúa tỉnh An Giang thông qua sự thay đổi lượng nước trong các trường hợp lũ lớn, nhỏ, trung bình và từ đó tính toán lượng giá thiệt hại do sự bất lợi về nguồn nước. Kết quả nghiên cứu này giúp đưa ra những thông tin hữu ích cho các nhà quản lý trong hoạch định chính sách và chiến lược phát triển sản xuất nông nghiệp trong tương lai.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

An Giang là tỉnh ở miền Tây Nam Bộ, thuộc vùng ĐBSCL, một phần nằm trong vùng Tứ giác Long Xuyên, là nơi đầu tiên dòng Mê Kông chảy vào địa phận Việt Nam (được tách thành 2 nhánh sông Tiền và sông Hậu). An Giang có hệ thống sông rạch chằng chịt, có nguồn nước ngọt quanh năm thuận lợi cho cho việc phát triển sản xuất nông nghiệp, đặc biệt là trồng lúa nước. Hằng năm, trùng vào mùa mưa, An Giang đón nhận nước lũ và hình thành “mùa nước nổi”, trên địa bàn tỉnh có khoảng 70% diện tích tự nhiên bị ngập lũ (khi chưa có đê bao) với mức nước phổ biến từ 1-2,5 m, thời gian

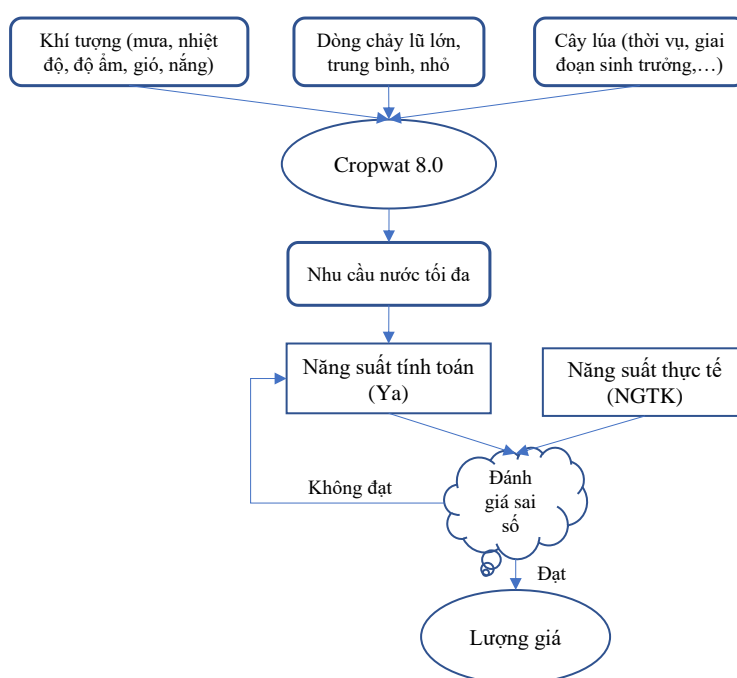


Hình 1. Khu vực nghiên cứu tỉnh An Giang [14].

ngập lũ từ 2,5 cho tới 5 tháng, thường là 15/8 tới 20/12. Tuy nhiên, do đã được đầu tư hệ thống đê bao khép kín nên hiện nay chỉ ngập các khu vực chưa xây dựng hệ thống đê bao [14]. An Giang là tỉnh trọng điểm trong sản xuất nông nghiệp, có sản lượng lúa lớn nhất vùng ĐBSCL, với sản lượng đạt trên 3,5 triệu tấn lúa/năm với nhiều vùng nguyên liệu lúa chuyên canh quy mô lớn ở Phú Tân, Châu Phú, TP. Long Xuyên,...

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này sử dụng phần mềm Cropwat 8.0, là phần mềm tính chế độ tưới tiên tiến nhất ra đời vào năm 1992, được Tổ chức Nông lương Thế giới (FAO) xây dựng và khuyến cáo sử dụng trên toàn thế giới để tính toán nhu cầu nước cho cây trồng và lập kế hoạch tưới dựa trên dữ liệu được cung cấp bởi người sử dụng [15–17].



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

Theo [16], phản ứng của năng suất cây trồng đối với lượng nước tưới được định lượng bằng hệ số giảm năng suất cây trồng (K_y), liên quan đến việc giảm năng suất tương đối ($1 - Y_a/Y_m$) đối với thâm hụt nhu cầu nước tương đối ($1 - ET_a/ET_c$). Do đó, các giá trị K_y đối với hầu hết các loại cây trồng đều dựa trên giả định rằng mối quan hệ giữa năng suất tương đối (Y_a/Y_m) và nhu cầu nước tương đối (ET_a/ET_c) là tuyến tính và có giá trị đối với thâm hụt nước lên tới khoảng 50% hoặc $1 - ET_a/ET_c = 0,5$.

Theo [18], hệ số giảm năng suất cây trồng có nguồn gốc thực nghiệm (K_y) cho các giai đoạn tăng trưởng riêng lẻ (tức là thành lập, thực vật, ra hoa, hình thành sản lượng, hoặc giai đoạn chín) cũng như trong tổng thời gian sinh trưởng.

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_c}\right) \quad (1)$$

Trong đó Y_a là năng suất thực tế (tương ứng với ET_a) [kg/ha]; Y_m là năng suất lý thuyết tối đa (tương ứng với ET_c) [kg/ha]; ET_a là nhu cầu sử dụng nước thực tế (mm/day) cho từng loại cây trồng; ET_c là nhu cầu sử dụng nước cây tiềm năng cho từng loại cây trồng; K_y là hệ số phản ứng sản lượng đối với stress nước.

Để có được sản lượng thực tế, nhân tỷ lệ sản lượng tương đối theo mùa với sản lượng lý thuyết tối đa:

$$Y_a = Y_m \left(1 - K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_c}\right)\right) \quad (2)$$

Khi đó, lượng giá năng suất cây trồng và thủy sản được tính bởi công thức [4]:

$$\text{Lượng giá sản lượng cây trồng/thủy sản} = Y_a \times \text{Diện tích} \times \text{Giá} \quad (3)$$

Trong đó lượng giá sản lượng cây trồng/thủy sản [đồng]; Y_a là sản lượng thực tế [kg/ha]; Diện tích nuôi trồng [ha]; Giá thị trường loại cây trồng/thủy sản trên một đơn vị diện tích [đồng/kg].

2.3. Cơ sở dữ liệu

2.3.1. Số liệu khí tượng thủy văn

Số liệu khí tượng từ năm 1978 đến năm 2020 do Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh An Giang (trạm Châu Đốc) cung cấp đã qua chỉnh lý, đủ độ tin cậy, là cơ sở trong tính toán lượng giá năng suất lúa, bao gồm lượng mưa, nhiệt độ, số giờ nắng, độ ẩm, tốc độ gió.

Số liệu mô phỏng dòng chảy lũ lớn (năm 2011), lũ trung bình (năm 2009), lũ nhỏ (năm 2010) tại các sông, kênh trên địa bàn tỉnh An Giang trong thời gian từ 1/VI đến 31/XII [14].

2.3.2. Số liệu kinh tế - xã hội

Số liệu về điều kiện tự nhiên, kinh tế xã hội, sản xuất lúa của tỉnh An Giang các năm 2018, 2019, 2020 do Tổng cục Thống kê, Bộ Kế hoạch và đầu tư phát hành [2].

2.3.3. Tài liệu liên quan đến cây lúa

Thời vụ của lúa trong vùng theo các giai đoạn phát triển và hệ số K_c của từng thời kỳ sinh trưởng của cây lúa như Bảng 1 và Bảng 2.

Bảng 1. Thời vụ lúa tại vùng nghiên cứu [19–20].

TT	Các vụ lúa	Chuẩn bị đất (I)	Giai đoạn ban đầu (II)	Giai đoạn phát triển (III)	Giai đoạn thu hoạch (IV)	Thời gian gieo trồng	Thời gian thu hoạch	Số ngày
1	Lúa Đông Xuân	10	10	60	25	15/XII	30/III	105
2	Lúa Hè Thu	10	10	65	31	15/IV	06/VIII	111
3	Lúa Mùa	10	10	60	20	20/VIII	30/XI	100

Bảng 2. Hệ số K_c của cây lúa tại khu vực nghiên cứu [19–21].

Thời đoạn cây trồng	Chuẩn bị đất (I)	Giai đoạn ban đầu (II)	Giai đoạn phát triển (III)	Giai đoạn thu hoạch (IV)
Lúa Đông Xuân	0,30	0,54	1,05	0,81
Lúa Hè Thu	1,03	1,19	1,74	1,12
Lúa Mùa	1,04	1,17	1,68	1,14

3. Kết quả

3.1. Kết quả tính nhu cầu dùng nước

Xét theo từng trường hợp có tính đến dòng chảy - kết quả mô phỏng dòng chảy lũ từ tháng VI đến tháng XII của 3 trường hợp lũ nhỏ, lũ trung bình và lũ lớn (lớp dòng chảy), ngoài lượng mưa (không thay đổi) còn có lớp dòng chảy mô phỏng trên toàn mặt ruộng, sau khi trừ đi lượng tổn thất thì lượng nước sử dụng tối đa của cây lúa chính là kết quả nhu cầu nước được tính ra từ mô hình Cropwat 8.0. Kết quả cho thấy:

- Vụ Đông Xuân (15/XII - 30/III): lớp dòng chảy mô phỏng từ tháng VI đến tháng XII không ảnh hưởng nhiều đến vụ Đông Xuân (chỉ ảnh hưởng đến giai đoạn chuẩn bị đất và giai đoạn ban đầu khi gieo sạ), do đó, lượng nước sử dụng tối đa của lúa Đông Xuân phụ thuộc lớn vào lượng mưa. Tuy nhiên, vụ Đông Xuân lại rơi vào mùa khô (từ tháng XII đến tháng IV năm sau). Nhu cầu sử dụng nước của lúa vụ Đông Xuân ít trong trường hợp lũ nhỏ và nhiều hơn trong trường hợp lũ trung bình và lớn (Bảng 3).

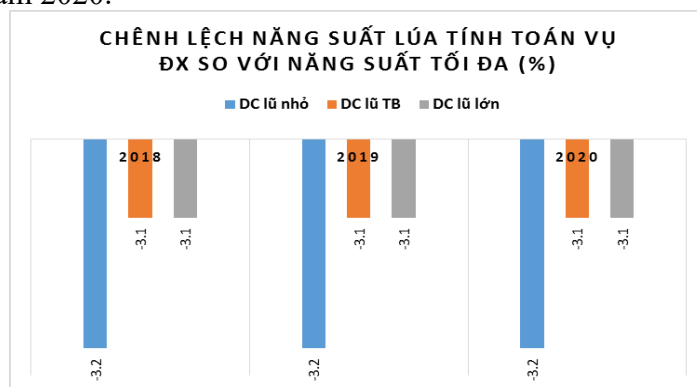
Tháng	Tuần	Giai đoạn	2018			2019			2020		
			Lũ nhỏ	Lũ TB	Lũ lớn	Lũ nhỏ	Lũ TB	Lũ lớn	Lũ nhỏ	Lũ TB	Lũ lớn
VIII	3	Ban đầu	203,8	205,5	205,1	204	205,5	205,1	203,7	205,5	205,1
IX	1	Phát triển	9,8	8,5	7,8	9,8	8,5	7,9	9,8	8,5	7,8
IX	2	Phát triển	14,6	14,3	13,4	14,6	14,3	13,4	14,6	14,3	13,4
IX	3	Phát triển	20,3	19,9	19,1	20,3	19,9	19,1	20,3	19,9	19,1
X	1	Phát triển	23,6	23	22,5	23,6	23	22,5	23,6	23	22,5
X	2	Phát triển	21,5	20,9	20,6	21,6	20,9	20,6	21,5	20,9	20,6
X	3	Phát triển	32,8	32	31,2	32,8	32	31,2	32,8	32	31,1
XI	1	Thu hoạch	28,1	27,1	25,5	28,1	27,1	25,6	28,1	27,1	25,5
XI	2	Thu hoạch	20,6	19,5	17,4	20,6	19,5	17,5	20,6	19,4	17,4
XI	3	Thu hoạch	13,3	12,7	11,7	13,3	12,7	11,7	13,3	12,7	11,6
			486,8	481,7	472,8	487,2	482	473	486,6	481,6	472,5

3.2. Kết quả tính năng suất lúa và lượng giá thiệt hại năng suất lúa

Nghiên cứu đã tính toán năng suất lúa của 3 vụ Đông Xuân, Hè Thu và vụ Mùa trong trường hợp lũ nhỏ cho 3 năm 2018, 2019 và 2020 và kiểm định bằng cách tính sai số giữa năng suất tính toán và năng suất thực đo (theo Niên giám thống kê An Giang). Với kết quả sai số đạt trong khoảng $\pm 10\%$ thì kết quả năng suất lúa mô phỏng đạt yêu cầu và các thông số được sử dụng tính toán cho trường hợp lũ trung bình và lũ lớn.

Kết quả tính toán năng suất lúa 3 vụ Đông Xuân, Hè Thu và vụ Mùa trong 3 trường hợp lũ nhỏ, lũ trung bình, lũ lớn trong 3 năm 2018, 2019, 2020 như sau:

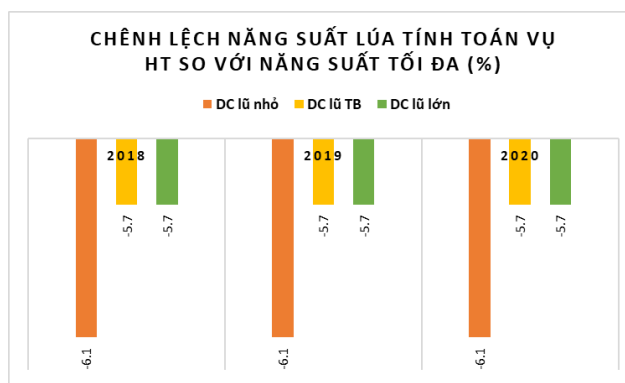
Trong vụ lúa Đông Xuân, năng suất lúa tính toán các năm 2018, 2019 và 2020 không có sự chênh lệch nhiều. Xét trong trường hợp lũ nhỏ cho thấy, năng suất lúa tính toán cả 3 năm đều giảm 3,2% so với năng suất tối đa (tương đương giảm 254,3 kg/ha vào năm 2018, 254,5 kg/ha vào năm 2019 và 254,1 kg/ha vào năm 2020). Vụ Đông Xuân trùng vào giai đoạn mùa khô, lượng mưa ít, nhu cầu nước cho lúa chịu ảnh hưởng lớn bởi lớp dòng chảy, chính vì vậy khi lớp dòng chảy càng lớn thì năng suất tính toán càng đạt tới năng suất tối đa. Trong trường hợp lũ trung bình, năng suất tính toán vụ Đông Xuân giảm trung bình 3,1% mỗi năm (tương đương giảm 249,6 kg/ha vào năm 2018, 2019 và giảm 249,4 kg/ha vào năm 2020). Trong trường hợp lũ lớn, năng suất tính toán năng suất tính toán vụ Đông Xuân giảm trung bình 3,1% mỗi năm, tương đương giảm 229,1 kg/ha năm 2018, giảm 233,8 kg/ha năm 2019 và giảm 230 kg/ha năm 2020.



Hình 3. Chênh lệch năng suất lúa tính toán vụ Đông Xuân so với năng suất tối đa (%).

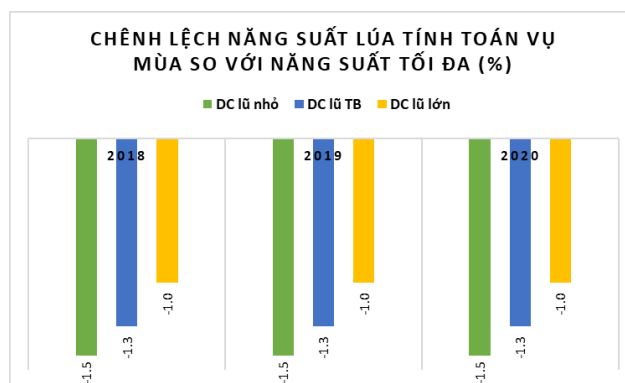
Vụ Hè Thu trùng với mùa mưa, lượng mưa nhiều, cộng với lớp dòng chảy đến càng lớn thì nhu cầu sử dụng nước càng ít. Năng suất lúa đạt được theo tính toán mỗi năm trong trường hợp lũ nhỏ đạt trung bình 5632,1 kg/ha, giảm 6,1% so với năng suất tối đa (tương đương

367,9 kg/ha). Trong trường hợp lũ trung bình và lũ lớn, năng suất lúa tính toán giảm trung bình 5,7% mỗi năm so với năng suất tối đa, tương đương giảm 342,7 kg/ha trong trường hợp lũ trung bình và giảm 344,5 kg/ha trong trường hợp lũ lớn.



Hình 4. Chênh lệch năng suất lúa tính toán vụ Hè Thu so với năng suất tối đa (%).

Trong vụ Mùa: Trong trường hợp lũ nhỏ, năng suất tính toán vụ Mùa mỗi năm giảm 1,5% so với năng suất tối đa, tương đương giảm 55,9 kg/ha năm 2018, giảm 56,5 kg/ha năm 2019 và giảm 55,7 kg/ha năm 2020. Trong trường hợp lũ trung bình, năng suất lúa tính toán vụ Mùa đạt trung bình 98,7% so với năng suất tối đa, tương đương năm 2018 giảm 48,7 kg/ha, năm 2019 giảm 49,1 kg/ha và năm 2020 giảm 48,6 kg/ha. Trong trường hợp lũ lớn, năng suất lúa tính toán cao hơn hai trường hợp trên, tuy nhiên, trung bình năng suất giảm 1% so với năng suất tối đa, tương đương giảm 35,7 kg/ha năm 2018, 36 kg/ha năm 2019 và 35,2 kg/ha năm 2020.



Hình 5. Chênh lệch năng suất lúa tính toán vụ Mùa so với năng suất tối đa (%).

Từ kết quả mức thiệt hại năng suất lúa các vụ ở trên, lượng giá thiệt hại các vụ lúa được tính theo từng địa phương trong 3 trường hợp lũ lớn, trung bình và nhỏ và được tính theo công thức (3). Giá lúa được tính trung bình theo Niên giám thống kê trên của tất cả các giống lúa, như: lúa Jasmine, lúa IR 50404, lúa OM 9582, lúa Đài thơm 8, lúa OM 5451, lúa OM 6976, lúa OM 18, lúa Nàng Hoa 9, lúa Nhật, lúa Nàng Nhen. Giá lúa trung bình được tính là 6.200 đồng/kg. Diện tích trồng lúa các vụ Đông Xuân, Hè Thu và vụ Mùa của các địa phương năm 2018, 2019 và 2020 theo Niên giám thống kê.

Thiệt hại do giảm năng suất lúa tại các địa phương trong 3 năm cũng không chênh lệch nhiều. Các huyện Tri Tôn, Thoại Sơn, Châu Phú, Châu Thành, Phú Tân là những địa phương tập trung sản xuất lúa Đông Xuân và Hè Thu của tỉnh. Hai địa phương Tịnh Biên và Tri Tôn canh tác thêm vụ Mùa. Cụ thể, đối với vụ Đông Xuân và vụ Mùa, trong trường hợp lũ nhỏ, năng suất tính toán đạt tỷ lệ thấp hơn so với trường hợp lũ trung bình và lớn. Tổng thiệt hại trong sản xuất vụ Đông Xuân khi có lũ nhỏ cao hơn 2 trường hợp còn lại. Đối với vụ Hè Thu, năng suất tính toán đạt tỷ lệ cao nhất trong trường hợp lũ trung bình, thiệt hại do bất lợi về nguồn nước khi có lũ trung bình ít hơn 2 trường hợp lũ nhỏ và lớn.

4. Kết luận

Kết quả tính năng suất cây trồng và lượng giá thiệt hại năng suất cây trồng nhìn chung cho thấy, đối với vụ Đông Xuân và vụ Mùa, trong trường hợp lũ nhỏ, năng suất tính toán đạt tỷ lệ thấp hơn so với trường hợp lũ trung bình và lớn. Tổng thiệt hại trong sản xuất vụ Đông Xuân khi có lũ nhỏ cao hơn 2 trường hợp lũ trung bình và lũ lớn.

Đối với vụ Hè Thu, năng suất tính toán đạt tỷ lệ cao nhất trong trường hợp lũ trung bình, thiệt hại do bất lợi về nguồn nước khi có lũ trung bình ít hơn 2 trường hợp lũ nhỏ và lớn.

Nghiên cứu chỉ áp dụng tính thiệt hại năng suất lúa do sự bất lợi về nguồn nước về mặt số lượng nước, chưa xét đến chất lượng nước và ảnh hưởng của các yếu tố khác như canh tác, sâu bệnh...; đồng thời, kết quả nhu cầu nước để tính năng suất lúa là tính cho cả vụ, chưa xét theo từng giai đoạn sinh trưởng của cây lúa để đánh giá mức độ thừa thiếu nước của từng giai đoạn, vì vậy kết quả nghiên cứu chỉ đánh giá được thiệt hại năng suất lúa ở mức tổng quan. Trong tương lai, BĐKH - ngập lụt diễn biến ngày rõ rệt, đây cũng chính là yếu tố gây ảnh hưởng rất lớn đến năng suất lúa. Chính vì vậy, trong thời gian tới, cần có nghiên cứu sâu hơn về việc áp dụng phương pháp tính lượng giá thiệt hại năng suất lúa có xét đến sự ảnh hưởng của tất cả các yếu tố và tính toán trong thời gian dài hơn để có thể đánh giá được diễn biến, xu thế của việc sản xuất lúa.

Tài liệu tham khảo

1. UBND tỉnh An Giang. Kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội 5 năm 2021-2025 của tỉnh An Giang, 2020.
2. Niên giám thống kê tỉnh An Giang, Bộ Kế hoạch và đầu tư.
3. Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh An Giang. Quy hoạch chi tiết các vùng sản xuất lúa ứng dụng công nghệ cao tỉnh An Giang đến năm 2020 và tầm nhìn đến năm 2030, 2014.
4. Nghi, N.Q. Đánh giá sự tổn thương do biến đổi khí hậu tác động đến sinh kế của cộng đồng dân cư ven biển tỉnh Cà Mau. *Tap chí Khoa học và Lâm nghiệp* **2016**, 4, 133–141.
5. Phương, P.T.L. Xác lập cơ sở khoa học lượng giá kinh tế về tổn thương tài nguyên nước dưới tác động biến đổi khí hậu; thử nghiệm cho lúa, thủy sản và cây ăn trái tại vùng Tứ giác Long Xuyên. Đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường, TNMT.2018.02.12.
6. Olmstead, S.M. Climate change adaptation and water resource management: A review of the literature. *Energy Econ.* **2014**, 46, 500–509.
7. Spash, C.L. Assessing the benefits of improving coral reef biodiversity: The contingent valuation method. *Collected essays on the economics of coral reefs*, 2000, pp. 40–54.
8. Robinson, J. A review of techniques to value environmental resources in coastal zones, Coastal Zone Estuary and Waterway Management, University of Queensland, Australia, 2001, pp. 23.
9. Viêt, N.V.; Liêm, N.V.; Giang, N.T.; Sơn, N.H. Tác động của những biến động khí hậu đến năng suất lúa Đông Xuân ở tỉnh Sơn La và giải pháp ứng phó. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2002**, 504, 1–9.
10. Nguyen, T.M.H.; Tran, V.T.; Huynh, V.T.M.; Van, P.D.T. Evaluate the effects of hydro-meteorological factors and agricultural production on rice productivity in the mezzanine area in An Giang province. *J. Sci. Can Tho Univ.* **2012**, 23A, 165–173.
11. Van, C.T.; Duong, P.T.T.; Nga, D.T.; Ninh, L.V. Study on assessing the impact of climate change (temperature and rainfall) on rice yield in the Long Xuyen Quadrangle region (LXQR) - Vietnam. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 7, 65–73.
12. Ninh, L.V. Nghiên cứu lựa chọn phương án dự báo lũ cho các trạm thủy văn cơ bản tỉnh An Giang phục vụ công tác dự báo nghiệp vụ. Luận văn thạc sĩ, Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Đại học Quốc gia Hà Nội, Hà Nội, 2019.

13. Tú, V.H.; Cần, N.D.; Trang, N.T.; An, L.V. Tính tổn thương sinh kế nông hộ bị ảnh hưởng lũ tại tỉnh An Giang và các giải pháp ứng phó. *Tạp chí Khoa Học* **2012**, 22b, 294–303.
14. Văn, C.T. Nghiên cứu xây dựng phương pháp đánh giá rủi ro lũ lụt vùng ĐBSCL - Áp dụng thí điểm cho tỉnh An Giang. Đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường, mã số: TNMT.2016.05.15, 2018.
15. Hạnh, N.T.M.; Tỷ, T.V.; Minh, H.V.T.; Trí, P.Đ.; Trung, N.H. Ứng dụng mô hình Cropwat đánh giá năng suất lúa vùng đê bao lưng tỉnh An Giang trong điều kiện biến đổi của yếu tố khí tượng - thủy văn. *Tạp chí Khoa học* **2012**, 24a, 187–197.
16. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome. 1998, 300(9), pp. D05109.
17. Food and Agriculture Organization (FAO). Cropwat, a computer program of irrigation planning and management. Rome, Italy. *Irrig. Drain.* **1990**, pp. 46.
18. Doorenbos, J.; Kassam, A. Yield response to water. *Irrig. Drain.* **1979**, 33, 257.
19. TCVN 8641:2011. Công trình thủy lợi - Kỹ thuật tưới tiêu nước cho cây lương thực và cây thực phẩm, 2011.
20. Lee, S.K.; Dang, T.A. Predicting the water use-demand as a climate change adaptation strategy for rice planting crops in the Long Xuyen Quadrangle Delta. *Paddy Water Environ.* **2019**, 17(4), 561–570.
21. Hydraulic structure - Irrigation and drainage system - Method of irrigation coefficient determination for rice crop, 2012.

Research to evaluate the decrease in rice yield due to the disadvantage of water resources in An Giang province

Phan Thi Thuy Duong¹, Nguyen Thi Tuyet¹, Tran Thi Thu Thao¹, Vu Thi Van Anh¹, Can Thu Van^{1*}

¹ Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment;
 pttduong@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn

Abstract: The impacts of climate change such as sea level rise, floods, droughts, saltwater intrusion, extreme weather, etc. are more and more evident. It causes significant damage to the socio-economy of Vietnam, especially the rice farming industry. There are many influencing factors affecting rice yield such as: meteorological factors, hydrology, saline intrusion, farming, pests,... This study only the change in yield is assessed rice due to the impact of changes water resources (in quantity) in An Giang province. By using the Cropwat model to calculate rice yields with the change of water source in the cases of major floods, minor floods and moderate floods. The results show that, in the Winter-Spring crop and October crop, in the case of minor floods the calculation yield is lower than in the case of moderate floods and major floods. The total loss in production of the winter-spring crop when minor floods is higher than the other two cases. In the summer-autumn crop, the calculation yield reaches the highest rate in the case of moderate floods, damage due to adverse water resources when there is an moderate floods is less than 2 cases of minor floods and major floods. Specifically, in the case of minor floods, the yield of the winter-spring crop decreased by 3.2%, the summer-autumn crop decreased by 6.1% and the October crop decreased by 1.5%. In the case of moderate and major floods, the yield of winter-spring crop decreased by 3.1%, summer-autumn crop decreased by 5.7%. Seasonal rice yield in the case of major floods decreased by 1% and by 1.3% in the case of moderate floods.

Keywords: Cropwat; Evaluation; Damage; Rice yield.

Bài báo khoa học

Đánh giá tác động biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước lưu vực sông Trà Khúc, tỉnh Quảng Ngãi

Nguyễn Thị Bích Ngọc¹, Trần Văn Tinh^{1*}, Vũ Duy Hưng², Trần Thị Tú¹

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội; ntbngoc@hunre.edu.vn; tvtinh@hunre.edu.vn; ttuu.kttv@hunre.edu.vn

² Sinh viên Khoa Tài nguyên nước, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội; vuhung0378870943@gmail.com

*Tác giả liên hệ: tvtinh@hunre.edu.vn; Tel.: +84-977177618

Ban Biên tập nhận bài: 18/5/2023; Ngày phản biện xong: 3/7/2023; Ngày đăng bài: 25/7/2023

Tóm tắt: Biến đổi khí hậu (BĐKH) có tác động trực tiếp và gián tiếp đến tài nguyên nước. Bài báo này tập trung vào sử dụng mô hình MIKE NAM để đánh giá tác động của BĐKH đến tài nguyên nước lưu vực sông Trà Khúc, dựa trên 2 kịch bản biến đổi khí hậu RCP4.5 và RCP 8.5 của Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2020 thay thế cho năm 2016. Chuỗi số liệu từ năm 1986 đến năm 2004 được sử dụng để hiệu chỉnh và từ năm 2005 đến năm 2019 được sử dụng để kiểm định để xác định bộ thông số của mô hình. Kết quả bài báo đã thể hiện ở cả 2 kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 dòng chảy trung bình năm, dòng chảy trung bình mùa lũ, dòng chảy trung bình mùa cạn trên lưu vực sông Trà Khúc hầu hết có xu hướng tăng so với thời kỳ cơ sở. Chỉ riêng dòng chảy trung bình mùa cạn thời kỳ cuối thế kỷ trong kịch bản RCP8.5 giảm so với thời kỳ cơ sở. Tuy nhiên, thời kỳ kiệt nhất giữa mùa cạn thì dòng chảy có xu hướng giảm. Kết quả nghiên cứu có thể là một trong những cơ sở hỗ trợ cho công tác quản lý, định hướng khai thác, sử dụng và phát triển bền vững tài nguyên nước lưu vực sông Trà Khúc.

Từ khóa: Tài nguyên nước; Lưu vực sông Trà Khúc; Biến đổi khí hậu; MIKE NAM.

1. Mở đầu

BĐKH là một hiện tượng tự nhiên, biểu hiện của nó là sự thay đổi của hệ thống khí hậu, thời tiết trên quy mô toàn cầu [1]. BĐKH vẫn đang diễn biến hết sức phức tạp, trong tương lai trái đất sẽ phải đối mặt với nhiều vấn đề mà nó gây ra. Việt Nam là một trong những quốc gia đang phải chịu ảnh hưởng của BĐKH nghiêm trọng nhất [1]. Tài nguyên nước là một trong những lĩnh vực cần được trú trọng đặc biệt là tài nguyên nước mặt. Nhiệt độ gia tăng, mưa biến đổi bất thường đã và đang ảnh hưởng đến tài nguyên nước cả về số lượng và chế độ dòng chảy trên các sông [1]. Sự thay đổi dòng chảy của các lưu vực sông làm cho lũ lụt ngày càng trở nên tồi tệ và hạn hán ngày càng khốc liệt hơn [2]. Tài nguyên nước bị tác động mạnh, bị tổn thương làm gia tăng các nguy cơ tai biến thiên nhiên liên quan đến nước, đồng thời cũng tác động nặng nề đến môi trường, cơ sở hạ tầng, đời sống và sức khỏe cộng đồng nước ta [3].

Lưu vực sông Trà Khúc có hầu hết diện tích nằm trên tỉnh Quảng Ngãi thuộc khu vực Nam Trung Bộ. Đây là khu vực được đánh giá bị tác động mạnh mẽ của BĐKH [1]. Do đặc điểm địa hình chủ yếu miền núi, đồng bằng nhỏ hẹp kết hợp với diễn biến lũ trên lưu vực trong những năm gần đây càng trở nên phức tạp, lưu lượng đỉnh lũ lớn, thời gian lũ kéo dài. Các năm 1999, 2009, 2010, 2011, 2013, 2017, 2020 là những năm có hiện tượng bão lũ diễn

biến bất thường gây ngập lụt ở nhiều vùng dân cư, tần suất diễn ra liên tục, kéo dài, ảnh hưởng to lớn đến các hoạt động dân sinh kinh tế và môi trường sinh thái [4–5]. Bên cạnh đó, theo số liệu quan trắc mực nước trên sông, liên tục nhiều năm mực nước giảm xuất hiện các giá trị nhỏ nhất trong thời kỳ quan trắc gây nên tình trạng hạn hán điển hình như năm 2006, 2012, 2020... [5]. Đề thích ứng và giảm nhẹ tác động của BĐKH việc nghiên cứu ảnh hưởng của nó đến tài nguyên nước trên lưu vực sông Trà Khúc là rất cần thiết.

Đã có nhiều nghiên cứu trong nước nghiên cứu tác động của BĐKH đến tài nguyên nước tại các khu vực khác nhau trên phạm vi lưu vực như: lưu vực sông Lại Giang [3], lưu vực sông Hồng - Thái Bình và sông Đòng Nai [6], lưu vực sông Ba [7], lưu vực sông Lô [8], lưu vực sông Kon Plong [9], lưu vực sông Srepok [10] ... và trên phạm vi hành chính tỉnh như: tỉnh Thái Nguyên [11], tỉnh Quảng Ngãi [12], tỉnh Hà Giang [13]. Hiện nay, trên thế giới và trong nước các nghiên cứu kể trên đều sử dụng các công cụ mô hình khác nhau để hỗ trợ đánh giá tác động của BĐKH đến tài nguyên nước như HEC-HMS, SWAT, MIKE NAM, ... Trong đó, MIKE NAM là mô hình được sử dụng khá phổ biến hiện nay [3, 6–9, 14]. Các nghiên cứu đã thực hiện trên lưu vực sông Trà Khúc trước đây [4, 16–21] cũng sử dụng mô hình toán để mô phỏng, dự báo dòng chảy và đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy. Tuy nhiên, các nghiên cứu hầu hết mới tập trung chủ yếu đánh giá tác động BĐKH đến tình hình ngập lụt [15–16]. Bên cạnh đó, năm 2020 Bộ Tài nguyên và môi trường mới công bố kịch bản BĐKH thay thế kịch bản BĐKH năm 2016 [22–23]. Do đó, đến nay gần như chưa có nghiên cứu cụ thể nào cập nhật đánh giá tác động của BĐKH đến tài nguyên nước lưu vực sông Trà Khúc sử dụng kịch bản BĐKH công bố năm 2020 [12, 17]. Vì vậy, nghiên cứu đã lựa chọn mô hình MIKE NAM để mô phỏng và đánh giá tác động của BĐKH đến tài nguyên nước mặt tại các tiểu lưu vực của lưu vực sông Trà Khúc theo các kịch bản mới nhất của Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

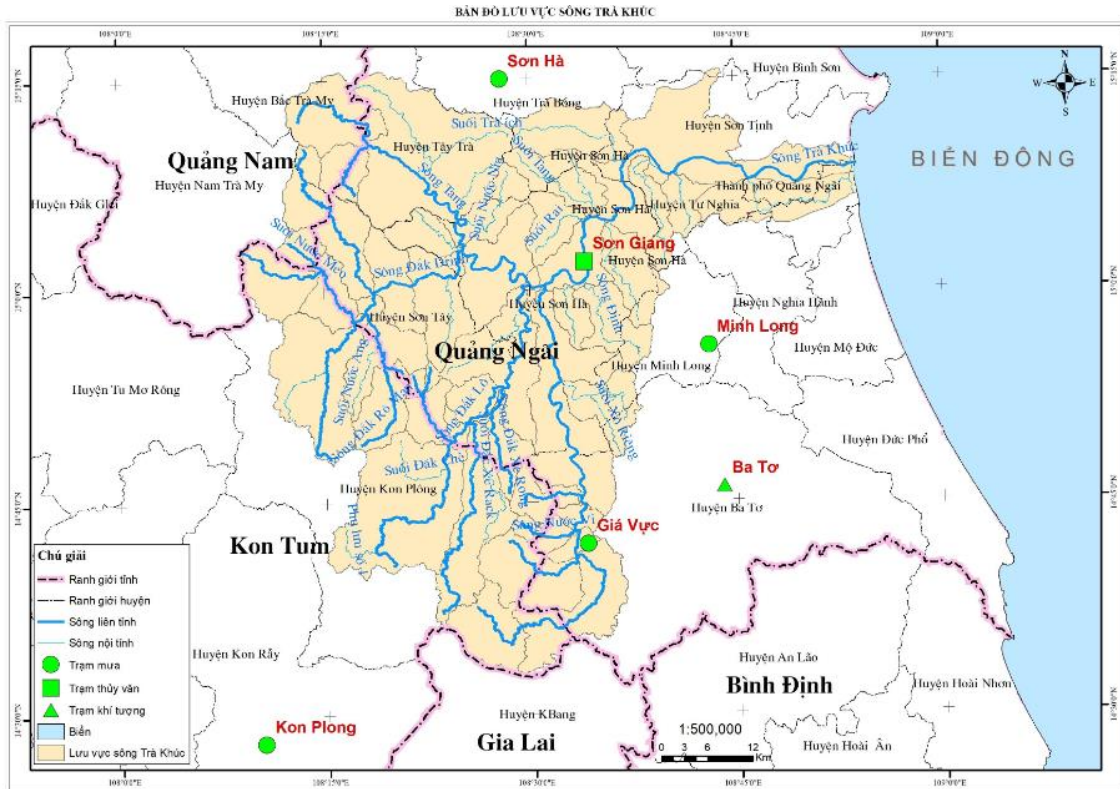
Lưu vực sông Trà Khúc có vị trí địa lý được giới hạn từ 14°30' - 15°20' vĩ độ Bắc và từ 180°07' - 109°00' kinh độ Bắc. Phía Bắc giáp lưu vực Trà Bồng, phía Nam giáp lưu vực sông Vệ, phía Tây giáp lưu vực sông Sê San, phía Đông giáp biển. Diện tích toàn lưu vực 3.337 km² (Hình 1). Lưu vực sông Trà Khúc có địa hình khá phức tạp thấp dần từ Tây sang Đông gồm địa hình đồi núi và đồng bằng xen kẽ nhau, chia cắt đất đai thành những cánh đồng nhỏ nằm dọc theo các thung lũng. Từ vùng núi xuống đồng bằng địa hình hạ thấp đột ngột đáng kể hình thành hai bậc địa hình cao thấp nằm kế tiếp nhau, không có khu đệm chuyển tiếp. Vùng phía Tây là những dãy núi cao có cao độ từ 500-1000 m, thì ở đồng bằng lại chỉ có cao độ từ 5-20 m. Từ đặc điểm địa hình này đã tạo dòng chảy của lưu vực khá bất lợi, về mùa mưa thường gây lũ lụt, còn mùa khô dòng chảy cạn kiệt gây hạn hán [24]. Dòng chảy năm phân phối không đều. Lượng dòng chảy trong năm tập trung chủ yếu vào 3 tháng mùa lũ chiếm khoảng hơn 70% tổng dòng chảy cả năm, lượng dòng chảy 9 tháng mùa cạn chiếm khoảng 30% lượng dòng chảy cả năm [25].

2.2. Thu thập, xử lý số liệu

Căn cứ yêu cầu số liệu đầu vào của mô hình và điều kiện số liệu quan trắc trên lưu vực, nghiên cứu sử dụng các số liệu:

- Bản đồ số độ cao DEM 30m × 30m, các lớp dữ liệu bản đồ: ranh giới, mạng lưới sông suối.

- Số liệu khí tượng, thủy văn (Bảng 1): Lượng mưa của trạm khí tượng Sơn Hà, thủy văn Sơn Giang, khí tượng Minh Long, khí tượng Giá Vực và thủy văn Kon Plong; Lưu lượng dòng chảy trung bình ngày của trạm thủy văn Sơn Giang; Số liệu bốc hơi ngày và nhiệt độ ngày của trạm khí tượng Ba Tơ.



Hình 1. Bản đồ lưu vực, mạng lưới sông và trạm khí tượng, thủy văn trên lưu vực sông Trà Khúc.

- Kịch bản BĐKH và nước biển dâng cho Việt Nam (2016) [22] được áp dụng trong nghiên cứu để thiết lập các kịch bản tính toán đầu thế kỷ.
- Kịch bản BĐKH và nước biển dâng cho Việt Nam (2020) [23] được áp dụng trong nghiên cứu để thiết lập các kịch bản tính toán giữa và cuối thế kỷ.

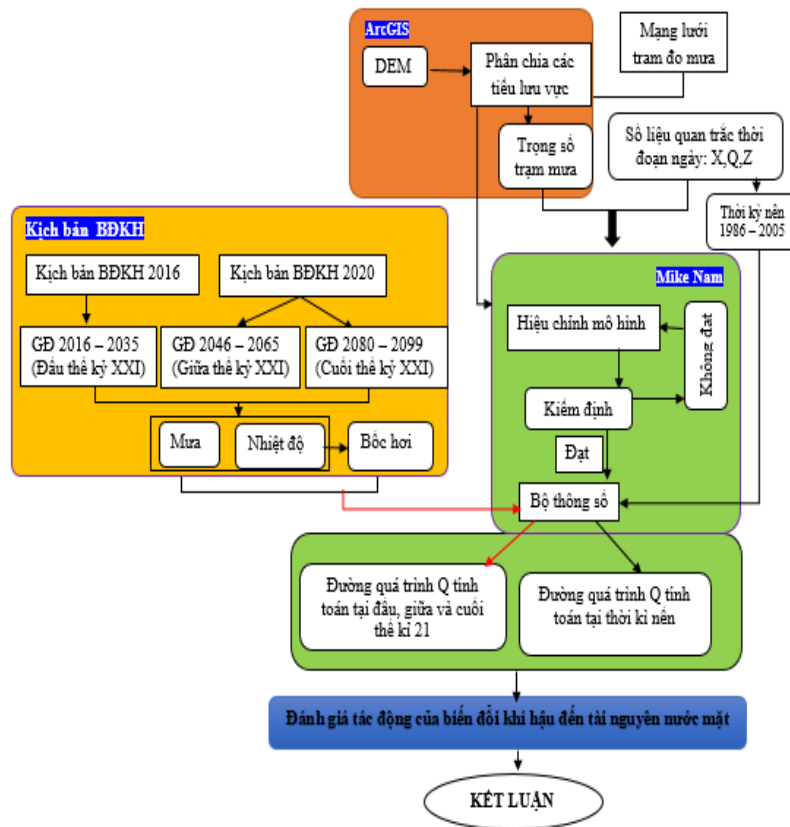
Bảng 1. Số liệu khí tượng, thủy văn sử dụng.

STT	Tên trạm	Yếu tố				Thời gian quan trắc	Thời đoạn số liệu sử dụng trong nghiên cứu	Loại trạm
		H (m)	Q (m ³ /s)	X (mm)	Z (mm)			
1	Sơn Giang	x	x	x		1977 đến nay	1986 đến 2019	Trạm TV cấp 1
2	Sơn Hà			x		1976 đến nay	1986 đến 2019	Trạm khí tượng
3	Minh Long			x		1987 đến nay	1986 đến 2019	Trạm khí tượng
4	Giá Vực			x		1977 đến nay	1986 đến 2019	Trạm khí tượng
5	Kon Plong			x		1977 đến nay	1986 đến 2019	Trạm TV cấp 3
6	Ba Tư			x	x	1977 đến nay	1986 đến 2019	Trạm khí tượng

Trong đó: H là mực nước trung bình ngày; Q là lưu lượng trung bình ngày; X là lượng mưa ngày; Z là bốc hơi ngày.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng mô hình MIKE NAM để mô phỏng tính toán tài nguyên nước cho từng tiểu lưu vực của lưu vực sông Trà Khúc phục vụ đánh giá tác động biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước trên lưu vực sông theo sơ đồ hình 2. Ngoài ra, nghiên cứu cũng kết hợp với phương pháp thống kê để phân tích số liệu gồm nhiệt độ, lượng mưa từ kịch bản BĐKH và nước biển dâng cho Việt Nam.



Hình 2. Sơ đồ đánh giá tác động khí hậu đến tài nguyên nước lưu vực sông Trà Khúc.

Mô hình NAM với nguyên lý dùng hàm phi tuyến để mô tả dòng chảy vào sông. Trong mô hình NAM, mỗi lưu vực được xem là một đơn vị xử lý. Do đó, các thông số và các biến là đại diện cho các giá trị được trung bình hóa trên toàn lưu vực. Mô hình tính quá trình mưa - dòng chảy theo cách tính liên tục hàm lượng ẩm trong bể chứa riêng biệt có tương tác lẫn nhau. Cấu trúc mô hình NAM được xây dựng trên nguyên tắc các hồ chứa theo chiều thẳng đứng và các hồ chứa tuyến tính, gồm 5 bể chứa theo chiều thẳng đứng gồm bể chứa tuyết tan, bể chứa mặt, bể chứa tầng dưới, bể chứa ngầm tầng trên và bể chứa ngầm tầng dưới [26].

2.4. Thiết lập bộ mô hình toán mô phỏng dòng chảy lưu vực sông Trà Khúc

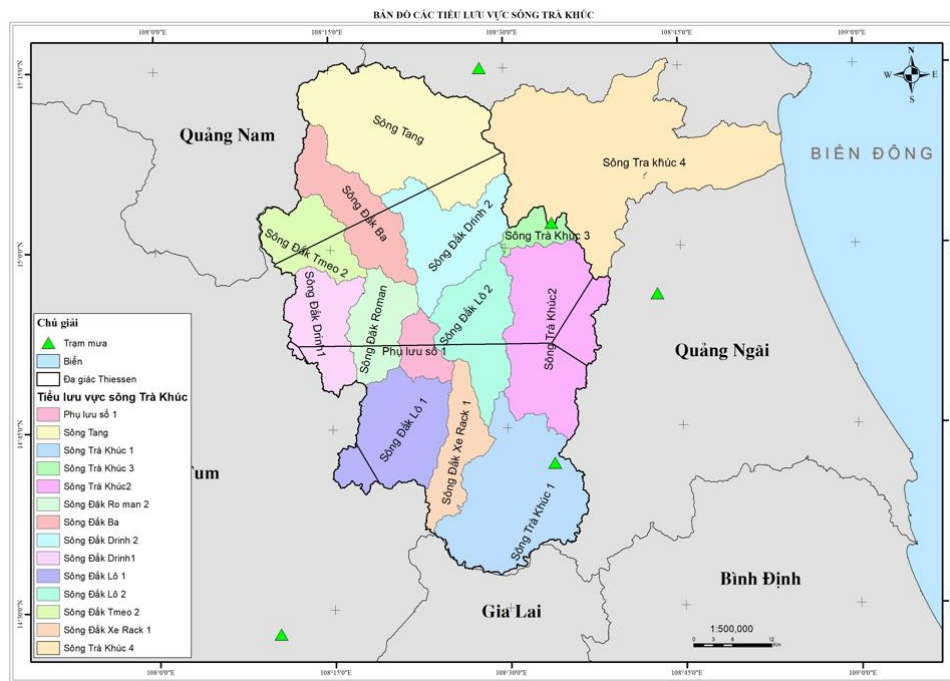
2.4.1. Phân chia tiểu lưu vực và xác định trọng số ảnh hưởng của các trạm đo mưa

Sử dụng GIS tiến hành khoanh lưu vực sông Trà Khúc và phân chia thành các tiểu lưu vực từ bản đồ số độ cao DEM. Toàn bộ lưu vực sông Trà Khúc được chia thành 13 tiểu lưu vực. Căn cứ vào số liệu thu thập, vị trí các trạm khí tượng, thủy văn và các trạm đo mưa trên lưu vực sông Trà Khúc để tính trọng số mưa cho các lưu vực bộ phận bằng phương pháp đa giác Thiessen nhằm thiết lập bản đồ phân vùng ảnh hưởng của các trạm mưa đồng thời xác định trọng số của các trạm mưa tương ứng với từng tiểu lưu vực được kết quả được trình bày trong bảng 2 và hình 2.

Bảng 2. Diện tích tiểu lưu vực và trọng số ảnh hưởng các trạm mưa.

Tiểu lưu vực	Diện tích (km ²)	Trạm mưa				
		Sơn Hà	Sơn Giang	Minh Long	Giá Vực	Kon Plong
Sông Đắc Ba	178	0,54	0,46	0,00	0,00	0,00
Sông Tang	454	0,88	0,12	0,00	0,00	0,00
Sông Đắc Drinh 2	216	0,05	0,95	0,00	0,00	0,00
Sông Trà Khúc 3	44,5	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00

Tiểu lưu vực	Diện tích (km ²)	Trạm mưa				
		Sơn Hà	Sơn Giang	Minh Long	Giá Vực	Kon Plong
Sông Trà Khúc 2	349	0,00	0,44	0,19	0,37	0,00
Sông Trà Khúc 1	376	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
Suối Đắc Xe Rack	123	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
Sông Đắc Lô 1	232	0,00	0,00	0,00	0,88	0,12
Sông Đắc Rô Man	127	0,00	0,73	0,00	0,27	0,00
Sông Đắc Drinh 1	155	0,00	0,72	0,00	0,27	0,01
Sông Đắc Tmeo	135	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00
Sông Đắc Lô 2	194	0,00	0,66	0,00	0,34	0,00
Phụ lưu số 1	60,3	0,00	0,41	0,00	0,59	0,00
Tổng	2643					



Hình 3. Bản đồ phân chia tiểu lưu vực và phạm vi ảnh hưởng các trạm mưa.

2.4.2. Hiệu chỉnh, kiểm định mô hình MIKE NAM

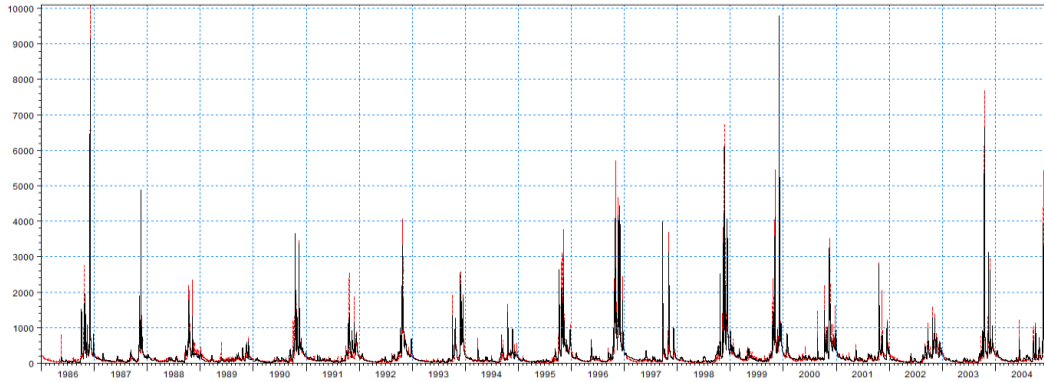
Mô hình MIKE NAM được thiết lập nhằm xác định lượng dòng chảy của từng tiểu lưu vực. Dựa vào số liệu thu thập và sử dụng 2 khoảng thời gian để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình là từ năm 1986-2004 (hiệu chỉnh) và từ năm 2005-2019 (kiểm định) xác định bộ thông số phù hợp. Việc hiệu chỉnh thông số mô hình chủ yếu được tiến hành bằng phương pháp thử sai. Trạm thủy văn Sơn Giang được sử dụng làm trạm kiểm tra và xác định bộ thông số mô hình vì đây là trạm thủy văn duy nhất có đo lưu lượng dòng chảy trong nhiều năm của lưu vực nghiên cứu. Việc đánh giá tính phù hợp giữa kết quả tính toán và giá trị thực đo thông qua chỉ số NASH và hệ số tương quan R², chỉ số NASH được tính dưới dạng công thức:

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{tt} - Q_{td})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{td} - \bar{Q}_{td})^2} \tag{1}$$

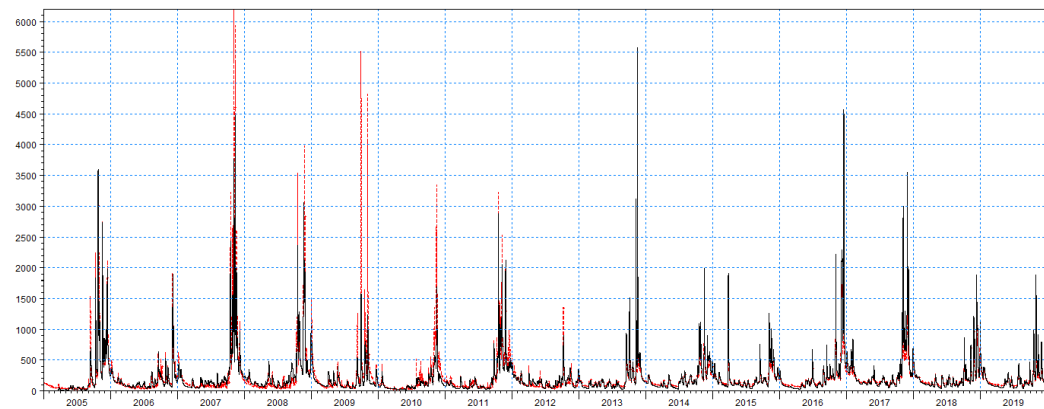
Trong đó Q_{tt} là lưu lượng dòng chảy tính toán; Q_{td} là lưu lượng dòng chảy thực đo; \bar{Q}_{td} là lưu lượng dòng chảy thực đo trung bình.

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định (Bảng 3) cho thấy giữa tính toán và đường thực đo là tương đối phù hợp nhau thời gian xuất hiện đỉnh là chênh lệch không nhiều. Ở thời kỳ mùa cạn chân đường quá trình mô phỏng tốt, tương đối sát với đường quá trình thực đo. Giữa hai

đường quá trình tính toán và thực đo bám sát nhau về cả pha dao động. Trong thời kỳ mùa lũ, đỉnh lũ ở của đường quá trình mô phỏng nhỏ hơn quá trình thực đo. Tổng lượng dòng chảy quá trình mô phỏng nhỏ hơn dòng chảy thực đo nhưng đánh giá chỉ số NASH khá tốt, đều đạt trên 0,8. Như vậy, kết quả trên hoàn toàn có độ tin cậy cao và mô hình có thể ứng dụng tính toán cho bước tiếp theo.



Hình 4. Đường quá trình lưu lượng dòng chảy thực đo và mô phỏng - giai đoạn hiệu chỉnh tại trạm thủy văn Sơn Giang.



Hình 5. Đường quá trình lưu lượng dòng chảy thực đo và mô phỏng - giai đoạn kiểm định tại trạm thủy văn Sơn Giang.

Bảng 3. Thống kê kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình NAM.

Trạm thủy văn	Hiệu chỉnh			Kiểm định		
	Chuỗi mô phỏng	NASH	R ²	Chuỗi mô phỏng	NASH	R ²
Sơn Giang	1986-2004	0,86	0,87	2005-2019	0,82	0,80

Như vậy, thông qua hai bước hiệu chỉnh và kiểm định, nghiên cứu đã xác định được bộ thông số phù hợp cho lưu vực sông Trà Khúc (Bảng 4).

Bảng 4. Bộ thông số mô hình MIKE NAM cho lưu vực nghiên cứu.

STT	Tên tiểu lưu vực	Các thông số của mô hình						
		U _{max}	L _{max}	CQOF	CKIF	CK1,2	TOF	TIF
1	Sông Đăk Ba	19,1	280	0,47	216,6	50,7	0,0795	0,312
2	Sông Tang	19,6	286	0,498	200,4	49,7	0,266	0,146
3	Sông Đăk Drinh 2	20,8	294	0,45	216,6	50,7	0,0795	0,312
4	Sông Trà Khúc 3	20,3	288	0,525	241,1	50,5	0,0317	0,168
5	Sông Trà Khúc 2	18,15	271,05	0,825	259,2	50,9	0,117	0,0581
6	Sông Trà Khúc 1	17,75	271,05	0,787	219,8	50,5	0,0868	0,0772

STT	Tên tiểu lưu vực	Các thông số của mô hình						
		Umax	Lmax	CQOF	CKIF	CK1,2	TOF	TIF
7	Suối Đắc Xe Rack	17,45	265,05	0,817	219,8	50,5	0,0868	0,0772
8	Sông Đắc Lô 1	18,55	245,05	0,847	202,9	51	0,119	0,207
9	Sông Đắc Rô Man	18,85	278,05	0,779	225,9	51	0,162	0,124
10	Sông Đắc Drinh 1	18,75	274,05	0,727	223,9	50,5	0,0336	0,203
11	Sông Đắc Tmeo	19,25	276,05	0,617	207,5	49,7	0,148	0,118
12	Sông Đắc Lô 2	16,95	265,05	0,658	221,4	50,8	0,0704	0,144
13	Phụ lưu số 1	19,2	276	0,617	207,5	49,7	0,148	0,118

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kịch bản biến đổi khí hậu khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu lựa chọn kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 trong kịch bản BĐKH và nước biển dâng cho Việt Nam năm công bố năm 2016 [22] của Bộ Tài nguyên và Môi trường để xác định kịch bản biến đổi nhiệt độ, lượng mưa thời kỳ đầu thế kỷ (2016-2035), giữa thế kỷ (2046-2065), cuối thế kỷ (2080-2099) trong kịch bản BĐKH và nước biển dâng cho Việt Nam năm công bố năm 2020 [23] tại tỉnh Quảng Ngãi từ đó xác định bốc hơi, lượng mưa làm đầu vào mô phỏng trong MIKE NAM đánh giá tác động biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước trong các thời kỳ biến đổi khí hậu.

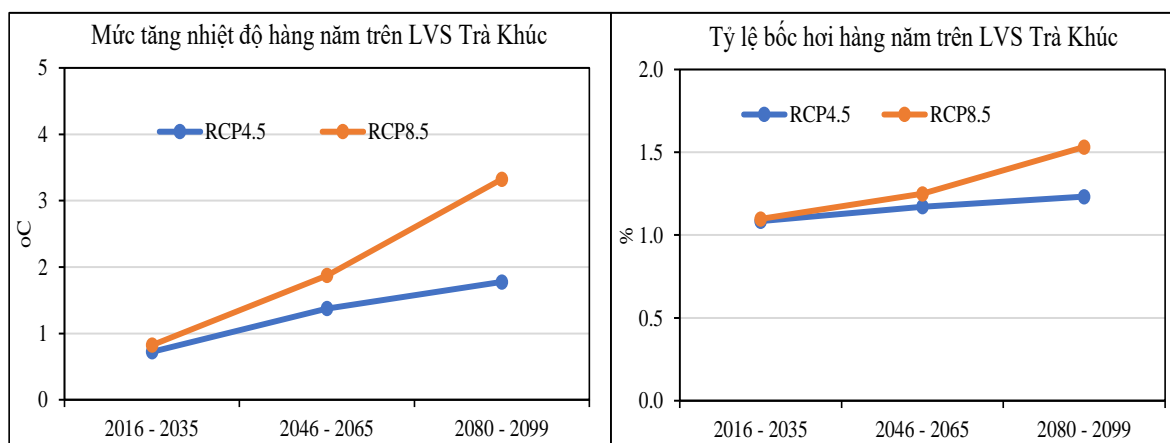
a) Nhiệt độ và bốc hơi

Kết quả biến đổi của nhiệt độ (°C) trung bình qua các thời kì đầu thế kỷ (2016-2035) giữa thế kỷ (2046-2065) và cuối thế kỷ (2080-2099) theo kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 so với thời kỳ cơ sở (1986-2005) được dẫn ra trong bảng 5.

Bảng 5. Biến đổi nhiệt độ (°C) trung bình qua các thời kỳ.

Thời kỳ	RCP4.5				RCP8.5			
	Xuân	Hè	Thu	Đông	Xuân	Hè	Thu	Đông
2016-2035	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8
2046-2065	1,4	1,6	1,3	1,2	1,9	2,1	1,8	1,7
2080-2099	1,9	2,0	1,7	1,5	3,4	3,8	3,2	2,9

Ở cả 2 kịch bản RCP 4.5, RCP 8.5 thời kỳ năm 2016-2035 nhiệt độ trung bình đều tăng ổn định ở các mùa trong năm. Thời kì năm 2046-2065 và thời kỳ năm 2080-2099 nhiệt độ trung bình cao nhất là mùa hè, tiếp theo là mùa xuân. Kịch bản RCP 8.5 nhiệt độ trung bình tăng nhiều hơn so với kịch bản RCP 4.5.



Hình 6. Mức thay đổi nhiệt độ và bốc hơi so với thời kỳ cơ sở.

Để tính toán lượng bốc hơi tiềm năng làm đầu vào dự tính kịch bản BĐKH dựa trên sự biến đổi nhiệt độ, nghiên cứu lựa chọn công thức sau:

$$E_o = 16 \times L_a \left(\frac{10\tau}{I} \right)^a ; I = \left(\frac{\tau}{5} \right)^{1,514} \quad (2)$$

Trong đó E_o bốc hơi (mm); L_a là hệ số hiệu chỉnh số trong ngày sáng và số ngày trong tháng phụ thuộc vĩ độ; I là tổng số 12 giá trị hàng tháng của chỉ số nhiệt I ; T là nhiệt độ trung bình hàng tháng; a là hằng số thay đổi theo địa phương.

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,49 \quad (3)$$

Kết quả tỷ lệ thay đổi lượng bốc hơi tiềm năng trong các thời kỳ theo 2 kịch bản được thể hiện trong bảng 6.

Bảng 6. Tỷ lệ thay đổi bốc hơi tiềm năng (%) các thời kỳ so với thời kỳ cơ sở.

Thời kỳ	RCP 4.5				RCP8.5			
	Xuân	Hè	Thu	Đông	Xuân	Hè	Thu	Đông
2016-2035	1,09	1,11	1,08	1,06	1,10	1,12	1,09	1,07
2046-2065	1,19	1,24	1,16	1,10	1,27	1,34	1,23	1,15
2080-2099	1,27	1,31	1,22	1,12	1,59	1,76	1,49	1,28

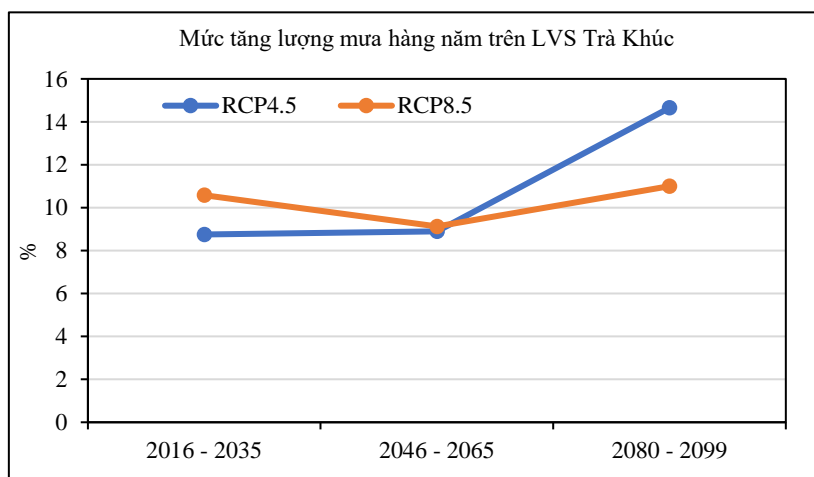
Thời kỳ đầu thế kỷ tỷ lệ bốc hơi tiềm năng trong 2 kịch bản là gần tương đương nhau. Thời kỳ giữa thế kỷ lượng bốc hơi tiềm năng trong kịch bản RCP4.5 là 1,17% và kịch bản RCP8.5 là 1,25%. Thời kỳ cuối thế kỷ lượng bốc hơi tiềm năng trong kịch bản RCP8.5 là 1,53% cao hơn so với 1,23% trong kịch bản RCP4.5.

b) Lượng mưa

Theo kịch bản BĐKH và nước biển dâng xác định tỉ lệ biến đổi lượng mưa (%) trung bình qua các thời kỳ theo 2 kịch bản so với thời kỳ cơ sở thể hiện trên bảng 7.

Bảng 7. Tỷ lệ biến đổi lượng mưa (%) các thời kỳ so với thời kỳ cơ sở.

Thời kỳ	RCP 4.5				RCP8.5			
	Xuân	Hè	Thu	Đông	Xuân	Hè	Thu	Đông
2016-2035	1,1	4,3	26,4	-1,9	-4,7	11,5	24,6	5,5
2046-2065	-1,5	6,8	19,8	10,5	-5,5	13,9	18,0	9,6
2080-2099	6,3	13,4	19,1	19,8	6,1	10,6	14,4	12,9



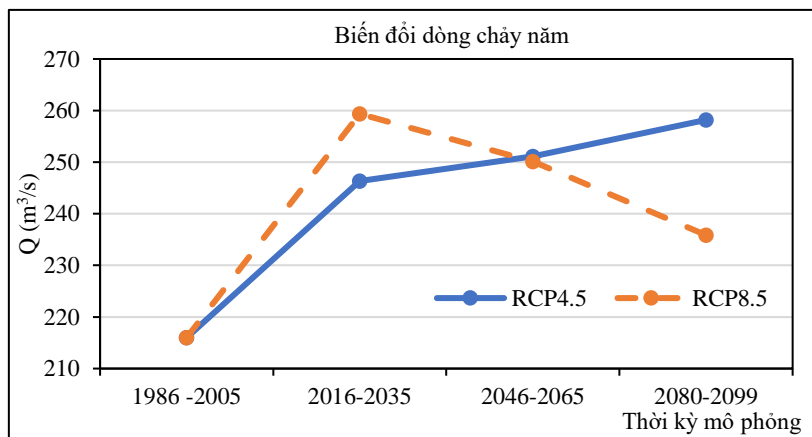
Hình 7. Mức thay đổi lượng mưa so với thời kỳ cơ sở.

Kịch bản RCP4.5, lượng mưa trung bình trong giai đoạn 2016-2035 lượng mưa tăng cao nhất là mùa thu tăng khoảng 26,4% và thấp nhất là mùa đông giảm 1,9%. Trong giai đoạn 2046-2065 lượng mưa giảm ở mùa xuân (1,5 %) còn tăng lên cao ở mùa thu khoảng 19,8%. Trong giai đoạn 2080-2099 lượng mưa trong các mùa đều tăng, tăng cao nhất ở mùa thu khoảng 19,1%. Kịch bản RCP8.5, lượng mưa thời kỳ 2016-2035 tăng cao nhất là mùa thu tăng khoảng 24,6% và thấp nhất là mùa xuân giảm 4,7%. Thời kỳ 2046-2065 lượng mưa mùa xuân giảm 5,5% và tăng lên vào mùa thu khoảng 18%. Trong giai đoạn 2080-2099 lượng mưa trong các mùa đều tăng (Hình 7).

3.2. Kết quả đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước trên lưu vực sông Trà Khúc

3.2.1. Dòng chảy năm

Dòng chảy trung bình nhiều năm theo giai đoạn của các kịch bản BĐKH được đánh giá mức độ tăng, giảm so với thời kỳ cơ sở (1986-2005) tại các tiểu lưu vực được tính toán từ mô hình MIKE NAM (Bảng 8).



Hình 8. Biến đổi dòng chảy năm tại lưu vực sông Trà Khúc theo kịch bản BĐKH.

Bảng 8. Biến đổi dòng chảy năm theo các kịch bản BĐKH tại các tiểu lưu vực.

TT	Tiểu lưu vực	Kịch bản	Thời kỳ nền		Thời kỳ mô phỏng	
			1986-2005	2016-2035	2046-2065	2080-2099
1	Sông Đăk Ba	RCP4.5	14,1	15,3	16,1	16,4
		RCP8.5		16,7	15,8	14,8
2	Sông Tang	RCP4.5	33,3	38,5	37,9	38,6
		RCP8.5		39,4	37,2	34,8
3	Sông Đăk Drinh 1	RCP4.5	13,7	14,2	15,7	16
		RCP8.5		16,2	15,4	14,5
4	Sông Đăk Drinh 2	RCP4.5	13,7	19,3	19,1	22
		RCP8.5		19,3	22,7	21,6
5	Sông Trà Khúc 1	RCP4.5	32,6	39	37,6	38,2
		RCP8.5		38,8	36,8	34,9
6	Sông Trà Khúc 2	RCP4.5	31,3	34,3	35,8	36,5
		RCP8.5		37	35,1	33,1
7	Sông Trà Khúc 3	RCP4.5	4,03	3,96	4,6	4,69
		RCP8.5		4,75	4,51	4,25
8	Suối Đắc Xe Rack	RCP4.5	10,7	12,8	12,3	12,5
		RCP8.5		12,7	12,1	11,5
9	Sông Đăk Lô 1	RCP4.5	18,1	21,6	20,8	21,2
		RCP8.5		21,6	20,4	19,2

TT	Tiểu lưu vực	Kịch bản	Thời kỳ nền		Thời kỳ mô phỏng	
			1986-2005	2016-2035	2046-2065	2080-2099
10	Sông Đắc Lô 2	RCP4.5	17,2	18,1	19,7	20,1
		RCP8.5		20,4	19,3	18,2
11	Sông Đắc Rô Man	RCP4.5	11,3	11,8	13	13,2
		RCP8.5		13,4	12,7	12
12	Sông Đắc Tmeo	RCP4.5	10,9	11,7	12,5	12,7
		RCP8.5		12,9	12,2	11,5
13	Phụ lưu số 1	RCP4.5	5,2	5,8	6	6,1
		RCP8.5		6,2	5,9	5,5
14	Tổng	RCP4.5	216	246	251	258
		RCP8.5		259	250	236

Kết quả tính toán trong bảng 8 và hình 8 cho thấy, dòng chảy trung bình năm tại các tiểu lưu vực đều có xu hướng tăng ở tất cả các thời kỳ trong cả hai kịch bản RCP4.5 và RCP8.5, thời kỳ đầu và giữa thế kỷ dòng chảy trung bình năm ở kịch bản RCP8.5 tăng nhiều hơn so với kịch bản RCP4.5, tuy nhiên, thời kỳ cuối thế kỷ thì dòng chảy trung bình năm trong kịch bản RCP4.5 tăng nhiều hơn so với kịch bản RCP8.5. Nguyên nhân do thời kỳ đầu và giữa thế kỷ lượng mưa trong kịch bản RCP8.5 tăng nhiều hơn, nhưng đến thời kỳ cuối thế kỷ thì lượng mưa trong kịch bản RCP4.5 tăng nhiều hơn và lượng bốc hơi tiềm năng là nhỏ hơn so với trong kịch bản RCP8.5.

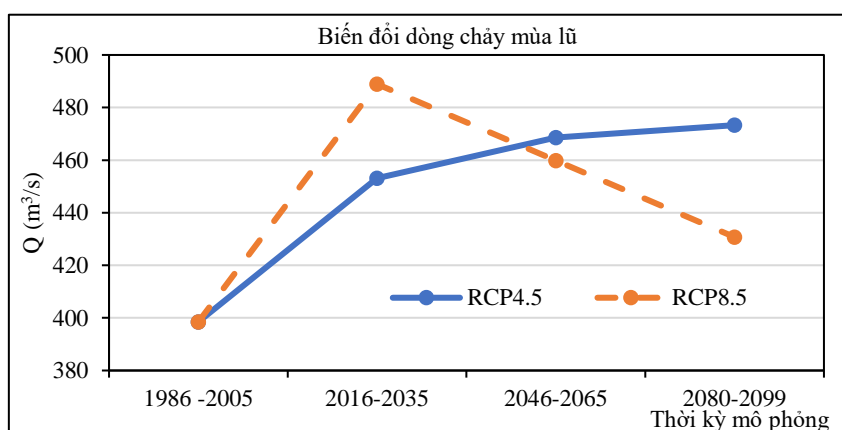
3.2.2. Dòng chảy mùa lũ

Qua bảng cho thấy dòng chảy trung bình mùa lũ tại các tiểu lưu vực trên lưu vực sông Trà Khúc đều tăng nhưng không đều giữa các thời kỳ. Kịch bản RCP8.5 tăng nhiều hơn so với kịch bản RCP4.5 trong thời kỳ đầu thế kỷ. Thời kỳ giữa và cuối thế kỷ, dòng chảy trung bình mùa lũ trong kịch bản RCP4.5 lại tăng nhiều hơn so với trong kịch bản RCP8.5, do giai đoạn cuối thế kỷ lượng mưa trong mùa lũ của kịch bản RCP4.5 tăng nhiều hơn. Trong kịch bản RCP4.5 dòng chảy trung bình mùa lũ tại tiểu lưu vực Suối Đắc Xe Rack ở đầu thế kỷ là tăng lớn nhất trên lưu vực 23,3%, trong kịch bản RCP8.5 dòng chảy trung bình mùa lũ tại tiểu lưu vực sông Trà Khúc 3 ở đầu thế kỷ là tăng lớn nhất trên lưu vực 23,9%.

Bảng 9. Biến đổi dòng chảy mùa lũ theo các kịch bản BĐKH tại các tiểu lưu vực.

TT	Tiểu lưu vực	Kịch bản	Thời kỳ nền		Thời kỳ mô phỏng	
			1986-2005	2016-2035	2046-2065	2080-2099
1	Sông Đắc Ba	RCP4.5	23,3	25,7	27,3	27,6
		RCP8.5		28,7	26,8	24,9
2	Sông Tang	RCP4.5	55,0	66,0	64,6	65,2
		RCP8.5		67,8	63,5	58,8
3	Sông Đắc Drinh 1	RCP4.5	24,9	26,1	29,1	29,4
		RCP8.5		30,3	28,6	26,8
4	Sông Đắc Drinh 2	RCP4.5	31,6	31,4	37,3	37,8
		RCP8.5		39,1	36,6	34,1
5	Sông Trà Khúc 1	RCP4.5	62,3	76,5	73,5	74,1
		RCP8.5		76,4	72,1	68,1
6	Sông Trà Khúc 2	RCP4.5	59,1	66,1	69,3	70,0
		RCP8.5		72,1	68,0	63,9
7	Sông Trà Khúc 3	RCP4.5	6,70	6,60	7,90	8,00
		RCP8.5		8,30	7,80	7,30
8	Suối Đắc Xe Rack	RCP4.5	20,6	25,4	24,4	24,6
		RCP8.5		25,3	23,9	22,6
9	Sông Đắc Lô 1	RCP4.5	35,4	43,5	41,7	42,1
		RCP8.5		43,4	40,8	38,4

TT	Tiểu lưu vực	Kịch bản	Thời kỳ nền		Thời kỳ mô phỏng	
			1986-2005	2016-2035	2046-2065	2080-2099
10	Sông Đắc Lô 2	RCP4.5	30,6	32,7	36,0	36,4
		RCP8.5		37,5	35,3	33,1
11	Sông Đắc Rô Man	RCP4.5	20,9	22,0	24,5	24,7
		RCP8.5		25,5	24,0	22,5
12	Sông Đắc Tmeo	RCP4.5	18,8	20,5	22,0	22,3
		RCP8.5		23,0	21,6	20,1
13	Phụ lưu số 1	RCP4.5	9,30	10,6	11,0	11,1
		RCP8.5		11,5	10,8	10,1
14	Tổng	RCP4.5	399	453	469	473
		RCP8.5		489	460	431



Hình 9. Biến đổi dòng chảy mùa lũ tại lưu vực sông Trà Khúc theo kịch bản BĐKH.

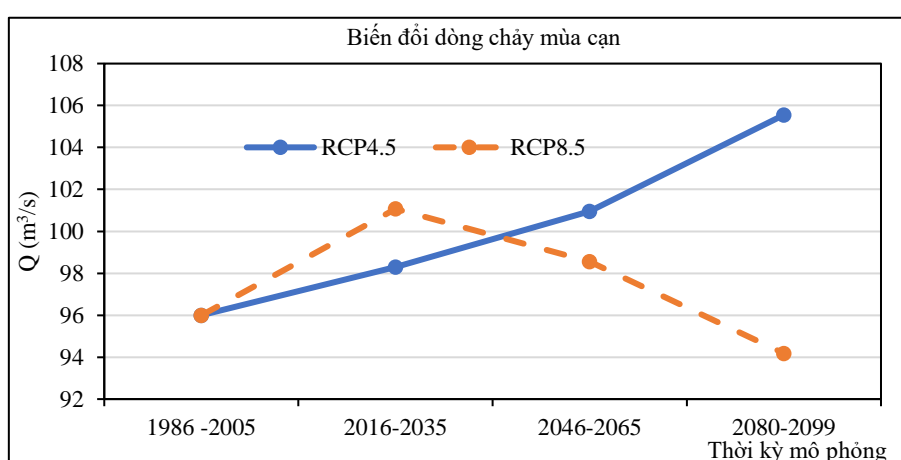
3.3.3. Dòng chảy mùa cạn

Theo bảng 10, xét trong toàn mùa cạn, dòng chảy trung bình có xu thế tăng trong kịch bản RCP4.5, đối với kịch bản RCP8.5 dòng chảy trung bình mùa cạn so với thời kỳ cơ sở tăng đầu và giữa thế kỷ, nhưng cuối thế kỷ lại giảm. Nếu xét về tỉ lệ thì lượng dòng chảy trung bình năm tăng khoảng từ 5-16% dòng chảy trung bình mùa cạn thời kỳ nền và các tháng đầu và giữa mùa cạn dòng chảy trên sông vẫn chịu ảnh của mùa lũ nên lưu lượng dòng chảy vẫn tăng. Với thời kỳ kiệt nhất giữa mùa cạn thì dòng chảy có xu hướng giảm.

Bảng 10. Biến đổi dòng chảy mùa cạn theo các kịch bản BĐKH tại các tiểu lưu vực.

TT	Tiểu lưu vực	Kịch bản	Thời kỳ nền		Thời kỳ mô phỏng	
			1986-2005	2016-2035	2046-2065	2080-2099
1	Sông Đắc Ba	RCP4.5	7,60	7,80	8,10	8,40
		RCP8.5		8,10	7,90	7,50
2	Sông Tang	RCP4.5	17,8	18,9	18,9	19,6
		RCP8.5		19,0	18,5	17,6
3	Sông Đắc Drinh 1	RCP4.5	5,80	5,70	6,10	6,40
		RCP8.5		6,10	6,00	5,70
4	Sông Đắc Drinh 2	RCP4.5	10,5	10,2	11,0	11,5
		RCP8.5		11,0	10,8	10,4
5	Sông Trà Khúc 1	RCP4.5	11,4	12,1	12,0	12,6
		RCP8.5		12,0	11,7	11,2
6	Sông Trà Khúc 2	RCP4.5	11,5	11,6	11,9	12,6
		RCP8.5		11,9	11,6	11,1
7	Sông Trà Khúc 3	RCP4.5	2,10	2,05	2,22	2,32
		RCP8.5		2,23	2,18	2,09
8	Suối Đắc Xe Rack	RCP4.5	3,57	3,79	3,75	3,93

TT	Tiểu lưu vực	Kịch bản	Thời kỳ nền		Thời kỳ mô phỏng	
			1986-2005	2016-2035	2046-2065	2080-2099
9	Sông Đắc Lô 1	RCP8.5		3,74	3,65	3,50
		RCP4.5	5,76	6,10	6,00	6,30
		RCP8.5		6,00	5,80	5,50
10	Sông Đắc Lô 2	RCP4.5	7,7	7,70	8,10	8,50
		RCP8.5		8,10	7,90	7,60
11	Sông Đắc Rô Man	RCP4.5	4,53	4,50	4,75	4,99
		RCP8.5		4,76	4,64	4,41
12	Sông Đắc Tmeo	RCP4.5	5,40	5,50	5,70	5,90
		RCP8.5		5,70	5,50	5,30
13	Phụ lưu số 1	RCP4.5	2,34	2,41	2,47	2,56
		RCP8.5		2,48	2,41	2,29
14	Tổng	RCP4.5	96,0	98,3	101	106
		RCP8.5		101	98,6	94,2



Hình 10. Biến đổi dòng chảy mùa cạn tại lưu vực sông Trà Khúc theo kịch bản BĐKH.

4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo đã thiết lập mô hình toán thủy văn MIKE NAM và đã được hiệu chỉnh và kiểm định tốt với hệ số NASH đạt yêu cầu cao, dao động từ 0,82-0,86 đảm bảo độ tin cậy để mô phỏng dòng chảy cho lưu vực nghiên cứu. Kết quả cho thấy, các kịch bản đã có những tác động đáng kể đến tài nguyên nước lưu vực sông Trà Khúc. Ở cả 2 kịch bản đều cho thấy dòng chảy trung bình năm và mùa lũ đều tăng so với thời kỳ cơ sở, kết quả này cũng khá tương đồng với kết quả nghiên cứu [17]. Trong đó, kịch bản RCP4.5 dòng chảy trung bình mùa lũ tại tiểu lưu vực Suối Đắc Xe Rack ở đầu thế kỷ là tăng lớn nhất trên lưu vực 23,3%, trong kịch bản RCP8.5 dòng chảy trung bình mùa lũ tại tiểu lưu vực sông Trà Khúc 3 ở đầu thế kỷ là tăng lớn nhất trên lưu vực 23,9%. Dòng chảy trung bình mùa cạn có xu thế tăng trong kịch bản RCP4.5. Đối với kịch bản RCP8.5 dòng chảy trung bình mùa cạn tăng đầu và giữa thế kỷ, nhưng cuối thế kỷ lại giảm so với thời kỳ cơ sở. Tuy nhiên, trong cả 2 kịch bản dòng chảy trong thời kỳ kiệt nhất đều giảm so với thời kỳ cơ sở. Trong nghiên cứu này mới chỉ sử dụng mô hình thủy văn MIKE NAM để mô phỏng dòng chảy, điều này chưa đảm bảo được đầy đủ sự chính xác đối với tiểu lưu vực Trà Khúc 4, do dòng chảy tại cửa ra của tiểu lưu vực này chịu ảnh hưởng của thủy triều. Vì vậy, để nâng cao kết quả nghiên cứu thì trong nghiên cứu tiếp theo nhóm tác giả sử dụng kết hợp mô hình MIKE NAM VÀ MIKE 11 để mô phỏng dòng chảy.

Việc đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy trên lưu vực sông Trà Khúc, là một trong những cơ sở hỗ trợ cho công tác quản lý, định hướng khai thác, sử dụng và phát triển bền vững tài nguyên nước lưu vực sông Trà Khúc.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.B.N., T.V.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.T.B.N., T.V.T., V.D.H.; Xử lý số liệu: N.T.B.N., T.V.T., V.D.H., T.T.T.; Viết bản thảo bài báo: N.T.B.N., T.V.T.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự giúp đỡ của Viện Khoa học Tài nguyên nước, đơn vị chủ trì thực hiện dự án “Đánh giá sức chịu tải các sông liên tỉnh thuộc lưu vực sông Trà Khúc và đề xuất giải pháp bảo vệ môi trường nước phục vụ phát triển kinh tế - xã hội bền vững, và đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ “Nghiên cứu xây dựng bộ tiêu chí và phương pháp đánh giá tổng hợp lợi ích và tác hại của lũ đến hệ thống tự nhiên và kinh tế - xã hội trên lưu sông” mã số TNTM.2023.562.02.

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. Xuân, T.T.; Thục, T.; Tuyền, H.M. Tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước Việt Nam. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội. 2011.
2. Thường, L.Đ. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến chế độ dòng chảy lưu vực sông Ba. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2013**, 626, 28–34.
3. Ngọc, N.T.B.; Tình, T.V.; Anh, N.T.L. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy trên hệ thống sông Lại Giang, tỉnh Bình Định. *Tap chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường* **2022**, 42, 76–89.
4. Tùng, N.B.; Đức, Đ.Đ.; Anh, T.N.; Thủy, N.H.; Nhung, Đ.T.H.; Nhung, P.T.H.; Cường, V.M. Đánh giá ảnh hưởng của hồ chứa Nước Trong đến hạ lưu sông Trà Khúc trong trường hợp khẩn cấp. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 741, 85–97.
5. Nga, N.T. Đánh giá tài nguyên nước lưu vực sông Trà Khúc, sông Vệ dưới ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. Luận văn thạc sỹ, Trường đại học khoa học tự nhiên, Hà Nội, 2015.
6. Thái, T.H.; Thục, T. Impacts of climate change on the flow in Hong - Thai Binh and Đồng Nai river basins. *VNU J. Sci. Earth Sci.* **2011**, 27, 98–106.
7. Hương, H.T.L. Kết quả nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy lưu vực sông Ba. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2013**, 13, 71–79.
8. Minh, N.H.; Vân, T.T.; Vinh, L.T.; Thái, T.H. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước lưu vực sông Lô. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2015**, 651, 3–8.
9. Hoàng, N.Đ. Ứng dụng mô hình MIKE NAM đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước lưu vực sông Kon Plong. *Tap chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2019**, 11, 60–66.
10. Quyên, N.T.N.; Âu, N.T.T.; Kiều, Đ.T.T.; Bảo, H.Đ.; Lắng, T.T.; Lợi, N.K. Nghiên cứu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước và đất lưu vực sông Srepok, Sách chuyên khảo, Lao động - Xã hội, 2020.
11. Thái, T.H.; Hương, T.T.M.; Hương, Đ.T.; Trang, P.T.T. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước tỉnh Thái Nguyên. Hội thảo quốc gia về Khí tượng, Thủy văn, Môi trường và Biến đổi khí hậu, 2012, 89–95.
12. Tuyên, N.K. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước mặt tỉnh Quảng Ngãi. Luận văn thạc sỹ, Trường đại học Thủy lợi, Hà Nội, 2013.
13. Biên, N.L. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước tỉnh Hà Giang và đề xuất giải pháp ứng phó. Luận văn thạc sỹ ngành Khoa học Môi trường, Trường đại học khoa học tự nhiên, Hà Nội, 2022, tr. 2.
14. Khánh, N.V.; Thục, T. Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến dòng chảy hồ A Vương. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 700, 23–33.
15. Hiền, T.T.H. Nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu đến tình hình ngập lụt hạ lưu sông Trà Khúc - Vệ. Luận văn thạc sỹ, Đại học Quốc Gia Hà Nội, Việt Nam, 2020, tr. 97.

16. Nam, N.A.; Anh, T.N.; Chiên, Đ.Đ.; Tài, N.Q. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tình hình ngập lụt hạ lưu sông Trà Khúc tỉnh Quảng Ngãi. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 704, 77–86.
17. Quang, N.T.; Đạt, L.Đ. Ứng dụng mô hình Swat đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy lưu vực sông Trà Khúc. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, 667, 15–20.
18. Trí, Đ.Q.; Nga, P.T. Nghiên cứu xây dựng bộ công cụ tích hợp dự báo lũ, cảnh báo ngập lụt cho 03 lưu vực sông: Thạch hãn, Vu Gia - Thu Bồn và Trà Khúc - Vệ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 736, 93–110.
19. Hương, H.T.L.; Hiền, N.X.; Thủy, N.T.; Hằng, V.T.; Công, N.T. Đánh giá rủi ro thiên tai do lũ lụt khu vực Trung Trung Bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 717, 1–10.
20. Chanh, B.V.; Anh, T.N. Tích hợp bộ mô hình dự báo thủy văn lưu vực sông Trà Khúc. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN* **2016**, 32(3S), 20–25.
21. Thái, T.H.; Trí, Đ.Q.; Tuyên, T.Đ.T.; Tâm, N.T.; Dịu, B.T. Áp dụng mô hình MIKE SHE kết hợp sử dụng sản phẩm mưa dự báo IFS dự báo lưu lượng đến hồ lưu vực sông Trà Khúc - Vệ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 697, 1–12.
22. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam. Hà Nội. 2016.
23. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam. Hà Nội. 2020.
24. Viện Khoa học Tài nguyên nước. Nhiệm vụ lập quy hoạch tổng hợp lưu vực sông Trà Khúc thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050, Hà Nội, 2020.
25. Xuân, T.T.; Tuyên, H.M.; Thục, T.; Thái, T.H.; Dũng, N.K. Tài nguyên nước các hệ thống sông chính Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2012.
26. DHI. MIKE 11 Reference Manual, DHI Software, 2014.

Assessment of climate change impacts on the Tra Khuc basin water resources in Quang Ngai province

Nguyen Thi Bich Ngoc¹, Tran Van Tinh^{1*}, Vu Duy Hung², Tran Thi Tu¹

¹ Hanoi University of Natural and Environment; ntbngoc@hunre.edu.vn; tvtinh@hunre.edu.vn; tttu.kttv@hunre.edu.vn

² Student at the Faculty of Water Resources, Hanoi University of Natural and Environment; vuhung0378870943@gmail.com

Abstract: Climate change has direct and indirect impacts on water resources. This paper applied the MIKE NAM model to assess the impacts of climate change on water resources in the Tra Khuc river basin based on two climate change scenarios RCP4.5 and RCP 8.5 of the Ministry of Natural Resources and Environment published 2020 replacing 2016. The parameters of the MIKE NAM model are calibrated by the data series from 1986 to 2004 and validated from 2005 to 2019 at the Son Giang hydrological station. The results of the paper show that in both scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5, annual flow, flood season flow and dry season flow in Tra Khuc river basin almost increase compared to the baseline period. Only the average dry season flow at the end of the century in the RCP8.5 scenario tended to decrease compared to the baseline period. However, during the driest period in the middle of the dry season flow decreases. The research results can be referenced to support the management, orientation of exploitation and sustainable development of water resources in Tra Khuc river basin.

Keywords: Water resources; Tra Khuc basin; Climate change; MIKE NAM.

Bài báo khoa học

Tác động của biến đổi khí hậu đến hoạt động du lịch ngoài trời ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long dựa trên chỉ số TCI (Tourism Climate Index)

Nguyễn Tuấn Thành¹, Nguyễn Đăng Mậu^{2*}, Thái Thị Thanh Minh¹, Nguyễn Văn Sơn², Nguyễn Hồng Sơn²

¹ Đại học Tài Nguyên và Môi trường Hà Nội; thanhbernardo953@gmail.com; tttminh@hunre.edu.vn

² Viện khoa học Khí tượng thủy văn và Biến đổi khí hậu; mau.imhen@gmail.com; nguyenson.imh@gmail.com; son14071996@gmail.com

*Tác giả liên hệ: mau.imhen@gmail.com; Tel.: +84-382072468

Ban Biên tập nhận bài: 18/5/2023; Ngày phản biện xong: 23/6/2023; Ngày đăng bài: 25/7/2023

Tóm tắt: Khí hậu đóng vai trò quan trọng trong việc lựa chọn địa điểm du lịch của mọi du khách. Tuy nhiên, nhiều điểm du lịch ở Đồng bằng sông Cửu Long được liên kết chặt chẽ với môi trường tự nhiên, nên những tác động của biến đổi khí hậu sẽ ảnh hưởng rất lớn đến hoạt động du lịch (đặc biệt là du lịch ngoài trời) ở khu vực này. Từ đó bài báo đã tiến hành đánh giá điều kiện khí hậu đối với du lịch Đồng bằng sông Cửu Long thông qua chỉ số khí hậu du lịch TCI - *Tourism Climate Index*. Đây là chỉ số khí hậu tổng hợp thực nghiệm, đánh giá ảnh hưởng đồng thời của các yếu tố khí hậu: nhiệt độ tối cao trung bình (°C); độ ẩm tối thấp trung bình (%); nhiệt độ trung bình (°C), độ ẩm trung bình (%); lượng mưa, số giờ nắng và tốc độ gió trung bình. So sánh kết quả tính của giai đoạn 2001-2020 với kết quả năm 2050 theo hai kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 ở Đồng bằng sông Cửu Long với “Phân loại mức độ thuận lợi của khí hậu cho du lịch” theo TCI cho thấy khí hậu Đồng bằng sông Cửu Long có sự thay đổi trong tương lai; từ quanh năm thuận lợi cho hoạt động du lịch nhưng trong tương lai với sự tác động của biến đổi khí hậu thì những hoạt động du lịch đã không còn tốt như hiện tại. Giai đoạn 2001-2020 thì TCI của Đồng bằng sông Cửu Long đạt mức độ thuận lợi trung bình ở phân cấp 5 tương đối tốt, trong tương lai thì TCI đã giảm xuống rất nhiều và đã xuất hiện những tháng với mức độ thuận lợi cho du lịch ở phân cấp 3 là không tốt, chỉ còn những tháng mùa khô từ tháng 12 đến tháng 4 trong tương lai là vẫn còn phù hợp với hoạt động du lịch.

Từ khóa: TCI; Biến đổi khí hậu; Du lịch; Sinh khí hậu; Đồng bằng sông Cửu Long.

1. Mở đầu

Ngành du lịch nước ta đã và đang đứng trước nhiều thách thức lớn đòi hỏi phải đề ra những giải pháp phù hợp để thích ứng. Tuy nhiên, các hoạt động du lịch ấy cần phải đi đôi với việc bảo vệ môi trường và chú trọng đến sức khỏe con người. Trước tác động ngày càng mạnh mẽ của biến đổi khí hậu hiện nay ngành du lịch Việt Nam đã và đang có những thay đổi khá rõ ràng. Trong khi đó mối quan hệ và ảnh hưởng của thời tiết, khí hậu, môi trường, ... tác động không nhỏ đến các nhóm ngành dịch vụ đặc biệt là ngành du lịch. Điều kiện khí hậu tốt thì sẽ tạo thuận lợi cho hoạt động du lịch, các hoạt động giải trí, nghỉ ngơi ngoài trời một cách thoải mái hơn khi thực hiện như: Tắm biển, đánh tennis, leo núi, đi săn, câu cá. Ngược lại, điều kiện thời tiết và khí hậu không thuận lợi có thể gây nên ô nhiễm không khí, nhiệt độ

tăng cao, mưa, gió lớn, bão lũ... tác động xấu đến hoạt động du lịch. Hiện nay hướng đánh giá tài nguyên khí hậu cho ngành du lịch đang được mở rộng nghiên cứu và đạt được nhiều thành tựu nhất định. Cụ thể là, sinh khí hậu cho các vùng du lịch đã được nhiều nhà khoa học và các chuyên gia nghiên cứu, sử dụng các phương pháp đánh giá định lượng thay thế dần cho phương pháp đánh giá định tính. Từ kết quả tính toán đánh giá mức độ tác động của biến đổi khí hậu tới hoạt động du lịch [1]. Qua đó giúp cho các nhà nghiên cứu phân tích đúng và chính xác mức độ thuận lợi của điều kiện sinh khí hậu khu vực, đồng thời phát hiện ra những hạn chế để đưa ra những biện pháp phù hợp giúp khai thác hiệu quả du lịch vùng. Đặt nền móng cho phương pháp đánh giá khí hậu tổng hợp là Phêđêrôp, ông xây dựng tổ hợp các kiểu thời tiết trong ngày với các mức độ tác động khác nhau đến sức khỏe con người và các hoạt động du lịch. Tổ chức du lịch thế giới cũng đã đưa ra phương pháp đánh giá thích nghi của con người với điều kiện khí hậu bằng giản đồ tương quan thực nghiệm giữa 2 yếu tố: nhiệt độ và độ ẩm tuyệt đối [2]. Hiện nay, bên cạnh việc sử dụng phổ biến các yếu tố khí hậu khác nhau để đánh giá hiệu quả của sinh khí hậu tác động đến du lịch, nhiều chỉ số khí hậu tổng hợp được xây dựng trong sinh khí hậu ứng dụng như chỉ số bất tiện nghi (DI), nhiệt độ hiệu dụng (ET), chỉ số bức xạ nhiệt (EI), và chỉ số nhiệt căng thẳng (HIS), nhiệt độ hiệu dụng chuẩn (SET), nhiệt độ sinh lý tương đương (PET), hoặc 2 chỉ số khí hậu du lịch (CIT, TCI). Trong đó, [3] đã dựa trên các kết quả nghiên cứu trước về phân loại khí hậu cho du lịch, sự thoải mái của con người liên quan đến khí hậu và đặc điểm hoạt động du lịch để đưa ra chỉ số khí hậu du lịch TCI dựa trên 7 yếu tố khí hậu, xây dựng tổ hợp các kiểu thời tiết đặc trưng trong ngày với các mức độ ảnh hưởng đến sức khỏe con người cũng như đến các hoạt động du lịch. Chỉ số TCI này được phát triển và ứng dụng trên nhiều nghiên cứu ở các vùng lãnh thổ khác nhau như thành phố Nir (Iran) [4], tỉnh Mazandaran (Iran) [5], bang Herzegovina - neretva (Bosnia) [6], Tbilisi (Georgia) [7], vùng Địa Trung Hải [8]. Không chỉ được áp dụng phổ biến ở các khu vực vĩ độ thấp, chỉ số này còn được sử dụng rộng rãi ở các khu vực khác trên thế giới.

Ở Việt Nam thì những công trình cơ bản của các nhà nghiên cứu: [9] đi tiên phong là các nhà y học [10] với các công trình: “Thiên nhiên và sức khỏe”, phân tích mối quan hệ giữa khí hậu và sức khỏe, sự rèn luyện cơ thể để thích ứng với điều kiện môi trường. Tác giả [11] ngoài phân tích sự tác động của từng yếu tố thời tiết khí hậu lên cơ thể con người, tổng kết một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm, một số chỉ tiêu và mô hình sinh khí tượng. Trong [12], tác giả cũng phân tích từng yếu tố khí hậu tác động và phương pháp thích ứng của cơ thể với điều kiện thời tiết, khí hậu. Các nghiên cứu của các nhà khí hậu và địa lý như [13], đã chỉ rõ sự tác động của từng yếu tố thời tiết, khí hậu lên cơ thể con người, với các kết quả thực nghiệm cụ thể. Hướng khác về nghiên cứu sinh khí hậu người đó là các công trình nghiên cứu sinh khí hậu công trình và đô thị như [14], đã đưa ra cơ sở khoa học lựa chọn và xây dựng chỉ tiêu phân vùng khí hậu xây dựng phục vụ trong xây dựng. Công trình [15] đã phân tích, đánh giá khí hậu theo cách nhìn của các kiến trúc sư. Nhìn chung, các nghiên cứu về tài nguyên sinh khí hậu vừa xây dựng được cơ sở khoa học về vai trò của các yếu tố sinh khí hậu với từng loại hình du lịch, vừa có những đánh giá định lượng cụ thể và chi tiết, xây dựng được các hệ thống bản đồ mô tả, bảng số liệu thống kê, góp phần đóng góp những luận cứ về nghiên cứu sinh khí hậu ứng dụng cho phát triển du lịch.

Trên thế giới và ở Việt Nam, các công trình nghiên cứu đánh giá tài nguyên và sinh khí hậu cho phát triển du lịch đã có từ lâu và khá phong phú; được thể hiện qua các phương pháp đánh giá, quy mô nghiên cứu và quan trọng hơn nữa là hướng tiếp cận nghiên cứu đánh giá cũng không giống nhau. Trong đánh giá các chỉ số sinh khí hậu tổng hợp cho phát triển du lịch, ngoài các yếu tố khí hậu cụ thể như nhiệt độ, lượng mưa, số ngày mưa, độ dài mùa khô, còn có nhiều chỉ số sinh khí hậu tổng hợp được áp dụng với các mô hình ngày càng được cải tiến, với phạm vi ứng dụng trên các vùng lãnh thổ lớn; ngoài ra, đối với từng mục đích du lịch cụ thể mà có trọng số khác nhau với từng yếu tố khí hậu.

Bài báo sẽ đóng góp những điểm mới sau cho nghiên cứu du lịch nghỉ dưỡng Đồng bằng sông Cửu Long: sẽ đánh giá tài nguyên khí hậu Đồng bằng sông Cửu Long bằng phương pháp định lượng sử dụng chỉ số khí hậu du lịch TCI (*Tourism Climate Index*), chỉ ra được những giai đoạn thích hợp nhất cho du khách tham quan du lịch ĐBSCL, đồng thời đề xuất những biện pháp khắc phục hạn chế về điều kiện thời tiết khí hậu vào mùa mưa ở ĐBSCL. Thông qua chỉ số sinh khí hậu du lịch TCI, bài báo cũng xác định được những yếu tố khí hậu hạn chế trong các tháng du lịch để đưa ra những khuyến cáo cần thiết cho du khách.

2. Cơ sở số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp nghiên cứu

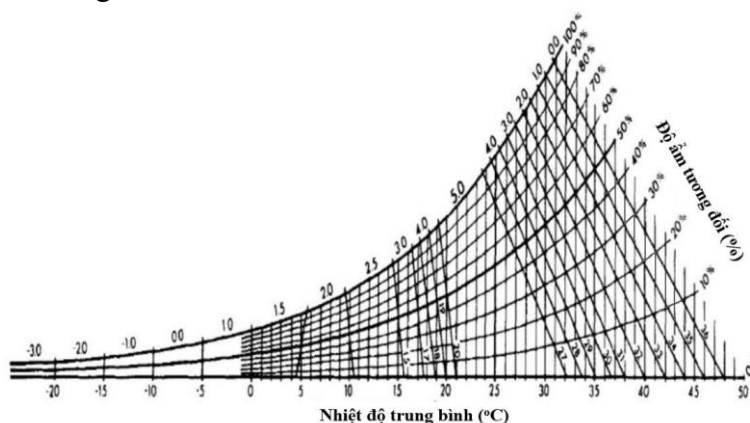
Vùng Đồng bằng sông Cửu Long là vùng nằm phía Nam Việt Nam, một bộ phận của châu thổ sông Mê Kông, gồm 13 tỉnh, thành phố. Vị trí: Phía Tây Bắc giáp Campuchia, phía Tây Nam giáp vịnh Thái Lan, phía Nam và Đông Nam giáp Biển Đông. Diện tích khoảng 40.816 km² chiếm 12,3% diện tích cả nước.

Nội dung bài báo lựa chọn phương pháp đánh giá sinh khí hậu ứng dụng: chỉ số khí hậu du lịch TCI [16]. Chỉ số khí hậu du lịch TCI (*Tourism Climate Index*) tính toán điều kiện khí hậu khiến du khách thoải mái khi tham gia hoạt động du lịch (đặc biệt là du lịch tham quan ngoài trời). Chỉ số này kết hợp từ 7 tham số trong đó có 2 tham số kết hợp là CID (*Daytime Comfort Index* - Chỉ số tiện nghi nhiệt ban ngày) và CIA (*Daily Comfort Index* - Chỉ số tiện nghi nhiệt hàng ngày), 3 tham số độc lập R (*Rainfall* - lượng mưa), S (*Sunny day* - Số giờ nắng), W (*Wind* - Tốc độ gió).

Phương pháp đánh giá sinh khí hậu TCI được sử dụng phổ biến rộng rãi ở nhiều nơi trên thế giới. Từ đó đến nay, rất nhiều nhà nghiên cứu ứng dụng và phát triển chỉ số này để phân tích cho điều kiện khí hậu tới sức khỏe của du khách ở nhiều khu vực khác nhau như: [17] đánh giá chỉ số khí hậu du lịch cho Tbilisi (thuộc Gruzia); [18] so sánh hai chỉ số khí hậu du lịch HCI và TCI để đánh giá cho du lịch ở châu Âu; [19] sử dụng chỉ số khí hậu du lịch cải tiến của TCI là CIT nghiên cứu du lịch,... - Công thức (1).

$$TCI = (8 \times CID) + (2 \times CIA) + (4 \times R) + (4 \times S) + (2 \times W) \quad (1)$$

Trong đó CID là chỉ số tiện nghi nhiệt ban ngày (chỉ số tiện nghi nhiệt ban ngày dựa vào hai chỉ số nhiệt độ tối cao trung bình và độ ẩm tương đối thấp nhất trung bình, cách tính của CID là sự kết hợp của nhiệt độ tối cao trung bình và độ ẩm tương đối thấp nhất trung bình dựa vào Hình 1); CIA là chỉ số tiện nghi nhiệt hàng ngày (chỉ số tiện nghi nhiệt hàng ngày dựa trên hai chỉ số nhiệt độ không khí trung bình và độ ẩm trung bình, cách tính CIA là sự kết hợp của nhiệt độ không khí trung bình và độ ẩm trung bình dựa vào Hình 1); R là lượng mưa trung bình ngày trong tháng (mm), cách tính dựa theo Bảng 1; S là số giờ nắng trung bình ngày trong tháng (giờ), cách tính dựa theo Bảng 1; W là Vận tốc gió trung bình (m/s), cách tính dựa theo Bảng 2.



Hình 1. Đồ thị biểu diễn tương quan CID và CIA (CID và CIA).

Cách xác định hai tham số kết hợp CID và CIA dựa vào đồ thị biểu diễn tương quan (Hình 1) với trục tung biểu thị độ ẩm trung bình, trục hoành thể hiện nhiệt độ không khí. Giao điểm giữa hai biến số này là tham số kết hợp. Giá trị xếp loại 5,0 thể hiện nhiệt độ và độ ẩm thuận lợi nhất cho phát triển du lịch. Từ 0-2,0 cho biết điều kiện nhiệt độ và độ ẩm không phù hợp cho hoạt động du lịch.

Hai tham số kết hợp CID (chỉ số tiện nghi nhiệt ban ngày) và CIA (chỉ số tiện nghi nhiệt hàng ngày) thể hiện mối quan hệ giữa hai yếu tố nhiệt độ và độ ẩm ảnh hưởng tới sức khỏe của du khách. CID được xác định thông qua chỉ số tương quan của nhiệt độ tối cao và độ ẩm tối thấp, nó biểu thị sự thoải mái về nhiệt - ẩm lúc ban ngày khi diễn ra hoạt động du lịch. CIA xác định thông qua chỉ số tương quan ngày của nhiệt độ và độ ẩm, biểu thị sự thoải mái về nhiệt ẩm suốt cả ngày (kể cả ban đêm).

Bảng 1. Xác định lượng mưa trung bình ngày, số giờ nắng để tính toán cho chỉ số TCI [16].

Lượng mưa trung bình ngày/tháng	Số giờ nắng mỗi ngày	Giá trị xếp loại
0 – 14,9 mm	>10h	5
15 – 29,9 mm	9h – 9h59	4,5
30 – 44,9 mm	8h – 8h59	4
45 – 59,9 mm	7h – 7h59	3,5
60 – 74,9 mm	6h – 6h59	3
75 – 89,9 mm	5h – 5h59	2,5
90 – 104,9 mm	4h – 4h59	2
105 – 119,9 mm	3h – 3h59	1,5
120 – 134,9 mm	2h – 2h59	1
135 – 149,9 mm	1h – 1h59	0,5
>150 mm	<1h	0



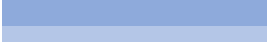
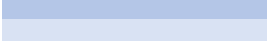
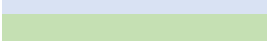
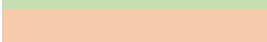




Trong mô hình du lịch 3S (*Sun, Sea, Sand*), số giờ nắng nhiều trong ngày giúp cho hoạt động du lịch được diễn ra thuận lợi, theo giá trị xếp loại trên thì lượng mưa ít < 45 mm/tháng và số giờ nắng > 8h/ngày sẽ đạt giá trị xếp loại 4: Thuận lợi tới Lí tưởng cho hoạt động du lịch.

Bảng 2. Xác định tốc độ gió để tính toán cho chỉ số TCI [16].

Tốc độ gió (km/h)	Tốc độ gió (m/s)	Giá trị xếp loại
2,88	<0,80	5,0
2,88 – 5,75	0,80 – 1,60	4,5
5,76 – 9,03	1,60 – 2,51	4,0
9,04 – 12,23	2,51 – 3,40	3,5
12,24 – 19,79	3,40 – 5,50	3,0
19,80 – 24,29	5,50 – 6,75	2,5
24,30 – 28,79	6,75 – 7,80	2,0
28,80 – 38,52	7,80 – 10,70	1,0
>38,52	>10,70	0,0

Đánh giá cho hoạt động du lịch còn chịu ảnh hưởng của tốc độ gió, với tốc độ gió < 2,51 m/s được đánh giá từ Rất tốt đến Lí tưởng với điểm giá trị xếp loại từ 4,0 đến 5,0. Tổng hợp từ 2 tham số CIA và CID, 3 yếu tố độc lập là lượng mưa trung bình, số giờ nắng, vận tốc gió, áp dụng tính toán chỉ số TCI như CT1 ở trên, kết quả đánh giá mức độ thuận lợi cho du lịch được phân cấp như sau (Bảng 3).

Bảng 3. Phân loại đánh giá mức độ thuận lợi của khí hậu cho du lịch dựa theo chỉ số khí hậu du lịch TCI [16].

Chỉ số khí hậu du lịch	Phân cấp	Đánh giá mức độ thuận lợi	
100 – 90	9	Lí tưởng	
90 – 80	8	Tuyệt vời	
80 – 70	7	Rất tốt	
70 – 60	6	Tốt	
60 – 50	5	Tương đối tốt	
50 – 40	4	Thuận lợi	
40 – 30	3	Không tốt	
30 – 20	2	Rất không tốt	
20 – 10	1	Cực kì không tốt	
10 – 0	0	Không phù hợp	

2.2. Số liệu nghiên cứu

- Số liệu khí tượng giai đoạn 2001-2020: Bao gồm nhiệt độ tối cao trung bình (°C) và độ ẩm tương đối thấp nhất trung bình (%), nhiệt độ không khí trung bình (°C) và độ ẩm trung bình 3 tham số độc lập gồm có lượng mưa trung bình ngày trong tháng (mm), số giờ nắng trung bình ngày trong tháng (giờ), vận tốc gió trung bình (m/s) tại 12 trạm KTTV khu vực ĐBSCL

- Số liệu kịch bản biến đổi khí hậu: số liệu nhiệt độ và lượng mưa tại 12 trạm KTTV vào năm 2050 theo 2 kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5.

Các thông tin chung về dữ liệu khí hậu của 12 trạm ĐBSCL được thể hiện qua Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ các trạm khí tượng ở ĐBSCL.

3. Kết quả

- Nhìn chung chỉ số TCI từ năm 2001-2020 ở ĐBSCL với kết quả TCI đều ở mức thuận lợi cho tới tuyệt vời (ngoài 4 khu vực Long An, Bến Tre, Phú Quốc, Cà Mau là có mức độ thuận lợi không tốt cho du lịch) còn lại thì hầu như vùng này đều phù hợp cho hoạt động du lịch.

Bảng 5. Chỉ số TCI khu vực ĐBSCL từ 2001-2020.

Tháng	Mộc Hóa	Mỹ Tho	Cao Lãnh	Ba Tri	Càng Long	Châu Đốc	Cần Thơ	Sóc Trăng	Rạch Giá	Phú Quốc	Bạc Liêu	Cà Mau
I	74,4	81,4	77,8	81,6	75,8	72,6	76,4	78,0	73,6	75,8	79,2	72,0
II	74,4	79,6	81,0	83,6	78,2	74,4	75,0	78,8	72,8	75,6	82,0	76,2
III	67,0	73,2	64,6	74,8	68,6	64,0	65,6	70,2	63,2	59,0	73,0	67,4
IV	52,6	60,6	53,2	66,4	60,4	49,4	57,4	61,4	54,8	50,4	61,0	56,6
V	40,0	43,0	45,2	36,6	40,6	41,0	40,6	48,4	40,8	41,6	47,8	38,0
VI	38,6	42,8	43,0	42,2	40,6	44,6	46,2	44,8	42,0	39,0	41,4	41,4
VII	45,4	44,6	44,0	44,4	42,4	42,2	46,2	46,4	41,2	40,4	42,8	42,2
VIII	44,2	44,6	45,8	44,2	43,0	42,8	47,2	46,2	41,8	40,2	42,8	45,6
IX	41,8	46,4	46,2	44,2	45,0	44,6	46,4	47,8	43,6	43,4	46,4	45,2
X	46,2	47,2	48,2	48,4	44,6	48,6	49,8	49,8	46,0	47,6	46,4	44,6
XI	50,0	60,4	53,6	60,4	54,8	49,6	51,4	54,6	47,0	54,6	48,4	46,6
XII	66,2	71,8	72,2	71,8	69,2	62,8	70,0	67,6	69,0	66,6	69,4	65,8
Năm	51,8	54,2	50,8	55,6	49,4	51,2	76,4	50,8	46,6	46,6	47,8	45,6

- Kết quả chỉ số TCI cho thấy vào mùa mưa ở ĐBSCL (từ tháng 5 đến tháng 11) thì mức đánh giá du lịch ở các vùng đều thuận lợi cho du lịch.

+ Vào tháng 5, chỉ số TCI khu vực ĐBSCL hầu hết đều ở mức thuận lợi cho hoạt động du lịch, chỉ số TCI ở mức từ 40-50. Riêng khu vực trạm Bến Tre và Cà Mau không tốt cho du lịch với chỉ số TCI là 36,6 và 38,0 do đó du khách khi đi du lịch vào thời điểm này sẽ cảm thấy không được thoải mái.

+ Tháng 6 ở ĐBSCL hầu hết các vùng đều đạt phân cấp 4 thuận lợi cho hoạt động du lịch. Duy nhất còn 2 vùng Long An, Bạc Liêu với mức TCI chỉ là 38,6 và 39,0 không tốt cho hoạt động du lịch do ở tháng 6 thì lượng mưa quá lớn và số giờ nắng ít cộng với CID và CIA rất thấp nên ở tháng 6 phân cấp ở Long An chỉ là 3 không tốt cho hoạt động du lịch.

+ Tháng 7, tháng 8, tháng 9, tháng 10 du lịch ở ĐBSCL giữ ở mức phân cấp 4 với chỉ số khí hậu du lịch từ 40-50 hoàn toàn thuận lợi cho hoạt động du lịch. Mặc dù là mùa mưa nhưng trong những tháng này vẫn có số giờ nắng đạt mức ổn cho hoạt động du lịch ngoài trời.

+ Tháng 11 là tháng cuối của mùa mưa sắp chuyển giao qua mùa khô nên du lịch vào tháng này ở ĐBSCL đang chuyển biến tốt dần, một số vùng như An Giang, Kiên Giang, Bạc Liêu, Cà Mau ở mức phân cấp 4 thuận lợi cho du lịch và những vùng còn lại đạt mức phân cấp 5 tương đối tốt, đặc biệt trong tháng 11 này thì vùng Tiền Giang và Bến Tre đã đạt với phân cấp 6 với chỉ số khí hậu du lịch TCI trên 60 đạt mức tốt cho hoạt động du lịch ở nơi đây.

- Vào mùa khô từ tháng 12 đến tháng 4 tại ĐBSCL rất thuận lợi cho hoạt động du lịch và đây là mùa du lịch ở khu vực này.

+ Với tháng 12, tháng bắt đầu vào mùa khô thì các vùng ở ĐBSCL đều đạt mức tốt trở lên. Riêng ở các vùng Tiền Giang, Đồng Tháp, Bến Tre, Cần Thơ vào tháng 12 là những vùng đạt mức phân cấp 7 rất tốt cho hoạt động du lịch tại ĐBSCL.

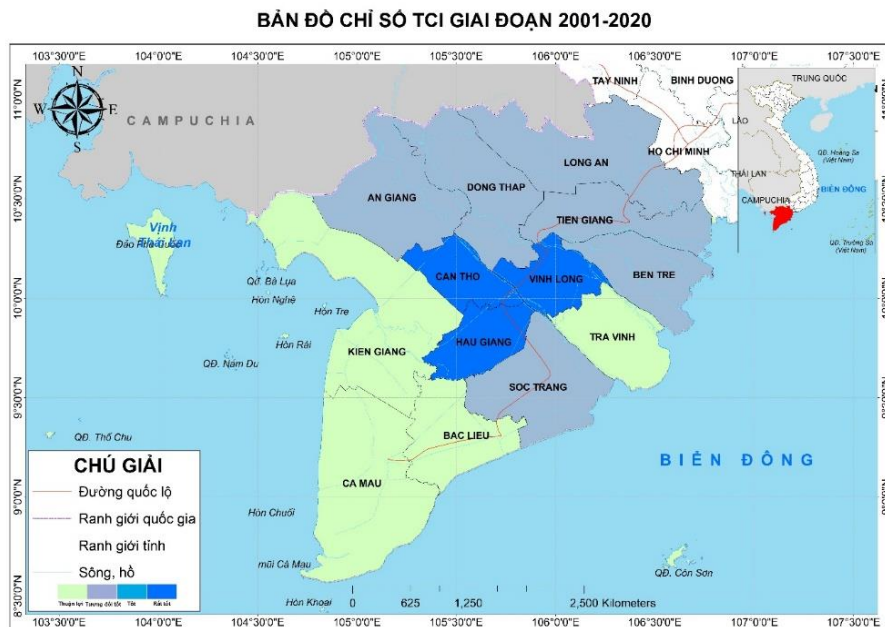
+ Đối với tháng 1 và tháng 2 là khoảng thời gian mà ĐBSCL đạt mức tuyệt vời cho hoạt động du lịch. Du khách muốn du lịch tại ĐBSCL thì nên lựa chọn vào 2 tháng này bởi đây là tháng tốt nhất cho hoạt động du lịch. Ở tháng 1 thì ở vùng Tiền Giang và Bến Tre, tháng 2 là Đồng Tháp, Bến Tre và Bạc Liêu là nơi có chỉ số TCI đạt trên 80 với mức phân cấp 8 rất tuyệt vời cho du lịch và khí hậu rất tốt sẽ không làm ảnh hưởng tới sức khỏe của du khách khi tới đây.

+ Tháng 3 thì sẽ không còn vùng đạt phân cấp 8 nữa nhưng trong tháng 3 chỉ số TCI hầu như đều đạt mức tốt đến rất tốt. Tuy nhiên ở Phú Quốc (Kiên Giang) vào tháng 3 thì chỉ số TCI đã giảm xuống còn 59,0 nên vùng này là vùng có chỉ số thấp nhất vùng ĐBSCL vào tháng 3 đạt mức tương đối tốt cho hoạt động du lịch. Còn các vùng còn lại đều đạt mức tốt tới rất tốt cho hoạt động du lịch. Qua chỉ số TCI cho thấy tháng 3 du lịch ở ĐBSCL vẫn

rất tốt, cho du đã giảm 1 chút so với 2 tháng trước nhưng tới ĐBSCL vào tháng 3 vẫn rất tốt cho các hoạt động du lịch của du khách.

+ Còn tháng 4, tháng cuối cùng của mùa khô (mùa du lịch ở ĐBSCL) thì theo chỉ số TCI thì hoạt động du lịch ở đây vẫn tương đối ổn khi sắp bước vào mùa mưa. Mức độ vào tháng 4 ở ĐBSCL vẫn khá tốt cho du lịch. Chỉ có vùng An Giang với mức đánh giá cho du lịch thấp nhất là 49,4 với phân cấp 4 vẫn thuận lợi cho hoạt động du lịch. Còn những vùng còn lại đều tương đối tốt với đỉnh điểm đạt phân cấp 6 ở những vùng Tiền Giang, Bến Tre, Trà Vinh, Sóc Trăng và Bạc Liêu là đạt mức tốt nếu du lịch ở những vùng này.

→ Nhìn chung vào mùa du lịch (mùa khô) tất cả các tháng đều tốt, thuận lợi cho hoạt động du lịch, nếu du khách muốn tận hưởng tốt nhất về phong cảnh và thời tiết thuận lợi nhất thì nên đi vào tháng 1 và 2, là tháng mà du lịch du khách sẽ cảm thấy thoải mái nhất khi tới ĐBSCL. Còn về mùa mưa thì từ chỉ số TCI khu vực ĐBSCL (2001-2020) cho thấy ở nơi đây vẫn thuận lợi cho phát triển du lịch, trừ một số vùng như Bến Tre, Cà Mau vào tháng 5 và Long An, Phú Quốc (Kiên Giang) vào tháng 6 là những vùng có chỉ số khí hậu ở mức không tốt cho hoạt động du lịch.



Hình 3. Bản đồ chỉ số TCI giai đoạn 2001-2020 tại ĐBSCL.

Chỉ số khí hậu du lịch TCI trung bình từ năm 2001-2020 tại ĐBSCL đều từ mức thuận lợi, tương đối tốt và rất tốt.

- Những tỉnh ven biển như: Trà Vinh, Bạc Liêu, Cà Mau và Kiên Giang với chỉ số khí hậu du lịch đạt phân cấp 4 với mức độ thuận lợi cho hoạt động du lịch.

- Một số vùng ven biển: Sóc Trăng, Bến Tre, Tiền Giang cùng với các tỉnh phía tây ĐBSCL là Long An, Đồng Tháp và An Giang đều đạt chỉ số khí hậu TCI ở mức 50-60, phân cấp 5 tương đối tốt với hoạt động du lịch, tạo ra sự thoải mái cho du khách tới những nơi đây.

- Ở trung tâm ĐBSCL với ba vùng Vĩnh Long, Cần Thơ và Hậu Giang là những nơi đạt mức rất tốt đối với hoạt động du lịch. Với chỉ số khí hậu từ 70-80, phân cấp 7 thì nơi đây là địa điểm thích hợp nhất và tốt nhất cho hoạt động du lịch tại ĐBSCL.

Từ 2001-2020 thì ĐBSCL là địa điểm du lịch có cảnh quan sinh thái đặc trưng là đồng bằng và biển đảo, một vùng sông nước hữu tình và quyến rũ, cây trái bốn mùa trĩu quả, môi trường trong lành, nhiều lễ hội dân gian truyền thống mang bản sắc văn hóa độc đáo, đặc biệt tính cách con người Phương Nam hiền hòa, hiếu khách, phóng khoáng và hòa hiệp đã tạo nên những sản phẩm du lịch thật sự thú vị đối với du khách khi tới khu vực này.

Tính toán chỉ số TCI vào năm 2050 theo kịch bản biến đổi khí hậu.

Bảng 6. Chỉ số TCI khu vực ĐBSCL theo 2 kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5.

Tháng	Mộc Hóa		Mỹ Tho		Cao Lãnh		Ba Tri		Càng Long		Châu Đốc		Cần Thơ		Sóc Trăng		Rạch Giá		Phú Quốc		Bạc Liêu		Cà Mau	
	4,5	8,5	4,5	8,5	4,5	8,5	4,5	8,5	4,5	8,5	4,5	8,5	4,5	8,5	4,5	8,5	4,5	8,5	4,5	8,5	4,5	8,5	4,5	8,5
I	69,0	65,2	72,2	70,2	68,4	66,4	76,4	74,2	67,2	64,4	65,8	64,6	72,8	70,6	67,0	65,2	64,2	62,2	68,0	62,2	72,6	70,6	65,0	64,8
II	69,4	65,8	73,4	70,4	70,6	66,8	78,4	75,2	71,6	69,6	66,4	65,0	71,6	70,4	70,8	69,4	67,4	64,6	68,0	64,0	76,4	74,2	66,8	65,0
III	59,6	57,4	65,0	60,8	58,6	54,8	69,4	68,0	61,4	60,2	54,8	51,0	63,2	61,4	61,4	58,2	57,0	47,2	57,2	51,2	69,8	65,8	59,4	56,6
IV	49,2	47,2	57,6	56,0	49,0	48,0	61,4	60,0	56,0	54,6	39,4	39,6	57,4	55,4	54,0	53,2	50,2	50,2	46,6	46,6	56,4	57,0	47,6	47,0
V	34,0	30,6	33,6	32,0	36,0	32,8	33,6	31,4	33,4	31,2	29,2	28,8	37,2	35,4	34,0	31,0	33,6	31,6	37,4	33,8	34,2	32,2	33,0	30,8
VI	32,4	30,2	34,0	31,4	35,2	32,6	34,6	32,0	32,6	29,8	31,2	30,2	39,2	38,2	33,2	32,2	34,0	31,8	35,8	34,2	36,6	35,4	33,6	32,8
VII	36,2	34,8	37,2	35,0	37,2	34,0	38,0	36,0	34,8	33,8	33,0	31,2	40,8	40,0	37,2	33,4	33,8	30,2	35,0	33,0	37,8	36,0	35,8	33,0
VIII	36,6	34,0	37,8	36,0	38,0	36,4	37,8	36,6	35,4	34,4	33,6	32,0	43,0	41,8	36,2	33,6	34,6	32,8	35,8	34,8	41,4	38,6	38,8	38,0
IX	36,4	34,4	40,6	38,0	39,6	36,2	37,8	36,8	38,2	35,8	35,4	33,8	41,2	40,6	38,0	34,4	36,6	34,8	39,0	37,8	42,2	39,0	38,4	36,6
X	38,4	35,4	42,2	39,0	41,6	38,2	41,4	39,8	38,2	35,6	39,8	37,8	46,0	44,4	39,8	37,8	38,8	37,8	45,0	43,8	44,0	41,0	39,4	37,0
XI	40,6	38,6	44,4	47,8	42,8	43,2	47,6	50,4	40,8	40,2	38,8	39,8	47,6	45,4	42,8	40,8	41,2	39,0	49,2	47,2	45,4	43,8	42,6	40,6
XII	59,0	55,0	59,6	57,6	59,0	59,4	65,0	62,2	58,0	54,6	57,8	52,8	61,0	59,8	54,6	52,4	59,2	54,6	66,8	62,8	59,6	55,0	54,8	52,8
Năm	40,8	37,0	43,8	41,8	42,0	39,0	46,2	43,6	40,2	39,2	40,0	38,0	44,8	41,0	40,0	39,0	38,2	37,2	43,6	40,2	43,6	40,6	40,0	42,6

Về TCI của ĐBSCL vào năm 2050 theo 2 kịch bản biến đổi khí hậu cho thấy chỉ số khí hậu du lịch đã thay đổi so với quá khứ rất nhiều.

- Theo 2 kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 thì vào mùa mưa ở ĐBSCL từ tháng 5 đến tháng 11 thì chỉ số khí hậu đã không còn thuận lợi so với quá khứ.

+ Vào tháng 5-6 những tháng đầu của mùa mưa thì chỉ số khí hậu TCI ở nơi đây đều ở mức không tốt và lên đến đỉnh điểm ở vùng An Giang (Châu Đốc) theo 2 kịch bản ở tháng 5 thì mức TCI là 29,2 và 28,8; tháng 6 ở kịch bản RCP 8.5 ở Trà Vinh đều thuộc phân cấp 2 rất không tốt cho hoạt động du lịch làm ảnh hưởng tới sức khỏe và cảm giác không thoải mái cho khách du lịch khi tới vùng này vào tương lai.

+ Đến tháng 7-10 là các tháng đều giữ ở mức không tốt cho hoạt động du lịch nhưng những tháng này ở một số vùng chỉ số khí hậu trong tương lai vẫn thuận lợi cho hoạt động du lịch như: ở Cần Thơ trong 4 tháng ở 2 kịch bản trên đều phù hợp cho du lịch, Tiền Giang RCP 4.5 trong tháng 9,10 là thuận lợi cho du lịch, ở Đồng Tháp và Bến Tre vào tháng 10 ở kịch bản RCP 4.5 vẫn thuận lợi cho hoạt động du lịch, với Phú Quốc (Kiên Giang) trong tháng 10 ở 2 kịch bản vẫn thuận lợi cho hoạt động du lịch, còn Bạc Liêu thì kịch bản RCP 4.5 trong tháng 8,9,10 và RCP 8.5 thì là tháng 10 đều thuận lợi cho du lịch.

+ Còn tháng 11 là tháng cuối cùng của mùa mưa, lượng mưa giảm xuống và những vùng thuận lợi cho hoạt động du lịch rất nhiều và theo kịch bản RCP 8.5 ở Bến Tre vẫn đạt tới mức tương đối tốt cho du lịch. Tuy nhiên vẫn còn vùng Kiên Giang theo kịch bản RCP 8.5 là không tốt cho du lịch. Tháng 11 ở ĐBSCL trong tương lai theo RCP 4.5 và RCP 8.5 vẫn thuận lợi cho hoạt động du lịch.

- Vào mùa khô (mùa du lịch) từ tháng 12 đến tháng 4 ở ĐBSCL trong tương lai hoạt động du lịch ở đây vẫn tốt nhưng có phần suy giảm hơn quá khứ do sự thay đổi của khí hậu.

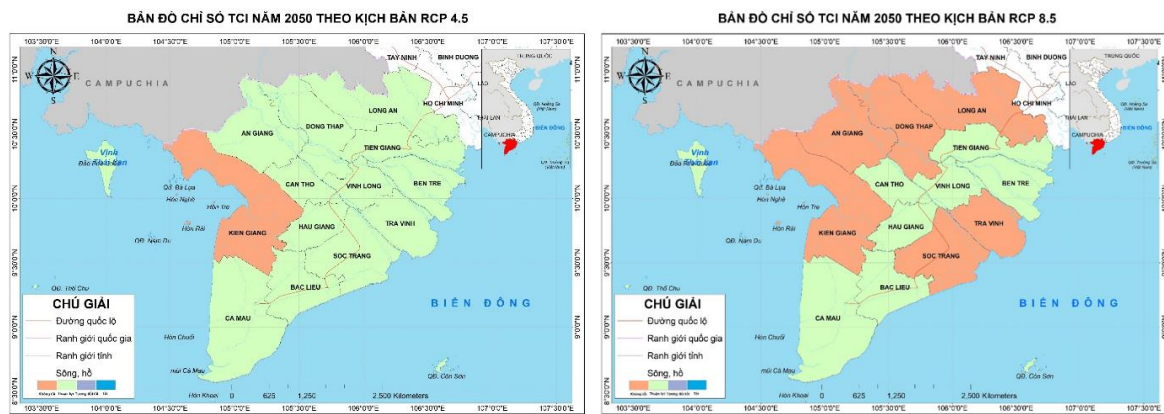
+ Ở tháng 12 đầu mùa khô thì du lịch theo 2 kịch bản đều ở mức tương đối tốt trở lên. Đặc biệt ở Bến Tre, Phú Quốc (Kiên Giang) ở 2 kịch bản và ở Cần Thơ theo RCP 4.5 cũng đạt ở phân cấp 6 với mức tốt cho hoạt động du lịch.

+ Cũng như ở quá khứ, trong tương lai tháng 1 và tháng 2 cho dù có sự thay đổi nhưng vẫn là 2 tháng có mức độ thuận lợi rất tốt cho hoạt động du lịch. Hầu như ở 2 tháng này trong 2 kịch bản mức độ đánh giá du lịch đều đạt tốt và rất tốt cho hoạt động du lịch nghỉ dưỡng.

+ Với tháng 3 ở ĐBSCL trong tương lai thì hoạt động du lịch vẫn ở mức tương đối tốt và tốt. Tuy nhiên ở vùng Kiên Giang theo kịch bản RCP 8.5 đã giảm xuống ở mức thuận lợi cho hoạt động du lịch.

+ Còn tháng 4, tháng cuối của mùa khô và sắp chuyển giao mùa trong tương lai ở ĐBSCL thì hoạt động du lịch ở một số vùng đã giảm rất mạnh, một số vùng đã không tốt cho hoạt động du lịch nữa. Vào tháng 4 thì chỉ số khí hậu du lịch TCI đã giảm xuống mức chỉ còn tương đối tốt và thuận lợi. Đặc biệt tháng 4 ở vùng An Giang trong 2 kịch bản đều giảm và không tốt cho hoạt động du lịch.

→ Nhìn chung trong tương lai chỉ số khí hậu du lịch TCI ở 2 kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 ở ĐBSCL đã thay đổi giảm xuống so với quá khứ rất nhiều. Đặc biệt vào những tháng mùa mưa đã có nhưng nơi rất không tốt cho du lịch. Nhưng mặc dù thay đổi nhưng trong tương lai vào mùa mưa vẫn còn một số vùng vẫn thuận lợi cho du lịch, còn mùa du lịch thì ĐBSCL vẫn rất tốt cho hoạt động du lịch, là điểm đến nghỉ dưỡng rất thú vị cho du khách và du khách sẽ cảm thấy rất thoải mái khi tới ĐBSCL vào mùa du lịch.



Hình 4. Bản đồ chỉ số TCI năm 2050 theo kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 tại ĐBSCL.

- Ở kịch bản RCP 4.5 (2050) thì chỉ số khí hậu TCI ở ĐBSCL đã giảm xuống so với giai đoạn 2001-2020.

- Những vùng ở quá khứ đạt mức tương đối tốt và rất tốt cho hoạt động du lịch thì ở kịch bản RCP 4.5 (2050) đã giảm hết xuống ở mức thuận lợi cho hoạt động du lịch.

- Riêng ở vùng Kiên Giang tới năm 2050 ở RCP 4.5 thì chỉ số khí hậu du lịch ở nơi đây đã giảm xuống phân cấp 3 với mức không tốt cho hoạt động du lịch, du khách sẽ không có cảm giác thoải mái khi du lịch tới vùng này vào tương lai (2050).

→ Nhìn chung ngoài Kiên Giang với mức đánh giá không tốt, còn những vùng còn lại tại ĐBSCL thì mức đánh giá trung bình của TCI vẫn thuận lợi cho hoạt động du lịch.

- Còn tới năm 2050 của kịch bản RCP 8.5 cũng giảm, so với kịch bản RCP 4.5 thì RCP 8.5 đã giảm mạnh hơn.

- Ở kịch bản RCP 8.5 (2025) xuất hiện nhiều vùng với chỉ số khí hậu không tốt cho du lịch như: Kiên Giang, An Giang, Đồng Tháp, Long An, Trà Vinh và Sóc Trăng.

- Nhưng vẫn còn có những vùng: Cà Mau, Bạc Liêu, Hậu Giang, Cần Thơ, Vĩnh Long, Bến Tre, Tiền Giang và đặc biệt có đảo Phú Quốc là vẫn giữ được chỉ số khí hậu TCI ở thuận lợi cho hoạt động du lịch.

→ Với kịch bản RCP 8.5 (2050) về trung bình chỉ số khí hậu du lịch TCI thì những vùng thuận lợi du lịch đã giảm xuống rất nhiều so với quá khứ. Tuy nhiên, những vùng trọng tâm du lịch ở ĐBSCL thì vẫn giữ được mức khí hậu đạt phân cấp 4, vẫn thuận lợi đối với du lịch và du khách vẫn có cảm giác vẫn thoải mái và có những hoạt động du lịch khi tới vùng này.

4. Kết luận

Những kết quả đã tính toán về chỉ số khí hậu du lịch TCI thì ĐBSCL chịu tác động rất lớn của BĐKH, làm thu hẹp diện tích và thay đổi cảnh quan du lịch của khu vực. Trong tương lai dưới tác động của BĐKH thì một số khu vực tại ĐBSCL đã không còn tốt cho hoạt động du lịch và ảnh hưởng xấu tới sức khỏe của du khách khi tới du lịch.

- Chỉ số TCI từ năm 2001-2020 vào mùa khô với mức trung bình đều ở mức tốt cho đến tuyệt vời, với chỉ số TCI cao nhất là 83,6 và vào mùa mưa tuy đã có một số khu vực chỉ số TCI giảm xuống mức không thuận lợi cho hoạt động du lịch với mức thấp nhất ví dụ ở Bến Tre, Cà Mau là 36,6, 38,0 vào tháng 5, và tháng 6 là pử Long An 38,6, Phú Quốc (Kiên Giang) 39,0 đạt mức không tốt, còn những tháng còn lại đều đạt mức thuận lợi tới tốt cho thấy khu vực ĐBSCL vẫn rất thuận lợi và lí tưởng đối với hoạt động du lịch. Với những kết quả tính toán được thì những năm này khi du lịch ở ĐBSCL thì du khách sẽ có cảm giác rất thoải mái và hầu hết sẽ không gây ảnh hưởng tới sức khỏe khi có những hoạt động du lịch ở khu vực này.

- Chỉ số TCI (2050) theo hai kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 trong tương lai thì du lịch đã có sự thay đổi theo hướng đi xuống. Khu vực giảm sâu nhất vào tháng 5 ở An Giang ở RCP 4.5 29,2, RCP 8.5 28,8 cùng với Trà Vinh ở kịch bản RCP 8.5 là 29,8 ở tháng 6 đã giảm xuống tới mức rất không tốt, gây ảnh hưởng tới hoạt động du lịch và sức khỏe du khách khi tới khu vực này, đã không còn những khu vực lí tưởng cho du lịch và thay vào đó đã xuất hiện những khu vực không tốt cho hoạt động du lịch. Tuy nhiên trong tương lai vào mùa khô thì chỉ số TCI giao động từ 50 cho tới lớn hơn 70. Mặc dù trong tương dưới sự thay đổi của khí hậu ĐBSCL vẫn phù hợp để du lịch vào mùa khô, nếu du khách muốn lựa chọn ĐBSCL là điểm đến trong tương lai thì nên đến khu vực này vào mùa khô thì du khách sẽ có chuyến du lịch với khí hậu thoải mái nhất.

Do sự thay đổi của khí hậu trong tương lai rất thất thường cho nên nghiên cứu này cần được bổ sung và nghiên cứu thêm và chi tiết hơn theo từng năm.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành dựa trên kết quả của luận án: “Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới hoạt động du lịch ở Đồng bằng sông Cửu Long thông qua chỉ số TCI”.

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. Oanh, H.T.K. Đánh giá tài nguyên khí hậu vùng biển Côn Đảo Việt Nam thông qua chỉ số khí hậu du lịch (TCI). Trường Đại học Sài Gòn.
2. World Tourism Organization and the United Nations Environment Programme. Climate Change and Tourism: Responding to Global Challenges, 2008.
3. Mieczkowski, Z. The tourism climate index: A method for evaluating world climates for tourism. *Can. Geogr.* **1985**, 29, 220–233.
4. Scott, D.; Hall, C.M.; Gössling, S. Tourism and climate change: Impacts, adaptation and mitigation, Routledge, London, 2002a Darvishi, Yusof, The Impact of Climatic Conditions on Tourism Development with an Emphasis on TCI Bioclimatic Models (A Case Study: Nir city, Iran). *Cumhuriyet Sci. J.* **2015**, 36, pp. 3.
5. Gandomkar, A.; Mohseni, N. Analysis and Estimate Tourism Climate Index of Mazandaran Province, Using TCI Model. Proceeding of the 2nd International Conference on Business. Economics and Tourism Management, IACSIT Press, 2011, 24.
6. Jahic, H.; Mezetović, A. Statistical identification and qualitative evaluation of climate tourism potential by using tourism climate index - TCI on the example of Herzegovina – neretva canton. *Int. J. Biometeorol.* **2014**, 2, 77–89.
7. Amiranashvili, A.; Matzarakis, L.; Kartvelishvili. Tourism climate index in Tbilisi. *Trans. Georgian Inst. Hydrometeorol.* **2008**, 115, 27–30.
8. Amelung, D.; Viner, B. Mediterranean tourism: Exploring the future with the tourism climate index. *J. Sustainable Tourism* **2006**, 14, 349–366.

9. Toàn, P.N.; Đắc, P.T.; Tiến, P.H. Khí hậu với đời sống: Những vấn đề cơ sở của sinh khí hậu học. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1980.
10. Phong, Đ.N.; Di, T.B. Thiên nhiên và Sức khỏe. Nhà xuất bản Thể dục thể thao, 1987.
11. Phong, Đ.N. Một số vấn đề về sinh khí tượng. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 1984.
12. Phong, Đ.N. Thời tiết với rèn luyện thân thể. Nhà xuất bản Thể dục thể thao, 1979.
13. Toàn, P.N.; Đắc, P.T.; Tiến, P.H. Khí hậu với đời sống: Những vấn đề cơ sở của sinh khí hậu học. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1980.
14. Liễn, T.V. Khí hậu phục vụ xây dựng và những kết quả đã làm được ở Việt Nam. Trung tâm Thông tin Khoa học kỹ thuật, Bộ Xây dựng, 1993.
15. Nguyễn, P.Đ. Kiến trúc sinh khí hậu - Thiết kế sinh khí hậu trong kiến trúc Việt Nam. Nhà xuất bản Xây dựng, 2011.
16. Mieczkowski, Z. The tourism climate index: A method for evaluating world climates for tourism. *Can. Geogr.* **1985**, 29, 220–233.
17. Scott, D.; Ruttly, M.; Amelung, B.; Tang, M. An inter-comparison of the Holiday Climate Index (HCI) and the Tourism Climate Index (TCI) in Europe. *Atmos.* **2016**, 7(6), 80.
18. de Freitas, C.R.; Scott, D.; McBoyle, G. A second generation climate index for tourism (CIT): specification and verification. *Int. J. Biometeorol.* **2008**, 52, 399–407.

Quantifying the climatic suitability for outdoor tourism activities in the Vietnamese Mekong Delta using the Tourism Climate Index (TCI)

Nguyen Tuan Thanh¹, Nguyen Dang Mau^{2*}, Thai Thi Thanh Minh¹, Nguyen Van Son²,
Nguyen Hong Son²

¹ Hanoi University of Natural Resources and Environment;
thanhbernardo953@gmail.com; tttminh@hunre.edu.vn

² Viet Nam Institute of Meteorology, Hydrology and Climate change;
mau.imhen@gmail.com; nguyenson.imh@gmail.com; son14071996@gmail.com

Abstract: Climate plays an important role in every traveler's choice of destination. However, many tourist destinations in the Mekong Delta are closely linked with the natural environment, so the impacts of climate change will greatly affect tourism activities (especially outdoor tourism) in this area. Since then, the article has assessed the climate conditions for tourism in the Mekong Delta through the tourism climate index TCI. This is an experimentally synthesized climate index, assessing the simultaneous influence of climate factors: average maximum temperature (°C); average low humidity (%); average temperature (°C), average humidity (%); rainfall, sunshine hours and average wind speed. Compare the calculation results of the period 2001-2020 with the results of 2050 under two scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5 in the Mekong Delta with the “Climatic Facilitation Classification for Tourism” according to TCI shows that the climate of the Mekong River Delta will change in the future, from year-round favorable for tourism activities, but in the future with the impact of climate change, tourism activities The calendar was not as good as it is now. In the period 2001-2020, the TCI of the Mekong Delta achieved an average level of favorableness at the 5th level, which was relatively good, in the future the TCI has decreased a lot and there have been months with the level of tourism convenience at level 3 is not good, only the dry season months from December to April in the future are still suitable for tourism activities.

Keywords: TCI; Climate change; Tourism, bio-climate; Vietnamese Mekong Delta.

Bài báo khoa học

Phát triển khung đánh giá an ninh nước cho lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn trong bối cảnh biến đổi khí hậu và phát triển lưu vực

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: 8/6/2023; Ngày phản biện xong: 5/7/2023; Ngày đăng bài: 25/7/2023

Tóm tắt: Lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn (VGTB) đang phải đối mặt với rất nhiều vấn đề liên quan đến việc đảm bảo an ninh nước (ANN) trên lưu vực. Những năm gần đây, do tác động của các hoạt động phát triển kinh tế xã hội, tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) với các biểu hiện xâm nhập mặn, thay đổi chế độ mưa,... Việc chuyển nước từ sông Vu Gia sang sông Thu Bồn khi Nhà máy Thủy điện Đắc Mi 4 đi vào hoạt động đã làm ảnh hưởng lớn đến việc đảm bảo nguồn cung cấp cho các nhu cầu sử dụng nước nhất là khu vực hạ lưu. Để đánh giá được tình trạng ANN của lưu vực, nghiên cứu đã sử dụng các phương pháp phân tích thống kê, phân tích quá trình PAM (*Process Analysis Method*), và SMART để xây dựng khung đánh giá ANN cho lưu vực sông VGTB. Kết quả đề xuất được Khung đánh giá với 5 khía cạnh then chốt (*key dimensions*), 17 chỉ thị (*indicators*) với 28 biến số (*variables*) tương ứng. Từ đó có thể tính toán các chỉ số ANN tổng hợp (*water security index - WSI*) cho từng khu vực cụ thể, làm cơ sở cho việc ra quyết định và hoạch định chính sách để cải thiện mức độ ANN cho lưu vực trong điều kiện BĐKH và phát triển lưu vực trong tương lai.

Từ khóa: Khung đánh giá; An ninh nước; Biến đổi khí hậu; Phát triển lưu vực; Vu Gia - Thu Bồn.

1. Đặt vấn đề

Cho đến nay, các nghiên cứu về ANN trên thế giới đã có nhiều bước tiến đáng kể cả trong phương pháp luận cũng như trong ứng dụng nhất là khi nhận thức về tầm quan trọng của ANN được thế giới công nhận và đưa vào các chương trình hành động cụ thể như mục tiêu thứ 7 trong 8 mục tiêu phát triển thiên niên kỷ - MDGs (trước năm 2015) [1] và được tiếp nối trong mục tiêu thứ 6 (SDG₆) trong 17 mục tiêu phát triển bền vững toàn cầu - SDGs (từ năm 2015 đến nay) [2]. Rất nhiều quan điểm tiếp cận, nhiều phương pháp đánh giá ANN được các nhóm nghiên cứu, các tổ chức đưa ra với những ưu điểm, những hạn chế nhất định và nhìn chung ngày càng tiến đến những kết quả đánh giá sát thực hơn, giúp các nhà hoạch định chính sách, các nhà ra quyết định có những quyết sách về ANN kịp thời và hợp lý.

Việc đánh giá ANN hiện nay đã được thực hiện ở quy mô cấp thành phố [3–6], lưu vực [7–8], quốc gia [9–10], các khu vực [11–13], cho đến toàn cầu [14–15],... Một trong những phương pháp đánh giá ANN phổ biến và được ứng dụng rộng rãi hiện nay là phương pháp sử dụng khung đánh giá với bộ tiêu chí tương ứng qua đó có thể định lượng được giá trị các biến số thể hiện các thuộc tính của mức độ ANN của đối tượng cần đánh giá. Tùy theo quy mô, đặc trưng của đối tượng cần đánh giá ANN, hầu hết các khung đánh giá đều đề cập đến các khía cạnh then chốt (*Key Dimension*) có ảnh hưởng quan trọng nhất đối với tình trạng ANN, có thể phân các kiểu khung đánh giá thành 2 nhóm chính [16]: (1) nhóm xét đến trải

nghiệm dùng nước của các hộ gia đình và tác động của nó đối với sức khỏe con người; (2) nhóm xét đến lượng nước ngọt sẵn có hoặc tiềm năng của nguồn nước đáp ứng các nhu cầu sử dụng nước. Hầu hết các nghiên cứu đã xây dựng khung đánh giá với các khía cạnh tiếp cận theo định nghĩa ANN của Ủy ban quốc tế về nước (UN - Water) trong đó đáp ứng các tiêu chí của mục tiêu phát triển bền vững toàn cầu về nước (SDG₆) [5, 12, 14, 17] hoặc gián tiếp hướng tới mục tiêu này. Theo Ủy ban nước của LHQ (*UN-Water*), “ANN là khả năng của cộng đồng dân cư trong việc đảm bảo sự tiếp cận nguồn nước một cách bền vững với số lượng và chất lượng chấp nhận được để duy trì sinh kế, thỏa mãn nhu cầu và phát triển kinh tế xã hội, có khả năng chống chịu với sự ô nhiễm và các thảm họa liên quan đến nước, bảo tồn được các hệ sinh thái trong một môi trường chính trị hòa bình và ổn định” [18]. Theo đó khái niệm “an ninh” được coi là một hàm của các biến “tính sẵn có”, “khả năng tiếp cận các dịch vụ về nước”, “tính an toàn và chất lượng nguồn nước” và “cách thức quản lý”. Từ khái niệm và cách tiếp cận trên, các khung đánh giá thường đề cập đến những khía cạnh chính như: Khả năng sẵn có (tiềm năng) của nguồn nước, khả năng tiếp cận nguồn nước của cộng đồng, điều kiện vệ sinh môi trường, nhu cầu nước cho vệ sinh cá nhân, khả năng đảm bảo cấp nước cho các đô thị hoặc lưu vực, khả năng ứng phó đối với thảm họa liên quan tới nước và quản lý tổng hợp tài nguyên nước,...

Bên cạnh việc đưa ra các khung đánh giá về mức độ ANN hiện trạng, trước những diễn biến ngày càng phức tạp của tình trạng suy thoái cùng với các thảm họa, rủi ro liên quan đến tài nguyên nước do những tác động tiêu cực từ các hoạt động phát triển của con người, tình trạng BĐKH toàn cầu. Các nghiên cứu về ANN gần đây đã tiếp cận theo hướng tổng quát hơn, xem xét đến các rủi ro, thảm họa, tác động của BĐKH hiện tại và dự báo cho tương lai ở nhiều mức độ và khía cạnh khác nhau [8, 11, 13, 18–20]. Ví dụ như khung đánh giá đa tiêu chí về ANN cho thành phố Ngọc Lâm ở Tây Bắc - Trung Quốc [20] và Băng Cốc - Thái Lan [19]; ANN và quản lý thích ứng đối với các vùng khô hạn và bán khô hạn Châu Mỹ [13]; ANN đối với quy mô lưu vực [8]. Các nghiên cứu đã khẳng định việc xét đến tác động của BĐKH trong đánh giá ANN là vô cùng cấp thiết đối với việc ứng phó, thích ứng với BĐKH và sự thay đổi môi trường toàn cầu trong tương lai.

Cho đến thời điểm hiện tại, các nghiên cứu về ANN và các Khung đánh giá ở Việt Nam chưa nhiều. Các nghiên cứu chủ yếu phát triển dựa trên cách tiếp cận của AWDO [4, 21–23], theo Ủy ban quốc tế về nước [24–25],... và phát triển các chỉ số mang tính đặc trưng riêng trong điều kiện ở Việt Nam. Đối với quy mô lưu vực mới chỉ xây dựng cho lưu vực sông Hồng [21], sông Mã [22], và sông Cửu long [25]; đối với quy mô tỉnh và thành phố thì chỉ có thành phố Hà Nội [4], tỉnh Quảng Ngãi và thành phố Trà Vinh [23] xét trong một số điều kiện nhất định. Nghiên cứu đánh giá ANN đối với tỉnh Quảng Ngãi [24] đã xét đến tác động của BĐKH trong tương lai theo các kịch bản và mốc thời gian khác nhau. Ngoài ra còn có một số nghiên cứu liên quan đến việc sử dụng bộ chỉ số để đánh giá một số yếu tố khác liên quan đến ANN như: bộ chỉ số về giá tài nguyên nước mặt của sông Vệ tỉnh Quảng Ngãi [26]; bộ chỉ số đánh giá tổn thương nguồn nước mặt lưu vực Sông Bé địa phận tỉnh Bình Phước [27].

Hiện tại, chưa có nghiên cứu bài bản và trực tiếp nào về đánh giá mức độ ANN tại lưu vực sông VGTB. Ngoại trừ một số nghiên cứu đề cập gián tiếp đến các khía cạnh, yếu tố riêng lẻ liên quan đến việc đảm bảo an ninh nước của lưu vực. Ví dụ như nghiên cứu về cân bằng [28] và phân bổ nguồn nước [29–30], dòng chảy môi trường [31], tác động của mưa lũ [32–33], hạn hán [34], biến đổi thảm phủ thực vật [35], và nhất là tác động của việc vận hành hệ thống thủy điện đối với việc cung cấp nước sinh hoạt ở hạ lưu [36],...

Nhìn chung, các nghiên cứu ở Việt Nam nói chung về ANN và sử dụng khung để đánh giá ANN còn khá ít, chưa đề cập đến tác động của BĐKH (trừ nghiên cứu [24]) đến mức độ ANN. Để có thể định lượng được mức độ ANN của lưu vực, làm cơ sở khoa học cho các nhà quản lý có giải pháp cải thiện mức độ ANN cũng như hoạch định được chiến lược phát triển bền vững của lưu vực, nghiên cứu đề xuất Khung đánh giá ANN trên cơ sở kế thừa một số

chỉ số của các nghiên cứu trước và phát triển các chỉ số phù hợp với đặc trưng riêng của lưu vực sông VGTB trong điều kiện BĐKH và phát triển lưu vực.

2. Nguyên tắc và phương pháp xây dựng khung đánh giá ANN cho lưu vực sông VGTB

2.1. Các nguyên tắc lựa chọn bộ chỉ số

Khung đánh giá với các chỉ số được đề xuất, lựa chọn phải có tính đặc trưng đối với lưu vực sông VGTB đồng thời phải có tính khả thi cao để việc đánh giá ANN của lưu vực đảm bảo tính khoa học, hiệu quả và phù hợp nhất. Vì vậy, khi xây dựng mới hay kế thừa các chỉ số ANN đã có của các nghiên cứu trước đã tuân thủ theo các nguyên tắc sau:

- Các khía cạnh, chỉ thị và biến số được lựa chọn phải phù hợp với định nghĩa về ANN của UN-Water trong đó có xét đến việc đáp ứng các tiêu chí của mục tiêu phát triển bền vững toàn cầu về nước (SDG₆), các tiêu chí đảm bảo ANN theo cách tiếp cận của Ngân hàng phát triển châu Á (ADB) trong các báo cáo AWDO.

- Các chỉ số được lựa chọn phải được xác định rõ ràng, có thể kiểm chứng và không nên quá nhiều;

- Có thể đo lường được bằng một phương pháp khoa học với mức chi phí ở mức độ cho phép;

- Các chỉ số có tính đại diện, tính tổng hợp phù hợp với mục tiêu đánh giá;

- Thể hiện được các xu hướng thay đổi trong tương lai;

Việc áp dụng các nguyên tắc này giúp đưa ra được 1 khung đánh giá cũng như bộ chỉ số tốt nhất trong điều kiện hiện tại, tuy nhiên trong thực tế, do điều kiện tính toán, khả năng thu thập số liệu,... nghiên cứu đã chấp nhận bỏ qua một số nguyên tắc trong quá trình lựa chọn một số chỉ số ANN.

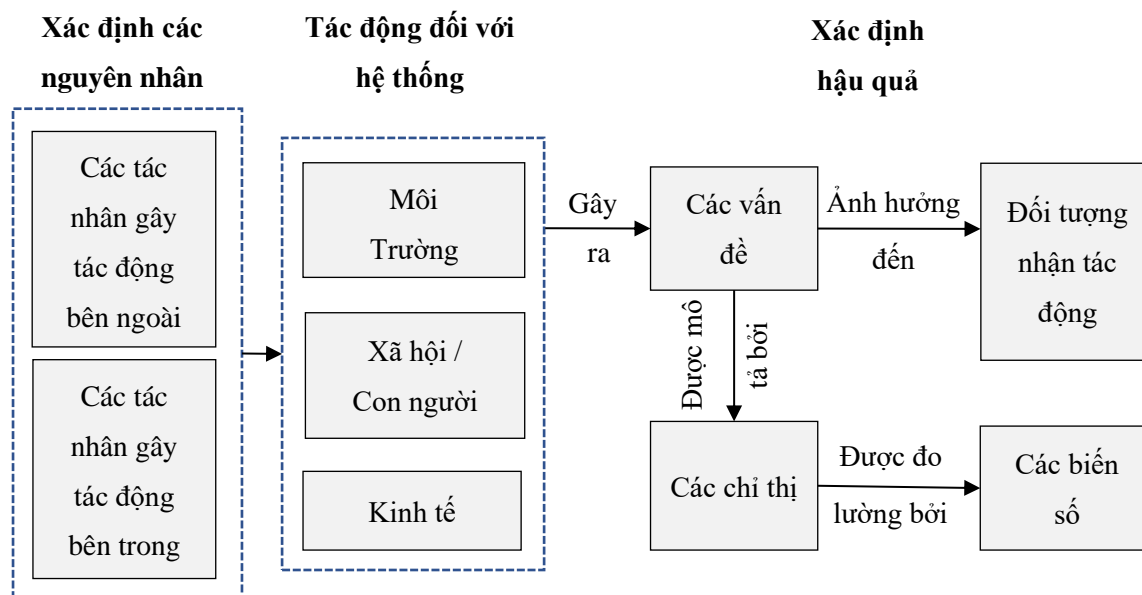
2.2. Phương pháp lựa chọn bộ chỉ số

Xem xét tổng quan cho thấy hiện nay các nghiên cứu thường sử dụng các phương pháp sau để xây dựng khung đánh giá liên quan đến các lĩnh vực tài nguyên nước và môi trường như: phương pháp DPSIR: Động lực (*Driving Force*) - Áp lực (*Pressure*) - Hiện trạng (*State*) - Tác động (*Impact*) - Ứng phó (*Response*); phương pháp mô hình hóa động lực hệ thống (*SDM - System Dynamics Modelling*); phương pháp phân tích quá trình (*Process Analysis Method - PAM*). Trong các phương pháp tiếp cận trên thì PAM [37] được đánh giá có ưu điểm và phù hợp và hơn so với hai phương pháp còn lại [6] khi áp dụng xây dựng khung đánh giá ANN.

Trên cơ sở phân tích quan hệ nguyên nhân và tác động cả các yếu tố, PAM đưa ra quy trình lựa chọn các chỉ số để có thể đánh giá được hiệu quả và tính bền vững của hệ thống cần đánh giá. Theo phương pháp này, tác động lên hệ thống được xác định cùng với nguyên nhân của chúng được gọi là các tác nhân tạo tác động. Các tác nhân tạo tác động bên trong đề cập đến các hoạt động nội tại bên trong lưu vực, chẳng hạn như quản lý và sử dụng nước, các hoạt động phát triển kinh tế, xã hội,... trong khi các tác nhân bên ngoài ranh giới của lưu vực, chẳng hạn như các tác động của các yếu tố khí tượng, thủy văn, thiên tai, BĐKH,... là các tác nhân tạo tác động bên ngoài. Cả hai dạng tác nhân gây ra tác động này đều ảnh hưởng đến tình trạng ANN của lưu vực thông qua các khía cạnh then chốt. Các tác động này gây ra hậu quả cho các bên liên quan cụ thể, được gọi là Đối tượng nhận tác động (con người, môi trường, các hoạt động của lưu vực). Những hậu quả này được mô tả thông qua các khía cạnh, chỉ thị và được đo lường bằng các biến số cụ thể từ số liệu thống kê, tính toán. Quá trình này được hiển thị trong sơ đồ Hình 1.

Phương pháp PAM tập trung vào các tác nhân tạo ra tác động và các tác động trong hệ thống phức tạp thay vì xem xét động lực tương tác qua lại của nguyên nhân và kết quả. So với DPSIR, PAM lựa chọn các chỉ số để mô tả các tác động chứ không phải chọn các chỉ số

thể hiện các yếu tố động lực, áp lực, trạng thái, tác động và ứng phó tương ứng. Điều này giúp đơn giản hóa bộ chỉ số, giảm lượng dữ liệu tính toán cần thiết.



Hình 1. Sơ đồ khối phương pháp PAM.

Khác với mô hình SDM, PAM không tìm cách định lượng các mối quan hệ nhân quả giữa nguyên nhân, tác động và hậu quả mà thay vào đó, việc lựa chọn các chỉ số theo phương pháp này thể hiện tính tổng quát về một hệ thống phức hợp thông qua việc xem xét tài liệu chuyên sâu, sự tham gia của các bên liên quan, đồng thời đo lường được các yếu tố cụ thể thông qua quy trình. Với các mục tiêu rõ ràng, ưu điểm của phương pháp tiếp cận PAM là đưa ra được các kết quả đơn giản nhưng đảm bảo ý nghĩa. PAM tập trung vào các tác nhân tạo tác động, cả bên trong và bên ngoài, đồng thời xác định các tác động đối với hệ thống thông qua khung phân tích của nó.

Từ những phân tích trên, nghiên cứu này sử dụng PAM để xây dựng khung đánh giá tổng hợp ANN cho lưu vực sông VGTB, sau đó sử dụng phương pháp phân tích SMART [38] để lựa chọn các biến số chính thức cho khung đánh giá.

SMART giúp cho việc xác định các yếu tố mang tính khả thi và hiệu quả nhất đối với các mục tiêu đánh giá đã được đề ra, và đảm bảo các yêu cầu: có tính cụ thể (*Specific*), có thể đo lường được (*Measurable*), có định hướng để đạt được (*Action-oriented*), có tính thực tế (*Realistic*) và có thời hạn cụ thể (*Time-limited*). Phương pháp thiết lập bộ tiêu chí thông minh SMART được thể hiện ở sơ đồ Hình 2.

Các bước xây dựng khung đánh giá theo phương pháp PAM, cụ thể như sau:

Bước 1: Đánh giá chung về tình hình ANN tại lưu vực sông VGTB, xác định các vấn đề cần giải quyết: tiến hành phân tích, đánh giá hiện trạng nguồn nước (chất lượng, số lượng), khả năng đáp ứng nhu cầu sử dụng nước, các hoạt động khai thác, sử dụng nước trên lưu vực, các rủi ro liên quan đến nước, và tác động của các hoạt động phát triển lưu vực, cách thức quản trị nước trên lưu vực, các tác động đến nguồn nước trong bối cảnh BĐKH,...

Bước 2: Xác định thế nào là ANN (hay định nghĩa ANN) để có thể lựa chọn các chỉ số phù hợp: Có nhiều định nghĩa, cách tiếp cận về ANN đang được sử dụng rộng rãi trên thế giới hiện nay, nghiên cứu lựa chọn cách tiếp cận theo định nghĩa về ANN của UN-Water đã nêu ở phần tổng quan do đây là một cách tiếp cận toàn diện nhất và phù hợp với điều kiện thực tế tại Việt Nam nói chung và lưu vực sông VGTB nói riêng. Trong quá trình lựa chọn các chỉ số theo định nghĩa này, nghiên cứu đồng thời cũng xem xét đến việc đáp ứng được các tiêu chí của mục tiêu phát triển bền vững toàn cầu về nước (SDG₆) và cách tiếp cận về

ANN của Ngân hàng phát triển châu Á thông qua các báo cáo Triển vọng nước Châu Á (AWDO).

Bước 3: Xác định biên của Khung đánh giá (không gian, thời gian): Nghiên cứu thực hiện đánh giá các chỉ số WSI theo ranh giới hành chính của các địa phương (Quận, Huyện) trong lưu vực để có thể so sánh mức độ ANN từ đó có giải pháp cải thiện mức độ ANN của từng địa phương. Mốc thời gian đánh giá đối với các biến số liên quan đến khí tượng, thủy văn được xác định theo liệt tài liệu từ thời điểm có số liệu đo đạc cho tới thời điểm hiện tại. Các số liệu thống kê, thu thập liên quan đến kinh tế, xã hội được xác định trong khoảng thời gian 3 năm gần nhất với thời điểm đánh giá. Đối với đánh giá tác động của BĐKH đến ANN của lưu vực được chọn là thời gian giữa thế kỷ (năm 2050) với các kịch bản tương ứng.

Bước 4: Thiết lập khung đánh giá ANN

Dựa trên các mục tiêu ANN, không gian, thời gian của khung đánh giá để lựa chọn sơ bộ các khía cạnh (*dimensions*), chỉ thị (*indicators*), biến số (*variables*) với yêu cầu quan trọng là sự phù hợp với các điều kiện, đặc trưng riêng của lưu vực sông VGTB. Các khía cạnh, chỉ thị và biến số được chọn phải thể hiện được ảnh hưởng của các tác động đối với đối tượng nhận tác động là người dân sinh sống trên lưu vực. Lưu vực được xem là đảm bảo ANN khi người dân được đảm bảo nhu cầu sử dụng nước với số lượng, chất lượng theo các tiêu chuẩn an toàn, được đảm bảo điều kiện vệ sinh, khả năng tiếp cận nguồn nước thuận lợi, phù hợp với khả năng chi trả và được đảm bảo an toàn trong các thảm họa liên quan tới nước với mức chấp nhận được.

Sau khi đã xác định sơ bộ các biến số đánh giá, sử dụng phương pháp phân tích SMART để chọn các biến số chính thức của khung đánh giá.

Bước 5: Tham vấn các bên liên quan về tính phù hợp của các biến số và khung đánh giá

Cuối cùng, khung đánh giá với các khía cạnh, chỉ thị và biến số với phương pháp xác định, tính toán và dữ liệu cần thu thập tương ứng được đánh giá sự phù hợp thông qua việc tham vấn ý kiến chuyên gia và các bên liên quan. Sơ đồ phương pháp xây dựng khung đánh giá thể hiện ở Hình 3.

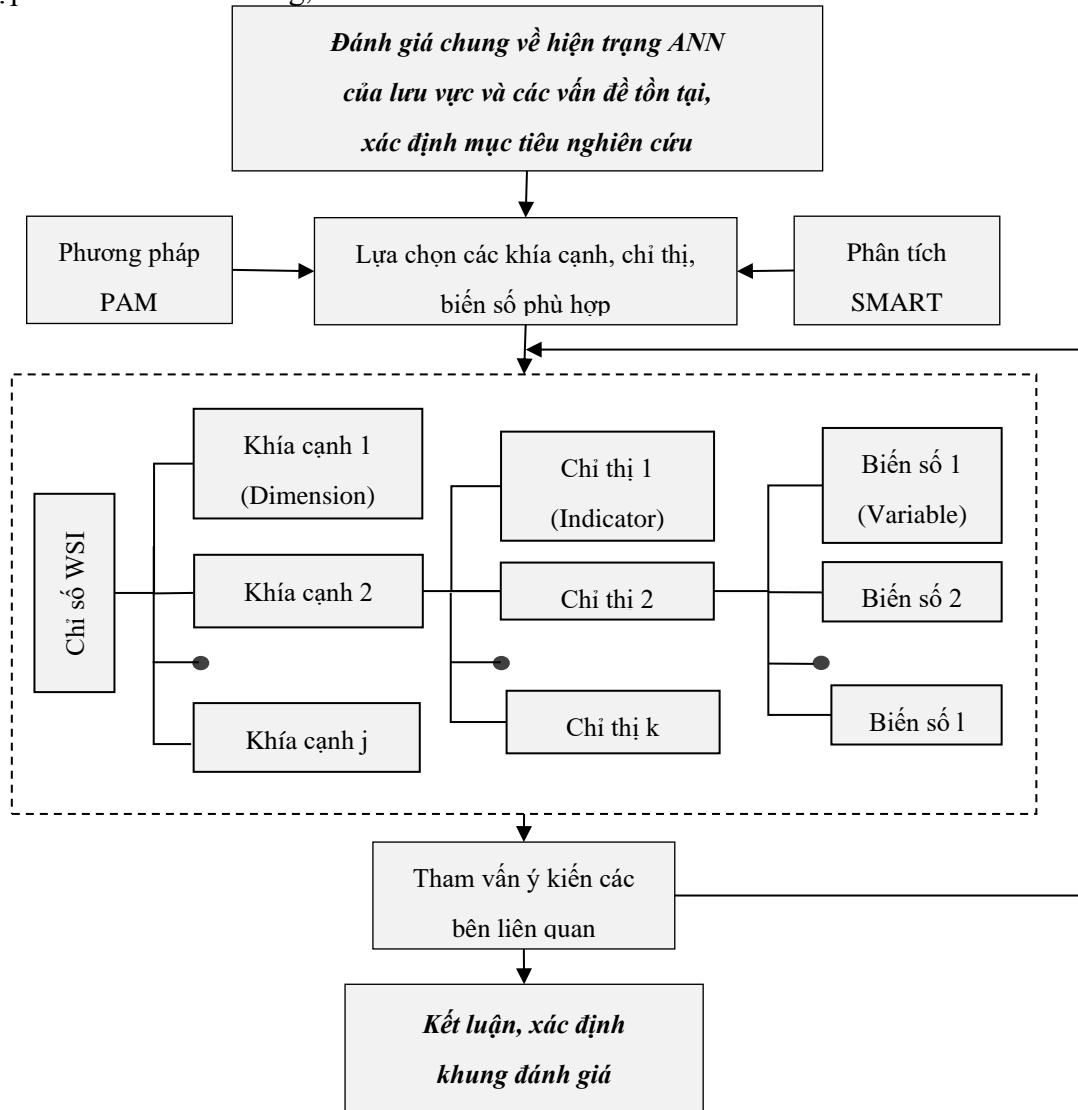
Specific (Tính cụ thể)	Biến số được lựa chọn phải cụ thể, xác định được.
Measurable (Có thể đo lường)	Biến số được lựa chọn phải tính toán cụ thể, đo lường được.
Action-oriented (Tính khả thi)	Biến số được lựa chọn phải có định hướng để xác định được.
Realistic (Tính thực tế)	Biến số được lựa chọn phải có tính thực tế, phù hợp với mục tiêu và điều kiện nghiên cứu.
Time-limited (Có thời hạn)	Biến số được lựa chọn phải có xác định thời gian, thời hạn cụ thể.

Hình 2. Sơ đồ phương pháp SMART.

2.3. Đánh giá chung về hiện trạng ANN của lưu vực sông VGTB

Tình hình ANN tại lưu vực VGTB có khá nhiều vấn đề tồn tại cần được giải quyết. Do những đặc thù chung của các lưu vực sông khu vực miền Trung, điều kiện tự nhiên của lưu

vực sông này cũng gây nhiều khó khăn cho phát triển kinh tế xã hội như: địa hình phức tạp, phần lớn là núi cao, bị chia cắt mạnh, độ dốc lớn khó khăn trong xây dựng cơ sở hạ tầng, nhất là giao thông thủy; chất lượng thảm thực vật bị suy giảm; thiên tai bão lũ xảy ra bất thường và có xu hướng gia tăng trong tương lai, mưa lũ gây xói mòn đất, xói lở bờ, gây úng ngập và lũ lụt nghiêm trọng; trong khi mùa khô ít mưa gây khô hạn nặng và mặn đã xâm nhập sâu vào các con sông,...

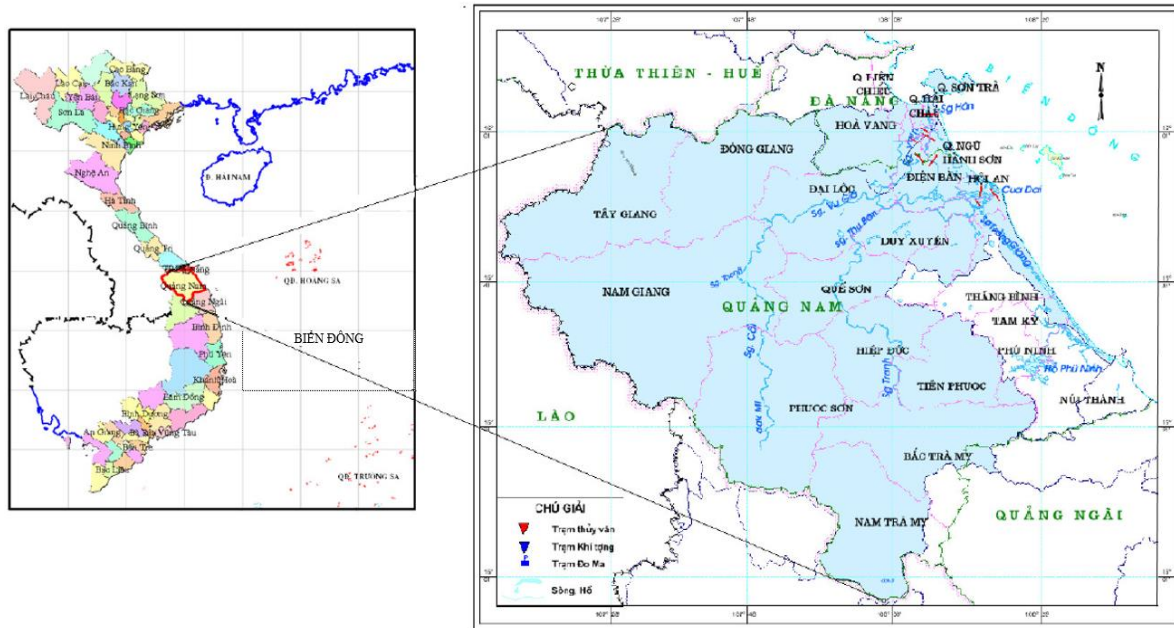


Hình 3. Sơ đồ khởi phát triển khung đánh giá ANN.

Thời gian qua, nhiều công trình thủy điện trên lưu vực VGTB được xây dựng đã góp phần to lớn vào việc đảm bảo năng lượng phục vụ tiến trình công nghiệp hóa và hiện đại hóa đất nước cũng như các địa phương. Tuy nhiên, việc quản lý vận hành hệ thống Hồ chứa thủy điện chưa hợp lý do các nguyên nhân chủ quan cũng như khách quan đã làm thay đổi dòng chảy trong sông đặc biệt vào mùa khô, gây ra tình trạng thiếu nước cho nông nghiệp, sinh hoạt, tình trạng mặn xâm nhập sâu vào các con sông và các ảnh hưởng đối với môi trường. Gần đây đã phát sinh mâu thuẫn về sự phân bổ nguồn nước do nhà máy thủy điện Đăk Mi 4 lấy nước trên sông Vu Gia để phát điện và chuyển nước sau Nhà máy qua lưu vực sông Thu Bồn mà không thực hiện trả nước về sông cũ. Điều này đã dẫn tới tình trạng mùa kiệt những năm gần đây vùng hạ lưu sông Vu Gia gồm thành phố Đà Nẵng và các huyện Đại Lộc, Điện Bàn (Quảng Nam) bị nhiễm mặn và thiếu nước sinh hoạt một cách trầm trọng. Công ty khai thác Thủy lợi Quảng Nam thường xuyên phải đắp các đập tạm ngăn mặn vào mùa khô tại Tứ Câu, Gò Nổi ở Hạ lưu sông Vu Gia, Thu Bồn để đảm bảo việc cấp nước tưới cho các Huyện Điện

Bàn, Đại Lộc, Duy Xuyên và một số khu vực thuộc thành phố Đà Nẵng. Nhà Máy nước Cầu Đỏ phải xây dựng 1 hệ thống bơm tạt để lấy nước lùi về phía thượng lưu (tại đập dâng An Trạch) để cấp nước cho thành phố Đà Nẵng các thời kỳ bị nhiễm mặn.

Hạ lưu sông VGTB có hai thành phố du lịch nổi tiếng Đà Nẵng và Hội An, tập trung một lượng khách du lịch lớn, thường xuyên gây áp lực lớn lên nhu cầu dùng nước cũng như vấn đề ô nhiễm môi trường nước tại lưu vực. Trên lưu vực có 2 di sản văn hóa thế giới là phố cổ Hội An, thánh địa Mỹ Sơn; ngoài ra còn có khu dự trữ sinh quyển thế giới Cù Lao Chàm và vườn quốc gia Sông Thanh. Do vậy vấn đề đảm bảo ANN đối với lưu vực là hết sức quan trọng và cần phải được đánh giá một cách tổng thể để có thể hoạch định chiến lược phát triển kinh tế xã hội một cách bền vững nhất.



Hình 4. Lưu vực sông VGTB [28].

3. Kết quả và thảo luận

Qua phân tích tổng quan về ANN trên thế giới và Việt Nam, rút ra một số yếu tố căn bản cần phải xem xét khi xây dựng khung đánh giá ANN lưu vực sông VGTB là: đặc điểm tự nhiên và các hoạt động phát triển kinh tế, xã hội tại tỉnh Quảng Nam và thành phố Đà Nẵng; sự gia tăng áp lực cung cấp nước do phát triển dân số, các hoạt động khai thác du lịch, các nguồn gây ô nhiễm nước, những vấn đề tồn tại trong việc quản lý, khai thác nguồn tài nguyên nước hiện tại trên lưu vực sông VGTB. Sử dụng phương pháp PAM, nghiên cứu đã đề xuất sơ bộ khung đánh giá gồm 5 khía cạnh (*dimensions*) then chốt, 17 chỉ thị (*indicators*) cơ bản và 34 biến số (*variables*) cụ thể. Trên cơ sở phân tích các nguồn số liệu có thể thu thập được, kết hợp với tham vấn ý kiến chuyên gia và các bên liên quan, nghiên cứu đã loại bỏ 6 biến số do không đáp ứng được các điều kiện của SMART: (1) Dư lượng thuốc bảo vệ thực vật, phân bón trong sản xuất nông nghiệp; (2) Tỷ lệ người dân mắc các bệnh liên quan đến đường tiêu hóa, da liễu do sử dụng nguồn nước không đảm bảo vệ sinh; (3) Sự khan hiếm nước “kinh tế” (mức độ khai thác nguồn nước từ sông); (4) Mức độ tuân thủ của các nhà máy thủy điện đối với quy trình vận hành liên hồ chứa; (5) Mức độ thất thoát do “nước ảo” trong sản xuất nông nghiệp; và (6) Mức độ quan tâm đến ANN trong chỉ đạo điều hành của chính quyền địa phương.

Cuối cùng, bộ chỉ số chính thức được xác định gồm 5 khía cạnh, 17 chỉ thị và 28 biến số, đây là cơ sở để tính toán xác định các chỉ số ANN (*Water Security Index - WSI*) từ đó định lượng được mức độ ANN của mỗi địa phương cũng như tình trạng ANN tổng hợp của

lưu vực sông VGTB. Thành phần, ý nghĩa, phương pháp xác định các biến số của Khung đánh giá được cụ thể:

3.1. Khía cạnh Tiềm năng nguồn nước (WSI_1)

Nguồn nước là yếu tố tiên quyết liên quan đến ANN. Lượng nước đến lưu vực càng lớn thì mức độ ANN càng cao. Khía cạnh này liên quan trực tiếp đến tổng lượng nước đến trên lưu vực. Nghiên cứu xem xét các nguồn tiềm năng chính gồm: tiềm năng nước mưa, nước mặt và nước dưới đất. Dựa trên số liệu quan trắc từ các trạm khí tượng thủy văn (KTTV) và nước ngầm, tiềm năng nguồn nước sẽ được xác định thông qua các biến: mô đun dòng chảy năm; mô đun dòng chảy kiệt; mức độ biến động dòng chảy kiệt ($C_{v_{kiệt}}$); lượng mưa bình quân năm; khả năng khai thác nước ngầm; và dung tích các hồ chứa. Đối với khía cạnh WSI_1 , tài nguyên nước không chỉ xét trên phương diện không gian mà còn được đánh giá theo thời gian. Tiềm năng nguồn nước mới chỉ thể hiện mức độ cân bằng (thừa/thiếu) mà chưa xét đến khả năng khai thác cũng như hiệu quả sử dụng nguồn nước (sự thất thoát, lãng phí) (Bảng 1).

Bảng 1. Thành phần và cách xác định khía cạnh Tiềm năng nguồn nước.

Chỉ thị	Biến	Cách xác định	Nguồn dữ liệu	Ý nghĩa của biến trong đánh giá ANN
Tiềm năng nước mặt (WSI_{1-1})	Mô đun dòng chảy năm (WSI_{1-1-1})	Tính từ mô hình toán ra dòng chảy ngày. Dựa trên chuỗi số liệu này xác định Q_0 và $Q_{kiệt}$ các năm. Tính toán M_0 và $M_{kiệt}$ trung bình nhiều năm.	Đài KTTV khu vực Trung bộ, Sở TNMT tỉnh Quảng Nam (QN), thành phố Đà Nẵng (ĐN).	Thể hiện khả năng sản sinh nước trên lưu vực. M_0 càng lớn thể hiện mức độ phong phú, sẵn có của nguồn nước. M_0 càng lớn, mức độ ANN càng cao.
	Mô đun dòng chảy mùa kiệt (WSI_{1-1-2})	Từ dòng chảy trung bình mùa kiệt các năm, thiết lập chuỗi dòng chảy kiệt và C_v dòng chảy kiệt.		Thể hiện khả năng sản sinh nước trên lưu vực trong mùa kiệt. $M_{kiệt}$ càng nhỏ thể hiện mức độ thiếu hụt nguồn nước càng cao. $M_{kiệt}$ càng lớn thì mức độ ANNN càng cao.
	Mức độ biến động dòng chảy kiệt (WSI_{1-1-3})	Lượng mưa phân bố tại các địa phương được xác định từ bản đồ đẳng trị lượng mưa năm.		$C_{v-kiệt}$ càng lớn tức độ phân tán của chuỗi số liệu dòng chảy mùa kiệt lớn, khả năng xuất hiện các đợt hạn cực trị cao. $C_{v-kiệt}$ càng cao, mức độ ANN càng thấp.
Tiềm năng nước mưa (WSI_{1-2})	Lượng mưa bình quân năm (WSI_{1-2-1})	Lượng mưa phân bố tại các địa phương được xác định từ bản đồ đẳng trị lượng mưa năm.		Lượng nước đến do mưa phân bố ở các địa phương càng lớn thì mức độ ANN càng cao.
Tiềm năng nước ngầm (WSI_{1-3})	Trữ lượng nước ngầm có khả năng khai thác (WSI_{1-3-1})	Xác định trữ lượng nước ngầm từ báo cáo tiềm năng nước ngầm.	Trung tâm quan trắc môi trường QN, ĐN	Khả năng bổ sung nguồn nước từ nước ngầm, tiềm năng nước ngầm càng lớn mức độ ANN càng cao.
Khả năng tích trữ nước (WSI_{1-4})	Dung tích toàn bộ các hồ chứa (WSI_{1-4-1})	Xác định từ thống kê dung tích toàn bộ các hồ chứa từ các Chi cục thủy lợi, chủ hồ thủy điện.	Sở NN&PTNT, Công ty KTCT Thủy lợi, các NM Thủy điện	Trên địa bàn có nhiều hồ chứa (thủy lợi/ thủy điện) thì khả năng giữ nước lại trên lưu vực càng cao, vùng hưởng lợi có mức độ ANN cao.

3.2. Khía cạnh Chất lượng nước (WSI₂)

Khía cạnh chất lượng nước là khía cạnh có tác động rõ nét nhất đến mức độ ANN của lưu vực. Khía cạnh này được xác định thông qua các chỉ thị gồm các nguồn thải từ hoạt động canh tác, nuôi trồng, chất lượng nước mặt, nước ngầm và mức độ cải thiện chất lượng nước trên lưu vực. Nhóm các chỉ thị này được thể hiện qua các biến bao gồm diện tích canh tác nông nghiệp, tổng đàn gia súc, gia cầm, diện tích nuôi trồng thủy sản, số phòng phục vụ lưu trú, số lần vượt ngưỡng cho phép của các chỉ tiêu chất lượng nước, khả năng tiếp cận nguồn nước sạch cũng như khả năng đảm bảo điều kiện vệ sinh môi trường (Bảng 2).

Bảng 2. Thành phần và cách xác định khía cạnh Chất lượng nước.

Chỉ thị	Biến	Cách xác định	Nguồn dữ liệu	Ý nghĩa của biến trong đánh giá ANN
Nguồn thải (WSI ₂₋₁)	Hoạt động canh tác nông nghiệp (WSI ₂₋₁₋₁)	Tỷ lệ diện tích đất dùng trong canh tác nông nghiệp/ tổng diện tích tự nhiên		Hoạt động canh tác càng nhiều thì mức độ sử dụng nước và thất thoát lớn, dư lượng phân bón, thuốc trừ sâu nhiều gây ô nhiễm nguồn nước.
	Hoạt động chăn nuôi gia súc (WSI ₂₋₁₋₂)	Tổng đàn gia súc (con) của mỗi địa phương		Hoạt động chăn nuôi gia súc càng nhiều dẫn đến ô nhiễm nước mặt, nước ngầm càng cao, mức độ ANN càng thấp.
	Hoạt động chăn nuôi gia cầm (WSI ₂₋₁₋₃)	Tổng đàn gia cầm (nghìn con) của mỗi địa phương	Sở NN&PTNT Quảng Nam, Đà Nẵng	Hoạt động chăn nuôi gia cầm càng nhiều dẫn đến ô nhiễm nước mặt, nước ngầm càng cao, mức độ ANN càng thấp.
	Hoạt động nuôi trồng Thủy sản (WSI ₂₋₁₋₄)	Tỷ lệ diện tích nuôi trồng thủy sản của mỗi địa phương/ tổng diện tích đất tự nhiên của địa phương.		Diện tích nuôi trồng thủy sản càng nhiều thì dư lượng thuốc điều trị bệnh, thức ăn thừa nhiều dẫn đến ô nhiễm, phì nhiêu, một số lượng lớn nước biển được đưa vào để tạo môi trường nước lợ gây nhiễm mặn. Hoạt động này càng nhiều, mức độ ANN càng thấp.
	Hoạt động dịch vụ du lịch (WSI ₂₋₁₋₅)	Tổng số phòng lưu trú phục vụ du lịch của mỗi địa phương	Sở VH TT&DL tỉnh Quảng Nam, Đà Nẵng	Tổng số phòng lưu trú thể hiện nhu cầu phục vụ khách du lịch lớn gây ra áp lực cục bộ về nhu cầu cung cấp nước cũng như ô nhiễm nguồn nước từ các hoạt động xả nước thải, rác thải tại các địa phương có hoạt động du lịch. Hoạt động du lịch càng nhiều, mức độ ANN càng thấp.
Chất lượng nước mặt, nước ngầm (sông, hồ, giếng) (WSI ₂₋₂)	Số lần vượt ngưỡng cho phép của các chỉ tiêu chất lượng nước/ năm (WSI ₂₋₂₋₁)	Số lần vượt ngưỡng cho phép mức B1 (QCVN 08 MT: 2023/BTNMT) của 12 chỉ tiêu cơ bản trong năm /tổng số lần quan trắc trong năm.	Báo cáo quan trắc chất lượng nước từ TT quan trắc môi trường QN, ĐN	Số lần vượt ngưỡng cho phép mức B1 (QCVN 08-MT:2023/BTNMT) của 12 chỉ tiêu cơ bản trong năm tại các điểm quan trắc thể hiện mức độ ô nhiễm của môi trường nước tại địa phương. Số lần vượt càng nhiều, ANN càng thấp.
Mức độ cải thiện chất lượng nước (WSI ₂₋₃)	Tỷ lệ số xã có HT nước thải sinh hoạt chung (WSI ₂₋₃₋₁)	Số xã có hệ thống nước thải sinh hoạt chung/tổng số xã (%)	Niên giám thống kê Quảng Nam, Đà Nẵng	Các xã có hệ thống nước thải sinh hoạt chung càng nhiều thì nước thải được thu gom tốt, giảm thiểu tình trạng ô nhiễm môi trường nước, mức độ ANN càng cao.
	Tỷ lệ số xã có thu gom rác thải trên địa bàn (WSI ₂₋₃₋₂)	Số xã có thu gom rác thải trên địa bàn/tổng số xã (%)	Niên giám thống kê Quảng Nam, Đà Nẵng	Số xã có thu gom rác thải trên địa càng nhiều thì lượng rác thải được thu gom, xử lý càng tốt, giảm thiểu tình trạng ô nhiễm nước từ rác thải trên bề mặt và mức độ ANN càng cao.

Chỉ thị	Biến	Cách xác định	Nguồn dữ liệu	Ý nghĩa của biến trong đánh giá ANN
	Khả năng cấp nước sạch theo QC02 - 2009 BYT (WSI ₂₋₃₋₃)	Tỷ lệ số hộ dân được cung cấp nước sạch theo Tiêu chuẩn 02/Tổng số hộ dân (%)	Niên giám thống kê Quảng Nam, Đà Nẵng	Số hộ dân được cung cấp nước sạch theo Quy chuẩn 02 càng nhiều chứng tỏ hệ thống cung cấp nước tốt, khả năng tiếp cận nguồn nước sạch của người dân càng cao, ANN càng tốt.

3.3. Khía cạnh Thiên tai (WSI₃)

Tác động của các loại hình thiên tai liên quan đến nước là một yếu tố rất quan trọng đối với việc đảm bảo ANN, khía cạnh này xét đến khả năng chống chịu của cộng đồng đối với tác động của các loại hình thiên tai. Đối với lưu vực sông VGTB, các loại hình thiên tai điển hình, ảnh hưởng lớn đến đời sống kinh tế, xã hội bao gồm lũ lụt, hạn hán và xâm nhập mặn. Mức độ tác động của thiên tai càng lớn thì mức độ ANN càng thấp. Khía cạnh này được đánh giá thông qua các chỉ thị mức độ ngập lụt, chỉ số hạn hán SPI và độ mặn nước sông do xâm nhập mặn. So với các khía cạnh khác chịu nhiều các tác động của con người thì những tác động của thiên tai đối với lưu vực là vấn đề chúng ta không hoàn toàn chủ động kiểm soát được (Bảng 3).

Bảng 3. Thành phần và cách xác định khía cạnh thiên tai.

Chỉ thị	Biến	Cách xác định	Nguồn dữ liệu	Ý nghĩa của biến trong đánh giá ANN
Lũ lụt (WSI ₃₋₁)	Độ sâu ngập lụt (WSI ₃₋₁₋₁)	Bản đồ ngập lụt của một trận lũ thường xuyên xảy ra (P = 5% - 10%)	Chi cục Thủy lợi	Mức độ ngập lụt ứng với các trận lũ có khả năng xuất hiện thường xuyên phản ánh tác động tiêu cực của lũ lụt đến lưu vực, mức độ ngập càng sâu cho thấy mức độ ANN càng thấp.
Hạn hán (WSI ₃₋₂)	Chỉ số hạn hán 12 tháng SPI ₁₂ (WSI ₃₋₂₋₁)	Chỉ số SPI ₁₂ được xác định: $SPI_{12} = \frac{R - \bar{R}}{\sigma}$ R: lượng mưa CHIRPS năm tính toán; \bar{R} : lượng mưa CHIRPS bình quân liệt tài liệu; σ : khoảng lệch tiêu chuẩn của liệt tài liệu.	Dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS toàn cầu	Địa phương có mức độ hạn hán cao ảnh hưởng nhiều đến khả năng cung cấp nước, thiệt hại do hạn hán gây ra lớn. Chỉ số này càng cao thì ANN càng thấp.
Xâm nhập mặn (WSI ₃₋₃)	Độ mặn (WSI ₃₋₃₋₁)	Độ mặn S(‰) xác định từ kết quả mô hình toán	Trung tâm quan trắc môi trường QN, ĐN.	Độ mặn S(‰) càng lớn thì mức độ xâm nhập mặn càng cao, thiệt hại càng lớn và mức độ ANN càng thấp.

3.4. Khía cạnh Khả năng đáp ứng nhu cầu nước (WSI₄)

Đây là một khía cạnh rất quan trọng quyết định mức độ ANN. Khía cạnh này thể hiện sự khan hiếm nước trên lưu vực hay mức độ thiếu nước do tiềm năng nước không đủ hoặc không khai thác được để đáp ứng nhu cầu sử dụng nước tại các thời điểm. Theo các nghiên cứu đánh giá hiện tại thì tiềm năng nguồn nước lưu vực VGTB rất lớn do có hai tâm mưa lớn trên lưu vực tuy nhiên mức độ thiếu nước chủ yếu do sự phân bố theo thời gian (tập trung chủ yếu vào mùa mưa) và hệ thống công trình không khai thác hết được lượng nước sinh ra trên lưu vực do mưa này. Sự khan hiếm nước càng lớn thì mức độ ANN càng thấp. Khía cạnh này được xác định thông qua việc tính toán cân bằng giữa lượng nước đến và nhu cầu dùng nước của các ngành sử dụng nước trên lưu vực (Bảng 4).

Bảng 4. Thành phần và cách xác định khía cạnh Khả năng đáp ứng nhu cầu nước.

Chỉ thị	Biến	Cách xác định	Nguồn dữ liệu	Ý nghĩa của biến trong đánh giá ANN
Mức độ đáp ứng nhu cầu nước (WSI ₄₋₁)	Mức độ thiếu nước (sự khan hiếm nước) (WSI ₄₋₁₋₁)	Tính toán cân bằng nước giữa lượng nước đến và tổng nhu cầu dùng nước của các ngành trên lưu vực.	Đài KTTV khu vực Trung bộ, Sở NN&PTN, Sở Công thương QN, ĐN.	Mức độ thiếu hụt nguồn nước càng lớn chứng tỏ khả năng khai thác nguồn nước và hiệu quả sử dụng thấp, không đáp ứng được nhu cầu nước phục vụ các ngành dẫn đến mức độ ANN thấp.

3.5. Khía cạnh Phát triển lưu vực (WSI₅)

Khía cạnh xét đến tác động của các hoạt động phát triển trên lưu vực. Đây là khía cạnh rất khó xác định vì các biến số bao gồm nhiều thứ nguyên cũng như khó định lượng. Nghiên cứu đánh giá mức độ tác động của các hoạt động phát triển trên lưu vực dựa trên các tiêu chí kinh tế, xã hội, môi trường và thể chế chính sách. Hoạt động khai thác thủy điện, chuyển đổi diện tích rừng, đô thị hóa,... là các hoạt động có tác động rất lớn đến việc đảm bảo ANN của lưu vực. Việc chuyển nước từ sông Vu Gia sang sông Thu Bồn do hoạt động của các nhà máy thủy điện cũng là vấn đề đáng lưu ý tại lưu vực. Sự chuyển nước đã gây ra tình trạng thiếu hụt nước ở hạ lưu sông Vu Gia dẫn đến hiện tượng xâm nhập mặn vào mùa khô liên tục những năm gần đây từ khi hệ thống thủy điện được đưa vào vận hành. Tình trạng nhiễm mặn đã gây ảnh hưởng lớn đến việc cung cấp nước phục vụ nông nghiệp và sinh hoạt ở vùng hạ lưu ở tỉnh Quảng Nam và thành phố Đà Nẵng (Bảng 5).

Bảng 5. Thành phần và cách xác định khía cạnh phát triển lưu vực.

Chỉ thị	Biến	Cách xác định	Nguồn dữ liệu	Ý nghĩa của biến trong đánh giá ANN
Sự chuyển nước trong lưu vực (WSI ₅₋₁)	Cho/nhận nước (WSI ₅₋₁₋₁)	Tổng lượng nước chuyển đi (đến)/ tổng lượng nước tự nhiên đến lưu vực đó (%)	Tính toán từ mô hình, thông số vận hành của thủy điện Đăk Mi 4,...	Tổng lượng nước chuyển đi khỏi lưu vực (chỉ xét trong trường hợp cung cấp nước mùa khô, không xét mùa lũ) càng nhiều do tác động của các thủy điện sẽ gây ảnh hưởng đến vùng hạ lưu của lưu vực đó và mức độ ANN của vùng hạ lưu (sau công trình) bị ảnh hưởng, mức độ ANN sẽ kém. Phần lưu vực được nhận nước thì ngược lại.
	Dân trí (Mức độ nhận thức, tuyên truyền về ANN trong cộng đồng) (WSI ₅₋₂₋₁)	Tổng số giáo viên tại các trường học (TH, THCS, THPT) của mỗi địa phương/ 10.000 người (người/ 1 vạn dân)	Niên giám thống kê Quảng Nam, Đà Nẵng	Tỷ lệ giáo viên phổ thông trong dân cao thể hiện tỷ lệ cơ sở giáo dục hay số học sinh tại địa phương nhiều, điều này thể hiện số người được tuyên truyền, giáo dục về ý thức tiết kiệm, bảo vệ tài nguyên nước, môi trường sinh thái cao và mức độ ANN sẽ cao và ngược lại.
Kinh tế - xã hội (WSI ₅₋₂)	Thu nhập bình quân đầu người (WSI ₅₋₂₋₂)	Thu nhập bình quân (Nghìn đồng/người/tháng)	Niên giám thống kê Quảng Nam, Đà Nẵng	Địa phương có mức thu nhập bình quân đầu người cao thể hiện khả năng chống chịu trước những nguy cơ tác động xấu từ thiên tai (lũ lụt, hạn hán,...) đồng thời khả năng cải thiện chất lượng cuộc sống, môi trường sống tốt, khả năng chi trả các dịch vụ cung cấp nước tốt. Thu nhập bình quân càng cao thể hiện mức độ ANN càng tốt.
	Dịch vụ Y tế (WSI ₅₋₂₋₃)	Tổng số giường bệnh của các cơ sở y tế trên địa bàn (giường)	Niên giám thống kê Quảng Nam, Đà Nẵng	Tổng số giường bệnh của các cơ sở y tế trên địa bàn càng nhiều chứng tỏ điều kiện sống, khả năng chống chịu đối với các tác động tiêu cực của thiên tai liên quan tới môi trường nước càng tốt.

Chỉ thị	Biến	Cách xác định	Nguồn dữ liệu	Ý nghĩa của biến trong đánh giá ANN
Đô thị hóa (WSI ₅₋₃)	Mức độ suy giảm diện tích cây xanh (WSI ₅₋₃₋₁)	Xác định chỉ số từ ảnh viễn thám các thời kỳ để xác định mức độ suy giảm diện tích cây xanh	Dữ liệu từ nguồn ảnh viễn thám Sentinel 2	Mức độ suy giảm diện tích cây xanh càng nhiều chứng tỏ thâm phủ, mật đệm của lưu vực bị giảm, ảnh hưởng đến khả năng trữ nước, chống xói mòn, mức độ đô thị hóa cao và các hoạt động khai thác rừng nhiều,... tạo áp lực lên môi trường nước. Mức độ suy giảm càng lớn thì ANN càng thấp.
	Mật độ dân số (WSI ₅₋₃₋₂)	Mật độ dân số của các địa phương (người/km ²)	Niên giám thống kê Quảng Nam, Đà Nẵng	Dân số của các địa phương càng đông dẫn đến nhu cầu nguồn cung cấp nước càng cao, mức độ xả thải (nước thải, rác thải) lớn sẽ tác động tiêu cực tới môi trường nước. Mật độ dân số càng đông thì mức độ đáp ứng ANN càng thấp.
Quản trị lưu vực nông thôn (WSI ₅₋₄)	Nguồn vốn đầu tư cho các hoạt động cung cấp nước, quản lý, xử lý rác thải, nước thải (WSI ₅₋₄₋₁)	Nguồn vốn đầu tư cho các hoạt động cung cấp nước, quản lý, xử lý rác thải và nước thải các địa phương (triệu đồng)	Niên giám thống kê Quảng Nam, Đà Nẵng	Nguồn vốn đầu tư cho các hoạt động cung cấp nước, quản lý, xử lý rác thải và nước thải ở các địa phương càng lớn chứng tỏ sẽ nâng cao năng lực cung cấp nước cũng như năng lực quản lý, kiểm soát ô nhiễm môi trường nước. nguồn vốn đầu tư càng lớn thì mức độ ANN càng cao.
	Sự phát triển cơ sở hạ tầng khu vực nông thôn (WSI ₅₋₄₋₂)	Tỷ lệ số xã đạt chuẩn nông thôn mới/ tổng số xã của địa phương (%)	Văn phòng Nông thôn mới Quảng Nam, Đà Nẵng	Số xã đạt chuẩn nông thôn mới càng nhiều chứng tỏ hệ thống cơ sở hạ tầng nông thôn tốt trong đó có hệ thống cung cấp nước và xử lý nước thải, rác thải tốt, các điều kiện về môi trường sống, khả năng tiếp cận nguồn nước đảm bảo, dân trí, mức sống cao,...(đáp ứng được 19 tiêu chí NTM). Địa phương có tỷ lệ này cao đồng nghĩa với mức đảm bảo ANN tốt.
	Tỷ lệ cán bộ quản lý lĩnh vực trong cơ quan quản lý nhà nước (huyện) có chuyên môn phù hợp (WSI ₅₋₄₋₃)	Số người có chuyên môn lĩnh vực TNN/ số cán bộ UBND huyện (%)	UBND các Quận, huyện tỉnh QN, Tp. ĐN	Số người có chuyên môn lĩnh vực TNN ở bộ máy quản lý, điều hành ở địa phương càng nhiều sẽ có sự tham mưu tốt cho công tác điều hành, chỉ đạo của chính quyền địa phương để đảm bảo vấn đề ANN, cũng như khả năng tuyên truyền nâng cao nhận thức về ANN trong cộng đồng địa phương. Tỷ lệ này càng cao thì mức độ ANN càng tốt.

4. Kết luận

Bài báo này đã sử dụng phương pháp phân tích quá trình (PAM) để xây dựng Khung đánh giá ANN cho lưu vực sông VGTB với bộ tiêu chí gồm 5 khía cạnh, 17 chỉ thị, 28 biến số với cách tiếp cận theo định nghĩa ANN của UN-Water, đáp ứng theo các tiêu chí của mục tiêu phát triển bền vững toàn cầu về nước (SDG6) cũng như quan điểm đánh giá ANN theo cách tiếp cận của Ngân hàng phát triển châu Á trong các báo cáo AWDO. Khung đánh giá đã phản ánh tổng quan về các yếu tố ảnh hưởng đến tình trạng ANN của lưu vực. Ngoài các chỉ số được kế thừa, nghiên cứu đã đề xuất các khía cạnh, chỉ thị và chỉ số thể hiện được các tác động cần xem xét đang ảnh hưởng lớn đến mức độ ANN của lưu vực như hoạt động khai thác du lịch, sự chuyển nước trong lưu vực do hoạt động của các nhà máy thủy điện, mức độ đô thị hóa, các hoạt động phát triển trên lưu vực,... Các tác động này được thể hiện qua khía cạnh Phát triển lưu vực (WSI₅), các chỉ thị Nguồn thải (WSI₂₋₁), Sự chuyển nước trong lưu vực (WSI₅₋₁), Đô thị hóa (WSI₅₋₃), Quản trị lưu vực (WSI₅₋₄), các biến số Hoạt động dịch vụ du lịch (WSI₂₋₁₋₅), Sự phát triển cơ sở hạ tầng nông thôn (WSI₅₋₄₋₂), Tỷ lệ cán bộ quản lý lĩnh vực trong cơ quan quản lý nhà nước có chuyên môn phù hợp (WSI₅₋₄₋₃),... Ngoài ra, một số biến số được tính toán xác định bằng phương pháp tính mới phù hợp với điều kiện số liệu tại lưu vực như: Dung tích các hồ chứa (WSI₁₋₄₋₁), Hoạt động chăn nuôi gia súc (WSI₂₋₁₋₂), Hoạt

động chăn nuôi gia cầm (WSI_{2-1-3}), Số lần vượt ngưỡng cho phép các chỉ tiêu chất lượng nước trên 1 năm (WSI_{2-2-1}), Chỉ số hạn hán SPI_{12} (WSI_{3-2-1}), Dân trí (WSI_{5-2-1}).

Khung đánh giá sau khi tính toán với 28 biến số từ các số liệu thống kê, tính toán thông qua các mô hình toán sẽ có được các chỉ số ANN (WSI) của từng biên số, chỉ thị và khía cạnh tương ứng, từ đó xác định được chỉ số WSI của từng địa phương cũng như WSI tổng hợp của cả lưu vực. Khi xét đến biến đổi khí hậu, các biến số liên quan lớn nhất đến các tác động của BĐKH như sự gia tăng nhiệt độ, nước biển dâng, biến đổi chế độ mưa sẽ được xét đến trong các khía cạnh tiềm năng nguồn nước (WSI_1), thiên tai (WSI_3) và khả năng đáp ứng nhu cầu nước (WSI_4). Các chỉ số liên quan đến sự phát triển lưu vực thể hiện chủ yếu trong khía cạnh Phát triển lưu vực (WSI_5) và một số biến số ở các khía cạnh còn lại.

Khung đánh giá ANN lưu vực sông VGTB sau khi được tính toán định lượng các chỉ số WSI tổng hợp cả lưu vực cũng như từng địa phương (quận/huyện) sẽ là cơ sở khoa học giúp các nhà quản lý có cái nhìn tổng quan về hiện trạng cũng như diễn biến ANN của lưu vực khi có sự tác động của BĐKH và các hoạt động phát triển lưu vực trong tương lai. Đây cũng là cơ sở để các địa phương xác định được nguyên nhân từ đó có giải pháp khắc phục các vấn đề liên quan đối với các chỉ số có giá trị thấp nhằm cải thiện mức độ ANN, hoạch định được chiến lược phát triển kinh tế, xã hội tại các địa phương trong tương lai một cách phù hợp và hiệu quả nhất.

Bên cạnh kết quả đạt được trên, do sự hạn chế về số liệu tính toán nên nghiên cứu đã loại bỏ 6 biến số được xem là rất phù hợp với mục tiêu đánh giá ANN của lưu vực, đồng thời một số biến số phải tính toán một cách gián tiếp thông qua các chỉ báo khác mà không có được sự thể hiện tốt nhất đối với các mục tiêu đánh giá. Đây cũng chính là các tồn tại cần được giải quyết trong các nghiên cứu tiếp theo.

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 quản lý nhà nước ở các chuyên ngành, nhà máy thủy điện, công ty khai thác công trình thủy lợi đã cung cấp số 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. Millennium Summit of the United Nations. Millennium Development Goals. UN Department of Public Information, 6-8 September 2000. <https://www.un.org/millenniumgoals/>.
2. United Nations Sustainable Development Summit. Sustainable Development Goals. UN Department of Public Information. 25-27 September 2015. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>.
3. Dong, G.; Shen, J.; Jia, Y.; Sun, F. Comprehensive Evaluation of Water Resource Security: Case Study from Luoyang City, China. *Water* **2018**, *10*, 1–19.
4. Dang, N.M.; Tu, V.T.; Hai, N.D. Water Security Assessment Framework for Hanoi city: The data collection. *Water Security and Climate Change: Challenges and Opportunities in Asia*, 29 November - 01 December, Bangkok, 2016.
5. Assefa, Y.T.; Babel, M.S.; Sušnik, J.; Shinde, V.R. Development of a Generic Domestic Water Security Index, and Its Application in Addis Ababa, Ethiopia. *Water* **2018**, *11*, 1–23.
6. Jensen, O.; Wu, H. Urban water security indicators: Development and pilot. *Environ. Sci. Policy* **2018**, *83*, 33–45.

7. Elfithri, R.; Mokhtar, M.; Abdullah, M.P. Watershed Sustainability Index for Langat UNESCO HELP River Basin, Malaysia. *Int. J. Eng. Technol.* **2018**, 7, 187–190.
8. Babel, M.; Shinde, V.R. A framework for water security assessment at basin scale. *APN Sci. Bull.* **2018**, 10, 27–32.
9. Marttunen, M.; Mustajoki, J.; Sojamo, S. A Framework for Assessing Water Security and the Water-Energy-Food Nexus-The Case of Finland. *Sustainability* **2019**, 11, 1–24.
10. Su, Y.; Gao, W.; Guan, D. Integrated assessment and scenarios simulation of water security system in Japan. *Sci. Total Environ.* **2019**, 671, 1269–1281.
11. Asian Development Bank (ADB). Asian Water Development Outlook (AWDO) - Strengthening Water Security in Asia and The Pacific. Mandaluyong. 2016.
12. Asian Development Bank (ADB). Asian Water Development Outlook (AWDO) - Advancing Water Security Across Asia and the Pacific. Mandaluyong. 2020.
13. Scott, C.A.; Meza, F.J.; Varady, R.G. Water Security and Adaptive Management in the Arid Americas. *Annals Assoc. Am. Geogr.* **2013**, 2, 280–289.
14. Gain, A.K.; Giupponi, C.; Wada, Y. Measuring global water security towards sustainable development. *Environ. Res. Letters* **2016**, 11, 1–13.
15. MacAlister, C.; Baggio, G.; Perera, D.; Qadir, M.; Taing, L.; Smakhtin, V. Global Water Security 2023 Assessment. United Nations University Institute for Water, Environment and Health (UNU INWEH). 2023.
16. Octavianti, T.; Staddon, C. A review of 80 assessment tools measuring water security. *WIREs Water* **2021**, 8, 1–24.
17. Srinivasan, V.; Konar, M.; Sivapalan, M. A dynamic framework for water security. *Water Secur.* **2017**, 3, 12–20.
18. UN-WATER. Water Security & the Global Water Agenda. 2013.
19. Babel, M.S.; Shinde, V.R.; Sharma, D.; Dang, N.M. Measuring water security: A vital step for climate change adaptation. *Environ. Res.* **2020**, 185(1), 109400.
20. Wang, X.; Zhang, J.; Shahid, S.; Xia, X.; He, R.; Shang, M. Catastrophe theory to assess water security and adaptation strategy in the context of environmental change. *Mitigation Adapt. Strategies Global Change* **2012**, 12, 463–477.
21. Dang, N.M.; Tu, V.T.; Babel, M.S. Victor Shinde and Devesh Sharma. Water security assessment for the Red River Basin, Vietnam. International Conference on Water Security and Climate Change, 18th - 21th September, Cologne, Germany, 2017.
22. Mũi, N.T.; Thành, L.Đ. Nghiên cứu An ninh nguồn nước cho phát triển bền vững lưu vực sông Mã. *Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2018**, 60, 100–107.
23. Việt, C.T.; Thơm, N.T.; Văn, C.T. Nghiên cứu xác lập phương pháp tính toán và đánh giá diễn biến chỉ số an ninh nguồn nước cho thành phố Trà Vinh, tỉnh Trà Vinh. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2018**, 34, 1–9.
24. Hiếu, B.Đ.; Thi, T.Đ.; Hương, H.T.L.; Thịnh, Đ.Q.; Đại, N.V.; Liễu, N.T.; Tuấn, N.A. Đánh giá An ninh nước tỉnh Quảng Ngãi trong bối cảnh Biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 729, 79–90.
25. Tiên, T.H.; Đạt, N.Đ.; Tường, P.; Thiện, V.M.; Phương, N.H.; Quân, N.T. Nghiên cứu tính toán chỉ số an ninh nguồn nước cho vùng đồng bằng sông Cửu Long của Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 744, 39–54.
26. Hà, N.N.; Giang, N.T.; Trình, N.M. Chỉ số tài nguyên nước mặt lưu vực sông Vệ. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2016**, 32, 67–76.
27. Tính, N.Đ.; Anh, Đ.Đ. Tính toán chỉ số tổn thương nguồn nước mặt lưu vực Sông Bé - địa phận tỉnh Bình Phước. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật thủy lợi và môi trường* **2016**, 55, 22–28.
28. Lan, V.T.T.; Sơn, H.T.; Tùng, N.B.; Thủy, Đ.B.; Yên, N.T.H. Cân bằng nước lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn bằng mô hình Mike Hydro Basin. *Tạp chí khí tượng thủy văn*, **2019**, 708, 1–12.
29. Đón, T.V. Nghiên cứu phân bổ hợp lý nguồn nước mặt cho lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn. Luận án tiến sĩ, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và BDKH. 2021.

30. Thắng, T.V. Nghiên cứu phân bố nguồn nước và vận hành hợp lý hệ thống hồ chứa lưu vực sông Vu gia - Thu Bồn trong mùa cạn. Luận án tiến sĩ, Viện Khoa học thủy lợi Việt Nam. 2019.
31. Dung, N.T.K. Nghiên cứu xây dựng phương pháp xác định dòng chảy tối thiểu - Áp dụng cho Hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn. Luận án tiến sĩ, Viện Khoa học thủy lợi Việt Nam. 2018.
32. Huy, D.Q. Nghiên cứu mưa, lũ cực hạn lưu vực Sông Vu Gia - Thu bồn. Luận án tiến sĩ, Viện Khoa học thủy lợi Việt Nam. 2018.
33. Duong, V.N.; Gourbesville, P. Flood Risk Assessment: A View of Climate Change Impact at Vu Gia Thu Bon Catchment, Vietnam. *Adv. Hydroinf.* **2018**, *52*, 727–737.
34. Tue, V.M.; Duong, V.N.; 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**, *10*, 1–15.
35. Thọ, B.Đ.; Bình, N.Q.; Dương, V.N.; Hiếu, L.C. Đánh giá ảnh hưởng của việc thay đổi thảm phủ đến chế độ dòng chảy lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn. Hội nghị khoa học cơ học Thủy khí lần thứ 21. 2018.
36. Hùng, L. Nghiên cứu ảnh hưởng của việc vận hành các công trình thủy điện ở thượng nguồn đến việc cấp nước của nhà máy nước Cầu Đỏ trong điều kiện biến đổi khí hậu, nước biển dâng và phát triển kinh tế xã hội của thành phố Đà Nẵng - Đề xuất các giải pháp phù hợp. Nhiệm vụ KHCN UBND thành phố Đà Nẵng. 2017.
37. Tahir, A.C.; Darton, R.C. The Process Analysis Method of selecting indicators to quantify the sustainability performance of a business operation. *Cleaner Prod.* **2010**, *18*, 1598–1607.
38. Doran, G.T. There's a S.M.A.R.T. Way to Write Management's Goals and Objectives. *Manage. Rev.* **1981**, *70*, 35–36.

Development of a framework for water security assessment for Vu Gia - Thu Bon river basin in the context of climate change and socio-economic development activities

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: The Vu Gia - Thu Bon river basin is facing many problems related to ensuring water security in the basin. In recent years, due to the impact of socio-economic development activities, the impact of climate change with the manifestations of saline intrusion, changes in the rainfall regime, etc. The transfer of water from the Vu Gia river to the Thu Bon river when Dak Mi 4 Hydropower Plant came into operation has greatly affected the assurance of supply for water needs, especially in the downstream area. Three methods are used in this paper such as statistical analysis, PAM (process analysis method), and SMART to build a framework for water security assessment for the Vu Gia - Thu Bon river basin. The proposed results are evaluated by the Framework with 5 key dimensions, 17 main indicators with 28 specific variables. Consequently, it is possible to calculate the aggregate water security index for each specific area, helping decision-making and policy making to improve the water security level for the basin in the context of climate change and socio-economic development.

Keywords: Assessment framework; Water security; Climate change; River basin development; Vu Gia - Thu Bon river.

Bài báo khoa học

Đánh giá nồng độ bụi mịn ($PM_{2.5}$) tại thành phố Hồ Chí Minh năm 2021

Nguyễn Thị Hoa^{1*}

¹ Khoa Môi trường, Đại học Sài Gòn; nthoa@sgu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nthoa@sgu.edu.vn; Tel.: +84-918452123

Ban Biên tập nhận bài: 5/6/2023; Ngày phản biện xong: 9/7/2023; Ngày đăng bài: 25/7/2023

Tóm tắt: Nghiên cứu này nhằm đánh giá nồng độ bụi mịn $PM_{2.5}$ tại thành phố Hồ Chí Minh vào năm 2021. Nồng độ $PM_{2.5}$ trên toàn thành phố cũng được nội suy dựa vào phương pháp nội suy IDW (*Inverse Distance Weighting*) và *Kriging*. Ngoài ra, giá trị độ dày quang học sol khí (AOD - *Aerosol Optical Depth*) trên toàn thành phố Hồ Chí Minh cũng được sử dụng nhằm so sánh với sự phân bố nồng độ $PM_{2.5}$ nội suy từ phương pháp IDW và *Kriging*. Kết quả nghiên cứu cho thấy nồng độ $PM_{2.5}$ vào mùa khô cao hơn mùa mưa. Ngoài ra, nồng độ $PM_{2.5}$ đạt giá trị cao nhất vào giờ cao điểm buổi sáng (7-8 giờ) và buổi chiều (17-19 giờ) do ảnh hưởng của phát thải $PM_{2.5}$ từ hoạt động giao thông vận tải. Về sự phân bố không gian, giá trị $PM_{2.5}$ cao hơn ở khu vực phía Tây Nam của thành phố, có thể do ảnh hưởng của hoạt động giao thông vận tải và phát thải công nghiệp. Bên cạnh đó, dựa vào kết quả phân tích tương quan với giá trị AOD, nghiên cứu này cho thấy phương pháp nội suy IDW thích hợp để nội suy nồng độ $PM_{2.5}$ trên toàn thành phố Hồ Chí Minh.

Từ khóa: $PM_{2.5}$; Bụi mịn; AOD; Sol khí; Tp.HCM.

1. Giới thiệu

Thành phố Hồ Chí Minh là trung tâm chính trị, kinh tế và văn hóa của đất nước. Do mật độ dân số và giao thông cao [1], thành phố Hồ Chí Minh phải đối mặt với một số vấn đề về môi trường, trong đó có ô nhiễm không khí. Hàm lượng các chất gây ô nhiễm không khí tại thành phố này như bụi mịn ($PM_{2.5}$), nitơ oxit (NO_x), lưu huỳnh đioxit (SO_2), và ozone (O_3) được báo cáo vượt ngưỡng đáng kể khi so với giới hạn của các chất gây ô nhiễm không khí do Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) và Việt Nam quy định [2-4]. Liên quan đến sự ô nhiễm không khí tại thành phố Hồ Chí Minh, nồng độ trung bình 24 giờ và trung bình năm của $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 và SO_2 lần lượt được báo cáo là 36,3, 73, 22 và 22,3 $\mu g/m^3$ [2-3]. Các nồng độ này tương đối đạt ngưỡng quy định trong Quy chuẩn Kỹ thuật Quốc gia về không khí xung quanh (QCVN 05:2013/BTNMT) nhưng cao hơn 2-6 lần so với ngưỡng do WHO ban hành. Do đó, việc tiếp xúc với các chất ô nhiễm này thông qua hít thở có thể ảnh hưởng không tốt đến sức khỏe con người.

Bụi mịn, còn được gọi là $PM_{2.5}$, là một trong những chất gây ô nhiễm được quan tâm thường xuyên [5] vì thành phần của $PM_{2.5}$ có thể chứa một số hóa chất độc hại, chẳng hạn như kim loại, các hợp chất hữu cơ và vô cơ. Ngoài ra, $PM_{2.5}$ có kích thước nhỏ (nhỏ hơn 2,5 μm) nên có thể xâm nhập sâu vào hệ hô hấp của con người và gây ra nhiều bệnh như kích ứng phổi, ho, hen suyễn và ung thư phổi [6]. Nghiên cứu về sự phân bố không gian, thay đổi theo thời gian, và ảnh hưởng đến sức khỏe con người của $PM_{2.5}$ đã được thực hiện tại một số khu vực của Việt Nam, chẳng hạn như tỉnh Bình Dương [7], vùng tứ giác Long Xuyên [8], thành phố Hà Nội [9-10]. Tại thành phố Hồ Chí Minh, dựa trên kết quả phân tích kiểm kê phát thải, $PM_{2.5}$ tại thành phố này được ghi nhận chủ yếu phát thải từ các hoạt động giao

thông vận tải, sản xuất công nghiệp và khí thải hộ gia đình [11–13]. Ngoài ra, dựa theo hướng gió, một số khu vực được báo cáo có thể ảnh hưởng đến sự ô nhiễm không khí tại thành phố Hồ Chí Minh, chẳng hạn như Đồng bằng sông Cửu Long [2, 14] và một số tỉnh ở Đông Nam Bộ như tỉnh Bình Dương, Đồng Nai, Bình Phước [13].

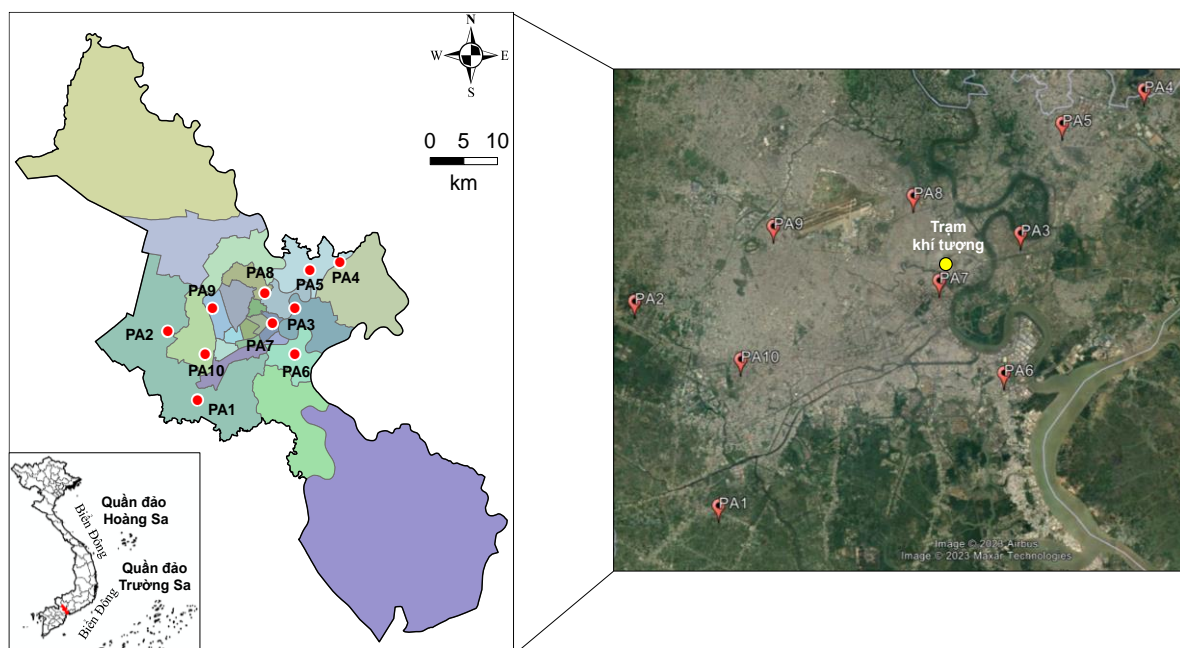
Sự phơi nhiễm với PM_{2.5} (bụi có kích thước hạt nhỏ hơn 2,5 μm) có thể làm gia tăng các bệnh về hô hấp (ví dụ như bệnh hen suyễn, dị ứng hô hấp, tim mạch), lý do là vì PM_{2.5} có thể đi sâu vào hệ hô hấp của con người, ví dụ phế nang do có kích thước nhỏ [15]. Do đó, việc quan trắc nhằm theo dõi sự thay đổi của PM_{2.5} theo phân bố không gian và thời gian là cần thiết. Để đánh giá sự ô nhiễm bụi, ngoài nồng độ bụi mịn PM_{2.5} thì giá trị độ dày quang học sol khí (AOD - Aerosol Optical Depth) cũng có thể được sử dụng. Giá trị AOD thể hiện mật độ sol khí (aerosol) trong khí quyển, do đó, giá trị AOD thường có sự tương quan với nồng độ bụi trong không khí [16–17]. Tại Việt Nam, mối tương quan giữa nồng độ PM_{2.5} và giá trị AOD tại thành phố Hồ Chí Minh [18] và Hà Nội [9] cũng đã được báo cáo trong các nghiên cứu trước đây.

Nghiên cứu này nhằm đánh giá nồng độ bụi mịn PM_{2.5} tại thành phố Hồ Chí Minh vào năm 2021. Bên cạnh đó, giá trị độ dày quang học sol khí (AOD) trên toàn thành phố cũng được sử dụng trong nghiên cứu này nhằm so sánh với sự phân bố nồng độ PM_{2.5} nội suy từ phương pháp IDW và Kriging. Kết quả của nghiên cứu này góp phần cung cấp thêm thông tin về ô nhiễm không khí, cụ thể là ô nhiễm bụi mịn PM_{2.5} tại thành phố Hồ Chí Minh, làm cơ sở cho các giải pháp giảm thiểu ô nhiễm không khí tại thành phố.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp thu thập và xử lý dữ liệu

Dữ liệu về nồng độ PM_{2.5} tại thành phố Hồ Chí Minh trong năm 2021 được thu thập từ mạng lưới quan trắc PAM Air (<https://pamair.org>). Vị trí và tọa độ địa lý của các vị trí quan trắc được trình bày trong hình 1 và bảng 1. Nồng độ PM_{2.5} được đo theo từng giờ (24 giờ/ngày), như vậy, có tổng cộng khoảng 8.760 (24 giờ/ngày × 365 ngày/năm) giá trị nồng độ PM_{2.5} tại mỗi vị trí quan trắc được xử lý và đánh giá. Phần mềm Excel được sử dụng để tính toán thống kê các giá trị nồng độ PM_{2.5}. Ngoài ra, nhằm hỗ trợ việc phân tích kết quả nồng độ PM_{2.5}, dữ liệu lượng mưa tại thành phố Hồ Chí Minh trong năm 2021 cũng được thu thập từ trạm khí tượng thủy văn Nam Bộ.



Hình 1. Vị trí các điểm quan trắc PM_{2.5} tại thành phố Hồ Chí Minh thuộc mạng lưới PAM Air.

Bảng 1. Các vị trí quan trắc PM_{2.5} tại thành phố Hồ Chí Minh thuộc mạng lưới PAM Air.

STT	Vị trí	Quận/huyện	Ký hiệu	Tọa độ (kinh độ, vĩ độ)
1	Trường An Phú Tây	Bình Chánh	PA1	10.68, 106.60
2	Vinh Lộc B	Bình Chánh	PA2	10.77, 106.56
3	Thảo Điền	Quận 2	PA3	10.80, 106.73
4	Thư viện Trung tâm ĐHQG Tp.HCM	Thủ Đức	PA4	10.86, 106.79
5	Linh Chiểu	Thủ Đức	PA5	10.85, 106.75
6	Tân Thuận Đông	7	PA6	10.74, 106.73
7	Trường ĐH Khoa học xã hội & nhân văn	1	PA7	10.78, 106.70
8	Trường THCS Nguyễn Văn Nghi	Gò Vấp	PA8	10.82, 106.69
9	Bùi Xuân Phái	Tân Phú	PA9	10.80, 106.62
10	Đường số 1	Bình Tân	PA10	10.74, 106.61

2.2. Phương pháp thể hiện phân bố không gian và nội suy không gian nồng độ PM_{2.5}

Phần mềm ArcMap 10.8 được sử dụng để thể hiện sự phân bố theo không gian của nồng độ PM_{2.5}. Ngoài ra, nồng độ PM_{2.5} trên toàn thành phố Hồ Chí Minh vào mùa khô (tháng 1, 2, 3, 4, và 12) và mùa mưa (tháng 5 - tháng 11) của năm 2021 được nội suy từ giá trị nồng độ tại các vị trí quan trắc (Bảng 1). Nghiên cứu này sử dụng phương pháp nội suy phổ biến nhất là IDW (*Inverse Distance Weight*) và Kriging.

Phương pháp nội suy IDW dự đoán giá trị PM_{2.5} tại các vị trí không đặt thiết bị quan trắc PM_{2.5} dựa trên khoảng cách không gian của các vị trí quan trắc và nồng độ PM_{2.5} tại các vị trí này. Những vị trí càng gần điểm quan trắc thì có trọng số càng lớn và ngược lại. Giá trị PM_{2.5} tại các vị trí không đặt thiết bị quan trắc PM_{2.5} được xác định dựa vào công thức như sau:

$$x^* = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + \dots + w_nx_n}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n} \tag{1}$$

$$w = \frac{1}{d_{ix}^p} \tag{2}$$

Trong đó x* là nồng độ PM_{2.5} tại vị trí chưa biết, w là trọng số và được tính theo công thức (2). x_{1,2,3,...,n} là nồng độ PM_{2.5} được đo tại các vị trí 1, 2, 3,..., n. d là khoảng cách đến vị trí chưa biết nồng độ. p là số mũ và được chọn là 2. Giá trị của trọng số w tỷ lệ nghịch với khoảng cách giữa các vị trí đo, nghĩa là khoảng cách càng xa thì trọng số càng nhỏ và ngược lại.

Ngoài ra, nội suy Kriging cũng được sử dụng để dự đoán nồng độ PM_{2.5} trên toàn thành phố Hồ Chí Minh. Dựa theo phương pháp này, nồng độ PM_{2.5} tại các vị trí không đặt thiết bị quan trắc dựa theo công thức (3).

$$z(p) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i \tag{3}$$

Trong đó z(p) là nồng độ PM_{2.5} tại vị trí không có thiết bị quan trắc, z_i là nồng độ PM_{2.5} đã biết tại vị trí quan trắc. λ_i là trọng số và tổng của các trọng số có giá trị là 1.

Trong nghiên cứu này, vì số lượng các điểm đo nồng độ PM_{2.5} tập trung chủ yếu tại khu vực nội thành (Hình 1), việc nội suy nồng độ tại các vị trí không có điểm đo (chẳng hạn như khu vực ngoại thành) có thể dẫn đến sai số. Ngoài ra, nồng độ PM_{2.5} trong không khí chịu ảnh hưởng của các yếu tố thời tiết (chẳng hạn như lượng mưa). Chính vì vậy, nghiên cứu này đã sử dụng giá trị độ dày quang học sol khí (AOD) trên toàn thành phố Hồ Chí Minh để đánh giá sự phân bố nồng độ PM_{2.5} từ phương pháp nội suy IDW và Kriging. Độ dày quang học sol khí (AOD) là đại lượng thể hiện mật độ sol khí (aerosol) khí quyển. Vì vậy, giá trị AOD thường tỷ lệ thuận với nồng độ PM_{2.5} trong không khí [9, 16, 18].

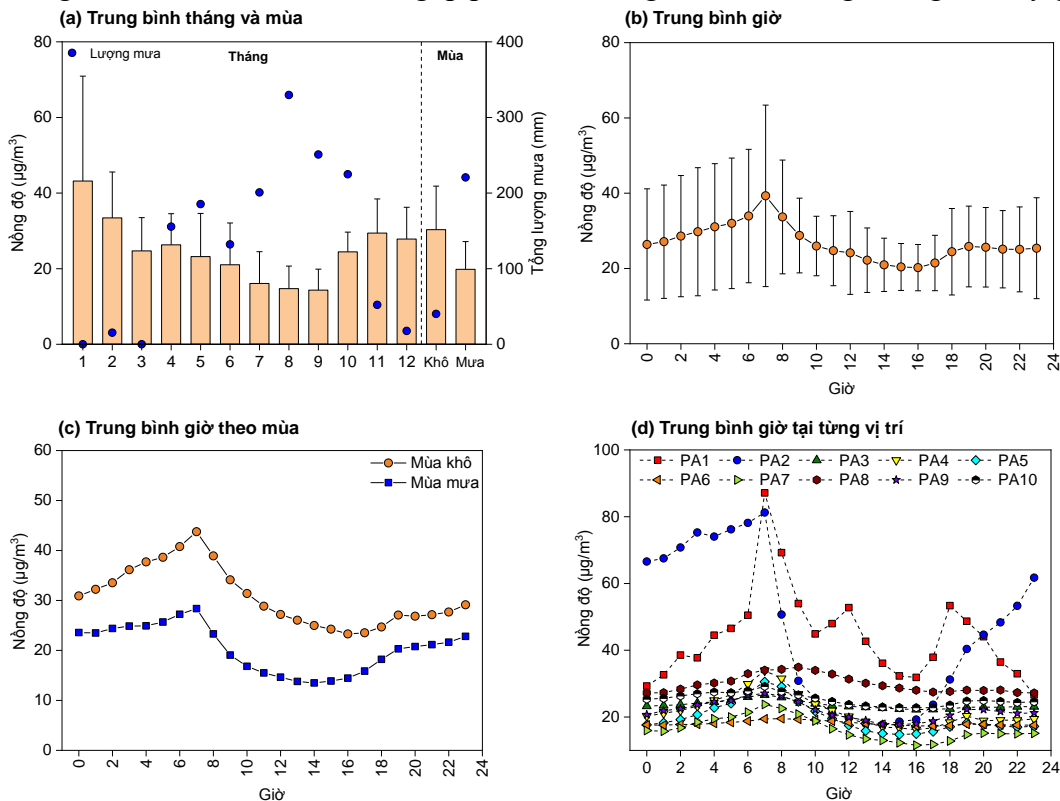
2.3. Phương pháp thu thập và xử lý dữ liệu AOD

Dữ liệu về độ dày quang học sol khí (AOD) trên toàn thành phố Hồ Chí Minh vào mùa mưa và mùa khô của năm 2021 được thu thập từ Trung tâm Dịch vụ Thông tin và Dữ liệu Khoa học Trái đất Goddard (GES DIS) thuộc NASA. Dữ liệu AOD sử dụng trong nghiên cứu này là dữ liệu cấp độ 3 (MYD08_D3_v6.1), đo tại bước sóng 0,55 μm , độ phân giải thời gian là 1 ngày, và độ phân giải không gian là $1^\circ \times 1^\circ$. Dữ liệu AOD được tính trung bình theo mùa, bao gồm mùa khô (tháng 1, 2, 3, 4, và 12) và mùa mưa (tháng 5 đến tháng 11). Ngoài ra, sau khi được thu thập, phần mềm ArcGIS được sử dụng để làm tăng độ phân giải không gian của dữ liệu AOD bằng phương pháp nội suy và tính toán hệ số tương quan Pearson với nồng độ $\text{PM}_{2.5}$ trên toàn thành phố Hồ Chí Minh. Giá trị AOD (không có đơn vị) thể hiện hàm lượng aerosol trong không khí và thường có tỷ lệ thuận với nồng độ bụi trong không khí. Nồng độ bụi cao có thể dẫn đến sự gia tăng giá trị AOD và ngược lại, khi giá trị AOD thấp, nồng độ bụi trong không khí giảm.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Diễn biến nồng độ $\text{PM}_{2.5}$ theo thời gian

Nồng độ trung bình của $\text{PM}_{2.5}$ tại các vị trí đo trên toàn thành phố Hồ Chí Minh được thể hiện trong hình 2. Nhìn chung, nồng độ trung bình của $\text{PM}_{2.5}$ trong các tháng mùa khô (tháng 1, 2, 3, 4, và 12) cao hơn so với các tháng mùa mưa (tháng 5 đến tháng 11). Nguyên nhân có thể do trong mùa khô có các dịp lễ, Tết quan trọng của năm, dẫn đến nhu cầu đi lại và sinh hoạt của người dân tăng lên. Tình trạng giao thông tăng cao do nhu cầu đi lại của người dân ồ ạt về quê vào dịp Tết và sau Tết đi làm việc dẫn đến tình trạng kẹt xe kéo dài dẫn đến sự phát thải $\text{PM}_{2.5}$ từ khí thải động cơ phương tiện giao thông vận tải tăng cao. Vì hoạt động giao thông vận tải là một trong những nguồn thải $\text{PM}_{2.5}$ chính tại thành phố Hồ Chí Minh [11, 13, 19–20], vì vậy, việc phát thải $\text{PM}_{2.5}$ trong giai đoạn này gia tăng. Vào mùa mưa (tháng 5 đến tháng 11), sự gia tăng của tần suất mưa và lượng mưa (Hình 2a) dẫn đến sự sa lắng ướt của các hạt bụi, từ đó góp phần làm nồng độ $\text{PM}_{2.5}$ trong không khí suy giảm.



Hình 2. Nồng độ trung bình của $\text{PM}_{2.5}$ tại thành phố Hồ Chí Minh.

Xét về sự thay đổi theo giờ, diễn biến giá trị trung bình $PM_{2.5}$ theo giờ trong mùa khô và mùa mưa và tại các vị trí quan trắc $PM_{2.5}$ có xu hướng giống nhau. Nhìn chung, nồng độ $PM_{2.5}$ đạt cao nhất vào khung giờ 7-8 giờ sáng (Hình 2). Đây là giờ cao điểm của buổi sáng bởi nhu cầu di chuyển bằng phương tiện giao thông vô cùng đông đúc và góp phần tạo ra lượng lớn chất khí ô nhiễm như $PM_{2.5}$. Sau giờ cao điểm buổi sáng, nồng độ $PM_{2.5}$ suy giảm dần và có xu hướng thấp nhất vào lúc 15-16 giờ. Sau đó, nồng độ $PM_{2.5}$ tăng nhẹ vào giờ cao điểm buổi chiều (17-19 giờ). Sự phát thải từ phương tiện giao thông được xem là nguyên nhân chính dẫn đến sự gia tăng hàm lượng $PM_{2.5}$ trong không khí vào các giờ cao điểm [11, 20]. Tuy nhiên, nồng độ $PM_{2.5}$ vào giờ cao điểm buổi chiều nhìn chung thấp hơn so với giờ cao điểm buổi sáng, lý do có thể do sự tác động của các điều kiện khí tượng, ví dụ như độ ẩm, vận tốc gió, nhiệt độ không khí [2, 21].

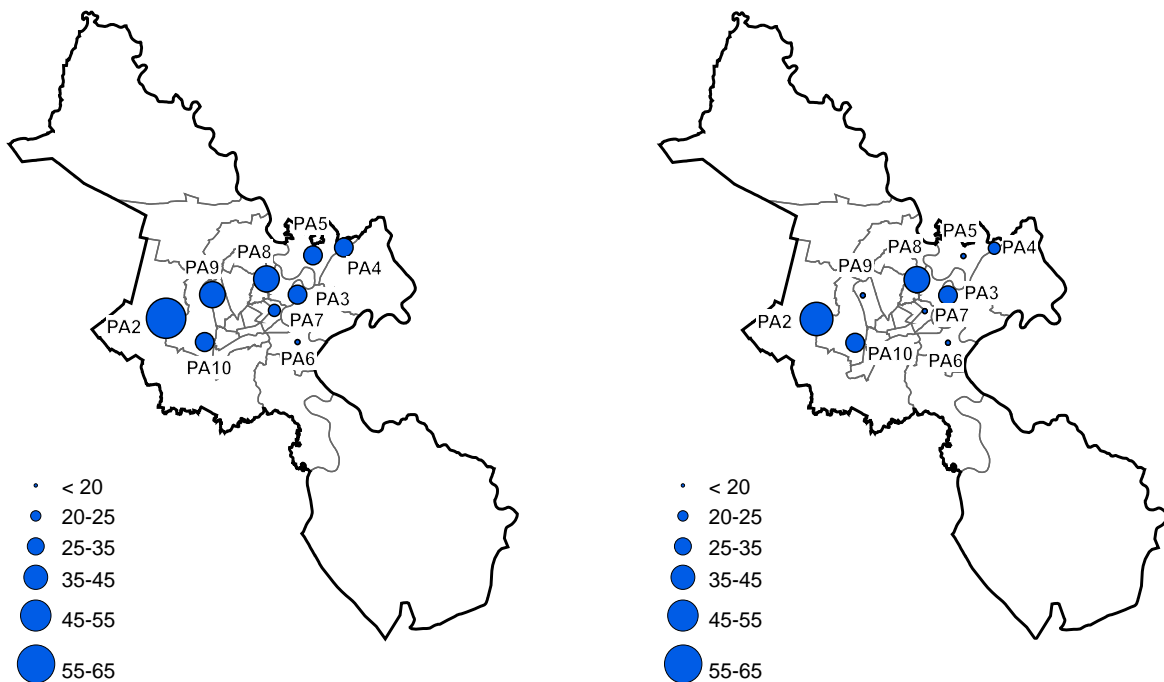
Hình 2d thể hiện diễn biến nồng độ trung bình $PM_{2.5}$ theo giờ tại từng vị trí quan trắc. Nhìn chung, nồng độ $PM_{2.5}$ tại vị trí PA1 và PA2 cao hơn khoảng 2,5 lần so với các vị trí còn lại, có thể do các vị trí này gần khu công nghiệp và cửa ngõ của thành phố Hồ Chí Minh nên $PM_{2.5}$ phát thải từ hoạt động công nghiệp và hoạt động giao thông cao hơn so với các vị trí khác ở khu vực nội thành. Ngoài ra, nồng độ $PM_{2.5}$ tại vị trí PA2 tăng mạnh sau 18 giờ, điều này có thể do vị trí này gần đường tỉnh lộ nối thành phố Hồ Chí Minh và tỉnh Long An, vì vậy, sự gia tăng $PM_{2.5}$ tại điểm PA2 có thể do ảnh hưởng các hoạt động giao thông vận tải.

3.2. Sự phân bố nồng độ $PM_{2.5}$ theo không gian

Hình 3 thể hiện sự phân bố nồng độ $PM_{2.5}$ tại các vị trí quan trắc trong thành phố Hồ Chí Minh. Theo hình 3, nồng độ $PM_{2.5}$ phân bố theo không gian vào mùa mưa và mùa khô có xu hướng khá giống nhau. Cụ thể là nồng độ $PM_{2.5}$ cao hơn tại các khu vực gần các trục đường chính có mật độ giao thông dày đặc và gần khu công nghiệp, ví dụ như vị trí PA1 (Trường tiểu học An Phú Tây), PA2 (Vĩnh Lộc), PA8 (Trường THCS Nguyễn Văn Nghi), PA10 (Đường số 1, quận Bình Tân) có nồng độ ô nhiễm không khí từ 22 đến $46,5 \mu g/m^3$ và cao hơn so với các vị trí còn lại. Bên cạnh đó, nồng độ $PM_{2.5}$ tại các vị trí như PA9 (Bùi Xuân Phái), PA3 (Thảo Điền), PA4 (ĐHQG), và PA5 (Linh Chiểu), PA6 (Tân Thuận Đông), và PA7 (Đại học Khoa học xã hội và Nhân văn) có giá trị thấp hơn.

(a) Nồng độ $PM_{2.5}$ trong mùa khô

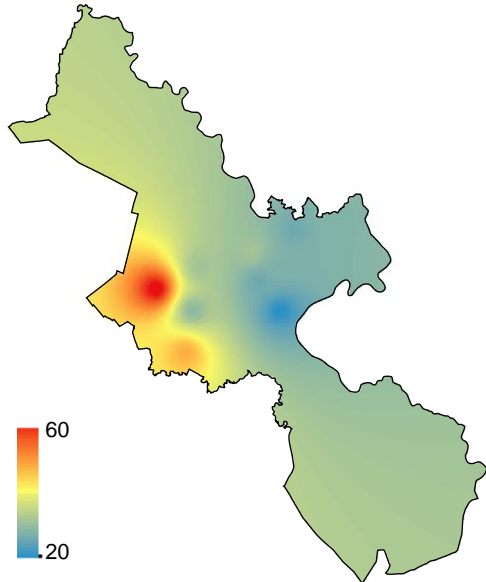
(b) Nồng độ $PM_{2.5}$ trong mùa mưa



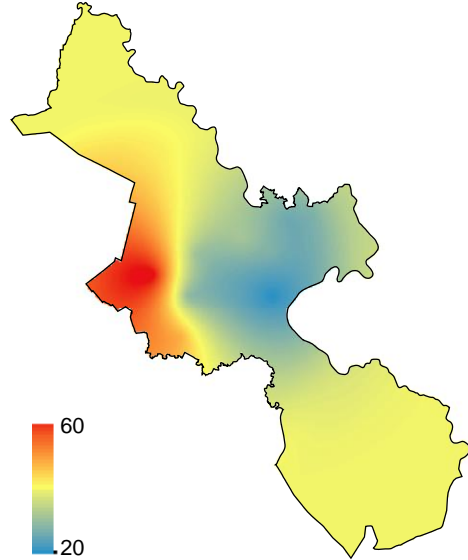
Hình 3. Nồng độ trung bình của $PM_{2.5}$ vào mùa khô và mùa mưa tại các vị trí quan trắc trong thành phố Hồ Chí Minh. Đơn vị: $\mu g/m^3$.

Nguyên nhân có thể do những địa điểm này tập trung gần khu dân cư và có mật độ giao thông ít hơn các vị trí còn lại. Ngoài ra, vị trí đặt máy đo $PM_{2.5}$ cũng có thể ảnh hưởng đến kết quả quan trắc bụi mịn. Tuy nhiên, sự ảnh hưởng của thiết bị đo và vị trí quan trắc không được xem xét và đánh giá trong giới hạn của nghiên cứu này.

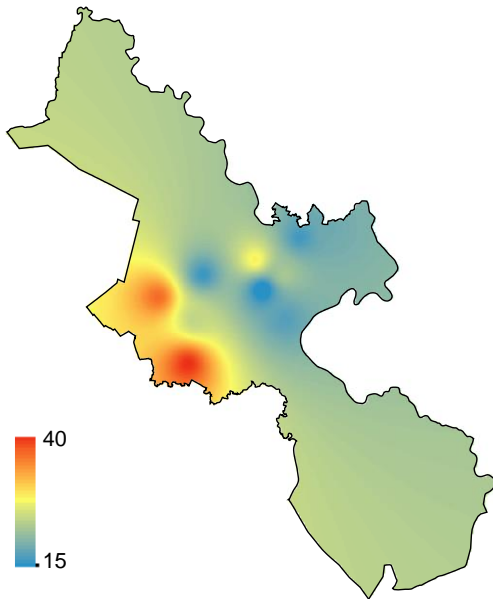
(a) Nồng độ $PM_{2.5}$ trong mùa khô (IDW)



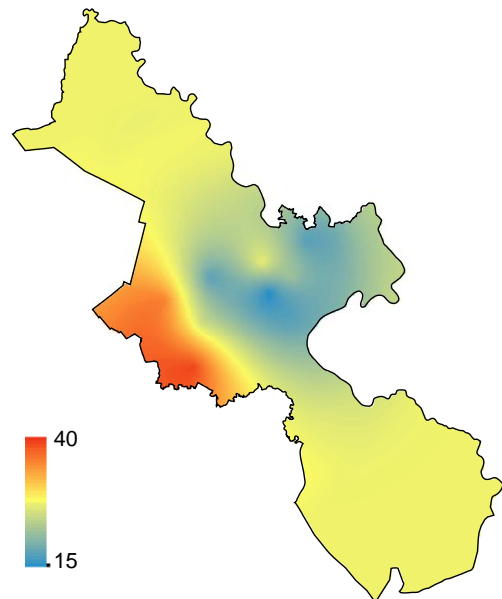
(b) Nồng độ $PM_{2.5}$ trong mùa khô (Kriging)



(c) Nồng độ $PM_{2.5}$ trong mùa mưa (IDW)



(d) Nồng độ $PM_{2.5}$ trong mùa mưa (Kriging)



Hình 4. Kết quả nội suy không gian nồng độ $PM_{2.5}$ vào mùa khô và mùa mưa tại thành phố Hồ Chí Minh. Đơn vị: $\mu g/m^3$.

Kết quả nội suy nồng độ $PM_{2.5}$ bằng phương pháp IDW và Kriging được trình bày trong hình 4. Kết quả cho thấy nồng độ $PM_{2.5}$ trên toàn thành phố Hồ Chí Minh vào mùa khô cao hơn khoảng 1,5 lần so với mùa mưa. Ngoài ra, kết quả nội suy nồng độ $PM_{2.5}$ ở khu vực Bình Tân và Bình Chánh cao hơn hẳn so với các khu vực khác của thành phố. Khu vực này có nhiều khu công nghiệp, khu chế xuất và là cửa ngõ phía Tây của thành phố, vì vậy, sự phát thải bụi mịn $PM_{2.5}$ tại khu vực này cao hơn do ảnh hưởng của hoạt động giao thông và phát thải công nghiệp. Ngoài ra, nồng độ $PM_{2.5}$ cao tại khu vực phía Tây Nam thành phố (ví dụ

quận Bình Tân, Bình Chánh) vào mùa khô cũng có thể do ảnh hưởng của gió mùa Đông Bắc [21–22] thổi theo hướng Đông Bắc - Tây Nam và góp phần làm tăng nồng độ PM_{2.5} tại khu vực phía Tây Nam [21].

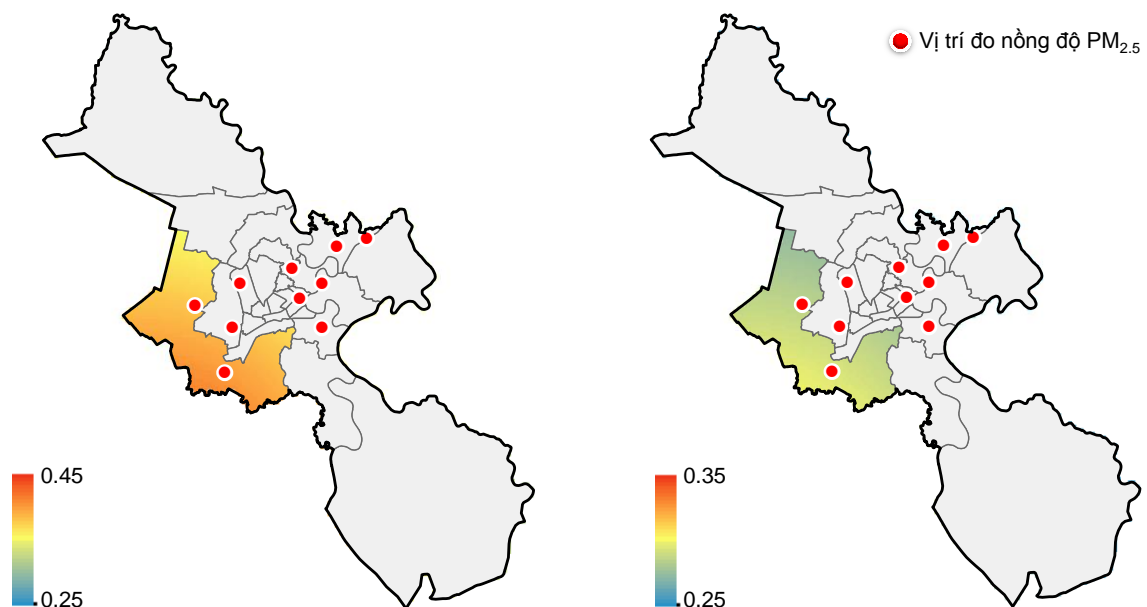
Bên cạnh đó, sự khác biệt trong kết quả nội suy nồng độ PM_{2.5} giữa 2 phương pháp IDW và Kriging có thể do cách tính nồng độ tại các điểm chưa biết khác nhau. Cụ thể hơn, phương pháp nội suy IDW dự đoán giá trị PM_{2.5} tại các vị trí không đặt thiết bị quan trắc PM_{2.5} dựa trên khoảng cách không gian của các vị trí quan trắc và nồng độ PM_{2.5} tại các vị trí này. Những vị trí càng gần điểm quan trắc thì có trọng số càng lớn và ngược lại. Đối với phương pháp nội suy Kriging, nồng độ PM_{2.5} tại các vị trí không đặt thiết bị quan trắc được dự đoán dựa vào trọng số và các trọng số này không bị ảnh hưởng bởi nồng độ tại các vị trí đo [23–25].

3.3. Lựa chọn phương pháp nội suy PM_{2.5} dựa vào giá trị AOD

Để đánh giá sự phân bố nồng độ PM_{2.5} từ 2 phương pháp nội suy IDW và Kriging, kết quả nội suy từ 2 phương pháp này được so sánh với giá trị AOD trên toàn thành phố Hồ Chí Minh. Nhìn chung, giá trị AOD và nồng độ PM_{2.5} tại các vị trí quan trắc PM_{2.5} có sự tương quan với nhau (R^2 : 0,42-0,55) và điều này cũng đã được trình bày trong các nghiên cứu trước đây [9, 16]. Sự phân bố giá trị AOD trên toàn thành phố Hồ Chí Minh vào mùa khô và mùa mưa được thể hiện trong hình 5. Theo hình này, giá trị AOD cao hơn tại khu vực phía Tây Nam của thành phố (Hình 5a-5b) và kết quả này khá tương đồng với sự phân bố không gian của nồng độ PM_{2.5}. Ngoài ra, giá trị AOD tại khu vực ngoại thành như huyện Nhà Bè và huyện Hóc Môn cũng khá cao, cho thấy nồng độ PM_{2.5} tại các huyện này cũng có thể cao. Tuy nhiên, giá trị AOD giảm dần tại huyện Cần Giờ và huyện Củ Chi, có thể do mật độ và số lượng dân cư tại các khu vực này thấp, do đó sự phát thải chất khí ô nhiễm (ví dụ sol khí) từ hoạt động giao thông và hoạt động dân sinh tại đây cũng thấp, góp phần làm giảm giá trị AOD.

(a) Giá trị AOD trong mùa khô

(b) Giá trị AOD trong mùa mưa



Hình 5. Giá trị độ dày quang học sol khí (AOD) vào mùa khô và mùa mưa tại thành phố Hồ Chí Minh.

Kết quả tính toán hệ số tương quan Pearson giữa giá trị AOD và nồng độ PM_{2.5} trên toàn thành phố Hồ Chí Minh vào mùa khô và mùa mưa được trình bày trong bảng 2. Kết quả cho thấy phương pháp nội suy IDW có hệ số tương quan với giá trị AOD cao hơn so với phương pháp Kriging trong cả mùa khô và mùa mưa. Vì vậy, phương pháp IDW thích hợp hơn khi nội suy dự đoán sự phân bố nồng độ PM_{2.5} trên toàn thành phố Hồ Chí Minh.

Bảng 2. Hệ số tương quan giữa nồng độ PM_{2.5} và giá trị AOD.

	Mùa khô			Mùa mưa		
	AOD	PM _{2.5} (IDW)	PM _{2.5} (Kriging)	AOD	PM _{2.5} (IDW)	PM _{2.5} (Kriging)
AOD	1,0	0,40	0,16	1,0	0,49	0,28
PM _{2.5} (IDW)	0,40	1,0	0,86	0,50	1,0	0,88
PM _{2.5} (Kriging)	0,16	0,86	1,0	0,28	0,88	1,0

4. Kết luận

Kết quả của nghiên cứu này cho thấy tại thành phố Hồ Chí Minh, nồng độ PM_{2.5} trung bình vào mùa khô cao hơn mùa mưa. Ngoài ra, do ảnh hưởng từ hoạt động giao thông vận tải, nồng độ PM_{2.5} đạt cao nhất vào giờ cao điểm buổi sáng (ví dụ 7-8 giờ) và buổi chiều (ví dụ 17-19 giờ). Về sự phân bố không gian, giá trị PM_{2.5} cao hơn ở khu vực phía Tây Nam của thành phố, có thể do ảnh hưởng của hoạt động giao thông vận tải và phát thải công nghiệp. Bên cạnh đó, dựa vào kết quả phân tích tương quan với giá trị độ dày quang học sol khí (AOD), nghiên cứu này cũng cho thấy phương pháp IDW thích hợp hơn so với phương pháp Kriging khi nội suy nồng độ PM_{2.5} tại thành phố Hồ Chí Minh.

Nghiên cứu này bước đầu sử dụng giá trị AOD để hỗ trợ luận giải kết quả nội suy AOD. Hạn chế của nghiên cứu là thời gian nghiên cứu khá ngắn và vị trí đo nồng độ PM_{2.5} chủ yếu tập trung tại khu vực nội thành, vì vậy các nghiên cứu tiếp theo có thể đánh giá nồng độ PM_{2.5} trong giai đoạn thời gian dài hơn và tại nhiều điểm quan trắc hơn nhằm đánh giá toàn diện hơn nữa sự phân bố nồng độ bụi mịn PM_{2.5} tại thành phố Hồ Chí Minh. Ngoài ra, các hướng nghiên cứu tiếp theo có thể ứng dụng sâu hơn giá trị AOD để dự đoán nồng độ PM_{2.5} tại thành phố Hồ Chí Minh.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu, Thu thập dữ liệu, Xử lý số liệu, Viết bản thảo bài báo, Chỉnh sửa bài báo: N.T.H.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào nguồn dữ liệu PM_{2.5} quan trắc tại thành phố Hồ Chí Minh cung cấp bởi PAM Air và nguồn dữ liệu độ dày quang học Sol khí (AOD) cung cấp bởi công thông tin Trung tâm Dịch vụ Thông tin và Dữ liệu Khoa học Trái đất Goddard (GES DIS, NASA).

Lời cam đoan: Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của 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.

Tài liệu tham khảo

1. DONRE. Report of the environmental status of Ho Chi Minh city. Department of Natural Resources and Environment (DONRE), Ho Chi Minh city, 2021.
2. Hien, T.T.; Chi, N.D.T.; Nguyen, N.T.; Vinh, L.X.; Takenaka, N.; Huy, D.H. Current status of fine particulate matter (PM_{2.5}) in Vietnam’s most populous city, Ho Chi Minh City. *Aerosol Air Qual. Res.* **2019**, *19*, 2239–2251.
3. Le, T.G.; Ngo, L.; Mehta, S.; Do, V.D.; Thach, T.Q.; Vu, X.D.; Nguyen, D.T.; Cohen, A. Effects of short-term exposure to air pollution on hospital admissions of young children for acute lower respiratory infections in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Res. Rep. Health Eff. Inst.* **2012**, 5–72.
4. Toriyama, K.; Fukae, K.; Suda, Y.; Kiyose, T.; Oda, T.; Fujii, Y.; Chi, N.D.T.; Huy, D.H.; Hien, T.T.; Takenaka, N. NO₂ and HONO concentrations measured with filter pack sampling and high HONO/NO₂ ratio in Ho Chi Minh city, Vietnam. *Atmos. Environ.* **2019**, *214*, 116865.

5. Adgate, J.L.; Mongin, S.J.; Pratt, G.C.; Zhang, J.; Field, M.P.; Ramachandran, G.; Sexton, K. Relationships between personal, indoor, and outdoor exposures to trace elements in PM_{2.5}. *Sci. Total Environ.* **2007**, 386, 21–32.
6. Xing, Y.F.; Xu, Y.H.; Shi, M.H.; Lian, Y.X. The impact of PM_{2.5} on the human respiratory system. *J. Thorac. Dis.* **2016**, 8, E69–E74.
7. Ngọc, L.T.; Duyên, N.C.M.; Phong, N.H.; Long, B.T. Đánh giá các tác động sức khỏe cộng đồng do phơi nhiễm ngắn hạn ô nhiễm PM_{2.5}: Nghiên cứu điển hình tại tỉnh Bình Dương. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 746, 70–87.
8. Châu, N.T.N.; Liên, Đ.T.A.; Phong, N.H.; Long, B.T. Đánh giá hiện trạng phân bố và sự biến động theo mùa mức độ ô nhiễm PM_{2.5} tại vùng Tứ Giác Long Xuyên, Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 736(1), 54–74.
9. Đông, N.H.; Phong, D.H. Mối quan hệ thực nghiệm giữa PM_{2.5} và độ sâu quang học aerosol AOD ở khu vực nội thành Hà Nội. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 718, 22–31.
10. Trinh, T.T.; Nguyen, T.D.H.; Nguyen, T.A.T.; Trinh, T.T. Nghiên cứu ảnh hưởng của hiện tượng nghịch nhiệt đến hàm lượng bụi mịn PM_{2.5} trong môi trường không khí tại Hà Nội. *Tạp chí Khoa học ĐHQG Hà Nội: Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2018**, 34, 1–9.
11. Ho, Q.B.; Vu, H.N.K.; Nguyen, T.T.; Nguyen, T.T.H.; Nguyen, T.T.T. A combination of bottom-up and top-down approaches for calculating of air emission for developing countries: a case of Ho Chi Minh City, Vietnam. *Air Qual. Atmos. Health* **2019**, 12, 1059–1072.
12. Nguyen, T.T.Q.; Takeuchi, W.; Misra, P.; Hayashida, S. Technical note: Emission mapping of key sectors in Ho Chi Minh City, Vietnam, using satellite-derived urban land use data. *Atmos. Chem. Phys.* **2021**, 21, 2795–2818.
13. Ho, B.Q.; Vu, K.H.N.; Nguyen, T.T.; Nguyen, H.T.T.; Ho, D.M.; Nguyen, H.N.; Nguyen, T.T.T. Study loading capacities of air pollutant emissions for developing countries: A case of Ho Chi Minh City, Vietnam. *Sci. Rep.* **2020**, 10, 5827.
14. Huy, D.H.; Hien, T.T.; Takenaka, N. Influence of urban outflow on water-soluble ions in PM_{2.5} and PM_{2.5} particles at a suburban Ho Chi Minh City site, Vietnam. *Atmos. Res.* **2022**, 272, 106144.
15. Luong, L.T.M.; Dang, T.N.; Thanh Huong, N.T.; Phung, D.; Tran, L.K.; Dung, D.V.; Thai, P.K. Particulate air pollution in Ho Chi Minh city and risk of hospital admission for acute lower respiratory infection (ALRI) among young children. *Environ. Pollut.* **2020**, 257, 113424.
16. Luong, N.D.; Hieu, B.T.; Hiep, N.H. Contrasting seasonal pattern between ground-based PM_{2.5} and MODIS satellite-based aerosol optical depth (AOD) at an urban site in Hanoi, Vietnam. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2022**, 29, 41971–41982.
17. Ma, Y.; Xin, J.; Zhang, W.; Liu, Z.; Ma, Y.; Kong, L.; Wang, Y.; Deng, Y.; Lin, S.; He, Z. Long-term variations of the PM_{2.5} concentration identified by MODIS in the tropical rain forest, Southeast Asia. *Atmos. Res.* **2019**, 219, 140–152.
18. Trà, T.Q.; Hiếu, N.P.; Khôi, Đ.N. Đánh giá sự phân bố nồng độ bụi PM_{2.5} tại khu vực TP. HCM bằng công nghệ viễn thám—một số kết quả ban đầu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 721, 80–91.
19. Ho, B.Q. Modeling PM₁₀ in Ho Chi Minh City, Vietnam and evaluation of its impact on human health. *Sustain. Environ. Res.* **2017**, 27, 95–102.
20. Ho, B.Q.; Vu, H.N.K.; Nguyen, T.T.T.; Nguyen, T.T.; Nguyen, T.T.H.; Khoa, N.T.D.; Phu, V.L. Photochemical modeling of PM_{2.5} and design measures for PM_{2.5} reduction: A case of Ho Chi Minh City, Vietnam. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2021**, 652, 012025.

21. Nguyen, T.N.T.; Du, N.X.; Hoa, N.T. Emission Source Areas of Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Atmosphere* **2023**, *14*, 579.
22. Phan, C.C.; Nguyen, T.Q.H.; Nguyen, M.K.; Park, K.H.; Bae, G.N.; Seung-bok, L.; Bach, Q.V. Aerosol mass and major composition characterization of ambient air in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **2020**, *17*, 3189–3198.
23. Arun, P.V. A comparative analysis of different DEM interpolation methods. *Egypt. J. Remote. Sens. Space Sci.* **2013**, *16*, 133–139.
24. Gong, G.; Mattevada, S.; O'Bryant, S.E. Comparison of the accuracy of kriging and IDW interpolations in estimating groundwater arsenic concentrations in Texas. *Environ. Res.* **2014**, *130*, 59–69.
25. Harman, B.I.; Koseoglu, H.; Yigit, C.O. Performance evaluation of IDW, Kriging and multiquadric interpolation methods in producing noise mapping: A case study at the city of Isparta, Turkey. *Appl. Acoust.* **2016**, *112*, 147–157.

Concentration evaluation of fine particulate matter (PM_{2.5}) in Ho Chi Minh City in 2021

Nguyen Thi Hoa^{1*}

¹ Faculty of Environment, Saigon University; nthoa@sgu.edu.vn

Abstract: In this study, concentrations of fine particulate matter (PM_{2.5}) over Ho Chi Minh City in 2021 were evaluated. Spatial interpolation, including inverse distance weighting (IDW) and Kriging methods, were also performed to understand the distribution of PM_{2.5} concentrations over the city. Added to this, the spatial distribution of aerosol optical thickness (AOD) in Ho Chi Minh City were considered to support a selection the most appropriate interpolation method of PM_{2.5}. As a result, regarding the temporal variation, the dry season showed a higher PM_{2.5} concentrations compared to the rainy season. Additionally, the PM_{2.5} concentrations reached the highest values in the morning and afternoon rush hours, which are 7 am to 8 am and 5 pm to 7 pm, respectively. For the spatial distribution, PM_{2.5} values were mostly higher in the southwest area of Ho Chi Minh City, possibly due to the influence of transportation activities and industrial emissions. Moreover, based on the correlation analysis between AOD values and spatial interpolation results, this study revealed that the IDW interpolation method is suitable for interpolating PM_{2.5} concentrations over Ho Chi Minh City.

Keywords: PM_{2.5}; Low-cost sensor; AOD; Aerosol; Ho Chi Minh City.

Bài báo khoa học

Dự đoán khả năng sạt lở đất ở Việt Nam bằng các thuật toán học máy

Phạm Trọng Huỳnh^{1*}

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường thành phố Hồ Chí Minh;
pthuynh@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: pthuynh@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-977003834

Ban Biên tập nhận bài: 5/6/2023; Ngày phản biện xong: 12/7/2023; Ngày đăng bài: 25/7/2023

Tóm tắt: Việt Nam là quốc gia có địa hình đồi núi dốc và nằm trong vùng mưa nhiệt đới gió mùa, vì vậy hiện tượng sạt lở đất diễn ra khá phổ biến. Nghiên cứu này tập trung vào việc dự đoán khả năng sạt lở đất ở Việt Nam bằng các thuật toán hồi quy, *Random Forest (RF)*, *Extreme Gradient Boosting (XGBoost)*, *K-Nearest Neighbor regression (KNN)*, *Linear Support Vector Regressor (SVR)*, và *Linear Regression (LR)*. Các biến đặc trưng có liên quan đến sạt lở đất được sử dụng, bao gồm độ ẩm đất, địa chấn động đất, lượng mưa, độ cao và độ dốc. Các thuật toán được huấn luyện trên tập dữ liệu mẫu để đánh giá hiệu suất của chúng. Kết quả nghiên cứu cho thấy thuật toán Random Forest (RF) có thể dự đoán tốt khả năng sạt lở đất. Kết quả dự đoán từ tập huấn luyện và tập kiểm tra, với hệ số xác định R^2 có giá trị cao nhất 0,85, thể hiện khả năng giải thích biến động dữ liệu tốt. Bên cạnh đó các giá trị (MSE) và (RMSE) thấp nhất lần lượt là 150,21 và 12,25. Các thuật toán khác cũng cho kết quả tương đối tốt, nhưng (RF) vượt trội hơn. Điều đó cho thấy cần kết hợp năm thuật toán này lại với nhau để xử lý một lượng lớn các dữ liệu có độ phức tạp cao, nhằm tạo ra một mô hình dự đoán sạt lở đất ở Việt Nam bằng các thuật toán Học máy có tính ổn định, chính xác.

Từ khóa: Sạt lở đất; Học máy; Hồi quy; Rừng ngẫu nhiên; K- láng giềng.

1. Giới thiệu

Thảm họa sạt lở đất là một hiện tượng địa chất tiêu cực phổ biến và gây hủy hoại cao. Sạt lở đất xuất hiện do sự tương tác của nhiều yếu tố tự nhiên như địa chất, khí tượng, thủy văn, động đất, núi lửa,... và các yếu tố hoạt động của con người. Tại Việt Nam, hiện tượng sạt lở đất tại Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đã trở nên ngày càng nghiêm trọng, với số điểm sạt lở tăng từ dưới 100 điểm lên trên 600 điểm hiện nay. Hậu quả của sạt lở đất không chỉ gây thiệt hại về tài sản, tính mạng người dân, mà còn ảnh hưởng đến kinh tế xã hội, làm phá vỡ sự cân bằng tự nhiên của môi trường. Vì vậy, việc dự báo và đưa ra các biện pháp để phòng sạt lở đất là một nhiệm vụ cấp bách hiện nay.

Phòng ngừa và kiểm soát các vụ sạt lở đất là một trong những vấn đề quan trọng của công tác phòng chống thiên tai và giảm nhẹ thiệt hại. Hiện nay, đã có nhiều phương pháp nghiên cứu với các bộ tiêu chí đánh giá khác nhau [1–3]. Hệ thống thông tin địa lý (GIS) với khả năng xử lý dữ liệu mạnh, đã được áp dụng rộng rãi vào việc xây dựng bản đồ cảnh báo sạt lở [4]. Bên cạnh đó các mô hình dự đoán độ nhạy của sạt lở đất như phân tích định tính, định lượng và trí tuệ nhân tạo [5–6] cũng được sử dụng. Phân tích định tính phụ thuộc nhiều vào kiến thức và tính chủ quan của các nhà nghiên cứu, dẫn đến sự khác biệt lớn về hiệu quả [7], chẳng hạn như phương pháp phân tích quy trình phân cấp (AHP) và phương pháp trọng số Entropy [8]. Các mô hình thống kê và mô hình kết hợp cũng được áp dụng rộng rãi, bao

gồm mô hình tỷ lệ tần số, mô hình giá trị thông tin và mô hình trọng số bằng chứng [9–11]. Tuy nhiên, các mô hình này chưa đạt được kết quả như mong đợi.

Trong những năm gần đây, các thuật toán Học máy đã được áp dụng để phân tích, trích xuất các đặc trưng quan trọng, hỗ trợ trong quyết định và dự đoán. Học máy đã chứng minh tính hữu ích của mình trong việc giải quyết các nhiệm vụ khó khăn trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Trong lĩnh vực phòng chống sạt lở đất, Học máy đã được áp dụng để đưa ra các dự đoán tương đối chính xác với điều kiện phải có dữ liệu tốt. Theo các nghiên cứu gần đây [12–13], các dữ liệu trong lĩnh vực sạt lở đất ngày càng nhiều, nhờ vào sự phát triển của Internet of Things (IoT). Đây là nguồn dữ liệu quý để Học máy có thể phân tích, xử lý và đưa ra các dự đoán chính xác trong lĩnh vực sạt lở đất.

Trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu để xác định các yếu tố liên quan đến sạt lở đất. Tác giả [14] đã nghiên cứu tiềm năng của dữ liệu độ ẩm trong đất để phát hiện sạt lở khu vực. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng dữ liệu độ ẩm trong đất cung cấp thông tin đáng kể để phát hiện sạt lở sớm. Tác giả [15] đã xác định ảnh hưởng của sự đô thị hóa đến nguy cơ sạt lở do mưa và nhấn mạnh tầm quan trọng của việc xem xét quá trình đô thị hóa trong việc đánh giá nguy cơ sạt lở. Tác giả [16] đã thiết lập mối quan hệ giữa sạt lở, mưa và độ ẩm đất trước đó. Nghiên cứu cũng phát hiện rằng, ngay cả mưa không mạnh cũng có thể gây ra sạt lở khi độ ẩm đất cao. Tác giả [17] đã nhận thấy sự tăng cường hoạt động sạt lở sau các trận động đất nhỏ, dựa trên các hoạt động được ghi nhận đồng thời cùng khoảng thời gian của các năm trước. Tác giả [18] đã đề xuất rằng mưa, động đất và sử dụng đất là những yếu tố bên ngoài gây ra sự khởi đầu thực sự của sạt lở, trong khi địa chất, quá trình thời tiết, đất và địa hình đóng vai trò quan trọng trong việc tạo ra sự không ổn định của độ dốc. Tác giả [19] đã nhận thấy rằng kích thước của sạt lở đất tăng lên khi góc độ dốc tăng. Sạt lở chủ yếu xảy ra dọc theo các đường và trên các lỗi địa chất. Trước đây, đã có nhiều nghiên cứu được thực hiện để xác định khả năng sạt lở sử dụng các kỹ thuật Học máy. Tác giả [20] nhấn mạnh tầm quan trọng của việc sử dụng dữ liệu địa chất đa dạng và phức tạp để thu được các thông tin quan trọng và hữu ích liên quan đến nguy cơ địa chất thông qua các phương pháp Học máy. Tác giả [21] đã thảo luận về hiệu suất của một số phương pháp dựa trên dữ liệu, và kết quả cho thấy Random forest (RF) là phương pháp có hiệu suất dự đoán tốt nhất. Tác giả [22] đã nghiên cứu về khả năng sạt lở bằng cách sử dụng các mô hình Học máy khác nhau để tạo ra các bản đồ dự đoán khả năng sạt lở, nhằm hỗ trợ ra các quyết định cũng như chính sách. Tác giả [23] đã kết hợp việc sử dụng hình ảnh vệ tinh chất lượng cao để phân tích hình ảnh dựa trên đối tượng nhằm tạo ra các đặc trưng cho mô hình tập hợp Random forest (RF). Tuy nhiên, mức độ chính xác chỉ đạt khoảng 80%, vẫn còn khả năng cải thiện. Tác giả [24] đã sử dụng hình ảnh tương tự và mô hình mạng nơ-ron tích chập với pyramid pooling (FCN-PP) để trích xuất đặc trưng và xác định vị trí sạt lở trong hình ảnh sau thiên tai. Mặc dù phương pháp này có độ chính xác đáng tin cậy lên đến 95%, nhưng không thể áp dụng trực tiếp trong hệ thống cảnh báo sớm để ngăn chặn thảm họa quy mô lớn vì nó chỉ tập trung vào việc phát hiện vùng sạt lở sau khi sự cố đã xảy ra. Tác giả [28] đã sử dụng dữ liệu mưa kết hợp với mức nước ngầm và biến động của nó để xây dựng mô hình dự đoán sạt lở đất, kết quả RMSE là 0,144, cho thấy rằng dữ liệu mưa có mối liên hệ cao với sạt lở và có thể được sử dụng như một yếu tố dự đoán có khả năng dự báo tốt.

Ở Việt Nam qua khảo sát, cho thấy các nghiên cứu về sạt lở đất chủ yếu diễn ra ở các tỉnh miền núi phía Bắc và các tỉnh miền Trung - Tây Nguyên. Về phương pháp nghiên cứu, phân tích thống kê được áp dụng rộng rãi để đánh giá nguy cơ sạt lở đất tại Việt Nam. Bên cạnh đó phương pháp phát hiện cũng được sử dụng trong các nghiên cứu, tuy nhiên phương pháp này không được phổ biến. Hiện nay học sâu (*DL-Deep Learning*) là một kỹ thuật bậc cao của lĩnh vực Trí tuệ nhân tạo, cũng đang được áp dụng trong nghiên cứu về sạt lở đất ở Việt Nam, tuy nhiên việc thu thập cơ sở dữ liệu về sạt lở còn thiếu, chưa đồng bộ dẫn đến thiếu thông tin về vị trí và thời điểm xảy ra sạt lở đất. Phần lớn các nghiên cứu hiện nay đang tập trung vào việc cải tiến mô hình tính để tăng độ chính xác, trong khi yếu tố đầu vào lại

chưa được đánh giá đúng mức. Các nghiên cứu thường so sánh các mô hình cho cùng một khu vực nghiên cứu để tìm ra mô hình phù hợp nhất. Ở đồng bằng sông Cửu Long các nghiên cứu về sạt lở đất sử dụng kỹ thuật Học máy chưa nhiều, chưa phổ biến, chưa mang lại hiệu quả.

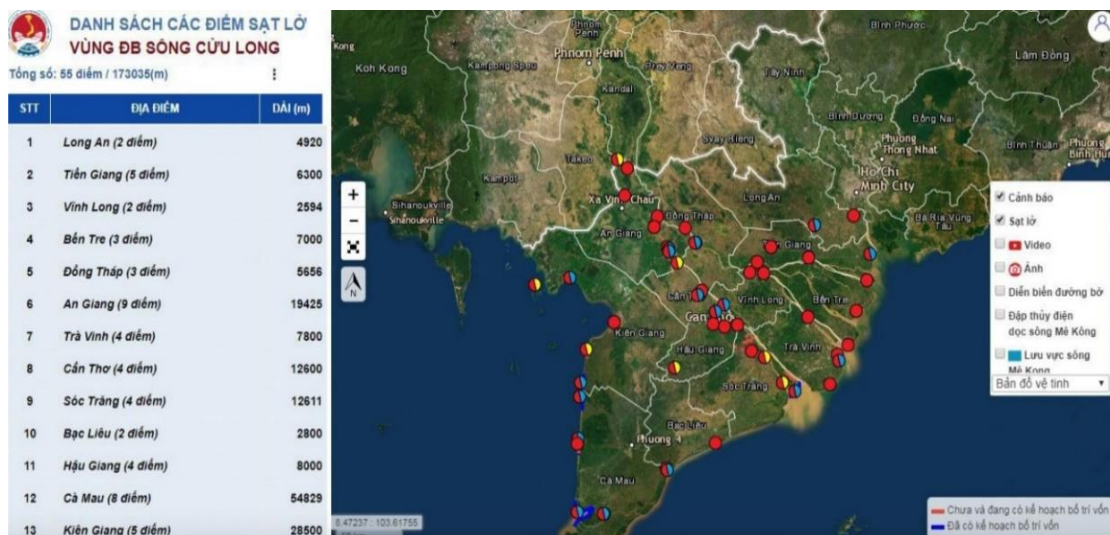
Mặc dù đã có nhiều nỗ lực để phát triển hệ thống phát hiện sạt lở thông qua việc áp dụng các kỹ thuật Học máy, tuy nhiên vấn đề này vẫn gặp nhiều thách thức [25]. Một trong những rào cản chính là sự mất cân đối giữa các lớp dữ liệu. Do đó, khía cạnh này cần được giải quyết để tăng hiệu suất của mô hình. Ngoài ra nhiều dữ liệu cũng là một thách thức đáng chú ý. Do dữ liệu quan sát từ nhiều nguồn cảm biến trên vệ tinh vì vậy thường chứa nhiều nguồn nhiễu và giá trị ngoại lệ. Điều này làm khó khăn cho các mô hình Học máy vì chúng có sự phụ thuộc mạnh vào dữ liệu đầu vào.

Mục tiêu chính của bài báo là đề xuất mô hình nhận dạng khả năng xảy ra sạt lở đất ở Việt Nam, bằng cách áp dụng năm thuật toán Học máy, bao gồm *Random Forest*, *Extreme Gradient Boosting (XGBoost)*, *K-Nearest Neighbor regression (KNN)*, *Linear Support Vector Regressor (SVR)* và *Linear regression*. Việc chọn các thuật toán này nhằm mục đích phủ sóng các phương pháp từ cây quyết định, đến phương pháp tuyến tính. Điều này giúp khám phá các mặt khác nhau của dữ liệu và tối ưu hóa khả năng dự đoán. Để đo lường hiệu suất của các thuật toán, bài báo sử dụng các chỉ số như sai số bình phương trung bình (MSE), sai số trung bình tuyệt đối (MAE) và sai số bình phương trung bình căn (RMSE). Phương pháp được xác thực bằng việc áp dụng bộ dữ liệu mẫu để nghiên cứu thử nghiệm khả năng dự báo chính xác của mô hình.

2. Phương pháp nghiên cứu và xử lý dữ liệu

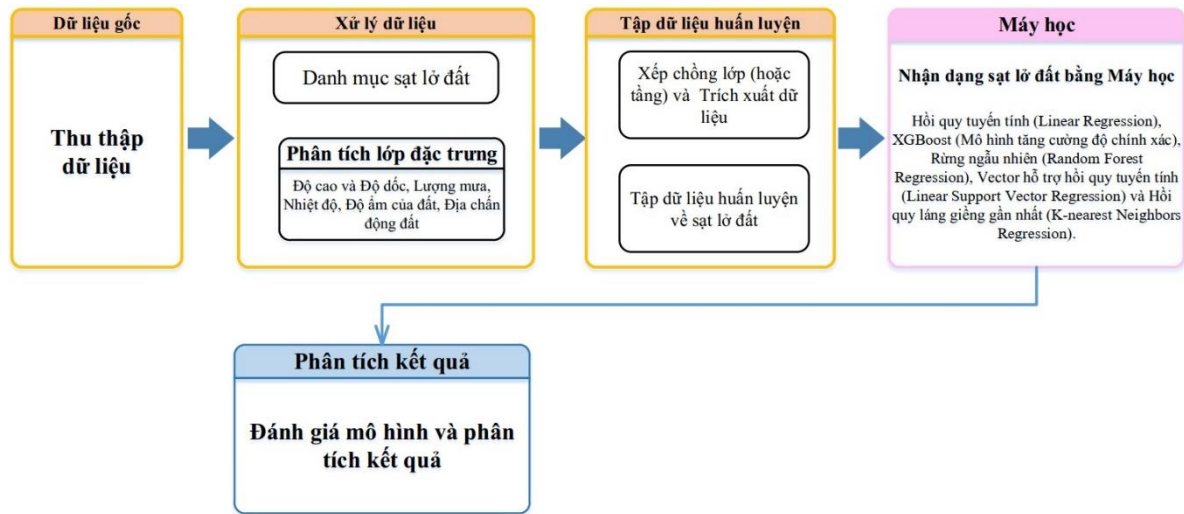
2.1. Phương pháp nghiên cứu

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), còn được gọi là Đồng bằng sông Mekong, là một khu vực nằm ở hạ lưu sông Mekong trải dài qua lãnh thổ Việt Nam. Với diện tích khoảng 40.816,3 km², chiếm khoảng 12,3% diện tích của cả nước. Mỗi năm, dòng chảy sông Mekong mang đến cho vùng ĐBSCL một lượng nước lớn, các hạt phù sa mịn và cát sỏi. Ước tính có khoảng 160 triệu tấn phù sa mịn và 30 triệu tấn cát sỏi. Vùng ĐBSCL có tầm quan trọng đặc biệt trong khu vực và trên toàn cầu, với hệ sinh thái độc đáo và đa dạng sinh học. Ngoài ra, vùng ĐBSCL cũng đóng vai trò quan trọng trong sản xuất nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản, đóng góp vào nền kinh tế của Việt Nam. Tuy nhiên, hiện nay đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đang đối mặt với tình trạng sạt lở đất nghiêm trọng. Các điểm sạt lở được thể hiện trong Hình 1. Có rất nhiều nguyên nhân gây ra sạt lở, trong đó có các nguyên nhân chính như sự thay đổi dòng chảy của sông, khai thác cát trái phép và các tác động từ biến đổi khí hậu.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

Nghiên cứu đề xuất mô hình cùng với năm thuật toán Học máy để dự đoán khả năng xảy ra sạt lở đất và có thể áp dụng ở Việt Nam. Sơ đồ hoạt động của mô hình được mô tả trong Hình 2.



Hình 2. Mô hình đề xuất dự đoán khả năng sạt lở đất bằng các thuật toán Học máy.

Dữ liệu mẫu được sử dụng để huấn luyện cho mô hình bao gồm độ cao và độ dốc (tính theo đơn vị feet), lượng mưa (theo mm/giờ), độ ẩm của đất (theo %), địa chấn động đất (theo joule). Hiện ở Việt Nam dữ liệu này chưa phổ biến rộng rãi, vì vậy bài báo lấy dữ liệu mẫu từ nguồn truy cập mở của Google Earth Pro, GPS Visualizer, Trung tâm Dữ liệu và Dịch vụ Khoa học Trái đất Goddard Earth Sciences, Dữ liệu Độ ẩm Đất Toàn cầu NASA-USDA, Chương trình Mối nguy hiểm động đất USGS, Dự báo Lở đất Toàn cầu, dữ liệu thu thập từ tháng 1 đến tháng 12 năm 2020 để thử nghiệm mô hình.

2.2. Xử lý dữ liệu

2.2.1. Các biến đặc trưng dùng để huấn luyện mô hình

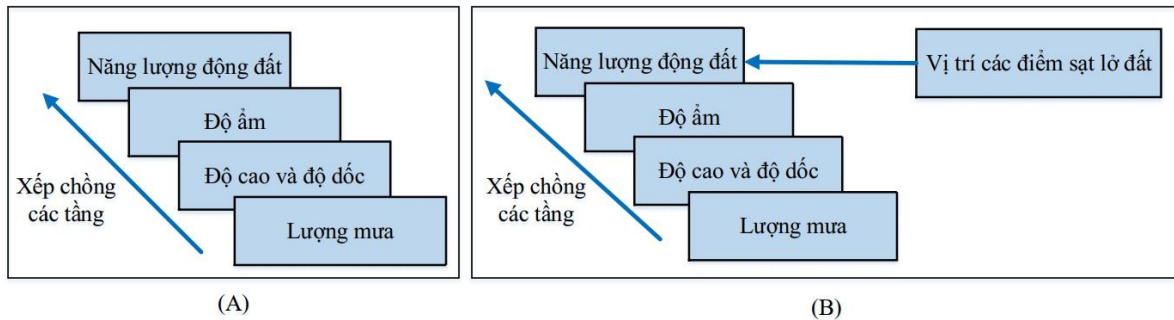
Các biến đặc trưng được lấy từ tập dữ liệu mẫu để dùng huấn luyện. Các biến này bao gồm độ ẩm đất, địa chấn động đất, lượng mưa, độ cao và độ dốc, ngoài ra nghiên cứu đã mở rộng thêm dữ liệu mẫu lưu lượng nước, chế độ phù sa bùn cát, địa chất, chế độ thủy lực, địa hình-hình thái sông, giao thông thủy, xây dựng cơ sở hạ tầng, khai thác cát để thử nghiệm mô hình đã được đề xuất [26].

Bảng 1. Các biến được chọn trong tập dữ liệu mẫu dựa trên tính phù hợp của mô hình

Biến phái sinh	Bộ dữ liệu	Thời gian
Độ cao và Độ dốc (theo feet)	Google Earth Pro, GPS Visualizer	Từ tháng 1 đến tháng 12 năm 2020
Lượng mưa (theo mm/giờ)	Trung tâm Dữ liệu và Dịch vụ Khoa học Trái đất Goddard Earth Sciences	Từ tháng 1 đến tháng 12 năm 2020
Độ ẩm đất (theo mm/giờ)	Dữ liệu Độ ẩm Đất Toàn cầu NASA-USDA	Từ tháng 1 đến tháng 12 năm 2020
Địa chấn động đất (theo joule)	Chương trình Mối nguy hiểm động đất USGS	Từ tháng 1 đến tháng 12 năm 2020
Xác suất lở đất	Dự báo Lở đất Toàn cầu	Từ tháng 1 đến tháng 12 năm 2020

Độ dốc là đo lường độ dốc bề mặt. Sự hình thành, phát triển của sạt lở đều bị ảnh hưởng đáng kể bởi độ dốc. Thông tin này được thu thập từ Google Earth Pro. Địa chấn động đất xác định khả năng của nó trong việc tạo ra sạt lở. Điều kiện độ ẩm đất đóng vai trò quan trọng trong việc khởi đầu sạt lở. Trong nghiên cứu này, dữ liệu độ ẩm đất được trích xuất từ bộ dữ

liệu độ ẩm đất NASA-USDA [26]. Lượng mưa là biến chủ yếu gây ra sạt lở, vì nó ảnh hưởng đến sự ổn định của độ dốc khi thấm qua đất và đá làm cho độ dốc trở nên yếu, không ổn định gây ra sạt lở. Biến này được lấy từ Trung tâm Dữ liệu và Dịch vụ Khoa học Trái đất Goddard. Ngoài ra, lưu lượng nước chảy qua khu vực và có thể gây ảnh hưởng đến tính ổn định của đất. Lưu lượng phù sa là lượng chất thải, bùn đất được kéo theo trong quá trình mưa và có thể tạo ra tác động xói mòn và sạt lở. Lưu lượng đất cát bị mất có khả năng làm tổn thương nền đất tạo ra sạt lở. Các lớp dữ liệu được xếp chồng lên nhau để tạo thành bộ dữ liệu cuối cùng. Quá trình xếp chồng các lớp dữ liệu được thể hiện trong Hình 3.

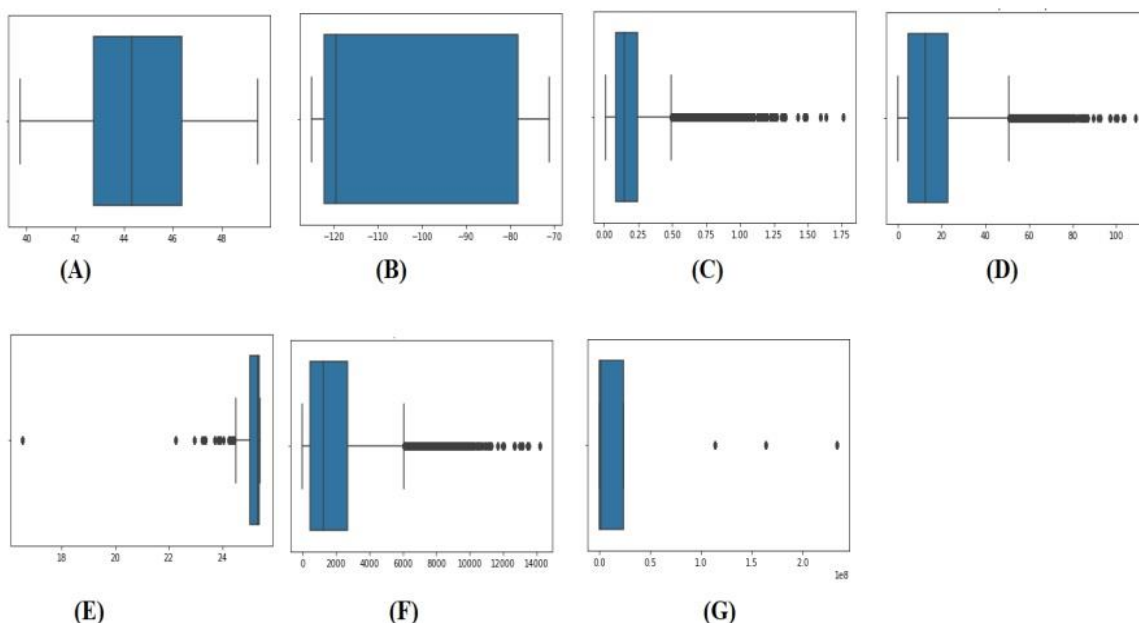


Hình 3. Các tầng dữ liệu xếp chồng: (A) Các tầng trong tập huấn luyện; (B) Các tầng trong tập kiểm tra.

Các giá trị này được trích xuất từ bản đồ khả năng xảy ra sạt lở toàn cầu [27]. Các giá trị xác suất này nằm trong khoảng từ 0 đến 1. Độ cao được đo bằng đơn vị feet, độ ẩm đất và lượng mưa được đo bằng đơn vị mm/giờ và độ dốc được đo bằng đơn vị độ. Xác suất lở đất tính toán trong nghiên cứu này là 0,033.

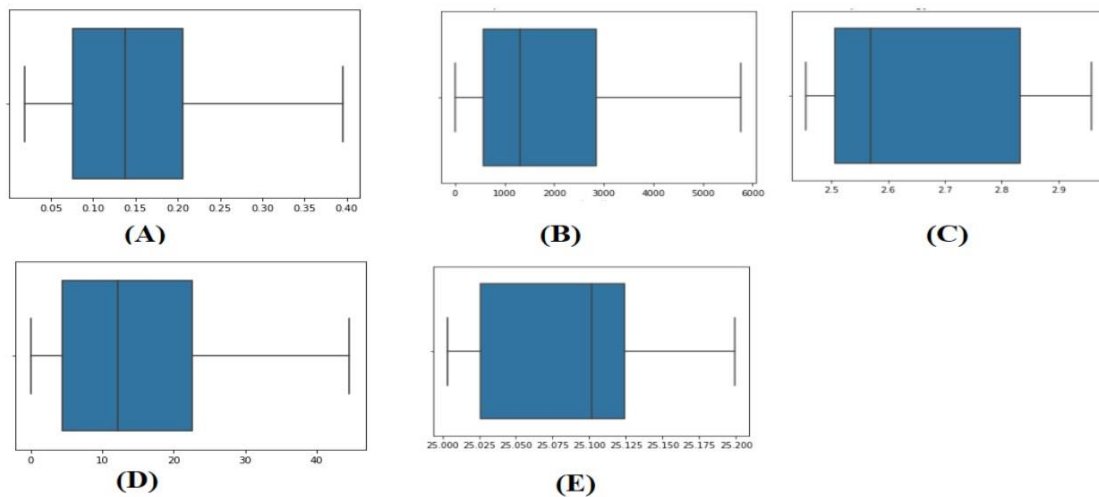
2.2.2. Chuẩn bị dữ liệu

Bước tiếp theo là tạo tập huấn luyện. Việc trích xuất dữ liệu, xếp chồng thành các tầng. Chỉ những biến cần thiết được giữ lại trong quá trình trích xuất dữ liệu. Ví dụ như vĩ độ, kinh độ, ngày và lượng mưa (theo mm/giờ) được giữ lại từ bộ dữ liệu mưa. Sau đó, mỗi tầng dữ liệu thu được được xếp chồng như được hiển thị trong Hình 3. Mỗi tầng trong hình biểu thị một biến dự báo, được kết hợp để xây dựng một bộ dữ liệu huấn luyện nhiều chiều. Các tầng được xếp chồng lên nhau dựa trên các giá trị.



Hình 4. Với các ngoại lệ: A) Biểu đồ hộp của vĩ độ; B) Biểu đồ hộp của kinh độ; C) Biểu đồ hộp của lượng mưa; D) Biểu đồ hộp của độ dốc; E) Biểu đồ hộp của độ ẩm đất; F) Biểu đồ hộp của độ cao; G) Biểu đồ hộp của địa chấn động đất.

Tiền xử lý dữ liệu: Dữ liệu không cân bằng gây ảnh hưởng đến hiệu suất của các thuật toán hồi quy. Trên thực tế, việc xử lý vấn đề mất cân bằng trong bài toán hồi quy là khó khăn do giá trị mục tiêu là liên tục và có thể có vô số giá trị. Trong nghiên cứu này, giá trị mục tiêu là xác suất sạt lở đất. Vì vậy nghiên cứu đã tạo ra các hạng mục lớp bằng cách phân phối các giá trị xác suất thành ba khoảng khác nhau: Thấp, Trung bình và Cao. Sau đó sử dụng thuật toán SMOGN [28] để đảm bảo rằng các mẫu được tạo ra đáp ứng được yêu cầu. Các giá trị ngoại lệ là các giá trị bất thường có thể làm sai lệch kết quả. Để thực hiện được điều đó bài báo đã kết hợp hai kỹ thuật Winsorization [29] và Boxplot [30], do đó dữ liệu có giá trị null (giá trị bị thiếu) đã được loại bỏ. Trước khi loại bỏ các giá trị ngoại lệ, nghiên cứu đã phân tích các biến đặc trưng được thể hiện trong Hình 4. Sau khi áp dụng phương pháp Winsorization và boxplot để loại bỏ các giá trị ngoại lệ, được mô tả như trong Hình 5.



Hình 5. Không có ngoại lệ: A) Biểu đồ hộp của lượng mưa; B) Biểu đồ hộp của độ cao; C) Biểu đồ hộp địa chấn động đất; D) Biểu đồ hộp của độ dốc; E) Biểu đồ hộp của độ ẩm đất.

2.2.3. Phân chia dữ liệu

Bộ dữ liệu được chia thành tập huấn luyện và tập kiểm tra theo tỷ lệ 70-30. Giá trị đặc trưng đã được tỷ lệ bằng phương pháp chuẩn hóa tiêu chuẩn [31]. Việc tỷ lệ chuẩn được tiến hành sau khi tập dữ liệu được chia để ngăn chặn việc kiểm tra dữ liệu [30]. Tập huấn luyện có 10.165.554 mẫu, và tập kiểm tra có 1.457.808 mẫu, các dữ liệu trong tập này được lấy từ tập dữ liệu mẫu để kiểm tra mô hình.

2.3. Các thuật toán dùng cho mô hình đề xuất

Sau khi thiết lập tập dữ liệu huấn luyện, bước tiếp theo là huấn luyện các mô hình Học máy và thực hiện dự đoán sạt lở đất. Năm thuật toán Học máy được chọn để đánh giá khả năng dự đoán nguy cơ sạt lở đất.

Thuật toán Hồi quy tuyến tính: Mô hình hồi quy tuyến tính được sử dụng để phân tích mối quan hệ tuyến tính giữa biến phụ thuộc (xác suất sạt lở đất) và các biến độc lập (các biến dự đoán khác). Trong nghiên cứu này, sử dụng hồi quy tuyến tính đa biến vì một biến dự đoán đơn lẻ không đủ để giải thích xác suất sạt lở đất. Phương trình 1 biểu diễn hàm tuyến tính.

$$Y = a + b_1 \times X_1 + b_2 \times X_2 + \dots + b_n \times X_n \tag{1}$$

Trong đó Y là biến phụ thuộc (xác suất sạt lở đất trong trường hợp này), X_i đại diện cho các biến độc lập (các chỉ báo khác nhau), a là hằng số và b_i là hệ số hồi quy của biến X_i .

Thuật toán Hồi quy Rừng Ngẫu Nhiên - Random Forest Regression (RFR): đây là một thuật toán được sử dụng trong Học máy, bằng cách kết hợp nhiều cây quyết định để đưa ra dự đoán tổng quát. Các cây trong RFR được huấn luyện thông qua việc sử dụng các tập con

được tạo từ tập dữ liệu huấn luyện chính thông qua phương pháp Bootstrap. Trong nhiệm vụ hồi quy, RFR tính toán dự đoán trung bình từ K cây hồi quy, được tính bằng phương trình 2.

$$\text{RFR}_{\text{prediction}} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K h_k(x) \quad (2)$$

Thuật toán Hồi quy XGBoost: *Extreme Gradient Boosting*, hay còn gọi là XGBoost, là một thuật toán Học máy sử dụng một tập hợp cây quyết định để dự đoán. Mỗi cây trong tập hợp được huấn luyện để học hàm quyết định bằng cách giảm thiểu hàm mất mát sử dụng phương pháp Gradient Descent. Mỗi cây nhằm mục tiêu sửa chữa những sai sót của cây trước đó trong quá trình học. Việc huấn luyện tập hợp K cây được mô tả trong phương trình 3.

$$O_{bj} = \sum_{i=1}^n \text{loss}(y_i, \hat{y}) + \sum_{k=1}^K \Omega(f_k) \quad (3)$$

Dự đoán cuối cùng của tập hợp được tính toán bằng phương trình 4.

$$Y_{\text{xgb}}(x) = \sum_{k=1}^K \text{tree}_k(x), \text{tree}_k \in T \quad (4)$$

Thuật toán Hồi quy Vector Hỗ trợ tuyến tính (SVR): là một thuật toán Học máy được sử dụng để dự đoán một giá trị số. Nó hoạt động trên cả đầu vào có giá trị rời rạc và giá trị liên tục. Trong nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp hồi quy đa biến để khai thác các biến đầu vào. SVR cố gắng tìm ra một hàm tuyến tính sao cho khoảng cách giữa các dữ liệu đầu vào và đường hồi quy là nhỏ nhất. Phương trình 5 được sử dụng để tính toán đầu ra của SVR.

$$Y_{\text{svr}}(x) = \sum_{i=1}^n \beta_i K(x; x_i) + b \quad (5)$$

Ở đây β_i và x_i lần lượt là trọng số và vị trí của mỗi SVs. Ngoài ra, n là số lượng SVs, b là sai số, và $K(x; x_i)$ là hàm Kernel tương ứng với x_i .

Thuật toán Hồi quy K láng giềng gần nhất -K-Nearest Neighbors (KNN): là một phân loại của các thuật toán gom cụm mà mục tiêu là nhóm các mẫu có các giá trị đặc trưng tương tự vào các “khu vực láng giềng” để tìm mối tương quan giữa các đặc trưng và giá trị nhãn. Khoảng cách giữa mỗi mẫu được quyết định dựa trên khoảng cách Euclidean của các đặc trưng.

$$Y_{\text{KNN}} = \frac{\sum_{i=1}^K N_i}{K}; N = X \text{ được sắp xếp theo khoảng cách Euclidean} \quad (6)$$

Để thực hiện dự đoán, thuật toán KNN sẽ tìm K điểm gần nhất với giá trị tham số đầu vào và đưa ra trung bình của nhãn của chúng như được thể hiện trong phương trình 6.

2.4. Phương pháp lựa chọn đặc trưng

Các phương pháp chọn đặc trưng được áp dụng để loại bỏ những đặc trưng không quan trọng. Trong trường hợp này, chú trọng đến những đặc trưng góp phần quan trọng nhất vào biến mục tiêu. Điều này nhằm tiết kiệm chi phí trong quá trình mô hình hóa và cải thiện hiệu suất của mô hình. Nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp SelectKBest kết hợp với lựa chọn đặc trưng theo hệ số tương quan [32] và thông tin chung (*Mutual Information*) [33] để tìm ra những đặc trưng tốt nhất từ bộ dữ liệu. Hàm SelectKBest sử dụng các phương pháp này như một hàm tính điểm để xác định mức độ tương quan giữa mỗi đặc trưng và biến mục tiêu. Ở đây bài báo quy định nếu điểm số thấp cho thấy đặc trưng đó không phụ thuộc vào biến mục tiêu. Ngược lại, giá trị điểm số cao thì đặc trưng đó có liên quan đến biến mục tiêu.

2.5. Phương pháp đánh giá hiệu suất của mô hình

Trong nghiên cứu này, sử dụng các độ đo thống kê tiêu chuẩn để đánh giá độ chính xác của mô hình, bao gồm: Sai số trung bình bình phương (MSE), sai số trung bình bình phương căn (RMSE) và sai số trung bình tuyệt đối (MAE). RMSE được tính bằng công thức 7, MSE thể hiện trong công thức 8 và MAE được tính bằng công thức 9.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad (7)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \tag{8}$$

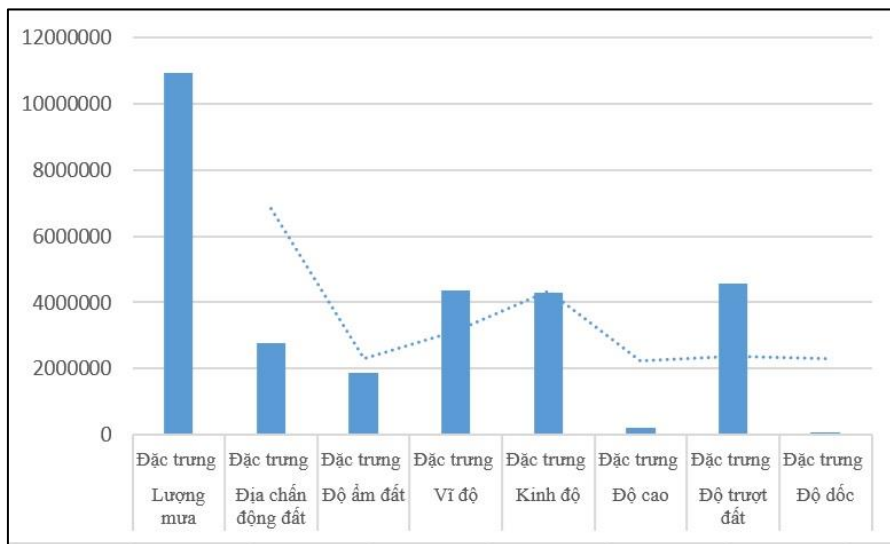
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (|Y_i - \hat{Y}_i|) \tag{9}$$

Trong đó Y_i biểu thị giá trị kỳ vọng và \hat{Y}_i là giá trị dự đoán.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Phương pháp thực hiện

Để tìm ra các tham số tối ưu cho mô hình, bài báo đã sử dụng phương pháp GridSearchCV [34]. Quá trình này bao gồm việc xác định một lưới các giá trị tham số khác nhau để thử nghiệm. Mô hình được đào tạo và đánh giá sử dụng từng cấu hình tham số trong lưới. Mục tiêu của quá trình là tìm ra cấu hình tham số tối ưu mang lại hiệu suất tốt nhất trên dữ liệu đánh giá. GridSearchCV là một phương pháp tìm kiếm thông qua lưới các giá trị tham số để tìm ra giá trị tối ưu. Bước này giúp thử nghiệm các cấu hình tham số khác nhau của mô hình và đánh giá hiệu suất của từng cấu hình trên dữ liệu đánh giá. Việc lựa chọn ba lượt chia dữ liệu sau khi phân tích thử nghiệm nhằm đảm bảo tính chính xác và đáng tin cậy của kết quả. Sau khi có các tham số tối ưu cho mô hình, nghiên cứu tiến hành đánh giá tác động của việc lựa chọn các biến đặc trưng đến hiệu suất của các thuật toán máy học trong mô hình. Bằng cách so sánh hiệu suất giữa việc sử dụng và không sử dụng các biến đặc trưng, qua đó có thể đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng biến đặc trưng đến kết quả dự đoán. Điều này giúp xác định độ quan trọng của các biến đặc trưng và có thể giúp tối ưu hóa mô hình và cải thiện hiệu suất dự đoán. Kết quả của quá trình này mang lại một mô hình tối ưu với các tham số được điều chỉnh và cung cấp hiểu biết về tác động của các biến đặc trưng đến hiệu suất của mô hình. Việc này đóng góp vào quá trình xây dựng mô hình có hiệu suất cao trong việc dự đoán. Kết quả thu được bằng cách sử dụng phương pháp chọn đặc trưng dựa vào thông tin chung, được mô tả trong Hình 6.



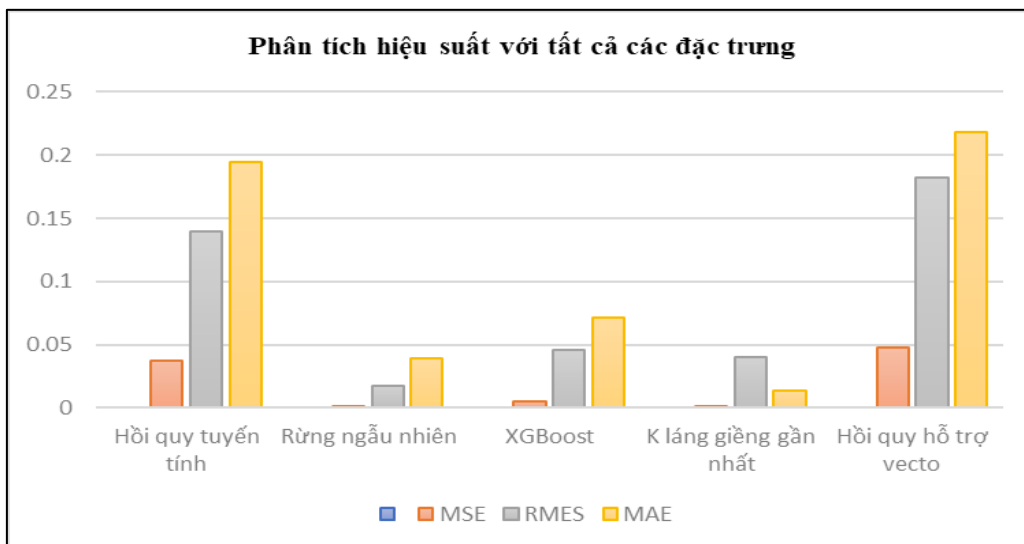
Hình 6. Giá trị điểm số của các yếu tố được thu được bằng phương pháp lựa chọn dựa trên thông tin chung.

3.2. Đánh giá hiệu suất của các thuật toán Học máy sử dụng trong mô hình được đề xuất

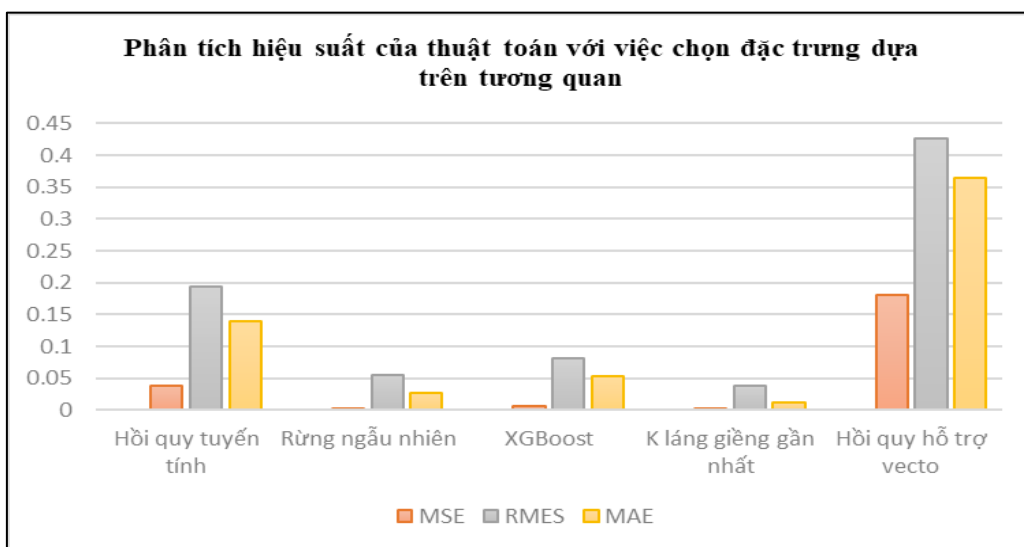
Để đánh giá hiệu suất của các thuật toán Học máy sử dụng trong mô hình đề xuất, bài báo đã áp dụng phương pháp lựa chọn đặc trưng dựa trên tương quan và phương pháp lựa chọn đặc trưng dựa trên thông tin chung. Quá trình lựa chọn đặc trưng này dựa trên việc xác định mức độ tương quan giữa các đặc trưng và mục tiêu dự đoán, cũng như độ quan trọng

của các đặc trưng trong mô hình. Trong nghiên cứu này, đã loại bỏ các đặc trưng có điểm số tương quan thấp nhất. Các mô hình được chạy với cả tập dữ liệu chứa tất cả các đặc trưng và tập dữ liệu chỉ chứa các đặc trưng đã được lựa chọn. Điều này nhằm đánh giá tác động của việc lựa chọn đặc trưng đến khả năng dự đoán sạt lở đất.

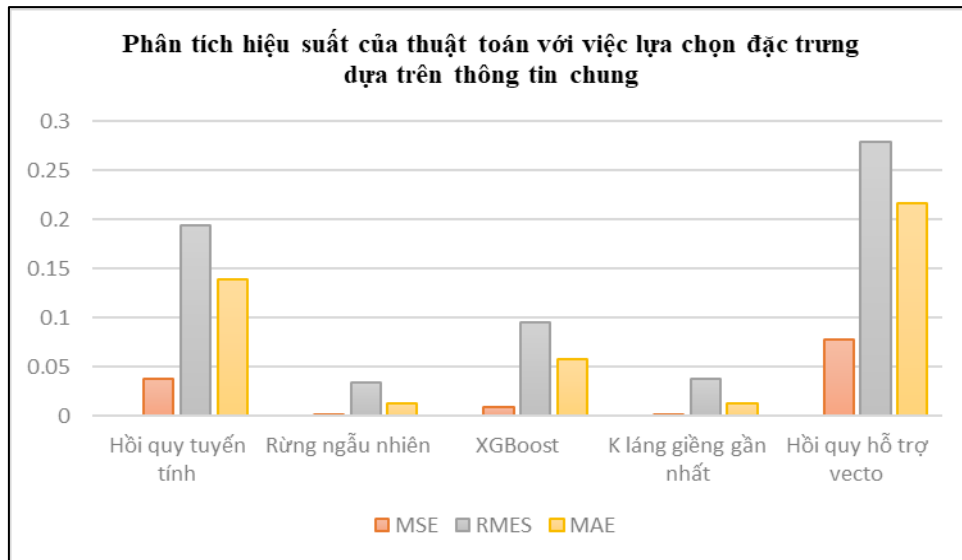
Trong quá trình đánh giá hiệu suất, bài báo đã sử dụng năm thuật toán Học máy khác nhau. Thuật toán 1 đại diện cho Hồi quy tuyến tính - Linear Regression (LR), thuật toán 2 đại diện cho thuật toán Rừng ngẫu nhiên - Random Forest (RF), thuật toán 3 biểu thị cho thuật toán XGBoost, thuật toán 4 đại diện cho thuật toán K-láng giềng gần nhất-KNN Regression và thuật toán 5 đại diện cho thuật toán Hồi quy Vector hỗ trợ - Linear SVR. Hiệu suất của các thuật toán Học máy đã được đánh giá trên tập dữ liệu mẫu được sử dụng để kiểm tra mô hình. Các kết quả về hiệu suất của các thuật toán được mô tả và trình bày trong các hình từ Hình 7 đến Hình 9. Thông qua việc so sánh kết quả, bài báo có thể xác định hiệu suất của từng thuật toán trong việc dự đoán khả năng sạt lở đất và đánh giá đóng góp của việc lựa chọn đặc trưng đối với hiệu suất của mô hình. Việc này nhằm mục đích có được cái nhìn tổng quan về hiệu suất của các thuật toán Học máy và tác động của việc lựa chọn đặc trưng đến kết quả dự đoán. Các kết quả này cung cấp thông tin quan trọng và là cơ sở để cải thiện mô hình và tối ưu hóa hiệu suất trong tương lai.



Hình 7. Biểu đồ mô tả giá trị lỗi đạt được bởi các thuật toán sử dụng tất cả các đặc trưng.



Hình 8. Biểu đồ mô tả giá trị lỗi đạt được bởi các thuật toán sau khi áp dụng phương pháp lựa chọn đặc trưng dựa trên tương quan.



Hình 9. Biểu đồ mô tả giá trị lỗi đạt được bởi các thuật toán sau khi áp dụng phương pháp lựa chọn đặc trưng dựa trên thông tin chung.

Sau khi phân tích các chỉ số, có thể khẳng định rằng thuật toán Rừng ngẫu nhiên -Random Forest (RF) vượt trội hơn các thuật toán khác khi sử dụng phương pháp lựa chọn đặc trưng dựa trên thông tin chung. Phương pháp lựa chọn đặc trưng dựa trên thông tin chung là phương pháp tập trung vào đánh giá mức độ quan trọng của các đặc trưng, sử dụng khái niệm “thông tin chung” để đo lường mức độ liên kết giữa các đặc trưng và mục tiêu. Các đặc trưng có độ thông tin chung cao được coi là quan trọng và được chọn để xây dựng mô hình. Ngược lại thuật toán Hồi quy K láng giềng gần nhất (KNN) lại có hiệu suất tốt khi sử dụng phương pháp lựa chọn đặc trưng dựa trên tương quan. Phương pháp lựa chọn đặc trưng dựa trên tương quan là quá trình xác định độ tương quan giữa các đặc trưng và mục tiêu dự đoán. Các đặc trưng có độ tương quan cao được coi là quan trọng và được chọn để xây dựng mô hình. Điều đó cho thấy chúng ta cần kết hợp các thuật toán Học máy này lại với nhau để đạt được kết quả dự đoán tốt nhất.

4. Kết luận

Xác định và dự báo khả năng sạt lở đất ở nước ta đóng một vai trò then chốt trong việc đánh giá rủi ro. Việc sử dụng mô hình Máy học để dự báo khả năng sạt lở đất tại các vị trí cơ sở hạ tầng quan trọng có thể hỗ trợ trong việc giám sát và giảm thiểu nguy cơ. Nghiên cứu này đã xây dựng một mô hình áp dụng năm thuật toán hồi quy phổ biến của Học máy gồm: Rừng ngẫu nhiên, Hồi quy tuyến tính, Hồi quy XGBoost, Vector Hỗ trợ tuyến tính, K-Láng giềng gần nhất để dự báo khả năng sạt lở đất dựa trên các biến đặc trưng của tập dữ liệu mẫu. Sau khi phân tích nghiên cứu đã chia tỷ lệ 70/30 cho tập huấn luyện và tập kiểm tra. Mục đích chính là đánh giá hiệu suất của các thuật toán trong hai trường hợp: sử dụng phương pháp lựa chọn đặc trưng dựa trên tương quan và phương pháp lựa chọn đặc trưng dựa trên thông tin chung. Kết quả cho thấy hiệu suất của tất cả các thuật toán Học máy đều đạt được các điểm MSE hợp lý. Trong đó thuật toán (RF) đã vượt trội hơn, khi sử dụng phương pháp lựa chọn đặc trưng dựa trên thông tin chung. Thuật toán K-Láng giềng gần nhất lại cho thấy hiệu suất tốt hơn, khi sử dụng phương pháp lựa chọn đặc trưng dựa trên tương quan. Vì vậy để xây dựng được một mô hình dự đoán ổn định, có độ tin cậy cao cần phải kết hợp năm thuật toán này lại với nhau.

Nghiên cứu này đã chứng minh tiềm năng của việc kết hợp các thuật toán Học máy trong dự báo khả năng sạt lở đất. Hướng phát triển trong tương lai sẽ tiếp tục tăng kích thước và đa dạng hóa bộ dữ liệu nhằm tăng cường độ chính xác của các thuật toán. Xây dựng mô hình

Máy học dự đoán sạt lở đất ở đồng bằng sông Cửu Long với bộ dữ liệu của khu vực này. Nâng cao tính khả diễn giải của các thuật Học máy, để hiểu rõ hơn về các yếu tố quan trọng trong dự đoán khả năng sạt lở đất. Đồng thời, việc phát triển một bảng điều khiển thông tin để hiển thị các dự báo cho từng cơ sở hạ tầng quan trọng cũng là một hướng phát triển trong tương lai.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của việc: “Nghiên cứu đánh giá các thuật toán Học Máy và mô hình phân tầng dữ liệu dựa vào các biến đặc trưng để đưa ra dự đoán sạt lở đất”. Xin cảm ơn các tác giả đã có những công trình nghiên cứu liên quan mà tôi đã tham khảo.

Lời cam đoan: Chúng tôi xin cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của chúng tôi, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong bài báo này.

Tài liệu tham khảo

1. Fadhilah, M.F.; Hakim, W.L.; Panahi, M.; Rezaie, M.; Lee, C.W.; Lee, S. Mapping of landslide potential in Pyeongchang-gun, South Korea, using machine learning meta-based optimization algorithms. *Egypt. J. Remote Sens. Space Sci.* **2022**, *25*, 463–472. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.03.008>.
2. Liu, Y.; Xu, C.; Huang, B.; Ren, X.; Liu, C.; Hu, B.; Chen, Z. Landslide displacement prediction based on multi-source data fusion and sensitivity states. *Eng. Geol.* **2020**, *271*, 105608. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105608>.
3. Wang, J.; Xiao, L.; Ward, S.N. Tsunami Squares modeling of landslide tsunami generation considering the ‘Push Ahead’ effects in slide/water interactions: Theory, experimental validation, and sensitivity analyses. *Eng. Geol.* **2021**, *288*, 106141. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106141>.
4. Bragagnolo, L.; da Silva, R.V.; Grzybowski, J.M.V. Landslide susceptibility mapping with landslide: A free open-source GIS-integrated tool based on Artificial Neural Networks. *Environ. Model. Softw.* **2020**, *123*, 104565. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104565>.
5. Huang, F.; Cao, Z.; Guo, J.; Jiang, S. H.; Li, S.; Guo, Z. Comparisons of heuristic, general statistical and machine learning models for landslide susceptibility prediction and mapping. *Catena* **2020**, *191*, 104580. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104580>.
6. Małka, A. Landslide susceptibility mapping of Gdynia using geographic information system-based statistical models. *Nat. Hazards* **2021**, *107*, 639–674. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04599-8>.
7. Das, S.; Sarkar, S.; Kanungo, D.P. GIS-based landslide susceptibility zonation mapping using the analytic hierarchy process (AHP) method in parts of Kalimpong Region of Darjeeling Himalaya. *Environ. Monit. Assess.* **2022**, *194*, 234. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09851-7>.
8. Ba, Q.; Chen, Y.; Deng, S.; Wu, Q.; Yang, J.; Zhang, J. An Improved Information Value Model Based on Gray Clustering for Landslide Susceptibility Mapping. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2017**, *6*, 18. <https://doi.org/10.3390/ijgi6010018>.
9. Ilija, I.; Tsangaratos, P. Applying weight of evidence method and sensitivity analysis to produce a landslide susceptibility map. *Landslides* **2016**, *13*, 379–397. <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0576-3>.
10. Lambie, S.M.; Awatera, S.; Daigneault, A.; Kirschbaum, M.U.F.; Marden, M.; Soliman, T.; Spiekermann, R.I.; Walsh, P.J. Trade-offs between environmental and

- economic factors in conversion from exotic pine production to natural regeneration on erosion prone land. *N. Z. J. For. Sci.* **2021**, 51, 14.
11. Wang, G.; Chen, X.; Chen, W. Spatial Prediction of Landslide Susceptibility Based on GIS and Discriminant Functions. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2020**, 9, 144. <https://doi.org/10.3390/ijgi9030144>.
 12. Tehrani, F.S.; Calvello, M.; Liu, Z.; Zhang, L.; Lacasse, S. Machine learning and landslide studies: recent advances and applications. *Nat. Hazards.* **2022**, 114, 1197–1245. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05423-7>.
 13. Bergen, K.J.; Johnson, P.A.; de Hoop, M.V.; Beroza, G.C. Machine learning for data-driven discovery in solid Earth geoscience. *Science* **2019**, 363(6433), 1–11.
 14. Wicki, A.; Lehmann, P.; Hauck, C.; Seneviratne, S.I.; Waldner, P.; Stähli, M. Assessing the potential of soil moisture measurements for regional landslide early warning. *Landslides* **2020**, 17, 1881–1896. <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01400-y>.
 15. Johnston, E.C.; Davenport, F.V.; Wang, L.; Caers, J.K.; Muthukrishnan, S.; Burke, M.; Diffenbaugh, N.S. Quantifying the Effect of Precipitation on Landslide Hazard in Urbanized and Non-Urbanized Areas. *Geophys. Res. Lett.* **2021**, 48, e2021GL094038. <https://doi.org/10.1029/2021GL094038>.
 16. Abraham, M.T.; Satyam, N.; Pradhan, B.; Alamri, A.M. Forecasting of Landslides Using Rainfall Severity and Soil Wetness: A Probabilistic Approach for Darjeeling Himalayas. *Water* **2020**, 12, 804. <https://doi.org/10.3390/w12030804>.
 17. Martino, S.; Fiorucci, M.; Marmoni, G.M.; Casaburi, L.; Antonielli, B.; Mazzanti, P. Increase in landslide activity after a low-magnitude earthquake as inferred from DInSAR interferometry. *Sci. Rep.* **2022**, 12, 2686. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06508-w>.
 18. Nakileza, B.R.; Nedala, S. Topographic influence on landslides characteristics and implication for risk management in upper Manafwa catchment, Mt Elgon Uganda. *Geoenvironmental Disasters* **2020**, 7, 27. <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00160-0>.
 19. Hosseini, S.A.; Lotfi, R.; Lotfalian, M.; Kavian, A.; Parsakhoo, A. The effect of terrain factors on landslide features along forest road. *Afr. J. Biotechnol.* **2011**, 10, 14108–14115. <https://doi.org/10.4314/ajb.v10i64>.
 20. Bergen, K.J.; Johnson, P.A.; de Hoop, M.V.; Beroza, G.C. Machine learning for data-driven discovery in solid Earth geoscience. *Science* **2019**, 363, 1-10. <https://doi.org/10.1126/science.aau0323>.
 21. Goetz, J.N.; Brenning, A.; Petschko, H.; Leopold, P. Evaluating machine learning and statistical prediction techniques for landslide susceptibility modeling. *Comput. Geosci.* **2015**, 81, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.04.007>.
 22. Chen, T.; Zhu, L.; Niu, R.; Trinder, C.J.; Peng, L.; Lei, T. Mapping landslide susceptibility at the Three Gorges Reservoir, China, using gradient boosting decision tree, random forest and information value models. *J. Mt. Sci.* **2020**, 17, 670–685. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5839-3>.
 23. Stumpf, A.; Kerle, N. Combining Random Forests and object-oriented analysis for landslide mapping from very high resolution imagery. *Procedia Environ. Sci.* **2011**, 3, 123–129. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.02.022>.
 24. Lei, T.; Zhang, Y.; Lv, Z.; Li, S.; Liu, S.; Nandi, A.K. Landslide Inventory Mapping From Bitemporal Images Using Deep Convolutional Neural Networks. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* **2019**, 16, 982–986. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2018.2889307>.
 25. Ma, Z.; Mei, G.; Piccialli, F. Machine learning for landslides prevention: a survey. *Neural Comput. Appl.* **2021**, 33, 10881–10907. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05529-8>.

26. Mohr, K. NASA-USDA Global Soil Moisture Data. Earth, Online available: <https://earth.gsfc.nasa.gov/hydro/data/nasa-usda-global-soil-moisture-data>.
27. GES DISC Dataset: Global Landslide Nowcasts from LHASA L4 1 day 1 km x 1 km version 1.1 (Global_Landslide_Nowcast) at GES DISC (Global_Landslide_Nowcast 1.1). https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/Global_Landslide_Nowcast_1.1/summary
28. Branco, P.; Torgo, L.; Ribeiro, R.P. SMOGN: a Pre-processing Approach for Imbalanced Regression. Proceedings of the First International Workshop on Learning with Imbalanced Domains: Theory and Applications, 2017, pp. 36–50.
29. Hamadani, A.; Ganai, N.A.; Raja, T.; Alam, S.; Andrabi, S.M.; Hussain, I.; Ahmad, H.A. Outlier Removal in Sheep Farm Datasets Using Winsorization. *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika*, 2022.
30. Online available: <http://www.ss-pub.org/wp-content/uploads/2019/09/JMSS18122402.pdf>.
31. Ahsan, M.M.; Mahmud, M.A.P.; Saha, P.K.; Gupta, K.D.; Siddique, Z. Effect of Data Scaling Methods on Machine Learning Algorithms and Model Performance. *Technologies* 2021, 9, 52. <https://doi.org/10.3390/technologies9030052>.
32. Mielniczuk, J.; Teisseyre, P. Model Selection in Logistic Regression Using p-Values and Greedy Search. In: Bouvry, P. Kłopotek, M.A. Leprévost, F. Marciniak, M. Mykowiecka, A. and Rybiński, H. (Eds.) Security and Intelligent Information Systems. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, pp. 128–141.
33. Sulaiman, M.A.; Labadin, J. Feature selection based on mutual information. In: 2015 9th International Conference on IT in Asia (CITA), 2015, pp. 1–6.
34. Sulaiman, M.A.; Labadin, J. Feature selection with mutual information for regression problems. Proceeding of the 9th International Conference on IT in Asia (CITA), 2015, pp. 1–6.

Landslide likelihood prediction in Vietnam using machine learning algorithms

Pham Trong Huynh^{1*}

¹ University of Natural Resources and Environment, Ho Chi Minh City;
pthuynh@hcmunre.edu.vn

Abstract: Vietnam is a country with hilly and sloping terrain, located in a region with tropical monsoon climate, making landslides quite common. This study focuses on predicting the likelihood of landslides in Vietnam using regression algorithms, namely Random Forest (RF), Extreme Gradient Boosting (XGBoost), K-Nearest Neighbor regression (KNN), Linear Support Vector Regressor (SVR), and Linear Regression (LR). Relevant landslide-related features are used, including soil moisture, seismic activity, rainfall, elevation, and slope. The algorithms are trained on a sample dataset to evaluate their performance. The research results show that the Random Forest (RF) algorithm can predict landslide susceptibility effectively. The prediction results from the training and testing datasets, with the highest coefficient of determination (R^2) value of 0.85, demonstrate a good ability to explain data variations. Additionally, the lowest mean squared error (MSE) and root mean squared error (RMSE) values are 150.21 and 12.25, respectively. The other algorithms also yield relatively good results, but RF outperforms them. This indicates the need to combine these five algorithms to handle a large amount of complex data, to create a stable and accurate landslide prediction model in Vietnam using machine learning algorithms.

Keywords: Landslides; Machine Learning; Regression; Random Forest; K-Nearest Neighbor.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar và mô hình số trị để nâng cao độ chính xác dự báo lũ

Nguyễn Hoàng Minh^{1*}, Phùng Tiến Dũng¹, Vũ Thị Thanh Vân¹, Đoàn Văn Hải¹, Mai Văn Khiêm¹

¹ Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn;
hoangminh281287@gmail.com; ptdung77@gmail.com; vtvan7702@gmail.com;
hai110684@gmail.com; maikhiem77@gmail.com

*Tác giả liên hệ: hoangminh281287@gmail.com; Tel: +84-967519798

Ban Biên tập nhận bài: 15/6/2023; Ngày phản biện xong: 13/7/2023; Ngày đăng bài: 25/7/2023

Tóm tắt: Nghiên cứu này được thực hiện để tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị (NWP) phục vụ nâng cao chất lượng dự báo lũ. Lượng mưa tích hợp cho 6 giờ kế tiếp được tạo ra thông qua việc xác định trọng số của các sản phẩm mưa dự báo dựa trên giá trị của các chỉ tiêu dự báo đúng (CSI) và sai số quân phương (RMSE) ở khung thời gian trước. Đối với dự báo sau 6 giờ, độ lệch trung bình giữa lượng mưa tích hợp với NWP ở 6 giờ được tính toán và thêm vào cho các khoảng thời gian dự báo dài hơn. Phương pháp này được áp dụng cho 2 trận lũ xảy ra vào năm 2020 và 2021 trên khu vực thượng lưu sông Mã. Kết quả cho thấy lượng mưa tích hợp có độ chính xác cao hơn đáng kể so với NWP ở khoảng thời gian dự báo 6 giờ nhưng không thay đổi nhiều ở các khoảng thời gian dài hơn trừ sai số trung bình (ME). Tương ứng với sự cải thiện của lượng mưa, độ chính xác dự báo lũ tăng lên đáng kể với giá trị của chỉ số hiệu quả mô hình (NSE) tăng lên và sai số dung tích (REV) giảm xuống. Những kết quả này đã chứng minh sự cần thiết của tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với NWP.

Từ khóa: Dự báo lũ; NWP; Dự báo mưa dựa trên radar; Tích hợp.

1. Đặt vấn đề

Lượng mưa là yếu tố đầu vào quan trọng nhất trong mô hình mưa - dòng chảy. Đối với mô hình thủy văn đủ tốt để mô phỏng các quá trình xảy ra trên lưu vực, cải thiện độ chính xác lượng mưa dự báo đóng vai trò quyết định gia tăng độ chính xác dự báo dòng chảy. Hiện nay, có nhiều phương pháp, mô hình để dự báo mưa, trong đó hai phương pháp nổi bật và có độ tin cậy lớn nhất là sử dụng mô hình số trị và radar. Trong hai loại sản phẩm mưa dự báo này, mỗi sản phẩm đều có những ưu điểm và nhược điểm riêng. Trong khi lượng mưa dự báo dựa trên radar chỉ đủ tin cậy cho 2-3 giờ kế tiếp thì mô hình số trị lại có khả năng dự báo dài với độ tin cậy cao hơn [1-4]. Do đó, tích hợp hai loại sản phẩm dự báo này có tiềm năng lớn để nâng cao độ chính xác dự báo mưa và dòng chảy.

Những nghiên cứu đầu tiên trên thế giới về tích hợp lượng mưa dự báo từ mô hình số trị với radar bắt đầu từ cuối những năm 90 của thế kỷ 20. Ví dụ, tác giả [5] phát triển hệ thống Nimrod tự động dự báo mưa hạn cực ngắn (đến 6 giờ) bằng việc tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với sản phẩm dự báo mưa của mô hình UM (*Unified Model*) cho vương quốc Anh. Các tác giả sử dụng hệ số tương quan của từng loại hình dự báo mưa ở thời gian trước để xác định trọng số tích hợp cho radar (W_A) và mô hình số (W_M). Tác giả trình bày kết quả tích hợp thử nghiệm cho sự kiện mưa lớn xảy ra từ ngày 5 đến 13 tháng 9 năm 1995. Kết quả

cho thấy, sau khi tích hợp, chỉ số tỷ lệ dự báo đúng (*hit rate*) và sai số quân phương (*root mean square factor*) đã được cải thiện đáng kể, tuy nhiên chỉ tiêu tỷ lệ cảnh báo không (*false alarm ratio*) lại tăng lên. Tác giả [6] giới thiệu về hệ thống cảnh báo sớm và tự động dự báo mưa đối lưu hạn cực ngắn GANDOLF. Hệ thống này được phát triển để dự báo mưa hạn cực ngắn cho lưu vực sông Thames, vương quốc Anh. Thay vì chỉ sử dụng dữ liệu dự báo tích hợp từ mô hình số và radar trong hệ thống Nimrod, tác giả đã tích hợp thêm dữ liệu từ mô hình hướng đối tượng (*object-oriented model*) để cố gắng giải quyết những hạn chế của dự báo mưa dựa trên radar (sử dụng phương pháp ngoại suy để cho ra kết quả dự báo mưa dẫn đến kỹ năng dự báo giảm mạnh khi thời gian dự báo xa hơn). Kết quả áp dụng thử nghiệm cho hai trận mưa lớn xảy ra vào năm 1995 và 1996 đã cho độ chính xác tăng lên đáng kể so với chỉ dự báo bằng Nimrod với sự cải thiện của các chỉ số dự báo thành công (*critical success index*) và sai số trung bình bình phương (*mean square error*), tuy nhiên chỉ số cảnh báo sai lại tiếp tục tăng lên so với Nimrod. Tác giả [7] đề xuất một phương pháp tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số, trong đó dữ liệu mưa dự báo từ radar được tính toán lại theo các thông số địa hình sau đó tiếp tục được hiệu chỉnh trước khi tích hợp dự báo mưa tổ hợp từ mô hình số (2 km, 30 giờ). Trong nghiên cứu này, tác giả xác định trọng số tích hợp cho từng loại dự báo mưa dựa trên giá trị của CSI và RMSE ở khung thời gian trước. Các tác giả đã áp dụng phương pháp đề xuất để cải thiện năng lực dự báo mưa lũ cho sự kiện mưa lớn xảy ra vào đầu tháng 9 năm 2011 ở lưu vực sông Shingu, Nhật Bản. Kết quả áp dụng thử nghiệm cho thấy rất khả quan khi độ chính xác của lượng mưa tích hợp tốt hơn hẳn so với dự báo mưa hoặc chỉ từ radar hoặc chỉ từ mô hình số cho tất cả các trường hợp tính toán (cho các ngưỡng mưa khác nhau). Ngoài ra, nhiều nghiên cứu khác cũng đã được thực hiện để tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar và mô hình số trị như [8–18].

Ở Việt Nam, nghiên cứu tích hợp lượng mưa dự báo từ mô hình số trị với radar vẫn còn rất hạn chế. Gần đây, cùng với thành công của Đài Khí tượng Cao không trong dự báo mưa hạn cực ngắn (*nowcasting*) dựa trên radar, tác giả [19] đã nghiên cứu thử nghiệm tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với sản phẩm mô hình số trị phân giải cao (NWP) để có được sản phẩm dự báo mưa định lượng - khách quan hạn cực ngắn tại Việt Nam. Nghiên cứu đã áp dụng hệ thống cảnh báo mưa hạn cực ngắn do Cơ quan khí tượng Hồng Kông phát triển cho trận mưa xảy ra vào ngày 4 tháng 3 năm 2020. Kết quả cho thấy dự báo mưa tích hợp từ hai sản phẩm có chất lượng tốt hơn so với dự báo từ mô hình số trị hoặc dự báo dựa trên radar. Tuy nhiên, nghiên cứu này mới chỉ áp dụng thử nghiệm cho một trận mưa duy nhất, do đó chưa đủ để khẳng định được lượng mưa tích hợp tốt hơn so với mô hình số trị và radar.

Có thể thấy rằng, các nghiên cứu tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar và mô hình số trị đã đạt được những thành công nhất định trong việc nâng cao độ chính xác dự báo mưa. Tuy nhiên, một vấn đề quan trọng áp dụng lượng mưa tích hợp vào trong dự báo lũ vẫn chưa được thực hiện. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện để: 1) Tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị; 2) Đánh giá khả năng sử dụng của lượng mưa tích hợp trong dự báo lũ.

2. Phương pháp, khu vực nghiên cứu và số liệu sử dụng

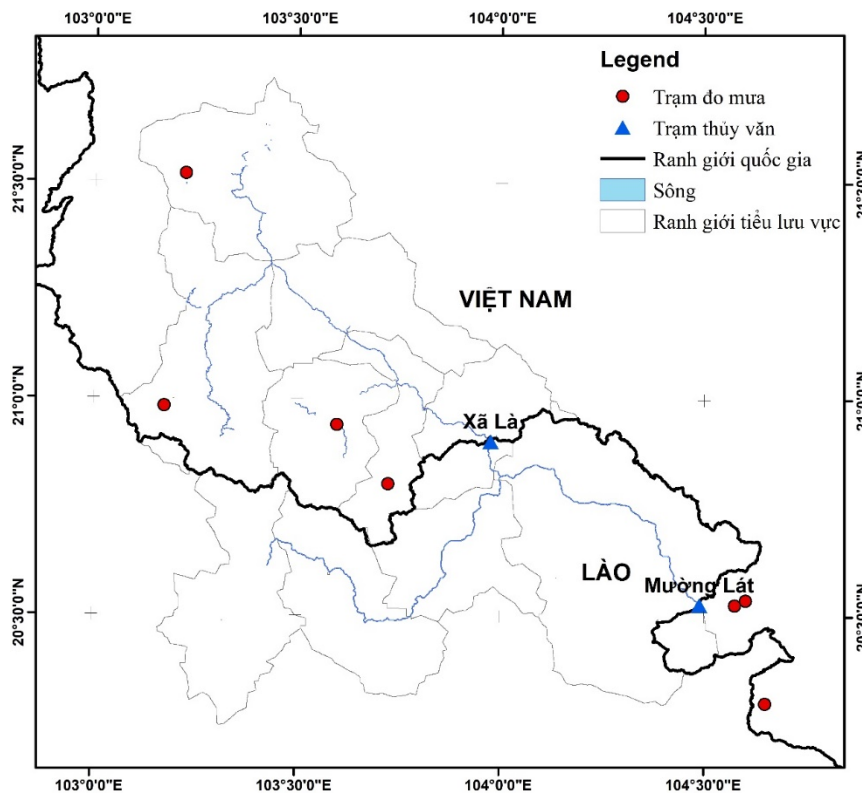
2.1. Khu vực nghiên cứu và số liệu sử dụng

Khu vực thượng lưu sông Mã tính đến trạm Mường Lát được lựa chọn áp dụng thử nghiệm trong nghiên cứu này nhờ dòng chảy không bị ảnh hưởng bởi sự điều tiết của hồ chứa và các công trình nhân tạo. Khu vực này có diện tích khoảng 12.951 km², trong đó phần diện tích nằm trong lãnh thổ Việt Nam khoảng 6.784 km², nằm trong lãnh thổ Lào khoảng 6.167 km². Bản đồ khu vực nghiên cứu được thể hiện trong Hình 1.

Số liệu mưa thực đo 6 giờ của 7 trạm đo mưa từ năm 2020 đến 2021 được thu thập từ Tổng cục Khí tượng Thủy văn để phục vụ cho thực hiện các công việc: 1) Tính toán độ chính xác của lượng mưa dự báo dựa trên radar và mô hình số trị phục vụ cho tính trọng số tích

hợp của từng sản phẩm mưa; 2) Kết hợp với lượng mưa dự báo làm đầu vào cho mô hình thủy văn. Bên cạnh đó, số liệu lưu lượng thực đo của trạm Mường Lát cũng được thu thập và sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình mưa - dòng chảy và đánh giá kết quả dự báo lũ.

Sản phẩm mưa dự báo dựa trên radar cung cấp bởi Đài Khí tượng Cao không (AMO), Tổng cục Khí tượng Thủy văn được sử dụng để tích hợp với lượng mưa dự báo từ mô hình WRF (thu thập từ Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia (NCHMF), Tổng cục Khí tượng Thủy văn). Dữ liệu mưa dự báo dựa trên radar có độ phân giải không gian là 1,5km, cập nhật từng giờ, dự báo cho 6 giờ tới. Dữ liệu mưa dự báo từ mô hình WRF có độ phân giải theo không gian là 3km, 6 giờ cập nhật một lần, dự báo cho 72 giờ tới. Để tích hợp được lượng mưa dự báo từ mô hình số trị và radar tại các ô lưới, lượng mưa dự báo dựa trên radar được chuyển về độ phân giải 3km (cùng độ phân giải với mô hình số trị) bằng phương pháp nghịch đảo trọng số theo khoảng cách (IDW). Cấu hình của các sản phẩm được trình bày trong Bảng 1.



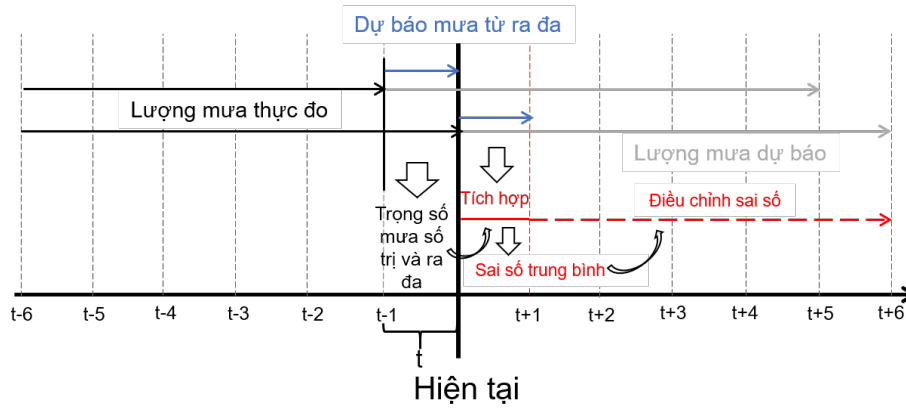
Hình 1. Bản đồ khu vực thượng lưu sông Mã tính đến trạm Mường Lát.

Bảng 1. Cấu hình của các sản phẩm dự báo mưa.

Mô hình	Độ phân giải	Bước thời gian	Số giờ dự báo	Cập nhật	Nguồn số liệu
WRF	3.0 km	6 giờ	72 giờ	6 giờ	NCHMF
Radar	1.5 km	1 giờ	6 giờ	1 giờ	AMO
Radar tái cấu hình	3.0 km	6 giờ	6 giờ	6 giờ	IDW

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Đầu tiên, lượng mưa hỗn hợp cho khoảng thời gian dự báo 6 giờ được tạo ra bằng việc tích hợp lượng mưa dự báo từ mô hình số trị với lượng mưa dự báo dựa trên radar (sau đây gọi là giai đoạn tích hợp). Sai số trung bình cho từng lưu vực sau đó được tính toán và cộng thêm vào lượng mưa dự báo từ mô hình số trị cho khoảng thời gian dự báo sau 6 giờ (sau đây gọi là giai đoạn điều chỉnh sai số). Sơ đồ các bước tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ các bước tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị.

Ở giai đoạn tích hợp, tìm trọng số phù hợp cho dự báo mưa ra đa và mô hình số trị có vai trò quan trọng nhất. Nghiên cứu này áp dụng một phương pháp để tính toán trọng số cho mỗi hệ thống theo cả chất lượng và định lượng. Chỉ số dự báo đúng (*Critical Success Index - CSI*) được sử dụng cho phân tích chất lượng, trong khi đó sai số quân phương (*Root Mean Square Error - RMSE*) được sử dụng cho phân tích định lượng. CSI và RMSE được tính toán theo phương trình (1) và (2).

$$CSI = \frac{H}{M + H + F} \tag{1}$$

Bảng 2. Bảng xác định các thông số (*contingency table*).

Dự báo	Thực đo	
	Có	Không
Có	H	F
Không	M	C

Trong đó H (hit) là số lần dự báo đúng, được xác định khi cả mô hình dự báo và quan trắc đều có mưa; M (*miss*) là số lần dự báo thiếu, được xác định khi mô hình dự báo không mưa trong khi thực tế quan trắc được có mưa; F (*false*) là số lần dự báo sai, được xác định khi mô hình dự báo có mưa trong khi thực tế quan trắc lại không có mưa. Các thông số H, M và F được xác định theo Bảng 2.

CSI được xem như thước đo độ chính xác dự báo khi không xem xét những trường hợp hiện tượng không xuất hiện. CSI có giá trị trong khoảng từ 0 đến 1. CSI bằng không nghĩa là mô hình dự báo không chính xác, trong khi CSI bằng một cho thấy mô hình dự báo đúng hoàn toàn.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2} \tag{2}$$

Trong đó F là lượng mưa dự báo, O là lượng mưa thực đo, N là độ dài chuỗi dữ liệu. Giá trị của RMSE nằm trong khoảng (0, +∞).

Trọng số của lượng mưa dự báo bằng ra đa (WR1 và WR2) và mô hình số trị (WN1 và WN2) ở từng điểm lưới được định nghĩa là một hàm bình phương, để thể hiện độ phản hồi nhạy của trọng số tích hợp cho mô hình số trị, như thể hiện trong các phương trình từ (3) đến (6). Cuối cùng, lượng mưa tích hợp (RB) ở hiện tại được tạo ra bằng việc sử dụng phương trình (7).

$$WR1 = \frac{CSI_{radar}^2}{CSI_{radar}^2 + CSI_{NWP}^2} \tag{3}$$

$$WR2 = 1 - \frac{RMSE_{\text{radar}}^2}{RMSE_{\text{radar}}^2 + RMSE_{\text{NWP}}^2} \quad (4)$$

$$WN1 = \frac{CSI_{\text{NWP}}^2}{CSI_{\text{radar}}^2 + CSI_{\text{NWP}}^2} \quad (5)$$

$$WN2 = 1 - \frac{RMSE_{\text{NWP}}^2}{RMSE_{\text{radar}}^2 + RMSE_{\text{NWP}}^2} \quad (6)$$

$$R_{\text{Hỗn hợp}} = \left(\frac{WR1 + WR2}{2} \right) \times R_{\text{radar}} + \left(\frac{WN1 + WN2}{2} \right) \times R_{\text{NWP}} \quad (7)$$

Ở giai đoạn điều chỉnh sai số, sai số ở mỗi điểm lưới (EF) được tính toán ở giai đoạn tích hợp bằng việc trừ hỗn hợp mới tạo ra cho lượng mưa dự báo từ mô hình số trị (phương trình (8)), sau đó lấy trung bình cho toàn bộ lưu vực để nhận được sai số trung bình. Cuối cùng, sai số trung bình đơn giản được thêm vào từng thành viên tổ hợp cho khoảng thời gian dự báo trên 6 giờ (phương trình (9)).

$$EF = \frac{1}{n} \sum_{g=1}^n (R_{\text{Hỗn hợp},g} - R_{\text{NWP},g}) \quad (8)$$

$$R_{\text{upd}} = R_{\text{NWP}} + EF \quad (9)$$

2.3. Mô hình mưa - dòng chảy

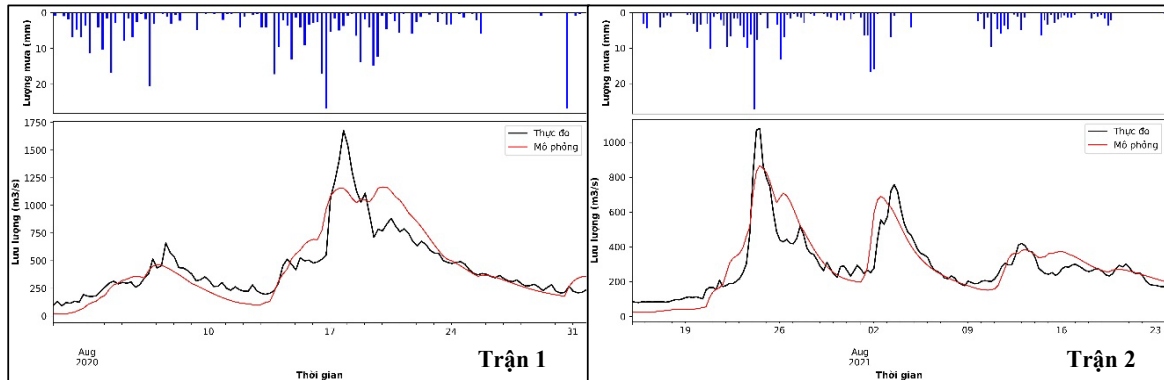
Dựa vào việc xem xét các quá trình vật lý trong mô hình, các mô hình thủy văn được phân chia thành 3 loại: mô hình hộp đen, mô hình dựa trên vật lý, và mô hình khái niệm và kinh nghiệm. Mô hình hộp đen chỉ làm việc với dữ liệu để tìm ra mối quan hệ giữa dữ liệu thực đo và dự báo và không phù hợp với mục tiêu của nghiên cứu này. Loại mô hình thứ hai có nhiều ưu điểm về mặt lý thuyết, nhưng nó yêu cầu một lượng lớn số liệu đầu vào và dữ liệu thông số (*parametric data*), những dữ liệu này vẫn còn khá hạn chế ở Việt Nam. Vì vậy, mô hình khái niệm và kinh nghiệm nhận được nhiều sự quan tâm hơn nhờ việc đơn giản hóa các quá trình vật lý. Những mô hình thuộc loại này sử dụng dữ liệu, thông số dạng bình quân theo không gian và có thể được sử dụng như mô hình bán phân bố bằng việc chia lưu vực thành các tiểu lưu vực. Vì những lợi ích như vậy, nghiên cứu này lựa chọn một mô hình khái niệm và kinh nghiệm để mô phỏng dòng chảy cho thượng lưu sông Mã tính đến trạm Muồng Lát.

Mô hình Mike NAM, được phát triển bởi Viện Thủy lực Đan Mạch, là một mô hình khái niệm và kinh nghiệm sử dụng lượng mưa và bốc hơi bình quân lưu vực làm đầu vào để mô phỏng các quá trình tập trung dòng chảy của nước trên lưu vực và trong sông. Mặc dù không có nhiều ưu điểm về mặt lý thuyết nhưng mô hình Mike NAM lại cho thấy khả năng mô phỏng dòng chảy đáng kinh ngạc khi được áp dụng thành công ở nhiều nơi trên thế giới và ở Việt Nam. Lý thuyết mô hình Mike NAM có thể tìm thấy trong [20]. Do đó, nghiên cứu này đã lựa chọn mô hình Mike NAM để mô phỏng dòng chảy cho khu vực thượng lưu sông Mã tính đến trạm Muồng Lát. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình cho 2 trận lũ xảy ra từ 01 giờ ngày 01/8/2020 (sau đây gọi là trận 1) đến 19 giờ ngày 31/8/2020 và từ 01 giờ ngày 15/7/2021 đến 19 giờ ngày 23/8/2021 (sau đây gọi là trận 2) được trình bày trong Bảng 3 và Hình 3. Trong đó, chỉ số NSE (*Nash Sutcliffe Efficiency* - chỉ số hiệu quả mô hình) và REV (*Relative Error in Volume* - sai số dung tích) được xác định theo các công thức (10) và (11). Kết quả cho thấy giá trị của NSE của 2 trận lũ đều trên 0,8 và giá trị của REV khá nhỏ. Do đó, mô hình Mike NAM có đủ khả năng để mô phỏng dòng chảy cho thượng lưu sông Mã.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O})^2} \quad (10)$$

$$REV = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \right] \times 100 \tag{11}$$

Trong đó S là lưu lượng mô phỏng, O là lưu lượng thực đo, n là tổng độ dài chuỗi.



Hình 3. Kết quả mô phỏng dòng chảy cho 2 trận lũ bằng mô hình Mike NAM.

Bảng 3. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình cho trạm Mường Lát.

Trận lũ	Quá trình	NSE	REV (%)
Trận 1	Hiệu chỉnh	0,81	0,14
Trận 2	Kiểm định	0,80	-3,29

2.4. Chỉ tiêu đánh giá độ chính xác dự báo mưa

Để đánh giá kỹ năng dự báo mưa của hỗn hợp so với dự báo mưa từ mô hình WRF và radar, ngoài việc sử dụng chỉ số CSI và RMSE, nghiên cứu này sử dụng thêm chỉ số POD (*Probability of Detection*), FAR (*False Alarm Ratio*), sai số trung bình (*Mean Error - ME*), và hệ số tương quan (*Correlation Coefficient*). Các chỉ số POD, FAR và CSI được tính toán cho các ngưỡng mưa khác nhau và được xác định bằng các công thức (12), (13), và (1), trong khi các chỉ tiêu ME và hệ số tương quan (CC) và RMSE được xác định bằng công thức (14), (15), và (2):

$$POD = \frac{H}{M + H} \tag{12}$$

POD cho biết khả năng dự báo đúng của mô hình, biến thiên từ 0 đến 1. POD bằng 1 nghĩa là mô hình dự báo đúng hoàn toàn và ngược lại khi POD tiến dần đến 0. POD chỉ nhạy đối với những trường hợp không dự báo được mà không nhạy đối với những trường hợp cảnh báo không.

$$FAR = \frac{F}{H + F} \tag{13}$$

FAR thể hiện tỷ lệ mô hình cho kết quả có nhưng thực tế hiện tượng không xảy ra. Giá trị của FAR nằm trong khoảng từ 0 đến 1. Giá trị của FAR tiến tới 0 thì mô hình càng cảnh báo không ít và ngược lại.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i) \tag{14}$$

ME thể hiện độ lệch trung bình của dự báo so với quan trắc. Mô hình dự báo thiên cao nếu ME dương, thiên thấp nếu ME thấp và hoàn hảo nếu bằng 0.

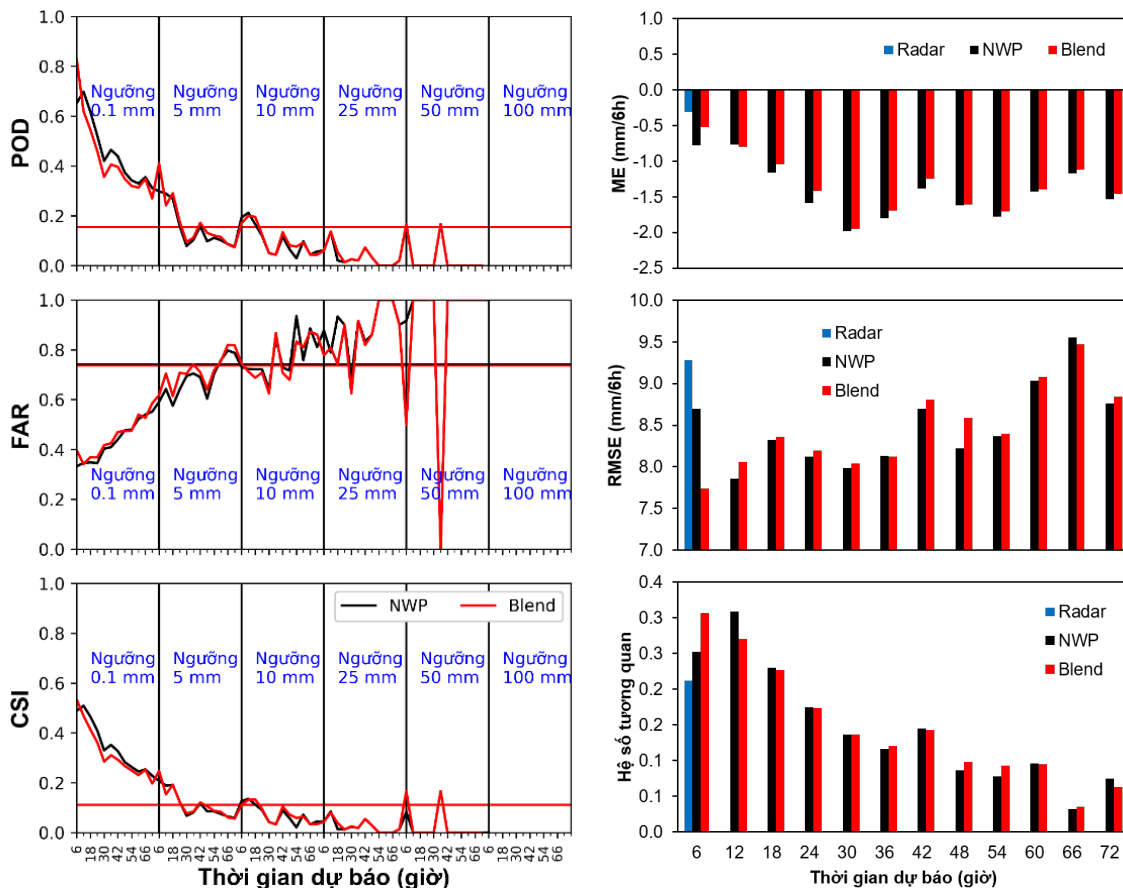
$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \tag{15}$$

Giá trị hệ số tương quan (CC) biến đổi từ -1 đến 1, giá trị tốt nhất là 1.

3. Kết quả và thảo luận

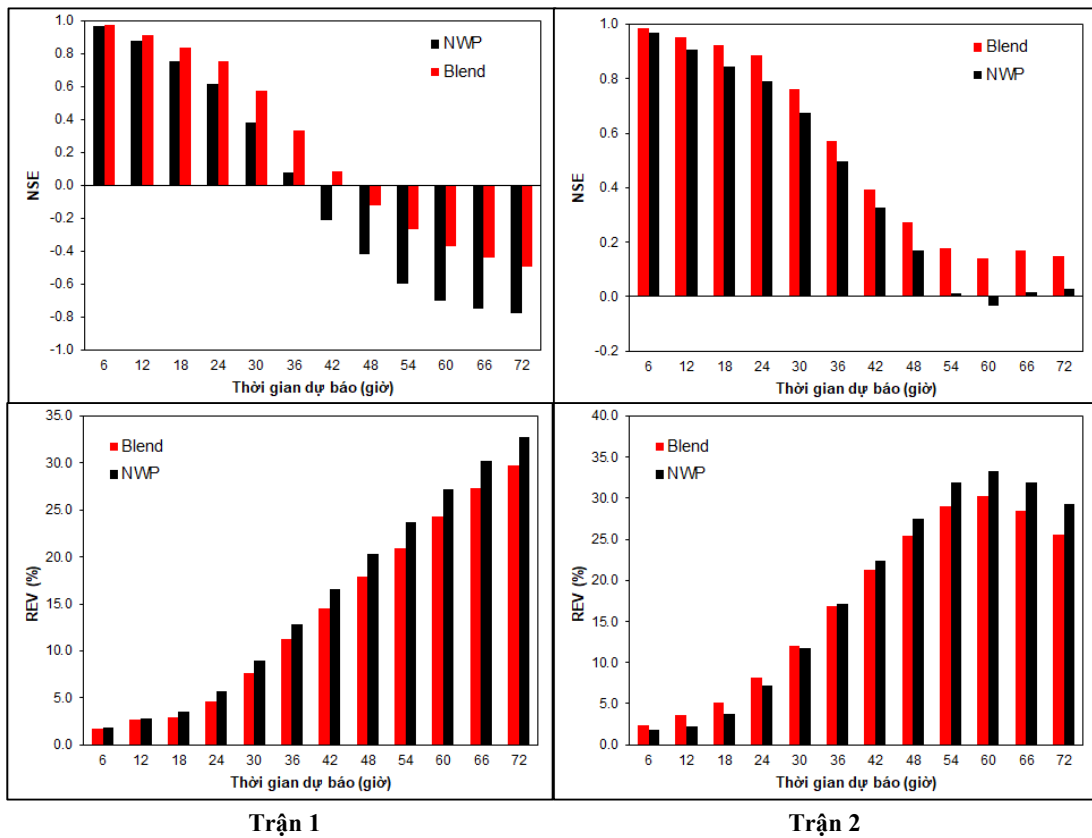
3.1. Kết quả tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị

Kết quả tính toán các chỉ số cho từng loại mưa dự báo (WRF, radar, và hỗn hợp (blend)) cho các đợt mưa xảy ra trong 2 trận lũ được thể hiện trong Hình 4. Ở giai đoạn tích hợp, hỗn hợp dự báo mưa có độ chính xác cao hơn dự báo mưa hoặc từ mô hình WRF hoặc từ radar với giá trị POD và CSI của hỗn hợp cao hơn so với mô hình WRF và radar ở các ngưỡng mưa khác nhau. Giá trị POD và CSI giảm xuống và FAR tăng lên khi ngưỡng mưa tăng lên. Đối với ngưỡng 0,1mm (có mưa hoặc không mưa), giá trị POD của mô hình WRF, radar và hỗn hợp tương ứng là 0,65, 0,67, và 0,83; giá trị FAR tương ứng là 0,33, 0,36, và 0,40; giá trị CSI tương ứng là 0,49, 0,48, và 0,53. Đối với chỉ tiêu định lượng dự báo, giá trị ME và RMSE trung bình tất cả các khu vực có xu hướng tiến tới 0 (giá trị “tốt nhất”). Giá trị ME trung bình toàn khu vực của mô hình WRF, radar và hỗn hợp lần lượt là -0,77 mm/6h, -0,31 mm/6h, và -0,52 mm/6h; đối với RMSE lần lượt là 8,70 mm/6h, 9,28 mm/6h, và 7,74 mm/6h. Hệ số tương quan của hỗn hợp cũng tốt hơn so với dự báo mưa từ mô hình WRF và radar. Giá trị trung bình của hệ số tương quan của mô hình WRF, radar và hỗn hợp lần lượt là 0,25, 0,21 và 0,31. Ở giai đoạn điều chỉnh sai số, các chỉ tiêu đánh giá chất lượng dự báo (POD, FAR, và CSI) không có sự thay đổi nhiều ở các khu vực. Điều này cũng là dễ hiểu vì lượng mưa từ mô hình số trị đơn thuần được cộng thêm vào. Đối với các trận mưa lớn, việc cộng thêm vào này về cơ bản không làm thay đổi chất lượng dự báo pha. Đối với các chỉ tiêu định lượng, chỉ số ME tăng lên ở tất cả các khu vực (tiến gần về 0), tuy nhiên mức tăng không quá lớn, trong khi chỉ số RMSE gần như không đổi. Những kết quả này cho thấy, hỗn hợp mưa dự báo có kỹ năng tốt hơn so với mô hình WRF và radar cả về mặt chất lượng, định lượng và tương quan cho khoảng thời gian dự báo 6 giờ. Điều này đã chứng minh sự cần thiết phải tích hợp 2 nguồn mưa từ mô hình số trị và radar để gia tăng độ chính xác của không chỉ dự báo mưa mà còn cho cả dự báo lũ.

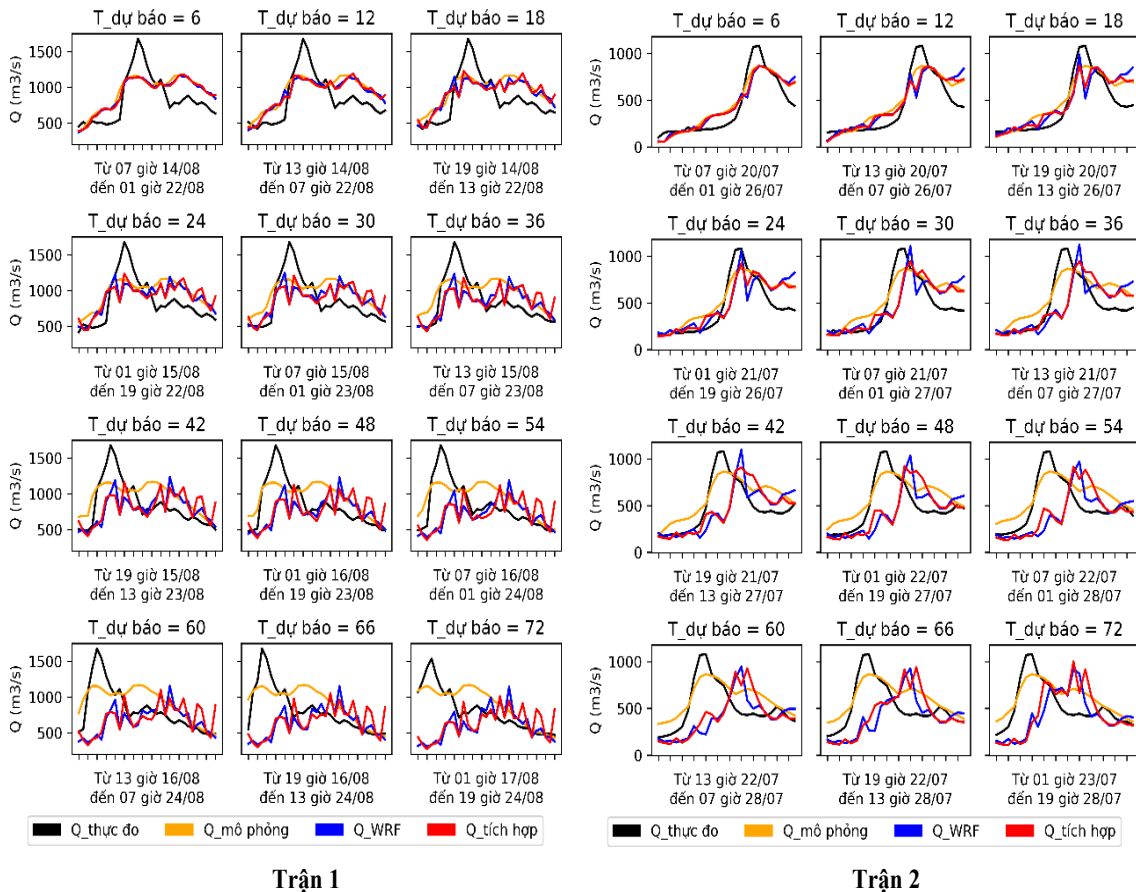


Hình 4. Kết quả tính toán các chỉ tiêu đánh giá độ chính xác của các sản phẩm mưa dự báo.

3.2. Kết quả dự báo lũ



Hình 5. Kết quả tính toán các chỉ tiêu đánh giá chất lượng dự báo lũ sử dụng đầu vào WRF và hỗn hợp.



Hình 6. Kết quả dự báo dòng chảy theo các khoảng thời gian dự báo.

Lưu lượng dòng chảy lũ mô phỏng sử dụng lượng mưa dự báo từ mô hình WRF và tích hợp làm đầu vào được so sánh với lưu lượng dòng chảy sử dụng lượng mưa thực đo để bỏ qua sai số gây ra bởi mô hình Mike NAM, từ đó đánh giá được độ hiệu quả của lượng mưa tích hợp so với từ mô hình WRF. Kết quả tính toán chỉ số NSE và REV cho 2 loại dữ liệu mưa đầu vào cho 2 trận lũ được thể hiện trong Hình 5, trong khi đường quá trình dự báo cho từng khoảng thời gian dự báo được trình bày trong Hình 6. Kết quả cho thấy dự báo lũ sử dụng lượng mưa tích hợp cho kết quả tốt hơn đáng kể so với sử dụng sản phẩm của mô hình WRF với giá trị của NSE tăng mạnh và REV giảm xuống ở tất cả các bước thời gian dự báo (trừ 30 giờ đầu ở trận lũ thứ 2 có REV tăng lên). Nếu xét giá trị của NSE lớn hơn 0,7 và REV nhỏ hơn 20% là tiêu chuẩn đánh giá độ tin cậy thì dự báo lũ sử dụng sản phẩm mưa của mô hình WRF ở trận 1 có độ tin cậy cao đến 18 giờ kế tiếp, trong khi sử dụng mưa tích hợp có độ tin cậy cao cho 24 giờ kế tiếp; độ tin cậy đối với trận 2 tương ứng là 24 giờ và 30 giờ. Những kết quả này cho thấy sự cần thiết của việc tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị trong việc nâng cao chất lượng dự báo lũ cho khu vực thượng lưu sông Mã tính đến trạm Mường Lát.

4. Kết luận

Nghiên cứu này được thực hiện để tích hợp lượng mưa dự báo từ mô hình WRF và radar. Lượng mưa dự báo dựa trên radar được chuyển từ độ phân giải 1,5 km về 3 km để khớp với độ phân giải của mô hình WRF, phục vụ cho việc tích hợp tại từng ô lưới. Trọng số tích hợp từ 2 sản phẩm mưa được xác định thông qua chỉ tiêu đánh giá chất lượng dự báo CSI và định lượng dự báo RMSE. Độ lệch trung bình giữa hỗn hợp mới tạo ra và mô hình số trị cho khoảng thời gian 6 giờ ở các khu vực tiếp tục được tính toán và cộng thêm vào lượng mưa dự báo từ mô hình WRF cho khoảng thời gian dự báo sau 6 giờ với mục đích phục vụ cho nâng cao chất lượng dự báo lũ. Kết quả cho thấy, đối với khoảng thời gian dự báo 6 giờ, kỹ năng dự báo mưa từ mô hình WRF cho kết quả không tốt bằng từ radar. Sau khi tích hợp 2 nguồn, hỗn hợp mưa dự báo đã thể hiện kỹ năng tốt hơn so với mô hình WRF và radar cả về mặt chất lượng, định lượng và tương quan. Đối với khoảng thời gian dự báo sau 6 giờ, các chỉ tiêu POD, FAR, CSI, RMSE và hệ số tương quan thay đổi không đáng kể, trong khi chỉ số ME tiến gần về 0. Tương ứng với sự cải thiện về chất lượng dự báo mưa, độ chính xác dự báo dòng chảy tăng lên đáng kể với giá trị của NSE tăng lên và REV giảm xuống. So sánh với sử dụng lượng mưa dự báo từ mô hình WRF, độ tin cậy của khoảng thời gian dự báo dòng chảy sử dụng lượng mưa tích hợp tăng từ 18 giờ lên 24 giờ đối với trận 1 và từ 34 giờ lên 30 giờ đối với trận 2. Điều này cho thấy khả năng tăng được độ chính xác dự báo lũ bằng việc tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị.

Kết quả của nghiên cứu đã cho thấy sự cần thiết phải tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị để nâng cao chất lượng dự báo lũ ở thượng lưu lưu vực sông Mã. Tuy nhiên, phương pháp áp dụng mới chỉ được áp dụng cho một khu vực cụ thể, khả năng áp dụng cho các lưu vực khác ở Việt Nam vẫn còn chưa được xác định. Vì vậy, trong thời gian tới, nghiên cứu sẽ tiếp tục mở rộng ra cho các lưu vực khác trên toàn Việt Nam.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự hỗ trợ về mặt dữ liệu và phương pháp luận của đề tài tài “Nghiên cứu công nghệ dự báo dòng chảy lũ hạn ngắn theo mô hình dự báo mưa số trị và số liệu radar thời tiết. Áp dụng thử nghiệm dự báo lũ hạn ngắn cho lưu vực Sông Mã”, mã số TNMT.2022.02.16, thuộc chương trình TNMT.02/21-25 do Bộ Tài nguyên và Môi trường tài trợ.

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. Lin, C.; Vasic, S.; Kilambi, A.; Turner, B.; Zawadzki, I. Precipitation forecast skill of numerical weather prediction models and radar nowcasts. *Geophys. Res. Lett.* **2005**, 32, L14801.
2. Wang, D.; Wang, G.L. Comparisons Analysis on Short-Term Precipitation between the Radar-Based Extrapolation and the Meso-Scale Numerical Model Weather Prediction. *Plateau Meteorol.* **2014**, 33, 811–822.
3. Berenguer, M.; Surcel, M.; Zawadzki, I.; Xue, M.; Kong, F. The diurnal cycle of precipitation from continental radar mosaics and numerical weather prediction models. Part II: Intercomparison among numerical models and with nowcasting. *Mon. Weather Rev.* **2012**, 140, 2689–2705.
4. Nerini, D.; Foresti, L.; Leuenberger, D.; Robert, S.; Germann, U. A reduced-space ensemble Kalman filter approach for flow-dependent integration of radar extrapolation nowcasts and NWP precipitation ensembles. *Mon. Weather Rev.* **2019**, 147, 987–1006.
5. Golding, B.W. Nimrod: a system for generating automated very short range forecasts. *Meteorol. Appl.* **1998**, 5, 1–16.
6. Pierce, C.; Hardaker, P.; Collier, C.; Haggett, C. GANDOLF: a system for generating automated nowcasts of convective precipitation. *Meteorol. Appl.* **2001**, 7, 341–360.
7. Yu, W.; Nakakita, E.; Kim, S.; Yamaguchi, K. Improvement of rainfall and flood forecasts by blending ensemble NWP rainfall with radar prediction considering orographic rainfall. *Hydrol. J.* **2015**, 531, 494–507.
8. Atencia, A.; Rigo, T.; Sairouni, A.; More, J.; Bech, J.; Vilaclara, E.; Cunillera, J.; Llasat, M.C.; Garrote, L. Improving QPF by blending techniques at the meteorological service of Catalonia. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **2010**, 10, 1443–1455.
9. Bowler, N.; Pierce, C.; Seed, A. STEPS: a probabilistic precipitation forecasting scheme which merges an extrapolation nowcast with downscaled NWP. *Q J R Meteorol Soc.* **2006** 132, 2127–2155.
10. Nguyen, H.M.; Bae, D.H. An approach for improving the capability of a coupled meteorological and hydrological model for rainfall and flood forecasts. *J. Hydrol.* **2019**, 577, 124014.
11. Wong, W.K.; Lai, E.S.T. RAPIDS—Operational Blending of Nowcast and NWP QPF. In Proceedings of the 2nd International Symposium on Quantitative Precipitation Forecasting and Hydrology, Boulder, CO, USA, 4–8 June 2006.
12. Wong, W.K.; Yeung, L.; Wang, Y.C.; Chen, M.X. Towards the blending of NWP with nowcast: Operation experience in B08FDP. In Proceedings of the World Weather Research Program Symposium on Nowcasting, Whistler, BC, Canada, 30 August–4 September 2009.
13. Wilson, J.; Xu, M. Experiments in blending radar echo extrapolation and NWP for nowcasting convective storms. In Proceedings of the Fourth European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, Barcelona, Spain, 18–22 September 2006, pp. 519–522.
14. Yoon, S.S. Adaptive Blending Method of Radar-Based and Numerical Weather Prediction QPFs for Urban Flood Forecasting. *Remote Sens.* **2019**, 11, 642.
15. Wang, J.; Wang Z.; Ye, J.; Lai, A.; Ma, H.; Zhang, W. Technical Evaluation of Precipitation Forecast by Blending Weather Radar Based on New Spatial Test Method. *Remote Sens.* **2023**, 15, 3134.

16. Cheng, C.L.; Chen, M.X. Short-term quantitative precipitation forecast experiments based on blending of nowcasting with numerical weather prediction. *Acta Meteorol. Sin.* **2013**, *71*, 397–415.
17. Imhoff, R.O.; Cruz, L.D.; Dewettinck, W.; Brauer, C.C.; Uijlenhoet, R.; Heeringen, K.V.; Velasco_Forero, C.; Nerini, D.; Ginderachter, M.V.; Weerts, A.H. Scale-dependent blending of ensemble rainfall nowcasts and numerical weather prediction in the open-source pysteps library. *Q. J. R. Meteorolog. Soc. Quarterly* **2023**, *149*, 1335–1364.
18. Kober, K.; Craig, G.C.; Keil, C.; Dörnbrack, A. Blending a probabilistic nowcasting method with a high-resolution numerical weather prediction ensemble for convective precipitation forecasts. *Q. J. R. Meteorolog. Soc. Quarterly* **2012**, *138*, 755–768.
19. Khiêm, M.V.; Wang-chun, W.; Wai-kin, W.; Lun, Y.S.; Tiên, D.Đ.; Hung, M.K.; Quân, Đ.Đ.; Dung, P.T.P.; Nga, N.T.; Trang, C.T.H. Thử nghiệm ứng dụng radar kết hợp mô hình số trị trong dự báo mưa hạn cực ngắn. *Tap chí Khoa học Trái đất và Môi trường* **2021**, *3*, 63–72.
20. Denmark Hydraulic Institute (DHI). MIKE ZERO The Common DHI User Interface for Project Oriented Water Modelling User Guide, DHI, 2014.

Accuracy improvement of flood forecast by blending radar-based rainfall prediction with numerical weather prediction rainfall product

Nguyen Hoang Minh^{1*}, Phung Tien Dung¹, Vu Thi Thanh Van¹, Doan Van Hai¹, Mai Van Khiem¹

¹ National Centre for Hydro-Meteorological Forecasting, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; hoangminh281287@gmail.com; ptdung77@gmail.com; vtvan7702@gmail.com; hai110684@gmail.com; maikhiem77@gmail.com

Abstract: This study was conducted to blend radar-based rainfall prediction with numerical model (NWP) outputs to improve the accuracy of flood forecasting. The hybrid rainfall for the 6 hours ahead is generated by determining the weights of the products based on the values of critical success index (CSI) and root mean square error (RMSE) in the previous time step window. For the longer lead time, the mean error field between the hybrid with NWP at 6 hours is calculated and added to longer forecast periods. This method is applied to 2 flood events occurring in 2020 and 2021 in the upstream area of Ma River basin. The results show that hybrid has a significantly higher accuracy than the NWP at the 6-hour ahead but does not change much at longer lead time except the mean error (ME). Corresponding to the improvement of precipitation forecast, the flood prediction accuracy increased significantly with the value of Nash Sutcliffe efficiency (NSE) increased and relative error in volumn (REV) decreased. These results demonstrated the necessity of blending radar-based precipitation forecasting with NWP output.

Keywords: Flood forecasting; NWP; Radar-based rainfall prediction; Blending.

Table of content

- 1** Khanh, N.Q. Applying remote sensing and GIS systems to monitor the fluctuations of some environmental components due to bauxite mining activities. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *751*, 1–18.
- 19** Duong, P.T.T.; Tuyet, N.T.; Thao, T.T.T.; Anh, V.T.V.; Van, C.T. Research to evaluate the decrease in rice yield due to the disadvantage of water resources in An Giang Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *751*, 19–27.
- 28** Ngoc, N.T.B.; Tinh, T.V.; Hung, V.D.; Tu, T.T. Assessment of climate change impacts on the Tra Khuc basin water resources in Quang Ngai Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *751*, 28–41.
- 42** Thanh, N.T.; Mau, N.D.; Minh, T.T.T.; Son, N.V.; Son, N.H. Quantifying the climatic suitability for outdoor tourism activities in the Vietnamese Mekong Delta using the Tourism Climate Index (TCI). *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *751*, 42–52.
- 53** Vien, L.N.; Dang, N.M. Development of a framework for water security assessment for Vu Gia - Thu Bon River basin in the context of climate change and socio-economic development activities. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *751*, 53–67.
- 68** Hoa, N.T. Concentration evaluation of fine particulate matter (PM_{2.5}) in Ho Chi Minh City in 2021. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *751*, 68–77.
- 78** Huynh, P.T. CLandslide likelihood prediction in Vietnam using machine learning algorithms. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *751*, 78–90.
- 91** Minh, N.H.; Dung, P.T.; Van, V.T.T.; Hai, D.V.; Khiem, M.V. Accuracy improvement of flood forecast by blending radar-based rainfall prediction with numerical weather prediction rainfall product. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, *751*, 91–101.