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 724
04-2021

Q. TỔNG BIÊN TẬP
TS. Bạch Quang Dũng

Thư ký - Biên tập
TS. Đoàn Quang Trí

Trị sự và Phát hành
Đặng Quốc Khánh

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

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: 0243.562.4399

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

Giá bán: 25.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN
SỐ 724 - 4/2021

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

1 **Lê Quang Cảnh, Hoàng Ngọc Tường Vân, Nguyễn Tiến Thành, Nguyễn Đình Huy, Trần Hiếu Quang, Đinh Tiến Tài**: Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến nhiệt độ và lượng mưa khu vực tỉnh Quảng Bình

15 **Bùi Thị Khánh Hoà, Nguyễn Vinh Thư, Phùng Kiến Quốc, Nguyễn Việt Hưng, Nguyễn Thị Hoàng Anh**: Nghiên cứu thử nghiệm phương pháp theo dõi quỹ đạo dông sử dụng dữ liệu ra đa thời tiết tại Việt Nam

30 **Nguyễn Châu Mỹ Duyên, Nguyễn Hoàng Phong, Bùi Tá Long**: Ứng dụng WRF/CMAQ mô phỏng ô nhiễm PM_{10} từ hoạt động giao thông–Trường hợp Tp. Hồ Chí Minh

46 **Hoàng Thu Thảo, Trần Ngọc Anh, Trần Kiều Hương**: Nghiên cứu áp dụng thử nghiệm mô hình mạng Bayes trong đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến diễn biến cửa sông Đà Diễn

59 **Nguyễn Đức Nam, Nguyễn Tiến Mạnh, Nguyễn Xuân Anh, Phạm Lê Khương, Nguyễn Thanh Linh, Nguyễn Văn Hiệp**: Ứng dụng đồng hóa dữ liệu dự báo các trường khí tượng độ phân giải cao cho khu vực Than Uyên (Lai Châu)

72 **Phạm Văn Tiến, Phạm Khánh Ngọc, Phạm Quốc Hưng, Nguyễn Kim Cương, Nguyễn Bá Thủy**: Ảnh hưởng của sóng trong bão tới ngập lụt vùng ven biển tỉnh Thái Bình

82 **Phạm Thị Lợi, Đào Nguyên Khôi**: Mô phỏng sự thay đổi sử dụng đất lưu vực Sông Bé bằng mô hình CLUE–s

94 **Nguyễn Thị Diễm Thúy, Phạm Thị Thảo Nhi, Đoàn Thị Trúc Măn, Đào Nguyên Khôi**: Xây dựng mô hình dự báo BOD5 cho hạ lưu sông Sài Gòn–Đồng Nai dựa trên các mạng nơ–ron nhân tạo MLP và RBF

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Bài báo khoa học

Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến nhiệt độ và lượng mưa khu vực tỉnh Quảng Bình

Lê Quang Cảnh[1], Hoàng Ngọc Tường Vân[1], Nguyễn Tiến Thành[2], Nguyễn Đình Huy[1], Trần Hiếu Quang[1], Đinh Tiến Tài[1]

[1] Viện Tài nguyên và Môi trường, Đại học Huế; lqcanh@hueuni.edu.vn; hntvan@hueuni.edu.vn; ndhuy@hueuni.edu.vn; thquang@hueuni.edu.vn; dttai@hueuni.edu.vn
[2] Trường Đại học Thủy Lợi; thanhwru83@gmail.com
* Tác giả liên hệ: hntvan@hueuni.edu.vn; Tel: +84. 914204005

Ban Biên tập nhận bài: 9/1/2021; Ngày phản biện xong: 15/3/2021; Ngày đăng bài: 25/4/2021

Tóm tắt: Bài báo tập trung đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới nhiệt độ và lượng mưa khu vực tỉnh Quảng Bình. Ngoài ra, xu thế biến đổi nhiệt độ và lượng mưa cũng được phân tích cho giai đoạn 1988–2018. Kết quả cho thấy nhiệt độ trung bình năm tại trạm Tuyên Hóa, Đồng Hới và Ba Đồn đều có xu thế tăng lần lượt là khoảng 0,1°C/thập kỷ, 0,23°C/thập kỷ và 0,19°C/thập kỷ. Lượng mưa có xu hướng giảm ở tất cả các trạm; trong đó giảm mạnh nhất ở Ba Đồn (4,94 mm/năm) và thấp nhất ở Tuyên Hóa (0,057 mm/năm). Ngoài ra, theo kịch bản RCP4.5, nhiệt độ trung bình được dự tính tăng từ 1,1–1,4°C vào đầu thế kỷ (2016–2035) và 1,9–2,2°C vào giữa thế kỷ (2046–2065). Đặc biệt, khu vực phía Tây tỉnhdự tính tăng mạnh, từ 2,1–2,2°C; khu vực phía Nam từ 1,1–1,2°C và 1,8–1,9°C vào đầu và giữa thế kỷ. Theo kịch bản RCP8.5, vào đầu thế kỷ, nhiệt độ trung bình được dự tính tăng từ 1,3–1,5°C và có xu thế giảm từ Bắc vào Nam. Trong khi đó, theo kịch bản RCP4.5 thì lượng mưa năm được dự tính tăng từ 3,5–14,3% và 4–16% ứng với đầu và giữa thế kỷ, mức tăng giảm từ Bắc vào Nam. Theo kịch bản RCP8.5, lượng mưa năm được dự tính tăng trên toàn tỉnh từ 5–17% và có xu thế chuyển dịch từ các huyện trung tâm lên các huyện phía Bắc.

Từ khóa: Biến đổi khí hậu; RCP4.5; RCP8.5; Quảng Bình.

1. Đặt vấn đề

Biến đổi khí hậu (BĐKH) được quy trực tiếp hay gián tiếp là do hoạt động của con người làm thay đổi thành phần của khí quyển toàn cầu và đóng góp thêm vào sự biến động khí hậu tự nhiên trong các thời gian có thể so sánh được. Biến đổi khí hậu xác định sự khác biệt giữa các giá trị trung bình dài hạn của một tham số hay thống kê khí hậu. Trong đó, trung bình được thực hiện trong một khoảng thời gian xác định, thường là vài thập kỷ. Theo báo cáo lần thứ 4 của Ủy ban Liên chính phủ về BĐKH(IPCC) [1], nhiệt độ trung bình toàn cầu đã tăng khoảng 0,89°C (dao động từ 0,69°C đến 1,08°C) trong thời kì 1901–2012. Nhiệt độ trung bình toàn cầu có chiều hướng tăng nhanh đáng kể vào giữa thế kỷ XX với mức tăng khoảng 0,12°C/thập kỷ trong thời kì 1951–2012. Tiếp đó, báo cáo lần thứ 5 của IPCC cũng nhấn mạnh nhiệt độ bề mặt trái đất có thể vượt quá 1.5°C vào cuối thế kỷ 21 so với trung bình giai đoạn 1850–1900 cho tất cả các kịch bản trừ kịch bản RCP2.6. Theo thông báo của Tổ chức Khí tượng Thế giới [2], những năm nóng kỉ lục trên thế giới đều ghi nhận được trong những

năm gần đây, đặc biệt là những năm đầu của thế kỷ XXI. Trong đó, năm 2015 được ghi nhận là năm nóng nhất lịch sử quan trắc, với chuẩn sai nhiệt độ trung bình năm toàn cầu đạt giá trị khoảng 0,76°C. Lượng mưa trung bình toàn cầu kể từ năm 1901 có xu thế tăng ở vùng lục địa vĩ độ trung bình thuộc Bắc bán cầu; ngược lại nhiều khu vực nhiệt đới có xu thế giảm. IPCC cũng tiếp tục khẳng định rằng, số vùng có các đợt mưa lớn tăng nhiều hơn so với số vùng có số đợt mưa lớn giảm. Xu thế về tần số bão là chưa rõ ràng, tuy nhiên gần như chắc chắn rằng số cơn bão mạnh cũng như cường độ của các cơn bão mạnh đã tăng lên [3].

Ở Việt Nam, nhiệt độ có xu hướng tăng ở hầu hết các trạm quan trắc, tăng nhanh trong các thập kỷ gần đây [4]. Nhiệt độ trung bình năm thời kỳ 1958–2014 tăng khoảng 0,62°C, riêng giai đoạn 1985–2014 nhiệt độ tăng khoảng 0,42°C [4]. Tốc độ tăng trung bình mỗi thập kỷ khoảng 0,1°C, thấp hơn giá trị trung bình toàn cầu, 0,12°C/thập kỷ [1]. Nhiệt độ tại các trạm ven biển và hải đảo có xu thế tăng ít hơn so với các trạm ở sâu trong đất liền [4]. Có sự khác nhau về mức tăng nhiệt độ giữa các vùng và các mùa trong năm. Nhiệt độ tăng cao nhất vào mùa đông, thấp nhất vào mùa xuân. Trong 7 vùng khí hậu, khu vực Tây Nguyên có mức tăng nhiệt độ lớn nhất, khu vực Nam Trung Bộ có mức tăng thấp nhất.

Quảng Bình là một tỉnh ven biển thuộc khu vực Bắc Trung Bộ, được đánh giá là một trong những tỉnh chịu tác động lớn của thiên tai và biến đổi khí hậu. Trong giai đoạn từ năm 2005–2019 (15 năm), trên địa bàn tỉnh đã xảy ra 25 cơn bão, áp thấp nhiệt đới và 41 trận lũ lớn nhỏ, làm thiệt hại hơn 7.800 tỷ đồng [5]. Trước sức ép về tăng trưởng kinh tế, sự gia tăng các loại khí nhà kính và sự khai thác quá mức tài nguyên thiên nhiên và các hệ sinh thái vốn là các bể hấp thụ khí carbon tự nhiên đã góp phần vào sự BĐKH toàn cầu, thể hiện qua sự thay đổi nhiệt độ, lượng mưa và sự bất thường của các loại hình thiên tai và thời tiết cực đoan. Bài báo này nhằm mục đích đánh giá xu thế biến đổi của nhiệt độ và lượng mưa tỉnh Quảng Bình trong bối cảnh BĐKH, đồng thời xây dựng kịch bản chi tiết đến cấp huyện giai đoạn đầu và giữa thế kỷ XXI, đồng thời phục vụ cho việc đánh giá tác động và xây dựng các giải pháp ứng phó phù hợp với thực tế của địa phương.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu

2.1. Phương pháp nghiên cứu

2.1.1. Kiểm nghiệm phi tham số Mann–Kendall

Thông thường, xu thế biến đổi của một chuỗi thời gian được đánh giá thông qua phương trình hồi qui tuyến tính biểu thị sự phụ thuộc của yếu tố hoặc hiện tượng được xét (X) vào thời gian (t): $X = a_0 + a_1 t$, trong đó a_0 là hệ số cắt và a_1 là hệ số góc. Trong nghiên cứu về BĐKH, các thành phần kế cận của chuỗi thời gian thường cách nhau một năm, do đó đơn vị của t là năm. Dấu của hệ số góc a_1 cho biết chuỗi có xu thế tăng ($a_1>0$) hoặc giảm ($a_1<0$). Để có kết luận chắc chắn về xu thế của chuỗi cần tiến hành kiểm nghiệm độ rõ rệt của hệ số góc a_1.Tuy nhiên, trong nhiều nghiên cứu [6–8] đã chỉ ra ưu việt của phương pháp kiểm nghiệm phi tham số Mann–Kendall và xu thế Sen's Slope. Do vậy, trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phương pháp kiểm nghiệm phi tham số Mann–Kendall và phân tích xu thế Sen's Slope [8–10]. Xu thế của chuỗi thời gian được xác định thông qua việc so sánh độ lớn tương đối của các thành phần trong chuỗi chứ không phải xét chính giá trị của các thành phần. Nói cách khác, các thành phần trong chuỗi thời gian được so sánh với nhau theo thứ hạng lớn bé và không tính đến giá trị của chúng sai khác nhau bao nhiêu. Lợi thế của kiểm nghiệm này là không cần biết tập mẫu tuân theo luật phân bố nào. Một cách vắn tắt có thể mô tả phương pháp này như sau.

Giả sử ta có chuỗi thời gian $\{x_t, t=1..n\}$, với nghiên cứu này t chạy từ 1 đến 31 (31 năm) [10]. Mỗi một thành phần trong chuỗi sẽ được so sánh với tất cả các thành phần còn lại đứng sau nó (về thời gian). Giá trị thống kê Mann–Kendall (S) ban đầu được gán bằng 0 (tức là chuỗi không có xu thế). Nếu thành phần sau lớn hơn thành phần trước thì tăng S lên 1 đơn

vị. Ngược lại, nếu thành phần sau nhỏ hơn thành phần trước thì S bị trừ đi 1 đơn vị. Nếu hai thành phần có giá trị bằng nhau thì S sẽ không thay đổi. Tổng S sau tất cả các lần so sánh sẽ được dùng để đánh giá xu thế chung của chuỗi. Tức là ta có:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \text{sign}\left(x_j - x_k\right) \quad (1)$$

Trong đó

$$\text{sign}\left(x_j - x_k\right) = \begin{cases} 1 & \text{khi } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{khi } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{khi } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Giá trị S dương thể hiện xu thế tăng của chuỗi và S âm thể hiện xu thế giảm của chuỗi. Tuy nhiên, cần phải tính toán xác xuất đi kèm với S và n để xác định mức độ ý nghĩa của xu hướng. Phương sai của S được tính theo công thức:

$$\text{VAR}\left(S\right) = \frac{1}{18}\left[n\left(n-1\right)\left(2n+5\right) - \sum_{p}^{g} t_p\left(t_p - 1\right)\left(2t_p + 5\right)\right] \quad (3)$$

Trong đó g là số nhóm của các phần tử có giá trị giống nhau và p là số phần tử thuộc nhóm thứ p. Giá trị chuẩn Z của S tuân theo định luật phân phối chuẩn.

$$\begin{aligned} Z &= \frac{S-1}{\left[\text{VAR}\left(S\right)\right]^{1/2}}, S > 0 \\ Z &= 0, S = 0 \\ Z &= \frac{S+1}{\left[\text{VAR}\left(S\right)\right]^{1/2}}, S > 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Z có phân phối chuẩn N(0,1) dùng để kiểm định chuỗi có xu thế hay không với mức ý nghĩa cho trước (trong nghiên cứu này dùng $\alpha = 0{,}05$), α chính là sai lầm loại 1 của phương pháp kiểm định này. Nếu $Z > Z_\alpha$ bác bỏ giả thuyết H_0, có nghĩa có xu thế tăng hoặc giảm; ngược lại $Z < Z_\alpha$, đồng nghĩa với việc chấp nhận giải thuyết chuỗi số liệu không có xu thế rõ ràng.

Xu thế Sen's Slope (T) được tính toán theo phương trình 5 [11], ở đây T là median của chuỗi n(n–1) phần tử.

$$T = \text{median}\left\{\frac{x_j - x_k}{j-k}\right\} \quad (5)$$

Trong đó, nếu $T > 0$ thì chuỗi có xu thế tăng và ngược lại.

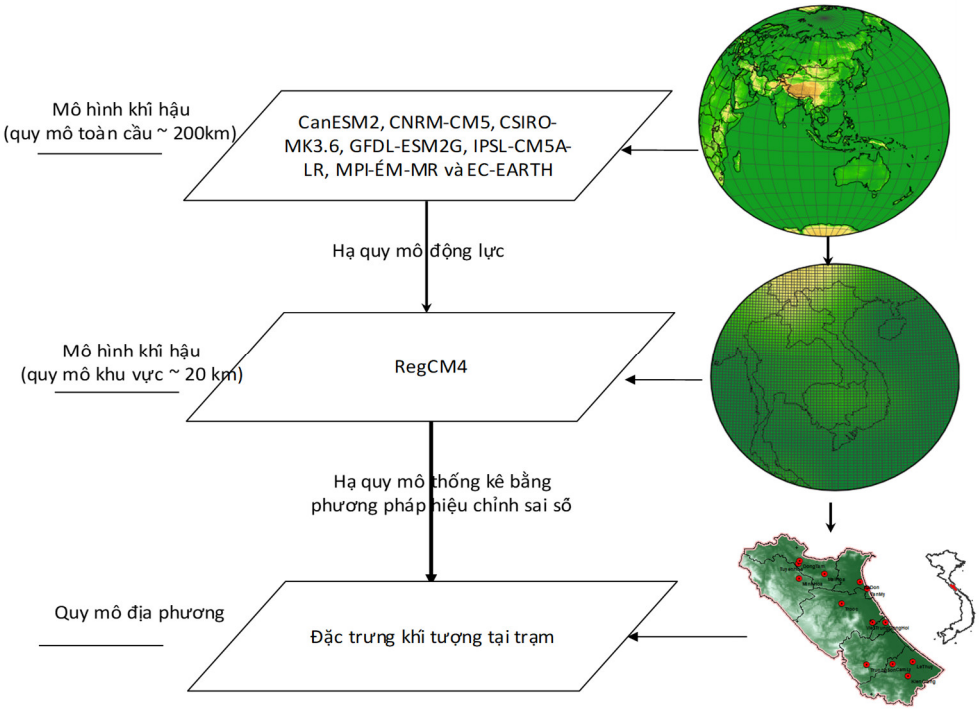
2.1.2. Phương pháp xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu

Để xây dựng kịch bản BĐKH, nhóm nghiên cứu sử dụng kỹ thuật hạ quy mô thống kê cho hai đặc trưng khí tượng là lượng mưa và nhiệt độ. Bản chất của phương pháp này là xây dựng mối quan hệ toán học giữa các đặc trưng khí tượng ở độ phân giải thô với các đặc trưng khí tượng tại trạm. Trong đó, dữ liệu ở độ phân giải thô được lấy miễn phí từ mô hình khí hậu khu vực RegCM4 [12–15] điều khiển bởi các mô hình khí hậu toàn cầu CanESM2 [16–17], CNRM–CM5 [18], CSIRO–MK3.6 [19], GFDL–ESM2G [20], IPSL–CM5A–LR [21], MPI–ESM–MR [22] và EC–EARTH [23] (ký hiệu chung là RCM/GCMs) tại website của Liên đoàn hệ thống lưới Trái đất (https://esgf–node.llnl.gov/) với thời kỳ cơ sở 1986–2005 và thời kỳ tương lai 2016–2065. Trong nghiên cứu này chúng tôi tập trung phân tích và làm rõ các tác động của biến đổi khí hậu ở đầu (2016–2035) và giữa thế kỷ (2046–2065) tới lượng mưa và nhiệt độ làm cơ sở khoa học cho việc lập kế hoạch và xây dựng chiến lược phát triển kinh tế xã hội của tỉnh. Hơn nữa, sự phát triển của khoa học công nghệ, các kịch bản sẽ luôn được cập nhật và tính toán với mức độ chi tiết và chính xác hơn. Việc lựa chọn các khoảng

thời gian 2016–2035 và 2046–2065 để tính toán nhằm mục đích thuận tiện trong so sánh với nhiều nghiên cứu khác nhau và phù hợp với kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam đã được Bộ TN–MT công bố [24]. Để giảm thiểu sai số,dữ liệu mưa và nhiệt độ được lấy trung bình toán học của các trường hợp trên trước khi được hiệu chỉnh sai số. Nhìn chung sơ đồ khối xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu cho tỉnh Quảng Bình được trình bày ngắn gọn theo hình 1. Đối với dữ liệu nhiệt độ, phương pháp hiệu chỉnh Delta [25–26] được sử dụng với công thức tổng quát như sau:

$$T_{CF}(t) = \overline{T}_{RAW} + \frac{\sigma_{T,RAW}}{\sigma_{T,REF}}\left(O_{REF}(t) - \overline{T}_{REF}\right) \quad (6)$$

Trong đó $\sigma_{T,RAW}$ và $\sigma_{T,REF}$ tương ứng với độ lệch chuẩn trong giai đoạn tương lai và quá khứ của nhiệt độ trung bình ngày. O_{REF} là dữ liệu quan trắc thời kỳ quá khứ. T_{REF} dữ liệu từ RCM/GCMs ứng với thời kỳ nền và T_{RAW} ứng với dữ liệu thô từ RCM/GCMs quá khứ hoặc tương lai.



Hình 1. Sơ đồ khối xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu cho tỉnh Quảng Bình.

Đối với đặc trưng mưa, phương pháp hiệu chỉnh sai số thường dùng là cố gắng điều chỉnh giá trị trung bình, phương sai và phân bố tần suất của lượng mưa tính toán thể hiện bằng một hàm chuyển đổi có dạng: $P_o = h(P_m)$. Các hàm biến đổi thống kê là một ứng dụng của phép biến đổi tích phân xác suất và nếu phân bố của biến nghiên cứu đã biết thì hàm biến đổi được định nghĩa dưới dạng $x_m = F_m^{-1}\left(F_{obs}(x_{obs})\right)$ trong đó, x_m là giá trị địa phương, x_{obs} là giá trị mô hình và F_{m-1} là hàm ngược phân bố lũy tích của hàm F_m. Hàm F_m được lựa chọn là hàm gamma 2 tham số được mô tả bởi hàm mật độ xác suất gamma $f(x) = \frac{\beta^{-\alpha}x^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)}\exp(\frac{-x}{\beta})$ trong đó, α, β, x > 0, α và β là các tham số hình dạng và quy mô. X thể hiện lượng mưa ngày (mm) và $\Gamma(\alpha)$ là hàm gamma [27–28].

Kết quả tính toán của các đặc trưng nhiệt độ và lượng mưa trong tương lai (giai đoạn dự tính) được so sánh với với thời kỳ cơ sở (1986–2005), giai đoạn này cũng đã được IPCC khuyến cáo sử dụng làm giai đoạn cơ sở để so sánh trong báo cáo lần thứ năm của IPCC.

Đối với nhiệt độ trung bình năm: $\Delta T_{Tương\ lai} = T_{Tương\ lai} - \overline{T_{1986-2005}}$

Đối với lượng mưa năm: $\Delta R_{\text{tương lai}} = \frac{(R_{Tương\ lai} - \overline{R_{1986-2005}})}{R_{1986-2005}}$ x 100

Trong đó $\Delta T_{\text{Tương lai}}$ = Thay đổi của nhiệt độ trong tương lai so với thời kỳ cơ sở (°C), $T_{\text{Tương lai}}$ = Nhiệt độ trong tương lai (°C),$\overline{T_{1986-2005}}$ = Nhiệt độ trung bình của thời kỳ cơ sở(1986–2005) (°C), $\Delta R_{\text{Tương lai}}$ = Thay đổi của lượng mưa trong tương lai so với thời kỳ cơ sở (%),$R_{\text{Tương lai}}$ = Lượng mưa trong tương lai (mm), $\overline{R_{1986-2005}}$)= Lượng mưa trung bình của thời kỳ cơ sở (1986–2005) (mm).

2.1.3. Phương pháp xây dựng bản đồ

Bản đồ về nhiệt độ trung bình và lượng mưa năm theo các kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 được xây dựng dựa trên nền tảng hệ thống thông tin địa lý (GIS) bằng các công cụ xử lý bản đồ như Mapinfo, ArcGIS10.4. Phương pháp này nhằm lựa chọn, chắc lọc các kết quả mô hình phục vụ cho quá trình quản lý và khai thác thông tin, nhờ đó có thể xây dựng được các bản đồ nhiệt độ và lượng mưa cho tỉnh Quảng Bình giai đoạn đầu và giữa thế kỷ XXI. Dữ liệu được sử dụng xây dựng bản đồ là dữ liệu mưa và nhiệt độ sau khi được hiệu chỉnh trên lưới cho toàn tỉnh.

2.2. Dữ liệu

Mạng lưới trạm khí tượng và đo mưa trên địa bàn tỉnh Quảng Bình được hình thành từ những năm 50, 60 của thế kỷ trước với mạng lưới 56 trạm đo rộng khắp tỉnh, trong đó có 6 trạm khí tượng, quan trắc đầy đủ các yếu tố khí tượng như mưa, gió, nhiệt độ, độ ẩm… và 50 trạm đo mưa nhân dân. Thời điểm cao điểm nhất, mật độ trạm khí tượng, đo mưa của tỉnh Quảng Bình đạt 6,9 trạm/1.000 km^2. Tuy nhiên tính đến nay nhiều trạm đã ngừng hoạt động, chỉ còn 3 trạm khí tượng và 10 trạm đo mưa [29]. Do đó mật độ trạm của tỉnh Quảng Bình rất thưa, chỉ còn khoảng 2 trạm/1.000 km^2. Trong khi đó, địa hình tỉnh Quảng Bình dài và hẹp, bị chia cắt khá phức tạp, khí hậu lại khắc nghiệt, nên mật độ lưới trạm khí tượng như hiện nay mới chỉ đáp ứng một phần nhu cầu để nghiên cứu. Trong bài báo này, dữ liệu khí tượng và dữ liệu mưa tại 13 trạm (Bảng 1 và Bảng 2) được thu thập trong giai đoạn 1988–2018 từ Đài Khí tượng Thủy văn Trung Trung Bộ [29] để thống kê và tính toán. Đối với các dữ liệu của các kịch bản được lấy miễn phí từ website của Liên đoàn Hệ thống lưới Trái đất như đã được đề cập trong phần 2.1.2 với thời kỳ cơ sở là giai đoạn 1986–2005, kịch bản BĐKH theo các mốc thời gian 2030, 2050 theo kịch bản RCP4.5 và RCP8.5.

Bảng 1. Danh mục các trạm khí tượng.

Tên trạm	Xã/Phường	Huyện/Thị xã/TP.	Tọa độ trạm		Độ cao trạm
			Kinh độ	Vĩ độ	(m)
Đồng Hới	Đồng Mỹ	Đồng Hới	106°37’	17°29’	5,71
Ba Đồn	Quảng Thọ	Ba Đồn	106°25’	17°45’	2,69
Tuyên Hóa	Minh Lâm	Tuyên Hóa	106°01’	17°53’	27,06

Bảng 2. Danh mục các trạm đo mưa.

Tên trạm	Xã	Huyện	Tọa độ trạm	
			Kinh độ	Vĩ độ
Đồng Tâm	Thuận Hoá	Tuyên Hoá	106°01’	17°54’
Kiến Giang	Kim Thủy	Lệ Thuỷ	106°45’	17°07’
Lệ Thuỷ	Xuân Thủy	Lệ Thuỷ	106°47’	17°13’

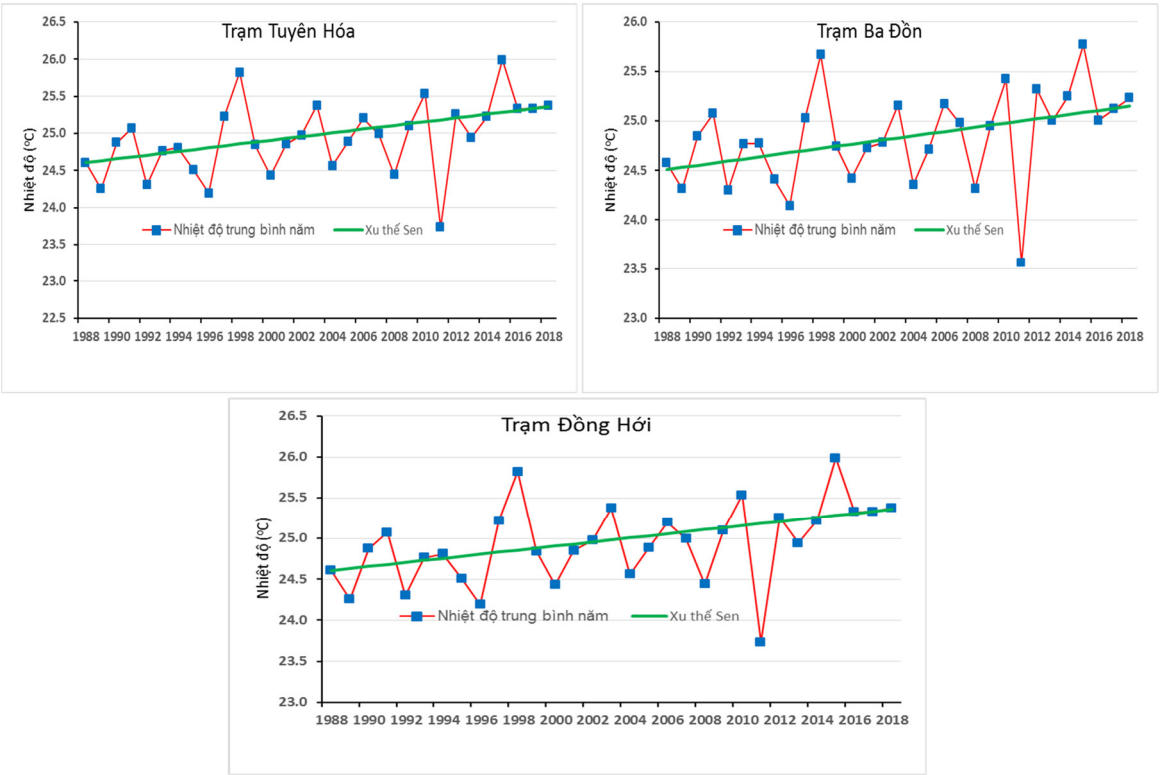
Tên trạm	Xã	Huyện	Tọa độ trạm	
			Kinh độ	Vĩ độ
Mai Hoá	Mai Hoá	Tuyên Hóa	106°11’	17°48’
Minh Hoá	Quy Đạt	Minh Hoá	106°02’	17°47’
Tân Mỹ	Quảng Phúc	Quảng Trạch	106°28’	17°42’
Trooc	Phúc Trạch	Bố Trạch	106°17’	17°35’
Trường Sơn	Trường Sơn	Quảng Ninh	106°27’	17°14’
Việt Trung	Nông Trường	Bố Trạch	106°31’	17°29’
Cẩm Ly	Ngân Thủy	Lệ Thủy	106°17’	17°15’

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Xu thế biến đổi nhiệt độ và lượng mưa

3.1.1. Nhiệt độ

Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích xu thế Sen’s Slope kết hợp phương pháp kiểm nghiệm phi tham số Mann–Kendal (M–K test) với dữ liệu 31 năm (1988–2018). Kết quả cho thấy, nhiệt độ trung bình năm trên toàn tỉnh có xu hướng tăng khoảng 0,16ºC/thập kỷ. Tuy nhiên, ở mỗi trạm quan trắc khác nhau lại có mức độ thay đổi không đồng nhất. Xu thế tăng mạnh nhất được ghi nhận được ở trạm Đồng Hới.

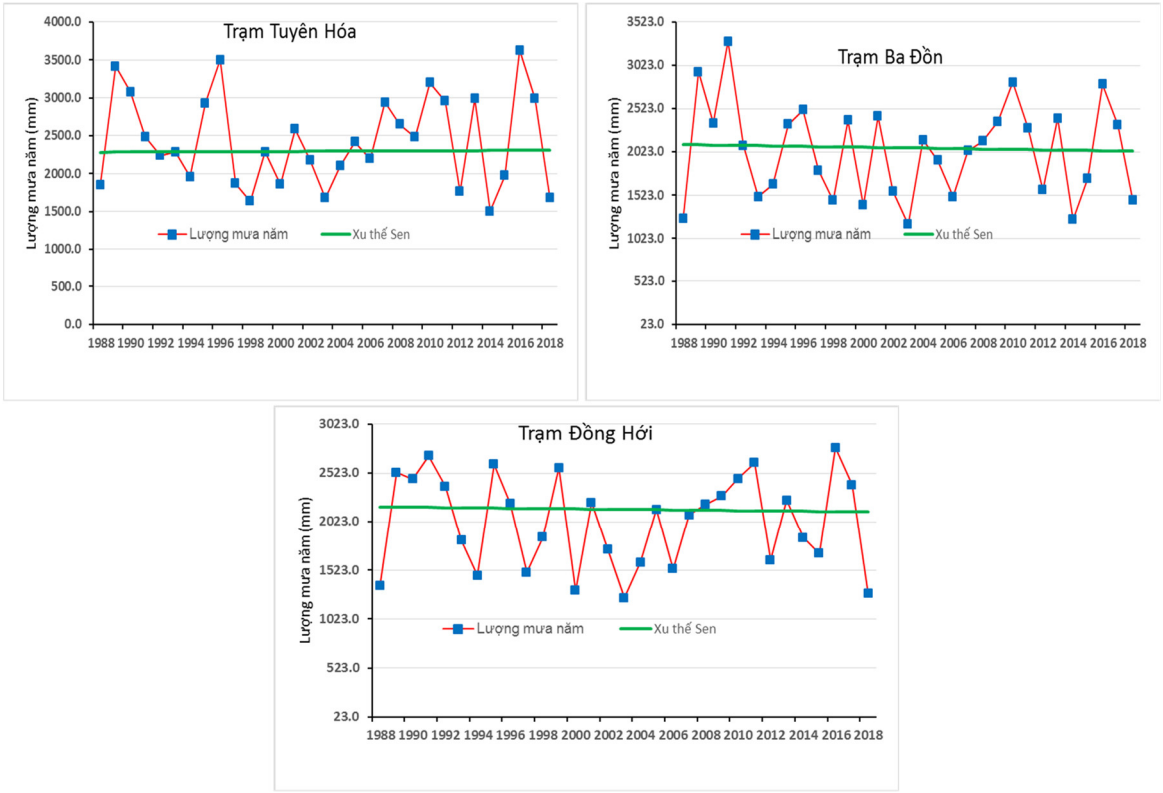


Hình 2. Xu thế biến đổi nhiệt độ trung bình năm (°C) tại các trạm khí tượng tỉnh Quảng Bình giai đoạn 1988–2018.

3.1.2. Lượng mưa

Khác với nhiệt độ, lượng mưa năm là một đại lượng khí hậu có tính biến động theo các năm khác nhau, có những năm lượng mưa vượt xa giá trị trung bình nhiều năm (TBNN) nhưng cũng có năm lượng mưa chỉ bằng 2/3 lượng mưa TBNN. Nhằm giảm thiểu những ảnh

hưởng của các giá trị cực đại và cực tiểu của lượng mưa đến xu thế chung trong cả giai đoạn. Bài báo này phân tích xu thế thay đổi về lượng mưa dựa trên chuỗi số liệu quan trắc được tại 3 trạm đo mưa trong giai đoạn 1988–2018 bằng phương pháp phân tích xu thế và kiểm định Mann–Kendall. Nhìn chung, trong 31 năm, lượng mưa năm có xu thế giảm ở tất cả các trạm, trong đó mức giảm lớn nhất ghi nhận được ở trạm Ba Đồn là –4,96 mm/năm; trạm Đồng Hới có mức giảm –1,735 mm/năm và thấp nhất ở trạm Tuyên Hóa có mức giảm –0,057 mm/năm.



Hình 3. Xu thế biến đổi lượng mưa năm (mm) tại các trạm khí tượngtỉnh Quảng Bình giai đoạn 1988–2018.

Để đánh giá mức độ tin cậy của xu thế thay đổi nhiệt độ và lượng mưa, bài báo đã sử dụng phương pháp kiểm định M–K test với mức ý nghĩa 5% (xác xuất gặp phải sai lầm loại 1 không quá 5%). Kết quả cho thấy, nhiệt độ trung bình năm chỉ có xu hướng tăng ở trạm Đồng Hới và Ba Đồn với lần lượt có giá trị α (p–value) là 0,0208 và 0,0159 (α < 0,05). Trong khi đó, trạm Tuyên Hóa có giá trị α = 0,1769 > 0,05 nên không đảm bảo độ tin cậy. Đối với lượng mưa năm, không có trạm nào thỏa mãn điều kiện p–value < 0,05, nên chấp nhận giả thuyết H_0 là không có xu thế tăng hoặc giảm về lượng mưa ở các trạm trên. Xét về độ dốc Sen's Slope của đại lượng nhiệt độ trung bình năm cho thấy giá trị Sen's Slope của chuỗi nhiệt độ trung bình năm đạt giá trị lần lượt là 0,0208; 0,02 và 0,0125°C/năm tại Đồng Hới, Ba Đồn và Tuyên Hóa. Tuy nhiên, đối với chuỗi số liệu lượng mưa năm thì giá trị Sen's Slope của lượng mưa năm lần lượt đạt –1,7; –2,54 và 0,86 mm/năm tại 3 trạm Đồng Hới, Ba Đồn và Tuyên Hóa.

Bảng 3. Kết quả kiểm định xu thế Mann–Kendall (M–K test) nhiệt độ trung bình năm và lượng mưa năm giai đoạn 1988–2018.

Thông số kiểm định	Nhiệt độ		Lượng mưa			
	Đồng Hới	Ba Đồn	Tuyên Hóa	Đồng Hới	Ba Đồn	Tuyên Hóa
N	31	31	31	31	31	31
Min	24,16	23,55	23,31	1120,6	1069,9	1504,9

Thông số kiểm định	Nhiệt độ		Lượng mưa			
	Đồng Hới	Ba Đồn	Tuyên Hóa	Đồng Hới	Ba Đồn	Tuyên Hóa
Max	25,96	25,75	24,98	2782,3	3297,8	3626,4
Mean	24,94	24,84	24,23	2023,8	2030	2427,2
SD	0,45	0,47	0,43	481,8	556,7	603,2
M–K test value (S)	159	142	80	–5	–15	5
VAR (S)	3426	3420	3421	465	464	464
Z	0,352	0,315	0,178	–0,01	0,0107	–0,0322
P–value	0,0069	0,0159	0,1768	0,9457	0,945	0,8119
Sen' Slope	0,0208	0,02	0,0125	–1,7	–2,54	0,86

3.2. Xây dựng kịch bản biến đổi nhiệt độ và lượng mưa

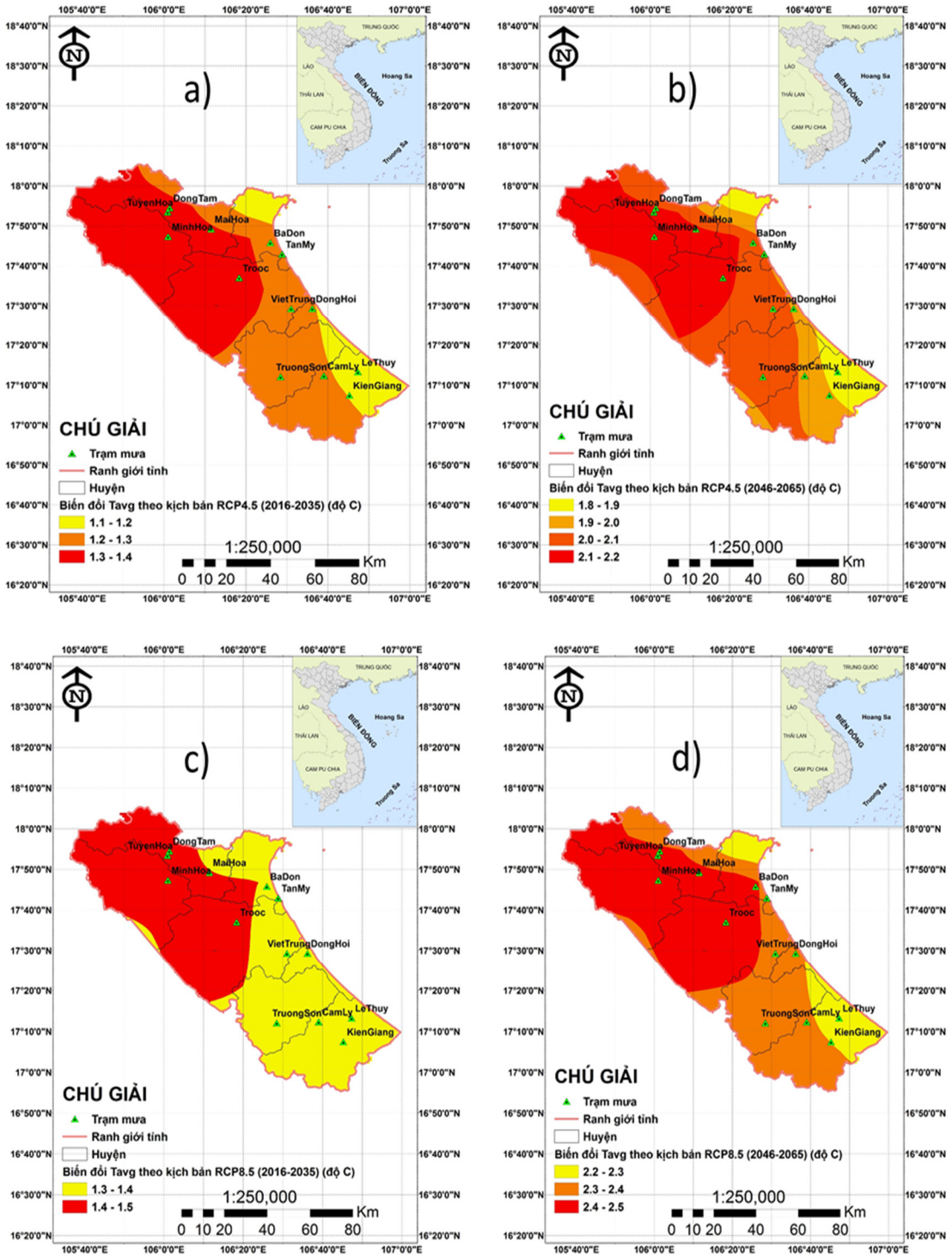
3.2.1. Nhiệt độ

Theo kịch bản RCP4.5 (Hình 4 a–b), vào đầu thế kỷ, nhiệt độ trung bình năm (Tavg) trên toàn tỉnh có mức tăng phổ biến từ 1,1–1,4°C. Vào giữa thế kỷ, mức tăng từ 1,8–2,2°C. Trong đó, khu vực phía Tây của tỉnh bao gồm các huyện như Minh Hóa, Tuyên Hóa, một phần huyện Bố Trạch có mức tăng lớn, có thể đạt từ 2,1–2,2°C; khu vực phía Nam tỉnh mức tăng nhỏ hơn từ 1,1–1,2°C vào đầu thế kỷ và 1,8–1,9°C vào giữa thế kỷ.

Bảng 4. Biến đổi nhiệt độ trung bình năm so với thời kỳ cơ sở (°C) theo cấp huyện (Giá trị trong ngoặc đơn là khoảng biến đổi quanh giá trị trung bình với cận dưới 10% và cận trên 90%).

Huyện	Kịch bản RCP4.5		Kịch bản RCP8.5	
	2016–2035	2045–2065	2016–2035	2045–2065
Tuyên Hoá	1,4 (0,9 – 2,0)	2,2 (1,6 – 2,9)	1,5 (1,0 – 2,1)	2,5 (1,7 – 3,3)
Minh Hóa	1,4 (0,9 – 1,9)	2,2 (1,6 – 3,0)	1,5 (1,0 – 2,1)	2,5 (1,8 – 3,2)
Quảng Trạch	1,3 (0,7 – 1,8)	2,0 (1,4 – 2,8)	1,4 (1,0 – 2,0)	2,3 (1,6 – 3,0)
Ba Đồn	1,3 (0,7 - 1,8)	2,0 (1,4 – 2,8)	1,3 (0,9 – 1,8)	2,3 (1,6 – 3,0)
Bố Trạch	1,4 (0,9– 2,0)	2,2 (1,5 – 3,0)	1,5 (1,1 – 2,0)	2,5 (1,8 – 3,1)
TP. Đồng Hới	1,2 (0,8 –1,7)	2,0 (1,4 – 2,9)	1,4 (1,0 – 2,0)	2,3 (1,7 – 3,1)
Quảng Ninh	1,2 (0,8 – 1,7)	2,0 (1,3 –2,9)	1,4 (0,9 – 1,9)	2,3 (1,6 – 3,1)
Lệ Thủy	1,1 (0,6 – 1,7)	s1,9 (1,3 –2,7)	1,4 (0,9 – 1,9)	2,3 (1,7–3,0)

Theo kịch bản RCP8.5 (Hình 4c–d), vào đầu thế kỷ, nhiệt độ trung bình năm trên toàn tỉnh có mức tăng phổ biến từ 1,3–1,5°C, cao nhất là phía Bắc các huyện Minh hóa và Tuyên Hóa. Vào giữa thế kỷ, mức tăng phổ biến từ 2,2–2,5°C. Trong đó, khu vực các huyện như Minh Hóa, Tuyên Hóa, Bố Trạch tăng phổ biến từ 2,4–2,5°C và ở phía Nam là huyện Lệ Thủy tăng từ 2,2–2,3°C. Đáng chú ý là phía Bắc huyện Quảng Trạch mức tăng dao động 2,2–2,3°C.



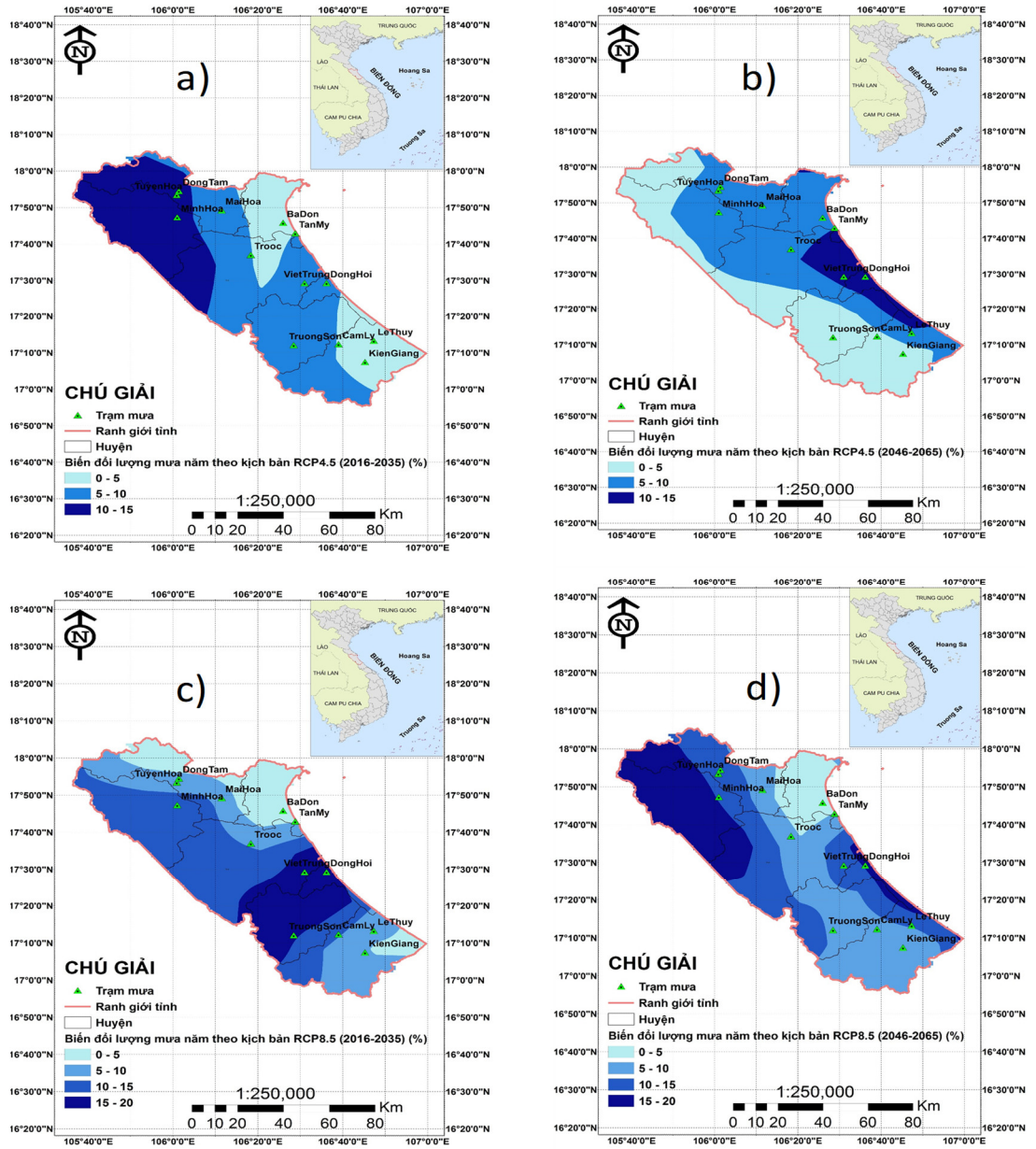
Hình 4. Biến đổi của nhiệt độ trung bình năm (Tavg) theo kịch bản RCP4.5 (a–b) và RCP8.5 (c–d) so với thời kỳ cơ sở (1986–2005).

3.2.2. Lượng mưa

Theo kịch bản RCP4.5, lượng mưa năm có xu thế tăng trên toàn tỉnh, phổ biến từ 3,5–14,3% (đầu thế kỷ) và 4–16% (giữa thế kỷ). Các huyện phía Nam tỉnh có mức tăng nhỏ hơn các huyện phía Bắc. Theo kịch bản RCP8.5, lượng mưa năm có xu thế tăng trên toàn tỉnh, phổ biến từ 5–17% đầu thế kỷ. Xu thế tăng mạnh được chuyển dịch từ các huyện trung tâm lên các huyện phía Bắc của tỉnh với mức tăng mạnh nhất có thể đạt 17,3% giữa thế kỷ.

Bảng 5. Biến đổi lượng mưa năm so với thời kỳ cơ sở (°C) theo cấp huyện (Giá trị trong ngoặc đơn là khoảng biến đổi quanh giá trị trung bình với cận dưới 20% và cận trên 80%).

Huyện	Kịch bản RCP4.5		Kịch bản RCP8.5	
	2016–2035	2045–2065	2016–2035	2045–2065
Tuyên Hoá	10,1 (3,7 – 16,7)	9,8 (3,4 – 16,8)	10,2 (3,8 – 16,8)	12,1 (5,5 – 23,9)
Minh Hóa	10,2 (3,8 – 17,1)	9,7 (3,3 – 16,7)	14,1 (7,4 – 25,1)	19,6 (8,6 – 28,3)
Quảng Trạch	4,8 (2,3 –12,3)	9,5 (3,2 – 16,5)	5,0 (2,4 – 12,5)	5,0 (2,4 – 12,5)
Ba Đồn	3,5 (2,0–8,5)	5,1 (2,6 – 12,6)	4,5 (2,3 – 12,1)	5,2 (2,7 – 12,7)
Bố Trạch	6,5 (2,8 – 13,1)	12,8 (5,6 – 24,1)	13,5 (4,1 – 24,8)	13,5 (4,1 – 25,8)
TP. Đồng Hới	7,8 (3,1 – 13,8)	14,5 (7,5 – 25,3)	17,7 (8,1 – 27,2)	17,6 (7,6 – 28,1)
Quảng Ninh	6,6 (2,8 – 13,2)	12,3 (5,5 – 23,6)	17,6 (8,0 – 27,0)	13,4 (7,1 – 24,1)
Lệ Thủy	6,3 (2,6 – 12,9)	8,3 (4,5 –18,3)	8,1 (4,2 – 17,9)	9,4 (3,2 – 16,4)



Hình 5. Biến đổi lượng mưa năm theo kịch bản RCP4.5 (a–b) và RCP8.5 (c–d) so với thời kỳ cơ sở (1986–2005).

Nhìn chung, theo cả hai kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 cho các giai đoạn 2016–2035 và giai đoạn 2046–2065, lượng mưa năm tại khu vực huyện Quảng Trạch, thị xã Ba Đồn và phía Nam huyện Lệ Thủy luôn có mức tăng thấp nhất. Theo kịch bản của Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2016, vào đầu thế kỷ lượng mưa trên địa bàn cả tỉnh sẽ tăng 12,8% (3,9–20,6) và 4,2% (–1,8–10,6) ứng với kịch bản RCP4.5 và RCP8.5; vào giữa thế kỷ lượng mưa tiếp tục tăng nhanh hơn cụ thể tăng 21,5% (11,7–31,3) và 12,1% (–0,5–25,1) ứng với kịch bản RCP4.5 và RCP8.5. Kết quả trên cho thấy, lượng mưa vào giữa thế kỷ được dự báo sẽ tăng với mức độ lớn hơn và kịch bản RCP4.5 sẽ cho mức tăng lớn hơn so với kịch bản RCP8.5.

Sự sai khác giữa xu thế lượng mưa trong quá khứ và dự tính trong tương lai có thể liên quan chặt chẽ tới (i) xu thế giảm nhẹ lượng mưa trong quá khứ chưa đảm bảo mức ý nghĩa với kiểm nghiệm phi tham số Mann-Kendall, (ii) xu thế tăng lượng mưa được dự tính trong tương lai không những phụ thuộc vào nhiều yếu tố khí tượng khác nhưng chưa được xem xét như trường ẩm mà còn phụ thuộc vào độ bất định của mô hình động lực khí hậu toàn cầu và khu vực hay phương pháp hiệu chỉnh hạ quy mô thống kê từ kết quả các mô hình động lực.

4. Kết luận

Kết quả đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới nhiệt độ và lượng mưa cho Quảng Bình, cũng như phân tích xu thế dựa trên phương pháp kiểm nghiệm phi tham số Mann–Kendall và phân tích xu thế Sen (Sen's Slope) đã cho thấy:

(1) Kết quả phân tích xu thế trong thời kỳ quan trắc 1988–2018 chứng tỏ nhiệt độ trung bình năm có xu hướng tăng ở tất cả các trạm, trong đó tăng mạnh nhất ở trạm Đồng Hới và thấp nhất ở trạm Tuyên Hóa. Tuy nhiên, mức độ sai khác này là không quá lớn. Trong khi đó, lượng mưa giai đoạn này lại có xu thế giảm ở hầu hết các trạm. Tuy nhiên, xu thế thay đổi về lượng mưa không đảm bảo độ tin cậy khi sử dụng phương pháp kiểm định phi tham số Mann–Kendall test nên chưa thể khẳng định được xu thế của lượng mưa giai đoạn này.

(2) Kết quả xây dựng, cập nhật chi tiết các kịch bản BĐKH cho tỉnh Quảng Bình cho thấy: nhiệt độ trung bình ở tất cả các trạm có xu thế tăng so với thời kỳ cơ sở (1986–2005); Lượng mưa năm theo kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 đều tăng ở tất cả các trạm đại diện; Theo kịch bản RCP4.5, vào đầu thế kỷ, nhiệt độ trung bình năm trên toàn tỉnh có mức tăng phổ biến từ 1,1–1,4°C, lượng mưa năm cũng có xu thế tăng trên toàn tỉnh, phổ biến từ 3,5–14,3%; vào giữa thế kỷ, nhiệt độ tăng từ 1,8–2,2°C, lượng mưa có mức tăng phổ biến từ 4–16%. Đối với kịch bản RCP8.5, thì vào đầu thế kỷ, nhiệt độ trung bình năm trên toàn tỉnh có mức tăng phổ biến từ 1,3–1,5°C, lượng mưa năm có xu thế tăng phổ biến từ 5–17%; vào giữa thế kỷ, nhiệt độ có mức tăng phổ biến từ 2,2–2,5°C và lượng mưa có xu thế tăng mạnh, mức tăng mạnh nhất đạt 17,3%. Theo cả hai kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 cho các giai đoạn 2016–2035 và giai đoạn 2046–2065, lượng mưa năm tại khu vực huyện Quảng Trạch, thị xã Ba Đồn và phía Nam huyện Lệ Thủy luôn có mức tăng thấp nhất.

Đóng góp của tác giả: Viết bản thảo bài báo: L.Q.C.; Chỉnh sửa và hoàn thiện bài báo: H.N.T.V.; Xây dựng mô hình và chỉnh sửa bài báo: N.T.T.; Xử lý số liệu: Đ.T.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.Đ.H., T.H.Q.

Lời cảm ơn: Bài báo này được thực hiện và hoàn thiện nhờ sự hỗ trợ từ Dự án: Xây dựng Kế hoạch hành động ứng phó với biến đổi khí hậu tỉnh Quảng Bình giai đoạn 2021–2030, tầm nhìn đến 2050.

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. IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.
2. WMO. WMO Statement on the State of the Global Climate in 2016. WMO, 2017, No.1189. ISBN 978–92–63–11189–0.
3. IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland 2014, pp. 151.
4. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam, 2016.
5. Viện Tài nguyên và Môi trường – Đại học Huế. Báo cáo tổng kết Dự án "Xây dựng Kế hoạch hành động ứng phó với biến đổi khí hậu tỉnh Quảng Bình giai đoạn 2021–2030, tầm nhìn đến 2050", 2020.
6. Thành, N.Đ.; Tân, P.V. Kiểm nghiệm phi tham số xu thế biến đổi của một số yếu tố khí tượng cho giai đoạn 1961–2007. *Tạp chí Khoa học, Đại học Quốc gia Hà Nội* **2012**.
7. Tân, P.V. và cs. Nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu đến các yếu tố và hiện tượng khí hậu cực đoan ở Việt Nam, khả năng dự báo và giải pháp chiến lược ứng phó. Đề tài Khoa học cấp Nhà nước, Mã số KC08.29/06–10.
8. Minh, T.T.T.; An, T.V.; Anh, L.H.T.; Kha, V.T. Đặc điểm mưa tại thành phố Vinh, Nghệ An. *Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường* **2020**, *34*, 78–84.
9. Kendall, M.G. Rank Correlation Methods, Charles Griffin, London 1975, pp. 272.
10. Hamed, K.H.; Rao, A.R. A modified Mann–Kendall trend test for autocorrelated data. *J. Hydrol.***1998**, *204*, 182–196.
11. Sen, P.K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *J. Am. Stat. Assoc.* **1968**, *63*, 1379–1389.
12. Giorgi F.; Mearns L.O. Approaches to the simulation of regional climate change: A review. *Rev. Geophys.* **1991**, *29*, 191–216.
13. Grell G.A. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterization *Mon. Wea. Rev*. **1993**, *121*, 764–787.
14. Grell G.A., Dudhia J., Stauffer D.R. A Description of the Fifth Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). *NCAR Technical Note*. **1995**, 398.
15. Giorgi, Filippo, E. Coppola, F. Solmon, L. Mariotti, M. B. Sylla, X. Bi, N. Elguindi et al. RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Clim. Res.* **2012**, *52*, 7–29.
16. Arora, V.K.; Scinocca, J.F.; Boer, G.J.; Christian, J.R.; Denman, K.L.; Flato, G.M.; Kharin, V.V.; Lee, W.G.; Merryfield, W.J. Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases. *Geophys. Res. Lett.* **2011**, *38*, 5.

17. Fyfe, J.C.; Meehl, G.A.; England, M.H.; Mann, M.E.; Santer, B.D.; Flato, G.M.; Ed Hawkins, F.Ed.; Gillett, N.P.; Xie, S.P.; Kosaka, Y.; Swart, N.C. Making sense of the early–2000s warming slowdown. *Nat. Clim. Change* **2016**, *6*, 224–228.
18. Voldoire, A.; Sanchez–Gomez, E.; Mélia, D.S.; Decharme, B.; Cassou, C.; Sénési, S.; Valcke, S.; Beau, I.; Alias, A.; Chevallier, M.; De´que´, M.; Deshayes, J.; Douville, H.; Fernandez, E.; Madec, G.; Maisonnave, E.; Moine, M.P.; Planton, S.; Saint–Martin, D.; Szopa, S.; Tyteca, S.; Alkama, R.; Belamari, S.; Braun, A.; Coquart, L.; Chauvin, F. The CNRM–CM5. 1 global climate model: description and basic evaluation. *Clim. Dyn.* **2013**, *40*, 2091–2121.
19. Andrew, C.M.; Jeffrey, S.J.; Rotstayn, L.D.; Wong, K.K.; Dravitzki, S.M.; Moseneder, C.; Hamalainen, C.; Syktus, J.I.; Suppiah, R.; Antony, J.; Zein, A.El.; Atif, M. The CSIRO–Mk3. 6.0 Atmosphere–Ocean GCM: participation in CMIP5 and data publication. In International Congress on Modelling and Simulation–MODSIM, **2011**, pp. 2691–2697.
20. Dunne, John P.; John, J.G.; Adcroft, A.J.; Griffies, S.M.; Hallberg, R.W.; Shevliakova, E.; Stouffer, R.J.; Cooke, W.; Dunne, K.A.; Harrison, M.; Krasting, J.P.; Malyshev, S.L.; Milly, P.C.D.; Phillipps, P.J.; Sentman, L.T.; Sammuels, B.; Spelman, M.J.; Winton, M.; Wittenberg, A.T.; Zadeh, N. GFDL's ESM2 global coupled climate–carbon earth system models. Part I: Physical formulation and baseline simulation characteristics. *J. Clim.* **2012**, *25*, 6646–6665.
21. Dufresne, J.L.; Foujols, M.A.; Denvil, S.; Caubel, A.; Marti, O.; Aumont, O.; Balkanski, Y.; Bekki, S.; Bellenger, H.; Benshila, R.; Bony, S.; Bopp, L.; Braconnot, P.; Brockmann, P.; Cadule, P.; Cheruy, F.; Codron, F.; Cozic, A.; Cugnet, D.; de Noblet, N.; Duvel, J.P.; Ethé, C.; Fairhead, L.; Fichefet, T.; Flavoni, S.; Friedlingstein, P.; Grandpeix, J.Y.; Guez, L.; Guilyardi, E.; Hauglustaine, D.; Hourdin, F.; Idelkadi, A.; Ghattas, J.; Joussaume, S.; Kageyama, M.; Krinner, G.; Labetoulle, S.; Lahellec, A.; Lefebvre, M.P.; Lefevre, F.; Levy, C.; Li, Z.X.; Lloyd, J.; Lott, F.; Madec, G.; Mancip, M.; Marchand, M.; Masson, S.; Meurdesoif, Y.; Mignot, J.; Musat, I.; Parouty, S.; Polcher, J.; Rio, C.; Schulz, M.; Swingedouw, D.; Szopa, S.; Talandier, C.; Terray, P.; Viovy, N.; Vuichard, N. Climate change projections using the IPSL–CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5. *Clim. Dyn.* **2013**, *40*, 2123–2165.
22. Giorgetta, M.A.; Jungclaus, J.; Reick, C.H.; Legutke, S.; Bader, J.; Böttinger, M.; Brovkin, V. et al. Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. *J. Adv. Model. Earth Syst.* **2013**, *5*, 572–597.
23. MONRE. Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam, 2016.
24. Hazeleger, W.; Wang, X.; Severijns, C.; Ştefănescu, S.; Bintanja, R.; Sterl, A.; Wyser, K.; Semmler, T.; Yang, S.; van den Hurk, B.; van Noije, T.; van der Linden, E.; van der Wiel, K. EC–Earth V2. 2: description and validation of a new seamless earth system prediction model. *Clim. Dyn.* **2012**, *39*, 2611–2629.

25. Hawkins, Ed.; Osborne, T.M.; Ho, C.K.; Challinor, A.J. Calibration and bias correction of climate projections for crop modelling: an idealised case study over Europe. *Agric. For. Meteorol.* **2013**, *170*, 19–31.
26. Kit, H.C.; Stephenson, D.B.; Collins, M.; Ferro, C.AT.; Brown, S.J. Calibration strategies: a source of additional uncertainty in climate change projections. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2012**, *93*, 21–26.
27. Hansen, J.W.; Challinor, A.; Ines, A.; Wheeler, T.; Moron, V. Translating climate forecasts into agricultural terms: advances and challenges. *Clim. Res.* **2006**, *33*, 27–41.
28. Nguyen, T.T. Improved downscaling of meteorological data for hydrological modelling in the tropics under climate change. PhD Diss, 2016.
29. Đài Khí tượng Thủy văn Trung Trung Bộ. Danh mục các trạm khí tượng, thủy văn trên địa bàn tỉnh Quảng Bình, 2019.

Evaluation of climate change impacts on temperature and precipitation for Quang Binh province

Le Quang Canh[1], Hoang Ngoc Tuong Van[1], Nguyen Tien Thanh[2], Nguyen Dinh Huy[1], Tran Hieu Quang[1], Dinh Tien Tai[1]
[1] Institute of Resources and Environment, Hue University; lqcanh@hueuni.edu.vn; hntvan@hueuni.edu.vn; ndhuy@hueuni.edu.vn; thquang@hueuni.edu.vn; dttai@hueuni.edu.vn
[2] Thuyloi University; thanhwru83@gmail.com

Abstract: This paper presented temperature and precipitation changes in Quang Binh Province in the 1988–2018 period and climate change scenarios for Quang Binh Province. Our results showed that the annual average temperature at Tuyen Hoa, Dong Hoi and Ba Don stations increased by 0.1°C, 0.23°C and 0.19°C per decade, respectively. Precipitation had a downward trend at all stations; in which, the most and least declines occurred at Ba Don and Tuyen Hoa station, respectively at 4.94 mm/year and 0.057 mm/year. In addition, the annual average temperature tends to increase by 1.1–1.4°C and 1.9–2.2°C, respectively during the 2016–2035 and 2045–2065 periods under the RCP4.5 scenario. Especially, the western province shows an increase in 2.1–2.2°C; the Southern increases by 1.1–1.2°C and 1.8–1.9°C at the beginning and middle of the century. According to the RCP8.5, the average temperature increases by 1.3–1.5°C, the increase tends to decline from the North to the South at the beginning of the century. According to the RCP4.5, the annual rainfall tends to increase 3.5–14.3% and 4–16% respectively, in the beginning and middle of the century, the increase tends to decrease from the North to the South. The annual rainfall tends to increase in the entire province by 5–17% and sharply increases from the central districts to the northern province under the RCP8.5 scenarios.

Keywords: Climate change; RCP4.5; RCP8.5; Quang Binh.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Bài báo khoa học

Nghiên cứu thử nghiệm phương pháp theo dõi quỹ đạo dông sử dụng dữ liệu ra đa thời tiết tại Việt Nam

Bùi Thị Khánh Hoà[1*], Nguyễn Vinh Thư[1], Phùng Kiến Quốc[1], Nguyễn Việt Hưng[1], Nguyễn Thị Hoàng Anh[1]

[1] Đài Khí tượng cao không; khanhhoa303@gmail.com; vinhthu73@gmail.com; kienquocamo@gmail.com; nguyenviethungb115@gmail.com ; hoanganhck@gmail.com
***** Tác giả liên hệ: khanhhoa303@gmail.com; Tel.: +84–916591270

Ban Biên tập nhận bài: 29/1/2021; Ngày phản biện xong: 18/3/2021; Ngày đăng bài: 25/4/2021

Tóm tắt: Ra đa thời tiết là công cụ quan trắc phục vụ đắc lực cho việc theo dõi, phát hiện và dự báo sự di chuyển của các vùng mây đối lưu có khả năng gây các hiện tượng thời tiết nguy hiểm. Bài báo này giới thiệu phương pháp mới theo dõi quỹ đạo di chuyển của vùng mưa dông được phát triển dựa trên phần mềm TITAN "Thunderstorm identification, tracking, analysis and nowcasting" có sử dụng thông tin phản hồi vô tuyến của ra đa ở Việt Nam. Nghiên cứu thử nghiệm áp dụng cho trường hợp mưa dông ngày 23/9/2020 tại khu vực Tây Bắc và cơn dông gây mưa cục bộ cho tỉnh Kon Tum và Đăk Nông ngày 27/2/2021. Kết quả chỉ ra rằng thuật toán được phát triển để theo dõi quỹ đạo di chuyển của vùng mưa dông là tương đối phù hợp và nắm bắt được xu hướng dịch chuyển của các vùng mây từ khi xuất hiện đến khi tan rã. Tuy nhiên dường như thuật toán phù hợp hơn với việc theo dõi các ổ dông đơn lẻ.

Từ khóa: Mưa dông; Ra đa thời tiết; Quỹ đạo.

1. Mở đầu

Các hệ thống thời tiết đối lưu như mưa đá, dông lốc và lốc xoáy có thể gây thiệt hại nghiêm trọng đến sản xuất và đời sống hàng ngày. Vì vậy việc nâng cao khả năng dự báo thời tiết đối lưu và đưa ra được các cảnh báo thiết thực để giảm thiểu thiệt hại là rất có ý nghĩa. Với độ phân giải không gian và thời gian cao, hệ thống ra đa thời tiết hiện đại có thể cung cấp nhiều thông tin như phản hồi vô tuyến (PHVT), vận tốc xuyên tâm, độ rộng phổ,… đã trở thành công cụ quan trắc phục vụ đắc lực cho công tác dự báo thời tiết hiện nay. Việc nhận dạng và giám sát dông bão thông qua hệ thống ra đa thời tiết và công nghệ máy tính trở thành một kỹ thuật quan trọng để cảnh báo thời tiết khắc nghiệt. Tuy nhiên, việc dự báo quỹ đạo dông là rất khó, đặc biệt là ở các vùng nhiệt đới vì đa phần dông có kích thước nhỏ, biến động mạnh và tồn tại trong thời gian ngắn.

PHVT của ra đa thời tiết là thông số phổ biến nhất trong việc xác định dông bão. Các nghiên cứu về xác định, theo dõi và dự báo dông sử dụng PHVT của ra đa thời tiết đã diễn ra trong nhiều thập kỷ qua [1–11]. Cách tiếp cận đơn giản nhất để xác định các cơn dông là xác định ngưỡng hình ảnh dựa trên giá trị PHVT hợp lý về mặt vật lý. Hai phương pháp nổi tiếng để xác định, theo dõi, phân tích và dự báo dông bão là TITAN (*Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting*) [1] và xác định – theo dõi ổ mây dông là SCIT (*Storm Cell Identification and Tracking*) [5]. TITAN là một thuật toán dự báo kiểu centroid có thể xác định, theo dõi và dự báo hiệu quả các ổ dông đối lưu riêng lẻ nhưng TITAN có xu hướng cung cấp thông tin nhận dạng, theo dõi và dự báo chưa chính xác trong trường hợp các ổ dông

dày đặc có hình dạng thay đổi nhanh chóng hoặc nơi các cụm ổ dông thường xuyên xảy ra. Thuật toán TITAN ban đầu sử dụng một ngưỡng duy nhất để xác định các ổ dông. Sau đó, các ổ dông này được theo dõi qua các lần quét ra đa liên tiếp bằng cách sử dụng phương pháp tối ưu hóa tổ hợp cùng với thuật toán bổ sung để xử lý các chuyển động bất thường của dông như phân tách hoặc hợp nhất. Thuật toán SCIT được phát triển để xác định, mô tả đặc điểm, theo dõi và dự báo chuyển động hạn ngắn của các ổ mây dông. Trái ngược với TITAN, việc sử dụng đa ngưỡng PHVT (30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 dBZ) trong thuật toán của SCIT đã cải thiện đáng kể hiệu suất nhận dạng các ổ mây dông. Mặc dù SCIT đủ mạnh để xác định các ổ dông trong một cụm dông nhưng không thể phát hiện sự khởi đầu hoặc các cơn dông có PHVT nhỏ hơn 30 dBZ. Nhằm mục đích cải thiện hiệu quả của TITAN, năm 2009, thuật toán TITAN đã được cải tiến với tên gọi ETITAN sử dụng đa ngưỡng để phát hiện bão đối lưu [4]. ETITAN cải tiến thuật toán TITAN ban đầu ở ba khía cạnh. Đầu tiên, để xử lý vấn đề hợp nhất sai khi hai ổ dông ở gần nhau và để cô lập các ổ dông riêng lẻ, ETITAN sử dụng phương pháp nhận dạng đa ngưỡng. Thứ hai, trong giai đoạn theo dõi, ETITAN đề xuất phương pháp tối ưu hóa tổ hợp dựa trên ràng buộc động để theo dõi các cơn dông. Cuối cùng, ETITAN sử dụng trường vectơ chuyển động được tính bằng phương pháp tương quan chéo để dự báo vị trí của các ổ dông biệt lập riêng lẻ. ETITAN đã kết hợp được cả hai phương pháp tương quan chéo và phương pháp kiểu trung tâm để cải thiện hiệu suất dự báo.

Trong hội thảo về dự báo tức thời ổ dông đối lưu, [2] cho biết TITAN đã được ứng dụng rộng rãi trong nhiều hệ thống dự báo trên khắp thế giới, ví dụ như: Hoa Kì, Mexico, Đài Loan, Brazil, Úc, Nam Phi,… Gần đây, phần mềm TITAN cũng được ứng dụng trong công nghệ dự báo thời tiết hạn ngắn và cực ngắn các vùng đối lưu hoạt động mạnh phục vụ cho dịch vụ khí tượng hàng không tại Trung Quốc [8]. Kết quả nghiên cứu này cho thấy đã cải thiện phần nào độ chính xác dự báo hạn ngắn và dự báo tức thời các hiện tượng thời tiết đối lưu khắc nghiệt.

Tại Việt Nam, [11] đã nghiên cứu ứng dụng phần mềm TITAN để nhận dạng, theo dõi, phân tích tức thời dông cho khu vực thành phố Hồ Chí Minh. Tác giả sử dụng thuật toán Tstorms2Symprod trong phần mềm TITAN để xác định ổ dông và sự di chuyển ổ dông trong 1 giờ tới thông qua PHVT của ra đa Nhà Bè thời gian thực. Nghiên cứu cho thấy phần mềm TITAN có thể nắm bắt được vị trí, hướng và vận tốc di chuyển, quy mô của các ổ dông trong khu vực nghiên cứu.

Tuy nhiên, cho đến nay phương pháp TITAN của Dixon và Wiener vẫn là một phương pháp phổ biến nhưng phần mềm liên quan khó thiết lập và sử dụng. Thuật toán được phát triển mới để theo dõi các ổ mây dông được xây dựng trên ngôn ngữ Python dựa trên phần mềm TITAN. So với TITAN, thuật toán mới này được thiết kế đơn giản hơn. Mục đích của nghiên cứu là phát triển một thuật toán mới để theo dõi quỹ đạo di chuyển của các ổ mây dông dựa trên nguyên lý của phần mềm TITAN và cải thiện cho phù hợp với điều kiện Việt Nam. Do vậy, nghiên cứu này sẽ giới thiệu phương pháp xây dựng công cụ theo dõi quỹ đạo di chuyển của vùng mây dông và các thử nghiệm theo dõi các ổ mây dông trong một số trường hợp mưa dông xảy ra tại Việt Nam vào tháng 9 năm 2020. Mô tả chi tiết về phương pháp và các kết quả thử nghiệm sẽ được trình bày tương ứng tại mục 2 và mục 3 trong nghiên cứu này.

2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp theo dõi các ổ mây dông làm việc trực tiếp với đối tượng lưới Py–ART dựa trên phần mềm TITAN. Phương pháp này không giải quyết sự phân tách hoặc hợp nhất nhưng an toàn trong việc theo dõi chuỗi và khi dữ liệu ra đa bị phân kỳ do các sự kiện dông. Phương pháp mới trong nghiên cứu này sử dụng thuật toán N bước để liên kết các ổ dông qua các bước thời gian t_0 và t_1:

– Việc xác định các ổ dông dựa trên các ngưỡng tối thiểu của diện tích ổ dông và giá trị trường PHVT.

– Tương quan pha được thực hiện trong một vùng lân cận xung quanh mỗi ổ dông để đưa ra một vectơ ước tính dịch chuyển. Các ước tính vectơ dịch chuyển được hiệu chỉnh dựa trên chuyển động của ổ dông trước đó.

– Đối với mỗi ổ dông được xác định tại thời điểm t_0, thuật toán sẽ tìm kiếm các ổ dông tại thời điểm t_1.

– Sử dụng thuật toán Hungary để so sánh các ổ tiềm năng và tìm ra cặp ổ tối ưu cuối cùng.

– Vị trí ổ dông được cập nhật và thống kê lại. Các ổ dông mới sẽ được chỉ định chỉ số nhận dạng mới.

Chương trình bao gồm 10 mô đun tính toán với các đặc điểm được mô tả trong Bảng 1.

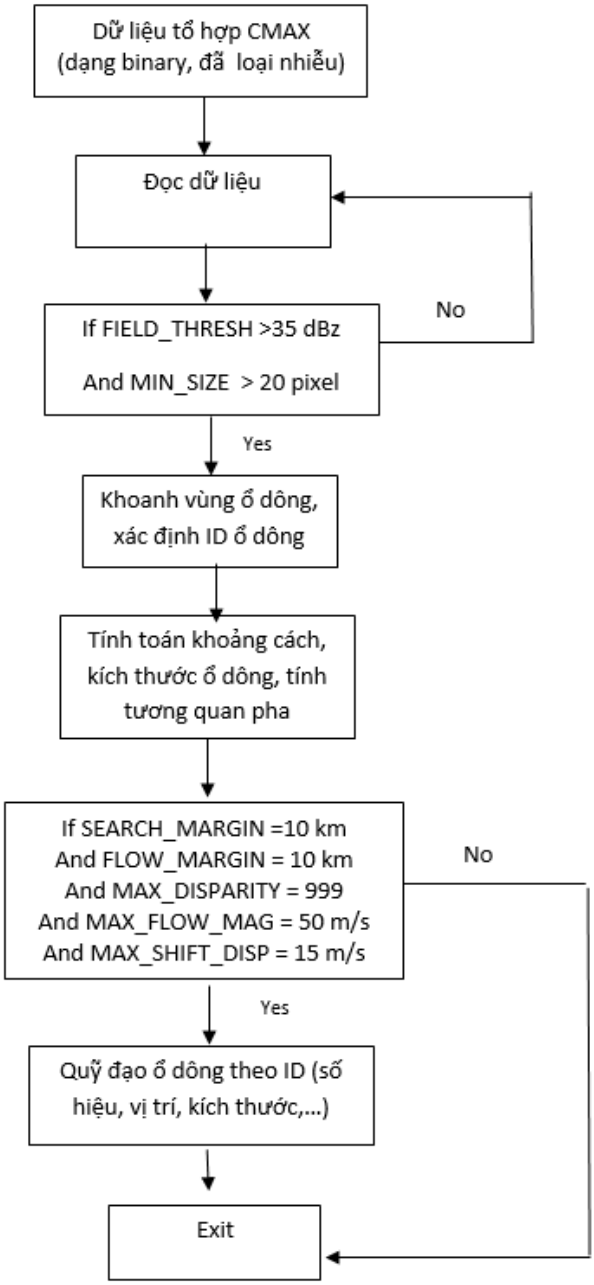
Bảng 1. Các mô đun tính toán trong chương trình.

STT	Tên mô đun	Đặc điểm
1	data.utils.py	Thu thập và xử lý dữ liệu ra đa.
2	grid_utils.py	Xử lý dữ liệu ra đa và chuyển sang dạng lưới của ứng dụng pyart, lọc bỏ các vùng có phản hồi vô tuyến nhỏ, tính toán kích thước 3 chiều của lưới.
3	helpers.py	Đếm và ghi lại lịch sử di chuyển của các ổ dông.
4	matching.py	Xử lý tối đa 1000 cặp dông, tính toán khoảng cách gữa hai véc tơ, tính toán sự thay đổi kích thước vùng phản hồi vô tuyến, tìm kiếm đối tượng, xử lý độ lệch không nhất quán, hiệu chỉnh độ lệch, dự báo và tìm kiếm mở rộng ổ dông ở thời điểm sau,…
5	objects.py	Hàm để quản lý và ghi lại các đặc tính của đối tượng, bao gồm xác định tâm của đối tượng để gắn ID, xác định các tham số về bán kính, diện tích và tâm của đối tượng, lọc bỏ các đối tượng bị tan rã, cập nhật các đối tượng đang tồn tại và tạo ID mới cho các đối tượng mới sinh ra, gắn các thông tin đầu cuối vào từ điển cho đối tượng hiện tại, kiểm tra các đối tượng dông đơn lẻ theo một ngưỡng xác định trước, tính toán giá trị phản hồi lớn nhất của đối tượng dông đúng, tính toán đặc tính của đối tượng cho tất cả các đối tượng tìm thấy, viết ra quỹ đạo của ổ dông,…
6	phase_correlation .py	Là hàm để tính tương quan pha, sử dụng để dự báo sự chuyển động giữa các lần quét.
7	tracks.py	Là class chính, cho phép theo dõi quỹ đạo ổ dông, bao gồm các tham số: – FIELD_THRESH: được sử dụng để phát hiện đối tượng. Các đối tượng được phát hiện là các pixel được kết nối trên ngưỡng này – ISO_THRESH: được sử dụng trong phân loại ổ dông đơn lẻ. – ISO_SMOOTH: tham số làm mịn Gaussian trong tiền xử lý phát hiện cường độ phản hồi vô tuyến đạt đỉnh – MIN_SIZE: Ngưỡng kích thước tối thiểu tính bằng pixel để phát hiện đối tượng – SEARCH_MARGIN: Bán kính của hộp tìm kiếm xung quanh tâm đối tượng được dự đoán – FLOW_MARGIN: kích thước vùng xung quanh phạm vi đối tượng để thực hiện tương quan về pha. – MAX_DISPARITY: Giá trị chênh lệch tối đa cho phép – MAX_FLOW_MAG: Độ lớn dịch chuyển toàn cầu tối đa cho phép – MAX_SHIFT_DISP: độ lớn tối đa của sự khác biệt tính bằng m/s cho hai độ lệch được cho là thỏa mãn – GS_ALT: độ cao tính bằng m để thực hiện tương quan về pha cho tính toán dịch chuyển toàn cầu (chỉ sử dụng chỉ số này trong trường hợp dữ liệu ra đa là cường độ PHVT)
8	visualization.py	Là công cụ để minh họa quỹ đạo di chuyển của các đối tượng
9	setup.py	Để cài đặt các gói phần mềm cần thiết
10	__init__.py	Thông tin các mô đun của chương trình

Để sử dụng được gói chương trình này cần cài đặt các thư viện cần thiết như NumPy, Pandas, SciPy, Matplotlib, Cartopy, Py–ART, ffmpeg. Do vậy chương trình có cấu trúc đơn giản, dễ dàng thiết lập và cài đặt để sử dụng, dữ liệu lịch sử di chuyển của cơn dông cũng được lưu trữ để phục vụ việc phân tích thống kê. Chương trình được viết để xử lý tất cả các loại dữ liệu ra đa của Việt Nam, có thể sử dụng để theo dõi quỹ đạo di chuyển cho từng loại ra đa riêng lẻ hoặc cho tổ hợp các ra đa của Việt Nam.

Chương trình theo dõi ổ mây dông nàysẽ cho biết quá trình khoanh vùng, nhận diện và theo dõi các đám mây dông. Đối với các đám mây dông phát triển thì sẽ xuất hiện đường quỹ đạo di chuyển của đám này. Mỗi đám dông được ký hiệu bằng một số hiệu ID duy nhất. Với đám mây dông chỉ xuất hiện và suy yếu ngay và không có sự liên kết với các ô pixel lân cận thì sẽ được tách ra với ID mới.

Hình 1 là sơ đồ mô tả thuật toán theo dõi quỹ đạo ổ dông được sử dụng trong nghiên cứu này:



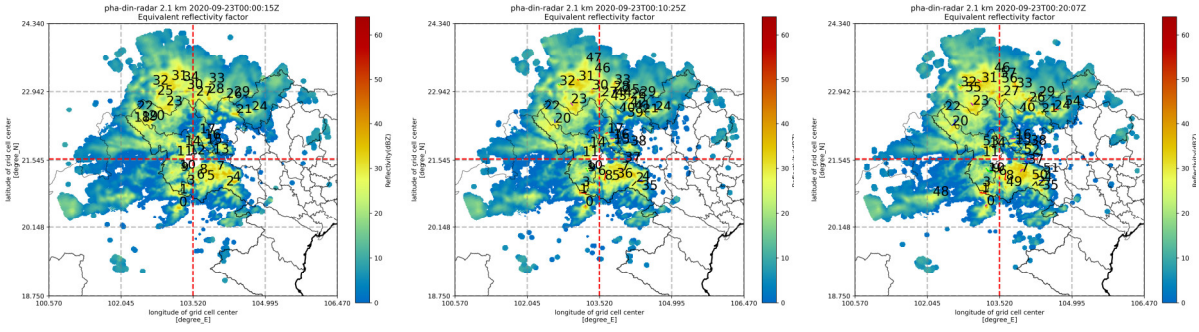
Hình 1. Sơ đồ mô tả thuật toán theo dõi quỹ đạo ổ dông.

Nghiên cứu này đã tiến hành thử nghiệm chương trình theo dõi ổ dông cho trường hợp mưa dông gây ảnh hưởng chủ yếu tới khu vực tây bắc do ra đa Pha Đin quan trắc được vào ngày 23/9/2020 và trường hợp mưa dông tại khu vực tỉnh Kon Tum và Đăk Nông ngày 27/2/2021 do ra đa Pleiku quan trắc được. Ngưỡng được thiết lập cho các thử nghiệm trên là ngưỡng phát hiện dông 35 dBZ và có diện tích từ 20 pixel trở lên.

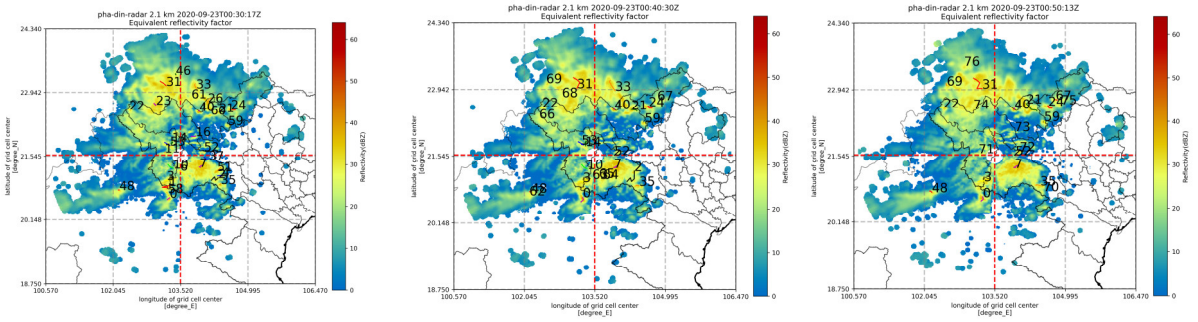
3. Kết quả thử nghiệm

3.1. Thử nghiệm theo dõi quỹ đạo dông với trường hợp ra đa Pha Đin quan trắc được ngày 23/9/2020

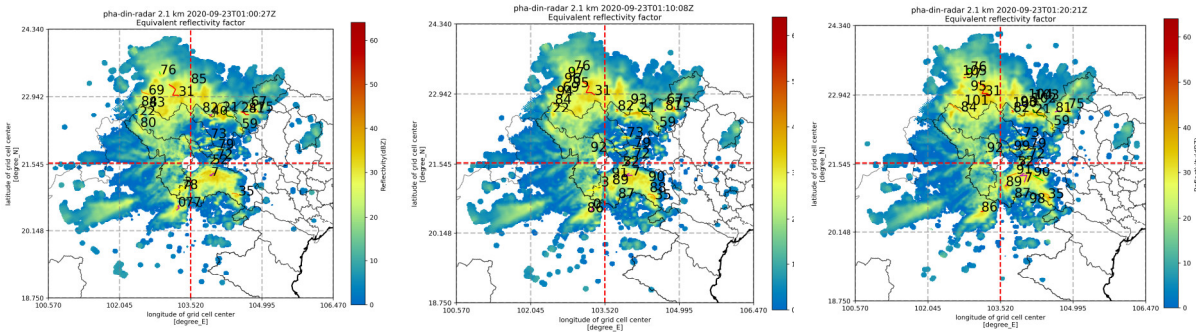
Trong khoảng thời gian từ ngày 23/9–24/9/2020, do ảnh hưởng của không khí lạnh nén rãnh áp thấp kết hợp với hội tụ gió trên mực 1500 m nên ở Bắc Bộ có mưa vừa, mưa to, có nơi mưa rất to và rải rác có dông với lượng mưa phổ biến 50–100 mm/24h; các tỉnh Lai Châu, Điện Biên, Lào Cai, Yên Bái, Hà Giang, Tuyên Quang, Thái Nguyên, Bắc Cạn có nơi trên 150mm/24h. Hình 1 mô tả sự dịch chuyển của các đám mây dông dựa vào thuật toán phát triển ở mục 2 cho trường hợp dông ngày 23/9/2020.



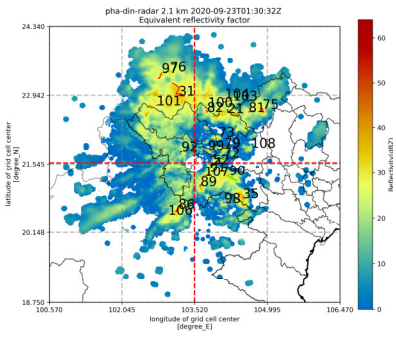
a. 00h00 UTC b. 00h10 UTC c. 00h20 UTC



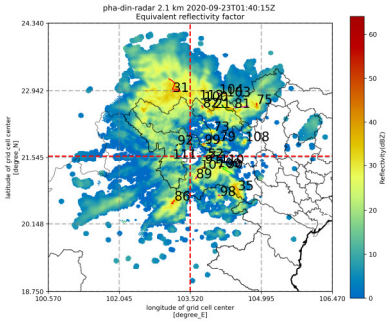
d. 00h30 UTC e. 00h40 UTC f. 00h50 UTC



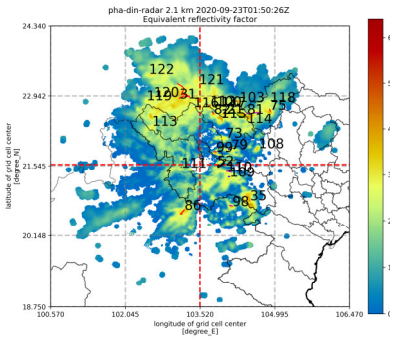
g. 01h00 UTC h. 01h10 UTC i. 01h20 UTC



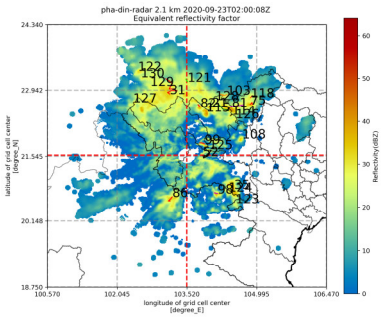
j. 01h30 UTC



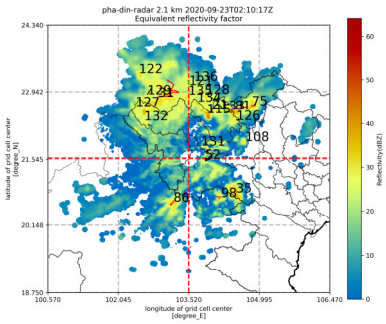
k. 01h40 UTC



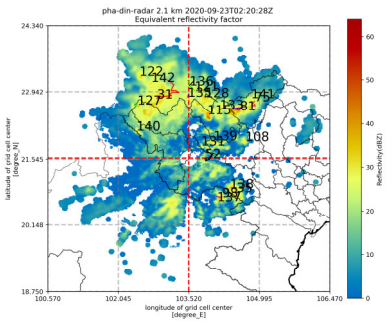
l. 01h50 UTC



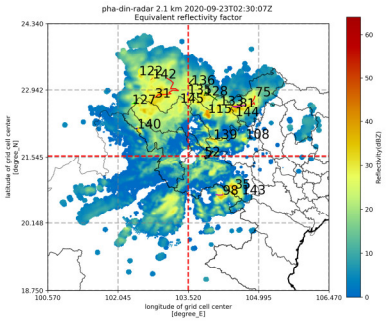
m. 02h00 UTC



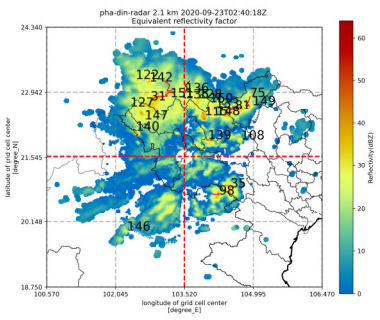
n. 02h10 UTC



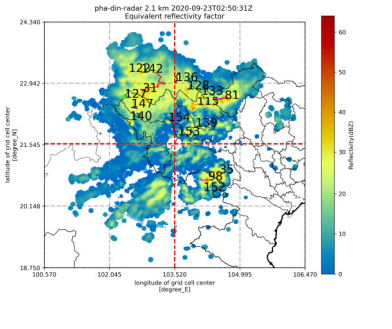
o. 02h20 UTC



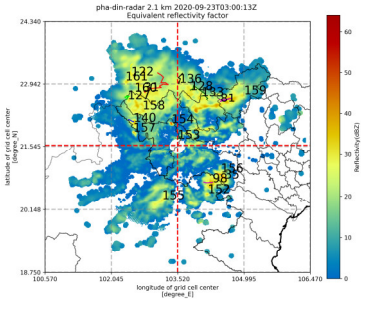
p. 02h30 UTC



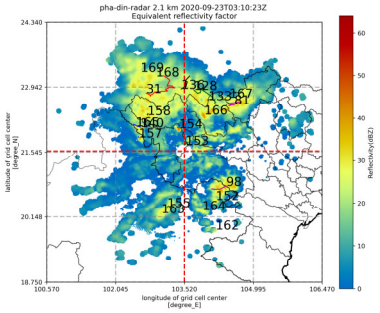
q. 02h40 UTC



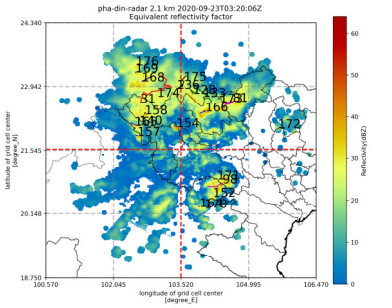
r. 02h50 UTC



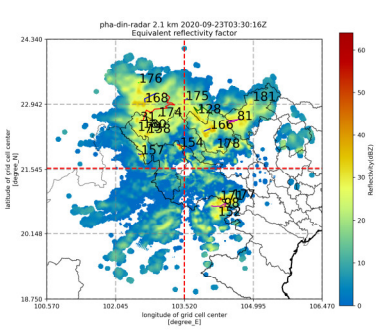
s. 03h00 UTC



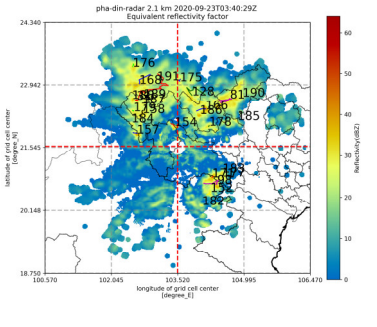
t. 03h10 UTC



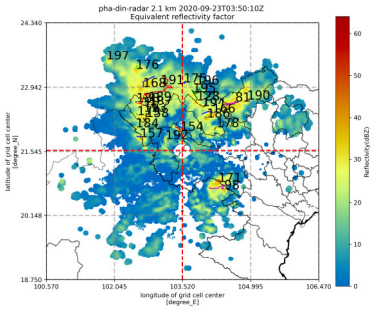
u. 03h20 UTC



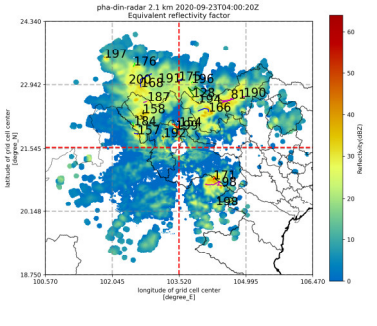
v. 03h30 UTC



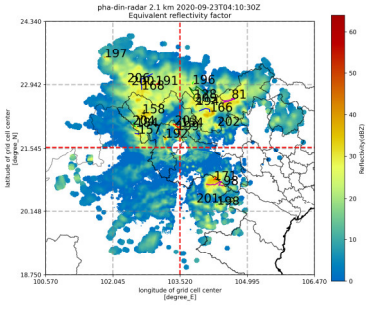
w. 03h40 UTC



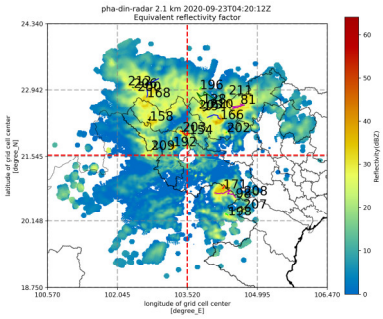
x. 03h50 UTC



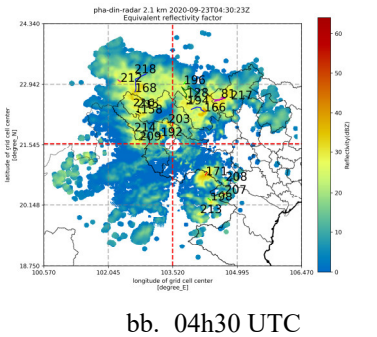
y. 04h00 UTC



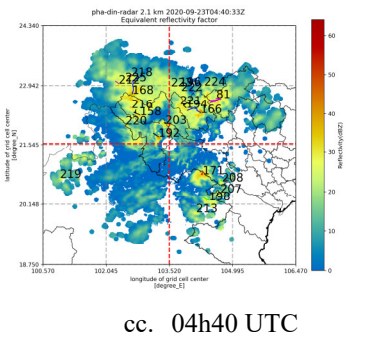
z. 04h10 UTC



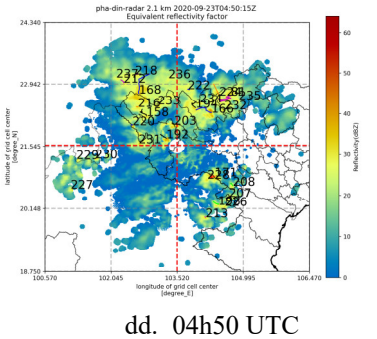
aa. 04h20 UTC



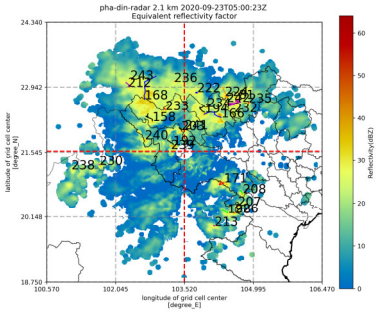
bb. 04h30 UTC



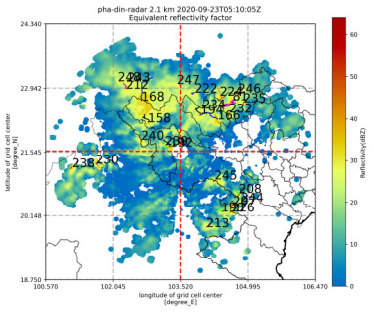
cc. 04h40 UTC



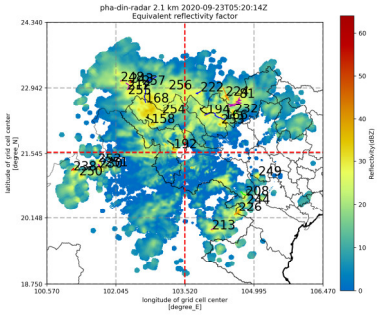
dd. 04h50 UTC



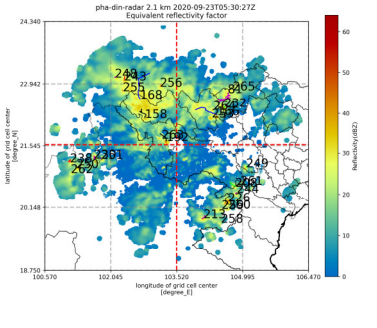
ee. 05h00 UTC

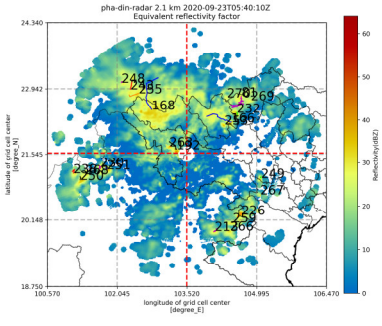


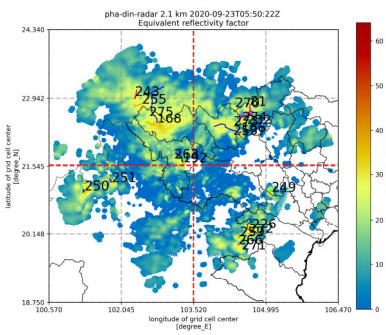
ff. 05h10 UTC



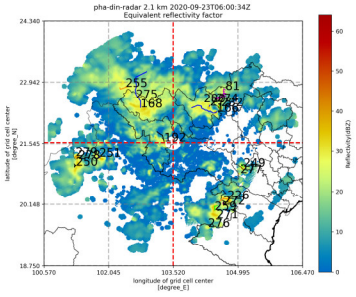
gg. 05h20 UTC



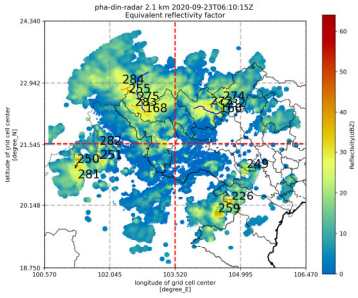




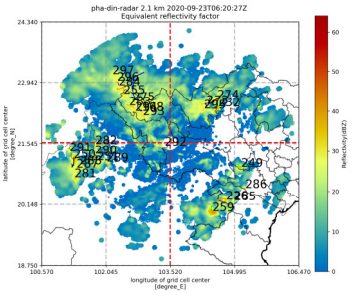
hh. 05h30 UTC



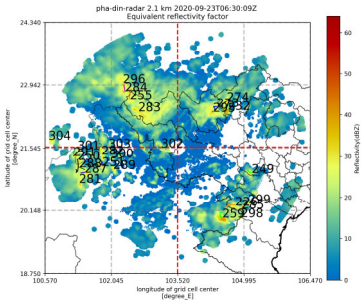
ii. 05h40 UTC



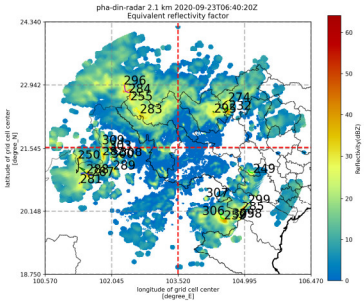
jj. 05h50 UTC



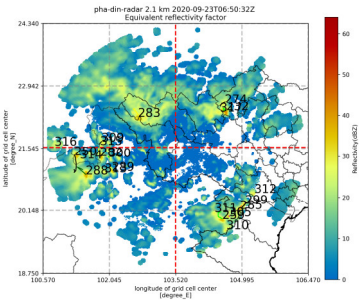
kk. 06h00 UTC



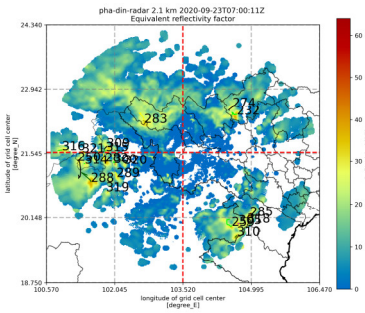
ll. 06h10 UTC



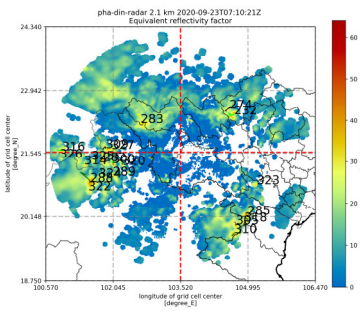
mm. 06h20 UTC



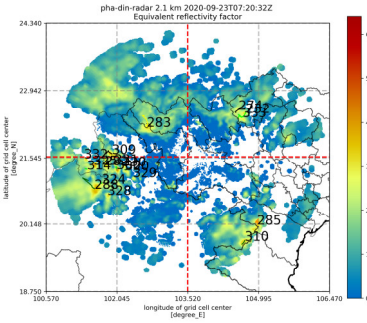
nn. 06h30 UTC



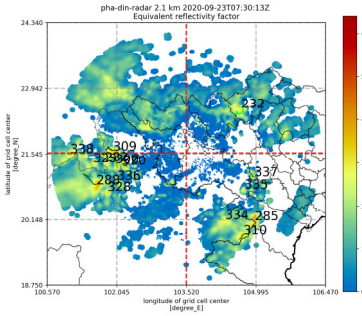
oo. 06h40 UTC



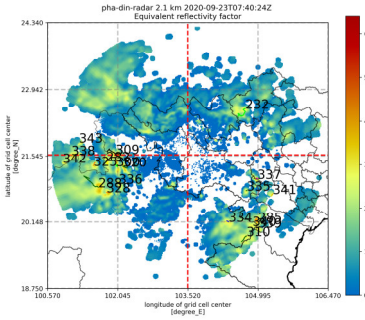
pp. 06h50 UTC



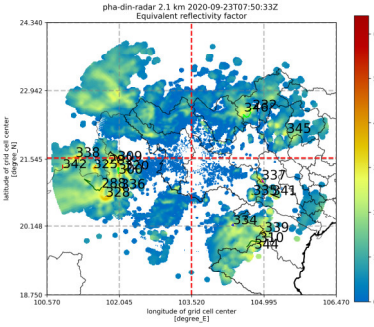
qq. 07h00 UTC



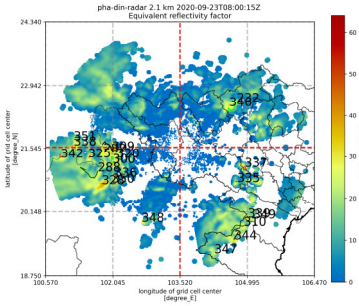
rr. 07h10 UTC



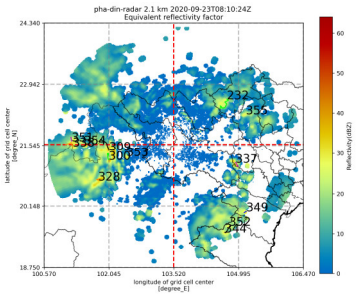
ss. 07h20 UTC



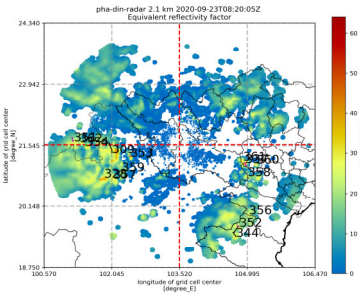
tt. 07h30 UTC



uu. 07h40 UTC



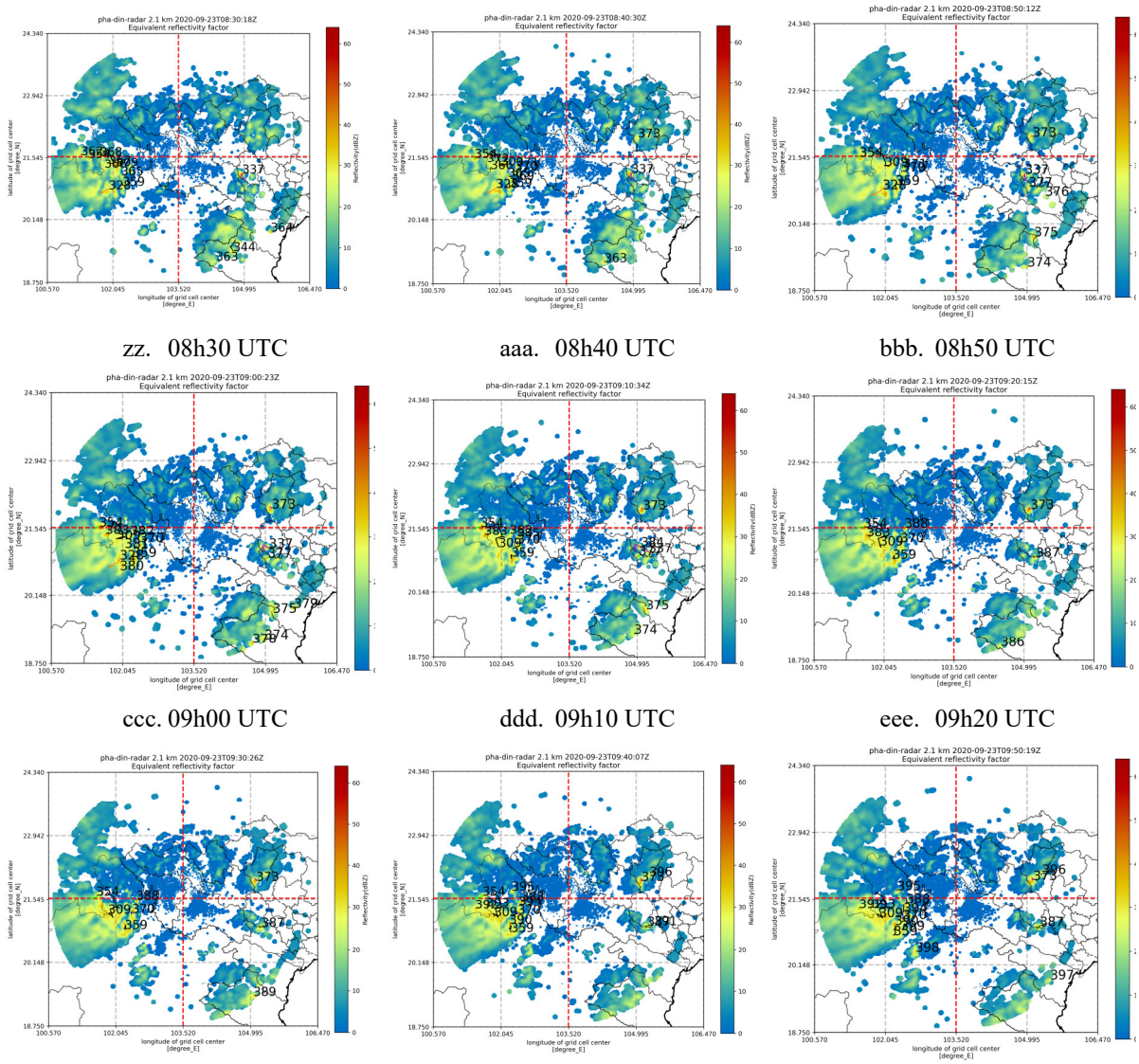
vv. 07h50 UTC



ww. 08h00 UTC

xx. 08h10 UTC

yy. 08h20 UTC



zz. 08h30 UTC aaa. 08h40 UTC bbb. 08h50 UTC

ccc. 09h00 UTC ddd. 09h10 UTC eee. 09h20 UTC

fff. 09h30 UTC ggg. 09h40 UTC hhh. 09h50 UTC

Hình 2. Theo dõi quỹ đạo dông từ 00h00 (UTC) đến 09h50 (UTC) ngày 23/9/2020.

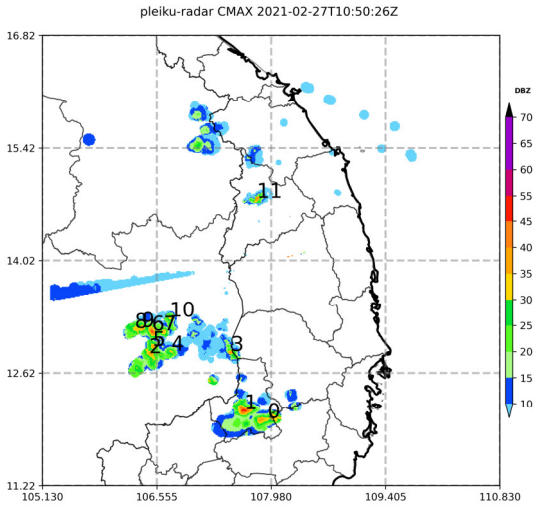
Hình 2 cho thấy số lượng cơn dông mà thuật toán xác định được là 398 cơn dông. Trong đó hầu hết là các cơn dông đơn lẻ tồn tại trong thời gian ngắn, xuất hiện và suy yếu nhanh; một vài cơn dông có số hiệu 0, 31, 35, 81 và 98 có thời gian tồn tại lâu nhất. Cơn dông có số hiệu 0 tồn tại từ 00h00 UTC đến 01h10 UTC, cơn dông số hiệu 31 tồn tại từ 00h00 UTC đến 03h50UTC, cơn dông số hiệu 35 tồn tại từ 00h00 UTC đến 03h20 UTC, cơn dông có số hiệu 81 tồn tại từ 01h00 UTC đến 06h00 UTC, … Quỹ đạo các cơn dông này không có quy luật nhất định nào cả. Trong trường hợp này, các ổ dông nằm trong hệ thống mây dông có quy mô rộng lớn, sự dịch chuyển và thay đổi cường độ phụ thuộc nhiều vào hình thế thời tiết quy mô lớn chi phối. Chương trình theo dõi quỹ đạo ổ mây dông trong thử nghiệm này đã bắt được quỹ đạo di chuyển vùng mây dông, nhưng tính hệ thống khó có thể tổng quát hoá được với điều kiện đặt ra là vùng mây dông có độ phản hồi vô tuyến trên 35 dBZ và có diện tích là từ 20 pixel trở lên.

3.2. Thử nghiệm theo dõi quỹ đạo dông xảy ra mưa dông cục bộ tại tỉnh Kon Tum và Đăk Nông ngày 27/2/2021

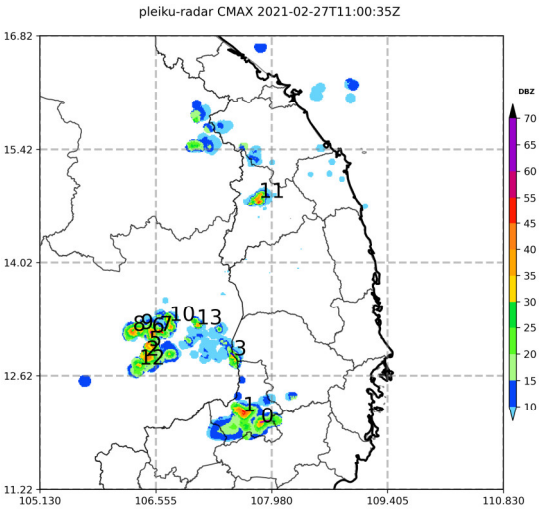
Đây là trường hợp thử nghiệm theo dõi quỹ đạo dông cho cơn dông đơn ổ được phát hiện bởi hệ thống ra đa Pleiku có thời gian tồn tại ngắn, cơn dông này đã gây ra mưa rào và dông

cho khu vực tỉnh Kon Tum và Đăk Nông. Để mô phỏng được sự di chuyển của các đám mây dông do cơn dông này gây ra, dữ liệu ra đa Pleiku từ 10h50 (UTC) đến 13h20 ngày 27/2/2021 đã được thu thập để đưa vào tính toán.

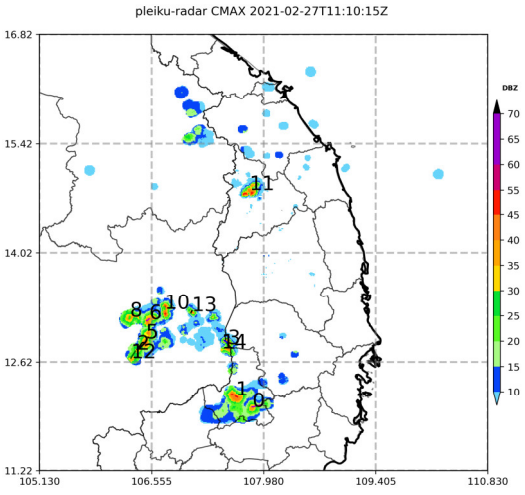
Hình 3 mô tả sự dịch chuyển của các ổ mây dông từ thời điểm 10h50 (UTC) đến 13h20 (UTC) ngày 27/2/2021 với khoảng thời gian là 10 phút một.



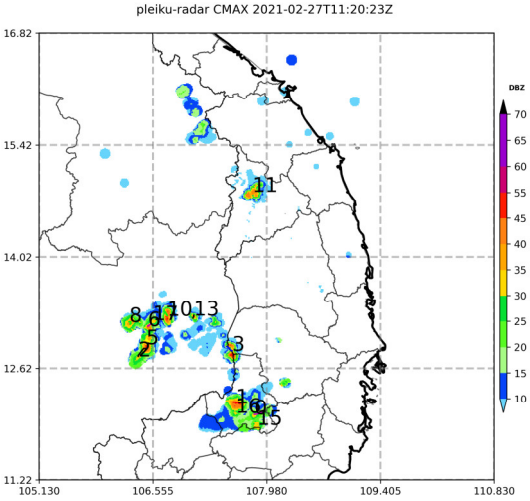
a. 10h50 UTC



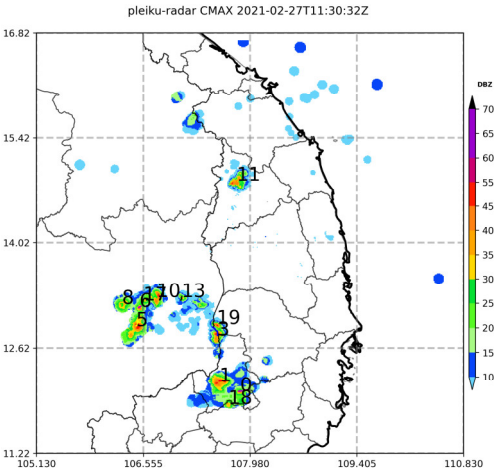
b. 11h00 UTC



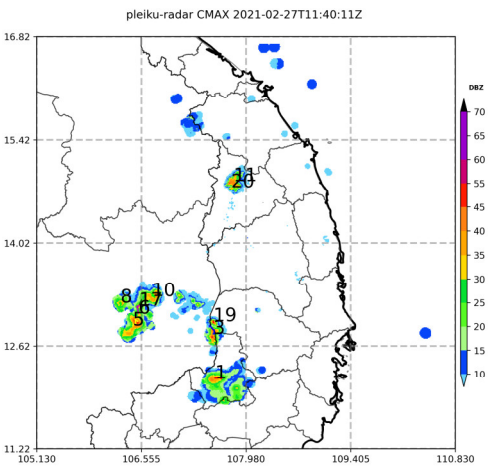
c. 11h10 UTC



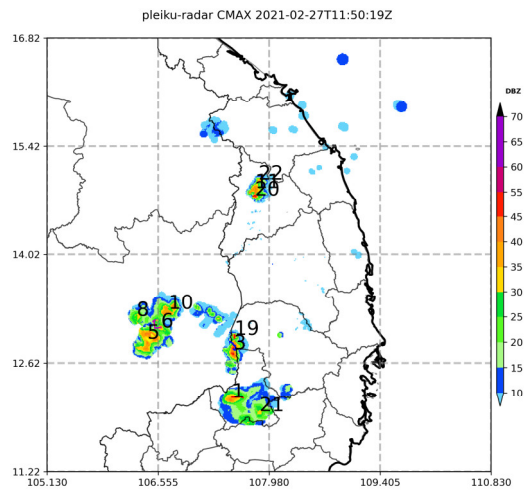
d. 11h20 UTC



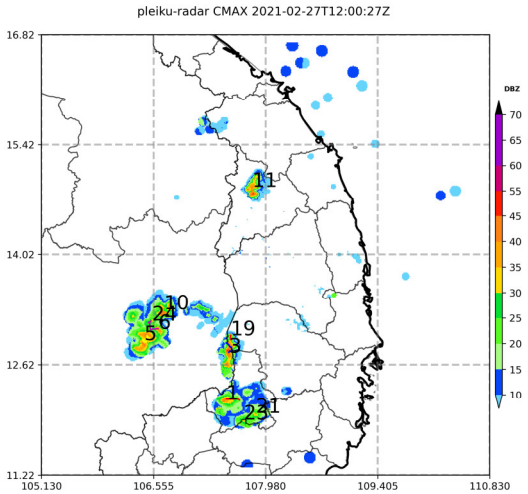
e. 11h30 UTC



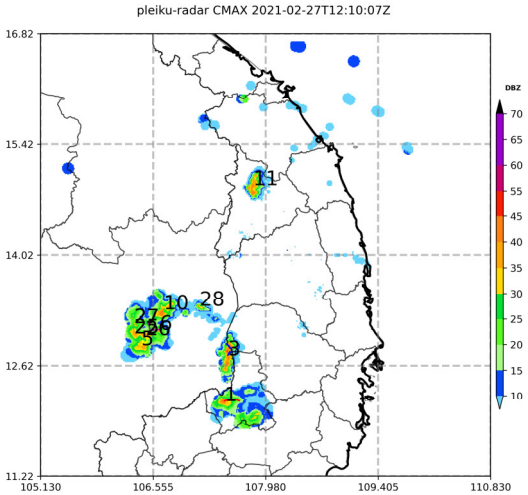
f. 11h40 UTC



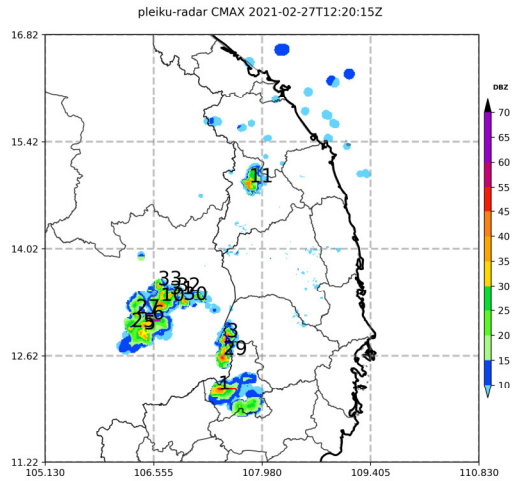
g. 11h50 UTC



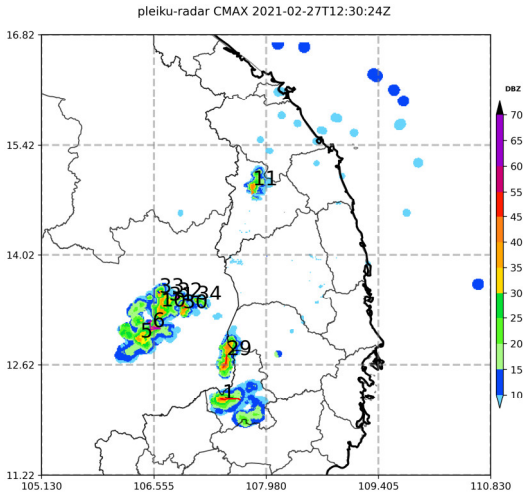
h. 12h00 UTC



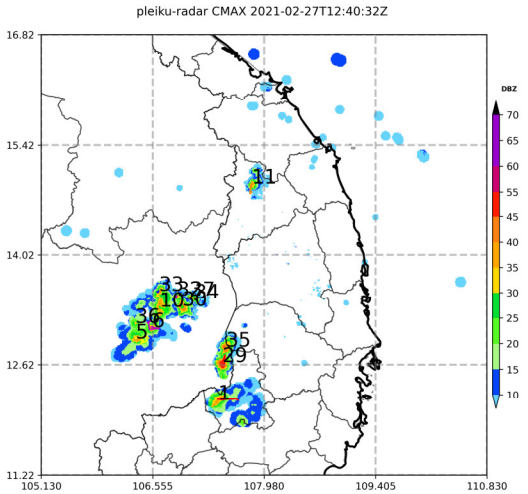
i. 12h10 UTC



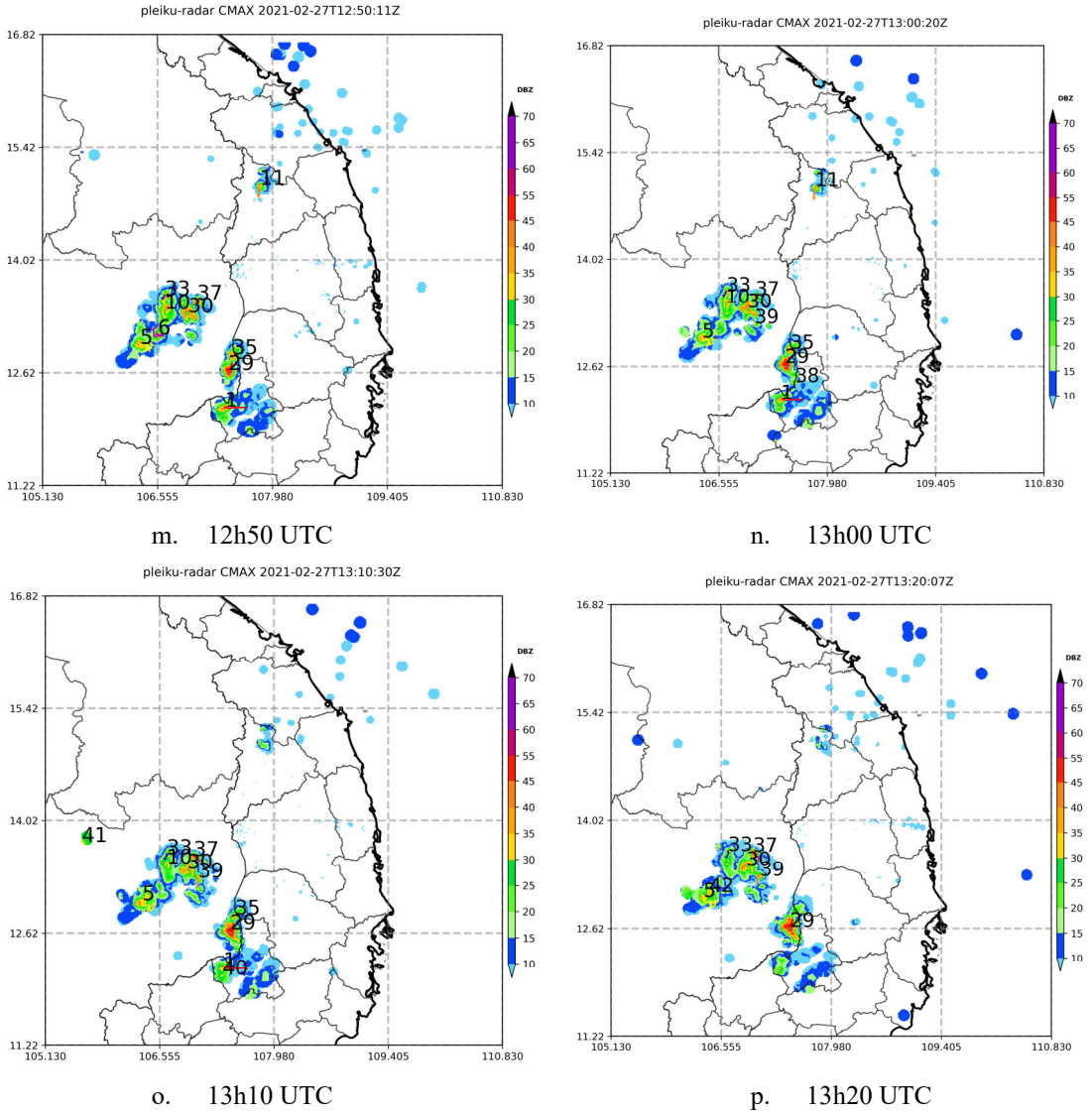
j. 12h20 UTC



k. 12h30 UTC



l. 12h40 UTC



m. 12h50 UTC n. 13h00 UTC

o. 13h10 UTC p. 13h20 UTC

Hình 3. Theo dõi quỹ đạo dông từ 11h50 (UTC) đến 13h20 (UTC) ngày 27/2/2021.

Nếu chỉ xét các ổ mây dông trên khu vực lãnh thổ Việt Nam thì Hình 2 cho thấy tại thời điểm 10h50 UTC (tức 17h50 giờ Việt Nam) xác định được 11 ổ mây dông phát triển rải rác ở khu vực tỉnh Kon Tum, Đăk Nông, Đăk Lăk và biên giới Campuchia – Gia Lai, ổ mây dông ở tỉnh Đăk Nông là các ổ dông đa ổ (2 ổ) di chuyển chậm theo hướng Tây Tây Nam, ổ mây dông ở tỉnh Kon Tum là ổ dông đơn ổ có xu hướng phát triển tại chỗ và ít dịch chuyển. Tại thời điểm 11h00 UTC nhận thấy ổ dông tại tỉnh Kon Tum phát triển mạnh hơn với lõi phản hồi vô tuyến được tăng cường thêm rộng hơn; ổ dông đa ổ tại khu vực tỉnh Kon Tum cũng mạnh lên và được tách thành 2 ổ riêng rẽ với số hiệu là 0 và 1.

Tiếp tục tập trung phân tích các ổ mây dông 0, 1 và 11 tại các thời điểm tiếp theo nhận thấy ổ mây dông 11 tại khu vực tỉnh Kon Tum tiếp tục phát triển mạnh hơn trở thành dông đa ổ (4 ổ) lúc 11h10 UTC. Ô dông số hiệu 11 này tiếp tục phát triển và dịch chuyển theo hướng Đông Bắc gây mưa rào và dông cho tỉnh này, sau đó lúc 11h40 UTC chúng có dấu hiệu tách ổ thành 2 đám dông có số hiệu là 11 và 20, lõi ổ dông số hiệu 20 và 22 có thời gian tồn tại ít và sau đó tan rã tại thời điểm 12h00 UTC, còn ổ dông số 11 tiếp tục di chuyển và tồn tại thêm tới thời điểm 13h00 UTC mới tan rã. Như vậy với các ổ mây dông mạnh, đơn ổ thường có thời gian tồn tại khoảng 1–3 giờ thì chương trình theo dõi quỹ đạo di chuyển của vùng mưa dông nắm bắt được khá tốt.

Ở các thời điểm tiếp theo ổ dông mang số hiệu 0 và 1 vẫn tồn tại, mở rộng, phát triển mạnh hơn và có xu hướng dịch chuyển chậm hơn theo hướng Tây Tây Nam cho đến 13h20 UTC mới có dấu hiệu suy yếu và tan rã. Các ổ mây dông này đã gây mưa rào và dông mạnh cho các huyện Tuy Đức, Đăk Song, thành phố Gia Nghĩa với lượng mưa phổ biến 35–55 mm/3h (16h00 UTC – 19h00UTC). Tại thời điểm 11h20 UTC có nhiều ổ dông nhỏ có lõi phản hồi vô tuyến mạnh hơn 35 dBZ được xác định là các ổ dông mới hình thành mang số hiệu 15 và 16, nhưng chỉ 10 phút sau chúng đã yếu đi và tan rã. Đến thời điểm 11h40 UTC các ổ dông khác tại khu vực tỉnh Đăk Nông đã suy yếu và chỉ còn ổ dông mang số hiệu 1 là tồn tại, đến 12h00 UTC vùng dông 1 này tách ra thành 2 đám dông 21 và 23, sau đó nhanh chóng suy yếu. Vùng lõi dông mạnh của vùng dông 1 vẫn tiếp tục tồn tại với cường độ phản hồi vô tuyến yếu hơn so với các thời điểm trước, sau đó đến khoảng 13h10 UTC thì tan rã. Trong trường hợp ổ dông 1 này thì vòng đời tồn tại của nó cũng trong khoảng gần 3 giờ, trong quá trình đó cũng xảy ra sự tách và nhập dông, sự phát triển và suy yếu trong chính lõi của ổ mây dông này. Chương trình theo dõi quỹ đạo ổ mây dông cũng nắm bắt được xu thế dịch chuyển cũng như sự nhập, tách và đã hiệu chỉnh để tăng số lượng đám dông trong quá trình theo dõi.

Trong trường hợp thử nghiệm thứ hai ngày 27/2/2021, kết quả ban đầu cho thấy rằng chương trình theo dõi ổ mây dông trong nghiên cứu này xây dựng đã bắt được xu hướng dịch chuyển, quỹ đạo của các vùng mây dông từ khi xuất hiện đến khi tan rã, rõ ràng nhận diện được dấu hiệu tan rã cũng như phát triển của từng vùng mây dông riêng rẽ. Chương trình cũng thể hiện rõ tính khả thi khi theo dõi các ổ dông phát triển cục bộ có kích thước nhỏ, không mang tính hệ thống, tồn tại trong thời gian từ 1 đến 3 giờ.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã trình bày về phương pháp theo dõi quỹ đạo các ổ mây dông được phát triển dựa trên thuật toán của phần mềm TITAN. Các ngưỡng được đưa ra để xác định và khoanh vùng khu vực các ổ mây dông gồm các thông số là: FIELD_THRESH, ISO_THRESH, ISO_SMOOTH, MIN_SIZE, SEARCH_MARGIN, FLOW_MARGIN, MAX_DISPARITY, MAX_FLOW_MAG, MAX_SHIFT_DISP và GS_ALT.

Chương trình theo dõi ổ mây dông được áp dụng thử nghiệm để theo dõi quỹ đạo vùng mưa dông phát triển cục bộ gây ra mưa rào và dông mạnh cho khu vực Đăk Nông và Kon Tum vào ngày 27/2/2020 và trường hợp mưa dông ngày 23/9/2020 gây ảnh hưởng chủ yếu các tỉnh thuộc khu vực Tây Bắc nước ta. Dữ liệu ở hai trạm ra đa thời tiết Pleiku và Pha Đin được lựa chọn để tính toán tại các thời điểm thích hợp tương ứng với 2 trường hợp trên. Các ngưỡng được thiết lập phát hiện dông là 35 dBZ và có diện tích là từ 20 pixel trở lên. Chương trình đơn giản, dễ cài đặt, dễ sử dụng, không yêu cầu phải thiết lập đầu vào dữ liệu ra đa theo các luồng xử lý dữ liệu mặc định như phần mềm TITAN. Chương trình được viết để xử lý tất cả dữ liệu ra đa của Việt Nam, có thể sử dụng cho riêng từng loại ra đa hoặc sử dụng cho mạng lưới tổ hợp các ra đa của Việt Nam do đó chương trình được xây dựng trên thuật toán đề cập trong nghiên cứu này linh hoạt và tiện lợi hơn phần mềm TITAN là thường chỉ áp dụng được với từng hệ thống ra đa riêng lẻ.

Một số kết quả nghiên cứu ban đầu cho thấy rằng thuật toán theo dõi quỹ đạo di chuyển của vùng mưa dông được đề cập ở trên là tương đối phù hợp, đã bắt được xu hướng dịch chuyển của các vùng mây, quỹ đạo từ khi xuất hiện đến khi tan rã của vùng mây. Tuy nhiên số lượng cơn dông tăng lên khá nhanh nếu ngưỡng PHVT được chọn là thấp và có vẻ như thuật toán phù hợp hơn trong việc theo dõi các ổ dông đơn lẻ, phát triển cục bộ. Bài báo mới chỉ dừng lại ở việc theo dõi sự di chuyển của các ổ mây dông, chưa tập trung nghiên cứu sâu vào cơ chế phát triển của từng ổ mây dông nguy hiểm. Do đó cần phát triển đồng bộ thêm với chương trình theo dõi ổ mây dông là các nghiên cứu về mặt cắt gần thẳng đứng để phân tích chi tiết hoá quá trình vi vật lý mây của từng đám mây, từ đó dự báo sự phát triển, di chuyển của từng ổ mây dông.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: B.T.K.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: B.T.K.H, N.V.T., P.K.Q.; Xử lý số liệu: N.V.H.; Phân tích mẫu: B.T.K.H, N.V.H., N.T.H.A., P.K.Q.; Lấy mẫu: B.T.K.H., N.V.H. Viết bản thảo bài báo: B.T.K.H, N.T.H.A.; Chỉnh sửa bài báo: B.T.K.H, N.T.H.A.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ "Nghiên cứu xây dựng công cụ cảnh báo dông và định lượng mưa cho các khu vực ở Việt Nam trên cơ cở sử dụng số liệu ra đa thời tiết, định vị sét, ảnh mây vệ tinh Himawari và mưa bề mặt", mã số TNMT.2018.05.18.

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 sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Dixon, M.; Wiener, G. TITAN: Thunderstorm identification, tracking, analysis, and nowcasting – A radar–based methodology. *J. Atmos. Ocean. Technol.* **1993**, *10*, 785–797.
2. Dixon, M. Titan: Workshop on Techniques for Convective Storm Nowcasting. **2011**. https://slideplayer.com/slide/9372394/.
3. Han, L.; Fu, S.X.; Yang, G., Wang, H.Q.; Zheng, Y.G.; Lin, Y.J. A stochastic method for convective storm identification, tracking and nowcasting. *Prog. Nat. Sci.* **2008**, *18*, 1557–1563.
4. Han, L.; Fu, S.; Zhao, L.; Zheng, Y.; Wang, H.; Lin, Y. 3D convective storm identification, tracking, and forecasting – An enhanced TITAN algorithm. *J. Atmos. Ocean. Technol.* **2009**, *26*, 719–732.
5. Johnson, J.; Mac Keen, P.; Witt, A.; Mitchell, E.; Stumpf, G.; Eilts, M.; Thomas, K. The storm cell identification and tracking algorithm: An enhanced WSR-88D algorithm. *Weather Forecasting* **1998**, *13*, 263–276.
6. Kessinger, C.; Hondl, K.; Rabin, R. An efficient, general–purpose technique for identifying storm cells in geospatial images. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **2009**, *26*, 523–537.
7. Lakshmanan, V.; Hondl, K.; Rabin, R. An efficient, general-purpose technique for identifying storm cells in geospatial images. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **2009**, *26*, 523–537.
8. Liu, X. The short–time forecasting and nowcasting technology of severe convective weather for aviation meteorological services in China. **2017**. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4420.
9. Rinehart, R.E.; Garvey, E.T. Three-dimensional storm motion detection by conventional weather radar. *Nat*. **1978**, *273*, 287–289.
10. Trapp, J.; Tessendorf, S.; Godfrey, E.; Brooks, H. Tornadoes from squall lines and bow echoes. Part I: Climatological distribution. *Weather Forecasting* **2005**, *20*, 23–34.
11. Thanh, C.; Nguyên, V.T.; Thức, T.D. Ứng dụng phần mềm Titan để nhận dạng, theo dõi, phân tích tức thời ổ dông cho khu vực Thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội, Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2018,** *34(1S)*, 18–25.

An experimental study on thunderstorm tracking using weather radar data in Vietnam

Bui Thi Khanh Hoa[1*], Nguyen Vinh Thu[1], Phung Kien Quoc[1], Nguyen Viet Hung[1], Nguyen Thi Hoang Anh[1]

[1]Aero Meteorological Observatory; khanhhoa303@gmail.com; vinhthu73@gmail.com; kienquocamo@gmail.com; nguyenviethungb115@gmail.com; hoanganhck@gmail.com

Abstract: Weather radar is an effective monitoring tool for tracking, detecting, and nowcasting the movement of convection cloud areas that can cause dangerous weather phenomena. This paper introduces the new method for thunderstorm tracking based on TITAN software "Thunderstorm identification, tracking, analysis and nowcasting" using the weather radar reflectivity in Vietnam. The experimental study is applied to the case of thunderstorms that affected mainly the Northwest Region on September 23rd, 2020 and the the case of thunderstorms that affected Kon Tum and Dak Nong provinces on February 27th, 2021. The results showed that the developed algorithm for thunderstorm tracking can catch the movement of the cloud areas from the developing stage to the dissipating stage. That algorithm, however, seems to be better for single–cell thunderstorm tracking.

Keywords: Thunderstorm; Weather radar; Tracking.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Bài báo khoa học

Ứng dụng WRF/CMAQ mô phỏng ô nhiễm PM_{10} từ hoạt động giao thông – Trường hợp Tp. Hồ Chí Minh

Nguyễn Châu Mỹ Duyên[1,2], Nguyễn Hoàng Phong[1,2], Bùi Tá Long[1,2*]

[1] Trường Đại học Bách Khoa Tp. HCM; nguyenduyen91@hcmut.edu.vn; nhphongee407@gmail.com; longbt62@hcmut.edu.vn.
[2] Đại học Quốc gia Tp. HCM; nguyenduyen91@hcmut.edu.vn; nhphongee407@gmail.com; longbt62@hcmut.edu.vn
* Tác giả liên hệ: longbt62@hcmut.edu.vn; Tel.: +84–918017376

Ban Biên tập nhận bài: 24/02/2021; Ngày phản biện xong: 17/3/2021; Ngày đăng bài: 25/4/2021

Tóm tắt: Kết quả quan trắc chất lượng không khí ven đường tại Tp.HCM trong 2 năm 2017–2018, cho thấy, nồng độ bụi PM_{10} trung bình ngày nằm trong ngưỡng 25–133 $\mu g/m^3$ với 2017, ngưỡng 50–120 $\mu g/m^3$ với 2018, tuy còn đạt QCVN 05:2013/BTNMT nhưng vẫn ở mức cao. Trong bối cảnh bụi mịn có thể được vận chuyển trên một khoảng cách khá xa, ảnh hưởng đến sức khỏe cộng đồng, mô hình hóa vẫn là một trong những công cụ hữu hiệu để đánh giá mức độ phát tán PM_{10} nhiễm tới các huyện ngoại thành như Cần Giờ, Bình Chánh, Nhà Bè nơi mật độ trạm quan trắc giới hạn. Nghiên cứu này ứng dụng hệ thống mô hình WRF/CMAQ đánh giá diễn biến theo không gian, giai đoạn 01–15/10/2017. Thời điểm được lựa chọn khi nồng độ bụi PM_{10} có tần suất nồng độ cao đột biến. Trong nghiên cứu này đã sử dụng bộ dữ liệu phát thải toàn cầu, thực hiện bước hiệu chỉnh theo phương pháp phương pháp đồng nhất dữ liệu giữa các kết quả quan trắc và mô phỏng nhằm nâng cao chất lượng mô phỏng. Cách tiếp cận bài báo này cho phép mở rộng phạm vi ứng dụng cho các tỉnh thành khác trong điều kiện hạn chế số liệu quan trắc tại Việt Nam.

Từ khóa: Ô nhiễm không khí; Phát thải giao thông; Khí tượng; PM_{10}; WRF/CMAQ.

1. Mở đầu

Hoạt động giao thông đường bộ là một trong những nguồn phát thải khí độc hại và nguồn gây ô nhiễm không khí. Theo số liệu của Cơ quan Môi trường Châu Âu, loại hình này là nguyên nhân gây ra 22,4%, 39,8%, 42,7% và 16,2% tổng lượng CO_2, NO_x, CO và PM_{10} phát thải trong lãnh thổ 27 nước châu Âu [1–2]. Tại nước Nga, ô nhiễm không khí ở các thành phố là một trong những vấn đề nghiêm trọng từ các phương tiện giao thông [3]. Giao thông đường bộ ở các thành phố của Nga chiếm từ 40 đến 70% tổng lượng khí thải ô nhiễm nguy hiểm, đặc biệt là các chất NO_x, CO, PM_{10} [3]. Do đó, ước tính lượng phát thải và đánh giá ô nhiễm từ loại hình hoạt động này lên chất lượng không khí là cần thiết trong khuôn khổ bài toán bảo vệ môi trường và một khía cạnh quan trọng của hệ thống quản lý giao thông đô thị [3–4]. Với sự tăng trưởng nhanh chóng của phương tiện giao thông lượng phát thải khí từ hoạt động này đang trở thành một thách thức lớn ở Trung Quốc [5]. Hoạt động giao thông đường bộ của nước này chiếm khoảng 85% trở lên mức tiêu thụ năng lượng và phát thải khí nhà kính. Cũng theo nghiên cứu được trích dẫn, khoảng 90% lượng xăng và 60% lượng dầu diesel được sử dụng cho các phương tiện giao thông đường bộ. Tốc độ tăng phát thải khí nhà kính từ vận tải đường bộ ở Trung Quốc luôn vượt quá tốc độ tăng trưởng kinh tế [5].

Theo báo cáo gần đây [6], thành phố Hồ Chí Minh hiện là địa phương có lượng phát thải khí nhà kính lớn nhất Việt Nam với 38,5 triệu tấn CO_2, chiếm khoảng 16% lượng phát thải

quốc gia, trong đó phát thải khí từ hoạt động giao thông, vận tải chiếm đến 45%. Thống kê của Sở Giao thông Vận tải Thành phố Hồ Chí Minh cho thấy, đến tháng 6/2020, Thành phố đang quản lý gần 8,5 triệu phương tiện giao thông đường bộ, trong đó môtô, xe máy là gần 7,8 triệu chiếc, chiếm hơn 95% tổng lượng xe [6]. Kết quả quan trắc chất lượng không khí của Sở Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh cũng cho thấy, đến cuối năm 2020, các phương tiện giao thông, vận tải trên địa bàn thành phố, đặc biệt là xe máy sẽ tạo ra lượng phát thải lên đến gần 17 triệu tấn các loại khí độc gồm HC (hydrocarbon), CO (carbon monoxit) và NO_x (oxit nitơ). Một kịch bản đã thực hiện tại Tp. HCM cho thấy, nếu không có bất kỳ hành động giảm thiểu nào thì đến năm 2030, lượng phát thải giao thông tại Thành phố Hồ Chí Minh sẽ tăng khoảng 2,6 lần so với hiện tại, tức là lên đến hơn 44 triệu tấn [6].

Các dự báo ô nhiễm không khí do hoạt động giao thông đường bộ luôn được quan tâm từ các nhà hoạch định chính sách. Chính phủ nhiều nước đã tìm kiếm các chính sách hiệu quả để hạn chế nhu cầu sử dụng năng lượng, giảm phát thải khí nhà kính từ vận tải đường bộ. Để đưa ra các khuyến nghị, các nghiên cứu dự báo xu hướng phát thải khí cũng như ô nhiễm không khí từ hoạt động do giao thông đường bộ là cần thiết [6]. Tại châu Âu, sách lược kiểm soát phát thải được ban hành nhằm giảm thiểu các tác động như: ủy ban châu Âu (EC) đã xác định và đang thực hiện các chính sách kiểm soát vận tải đường bộ theo mục tiêu giảm thiểu các tác động. Các chính sách quan trọng như: ban hành chuẩn phát thải quốc gia 2001/81/EC, đề ra chương trình hành động về môi trường 2002–2005, xác định chiến lược về ô nhiễm không khí COM (2005) 446, ban hành qui định về giảm thiểu phát thải khí CO2 (2009) 447 [1]. Dựa trên các chính sách này, các gói biện pháp và sáng kiến đã được áp dụng trong những năm gần đây, như chiến lược cộng đồng về giảm thiểu phát thải CO_2 từ ô tô chở khách, chương trình không khí sạch cho châu Âu (CAFÉ), kế hoạch hành động tiết kiệm năng lượng, chương trình biến đổi khí hậu châu Âu (ECCP), v.v.. [1]. Các gói này chứa các biện pháp khác nhau nhưng tạo thành một sức mạnh tổng thể. Đặc biệt, ủy ban châu Âu đã điều chỉnh tổng phát thải chất ô nhiễm được tạo ra hàng năm và đưa vào mức trần cho $PM_{2.5}$. Trong một nỗ lực khác, các mô hình phát thải được áp dụng ở các quốc gia thành viên khác nhau để ước tính đóng góp của giao thông đường bộ vào tổng lượng phát thải. Cụ thể, Áo sử dụng GLOBEMI, Phần Lan sử dụng LIPASTO, Đức sử dụng TREMOD, Hà Lan sử dụng VERSIT+ và Thụy Điển sử dụng phiên bản ARTEMIS được phát triển riêng. Tuy nhiên, hầu hết các quốc gia châu Âu (22 trong số 27 quốc gia) sử dụng mô hình COPERT [1].

Thực thi chính sách phát triển kinh tế và đô thị hóa bền vững, Trung Quốc luôn chịu áp lực lớn từ việc cần phải giảm phát thải trong giao thông đường bộ. Nguồn phương tiện dự kiến sẽ tăng lên 500–600 triệu vào năm 2050, từ con số 192 triệu vào năm 2016 là một thách thức lớn. Lượng phát thải khí nhà kính từ giao thông đường bộ sẽ chiếm 12% tổng lượng quốc gia vào năm 2030 [5]. Do sự khác biệt về quy mô và trình độ phát triển kinh tế – xã hội, cùng xu hướng phát triển giao thông đường bộ trong tương lai sẽ có sự khác nhau đáng kể giữa các tỉnh. Một số chính sách ở cấp quốc gia đã được chính phủ Trung Quốc đưa ra nhằm thúc đẩy tiết kiệm năng lượng và giảm phát thải trong lĩnh vực giao thông đường bộ, như cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng từ các phương tiện, tăng cường sử dụng phương tiện năng lượng mới và thúc đẩy nhiên liệu thay thế. Cùng với chính sách Quốc gia, từng tỉnh có đưa ra các chính sách cụ thể lưu ý đến sự khác biệt về địa lý và kinh tế xã hội. Các nghiên cứu này đều đưa ra cách tiếp cận từ dưới lên dự báo nhu cầu sử dụng năng lượng và phát thải khí, có lưu ý tới tăng trưởng lượng phương tiện, phát triển công nghệ mới, quãng đường xe đã đi, hiệu suất sử dụng nhiên liệu.

Tại Nga, tính toán cho kiểm kê phát thải giao thông đường bộ được NIIAT, Viện nghiên cứu khoa học giao thông đường bộ Nga, phát triển dựa trên các phương pháp tiếp cận CORINAIR (chương trình kiểm kê phát thải ô nhiễm không khí), các đặc điểm cụ thể của loại xe cơ giới và điều kiện giao thông. Trên cơ sở mô hình giao thông của Matxcova, dữ liệu giao thông, dữ liệu về kẹt xe đã được thực hiện tính toán phát thải giao thông cơ giới hiện có [3–4].

Trong những năm gần đây, vấn đề ô nhiễm không khí thu hút sự quan tâm ở Việt Nam, đặc biệt là các thành phố lớn của đất nước, trong đó có thành phố Hồ Chí Minh [8]. Các số liệu quan trắc thường kỳ, dù chưa thể phản ánh thực chất nhưng cũng cho thấy thành phố thường xuyên rơi vào tình trạng ô nhiễm không khí do bụi [9], trong đó có bụi PM_{10} [10]. Cụ thể, trong 3 tháng đầu năm 2017 ở Tp. Hồ Chí Minh, nồng độ trung bình PM2.5 có 6 ngày vượt quá quy chuẩn quốc gia (50 $\mu g/m^3$) và 78 ngày cao hơn so với tiêu chuẩn của WHO (25 $\mu g/m^3$) [11].

Đã có một số nghiên cứu mô phỏng PM_{10}, $PM_{2.5}$ cho phạm vi thành phố [11] hay cho một quận cụ thể của Tp.HCM [10]. Điểm chung của các nghiên cứu này là sử dụng cách tiếp cập từ dưới lên (bottom–up) để xây dựng dữ liệu phát thải. Khó khăn của cách tiếp cận này là việc thu thập đầu vào cho tính toán phát thải như: thành phần xe, loại đường, cường độ giao thông, hiệu suất của phương tiện, loại nhiên liệu, kiểu đô thị, bao gồm khu vực có mật độ cao, sử dụng đất hỗn hợp rất khó khăn. Thực tế Việt Nam, việc cung cấp dữ liệu hoạt động giao thông cần chính xác, cần phải cập nhật, rất khó thực hiện trong điều kiện hiện nay của đất nước [12–14]. Sự khác nhau giữa các nghiên cứu còn thể hiện ở lựa chọn mô hình khí tượng và mô hình lan truyền chất có lưu ý tới phản ứng hóa học TAPOM (*Transport and Photochemistry Mesoscale Model*) [10]. Trong nghiên cứu [10] sử dụng mô hình FVM, trong khi [11] sử dụng bộ mô hình *Weather Research and Forecasting Model (WRF)/Community Multiscale Air Quality (CMAQ)*.

Nghiên cứu này đưa ra cách tiếp cận khác với các nghiên cứu đã có, sử dụng bộ dữ liệu phát thải từ nguồn số liệu kiểm kê phát thải toàn cầu, được mô tả chi tiết trong mục 2, kết hợp với bộ công cụ WRF/CMAQ mô phỏng ô nhiễm PM_{10} cho khu vực Tp.HCM. Các kết quả mô phỏng ban đầu được hiệu chỉnh theo phương pháp đồng nhất dữ liệu, dựa trên bộ số liệu quan trắc và được kiểm định lại trước khi áp dụng để mô phỏng sự lan truyền và hàm lượng PM_{10}.

2. Phương pháp và số liệu

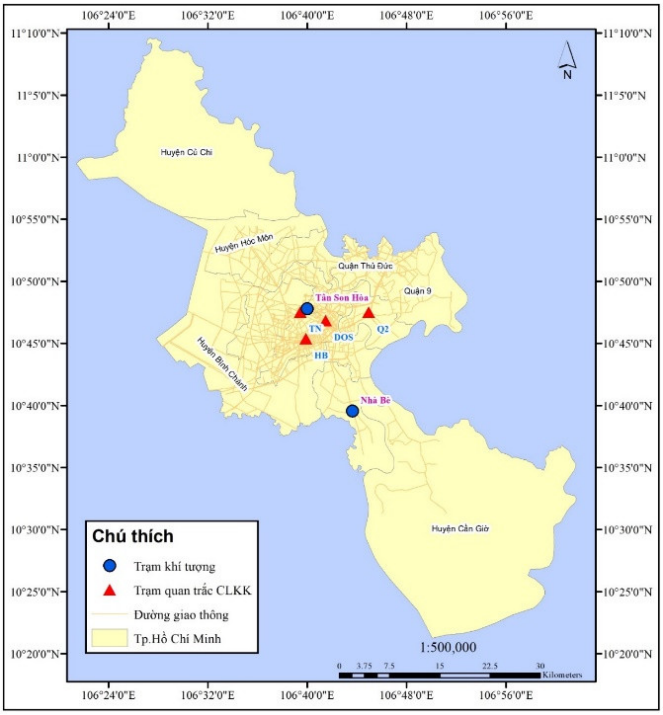
2.1. Khu vực nghiên cứu

Thành phố Hồ Chí Minh là hạt nhân của vùng kinh tế trọng điểm phía Nam, một trong ba vùng kinh tế trọng điểm lớn nhất nước. Tuy chỉ chiếm 0,6% diện tích và 9% dân số cả nước nhưng Tp.HCM đóng góp 22% GDP cả nước. Cụ thể là tổng giá trị GDP của cả nước năm 2018 đạt khoảng 236.1 tỷ USD [15–16], trong đó, riêng quy mô GRDP của Tp. HCM đạt 52,2 tỷ USD [17]. Diện tích toàn thành phố là 2.095,4 km^2, được chia làm 19 quận và 5 huyện. Do giới hạn nghiên cứu ô nhiễm PM_{10} nên trên Hình 1 chỉ các vị trí đo khí tượng, vị trí đo chất lượng không khí do phương tiện giao thông được sử dụng trong nghiên cứu này.

2.2. WRF/CMAQ

Mô hình Dự báo và Nghiên cứu Thời tiết – WRF version 3.8 được sử dụng. Đây là một trong những mô hình dự báo thời tiết số được sử dụng rộng rãi trên thế giới hiện nay [18–20]. WRF được thiết kế để trở thành một hệ thống mô phỏng khí quyển linh hoạt, hiện đại và hiệu quả trên các nền tảng điện toán song song, với độ phân giải trên phạm vi từ mét đến hàng ngàn km [21–22]. Cùng với WRF, mô hình CMAQ ver. 5.2.1, được lựa chọn mô phỏng quá trình lan truyền PM10. Đây là mô hình được Cơ quan bảo vệ môi trường Mỹ (*US Environmental Protection Agency – US EPA*) xây dựng và phát triển trong nhiều năm qua [23–27]. CMAQ có khả năng mô phỏng các quá trình động lực khí quyển phức tạp, có lưu ý tới phản ứng hóa học, lắng đọng, có giao diện thân thiện với người sử dụng [24]. CMAQ sở hữu cách tiếp cận chất lượng không khí một cách tổng quát với các kỹ thuật hiện đại trong các vấn đề mới được lưu ý như khí ôzôn trên tầng đối lưu, độc tố, bụi mịn, lắng đọng axít, suy giảm tầm nhìn. CMAQ còn là một công cụ hỗ trợ quyết định quan trọng được sử dụng để giúp hiểu các quá trình hóa học và vật lý liên quan đến suy thoái chất lượng không khí và

phát triển chính sách giảm thiểu tác hại của ô nhiễm không khí đối với sức khỏe con người và môi trường trên toàn thế giới [28–30]. Độ phân giải và kích thước miền tính có thể khác nhau một vài bậc theo không gian và thời gian. Tính mềm dẻo theo thời gian cho phép thực hiện các mô phỏng nhằm đánh giá dài hạn của các chất ô nhiễm (trung bình khí hậu), hay lan truyền ngắn hạn mang tính địa phương, đặc biệt đã được áp dụng thành công tại nhiều nước trên thế giới trong đó có khu vực châu Á [29, 31–34].



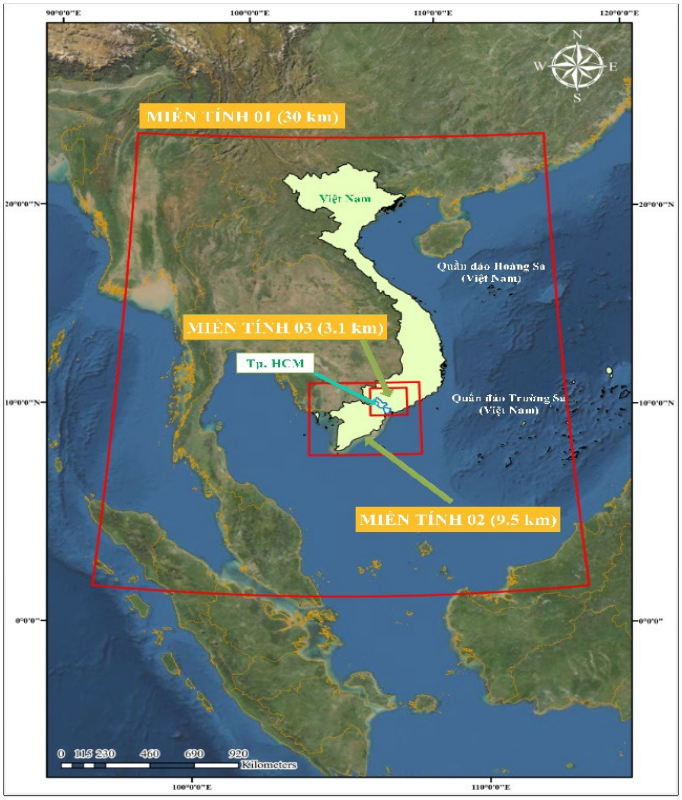
Hình 1. Bản đồ Tp. HCM – đối tượng nghiên cứu của bài báo cùng các vị trí quan trắc chất lượng không khí và khí tượng.

Miền tính toán mô phỏng lồng nhau ba cấp D01, D02 và D03 được thiết lập trong mô hình WRF–CMAQ (Hình 2), trong đó miền tính D01 có độ phân giải không gian xấp xỉ 30,43 km × 30,43 km là miền tính lớn nhất, với 76 cột và 94 hàng, diện tích miền D01 khoảng ~5,41×106 km^2; miền tính D02 có độ phân giải không gian xấp xỉ 9,55 km × 9,55 km là miền tính thứ 2 lồng trong miền tính D01, với 55 cột và 3 hàng, diện tích miền D02 khoảng ~2,11×105 km^2 và miền tính D03 có độ phân giải không gian xấp xỉ 3,14 km × 3,14 km là miền tính nhỏ nhất lồng trong 02 miền tính D01 và D02, với 55 cột và 49 hàng, diện tích miền D03 khoảng ~2,64×104 km^2. Các thông số kỹ thuật của các miền tính toán D01, D02 và D03 được trình bày trong Bảng 1 bên dưới. Miền tính D01 bao phủ hết toàn bộ Việt Nam; miền tính D02 bao gồm hầu hết các tỉnh phía Nam, bao gồm các tỉnh Đồng bằng sông Cửu Long, Đông Nam Bộ, một phần các tỉnh Nam Trung Bộ và Tây Nguyên và miền tính D03 bao phủ toàn bộ Tp. HCM cùng một phần các tỉnh giáp ranh Bến Tre, Bình Dương, Bình Phước, Bình Thuận, Bà Rịa–Vũng Tàu, Đồng Nai, Lâm Đồng, Long An, Tây Ninh và Tiền Giang (Bảng 1), đây là các khu vực có thể có ảnh hưởng đáng kể nhất đối với khu vực nghiên cứu. Các điều kiện biên của D02 và D03 được xác định theo D01.

Bảng 1. Miền không gian tính toán cho hệ thống mô hình hóa WRF–CMAQ.

Thông số	Miền tính D01	Miền tính D02	Miền tính D03
Phạm vi miền tính	Toàn bộ Việt Nam	Các tỉnh phía Nam Việt Nam	Tp. HCM và các tỉnh phụ cận
Kích thước không gian X [km] × Y [km]	2.312,68 × 2.860,42	525,25 × 410,65	172,70 × 153,86

Thông số	Miền tính D01	Miền tính D02	Miền tính D03
Số nút lưới tính $N_x \times N_y$	75 × 93	54 × 42	54 × 48
Tổng số ô lưới tính	7.144	2.365	2.695
Kích thước ô lưới (km)	30,43	9,55	3,14
Tọa độ tâm miền	(13,3826°; 104,969°)	(10,1195°; 105,955°)	(10,937°; 106,953°)
Hệ tọa độ thiết lập	Asia Lambert Conformal Conic	Asia Lambert Conformal Conic	Asia Lambert Conformal Conic
Loại miền tính thiết lập	The nested modelling domain	The nested modelling domain	The nested modelling domain

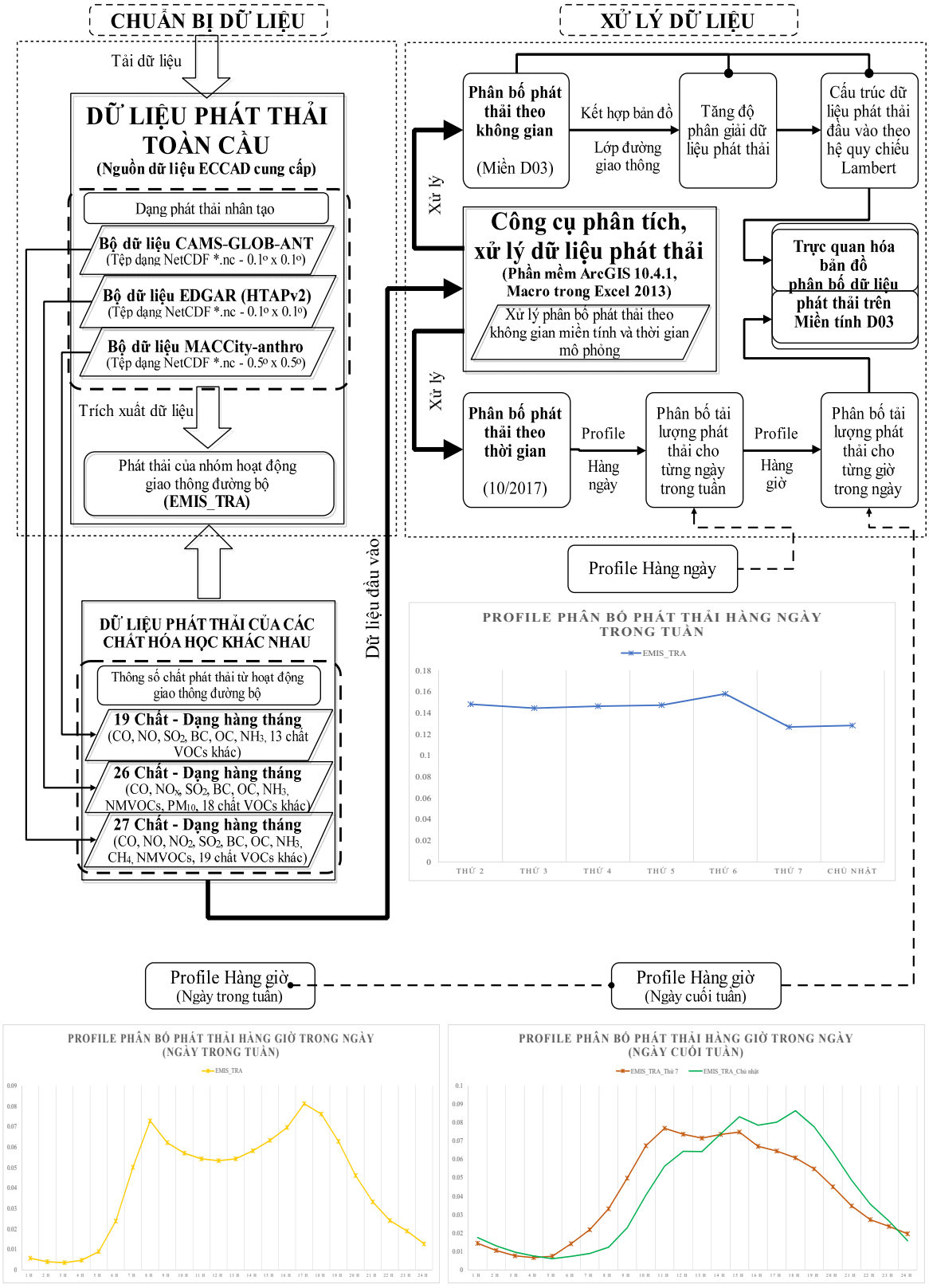


Hình 2. Lưới D1, D2, D3 được sử dụng chạy WRF/CMAQ.

Xây dựng dữ liệu phát thải là một bước quan trọng trong các nghiên cứu mô hình hóa ô nhiễm không khí. Hiện nay, trong lĩnh vực này có hai cách tiếp cận, đó là từ dưới lên (*Bottom–up*) và từ trên xuống (*Top–down*). [4] đã đưa ra đặc trưng từng cách tiếp cận, phân tích ưu và nhược điểm. Theo đó các mô hình phát thải, lan truyền chất theo cách tiếp cận "*bottom–up*" cho phép cung cấp dữ liệu phát thải các chất ô nhiễm từ các phương tiện cơ giới quy mô đường phố. Mô hình loại này cho phép tính toán dựa trên khảo sát toàn diện về cấu trúc của các luồng giao thông, sau đó đưa ra đánh giá sự phân bố của các chất ô nhiễm trong vùng lân cận các con đường. Một số mô hình điển hình sử dụng cách tiếp cận này là mô hình CAR–FMI [35], CALINE 4 [36], OSPM [37]. Nhóm mô hình phát thải, lan truyền chất đi theo cách tiếp cận "*top–down*" hướng tới xác định lượng phát thải của các chất ô nhiễm chính trên quy mô vùng hoặc quốc gia, dựa trên thông tin thống kê về thành phần loại xe, như sản phẩm được sử dụng ở nhiều nước châu Âu : COPERT IV [1, 2, 38].

Nghiên cứu này sử dụng bộ dữ liệu phát thải từ nguồn số liệu kiểm kê phát thải cho toàn cầu ECCAD (*Emissions of atmospheric compounds and compilation of ancillary data*) (https://eccad3.sedoo.fr/) gồm các bộ dữ liệu phát thải nhân tạo (*Anthropogenic emissions*) CAMS–GLOB–AIR, CAMS–GLOB–ANT, EDGAR (HTAPv2) và các bộ dữ liệu phát thải

tự nhiên (*Biogenic emissions*) CAMS–GLOB–BIO, MEGANv2 dưới giá trị thông lượng ($kg.m^{-2}.s^{-1}$) được xây dựng bởi Trung Tâm giám sát khí quyển Copernicus (CAMS) [39], Trung tâm Nghiên cứu liên kết Viện Môi trường và Bền vững Ispra, Ý [40] và Phòng Thí nghiệm CNRS – Paris, Pháp [41].



Hình 3. Các bước tạo bộ dữ liệu phát thải.

Các bước tạo bộ dữ liệu phát thải trong bài báo này được thể hiện trên Hình 3, gồm 2 bước chính: chuẩn bị dữ liệu (khối bên trái) và xử lý dữ liệu (khối bên phải). Bước chuẩn bị gồm tải các bộ dữ liệu: CAMS–GLOB–ANT, EDGAR (HTAPv2), MACCity–anthro, trích xuất dữ liệu giao thông đường bộ EMIS–TRA, có lưu ý tới các chất hóa học liên quan. Bước tiếp theo trong khối xử lý dữ liệu là phân bố phát thải theo không gian trên miền D03 và tạo time series phát thải theo giờ trong ngày.

2.3. Hiệu chỉnh và kiểm định CMAQ

Trong bài báo này, để thực hiện hiệu chỉnh kết quả mô phỏng ban đầu, phương pháp đồng nhất dữ liệu (*fusion data*) giữa các kết quả quan trắc và các kết quả mô phỏng được thực hiện [42–43]. Thực hiện đồng nhất các trường (*field*) dữ liệu nồng độ bằng cách nội suy các kết quả mô phỏng trích xuất theo giờ t (*hourly*) đã được chuẩn hóa nhằm ước tính sự thay đổi theo thời gian và kết quả mô phỏng ước tính sự thay đổi theo không gian. Dựa trên các dữ liệu chuẩn hóa này sẽ tiến hành nội suy không gian theo phương pháp IDW (*Inverse Distance Weighted–IDW*). Công thức (1) ước lượng hai tham số hồi quy α và β phản ánh phương trình tương quan được sử dụng để hiệu chỉnh kết quả mô phỏng từ CMAQ như sau:

$$CMAQ_{x,Corrected} = \alpha CMAQ_x^{\beta} \quad (1)$$

Trong đó $CMAQ_x$ là nồng độ PM10 ban đầu từ kết quả của mô hình CMAQ tại vị trí trạm quan trắc x vào thời điểm cụ thể t (giờ); $CMAQ_{x,\ Corrected}$ là nồng độ PM_{10} đã được hiệu chỉnh gần với kết quả thực đo tại vị trí trạm quan trắc x vào thời điểm cụ thể t (giờ) và α, β là các hệ số của phương trình tương quan sử dụng để hiệu chỉnh.

2.4. Tiêu chí kiểm định mô hình

Chỉ số đánh giá trong nghiên cứu này là hệ số Nash–Sutcliffe (NSE) (công thức (2)).

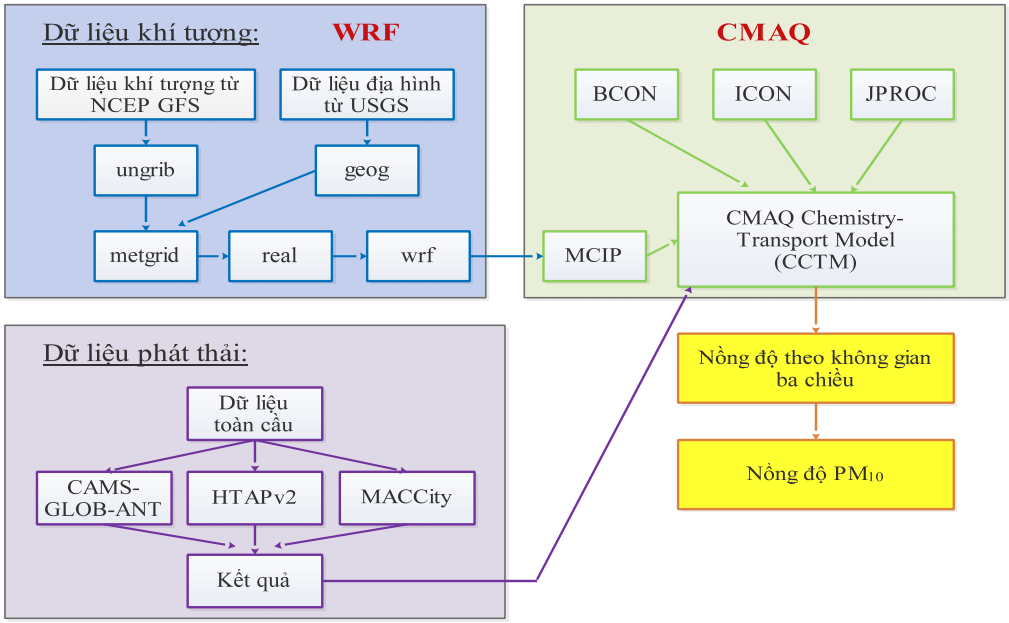
$$NSE(Nash) = 1 - \frac{\sum_{1}^{N}(M_i - O_i)^2}{\sum_{1}^{N}(O_i - \overline{O_i})^2} \quad (2)$$

Trong đó M_i là kết quả nồng độ PM_{10} mô phỏng bằng mô hình kết hợp WRF/CMAQ; O_i là kết quả nồng độ PM_{10} từ 04 trạm quan trắc tại các khu vực quận/huyện của Tp. HCM; $\overline{O_i}$ là kết quả quan trắc PM_{10} trung bình từ các trạm quan trắc tại khu vực nghiên cứu và N là kích thước mẫu kiểm định.

2.5. Sơ đồ các bước thực hiện

Hệ thống mô hình được sử dụng trong bài báo này kết hợp 3 thành phần chính: Mô hình WRF, dữ liệu phát thải và mô hình CMAQ.

Sơ đồ tóm tắt toàn bộ quy trình chạy mô phỏng được thể hiện ở **Error! Reference source not found.**, có tham khảo các nghiên cứu [23–24].



Hình 4. Quy trình thực hiện.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiệu chỉnh và kiểm định WRF

Để đảm bảo độ chính xác của kết quả mô phỏng PM10, việc hiệu chỉnh và kiểm định WRF cần thiết. Trong bài báo, kế thừa kết quả hiệu chỉnh mô hình WRF cho khu vực thành phố Hồ Chí Minh [44]. Kết quả hiệu chỉnh đã tìm ra bộ thông số được chỉ ra trong Bảng 2.

Bảng 2. Giá trị của bộ thông số trước và sau hiệu chỉnh.

Thông số hiệu chỉnh	Trước hiệu chỉnh	Sau hiệu chỉnh
mp_physics	3	4
sf_surface_physics	2	3
bl_pbl_physics	1	99
cu_physics	1	99
cudt	5	0
damp_opt	0	3

Bước kiểm định mô hình WRF sau bước hiệu chỉnh được thực hiện dựa trên số liệu thực đo về khí tượng trong thời gian 1–15/10/2017. Kết quả được thể hiện trên Bảng 3 cho thấy yếu tố nhiệt độ và vận tốc gió đạt yêu cầu, riêng hướng gió chưa có được sự phù hợp giữa đo và kết quả chạy mô hình. Trên thực tế, nhóm tác giả chấp nhận sai số này.

Bảng 3. Kết quả kiểm định khí tượng mô hình WRF.

Thông số		1–15/10/2017		Ngưỡng cho phép
		Nhà Bè	Tân Bình	
T (^{0}K)	OBS	303,05	304,28	
	PRE	302,25	302,19	
	MB	–0,8	–2,09	≤ +–0,5
	RMSE	1,35	1,97	≤ 2
	R^2	0,87	0,7	
Vận tốc gió (m/s)	OBS	1,86	3,42	
	PRE	2,28	2,41	
	MB	0,42	–1,01	
	RMSE	1,34	1,70	
	R^2	0,52	0,51	

Thông số		1–15/10/2017		Ngưỡng cho phép
		Nhà Bè	Tân Bình	
Hướng gió (°)	OBS	290,54	132,63	
	PRE	132,82	123,72	
	MB	–157,72	–8,91	≤+–10
	RMSE	160,21	25,10	

3.2. Hiệu chỉnh và kiểm định CMAQ

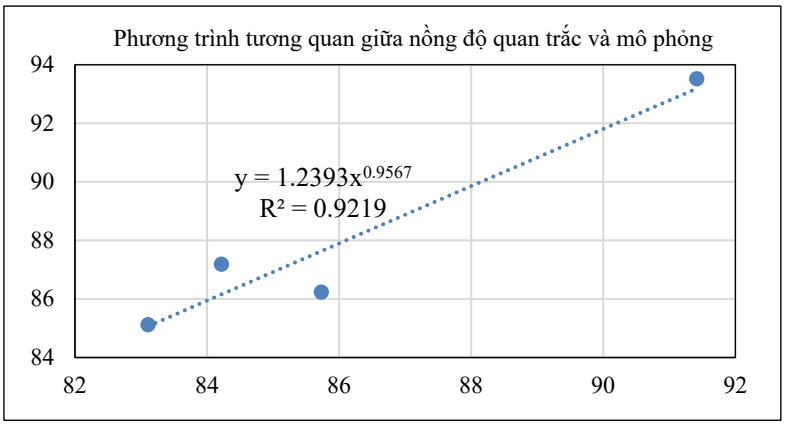
3.2.1. Hiệu chỉnh

Phương trình hiệu chỉnh được thiết lập theo công thức (1) từ kết quả mô phỏng nồng độ PM10 bằng mô hình WRF/CMAQ ban đầu sẽ được trích xuất giá trị ra tại 04 trạm quan trắc PM10 từ hoạt động giao thông trong thành phố, trạm DOSTE, TN, HB và BT vào thời điểm đo đạc lúc 15 giờ của 04 ngày sau 06/10/2017, 10/10/2017, 11/10/2017 và 13/10/2017 (Bảng 4). Kết quả mô phỏng được so sánh và tương quan với giá trị thực đo để tìm mối quan hệ và hiệu chỉnh cho phù hợp với nồng độ thực tế theo như công thức (1). Phương trình hiệu chỉnh nồng độ PM_{10} (mô phỏng đối với nguồn phát thải giao thông) được thiết lập với $\alpha = 1,2393$ và $\beta = 0,9567$ ($0 < \beta < 1$), phương trình có dạng như sau:

$$y = 1,2393x^{0,9567} \text{ (với } R^2 = 0,9219) \quad (3)$$

Bảng 4. Vị trí các trạm quan trắc PM10 từ hoạt động giao thông tại khu vực Tp. HCM.

Tên Trạm	Vị trí	Phương thức quan trắc	Loại trạm	Năm bắt đầu quan trắc	Thông số, tần suất quan trắc
DOSTE	Tuyến đường gần khu vực Sở Khoa học và Công nghệ Tp. HCM	Quan trắc thủ công gián đoạn	Giao thông (Ven đường nội thành – trục xuyên tâm Đông Bắc – Tây Nam)	2000	NO_x, SO_2, O_3, CO, PM_{10} (từ 2013 – NO_2, CO, TSP, PM_{10})
TN	Tuyến đường gần khu vực Bệnh viện Thống Nhất	Quan trắc thủ công gián đoạn	Giao thông (Ven đường nội thành – trục xuyên tâm Tây Bắc – Đông Nam)	2002	NO_x, SO_2, CO, PM_{10} (từ 2013 – NO_2, CO, TSP, PM_{10})
HB	Tuyến đường gần khu vực Trường THPT Hồng Bàng, Quận 5, Tp. HCM	Quan trắc thủ công gián đoạn	Giao thông (Ven đường nội thành – trục xuyên tâm Đông Bắc – Tây Nam)	2000	NO_x, O_3, CO, PM_{10} (từ 2013 – NO_2, CO, TSP, PM_{10})
BT	Tuyến đường gần khu vực Phòng Giáo dục và Đào tạo quận Bình Tân	Quan trắc thủ công gián đoạn	Giao thông (Ven đường cửa ngõ Tây Nam)	2002	NO_x, CO, PM_{10} (từ 2013 – NO_2, CO, TSP, PM_{10})



Hình 5. Phương trình tương quan hiệu chỉnh xác định các hệ số α và β.

Trong đó Y là giá trị PM_{10} gần với giá trị thực tế; X là giá trị PM_{10} mô phỏng từ WRF/CMAQ ban đầu. Dựa trên bộ số liệu thực đo theo từng ngày, được lựa chọn lúc 15 giờ của 04 ngày có quan trắc (06/10/2017, 10/10/2017, 11/10/2017 và 13/10/2017), xây dựng được hệ số α và β trung bình sự chênh lệnh giữa thực đo và kết quả mô hình hóa theo 04 ngày đo. Như vậy, đối với những ngày có số liệu đo đạc, lấy nồng độ PM_{10} từ CMAQ * tỉ lệ chênh lệch trung bình của ngày tương ứng. Những ngày không có số liệu đo lấy nồng độ PM_{10} từ CMAQ * tỉ lệ chênh lệch trung bình của ngày có đo gần nó nhất.

3.2.2. Kiểm định

Kết quả mô phỏng nồng độ PM10 từ phát thải giao thông cho khu vực Tp. HCM bằng WRF/CMAQ được xuất ra tại 04 trạm quan trắc giao thông đô thị, gồm trạm DOSTE, TN, HB, và BT vào thời điểm lúc 07 giờ sáng của lần lượt 04 ngày trong nửa đầu tháng 10/2017 có đo đạc thông số PM_{10}, bao gồm ngày 06/10/2017, 10/10/2017, 11/10/2017 và 13/10/2017 (Bảng 5). Kết quả kiểm định dựa trên các chỉ số thống kê (công thức (2)) để đánh giá khả năng mô phỏng của mô hình WRF/CMAQ và mối tương quan giữa kết quả mô phỏng, đo đạc cũng được thể hiện trong hình Hình 6 bên dưới.

Bảng 5. So sánh nồng độ PM10 quan trắc và mô phỏng bằng mô hình WRF/CMAQ tại các vị trí đo (lúc 7 giờ sáng).

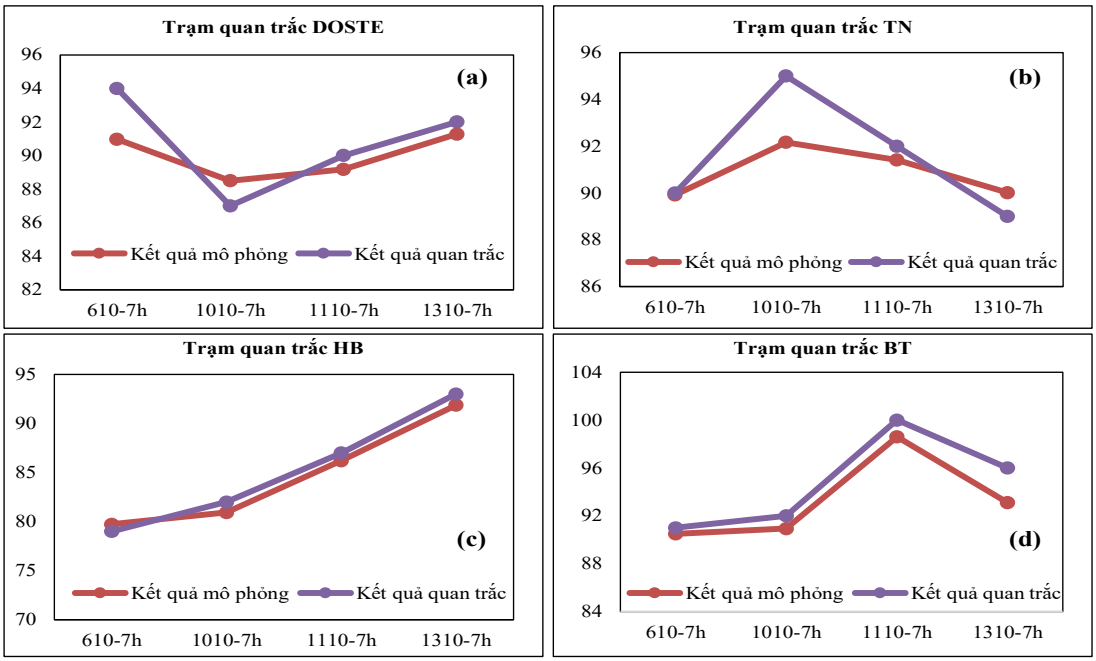
Ký hiệu	Tọa độ vị trí các trạm quan trắc		Thời diểm quan trắc, (giờ)	Nồng độ mô phỏng bằng mô hình WRF/CMAQ, (μg/m^3)	Nồng độ đo tại các vị trí quan trắc, (μg/m^3)
	X (m)	Y (m)			
DOSTE	684.953,11	1.192.224,29	7h00, 06/10/2017	90,97	94
			7h00, 10/10/2017	88,50	87
			7h00, 11/10/2017	89,17	90
			7h00, 13/10/2017	91,27	92
TN	681.254,05	1.193.464,28	7h00, 06/10/2017	89,92	90
			7h00, 10/10/2017	92,16	95
			7h00, 11/10/2017	91,41	92
			7h00, 13/10/2017	90,02	89
HB	682.074,65	1.189.519,18	7h00, 06/10/2017	79,73	79
			7h00, 10/10/2017	80,93	82
			7h00, 11/10/2017	86,21	87
			7h00, 13/10/2017	91,87	93
BT	676.276,50	1.186.500,89	7h00, 06/10/2017	90,49	91
			7h00, 10/10/2017	90,93	92
			7h00, 11/10/2017	98,60	100
			7h00, 13/10/2017	93,10	96

Chỉ số Nash–Sutcliffe (NSE) tại các trạm HB ở mức tốt với sự tương quan cao NSE_{HB} = 0,968 (NSE > 0,8), trạm BT đạt ở mức khá với NSE_{BT} = 0,768 (NSE > 0,7). Chỉ số Nash – Sutcliffe tính toán đối với 02 trạm còn lại là DOSTE và TN chỉ ở mức đạt (0,5 < NSE < 0,7), lần lượt là NSE_{DOSTE} = 0,528 và NSE_{TN} = 0,551.

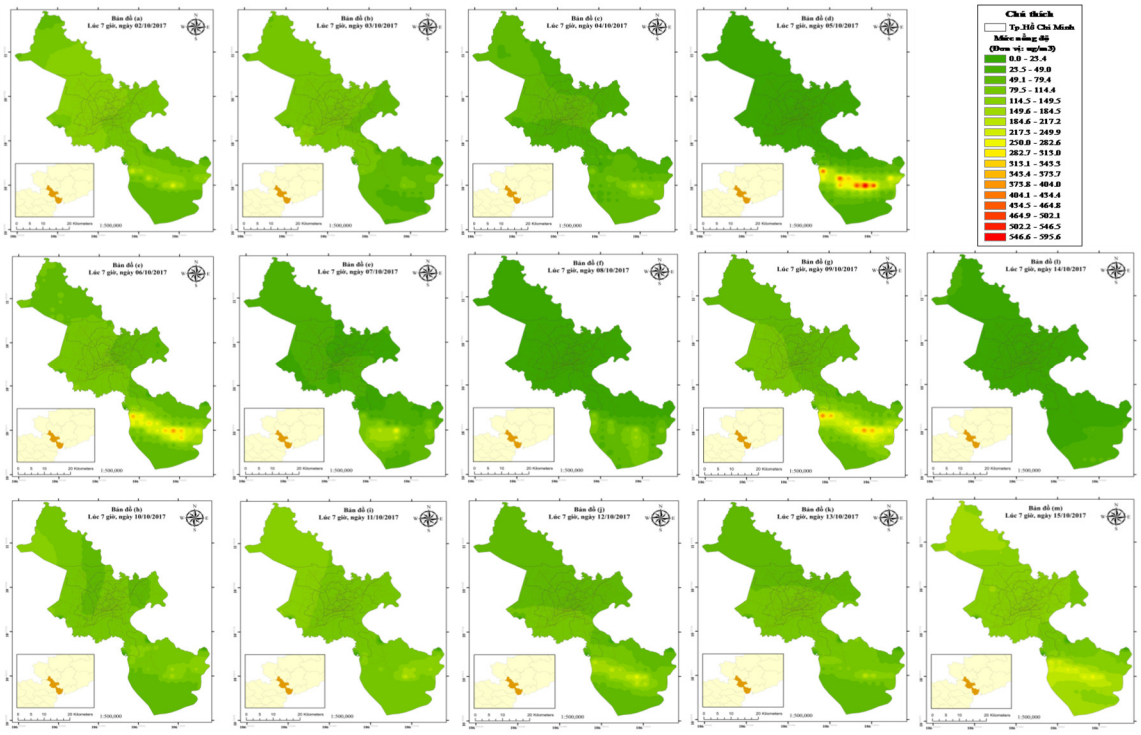
3.3. Mô phỏng ô nhiễm PM_{10} tại Tp.HCM

Bản đồ phân bố bụi PM_{10} tại khu vực nghiên cứu được xây dựng bằng công nghệ ArcGIS dựa trên kết quả chạy WRF/CMAQ, sau bước được hiệu chỉnh và kiểm định được thể hiện trên **Error! Reference source not found.**, **Error! Reference source not found.**. Kết quả mô phỏng cho thấy khu vực có nồng độ PM_{10} cao thường tập trung ở một số quận, huyện nội thành cũng như các huyện phía Nam của thành phố Hồ Chí Minh. Nồng độ PM_{10} trung bình dao động từ 50,0–126,2 μg/m^3 tại các huyện Củ Chi, Hóc Môn và quận Bình Tân, Tân Phú, quận 9 là những khu vực có nồng độ thấp hơn từ 23,4–79,5 μg/m^3. Khu vực Cần Giờ, Bình Chánh,

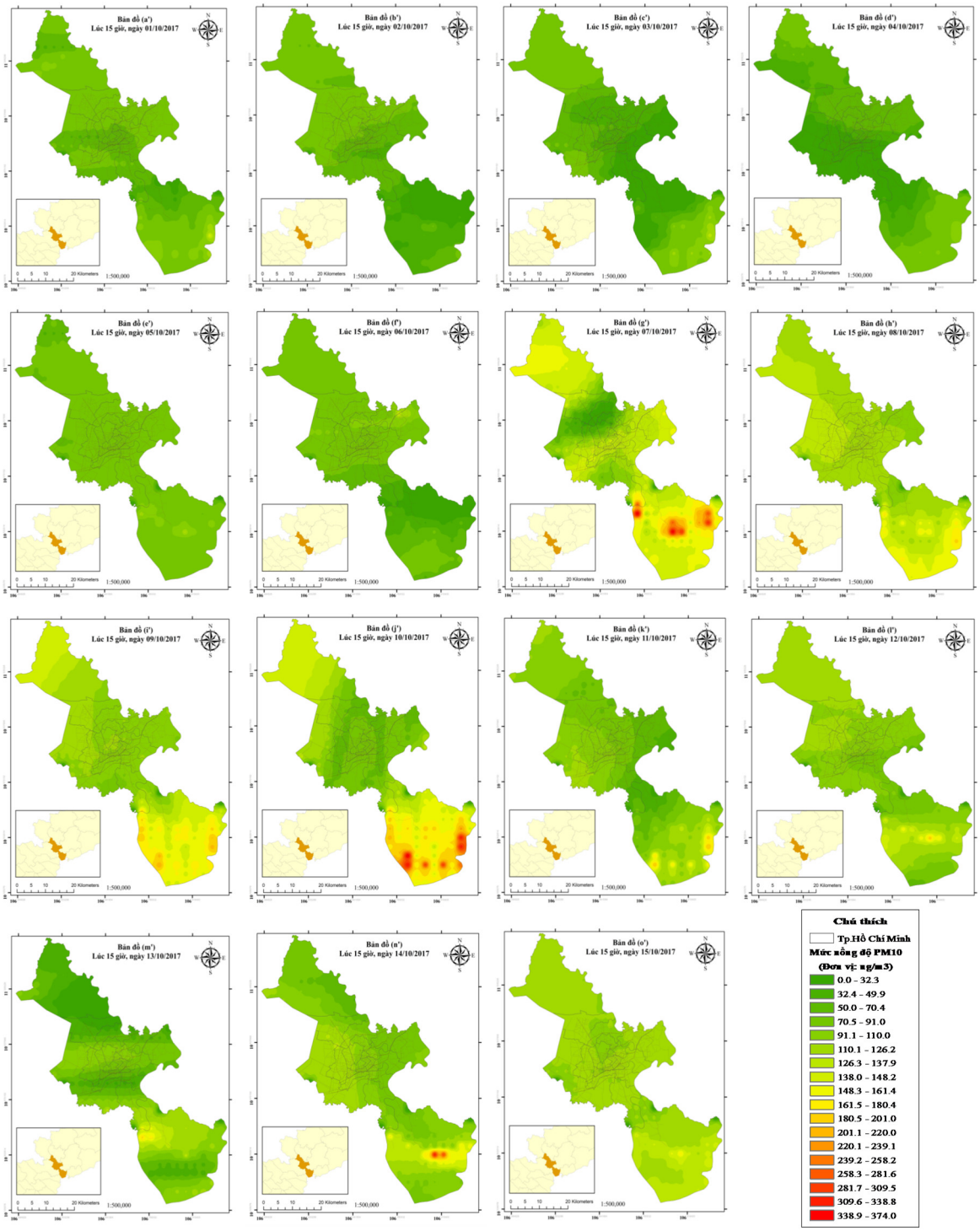
Nhà Bè lại có nồng độ PM_{10} cao hơn so với các quận, huyện khác với nồng độ PM_{10} trung bình dao động từ 110,1–148,2 µg/m^3. Các quận huyện nội thành (gồm quận 1, quận 10, quận 3, quận 4 và quận 5) có nồng độ PM_{10} đạt trung bình, dao động từ 32,3–91,4 µg/m^3. Nồng độ PM_{10} trung bình ngày dao động từ 71,6–98,9 µg/m^3 và thấp hơn so với GHCP của QCVN 05:2013/BTNMT. Một số thời điểm như lúc 0h, 7h, 15h và 19h một số nơi tại huyện Cần Giờ có nồng độ PM_{10} cao (> 250 µg/m^3) do ảnh hưởng bởi sự lan truyền theo hướng gió chủ đạo của tháng 10 là từ Đông Bắc thổi xuống khu vực phía Tây Nam. Nồng độ bụi PM_{10} phân tán theo diễn biến của các điều kiện khí tượng lớp biên trong 15 ngày nửa đầu tháng 10/2017 mô phỏng từ mô hình WRF đã được kiểm định.



Hình 6. Kết quả so sánh nồng độ PM_{10} với số liệu thực đo của 04 trạm quan trắc (từ hình (a) đến hình (d)).



Hình 7. Bản đồ phân bố nồng độ bụi PM_{10} do nguồn thải giao thông mô phỏng lúc 7 giờ, 1–15/10/2017, từ hình (a) đến hình (m).



Hình 8. Bản đồ phân bố nồng độ bụi PM_{10} do nguồn thải giao thông mô phỏng lúc 15 giờ, 1–15/10/2017, từ hình (a') đến hình (o').

4 Kết luận

Bài báo này trình bày kết quả ứng dụng WRF/CMAQ mô phỏng ô nhiễm bụi PM_{10} cho khu vực Tp.HCM, các kết quả chính của bài báo gồm:

Thứ nhất, thực hiện bước hiệu chỉnh và kiểm định mô hình WRF, dựa trên bộ số liệu thực đo tại 2 trạm trong khu vực nghiên cứu. Các thông số nhiệt độ, vận tốc gió và hướng gió được lựa chọn cho mục tiêu này. Kết quả trong Bảng 3 cho thấy yếu tố nhiệt độ và vận tốc gió có mức độ sai lệch giữa mô phỏng và thực đo đạt yêu cầu theo chỉ số RMSE (*root–mean–*

square deviation), R^2, MB (*Mean bias*), nhiệt độ chênh lệch từ 1,35 đến 1,97^oK, vận tốc gió từ 1,34 đến 1,7 m/s. Riêng hướng gió sai số lớn hơn, có độ chênh lệch từ 25 đến 160^o.

Thứ hai, thực hiện các bước hiệu chỉnh và kiểm định kết quả chạy mô hình CMAQ dựa theo phương pháp đồng nhất dữ liệu. Bộ số liệu được sử dụng để hiệu chỉnh, kiểm định được thực hiện tại 04 trạm quan trắc giao thông trong khu vực nghiên cứu. Độ tin cậy mô phỏng bụi PM_{10} cho loại nguồn thải giao thông được đánh giá dựa trên các chỉ số thống kê cho thấy 02 trong số 04 trạm quan trắc có sự tương quan cao với NSE > 0,7 và trong số 02 trạm còn lại mức độ tương quan là có thể chấp nhận được NSE > 0,5.

Thứ ba, cũng là kết quả chính của nghiên cứu này, đã ứng dụng WRF/CMAQ mô phỏng chất lượng không khí PM_{10} cho toàn bộ khu vực Tp. HCM cho 15 ngày đầu tiên 1–15/10/2017. Kết quả đã được thể hiện dưới dạng bản đồ cho 2 thời điểm 7, 15h trên các Hình 7, 8 – các thời điểm có mật độ xe cộ tương đối đông đúc. Có thể thấy, sự phân tán nồng độ bụi PM_{10} trong khu vực chịu sự ảnh hưởng rất lớn bởi các yếu tố khí tượng lớp biên của thời điểm mô phỏng (hàng giờ) diễn ra trong ngày. Thời điểm nửa đầu tháng 10/2017 cho thấy có đến 80% các thời điểm hướng gió chủ đạo là hướng Tây và Tây Bắc với vận tốc cực đại có thời điểm đạt 3,2 m/s tác động trực tiếp đến hướng chuyển dịch của bụi PM_{10}. Nồng độ ô nhiễm có xu hướng phân tán, chuyển dịch mạnh từ các khu vực quận nội thành, trung tâm Tp. HCM như quận 1, quận 3, quận 4, quận 5, quận 10 và quận 11 sang các huyện ngoại thành của Tp. HCM gồm Cần Giờ, Bình Chánh, Nhà Bè dọc theo hướng gió Tây Bắc – Đông Nam trong suốt thời gian tính toán. Đồng thời, những thời điểm có nồng độ cao thường tập trung vào những giờ cao điểm như 7h, 8h, 15h và 19h đều là thời điểm phương tiện giao thông rất đông đúc.

Kết quả của đề tài là cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo như làm rõ tác động của phát thải giao thông đường bộ cũng như các yếu tố khí tượng tới sự phân bố các chất nguy hiểm, đặc biệt là PM_{10}, $PM_{2.5}$.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu, vạch ra sơ đồ viết bản nháp, chỉnh sửa bản thảo: B.T.L.; Xử lý số liệu, chạy mô hình WRF/CMAQ, viết bản thảo: N.C.M.D.; Xử lý GIS: N.H.P.

Lời cám ơn: Nghiên cứu này được tài trợ một phần từ đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ 2017–2019 theo quyết định số 1219/QĐ–BTNMT ngày 19/5/2017. Nhóm tác giả xin bày tỏ sự cảm ơn trân thành tới Bộ và Ban chủ nhiệm chương trình.

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. Kouridis, C.; Gkatzoflias, D.; Kioutsoukis, I.; Ntziachristos, L.; Pastorello, C.; Dilara, P. Uncertainty estimates and guidance for road transport emission calculations. Publications Office of the European Union, 2010.
2. EEA. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook, 2019.
3. Donchenko, V.; Kunin, Y.; Ruzski, A.; Barishev, L.; Trofimenko, Y.; Mekhonoshin, V. Estimated Atmospheric Emission from Motor Transport in Moscow Based on Transport Model of the City. *Transp. Res. Procedia* **2016**, *14*, 2649–2658.
4. Lozhkina, O.V.; Lozhkin, V.N. Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* **2015**, *36*, 178–189.
5. Peng, T.; Ou, X.; Yuan, Z.; Yan, X.; Zhang, X. Development and application of China provincial road transport energy demand and GHG emissions analysis model. *Appl. Energy* **2018**, *222*, 313–328.
6. HEPA. Report 2020 air quality in Ho Chi Minh City. Ho Chi Minh city, Vietnam:

Ho Chi Minh Environmental Protection Agency, 2020.
7. Beevers, S.D.; Kitwiroon, N.; Williams, M.L.; Carslaw, D.C. One way coupling of CMAQ and a road source dispersion model for fine scale air pollution predictions. *Atmos. Environ.* **2012**, *59*, 47–58.
8. Luong, L.M.T.; Phung, D.; Dang, T.N.; Sly, P.D.; Morawska, L.; Thai, P.K. Seasonal association between ambient ozone and hospital admission for respiratory diseases in Hanoi, Vietnam. *PLoS One* **2018**, *13*, 1–15.
9. CEM. Report on curent status of environment in Ho Chi Minh City in Annual Report 2014–2019. Hochiminh Center for Environment and Analysis, 2019.
10. Ho, B.Q.; Clappier, A.; François, G. Air pollution forecast for Ho Chi Minh City, Vietnam in 2015 and 2020. *Air Qual. Atmos. Heal.* **2011**, *4*, 145–158.
11. Phung, N.K.; Long, N.Q.; Tin, N.V.; Phung, L.T. Study calculation and forecast PM 2.5 for Ho Chi Minh city. *Sci. Tech. Hydrometeorol. J.* **2018***, 695*, 1–7.
12. Song, S.; Diao, M.; Feng, C.C. Individual transport emissions and the built environment: A structural equation modelling approach. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* **2016**, *92*, 206–219.
13. Carrese, S.; Gemma, A.; La Spada, S. An Emission Model to Compare Bus and Tramway Transport. *Procedia Soc. Behav. Sci.* **2014**, *111*, 1025–1034.
14. Borge, R.; de Miguel, I.; de la Paz, D.; Lumbreras, J.; Pérez, J.; Rodríguez, E. Comparison of road traffic emission models in Madrid (Spain). *Atmos. Environ.* **2012**, *62*, 461–471.
15. Department of Statistics Ho Chi Minh City. The Economic of Ho Chi Minh City and Key Economic Region of South Vietnam, Ho Chi Minh City, 2019.
16. Department of Statistics Ho Chi Minh City–b, Part II: Actual situation of economic growth of Key Economic Region of South Vietnam in the period of 2010–2018. Ho Chi Minh City, 2019.
17. Ho Chi Minh City Statistical Office. Ho Chi Minh City statistical Yearbook 2018, Ho Chi Minh City, 2019.
18. Skamarock W C et., A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR TECHNICAL NOTE, 2008.
19. Skamarock, W.C.; Klemp, J.B.; Dudhia, J.; Gill, D.O.; Barker, D.; Duda, M.G.; … Powers, J.G. A Description of the Advanced Research WRF Version 3 (No. NCAR/TN-475+STR). University Corporation for Atmospheric Research, 2008.
20. Powers, J.G.; Klemp, J.B.; Skamarock, W.C.; Davis, C.A.; Duhia, J.; Gill, D.O.; Coen, J.L.; Gochis, D.J.; Ahmadov, R.; Peckham, S.E.; Grell, G.A.; Michalakes, J.; Trahan, S.; Benjamin, S.G.; Alexander, C.R.; Dimego, G.J.; Wang, W.; Schwartz, C.S.; Romine, G.S.; Liu, Z.; Snyder, C.; Fei Chen, F.; Barlage, M.J.; Wei Yu, W.; Duda, M.G. The weather research and forecasting model: Overview, system efforts, and future directions. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2017**, *98*, 1717–1737.
21. Adams, J.D. Reinterpreting evaluation classics in the modern age. *J. Contin. High. Educ.* **2001**, *49*, 14–22.
22. NCAR. WRF 3.9 User's Guide **2017**, pp. 443.
23. Byun, J.E.; Pleim, R.; Tang, T.; Bourgeois, A. Meteorology–Chemistry Interface Processor (MCIP) for Models–3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System. In Science algorithms of the EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System, D. W. Byun and J. K. S. Ching, Eds., U.S. Environmental Protection Agency Rep. EPA-600/R-99/030, 12–1–12–91.
24. Byun, D.; Schere, K.L. Review of the governing equations, computational algorithms, and other components of the models–3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) modeling system. *Appl. Mech. Rev.* **2006**, *59*, 51–76.
25. Borge, R.; Lumbreras, J.; Pérez, J.; de la Paz, D.; Vedrenne, M.; de Andrés, J.M.;

Rodríguez, M.E. Emission inventories and modeling requirements for the development of air quality plans. Application to Madrid (Spain). *Sci. Total Environ* **2014**, *466–467*, 809–819.

26. Hu, J.; Wu, L.; Zheng, B.; Zhang, Q.; He, K.; Chang, Q.; Li, X.; Yang, F.; Ying, Q.; Zhang, H. Source contributions and regional transport of primary particulate matter in China. *Environ. Pollut.* **2015**, *207*, 31–42.
27. Lang, J.; Zhou, Y.; Chen, D.; Xing, X.; Wei, L.; Wang, X.; Zhao, N.; Zhang, Y.; Guo, X.; Han, L.; Cheng, S. Investigating the contribution of shipping emissions to atmospheric PM2.5 using a combined source apportionment approach. *Environ. Pollut.* **2017**, *229*, 557–566.
28. Isakov, V.; Irwin, J.S.; Ching, J. Using CMAQ for exposure modeling and characterizing the subgrid variability exposure estimates. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* **2007**, *46*, 1354–1371.
29. Wang, F.; Chen, D.S.; Cheng, S.Y.; Li, J.B.; Li, M.J.; Ren, Z.H. Identification of regional atmospheric PM10 transport pathways using HYSPLIT, MM5–CMAQ and synoptic pressure pattern analysis. *Environ. Model. Softw.* **2010**, *25*, 927–934.
30. Compton, J.E.; Harrison, J.A.; Dennis, R.L.; Greaver, T.L.; Hill, B.H.; Jordan, S.J.; Walker, H.; Campbell, H.V. Ecosystem services altered by human changes in the nitrogen cycle: A new perspective for US decision making. *Ecol. Lett.* **2011**, *14*, 804–815.
31. Koo, Y.S.; Kim, S.T.; Yun, H.Y.; Han, J.S.; Lee, J.Y.; Kim, K.H.; Jeon, E.C. The simulation of aerosol transport over East Asia region. *Atmos. Res* **2008**, *90*, 264–271.
32. Koo, Y.S.; Kim, S.T.; Cho, J.S.; Jang, Y.K. Performance evaluation of the updated air quality forecasting system for Seoul predicting PM 10. *Atmos. Environ.* **2012**, *58*, 56–69.
33. Jung, S.; Kang, H.; Sung, S.; Hong, T. Health risk assessment for occupants as a decision–making tool to quantify the environmental effects of particulate matter in construction projects. *Build. Environ.* **2019**, *161*, 106–267.
34. Oh, H.R.; Ho, C.H.; Koo, Y.S.; Baek, K.G.; Yun, H.Y.; Hur, S.K.; Choi, D.R.;Jhun, J.G.; Shim, J.S. Impact of Chinese air pollutants on a record–breaking PMs episode in the Republic of Korea for 11–15 January 2019. *Atmos. Environ.* **2020**, *223*, 117–262.
35. Kukkonen, J.; Härkönen, J.; Walden, J.; Karppinen, A.; Lusa, K. Evaluation of the CAR–FMI model against measurements near a major road. *Atmos. Environ.* **2001**, *35*, 949–960.
36. Zilitinkevich, S. Transactions on Ecology and the Environment vol 2, © 1993 WIT Press, www.witpress.com, ISSN 1743–3541. *Trans. Ecol. Environ.* **1995**, *6*, 54–60.
37. Berkowicz, R. OSPM – A Parameterised Street Pollution Model. *Environ. Monit. Assess.* **2000**, *65*, 323–331.
38. Kurt, A.; Oktay, A.B.; Karaca, F.; Alagha, O. Artificial neural networks based modelling of carbon monoxide: Effects of spatial parameters. Information Technologies in Environmental Engineering, Proceedings of the 4th International ICSC Symposium Thessaloniki, Greece, May 28-29, 2009, 2009, 345–356.
39. Granier, C.; Darras, S.; van der Gon, H.D.; Jana, D.; Elguindi, N.; et al. The Copernicus Atmosphere Monitoring Service global and regional emissions (April 2019 version). Copernicus Atmosphere Monitoring Service 2019, pp. 55.
40. Janssens-Maenhout, G.; Crippa, M.; Guizzardi, D.; Dentener, F.; Muntean, M.; Pouliot, G.; Keating, T.; Zhang, Q.; Kurokawa, J.; Wankmüller, R.; van der Gon, H.D.; Kuenen, J.J.P.; Klimont, Z.; Frost, G.; Darras, S.; Koffi, B.; Li, M. HTAP–v2.2: A mosaic of regional and global emission grid maps for 2008 and 2010 to study hemispheric transport of air pollution. *Atmos. Chem. Phys.* **2015**, *15*, 11411–11432.

41. Sindelarova, K.; Granier, C.; Bouarar, I.; Guenther, A.; Tilmes, S.; Stavrakou, T.; Müller, J.F.; Kuhn, U.; Stefani, P.; Knorr, W. Global data set of biogenic VOC emissions calculated by the MEGAN model over the last 30 years. *Atmos. Chem. Phys.* **2014**, *14*, 9317–9341.
42. Friberg, M.D.; Zhai, X.; Holmes, H.A.; Chang, H.H.; Strickland, M.J.; Sarnat, S.E.; Tolbert, P.E.; Russell, A.G.; Mulholland, J.A. Method for Fusing Observational Data and Chemical Transport Model Simulations to Estimate Spatiotemporally Resolved Ambient Air Pollution. *Environ. Sci. Technol.* **2016**, *50*, 3695–3705.
43. Senthilkumar, N.; Gilfether, M.; Metcalf, F.; Russell, A.G.; Mulholland, J.A.; Chang, H.H. Application of a fusion method for gas and particle air pollutants between observational data and chemical transport model simulations over the contiguous United States for 2005–2014. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*.
44. Bui, L.T.; Nguyen, P.H. Integrated model for methane emission and dispersion assessment from land fills : A case study of Ho Chi Minh City , Vietnam. *Sci. Total Environ.* **2020**, *738*, 139865.

Application of WRF/CMAQ for PM_{10} simulation from road traffic in Ho Chi Minh city

Duyen Chau My Nguyen[1,2], Phong Hoang Nguyen[1,2], Long Ta Bui[1,2*]

[1] Ho Chi Minh City University of Technology; nguyenduyen91@hcmut.edu.vn; nhphongee407@gmail.com; longbt62@hcmut.edu.vn
[2] Vietnam National University Ho Chi Minh City; nguyenduyen91@hcmut.edu.vn; nhphongee407@gmail.com; longbt62@hcmut.edu.vn

Abstract: Results of roadside air quality monitoring in Ho Chi Minh City show that only in rarely cases, in January, March, July and October 2017, the average daily PM_{10} concentration is close to the permissible limit of standards, most of the remaining cases are 73–96 μg/m^3. In the context of particulate matter (PM) that can be transported over long distances, affecting public health, modelling remains one of the most economical options for assessing the extent to which it affects remote areas where there are no monitoring sites. This study applied the WRF/CMAQ coupled modelling system to assess spatial developments and trends over time, in the period October 1 to 15, 2017. The time is chosen when the PM_{10} concentration has an exceptionally high concentration frequency. The novelty of this study compared to published papers is to use global emissions data as well as perform the calibration step according to the data fusion method between the monitoring results and simulation results to improve simulation quality. This approach allows to expand given study to other cities and regions in the context of limited monitoring data in Vietnam.

Keywords: Air Pollution; Road transport emission; Meteorology; PM_{10}; WRF/CMAQ.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Bài báo Khoa học

Nghiên cứu áp dụng thử nghiệm mô hình mạng Bayes trong đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến diễn biến cửa sông Đà Diễn

Hoàng Thu Thảo[1*], Trần Ngọc Anh[1,2], Trần Kiều Hương[3]

[1] Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; htthao@hus.edu.vn;
[2] Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; tranngocanh@hus.edu.vn
[3] Bộ Giáo dục và Đào tạo; tkhuong@moet.gov.vn
[*] Tác giả liên hệ: htthaovnu@gmail.com; Tel: +84–982981994
Ban Biên tập nhận bài: 26/1/2021; Ngày phản biện xong: 18/3/2021; Ngày đăng bài: 25/4/2021

Tóm tắt: Mô hình mạng Bayes (Bayesian Networks) là mô hình ứng dụng lý thuyết xác suất biểu diễn mối quan hệ nhân quả giữa các dữ liệu, đặc biệt là các dữ liệu không chắc chắn. Trên thế giới, mô hình mạng Bayes đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như y tế, ngôn ngữ học, sinh học, môi trường... và thủy văn và tài nguyên nước. Mục tiêu của bài báo này là ứng dụng thử nghiệm mô hình mạng Bayes trong đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến diễn biến cửa sông (tập trung phân tích biến thiên độ rộng cửa sông). Kết quả nghiên cứu cho thấy, năng lượng sóng có vai trò ảnh hưởng đáng kể đến biến thiên cửa sông Đà Diễn, đặc biệt là giai đoạn từ tháng 1 đến tháng 4 và giai đoạn từ tháng 10 đến tháng 12 hàng năm là các giai đoạn gió mùa Đông Bắc chiếm ưu thế. Giai đoạn từ tháng 5 đến tháng 9, cửa sông Đà Diễn có sự ổn định hơn và không thấy rõ được sự tác động vượt trội của yếu tố nào trong giai đoạn này. Các kết quả của nghiên cứu này phù hợp với các nhận định trước đó về cửa sông Đà Diễn và cho thấy khả năng ứng dụng linh hoạt của mô hình mạng Bayes vào nghiên cứu về đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến diễn biến cửa sông nói riêng và trong lĩnh vực khí tượng thủy văn nói chung.

Từ khóa: Mạng Bayes; Cửa sông Đà Diễn; Độ rộng cửa sông; Xác suất có điều kiện.

1. Mở đầu

Mạng Bayes (*Bayesian Network –BN*) là mô hình đồ họa xác suất để biểu diễn kiến thức về miền không chắc chắn trong đó mỗi nút của mạng tương ứng với một biến ngẫu nhiên và mỗi cạnh biểu thị xác suất có điều kiện cho các biến ngẫu nhiên tương ứng [1]. Mô hình này xuất hiện từ nghiên cứu trí tuệ nhân tạo và đã được áp dụng cho nhiều vấn đề, từ phân tích văn bản [2], đến các vấn đề trong chẩn đoán y tế [3] và đánh giá bằng chứng khoa học [4] và ngày càng được sử dụng nhiều hơn trong quản lý và lập mô hình giám sát và quản lý tài nguyên và môi trường [5–8].

Pearl phát biểu rằng mạng Bayes là mô hình đồ họa chứa thông tin về mối quan hệ xác suất nhân quả giữa các biến và thường được sử dụng để hỗ trợ việc ra quyết định [9]. Các mối quan hệ xác suất nhân quả trong mạng Bayes có thể được hình thành bởi dữ liệu sẵn có, sử dụng định luật Bayes hoặc được đề xuất bởi các chuyên gia. Cấu trúc phụ thuộc giữa các biến được biểu diễn bằng các nút (mô tả các biến) và các cạnh có hướng (mô tả các mối quan hệ điều kiện) dưới dạng một đồ thị xoay chiều có hướng (*Directed Acyclic Graph–DAG*). Các nút được coi là có quan hệ "cha mẹ–con cái" dựa trên sự phụ thuộc và hướng của các

cạnh liên kết trong mô hình mạng. Nếu nút trên mạng không có cạnh liên kết đến hay được gọi là không có nút "cha mẹ" ảnh hưởng (biến không phụ thuộc) thì nút đó có một phân phối xác suất ngẫu nhiên. Ngược lại, nếu nút "con" có sự phụ thuộc vào một hay nhiều nút "cha mẹ" thì nó có một phân phối xác suất có điều kiện cho mỗi tổ hợp các giá trị có thể của "cha mẹ".

Có hai thành phần liên quan đến việc học một mạng Bayes: (i) học cấu trúc (*structure learning*), bao gồm việc xác định một DAG mô tả tốt nhất các mối quan hệ nhân quả giữa các nút trong mạng và (ii) học tham số (*parameter learning*), bao gồm việc tìm hiểu về các phân phối xác suất có điều kiện dựa vào dữ liệu của từng biến [10]. Định lý Bayes mô tả phân phối xác suất có điều kiện như sau:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

Mạng Bayes sử dụng xác suất làm thước đo độ không chắc chắn của biến: Niềm tin về giá trị của các biến được biểu thị dưới dạng phân phối xác suất và độ không đảm bảo càng cao thì phân bố xác suất càng rộng. Khi thông tin tích lũy, kiến thức về giá trị thực của biến thường tăng lên, tức là độ không chắc chắn của giá trị giảm đi và phân phối xác suất ngày càng thu hẹp [11].

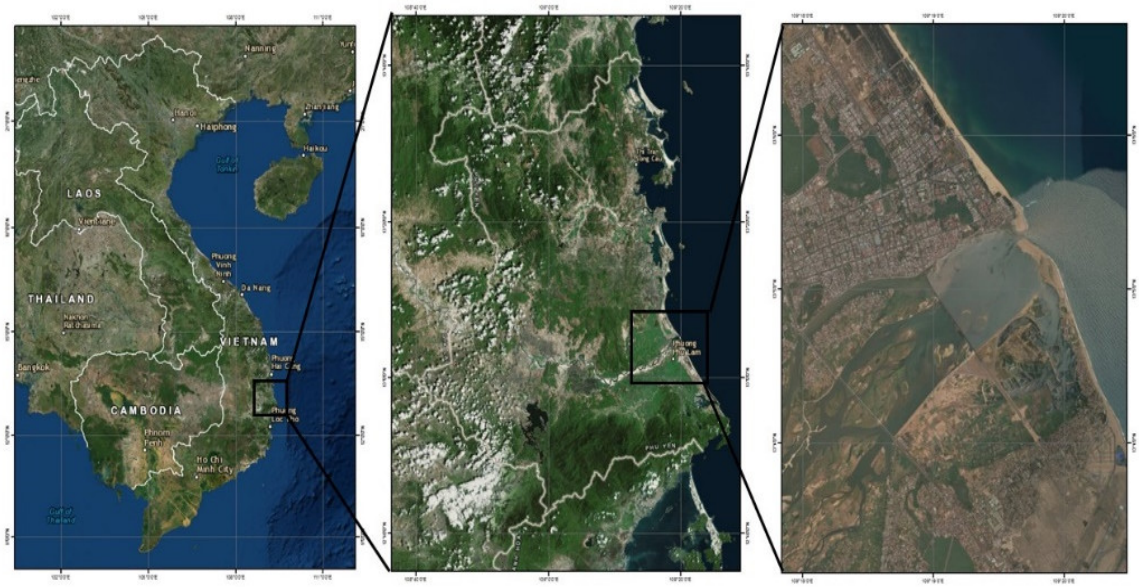
Trên thế giới, các nghiên cứu ứng dụng mạng Bayes trong lĩnh vực thủy văn và tài nguyên nước được phát triển với đa dạng các bài toán. Nhờ khả năng áp dụng linh hoạt phục vụ ra quyết định, mô hình mạng Bayes được áp dụng phổ biến vào hỗ trợ quản lý tổng hợp tài nguyên nước [12–14]. Bên cạnh đó, các nghiên cứu áp dụng mạng Bayes cho thấy khả năng kết hợp giữa các yếu tố thủy văn, thủy lực, kinh tế với các yếu tố xã hội thông qua các việc thu thập ý kiến chuyên gia [15–17]. Đây là một trong những ưu điểm của mô hình mạng Bayes khi có thể tận dụng và định lượng hóa ý kiến chuyên gia trong việc xây dựng mô hình. Các nghiên cứu ứng dụng mô hình mạng Bayes cho khu vực cửa sông cũng được công bố từ khá lâu, tuy nhiên chủ yếu tập trung nhiều ở lĩnh vực sinh thái vùng cửa sông và ven biển [18–20]. Hình thái cửa sông; các yếu tố thủy động lực và các hoạt động của con người được nghiên cứu như các yếu tố ảnh hưởng đến sinh thái khu vực cửa sông ven biển. Gần đây, các nghiên cứu ứng dụng mạng Bayes cho quản lý tổng hợp khu vực đường bờ biển dưới tác động phát triển kinh tế và biến đổi khí hậu đã được đẩy mạnh phát triển [21–23].

Sự phát triển của mạng Bayes đã và đang được nghiên cứu rộng rãi trên thế giới, tuy nhiên, đây vẫn còn là một phương pháp và cách tiếp cận mới mẻ tại Việt Nam. Một số nghiên cứu trong nước có hướng tiếp cận liên quan đến lý thuyết Bayes và mạng Bayes được phát triển trong lĩnh vực y tế và kinh tế, xã hội. Năm 2011, Giáo sư Nguyễn Văn Tuấn đã giới thiệu lý thuyết Bayes trong nghiên cứu y học lâm sàng [24]. Cũng áp dụng lý thuyết niềm tin Bayes, nhóm nghiên cứu của Nguyễn Ngọc Tuấn hướng tới đánh giá rủi ro trong lập lịch dự án phần mềm [25]. [26] đã kết hợp mô hình mạng Bayes với mô hình rủi ro trong kinh tế để ước lượng chi phí khám chữa bệnh ở Việt Nam. Gần đây, nhóm nghiên cứu [27] đã thực hiện đánh giá tác động của phát triển du lịch đến người dân tại đảo Lý Sơn. Nghiên cứu cho thấy một kết luận mới mẻ rằng người nông dân, những người trẻ tuổi, những người có trình độ học thức và có mức ảnh hưởng xã hội là những người có những đánh giá tiêu cực về tác động của sự phát triển du lịch.

Sông Ba, phần hạ lưu gọi là sông Đà Rằng, là hệ thống sông lớn nhất trong khu vực Nam Trung Bộ. Sông Ba có 3 phụ lưu chính là sông IaYun, sông Krông H'Năng và sông Hinh. Sông bắt đầu núi Ngọc Rô thuộc tỉnh Gia Lai, kéo dài 374 km và đổ ra biển tại cửa Đà Diễn, thành phố Tuy Hòa tỉnh Phú Yên. Tọa độ của cửa sông Đà Diễn là khoảng 13°5'23.65" vĩ độ Bắc, 109°19'40.79" kinh độ Đông (Hình 1) [28]. Vùng cửa sông nằm ở phía Nam thành phố Tuy Hòa, giáp với huyện Đông Hòa–tỉnh Phú Yên. Sông Ba có mùa lũ bắt đầu từ tháng 9 và kết thúc vào tháng 12, mùa kiệt bắt đầu từ tháng 1 đến tháng 8. Lưu lượng dòng chảy vào mùa lũ trên sông Ba chiếm 71,8% lưu lượng dòng chảy cả mùa. Tháng có lưu lượng lớn nhất

là tháng 11 với lưu lượng trung bình khoảng 862,3 m^3/s, chiếm 25,8% tổng lượng dòng chảy cả năm [29].

Chế độ gió ở Phú Yên thể hiện hai mùa rõ rệt, từ tháng 10 đến tháng 4 là thời kỳ thịnh hành một trong ba hướng gió Bắc, Đông Bắc và Đông, từ tháng 5 đến tháng 9 là thời kỳ thịnh hành một trong ba hướng Tây, Tây Nam và Đông. Do ảnh hưởng của gió mùa, sóng tại khu vực nghiên cứu cũng có chế độ khác nhau rõ rệt giữa hai mùa. Từ tháng 1 đến tháng 4, hướng sóng thịnh hành là Đông Bắc. Độ cao trung bình của hướng sóng trên trong khoảng thời gian này là 1,0 m và cực đại là 4,0 m. Từ tháng 5 đến tháng 9, hướng sóng chủ đạo là Đông Nam với độ cao trung bình là 0,8 đến 1,0 m và lớn nhất là 3,5 m. Từ tháng 10 đến tháng 12, thịnh hành là hướng sóng Bắc và Đông Bắc với độ cao trung bình là 0,9 m và độ cao lớn nhất biến đổi từ 3,5 đến 4,0 m. Thuỷ triều tại khu vực này thuộc chế độ nhật triều không đều. Hàng tháng có từ 18 đến 22 ngày nhật triều. Thời kỳ triều cường thường xuất hiện nhật triều, khi triều kém thường xuất hiện bán nhật triều. Độ lớn triều trung bình là 1,50 ± 0,20 m [29].



Hình 1. Vị trí cửa sông Đà Diễn

Cửa sông Đà Diễn có những diễn biến phức tạp do chịu ảnh hưởng của chế độ thủy động lực phân mùa rõ rệt. Từ năm 2009, dưới tác động của các yếu tố ảnh hưởng khiến cửa sông bị thu hẹp đáng kể, chính quyền địa phương đã có các biện pháp tạm thời để giải quyết vấn đề này. Một trong số đó là việc nạo vét cát khu vực cửa sông. Tuy nhiên, việc nạo vét cát chưa cơ sở khoa học về khối lượng nạo vét, vị trí nạo vét và thời gian nạo vét đã khiến cửa sông có những biến động tiêu cực hơn sau trận lũ diễn ra vào tháng 11 năm 2017. Dải cát phía Nam cửa sông bị xói nghiêm trọng, chính quyền địa phương phải gấp rút làm kè đá để bảo vệ bờ, ngăn không cho hiện tượng xói ảnh hưởng vào sâu hơn (Hình 4). Đến năm 2018, từ kè đá bảo vệ bờ, chính quyền địa phương đã dần kéo dài kè đá để tái tạo lại dải cát phía Nam cửa sông.

Do có diễn biến phức tạp, cửa sông Đà Diễn là đối tượng nghiên cứu của nhiều nhóm nghiên cứu trong nước và quốc tế phục vụ công tác chỉnh trị và ổn định cửa sông, trong đó có thể kể đến các công trình: Rik Posthumus (2015) đã xây dựng mô hình nhận thức cơ bản về cơ chế vận động theo thời gian của cửa sông Đà Diễn [30]; [31] đã thực hiện đề xuất các cơ sở khoa học về đề xuất giải pháp ổn định cửa sông; hoặc nhóm nghiên cứu của Nguyễn Tiền Giang và các cộng sự [28, 32] đã hoàn thành đề tài nghiên cứu cấp nhà nước "Nghiên cứu cơ sở khoa học để xác định cơ chế bồi lấp, sạt lở và đề xuất các giải pháp ổn định các cửa sông Đà Diễn và Đà Nông tỉnh Phú Yên phục vụ phát triển bền vững cơ sở hạ tầng và

kinh tế xã hội" mã số ĐTĐL.CN.15/15... Các nghiên cứu này đều có sự liên kết, tham khảo, kế thừa và so sánh các kết quả nghiên cứu.

Mục tiêu của bài báo này là áp dụng thử nghiệm mô hình mạng Bayes trong phân tích các yếu tố tự nhiên ảnh hưởng đến sự biến động của cửa sông Đà Diễn trong giai đoạn từ năm 1988 đến 2018. Kết quả của mô hình được so sánh với các nghiên cứu trước đây nhằm khẳng định tính đúng đắn và khả năng áp dụng của mô hình trong bài toán này cũng như lĩnh vực khí tượng thủy văn nói chung.

2. Phương pháp và số liệu

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Phần mềm mô hình Bayes Server được sử dụng để xây dựng mạng Bayes cho nghiên cứu này. Phần mềm Bayes Server được công ty chủ quản cùng tên (*Bayes Server*) có trụ sở tại Vương Quốc Anh phát triển. Công ty Bayes Server bắt đầu xây dựng các giải pháp Trí tuệ nhân tạo cho General Electric (GE) và Không quân Hoa Kỳ (USAF) và có hơn 15 năm kinh nghiệm cung cấp phần mềm Trí tuệ nhân tạo tùy chỉnh và có sẵn cho một số công ty tiên tiến nhất trên thế giới.

Phần mềm Bayes Server đã được phát triển để thử nghiệm cho cả mô hình mạng tĩnh (*Bayesian Networks–BNs*) và mô hình mạng động (*Dynamic Bayesian networks–DBNs*). Trong đó, nghiên cứu này tập trung thử nghiệm mô hình với mạng tĩnh và chuỗi số liệu rời rạc.

Trong mô hình này, mức độ tương quan hay độ liên kết giữa hai biến được thể hiện qua hệ số tương hỗ hay thông tin tương hỗ (*Mutual Information–MI*). Hệ số MI thể hiện là một phép đo định lượng về mức độ mà một biến ngẫu nhiên (A) cho chúng ta biết về hoặc dò tìm được một biến ngẫu nhiên khác (B). Như vậy, hệ số MI càng lớn thể hiện mức độ liên kết của hai biến càng cao. Hệ số MI được tính theo công thức như sau:

$$MI(A;B) = \sum_{b\in B}\sum_{a\in A} P(a,b) * \log\left(\frac{P(a,b)}{P(a)*P(b)}\right) \quad (2)$$

Trong đó P(a) và P(b) lần lượt là hàm phân phối xác suất biên của A và B; P(a,b) là hàm phân phối xác suất chung của cả A và B.

Trong đó

$$P(a,b) = P(a).P(b) \quad (3)$$

Tương tự như trên, hệ số MI có điều kiện được tính như sau:

$$MI(A,B|C) = \sum_{c\in C}\sum_{b\in B}\sum_{a\in A} P(a,b,c) * log\frac{P(c)*P(a,b,c)}{P(a,c)*P(b,c)} \quad (4)$$

Như vậy, hệ số MI có giá trị với cả hai chiều (từ A đến B hoặc từ B đến A). Giá trị lớn hơn của hệ số MI sẽ quyết định hướng của cạnh liên kết giữa hai nút A và B khi thực hiện học cấu trúc cho mạng Bayes.

2.2. Số liệu

Số liệu sóng, gió được thu thập từ dữ liệu của trung tâm dự báo hạn vừa châu Âu từ 1/1/1988 đến 31/12/2019. Trong đó, số liệu sóng bao gồm chiều cao sóng, chu kỳ sóng, hướng sóng; Số liệu gió tại độ cao 10m (*u10, v10*) đều được thu thập tại vị trí 13°7'30'' Bắc và 109°22'30'' Đông với độ phân giải là 32 km x 32km.

Số liệu thủy triều theo ngày tại trạm Hòn Chùa (tọa độ 13°10'30'' Bắc và 109°18'36'' Đông) từ 1/1/1988 đến 31/12/2016. Số liệu lưu lượng trung bình ngày tại trạm Củng Sơn (tọa độ 13°02'35'' Bắc và 108°59'58'' Đông) từ 1/1/1988 đến 31/12/2016. Số liệu độ rộng cửa

sông theo ngày từ năm 1988 đến năm 2018 được tính toán thông qua phân tích xử lý ảnh viễn thám Landsats với độ phân giải là 30m x 30m. Các số liệu kể trên được kế thừa từ nghiên cứu thuộc đề tài: "Nghiên cứu cơ sở khoa học để xác định cơ chế bồi lấp, sạt lở và đề xuất các giải pháp ổn định các cửa sông Đà Diễn và Đà Nông tỉnh Phú Yên phục vụ phát triển bền vững cơ sở hạ tầng và kinh tế xã hội" [28].

Cửa sông là nơi giao thoa giữa sông và biển do đó khu vực cửa sông là khu vực có diễn biến phức tạp và chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, đặc biệt là các nhân tố tác động trực tiếp như các yếu tố sông, biển bao gồm sóng, gió và thủy triều [29]. Cũng theo nghiên cứu của Nguyễn Tiền Giang và các cộng sự, các yếu tố ảnh hưởng (các biến độc lập) cho phương pháp phân tích hồi quy được xác định bao gồm: Năng lượng gió; Hướng gió; Năng lượng sóng; Hướng sóng; Lăng trụ triều và Lưu lượng sông [32]. Tuy nhiên, có thể thấy, một số biến đã được thể hiện trong công thức tính toán cho các biến khác như hướng sóng và hướng gió lần lượt đều được sử dụng để tính toán năng lượng sóng và năng lượng gió; lăng trụ triều được tính thông qua biên độ triều; do đó, trong bài báo này, các biến trung gian đó được loại bỏ. Các yếu tố ảnh hưởng được thể hiện qua 6 biến đại diện như Bảng 1 và biến phụ thuộc (Yếu tố bị ảnh hưởng) được nghiên cứu là biến thiên độ rộng cửa sông (ký hiệu: deltaB). Trong đó, delta B được tính bởi công thức sau:

$$\text{deltaB} = B_{t+n} - B_t \quad (5)$$

Trong đó B_t là độ rộng cửa sông của ảnh tại ngày t; B_{t+1} là độ rộng cửa sông tại ngày có ảnh kế tiếp t + n và n được gọi là khoảng ảnh (khoảng thời gian giữa hai ảnh liên tiếp). Độ rộng cửa sông được đo tại một mặt cắt sao cho khoảng cách giữa hai dải cát bờ Nam và Bắc là hẹp nhất [28]. Do chỉ lựa chọn các ảnh vệ tinh Landsats đạt đủ điều kiện để thực hiện phân tích và tính toán độ rộng cửa sông nên khoảng ảnh n là không đồng đều [32].

Tương tự với đó, các dữ liệu lưu lượng sông, sóng và thủy triều đều được phân tích theo khoảng ảnh n. Theo đó:

- Lưu lượng ngày lớn nhất (Q_{max}): là giá trị lưu lượng ngày lớn nhất trong khoảng ảnh n.
- Lưu lượng trung bình ngày (Q_{aver}): là giá trị lưu lượng trung bình ngày tính trong khoảng ảnh n.
- Biên độ triều (T): là giá trị biên độ triều trung bình tính trong khoảng ảnh n.
- WE và WiE: lần lượt là tổng năng lượng sóng và tổng năng lượng gió tính trong khoảng ảnh n.
- Giai đoạn (GD): là giai đoạn dài nhất trong khoảng ảnh n.

Như vậy, mỗi khoảng ảnh n sẽ tạo ra một giá trị của deltaB, GD, Q_{max}, Q_{aver}, T, WE và WiE.

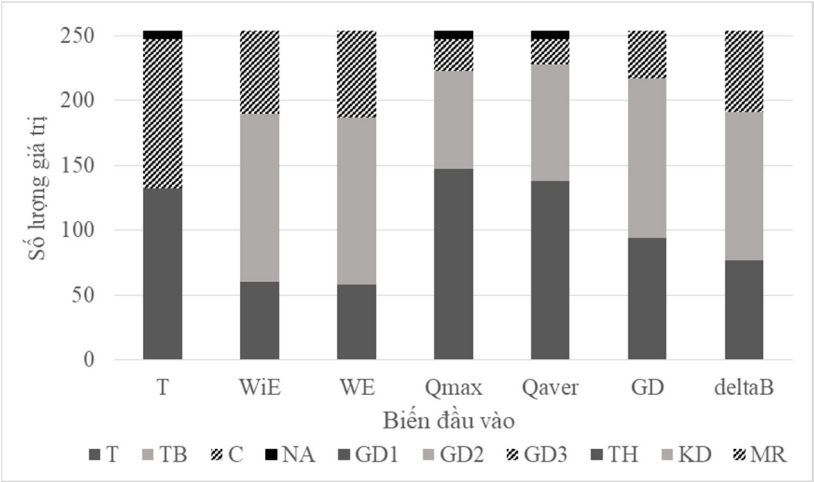
Bảng 1. Bảng các biến ảnh hưởng và phụ thuộc của mô hình.

TT	Ký hiệu	Tên biến	TT	Ký hiệu	Tên biến
1	Qmax	Lưu lượng ngày lớn nhất	5	WE	Năng lượng sóng
2	Qaver	Lưu lượng trung bình ngày	6	WiE	Năng lượng gió
3	T	Biên độ triều	7	deltaB	Biến thiên độ rộng cửa sông
4	GD	Giai đoạn			

Các dữ liệu này đều được chuẩn hóa về giá trị từ 0 đến 1. Sau khi được chuẩn hóa sẽ được đưa về các mức trạng thái như Hình 2.

- Các biến về năng lượng sóng, năng lượng gió được đưa về 3 mức trạng thái: "T", "TB", "C" thể hiện biến có giá trị so với các ngưỡng phân vị 25% và 75% của chuỗi số liệu nhiều năm.

- Lưu lượng ngày lớn nhất được so sánh với cận dưới là giá trị trung bình lưu lượng ngày lớn nhất các tháng mùa kiệt nhiều năm và cận trên là giá trị trung bình lưu lượng ngày lớn nhất các tháng mùa lũ nhiều năm để chia thành ba mức trạng thái: thấp ("T"), trung bình ("TB") và cao ("C"). Lưu lượng trung bình ngày cũng được chia làm ba mức trạng thái tương tự với cận dưới là giá trị lưu lượng ngày trung bình nhiều năm các tháng mùa kiệt và cận trên là giá trị lưu lượng ngày trung bình nhiều năm các tháng mùa lũ.
- Biến biên độ triều được chia thành 2 mức trạng thái là tương ứng với giá trị triều kém ("T") và triều cường ("C").
- Biến thể hiện giai đoạn được đưa về ba trạng thái thể hiện ba giai đoạn: Giai đoạn 1 ("GD1") từ tháng 1 đến tháng 4, Giai đoạn 2 ("GD2") từ tháng 5 đến tháng 9 và Giai đoạn 3 ("GD3") từ tháng 10 đến tháng 12 [28].
- Biến thiên độ rộng cửa sông (deltaB) cũng được chia thành 3 trạng thái cửa mở rộng ra ("MR") khi biến thiên độ rộng lớn hơn 30m, cửa thu hẹp lại ("TH") khi biến thiên độ rộng cửa nhỏ hơn –30 m và cửa không đổi ("KD") khi biến thiên độ rộng cửa nằm trong khoảng từ –30 m đến 30 m. Ở đó, ±30 m được coi là ngưỡng nằm trong độ sai số của ảnh Landsat với độ phân giải 30m x 30m.
- Trạng thái "NA" là trạng thái chung của các biến khi không có giá trị tại thời điểm đó.



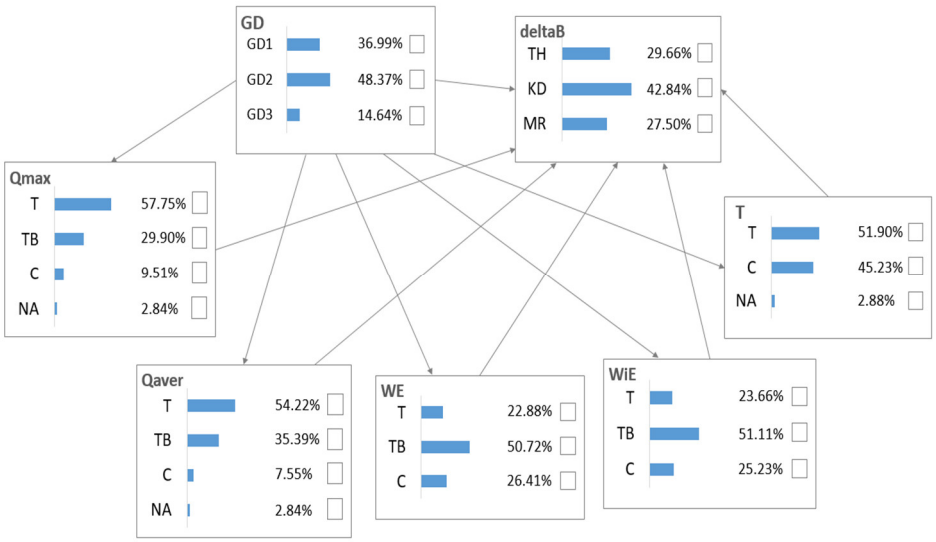
Hình 2. Mô tả các dữ liệu theo các mức trạng thái

Mỗi biến đều bao gồm 253 giá trị được chia thành nhiều nhất 4 trạng thái. Trong đó, có thể thấy, các biến đều có sự phân bổ tương đối đều với từng mức trạng thái. Trạng thái "NA" không chiếm tỷ lệ quá lớn do đó ít có khả năng gây nhiễu cho mô hình. Nghiên cứu này tập trung vào chuỗi số liệu rời rạc và tiến hành rời rạc hóa các biến. Mặc dù, hầu hết các biến như lưu lượng sông, sóng, thủy triều đều là các biến liên tục và có hàm phân phối riêng nhưng các biến biến thiên độ rộng cửa sông (deltaB) và giai đoạn (GĐ) là các biến rời rạc do đó việc rời rạc hóa. chuỗi số liệu trong nghiên cứu này là cần thiết để thống nhất được định dạng của tất cả các biến đầu vào.

3. Kết quả nghiên cứu

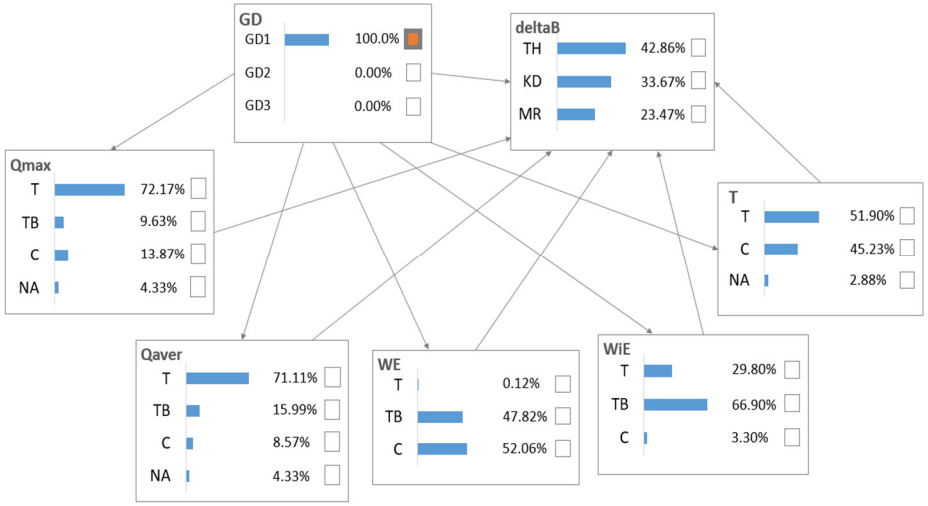
Các biến được đưa vào mạng Bayes trong mô hình Bayes Server và thực hiện tạo kết nối (links) giữa các biến ảnh hưởng: Qmax, Qaver, WE, WiE, T và GD đến biến phụ thuộc là deltaB. Ngoài ra, các biến Qmax, Qaver, WE, WiE và T cũng được coi là biến phụ thuộc của biến GD để xét sự thay đổi của các biến theo thời gian. Trong nghiên cứu này, cấu trúc mạng Bayes được định sẵn dựa trên các mối quan hệ giữa các yếu tố nên bước học cấu trúc mô hình được bỏ qua. Cho mạng học tham số dựa trên cấu trúc định sẵn, mạng Bayes cho bài toán được hình thành như Hình 3.

Ở mạng ban đầu, các biến thể hiện được xác suất xuất hiện của từng trạng thái. Ở đó, trạng thái "NA" được coi là một trạng thái của biến và được sử dụng như các trạng thái bình thường khác. Đây là một ưu điểm của mạng Bayes khi có thể tận dụng được tối đa số liệu sẵn có của nghiên cứu. Số liệu của các biến được kéo dài nhất có thể để tận dụng cho mô hình Bayes thay vì phải đưa toàn bộ số liệu về cùng một khoảng thời gian có số liệu như nhiều mô hình thủy văn trước đây.



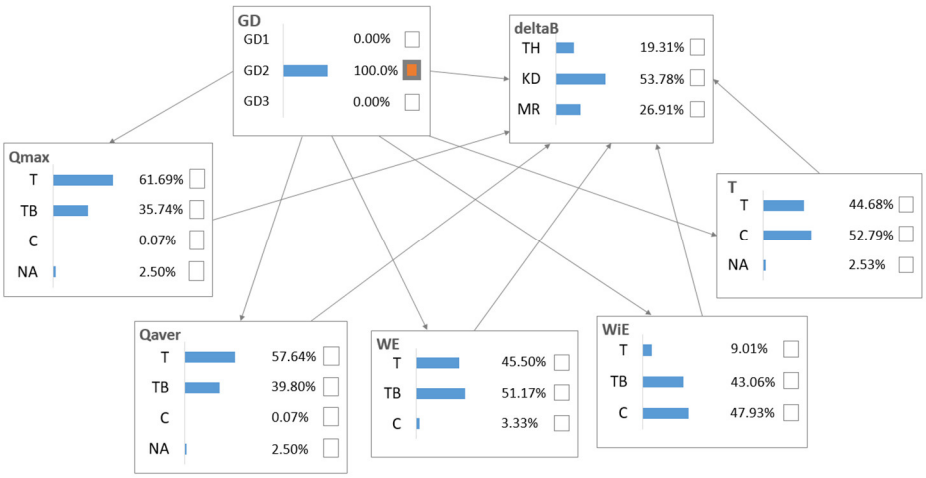
Hình 3. Kết quả ban đầu xây dựng mạng Bayes.

Thay đổi trạng thái của biến GD sẽ cho thấy các thay đổi theo thời gian của các biến. Ở giai đoạn 1 (từ tháng 1 đến tháng 4), độ biến thiên cửa sông thiên về trạng thái thu hẹp hoặc không đổi (xác suất hai trạng thái này chiếm hơn 70%). Cũng ở giai đoạn này, lưu lượng sông chủ yếu ở mức trạng thái thấp ("T") do đây là giai đoạn kết thúc mùa lũ; triều kém cũng chiếm xác suất cao hơn. Trong khi đó, năng lượng sóng tập trung ở trạng thái trung bình và cao vì gió mùa Đông Bắc chiếm ưu thế trong giai đoạn này (Hình 4).



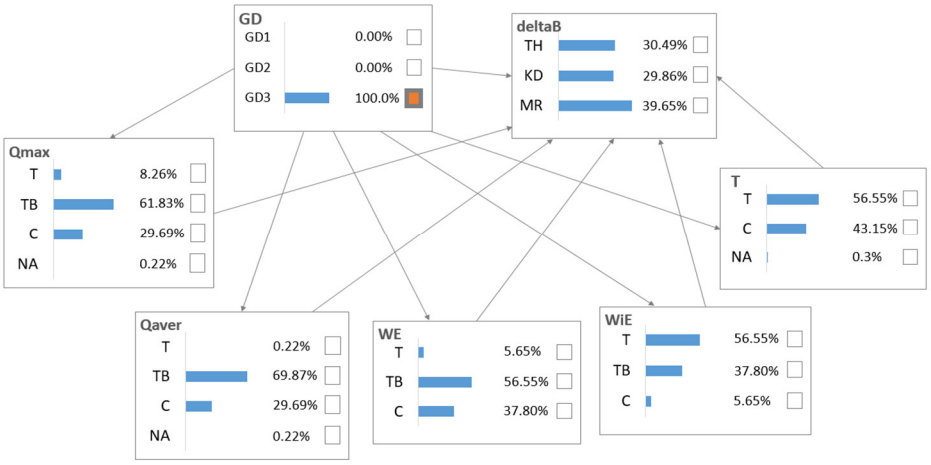
Hình 4. Kết quả mạng khi thay đổi trạng thái biến GD (GD1 = 100%).

Sang giai đoạn 2 (từ tháng 5 đến tháng 9), cửa sông cho thấy sự ổn định nhất với xác suất trạng thái không đổi là khoảng 53% (Hình 5). Ở giai đoạn này, yếu tố sông vẫn tập trung ở trạng thái thấp do đây là giai đoạn mùa kiệt. Năng lượng sóng cũng chuyển sang trạng thái thấp và trung bình khi gió mùa Tây Nam bắt đầu hoạt động mạnh. Tuy nhiên, năng lượng gió ở trạng thái cao và trung bình chiếm xác suất lớn.



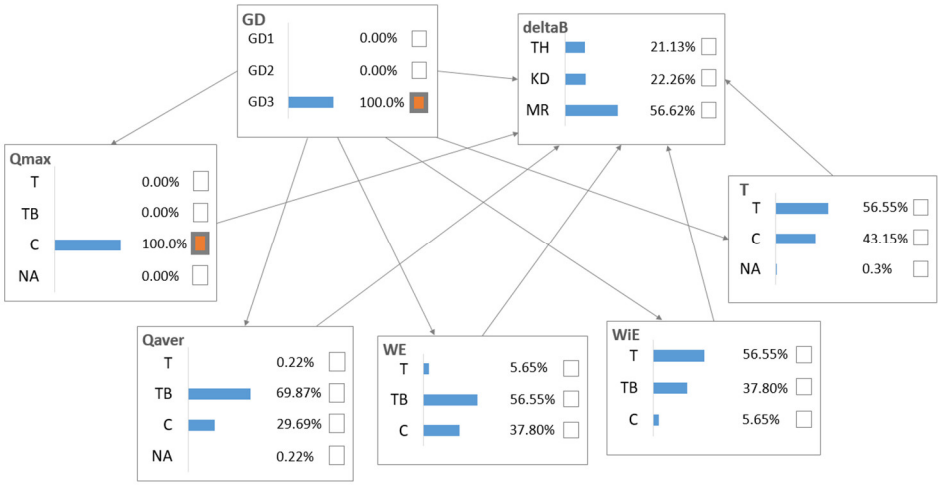
Hình 5. Kết quả mạng khi thay đổi trạng thái biến GD (GD2 = 100%).

Ở giai đoạn 3 (từ tháng 10 đến tháng 12), cửa sông không có xu thế biến động ổn định, xác suất xảy ra các trạng thái thu hẹp, mở rộng và không đổi gần như bằng nhau (khoảng 30%). Đây là thời kỳ mùa lũ nên lưu lượng sông tập trung ở mức trung bình và cao (Hình 6). Gió mùa Đông Bắc tác động mạnh khiến cho năng lượng sóng tăng lên trong giai đoạn này.



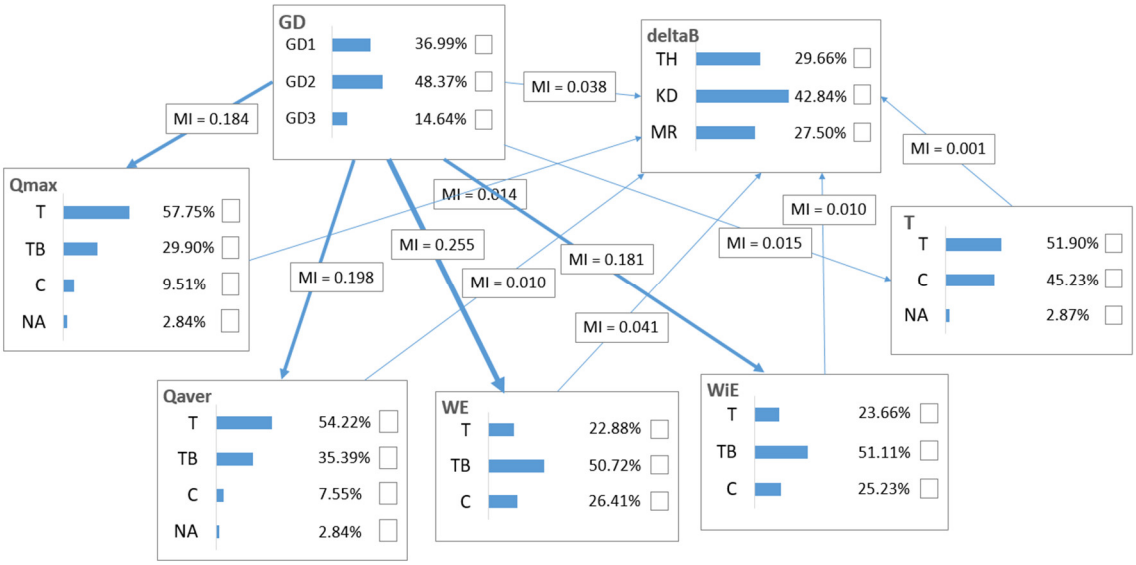
Hình 6. Kết quả mạng khi thay đổi trạng thái biến GD (GD3 = 100%).

Giai đoạn 3 là giai đoạn bất ổn nhất của cửa sông Đà Diễn, tuy nhiên, nếu lưu lượng sông đạt trạng thái cao thì xác suất cửa sông mở rộng là khoảng 60% (Hình 7).



Hình 7. Kết quả mạng khi thay đổi trạng thái biến GD và Qmax (GD3 = 100%, Qmax(C)=100%).

Tính mức độ ảnh hưởng của các biến trong mạng thông qua hệ số MI (Mutual Information), ta thấy rõ sự thay đổi của các biến rất phụ thuộc vào thời gian, do đó, việc phân chia giai đoạn để nghiên cứu cho khu vực cửa sông Đà Diễn là rất quan trọng. Các biến Qmax, Qaver, WE, WiE và T cũng cho thấy mức độ ảnh hưởng của chúng đến biến thiên độ rộng cửa sông (Bảng 2).



Hình 8. Kết quả mạng khi xét mức độ ảnh hưởng theo hệ số MI.

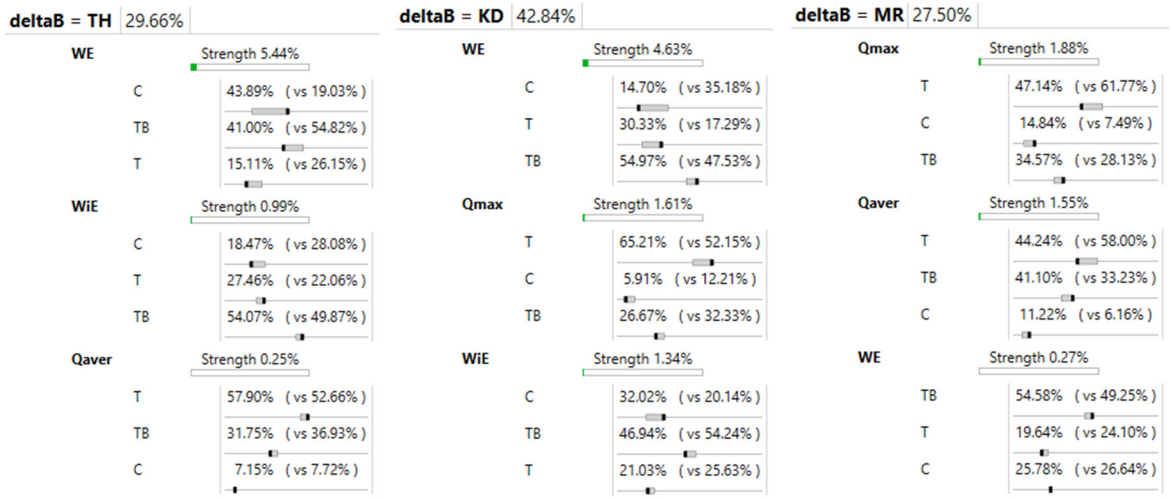
Xét trên toàn chuỗi số liệu, mức độ ảnh hưởng của các yếu tố gần như tương đương nhau trừ yếu tố thủy triều (T) có mức độ ảnh hưởng thấp nhất (Hình 8, Bảng 2). Xét riêng trong giai đoạn 1, hai yếu tố ảnh hưởng lớn nhất là năng lượng sóng và lưu lượng trung bình ngày. Sang đến giai đoạn 2, các yếu tố ảnh hưởng không thể hiện quá rõ, lớn nhất là sự ảnh hưởng của yếu tố lưu lượng ngày lớn nhất (Qmax).

Bảng 2. Bảng hệ số MI các yếu tố ảnh hưởng theo thời gian.

Giai đoạn	WE	WiE	Qaver	Qmax	T
Toàn bộ	0,015	0,01	0,01	0,014	0,001
GD1	**0,023**	0,00447	**0,0163**	0,00549	0,00756
GD2	0,00772	0,00777	0,0029	**0,0171**	0,00482
GD3	**0,0501**	0,024	0,0055	0,0271	**0,0311**

Ở giai đoạn 3, năng lượng sóng và thủy triều là hai yếu tố có mức ảnh hưởng lớn nhất. Bên cạnh đó, năng lượng gió và lưu lượng ngày lớn nhất cũng có đóng góp đáng kể trong giai đoạn này với mức độ ảnh hưởng tương đương nhau. Như vậy, có thể thấy, ở mùa gió Đông Bắc (giai đoạn 1 và 3), năng lượng sóng là yếu tố ảnh hưởng lớn đến biến thiên độ rộng cửa sông.

Xét riêng từng trạng thái của biến thiên độ rộng cửa sông, ta thấy năng lượng sóng là yếu tố ảnh hưởng quan trọng (Hình 9). Trạng thái thu hẹp cửa sông Đà Diễn phụ thuộc vào năng lượng sóng, năng lượng gió và lưu lượng trung bình. Cửa sông Đà Diễn ổn định (không đổi) phụ thuộc vào năng lượng sóng, lưu lượng ngày lớn nhất và năng lượng gió. Yếu tố chính ảnh hưởng đến sự mở rộng cửa sông là lưu lượng ngày lớn nhất, tiếp theo đó là lưu lượng trung bình ngày và năng lượng sóng.



Hình 9. Kết quả xét mức độ ảnh hưởng theo trạng thái biến phụ thuộc.

4. Kết luận

Nghiên cứu thử nghiệm mô hình mạng Bayes cho thấy, về mặt thời gian, cửa sông Đà Diễn có xu hướng diễn biến khác nhau theo từng giai đoạn. Giai đoạn 1, khi cửa sông chủ yếu ở trạng thái ổn định hoặc bị thu hẹp: đây là giai đoạn cửa sông chịu tác động của năng lượng sóng và lưu lượng trung bình ngày. Trạng thái cửa sông ổn định được thấy rõ hơn ở giai đoạn 2 và các yếu tố ảnh hưởng có tác động không rõ rệt nhất trong giai đoạn này. Ngược lại, giai đoạn 3 là giai đoạn cửa sông có trạng thái không theo xu hướng nhất định. Cả ba trạng thái thu hẹp, mở rộng và không đổi xuất hiện với xác suất ngang bằng nhau ở giai đoạn này. Yếu tố năng lượng sóng và thủy triều là hai yếu tố ảnh hưởng nhất ở giai đoạn 3. Kết quả về diễn biến và trạng thái của các giai đoạn này tương đồng với kết quả phân tích trong các nghiên cứu [28–29]. Các yếu tố ảnh hưởng được phân tích có phần khác nhau giữa nghiên cứu này với nghiên cứu [32] do sự lựa chọn biến có thay đổi ở nghiên cứu này. Tuy nhiên, cả hai nghiên cứu đều khẳng định năng lượng sóng là yếu tố được đánh giá là ảnh hưởng trong nhiều giai đoạn và có vai trò quan trọng trong diễn biến của cửa sông Đà Diễn.

Về mặt trạng thái, sự ảnh hưởng của các yếu tố khiến cửa sông có các trạng thái khác nhau, trong đó, năng lượng sóng là yếu tố có sự quyết định ở cả ba trạng thái. Lưu lượng ngày lớn nhất có sự ảnh hưởng đến trạng thái mở rộng cửa sông và cũng khiến cửa sông ổn định. Năng lượng gió lại có vai trò tác động đối với trạng thái cửa sông bị thu hẹp.

Mô hình mạng Bayes cho thấy các ưu điểm về sự tận dụng tối đa số liệu sẵn có trong nghiên cứu và cho thấy khả năng áp dụng linh hoạt đối với các dạng số liệu không đồng nhất khi có thể đưa vào mô hình chuỗi số liệu rời rạc với các trạng thái đa dạng hơn so với phương pháp hồi quy tuyến tính (chỉ nhận biến giá trị 0 hoặc 1). Nghiên cứu cho thấy sự phù hợp của mô hình mạng Bayes đối với nghiên cứu khu vực cửa sông nói riêng và lĩnh vực khí tượng thủy văn nói chung.

Trong nghiên cứu này, các yếu tố ảnh hưởng đến biến động cửa sông được xét đến đều là các yếu tố tự nhiên; tuy nhiên, có thể thấy, các yếu tố nhân sinh (các tác động của con người) thông qua hoạt động phát triển kinh tế, xây dựng công trình, hoạt động nạo vét, khai thác và sử dụng cát cũng là những yếu tố có thể tác động đến biến động của khu vực cửa sông. Do đó, ở các nghiên cứu tiếp theo cần xem xét thêm đến các yếu tố nhân sinh này.

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

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.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội trong đề tài mã số TN.20.14. Bản quyền phần mềm Bayes Server sử dụng trong nghiên cứu được tài trợ bởi Trung tâm Động lực học Thủy Khí Môi trường. Nghiên cứu này cũng nhận được sự chia sẻ số liệu từ đề tài cấp Nhà nước, mã số ĐTĐL.CN.15/15. Tập thể nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn các nguồn hỗ trợ quý báu này.

Tài liệu tham khảo

1. Xin, S.Y. Mathematical foundations, in Introduction to Algorithms for Data Mining and Machine Learning. Academic Press, 2019, pp. 19–43.
2. Andy, D.; Agogino, A.M. Text analysis for constructing design representations. *Artif. Intell. Eng.* **1997**, *11*, 65–75.
3. Kahn Jr, C.E.; Roberts, L.M.; Shaffer, K.A.; Haddawy, P. Construction of a Bayesian network for mammographic diagnosis of breast cancer. *Comput. Biol. Med.* **1997**, *27*, 19–29.
4. Paolo, G.; Taroni, F. Evaluation of scientific evidence using Bayesian networks. *Forensic Sci. Int.* **2002**, *125*, 149–155.
5. Bruce, G.M.; Richard, S.H.; Martin, G.R.; Mary, M.R.; Micheal, J.W. Using Bayesian belief networks to evaluate fish and wildlife population viability under land management alternatives from an environmental impact statement. *For. Ecol. Manage.* **2001**, *153*, 29–42.
6. Borsuk, M.E.; Stow, C.A.;, Reckhow, K.H. A Bayesian network of eutrophication models for synthesis, prediction, and uncertainty analysis. *Ecol. Modell.* **2004**, *173*, 219–239.
7. Wooldridge, S.; Done, T. Learning to predict large–scale coral bleaching from past events: A Bayesian approach using remotely sensed data, in–situ data, and environmental proxies. *Coral Reefs* **2004**, *23*, 96–108.
8. Bromley, J.; Jackson, N.A.; Clymer, O.J.; Giacomello, A.M.; Jensen, F.V. The use of Hugin® to develop Bayesian networks as an aid to integrated water resource planning. *Environ. Modell. Software* **2005**, *20*, 231–242.
9. Pearl, J. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1988.
10. Liu, S.; James McGree, J.; Ge, Z.; Xie, Y. Classification methods, in Computational and Statistical Methods for Analysing Big Data with Applications. Academic Press. 2016, pp. 7–28.
11. Sivia, D.S. Dealing with duff data. Maximum Entropy and Bayesian Methods, 1996, pp. 131–137.
12. Varis, O.; Rahaman, M.M.; Kajander, T. Fully connected Bayesian belief networks: a modeling procedure with a case study of the Ganges river basin. *Integr. Environ. Assess. Manage.* **2012**, *8*, 491–502.
13. Thuc, D.P.; James, C.R.S.; Samantha, J.C.; Wade, L.H.; Oz Sahin. Applications of Bayesian belief networks in water resource management: A systematic review. *Environ. Modell. Software* **2016**, *85*, 98–111.
14. Shi, H.; Lou, G.; Zheng, H.; Chen, C.; Bai, J.; Liu, T.; Ochege, F.U.; De Maeyer, P. Coupling the water–energy–food–ecology nexus into a Bayesian network for water resources analysis and management in the Syr Darya River basin. *J. Hydrol.* **2020**, *581*,124–387.
15. Cain, J. Planning improvements in natural resources management. UK: Centre for Ecology and Hydrology 2001, pp. 124.

16. Chan, T.U.; Hart, B.T.; Kennard, M.J.; Pusey, B.J.; Shenton, W.; Douglas, M.M.; Valentine, E.; Patel, S. Bayesian network models for environmental flow decision making in the Daly River, Northern Territory, Australia. *River Res. Appl.* **2012**, *28*, 283–301.
17. Varouchakis, E.A.; Palogos, I.; Karatzas, G.P. Application of Bayesian and cost benefit risk analysis in water resources management. *J. Hydrol.* **2016**, *534*, 390–396.
18. Tuấn, N.V. Giới thiệu phương pháp phân tích Bayes. *Tạp chí Thời sự y học* **2011**, *63*, 26–34.
19. McDonald, K.S.; Tighe, M.; Ryder, D.S. An ecological risk assessment for managing and predicting trophic shifts in estuarine ecosystems using a Bayesian network. *Environ. Modell. Software* **2016**, *85*, 202–216.
20. Madonna Vezi; Colleen Downs; Victor Wepener and Gordon O'Brien. Application of the relative risk model for evaluation of ecological risk in selected river dominated estuaries in KwaZulu–Natal, South Africa. Ocean and Coastal Management, 2020, 185, 105035.
21. Pelage, L.; Gonzalez, L.G.; Loc'h, F.L.; Ferreira, V.; Munaron, J.M.; Frédou, F.L.; Frédou, T. Importance of estuary morphology for ecological connectivity with their adjacent coast: A case study in Brazilian tropical estuaries. *Estuarine Coastal Shelf Sci.* **2021**, *251*, 107184.
22. Baldock, T.E.; Shabani, B.; Callaghan, D.P. Open access Bayesian Belief Networks for estimating the hydrodynamics and shoreline response behind fringing reefs subject to climate changes and reef degradation. *Environ. Modell. Software* **2019**, *119*, 327–340.
23. Furlan, E.; Slanzi, D.; Torresan, S.; Critto, A.; Marcomini, A. Multi–scenario analysis in the Adriatic Sea: A GIS–based Bayesian network to support maritime spatial planning. *Sci. Total Environ.* **2020**, *703*, 134972.
24. Sanuy, M.; Jiménez, J.A.; Plant, N. A Bayesian Network methodology for coastal hazard assessments on a regional scale: The BN–CRAF. *Coastal Eng.* **2020**, *157*, 103627.
25. Tuấn, N.N.; Hường, V.T.; Thắng, H.Q. Hướng tới mô hình mạng Bayes để đánh giá rủi ro trong lập lịch dự án phần mềm. Hội nghị Quốc gia lần thứ X về Nghiên cứu cơ bản và ứng dụng Công nghệ thông tin (FAIR). Đà Nẵng, 2017.
26. Thắm, P.T.H. Áp dụng mô hình rủi ro nhóm và phương pháp Bayes trong ước lượng chi phí khám chữa bệnh ở Việt Nam. *Tạp chí Kinh tế và Phát triển* **2018**, *256*, 70–77.
27. Truong, Q.H.; Nguyen, A.T.; Trinh, Q.A.; Trinh, T.N.L.; Hens, L. Hierarchical Variance Analysis: A Quantitative Approach for Relevant Factor Exploration and Confirmation of Perceived Tourism Impacts. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 2786.
28. Giang, N.T. Nghiên cứu cơ sở khoa học để xác định cơ chế bồi lấp, sạt lở và đề xuất các giải pháp ổn định các cửa sông Đà Diễn và Đà Nông tỉnh Phú Yên phục vụ phát triển bền vững cơ sở hạ tầng và kinh tế xã hội. 2018: mã số: ĐTĐL.CN.15/15.
29. Thảo, H.T. Đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố thủy động lực đến xu thế ổn định theo mùa vùng cửa sông Đà Diễn. Đại học Khoa học Tự nhiên, 2019.
30. Posthumus, Rik, Conceptual model of the seasonal inlet closure in the Da Dien Estuary, in Civil Engineering. University of Twente 2015, pp. 49.
31. Hương, P.T. Nghiên cứu cơ sở khoa học cho việc đề xuất giải pháp ổn định cửa Đà Rằng, tỉnh Phú Yên. Đại học Thủy Lợi, 2013.
32. Pham, D.H.B.; Hoang, T.T.; Bui, Q.T.; Tran, N.A.; Nguyen, T.G. Application of Machine Learning Methods for the Prediction of River Mouth Morphological

Variation: A Comparative Analysis of the Da Dien Estuary, Vietnam. *J. Coastal Res.* **2019**, *35*, 1024–1035.

Applying Bayesian Networks for assessing impact factors on Da Dien Estuary variation

Hoang Thu Thao[1*], Tran Ngoc Anh[1,2], Tran Kieu Huong[3]

[1] Faculty of Hydrology Meteorology Ocenography, University of Science, Vietnam National University, Hanoi; htthao@hus.edu.vn;
[2] Center for Environmental Fluid Dynamics, University of Science, Vietnam National University, Hanoi; tranngocanh@hus.edu.vn
[3] Ministry of Education and Training; tkhuong@moet.gov.vn

Abstract: Bayesian Networks are probabilistic graphical model for presenting the causal relationship between variables, especially the uncertainty variables. There are many applications of Bayesian Network for several area as the medical, language, biology, environment and also hydrology. This paper applies the Bayesian Network for assessing factors affecting Da Dien Estuary (focus on the river mouth width evolution). The results show that wave energy is significant impact factor to change the estuary width, especially in period 1 and period 3). The Da Dien Estuary is quite stable from May to September (period 2) so it is difficult to detect the effect of hydrodynamic factors. In general, this study reinforces the flexible application possibilities of Bayesian network model in the field of hydrometeorology.

Keywords: Bayesian Network; Da Dien Estuary; Conditional Probability.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Bài báo khoa học

Ứng dụng đồng hóa dữ liệu dự báo các trường khí tượng độ phân giải cao cho khu vực Than Uyên (Lai Châu)

Nguyễn Đức Nam[1], Nguyễn Tiến Mạnh[1], Nguyễn Xuân Anh[1], Phạm Lê Khương[1,3], Nguyễn Thanh Linh[1], Nguyễn Văn Hiệp[1,2*]

[1] Viện Vật lý Địa cầu; ducnam.mi@gmail.com; ntmanh18196@gmail.com; anhnx@igp-vast.vn; khuongpl@igp-vast.vn; nguyenthanhlinht58@gmail.com
[2] Đài KTTV khu vực đồng bằng Bắc Bộ; hiepwork@gmail.com
[3] Học viện Khoa học và Công nghệ; khuongpl@igp-vast.vn

*Tác giả liên hệ: hiepwork@gmail.com; Tel.: +84–0963297457

Ban Biên tập nhận bài: 15/1/2021; Ngày phản biện xong: 22/3/2021; Ngày đăng bài: 25/4/2021

Tóm tắt: Nghiên cứu này sử dụng mô hình WRF để dự báo các trường khí tượng độ phân giải cao cho khu vực có địa hình phức tạp tại Than Uyên (Lai Châu). Nghiên cứu ứng dụng phương pháp đồng hóa dữ liệu 3DVAR nhằm bổ sung số liệu quan trắc nâng cao chất lượng điều kiện ban đầu của mô hình. Số liệu được sử dụng để chạy chương trình đồng hóa 3DVAR bao gồm số liệu gió vệ tinh, số liệu quan trắc tại trạm và số liệu quan trắc cao không ở phạm vi miền tính của mô hình. Kết quả cho thấy đồng hóa số liệu đã cải thiện chất lượng dự báo nhiệt độ, độ ẩm và lượng mưa, diện mưa so với trường hợp không đồng hóa.

Từ khóa: Đồng hóa số liệu; Mưa lớn; Spin–up; WRF3DVAR.

1. Mở đầu

Dự báo thời tiết là một trong những nhiệm vụ quan trọng của ngành Khí tượng, có vai trò không nhỏ đối với các ngành, các lĩnh vực khác nhau trong đời sống xã hội. Trong những năm gần đây, khí hậu toàn cầu đã và đang biến đổi mạnh mẽ, các hiện tượng thời tiết cực đoan ngày càng có dấu hiệu gia tăng trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Năm 2020 các tỉnh Bắc Bộ không chỉ chịu những thiệt hại to lớn do rét đậm, rét hại, mưa đá gây ra mà còn hứng chịu ảnh hưởng của những đợt mưa lớn. Theo báo cáo của Văn phòng thường trực Ban Chỉ huy Phòng chống thiên tai và Tìm kiếm cứu nạn tỉnh Lai Châu, từ 19h ngày 11/7 đến 13h ngày 12/7 khu vực Lai Châu đã có mưa với lượng mưa phổ biến từ 30–100 mm, riêng tại thị trấn Tân Uyên 198 mm, Nậm Sỏ 144 mm, Khun Há 133 mm, Bình Lư 124 m, Mường Mít 101 mm. Mưa kéo dài kéo theo lũ quét, sạt lở đất đã gây một số thiệt hại về tài sản của Nhà nước và nhân dân. Việc dự báo chính xác hiện tượng mưa lớn sẽ góp phần giảm thiểu những thiệt hại mà nó gây ra. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu tiến hành thử nghiệm dự báo các trường khí tượng độ phân giải cao trong đợt mưa lớn tháng 7 năm 2020 tại khu vực Lai Châu bằng ứng dụng kĩ thuật đồng hóa số liệu.

Nam Trung Quốc là khu vực có cơ chế mưa gần với Việt Nam, nên những năm gần đây có nhiều nghiên cứu về dự báo mưa khu vực gần biên giới Việt Nam. Trong "Cơ chế lượng mưa kỷ lục đột biến ở Quảng Châu (Trung Quốc)" [1], tác giả đã nghiên cứu các yếu tố gây ra lượng mưa lớn, bao gồm các hình thế thời tiết, hiệu ứng địa hình và hiệu ứng đô thị bằng mô hình WRF. Nghiên cứu cho thấy rằng luồng không khí nóng ẩm ở Biển Đông liên tục cung cấp điều kiện thuận lợi cho sự phát triển mưa lớn. Mưa tạo ra một vùng lạnh yếu kết hợp với dòng đối lưu đã góp phần hình thành liên tục những ổ dông mới. Sự tương tác giữa

luồng không khí lạnh và luồng không khí nóng, ẩm kết hợp với đối lưu tầng thấp tạo thành một hệ thống mưa đối lưu liên tục. Trong nghiên cứu khác, tác giả đã điều tra đặc điểm và cơ chế mưa và gió trong ngày gần bờ biển phía Nam Trung Quốc sử dụng số liệu vệ tinh, dữ liệu mô hình WRF [2]. Kết quả nghiên cứu cho thấy, chu kỳ lượng mưa chia thành 2 khu vực trên bờ và ngoài khơi, chu kỳ gió (thẳng đứng) hàng ngày cũng tương tự như lượng mưa. Sự đối lưu đóng vai trò quan trọng trong chu kỳ ngày của lượng mưa cũng quyết định chu kỳ gió. Các dự báo dị thường lượng mưa mùa hè Trung Quốc năm 1998 sử dụng mô hình WRF và CCSM4 [3] chỉ ra rằng, mô hình WRF cải thiện mô phỏng lượng mưa, các sai số hệ thống ở phía đông cao nguyên Tây Tạng đã được loại bỏ, tuy nhiên ở vùng Hoa Bắc và Đông Bắc (Trung Quốc) các sai số còn tồn tại. Mô hình WRF cải thiện dự báo lượng mưa trong mùa hè, đặc biệt phía Nam lưu vực sông Dương Tử và Nam Trung Quốc, nhưng chưa cải thiện tốt ở Bắc và Đông Bắc Trung Quốc. Ngoài ra, mô hình WRF cho lượng mưa trung bình mùa, khung thời gian theo mùa, dự báo mưa Mei–yu gần quan trắc và tốt hơn CCSM (mô hình hệ thống khí hậu cộng đồng), nhờ có độ phân giải địa hình tốt của mô hình WRF.

Tại Việt Nam, mô hình dự báo thời tiết khu vực cũng đã được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu và dự báo nghiệp vụ. Trong nghiên cứu "Đánh giá chất lượng dự báo mưa từ mô hình số trị cho khu vực Hà Nam và Nam Định trong năm 2019" nhóm tác giả đã cho thấy mô hình dự báo không quá thiên cao đối với những ngưỡng mưa nhỏ và thiên thấp đối với những ngưỡng mưa lớn như mô hình toàn cầu [4]. Trong một nghiên cứu khác, mô hình WRF mô phỏng đợt mưa lớn từ ngày 01–06/8/2017 ở tỉnh Sơn La đã cho thấy, diện mưa và lượng mưa mô phỏng thường cao hơn với quan trắc. Mô hình đã nắm bắt được phần nào phân bố không gian và diễn biến thời gian của mưa trên khu vực [5]. Sử dụng lưới lồng và hai sơ đồ đối lưu khác nhau để dự báo mưa lớn Trung Bộ từ 1 đến 3 ngày một tác giả đã chỉ ra rằng, vùng mưa dự báo có xu hướng lệch với mưa thực tế và lượng mưa thường thấp hơn so với thực tế [6].

Để nâng cao chất lượng dự báo mưa lớn, có nhiều phương pháp đã được sử dụng, trong đó có kĩ thuật đồng hóa số liệu. Sử dụng mô hình WRF kết hợp với số liệu địa phương để dự báo mưa lớn do không khí lạnh kết hợp với dải hội tụ nhiệt đới từ 1 đến 3 ngày cho khu vực Trung Trung Bộ cho thấy, ở hầu hết các trạm, lượng mưa dự báo trong trường hợp có cập nhật số liệu địa phương cho kết quả tốt hơn không cập nhật số liệu địa phương [7]. Sử dụng đồng hóa số liệu quan trắc truyền thống và số liệu thám sát thẳng đứng từ vệ tinh cực NOAA cho mô hình WRFARW dự báo 10 đợt mưa lớn điển hình trong 3 năm (2010–2012) cho thấy, việc đưa vào đồng hóa số liệu truyền thống và phi truyền thống đã giảm được sai số mô hình một cách rõ rệt, đồng thời làm tăng khả năng phát hiện mưa lớn [8]. Đồng hóa số liệu vệ tinh MODIS để dự báo mưa lớn ở khu vực Trung Bộ trong hai mùa mưa 2007, 2008 bằng mô hình WRF cho thấy đồng hóa số liệu MODIS đã cải thiện được đáng kể chất lượng dự báo cả diện mưa và lượng mưa trong 30h đầu dự báo [9]. Đồng hóa số liệu profile nhiệt độ và nhiệt độ điểm sương từ vệ tinh MODIS thông qua sơ đồ đồng hóa 3DVAR đã cải thiện được dự báo cả về tâm mưa và lượng mưa, đặc biệt trong hạn dự báo 30h [10]. Phương pháp 4DVAR được thử nghiệm thông qua mô hình WRF dự báo mưa lớn ở khu vực Nam Bộ cho thấy sai số dự báo được cải thiện ở cả hạn dự báo 12h và 24h, đồng thời sai số nhỏ hơn trường hợp mặc định ở các ngưỡng mưa nhỏ dưới 30mm và mưa lớn trên 70 mm [11]. Sử dụng phương pháp 3DVAR đồng hóa số liệu radar cho mô hình WRF dự báo mưa lớn khu vực Thành phố Hồ Chí Minh cho thấy đồng hóa với chế độ warm start cho mô phỏng mưa lớn tốt hơn khá nhiều với chế độ cold start [12]. Đồng hóa các loại số liệu cho mô hình WRF dự báo mưa lớn cho khu vực Tây Nguyên do ảnh hưởng của bão Damrey (2017) bằng hệ thống đồng hóa dữ liệu dạng điểm GSI cũng cho thấy chất lượng dự báo về diện và lượng mưa ở hạn dự báo 24 giờ đã được cải thiện đáng kể [13].

2. Phương pháp và số liệu

2.1. Đồng hóa WRF 3D–Var

Mô hình dự báo và nghiên cứu thời tiết (ARW–WRF) phiên bản 4.0.1 được sử dụng trong nghiên cứu này là mô hình khí tượng phi thủy tĩnh. Đồng hóa dữ liệu WRF-3Dvar là một hệ thống đồng hóa số liệu được phát triển cho mô hình WRF. Hệ thống WRF–3DVAR được phát triển bởi [14] với việc sử dụng công thức biến phân tăng [15]. Nhìn chung mục đích chính của hệ thống đồng hóa số liệu WRF–3DVAR là tạo một trường điều kiện ban đầu tốt hơn cho mô hình WRF thông qua việc tính lặp hàm giá [16]:

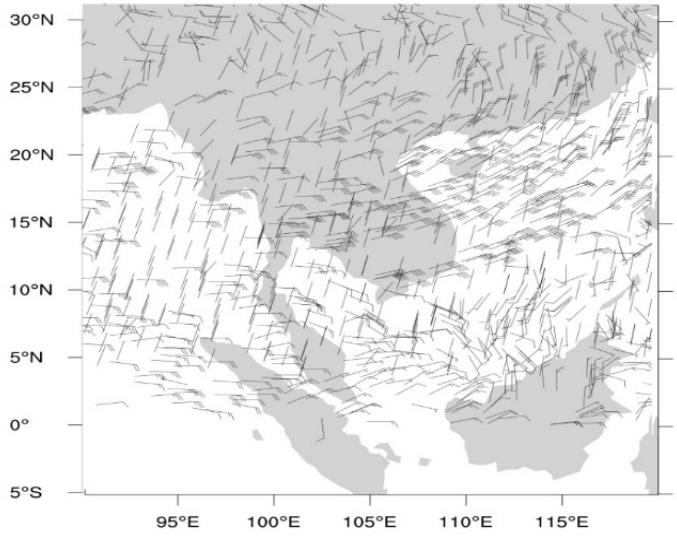
$$J(x) = \frac{1}{2}\left(x - x^b\right)^T B^{-1}\left(x - x^b\right) + \frac{1}{2}[H(x) - y^0]^T O^{-1}[H(x) - y^0] \quad (1)$$

Trong đó B là ma trận sai số trường nền; O là ma trận sai số quan trắc; H(x) là toán tử quan trắc, X là vector trạng thái khí quyển; Y là quan trắc.

Hiệu quả của đồng hóa biến phân ba chiều phụ thuộc vào thống kê sai số trường nền (*Background error statistics–BES*) vì nó chứa thông tin về sự lan truyền của các giá trị số liệu quan trắc trong không gian của mô hình và cũng xác định được cân bằng về vật lý [17] Phương pháp tính sai số trường nền NMC (*National Meteorological Centre*) [18] là một trong những phương pháp được sử dụng phổ biến nhất để tính toán sai số trường nền theo miền tính cụ thể. Phương pháp NMC xấp xỉ cấu trúc của ma trận B thông qua sự khác biệt thống kê giữa các hạn dự báo 24 giờ và 12 giờ từ mô hình khu vực. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp NMC để tính sai số trường nền với thời gian tính từ ngày 01 tháng 07 đến ngày 31 tháng 07 năm 2020.

2.2. Số liệu

Điều kiện đầu vào và điều kiện biên sử dụng số liệu dự báo GFS của NCEP/NCAR (NCEP-The National Center for Environmental Prediction /NCAR–The National Center for Atmospheric Research) có độ phân giải ngang là 0,5x0,5 độ kinh vĩ và định dạng grib2 (https://www.ncdc.noaa.gov/data–access/model–data/model–atasets/global–forcast–system–gfs). Các số liệu được sử dụng để đồng hóa bao gồm số liệu gió vệ tinh, số liệu quan trắc bề mặt và cao không. Số liệu gió vệ tinh được lấy ở khu vực Ấn Độ, Tây Bắc Thái Bình Dương và được downloads từ trang website http://tropic.ssec.wisc.edu với định dạng ASCII. Số liệu quan trắc bề mặt và cao không được lấy từ các trạm khí tượng bề mặt và cao không khu vực Việt Nam và lân cận thuộc miền tính của mô hình. Số liệu này được khai thác thông qua website http://weather.uwyo.edu. Các số liệu trên đều được xử lý đưa về định dạng litter–r để chạy chương trình obsproc nhằm kiểm tra chất lượng và loại bỏ các số liệu không thuộc miền tính của mô hình.



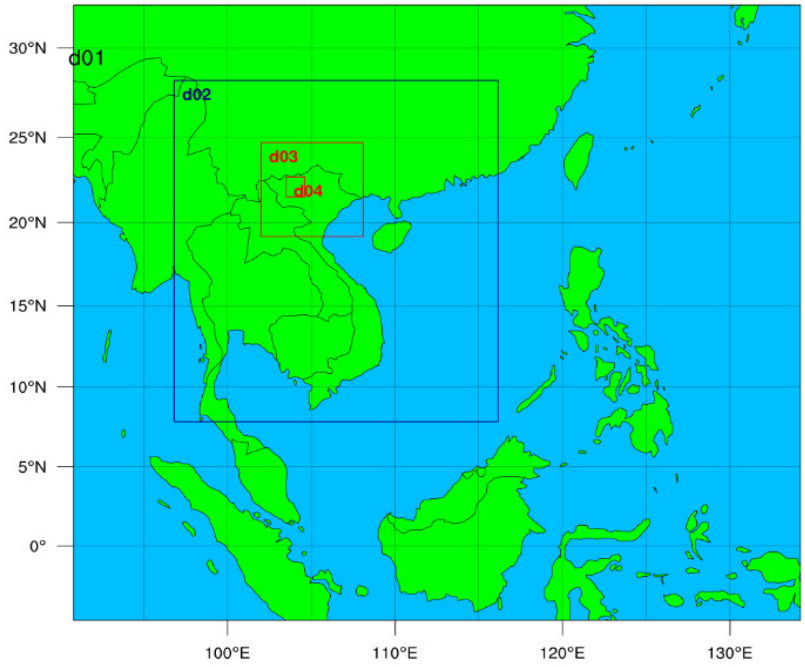
Hình 1. Số liệu gió vệ tinh các mực độ cao sử dụng trong nghiên cứu.

Số liệu quan trắc tại trạm được sử dụng để đánh giá các trường khí tượng dự báo. Số liệu mưa vệ tinh Gsmap được sử dụng để so sánh đánh giá với trường mưa của mô hình. Số liệu mưa vệ tinh Gsmap được sử dụng có độ phân giải là 0,1x0,1 độ kinh vĩ (https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP).

2.3. Thiết kế thí nghiệm

Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng mô hình WRF và WRFDA phiên bản V4.0.1 với ba lưới lồng tương tác hai chiều, độ phân giải tương ứng là: 27 km, 9 km, 3 km, 1 km (Hình 2). Số điểm lưới tương ứng là 174x156; 232x259; 220x214 và 121x136 điểm lưới với 38 mực thẳng đứng.

Miền 1 được thiết kế đủ rộng để mô hình có thể nắm bắt được các quá trình hoàn lưu quy mô lớn ảnh hưởng đến khu vực Việt Nam, miền nhỏ được thu hẹp phạm vi bao trọn khu vực Tây Bắc Bộ.



Hình 2. Các miền tính của mô hình.

Bộ tham số vật lý của mô hình WRF được lựa chọn để mô phỏng các trường khí tượng khu vực Than Uyên, Lai Châu được thể hiện qua Bảng 1.

Bảng 1. Sơ đồ vật lý sử dụng trong thí nghiệm.

STT	Tham số mô hình	Tham số lựa chọn
1	Sơ đồ vi vật lý mây	Thompson WSM 6–class
2	Tham số hóa đối lưu	Betts–Miller–Janjic Kain–Fritsch
3	Bức xạ sóng ngắn	rrtmg scheme
4	Bức xạ sóng dài	rrtmg scheme
5	Lớp biên hành tinh	YSU scheme

Nghiên cứu thực hiện thử nghiệm dự báo đợt mưa từ ngày 10 đến 13 tháng 07 năm 2020. Thời điểm ban đầu của mô hình từ 00z ngày 10 tháng 07 năm 2020, dự báo hạn 72 giờ tới thời điểm 00z ngày 13 tháng 7 năm 2020.

2.3. Phương pháp đánh giá

Nghiên cứu sử dụng giản đồ Taylor để so sánh đánh giá. Giải đồ Taylor được phát minh, được dùng để định lượng sai số giữa giá trị dự báo và giá trị quan trắc theo ba chỉ số thống kê: Hệ số tương quan, sai số bình phương trung bình (RMSE) và độ lệch chuẩn. Giải đồ Taylor có thể được xây dựng với các phần mềm như R, GrADS, IDL, MATLAB, NCL, Python, ... Trong báo cáo này sử dụng phần mềm tính toán thống kê R để tính toán và vẽ giải đồ Taylor.

Hệ số tương quan giữa chuỗi X và Y với n cặp giá trị x và y được tính theo công thức sau:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2 \sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}} \quad (2)$$

Trong đó: $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$ và $\bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$

r_{xy} gọi là hệ số tương quan mẫu của X và Y. Hệ số tương quan nhận giá trị trên đoạn [−1;1]. Nếu hệ số tương quan (r) dương cho biết X và Y biến động cùng chiều và âm thì ngược lại.

Trong các công thức dưới đây, Fi và Oi tương ứng là giá trị mô hình và giá trị quan trắc của một biến nào đó i = 1, 2,…,N, N là dung lượng mẫu.
Sai số bình phương trung bình (*Root Mean Squared Error – RMSE*):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(F_i - O_i)^2} \quad (3)$$

Dựa vào độ lệch chuẩn chúng ta biết được độ phân tán của tổng thể. Độ lệch chuẩn là căn bậc 2 của phương sai được tính như công thức dưới đây:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n}} \quad (4)$$

3. Kết quả và thảo luận

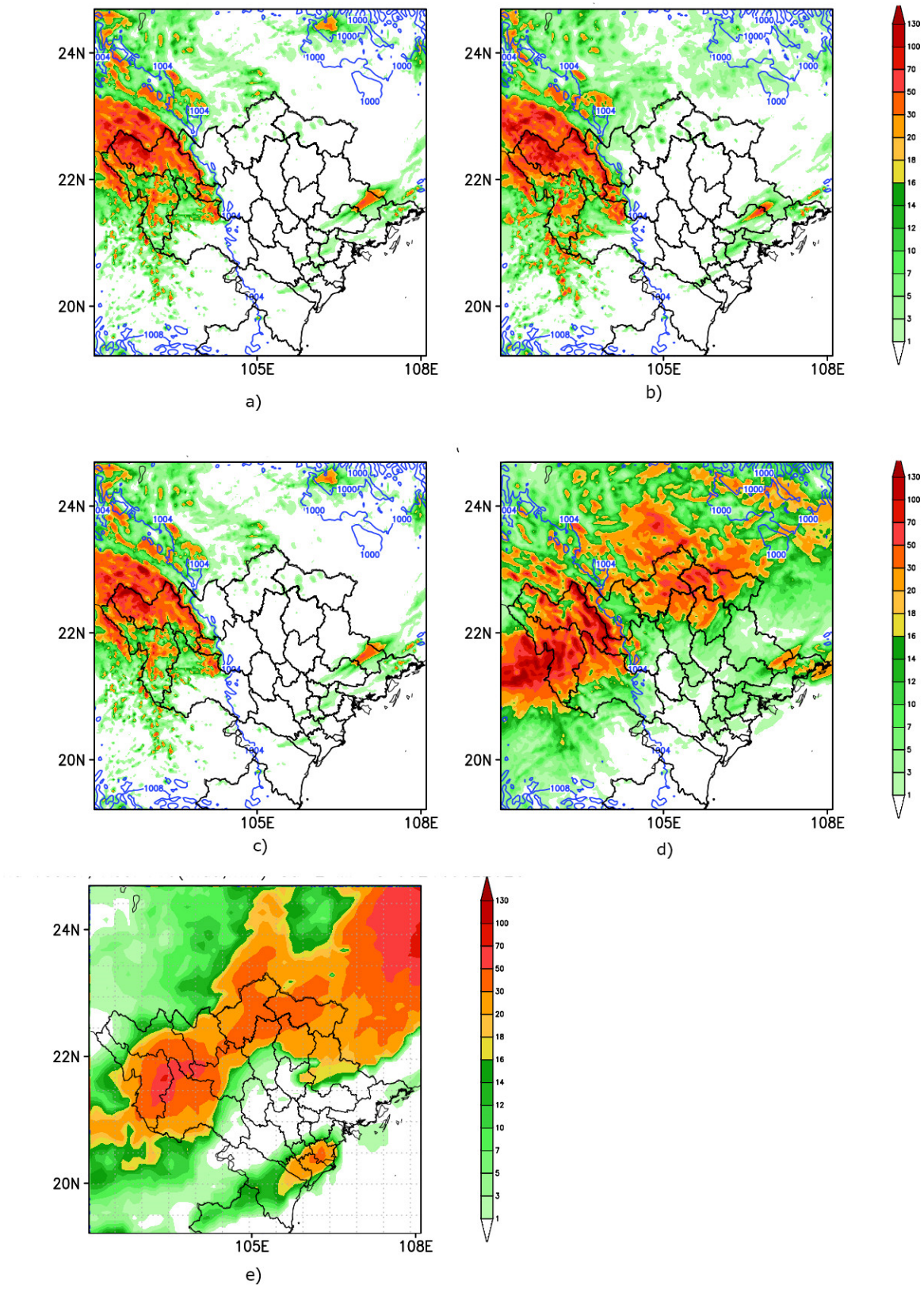
3.1. Kết quả lựa chọn tham số vật lý

Trong nghiên cứu này, để dự báo mưa lớn ở khu vực Lai Châu từ ngày 10-13/7/2020 các sơ đồ tham số đối lưu và vi vật lý mây trong mô hình được lựa chọn kế thừa từ các nghiên cứu trong nước, là các sơ đồ vốn được sử dụng rộng rãi [19–22], đó là: sơ đồ đối lưu Kain–Fritsch (kí hiệu 1) và Betts–Miller–Janjic (BMJ) (kí hiệu 2); sơ đồ tham số hóa vi vật lý mây Thompson (kí hiệu 8) và WSM 6–class (kí hiệu 6).

Kết quả thử nghiệm được hiển thị, so sánh với bản đồ ước lượng mưa vệ tinh độ phân giả 0.1 độ của GSMAP (Hình 3).

Phân tích bản đồ lượng mưa tích lũy 24 giờ (Hình 3), có thể nhận thấy cả 4 trường hợp thử nghiệm mô hình đều nắm bắt được mưa ở khu vực Lai Châu, tuy nhiên kết quả trường hợp 4 (Cu = 2, MP = 8) cho kết quả diện mưa phù hợp với số liệu GSMAP hơn. Ngoài ra, mô hình còn mô phỏng được mưa ở một số địa điểm lân cận như Yên Bái, Sơn La và vùng núi dọc biên giới Việt Trung thuộc khu Đông Bắc như Hà Giang, Cao Bằng. Trên cơ sở đó, nghiên cứu sẽ lựa chọn sử dụng bộ tham số gồm sơ đồ tham số hóa đối lưu BMJ (2) và sơ đồ

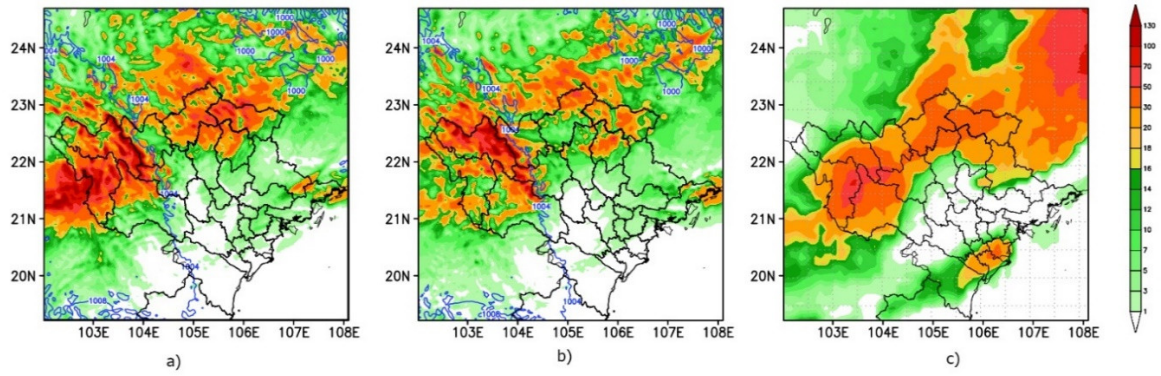
vi vật lý Thompson (8) để thực hiện đồng hóa số liệu gió vệ tinh, số liệu trạm và số liệu cao không nhằm dự báo các trường khí tượng độ phân giải cao cho khu vực Lai Châu.



Hình 3. Bản đồ lượng mưa tích lũy hạn 24h tính từ 00Z ngày 10/7/2020 đến 00Z ngày 11/7/2020 các trường hợp: a): Cu=1, MP=6; b): Cu=2, MP=6; c): Cu=1, MP=8; d): Cu=2, MP=8 và bản đồ GSMAP (e).

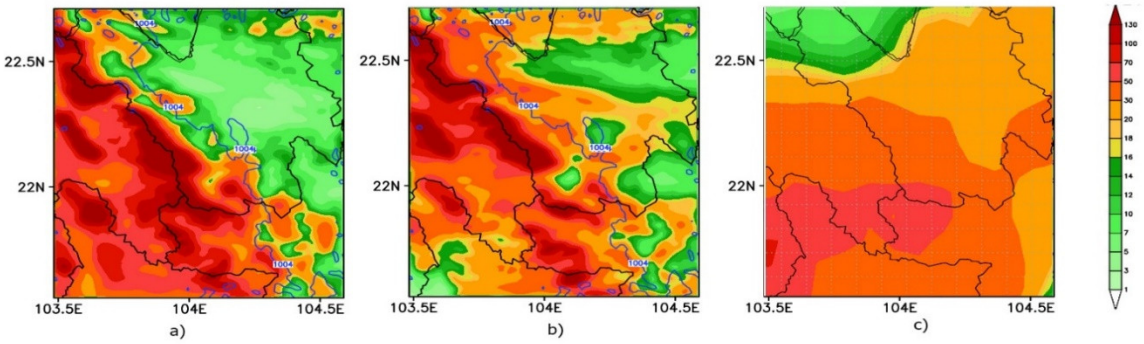
3.2. Kết quả dự báo từ ngày 10–13/07/2020

Dưới đây là kết quả đồng hóa các số liệu gió vệ tinh, số liệu quan trắc tại trạm và số liệu cao không tại thời điểm 00z ngày 10 tháng 07 năm 2020 (Hình 4).



Hình 4. Bản đồ lượng mưa tích lũy miền d03 hạn 24h tính từ 00Z ngày 10/7/2020 đến 00Z ngày 11/7/2020 tại các trường hợp: a) Không đồng hóa số liệu. b) Có đồng hóa số liệu. c) Số liệu mưa GSMAP.

So sánh kết quả mô phỏng với số liệu mưa vệ tinh GSMAP (Hình 4) cho thấy, trường hợp có đồng hóa số liệu đã mô phỏng được vùng mưa phù hợp hơn so với trường hợp không có đồng hóa. Cụ thể, trường hợp đồng hóa số liệu đã loại bỏ được vùng mưa ở khu vực giáp ranh giữa Lào và tỉnh Điện Biên, nơi mà trường hợp không đồng hóa số liệu cho mưa lớn. Tại khu vực Than Uyên (Lai Châu) đồng hóa số liệu cũng cải thiện đáng kể chất lượng dự báo lượng mưa.

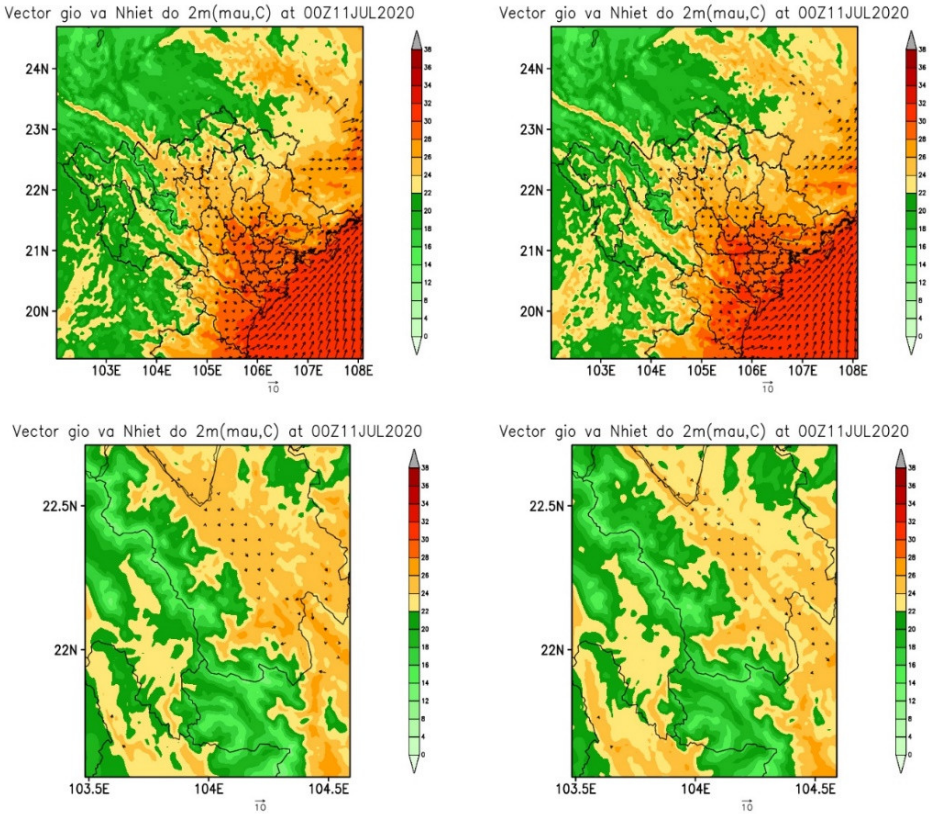


Hình 5. Bản đồ lượng mưa tích lũy miền d04 hạn 24h tính từ 00Z ngày 10/7/2020 đến 00Z ngày 11/7/2020 tại các trường hợp: a) Không đồng hóa số liệu. b) Có đồng hóa số liệu. c) Số liệu mưa GSMAP.

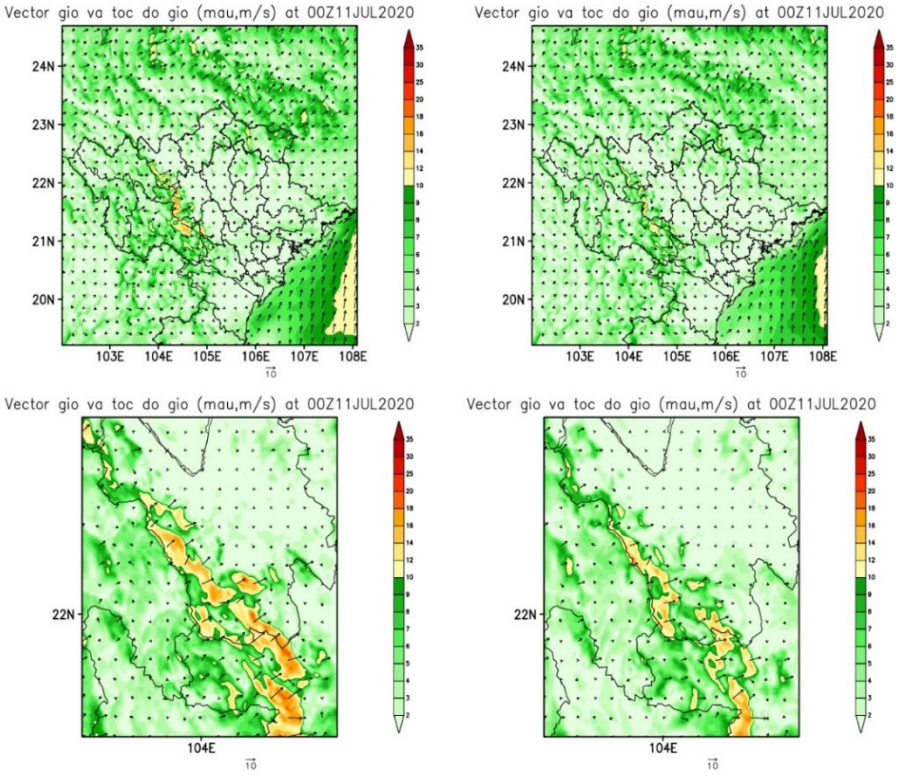
Phân tích bản đồ trường nhiệt độ không khí tại độ cao 2m ở thời điểm 00Z ngày 11/7/2020 của miền tính 3 (Hình 6) có thể thấy được một cách tổng quát nhiệt độ không khí trường hợp có đồng hóa số liệu cao hơn trường hợp mặc định từ 1–2 độ C, đặc điểm này dễ dàng nhận thấy tại khu vực Tây Bắc và phía tây và tây nam Đồng bằng Bắc Bộ. Ở trường hợp mặc định, nhiệt độ không khí dao động từ 18 đến dưới 24 độ C, tuy nhiên nhiệt độ phổ biến ở mức dưới 22 độ C, trừ khu vực phía bắc và phía đông tỉnh Sơn La. Ở trường hợp có đồng hóa số liệu, nền nhiệt trung bình phổ biến ở khoảng 20–24 độ C, có nơi trên 24 độ C trong khi trường hợp không đồng hóa, diện tích khu vực có nhiệt độ từ 22–24 độ C lớn hơn đáng kể.

Hình 7 thể hiện trường gió dự báo của mô hình trường hợp có đồng hóa và không có đồng hóa số liệu. So với mặc định, sau khi đồng hóa số liệu tốc độ gió đã giảm hơn, các vùng

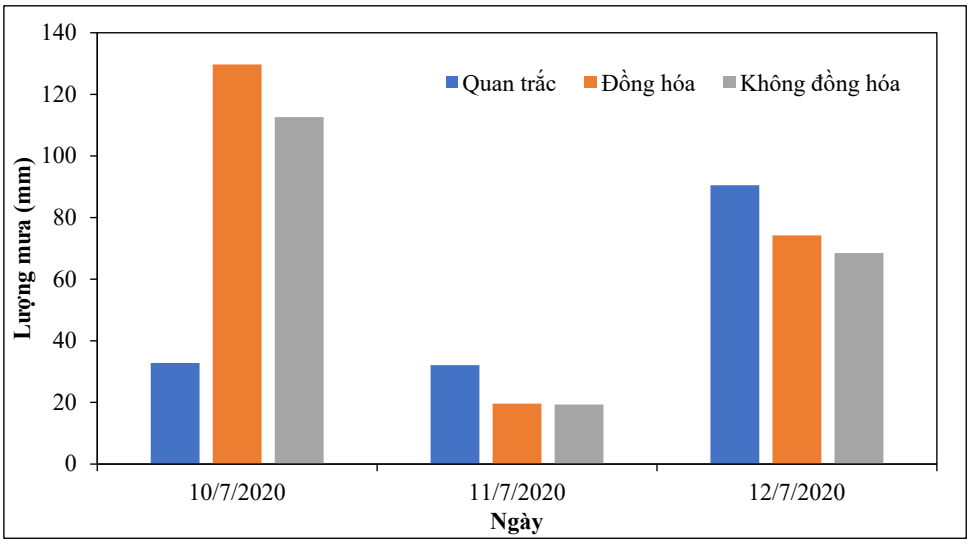
gió mạnh cũng thu hẹp hơn. Tuy nhiên hướng gió tại mực 10m ở hạn dự báo 24h không có sự khác biệt đáng kể giữa trường hợp có đồng hóa và không đồng hóa.



Hình 6. Bản đồ trường nhiệt độ tại độ cao 2m và vector gió tại hạn dự báo 24 giờ thời điểm 00Z ngày 11/07/2020 giữa trường hợp đồng hóa (trái) và mặc định (phải), miền d03 (trên), miền d04 (dưới).



Hình 7. Bản đồ trường gió mực 10m hạn dự báo 24 giờ thời điểm 00Z ngày 11/07/2020 giữa trường hợp đồng hóa (trái) và mặc định (phải), miền d03 (trên), miền d04 (dưới).

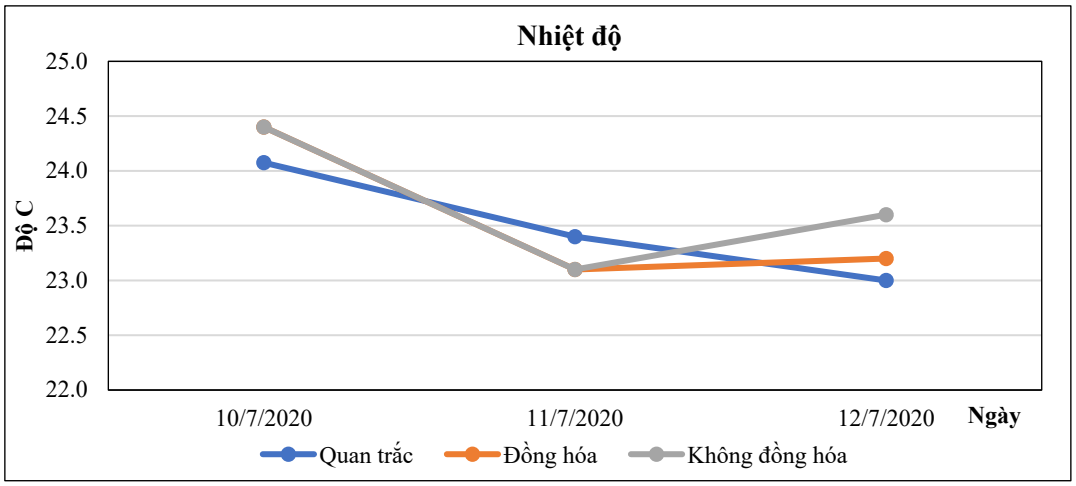


Hình 8. Biểu đồ so sánh lượng mưa giữa quan trắc và trường hợp đồng hóa, không đồng hóa.

Bảng 2. Kết quả so sánh giữa quan trắc và các trường hợp đồng hóa, không đồng hóa (mm).

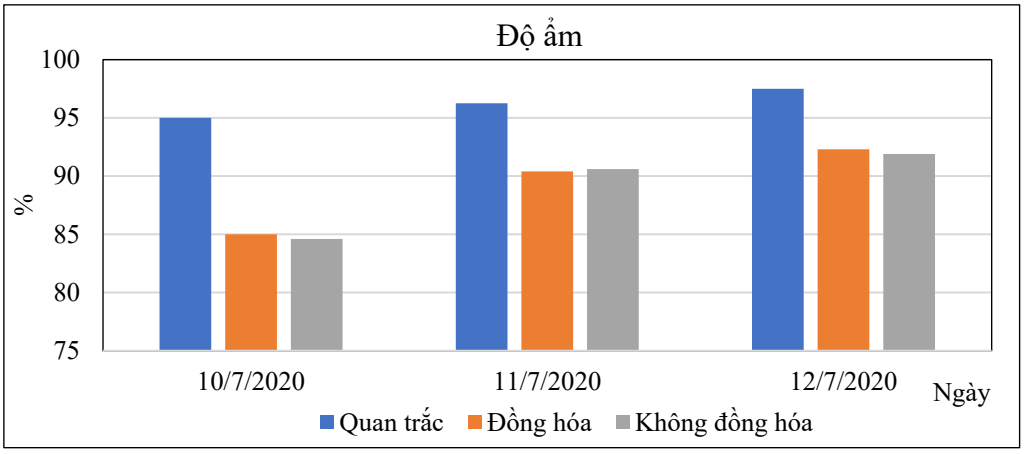
	10/07/2020	**11/07/2020**	**12/07/2020**
Quan trắc	32,8	32,1	90,5
Đồng hóa	129,7	19,6	74,2
Không đồng hóa	112,6	19,3	68,5

Biểu đồ Hình 8 thể hiện sự so sánh giữa lượng mưa quan trắc tại trạm Than Uyên và các trường hợp có đồng hóa, không đồng hóa. Kết quả cho thấy, ngày 10/7, mô hình mô phỏng lượng mưa lớn hơn quan trắc, tuy nhiên ngày 11 và 12/7 thì ngược lại. Giá trị chênh lệch ở ngày 11 và 12 /7 nhỏ hơn so với ngày 10/7. So sánh lượng mưa mô phỏng giữa trường hợp đồng hóa và không đồng hóa cho thấy trường hợp có đồng hóa cho lượng mưa cao hơn.



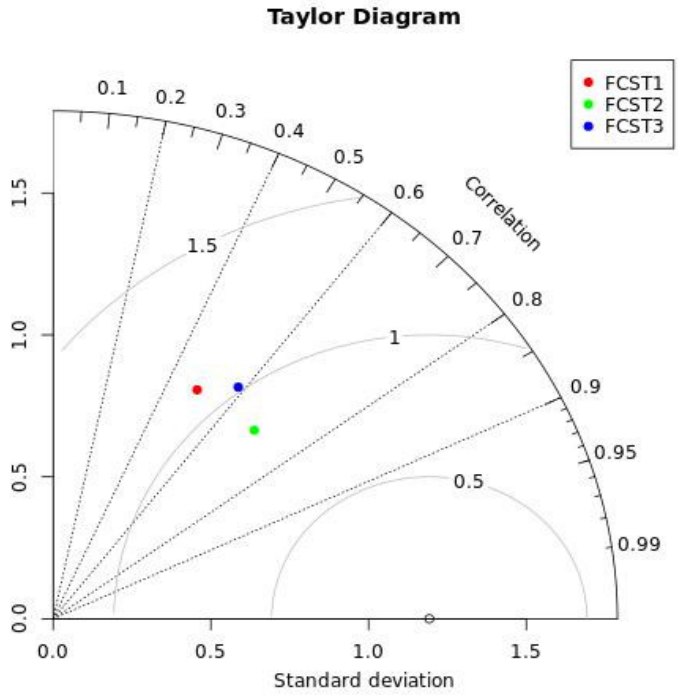
Hình 9. Biểu đồ so sánh nhiệt độ giữa quan trắc và các trường hợp đồng hóa, không đồng hóa.

Hình 9 là biểu đồ thể hiện sự so sánh về nhiệt độ giữa quan trắc và các trường hợp đồng hóa, không đồng hóa. Có thể thấy, trường hợp đồng hóa và không đồng hóa cho giá trị nhiệt độ tương đương nhau vào ngày 10 và 11/7/2020. Các giá trị này đều chênh lệch so với giá trị quan trắc khoảng 0,5 độ C. Kết quả ngày 12/7 có sự thay đổi khi giá trị nhiệt độ trường hợp đồng hóa gần với giá trị quan trắc hơn. Điều này cho thấy đồng hóa dữ liệu giúp cải thiện chất lượng dự báo nhiệt độ 3 ngày ở trường hợp này.



Hình 10. Biểu đồ so sánh độ ẩm giữa quan trắc và các trường hợp đồng hóa, không đồng hóa.

Kết quả so sánh độ ẩm tương đối giữa quan trắc và các trường hợp đồng hóa, không đồng hóa được thể hiện trong hình 10. Kết quả cho thấy giá trị mô phỏng ở cả 2 trường hợp đồng hóa và không đồng hóa đều thấp hơn so với quan trắc. Độ ẩm tương đối ngày 10 và 12/7/2020 trường hợp đồng hóa cao hơn so với trường hợp không đồng hóa. Điều này cho thấy đồng hóa có cải thiện chất lượng dự báo trường độ ẩm nhưng không đáng kể.



Hình 11. Giản đồ Taylor so sánh chất lượng các hạn dự báo: 1 ngày (đỏ), 2 ngày (xanh lá), 3 ngày (xanh dương).

Giản đồ Taylor (Hình 11) biểu thị so sánh chất lượng các hạn dự báo từ 1 đến 3 ngày, được tính toán dựa trên kết quả chạy dự báo 3 ngày cho các tháng 1 và tháng 7. Có thể thấy, hạn dự báo 2 ngày (xanh lá) cho kết quả gần số liệu quan trắc nhất với chỉ số tương quan khoảng 0,7. Hệ số tương quan của hạn dự báo 3 ngày (xanh dương) với quan trắc là 0,6 và của hạn dự báo 1 ngày (đỏ) là 0,5. Như vậy, với hạn dự báo 1 ngày mô hình WRF cho kết quả dự báo kém hơn hạn 2 ngày và 3 ngày. Nguyên nhân có thể bởi mô hình cần có khoảng thời gian spin–up ban đầu nên khoảng thời gian này có thể làm ảnh hưởng đến chất lượng dự báo ngày thứ nhất.

4. Kết luận

Nghiên cứu này sử dụng mô hình WRF để dự báo các trường khí tượng độ phân giải cao cho khu vực Than Uyên (Lai Châu) bằng phương pháp đồng hóa dữ liệu 3DVAR. Số liệu được sử dụng để đồng hóa bao gồm số liệu gió vệ tinh, số liệu quan trắc mặt đất và cao không. Mô hình WRF với ba lưới lồng tương tác hai chiều, độ phân giải tương ứng là: 27 km, 9 km, 3 km, 1 km thử nghiệm mô phỏng cho đợt mưa từ ngày 10–13 tháng 07 năm 2020. Kết quả chất lượng dự báo về diện và lượng mưa ở trường hợp có đồng hóa số liệu đều được cải thiện hơn so với trường hợp không đồng hóa. Kết quả dự báo các trường nhiệt độ, độ ẩm, gió (bao gồm hướng gió và tốc gió) cũng được đánh giá. So sánh giữa quan trắc với trường hợp có đồng hóa, không đồng hóa cho thấy mô hình WRF có sử dụng kĩ thuật đồng hóa đã cải thiện được sai số dự báo ở các hạn dự báo song chất lượng cải thiện chưa cao. Tuy nhiên kết quả nghiên cứu cũng cho thấy tiềm năng của việc đồng hóa nhiều nguồn số liệu, sẽ giúp cải thiện tốt hơn trường ban đầu của mô hình khu vực, từ đó nâng cao chất lượng dự báo ở độ phân giải cao.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.Đ.N., N.X.A, N.V.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.X.A., N.V.H., N.Đ.N.; Thu thập, xử lý số liệu, chạy mô hình: N.Đ.N., N.T.M., N.T.L., P.L.K.; Viết bản thảo bài báo: N.Đ.N., N.T.M., N.V.H.; Chỉnh sửa bài báo: N.Đ.N., N.X.A., N.V.H.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện và hoàn thành nhờ sự hỗ trợ của Dự án: "Ứng dụng công nghệ tự động hóa trong quá trình sản xuất nguyên liệu và quá trình sản xuất, chế biến chè xanh sao lăn chất lượng cao tại công ty cổ phần trà Than Uyên" Mã số: CNC 003/19 và Đề tài: "Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo mẫu tên lửa nghiên cứu (Sounding Rocket) đưa thiết bị khoa học để thử nghiệm thu thập dữ liệu khí quyển tầng cao" Mã số: VT–CN.02/18–20.

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. Huang, Y.; Liu, Y.; Li, H.; Knievel, J.C. Mechanisms for a Record-Breaking Rainfall in the Coastal Metropolitan City of Guangzhou, China: Observation Analysis and Nested Very Large Eddy Simulation With the WRF Model. *J. Geophys. Res. Atmos.* **2019**, *124*, 1370–1391.
2. Du, Y.; Rotunno, R. Diurnal Cycle of Rainfall and Winds near the South Coast of China. *J. Atmos. Sci.* **2018**, *75*, 2065–2082.
3. Ma, J.; Wang, H.; Fan, K. Dynamic Downscaling of Summer Precipitation Prediction over China in 1998 Using WRF and CCSM4. *Adv. Atmos. Sci.* **2015**, *32*, 577–584.
4. Hưng, M.K.; Tiến, D.D.; Sơn, L.V.; Hải, B.T.; Dung, P.T.P.; Quân, D.D. Đánh giá chất lượng dự báo mưa từ mô hình số trị cho khu vực Hà Nam và Nam Định trong năm 2019. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, *715*, 37–48.
5. Lành, N.V.; Lam, N.T.T. Nghiên cứu mô phỏng và xác định cơ chế gây ra đợt mưa lớn vào đầu tháng 8 năm 2017 tại tỉnh Sơn La. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, *692*, 1–9.
6. Hường, C.T.T. Nghiên cứu thử nghiệm dự báo mưa thời hạn từ 1 đến 3 ngày cho khu vực Trung Bộ Việt Nam bằng mô hình WRF, Luận văn thạc sĩ, Trường ĐHKHTN, ĐHQGHN, 2007.

7. Toàn, N.T. Dự báo mưa lớn do không khí lạnh kết hợp với dải hội tụ nhiệt đới từ 1 đến 3 ngày cho khu vực Trung Trung Bộ bằng mô hình WRF. *Luận văn thạc sỹ, trường ĐHKHTN*–ĐHQGHN, 2011.
8. Tiến, D.Đ.; Tăng, B.M.; Hòa, V.V.; Vui, P.T.; Đức, T.A.; Hưng, M.K.; Linh, N.M. Đánh giá tác động của đồng hóa số liệu và điều kiện biên đến kết quả dự báo mưa lớn từ mô hình WRF cho khu vực tại miềnTrung và Tây Nguyên. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, *647*, 25–30.
9. Tiến, T.T.; Thanh, T.N.T. Đồng hóa dữ liệu vệ tinh modis trong mô hình WRF để dự báo mưa lớn ở khu vực Trung Bộ. *VNU J. Sci Nat. Sci. Technol.* **2011,** 27, 90–95**.**
10. Thanh, N.T. Nghiên cứu đồng hoá số liệu vệ tinh trong mô hình WRF để dự báo mưa lớn ở khu vực Trung Bộ, Luận văn thạc sĩ, Trường ĐHKHTN, ĐHQGHN, 2010.
11. Thăng, V.V. Thử nghiệm đồng hóa số liệu bằng WRF 4D–Var trong dự báo mưa ở khu vực Nam Bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *EME2*, 174–185. https://doi.org/10.36335/vnjhm.2019(eme2).174–185.
12. Thức, T.D; Thanh, C. Thử nghiệm đồng hóa dữ liệu radar trong mô hình WRF để dự báo mưa lớn cho khu vực Thành phố Hồ Chí Minh. *VNU J. Sci Nat. Sci. Technol.* **2018**, *34*(1S), 59–70.
13. Rostami, O.; Kashaninejad, N.; Moshksayan, K.; Saidi, M.S.; Firoozabadi, B.; Nguyen, N.T. Novel approaches in cancer management with circulating tumor cell clusters. *J. Sci. Adv. Mater. Devices* **2019**, *4*, 1–18.
14. Barker, D.M.; Huang, W.; Guo, Y.R.; Bourgeois, A.J.; Xiao, Q.N. A three–dimensional ariational data assimilation system for mm5: implementation and initial results. *Mon. Weather Rev.* **2004**, *132*, 897–914.
15. Courtier, P.; Thépaut, J.N.; Hollingsworth, A. A strategy for operational implementation of uppercase 4D–Var, using an incremental approach. *Q. J. R. Meteor. Soc*. **1994**, *120*, 1367–1387.
16. Ide, K.; Courtier, P.; Ghil, M.; Lorenc, A.C. Unified notation for data assimilation: operational, sequential and variational. *J. Meteorol. Soc. Jpn.* **1997**, *75*, 181–189.
17. Sugimoto, S.; Crook, N.A.; Sun, J.; Xiao, Q.; Barker, D.M. An examination of WRF 3DVAR radar data assimilation on its capability in retrieving unobserved variables and forecasting precipitation through observing system simulation experiments *Mon. Weather Rev*. **2009**, *137*, 4011–4029.
18. Parrish, D.F.; Derber, J.C. The national meteorological center's spectral statistical–interpolation analysis system. *Mon. Weather Rev.* **1992**, *120*, 1747–1763.
19. Hương, T.T.M.; Hằng, N.T.; Tín, N.V.; Sơn, T.V.; Minh, P.T. Thử nghiệm đồng hóa số liệu gió vệ tinh và số liệu cao không để mô phỏng qũy đạo và cường độ cơn bão Haiyan 2013. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, *716*, 79–95. https://doi.org/10.36335/vnjhm.2020(716).79–95
20. Ngọc, L.A.; Tín, N.V.; Phát, T.N.; Hồng, N.V. Đánh giá khả năng dự báo thời tiết của mô hình WRF (Weather, Research and Forecasting) cho khu vực Nam Bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *708*, 55–63. https://doi.org/10.36335/vnjhm.2019(708).55–63.

21. Thức, P.T. Ảnh hưởng của tham số bão tới nước dâng sau khi bão đổ bộ tại ven biển Bắc bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, *712*, 1–9. https://doi.org/10.36335/vnjhm.2020(712).1–9.
22. Tiến, D.Đ.; Cường, H.Đ.; Hưng, M.K.; Lâm, H.P. Đánh giá tác động của việc sử dụng tham số hóa đối lưu trong dự báo đợt mưa lớn tháng 7 năm 2015 trên khu vực Bắc Bộ bằng mô hình phân giải cao. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn 2019*, 1–8. https://doi.org/10.36335/VNJHM.2019(699).1–8.

Application of Data Assimilation for High–Resolution Simulation of Meteorological Variables over Than Uyen area (Lai Chau)

Nguyen Duc Nam[1], Nguyen Tien Manh[1], Nguyen Thanh Linh[1], Nguyen Xuan Anh[1], Pham Le Khuong[1,3], Nguyen Van Hiep[1,2*]

[1] Institute of Geophysics; ducnam.mi@gmail.com; ntmanh18196@gmail.com; anhnx@igp-vast.vn; khuongpl@igp-vast.vn; nguyenthanhlinht58@gmail.com
[2] Northern Delta Regional Hydro–Meteorological Center; hiepwork@gmail.com
[3] Graduate University of Science and Technology; khuongpl@igp-vast.vn

Abstract: In this research, the WRF model with a 3DVAR data assimilation is used to simulate the high–resolution meteorological fields for Than Uyen (Lai Chau) area. The data used include satellite wind data, surface observations at stations and sounding data within the model domains. The results showed that data assimilation improved the quality forecast of temperature, humidity and precipitation in comparison with the control case.

Keywords: WRF3DVAR; Data assimilation; Spin–up, Heavy Rainfall.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Bài báo khoa học

Ảnh hưởng của sóng trong bão tới ngập lụt vùng ven biển tỉnh Thái Bình

Phạm Văn Tiến[1], Phạm Khánh Ngọc[2], Phạm Quốc Hưng[3], Nguyễn Kim Cương[4], Nguyễn Bá Thủy[2*]

[1] Viện Năng Lượng, Bộ Công Thương; phamvantienbn@gmail.com
[2] Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia; ngocpkchibo@gmail.com; thuybanguyen@gmail.com
[3] Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Thái Bình; quochungkttv@gmail.com
[4] Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; cuongnk@hus.edu.vn
***** Tác giả liên hệ: thuybanguyen@gmail.com; Tel.: +84–975853471

Ban Biên tập nhận bài: 15/2/2021; Ngày phản biện xong: 28/3/2021; Ngày đăng bài: 25/4/2021

Tóm tắt: Sóng và nước dâng trong bão/áp thấp nhiệt đới là những hiện tượng thiên tai đặc biệt nguy hiểm, có tác động lớn đến các công trình và ngành kinh tế ven biển. Đặc biệt, khi bão đổ bộ vào thời điểm triều cường, sự kết hợp giữa sóng, nước dâng và thủy triều sẽ gây nên mực nước tổng cộng lớn làm ngập lụt và xói lở bờ biển, phá hủy nhiều công trình ven biển. Ngập lụt vùng ven bờ biển khi bão đổ bộ phụ thuộc vào địa hình khu vực (trên cạn và dưới nước), thủy triều, nước dâng do bão và nước dâng do sóng. Chính vì vậy, mô hình dự báo ngập lụt ven bờ cần thiết phải tính đến đồng thời ảnh hưởng của thủy triều, nước dâng do bão và sóng. Ngoài ra, địa hình khu vực ven bờ cần thiết phải có độ phân giải chi tiết và có xét tới hệ thống đê biển. Mô hình tích hợp thủy triều, sóng và nước dâng bão SuWAT (surge wave and tide) được phát triển tại đại học Kyoto Nhật Bản, đã và đang được áp dụng trong dự báo nước dâng bão tại nhiều nơi trên thế giới trong đó có Trung tâm dự báo khí tượng thủy văn quốc gia. Trong nghiên cứu này, tác giả sẽ trình bày các kết quả nghiên cứu mô phỏng ngập lụt trong bão tại ven biển Thái Bình trong một cơn bão quá khứ và với các kịch bản bão giả định. Nghiên cứu sẽ là cơ sở để tiến tới ứng dụng mô hình SuWAT trong cảnh báo, dự báo nghiệp vụ ngập lụt cho vùng biển ven bờ Việt Nam.

Từ khóa: Nước dâng do bão; Ngập lụt; Nước dâng do sóng; SuWAT.

1. Mở đầu

Ven biển Thái Bình thuộc Đồng Bằng Bắc Bộ cũng là nơi thường xuyên bị ảnh hưởng của bão và áp thấp nhiệt đới. Tại khu vực ven biển này, lịch sử đã ghi nhận nhiều cơn bão mạnh gây nước biển dâng, sóng lớn và ngập lụt ven bờ trên diện rộng như bão Frankie (7/1996), Niky (8/1996), Washi (7/2005), Damrey (9/2005), Sơn Tinh (10/2012), Kalmaegy (9/2014), Mirinae (7/2016), Doksuri (9/2017). Thủy triều ven biển Thái Bình có biên độ lớn, nước dâng do bão đặc biệt nguy hiểm khi xuất hiện vào đúng thời kỳ triều cường, mực nước tổng cộng dâng cao, kết hợp với sóng to có thể tràn qua đê vào khu đô thị, đồng ruộng, đây chính là nguyên nhân gây thiệt hại nặng nề về người và của. Đã có nhiều cơn bão ảnh hưởng tới khu vực đúng vào kỳ triều cường như bão Washi (7/2005), Damrey (9/2005), Sơn Tinh (10/2012), Kalmaegy (9/2014), Doksuri (9/2017). Vùng ven biển Thái Bình đang là trọng điểm phát triển kinh tế của tỉnh, khu vực này từ lâu là nơi tập trung các hoạt động nuôi trồng

thủy hải sản có quy mô lớn. Hiện nay khu vực cũng là nơi tập trung lớn các khu, cụm công nghiệp, cảng biển, cảng sông, các nhà máy nhiệt điện; khu vực Cồn Đen, Cồn Vành hiện nay đang là những khu du lịch nghỉ dưỡng thu hút rất nhiều khách trong và ngoài tỉnh. Tuy nhiên, cho tới hiện tại, các sản phẩm dự báo của Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia và Đài Khí tượng Thủy văn khu vực đồng bằng Bắc Bộ chỉ dừng lại ở thông tin về độ lớn nước dâng và độ cao sóng tại khu vực, chưa có một công cụ dự báo ngập lụt do nước dâng kết hợp với thủy triều và sóng trong bão. Chính vì vậy, việc nghiên cứu và xây dựng mô hình dự báo nước dâng, sóng lớn do bão kết hợp với triều cường gây ngập lụt ven biển tỉnh Thái Bình là hết sức cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn, nhằm phục vụ hiệu quả cho phòng chống thiên tai và phát triển kinh tế xã hội khu vực ven biển tỉnh Thái Bình.

Hiện có nhiều phương pháp tính toán và dự báo nước dâng và sóng lớn do bão như phương pháp sử dụng các công thức bán thực nghiệm, phương pháp synop và phương pháp mô hình số trị. Trong đó phương pháp sử dụng mô hình số trị được đánh giá là phương pháp hiệu quả, đáng tin cậy và ổn định nhất mà không mất nhiều thời gian. Tại Việt Nam, nghiên cứu về nước dâng bão có xét tới ảnh hưởng của thủy triều đã được thực hiện bởi một số tác giả [1–6]. Nội dung chính của những nghiên cứu này chủ yếu tập trung đánh giá nước dâng khi bão đổ bộ vào các pha triều khác nhau. Ảnh hưởng của sóng biển tới nước dâng do bão gần đây đã được nghiên cứu. Nước dâng do ứng suất bức xạ sóng tính theo công thức bán kinh nghiệm là đáng kể tại ven biển Hải Phòng [7]. Một số nghiên cứu nước dâng do bão có xét tới ảnh hưởng của thủy triều và sóng bằng mô hình số trị tích hợp SuWAT được thực hiện bởi nhóm tác giả [1, 3, 4, 6, 8–10]. Mặc dù sử dụng lưới không gian có độ phân giải thô, tuy nhiên các nghiên cứu ở trên đều chỉ ra rằng sóng biển đóng góp một phần đáng kể tới nước dâng và ngập lụt ven bờdo bão. Tuy nhiên, nghiên cứu về ngập lụt khu vực ven biển do tác động của thủy triều, nước dâng do bão và nước dâng do sóng chưa được thực hiện. Ở nước ngoài, gần đây xu hướng sử dụng mô hình số trị có xét tới tương tác nước dâng, sóng và thủy triều (mô hình tích hợp) vào dự báo nước dâng do bão và ngập lụt ven biển đang được quan tâm do có nhiều ưu việt so với phương pháp truyền thống (chỉ xét tới tác động của gió và khí áp). Với mô hình tích hợp, tác động của sóng tới nước dâng bão được thể hiện qua ứng suất bề mặt do sóng và ứng suất bức xạ sóng tại vùng ven bờ. Với lớp biên mặt biển, ứng suất đã được thay thế bao gồm là hàm của cả tham số gió và sóng [11–12]. Một vài nghiên cứu đã kiểm tra tác động của ứng suất bề mặt do sóng cho thấy mô hình tích hợp đã cải thiện đáng kể kết quả tính toán nước dâng bão khi so với số liệu quan trắc [13–15]. Tại khu vực sát bờ, nước dâng do ứng suất bức xạ sóng cũng đã được nghiên cứu nhiều bằng mô hình tích hợp [13], [16–18]. Mô phỏng bằng mô hình kết hợp ADCIRC và SWAN cho thấy nước dâng do sóng có thể đóng góp từ 10–15% vào mực nước dâng cực trị trong bão [13]. Trong cơn bão Katrina năm 2005 tại Hoa Kỳ, nước dâng do các hiệu ứng sóng ven bờ chiếm tới 80% mực nước dâng cực trị trong khi các ảnh hưởng khác như thủy triều, sóng bề mặt và nước dâng do gió chỉ đóng góp 20% [19].

Mô hình tích hợp thủy triều, sóng và nước dâng bão SuWAT (*Surge Wave And Tide*) được phát triển tại đại học Kyoto–Nhật Bản [17, 20–21], đã và đang được áp dụng trong dự báo nước dâng bão tại nhiều nơi trên thế giới trong đó có Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia. Trong nghiên cứu này, kết quả mô phỏng ngập lụt trong bão tại ven biển Thái Bình trong cơn bão Damrey (9/2005) và với các kịch bản bão giả định được thực hiện. Nghiên cứu sẽ là cơ sở để tiến tới ứng dụng mô hình SuWAT trong cảnh báo, dự báo nghiệp vụ ngập lụt cho vùng biển ven bờ Việt Nam.

2. Giới thiệu mô hình SuWAT

2.1. Mô hình thủy động lực học

SuWAT là mô hình Couple dự tính đồng thời cả thủy triều, sóng biển và nước dâng do baõ. Mô hình này được xây dựng tại đại học Kyoto – Nhật Bản, bao gồm 2 mô hình thành

phần là mô hình thủy triều và nước dâng dựa trên hệ phương trình nước nông 2 chiều có tính đến nước dâng do ứng xuất sóng và mô hình quen thuộc SWAN tính toán sóng. Hệ phương trình cơ bản của mô hình nước nông 2 chiều được mô tả như sau:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{M^2}{d}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{MN}{d}\right) + gd\frac{\partial \eta}{\partial x} = fN - \frac{1}{\rho_w} d\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\rho_w}(\tau_S^x - \tau_b^x + F_x) + A_h\left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2}\right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{N^2}{d}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{NM}{d}\right) + gd\frac{\partial \eta}{\partial y} = -fM - \frac{1}{\rho_w} d\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{\rho_w}(\tau_S^y - \tau_b^y + F_y) + A_h\left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2}\right) \quad (3)$$

Trong đó η là mực nước bề mặt; M, N là thông lượng trung bình theo độ sâu, theo hướng x và y; F là tham số coriolis; P là áp suất khí quyển; d là độ sâu tổng cộng d = η + h, với h là độ sâu mực nước lúc yên tĩnh; A_h là hệ số khuếch tán rối theo phương ngang; ρ_w là mật độ nước; τ_b, τ_s là ứng suất đáy và ứng suất bề mặt; F_x, F_y là ứng suất sóng được thêm vào để tạo nước dâng do sóng, được tính từ mô hình SWAN theo các công thức dưới đây:

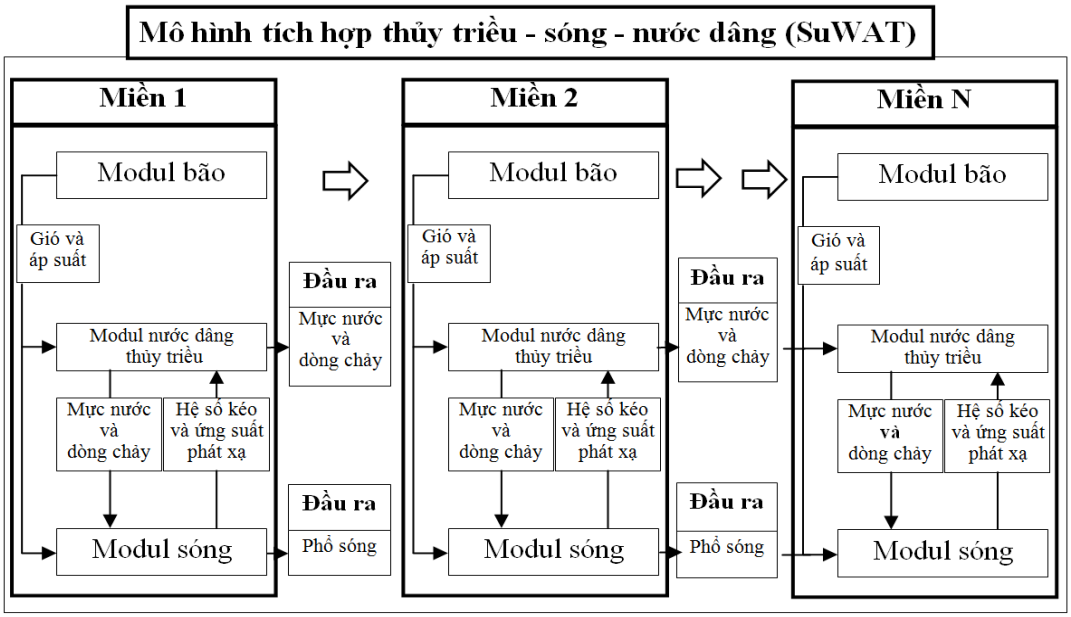
$$F_x = -\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial S_{xy}}{\partial y};\ F_y = -\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} - \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \quad (4)$$

$$S_{xx} = \rho g \left[\frac{C_g}{C}\cos^2\theta + \frac{C_g}{C} - \frac{1}{2}\right] Ed\sigma d\theta \quad (5)$$

$$S_{xy} = S_{yx} = \rho g \left[\cos\theta \sin\theta\right] Ed\sigma d\theta \quad (6)$$

$$S_{yy} = \rho g \left[\frac{C_g}{C}\sin^2\theta + \frac{C_g}{C} - \frac{1}{2}\right] Ed\sigma d\theta \quad (7)$$

Các tham số tại các công thức (5) đến (7) được định nghĩa trong cơ sở lý thuyết của mô hình SWAN. Mô hình SuWAT được thiết lập tính toán trên lưới lồng với cấu trúc được minh họa như trên Hình 1.



Hình 1. Cấu trúc lưới lồng của mô hình SuWAT.

2.2. Mô hình bão giải tích

Mô hình SuWAT có thể nhận trường đầu vào gió, áp từ các mô hình bão giải tích và từ các mô hình dự báo số trị như WRF, HRM…. Trong nghiên cứu này, mô hình bão giải tích [17] được lựa chọn để mô phỏng trường gió. áp theo các tham số bão được lấy từ số liệu best track (https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html). Trường áp suất khí quyển được tính theo công thức:

$$P(r) = P_\infty - \frac{P_\infty - P_c}{\sqrt{1+(r/r_0)^2}} \quad (8)$$

Trong đó P là Áp xuất ở tâm bão; P_∞ là áp xuất ở rìa bão; r_0 là bán kính gió cực đại; r là khoảng cách từ tâm bão tới điểm tính.

Vận tốc gió gradien được tính theo mối liên hệ với phân bố của áp xuất khí quyển như trong công thức (8). Trong khi đó vận tốc gió theo mối liên hệ với tốc độ di chuyển của tâm bão được tính theo công thức (9).

$$-\frac{v^2}{r} - fv = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial r} \quad (9)$$

$$V_F = c_2 V_t e^{-\frac{\pi r}{500}} \quad (10)$$

Tổng hợp 2 thành phần này ta có vận tốc tổng hợp như sau:

$$\boldsymbol{v} = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} = c_1 \begin{pmatrix} -V_g(sin\,\alpha \cdot cos\,\theta + cos\,\alpha \cdot sin\,\theta) \\ V_g(cos\,\alpha \cdot cos\,\theta - sin\,\alpha \cdot sin\,\theta) \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} v_{tx} \\ v_{ty} \end{pmatrix} e^{-\frac{\pi r}{500}} \quad (11)$$

Trong đó giá trị các hệ số như sau: $c_1 = 0{,}6 \div 0{,}8$, $c_2 = 0{,}50 \div 0{,}8$.

3. Ảnh hưởng của sóng đến ngập lụt ven biển Thái Bình trong bão

3.1. Miền tính và lưới tính cho mô hình

Để có được sản phẩm dự báo với độ tin cậy cao, địa hình khu vực ven bờ cần thiết phải có độ phân giải chi tiết và có xét tới hệ thống đê biển, bao gồm lưới lồng 3 lớp (Hình 1). Hệ thống lưới lồng được xây dựng cho khu vực nhằm 3 mục đích: (1) có thể chi tiết hóa sự biến đổi phức tạp của địa hình khu vực ven bờ nhằm tăng độ chính xác của tính toán, (2) tăng khả năng tính nước dâng do sóng bởi nước dâng do sóng cần tính trên lưới có độ phân giải cao, (3) giảm thời gian tính toán. Miền tính và lưới tính cho các khu vực được mô tả chi tiết dưới đây:

– Lưới tính Biển Đông (lưới D1): đây là miền tính lớn nhất được xây dựng với độ phân giải ngang 5km x 5km, bao phủ từ vĩ độ 0–25°N, kinh độ 95–120°E. Miền tính, trường độ sâu của các lưới D1, D2 và D3 được thể hiện trên Hình 2.

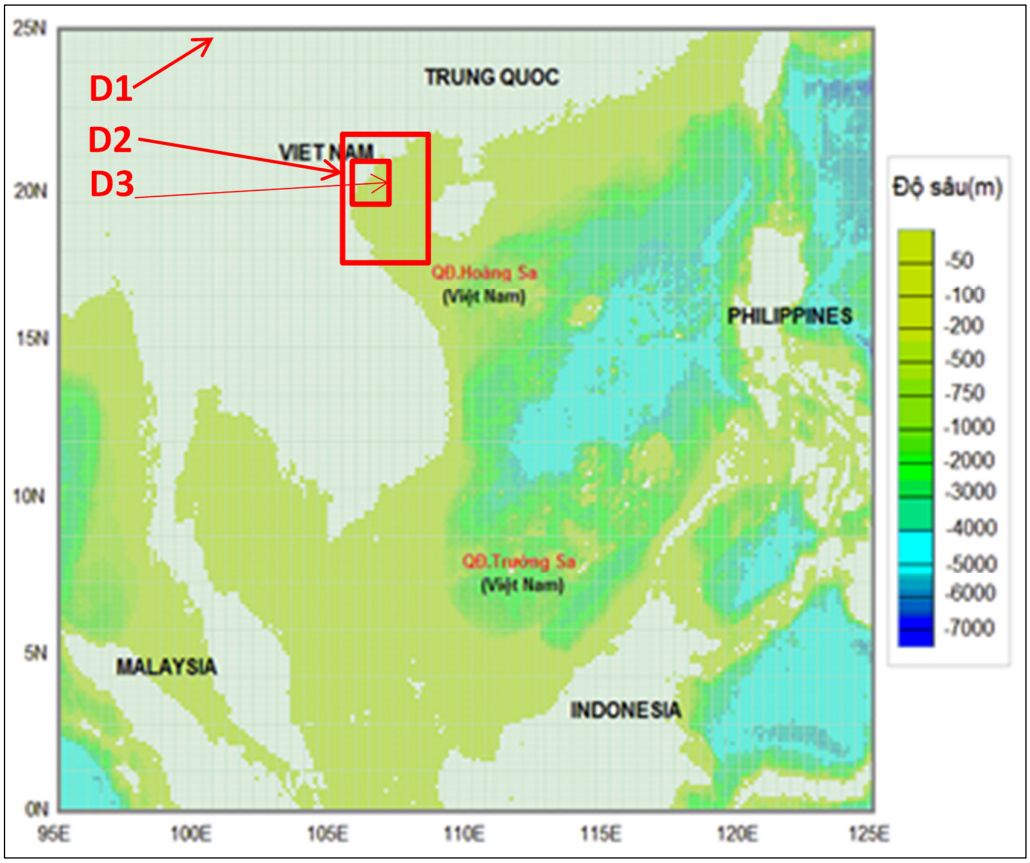
– Lưới lồng kế tiếp (lưới tính khu vực–D2): lưới tính D2 được thiết lập cho vùng biển Vịnh Bắc Bộ, với cùng độ phân giải 1 phút (khoảng 1850 m), bao phủ từ vĩ độ 18,0–22,0°N, 105,0–108,0°E.

– Lưới lồng thứ 3 (lưới địa phương–D3): lưới tính D3 được thiết lập cho khu vực ven biển Thái Bình với độ phân giải cao 300m x 300m, miền tính bao phủ từ 20,23–20,72°N, 106,40–106,75°E.

Trên Bảng 1 mô tả thông tin chi tiết về miền tính, số điểm lưới và độ phân giải của các lưới tính cho khu vực ven biển Thái Bình.

Bảng 1. Thông tin về miền tính và lưới tính cho khu vực biển Thái Bình.

Lưới	Miền tính	Độ phân giải (Δx x Δy)
D1	95° – 125°E, 0^0 – 25°N	5000 x 5000
D2	105,0° – 108,0°E, $18{,}0^0$ – 22,0°N	1850 x 1850
D3	106,40° – 106,75°E, 20,23° – 20,72°N	300 x 300



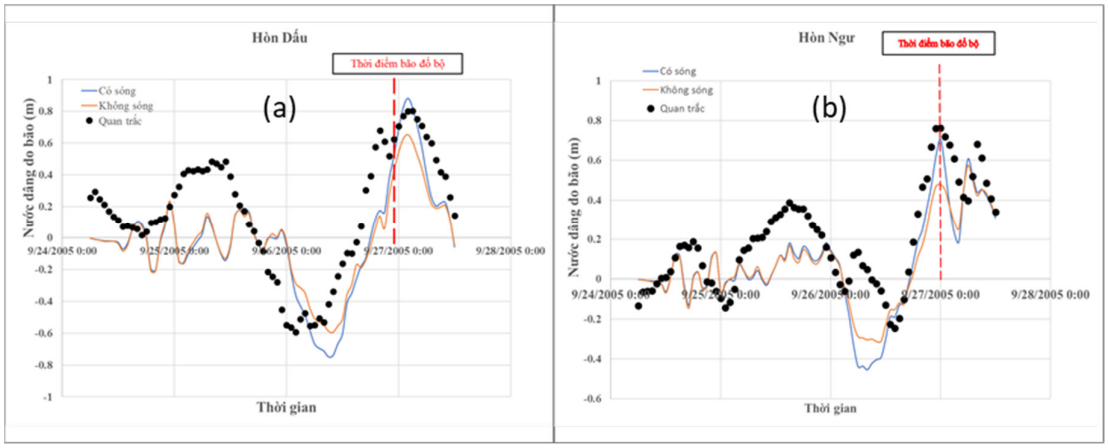
Hình 2. Miền tính và trường độ sâu của lưới D1, D2 và D3.

3.2. Mô phỏng ngập lụt ven biển Thái Bình

Việc hiệu chỉnh và kiểm định mô hình SuWAT, cũng như mô hình bão giải tích đã được thực hiện và trình bày nhiều lần trong các nghiên cứu thuộc các bài báo và các đề tài nghiên cứu khoa học [1, 4, 5],… Vì vậy trong báo cáo này, tác giả sẽ không trình bày các kết quả hiệu chỉnh và kiệm định mô hình nữa mà trình bày các kết quả chính của nghiên cứu dự báo, cảnh báo ngập lụt cho ven biển Thái Bình gây ra bởi nước dâng và sóng lớn trong bão.

a. Mô phỏng ngập lụt ven biển Thái Bình trong bão thật

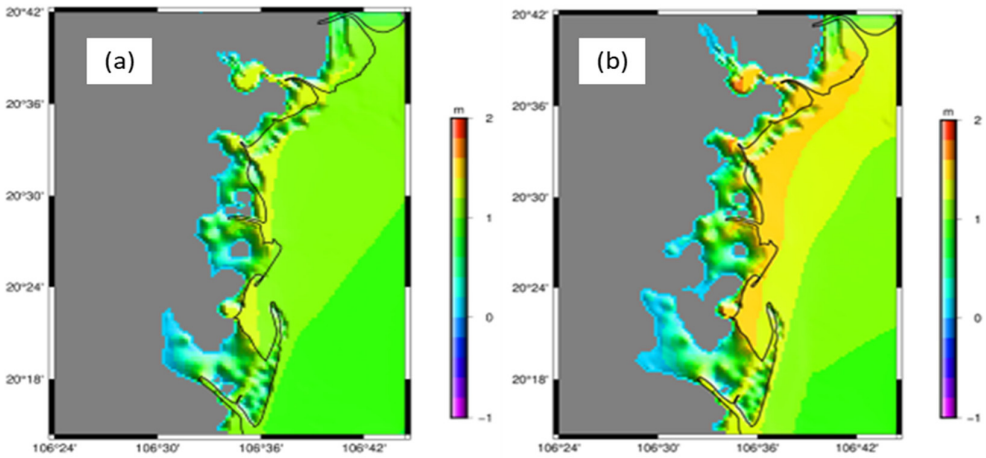
Với trường hợp cơn bão trong thực tế đổ bộ vào khu vực, tác giả chọn bão Damrey tháng 9 năm 2005 đổ bộ vào Nam Định, với sức gió mạnh tới cấp 10, 11. có nơi giật trên cấp 12 đổ bộ trực tiếp vào ven biển các tỉnh Thái Bình, Nam Định, Ninh Bình, Thanh Hóa, Hải Phòng vào rạng sáng ngày 27 tháng 9 đã gây vỡ đê biển Nam Định làm nước biển tràn vào sâu trong đất liền. Do không ghi nhận được số liệu quan trắc mực nước dâng cũng như độ cao ngập lụt ven bờ Thái Bình, nên trong báo cáo này tác giả lựa chọn số liệu quan trắc tại trạm đảo Hòn Dấu và Hòn Ngư (nơi có số liệu quan trắc gần khu vực nghiên cứu nhất) để so sánh với kết quả tính toán từ mô hình. Trên hình 3 là so sánh biến thiên mực nước quan trắc với nước dâng tính toán trong bão Damrey tại Hòn Dấu và Hòn Ngư theo 2 phương án có và không xét tới ảnh hưởng của sóng biển. Kết quả cho thấy, về xu thế kết quả tính toán từ mô hình tương đối phù hợp với biến thiên mực nước quan trắc. Về giá trị, với phương án có tính đến ảnh hưởng của sóng mô hình cho kết quả tính toán gần đúng với giá trị quan trắc hơn so với phương án không xét đến ảnh hưởng của sóng, phần đóng góp của nước dâng do ứng xuất sóng là khoảng hơn 20cm tại thời điểm bão đổ bộ vào bờ.



Hình 3. So sánh biến thiên mực nước quan trắc với nước dâng tính toán trong bão Damrey (9/2005) tại Hòn Dấu (a) và Hòn Ngư (b) theo phương án có và không xét tới ảnh hưởng của sóng.

Trên hình 4 là phân bố ngập lụt do bão Damrey tại ven biển Thái Bình theo phương án không (4a) và có (4b) xét tới ảnh hưởng của sóng. Trong đó, cả 2 trường hợp đều được tính tới ảnh hưởng của thủy triều thực tại khu vực trong quá trình bão đổ bộ. Do bão Damrey gây nước dâng chưa thể tới mức tràn qua đê tại ven biển Thái Bình nên kết quả mô phỏng ngập lụt ở đây là cho trường hợp ven biển Thái Bình không có đê hoặc đê bị vỡ. Đây là phương án được lựa chọn để tính toán nguy cơ ngập lụt do nước dâng do bão tại các khu vực ven biển mà trên thế giới thường làm.

Kết quả cho thấy, với trường hợp không xét tới ảnh hưởng của sóng, nước dâng do bão kết hợp với thủy triều gây ngập với diện tích 191,759 km^2. Trong trường hợp xét tới ảnh hưởng của sóng diện tích ngập lên tới 258,246 km^2. Như vậy trong trường hợp xét tới ảnh hưởng của sóng, nước dâng do ứng suất bức xạ sóng đã góp phần đáng kể làm ra tăng ngập lụt tại ven biển Thái Bình trong bão Danrey.



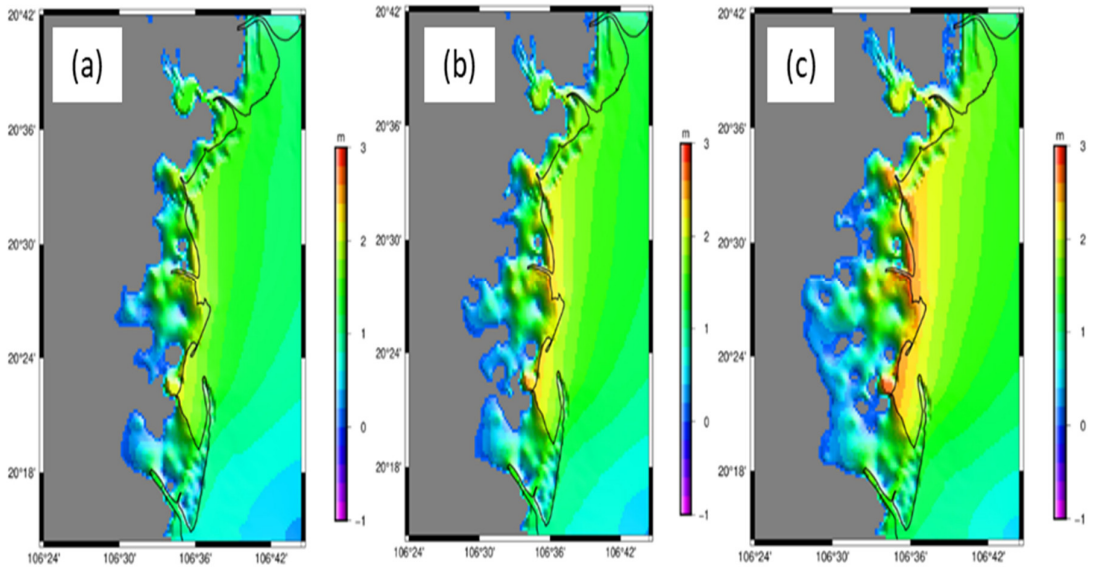
Hình 4. Kết quả mô phỏng ngập lụt ven biển Thái Bình trong cơn bão Damrey (tháng 9/2005) với trường hợp không (a) và có (b) xét đến ảnh hưởng của sóng biển.

b. Mô phỏng ngập lụt ven biển Thái Bình trong bão giả định

Như đã trình bày ở trên, trường hợp xét tới ảnh hưởng của sóng, nước dâng do ứng suất bức xạ sóng đã góp phần đáng kể làm ra tăng ngập lụt tại ven biển Thái Bình trong bão Danrey. Vì vậy tác giả sẽ lựa chọn phương án tính có xét tới ảnh hưởng của sóng để tính toán với các kịch bản ngập lụt khu vực ven biển Thái Bình theo các cấp bão đổ bộ từ cấp 10 đến cấp 12. Đây là khoảng cấp bão có có nguy cơ cao xuất hiện tại khu vực. Hướng di chuyển và

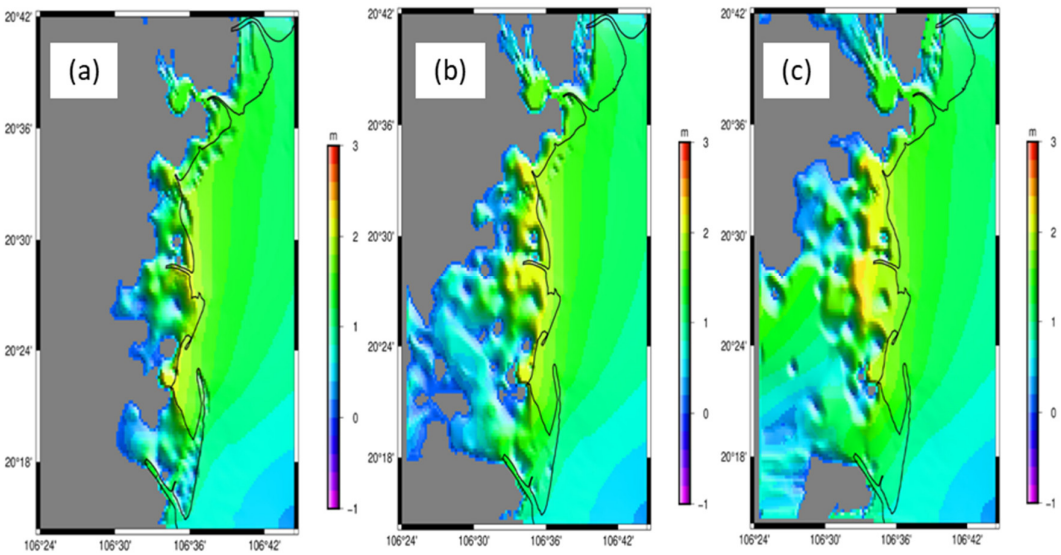
vị trí đổ bộ được giả định sẽ gây nước dâng lớn nhất tại ven biển tỉnh thái Bình, với hướng đổ bộ trực diện và vị trí đổ bộ nằm phía Nam của tỉnh, giáp tỉnh Nam Định.

Trên hình 5 là kết quả mô phỏng ngập lụt tại ven biển Thái Bình với cấp bão đổ bộ từ 10–12. Kết quả cho thấy với cấp bão càng tăng thì nguy cơ ngập càng cao. Diện tích ngập theo các cấp bão tương ứng là 263,275 km^2, 327,073 km^2, và 417,647 km^2, tương ứng với bão cấp 10, 11 và 12.



Hình 5. Kết quả mô phỏng ngập lụt ven biển Thái Bình trong cơn bão giả định cấp 10 (a), cấp 11 (b) và cấp 12 (c).

Kết quả mô phỏng ngập lụt cho trường hợp bão cấp 10 đổ bộ vào khu vực với các pha thủy triều khác nhau được thể trên hình 6 cho thấy mức độ ngập tăng cùng với độ cao của thủy triều, khi bão đổ bộ vào triều cường (độ cao thủy triều 1m trên mực nước trung bình thì diện tích ngập lên tới 760,378 km^2, gần gấp 3 lần so với trường hợp bão đổ bộ vào thời điểm thủy triều ở mức trung bình (263,275 km^2).



Hình 6. Phân bố ngập lụt do nước dâng bão với bão cấp 10 đổ bộ vào thời điểm mực nước triều trung bình (a), cao 0,5 m (b) và 1 m (c).

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, mô hình dự báo nước dâng do bão và ngập lụt ven bờ cho khu vực ven biển Thái Bình đã được xây dựng. SuWAT là mô hình tích hợp thủy triều, sóng và nước dâng do bão. Miền tính và lưới tính là lưới lồng 3 lớp, trong đó miền tính D3 được xây dựng chi tiết với độ phâm giải 300 m cho ven biển Thái Bình. Các kết quả tính toán, mô phỏng ngập lụt cho bão thực, cấp bão theo kịch bản và các pha thủy triều khác nhau đã được trình bày trong báo cáo. Một số kết quả chính của nghiên cứu như sau:

– Đã xây dựng được hệ thống lưới tính lồng 3 lớp phục vụ dự báo nước dâng do bão và ngập lụt ven bờ tại ven biển tỉnh Thái Bình bao gồm lưới tính Biển Đông, miền và khu vực với độ phân giải tăng dần tới 300m (lưới khu vực–D3) để có thể mô phỏng chi tiết ngập lụt vùng ven bờ tại khu vực.

– Đã đánh giá tương tác giữa thủy triều, sóng biển và nước dâng bão tại khu vực. Kết quả cho thấy, thủy triều chỉ có ảnh hưởng đáng kể tới nước dâng tổng cộng khi bão đổ bộ vào khu vực có biên độ triều cao tại thời điểm triều cường. Trong khi đó, sóng trong bão gây nước dâng đáng kể qua đó đề xuất phương án áp dụng vào dự báo nghiệp vụ.

– Kết quả mô phỏng ngập lụt vùng ven bờ mặc dù chưa được kiểm chứng đầy đủ nhưng cho xu thế phù hợp với các phương án tính toán. Ngoài mô phỏng ngập lụt cho trường hợp bão thực tế (bão Damrey tháng 9/2005 đổ bộ vào Nam Định), nguy cơ ngập do một số kịch bản bão đổ bộ và đổ bộ vào các pha thủy triều khác nhau cũng được mô phỏng và phân tích.

Những kết quả đã đạt được của nghiên cứu này sẽ làm cơ sở để tiến tới ứng dụng mô hình SuWAT trong cảnh báo, dự báo nghiệp vụ ngập lụt cho vùng biển ven bờ Việt Nam.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi Đề tài nghiên cứu khoa học cấp bộ Bộ Tài nguyên và Môi trường, *"Nghiên cứu xây dựng hệ thống dự báo tổ hợp sóng biển cho Việt Nam phục vụ phòng chống thiên tai"*, mã số TNMT.2018.05.28. Tập thể tác giải xin chân thành cảm ơn.

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. Đăng, V.H; Thủy, N.B; Chiến, Đ.Đ; Kim, S. Nghiên cứu đánh giá định lượng các thành phần nước dâng trong bão bằng mô hình số trị. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển* **2017**, *17*, 132–138.
2. Mạnh, Đ.V. và cs. Phát triển và hoàn thiện mô hình dự báo sóng bão, nước dâng do bão, thủy triều cho dải ven biển Việt Nam, Báo cáo tổng kết đề tài, Viện Cơ học, Hà Nội, 2001.
3. Thủy, N.B.; Cường, H.Đ.; Tiến, D.Đ.; Chiến, Đ.Đ.; Kim, S. Đánh giá diễn biến nước biển dâng do bão số 3 năm 2014 và vấn đề dự báo. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, *647*, 14–18.
4. Sao, N.T. Storm surge predictions for Vietnam coast by Delft3D model using results from RAMS model. *J. Water Resour. Environ. Eng.* **2008**, *23*, 39–47.
5. Thuy, V.T.T. Storm surge modeling for Vietnam's coast. Nederlands, Delft Hydraulic, M.sC. Thesis H.E. 136, 2003, pp. 140.

6. Thuy, N.B.; Kim, S.; Dang, V.H.; Cuong, H.D.; Wettre, C.; Hole, L.R. Assessment of Storm Surge along the Coast of Central Vietnam. *J. Coastal Res.* **2017**, 33, 518–530.
7. Hien, N.X.; Uu, D.V.; Thuc, T.; Tien, P.V. Study on wave setup with the storm surge in Hai Phong coastal and estuarine region. *VNU J. Sci. Earth Sci.* **2010**, *26*, 82–89.
8. Chiến, Đ.Đ; Sáo, N.T; Thái, T.H; Thủy, N.B, Ảnh hưởng của thủy triều và sóng biển tới nước dâng do bão khu vực ven biển Quảng Bình – Quảng Nam. *Tạp chí khoa học ĐHQG Hà Nội* **2015**, *31(3S)*, 28–36.
9. Chiến, Đ.Đ.; Thủy, N.B.; Sáo, N.T.; Thái, T.H.; Kim, S. Nghiên cứu tương tác sóng và nước dâng do bão bằng mô hình số trị. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, *647*, 21–26.
10. Ngoc, P.K.; Luan, N.T.; Thuy, N.B.; Kim, S.; Dang, V.H. The impact of wave on coastal inundation. The 8th Asia–Pacific Workshop on Marine Hydrodymics–APHydro 2016, Hanoi, September 20–23. *Marine Hydrodynamics and Science section* **2016**, pp.168–176.
11. Janssen, P.A.E.M. Quasi–linear Theory of Wind–Wave Generation Applied to Wave Forecasting. *J. Phys. Oceanogr.* **1991**, *21*, 1631–1642.
12. Kennedy, A.B.; Gravois, U.; Zachry, B.C.; Westerink, J.J.; Hope, M.E.; Dietrich, J.C.; Powell, M.D.; Cox, A.T.; Luettich, R.A.Jr.; Dean, R.G. Origin of the Hurricane Ike forerunner surge. *Geophys. Res. Lett.* **2011**, *38*, L08608, doi:10.1029/2011GL047090, 2011.
13. Funakoshi, Y.; Hagen, S.C.; Bacopoulos, P. Coupling of Hydrodynamic and Wave models: Case Study for Hurricane Floyd (1999) Hindcast. *J. Waterw. Port Coastal Ocean Eng.* **2008**, *134(6)*, 321–335. doi: 10.1061/(ASCE)0733–950X.
14. Kim, S.Y.; Yasuda, T.; Mase, H. Numerical analysis of effects of tidal variations on storm surges and waves. *Appl. Ocean Res.* **2008**, *30*, 311–322.
15. Zhang, M.Y.; Li, Y.S. The dynamic coupling of a third–generation wave model and a 3D hydrodynamic model through boundary–layers. *Cont. Shelf Res.* **1997**, *17*, 1141–1170.
16. Bertin, X.; Li, K.; Roland, A., and Bidlot, J.R. The contribution of short waves in storm surges: two recent examples in the central part of the bay of Biscay. *Cont. Shelf Res.* **2015**, *96*, 1–15.
17. Kim, S.Y.; Yasuda, T.; Mase, H. Wave set–up in the storm surge along open coasts during Typhoon Anita. *Coastal Eng.* **2010**, *57*, 631–642.
18. Mastenbroek, C.; Burgers, G.; Janssen, P.A.E.M. The Dynamical Coupling of a Wave Model and a Storm Surge Model through the Atmospheric Boundary Layer. *J. Phys. Oceanogr.* **1983**, *23*, 1856–1866.
19. Chen, Q.; Wang, L.; Zhao, H. An integrated surge and wave modeling system for Northern Gulf of Mexico: simulations for urricanes Katrina and Ivan. Proceedings of the 31st International Conference on Coastal Engineering (Hamburg, Germany). 2008, 2, pp. 1072–1084.
20. A coupled model of Surge, Wave and Tide (SuWAT) for storm surges and waves, User manual Version 20.26, programed by Sooyoul Kim, Tottori University, Japan, 2017.
21. Kim, S.Y.; Yasuda, T.; Mase, H. Numerical analysis of effects of tidal variations on storm surges and waves. *Appl. Ocean Res.* **2008**, *30*, 311–322.

Effect of waves during the storm on coastal inundation in Thai Binh province

Pham Van Tien[1], Pham Khanh Ngoc[2], Pham Quoc Hung[3], Nguyen Kim Cuong[4], Nguyen Ba Thuy[2*]

[1] Institute of Energy, Ministry of Industry and Trade; phamvantienbn@gmail.com
[2] Vietnam National Centre for Hydrometeorological Forecasting; ngocpkchibo@gmail.com; thuybanguyen@gmail.com
[3] Thai Binh Centre for Hydrometeorological; quochungkttv@gmail.com
[4] VNU University of Science; cuongnk@hus.edu.vn

Abstract: Waves and storm surges during the tropical typhoons are ones of the most severe natural disasters, which significantly affect on coastal structures in coastal area. Especially, when typhoon comes during high tidal level, the combination of waves, surges and tides is the cause of coastal inundation and erosion, resulting in destroying coastal constructions. Technically, coastal inundation caused by typhoon depends on the coastal topography (land and underwater), tides, storm surge and wave setup. Therefore, the effects of tides, storm surge and waves are necessary to taken into account to forecasting inundation model. In addition, the coastal topography needs to have very high resolution and to consider the sea dyke system. A coupled model of surge, wave and tide (SuWAT) developed by Kyoto University, Japan has been applied in forecasting storm surge at the Vietnam National Center for Hydro–meteorological Forecasting. In this study, the results of simulated inundation along the coastal area of Thai Binh Province during the Damrey (9/2005) typhoon are presented in wich several scenarios are performed. Based on this study, SuWAT model could be further researched on warning and forecasting inundation for coastal areas of Vietnam.

Keywords: Storm surge; Inundation; Wave setup; SuWAT.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Bài báo khoa học

Mô phỏng sự thay đổi sử dụng đất lưu vực Sông Bé bằng mô hình CLUE–s

Phạm Thị Lợi[1], Đào Nguyên Khôi[1*]

[1] Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, ĐHQG–HCM; phamthiloi1994@gmail.com; dnkhoi@hcmus.edu.vn

* Tác giả liên hệ: dnkhoi@hcmus.edu.vn. Tel: +84–989370987

Ban Biên tập nhận bài: 03/3/2021; Ngày phản biện xong: 29/3/2021; Ngày đăng bài: 25/4/2021

Tóm Tắt: Sông Bé là chi lưu lớn nằm bên bờ hữu sông Đồng Nai, hoạt động kinh tế chủ yếu của lưu vực này là phát triển nông nghiệp, đặc biệt là cây công nghiệp như cây cà phê, cao su, tiêu và điều. Trong những năm gần đây, dưới ảnh hưởng của sự gia tăng dân số và phát triển kinh tế, quá trình chuyển đổi sử dụng đất diễn ra nhanh chóng trên toàn lưu vực. Mục tiêu của nghiên cứu này là ứng dụng mô hình CLUE–s mô phỏng quá trình thay đổi sử dụng đất theo kịch bản gia tăng dân số nhằm cung cấp thông tin cho các nhà quản lý địa phương có thêm cơ sở khoa học trong công tác quản lý và quy hoạch sử dụng đất bền vững. Để đạt được mục tiêu này, dữ liệu sử dụng đất trong giai đoạn 2000–2010 được sử dụng để phân tích xu hướng thay đổi của các loại hình sử dụng đất của khu vực nghiên cứu. Đồng thời, phương trình hồi qui logistic được sử dụng để xây dựng mối tương quan của các loại sử dụng đất với các yếu tố ảnh hưởng. Kết quả nghiên cứu cho thấy hoạt động sử dụng đất trên lưu vực sông Bé có xu hướng giảm đất rừng và gia tăng đất nông nghiệp và đất đô thị, cụ thể diện tích đất rừng so với năm 2005 giảm lần lượt qua các năm 2030, 2050 và 2080 là 299,81 km^2, 408,69 km^2 và 597,19 km^2. Đồng thời, diện tích đất đô thị so với năm 2005 tăng lần lượt qua các năm 2030, 2050 và 2080 là 46,5 km^2, 90 km^2 và 155,6 km^2 tương đương gia tăng 94,85%/năm. Trong đó hai quá trình chuyển đổi sử dụng đất chính là: (1) đất rừng chuyển thành đất nông nghiệp và (2) đất nông nghiệp chuyển thành đất đô thị.

Từ khóa: CLUE–s; Thay đổi sử dụng đất; Lưu vực sông Bé; Phương trình hồi qui logistic.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, áp lực về gia tăng dân số cùng những chính sách phát triển kinh tế đang tạo ra những sức ép to lớn đến các nguồn tài nguyên thiên nhiên, trong đó bao gồm tài nguyên đất. Những chính sách phát triển kinh tế–xã hội như mở rộng đất đô thị, hình thành các khu công nghiệp, gia tăng diện tích đất nông nghiệp đã dẫn đến diện tích đất rừng ngày càng bị thu hẹp. Điều đó đã nhanh chóng thúc đẩy sự thay đổi mục đích sử dụng sử dụng đất, bao gồm việc chuyển đất rừng tự nhiên thành đất sản xuất nông nghiệp, một phần đất nông nghiệp lại được dùng để xây dựng khu dân cư, khu đô thị [1–2]. Tại lưu vực sông Bé, từ năm 2010 đến năm 2015, diện tích đất đô thị tăng từ 560 ha lên 1.687 ha tương đương gần 200% và diện tích rừng giảm 3.044 ha. Bên cạnh đó, các hồ chứa được xây dựng nhằm mục đích thủy điện như Thác Mơ, Cần Đơn, Srok Phu Miêng và Phước Hòa,… cũng gây ra những tác động không nhỏ đến quá trình chuyển đổi sử dụng đất tại lưu vực sông Bé. Do đó, việc dự báo được xu hướng thay đổi sử dụng đất và nhận dạng được các nhân tố ảnh hưởng đến quá trình sử dụng đất sẽ cung cấp những thông tin quan trọng trong công tác sử dụng và quản lý đất bền vững.

Các mô hình thay đổi sử dụng đất là công cụ hữu ích để phân tích các yếu tố tác động đến quá trình thay đổi sử dụng đất và mô phỏng các kết quả có thể xảy ra trong tương lai của thay đổi sử dụng đất [3]. Đồng thời, phân tích nguyên nhân và xây dựng các kịch bản tương lai cho mô hình sử dụng đất còn nhằm mục đích hỗ trợ cho việc lập kế hoạch và đưa ra các chính sách sử dụng đất của các nhà quản lý [4]. Có nhiều mô hình thay đổi sử dụng đất như mô hình *Markov–Cellular Automata*, mô hình LCM (*land change model*) và mô hình CLUE (*Conversion of Land–Use and its Effects*), trong đó mô hình CLUE với phiên bản CLUE–s đã và đang được nhiều công trình nghiên cứu trên thế giới áp dụng phổ biến và có kết quả tốt tại nhiều khu vực khác nhau. Một vài nghiên cứu điển hình sử dụng mô hình CLUE–s [6] tại Châu Âu, nghiên cứu [6] tại Bắc Kinh, Trung Quốc và nghiên cứu [7] tại các quận Pennsylvania, Hoa Kỳ. Bên cạnh đó, mô hình CLUE–s cũng đã được ứng dụng tại Việt Nam tại khu vực Chợ Đồn, Bắc Kạn [8]. Các nhà nghiên cứu đã chứng minh rằng mô hình CLUE–s phù hợp cho việc mô phỏng sự thay đổi sử dụng đất dựa trên mối quan hệ của các loại sử dụng đất với các yếu tố tác động lên nó và sự cạnh tranh giữa các loại sử dụng đất với nhau [9].

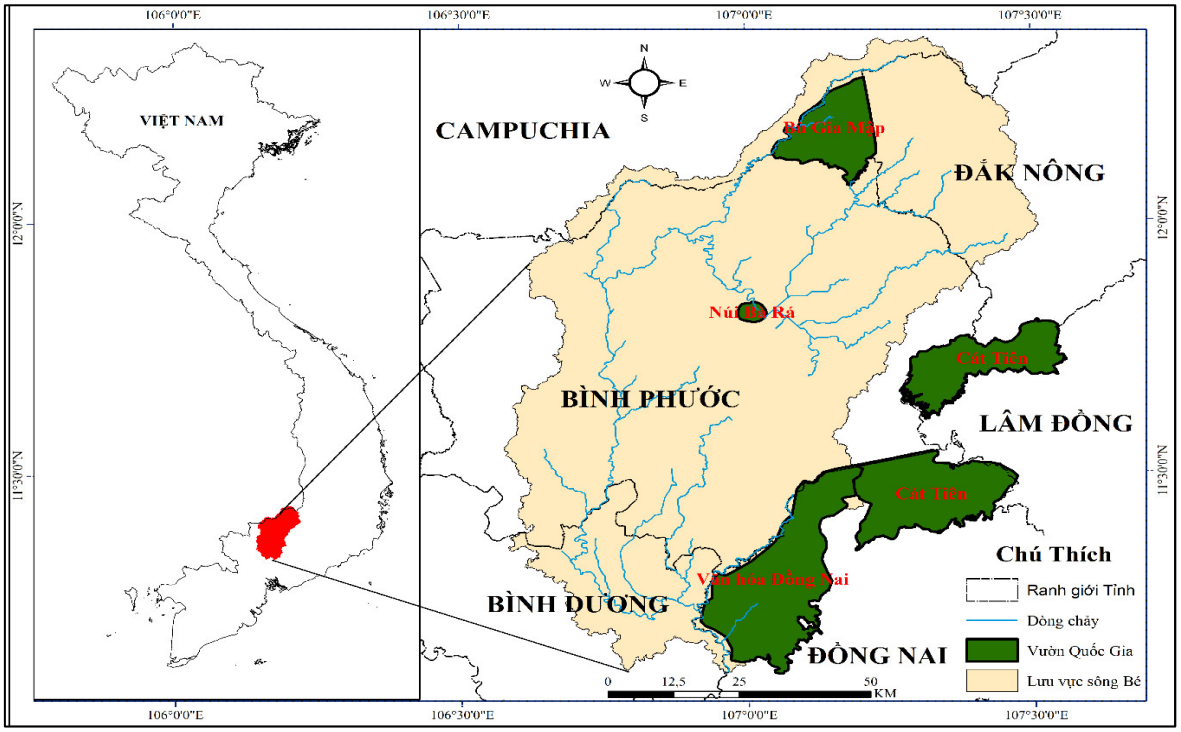
Mục tiêu của nghiên cứu là áp dụng mô hình CLUE–s để mô phỏng sử dụng đất cho lưu vực sông Bé ứng với kịch bản gia tăng dân số giai đoạn 2020–2100. Kết quả của nghiên cứu có thể giúp các nhà quản lý hiểu rõ hơn về các nhân tố ảnh hưởng đến quá trình thay đổ sử dụng đất cũng như có bức tranh thay đổi sử dụng đất tương ứng với sự gia tăng dân số trong tương lai từ đó đưa ra những chính sách quản lý và quy hoạch hợp lý nhằm giảm thiểu tác động không mong muốn từ việc thay đổi sử dụng đất đến môi trường mà vẫn đáp ứng được mục tiêu phát triển kinh tế tại khu vực nghiên cứu.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1 Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Sông Bé là một trong bốn phụ lưu lớn của hệ thống sông Đồng Nai với diện tích 7.839 km^2 trong đó diện tích thuộc tỉnh Bình Phước là 5034 km^2, Đắk Nông là 960 km^2, Bình Dương 818 km^2, Đồng Nai 551 km^2 (Hình 1). Lưu vực sông Bé nằm trên vùng chuyển tiếp từ địa hình núi cao, cao nguyên của phần cuối phía Nam dãy Trường Sơn xuống đồng bằng Nam Bộ nên địa hình biến đổi rất đa dạng và phức tạp. Khí hậu sông Bé mang tính chất nhiệt đới gió mùa, đặc trưng là sự phân hóa thành hai mùa mưa–khô tương phản nhau sâu sắc. Nhiệt độ trung bình trong khoảng từ 25,5˚C – 26,7˚C; lượng mưa trên lưu vực sông Bé vào loại lớn nhất trên toàn hệ thống sông Đồng Nai, từ 2.200–2.600 mm. Mùa mưa thường kéo dài 6 tháng từ tháng V – X trùng với mùa gió mùa tây nam hoạt động với lượng mưa chiếm trên 85% lượng mưa cả năm. Mùa khô kéo dài 6 tháng từ tháng XI đến tháng IV năm sau với lượng mưa chiếm khoảng 15% lượng mưa cả năm [10].

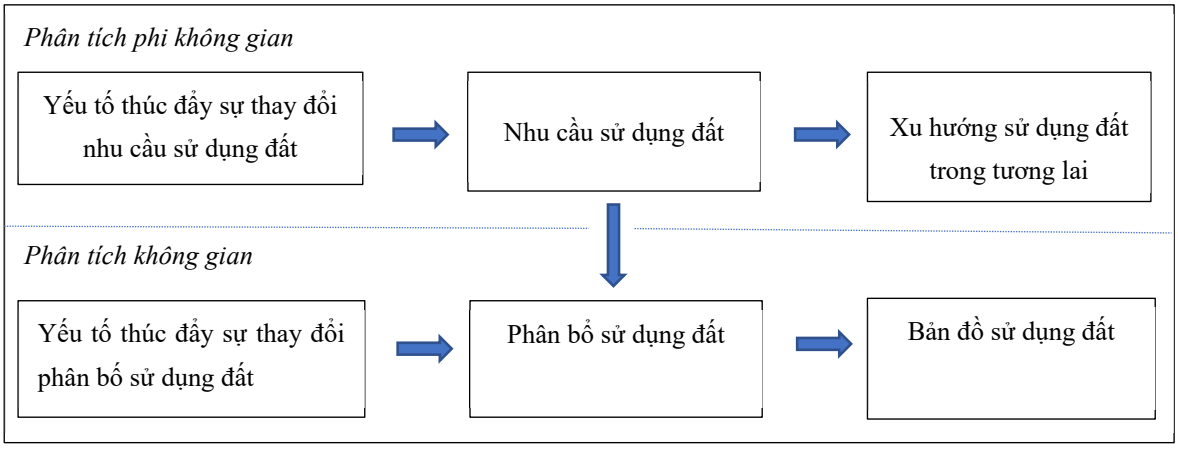
Tổng diện tích đất tự nhiên tại lưu vực sông Bé theo thống kê vào năm 2015 là 7.838,9 km^2, bao gồm, đất rừng là 1.378,7 km^2, chiếm 17,59%; đất nông nghiệp là 5.587,7 km^2, chiếm 71,28%; đất đô thị là 16,87 km^2 chiếm 0,21%; đất mặt nước là 151 km^2 chiếm 1,92% và đất đồng cỏ là 704,6 km^2, chiếm 8,98%. Số liệu thống kê cho thấy cơ cấu sử dụng đất của lưu vực sông Bé trong các năm gần đây có sự thay đổi theo chiều hướng tăng diện tích đất sản xuất nông nghiệp và đất đô thị, giảm mạnh diện tích đất lâm nghiệp. Từ năm 1992 đến năm 2015, diện tích đất lâm nghiệp giảm 1.526,4 km^2 tương đương với 19,47% diện tích toàn lưu vực, trong đó giai đoạn rừng suy giảm mạnh nhất là từ năm 1992–2005. Đồng thời, diện tích đất sản xuất nông nghiệp tăng 1.303,2 km^2 và diện tích đất đô thị tăng 15,5 km^2, trong đó, giai đoạn 2005–2015 là giai đoạn đất đô thị phát triển mạnh nhất. Với xu hướng ngày càng tăng cường phát triển đô thị, khu công nghiệp, bê tông hóa… có thể gây ra nhiều ảnh hưởng xấu cho môi trường của lưu vực.



Hình 1. Lưu vực sông Bé.

2.2. Cơ sở lý thuyết mô hình CLUE–s

Mô hình CLUE được xây dựng bởi [11] nhằm mô phỏng sự thay đổi sử dụng đất dựa trên mối quan hệ định lượng giữa hiện trạng sử dụng đất và các nhân tố ảnh hưởng sự thay đổi sử dụng đất. Năm 2002, cách tiếp cận mô hình CLUE đã được sửa đổi bởi Peter Verburg phối hợp với một số đồng nghiệp tại Khoa Khoa học Môi trường tại Đại học Wageningen ở Hà Lan, và các phiên bản sửa đổi được gọi là CLUE–s [9]. Mô hình CLUE–s bao gồm 2 mô–đun: mô–đun phi không gian và mô–đun không gian (Hình 2). Mô–đun phi không gian xác định những thay đổi sử dụng đất theo nhu cầu kinh tế–xã hội trong vùng nghiên cứu, các nhu cầu này có thể bao gồm diện tích cho từng mục đích sử dụng đất cụ thể ứng với các điều kiện phát triển kinh tế–xã hội. Trong mô–đun không gian, mối quan hệ giữa từng loại hình sử dụng đất với các nhân tố thay đổi được thiết lập và mối liên hệ này được sử dụng để tính toán thay đổi sử dụng đất và được phân bổ cho từng vị trí cụ thể trong khu vực nghiên cứu, bằng cách sử dụng phân tích không gian [12].



Hình 2. Tổng quan quy trình mô phỏng thay đổi sử dụng đất bằng mô hình CLUE–s [12].

2.2. Thiết lập mô hình CLUE–s cho lưu vực sông Bé

Đất sử dụng được phân bố dựa theo sự kết hợp với các yếu tố tác động làm thay đổi loại hình sử dụng đất. Các yếu tố tác động này được chia làm 4 loại: các chính sách và hạn chế về không gian, thiết lập chuyển đổi giữa các loại hình sử dụng đất, tính chất đặc trưng của từng khu vực, và nhu cầu sử dụng đất. Bốn loại yếu tố tác động này cùng nhau tạo nên sự thay đổi trong quá trình sử dụng đất. Trong đó:

- Các chính sách và hạn chế về không gian cho biết những khu vực không được có sự thay đổi về sử dụng đất như các khu hành chính, khu quy hoạch, và khu bảo tồn thiên nhiên. Tất cả những khu vực này sẽ được loại bỏ và không được đưa vào trong tính toán. Trong lưu vực sông Bé, những khu vực hạn chế bao gồm vườn quốc gia Bù Gia Mập, khu bảo tồn thiên nhiên Văn hóa Đồng Nai, khu bảo tồn cảnh quan núi Bà Rá và một phần nhỏ vườn quốc gia Nam Cát Tiên (Hình 1) với tổng diện tích khoảng 75.000 ha (chiếm gần 10,58 % diện tích khu vực nghiên cứu).

- Các thiết lập chuyển đổi giữa các loại hình sử dụng đất bao gồm 2 thông số chính là ma trận sử dụng đất và hệ số chuyển đổi của từng loại sử dụng đất. Ma trận sử dụng đất thể hiện khả năng chuyển đổi giữa hai loại sử dụng đất theo xu hướng thời gian, với giá trị 1 là có thể chuyển đổi và 0 là không thể chuyển đổi. Hệ số chuyển đổi của từng loại đất thể hiện độ ổn định của loại đất đó với giá trị từ 0 đến 1 thể hiện độ ổn định tăng dần.

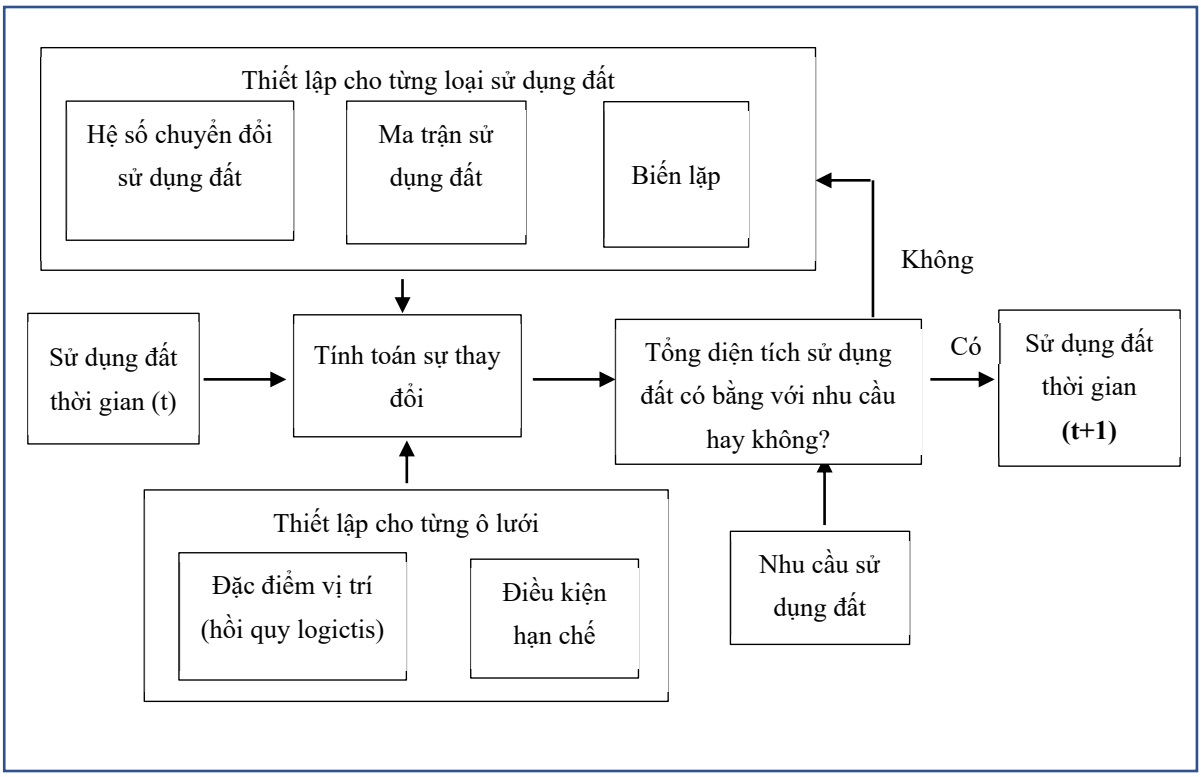
- Tính đặc trưng của từng khu vực được xác định dựa trên phân tích hồi qui logistic để xác định và lượng hoá được các nhân tố ảnh hưởng đến sự xuất hiện của các loại sử dụng đất:

$$Log\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \cdots + \beta_n X_{n,i} \quad (1)$$

Trong đó, P_i là xác suất xuất hiện của loại hình sử dụng đất i với yếu tố tác động X. β_0 là một hằng số, và β_n là hệ số hồi quy. Các phân tích được thực hiện đối với sử dụng đất hiện tại cho từng loại sử dụng đất riêng biệt. Các hệ số của hàm hồi quy được dùng để tính xác suất của mỗi ô dành cho từng loại sử dụng đất trong năm phân tích. Trong nghiên cứu này các yếu tố được lựa chọn để tính toán ảnh hưởng đến thay đổi sử dụng đất trong nghiên cứu bao gồm: đặc tính kinh tế–xã hội (mật độ dân số, khoảng cách đến đường chính, khoảng cách đến sông và khoảng cách đến UBND) và các đặc tính của khu vực (mưa, nhiệt độ, độ cao, độ dốc, loại thổ nhưỡng). Phương pháp đường cong ROC (*Relative Operating Characteristic*) được sử dụng nhằm đánh giá mức độ phù hợp của hàm hồi quy logistic, giá trị ROC thay đổi từ 0,5 (cho thấy phương trình hồi quy là ngẫu nhiên) đến 1 (phương trình hồi quy hoàn hảo) [13]. Giá trị ROC nhỏ hơn 0,7 cho thấy độ chính xác của phương trình hồi quy thấp do đó giá trị ROC cần lớn hơn 0,7 nhằm đảm bảo độ chính xác của phương trình hồi quy [14].

- Nhu cầu sử dụng đất sẽ xác định tổng diện tích mỗi loại sử dụng đất cần thiết cho mỗi năm mà không cần chú ý đến yếu tố không gian. Nhu cầu sử dụng đất được tính toán một cách đơn giản từ ngoại suy tuyến tính từ xu hướng sử dụng đất trong quá khứ, từ chính sách quy hoạch, hay phức tạp hơn từ các mô hình kinh tế–xã hội, kịch bản gia tăng dân số, ... Trong nghiên cứu này, nhu cầu sử dụng đất được xác định dựa vào xu hướng thay đổi của các loại hình sử dụng đất trong giai 2005–2015.

Sau khi hoàn thành các thiết lập, quá trình tính toán và phân bố các loại sử dụng đất trong mô hình CLUE–s được thể hiện trong Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ quy trình mô phỏng của mô hình CLUE–s [12].

2.3. Thu thập dữ liệu

Để thực hiện mô phỏng, một bộ dữ liệu đầu vào được thu thập bao gồm các dữ liệu không gian và phi không gian được mô tả trong Bảng 1.

Bảng 1. Dữ liệu thu thập phục vụ nghiên cứu.

Dữ liệu	Mô tả dữ liệu	Độ phân giải	Nguồn
DEM	Đặc điểm địa hình	30m	ASTER GDEM
Sử dụng đất	Đặc điểm sử dụng đất các năm 2005, 2010, 2015.	300m	Cơ quan Không gian Châu Âu (ESA)
Thổ nhưỡng	Tổ chức Nông Lương (FAO)	10km	Phân loại và tính chất đất
Bản đồ hành chính	Lớp giao thông, UBND, ranh giới các khu vực bảo tồn	1:50.000	Phân Viện Quy hoạch và Thiết kế Nông nghiệp
Khí tượng	Dữ liệu mưa giai đoạn 1980–2017	Ngày	Trung tâm Tư liệu Khí tượng Thủy văn (HMDC)
Dân số	Số liệu dân số giai đoạn 2005–2018	Năm	Tổng cục thống kê

2.4. Kịch bản

Dự báo sử dụng đất cho giai đoạn 2020–2100 dựa trên xu hướng về nhu cầu sử dụng đất trong quá khứ kết hợp với kịch bản gia tăng dân số để tính toán nhu cầu sử dụng đất cho các năm 2030, 2050 và 2080 (Bảng 2), tương ứng với các giai đoạn ngắn hạn, trung hạn và dài hạn. Theo đó, tốc độ gia tăng dân số được sử dụng nhằm mục đích tính toán tốc độ gia tăng đất đô thị và ảnh hưởng đến sự phân bố của rừng và đất nông nghiệp.

Bảng 2. Nhu cầu sử dụng đất giai đoạn 2020–2100.

Năm	Dân số (Người)	Đất rừng (km^2)	Mặt nước (km^2)	Đất nông nghiệp (km^2)	Đất đô thị (km^2)	Đồng cỏ (km^2)
2005	1.062.178	1.590,69	148,25	5391,81	2,19	706
2030	2.762.289	1.287,43	154,42	5687,83	50,62	658,64
2050	3.890.889	1.165,67	159,92	5821,35	95,62	596,38
2080	5.583.747	983,03	168,17	6021,63	163,12	502,99

2.5. Đánh giá hiệu quả mô hình

Hệ số Kappa được sử dụng nhằm đánh giá hiệu quả mô phỏng của mô hình thông qua những tính toán về mức độ chính xác của giữa kết quả mô phỏng với thực tế [15]. Giá trị K tiến về 1 có nghĩa là độ chính xác của kết quả mô phỏng càng tốt.

3. Kết quả và thảo luận

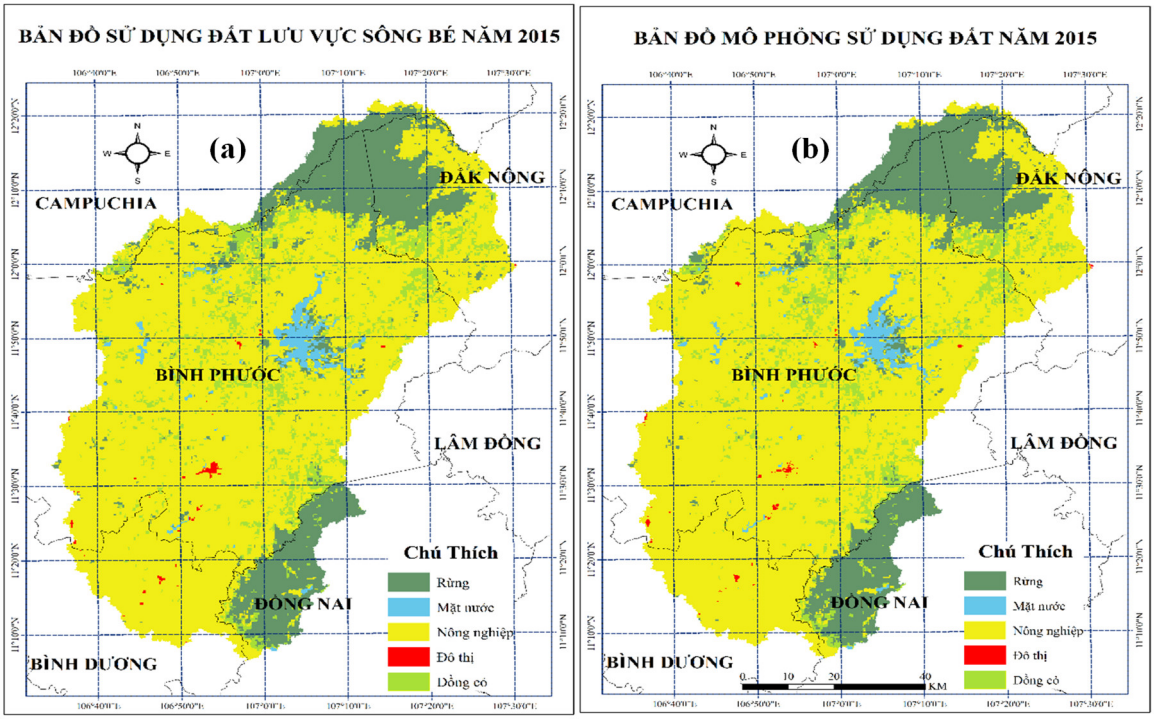
3.1. Hiệu chỉnh mô hình CLUE–s

Các yếu tố ảnh hưởng đến thay đổi sử đất được lựa chọn cho nghiên cứu này bao gồm: độ cao địa hình, độ dốc, lượng mưa, hàm lượng carbon trong đất, mật độ dân số, khoảng cách đến đường giao thông, khoảng cách đến sông suối, và khoảng cách đến UBND huyện. Tương quan giữa từng loại hình sử dụng đất và các yếu tố ảnh hưởng được thiết lập dựa vào mô hình hồi qui logistic. Kết quả phân tích hồi qui logistic sẽ xác định các hệ số của từng yếu tố ảnh hưởng từ đó tính toán xác suất cho mỗi loại sử dụng đất (Bảng 3).

Bảng 3. Hệ số tương quan giữa loại hình sử dụng đất và các nhân tố ảnh hưởng.

	Đất rừng	Mặt nước	Đất nông nghiệp	Đất đô thị	Cây bụi
Hằng số (β)	10,87	1,595	1,96	–1,148	–2,192
Độ cao (m)	–0,00329		0,0021	–0,00178	–0,00088
Độ dốc (%)	0,03275	–0,229	–0,0292	–0,0243	
Lượng mưa (mm)	–0,0064	–0,0016			
Hàm lượng Cacbon trong đất (mg/m^3)	0,00005	–0,000097	0,00007		0,00006
Mật độ dân số (số người/m^2)	–0,0094		0,008	0,00124	–0,0067
Khoảng cách đến đường giao thông (m)	0,000007		–0,00003	–0,0012	
Khoảng cách đến sông suối (m)		–0,00011	–0,0001	–0,383	
Khoảng cách đến UBND huyện (m)	0,00015		–0,00009	–0,0033	
ROC	0,792	0,803	0,764	0,984	0,663

Hệ số chuyển đổi của từng loại sử dụng đất được hiệu chỉnh dựa trên tính ổn của loại sử dụng đó, những loại sử dụng đất có tính ổn định càng cao thì hệ số càng tiến gần đến 1. Độ ổn định của các loại sử dụng đất được sắp xếp giảm dần theo thứ tự lần lượt là nước mặt, đô thị, rừng, nông nghiệp. Trong đó, nước mặt và đô thị là những khu vực ít bị tác động dẫn đến thay đổi nên có độ ổn định cao nhất, khu vực đồng cỏ là yếu tố có độ ổn định thấp nhất. Bộ hệ số chuyển đổi các loại sử dụng đất sau khi hiệu chỉnh của lưu vực sông Bé theo thứ tự đất rừng, nông nghiệp, đô thị, đồng cỏ, mặt nước lần lượt là 0,6; 0,4; 0,95; 0,3; 0,9.



Hình 4. Bản đồ sử dụng đất năm 2015: (a) Hiện trạng; (b) Mô phỏng.

Bảng 4. Ma trận chéo giữa loại hình sử dụng đất thực tế và mô phỏng cho năm 2015.

		Loại sử dụng đất hiện trạng						
		Rừng (ha)	Nước (ha)	Nông nghiệp (ha)	Đô thị (ha)	Đồng cỏ (ha)	Tổng (ha)	Độ chính xác người sử dụng (%)
Loại hình sử dụng đất mô phỏng	Rừng (ha)	126819	688	7825	0	2544	137875	92
	Nước (ha)	669	12269	1950	0	212	15100	81
	Nông nghiệp (ha)	7162	1919	531762	563	17362	558769	95
	Đô thị (ha)	0	0	688	1000	0	1688	59
	Đồng cỏ (ha)	3256	175	18688	0	48344	70462	69
	Tổng (ha)	137906	15050	560912	1562	68462	783894	82
	Độ chính xác người sản xuất (%)	92	81	95	64	71	81	
	Hệ số Kappa	0,82						

Kết quả mô phỏng bản đồ sử dụng đất năm 2015 được thể hiện trong Hình 4. Kết quả so sánh cho thấy có sự tương đồng cao giữa hai bản đồ sử dụng đất năm 2015 giữa quan trắc và mô phỏng. Bên cạnh đó, bảng ma trận chéo cũng được sử dụng nhằm đánh giá chi tiết kết quả mô phỏng (Bảng 4). Kết quả tính toán cho thấy, độ chính xác mô phỏng của toàn lưu vực là 81%, trong đó, khu vực đất nông nghiệp có độ chính xác mô phỏng cao nhất lên đến 95%. Tuy nhiên độ chính xác mô phỏng đất đô thị chỉ khoảng 64% nguyên nhân là do năm 2005 diện tích đất đô thị chỉ chiếm 0,03% toàn diện tích lưu vực nên việc phân tích các nhân tố ảnh hưởng đến loại hình sử dụng đất này chưa có độ chính xác cao. Bên cạnh đó, hệ số Kappa cho mô phỏng là 0,82, điều này cho thấy mô hình CLUE–s có khả năng mô phỏng sử dụng đất tại lưu vực sông Bé là rất tốt [15].

Kết quả trên cho thấy mô hình CLUE–s có thể mô phỏng thay đổi sử dụng đất cho lưu vực sông Bé năm 2015, và mô hình này có thể được sử dụng để mô phỏng cho các kịch bản thay đổi sử dụng đất tương ứng với tốc độ gia tăng dân số năm 2030, 2050 và 2080.

3.2. Mô phỏng sử dụng đất giai đoạn 2020–2100 theo kịch bản tăng dân số

Kết quả mô phỏng sử dụng đất cho các năm 2030, 2050 và 2080 dựa theo kịch bản gia tăng dân số được thể hiện trong Hình 5. Bên cạnh đó, Hình 6 thể hiện biến động sử dụng đất trong các giai đoạn 2005–2030, 2005–2050 và 2005–2080.

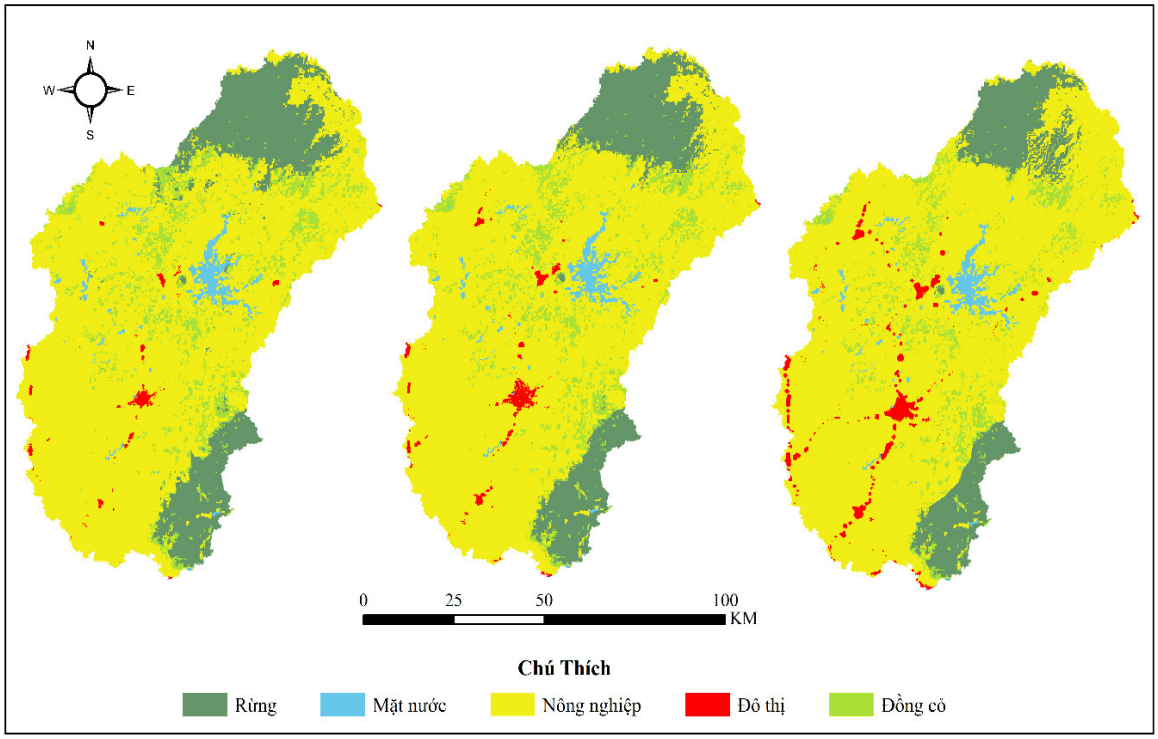
Nhìn chung, xu hướng thay đổi sử dụng đất chính trong giai đoạn 2020–2100 tại lưu vực sông Bé là giảm diện tích rừng, tăng diện tích đất đô thị và đất nông nghiệp. Trong đó, hai quy trình chuyển đổi sử dụng đất chính bao gồm (1) chuyển đổi từ đất rừng sang đất nông nghiệp và (2) chuyển đổi từ đất nông nghiệp sang đất đô thị.

Bảng 7. Bảng thống kê các loại hình sử dụng đất theo các năm.

Sử dụng đất	2005		2030		2050		2080	
	Diện tích (km^2)	%	Diện tích (km^2)	%	Diện tích (km^2)	%	Diện tích (km^2)	%
Rừng	1591	20,29	1291	16,47	1182	15,08	994	12,67
Nước	148	1,89	154	1,96	156	1,99	159	2,03
Nông nghiệp	5392	68,78	5684	72,51	5797	73,95	6007	76,63
Đô thị	2	0,03	49	0,62	92	1,18	158	2,01
Đồng cỏ	706	9,01	661	8,44	612	7,80	521	6,65
Tổng	**7839**	**100**	**7839**	**100**	**7839**	**100**	**7839**	**100**

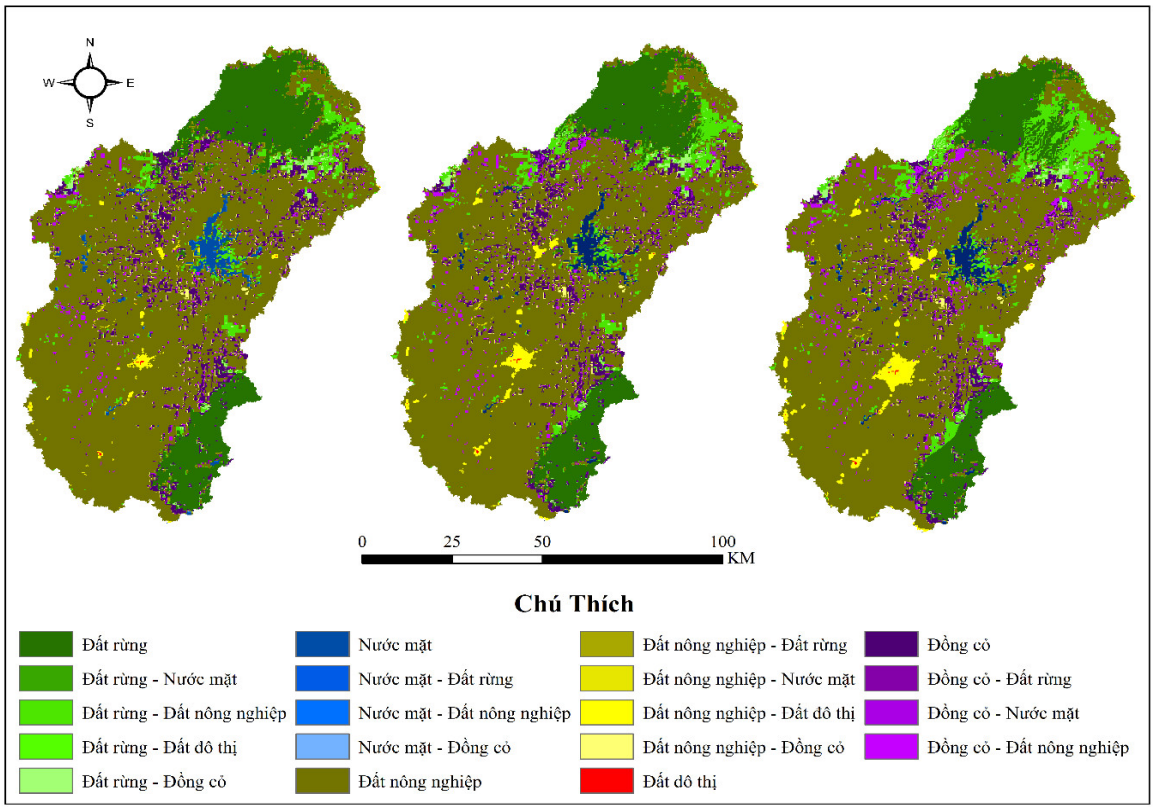
So với năm 2005, diện tích đất rừng giảm 299,81 km^2, 408,69 km^2 và 597,19 km^2 lần lượt vào các năm 2030, 2050 và 2080 (Hình5), theo đó, diện tích rừng chỉ còn chiếm khoảng 12,67% so với diện tích toàn lưu vực. Trong đó, phần lớn đất rừng được chuyển thành đất nông nghiệp với diện tích lần lượt là 288,8 km^2, 104,9 km^2 và 167,2 km^2 lần lượt trong các giai đoạn 2005–2030, 2030–2050 và 2050–2080. Diện tích đất rừng giảm mạnh, đặc biệt là khu vực rừng đệm của rừng quốc gia Bù Gia Mập thuộc huyện Đắk Nông là do công tác quản lý rừng không hiệu quả dẫn đến tình trạng phá rừng nghiêm trọng.

Đất đô thị có tốc độ tăng trưởng nhanh từ 200 ha vào năm 2005 lên 15.800 ha vào năm 2080, tốc độ gia tăng là 95,6%/năm, đô thị phát triển tập trung chủ yếu ở khu vực thành phố Đồng Xoài và các thị xã Phước Long và Bình Long. Đất đô thị chủ yếu được chuyển đổi từ đất nông nghiệp, trong các giai đoạn 2005–2030, 2030–2050 và 2050–2080 diện tích chuyển đổi lần lượt là 4637 ha, 4981 ha và 6062 ha.



(a) 2030 (b) 2050 (c) 2080

Hình 5. Bản đồ mô phỏng sử dụng đất giai đoạn 2020–2100.



(a) 2005 – 2030 (b) 2005 – 2050 (c) 2005 – 2080

Hình 6. Bản đồ biến động sử dụng đất các giai đoạn thời gian.

Dựa trên các kết quả mô phỏng sử dụng đất cho tương lai tại lưu vực sông Bé cớ thể thấy rằng quá trình đô thị hóa đang diễn ra nhanh chóng dẫn đến việc đất nông nghiệp bị chuyển đổi thành đất đô thị, và đất rừng bị thay thế bằng đất nông nghiệp, đây cũng sẽ là xu hướng chính trong chuyển đổi sử dụng đất trong tương lai. Nếu không có các chính sách quy hoạch bảo rừng và thì trong tương lai đất rừng sẽ biến mất ngày càng nghiêm trọng hơn dẫn đến tình trạnh mất cân bằng sinh thái. Vì vậy, các phát triển kinh tế xã hội và bảo vệ môi trường sinh thái cần được nghiên cứu và ước tính một cách toàn diện [16].

4. Kết luận

Mục tiêu của nghiên cứu này là mô phỏng quá trình thay đổi sử dụng đất giai đoạn 2020–2100 cho lưu vực sông Bé bằng mô hình CLUE–s. Kết quả nghiên cứu có thể tóm tắt như sau: (1) kết quả hiệu chỉnh mô hình CLUE–s dựa vào kết quả mô phỏng sử dụng đất năm 2015 cho thấy mô hình này có thể mô phỏng khá tốt đặc điểm sử dụng đất tại khu vực nghiên cứu; (2) dưới ảnh hưởng của các kịch bản gia tăng dân số năm 2030, 2050 và 2080, diện tích đất rừng bị giảm thay vào đó là đất nông nghiệp và đất đô thị. Kết quả nghiên cứu này có thể làm tài liệu tham khảo cho các cơ quan quản lý địa phương trong công tác quản lý và quy hoạch sử dụng đất bền vững. Bên cạnh đó, mô hình CLUE–s còn có khả mô phỏng thay đổi sử dụng đất với nhiều kịch bản khác nhau như phát triển kinh tế–xã hội, phát triển thủy điện, biến đổi khí hậu,… nên đây là một công cụ hữu ích để xem xét các thay đổi có thể xảy ra từ đó hỗ trợ cho xây dựng chính sách và quản lý sử dụng đất.

Tuy nhiên, do dữ liệu sử dụng đất trong nghiên cứu là dữ liệu toàn cầu nên độ chính xác so với thực tế không cao. Chính vì thế hướng phát triển tiếp theo của đề tài là sử dụng kết quả phân loại sử dụng đất từ các ảnh vệ tinh độ phân giải cao để tiến hành phân tích. Bên cạnh đó, nghiên cứu mới chỉ áp dụng tính toán theo kịch bản gia tăng dân số mà chưa xem xét đến các yếu tố thủy điện, BĐKH hay chính sách quy hoạch của địa phương. Vì vậy cần thực hiện những nghiên cứu với nhiều kịch bản khác nhau để có cái nhìn tổng quan hơn về sự phát triển của lưu vực.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: Đ.N.K.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: Đ.N.K., P.T.L.; Xử lý số liệu: P.T.L.; Thiết lập mô hình: Đ.N.K., P.T.L.; Viết bản thảo bài báo: P.T.L.; Chỉnh sửa bài báo: D.N.K.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, mã số B2019–18–07.

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. Dewan, A.M.; Yamaguchi, Y. Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization. *Appl. Geogr.* **2009***, 29,* 390–401. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.12.005.
2. Dewan, A.M.; Kabir, M.H.; Nahar, K.; Rahman, M.Z. Urbanization and environmental degradation in Dhaka metropolitan area of Bangladesh. *Int. J. Environ. Sustain. Dev.* **2012***, 2,* 118–147. https://doi.org/10.1504/IJESD.2012.049178.
3. Luo, G.; Yin, C.; Chen, X.; Xu, W.; Lu, L. Combining system dynamic model and CLUE–S model to improve land use scenario analyses at regional scale: A case study

of Sangong watershed in Xinjiang, China. *Ecol. Complex.* **2010**, *7,* 198–207. https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2010.02.001.

4. Verburg, P.; Veldkamp, A. Projecting land use transitions at forest fringes in the Philippines at two spatial scales. *Landsc. Ecol.* **2004***, 19,* 77–98. https://doi.org/10.1023/B:LAND.0000018370.57457.58.
5. Verburg, P.H.; Overmars, K.P. Combining top–down and bottom–up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the DynaCLUE model. *Landscape Ecol.* **2009**, *24,* 1167–1181. https://doi.org/10.1007/s10980–009–9355–7.
6. Huiran, H.; Chengfeng, Y.; Jinping, S. Scenario Simulation and the Prediction of Land Use and Land Cover Change in Beijing, China*. Sustainability* **2015***, 7,* 4260–4279. https://doi.org/10.3390/su7044260.
7. Batisani N and Yarnal B. Urban expansion in Centre County, Pennsylvania: spatial dynamics and landscape transformations. *Appl. Geogr.* **2009**, *29,* 235–249. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.08.007
8. Vũ Nguyên, Jean–Christophe Castell và Peter H. Verburg. Mô hình hoá các thay đổi sử dụng đất tại huyện Chợ Đồn với phương pháp CLUE–S. *Hệ thống Nông nghiệp Miền núi* **2002***, 16,* 4–14.
9. Verburg, P.; Soepboer, W.; Limpiada, R. Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE–S Model. *Environ. Manag.* **2002***, 3,* 391–405. https://doi.org/10.1007/s00267–002–2630.
10. Liêm, N.D.; Hồng, N.T.; Minh, T.P.; Lợi, N.K. Ứng dụng công nghệ GIS và mô hình SWAT đánh giá lưu lượng dòng chảy lưu vực Sông Bé. Hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc*,* **2011***,* 7–13.
11. Veldkamp, A.; Fresco, L. CLUE: A conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecol. Model* **1996***, 2,* 253–270. https://doi.org/10.1016/0304–3800(94)00151–0
12. Verburg, P.H.; Overmars, K.P. Dynamic simulation of land–use change trajectories with the CLUE–s model. Model. *Land–Use Change* **2007***, 90,* 321–337. https://doi.org/10.1007/1–4020–5648–6_18.
13. Pontius Jr, R.G., Schneider, L.C. Land–cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agr. Ecosyst. Environ.* **2001**, *85,* 239–248. https://doi.org/10.1016/S0167–8809(01)00187–6.
14. Rui, Z.; Hao, Z.; Xin, Y.Y.; Xin, J.W.; Hai, L.S. The Delimitation of Urban Growth Boundaries Using the CLUE–S Land–Use Change Model: Study on Xinzhuang Town, Changshu City, China. *Sustainability* **2016**, *8*, 1182. https://doi.org/10.3390/su8111182.
15. Pontius Jr, R.G.; Cornell, J.D.; Hall, C.A. Modeling the spatial pattern of land–use change with GEOMOD2: Application and validation for Costa Rica. *Agr. Ecosyst. Environ.* **2001**, *85,* 191–203. https://doi.org/10.1016/S0167–8809(01)00183–9.
16. Hu, Y.; Zheng, Y.; Zheng, X. Simulation of land–use scenarios for Beijing using CLUE–S and Markov composite models. *Chin. Geogr. Sci.* **2013**, *23,* 92–100. https://doi.org/10.1007/s11769–013–0594–9.

Simulation of land–use change in the Be river basin by using CLUE–s model

Pham Thi Loi [1], Dao Nguyen Khoi [1*]

[1] Faculty of Environment, University of Science, VNU–HCM;
phamthiloi1994@gmail.com; dnkhoi@hcmus.edu.vn.

Abstract: Be River is a large tributary located on the right bank of Dong Nai River. The main economic activity of this basin is agricultural development, especially industrial crops such as coffee, rubber, pepper and cashew trees. In recent years, under the influence of population growth and economic development, land use transition has taken place rapidly across the basin. The objective of this study is to apply CLUE–s model to simulate the future land use change under the population growth scenario to provide scientific information for local managers in sustainable land use planning and management. To achieve this goal, historical data in the period 2000–2010 are used to analyze the trends of land use types in the study area. Additionally, logistic regression equations are used to build the correlation of land use patterns with driving factors. Research results show that land use activities in Be River basin tend to decrease forest land and increase agricultural and urban land. Specifically, the forest land will decrease by 299,81 km^2, 408,69 km^2 and 597,19 km^2 for the years 2030, 2050, and 2080, respectively, compared to that in 2005. Moreover, the urban area will increase by 46,5 km^2, 90 km^2 and 155,6 km^2 for the years 2030, 2050, and 2080, respectively, compared to that in 2005. In which, two main processes of land use change are: (1) forest land converted to agricultural land and (2) agricultural land converted to urban land.

Keywords: CLUE–s; Land use change; Be River Basin; Logistic regression equation.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Bài báo khoa học

Xây dựng mô hình dự báo BOD_5 cho hạ lưu sông Sài Gòn – Đồng Nai dựa trên các mạng nơ–ron nhân tạo MLP và RBF

Nguyễn Thị Diễm Thúy[1*], Phạm Thị Thảo Nhi[2], Đoàn Thị Trúc Măn[3], Đào Nguyên Khôi [4]

[1] Viện Môi trường và Tài nguyên, Đại học Quốc gia TP.HCM; nguyenthidiemthuyapag@gmail.com;
[2] Viện khoa học và Công nghệ tính toán Tp.HCM; ptthaonhi@gmail.com
[3] Đài khí tượng thủy văn khu vực Nam bộ; trucmandoan@gmail.com
[4] Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP.HCM; dnkhoi@hcmus.edu.vn
***** Tác giả liên hệ: nguyenthidiemthuyapag@gmail.com; Tel.: +84–968638978

Ban Biên tập nhận bài: 11/3/2020; Ngày phản biện xong: 3/4/2021; Ngày đăng bài: 25/4/2021

Tóm tắt: Nhu cầu oxy sinh hóa (BOD) là thông số chất lượng nước quan trọng để đánh giá mức độ ô nhiễm của nước trên các sông, hồ. Tuy nhiên, việc xác định nồng độ BOD_5 trong nước theo các phương pháp phân tích trong phòng thí nghiệm thường mất nhiều thời gian (5 ngày). Mục tiêu của nghiên cứu là xây dựng mô hình dự báo thông số BOD_5 dựa trên hai mô hình nơ–ron nhân tạo là MLP và RBF tại hạ lưu sông Sài Gòn–Đồng Nai và đánh giá hiệu quả dự báo giữa hai mô hình. Bảy kịch bản được xây dựng dựa trên tương quan riêng phần giữa thông số BOD_5 với các thông số chất lượng nước khác bao gồm COD, DO, TSS, Coliform, $P–PO_4^{3–}$, T và $N–NH_4^+$. Bộ dữ liệu bao gồm 08 thông số chất lượng nước theo tháng từ 2013–2018 và được chia thành hai phần theo tỷ lệ 75:25 phục vụ huấn luyện và kiểm tra các mô hình. Kết quả nghiên cứu cho thấy, cả hai mô hình MLP và RBF đều có khả năng dự báo tốt BOD_5 tại khu vực, tuy nhiên mô hình RBF với 05 thông số đầu vào (COD, DO, TSS, Coliform, $P–PO_4^{3–}$) cho kết quả dự báo tốt nhất với NSE = 0,855, R^2 = 0,9, RMSE = 0,529 cho quá trình huấn luyện và NSE = 0,848, R^2 = 0,865, RMSE = 0,454 cho quá trình kiểm tra. Kết quả nghiên cứu này cũng là nền tảng phục vụ cho việc dự báo các thông số chất lượng nước khác, cũng như dự báo ngắn hạn BOD_5 trong khu vực nghiên cứu.

Từ khóa: Nhu cầu oxy sinh hóa; Mô hình nơ–ron nhân tạo; MLP; RBF; Hạ lưu sông Sài Gòn–Đồng Nai

1. Mở đầu

Nước là nguồn tài nguyên quan trọng, thiết yếu trong cuộc sống con người và sự phát triển của đất nước. Chất lượng nước là một chỉ tiêu quan trọng liên quan đến tất cả khía cạnh của hệ sinh thái và đời sống con người, như sức khỏe cộng đồng, sản xuất lương thực, hoạt động kinh tế và đa dạng sinh học. Do đó, chất lượng nước cũng là một trong những cơ sở để đánh giá mức độ đói nghèo, thịnh vượng và trình độ văn hoá của khu vực. Trong đó, nhu cầu oxy sinh hóa (BOD) là một trong những thông số chất lượng nước quan trọng, cho phép đánh giá mức độ ô nhiễm hữu cơ có khả năng phân hủy sinh học dưới điều kiện hiếu khí, đây là thông số quan trọng để đánh giá mức độ ô nhiễm của nước, BOD càng cao chứng tỏ lượng chất hữu cơ có khả năng phân hủy sinh học trong nước ô nhiễm càng lớn. Trong thực tế, khó

xác định được toàn bộ lượng oxy cần thiết để các vi sinh vật phân hủy các chất hữu cơ có trong nước mà chỉ xác định được lượng oxy cần thiết trong 5 ngày ở nhiệt độ 20^{o}C trong bóng tối [1].

Các phương pháp đo lường truyền thống thường phụ thuộc vào phân tích trong phòng thí nghiệm, mất nhiều thời gian [2–3]. Cụ thể, đối với thông số BOD_5 mất khoảng 5 ngày để có được giá trị BOD theo các phương pháp đo lường hóa học thông thường. Đối với các công cụ giám sát trực tuyến có thể cho kết quả quan trắc liên tục, tuy nhiên cần chi phí kinh tế cao. Vì vậy, mô hình dự báo và dự báo chất lượng nước là rất cần thiết để theo dõi liên tục các thông số chất lượng nước trên sông, cũng như đóng vai trò rất quan trọng trong công tác quản lý tài nguyên nước. Hiện nay có nhiều phương pháp khác nhau để mô hình hóa và dự đoán chất lượng nước như mô hình khái niệm, mô hình vật lý, mô hình số, mô hình thống kê, v.v.; tuy nhiên trong những năm gần đây, mô hình trí tuệ nhân tạo (AI) đã được sử dụng vì tính đơn giản và tính chính xác của kết quả dự báo. Một điểm mạnh nữa của mô hình AI là mô hình AI có khả năng dự báo các hiện tượng phức tạp và phi tuyến tính mà không cần hiểu rõ về bản chất vấn đề. Do đó, việc sử dụng phương pháp tiếp cận AI trong dự báo chất lượng nước trở thành một hướng nghiên cứu tiềm năng và thu hút sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới.

Một số nghiên cứu điển hình có thể kể đến như nghiên cứu của Dogan và cộng sự năm 2008 đã sử dụng mô hình nơ–ron nhân tạo (ANN) để dự báo BOD theo ngày, kết quả cho thấy mô hình ANN có khả năng dự báo BOD tốt dựa trên 04 thông số COD, SS, lưu lượng và nitơ với sai số trung bình 10,03% [4]. Nghiên cứu của Csábrági và cộng sự năm 2018 đã dự báo nồng độ DO dựa vào các thông số pH, độ dẫn điện, nhiệt độ và dòng chảy bằng các mạnh nơ – ron nhân tạo bao gồm các mô hình tuyến tính (MLR) và phi tuyến tính (MLP, RBF và GR), kết quả cho thấy các mô hình phi tuyến tính có khả năng dự báo DO tốt hơn so với mô hình tuyến tính và mô hình RBF có hiệu quả dự báo tốt nhất trong tất cả các mô hình với chỉ số RMSE = 1,63 và R^2 = 0,59 [5]. Một số nghiên cứu khác như nghiên cứu của Dara và cộng sự năm 2018 đã sử dụng mô hình MLP với 10 thông số chất lượng nước đầu vào, 1 lớp ẩn – 5 nodes và 1 lớp đầu ra để dự báo BOD [6], nghiên cứu dự báo các thông số chất lượng nước (TSS và BOD) bằng mô hình hồi quy tuyến tính và mô hình mạng nơ–ron nhân tạo (Deep Feedforward Network) của Ahamad và cộng sự năm 2019 [7].

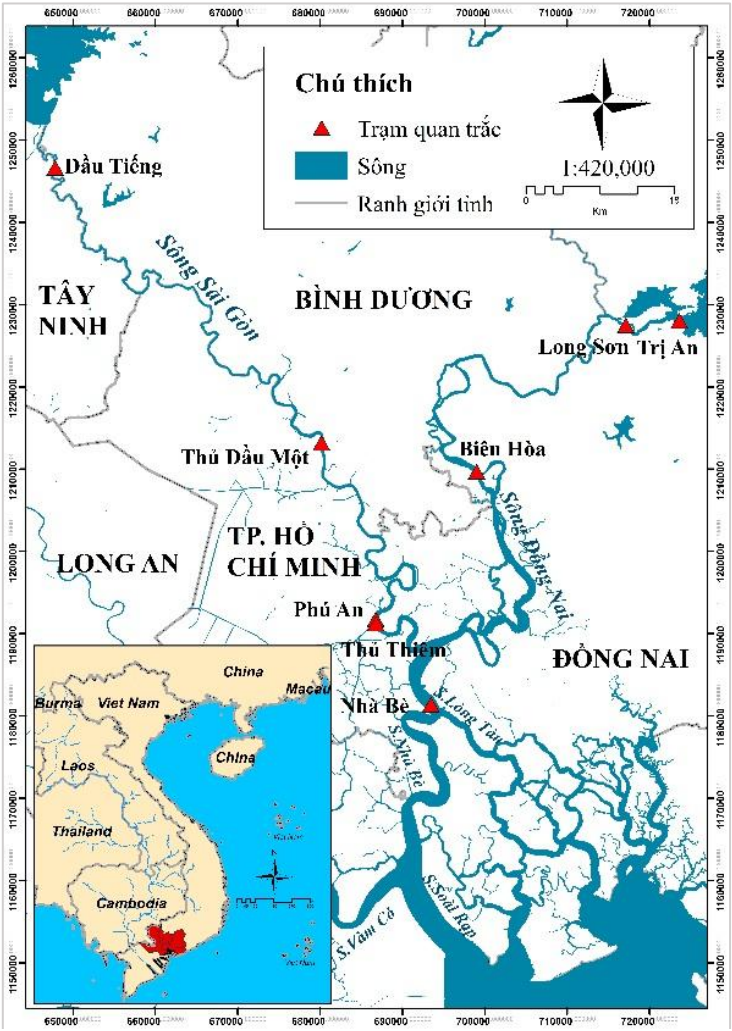
Từ các nghiên cứu đã thực hiện có thể thấy, mạng nơ–ron nhân tạo có khả năng dự báo và dự báo tốt các thông số chất lượng nước trên sông vì vậy trong nghiên cứu này hai mạng nơ–ron nhân tạo là MLP (*Multilayer perceptrons*) và RBF (*Radial basic function*) được sử dụng để dự báo thông số BOD_5 tại hạ lưu sông Sài Gòn–Đồng Nai, đây là khu vực chịu nhiều ảnh hưởng của hoạt động phát triển công nghiệp và đô thị của vùng kinh tế trọng điểm phía nam. Mục tiêu của nghiên cứu là dự báo nồng độ BOD_5 tại hạ lưu sông Sài Gòn–Đồng Nai dựa trên mạng MLP và RBF và so sánh hiệu quả dự báo giữa hai mô hình. Để đạt được mục tiêu trên các nội dung cơ bản được thực hiện để xây dựng một mô hình nơ–ron nhân tạo trong nghiên cứu này bao gồm: (1) thu thập và tiền xử lý dữ liệu; (2) lựa chọn đầu vào, (3) xử lý và phân tách dữ liệu, (4) lựa chọn kiến trúc mô hình, (5) huấn luyện mô hình và (6) kiểm định mô hình để tìm ra bộ thông số tối ưu của các mô hình [8].

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1 Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu thuộc vùng hạ lưu sông Sài Gòn–Đồng Nai, nằm ở kinh độ 10°30’ – 11°30’ B và vĩ độ 106°15’ – 107°15’ Đ (Hình 1). Khu vực nghiên cứu có diện tích khoảng 3.200 km^2 đi qua các tỉnh Bình Phước, Bình Dương, Tây Ninh, Long An, Đồng Nai và thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM). Bao gồm các con sông chính như hạ lưu sông Đồng Nai, sông Soài Rạp, sông Nhà Bè, sông Sài Gòn, sông Vàm Cỏ và các sông, kênh thuộc huyện Cần Giờ, TP.HCM.

Khí hậu của khu vực nghiên cứu là nhiệt đới gió mùa, với lượng mưa trung bình năm khá cao, khoảng 1.800 mm. Có hai mùa riêng biệt là mùa mưa (tháng 4 đến tháng 10) và mùa khô (tháng 11 đến tháng 3 năm sau), trong đó lượng mưa trong mùa mưa chiếm khoảng 80–85% tổng lượng mưa năm. Do nằm ở hạ lưu hệ thống sông Sài Gòn–Đồng Nai nên dòng chảy chịu sự chi phối mạnh mẽ bởi thủy triều biển Đông với cơ chế dòng chảy chính là dòng chảy 2 chiều. Bên cạnh đó, hạ lưu sông Sài Gòn–Đồng Nai chảy qua TP.HCM, Đồng Nai, Bình Dương, Bà Rịa–Vũng Tàu, đây được xem như một vùng kinh tế giàu tiềm năng, vùng kinh tế động lực mạnh hàng đầu của Việt Nam hiện nay và trong nhiều năm tới [9]. Dưới ảnh hưởng của hoạt động phát triển công nghiệp và đô thị, vấn đề ô nhiễm nước mặt đã và đang là một trong những vấn đề bức thiết của khu vực này. Vì vậy, khu vực này được chọn làm khu vực nghiên cứu.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

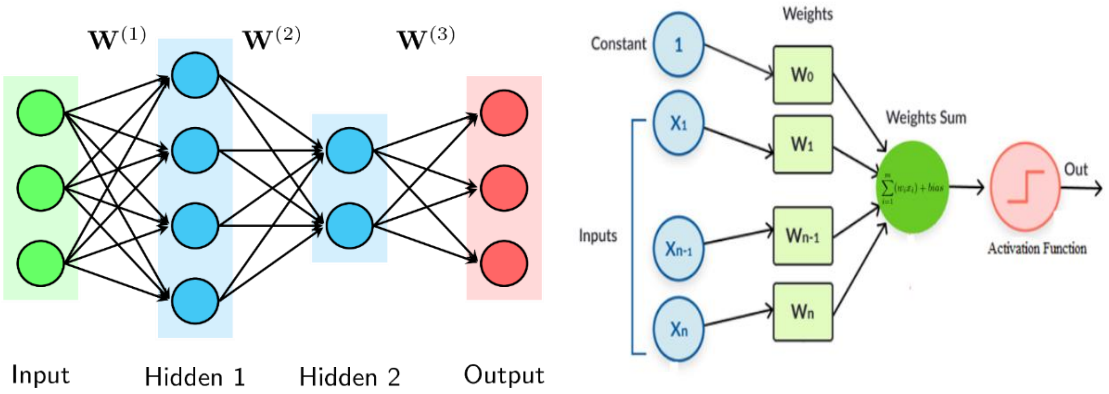
2.2. Phương pháp mô hình hóa

2.2.1. Mô hình Multilayer Perceptrons (MLP)

Mạng nơ–ron nhân tạo là một dạng trí tuệ nhân tạo dựa trên chức năng của bộ não và hệ thần kinh của con người. Một mạng nơ–ron nhân tạo có hai thành phần cơ bản là nơ–ron và liên kết. Một nơ–ron là phần tử xử lý và một liên kết được sử dụng để kết nối một nơ–ron này với một nơ–ron khác, mỗi liên kết có trọng số riêng của nó. Mạng nơ–ron chỉ lan truyền theo hướng thuận từ lớp đầu vào qua một hoặc nhiều lớp ẩn đến lớp đầu ra được gọi là mạng

nơ–ron lan truyền thẳng. Cả hai mô hình MLP và RBF được xây dựng trong nghiên cứu đều là mạng nơ–ron lan truyền thẳng.

Multilayer perceptron (MLP) là mạng nơ–ron lan truyền thẳng phổ biến nhất. Mô hình MLP được sử dụng rộng rãi trong các bài toán dự báo các yếu tố khí tượng, thủy văn và chất lượng nước. MLP bao gồm nhiều lớp tế bào thần kinh (nơ–ron) tương tác với các kết nối có trọng số [10]. Nói chung, một mô hình MLP bao gồm một lớp đầu vào (*input layer*), một hoặc một số lớp ẩn (*hidden layers*) và một lớp đầu ra (*output layer*). Hình 2a thể hiện cấu trúc của mạng MLP với 2 lớp ẩn và Hình 2b trình bày các thành phần chính trong mô hình MLP.

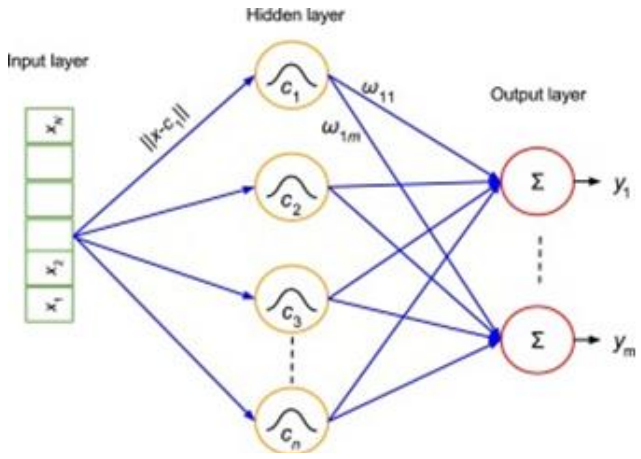


(a) Cấu trúc mô hình (b) Thành phần chính trong MLP

Hình 2. Cấu trúc mạng MLP.

2.2.2. Mô hình Radial Basic Function (RBF)

Radial Basic Function (RBF) là một mạng nơ–ron lan truyền thẳng bao gồm 03 lớp chính: lớp đầu vào, lớp ẩn và lớp đầu ra. Số lượng nơ–ron trong lớp đầu vào phụ thuộc vào chiều của vector đầu vào, số lượng nơ–ron trong lớp đầu ra phụ thuộc vào số nhãn trong dữ liệu. Số lượng nơ–ron trong lớp ẩn quyết định cấu trúc của mạng. Hình 3 thể hiện cấu trúc của mạng RBF. Mô hình RBF có cấu trúc đơn giản và tốc độ học nhanh hơn so với mô hình MLP [11].



Hình 3. Cấu trúc mạng RBF [12].

Quy trình tính toán trong mô hình RBF được thực hiện qua các bước chính sau:

+ Dữ liệu đầu vào được đưa vào mạng thông qua lớp đầu vào.

+ Sau đó mỗi nơ–ron trong lớp ẩn tính toán sự tương đồng giữa dữ liệu đầu vào và nguyên mẫu lưu trữ trong mỗi nơ–ron, càng nhiều kết quả nguyên mẫu kết quả càng chính xác. Mỗi nơ–ron trong lớp ẩn có một hàm kích hoạt Gaussian, với công thức như sau:

$$\phi\left(\left\|x-c_j\right\|\right)=e^{-\left(\frac{\left\|x-c_j\right\|^2}{2\sigma_j^2}\right)} \quad (1)$$

Trong đó x là vector đầu vào; c_j là tâm hàm Gaussian và σj là bề rộng hàm Gaussian của nơ–ron thứ j.

+ Đầu ra của RBF được tính toán sử dụng phương pháp trọng số trung bình theo công thức sau:

$$y_i=\sum_{j=1}^{n} W_{ij}\phi_j\left(x\right) \quad (2)$$

Trong đó W_{ij} là trọng số thứ i giữa lớp ẩn và lớp đầu ra; n là số lượng nơ–ron trong lớp ẩn.

2.3. Thu thập, xử lý và phân chia dữ liệu

2.3.1. Thu thập và chuẩn hóa dữ liệu

Các dữ liệu được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho mô hình dự báo BOD_5 tại khu vực hạ lưu sông Sài Gòn–Đồng Nai bao gồm 08 thông số chất lượng nước nhu cầu oxy sinh hóa (BOD_5), oxy hòa tan (DO), nhu cầu oxy hóa học (COD), nhiệt độ (T), amoni ($N–NH_4^+$), phốt phát ($P–PO_4^{3-}$), tổng chất rắn lơ lửng (TSS) và Tổng coliform (Coliform) tại 08 trạm quan trắc theo tháng từ năm 2013–2018 được thu thập từ Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam bộ. Vị trí các trạm quan trắc chất lượng nước được thể hiện trong Hình 1 và Bảng 1 thể hiện mô tả thống kê của các dữ liệu chất lượng nước trong khu vực nghiên cứu.

Bảng 1. Đặc trưng các thông số chất lượng nước tại khu vực nghiên cứu.

Thông số	Đơn vị	Lớn nhất	Nhỏ nhất	Trung bình	Độ lệch chuẩn
BOD_5	mg/l	11,00	1,00	3,54	1,34
T	^oC	27,40	25,00	26,07	0,59
DO	mg/l	8,00	1,00	4,35	2,03
TSS	mg/l	482,00	5,60	24,95	41,91
COD	mg/l	26,00	3,00	12,52	4,93
$P–PO_4^{3-}$	mg/l	1,84	0,00	0,02	0,12
$N–NH_4^+$	mg/l	48,10	0,01	0,96	4,30
Coliform	MPN/100ml	24.000,00	230,00	5.730,28	6.824,18

Để thực hiện các phép tính trong mô hình (cộng, nhân ma trận, vector) yêu cầu dữ liệu đầu vào có cùng kích thước, vì vậy việc chuẩn hóa dữ liệu đầu vào bao gồm loại bỏ các dữ liệu nhiễu và chuẩn hóa các dữ liệu về cùng khoảng giá trị là việc làm quan trọng trước khi thực hiện dự báo BOD_5 dựa trên các mạng nơ–ron nhân tạo. Dựa vào đặc điểm của bộ dữ liệu thu thập, nghiên cứu sử dụng phương pháp chuẩn hóa min–max để chuẩn hóa dữ liệu đầu vào của mô hình, đây là phương pháp đơn giản nhằm đưa tất cả các đặc trưng về cùng một khoảng giá trị. Công thức cụ thể như sau:

$$x_i^{'}=\frac{x_i-\min(x_i)}{\max(x_i)-\min(x_i)} \quad (3)$$

Trong đó x_i và $x^{'}_i$ lần lượt là giá trị đặc trưng ban đầu và giá trị đặc trưng sau khi được chuẩn hóa; min (x_i) và max (x_i) là giá trị nhỏ nhất và lớn nhất của đặc trưng thứ i xét trên toàn bộ các điểm dữ liệu của tập dữ liệu.

2.3.2. Phân chia dữ liệu

Một trong những bước quan trọng nhất trong việc phát triển mô hình là quá trình chia nhỏ dữ liệu để huấn luyện và kiểm tra. Dữ liệu huấn luyện sẽ được sử dụng để xác định cấu trúc mô hình, cũng như giá trị của các tham số mô hình và bộ dữ liệu kiểm tra được sử dụng để đánh giá hiệu quả của mô hình.

Bước này thường được thực hiện bằng cách thử và sai để đảm bảo rằng mô hình có thể đạt được hiệu quả tối ưu [13]. Sau khi thực hiện, bộ dữ liệu được chia thành hai phần phục vụ cho quá trình huấn luyện và kiểm tra, cụ thể 75% (185 dữ liệu/1 thông số) được sử dụng cho quá trình huấn luyện và 25% (61 dữ liệu/1 thông số) được sử dụng cho quá trình kiểm tra mô hình, tỷ lệ này cũng đã được áp dụng và đạt hiệu quả cao trong một số nghiên cứu ứng dụng mô hình trí tuệ nhân tạo để dự báo chất lượng nước như nghiên cứu [14–16].

2.4. Đánh giá hiệu quả dự báo của mô hình

Hiệu quả dự báo của các mô hình được đánh giá bằng phương pháp đồ thị và phương pháp thống kê để so sánh chất lượng và độ tin cậy của kết quả dự báo với số liệu thực đo. Trong nghiên cứu này, các phương pháp thống kê đánh giá kết quả mô hình bao gồm hệ số tương quan (R^2), hệ số hiệu quả Nash–Sutcliffe (NSE) và sai số quân phương (RMSE). Giá trị của R^2 và NSE càng gần 1 thì mô hình càng đạt hiệu quả cao, và giá trị RMSE càng gần 0 thì mô hình có sai số càng nhỏ [17].

2.5. Xây dựng các kịch bản dự báo

Các thông số chất lượng nước đã thu thập được sử dụng để xây dựng các kịch bản tính toán dựa trên tương quan riêng phần giữa BOD_5 với các thông số chất lượng nước khác giai đoạn 2013–2018. Bảng 2 thể hiện kết quả tính tương quan riêng phần giữa BOD_5 với 07 thông số chất lượng nước đầu vào còn lại, kết quả cho thấy BOD_5 có tương quan cao nhất với thông số COD (0,85), tiếp đó là thông số DO (–0,55) và thông số amoni có tương quan thấp nhất.

Bảng 2. Tương quan giữa các thông số đầu vào và BOD_5.

Thông số	COD	DO	TSS	Coliform	$P–PO_4^{3-}$	T	$N–NH_4^+$
Tương quan (r)	0,85	–0,55	0,21	0,17	0,07	–0,07	0,01

Các kịch bản với tổ hợp thông số đầu vào được xây dựng dựa trên mức độ tương quan từ cao đến thấp của các thông số đầu vào, theo đó 07 kịch bản dự báo trong nghiên cứu được mô tả như trong Bảng 3.

Bảng 3. Các kịch bản dự báo BOD_5.

STT	**Kịch bản**	**Thông số đầu vào**
1	KB1	COD
2	KB2	COD, DO
3	KB3	COD, DO, TSS
4	KB4	COD, DO, TSS, Coliform
5	KB5	COD, DO, TSS, Coliform, $P–PO_4^{3-}$
6	KB6	COD, DO, TSS, Coliform, $P–PO_4^{3-}$, T
7	KB7	COD, DO, TSS, Coliform, $P–PO_4^{3-}$, T và $N–NH_4^+$

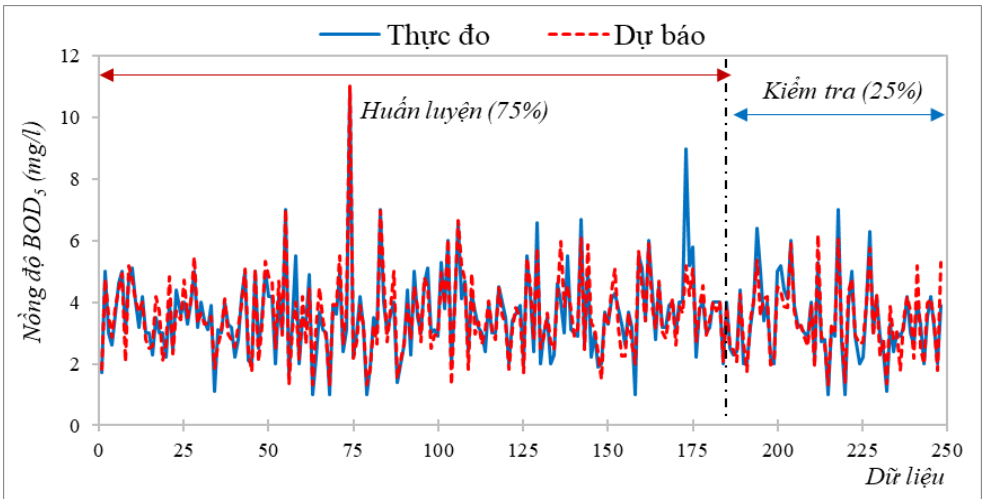
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Mô hình MLP

Mô hình MLP được sử dụng để dự báo BOD_5 theo 07 kịch bản với các thông số đầu vào khác nhau, hiệu quả dự báo theo các chỉ số RMSE, NSE và R^2 trong tất cả các kịch bản được thể hiện trong Bảng 4. Kết quả cho thấy, các mô hình MLP với các thông số đầu vào khác nhau đều cho kết quả dự báo BOD_5 khá tốt với RMSE < 0,813, R^2 > 0,740 và NSE > 0,723 cho cả hai giai đoạn huấn luyện và kiểm tra. Trong đó, kịch bản KB7 với 07 thông số đầu vào bao gồm COD, DO, TSS, Coliform, $P–PO_4^{3–}$, T và $N–NH_4^+$ cho kết quả dự báo tốt nhất với NSE, R^2 lớn nhất và RMSE nhỏ nhất so với 06 kịch bản còn lại, cụ thể chỉ số NSE = 0,834, R^2 = 0,836 và RMSE = 0,551 cho quá trình huấn luyện và NSE = 0,832, R^2 = 0,832 và RMSE = 0,521 cho quá trình kiểm tra. Đồ thị so sánh giữa nồng độ BOD_5 thực đo và dự báo trong quá trình huấn luyện và kiểm tra theo KB7 được thể hiện trong Hình 4.

Bảng 4. Hiệu quả dự báo BOD_5 của mô hình MLP.

Kịch bản		KB7	KB6	KB5	KB4	KB3	KB2	KB1
Huấn luyện	RMSE	**0,551**	0,571	0,573	0,584	0,589	0,605	0,655
	R^2	**0,836**	0,814	0,819	0,816	0,801	0,805	0,740
	NSE	**0,834**	0,808	0,818	0,811	0,799	0,802	0,729
Kiểm tra	RMSE	**0,521**	0,632	0,570	0,573	0,647	0,556	0,813
	R^2	**0,832**	0,808	0,813	0,816	0,789	0,810	0,744
	NSE	**0,832**	0,805	0,811	0,808	0,784	0,802	0,723



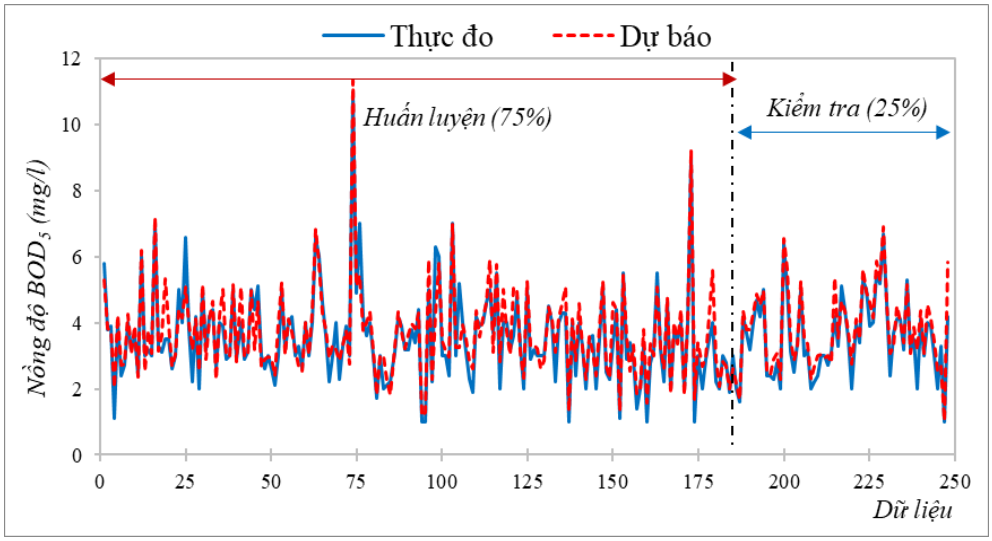
Hình 4. Kết quả dự báo BOD_5 của mô hình MLP–KB7.

3.2. Mô hình RBF

Hiệu quả dự báo BOD_5 theo 07 kịch bản tính toán của mô hình RBF được trình bày trong Bảng 5. Kết quả cho thấy, mô hình RBF theo kịch bản KB5 với 05 thông số đầu vào (COD, DO, TSS, Coliform, $P–PO_4^{3–}$) cho hiệu quả dự báo tốt nhất với các giá trị NSE, R^2 lớn nhất và giá trị RMSE nhỏ nhất trong tất cả các kịch bản ở cả quá trình huấn luyện và kiểm tra, cụ thể chỉ số NSE = 0,855, R^2 = 0,9, RMSE = 0,529 cho quá trình huấn luyện và chỉ số NSE = 0,848, R^2 = 0,865, RMSE = 0,454 cho quá trình kiểm tra. Hình 5 thể hiện kết quả dự báo BOD_5 của mô hình RBF theo KB5.

Bảng 5. Hiệu quả dự báo BOD_5 của mô hình RBF.

Kịch bản		KB7	KB6	KB5	KB4	KB3	KB2	KB1
Huấn luyện	RMSE	0,566	0,492	**0,529**	0,553	0,607	0,590	0,618
	R^2	0,828	0,854	**0,900**	0,839	0,803	0,807	0,758
	NSE	0,827	0,849	**0,855**	0,836	0,802	0,804	0,749
Kiểm tra	RMSE	0,657	0,616	**0,454**	0,493	0,559	0,610	0,803
	R^2	0,735	0,845	**0,865**	0,857	0,798	0,796	0,785
	NSE	0,730	0,836	**0,848**	0,835	0,796	0,792	0,746



Hình 5. Kết quả dự báo BOD_5 của mô hình RBF–KB5.

Bên cạnh đó, kết quả còn cho thấy rằng việc tăng số lượng thông số đầu vào không phải lúc nào cũng cho hiệu quả dự báo tốt hơn, bằng chứng là hiệu quả dự báo của KB5 với 05 thông số dầu vào tốt hơn so với KB6 và KB7 với lần lượt 06 và 07 thông số đầu vào.

3.3. Cấu trúc và bộ thông số tối ưu của mô hình đã xây dựng

Kết quả thống kê hiệu quả dự báo từ hai mô hình trong Bảng 4 và Bảng 5 cho thấy rằng mô hình RBF có khả năng dự báo BOD_5 tại khu vực nghiên cứu tốt hơn so với mô hình MLP, cụ thể hiệu quả dự báo của mô hình RBF tốt hơn thông qua các chỉ số thống kê NSE, R^2 và RMSE. Bên cạnh đó, mô hình RBF chỉ sử dụng 05 thông số (COD, DO, TSS, Coliform, $P–PO_4^{3–}$) để cho hiệu quả dự báo tốt nhất, ngược lại mô hình MLP cần dùng 07 thông số đầu vào (COD, DO, TSS, Coliform, $P–PO_4^{3–}$, T và $N–NH_4^+$) để cho kết quả tốt nhất. Việc giảm số lượng thông số đầu vào có thể tiết kiệm được chi phí phân tích và tăng hiệu quả kinh tế.

Cấu trúc và bộ tham số tối ưu của mô hình RBF theo kịch bản B5 với 05 thông số đầu vào là COD, DO, TSS, Coliform và $P–PO_4^{3–}$ được thể hiện trong Bảng 6. Cụ thể, mô hình RBF với 07 lớp ẩn, số lượng nơ–ron trong các lớp khác nhau, hàm Relu được chọn là hàm kích hoạt với tỷ lệ học = 0,001, Epsolon = 1e–07 và Beta = 1. Thuật toán tối ưu được sử dụng là RMSprop.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã thực hiện dự báo BOD_5 tại hạ lưu sông Sài Gòn–Đồng Nai dựa trên hai mạng nơ–ron nhân tạo là MLP và RBF. Bảy kịch bản sử dụng để dự báo BOD_5 tại khu vực nghiên cứu được xây dựng dựa trên tương quan riêng phần giữa thông số BOD_5 với các thông

số chất lượng nước khác bao gồm COD, DO, TSS, Coliform, $P–PO_4^{3–}$, T và $N–NH_4^+$. Hiệu quả dự báo của các mô hình được đánh giá thông qua ba chỉ số NSE, R^2 và RMSE.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, cả hai mô hình đều có khả năng dự báo tốt BOD_5 tại khu vực với RMSE < 0,85, R^2>0,74 và NSE>0,72 ở tất cả các kịch bản tính toán, tuy nhiên mô hình RBF có hiệu quả dự báo cao hơn hơn so với mô hình MLP. Ngoài ra, mô hình RBF còn sử dụng ít thông số đầu vào hơn, cụ thể mô hình RBF với 05 thông số đầu vào cho hiệu quả dự báo tối ưu nhất, trong khi mô hình MLP cần 07 thông số đầu vào để cho kết quả dự báo tối ưu. Cấu trúc và bộ tham số tối ưu của mô hình tìm được sau quá trình huấn luyện và kiểm tra trong dự báo hiện trạng BOD_5 cũng là nền tảng phục vụ cho việc dự báo các thông số chất lượng nước khác cũng như dự báo ngắn hạn các thông số chất lượng nước trong tương lai.

Các kết quả đạt được trong nghiên cứu cho thấy thế mạnh của các thuật toán trí tuệ nhân tạo trong dự báo các thông số chất lượng nước. Tuy nhiên, trong các nghiên cứu tiếp theo sẽ tiến hành thử nghiệm các kỹ thuật AI khác để tìm ra kỹ thuật tốt nhất nhằm tăng độ chính xác của kết quả dự báo.

Bảng 6. Cấu trúc và tham số tối ưu mô hình RBF dự báo BOD_5.

Cấu trúc mô hình	Số lớp ẩn	Loại lớp ẩn	Số nơ–ron
	Lớp ẩn 1	RBFLayer	35
	Lớp ẩn 2	Dense	25
	Lớp ẩn 3	Dense	25
	Lớp ẩn 4	Dense	15
	Lớp ẩn 5	Dense	5
	Lớp ẩn 6	Dense	5
	Lớp ẩn 7	Dense	5

Tham số mô hình	Tham số	Giá trị
	Hàm kích hoạt	Relu
	Tỷ lệ học	0,001
	Epsilon	1,00e–07
	Beta	1
	Thuật toán tối ưu	RMSprop
	Epoch	500
	Batch–size	50

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của Sở Khoa Học và Công Nghệ Tp.HCM và được thực hiện bởi Viện Khoa học và Công nghệ Tính toán (ICST) thông qua Hợp đồng thực hiện nhiệm vụ khoa học và công nghệ số 11/2020/HĐ–QPTKHCN ngày 22 tháng 04 năm 2020.

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. Đặng Kim Chi. Hoá học môi trường. NXB KHKT, Hà Nội. 1999.
2. Han, H.G; Qiao, J.F. A self–organizing fuzzy neural network based on a growing–and–pruning algorithm. *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* **2010**, *18*, 1129–1143.
3. Han, H.G.; Qiao, J.F. A structure optimisation algorithm for feedforward neural network construction. *Neurocomputing* **2013**, *99*, 347–357.
4. Dogan, E.; Ates, A.; Yilmaz, C.; Eren, B. Application of Artificial Neural Networks to Estimate Wastewater Treatment Plant Inlet Biochemical Oxygen Demand. *Environ. Prog.* **2008**, *27*, 439–446.
5. Csábrági, A.; Molnár, S.; Tanos, P.; Kovács, J. Application of artificial neural networks to the forecasting of dissolved oxygen content in the Hungarian section of the river Danube. *Ecol. Eng.* **2017**, *100*, 63–72.

6. Dara, F.; Devolli, A.; Kodra, A. An artificial neural networks modell for predicting BOD of Ishëm river. International Agricultural, Biological & Life Science Conference, Edirne, Turkey, 2018.
7. Ahamad, K.U.; Raj, P.; Barbhuiya, N.H. Advances in Waste Management. *Springer Singapore* 2019. https://doi.org/10.1007/978–981–13–0215–2.
8. Oyebode, O.; Stretch, D. Neural network modeling of hydrological systems: A review of implementation techniques. *Nat. Resour. Model.* **2019**, *32*, 1–14. https://doi.org/10.1111/nrm.12189.
9. Hằng, H.T.M.; Hùng, N.T.; Dũng, N.V. Quản lý thống nhất và tổng hợp các nguồn thải gây ô nhiễm trên lưu vực hệ thống sông Đồng Nai. *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ trẻ* **2006**, *9*, 5–17.
10. Gaurang, P.; Ganatra, A.; Kosta, Y.; Panchal, D. Behaviour Analysis of Multilayer Perceptronswith Multiple Hidden Neurons and Hidden Layers. *Int. J. Comput. Theory Eng*. **2011**, *3*, 332–337. https://doi.org/10.7763/IJCTE.2011.V3.328.
11. Le, V.T.; Nguyen, H.Q.; Loc, H.; Duyen, N.; Tran, D.; Duc, H.; Do, Q.H. A Multidisciplinary Approach for Evaluating Spatial and Temporal Variations in Water Quality. *Water* **2019**, *11*, 853.
12. Faris, H.; Aljarah, I.; Mirjalili, S. Chapter 28 – Evolving Radial Basis Function Networks Using Moth–Flame Optimizer. *in Handbook of Neural Computation, Pijush Samui, Sanjiban Sekhar, and Valentina E. Balas, Eds., ed: Academic Press*. **2017**, 537–550, ISBN: 978–0–12–811318–9.
13. Banadkookia, F.B.; Ehteram, M.; Panahic, F.; Sh. Sammend, S.; Othmane, F.B.; EL–Shafiee, A. Estimation of total dissolved solids (TDS) using new hybrid machine learning models. *J. Hydrol.* **2020**, *587*, 124989.
14. Ding, Y.R.; Cai, Y.J.; Sun, P.D.; Chen, B. The use of combined neural networks and genetic algorithms for prediction of river water quality. *J. Appl. Res. Technol.* **2014**, *12*, 493–499.
15. Elkiran, G.; Nourani, V.; Abba, S.I. Multi–step ahead modelling of river water quality parameters using ensemble artificial intelligence–based approach. *J. Hydrol*. **2019**, *577*, 123962.
16. Zhai, W.; Zhou, X.; Man, J.; Xu, Q.; Jiang, Q.; Yang, Z.; Jiang, L.; Gao, Z.; Yuan, Y.; Gao, W. Prediction of water quality based on artificial neural network with grey theory. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci*. **2019**, *295*, 042009.
17. Moriasi, D.N.; Gitau, M.W.; Pai, N.; Daggupati, P. Hydrologic and water quality Models performance measures and evaluation criteria. *Trans. ASABE Am. Soc. Agric. Biol Eng.* **2015**, 58, 1763–1785, https://doi.org/10.13031/trans.58.10715.

Simulation of Biochemical Oxygen Demand at the lower Sai Gon–Dong Nai Rivers using Artificial Neural Network models: Multilayer Perceptron (MLP) and Radial Basic Function (RBF)

Nguyen Thi Diem Thuy[1*], Pham Thi Thao Nhi[2], Doan Thi Truc Man[3], Dao Nguyen Khoi [4]

[1] Institute for Environment and Resources, Vietnam National University Ho Chi Minh city; nguyenthidiemthuyapag@gmail.com;
[2] Institute for Computational Science and Technology; ptthaonhi@gmail.com
[3] Southern Regional Hydrometeorological Center; trucmandoan@gmail.com
[4] Faculty of Environment, University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh city; dnkhoi@hcmus.edu.vn

Abstract: Biochemical Oxygen Demand is one of the most crucial water quality parameters to assess of water pollution of rivers. Nevertheless, BOD needs longer periods (5 days) to get results. The objective of this research is to build a computational model based on the artificial neural networks, including Multilayer Perceptron Network (MLP), and Radial Basis Function network (RBF) for simulating BOD_5 in the lower Sai Gon – Dong Nai rivers, and to evaluate the simulation efficiency between MLP and RBF. Seven different input combinations were constructed using Pearson correlation coefficients between each water quality parameter (COD, DO, TSS, Coliform, $P–PO_4^{3–}$, T, and $N–NH4^{+}$) and BOD_5. Five years (2013 to 2018) of monthly data from eight water quality monitoring stations within the study area were compiled, which were divided into two sub–sets (ratio 75:25) for model training and model testing. The results indicated that both the models satisfactorily simulated $BOD_{5,}$ but the RBF model with the combinations of variables numbered 5 (COD, DO, TSS, Coliform, $P–PO_4^{3–}$) demonstrated the best performance, values of Nash–Sutcliffe efficiency (NSE), coefficient of determination (R^2), and root mean square error (RMSE) were 0,848, 0,865, and 0,454, respectively. The results of this research are also the foundation for short–term prediction of BOD_5, as well as the simulation of the other water quality parameters in the area.

Keywords: Biochemical Oxygen Demand; Artificial Neural Network; MLP; RBF, The lower Sai Gon–Dong Nai rivers.

Table of content

1 Canh, L.Q.; Van, H.N.T.; Thanh, N.T.; Huy, N.D.; Quang, T.H.; Tai, D.T. Evaluation of climate change impacts on temperature and precipitation for Quang Binh Province. *VN J. Hydrometeorol*. **2021**, *724*, 1–14.

15 Hoa, B.T.K.; Thu, N.V.; Quoc, P.K.; Hung, N.V.; Anh, N.T.H. An experimental study on thunderstorm tracking using weather radar data in Vietnam. *VN J. Hydrometeorol*. **2021**, *724*, 15–29.

30 Duyen, N.C.M.; Phong, N.H.; Long, B.T. Application of WRF/CMAQ for PM_{10} simulation from road traffic in Ho Chi Minh City. *VN J. Hydrometeorol*. **2021**, *724*, 30–45.

46 Thao, H.T.; Anh, T.N.; Huong, T.K. Applying bayesian networks for assessing impact factors on Da Dien estuary variation. *VN J. Hydrometeorol*. **2021**, *724*, 46–58.

59 Nam, N.D.; Manh, N.T.; Linh, N.T.; Anh, N.X.; Khuong, P.L.; Hiep, N.V. Application of Data assimilation for high–resolution simulation of meteorological variables over Than Uyen area (Lai Chau). *VN J. Hydrometeorol*. **2021**, *724*, 59–71.

72 Tien, P.V.; Ngoc, P.K.; Hung, P.Q.; Cuong, N.K.; Thuy, N.B. Effect of waves during the storm on coastal inundation in Thai Binh Province. *VN J. Hydrometeorol*. **2021**, *724*, 72–81.

82 Loi, P.T.; Khoi, D.N. Simulation of land–use change in the Be River basin by using CLUE–s model . *VN J. Hydrometeorol*. **2021**, *724*, 82–93.

94 Thuy, N.T.D.; Nhi, P.T.T.; Man, D.T.T.; Khoi, D.N. Simulation of biochemical oxygen demand at the lower Sai Gon–Dong Nai Rivers using artificial neural network models: Multilayer perceptron (MLP) and radial basic function (RBF). *VN J. Hydrometeorol*. **2021**, *724*, 94–104.