

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Vietnam Journal of Hydro - Meteorology

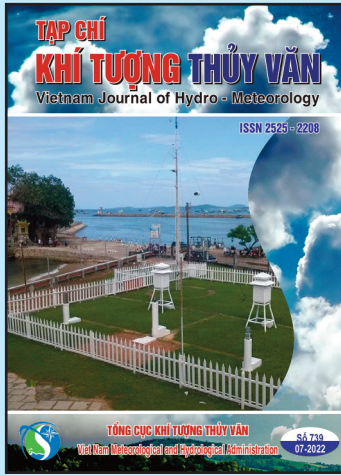
ISSN 2525 - 2208



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

Số 734

02-2022



Q. TÔNG BIÊN TẬP TS. Đoàn Quang Trí

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1. GS. TS. Trần Hồng Thái | 14. TS. Đoàn Quang Trí |
| 2. GS. TS. Trần Thục | 15. PGS. TS. Mai Văn Khiêm |
| 3. GS. TS. Mai Trọng Nhuận | 16. PGS. TS. Nguyễn Bá Thủy |
| 4. GS. TS. Phan Văn Tân | 17. TS. Tổng Ngọc Thanh |
| 5. GS. TS. Nguyễn Kỳ Phùng | 18. TS. Đinh Thái Hưng |
| 6. GS. TS. Phan Đình Tuấn | 19. TS. Võ Văn Hòa |
| 7. GS. TS. Nguyễn Kim Lợi | 20. TS. Nguyễn Đắc Đồng |
| 8. PGS. TS. Nguyễn Thanh Sơn | 21. GS. TS. Kazuo Saito |
| 9. PGS. TS. Nguyễn Văn Thắng | 22. GS. TS. Jun Matsumoto |
| 10. PGS. TS. Dương Văn Khâm | 23. GS. TS. Jaecheol Nam |
| 11. PGS. TS. Dương Hồng Sơn | 24. TS. Keunyong Song |
| 12. TS. Hoàng Đức Cường | 25. TS.. Lars Robert Hole |
| 13. TS. Bạch Quang Dũng | 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 sản xuất và in bao bì Thiên Hà
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 739 - 7/2022

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- Bùi Thị Ngọc Oanh, Trần Kiên Khánh Linh:** Sử dụng nồng độ Chlorophyll-a và nhiệt độ bề mặt biển từ ảnh vệ tinh để đánh giá phân bố CO₂ trong nước ở biển Việt Nam
- Nguyễn Đắc Lực, Lê Thị Thu Hằng, Cao Việt Thịnh, Nguyễn Quang Thái, Lê Thị Thủy, Quảng Thị Duyên, Phạm Thị Hương Lan:** Nghiên cứu cơ sở khoa học xác định nguồn nước và giải pháp cấp nước sinh hoạt và nông nghiệp cho khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La
- Chu Thị Thu Hường, Thào Thị Dợ:** Nghiên cứu sự biến đổi cường độ xoáy thuận nhiệt đới hoạt động trên Biển Đông trong các giai đoạn phát triển
- Nguyễn Trung Hiếu, Đoàn Thu Hà, Hoàng Thị Ngọc Anh:** Nghiên cứu ứng dụng công nghệ khai thác nước ngầm từ sông phục vụ cấp nước khu vực ven sông Cẩm Giàng
- Phạm Thị Minh, Phạm Xuân Đáp, Nguyễn Thị Hằng, Trần Thị Hồng Tường, Phạm Kim Thủy:** Dự báo quỹ đạo bão Molave năm 2020 bằng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu
- Nguyễn Gia Trọng, Nguyễn Việt Nghĩa, Phạm Công Khải, Nguyễn Hà Thành, Lý Lâm Hà, Vũ Trung Dũng, Nguyễn Việt Quân, Phạm Ngọc Quang:** Xác định chuyển dịch trên phạm vi lãnh thổ Việt Nam dựa vào dữ liệu của các trạm CORS thuộc mạng lưới VNGEONET
- Hoàng Thị An, Trần Thùy Nhung, Nguyễn Thanh Thủy, Trần Anh Phương:** Nghiên cứu kết hợp mô hình thủy lực và mô hình trí tuệ nhân tạo mô phỏng chất lượng nước sông Nhuệ – Đáy
- Đặng Kinh Bắc, Phạm Hạnh Nguyên, Nguyễn Thành Vĩnh, Trần Ngọc Cường, Nguyễn Văn Quân, Trịnh Thị Thúy Chinh, Vũ Thị Phương:** Nghiên cứu ứng dụng mô hình học máy trong phân loại hệ sinh thái đất ngập nước nội địa tại Vườn Quốc gia Ba Bể, tỉnh Bắc Kạn

Bài báo khoa học

Sử dụng nồng độ Chlorophyll-a và nhiệt độ bề mặt biển từ ảnh vệ tinh để đánh giá phân bố CO₂ trong nước ở biển Việt Nam

Bùi Thị Ngọc Oanh^{1*}, Trần Kiên Khánh Linh¹

¹ Khoa Vật lý-Vật lý Kỹ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM; btnoanh@hcmus.edu.vn; trankiemkhanhlinh@gmail.com

*Tác giả liên hệ: btnoanh@hcmus.edu.vn; Tel.: +84-907353080

Ban Biên tập nhận bài: 5/5/2022; Ngày phản biện xong: 14/6/2022; Ngày đăng bài: 25/7/2022

Tóm tắt: Phát thải khí nhà kính vào khí quyển, đặc biệt là CO₂, đã góp phần gia tăng nhiệt độ khí quyển chúng ta trên toàn cầu. Khu vực vùng biển nước ta cũng được xem như một bể chứa CO₂ góp phần giải phóng CO₂ vào khí quyển. Do giới hạn về nghiên cứu đo đạc khảo sát CO₂ trên biển cũng như CO₂ trong khí quyển tại gần bề mặt biển, nghiên cứu đã sử dụng dữ liệu nồng độ chl-a và SST của ảnh vệ tinh Aqua/MODIS (năm 2021) để ước tính pCO₂ bề mặt biển cũng như lượng khí phát thải/hấp thụ ở Biển Đông. pCO₂ tính toán trung bình và thông lượng CO₂ trung bình lần lượt là 425,9 (μatm) và 38,4 (mol/m²/yr). Kết quả nghiên cứu cho thấy các vùng biển nước ta thải khí CO₂ vào khí quyển, qua đó thấy vai trò đại dương qua quá trình trao đổi biển-khí.

Từ khóa: Phân bố CO₂ trong nước; Trao đổi CO₂; Nồng độ chl-a; Nhiệt độ bề mặt biển.

1. Mở đầu

CO₂ là khí nhà kính có ảnh hưởng rõ rệt đến nhiệt độ của Trái Đất, nếu không có sự hiện diện của khí nhà kính, nhiệt độ bề mặt Trái Đất trung bình sẽ lạnh hơn hiện tại khoảng 33°C (59°F). CO₂ không chỉ hiện diện trong bầu khí quyển của Trái đất mà còn có trong các đại dương, biển, sông, hồ, nước ngầm và sông băng. Vào năm 2021, theo Cơ quan quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia của Mỹ (NOAA, *National Oceanic and Atmospheric Administration*) với dữ liệu được đo tại Đài quan sát Mauna Loa tại Hawaii cho biết nồng độ CO₂ hiện nay trong khí quyển ở mức trung bình là 418 ppmv [1]. Điều này phần lớn là do phát thải từ việc con người sử dụng nhiên liệu hóa thạch với khí đốt là nguồn chính, CO₂ cũng có thể được phát thải từ các tác động trực tiếp. Trong khi đó, đại dương có vai trò hấp thụ khoảng 30% CO₂ từ phát thải [2]. Đại dương có vai trò kép vừa là bể cung cấp CO₂ cho khí quyển vừa là bể tiêu thụ CO₂ từ khí quyển.

Dựa trên các mô hình nghiên cứu trước đây, nồng độ CO₂ trong khí quyển có thể tăng gấp đôi vào những năm 2030–2050 so với những năm 1700 là 275 ppm [3]. Đến năm 2015, nồng độ CO₂ trong khí quyển đã vượt qua 400 ppmv lần đầu tiên sau 800 000 năm. Nồng độ CO₂ trong khí quyển vào cuối thế kỷ 21 và đầu thế kỷ 22 có thể đạt đến mức lớn hơn hai lần giá trị năm 1700 [3]. Đặc biệt, trong khoảng thời gian 2020 khi tình hình dịch bệnh diễn biến phức tạp, nhiều nơi trên thế giới phải tạm ngưng hoạt động công nghiệp, nông nghiệp, nên khi đó lượng phát thải các khí giảm đáng kể. Theo thống kê thì năm 2020 trong bối cảnh giãn cách xã hội, thì lượng khí CO₂ thải ra đã giảm kỷ lục 1,9 tỉ tấn, tức giảm 5,4% so với năm trước đó. Nhưng dấu hiệu đáng mừng đó chưa kéo dài thì vào năm 2021, khi Thế giới trở lại

hoạt động và với tinh thần khôi phục lại nền kinh tế thì với dự báo rằng lượng khí CO₂ thải ra sẽ tăng 4,9% [4]. Sự gia tăng CO₂ trong khí quyển là nguyên nhân gây ra khoảng 2/3 tổng sự mất cân bằng năng lượng khiến nhiệt độ Trái đất tăng lên. [5–6] đã dựa trên dữ liệu tổng hợp hàng năm thu được từ Biển Đông đã đưa lập luận rằng các thêm lục địa ở vĩ độ trung bình và vĩ độ cao ở Bắc bán cầu là một bể chứa CO₂ trong khí quyển. [7] ước tính rằng Biển Đông chứa xấp xỉ 0,43 GtC CO₂ do con người gây ra với độ sâu xâm nhập gần 500 m dựa trên các phép đo hệ thống cacbonat nước biển ở Đông Bắc biển Đông. [7] ước tính thông lượng CO₂ từ biển đi vào khí quyển trung bình trên toàn bộ biển Đông là +0,33 mol CO₂ m⁻²/yr từ năm 1990–2004.

Như đã đề cập, hiện đã có nhiều chuyến khảo sát nghiên cứu về thông lượng CO₂ và biến động của CO₂ với các nhân tố ảnh hưởng trên toàn thế giới. Nổi bật nhất là bản đồ phân bố thông lượng trao đổi CO₂ biển–khí quyển của [9]. Kết quả của nghiên cứu này được mô hình hóa dựa trên số liệu thực đo trên các đại dương lớn từ trước những năm 1970 cho đến 2006 và đưa ra bức tranh chung về trao đổi CO₂ trên toàn cầu theo quy mô khí hậu. Đại dương hấp thụ 1,5–2,0 PgC/yr, tương ứng với 25% lượng phát thải công nghiệp (7 PgC/yr). Điểm nổi bật chính của nghiên cứu của [9] là cho ra bức tranh chung cho trao đổi CO₂ toàn cầu ở các đại dương; nhược điểm là các biển và vùng ven bờ và vùng vĩ độ cao ở từng khu vực không được xét đến. [10] ước tính tổng lưu lượng cacbon ven biển được ước tính là 0,8–1,33 PgC yr⁻¹ và có khoảng 22–38% lượng cacbon hấp thụ trên đất liền (2,9 ± 0,8 PgC yr⁻¹). Tại các vùng thêm lục địa, việc hấp thụ CO₂ được tính lên tới 1 PgC yr⁻¹ hoặc 50% lượng CO₂ hấp thụ của đại dương [11].

Các thêm lục địa nằm từ 0–30° là nguồn phát thải CO₂ vào khí quyển. [10] đã đề cập đến các yếu tố như nhiệt độ, độ mặn đều có ảnh hưởng đến pCO₂ trong biển. Ngoài ảnh hưởng chính là nhiệt độ, pCO₂ trong nước của chịu ảnh hưởng thay đổi mùa. Bên cạnh đó, [13] khi khí CO₂ trong khí quyển tăng lên sẽ ảnh hưởng đến quá trình trao đổi giữa khí CO₂ hấp thụ vào đại dương chuyển sang vật chất hữu cơ cũng như quá trình lắng đọng vật chất khác trong đại dương [13]. [13] đã sử dụng mô hình toán và đưa ra kết luận: đại dương đang hấp thụ lượng CO₂ gấp đôi so với giai đoạn ở thế kỷ 19 nhờ vào sự hiện diện của thực vật phù du tồn tại trong nước biển [13]. Quá trình sản xuất cacbon hữu cơ trong biển dẫn đến giảm pCO₂ và tăng oxy hòa tan và ngược lại. Sự tương quan giữa pCO₂ và oxy hòa tan trong bề mặt đại dương có liên quan đến tình trạng trao đổi chất [14].

Dựa vào số liệu (Bảng 1) thông lượng CO₂ ở giao diện biển–khí quyển cho thấy biển Đông vừa là nguồn cung cấp CO₂ và là tiêu thụ CO₂ tại một số khu vực ở Biển Đông. Hầu hết các dữ liệu trên khu vực Biển Đông có được từ mô hình hoặc từ việc phân tích ảnh viễn thám. Một vài chuyến khảo sát cho kết quả thực đo nhưng nằm ở Biển Bắc Trung Quốc và gần khu vực đảo Hải Nam (Biển Đông). Do thiếu dữ kiện phân bố pCO₂ ở giữa và phía Nam Biển Đông nên nghiên cứu này cung cấp cái bức tranh tổng quát phân bố pCO₂ trên toàn khu vực. [15] đã đề nghị về việc sử dụng vệ tinh ứng dụng trong nghiên cứu phát thải khí nhà kính. Các chuyến đo đạc khảo sát trên biển tốn nhiều kinh phí mà hiện tại việc sử dụng dữ liệu vệ tinh thuận lợi hơn mặc dù có thể có sai số. [16] đề nghị dùng phương pháp viễn thám để tính toán và phân tích phân bố CO₂ trên toàn vùng. Trong các phương pháp nghiên cứu công bố trước đây thì phương pháp mô hình toán và viễn thám dùng dữ liệu vệ tinh là có nhiều thuận lợi nhất hỗ trợ cho nghiên cứu. Nhìn chung, việc sử dụng dữ liệu vệ tinh có tính thuận lợi trong việc đánh giá biến động CO₂ trong nước đối với phạm vi quy mô lớn. Vì vậy, nghiên cứu này nhằm mục đích sử dụng dữ liệu SST và chl-a của ảnh Aqua/MODIS, để giám sát biến động CO₂ trong năm 2021.

Bảng 1. Thống kê thông lượng trao đổi CO₂ ở Biển Đông và vùng biển lân cận.

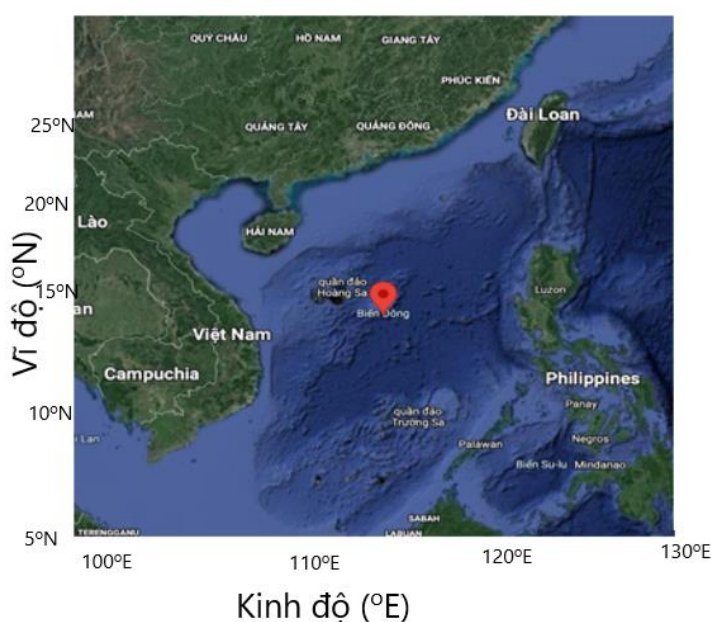
Nghiên cứu của nhóm tác giả	Vùng	Thông lượng
Tsunogai et al. (1999) [5]	Bắc Biển Đông	-2,9 mol m ⁻² yr ⁻¹
Wang et al. (2000) [6]		

Nghiên cứu của nhóm tác giả	Vùng	Thông lượng
Chen and Huang (1995) [7]	Biển Đông	~0,43 Gt C/yr
Chai et al. (2009) [7]	Biển Đông	0,33 mol CO ₂ m ⁻² .yr ⁻¹ .
Rehder and Suess (2001) [17]	Lưu vực Biển Đông	0–1,9mmol m ⁻² d ⁻¹
	Ven bờ phía Nam Biển Đông	0,3–5,5 mmol m ⁻² d ⁻¹
Zhu et al. (2009) [18]	Đông Bắc Biển Đông	7 – 9 mmol CO ₂ m ⁻² .d ⁻¹
	Biển Đông	3,5 mmol CO ₂ m ⁻² d ⁻¹

2. Khu vực và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực Biển Đông là tên gọi riêng của Việt Nam sử dụng, là một phần đại dương của tây bắc Thái Bình Dương, giáp với lục địa Đông Nam Á. Biển Đông là một vùng biển kín được bao bọc xung quanh bởi đảo Đài Loan, quần đảo Philippines ở phía đông; các đảo Indônêxia, Borneo, Sumatra và bán đảo Malaysia ở đông nam và phía nam. Diện tích Biển Đông khoảng 3.400.000 km², độ sâu trung bình khoảng 1140 m và chỗ sâu nhất khoảng 5016 m [19] (Hình 1). Khí hậu Biển Đông có những biểu hiện thuộc khí hậu biển: Mùa hè mát hơn và mùa đông ấm hơn so với trong đất liền [19].



Hình 1. Bản đồ khu vực Biển Đông (Nguồn: Google Earth).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, sử dụng dữ liệu vệ tinh của SST và chl-a áp dụng vào công thức thực nghiệm đã có để tính pCO₂ trong nước ở bề mặt biển.

2.2.1. Dữ liệu

Dữ liệu nồng độ Chl-a trung bình các tháng (năm 2021) trên bề mặt biển được tải tại trang web vệ tinh NEO (Nasa Earth Observation) của NASA (Link: <https://neo.gsfc.nasa.gov/>). Dữ liệu ảnh Aqua/MODIS từng tháng có độ phân giải là 0,25° × 0,25°.

Dữ liệu nhiệt độ bề mặt biển (SST) trung bình các tháng (năm 2021) cũng thuộc Aqua/MODIS có độ phân giải là 0,25° × 0,25° (Link: <https://neo.gsfc.nasa.gov/>).

Cả hai dữ liệu Chl-a và SST của NASA cung cấp từ năm 2002 cho đến nay, định dạng dữ liệu tải về dạng excel. Ở đây, dữ liệu năm 2021 được chọn để tính toán nhằm thấy được giá trị CO₂ hiện tại và biến động CO₂ trong một năm. Các hình ảnh kết quả được vẽ bằng phần mềm ODV (Ocean Data View).

2.2.2. Công thức tính

[18] đã thực hiện khảo sát pCO₂ và các nhân tố lý hóa ở vùng biển nước ta và đưa ra công thức thực nghiệm mối liên hệ giữa pCO₂ với SST và chl-a:

- pCO₂ theo nhiệt độ bề mặt biển

$$pCO_2 = 6.34T^2 - 366.65T + 5678.53 \quad (1)$$

- pCO₂ theo nhiệt độ bề mặt biển và SST

$$pCO_2 = 6.31T^2 + 61.9chl_a^2 - 365.85T - 94.41chl_a + 5715.94 \quad (2)$$

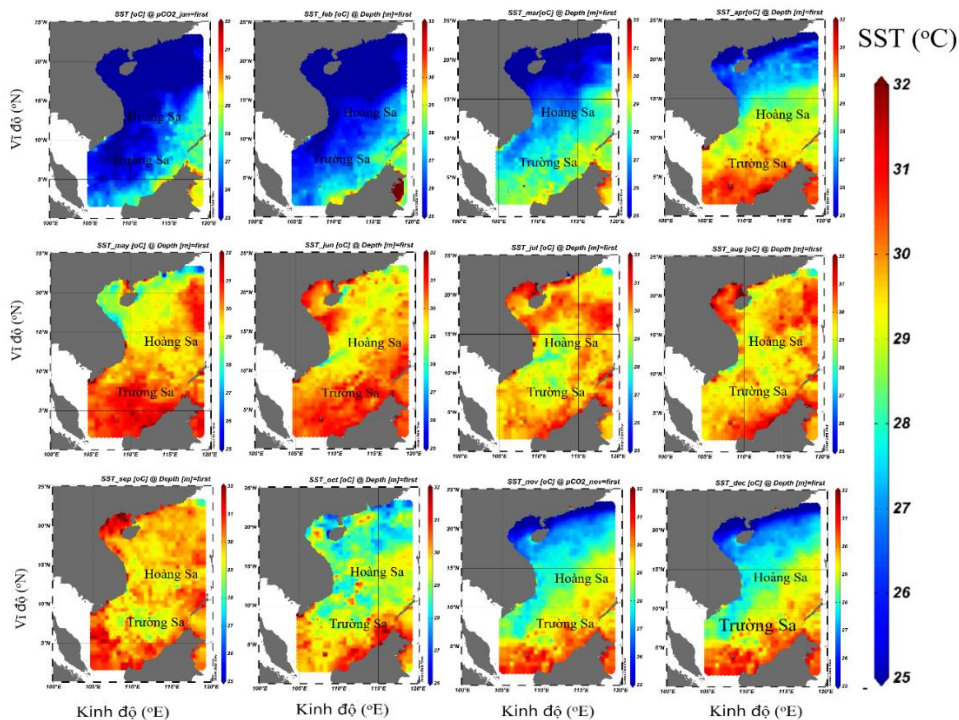
Trong đó pCO₂ là áp suất riêng của CO₂ trong nước biển (µatm), T: nhiệt độ bề mặt biển (°C); chl_a (mg/m³). Với 2 công thức tính khác nhau, nhằm so sánh ảnh hưởng của 2 yếu tố đối với pCO₂ trong nước.

Các công trình nghiên cứu trước đây cũng đã tìm được công thức thực nghiệm giữa pCO₂ và SST, chẳng hạn như [7], [14] nhưng ở khu vực bên ngoài eo biển Đài Loan. Tác giả chọn công thức thực nghiệm của [18] vì nằm trong khu vực Biển Đông nước ta.

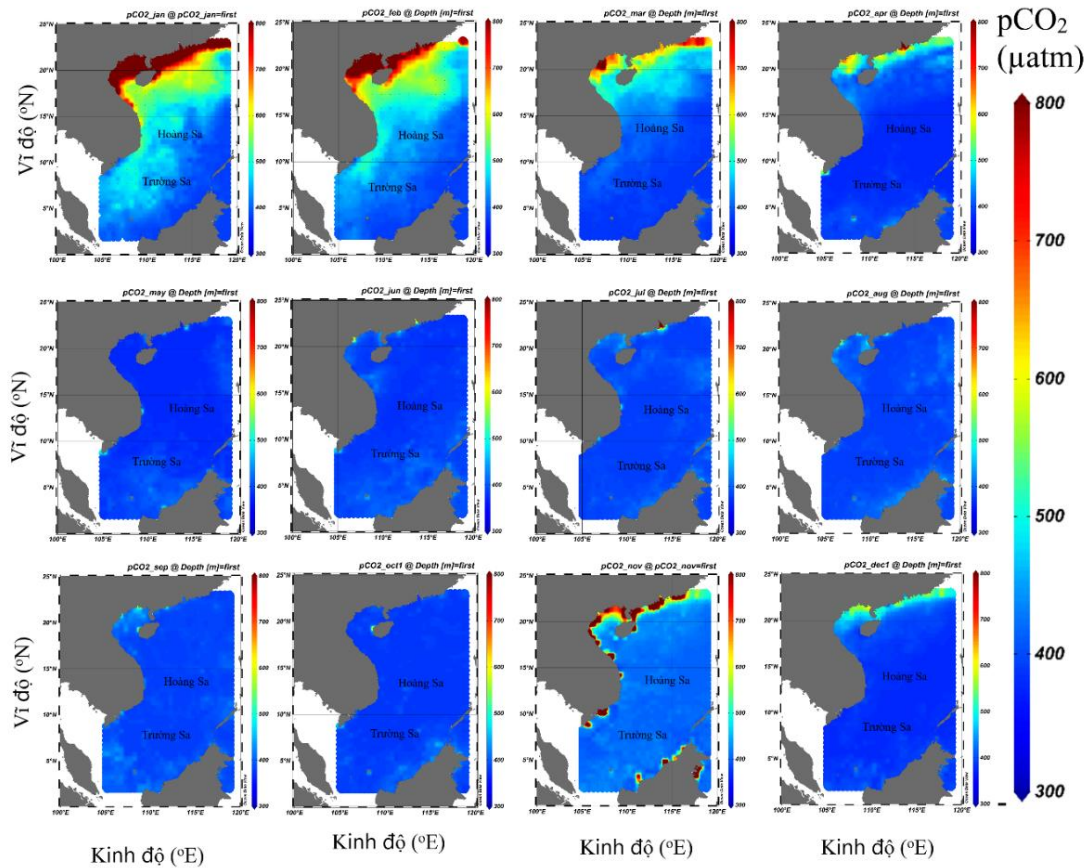
3. Kết quả và thảo luận

3.1. pCO₂ trong nước tính toán từ SST

Phân bố SST từ tháng 1/2021 đến tháng 12/2021 dao động từ 15,3–35°C, trong đó nhiệt độ cực tiểu xuất hiện ở tháng 1 (15.3°C) (Hình 2), giá trị cực đại xuất hiện vào tháng 6 (35°C). Áp dụng công thức (1), pCO₂ tính toán nhỏ nhất có giá trị 377.58 (µatm) và cực đại là 612.28 (µatm) trong năm. pCO₂ trong nước cao ở vùng gần bờ khu vực phía Bắc thuộc Vịnh Bắc Bộ là chủ yếu, sau đó pCO₂ cao dần đến khu vực vùng biển Nam Trung Bộ vào thời điểm tháng 1, 2, 3 và 11. Trong khi đó, các tháng còn lại (tháng 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 và 12) có giá trị pCO₂ thấp trên toàn khu vực nghiên cứu.



Hình 2. Phân bố nhiệt độ bề mặt biển ở Biển Đông năm 2021.



Hình 3. Phân bố pCO₂ bề mặt biển ở Biển Đông tính theo CT1.

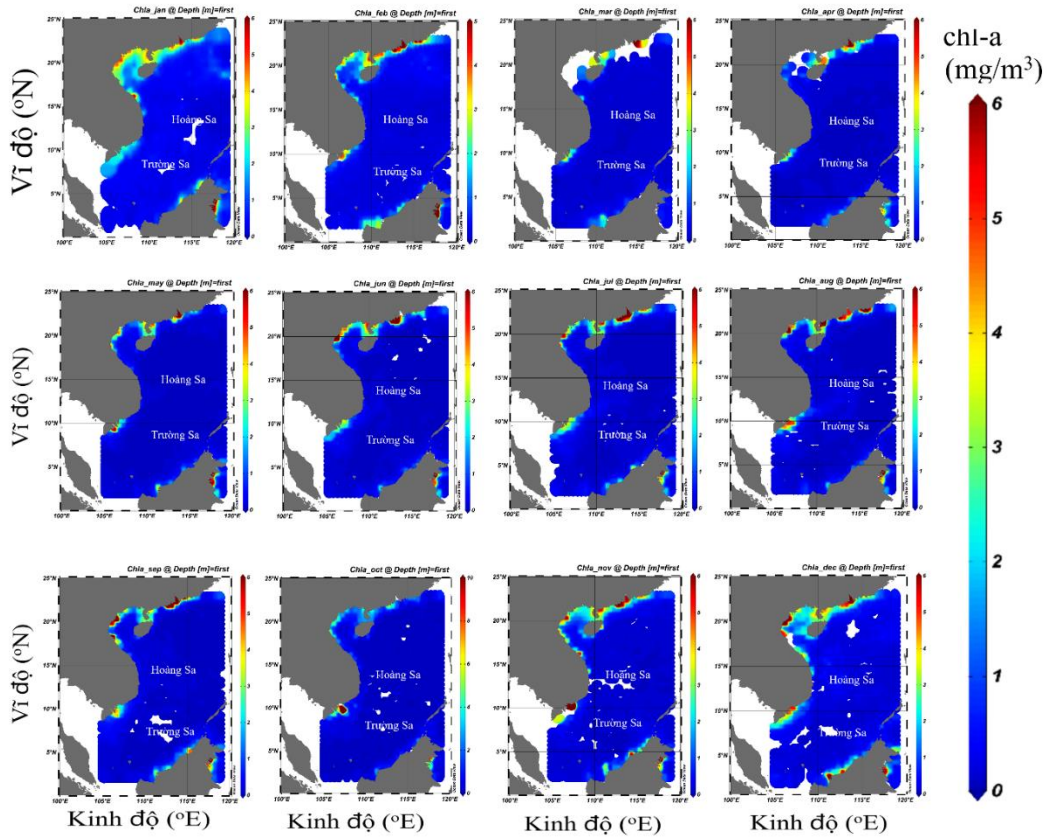
Theo thống kê trung bình các tháng, SST trung bình thấp nhất vào tháng 1 và cao nhất vào tháng 6 (Bảng 2). Ngược lại, giá trị pCO₂ trung bình tháng lần lượt đạt cực đại và cực tiểu là 535,1 (μatm) vào tháng 1 và 390 (μatm) vào tháng 6. Điều này cho thấy, có mối liên hệ ngược giữa SST và pCO₂, có thể được giải thích là do nước lạnh hòa tan được nhiều CO₂ vào nước hơn so với nước ấm.

3.2. pCO₂ trong nước tính toán từ SST và chl-a

Đối với áp dụng công thức (2) pCO₂ tính toán nhỏ nhất là 380,09 (μatm) và lớn nhất là 1547 (μatm) trong năm. Tương tự, áp dụng công thức (1), giá trị pCO₂ trong nước cao tập trung ở khu vực gần bờ: Vịnh Bắc Bộ ở phía Bắc. Còn ở phía Nam tập trung chủ yếu gần cửa sông MeKong vào khoảng các tháng 11, 12, 1, 2. Đối với các tháng còn lại, pCO₂ không có sự biến động nổi bật.

Theo thống kê, nồng độ chl-a trung bình các tháng trong năm thấp nhất vào tháng 3 và cao nhất vào tháng 1 (Bảng 2). Giá trị trung bình tháng của pCO₂ lần lượt đạt cực đại và cực tiểu là 611,23 (μatm) vào tháng 1 và 429,99 (μatm) vào tháng 4. Điều này cho thấy có mối liên hệ thuận giữa chl-a và pCO₂, khi có nhiều chl-a hơn thì có nhiều CO₂ trong nước. Cả hai kết quả tính của pCO₂ đều cho giá trị pCO₂ lớn hơn so với các công bố trước đây [5, 7].

Dựa trên kết quả pCO₂ tính toán được, nhìn chung pCO₂[CT2] (cột gạch chéo) các tháng lớn hơn pCO₂[CT1] (cột màu trắng) (Hình 6) (Bảng 2). Độ chênh lệch pCO₂[CT1] và pCO₂[CT2] được tính là %pCO₂ = (pCO₂[CT2] - pCO₂[CT1])/pCO₂[CT1]. Từ kết quả tính toán được cho thấy, %pCO₂ trung bình là 12 %, nghĩa là pCO₂[CT2] cao hơn pCO₂[CT1] khoảng 12%, nguyên nhân là do ảnh hưởng của chl-a đến pCO₂ trong nước. Khu vực có chl-a cao kết hợp với SST ấm thuận lợi cho quá trình hoạt động sinh học.



Hình 4. Phân bố nồng độ chl-a bề mặt biển các tháng.

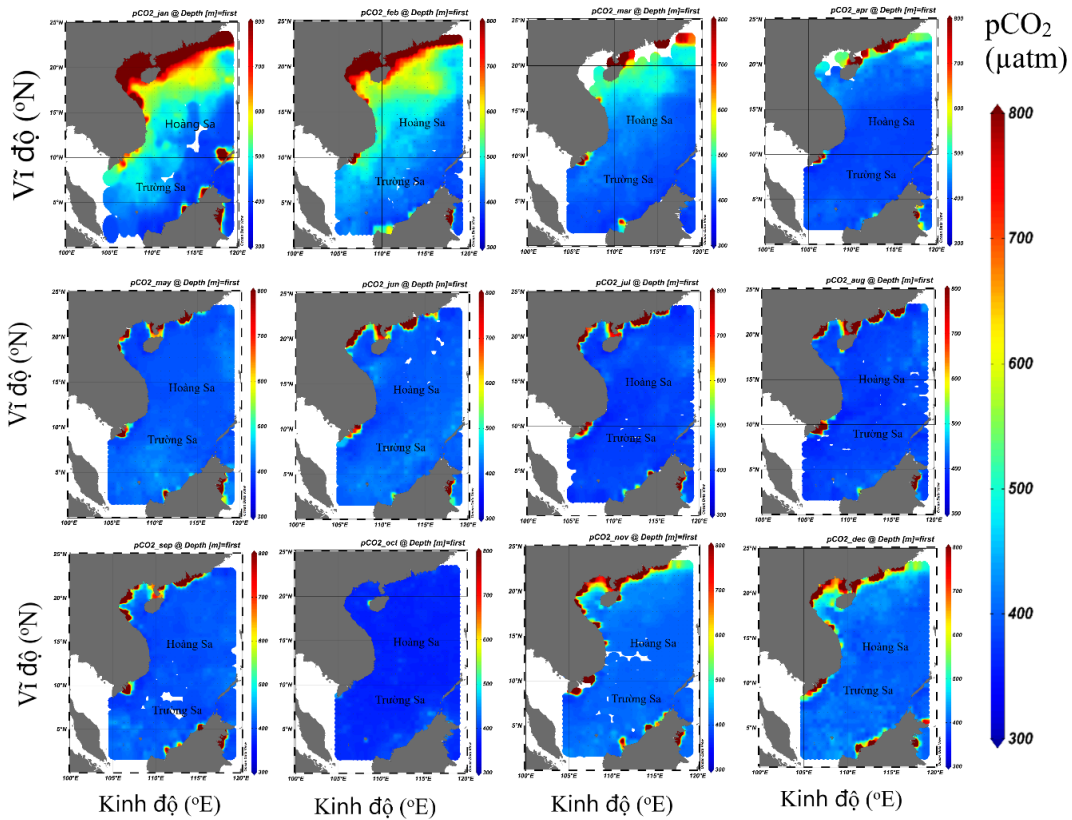
3.3. Đánh giá chung về trao đổi khí ở vùng biển Việt Nam

Để ước tính trao đổi khí CO₂ ở biển–khí quyển cần có giá trị pCO₂ của khí quyển, mà [20] đã có khảo sát ở phía Bắc vùng biển nước ta và giá trị là 354,8 (µatm), sau đó có thể xác định ΔpCO₂ (µatm) và thông lượng trao đổi khí CO₂. Kết quả tính toán các thông số liên quan đến CO₂ được trình bày trong Bảng 2. Nhìn chung, ΔpCO₂ hầu hết đều có giá trị dương (lớn hơn 0), nghĩa là giá trị pCO₂ trong nước lớn hơn giá trị pCO₂ trong không khí. Vậy vùng biển nước ta nhả khí CO₂ vào khí quyển, tương tự với các nghiên cứu khảo sát trước đây như [7–7, 17–18]. Tuy nhiên, giá trị thông lượng CO₂ là 38.4 (mol/m²/năm), tương ứng với 1,57 (GtC/yr). Giá trị tính được (1,57 GtC/yr) này lớn hơn so với [7] là 0,29 GtC/yr. Đánh giá phát thải khí ở nghiên cứu này giúp bổ sung bản đồ phân bố CO₂ trên toàn vùng biển nước ta và làm đầy phần khuyết có trong bản đồ phân bố của [9], tuy nhiên cũng còn có hạn chế là sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh nên kết quả tính toán được chỉ cung cấp giá trị tương đối.

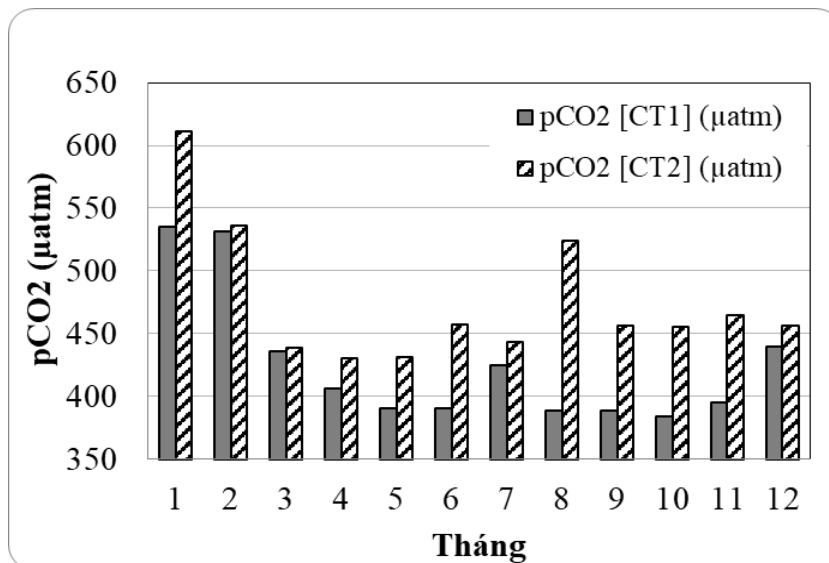
Bảng 2. Giá trị trung bình của nồng độ chl-a, nhiệt độ bề mặt biển (SST), pCO₂ và thông lượng CO₂ tính toán.

Tháng	Chl-a (mg/m ³)	SST (oC)	pCO ₂ [CT1] (µatm)	pCO ₂ [CT2] (µatm)	ΔpCO ₂ (µatm)	%pCO ₂ (%)	Thông lượng FCO ₂ (mol/m ² /yr)
1	0,74	25,09	535,1	611,23	180,3	14,23	89,28
2	0,52	25,51	531,78	536,12	176,98	0,82	88,54
3	0,23	26,88	435,62	439,11	80,82	0,80	41,83
4	0,24	28,42	406,44	429,99	51,64	5,79	27,83
5	0,26	29,95	390,27	431,69	35,47	10,61	19,98
6	0,33	30,11	390,89	456,76	36,09	16,85	20,43
7	0,34	29,84	424,98	443,17	70,18	4,28	39,40

Tháng	Chl-a (mg/m ³)	SST (oC)	pCO ₂ [CT1] (μatm)	pCO ₂ [CT2] (μatm)	ΔpCO ₂ (μatm)	%pCO ₂ (%)	Thông lượng FCO ₂ (mol/m ² /yr)
8	0,38	29,97	388,41	523,71	33,61	34,83	18,94
9	0,36	30,02	388,54	455,87	33,74	17,33	19,05
10	0,39	29,3	384,19	455,41	29,39	18,54	16,24
11	0,47	28,41	395,24	464,87	40,44	17,62	21,79
12	0,59	26,83	439,51	456,00	84,71	3,75	43,79
					71,11	12,12	38,40



Hình 5. Phân bố pCO₂ bề mặt biển các tháng tính theo CT2.



Hình 6. Biểu đồ so sánh pCO₂ trong nước tính toán theo công thức (1), (2).

4. Kết luận

Sau khi áp dụng dữ liệu vệ tinh của SST và chl-a, nghiên cứu đã tính toán pCO₂ theo 2 công thức đã nêu cho vùng biển nước ta. pCO₂ cao hơn khi có sự hiện diện của chl-a so với chỉ có SST. pCO₂ tính toán trung bình theo 2 công thức lần lượt là 425,9 (μatm) và 475,3 (μatm). pCO₂ dưới ảnh hưởng của chl-a cao hơn so với ảnh hưởng của SST khoảng 12%. Thông lượng CO₂ trung bình 38,4 (mol/m²/yr), nghĩa là đại dương nhà khí CO₂.

Từ kết quả thu được, cần có nghiên cứu về đóng góp cũng như vai trò của đại dương đối với khí nhà kính. Hạn chế của công trình nghiên cứu là kết quả có độ chính xác chưa cao, mặc dù chỉ mang tính tương đối nhưng cũng đã cho thấy vùng biển nước ta là nguồn cung cấp CO₂. Do đó, cần có những chuyên khảo sát để đo đạc CO₂ trên biển và các nhân tố hóa lý liên quan nhằm gia tăng chất lượng và độ chính xác cho kết quả. Kết quả nghiên cứu cung cấp thông tin trao đổi khí nhà kính cũng như vai trò đại dương trong trao đổi biển-khí.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: B.T.N.O.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: B.T.N.O.; Thu thập dữ liệu: B.T.N.O.; Xử lý và tính toán: B.T.N.O., T.K.K.L.; Viết bản thảo bài báo: B.T.N.O. Chỉnh sửa bài báo: B.T.N.O.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM trong khuôn khổ Đề tài mã số T2021-04.

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

Tài liệu tham khảo

1. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>.
2. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/24/071/24071882.pdf
3. <https://www.britannica.com/science/hydrosphere/Impact-of-human-activities-on-the-hydrosphere>.
4. [-https://tuoitre.vn/luong-khi-thai-co2-toan-cau-gan-nhu-tro-ve-muc-truoc-dai-dich-20211104100636745.htm](https://tuoitre.vn/luong-khi-thai-co2-toan-cau-gan-nhu-tro-ve-muc-truoc-dai-dich-20211104100636745.htm)
5. Shizou, T.; Shuichi, W.; Sato, T. Is there a continental shelf pump for the absorption of atmospheric CO₂? *Tellus* **1999**, *51B*, 701–712.
6. Shu-lun, W.; Chen, C.T.A.; Gi-hoon, H.; Chang-Soo, C. Carbon dioxide and related parameters in the East China Sea. *Cont. Shelf Res.* **2000**, *20*, 525–544.
7. Chen, C.T.A.; Ming-Hsiung, H. Carbonate chemistry and the anthropogenic CO₂ in the South China Sea. *Acta Oceanol. Sin.* **1995**, *14(1)*, 47–57.
8. Fei, C.; Guimei, L.; Huijie, X.; Lei, S.; Yi, C.; Chun-Mao, T.; Wen-Chen, C.; Kon-K.L. Seasonal and Interannual Variability of Carbon Cycle in South China Sea: A Three-Dimensional Physical Biogeochemical Modeling Study. *J. Oceanogr.* **2009**, *65*, 703–720.
9. Taro, T.; Stewart, C.S.; Colm, S.; Alain, P.; Nicolas, M.; Bronte, T.; Nicolas, B.; Rik, W.; Feely, R.A.; Christopher, S.; Jon, O.; Yukihiro, N. Global sea-air CO₂ flux based on climatological surface ocean pCO₂, and seasonal biological and temperature effects. *Deep-Sea Res.* **2002**, *II(49)*, 1601–1622.
10. Tsing-Hsuan, H.; Chen, C.T.A.; Tseng, H.C.; Jang-Yuh, L.; Shu-lun, W.; Liyang, Y.; Selvaraj, K.; Xuelu, G.; Jough-Tai, W.; Edvin, Aldrian; Gusti, Z.A.; Penjai, S.; Wang, B.J. Riverine carbon fluxes to the South China Sea. *J. Geophys. Res. Biogeosci.* **2017**, *122*, 1239–1259.
11. WeiJun, C.; Minhan, D.; Yongchen, W. Air-sea exchange of carbon dioxide in ocean margins: A province-based synthesis. *Geophys. Res. Lett.* **2006**, *33*, L12603. doi:10.1029/2006GL026219.
12. <https://khoahocphattrien.vn/khoa-hoc/muc-khi-carbon-dioxide-cao-nhat-trong-lich-su-nhan-loai/2022060901444598p1c160.htm>.

13. <https://khoahocphattrien.vn/khoa-hoc/dai-duong-hap-thu-nhieu-co2-hon-chung-ta-nghi/20200411091933674p1c160.htm>.
14. Weidong, Z.; Dai, M.; Wei-jun, C. Coupling of surface pCO₂ and dissolved oxygen in the northern South China Sea: impacts of contrasting coastal processes. *Biogeosciences* **2009**, *6*, 2589–2598.
15. Stephen, H.; Heather, G. Satellite observations to support monitoring of greenhouse gas emissions, Grantham Institute, Briefing paper No. 16, 2016.
16. Shuping, Z.; Anna, R.; Petra, P.; Marcus, W.B. Remote Sensing Supported Sea Surface pCO₂ Estimation and Variable Analysis in the Baltic Sea. *Remote Sens.* **2021**, *13*, 259. <https://doi.org/10.3390/rs13020259>.
17. Gregor, R.; Erwin, S. Methane and pCO₂ in the Kuroshio and the South China Sea during maximum summer surface temperatures. *Mar. Chem.* **2001**, *75*, 89–109.
18. Yu, Z.; Shaoling, S.; Weidong, Z.; Minhan, D. Satellite-derived surface water pCO₂ and air-sea CO₂ fluxes in the northern South China Sea in summer. *Prog. Nat. Sci.* **2009**, *19*, 775–779.
19. Tô, L.Đ.; Lạp, H.T.; Trục, T.C.; Vinh, N.Q. Quản lý biển. NXB Đại học Quốc gia Hà Nội, 2004.
20. Weidong, Z.; Minhan, D.; Chen, B.S.; Guo, X.H.; Li, Q.; Shaoling, S.; Zhang, C.Y.; Weijun, C.; Wang, D.X. Seasonal variations of sea - air CO₂ fluxes in the largest tropical marginal sea (South China Sea) based on multiple-year underway measurements. *Biogeosciences* **2013**, *10*, 7775–7791.

Using satellite data of chlorophyll-A and sea surface temperature to evaluate dissolved CO₂ distribution in Vietnam

Bui Thi Ngoc Oanh^{1*}, Tran Kiem Khanh Linh¹

¹ Faculty of Physics and Engineering Physics, VNUHCM–University of Science; btnoanh@hcmus.edu.vn; trankiemkhanhlinh@gmail.com

Abstract: Emissions of greenhouse gases into the atmosphere such as CO₂, have contributed to the increasing in the atmospheric temperature. Our coast and sea are also considered as a CO₂ reservoir in the world, contributing to the release of CO₂ into the atmosphere. Due to the limitation of measurement of CO₂ at sea surface as well as CO₂ in the atmosphere near the sea surface. This study used data of chl-a concentrations and SST of Aqua/MODIS satellite images (in 2021) to estimate the sea surface pCO₂ as well as emissions/absorption in the East Sea. Averaged calculated pCO₂ and CO₂ flux are 425.9 (µatm) and 38.4 (mol/m²/yr), respectively. Results provide information on greenhouse gas exchange as well as the ocean's role in sea-air exchange.

Keywords: Distribution of CO₂ in water; CO₂ exchange; chl-a concentration; Sea surface temperature.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu cơ sở khoa học xác định nguồn nước và giải pháp cấp nước sinh hoạt và nông nghiệp cho khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La

Nguyễn Đắc Lực¹, Lê Thị Thu Hằng¹, Cao Viết Thịnh², Nguyễn Quang Thái¹, Lê Thị Thủy¹, Quàng Thị Duyên³, Phạm Thị Hương Lan^{4*}

¹ Sở Tài nguyên và Môi trường Sơn La; nguyendluc1098@gmail.com;

hangtnnsl@gmail.com; quangthaislmt@gmail.com; lethuytk67@gmail.com

² Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh Sơn La; thinhppmusl@gmail.com

³ UBND xã Mường Trai; qthiduyen.nnml@gmail.com

⁴ Trường Đại học Thủy lợi; lanpth@wru.vn

*Tác giả liên hệ: lanpth@wru.vn; Tel.: +84-912537042

Ban Biên tập nhận bài: 12/6/2022; Ngày phản biện xong: 11/7/2022; Ngày đăng bài: 25/7/2022

Tóm tắt: Xác định nguồn nước và giải pháp cấp nước sinh hoạt và nông nghiệp cho khu vực thiếu nước sinh hoạt và nông nghiệp ở vùng cao, vùng khan hiếm nước, đặc biệt tỉnh Sơn La là cần thiết, phù hợp với chủ trương của Chính phủ theo Quyết định số 264/QĐ-TTg ngày 2/3/2015. Nghiên cứu sử dụng tổ hợp nhiều phương pháp bao gồm phương pháp tổng hợp phân tích thống kê, điều tra khảo sát thực địa, phương pháp mô hình toán và phương pháp chuyên gia để xác định nguồn nước cho các xã đặc biệt khó khăn trên địa bàn tỉnh Sơn La, từ đó đề xuất các mô hình khai thác, sử dụng bền vững nguồn nước dựa trên bộ tiêu chí về nguồn nước, về điều kiện khai thác, về văn hóa xã hội, về môi trường, về kinh tế, về kỹ thuật công nghệ, về quản lý và khai thác đảm bảo nguồn nước sinh hoạt cho sinh hoạt và nông nghiệp cho các khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La.

Từ khóa: Nguồn nước; Khu vực thiếu nước; Sơn La.

1. Mở đầu

Việc nghiên cứu xác định nguồn nước và các giải pháp cấp nước cho sinh hoạt và nông nghiệp đang được quan tâm, đặc biệt tại những khu vực khan hiếm nước. Theo nghiên cứu của [1] thì đến năm 2025 trên thế giới có khoảng 40% dân số toàn cầu sẽ bị thiếu nước dùng cho sinh hoạt và trồng trọt, đặc biệt ở Bắc Phi, Nam Phi, Nam Á và Trung Á. Đến năm 2050, dự báo có khoảng 1,4 tỷ người không đủ điều kiện tiếp cận với nước sạch và vệ sinh nông thôn. Nhu cầu nước sử dụng cho nông nghiệp chiếm khoảng 70% lượng nước toàn cầu, chủ yếu là để tưới tiêu – con số này sẽ tăng lên ở các vùng có áp lực nước cao và mật độ dân số cao. Ngành công nghiệp chiếm 20% tổng nhu cầu sử dụng nước, chủ yếu là dùng trong ngành công nghiệp năng lượng và sản xuất, 10% còn lại sử dụng cho sinh hoạt. Những vùng núi cao khan hiếm nước thường có ít số liệu quan trắc thường gây khó khăn cho việc đánh giá trữ lượng, chất lượng nước để phục vụ cấp nước cho sinh hoạt và nông nghiệp. Hiệp hội Quốc tế khoa học thủy văn ban hành một sáng kiến về dự báo lưu lượng cho lưu vực không có trạm quan trắc (*Predictions in Ungauged Basins – PUB*) vào năm 2003, với mục đích dự đoán hay dự báo các phản ứng thủy văn trên lưu vực không có hoặc ít trạm đo và tính bất định của giá

trị tính toán. Nghiên cứu [2] đã sử dụng mô hình SWAT đánh giá khả năng dự toán dòng chảy dưới các điều kiện khí hậu khác nhau cho 3 lưu vực cơ sở trong lưu vực sông Washita với diện tích 610 km² nằm phía Đông Nam Oklahoma, đây là khu vực có điều kiện khó khăn về nguồn nước. [3] cũng sử dụng mô hình SWAT tính toán dòng chảy cho lưu vực nghiên cứu nhỏ nằm ở Bắc phi, kết quả chỉ ra rằng mô hình này tính toán tốt hơn với điều kiện khí hậu khô. Sử dụng SWAT nghiên cứu hệ quả của hoạt động bảo tồn thiên nhiên trong chương trình đánh giá hiệu quả bảo tồn thiên nhiên USDA [4–5] thực hiện đánh giá cho các khu vực lớn như lưu vực thượng nguồn sông Mississippi và toàn bộ Mỹ [6–7]. Ở Châu Âu, các nghiên cứu ứng dụng mô hình SWAT trong đánh giá dự báo dòng chảy cũng được nghiên cứu đề cập nhiều [8–11]. [12] đã điều tra, khảo sát thực địa đánh giá tình hình sử dụng nguồn nước mặt cho sinh hoạt tại tỉnh Ninh Bình, xác định nguồn nước sử dụng chính cho sinh hoạt, mức độ đảm bảo cho sinh hoạt về mặt số lượng và chất lượng, các tác động chính dẫn tới hiện trạng trên, vị trí nguồn nước mặt còn hạn chế về trữ lượng hay ô nhiễm. Sử dụng phương pháp thống kê để phân tích tình hình nước mặt và sử dụng nước cho sinh hoạt, đưa ra được kết quả tổng quan về vấn đề nghiên cứu. Phương pháp hệ thông tin địa lý (GIS) được áp dụng để nghiên cứu về sự phân hóa tiềm năng nước mặt theo lưu vực sông và sự phân hóa về tỷ lệ người dân được sử dụng nước đảm bảo vệ sinh giữa các đơn vị hành chính, các kết quả nghiên cứu được thể hiện bằng các bản đồ trên phần mềm MapInfor. [13] đã nghiên cứu xây dựng khung mô hình tích hợp đánh giá tài nguyên nước mặt dựa trên phương pháp tiếp cận mối liên kết nước–năng lượng–luồng thực. Mục tiêu của nghiên cứu là xây dựng khung mô hình tích hợp đánh giá tài nguyên nước dựa trên mối liên kết nước–năng lượng–luồng thực (WEF) và áp dụng thử nghiệm cho vùng hạ lưu sông Sài Gòn–Đồng Nai. Phương pháp mô hình hóa là phương pháp chính được thực hiện trong nghiên cứu này, bộ mô hình tích hợp được sử dụng để nghiên cứu đánh giá tài nguyên nước trong mối liên kết WEF bao gồm mô hình thủy văn SWAT, mô hình cân bằng nước WEAP, và mô hình kinh tế thủy văn GAMS.

Từ thế kỷ 13, các thành phố ở Châu Âu đã có hệ thống cấp nước sinh hoạt. Khi đó trên thế giới chưa có các loại hóa chất phục vụ cho việc keo tụ xử lý nước mặt, người dân đã xây dựng các bể lắng có kích thước rất lớn (gần như lắng tĩnh) mới lắng được các hạt cặn nhỏ bé, công trình xử lý cồng kềnh, tốn nhiều tiền và sức lực cho việc xây dựng, chiếm nhiều diện tích đất. Ngày nay, với tốc độ phát triển khoa học công nghệ, kỹ thuật cấp nước ngày càng đạt tới trình độ cao và còn tiếp tục phát triển. Thiết bị dùng nước trong nhà luôn được cải tiến để phù hợp và thuận tiện cho người sử dụng. Ngày nay, kỹ thuật điện tử và tự động hóa cũng được sử dụng rộng rãi trong cấp nước và xử lý nước. Có thể nói kỹ thuật cấp nước đã đạt đến trình độ rất cao về công nghệ xử lý [14]. Các nước Mỹ, Nhật Bản, Hàn Quốc và một số nước phát triển đã có những nghiên cứu công nghệ xử lý nước mặt, nước mưa để phục vụ cho sinh hoạt từ những năm 2003, như công nghệ lọc sử dụng các loại vật liệu lọc tiên tiến.

Đối với những vùng khan hiếm nước thuộc các vùng núi cao thường có ít số liệu quan trắc. Việc tính toán dòng chảy với độ tin cậy trong các lưu vực không có hoặc ít số liệu dòng chảy là một bài toán nhiều thách thức. Các nhà thủy văn đang không ngừng nỗ lực để phát triển các phương pháp/ chiến lược (*strategies*) tính toán dòng chảy cho các lưu vực không có số liệu từ những năm 1970s, đặc biệt sau khi Hiệp hội Quốc tế khoa học thủy văn (IAHS, 2003) ban hành một sáng kiến về dự báo lưu lượng cho lưu vực không có trạm quan trắc (*Predictions in Ungauged Basins – PUB*) vào năm 2003, với mục đích dự đoán hay dự báo các phản ứng thủy văn trên lưu vực không có hoặc ít trạm đo và tính bất định của giá trị tính toán. Từ sau đó, có nhiều cách tiếp cận đã được phát triển để tính toán dòng chảy mặt cho lưu vực không có trạm quan trắc. Nhằm bổ khuyết cho các tài liệu quan trắc KTTV trên mặt đất ở những lưu vực khó khăn (miền núi, vùng sâu vùng xa, địa hình chia cắt,...) một số nguồn số liệu mới, phương pháp mới đã được sử dụng nhằm nâng cao kết quả tính toán của mô hình thủy văn ở những lưu vực thiếu trạm quan trắc như mô hình SWAT. Đây là hướng tiếp cận có thể áp dụng tính toán cho vùng địa bàn tỉnh Sơn La. Việc đánh giá xác định trữ lượng nước, chất lượng nước cho một vùng, một lưu vực đã được nghiên cứu tại một số nước trên thế giới,

tuy nhiên việc phân tích đánh giá về đặc điểm địa hình, địa mạo và cấu trúc địa chất, kiến tạo trong việc hình thành trữ lượng nước mặt nước dưới đất, đặc biệt các tỉnh miền núi Tây Bắc chưa nhiều, trong đó có tỉnh Sơn La.

Sơn La là một tỉnh miền núi phía Tây Bắc Việt Nam, có diện tích tự nhiên 14174 km² (Niên giám thống kê 2021), có tọa độ địa lý: 20°39'–22°02' vĩ độ Bắc, 103°11'–105°02' kinh độ Đông chiếm 4,27% tổng diện tích Việt Nam. Sơn La có 35 suối lớn; 2 sông lớn là sông Đà dài 280km với 32 phụ lưu và sông Mã dài 90km với 17 phụ lưu. Mật độ sông suối 1,8 km/km² phân bố không đều, sông suối có độ dốc lớn, nhiều thác ghềnh. Mùa lũ từ tháng VI đến tháng X, các nhánh thượng lưu thường từ tháng 5 đã có xuất hiện lũ sớm và các nhánh hạ lưu xuất hiện lũ muộn vào tháng XI, tổng lượng dòng chảy mùa lũ chiếm 65–80% dòng chảy năm. Tài nguyên nước mặt của toàn tỉnh Sơn La hàng năm vào khoảng 19 tỷ m³ tập trung vào hệ thống sông chính là sông Đà và sông Mã. Tổng lượng dòng chảy trong 5 tháng mùa lũ chiếm khoảng 80% tổng lượng dòng chảy năm, dòng chảy lớn nhất thường tập chung vào tháng 8 hàng năm, các tháng kiệt nhất thường xảy ra vào tháng III [15]. Nguồn nước dưới đất trên địa bàn tỉnh Sơn La tồn tại dưới 2 dạng chủ yếu là tầng chứa nước khe nứt – khe nứt Karst phân bố trên diện tích khoảng 140.000 km² (chiếm 99,88%) và tầng chứa nước lỗ hổng phân bố trên diện tích khoảng 172 km² (chiếm 0,12%). Toàn tỉnh Sơn La có tổng trữ lượng động tự nhiên của các tầng chứa nước (3.980.445 m³/ngày) [15].

Do điều kiện địa hình núi cao, độ dốc lớn, chia cắt mạnh nên có những vùng đặc biệt khó khăn về nguồn nước, gây khó khăn cho sản xuất và sinh hoạt của nhân dân trong vùng, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu, gia tăng các hình thái thời tiết cực đoan, gây lũ, ngập lụt, hạn hán, thiếu nước. Trong những năm qua Chương trình nước sạch nông thôn đã hỗ trợ người dân lấy nước từ các con suối cao qua hệ thống nước tự chảy nhưng chỉ qua một trận mưa lũ là các công trình bị vùi lấp, hư hỏng, không có kinh phí để sửa chữa. Tình trạng thiếu nước sinh hoạt, sản xuất ảnh hưởng đời sống của người dân, đặc biệt những vùng khan hiếm nước, đòi hỏi phải nghiên cứu tìm kiếm nguồn nước mặt, nước dưới đất để cung cấp nước sinh hoạt ở các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước là nhiệm vụ cần thực hiện một cách bài bản, có tính cấp bách và lâu dài. Đặc biệt theo Quyết định số 900/QĐ-TTg của Thủ tướng chính phủ ngày 20/6/2017 về việc phê duyệt danh sách xã đặc biệt khó khăn, xã biên giới, xã an toàn khu vào diện đầu tư của chương trình 135 giai đoạn 2017–2020 thì trên địa bàn tỉnh Sơn La có 118 xã đặc biệt khó khăn thuộc diện đầu tư, gồm 7 xã huyện Yên Châu, 15 xã huyện Phù Yên, 7 xã huyện Sốp Cộp, 10 xã huyện Vân Hồ, 14 xã huyện Bắc Yên, 13 xã huyện Mường La, 22 xã huyện Thuận Châu, 8 xã huyện Mai Sơn, 5 xã huyện Mộc Châu, 15 xã huyện sông Mã, 2 xã huyện Quỳnh Nhai. Trong các xã đặc biệt khó khăn nêu trên thì có 20 xã đặc biệt thiếu nước sinh hoạt thuộc các huyện Bắc Yên (Hồng Ngải, Chim Vàn, Hua Nhàn, Làng Châu), Mường La (Chiềng Muôn, Chiềng Lao, Hua Trai, Nậm Giôn, Pi Toong, Tạ Bú), Phù Yên (Huy Tân), Quỳnh Nhai (Mường Sai), sông Mã (Đứa Mòn, Nậm Ty), Sốp Cộp (Sam Kha), Thuận Châu (Bó Mười, Co Tòng) và Yên Châu (Chiềng Đông, Chiềng Tương), Vân Hồ (Lóng Luông).

Hiện nay, nhiều mô hình khai thác sử dụng nguồn nước đã và đang được áp dụng trên các vùng núi karst như các giếng đào, giếng khoan, mạch lộ, hồ treo... Mặc dù các mô hình khai thác nguồn nước đã mang lại những hiệu quả nhất định tuy nhiên nhiều mô hình do không được nghiên cứu, tính toán chi tiết đặc biệt về nguồn nước nên hiệu quả công trình chưa cao, chưa phát huy hết hiệu quả sử dụng. Do đó để thực hiện được giải pháp khai thác, sử dụng nguồn nước bền vững cần phải có những nghiên cứu sâu hơn về nguồn nước. Các kết quả hiện mới chỉ tập trung vào điều tra tài nguyên nước vùng khan hiếm nước, nhiều số liệu điều tra cơ bản chưa nêu ra được các nguồn hình thành trữ lượng nước dưới đất, quy luật phân bố và vận động của nước ngầm khu vực phân bố karst, khả năng tăng trữ lượng khai thác và khai thác bền vững nguồn nước như thế nào. Các nghiên cứu cũng chưa có nghiên cứu đánh giá tổng hợp tài nguyên nước mặt, nước dưới đất, xác định trữ lượng có thể khai thác, diễn biến mực nước theo thời gian, phân vùng khả năng khai thác nguồn nước phục vụ cho cấp nước

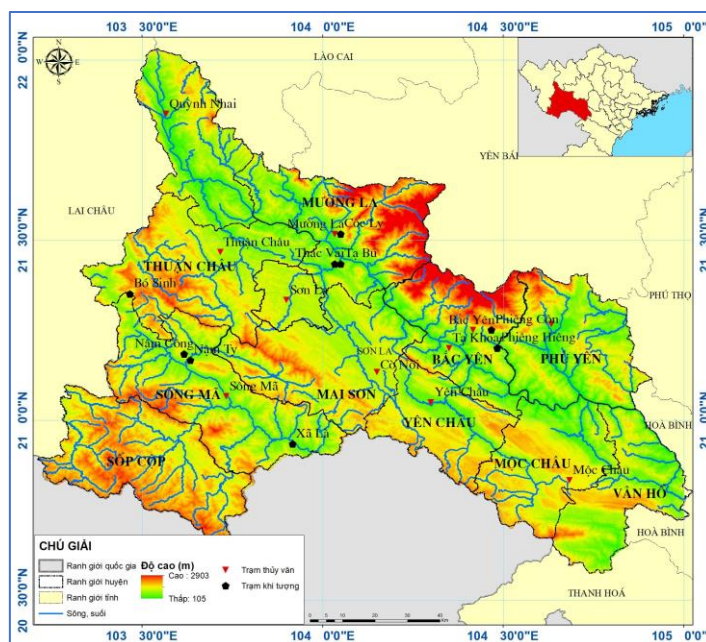
sinh hoạt và sản xuất nông nghiệp, đặc biệt trên địa bàn tỉnh Sơn La. Chưa có nhiều nghiên cứu áp dụng các công cụ mới, mô hình mới, công nghệ hiện đại để đánh giá dự báo dòng chảy đến bằng mô hình mưa dòng chảy có xem xét đến ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, đặc biệt trên địa bàn tỉnh Sơn La. Do nước ngầm được hình thành, phân bố và vận động rất phức tạp do đó việc áp dụng các phương pháp khai thác, sử dụng cần có giải pháp cụ thể, khoa học để đảm bảo tính bền vững. Tùy từng vùng, điều kiện cụ thể có thể áp dụng các phương pháp khai thác sử dụng như giếng đào, giếng khoan... Tuy nhiên cho đến nay vẫn chưa có một công trình nào nghiên cứu, đánh giá tính bền vững trong việc khai thác, sử dụng nguồn nước tại vùng núi Tây Bắc bằng các mô hình khai thác giếng đào, giếng khoan, mạch lộ... Các giải pháp kỹ thuật quản lý và khai thác đảm bảo nguồn nước sinh hoạt cho sinh hoạt và nông nghiệp cho các khu vực thiếu nước khu vực Tây Bắc nói chung và trên địa bàn tỉnh Sơn La chưa cụ thể, mang tính bền vững, có hiệu quả.

Chính vì vậy, việc đề xuất cơ sở khoa học xác định nguồn nước và giải pháp cấp nước sinh hoạt và nông nghiệp cho khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La là cần thiết và cấp bách, góp phần phát triển bền vững kinh tế xã hội trên địa bàn tỉnh Sơn La. Mục tiêu nghiên cứu nhằm xác định được trữ lượng nguồn nước cho khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La từ đó Đề xuất được giải pháp kỹ thuật quản lý và khai thác nguồn nước cho sinh hoạt và nông nghiệp cho khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La làm cơ sở khoa học triển khai các dự án đầu tư để đạt được chỉ tiêu cấp nước theo Nghị quyết số 15/NQ/ĐH.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại 20 xã đặc biệt khó khăn thuộc các huyện Bắc Yên (Hồng Ngài, Chim Vàn, Hua Nhân, Làng Chếu), Mường La (Chiềng Muôn, Chiềng Lao, Hua Trai, Nậm Giôn, Pi Toong, Tạ Bú), Phù Yên (Huy Tân), Quỳnh Nhai (Mường Sại), sông Mã (Đura Mòn, Nậm Ty), Sốp Cộp (Sam Kha), Thuận Châu (Bó Mười, Co Tòng) và Yên Châu (Chiềng Đông, Chiềng Tương), Vân Hồ (Lóng Luông) (Hình 1).



Hình 1. Bản đồ địa hình tỉnh Sơn La và các trạm KTTV thuộc khu vực nghiên cứu.

Tuy nhiên, theo quan điểm tiếp cận tổng hợp về quản lý nguồn nước nên nghiên cứu này tập trung đánh giá nguồn nước trên địa bàn tỉnh Sơn La, từ đó tập trung phân tích kỹ nguồn nước tại 20 xã đặc biệt khó khăn nêu trên. Sơn La là một tỉnh miền núi phía Tây Bắc Việt

Nam, có diện tích tự nhiên 14174 km² (Niên giám thống kê 2021). Sơn La có độ cao trung bình 600–700 m so với mực nước biển, có đặc điểm địa hình rất phức tạp, bị chia cắt mạnh tạo thành 3 vùng sinh thái: Vùng trục quốc lộ 6, vùng hồ sông Đà và vùng cao biên giới, có độ dốc lớn với 97% diện tích tự nhiên thuộc lưu vực sông Đà, sông Mã, xen kẽ giữa những dãy núi là những thung lũng lòng chảo với đất đai thuận lợi cho phát triển nông nghiệp, điển hình là những cánh đồng lúa nước lớn, vừa và nhỏ có quy mô từ 300–1000 ha do phù sa các con suối bồi đắp tạo thành. Mưa tập trung vào các tháng 7 và 8 (không có bão), thỉnh thoảng có giông và mưa đá, lượng mưa trung bình hàng năm là 1.276 mm. Tổng lượng mưa trong năm trong toàn tỉnh biến đổi từ 1200–2800 mm, tháng có lượng mưa nhỏ nhất thường tập trung vào tháng 12 và tháng 1. Tổng lượng nước mưa trên toàn tỉnh là 19,78 tỷ m³ mỗi năm [15].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp kế thừa, thu thập tài liệu, xử lý thông kê các số liệu điều tra, điều tra thực tế được áp dụng vào nội dung 1: Thu thập, tổng hợp tài liệu; số liệu điều tra, thăm dò đánh giá, tìm kiếm, phát hiện các khu vực có triển vọng cung cấp nguồn nước mặt, nước dưới đất phục vụ cho sinh hoạt và nông nghiệp tại các khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La. Nội dung này tập trung vào 20 xã thiếu nước (Quyết định 40/QĐ-UBND ngày 01/9/2020 của UBND tỉnh Sơn La), từ đó để có kiến nghị, khuyến nghị và giải pháp thăm dò, khai thác hợp lý, bền vững cho các đối tượng này.

Phương pháp mô hình toán: Nghiên cứu sử dụng mô hình SWAT để tính toán đánh giá dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm cho các tiểu lưu vực trên địa bàn tỉnh Sơn La. Công cụ đánh giá đất và nước (*Soil and Water Assessment Tool-SWAT*) là mô hình thủy văn bán phân bố được phát triển để dự báo tác động của sự thay đổi sử dụng đất đến nước, xói mòn, vận chuyển bùn cát, và lượng hóa chất sinh ra từ hoạt động nông nghiệp trên những lưu vực [16–17]. Mô hình SWAT được xây dựng dựa trên bản chất vật lý của hiện tượng tự nhiên và sử dụng các phương trình tương quan, hồi quy để mô tả mối quan hệ giữa thông số đầu vào (đất/thảm thực vật, đất, địa hình và khí hậu) và biến số đầu ra (lưu lượng dòng chảy (dòng chảy mặt, dòng chảy ngầm), xói mòn, vận chuyển bùn cát, chất lượng nước...). Quá trình mô phỏng tại một lưu vực chia thành hai pha chính [18]: (1) Pha đất của chu trình thủy văn: kiểm soát lượng nước, bùn cát, dinh dưỡng và thuốc trừ sâu được đưa từ trong mỗi tiểu lưu vực ra sông chính; (2) Pha nước của chu trình thủy văn: kiểm soát quá trình di chuyển của dòng nước, quá trình bồi lắng, chất dinh dưỡng, thuốc bảo vệ thực vật diễn ra thông qua hệ thống sông ngòi của lưu vực đến cửa ra lưu vực.

Mô hình SWAT được sử dụng để mô phỏng lưu lượng dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm cho các tiểu lưu vực trên địa bàn tỉnh Sơn La. Trong mô hình SWAT, tác giả đã dùng hai phương pháp đường cong thấm SCS [19] và phương trình thấm [5] để xác định lượng mưa hiệu quả. Phương trình dòng chảy SCS là phương trình thực nghiệm, nó được xây dựng từ những năm 1950, dùng để xác định lượng dòng chảy mặt dưới điều kiện khác nhau về sử dụng đất và loại đất. Phương trình đường cong SCS được viết như sau:

$$Q_{\text{surf}} = \frac{(R_{\text{day}} - I_a)^2}{(R_{\text{day}} - I_a + S)} \quad (1)$$

Trong đó Q_{surf} là lượng dòng chảy mặt hay lượng mưa hiệu quả (mm); R_{day} là lượng mưa ngày (mm); I_a là tổn thất thấm ban đầu (mm); S là lượng thấm cho phép tối đa có thể trữ trong đất (mm).

Trong mô hình SWAT chia dòng chảy ngầm thành hai thành phần: nước ngầm tầng nông hay còn gọi là dòng chảy sát mặt và nước ngầm tầng sâu hay còn gọi là dòng chảy ngầm. Nước ngầm là nước chứa trong tầng bão hoà dưới bề mặt đất. Nước vào tầng bão hoà chủ yếu do thấm. Phương trình cân bằng nước cho tầng sát mặt như sau:

$$aq_{sh,j} = aq_{sh,j-1} + w_{rchrg} - Q_{gw} - w_{revap} - w_{deep} - w_{pump,sh} \tag{2}$$

Trong đó $aq_{sh,j}$ là lượng nước trữ trong tầng sát mặt trong ngày thứ i (mm); $q_{sh,j-1}$ là lượng nước trữ trong tầng sát mặt trong ngày thứ $i-1$ (mm); w_{rchrg} là lượng nước đi vào tầng nước sát mặt ngày thứ i (mm); Q_{gw} là dòng chảy ngầm đi vào kênh chính của ngày thứ i (mm); w_{revap} là lượng nước đi chuyển vào trong đất (lượng nước thiếu hụt) của ngày thứ i (mm); w_{deep} là lượng nước thấm từ tầng ngậm nước sát mặt xuống tầng ngậm nước ngầm của ngày thứ i (mm); $w_{pump,sh}$ là lượng nước đi chuyển khỏi tầng nước sát mặt do bơm trong ngày thứ i (mm).

Phương trình cân bằng nước cho tầng ngậm là:

$$aq_{dp,i} = aq_{dp,i-1} + w_{deep} - w_{pump,dp} \tag{3}$$

Trong đó $aq_{dp,i}$ là lượng nước trữ vào tầng ngậm ngày thứ i (mm); $aq_{dp,i-1}$ là lượng nước trữ vào tầng ngậm ngày thứ $i-1$ (mm); w_{deep} là lượng nước ngấm từ tầng sát mặt vào tầng ngậm trong ngày thứ i (mm); $w_{pump,dp}$ là lượng nước bơm ra khỏi tầng ngậm vào ngày thứ i (mm).

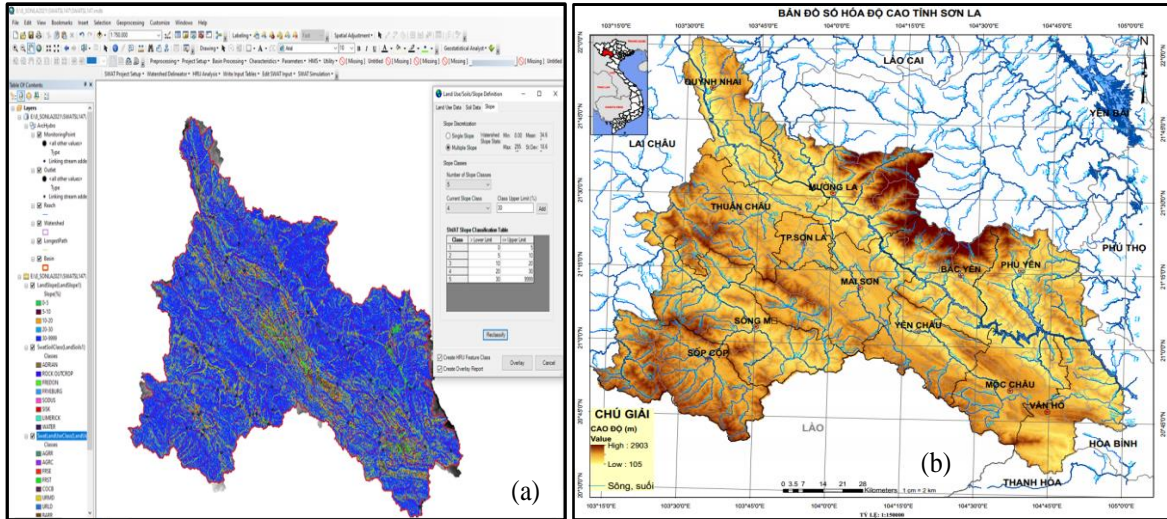
2.3. Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu

Các loại dữ liệu đầu vào và nguồn thu thập dữ liệu được thể hiện tại Bảng 1. Các bản đồ sử dụng đất năm 2014 và năm 2019, bản đồ thổ nhưỡng, bản đồ DEM kích thước ô lưới 30x30m được sử dụng để tính toán. Thời gian để hiệu chỉnh mô hình chọn năm 2014 là năm ứng với trạng thái rừng năm 2014 và kiểm định mô hình chọn năm 2019 là năm ứng với trạng thái rừng năm 2019.

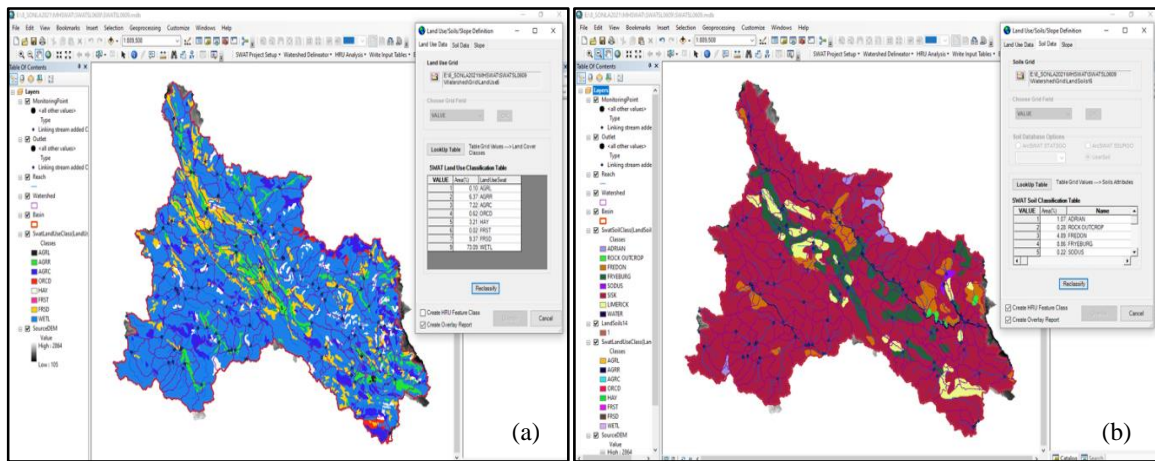
Bảng 1. Các loại dữ liệu cần thiết để chạy mô hình SWAT.

TT	Loại dữ liệu	Nguồn dữ liệu
A	Dữ liệu không gian (dưới dạng bản đồ số)	
1	Bản đồ số hóa độ cao DEM tỉnh Sơn La	Dữ liệu mô hình độ cao số (Digital Elevation model-DEM) với độ phân giải 30m × 30m. (https://earthexplorer.usgs.gov/)
2	Bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2014 và 2019 trên tỉnh Sơn La, tỷ lệ 1:100.000	Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Sơn La
3	Bản đồ thổ nhưỡng tỉnh Sơn La tỷ lệ 1:100.000	Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Sơn La
4	Bản đồ thể hiện mạng lưới sông suối, trạm đo khí tượng thủy văn, hồ chứa trên lưu vực tỷ lệ 1:100.000	Cục đo đạc bản đồ
B	Dữ liệu thuộc tính (dưới dạng database):	
1	Mưa, nhiệt độ của các trạm: Mộc Châu, Sơn La, Sông Mã, Cò Nòi, Yên Châu, Phù Yên, Bắc Yên, Thác Mộc, Tạ Khoa, Tạ Bú, Vạn Yên, Suối Tân, Km46, chuỗi số liệu từ 1970–2021	Đài khí tượng thủy văn khu vực Tây Bắc
2	Lượng bốc thoát hơi nước tiềm năng tháng ETo, được tính toán từ các yếu tố khí tượng (Nhiệt độ, độ ẩm, số giờ nắng, tốc độ gió) theo Penman – Monteith, sau đó chuyển đổi thành giá trị ngày theo phân phối của bốc hơi Piche	Đài khí tượng thủy văn khu vực Tây Bắc
3	Chuỗi số liệu lưu lượng ngày tại các trạm thủy văn Xã Là, Tạ Bú, Bản Cuốn để mô phỏng và kiểm định mô hình.	Đài khí tượng thủy văn khu vực Tây Bắc

Sử dụng bản đồ số độ cao (Dem), mạng lưới trạm thủy văn để chia thành các tiểu lưu vực bằng các công cụ của Arcgis. Các loại bản đồ sử dụng trong mô hình SWAT được thể hiện trong các hình 2–3.



Hình 2. (a) Phân chia tiểu lưu vực trong SWAT; (b) Bản đồ số hóa độ cao.



Hình 3. (a) Phân cấp loại hình sử dụng đất tỉnh Sơn La cho mô hình SWAT; (b) Phân cấp loại đất tỉnh Sơn La cho mô hình SWAT.

2.4. Các tiêu chí xác định khu vực khan hiếm nước, khó khăn về nguồn nước và phân vùng khả năng khai thác.

2.4.1. Theo tiêu chí về nguồn nước

a1. Đánh giá mức độ khó khăn về nguồn nước

Theo báo cáo Hội đồng quốc gia về tài nguyên nước, theo tiêu chuẩn quốc tế, tùy theo mức nước bình quân đầu người có thể đánh giá ở các mức: Mức có đủ nước dùng; Mức thiếu nước xảy ra không thường xuyên hoặc chỉ là cục bộ; Mức khan hiếm nước, hạn chế đối với việc phát triển kinh tế, sức khỏe con người và phúc lợi xã hội; và mức đe dọa cuộc sống.

Bảng 2. Mức đánh giá tài nguyên nước mặt theo bình quân đầu người.

TT	Mức bình quân đầu người	Mức đánh giá
1	< 500 m ³ /người/năm	Ngưỡng đe dọa cuộc sống
2	Từ 500–1000 m ³ /người/năm	Khan hiếm nước
3	Từ 1000–1700 m ³ /người/năm	Thiếu nước
4	Từ 1700–4000 m ³ /người/năm	Thiếu nước cục bộ
5	> 4000 m ³ /người/năm	Đủ nước dùng

Ngoài ra, theo hội nghị Vacsava về nước năm 1963, để đánh giá mức độ thiếu nước có thể sử dụng hệ số C biểu thị mức độ thiếu nước như sau: Hệ số C là tỷ lệ giữa tổng lượng dòng chảy trong năm của khu vực trên tổng lượng nước tiêu thụ của khu vực đó, tính theo tiêu chuẩn 250 m³ một đầu người.

$$C = \frac{1}{250} \cdot \frac{W}{\text{số người}} \tag{4}$$

Trong đó W là tổng lượng nước trong khu vực tính toán.

Bảng 3. Đánh giá tài nguyên nước mặt theo hệ số C.

TT	Hệ số C	Mức đánh giá
1	< 5	Thiếu nước nghiêm trọng, cần có biện pháp khẩn trương cung cấp thêm
2	5 ÷ 10	Nguồn nước rất hạn chế, cần phải dẫn từ nguồn khác
3	10 ÷ 20	Bảo đảm nguồn nước nhưng phải phân phối hợp lý
4	≥ 20	Khu vực đảm bảo cấp nước cao

a2. Đánh giá theo giá trị modul dòng chảy

Dòng chảy năm trung bình nhiều năm sản sinh trên lãnh thổ nước ta có modul dòng chảy biến đổi từ 10÷80 l/s-km², trung bình toàn quốc là 30 l/s-km². Theo bảng phân cấp đánh giá tài nguyên nước mặt dựa vào modul dòng chảy như sau:

Bảng 4. Mức đánh giá tài nguyên nước mặt theo modul dòng chảy M0 [6].

TT	Phạm vi của M0	Mức đánh giá
1	< 10 l/s-km ²	Hiếm nước
2	Từ 10 l/s-km ² đến < 20 l/s-km ²	Thiếu nước
3	Từ 20 l/s-km ² đến < 40 l/s-km ²	Đủ nước
4	Từ 40 l/s-km ² đến < 60 l/s-km ²	Tương đối giàu nước
5	Từ 60 l/s-km ² đến 80 l/s-km ²	Giàu nước

b) Theo tiêu chí vùng đồng bào dân tộc thiểu số, điều kiện kinh tế khó khăn

Các xã vùng cao là các tỉnh miền núi có nhiều đồng bào dân tộc thiểu số sinh sống hiện nay luôn là những vùng đặc biệt khó khăn về nước sạch và vệ sinh môi trường nông thôn. Việc tìm kiếm nguồn nước sạch và giải pháp cấp nước nhằm thúc đẩy phát triển kinh tế-xã hội ở nhiều địa phương góp phần xóa đói, giảm nghèo cho người dân.

c) Tiêu chí phù hợp tập tục khai thác nước mưa, nước mặt của người dân

Lượng mưa phân bố trên địa bàn tỉnh Sơn La thuộc loại trung bình nhưng không đồng đều theo không gian, biến đổi từ 1.100 mm đến 1.700 mm theo các tiểu vùng quy hoạch. Toàn tỉnh có lượng mưa trung bình nhiều năm (X₀) vào khoảng 1.400 mm/năm và tổng lượng nước mưa trên toàn tỉnh là 19,78 tỷ m³ mỗi năm. Với tổng lượng nước mưa trên thì bình quân là 1,4 triệu m³/km².năm. Lượng nước mưa đến lưu vực biến đổi rất mạnh theo không gian, lượng mưa lớn nhất tập trung tại khu vực tâm mưa Tam Đường và Sin Hồ (khu vực tiếp giáp với tỉnh Lai Châu thuộc các huyện Quỳnh Nhai, Mường La, Bắc Yên) do ảnh hưởng của địa hình.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Thiết lập mô hình SWAT cho các lưu vực sông tỉnh Sơn La

Với bộ số liệu sử dụng cho mô hình SWAT được thống kê trong bảng 1, sau khi nhập vào số liệu bản đồ độ cao số hóa DEM, DEM được sử dụng để phác họa các đặc điểm địa hình của lưu vực và xác định các thông số thủy văn của lưu vực như là: độ dốc lưu vực, tích lũy dòng

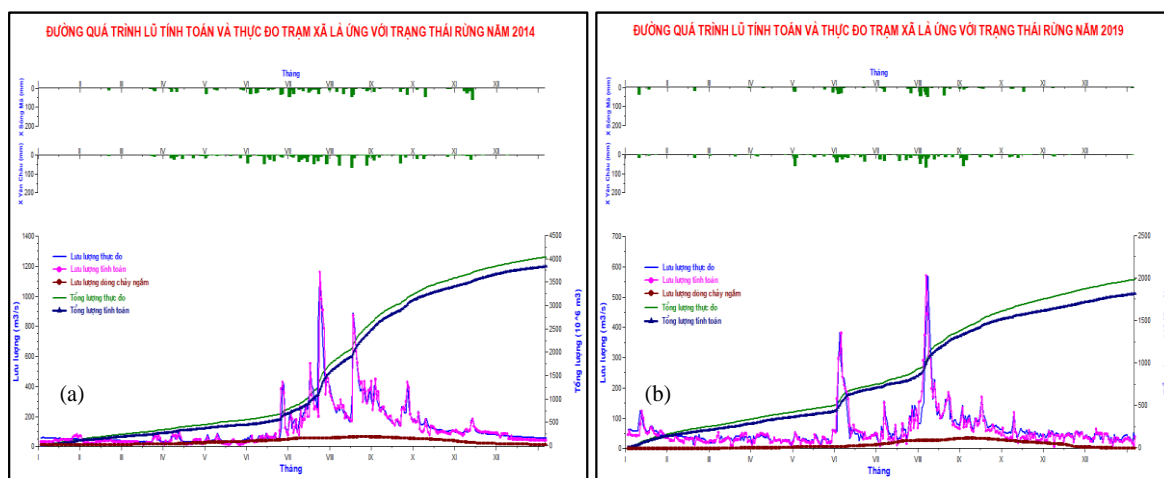
Bảng 5. Bộ thông số mô phỏng mô hình SWAT.

Thông số	Nhóm thông số (ứng với trạng thái rừng 2014)		
	Quá trình hình thành dòng chảy mặt	Dòng chảy ngầm	Diễn toán trong kênh
CN2: Chỉ số CN ứng với điều kiện ẩm II	CN2 = 65		
SOL_AWC: Khả năng trữ nước của đất	SOL_AWC = 0,10		
SOL_K: Ksat độ dẫn thủy lực ở trường hợp bão hoà	SOL_K1 = 0,01 SOL_K2 = 200		
OV_N: Hệ số nhám Manning cho dòng chảy mặt	OV_N = 20		
CH_K(1): Hệ số dẫn thủy lực của kênh dẫn	CH_K(1) = 0,01		
CH_N(1): Hệ số nhám kênh dẫn (mm/h)	CH_N(1) = 0,7		
SURLAG: Hệ số trễ dòng chảy mặt	SURLAG = 0,5		
ESCO: Hệ số bốc hơi của đất	ESCO = 0,5		
GWQMN: Ngưỡng sinh dòng chảy ngầm		GWQMN = 5	
ALPHA_BF: Hệ số triết giảm dòng chảy ngầm		ALPHA_BF = 0,022	
GW_DELAY: Thời gian trữ nước tầng ngầm (ngày)		GW_DELAY = 10	
CH_N(2): Hệ số nhám của kênh chính			CH_N(2) = 0,05
CH_K(2): Hệ số dẫn thủy lực của kênh chính (mm/h)			CH_K(2) = 0,02

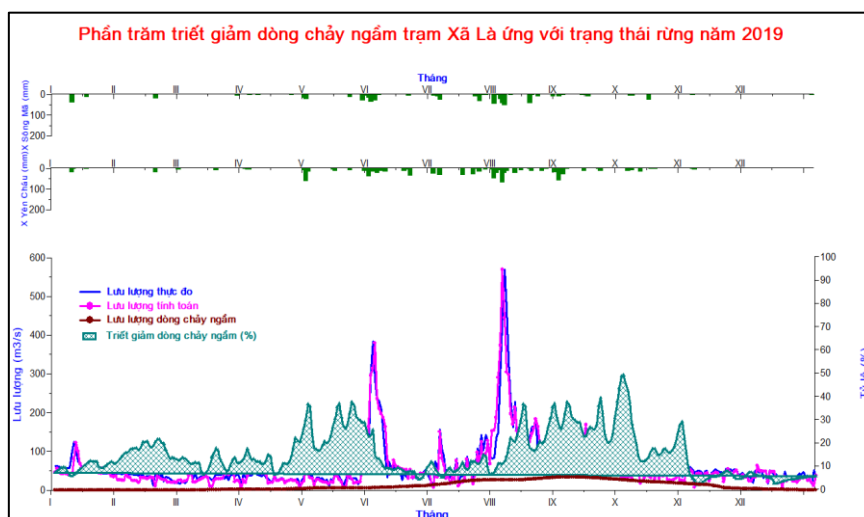
Kết quả đánh giá hiệu quả mô phỏng lưu lượng dòng chảy tại các trạm thủy văn được thể hiện trong bảng 6.

Bảng 6. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.

Trạm Thủy văn	Hiệu chỉnh				Kiểm định			
	Thời gian	Hệ số Nash R ²	Hệ số tương quan (R)	PBIAS (%)	Thời gian	Hệ số Nash R ²	Hệ số tương quan (R)	PBIAS (%)
Xã Là	2014	0,89	0,94	9,3	2019	0,86	0,93	9,2
Tạ Bú	2014	0,86	0,93	9,2	2019	0,83	0,91	9,0
Bản Cuồn	1967	0,85	0,92	9,1	1973	0,84	0,92	8,9



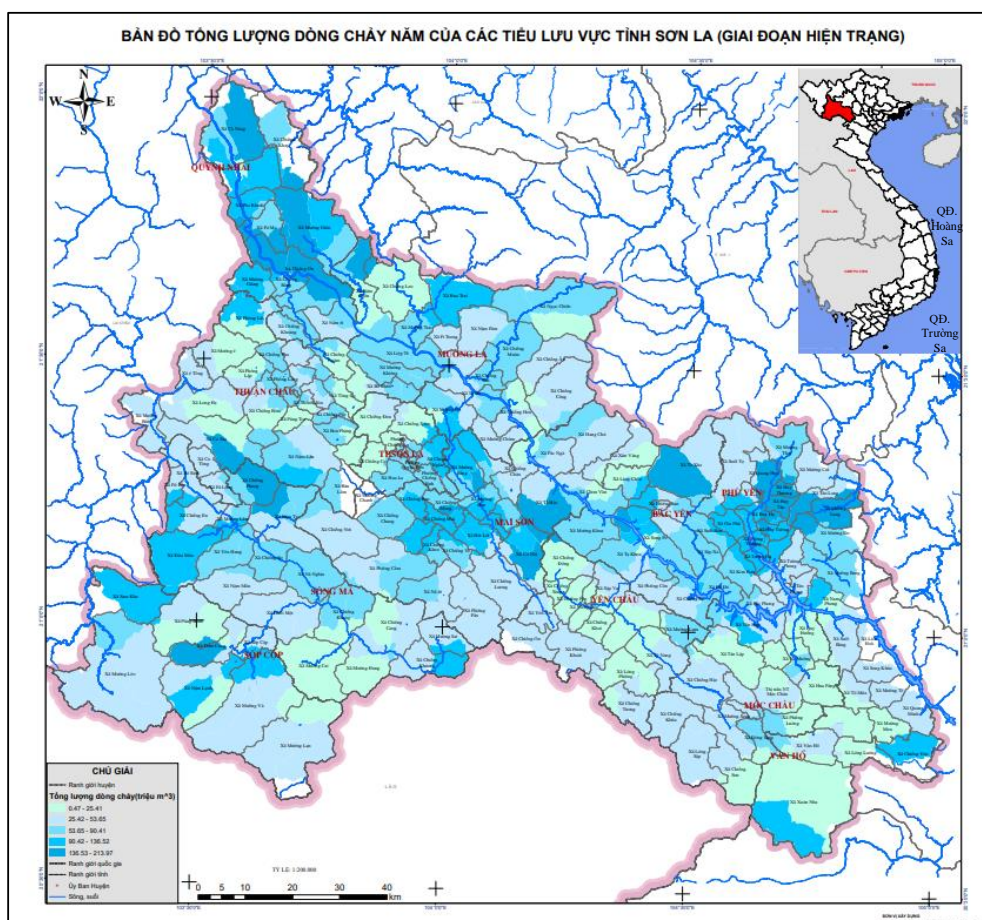
Hình 5. (a) Quá trình lưu lượng tính toán–thực đo tại trạm Xã Là ứng với hiện trạng rừng năm 2014 (hiệu chỉnh mô hình); (b) Quá trình lưu lượng tính toán–thực đo tại trạm Xã Là ứng với hiện trạng rừng năm 2019 (kiểm định mô hình).



Hình 6. Triết giảm dòng chảy ngầm trạm Xã Là năm 2019.

3.3. Đánh giá kết quả phân vùng tài nguyên nước mặt

Dựa vào kết quả tính toán mô đun dòng chảy, các lưu vực sông trên địa bàn tỉnh Sơn La có nguồn tài nguyên nước như trên hình 7.



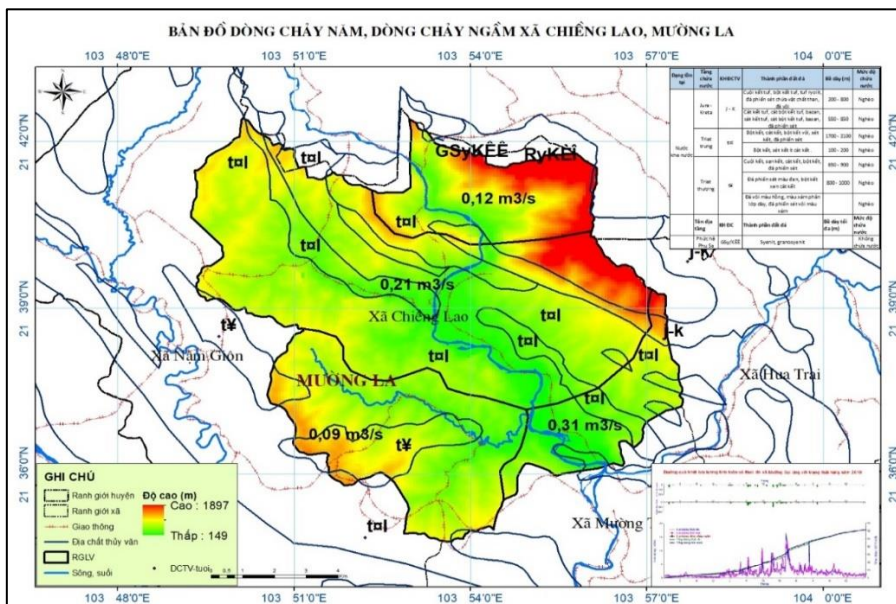
Hình 7. Bản đồ tổng lượng dòng chảy tại các tiểu lưu vực giai đoạn hiện trạng.

Kết quả tính toán mô đun dòng chảy năm vùng nghiên cứu như trên cho thấy trong vùng có sự phân bố dòng chảy theo không gian và thời gian rõ rệt. Các xã đặc biệt khó khăn về nguồn nước... mô đun dòng chảy năm chỉ khoảng 10÷15 l/s/km². Kết quả thể hiện trong

bảng 7. Kết quả phân tích tại xã Chiềng Lao như sau: Xã Chiềng Lao thuộc huyện Mường La, tỉnh Sơn La nằm ở độ cao 200–1900 m. Lưu lượng dòng chảy mặt trên địa bàn xã lớn nhất là 0,31 m³/s và nhỏ nhất là 0,09 m³/s, tiềm năng khai thác nước mặt là rất thấp. Đối với dòng chảy ngầm, mức độ chứa nước của tầng địa chất là nghèo và không chứa nước, tiềm năng khai thác nguồn nước dưới đất của xã là thấp. Xã Chiềng Đông thuộc huyện Phù Yên, tỉnh Sơn La nằm ở độ cao 400–1800m. Lưu lượng dòng chảy mặt trên địa bàn xã lớn nhất là 2,82 m³/s và nhỏ nhất là 3,84 m³/s. Đối với dòng chảy ngầm, mức độ chứa nước của tầng địa chất là giàu, trung bình (Hình 8). Tiềm năng khai thác nước ngầm ở khu vực này là lớn.

Bảng 7. Lưu lượng dòng chảy tại các xã đặc biệt khó khăn trên địa bàn tỉnh Sơn La.

Huyện	Xã	Diện tích (km ²)	Lưu lượng dòng chảy mặt trung bình (m ³ /s)	Moduyn dòng chảy mặt trung bình (l/s.km ²)	Q tiềm năng dòng ngầm (m ³ /ngày)
Bắc Yên	Hồng Ngài	56,75	2,134	37,599	12,2588
	Chim vằn	72,35	2,720	37,599	15,6286
	Hua Nhân	61,46	1,303	21,205	18,3540
	Làng Chếu	55,5	2,087	37,599	11,9888
	Chiềng Muôn	81,77	2,671	32,670	18,4324
Mường La	Chiềng Lao	128,79	4,208	32,670	29,0316
	Hua Trai	98,68	3,224	32,670	22,2443
	Nậm Giôn	120,55	5,395	44,754	54,4287
	Pi Toong	50,06	1,635	32,670	11,2844
Phù Yên	Tạ Bú	67,38	1,567	23,260	5,9684
	Huy Tân	21,15	0,719	33,993	9,3958
Quỳnh Nhai	Mường Sại	60,45	1,654	27,357	21,0227
sông Mã	Đứa Mòn	136	2,398	17,634	30,2307
	Nậm Ty	128,38	2,019	15,724	32,6356
Sốp Cộp	Sam Kha	134,03	2,364	17,634	29,7928
	Bó Mười	62,21	1,702	27,357	21,6348
Thuận Châu	Co Tòng	29,87	0,470	15,724	7,5933
	Chiềng Đông	71,73	1,668	23,260	6,3538
Yên Châu	Chiềng Tương	68,75	1,458	21,205	20,5310
	Vân Hồ	Lóng Luông	63,28	1,342	21,205



Hình 8. Bản đồ dòng chảy mặt, dòng chảy ngầm xã Chiềng Lao, Mường La.

3.4. Đề xuất giải pháp kỹ thuật quản lý, khai thác đảm bảo nguồn nước cấp cho sinh hoạt, nông nghiệp các khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La

Trên cơ sở kết quả đánh giá nguồn nước bằng mô hình SWAT, kết hợp với điều tra thực địa, các giải pháp đề xuất để quản lý, khai thác đảm bảo nguồn nước cấp cho sinh hoạt, nông nghiệp các khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La như sau: Đối với những nơi không có nguồn mạch ngầm và không được cấp nước tự chảy thì áp dụng giải pháp công trình thu trữ nước mưa quy mô tập trung. Đối với khu vực có nguồn nước mặt từ các hang động, khe suối thì tùy vào chênh lệch mực nước trong hang và địa hình bề mặt mà sử dụng bơm hút hoặc bơm đẩy hoặc có thể xây đập chặn dòng hang động. Giải pháp thường dùng là xây tường bê tông cốt sâu vào vách đá và xây tường bằng khoan phụt vữa bê tông. Đối với vùng có nguồn nước mưa lớn, nhưng độ dốc cao có thể xây dựng công trình trữ nước bằng hồ chứa. Một số dạng hồ chứa như hồ treo được đầu tư xây dựng khá phổ biến ở các vùng khan hiếm hoặc khó khăn khi khai thác nguồn nước. Có ba hình thức hồ treo chủ yếu phân theo vật liệu xây dựng là hồ xây bằng đá hoặc gạch đóng bằng bột đá, hồ bằng bê tông và hồ lót vải địa kỹ thuật (HDPE) chống thấm, trong đó các công trình xây dựng gần đây hoặc sẽ được đầu tư xây dựng chủ yếu thuộc 2 loại bê tông hoặc lót vải HDPE. Các hồ treo loại này thường được xây dựng ở trên cao để thu gom nước mưa trên sườn núi, nước từ các khe, sau đó cấp nước tự chảy hoặc dân xung quanh có thể đến sử dụng trực tiếp tại hồ. Ưu điểm của loại hồ này là giá thành rẻ hơn so với các loại hồ khác. Tuy nhiên việc xử lý thấm, đặc biệt là thấm từ đáy hồ là rất khó khăn, các hồ thường bị thất thoát một lượng nước rất lớn. Nước từ bể/ hồ treo được cấp cho dân theo dạng tự chảy (với vùng dưới thấp) hoặc động lực (với vùng trên cao). Đối với khu vực có nguồn nước mạch lộ dạng tự chảy sử dụng công nghệ thu gom, khai thác nguồn nước tự chảy từ các mạch lộ. Có một số công nghệ thu gom như Công nghệ thu gom nước bằng tấm chắn PVC, Công nghệ thu gom nước bằng hào thu, Công nghệ thu gom bằng băng thu nước dạng thảm lọc, Công nghệ thu gom nguồn nước mạch lộ dạng tường chắn, Mô hình công nghệ thu gom nước mạch lộ bằng đập tràn, Mô hình công nghệ thu gom nước mạch lộ dạng bể thu... Có thể áp dụng riêng lẻ từng công nghệ hoặc kết hợp áp dụng một số công nghệ cho từng vị trí.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy với cách tiếp cận sử dụng mô hình SWAT kết hợp với điều tra thực địa, đóng góp ý kiến của các chuyên gia đã mô phỏng được lượng dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm cho các tiểu lưu vực trên địa bàn tỉnh Sơn La. Mô hình SWAT được xây dựng cho 12 lưu vực sông suối và cho 215 tiểu lưu vực. Các chỉ số NSE, RSR và PBIAS cho thấy mô hình SWAT có độ tin cậy tốt trong mô phỏng lưu lượng dòng chảy. Bản đồ phân vùng nguồn nước chi tiết đến cấp xã được xây dựng dựa trên các kết quả mô phỏng. Các giải pháp đưa ra có tính thực tiễn và khả thi cao dựa trên những kết quả nghiên cứu mô phỏng của mô hình. Tuy nhiên, do hạn chế về mặt số liệu để hiệu chỉnh, kiểm định mô hình nên có thể tạo nên sự bất định cao và độ chính xác trong ước lượng, phân vùng dòng chảy, đặc biệt đối với dòng chảy ngầm. Với phương pháp mô hình kết hợp với số liệu điều tra khảo sát thực địa thì kết quả cũng cho độ tin cậy nhất định, nhưng với điều kiện nâng cao độ chính xác khi thực hiện các giải pháp cụ thể cho các vùng thiếu nước cần bổ sung quan trắc lượng mưa, dòng chảy, nguồn nước mạch lộ, để từ đó tính toán thiết kế các giải pháp công trình một cách chính xác, để đảm bảo giải pháp đề xuất là phù hợp, hiệu quả, tránh lãng phí nguồn lực đầu tư.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp tỉnh theo quyết định số 1948/QĐ-UBND ngày 14 tháng 8 năm 2021. Bên cạnh đó, tập thể tác giả trân trọng cảm ơn sự giúp đỡ của các xã đặc biệt khó khăn trong quá trình khảo sát và thực hiện nghiên cứu này.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố 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. OECD. Organization for Economic Cooperation and Development. The OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction. 2012. <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49846090.pdf>.
2. Van Liew, M.W.; Garbrecht, J. Hydrologic simulation of the Little Washita River experimental watershed using SWAT. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **2003**, *39*(2), 413–426.
3. Govender, M.; Everson, C.S. Modelling streamflow from two small South African experimental catchments using the SWAT model. *Hydrol. Processes* **2005**, *19*(3), 683–692.
4. Gassman, P.W.; Reyes, M.R.; Green, C.H.; Arnold, J.G. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. *Trans. ASABE*. **2007**, *50*(4), 1211–1250.
5. Arnold, J.G.; Potter, K.N.; King, K.W.; Allen, P.M. Estimation of soil cracking and the effect on surface runoff in a Texas Blackland Prairie watershed. *Hydrol. Process.* **2005**, *19*(3), 589–603.
6. Arnold, J.G.; Fohrer, N. SWAT2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. *Hydrol. Process.* **2005**, *19*(3), 563–572.
7. Jha, M.; Gassman, P.W.; Secchi, S.; Gu, R.; Arnold, J. Effect of watershed subdivision on SWAT flow, sediment, and nutrient predictions. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **2004**, *40*(3), 811–825.
8. UNESCO-IHE. 4th International SWAT conference: Book of abstracts. Delft, Netherlands: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Institute for Water Education. 2007. Available at: www.brc.tamus.edu/swat/4thswatconf/docs/BOOK%20OF%20ABSTRACTS%20final.pdf. Accessed 5 August 2007.
9. Van Liew, M.W.; Veith, T.L.; Bosch, D.D.; Arnold, J.G. Suitability of SWAT for the Conservation Effects Assessment Project: A comparison on USDA-ARS watersheds. *J. Hydrol. Eng.* **2007**, *12*(2), 173–189.
10. Vazquez-Amabile, G.G.; Engel, B.A. Use of SWAT to compute groundwater table depth and streamflow in the Muscatatuck River watershed. *Trans. ASABE* **2005**, *48*(3), 991–1003.
11. Volk, M.; Allen, P.M.; Arnold, J.G.; Chen, P.Y. Towards a process-oriented HRU-concept in SWAT: Catchment-related control on baseflow and storage of landscape units in medium to large river basins. In Proc. 3rd Intl. SWAT Conf. 2005, pp. 159–168. Srinivasan, R.; Jacobs, J.; Day, D.; Abbaspour, K. Eds. Zurich, Switzerland: Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG). Available at: <https://swat.tamu.edu/docs/swat/conferences/2005/SWAT%20Book%203rd%20Conference.pdf>.

12. Nguyệt, N.T. Cấp nước sinh hoạt vùng cao núi đá Hà Giang: Thực trạng và một số điều cần quan tâm giải quyết. *Tap chí khoa học và công nghệ thủy lợi* 2013, 15, 90–96.
13. Khôi, Đ.N.; Sâm, T.T.; Nhi, P.T.T.; Thịnh, N.V. Nghiên cứu xây dựng khung mô hình tích hợp đánh giá tài nguyên nước mặt dựa trên phương pháp tiếp cận mối liên kết nước–năng lượng–lượng thực. Kỷ yếu Hội nghị: Nghiên cứu cơ bản trong “Khoa học Trái đất và Môi trường”, 2019.
14. Lợi, V.K. Hệ thống hóa quy trình xử lý nước cấp tại nhà máy nước Cầu Đỏ–Đà Nẵng, 2011.
15. Báo cáo chuyên đề đề tài Nghiên cứu xác định nguồn nước và giải pháp cấp nước sinh hoạt và nông nghiệp cho khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La. Đề tài cấp tỉnh (2021–2022).
16. Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R. Soil. Water Assessment Tool, Theoretical Documentation: Version 2005. Texas Water Resour. Institute, TR–406, 2005, pp. 494.
17. Arnold, J.G.; Srinivasan, R.; Muttiah, R.S.; Williams, J.R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 1998, 34, 73–89. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>.
18. Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water Resour. Institute, TR–406, 2011, pp. 647.
19. Tín, B.T.; Nhu, N.T.; Đăng, N.M. Đánh giá hiện trạng tài nguyên nước mặt phục vụ cấp nước sinh hoạt tỉnh Ninh Bình. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* 2014, 23, 91–101.

Research on scientific basis to identify water sources and solutions for domestic and agricultural water supply for water shortage areas in Son La province

Nguyen Duc Luc¹, Le Thi Thu Hang¹, Cao Viet Thinh², Nguyen Quang Thai¹, Le Thi Thuy¹, Quang Thi Duyen³, Pham Thi Huong Lan^{4*}

¹ Department of Natural Resources and Environment Son La; nguyenduc1098@gmail.com; hangtnnsl@gmail.com; quangthaislmt@gmail.com; lethuytk67@gmail.com

² Department of Agriculture and Rural Development of Son La province; thinhppmusl@gmail.com

³ People’s Committee of Muong Trai Commune; qthiduyen.nnml@gmail.com

⁴ Thuyloi University; lanpth@wru.vn

Abstract: Identifying water sources and domestic and agricultural water supply solutions for area facing shortage of domestic and agricultural water in highlands and areas facing water scarcity, especially in Son La province, is necessary and aligned with the Government’s policy according to Decision No. 264/QĐ–TTg dated 2/3/2015. The study uses a combination of methods including statistical analysis and synthesis, field survey, mathematical modeling and expert methods to identify water sources for extremely difficult communes in Son La province, thereby proposing models of sustainable exploitation and usage of water sources based on a set of criteria on water sources, exploitation conditions, socio–cultural, environmental, economic, technical and technological, management and exploitation to ensure domestic and agricultural water sources for areas facing water scarcity in Son La province.

Keywords: Water source; Areas facing water scarcity; Son La.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu sự biến đổi cường độ xoáy thuận nhiệt đới hoạt động trên Biển Đông trong các giai đoạn phát triển

Chu Thị Thu Hường^{1*}, Thảo Thị Duyệt¹

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội; ctthuong@hunre.edu.vn; dohunre.160300@gmail.com

*Tác giả liên hệ: ctthuong@hunre.edu.vn; Tel.: +84-981244579

Ban Biên tập nhận bài: 5/5/2022; Ngày phản biện xong: 1/7/2022; Ngày đăng bài: 25/7/2022

Tóm tắt: Sự biến đổi cường độ xoáy thuận nhiệt đới (XTNĐ) hoạt động trên khu vực biển đông (BĐ) được phân tích trong thời kỳ 1991–2020. Kết quả cho thấy rằng, XTNĐ hình thành trên khu vực TBTBD thường tồn tại lâu hơn, có cường độ mạnh và biến đổi nhiều hơn đối với những XTNĐ hình thành trên khu vực BĐ. Các XTNĐ hình thành và phát triển trên hai vùng biển này đều trải qua 4 giai đoạn: Hình thành, phát triển, chín muồi và tan rã. Giai đoạn hình thành thường kéo dài khoảng 30 đến 36 giờ, bắt đầu từ khi XTNĐ hình thành là một nhiễu động đến ATNĐ với cường độ tăng dần. Cường độ của chúng tăng nhanh (V_{\max} lớn hơn 20 m/s) trong giai đoạn phát triển (khoảng 36 đến 54 giờ). Trong giai đoạn chín muồi (kéo dài khoảng 48 đến 72 giờ), cường độ XTNĐ biến đổi không nhiều song thường mạnh hơn (V_{\max} thường lớn hơn 40 m/s) giai đoạn phát triển. Giai đoạn tan rã thường kéo dài từ 1,5 đến 2 ngày (XTNĐ hoạt động từ 3 đến 9 ngày) và từ khoảng 3 đến 4 ngày (XTNĐ hoạt động từ 9 ngày trở lên). Trong giai đoạn này, cường độ của chúng giảm dần và trở thành ATNĐ, thậm chí là vùng áp thấp.

Từ khóa: Cường độ XTNĐ; Bốn giai đoạn phát triển; BĐ; Biển TBTBD.

1. Mở đầu

Có thể nói, trên thế giới và ở Việt Nam đã có không ít các nghiên cứu về sự biến đổi tần số bão trên đại dương và đổ bộ vào đất liền các vùng. Bên cạnh đó, một số nghiên cứu còn giải thích cơ chế hình thành cũng như các nhân tố tác động đến hoạt động của nó. Thật vậy, SST có ảnh hưởng không nhỏ đến cường độ bão [1–4]. Theo Zhan và cs (2011), ENSO và dị thường nhiệt độ mặt biển (SSTA) ở phía Đông Ấn Độ Dương có vai trò quan trọng đến sự phát sinh XTNĐ trên Tây Bắc Thái Bình Dương. Khu vực hình thành XTNĐ có xu thế dịch hơn sang phía đông, XTNĐ có cường độ mạnh cũng thường xảy ra trong những năm El Nino [5]. XTNĐ sẽ giảm (tăng) tương ứng với độ đứt gió tại đới lưu hạn mạnh (yếu) [6]. Wang Lei và cs (2016) thì cho rằng, có khoảng 70,5% số cơn bão hình thành trên rãnh gió mùa và đới gió đông trên khu vực BĐ [7].

Ở Việt Nam, có rất nhiều Nhà khoa học đã quan tâm đến số lượng XTNĐ hoạt động trên các khu vực biển tây bắc Thái Bình Dương (TBTBD), Biển Đông (BĐ) hay đổ bộ vào vùng ven biển và lãnh thổ Việt Nam. Các tác giả cho rằng, mùa bão trên khu vực TBTBD thường bắt đầu từ tháng 4 đến tháng 1 năm sau [8] với trung bình 29 cơn bão và 6 ATNĐ [8], 25 đến 26 XTNĐ [9],... Những năm gần đây, mùa bão hoạt động trên BĐ thường bắt đầu sớm hơn và kết thúc muộn hơn [10]. Mùa bão thường dịch dần từ Bắc đến Nam và bắt đầu từ tháng 5 đến tháng 12 [11] hay từ tháng 6 đến tháng 11 [9, 12] với tần suất lớn hơn trong các tháng 8,

9 [8–9] và cả tháng 10 [11]. Trong mùa bão, trung bình mỗi tháng có khoảng 0,5 cơn XTNĐ đổ bộ vào Việt Nam. Số XTNĐ lớn nhất xảy ra trong tháng 9 (khoảng 1,6 cơn) [13]. Riêng trong tháng 5 và tháng 12, cứ 2 năm có một cơn bão, ATNĐ hoạt động [12]. Bão thường hoạt động nhiều nhất trên vùng biển từ Quảng Ninh đến Hà Tĩnh (khoảng 3–5 cơn/năm) và giảm dần ở các vùng biển phía Nam (chỉ khoảng 0 tới 3 cơn bão/năm trên vùng biển Quảng Bình đến Bình Thuận) [9]. Nhìn chung, XTNĐ hoạt động trên biển ĐĐ và TBTBD đều tăng lên trong những năm La Nina và giảm đi trong những năm El Nino [11, 14–16]. Hơn nữa, trong thời kỳ El Nino/La Nina, XTNĐ thường di chuyển về phía Đông/Tây và vị trí hình thành của nó có xu hướng dịch lên phía Bắc (về phía vĩ tuyến 20⁰N và gần hơn về phía kinh tuyến 130⁰E) hay xuống phía Nam (10–15⁰N và dịch xa hơn về phía kinh độ 150⁰E) tương ứng [15]. Mặt khác, XTNĐ thường tập trung vào các tháng 7, 8, 9 (trong những năm El Nino), và vào các tháng 9, 10, 11 (trong các năm La Nina) [16].

Về cường độ XTNĐ, các tác giả cho rằng, bão và bão mạnh chiếm khoảng 35%, còn bão rất mạnh lên tới 48% [8] hay 55% [9]. Trên ĐĐ, mùa bão thường bắt đầu muộn và kết thúc hơn trên biển TBTBD khoảng 1 tháng [8–9, 14] và chỉ có khoảng 34–35% số cơn bão rất mạnh [8–9]. XTNĐ hình thành trên ĐĐ thường có cường độ không mạnh, đường đi khá phức tạp và tốc độ di chuyển không ổn định [14]. Trong thời kỳ 1960–2008, XTNĐ hoạt động trên ĐĐ có xu thế tăng khoảng 0,4 cơn/thập kỷ. Xu thế tăng xảy ra chủ yếu trên các vùng biển phía Nam, song lại giảm trên vùng biển Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ [10].

Như vậy, có thể thấy, những đặc điểm phân bố của XTNĐ hoạt động trên khu vực ĐĐ đã được nhiều Nhà khoa học quan tâm nghiên cứu, song sự biến đổi về cường độ trong các giai đoạn phát triển của XTNĐ lại hầu như chưa được đề cập đến. Trong khi đó, điều này lại có ý nghĩa không nhỏ trong công tác dự báo bão. Bởi thế, sự biến đổi về cường độ XTNĐ hoạt động trên Biển ĐĐ trong các giai đoạn phát triển sẽ được đề cập tới trong nghiên cứu này. Trong đó, những đặc điểm về tần số, cường độ, thời gian kéo dài cũng như sự biến đổi về cường độ của XTNĐ hình thành trên ĐĐ và Biển TBTBD từ khi hình thành đến khi tan rã sẽ được phân tích. Thời gian hoạt động của các XTNĐ hình thành trên từng vùng Biển cũng như diễn biến cường độ XTNĐ trong từng giai đoạn phát triển sẽ góp phần đánh giá ảnh hưởng của các XTNĐ khi chúng hoạt động trên ĐĐ và ảnh hưởng đến Việt Nam.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu

Số lượng và danh sách các XTNĐ trong thời kỳ 1991–2020 được thu thập tại Viện Tin học Quốc gia của Nhật Bản, được tải về từ trang web: <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>. Số liệu chi tiết về cường độ (P_{min} , V_{max}) 6 giờ/1 lần, thời gian tồn tại, nơi hình thành và tan rã của các XTNĐ trong thời kỳ 1991–2020 được cung cấp bởi Trung tâm bão Quốc gia và Trung tâm bão Thái Bình Dương thuộc Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương quốc gia Mỹ (NOAA) bao gồm: Tên của XTNĐ. Bộ số liệu này được tải về từ trang web: <https://coast.noaa.gov/hurricanes/#map=4/32/-80>.

Bên cạnh đó, số liệu về diễn biến cũng như ảnh hưởng của các cơn bão đổ bộ vào ĐĐ và ảnh hưởng đến Việt Nam cũng được tổng hợp từ Đặc điểm Khí tượng Thủy văn trong các năm từ 1993–2020 của Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia. Vì thông tin (vị trí hình thành, kết thúc, diễn biến cường độ) của các ATNĐ trong một số năm không đầy đủ nên nghiên cứu chỉ thống kê và phân tích đối với các XTNĐ có cường độ đạt từ cấp bão trở lên. Các bộ số liệu này được sử dụng để phân tích đặc điểm phân bố cũng như những biến đổi về cường độ của XTNĐ hoạt động ở TBTBD và ĐĐ trong thời kỳ 1991–2020.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Xác định phân bố của xoáy thuận nhiệt đới

Đặc điểm phân bố của XTNĐ trong thời kỳ 1991–2020 được xác định dựa trên các nguồn số liệu thu thập được. Từ vị trí hình thành, cường độ cũng như quỹ đạo của XTNĐ, nghiên

cứ đã thống kê tổng số XTNĐ hình thành và hoạt động trên khu vực BĐ cũng như những XTNĐ hình thành trên biển TBTBD rồi đổ bộ vào BĐ trong từng tháng, năm để thấy được những đặc điểm cơ bản của XTNĐ hình thành và phát triển trên từng khu vực.

2.2.2. Xác định sự biến đổi cường độ của XTNĐ trong các giai đoạn phát triển

Trong nghiên cứu này, cũng như nhiều nghiên cứu trước đó, khu vực BĐ được xác định trong vùng (3–26°N; 100–120°E), phía đông kinh tuyến 120°E được xem là khu vực biển TBTBD. Từ số liệu bão trên khu vực TBTBD và BĐ, nghiên cứu xác định các cơn bão hoạt động trên khu vực. Sự biến đổi cường độ của từng XTNĐ được phân tích trong toàn bộ thời gian hoạt động của chúng dựa trên tốc độ gió mạnh nhất (V_{max}) và khí áp nhỏ nhất (P_{min}) vùng gần tâm bão.

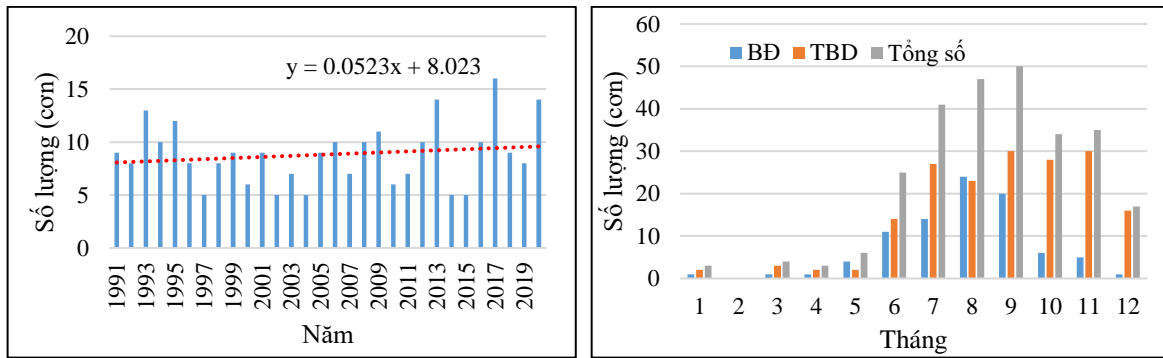
Trong nghiên cứu này, hoạt động của các XTNĐ sẽ được phân tích và tổng hợp theo từng thời gian khác nhau. Trong thời kỳ 1991–2020, các cơn bão hoạt động trên BĐ và biển TBTBD thường có thời gian hoạt động từ 3 đến 12 ngày. Riêng các XTNĐ hình thành trên biển TBTBD, thời gian hoạt động của chúng có thể lên tới 18 ngày. Do đó, nghiên cứu này sẽ phân tích biến đổi của V_{max} và P_{min} vùng gần tâm đối với nhóm các XTNĐ có thời gian hoạt động như nhau. Cụ thể, cường độ của các XTNĐ hoạt động trong lần lượt từ 3 đến 12 ngày (trên từng vùng Biển) và trên 12 ngày (XTNĐ hình thành trên biển TBTBD) đã được phân tích chi tiết để thấy rõ hơn sự biến đổi về cường độ trong các giai đoạn phát triển của bão. Cụ thể như sau: (1) Giai đoạn hình thành: Từ một nhiễu động nhiệt đới trên biển, khí áp giảm dần đến khoảng 1000mb, và gió mạnh dần lên; (2) Giai đoạn phát triển: Giai đoạn này được xác định kể từ khi ATNĐ mạnh lên thành bão (V_{max} vùng gần tâm bão tiếp tục tăng nhanh hơn cho đến khi nó gần như không thay đổi, P_{min} giảm xuống dưới 1000mb); (3) Giai đoạn chín mồi: Giai đoạn này bắt đầu khi sự phát triển của bão đã hoàn tất, P_{min} cũng như V_{max} vùng gần tâm bão biến đổi không nhiều; (4) Giai đoạn suy yếu và tan rã: khi bão không phát triển nữa mà suy yếu trở thành một ATNĐ trước khi di chuyển vào đất liền và tan rã. Khi đó, V_{max} sẽ giảm dần, còn P_{min} sẽ tăng dần.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Sự biến đổi về của XTNĐ hoạt động trên BĐ

3.3.1. Số lượng XTNĐ

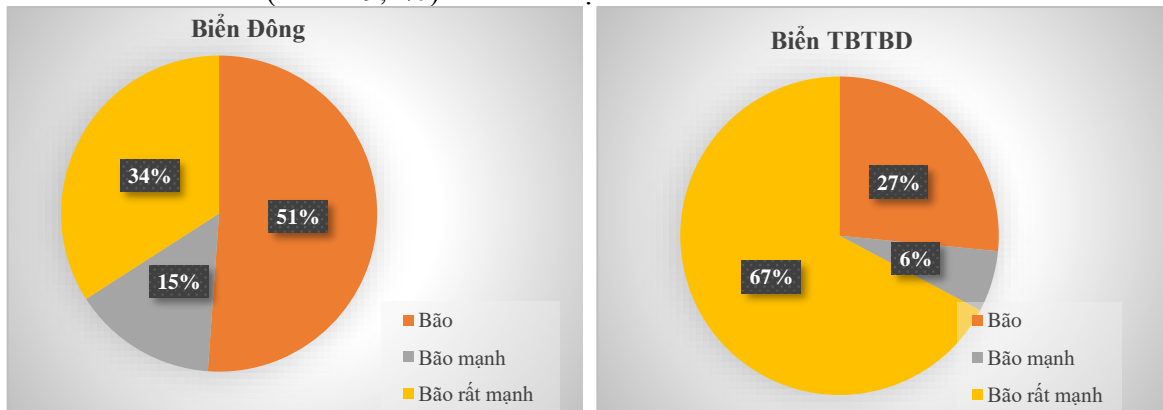
Cũng như các nghiên cứu trước đó, số lượng XTNĐ hoạt động trên BĐ sẽ bao gồm cả những XTNĐ hình thành trên BĐ và những XTNĐ hình thành trên biển TBTBD sau đó đổ bộ vào BĐ. Trong thời kỳ 1991–2020, có tổng số 265 XTNĐ ảnh hưởng trực tiếp đến BĐ, trung bình mỗi năm xuất hiện 8,8 XTNĐ (dao động từ khoảng 5 đến 17 cơn/năm), trong đó có khoảng 2,7 XTNĐ hình thành trên BĐ và 5,9 XTNĐ hình thành trên biển TBTBD. Trong các năm El Nino, số XTNĐ xuất hiện ít hơn trung bình nhiều năm (TBNN), còn trong các năm La Nina thì ngược lại. Cụ thể, Số XTNĐ lên đến trên 12 cơn trong các năm 1993, 1995, 2013, 2017, 2020, thậm chí, năm 2017 còn có tới 17 XTNĐ, song lại chỉ có 5 cơn xảy ra trong các năm 1997, 2002, 2004, 2005, 2014, 2015. Hơn nữa, số lượng XTNĐ có xu thế tăng khoảng 0,5 cơn/thập kỷ, tương tự với nghiên cứu Nguyễn Văn Thắng và cs (2009). Mùa bão xuất hiện từ tháng 6 đến tháng 11, tập trung chủ yếu vào tháng 7, 8, 9, trong đó tháng 9 là tháng có nhiều bão nhất với 50 cơn. Từ tháng 1 đến tháng 5 có tần số bão nhỏ, thậm chí, trong tháng 2 không có cơn bão nào. XTNĐ hình thành trên BĐ cũng xuất hiện nhiều hơn trong các tháng mùa bão, đặc biệt tập trung vào thời gian từ tháng 7 đến tháng 9 (dao động từ 14 đến 21 cơn). Các XTNĐ trên biển TBTBD hình thành chủ yếu trong thời gian từ tháng 6 đến tháng 12, tập trung nhiều hơn từ tháng 7 đến tháng 11 với khoảng 15 đến 30 cơn (Hình 3).



Hình 1. Phân bố theo thời gian của XTNĐ hoạt động trên BĐ trong thời kỳ 1991–2020.

3.1.2. Cường độ của XTNĐ

Cường độ các XTNĐ hình thành trên BĐ và biển TBTBD được chỉ ra trong hình 2. Có thể thấy, cường độ XTNĐ hình thành trên BĐ thường yếu hơn so với XTNĐ hình thành trên biển TBTBD. Thật vậy, có khoảng 51% (45/88 con) các XTNĐ hình thành trên BĐ có cường độ đạt cấp bão, còn 34% (30/88 con) XTNĐ đạt cường độ bão rất mạnh. Song các XTNĐ có cường độ bão mạnh được hình thành trên biển TBTBD lại chiếm tới 67% (119/177 con), cao hơn gần 2 lần so với XTNĐ hình thành trên BĐ, còn XTNĐ đạt cấp bão chỉ chiếm 27 (47/177 con). Số XTNĐ đạt cấp bão mạnh ở cả hai khu vực ít hơn so với bão và bão rất mạnh. Có thể thấy, các XTNĐ ảnh hưởng trực tiếp trên BĐ chủ yếu đạt cường độ cấp bão và bão rất mạnh. Các XTNĐ hình thành từ biển TBTBD thường phát triển thành bão rất mạnh. Trong tổng số 265 XTNĐ hoạt động trên BĐ có tới 149 (chiếm 56,2%) con bão rất mạnh, 92 (chiếm 34,7%) con bão và chỉ có 24 (chiếm 9,1%) con bão mạnh.

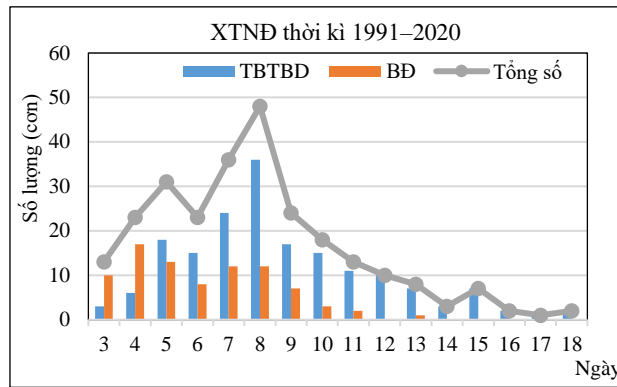


Hình 2. Cường độ XTNĐ hình thành trên BĐ (trái) và biển TBTBD (phải).

3.1.3. Thời gian hoạt động của XTNĐ

Thông thường, mỗi XTNĐ hình thành từ một nhiễu động trên vùng biển nhiệt đới phát triển thành một vùng ATNĐ. Khi gặp điều kiện thuận lợi, ATNĐ này phát triển thành bão. Các XTNĐ hình thành trên biển TBTBD thường có thời gian hoạt động lâu hơn. Chúng thường tồn tại từ 5 đến 12 ngày (146 con chiếm khoảng 82%), trung bình mỗi con bão tồn tại khoảng 8 ngày. Song cũng có những XTNĐ tồn tại trên 15 ngày như con NAT 1991, ABGELA 1995 NARI 2001, PARMA 2009 và USAGI 2018, thậm chí con ABGELA 1995 và PARMA 2009 còn tồn tại lên đến 18 ngày (Hình 3).

Các XTNĐ hình thành trên BĐ thường tồn tại khoảng 3 đến 9 ngày (79 con chiếm khoảng 93%), trung bình 5,5 ngày, song con ANGELA 1992 và MATMO 2019 cũng hoạt động đến 13 ngày (Hình 3). Ngược lại, có những XTNĐ chỉ tồn tại 1 đến 2 ngày như Bão số 3 năm 2005 chỉ tồn tại từ ngày 11 đến 12/8; Con bão số 6 năm 2006 cũng hình thành và tan rã từ ngày 12/9 đến ngày 13/9. Thậm chí, con bão số 5 chỉ hình thành và tan rã ngay trong ngày 30/8/2005.



Hình 3. Số lượng và thời gian hoạt động của XTNĐ hoạt động trên BD.

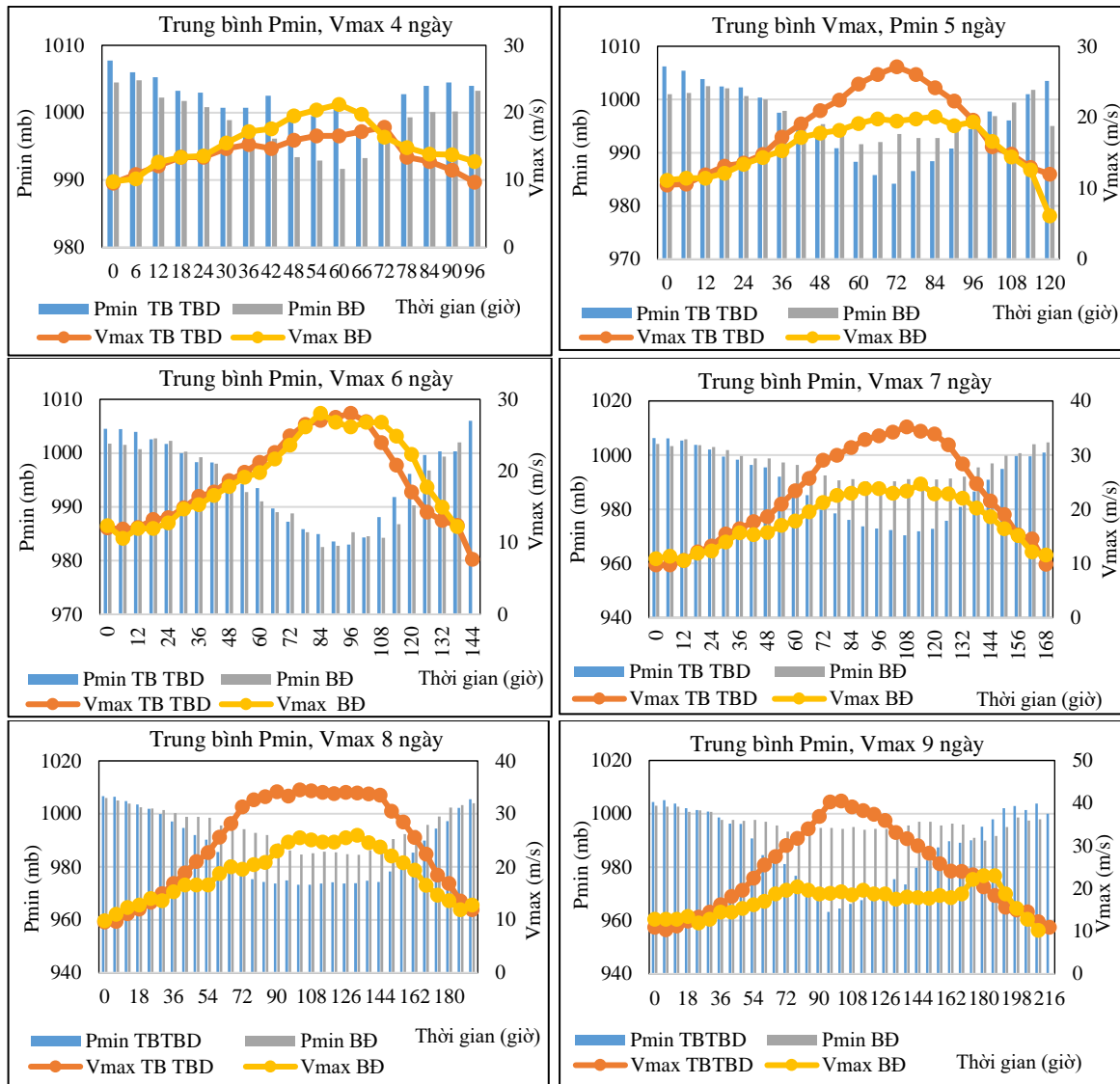
3.2. Sự biến đổi cường độ XTNĐ trong các giai đoạn phát triển

Như ta đã biết, XTNĐ hoạt động trên BD được hình thành trên cả 2 vùng biển: BD và biển TBTBD. Do mỗi vùng biển có những điều kiện nhiệt, động lực khác nhau nên thời gian hoạt động cũng như cường độ của các XTNĐ cũng khác nhau. Trong nghiên cứu này, P_{min} và V_{max} tại bề mặt vùng gần tâm bão của nhóm các XTNĐ có cùng thời gian hoạt động trên từng vùng Biển sẽ được phân tích để thấy rõ những biến đổi về cường độ qua các giai đoạn phát triển của chúng.

Mỗi cơn bão đều hình thành và phát triển sau đó suy yếu và tan rã khi điều kiện môi trường không thuận lợi. Thông thường, những cơn bão hoạt động ít ngày thường không phát triển mạnh. Thật vậy, những XTNĐ chỉ hoạt động trong 3 ngày, cường độ của nó chỉ phát triển đạt đến cấp bão. P_{min} trong các giai đoạn hình thành, chín muồi và tan rã của XTNĐ hình thành trên biển TBTBD thường cao hơn trên BD, nhưng trong giai đoạn phát triển thì ngược lại. Kết quả này cũng phù hợp với những biến đổi của V_{max} . Trong giai đoạn hình thành (khoảng 18 giờ) và tan rã (khoảng 12 giờ), cường độ của XTNĐ hình thành trên hai vùng biển gần như nhau và chỉ đạt dưới 13 m/s. XTNĐ hình thành trên biển TBTBD có cường độ tăng nhanh hơn trong giai đoạn phát triển nhưng lại ít biến đổi trong giai đoạn chín muồi. Mặc dù, cường độ bão trên BD mạnh hơn trên biển TBTBD trong giai đoạn chín muồi song V_{max} và P_{min} tương ứng cũng chỉ đạt 20,4 m/s và 994mb.

Tương tự đối với những XTNĐ tồn tại 4 ngày, các XTNĐ hình thành trên biển TBTBD thường có cường độ yếu hơn (P_{min} trong tất cả các giai đoạn đều cao hơn, còn V_{max} thì nhỏ hơn hoặc bằng) XTNĐ hình thành trên BD. Giai đoạn hình thành kéo dài khoảng 30 giờ đầu với V_{max} tăng dần từ 10 đến 15 m/s, P_{min} cũng giảm dần từ 1004,5mb (BD) và 1007,5mb (biển TBTBD) đến xấp xỉ 1000mb. Sang giai đoạn phát triển (kéo dài khoảng 30 giờ sau), V_{max} tăng, P_{min} giảm nhanh hơn (BD) nhưng không biến đổi nhiều (biển TBTBD). Nhìn chung, XTNĐ mạnh nhất trong giai đoạn phát triển và chín muồi song V_{max} lớn nhất cũng chỉ đạt 20,4 m/s (BD) và 17,9 m/s (biển TBTBD). XTNĐ suy yếu và tan rã trong khoảng 24 đến 30 giờ và tốc độ gió cũng giảm dần từ khoảng 15 m/s (Hình 4).

Có thể thấy, trong giai đoạn hình thành và tan rã, XTNĐ hình thành trên biển TBTBD thường có P_{min} cao hơn XTNĐ hình thành trên BD, nhưng V_{max} thì không biến đổi nhiều. Đối với các XTNĐ hoạt động 5 ngày, giai đoạn hình thành cũng kéo dài khoảng 30 giờ với P_{min} và V_{max} biến đổi chưa nhiều. Giai đoạn phát triển được thể hiện rõ hơn đối với các XTNĐ hình thành trên biển TBTBD. V_{max} tăng từ 14,3 m/s đến 27,1 m/s, khí áp giảm xuống đến 993,5mb (72 giờ). Sau đó, cường độ bão giảm dần cho đến khi tan rã. Tuy nhiên, cường độ của XTNĐ hình thành trên BD trong giai đoạn phát triển và chín muồi lại không biến đổi nhiều (chỉ dao động từ khoảng 17 đến 20 m/s). Giai đoạn tan rã cũng kéo dài khoảng 30 giờ với V_{max} và P_{min} giảm nhanh (Hình 4).



Hình 4. Sự biến đổi cường độ trung bình của các XTNĐ hoạt động trong thời gian từ 4 đến 9 ngày.

Cường độ của các XTNĐ hoạt động trong 6 ngày trên cả hai vùng biển khá tương đồng nhau. Giai đoạn hình thành cũng kéo dài khoảng 30 giờ với Pmin giảm chậm từ khi hình thành đến khoảng 1000mb, V_{max} thì biến đổi từ khoảng 10 đến 15 m/s. Giai đoạn phát triển xảy ra từ sau 30 giờ đến 84 giờ với tốc độ gió tăng đến 27,1 m/s (biển TBTBD) và 28,1 m/s (BD), khí áp cũng giảm xuống dưới 985mb. Giai đoạn chín muồi cũng diễn ra trong khoảng 30 giờ khi cường độ bão ít biến đổi. Sau đó, V_{max} giảm nhanh từ cấp bão mạnh xuống chỉ còn xấp xỉ 10 m/s (Hình 4).

Đối với các XTNĐ hoạt động trong thời gian 7 và 9 ngày trên cả hai vùng Biển, cường độ của chúng đều biến đổi tương tự như đối với các XTNĐ có thời gian tồn tại 5 ngày. Giai đoạn hình thành và tan rã kéo dài khoảng 30–36 giờ, cường độ XTNĐ trên các giai đoạn này có xu hướng tăng hoặc giảm dần song không biến đổi nhiều. V_{max} thường nhỏ hơn 15 m/s, Pmin thường lớn hơn hoặc xấp xỉ bằng 1000mb. Tuy nhiên, trong giai đoạn phát triển và chín muồi, cường độ XTNĐ trên biển TBTBD tăng nhanh (V_{max} có thể đạt tới trên 40 m/s, Pmin giảm xuống xấp xỉ 995mb). Trong khi đó, XTNĐ hình thành trên BD, sau giai đoạn hình thành, cường độ tăng nhanh đến khoảng 78 giờ (XTNĐ tồn tại 9 ngày) hoặc 90 giờ (XTNĐ tồn tại 7 ngày), rồi lại biến đổi không nhiều trong giai đoạn chín muồi. Đối với các XTNĐ hình thành trên BD, giai đoạn này có thể kéo dài đến khoảng 150 giờ (XTNĐ tồn tại 7 ngày)

và 168 giờ (XTNĐ tồn tại 9 ngày). Thậm chí, các XTNĐ tồn tại 9 ngày còn có cường độ tăng lên trong khoảng 18 đến 24 giờ trước khi suy yếu thành ATNĐ (Hình 4).

Bão hoạt động trong 8 ngày bắt đầu hình thành khi khí áp trung bình ở cả hai khu vực đạt 1006mb, vận tốc gió bằng 9,7 m/s. Khí áp trên biển TBTBD giảm nhanh hơn, giai đoạn từ khi còn là nhiễu động đến khi khí áp giảm còn 1000mb chỉ kéo dài 30 giờ, tốc độ gió tăng lên đến 15m/s. Bão tiếp tục giai đoạn phát triển tròn 54 giờ tiếp, trong giai đoạn này khí áp giảm nhanh từ 1000mb xuống 973mb, vận tốc gió tăng nhanh đến 34,1 m/s. Trong 54 giờ tiếp theo cường độ bão không thay đổi nhiều, khí áp không giảm thêm, vận tốc gió duy trì ở 33,4 m/s đến 35 m/s. Sau khoảng thời gian hoạt động do không được cấp thêm năng lượng nên bão suy yếu trong 48 giờ, giai đoạn này diễn ra nhanh hơn so với giai đoạn phát triển. Các cơn bão trên BĐ hình thành trong khoảng 36 giờ, giai đoạn này cường độ tương đương với giai đoạn hình thành của các cơn bão trên biển TBTBD. Giai đoạn phát triển trên BĐ hoạt động trong 72 giờ, khí áp giảm chậm đến 985mb, vận tốc gió tăng đến 25 m/s. Bão duy trì giai đoạn chín mồi trong 30 giờ, sau đó suy yếu và tan rã trong 60 giờ cuối (Hình 4).

Nhìn chung, XTNĐ trên 2 vùng Biển đều hình thành trong khoảng 2 ngày (từ 30–36 giờ). Trong khoảng 3 ngày sau (54 đến 72 giờ) XTNĐ phát triển nhanh và đạt cường độ bão mạnh đến rất mạnh trong khoảng 2 ngày. Sau đó, chúng suy yếu và tan rã trong khoảng 2 đến 3 ngày cuối. Các XTNĐ có thời gian tồn tại từ 10 ngày trở lên chủ yếu xảy ra trên biển TBTBD. Đối với các XTNĐ hoạt động trên biển TBTBD trong 10 ngày hình thành trong khoảng 1,5 ngày, tiếp tục mạnh lên và phát triển thành trong hai ngày tiếp theo. Với vùng biển rộng và đầy đủ các điều kiện để phát triển, bão có thể tiếp tục mạnh lên và duy trì ở cường độ bão rất mạnh khoảng 3 ngày, bão sẽ tiếp tục suy yếu và tan rã trong 3 ngày sau. Đối với các XTNĐ hoạt động từ 11 đến 12 ngày, cường độ của chúng thường đạt cấp bão rất mạnh. Chúng cũng hình thành trong khoảng 36 giờ, phát triển trong khoảng 4 đến 5 ngày tiếp theo. Giai đoạn chín mồi kéo dài khoảng 2 đến 4 ngày, XTNĐ duy trì cấp bão rất mạnh, sau đó suy yếu trong 2 ngày cuối.

Những cơn bão hoạt động trong khoảng thời gian từ 13 đến 18 ngày, cường độ bão thường biến đổi liên tục theo thời gian, các giai đoạn hoạt động của cơn bão không rõ rệt. Tuy nhiên các cơn bão này đều phát triển thành bão rất mạnh trong khoảng từ 60 đến 72 giờ. Vận tốc các cơn bão đều đạt từ 50 m/s đến 70 m/s, khí áp giảm đến 950mb, trung bình những cơn bão hoạt động trong 14 ngày khí áp giảm đến 916mb. Bão duy trì cấp bão rất mạnh khoảng 4 đến 8 ngày. Đặc biệt, bão NARI năm 2001 hoạt động với cường độ rất mạnh liên tục trong 9 ngày. Tuy nhiên, không phải cơn bão mạnh nào cũng hoạt động và đủ năng lượng để duy trì cường độ này một cách liên tục. Có thể thấy, bão hoạt động nhiều ngày thường phát triển và đạt cường độ bão rất mạnh trong khoảng 3 đến 4 ngày đầu. Chúng thường có cường độ biến đổi liên tục và tan rã trong khoảng 2 ngày cuối thời kỳ. Tuy vậy, một số cơn bão có thời gian hoạt động trên 13 ngày, sau nhiều ngày hoạt động trên khu vực biển TBTBD, đổ bộ vào BĐ, suy yếu rồi lại tăng cường ngay trên BĐ.

4. Kết luận

Dựa trên số liệu về vị trí hình thành, quỹ đạo cũng như sự biến đổi cường độ của các XTNĐ trong thời gian hoạt động của chúng, nghiên cứu đã xác định được các giai đoạn phát triển của chúng. Kết quả cho thấy, trong thời kỳ 1991–2020, có 265 cơn bão hoạt động trên BĐ (177 cơn hình thành trên biển TBTBD và 88 cơn hình thành trên BĐ). Chúng có xu thế tăng khoảng 0,5 cơn/thập kỷ. XTNĐ thường xuất hiện nhiều hơn từ tháng 6 đến tháng 9 (hình thành trên BĐ) và từ tháng 6 đến tháng 12 (hình thành trên biển TBTBD). Trong hầu hết các năm El Nino, XTNĐ xuất hiện ít hơn TBNN và ngược lại trong các năm La Nina. XTNĐ hình thành trên khu vực TBTBD thường tồn tại lâu hơn (khoảng 5 đến 11 ngày, trung bình khoảng 8 ngày) và có cường độ mạnh hơn đối với những cơn bão hình thành trên khu vực BĐ (khoảng 3 đến 8, trung bình khoảng 5,5 ngày).

Giai đoạn hình thành thường kéo dài khoảng 30 đến 36 giờ, bắt đầu từ khi XTNĐ hình thành từ một nhiễu động đến ATNĐ. Trong giai đoạn này, cường độ XTNĐ tăng dần (khí áp vùng gần tâm bão giảm dần đến khoảng 1000mb, tốc độ gió tăng dần). Cường độ XTNĐ hình thành trên BĐ thường

tăng chậm hơn XTNĐ hình thành trên biển TBTBD khoảng 6 đến 12 giờ. XTNĐ hình thành trên TBD thường có khí áp lớn hơn (khoảng 1010mb) trên BĐ (khoảng 1004mb), nhưng tốc độ gió không khác nhau nhiều (khoảng 10–12 m/s). Giai đoạn phát triển thường xảy ra trong khoảng từ 36 đến 54 giờ sau giai đoạn hình thành. Trong giai đoạn này, cường độ XTNĐ tăng nhanh (khí áp giảm từ khoảng 1000 đến 970 mb, tốc độ gió lớn hơn 20 m/s). Trong giai đoạn chín muồi kéo dài khoảng 48 đến 72 giờ, cường độ bão không biến đổi nhiều nhưng mạnh hơn so với giai đoạn phát triển. Tốc độ gió trong bão có thể lên đến trên 40m/s, khí áp thường nhỏ hơn khoảng 990mb. Giai đoạn tan rã thường kéo dài từ 1,5 đến 2 ngày (đối với các XTNĐ có thời gian hoạt động dưới 9 ngày) và từ khoảng 3 đến 4 ngày (đối với các XTNĐ có thời gian hoạt động từ 9 ngày trở lên). Trong giai đoạn này, cường độ bão giảm dần và trở thành một ATNĐ, thậm chí là vùng áp thấp (khí áp tăng lớn hơn 1000mb, tốc độ gió giảm từ cấp bão xuống dưới 10 m/s). Trong các giai đoạn phát triển, cường độ XTNĐ hình thành trên BĐ biến đổi ít hơn XTNĐ hình thành trên biển TBTBD.

Có thể nói, sự biến đổi cường độ XTNĐ hoạt động trên khu vực BĐ có vai trò quan trọng trong việc dự báo ảnh hưởng của XTNĐ đến các khu vực. Song những biến đổi này mới chỉ được phân tích dựa trên cường độ vùng gần tâm XTNĐ mà chưa xem xét đến bán kính của vùng gió mạnh đó cũng như phạm vi ảnh hưởng của các XTNĐ. Hơn nữa, các kết quả phân tích trong nghiên cứu này chỉ dựa trên các cơn bão hoạt động trên khu vực BĐ mà chưa xem xét đến diễn biến của các ATNĐ. Bởi vậy, trong tương lai, cần có những nghiên cứu chi tiết hơn về cấu trúc trường chuyển động, trường mưa,.. trong XTNĐ để thấy rõ hơn những tác động của chúng.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng và lựa chọn phương pháp nghiên cứu: C.T.T.H.; Phân tích và xử lý số liệu: T.T.D.; Viết bản thảo bài báo và chỉnh sửa bài báo: C.T.T.H.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, mã số TNMT.2021.562.04.

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

Tài liệu tham khảo

1. Bosart, L.F.; Bracken, W.E.; Molinari, J.; Velden, C.S.; Black, P.G. Environmental influences on the rapid intensification of Hurricane Opal (1995) over the Gulf of Mexico. *Mon. Wea. Rev.* **2000**, *128*, 322–352.
2. Shay, L.K.; Goni, G.J.; Black, P.G. Role of a warm ocean feature on Hurricane Opal. *Mon. Wea. Rev.* **2000**, *128*, 1366–1383.
3. Sun, Y.; Zhong, Z.; Yi, L.; Ha, Y.; Sun, Y. The opposite effects of inner and outer sea surface temperature on tropical cyclone intensity. *J. Geo. Res. Atmos.* **2014**, *119*, 2193–2208.
4. Rai, D.; Pattnaik, S.; Rajesh, P.V. Sensitivity of tropical cyclone characteristics to the radial distribution of sea surface temperature. *J. Earth Syst. Sci.* **2016**, *125*, 691–708.
5. Zhan, R.; Y, Wang.; X. Lei. Contribute of Enso and East Indian Ocean SSTA to the Interannual Variability of Northwest Pacific Tropical Cyclone Frequency. *J. Clim.* **2011**, *24*, 509–521.
6. Jingliang, H.; Chen, W.; Maoqiu, J.; Ronghui, H. Impact of the cross-tropopause wind shear on tropical cyclone genesis over the Western North Pacific in May. *Clim. Dyn.* **2019**, *52*, 3845–3855.
7. Lei, W.; Ronghui, H.; Renguang, W. Tropical Cyclogenesis Associated with Four Types of Winter Monsoon Circulation over the South China Sea. *Atmos. Sci. Lett. Atmos. Sci. Let.* **2016**, *17*, 326–333.
8. Bình, T.D. Nghiên cứu cấu trúc không gian và thời gian trường các yếu tố khí tượng của bão và các quy mô trước bão bằng máy bay – phòng thí nghiệm khí tượng. Tổng kết khoa học, Đề tài hợp tác Việt Xô, số 3, giai đoạn 1986–1990, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, 1991.

9. Duy, Đ.B.; Thành, N.Đ.; Tuyết, N.T.; Hà, P.T.; Tân, P.V. Đặc điểm hoạt động của Xoáy thuận Nhiệt đới trên khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương, BĐ và vùng trực tiếp chịu ảnh hưởng trên lãnh thổ Việt Nam giai đoạn 1978–2015. *Tap chí Khoa học ĐGQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2016**, 32(2),1–11.
10. Thắng, N.V. Biến đổi của tần số xoáy thuận nhiệt đới trên BĐ và ảnh hưởng đến Việt Nam. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2011**, 604, 5–8.
11. Hậu, N.Đ.; Tùng, N.T. Khả năng mưa lớn khi bão đổ bộ ở các tỉnh duyên hải miền trung. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2009**, 582, 1–11.
12. Nga, Đ.T.H.; Việt, N.M.; Cường, H.Đ. Xu thế diễn biến của tần số xoáy thuận nhiệt đới ở Tây Bắc Thái Bình Dương và BĐ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2011**, 602, 31–37.
13. Hiệp, N.V.; Tuyết, L.T. Đặc điểm hoạt động của bão ở Tây Bắc Thái Bình Dương và BĐ qua số liệu IBTrACS, Tuyển tập báo cáo hội thảo khoa học quốc gia về khí tượng, thủy văn, môi trường và biến đổi khí hậu (lần thứ 18). Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu 2015, 9–14.
14. Ngử, N.Đ. Tác động của ENSO đến thời tiết, khí hậu, môi trường và kinh tế – xã hội ở Việt Nam. Hội thảo chuyên đề về Đa dạng Sinh học, 2007.
15. Liên, T.V. Ảnh hưởng của hiện tượng ENSO đến hoạt động của xoáy thuận nhiệt đới trên khu vực tây bắc Thái Bình Dương và BĐ. Tuyển tập báo cáo Hội thảo Khoa học lần thứ 9, Viện Khí tượng Thủy văn, 2005.
16. Phong, N.B.; Chinh, Đ.K. Nghiên cứu ảnh hưởng của ENSO đến hoạt động của xoáy thuận nhiệt đới trên khu vực BĐ trong giai đoạn 2000–2015. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 680, 42–50.

Research the variation in intensity of tropical cyclones operating in the East Sea during development stages

Chu Thi Thu Huong^{1*}, Thao Thi Do¹

¹ Hanoi University of Natural Resources and Environment; ctthuong@hunre.edu.vn; dohunre.160300@gmail.com

Abstract: The variation in intensity of tropical cyclones operating in the East Sea area is analyzed in the period 1991–2020. The results show that, tropical cyclones formed in the Pacific Northwest Sea usually have a longer duration, stronger intensity and more variability than those forming in the East Sea area. The formation and development of tropical cyclones on these two seas go through 4 stages: Forming, growing, maturity and disintegration stage. The forming stage usually lasts about 30 to 36 hours, starting from when the tropical cyclone forms as a disturbance to the tropical depression with increasing intensity. Their intensity increases rapidly (V_{max} is usually greater than 20m/s) during the growing stage (about 36 to 54 hours). During the maturity stage (lasting about 48 to 72 hours), the intensity of tropical cyclones is little changed but they are usually stronger (V_{max} is usually greater than 40 m/s) in the growing stage. The disintegration phase usually lasts from 1.5 to 2 days (the tropical cyclones operate from 3 to 9 days) and from about 3 to 4 days (the tropical cyclones operate for more than 9 days). During this stage, their intensity gradually decreases and becomes a tropical depression, even a low pressure area.

Keywords: Tropical cyclone intensity; Four stages of development; East Sea; Pacific Ocean.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu ứng dụng công nghệ khai thác nước thấm từ sông phục vụ cấp nước khu vực ven sông Cẩm Giàng

Nguyễn Trung Hiếu¹, Đoàn Thu Hà^{1*}, Hoàng Thị Ngọc Anh²

¹ Trường Đại học Thủy lợi; trunghieu.ma@hotmail.com; thuha_ctn@tlu.edu.vn,

² Trường Đại học khoa học ứng dụng Dresden; thingocanh.hoang@htw-dresden.de

*Tác giả liên hệ: thuha_ctn@tlu.edu.vn; Tel.: +84-948172299

Ban Biên tập nhận bài: 12/6/2022; Ngày phản biện xong: 11/7/2022; Ngày đăng bài: 25/7/2022

Tóm tắt: Nhu cầu dùng nước ngày càng tăng, nguồn nước ngày càng cạn kiệt và ô nhiễm, công nghệ khai thác nước thấm từ sông với các ưu điểm nổi trội: i) Thu được lưu lượng nước tương đối lớn nhờ dòng thấm trực tiếp từ sông vào giếng; ii) Có khả năng xử lý nước sông nhờ tầng lọc thềm sông. Tác giả đã thực hiện nghiên cứu tại khu vực xã Tân Trường, bên bờ sông Cẩm Giàng, Hải Dương. Thực hiện nghiên cứu thí nghiệm hiện trường và mô phỏng dòng chảy ngầm cho thấy có thể khai thác nước thấm ổn định tới 1330 m³/ng.đêm cho một giếng đơn. Bãi giếng 5 giếng với khoảng cách giữa các giếng 80 m cho lưu lượng khai thác đạt gần 4500 m³/ng.đêm. Kết quả nghiên cứu cho thấy công nghệ RBF có khả năng khai thác được lưu lượng nước thấm tương đối lớn, có chất lượng nước tốt, bền vững, có thể áp dụng trong cấp nước phục vụ sinh hoạt và sản xuất.

Từ khóa: Nước thấm từ sông; Lưu lượng nước thấm; Chất lượng nước thấm.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay nhiều nguồn nước mặt đang bị ô nhiễm nghiêm trọng về vi sinh và chất hữu cơ [1], đòi hỏi phải có các biện pháp xử lý phù hợp đảm bảo chất lượng nước đạt tiêu chuẩn trước khi cấp cho người sử dụng. Nước mặt thường có chất lượng và trữ lượng không ổn định và thay đổi theo mùa, khó khăn trong khai thác và xử lý nước. Nước ngầm thường có hàm lượng cạn nhỏ, ít vi khuẩn vi trùng và có chất lượng tương đối ổn định. Tuy nhiên, hầu hết nước dưới đất có chứa sắt, nhiều nguồn nước dưới đất có hàm lượng mangan và asen cao. Các nghiên cứu cho thấy, chỉ tính riêng vùng Đồng bằng sông Hồng có đến 7 triệu dân có thể sử dụng nước bị nhiễm asen, trên toàn quốc là 11 triệu dân [2]. Khoảng 44% số giếng chứa hàm lượng mangan vượt quá tiêu chuẩn cho phép, và gần 5 triệu người có nguy cơ sử dụng nước nhiễm các chất hóa học có hại cho sức khỏe [3]. Nhiều nguồn nước ngầm khu vực Đồng bằng sông Hồng nhiễm amoni (NH₄⁺) với nồng độ cao, trong đó vùng bị có nồng độ amoni cao, lên đến 16 đến 25 mg-N/L, như vùng phía Nam Hà Nội [4].

Theo kết quả quan trắc tài nguyên nước dưới đất của Trung tâm Quan trắc và dự báo tài nguyên nước (Bộ Tài nguyên và Môi trường) đã công bố cho thấy: ở khu vực Đồng bằng Bắc Bộ, Nam Bộ và Tây Nguyên, mực nước ngầm đang giảm mạnh, chất lượng nước cũng có xu hướng ngày kém. Nhiều vùng có hiện tượng sụt lún, do ảnh hưởng của việc khai thác nước quá mức, như ở TP Hồ Chí Minh, Đồng bằng sông Cửu Long, Hà Nội, v.v... Giải pháp khai thác nước thấm từ sông (*Riverbank Filtration – RBF*) đã được áp dụng ở Châu Âu từ hơn 100 năm, như ở Thụy Sĩ – 80% nước uống được lấy từ các giếng RBF, 50% ở Pháp, 48% ở Hà Lan, 40 % ở Hungary, 16% ở Đức, và 7% ở Hà Lan [5–6]. Tại Mỹ, giải pháp RBF đã được áp dụng gần 50 năm [7]. Các quốc gia khác như Ấn Độ [8], Trung Quốc và Hàn Quốc

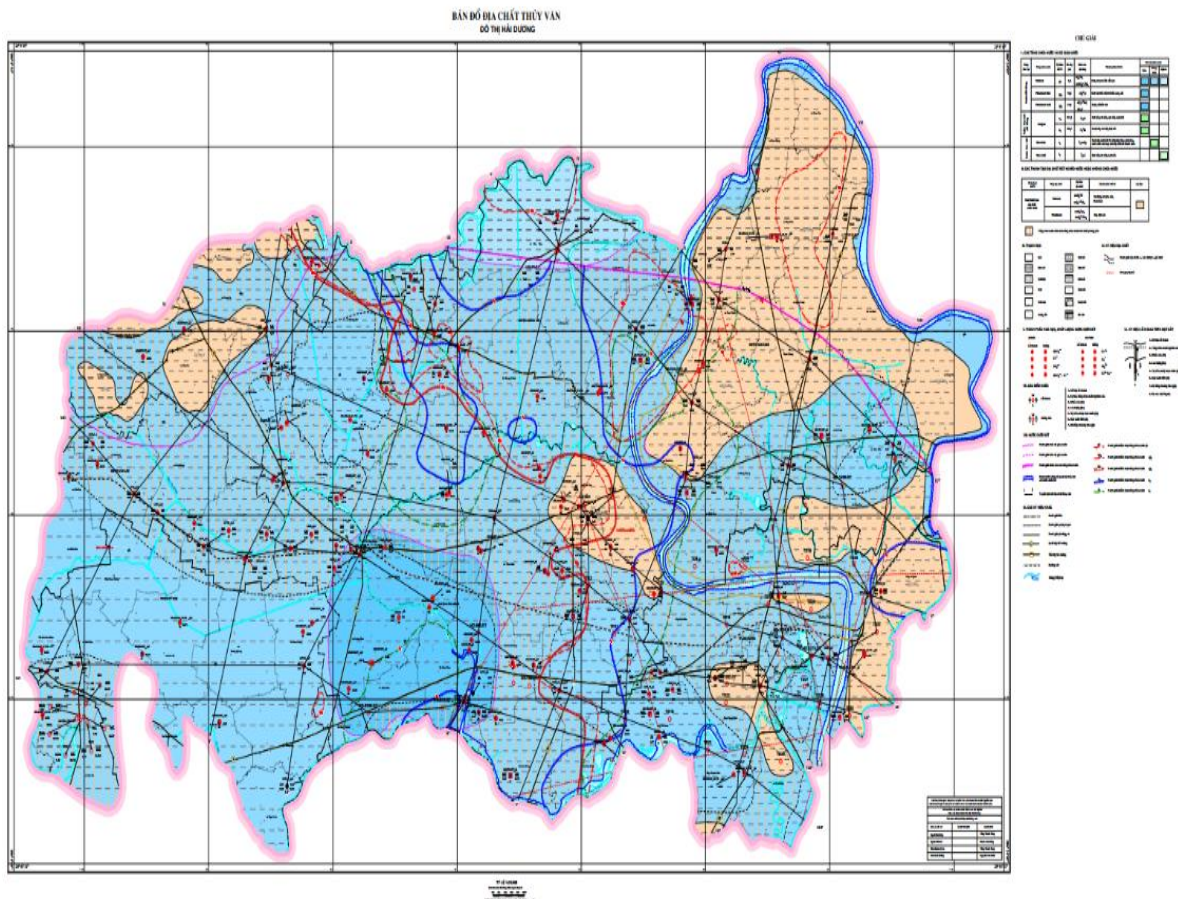
[9] gần đây đã bắt đầu khai thác RBF để cung cấp nước uống. Ở nước ta, cũng có nhiều giếng khai thác nước ngầm xây dựng ở gần sông cho lưu lượng lớn, như ở Phú Thọ, thành phố Tuyên Quang, Quảng Ngãi, Quy Nhơn... Các bãi giếng khai thác nước dưới đất được lựa chọn xây dựng ở gần sông khu vực Hà Nội, như Bắc Thăng Long, Gia Lâm, Cáo Đình, Yên Phụ, Đồn Thủy, Lương Yên, Nam Dư... [10]. Trên phạm vi cả nước, nước thấm từ sông chưa được đầu tư nghiên cứu ứng dụng và chưa được xem là một giải pháp khai thác nguồn nước.

Trong phạm vi bài báo này, tác giả tập trung nghiên cứu khả năng ứng dụng giải pháp RBF phục vụ cấp nước. Địa điểm nghiên cứu tại xã Tân Trường, huyện Cẩm Giàng, tỉnh Hải Dương, bên bờ sông Cẩm Giàng. Các nghiên cứu ban đầu cho thấy, khu vực Cẩm Giàng có tầng thấm ven sông, mực nước sông thường lớn hơn so với mực nước ngầm, có thể khai thác tốt được nước thấm trực tiếp từ sông.

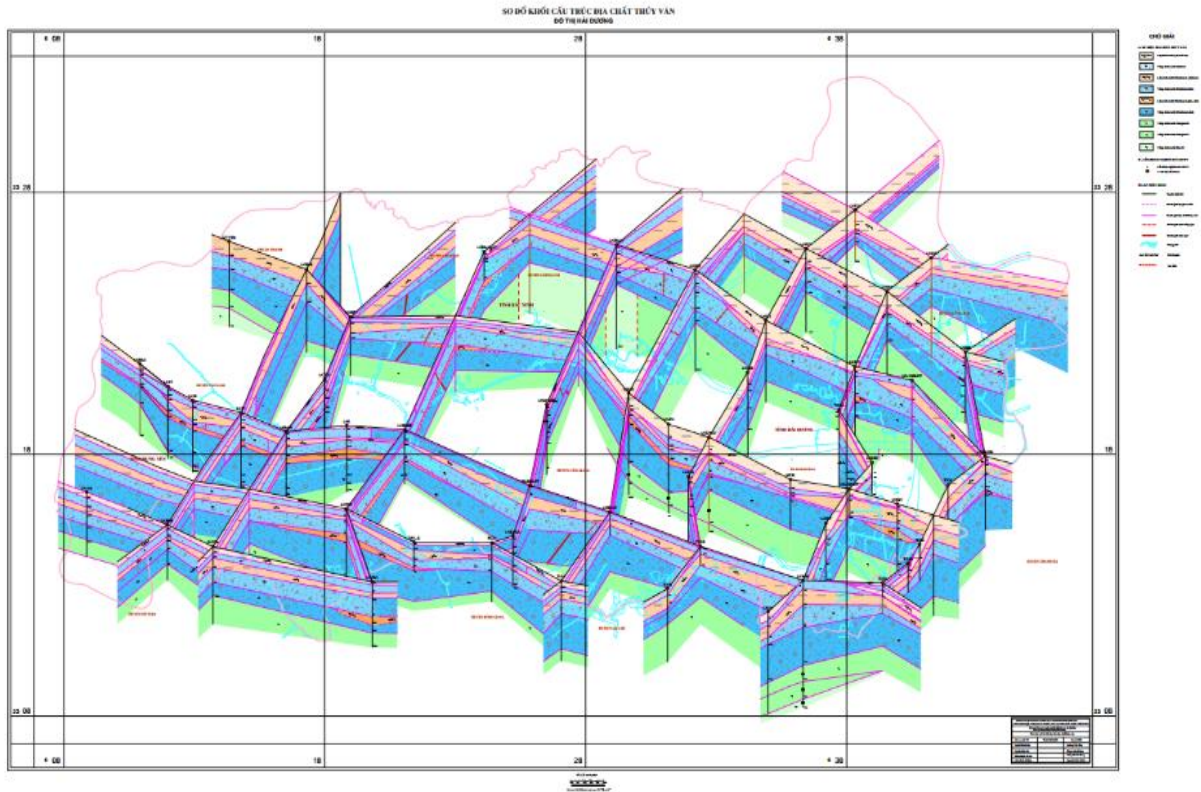
2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

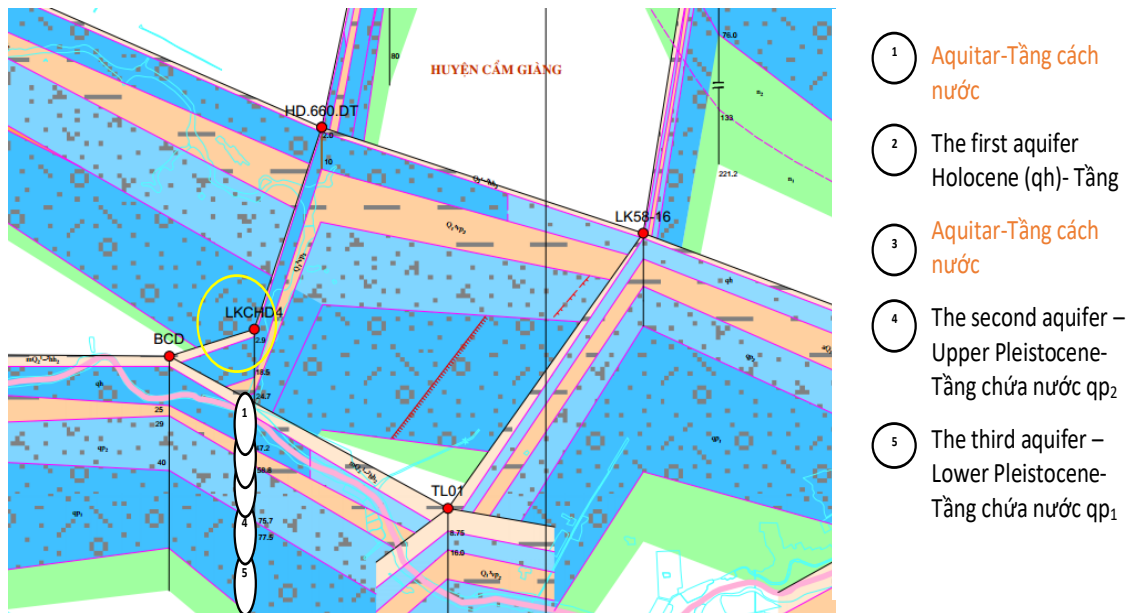
Đánh giá điều kiện địa tầng, khả năng thấm ven sông ở khu vực Cẩm Giàng, Hải Dương
 Nghiên cứu dữ liệu địa chất thủy văn khu vực Cẩm Giàng, gồm: Bản đồ địa chất thủy văn khu vực đô thị Hải Dương trong đó bao gồm khu vực Cẩm Giàng (Hình 1); Sơ đồ khối cấu trúc địa chất thủy văn khu vực đô thị Hải Dương (Hình 2); Sơ đồ khối các tầng chứa nước lỗ hổng qh, qp khu vực Cẩm Giàng (Hình 3), cho thấy: Các tầng chứa nước qh tại khu vực ven sông Cẩm Giàng, bao gồm các trầm tích sông hệ tầng Thái Bình (aQ23tb) và trầm tích sông–biển–đầm lầy hệ tầng Hải Hưng (ambQ21–2 hh1), phân bố rộng khắp trên khu vực nghiên cứu. Chiều dày tầng chứa nước lớn nhất gặp tại LK Ford (30 m), LKTD30 (> 17 m); nhỏ nhất tại LK 58–14 (0,5 m); LK CHD4–A gặp mái tầng chứa nước qh ở độ sâu 2,9 m, bề dày 10,6 m cắt trực tiếp vào sông Cẩm Giàng. Chiều dày trung bình toàn vùng là 8,75 m. Cấu trúc địa tầng chủ yếu là cát các loại, cát pha, cát màu xám, xám đen cấu tạo mềm bờ.



Hình 1. Bản đồ địa chất thủy văn đô thị Hải Dương.



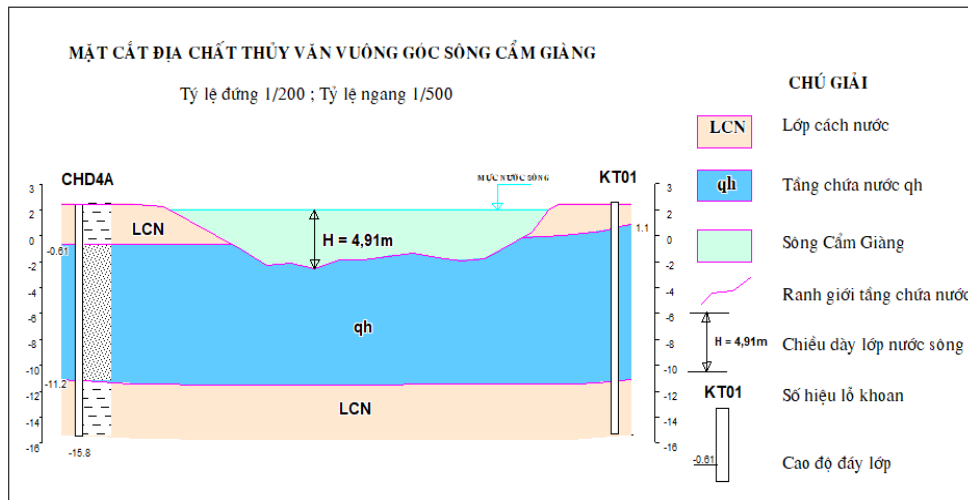
Hình 2. Sơ đồ khối cấu trúc địa chất thủy văn đô thị Hải Dương.



Hình Error! No text of specified style in document.. Sơ đồ khối các lớp địa tầng qh và qp của huyện Cẩm Giàng.

Sông Cẩm Giàng nối sông Thái Bình với sông Bắc Hưng Hải. Do ảnh hưởng bởi nước thải sinh hoạt và sản xuất không được xử lý triệt để trước khi xả ra sông, các thông số chất lượng nước sông Cẩm Giàng như NH_4^+ , NO_2^- , COD vượt nhiều lần quy chuẩn chất lượng nguồn nước cấp cho sinh hoạt. Trạm cấp nước Ghê khai thác nước sông Cẩm Giàng đã phải

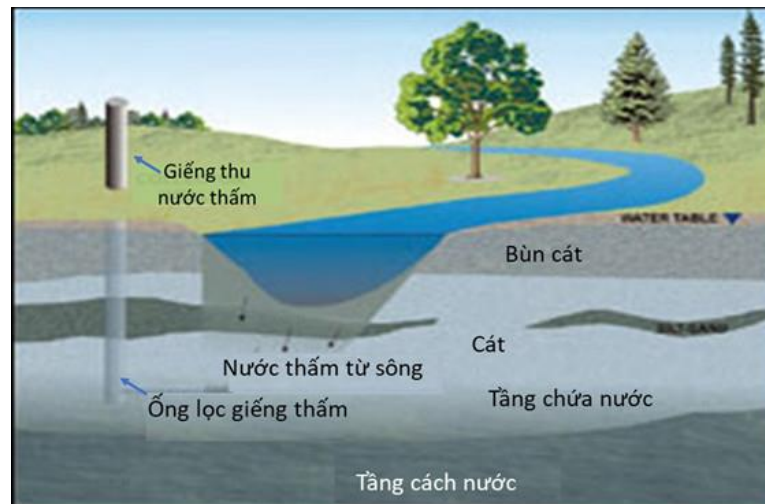
dùng hoạt động. Nước cung cấp cho dân cư và công nghiệp trong khu vực hiện đang được chuyển từ thành phố Hải Dương về.



Hình 4. Mặt cắt địa chất thủy văn ngang sông Cẩm Giàng.

2.2. Cơ sở lý thuyết và thực tiễn

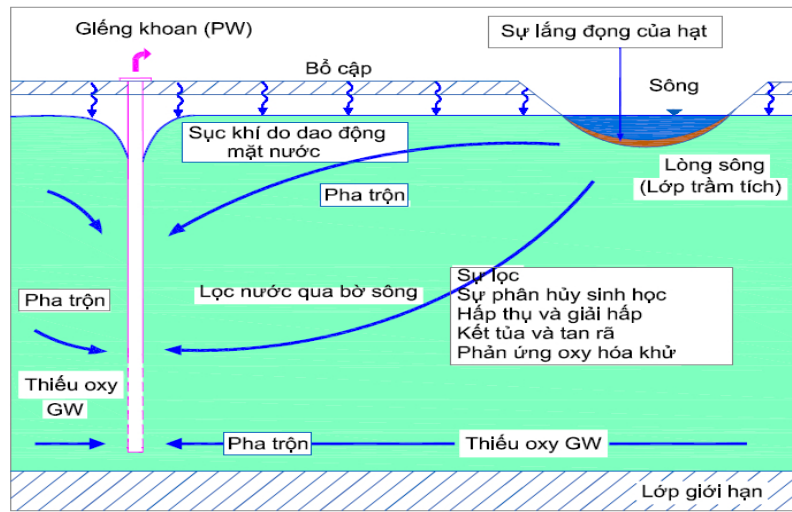
Nước thấm từ sông (RBF) là công nghệ khai thác nước sử dụng các giếng khai thác nước thấm từ nguồn nước mặt như sông hồ. Giếng có ống lọc thu nước được đặt trong tầng chứa nước. Nước thấm lọc có thể được khai thác trong tầng nông là tầng không áp. Nước thấm được bổ cập trực tiếp từ sông vào tầng chứa nước. Nguyên lý bổ cập nước thấm lọc từ sông được thể hiện trên (Hình 5). Nước thấm lọc cũng có thể khai thác trong tầng chứa nước có áp ở những nơi sông cắt trực tiếp vào tầng chứa nước có áp, hoặc ở những vùng ven sông, nước sông bổ cập vào tầng chứa nước không áp, sau đó vào tầng chứa nước có áp thông qua các cửa sổ địa chất thủy văn.



Hình 5. Nguyên lý bổ cập Nước thấm lọc từ sông.

Tại các giếng thấm, khi bơm nước từ giếng, nước mặt được bổ cập vào tầng chứa nước, chảy về giếng. Trầm tích đáy sông, lớp đất đá thềm sông đóng vai trò là bộ lọc tự nhiên loại bỏ nhiều chất ô nhiễm cho chất lượng nước thô tốt hơn [11–13]. Quá trình khai thác nước thấm, nước vào giếng sẽ bao gồm nước mặt và nước ngầm tự nhiên sẵn có trong tầng chứa nước. Nước ngầm tự nhiên khai thác từ hệ thống RBF có chất lượng tốt hơn so với nước ngầm tự nhiên khai thác thông thường, do đã có hiện tượng pha trộn nước mặt và nước ngầm, xảy ra các quá trình phản ứng làm suy giảm các chất ô nhiễm như các quá trình oxy hóa khử,

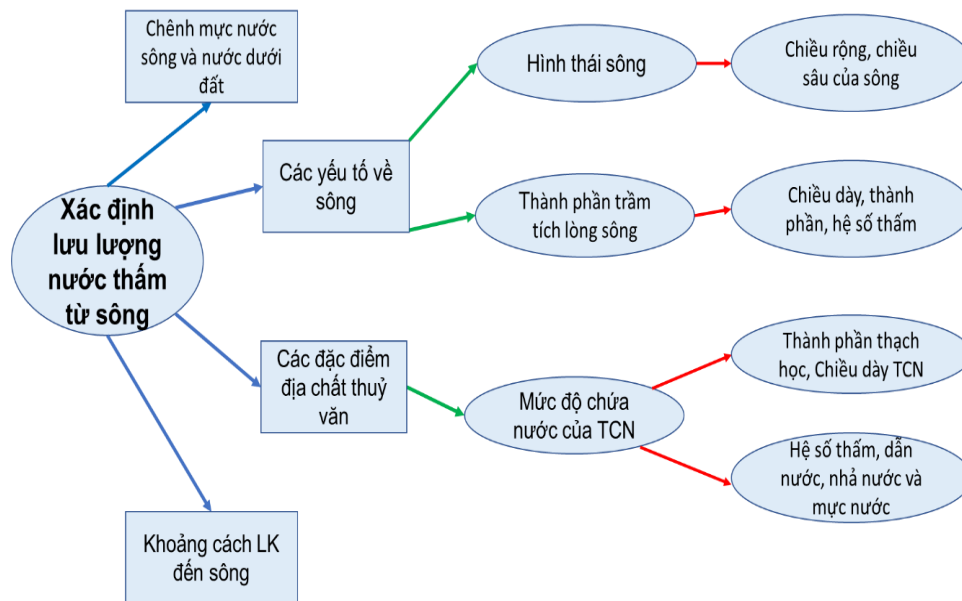
ví dụ thông qua quá trình suy giảm [14] và thay đổi các điều kiện oxy hóa khử [15–16] (Hình 6).



Hình 6. Tổng hợp các quy trình loại bỏ các chất ô nhiễm trong quá trình RBF.

2.3. Cơ sở xác định lưu lượng khai thác nước ngầm

Cơ sở xác định lưu lượng khai thác nước ngầm được thể hiện trên (Hình 7).



Hình 7. Cơ sở xác định lưu lượng khai thác nước ngầm.

Cơ sở của phương pháp xác định lưu lượng nước ngầm từ sông là dựa trên xác định mối quan hệ thủy lực giữa nước sông và NDĐ hoặc sức cản thấm ở đới ven lòng, do lòng sông cắt không hoàn toàn vào lớp chứa nước, do lắng đọng phù sa trên đáy sông và các lớp thấm nước yếu dưới lòng sông.

2.4. Các bài toán nghiên cứu

Nhằm đánh giá xác định vị trí giếng và lưu lượng khai thác cho 1 giếng, số lượng giếng và khoảng cách giữa các giếng trong bãi giếng, tác giả nghiên cứu các bài toán sau:

Bài toán 1: Xác định lưu lượng tối đa có thể khai thác của một giếng

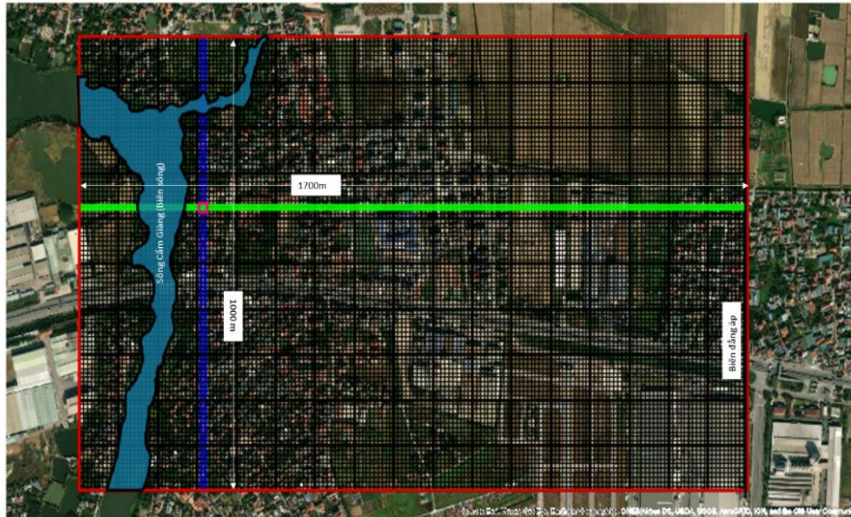
Bài toán 2: Xác định lưu lượng tối đa của mỗi giếng với khoảng cách từ giếng tới sông khác nhau.

Bài toán 3: Xác định lưu lượng tối đa của bãi giếng với khoảng cách giữa các giếng khác nhau.

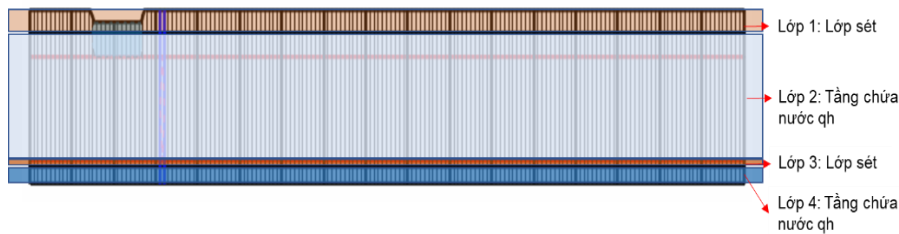
2.5. Thuyết minh mô hình

Giới hạn phạm vi mô hình

Mô hình mô phỏng phạm vi 1700 m × 1500 m xung quanh khu vực xây dựng tuyến mặt cắt thí điểm tại Xã Tân Trường, huyện Cẩm Giàng, Hải Dương. Mô hình được chia thành 17000 ô lưới gồm 170 cột (dx = 10 m), và 100 hàng (dy = 10 m) (Hình 8). Dựa theo tài liệu địa chất thủy văn tổng quát của Hải Dương và số liệu khoan khảo sát địa chất thủy văn tại khu vực thí điểm, mô hình được chia thành 4 lớp, như thể hiện trên (Hình 9).



Hình 8. Giới hạn phạm vi mô hình.



Hình 9. Các lớp của mô hình mô phỏng theo tài liệu khoan khảo sát tại Tân Trường.

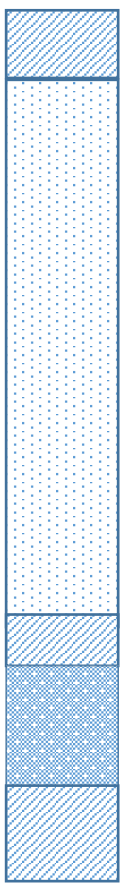


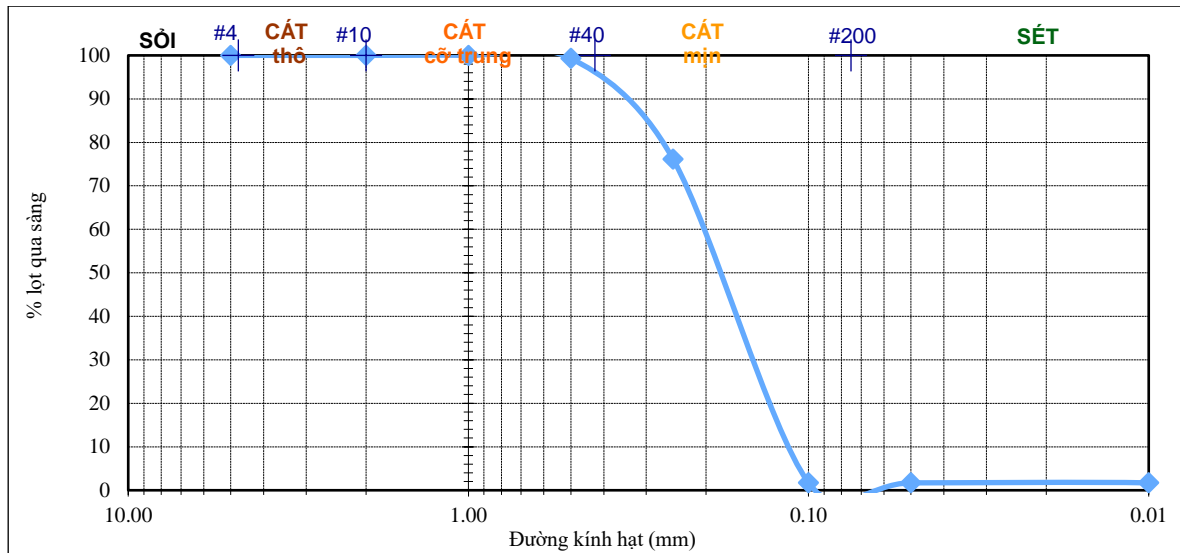
Hình 10. Một số hình ảnh khoan lấy mẫu và thi công giếng tại vị trí thí điểm Tân Trường.

Với cấu trúc địa tầng tại vị trí nghiên cứu Tân Trường, tầng chứa nước lỗ hổng qh được ngăn cách với tầng qh2 bằng lớp sét, nước được thấm trực tiếp từ sông Cẩm Giàng trong tầng qh, nghiên cứu thấm lọc qua bờ sông tại Tân Trường, mô hình chỉ mô phỏng quá trình thấm

trực tiếp từ nước sông đến tầng chứa nước qh. Khoan lấy mẫu được thực hiện ngày 7/5/2020. Các mẫu tầng chứa nước được lấy theo độ sâu như (Bảng 1). Các thí nghiệm xác định phân bố hạt của các lớp địa tầng tại địa điểm nghiên cứu đã được thực hiện. Hình 13 thể hiện phân bố hạt tại lớp cát mịn ở độ sâu 12–12,5 m. Kết quả tính toán cho thấy hệ số thấm tại vùng nghiên cứu Tân Trường, Cẩm Giàng thay đổi từ 0,43–17 m/ngày, độ rỗng dao động từ 0,26–0,44 (Bảng 1). Với lớp cách nước yếu (sét, bột sét) nằm trên bề mặt, hệ số thấm là 0,04 m/ngày. Các dữ liệu này được nhập vào mô hình để mô phỏng quá trình thấm.

Bảng 1. Kết quả khoan khảo sát địa tầng (Lỗ Khoan Trung Tâm TT).

Địa tầng	Độ sâu (m)	Mô tả hạt	Kết quả tính hệ số thấm (K) từ thí nghiệm sàng (m/s)	Kết quả tính toán độ rỗng
	1	Sét		
	2	Sét	4.24E-07	0,26
	3	Cát hạt mịn	4.49E-05	0,45
	4	Cát hạt mịn	3.94E-4	0,44
	5	Cát hạt mịn		
	6	Cát hạt mịn		
	7	Cát hạt mịn	1.67E-4	0,43
	8	Cát nhỏ		
	9	Cát nhỏ	2.6E-4	0,43
	10	Cát nhỏ		
	11	Cát nhỏ		
	12	Cát nhỏ	1.95E-4	0,44
	13	Cát nhỏ		
	13,5	Sét		
	14	Cát cỡ trung	1.81E-4	0,44
	15	Cát cỡ trung lẫn vụn vỏ sò		
16	Sét			
16,2	Sét			



Hình 11. Phân bố hạt tại lớp 12–12,5 m.

Điều kiện biên của mô hình

Các biên tự nhiên trong phạm vi lập mô hình được mô phỏng bằng các loại điều kiện biên. Trong mô hình này sử dụng hai loại điều kiện biên sau:

Biên tổng hợp (General Head)

Biên tổng hợp, cụ thể biên sông (*RIV package – MODFLOW*) được gán cho sông Cẩm Giàng. Số liệu nhập vào cho loại biên này bao gồm cao độ tuyệt đối của mực nước sông, và hệ số sức cản lòng sông ($0,05 \text{ m}^2/\text{d}$).

Biên mực nước xác định (Constant Head Boundary)

Biên mực nước xác định được nhập vào mô hình tại ranh giới phía Đông của mô hình, tại m 1700. Số liệu cao độ tuyệt đối mực nước dưới đất của mô hình được nội suy từ gradient dòng chảy đo tại mực nước sông và lỗ khoan quan trắc trong phạm vi khảo sát. Trung bình gradient dòng chảy tại khu vực nghiên cứu là $0,01 \text{ m/m}$.

Hiệu chỉnh mô hình

Mô hình được hiệu chỉnh bằng phương pháp thử dần để giảm sự khác biệt giữa cao độ tuyệt đối mực nước dưới đất quan trắc và cao độ tuyệt đối mực nước do mô hình tính toán tại 4 lỗ khoan quan trắc. Trong quá trình hiệu chỉnh, hệ số thấm trung bình, hệ số sức cản lòng sông, hệ số nhả nước đàn hồi được hiệu chỉnh.

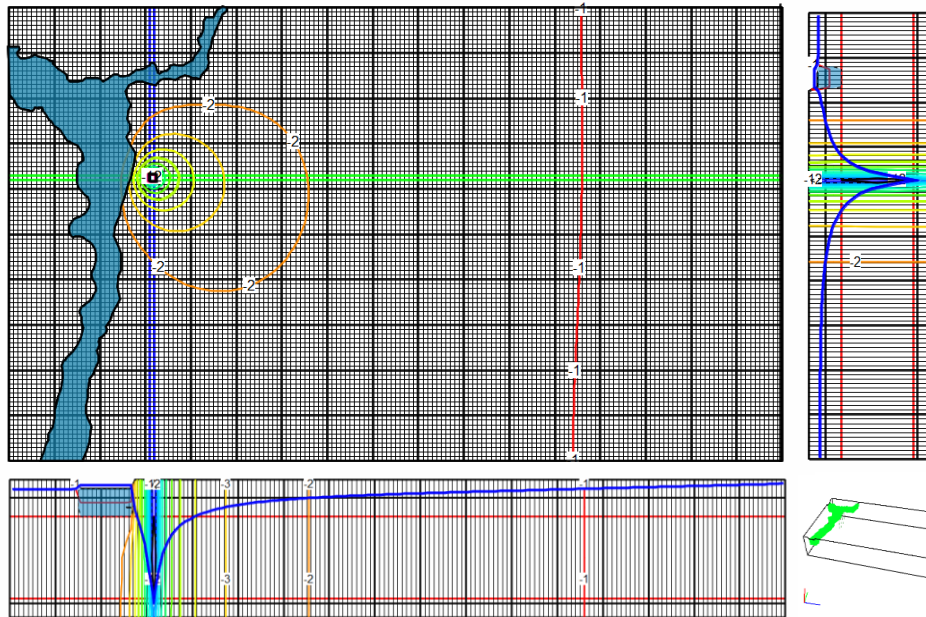
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả mô hình

Bài toán 1: Xác định lưu lượng tối đa tại giếng khai thác

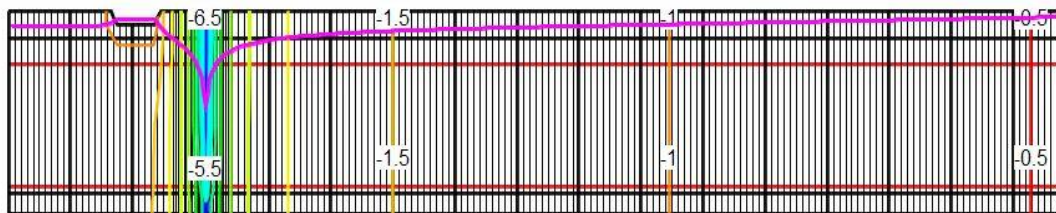
Bài toán này được mô phỏng với giếng đơn độc lập, khoảng cách từ giếng tới sông là 50 m. Bài toán được mô phỏng với 2 trường hợp.

Trường hợp 1: Bài toán giả định, giếng được bơm với độ hạ thấp mực nước tối đa là 11 m, cách đáy của tầng chứa nước 2 m. Kết quả mô phỏng (mô hình đã hiệu chỉnh) cho thấy lưu lượng khai thác tối đa từ tầng chứa nước qh có thể đạt được là $Q_{\text{max}} = 2013 \text{ (m}^3/\text{ngày)}$, như được thể hiện trên (Hình 12).



Hình 12. Độ hạ thấp tối đa 11 m.

Trường hợp 2: Độ hạ thấp an toàn trong thiết kế giếng 1/3 chiều dày tầng chứa nước, hoặc tối đa 5 m từ mái tầng chứa nước. Do mô hình Tân Trường có lớp cách nước dày 2 m trên bề mặt. Nên độ hạ thấp tối đa là 7 m từ mặt đất, lưu lượng khai thác đạt được là $Q_{max} = 1330 \text{ (m}^3\text{/ngày)}$ (Hình 13).



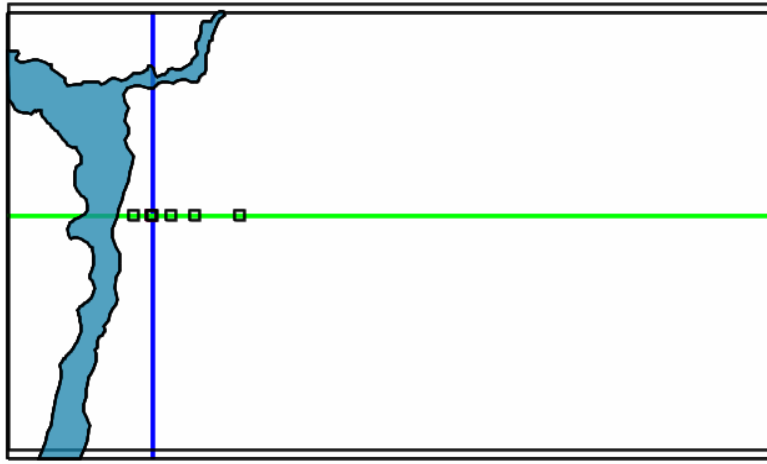
Hình 13. Độ hạ thấp trong thiết kế giếng và đặt máy bơm 7 m.

Bài toán 2: Xác định lưu lượng tối đa của giếng khai thác với khoảng cách từ sông khác nhau

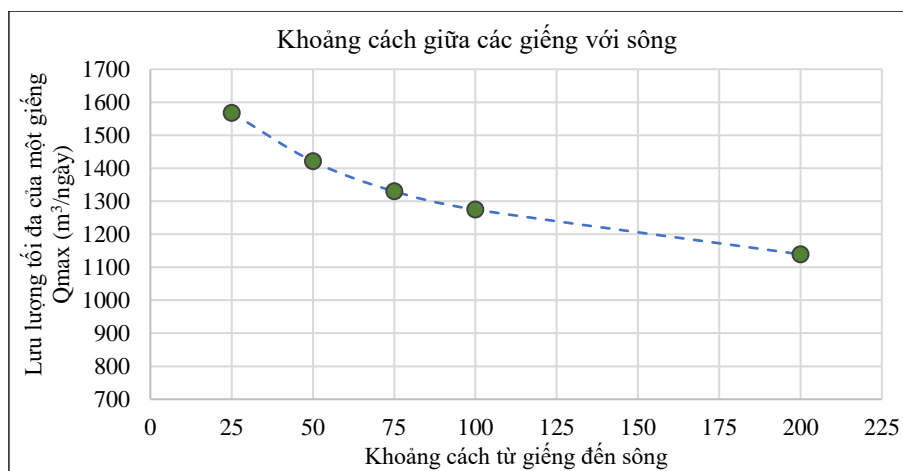
Lưu lượng khai thác tối đa của giếng với khoảng cách tới sông khác nhau được tính toán cho kết quả thể hiện ở (Bảng 2 và Hình 14). Kết quả cho thấy, với khoảng cách từ giếng tới sông giảm từ 200 tới 25 m, lưu lượng khai thác thu được tăng từ 1139 lên 1568 $\text{m}^3\text{/ng.đêm}$ (Hình 15).

Bảng 2. Khoảng cách từ giếng tới sông và lưu lượng khai thác tối đa.

Khoảng cách từ giếng tới sông (m)	Tổng lưu lượng ($\text{m}^3\text{/s}$)	Lưu lượng mỗi giếng ($\text{m}^3\text{/d}$)
25	1.82E-02	1568
50	1.64E-02	1421
75	1.539E-02	1330
100	1.48E-02	1275
200	1.32E-02	1139



Hình 14. Sơ đồ mô phỏng giếng với khoảng cách từ giếng đến sông khác nhau.



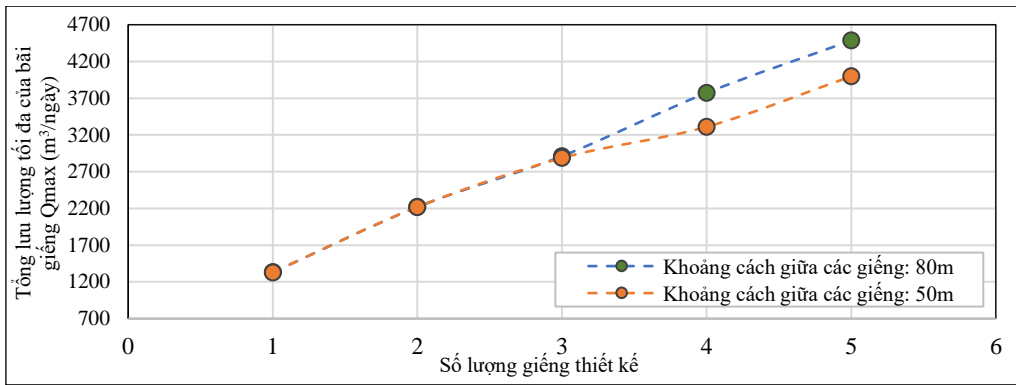
Hình 15. Lưu lượng khai thác tối đa của giếng với khoảng cách tới sông khác nhau.

Bài toán 3: Xác định lưu lượng tối đa của bãi giếng khai thác với khoảng cách giữa các giếng khác nhau

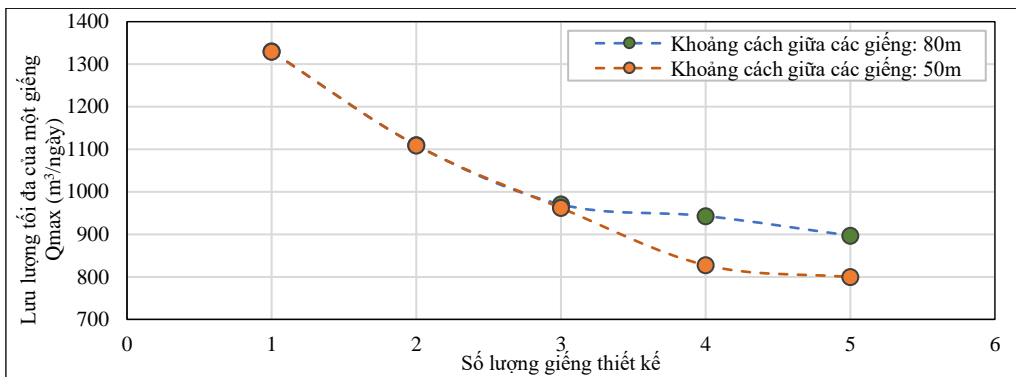
Lưu lượng tối đa tại bãi giếng với khoảng cách giữa các giếng khác nhau được tính toán cho kết quả thể hiện trên (Bảng 3 và Hình 16, 17). Kết quả cho thấy, với bãi giếng tới 5 giếng, khoảng cách giữa các giếng là 80, lưu lượng khai thác tổng cộng của bãi giếng đạt 4485 $m^3/ng.đêm$, với khoảng cách giữa các giếng là 50, lưu lượng khai thác tổng cộng giảm, đạt 3997 $m^3/ng.đêm$.

Bảng 3. Kết quả tính toán lưu lượng tối đa cho cả bãi giếng.

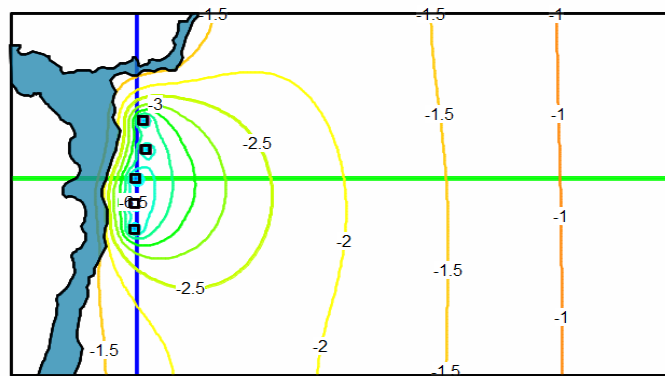
Bãi giếng	Khoảng cách giữa các giếng: 80m		Khoảng cách giữa các giếng: 50m	
	Tổng lưu lượng (m^3/d)	Lưu lượng mỗi giếng (m^3/d)	Tổng lưu lượng (m^3/d)	Lưu lượng mỗi giếng (m^3/d)
1 giếng	1330	1330	1330	1330
2 giếng	2219	1110	2218	1109
3 giếng	2911	970	2886	962
4 giếng	3772	943	3310	828
5 giếng	4485	897	3997	799



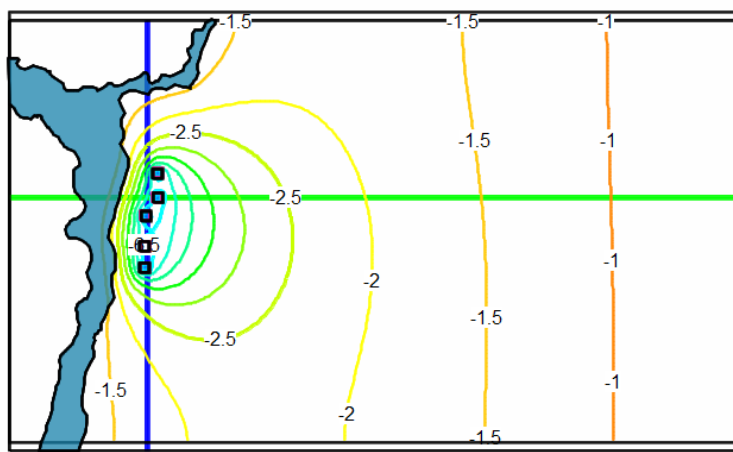
Hình 16. Tổng lưu lượng tối đa của bãi giếng (m³/ngày).



Hình 17. Lưu lượng tối đa của một giếng trong bãi giếng (m³/ngày).



Hình 18. Sơ đồ mô phỏng giếng với khoảng cách giữa các giếng là 80 m.



Hình 19. Sơ đồ mô phỏng giếng với khoảng cách giữa các giếng là 50 m.

4. Kết luận

Kết quả mô phỏng dòng chảy ngầm xác định lưu lượng khai thác tại địa điểm nghiên cứu điển hình áp dụng công nghệ RBF tại Tân Trường, bên bờ sông Cẩm Giàng (sông đào Bắc Hưng Hải), Hải Dương, cho thấy có thể khai thác nước ngầm ổn định lên tới 1330 m³/ng.đêm cho 1 giếng đơn, bãi giếng 5 giếng với khoảng cách giữa các giếng 80 m cho lưu lượng khai thác đạt gần 4500 m³/ng.đêm.

Áp dụng công nghệ RBF, khai thác nước sông qua tầng thấm lọc thềm sông thu được nước với lưu lượng đáng kể và có chất lượng tốt hơn nhờ tầng lọc ven sông. Công nghệ RBF đặc biệt có ý nghĩa ở các khu vực hạn chế khai thác nước dưới đất và có nguồn nước mặt có chất lượng kém, yêu cầu xử lý phức tạp, như ở khu vực Cẩm Giàng Hải Dương. Kết quả nghiên cứu góp phần chứng minh công nghệ RBF có thể được áp dụng như một giải pháp nguồn nước mới phục vụ cấp nước sinh hoạt và sản xuất.

Kết quả nghiên cứu còn hạn chế, chưa bơm thử với các dải lưu lượng khác nhau để có thêm dữ liệu hiệu chỉnh mô hình, chưa tiến hành lấy mẫu phân tích đồng vị để xác định được tỷ lệ nước mặt nước ngầm trong nước ngầm khai thác từ giếng thí nghiệm. Cần thiết tiếp tục nghiên cứu góp phần hoàn thiện công nghệ

Đóng góp cho nghiên cứu: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: Đ.T.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: Đ.T.H., H.T.N.A.; Thu thập, phân tích, xử lý số liệu: H.T.N.A., N.T.H.; Viết bản thảo bài báo: N.T.H., Đ.T.H., H.T.N.A.; Chỉnh sửa bài báo: Đ.T.H.

Lời cảm ơn: Bài báo này được hoàn thành trong khuôn khổ thực hiện Đề tài nghiên cứu theo Nghị định thư giữa Bộ Khoa học Công nghệ Việt Nam và Bộ Nghiên cứu và giáo dục Cộng hòa liên bang Đức, mã số đề tài 60.GER-19: “Nghiên cứu ứng dụng và phát triển công nghệ khai thác nước ngầm từ sông ở Việt Nam phục vụ sinh hoạt và sản xuất”.

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. Asian Development Bank. Viet Nam Water Sector Review, Project Number: 40621–012, 2008.
2. Ly, T.M. Arsenic contamination in groundwater in Vietnam: An overview and analysis of the historical, cultural, economic, and political parameters in the success of various mitigation options. 2012.
3. Bennett, S. Arsenic–Poisoned Water Threatens Vietnamese in "Alarming" Study, Bloomberg.com, 17 January 2011. 2011.
4. Công ty kinh doanh nước sạch Hà Nội. Đánh giá chất lượng nước ngầm và hiệu quả xử lý nước. 2006.
5. Tufenkji, N.; Ryan, J.N.; Elimelech, M. Peer reviewed: the promise of bank filtration. ed: ACS Publications, 2002.
6. Schubert, J. Hydraulic aspects of riverbank filtration–field studies. *J. Hydrol.* **2002**, *266*(3–4), 145–161.
7. Ray, C.; Grischek, T.; Schubert, J.; Wang, J.Z.; Speth, T.F. A perspective of riverbank filtration. *J. Am. Water Works Assn.* **2002**, *94*(4), 149–160.
8. Sandhu, C.; Grischek, T.; Kumar, P.; Ray, C. Potential for riverbank filtration in India. *Clean Technol. Environ. Policy* **2011**, *13*(2), 295–316.
9. Ray, C. Worldwide potential of riverbank filtration. *Clean Technol. Environ. Policy* **2008**, *10*(3), 223–225.
10. Đản, N.V. Xây dựng công trình khai thác thềm là giải pháp tốt để bổ sung nhân tạo cho nước dưới đất. Trang thông tin điện tử Trung tâm quy hoạch và điều tra tài nguyên nước quốc gia, 2018.

11. Hubbs, S.; Hunt, H.; Schubert, J. The costs and benefits of riverbank–filtration systems. in The Second International Riverbank Filtration Conference, Riverbank Filtration: The Future is Now, 2003, pp. 3–6.
12. Tyagi, S.; Dobhal, R.; Kimothi, P.; Adlakha, L.; Singh, P.; Uniyal, D. Studies of river water quality using river bank filtration in Uttarakhand, India. *Water Qual. Exposure Health* **2013**, 5(3), 139–148.
13. Sontheimer, H. Experience with riverbank filtration along the Rhine River. *J. Am. Water Works Assn.* **1980**, 72(7), 386–390.
14. Kuehn, W.; Mueller, U. Riverbank filtration: an overview. *J. Am. Water Works Assn.* **2000**, 92(12), 60–69.
15. Bourg, A.C.; Bertin, C. Biogeochemical processes during the infiltration of river water into an alluvial aquifer. *Environ. Sci. Technol.* **1993**, 27(4), 661–666.
16. Hiscock, K.M.; Grischek, T. Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. *J. Hydrol.* **2002**, 266(3–4), 139–144.

Evaluation of the effectiveness of improving water quality by applying riverbank filtration technology

Nguyen Trung Hieu¹, Doan Thu Ha^{1*}, Hoang Thi Ngoc Anh²

¹ Thuy loi University; trunghieu.ma@hotmail.com; thuha_ctn@tlu.edu.vn;

² University of Applied Sciences Dresden, Germany; thingocanh.hoang@htw-dresden.de

Abstract: The demand for water is increasing and the water source is increasingly depleted and polluted. Riverbank filtration (RBF) technology with outstanding advantages: i) A relatively large volume of water could be obtained by direct infiltration from the river into the well; ii) Capable of treating river water by the riverbed filter layers. The author conducted the research in Tan Truong commune, on Cam Giang riverbank. Conducting field experiments and simulating underground flow shows that stable seepage water up to 1330 m³/day can be extracted for a single well. The 5–well well yard with the distance between the wells is 80 m for the exploitation flow of nearly 4500 m³/day. Research results show that RBF technology can exploit relatively large infiltration water volume, good water quality and sustainability, and can be applied in water supply for domestic and industrial uses.

Keywords: Riverbank filtration; Seepage water flow; Filtration water quality.

Bài báo khoa học

Dự báo quỹ đạo bão Molave năm 2020 bằng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu

Phạm Thị Minh^{1*}, Phạm Xuân Đáp², Nguyễn Thị Hằng³, Trần Thị Hồng Tường⁴, Phạm Kim Thủy³

¹ Khoa Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM; minhpt201@gmail.com

² Sinh viên Khoa Khí tượng Thủy văn và Biến đổi Khí hậu; Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM; Phamdap18@gmail.com

³ Khoa Đại cương, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM; hang.nguyen687@gmail.com; pkthuy.math@gmail.com

⁴ Khoa hệ thống thông tin và Viễn thám; tthtuong@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: minhpt201@gmail.com; Tel.: +84-936069249

Ban Biên tập nhận bài: 12/6/2022; Ngày phản biện xong: 14/7/2022; Ngày đăng bài: 25/7/2022

Tóm tắt: Trong bài báo này nhóm tác giả dự báo quỹ đạo bão Molave năm 2020 bằng hệ thống dự báo tổ hợp được tạo ra từ mô hình WRF. Sau đó kết quả dự báo quỹ đạo được tính bằng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu (thành phần có sai số quỹ đạo hạn ngắn nhỏ hơn sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp). Kết quả thử nghiệm cho thấy, về hướng di chuyển, ở những hạn dự báo dài hơn 2 ngày khi độ tán tổ hợp của dự báo tổ hợp lớn thì TBTS (trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu) mô phỏng hướng cơn bão hiệu quả hơn so với TBTH (trung bình tổ hợp). Về sai số dự báo quỹ đạo TBTS cải thiện đáng kể so với sai số dự báo quỹ đạo của TBTH ở một số hạn dự báo. Cụ thể, sai số quỹ đạo bão của TBTS cải thiện từ 2% đến 15% ở các hạn dự báo trước 2 ngày, còn ở hạn dự báo sau 2 ngày chỉ cải thiện được 1% đến 6% so với phương pháp trung bình tổ hợp thông thường. Kết quả này bước đầu cho thấy ưu điểm của phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu.

Từ khóa: Trung bình trọng số; Dự báo tổ hợp; Dự báo có lựa chọn; Bão.

1. Mở đầu

Nước ta có đường bờ biển dài 3260 km giáp biển Đông nên là điều kiện thuận lợi cho việc phát triển kinh tế thông qua các ngành dịch vụ du lịch, ngành nuôi thủy hải sản và đánh bắt. Tuy nhiên, vị trí này cũng chính là nơi chịu ảnh hưởng nhiều của các cơn bão hình thành và di chuyển vào biển Đông nên Việt Nam chịu ảnh hưởng khá lớn từ các cơn bão. Những cơn bão hình thành trên biển Đông sau đó di chuyển đến gần bờ hoặc đổ bộ vào đất liền đe dọa đến tài sản và tính mạng của con người. Đặc biệt nước dâng do bão có thể cao đến hàng chục mét gây ngập lụt cho các tỉnh ven biển và gió giật, mưa lớn có thể phá hủy các công trình xây dựng, ruộng vườn thậm chí là gây chết người [1–2].

Vì vậy, việc dự báo chính xác quỹ đạo đóng vai trò rất lớn trong việc cảnh báo, phòng tránh và từ đó giảm thiểu những thiệt hại do bão gây ra. Trong các nghiên cứu gần đây trên thế giới chủ yếu đi theo các hướng: 1) Tập trung hiệu chỉnh các quá trình vật lý trong mô hình. Tuy nhiên quá trình này dường như tiệm cận đến một ngưỡng nhất định nên 20 năm gần

đây hầu như không cải thiện được nhiều kết quả của mô hình; 2) bài toán ban đầu hóa xoáy và đồng hóa số liệu. Một số kết quả đã chứng minh được hiệu quả; 3) hướng giải quyết liên quan đến hậu mô hình, trong đó phải kể đến phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu [3–4]. Một số nghiên cứu trước đây đã chứng minh được hiệu quả của việc loại bỏ các tổ hợp xấu trước khi tiến hành lấy trung bình tổ hợp thì sai số dự báo quỹ đạo giảm đi rất lớn [3, 5]. Cụ thể là trung tâm cảnh báo bão của hải quân Hoa Kỳ (JTWC) đã áp dụng một hệ thống được thiết kế nhằm loại bỏ sai số dự báo quỹ đạo bão thời hạn 72 giờ từ các thành phần tổ hợp thông qua việc nhận dạng các sai số hệ thống trong mô hình NWP [6–7]. Tuy nhiên kỹ thuật này có nhược điểm vẫn phụ thuộc vào khả năng nhận dạng sai số của các dự báo viên, và không thể tạo ra một tổ hợp tối ưu ổn định so với phương pháp tổ hợp không có lựa chọn. Vì vậy đối với bài toán nghiệp vụ, một số tác giả đã thực hiện phương pháp trung bình có trọng số của các tổ hợp tối ưu để cải thiện kết quả dự báo quỹ đạo bão ở thời hạn 96, 108, 120 giờ trên khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương, kết quả dự báo được cải thiện từ 5% đến 10% [8]. Và ở Việt Nam [10] đã giới thiệu phương pháp trung bình tổ hợp có lựa chọn cho dự báo quỹ đạo bão dựa trên sai số của các thành phần hệ thống dự báo tổ hợp tại các thời hạn dự báo ngắn (6–12 giờ) được đề xuất bởi [11] và thử nghiệm tính toán thực tế đối với dự báo cơn bão Damrey năm 2017 từ các sản phẩm tổ hợp gồm 51 thành phần dự báo của ECMWF. Kết quả cho thấy khả năng hiệu chỉnh rõ rệt của phương pháp lựa chọn các thành phần tổ hợp với sai số trong ngưỡng xem xét ở các hạn dự báo ngắn hạn. Kết quả cho thấy ở hạn dự báo 24–48 giờ và khi trường hợp các cơn bão có cường độ mạnh và quỹ đạo ổn định, phương pháp trung bình trọng số sẽ giảm thiểu được sai số dự báo quỹ đạo trung bình tổ hợp.

Ngoài ra mô hình WRF là mô hình hiện đại nhất hiện nay và được cộng đồng thế giới tham gia cải tiến và phát triển. Và hiện tại mô hình có đến 11 lựa chọn mô hình vật lý và có thể tạo ra 21 thành phần tổ hợp đa vật lý. Mỗi thành phần tổ hợp này đều có thể là thành phần tổ hợp tối ưu trong dự báo quỹ đạo bão (có sai số quỹ đạo thấp hơn sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp). Và có nhiều nghiên cứu sử dụng mô hình WRF để dự báo bão trên Biển Đông ảnh hưởng đến Việt Nam [11–15] đem lại kết quả khả quan. Tuy nhiên, về dự báo quỹ đạo vẫn còn tồn tại các sai số lớn. Do đó, trong nghiên cứu này nhóm tác giả thực hiện “dự báo quỹ đạo cơn bão Molave 2020 bằng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu”.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Cơ sở dữ liệu

Nguồn số liệu sử dụng trong nghiên cứu là số liệu GFS của trung tâm dự báo môi trường quốc gia Hoa Kỳ và trung tâm nghiên cứu khí quyển quốc gia Hoa Kỳ với độ phân giải ngang là 0.5×0.5 độ kinh vĩ và định dạng grib2 [16].

Số liệu quan trắc được trình bày trong bảng 1 theo kinh–vĩ có nguồn từ Cổng thông tin dữ liệu hải dương thuộc Hải Quân Mỹ (*Navy Oceanography Portal*).

Bảng 1. Số liệu quan trắc kinh vĩ độ của cơn bão Molave [19].

Thời gian	Kinh độ (°E)	Vĩ độ (°N)
00z 25/10/2020	126.4	13.4
06z 25/10/2020	124.7	13.4
12z 25/10/2020	123.1	13.4
18z 25/10/2020	121.9	13.1
00z 26/10/2020	120.4	13.1
06z 26/10/2020	118.9	13.4
12z 26/10/2020	117.7	13.2

Thời gian	Kinh độ (°E)	Vĩ độ (°N)
18z 26/10/2020	115.8	13.3
00z 27/10/2020	114.5	13.5
06z 27/10/2020	113.3	13.5
12z 27/10/2020	111.9	13.9
18z 27/10/2020	111.3	14.2
00z 28/10/2020	109.8	14.7
06z 28/10/2020	108.4	15.2
12z 28/10/2020	107.3	15.4
18z 28/10/2020	106.3	15.5
00z 29/10/2020	105.4	15.5

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Hệ thống dự báo tổ hợp tạo ra từ mô hình WRF

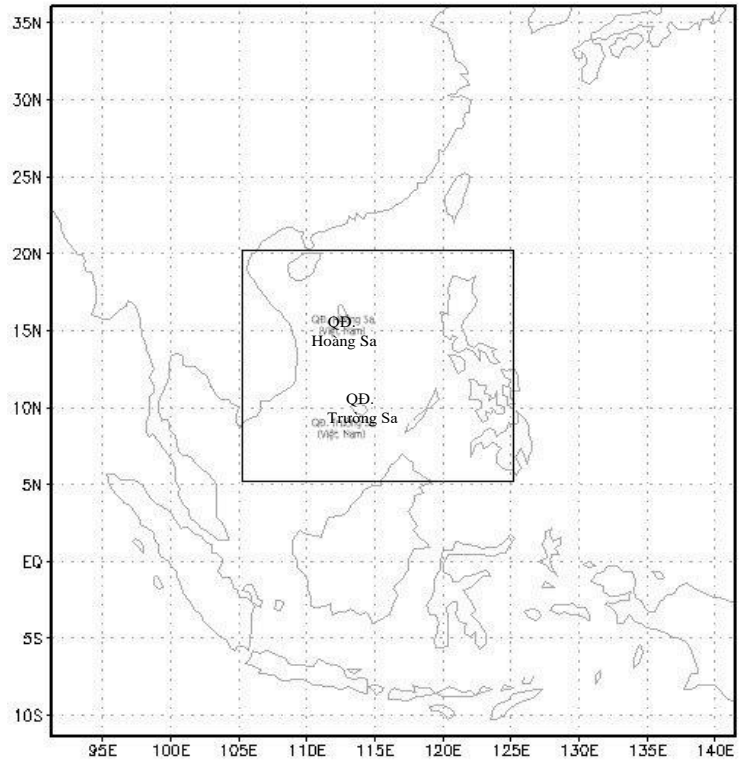
Dự báo tổ hợp đa vật lý được triển khai trong phiên bản V4.0 của mô hình WRF–ARW áp dụng phương pháp trung bình có trọng số của các tổ hợp tối ưu để tìm ra quỹ đạo bão tốt nhất. Mô hình WRF được lựa chọn kết hợp với một lưới lồng gồm hai miền tính sử dụng phép chiếu Mercator có độ phân giải ngang 36 km và 12 km tương ứng (miền lưới 1 gồm 151×151 điểm lưới và miền lưới 2 gồm 151×151 điểm lưới với tâm miền tính cố định 11,2°N – 112,3°E) được khởi tạo với số liệu từ hệ thống NCEP/GFS. Miền không gian của mô hình có 31 mực theo phương thẳng đứng (σ) với mực áp suất cao nhất (biên trên của mô hình) có giá trị là 10 hPa, và miền không gian này nằm ở gần trung tâm của biển Đông, về phía Đông của Việt Nam (Hình 1). Giai đoạn thử nghiệm dự báo với các phiên dự báo 12UTC ngày 25/10/2020, 00UTC ngày 26/10/2020.

Tổ hợp đa vật lý trong mô hình WRF gồm nhiều sơ đồ tham số mô tả các quá trình vật lý xảy ra trong khí quyển nhưng theo những nghiên cứu trước đây [15] đã sử dụng các sơ đồ được liệt kê trong bảng 2 để tạo ra dự báo tổ hợp đa vật lý trong mô hình WRF và có kết quả thu được tốt. Do đó trong nghiên cứu này cũng sử dụng các sơ đồ trên để tạo ra dự báo tổ hợp đa vật lý.

Bảng 2. Sơ đồ tham số hóa trong mô hình WRF ứng với các lựa chọn cụ thể [20].

Sơ đồ	Ký hiệu	Lựa chọn
Bức xạ sóng dài	ra_lw_physics	1. RRTM scheme
Bức xạ sóng ngắn	ra_sw_physics	1. Dudhia scheme 2. Goddard shortwave 1. Kessler scheme 2. Lin et al. scheme
Vi vật lý	mp_physics	3. WSM 3–class simple ice scheme 4. WSM 5–class scheme 5. Ferrier (new Eta) microphysics 6. WSM 6–class graupel scheme
Tham số hóa đối lưu	cu_physics	1. Kain–Fritsch scheme 2. Betts–Miller–Janjic scheme

Như vậy, tổng cộng có 21 kết hợp khác nhau của các sơ đồ vật lí được trong các thành phần tổ hợp khác nhau trong mô hình WRF theo một chuỗi các hoán vị của các sơ đồ vật lí đó, khi số lượng của các thành phần tổ hợp lớn hơn số lượng của các kết hợp, việc gán sẽ được lặp lại. Theo đó, 21 bộ mô hình vật lí gồm các sơ đồ sau: (1) sơ đồ vi vật lí gồm sơ đồ của Kessler, sơ đồ của Lin [18], vi vật lí Ferrier và các sơ đồ WSM3, WSM5, WSM6; (2) sơ đồ bức xạ sóng ngắn gồm sơ đồ của Dudhia và Goddard; (3) sơ đồ bức xạ sóng dài của RRTM và (4) hai sơ đồ tham số hóa đối lưu của Kain–Fritsch và Betts–Miller–Janjic (BMJ) (Bảng 3), và các tổ hợp kết hợp được đưa ra trong Bảng 3.



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu.

Bảng 3. Thành phần tổ hợp tương ứng với các sơ đồ vật lí khác nhau [16].

Thành phần tổ hợp	Ra_lw_physics	Ra_sw_physics	mp_physics	cu_physics
001	1	2	1	1
002	1	1	1	2
003	1	2	1	2
004	1	1	2	1
005	1	2	2	1
006	1	1	2	2
007	1	2	2	2
008	1	1	3	1
009	1	2	3	1
010	1	1	3	2
011	1	2	3	2
012	1	1	4	1
013	1	2	4	1
014	1	1	4	2
015	1	2	4	2
016	1	1	5	1
017	1	2	5	1
018	1	1	5	2

Thành phần tổ hợp	Ra_lw_physics	Ra_sw_physics	mp_physics	cu_physics
019	1	2	5	2
020	1	1	6	1
021	1	2	6	1

2.2.2. Phương pháp trung bình có trọng số

Kỹ thuật trung bình tổ hợp có lựa chọn trong nghiên cứu sử dụng thông tin về sai số vị trí thời hạn dự báo ngắn từ mỗi thành phần tổ hợp để tạo ra một giá trị trung bình để dự báo quỹ đạo thời hạn dài hơn. Do đó tổ hợp được hiểu là một phương pháp tổng hợp dựa trên sai số dự báo hạn ngắn (*Short Lead Time-SLT*) với lý thuyết là các thành phần có sai số thấp ở SLT sẽ có sai số dự báo hạn dài (*Long Lead Time-LLT*) nhỏ hơn. Trong nghiệp vụ, các sản phẩm tổ hợp thường đến được với các dự báo viên với độ trễ thời gian nhất định, điều này xuất phát từ các nguyên nhân như năng lực tính toán và truyền tải số liệu. Đối với các hệ thống tổ hợp, thời gian trễ thường là hơn 6 giờ. Ví dụ, sản phẩm dự báo của phiên dự báo theo giờ quốc tế 00UTC sẽ đến được với dự báo viên lúc 06UTC hoặc thậm chí muộn hơn. Độ trễ này cho phép các dự báo viên có thể đánh giá kỹ năng dự báo trong SLT, từ đó ước lượng độ tin cậy trong dự báo LLT của các thành phần tổ hợp này. Trong nghiên cứu thời hạn dự báo ngắn được xác định là 12 giờ bởi các lý do: i) các hệ thống tổ hợp sử dụng đều chạy tại 02 phiên 00UTC và 12UTC và các sản phẩm tổ hợp nghiệp vụ luôn có độ trễ hơn 6 giờ và ii) các sản phẩm từ hệ thống tổ hợp chỉ được cung cấp trong khoảng thời gian 12 giờ. Trung bình tổ hợp cuối cùng được xác định bởi các bước sau:

- Sai số vị trí SLT tại 12 giờ được tính toán cho các dự báo quỹ đạo từ tất cả các thành phần tổ hợp liên quan đến quan trắc;
- Sai số vị trí SLT trung bình của tất cả thành phần tổ hợp được tính toán;
- Các thành phần có sai số nhỏ hơn sai số SLT trung bình sẽ được lựa chọn;
- Hai giá trị trung bình tổ hợp sẽ được tính toán đơn giản bằng cách lấy trung bình cộng các thành phần được lựa chọn và tính trọng số các thành phần được lựa chọn với hệ số tỉ lệ nghịch với các thành phần tương ứng;
- Sai số trung bình và trọng số để tính toán quỹ đạo trung bình tổ hợp sẽ được điều chỉnh để khớp với vị trí SLT với các số liệu quan trắc mới nhất. Quỹ đạo được điều chỉnh cuối cùng ký hiệu là trung bình của các thành phần tổ hợp có lựa chọn (SEAV), trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp có lựa chọn (SEWE).

Hình 2 minh họa trường hợp tồn tại 3 thành phần tổ hợp (kí hiệu tương ứng là m1, m2, m3) được lựa chọn để xác định dự báo tổ hợp trọng số cuối cùng do đáp ứng chỉ tiêu sai số vị trí SLT nhỏ hơn so với sai số SLT trung bình của tất cả thành phần. Trong trường hợp này, dự báo LLT của 3 thành phần này sẽ được sử dụng để xác định dự báo SEAV hoặc dự báo SEWE cuối cùng.

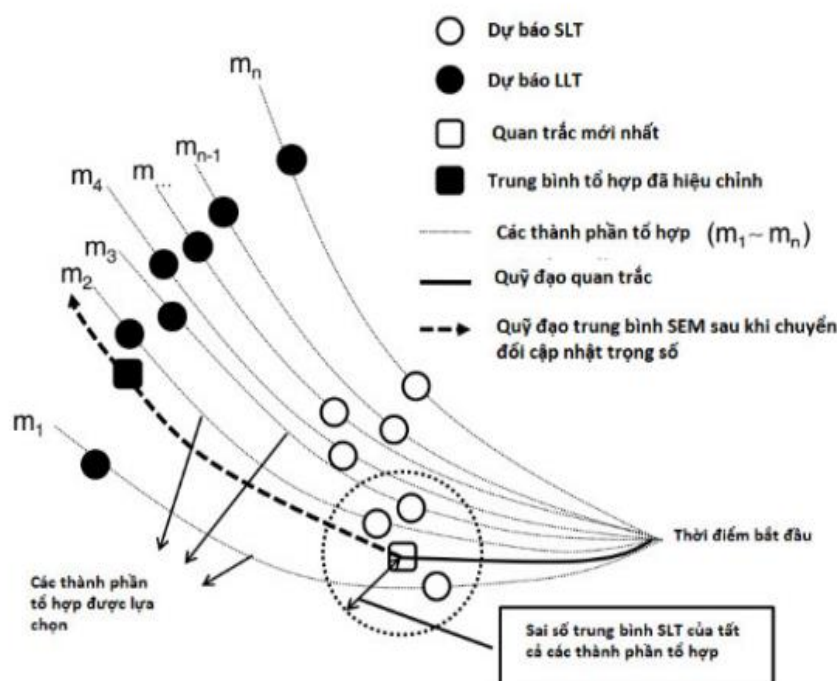
Sơ đồ trọng số được thiết kế để xác định trọng số dự báo quỹ đạo LLT bởi hệ số tỉ lệ nghịch với các sai số SLT tương ứng, được đặt tên là e₁, e₂, e₃. Khi đó, các trọng số được tính toán theo phương trình (1–3).

$$w_1 = \frac{1}{e_1}; w_2 = \frac{1}{e_2}; w_3 = \frac{1}{e_3} \tag{1}$$

$$x = (w_1 + w_2 + w_3) \tag{2}$$

$$W_1 = \frac{w_1}{x}; W_2 = \frac{w_2}{x}; W_3 = \frac{w_3}{x} \tag{3}$$

Với W₁, W₂, W₃ là các hệ số trọng số của các thành phần tối ưu. Tuy nhiên, một số thành phần được chọn lại không có dự báo LLT, đặc biệt là khi xoáy thuận nhiệt đới bước vào giai đoạn suy yếu. Trong trường hợp này, quy trình tính trọng số vẫn được áp dụng cho các thành phần còn lại và vẫn tuân theo phương trình từ (1–3). Trong phương pháp trung bình trọng số này, cần có ít nhất 2 thành phần tổ hợp cho tất cả các thời hạn dự báo.



Hình 2. Sơ đồ minh họa kỹ thuật trung bình tổ hợp có lựa chọn [9].

Như vậy, công thức tính trọng số của phương pháp này được mở rộng cho N thành phần tổ hợp, thành phần thứ i có sai số khoảng cách DPE (kí hiệu là e_i) ở hạn SLT, sẽ có dạng:

$$w_i = \frac{1}{e_i} \tag{4}$$

$$x = \sum_{i=1}^N w_i \tag{5}$$

$$W_i = \frac{w_i}{x} \tag{6}$$

Sau khi tính toán xong các hệ số trọng số, giá trị trung bình có trọng số SEWE của tổ hợp tối ưu sẽ được tính theo công thức:

$$SEWE = \sum_{i=1}^N (W_i e_i) \tag{7}$$

Các sai số đáp ứng ở hạn dự báo SLT liên quan đến chính mẫu thống kê của từng hệ thống dự báo tổ hợp. Ví dụ như sai số quỹ đạo đối với trung bình tổ hợp của ECMWF rơi vào khoảng 40–60 km đối với hạn dự báo 6–12 giờ và khoảng 60–100 km đối với hạn 12–24 giờ [11].

2.2.3. Phương pháp đánh giá

Sai số quỹ đạo tính theo công thức (8):

$$PE = R_e * \arccos [\sin(\alpha_1) * \sin(\alpha_2) + \cos(\alpha_1) * \cos(\alpha_2) * \cos(\beta_1 - \beta_2)] \tag{8}$$

Trong đó R_e là bán kính trái đất (6378,16 km); α_1, α_2 là vĩ độ của tâm bão thực tế và tâm bão do mô hình dự báo (đv radian); β_1, β_2 là kinh độ của tâm bão thực tế và tâm bão dự báo (đv radian). Sai số trung bình khoảng cách được tính như sau:

$$ATE_j = \frac{\sum_{i=1}^n PE_{i,j}}{n} \tag{9}$$

Trong đó TE là sai số khoảng cách của từng trường hợp dự báo; n là số trường hợp thử nghiệm; j là hạn dự báo.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Mối liên hệ giữa sai số dự báo hạn ngắn và trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu

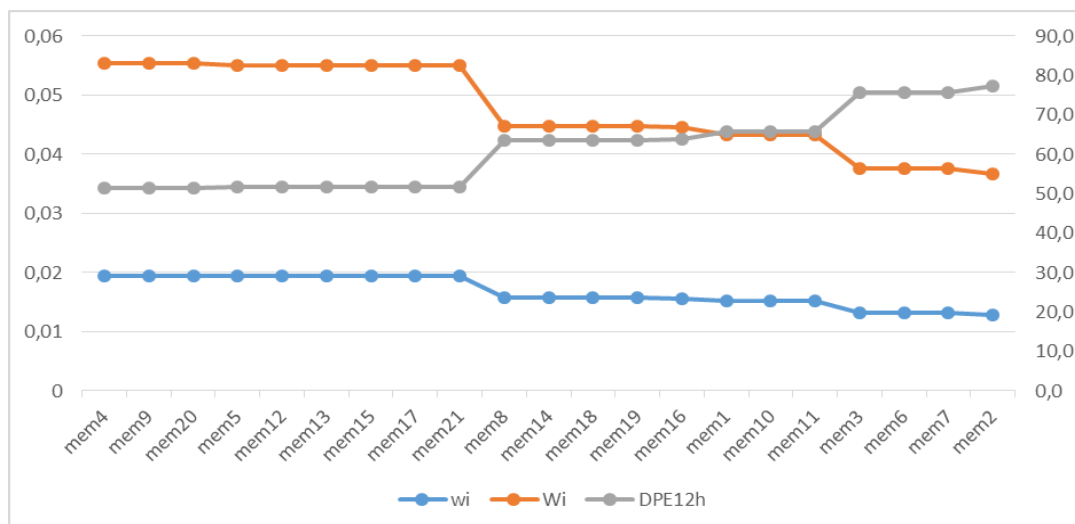
Sai số dự báo quỹ đạo hạn 12 giờ tại các phiên dự báo 00 giờ UTC ngày 25/10/2020, 12 giờ UTC ngày 25/10/2020, 00 giờ UTC ngày 26/10/2020 của từng thành phần tổ hợp so với các vị trí tâm bão quan trắc được thể hiện trong bảng 4. Các giá trị sai số này được áp dụng trong việc tìm số các thành phần sai số tối ưu theo các hạn ngắn 6 giờ và 12 giờ (kí hiệu DPE06 giờ và DPE12 giờ). Kí hiệu thành phần (TP) thứ 0 là mem00. Tùy vào sai số của từng thành phần mà các thứ tự (TT) sai số đã được sắp xếp lại từ nhỏ đến lớn. Tiếp theo nghiên cứu tìm các thành phần tổ hợp tối ưu là các thành phần có sai số dự báo 12 giờ nhỏ hơn sai số TBTH (Bảng 5).

Bảng 4. Sai số khoảng cách quỹ đạo tại từng phiên dự báo (đơn vị km).

Phiên dự báo 00z 25–10–2020				Phiên dự báo 12z 25–10–2020				Phiên dự báo 00z 26–10–2020			
DPE06	TT	DPE12	TT	DPE06	TT	DPE12	TT	DPE06	TT	DPE12	
mem08	36,3	mem04	51,4	mem01	11,9	mem08	31,9	mem12	38,8	mem04	23,5
mem09	36,3	mem09	51,4	mem02	11,9	mem09	31,9	mem09	41,8	mem11	23,5
mem12	36,3	mem20	51,4	mem03	11,9	mem20	31,9	mem02	47,9	mem07	23,5
mem13	36,3	mem05	51,6	mem08	11,9	mem21	31,9	mem05	47,9	mem14	23,5
mem16	36,3	mem12	51,6	mem09	11,9	mem01	36,3	mem06	47,9	mem15	23,5
mem05	48,3	mem13	51,6	mem04	23,2	mem06	36,3	mem07	47,9	mem05	35,3
mem17	48,3	mem15	51,6	mem05	23,2	mem07	36,3	mem08	47,9	mem08	35,3
mem21	48,3	mem17	51,6	mem06	23,2	mem10	36,3	mem10	47,9	mem09	35,3
mem03	48,6	mem21	51,6	mem07	23,2	mem11	36,3	mem11	47,9	mem06	35,3
mem04	48,6	mem08	63,5	mem10	23,2	mem12	41,3	mem13	47,9	mem12	35,3
mem06	48,6	mem14	63,5	mem11	23,2	mem13	41,3	mem14	47,9	mem13	35,3
mem07	48,6	mem18	63,5	mem12	23,2	mem16	41,3	mem15	47,9	mem16	35,3
mem10	48,6	mem19	63,5	mem13	23,2	mem17	41,3	mem16	47,9	mem17	35,3
mem11	48,6	mem16	63,8	mem14	23,2	mem02	41,4	mem17	47,9	mem19	35,3
mem14	48,6	mem01	65,6	mem15	23,2	mem03	41,4	mem20	47,9	mem20	35,3
mem15	48,6	mem10	65,6	mem16	23,2	mem04	41,4	mem21	47,9	mem21	35,3
mem18	48,6	mem11	65,6	mem17	23,2	mem05	41,4	mem18	48,4	mem10	39,3
mem19	48,6	mem03	75,6	mem18	23,2	mem14	41,4	mem19	48,4	mem01	47,4
mem20	48,6	mem06	75,6	mem19	23,2	mem15	41,4	mem01	53,2	mem18	47,4
mem01	51,1	mem07	75,6	mem20	23,2	mem18	41,4	mem04	55,9	mem03	59,5
mem02	51,8	mem02	77,4	mem21	23,2	mem19	41,4	mem03	58,1	mem02	61,9
TB	45,9	TB	61,1	TB	20,5	TB	38,3	TB	48,3	TB	36,3

Bảng 5. Số các thành phần tổ hợp tối ưu được lựa chọn.

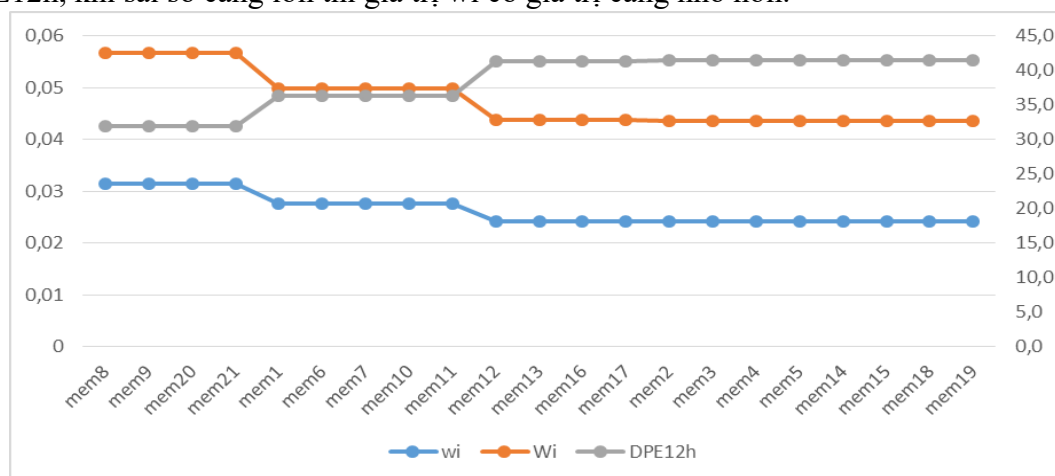
Phiên dự báo	Số thành phần < TB đạt ngưỡng hạn 6h	Số thành phần < TB đạt ngưỡng 12h
00UTC 25–10–2020	5	9
12UTC 25–10–2020	5	9
00UTC 26–10–2020	16	16



Hình 3. Biểu đồ chỉ số các trọng số của từng thành phần tổ hợp ứng với phiên dự báo 00UTC ngày 25/10/2020.

Từ dữ liệu bảng 4, tiến hành lấy số liệu các mem ngày 25/10/2020 lúc 00 UTC tại hạn dự báo 12 giờ so sánh với giá trị trung bình tổ hợp 21 mem tại hạn đó để lựa chọn ra được 9 thành phần tối ưu để dự đoán cho phiên dự báo tiếp theo 12 UTC ngày 25/10/2020. Các thành phần được thay vào các công thức (4), (6) để ra được các giá trị chỉ số dưới wi, tương tự là chỉ số dưới Wi đã thể hiện trên hình 3. Biểu đồ đã chỉ ra rằng Wi và DPE12h có tỉ lệ nghịch với nhau, biểu diễn bằng hai đường cam và xám, giá trị Wi có xu hướng giảm không đều, giảm khá mạnh tại các mem 8, mem 3. Tương ứng là giá trị DPE12h có sai số tăng không đều, có các sai số tăng khá mạnh tại mem 8 từ 51,6 lên 63,5 km, mem 3 từ 65,6 lên 75,6 km. Giá trị wi có xu hướng giảm tương tự với giá trị Wi và có tỉ lệ nghịch với DPE12h, khi sai số càng lớn thì giá trị wi có giá trị càng nhỏ hơn (Hình 3).

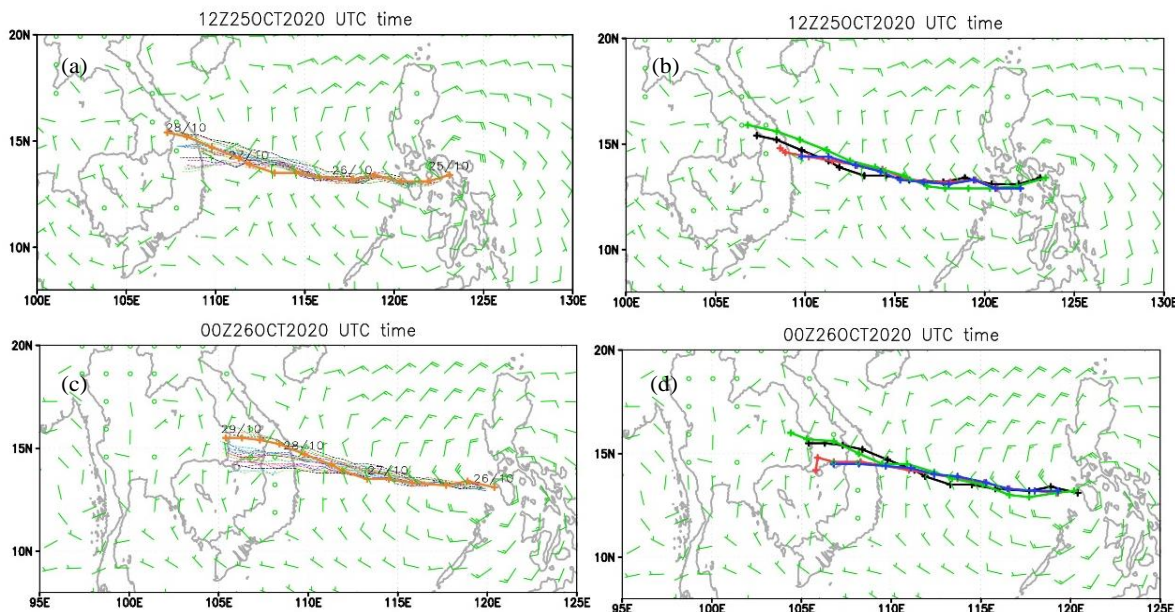
Trong hạn dự báo 12h của phiên dự báo 12 UTC ngày 25/10/2020 khi so sánh với giá trị trung bình tổ hợp 21 mem tại hạn dự báo đã chọn ra được 9 thành phần tối ưu để dự báo cho phiên dự báo tiếp theo 00 UTC ngày 26/10/2020. Biểu đồ hình 4 đã chỉ ra rằng Wi và DPE12h có tỉ lệ nghịch với nhau, biểu diễn bằng hai đường cam và xám, có tỉ lệ nghịch với nhau, giá trị Wi giảm đều, giảm khá mạnh tại mem 1, mem 12. Tương ứng là giá trị DPE12h có sai số tăng đều, tăng khá mạnh tại mem 1 từ 31,9 lên 36,3 km, mem 12 từ 36,3 lên 41,3 km. Giá trị wi có xu hướng giảm như Wi nhưng có mức độ giảm thấp hơn và tỉ lệ nghịch với DPE12h, khi sai số càng lớn thì giá trị wi có giá trị càng nhỏ hơn.



Hình 4. Biểu đồ chỉ số các trọng số của từng thành phần tổ hợp ứng với phiên dự báo 12UTC ngày 25/10/2020.

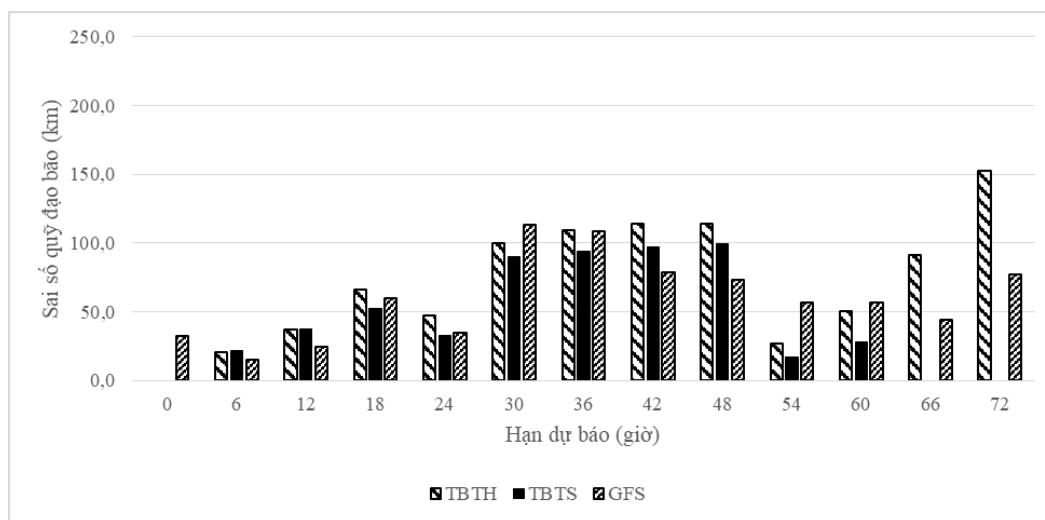
3.2. Hiệu chỉnh quỹ đạo dự báo

Từ các giá trị w_i , W_i được tính từ phân (3.1) nhóm nghiên cứu thực hiện thay vào công thức (7), tính ra được quỹ đạo theo phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tối ưu và thể hiện qua hình ảnh quỹ đạo hiệu chỉnh hình 5. Để đánh giá được khả năng dự báo, nhóm nghiên cứu tính toán các sai số của các phương pháp theo công thức (8), kết quả thu được trình bày trong hình 6.



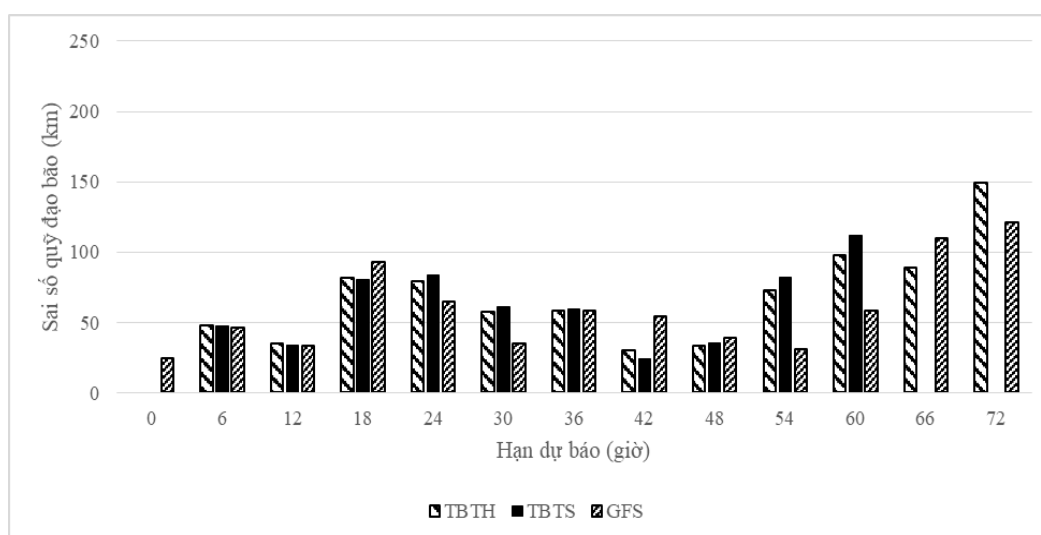
Hình 5. Quỹ đạo dự báo của các thành phần dự báo (a), (c) và quỹ đạo dự báo của các phương pháp dự báo khác (b), (d).

Hình 5a, 5c biểu diễn quỹ đạo thực bằng đường màu cam cùng với quỹ đạo của 21 mem bằng các đường đứt đoạn. Hình 5b, 5d biểu diễn quỹ đạo thực bằng đường màu đen và đường màu xanh lá biểu diễn GFS, màu xanh dương biểu diễn trung bình có trọng số, màu đỏ biểu diễn cho trung bình tổ hợp. Nhìn chung trong các phiên dự báo độ phân tán quỹ đạo dự báo nhỏ trong 24, 48 giờ đầu, độ phân tán tương đối lớn trong dự báo 72 giờ. Sai số quỹ đạo giữa các phương pháp dự báo cũng có độ sai số nhỏ trong dự báo 24, 48 giờ và sai số tương đối lớn trong dự báo 72 giờ. Số liệu về TBTH và TBTS bị thiếu dữ liệu hạn 00, 66, 72 do sau khi chạy mô hình dữ liệu được đưa ra từ 21 thành phần không có giá trị tại hạn 00, 66, 72 giờ.



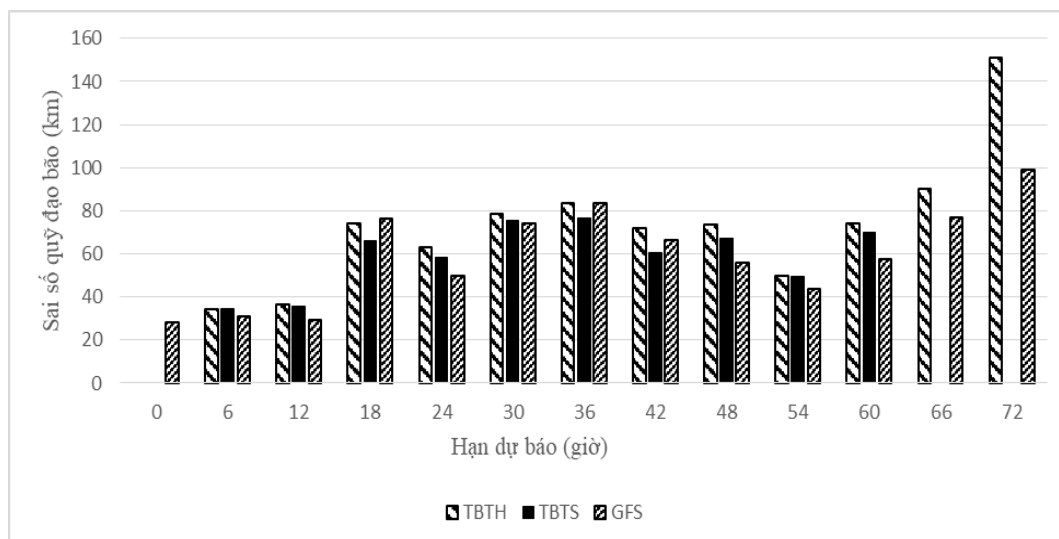
Hình 6. Sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp (TBTH), trung bình trọng số (TBTS) và GFS ở phiên dự báo 12z ngày 25/10/2020.

Quỹ đạo được tính bằng phương pháp TBTS tại phiên dự báo 12 UTC ngày 25/10/2020 từ các thành phần tối ưu được lựa chọn ra từ dự báo tại phiên 00 UTC trước đã dự báo tương đối chính xác hướng di chuyển của bão có hướng Tây trong 36 giờ đầu giống với hai phương pháp TBTH và GFS (5b). Từ hạn dự báo 42 đến 54 giờ cả ba phương pháp đều dự đoán bão sẽ đổi hướng di chuyển theo hướng Tây–Tây Bắc tuy nhiên hướng di chuyển của bão vẫn là hướng Tây (Hình 5b). Hạn 60 giờ, đã có sự khác biệt của ba phương pháp, trong đó GFS dự báo bão tiếp tục di chuyển hướng Tây–Tây Bắc đổ bộ vào tỉnh Quảng Nam, còn hai phương pháp TBTS, TBTH dự báo bão sẽ từ hướng Tây–Tây Bắc đổi sang hướng Tây đổ bộ vào tỉnh Bình Định (hình 5b). Sai số quỹ đạo của phương pháp TBTS so với phương pháp TBTH và GFS tại hạn dự báo 06, 12 giờ có sai số lớn hơn khoảng từ 0,3–12,8 km, tuy nhiên từ hạn dự báo 18–60 phương pháp TBTS có giá trị nhỏ hơn so với TBTH, GFS từ 2,0–39,6 km (Hình 6). Nhưng tại hạn dự báo 42–48 sai số của TBTS lại lớn hơn GFS từ 18,5–26,4 km (Hình 6). Điều này phù hợp với những nhận định của Trần Quang Năng rằng “ở các thời hạn ngắn 24–48 giờ và khi trường hợp các cơn bão có cường độ mạnh và quỹ đạo ổn định, phương pháp trung bình trọng số sẽ giảm thiểu được sai số dự báo quỹ đạo trung bình tổ hợp” [10]. Nhìn chung phương pháp TBTS đã cải thiện được khả năng dự báo quỹ đạo với khoảng 53,8% tổng các hạn dự báo có sai số nhỏ hơn so với TBTH.



Hình 7. Sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp (TBTH), trung bình trọng số (TBTS) và GFS ở phiên dự báo 00z ngày 26/10/2020.

Quỹ đạo dự báo tại phiên dự báo 00 UTC ngày 26/10, trong 30 giờ đầu, cả ba phương pháp đều dự báo bão di chuyển theo hướng Tây khá chính xác so với quỹ đạo thực. Tại hạn 36 giờ, bão đổi hướng từ Tây sang Tây–Tây Bắc, hai phương pháp TBTS và TBTH dự báo bão di chuyển theo hướng Tây, đổ bộ vào khu vực tỉnh Quảng Ngãi–Bình Định (hình 5d). Phương pháp GFS dự báo bão di chuyển theo hướng Tây và đổi hướng thành Tây–Tây Bắc tại hạn 48, đổ bộ vào khu vực Quảng Ngãi–Bình Định (Hình 5d). Sai số quỹ đạo của phương pháp TBTS chưa tối ưu hơn so với phương pháp TBTH và GFS vì có sai số nhỏ hơn chiếm tỉ lệ nhỏ trong các hạn dự báo, chỉ có sai số nhỏ hơn khoảng 0,4–5,5 km tại hạn 6, 12, 18 so với TBTH và có sai số nhỏ hơn khoảng 4,1–30,1 km tại hạn 18, 42, 48 so với GFS (Hình 7). Các hạn dự báo còn lại sai số của TBTS lớn hơn từ 1,1–13,8 km so với TBTH và 0,2–53,7 km so với GFS (Hình 7). Dù phương pháp TBTS đã cải thiện được quỹ đạo tại phiên dự báo trước tuy nhiên tại phiên dự báo này lại cho thấy rằng phương pháp TBTS cải thiện được khả năng dự báo với 26,9% tổng các hạn dự báo có sai số nhỏ hơn so với TBTH. Trường hợp này tuy kết quả không khả quan nhưng phù hợp với nhận định của [21–22] là phương pháp TBTS cải thiện hơn so với phương pháp TBTH trong hạn dự báo ngắn 6h và chưa cải thiện ở hạn 48 giờ trở lên.



Hình 8. Sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp (TBTH), trung bình trọng số (TBTS) và GFS của 2 phiên dự báo.

Từ hình 8, khi so sánh sai số của TBTS và TBTH trung bình trong 2 phiên cho thấy sai số quỹ đạo của phương pháp TBTS nhỏ hơn so với TBTH từ 0,5–11,3 km tại hạn 12 đến 60 giờ và lớn hơn 0,5 km tại hạn 6 giờ. So với phương pháp TBTS và GFS có sai số quỹ đạo nhỏ hơn từ 5,8–10,1 km tại hạn 18,36,42 và lớn hơn từ 1,3–12,5 km tại các hạn còn lại. Nhìn chung trong cả 2 phiên dự báo, phương pháp TBTS đã cải thiện được khả năng dự báo quỹ đạo bão so với hai phương pháp TBTH và GFS.

4. Kết luận

Mục tiêu ứng dụng và thử nghiệm phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu để dự báo quỹ đạo bão Molave 2020. Nghiên cứu đã giới thiệu được phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu và áp dụng thử nghiệm với hệ thống dự báo tổ hợp được tạo ra từ mô hình WRF đối với cơn bão Molave tại 2 phiên dự báo: 12z ngày 25/10/2020, 00z ngày 26/10/2020. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy trong các hạn dự báo ngắn, phương pháp TBTS dự báo quỹ đạo bão cải thiện hơn so với TBTH khi có sai số nhỏ hơn từ 2,0–39,6 km tại hạn dự báo 18–60 h trong phiên 12z ngày 25/10 và sai số nhỏ hơn 0,4–5,5 km tại hạn dự báo 6, 12, 18 h của phiên 00z ngày 26/10. Khi so sánh trung bình trong 2 phiên, TBTS nhỏ hơn TBTH từ 0,5–11,3 km tại hạn 12–60 h.

Ngoài ra, trong phiên dự báo 12z ngày 25/10/2020, phương pháp TBTS chiếm 53,9% tổng các hạn dự báo có sai số nhỏ hơn so với TBTH. Trong phiên tiếp theo tỉ lệ giảm xuống chỉ còn 26,9%. Tuy nhiên trung bình trong cả 2 phiên dự báo tỉ lệ sai số nhỏ hơn của TBTS so với TBTH chiếm 52,2%.

Các trường hợp thử nghiệm trong nghiên cứu chỉ áp dụng cho một cơn bão nên chỉ có kết luận cho một trường hợp cụ thể. Cần được thử nghiệm nhiều cơn bão trong nhiều phiên hơn để đưa ra được nhận định tổng quan về khả năng ứng dụng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu trong công tác dự báo quỹ đạo bão ảnh hưởng đến Việt Nam.

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

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. Toàn, P.N.; Đắc, P.T. Đặc điểm khí hậu Việt Nam. *NXB Khoa học và kỹ thuật Hà Nội*. 1992, 232, 201–206
2. Minh, T.C. Khí hậu và khí tượng đại cương. *NXB Đại học quốc gia Hà Nội*. **2007**.
3. Tsai, H.C.; Russell, L.E. Detection of tropical cyclone track changes from the ECMWF ensemble prediction system. *Geophys. Res. Lett.* **2013**, *40*, 797–801. <https://doi.org/10.1002/grl.50172>.
4. Goerss, J.S.; Sampson, C.R.; Gross, J.M. A history of western North Pacific tropical cyclone track forecast skill. *Weather Forecasting* **2004**, *19*, 633–638.
5. Elsberry, R.L.; Carr, L.E. Consensus of dynamical tropical cyclone track forecasts: Errors versus spread. *Mon. Weather Rev.* **2000**, *128*, 4131–4138. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2000\)129<4131:CODTCT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2000)129<4131:CODTCT>2.0.CO;2).
6. Carr, L.E.; Elsberry, R.L. Dynamical tropical cyclone track forecast errors. Part I:
7. Tropical region error sources. *Weather Forecasting* **2000**, *15*, 641–661.
8. Carr, L.E.; Elsberry, R.L.; Peak, J.E. Beta test of the systematic approach expert system prototype as a tropical cyclone track forecasting aid. *Weather Forecasting* **2001**, *16*, 355–368.
9. Elsberry, R.L.; Hughes, J.R.; Boothe, M.A. Weighted position and motion vector consensus of tropical cyclone track prediction in the western North Pacific. *Mon. Wea. Rea.* **2008**, *136*, 2478–2487. <https://doi.org/10.1175/2007MWR2262.1>.
10. Năng, T.Q.; Tiến, T.T. Phương pháp hiệu chỉnh dự báo quỹ đạo bão từ sản phẩm hệ thống dự báo tổ hợp thông qua lựa chọn thành phần tổ hợp tối ưu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, *718*, 1–10.
11. Qi, L.B.; Yu H.; Chen, P.Y. Selective ensemble–mean technique for tropical cyclone track forecast by using ensemble prediction systems. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **2014**, *140*, 805–813.
12. Tiến, T.T.; Mai, H.T.; Thanh, C. An Application of the Ensemble Kalman Filter on 5 days Forecasting Track and Intensity Tropical Cyclone. *VNU J. Sci.: Nat. Sci. Technol.* **2013**, *29(2S)*, 201–206.
13. Tien, D.D.; Thanh, N.D.; Mai, H.T.; Chanh, K. A study of the connection between tropical cyclone track and intensity errors in the WRF model. *Meteorol. Atmos. Phys.* **2013**, *121(3–4)*, 12.
14. Kieu, C.Q.; Truong, N.M.; Mai, H.T.; Ngo–Duc, T. Sensitivity of the Track and Intensity Forecasts of Typhoon Megi (2010) to Satellite–Derived Atmosphere Motion Vectors with the Ensemble Kalman filter. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **2012**, *29*, 179–1810.
15. Chanh, K.; Minh, P.T.; Mai, H.T. An Application of the Multi–Physics Ensemble Kalman Filter to Typhoon Forecast. *Pure Appl. Geophys.* **2013**, *170*, 745–954.
16. Minh, P.T.; Hằng, N.T.; Thủy, P.K.; Gia, C.N.H. Ứng dụng phương pháp đa vật lý xác định sai số mô hình WRF mô phỏng quỹ đạo và cường độ cơn bão Usagi 2018. *Sci. Tech. Dev. J. Sci. Earth Environ.* **2021**, *5(1)*, 298–311.
17. <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs> .
18. Lin, Y.L.; Faley, D.; Orvilli, D. Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *J. Clim. Appl. Meteorol.* **1983**, *22*, 1065–1092.
19. <https://www.metoc.navy.mil/jtwc/jtwc.html?western-pacific>.
20. <http://homepages.see.leeds.ac.uk/~lecrb/wrf/aRWUsersGuide.pdf>.

21. Nishimura, M.; Yamaguchi, M. Selective ensemble mean technique for tropical cyclone track forecasts using multi-model ensembles. *Trop. Cyclone Res. Rev.* **2015**, *4*, 71–78.
22. Du, Y.; Qi, L.; Cao, X. Selective ensemble-mean technique for tropical cyclone track forecast by using time-lagged ensemble and multi-centre ensemble in the western North Pacific. *Q. J. R. Meteorolog. Soc.* **2016**, *142*, 2452–2462.

Forecasting the track Molave storm in 2020 by of the weighted average method of the optimal ensemble members

Minh Thi Pham^{1*}, Dap Xuan Pham², Hang Thi Nguyen³, Tuong Hong Tran⁴, Thuy Kim Pham³

¹ Department of Meteorology, Hydrology and Climate change, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; minhpt201@gmail.com

² Student of Department of Meteorology, Hydrology and Climate change, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; Phamdap18@gmail.com

³ Department of General Science Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; hang.nguyen687@gmail.com; pkthuy.math@gmail.com

⁴ Department of Information Systems and Remote Sensing, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; tthuong@hcmunre.edu.vn

Abstract: In this paper, the authors forecast the track of Molave storm in 2020 using the ensemble prediction system created from the WRF model. Then the track prediction results are calculated by the weighted average method of the optimal ensemble members (the members with short-term track error are smaller than the ensemble average track error). Experimental results show that, in the direction of movement, at forecast periods longer than 2 days when the ensemble dispersion of the forecast tracks is large, the TBTS (weighted average of the optimal ensemble members) forecasted more effective than TBTH (ensemble mean). In terms of forecasting error, TBTS's track error is significantly improved compared to that of TBTH in some forecasting terms. Specifically, the storm track error of TBTS improved from 2% to 15% in the forecast period 2 days, and in the forecast term after 2 days, it only improved 1% to 6% compared to the ensemble average method. This result initially shows the advantage of the weighted average method of the optimal ensemble members.

Keywords: Weighted average; Ensemble forecasting; Selective forecasting; Storm.

Bài báo khoa học

Xác định chuyển dịch trên phạm vi lãnh thổ Việt Nam dựa vào dữ liệu của các trạm CORS thuộc mạng lưới VNGEONET

Nguyễn Gia Trọng¹, Nguyễn Việt Nghĩa^{1*}, Phạm Công Khải¹, Nguyễn Hà Thành², Lý Lâm Hà³, Vũ Trung Dũng⁴, Nguyễn Việt Quân⁵, Phạm Ngọc Quang¹

¹ Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mở - Địa chất; nguyengiatrong@humg.edu.vn; nguyenvietnghia@humg.edu.vn; phamcongkhai@humg.edu.vn; phamngocquang@humg.edu.vn

² Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; hathanh5984@gmail.com

³ Phòng kinh tế và hạ tầng huyện Cam Lâm, Khánh Hòa; funnylams@gmail.com

⁴ Trường Đại học Nông lâm Bắc Giang; dungcnl@gmail.com

⁵ Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam; vngeonet@monre.gov.vn

*Tác giả liên hệ: nguyenvietnghia@humg.edu.vn; Tel.: +84-947868139

Ban Biên tập nhận bài: 13/6/2022; Ngày phản biện xong: 14/07/2022; Ngày đăng bài: 25/07/2022

Tóm tắt: Nghiên cứu chuyển dịch kiến tạo mảng là một nhiệm vụ đã và đang được tiến hành thường xuyên và liên tục tại Việt Nam. Kết quả của nghiên cứu chuyển dịch kiến tạo mảng góp phần đánh giá mức độ tai biến địa chất cũng như góp phần vận hành các công trình trên khu vực một cách an toàn. Tại Việt Nam, từ năm 2016 đến cuối năm 2019, mạng lưới VNGEONET bao gồm 65 trạm CORS được xây dựng, phân bố trên toàn lãnh thổ Việt Nam phục vụ cho nhiều mục đích, trong đó có mục đích nghiên cứu chuyển dịch kiến tạo mảng. Dựa trên dữ liệu đo GNSS từ năm 2019 đến năm 2022, đã xác định chuyển dịch cho 17 điểm trên lãnh thổ Việt Nam. Kết quả tính toán trong nghiên cứu này cho thấy sự tương đồng về độ lớn cũng như hướng chuyển dịch khi so sánh với các kết quả đã công bố trước đó, tuy nhiên độ chính xác được nâng lên. Với chuỗi dữ liệu đo dài sẽ góp phần nâng cao độ chính xác xác định chuyển dịch lên 30%. Bên cạnh đó, sự khác biệt về tốc độ chuyển dịch lên tới xấp xỉ 1 cm giữa các điểm là điều cần chú ý khi tiến hành hiện đại hóa hệ quy chiếu trắc địa tại Việt Nam.

Từ khóa: Gamit/Globk; CORS; Chuyển dịch kiến tạo mảng; Xử lý số liệu GNSS; Định vị tuyệt đối chính xác.

1. Mở đầu

Lớp vỏ Trái đất được tạo thành từ các mảng kiến tạo, các mảng này liên tục dịch chuyển theo các hướng khác nhau và là nguyên nhân gây nên các tai biến địa chất cũng như ảnh hưởng đến sự đồng nhất tọa độ của các điểm trong cùng hệ quy chiếu. Do đó, quan trắc chuyển dịch vỏ trái đất là nhiệm vụ được thực hiện thường xuyên và liên tục. Trước đây, các điểm quan trắc hoạt động dịch chuyển kiến tạo bằng phương pháp đo đạc trắc địa được bố trí đơn giản và không cần nhiều điểm khi đứt gãy không bị phân đoạn và có biểu hiện hoạt động đồng nhất trong suốt chiều dài của nó. Trong trường hợp ngược lại, từng phân đoạn đứt gãy cần thiết phải có điểm quan trắc. Có như vậy, số liệu đo bằng phương pháp đo đạc trắc địa mới có thể cho phép xác định được mô hình biến dạng phản ánh chính xác và chi tiết hoạt

động của đứt gãy [1]. Khi hệ thống GNSS bắt đầu được đưa vào sử dụng trong quan trắc chuyên dịch kiến tạo mảng, phương pháp quan trắc bằng công nghệ GNSS này chủ yếu được thực hiện theo phương pháp đo tương đối tĩnh truyền thống. Theo đó, lựa chọn vị trí xây dựng các mốc quan trắc và đến thời điểm (theo chu kỳ xác định trước) sẽ đem máy đến lắp để đo. Từ khi, hệ thống mạng lưới các trạm thu tín hiệu GNSS liên tục (CORS) được triển khai đã cho phép xác định chuyên dịch với dữ liệu dài hơn, chính xác hơn cũng như cho phép thực hiện nhiều mục đích hơn so với phương pháp đo đạc trắc địa truyền thống. Hệ thống GNSS –CORS đã được xây dựng phổ biến trên thế giới, dựa trên dữ liệu thu được từ các mạng lưới này nhiều kết quả xác định chuyên dịch đã được công bố. [2] đã sử dụng phương pháp PPP để xác định tọa độ của 14 trạm CORS trước và sau trận động đất tại Thổ Nhĩ Kỳ năm 2011.

Như đã trình bày ở phía trên, các phần mềm Bernese, Gamit/Globk là các phần mềm được sử dụng một cách rộng rãi trong nghiên cứu chuyên dịch kiến tạo mảng. [3] trên cơ sở sử dụng phần mềm Gamit/Globk của các trạm CORS với thời gian đo 7 năm để phát hiện chuyển động kiến tạo dài hạn ở các tỉnh Pohang và Gyeongju từ đó cũng suy ra được các thông số chuyển động của lớp vỏ liên quan đến lý thuyết đàn hồi. [4] đã sử dụng phần mềm FEM để phân tích kết quả chuyên dịch bằng cách sử dụng phần mềm Gamit/Globk để phân tích chuyên dịch của các trạm CORS tại Thổ Nhĩ Kỳ trong giai đoạn 2008–2014. Cũng tại Thổ Nhĩ Kỳ, [5] đã phân tích dữ liệu của 11 trạm CORS trong thời gian tháng 1 năm 2020 sử dụng phần mềm Gamit/Globk để phát hiện được lượng chuyên dịch 20 ÷ 60 mm tại các điểm gần tâm chấn. Lượng chuyên dịch về độ cao không được xem xét trong nghiên cứu này. [6] phân tích dữ liệu chuyên dịch tại trên cơ sở đó thiết lập mặt quy chiếu chuyên dịch cho phần đất liền của Trung Quốc.

Sử dụng mô đun FODITS trong bộ phần mềm Bernese, [7] đã phân tích lượng chuyên dịch tuyến tính và phi tuyến tính tại Cyprus với dữ liệu thu thập trong giai đoạn 2011–2017 trong khung tham chiếu IGB08. Lượng chuyên dịch của Cyprus được các tác giả tham chiếu đến 4 mảng liền kề của khu vực thực nghiệm. Cũng trên cơ sở sử dụng phần mềm Bernese, [8] đã phân tích chuỗi dữ liệu trong khoảng thời gian 2007–2014 để thiết lập lại mặt quy chiếu trắc địa cục bộ sau trận động đất ở Tohoku năm 2011.

Mạng lưới trạm CORS của Ai Cập thiết lập vào năm 2011 được xác định tọa độ trong ITRF2008, [9] đã sử dụng kết hợp cả phần mềm TBC (*Trimble Business Center*), Bernese, Gamit/Globk để cập nhật tọa độ cho các điểm trong ITRF 2014. Kết quả cập nhật cho thấy, trong giai đoạn 2011–2019, chênh lệch tọa độ đạt 0,237 m và 0,253 m tương ứng với thành phần tọa độ 2D và 3D. Vận tốc thay đổi tọa độ lần lượt là 29,7 và 31,7 mm/năm tương ứng với thành phần 2D và 3D.

Tại Việt Nam, đã có nhiều nghiên cứu dịch chuyển kiến tạo tại nhiều khu vực khác nhau, sử dụng phương pháp đo tương đối của công nghệ GNSS. Với dữ liệu đo GNSS tại 4 thời điểm từ năm 2002 đến năm 2004, tác giả Dương Chí Công (2006) đã sử dụng phần mềm Gamit/Globk và xác định được lượng chuyên dịch của đứt gãy Lai Châu–Điện Biên là khoảng 36 mm (theo hướng Đông) và –9 mm (theo hướng Bắc). Các kết quả nêu trên hoàn toàn phù hợp với chuyên dịch của khu vực Đông Dương [10]. Cũng với phương pháp tiếp cận như trên, Vy Quốc Hải đã xác định được chuyên dịch tuyệt đối khu vực Tam Đảo–Ba Vì bằng cách sử dụng phần mềm Bernese 4.2 để xử lý số liệu đo trong năm 1996 và 2006. Các kết quả tính toán của tác giả phù hợp với kết quả tính toán của đề án GEODYSSSEA [11], [12] trên cơ sở xử lý dữ liệu thu thập được tại 27 trạm đo ở miền Bắc Việt Nam trong giai đoạn 1994–2007 đã xác định được tốc độ chuyển dịch về phía Đông của tất cả các trạm là $34,5 \pm 1$ mm/năm và về hướng Bắc dao động từ -13 ± 1 mm đến -12 ± 1 mm/năm.

[13] trên cơ sở ứng dụng 7 điểm đo tương đối tĩnh GNSS để xác định chuyển dịch tân kiến tạo biển Đông thời kỳ 2007–2008 bằng phần mềm Bernese 5.0. Trên cơ sở sử dụng dữ liệu đo GNSS liên tục từ 2006 đến 2010 với giải pháp xử lý số liệu sử dụng phần mềm Gamit/Globk, [14] đã xác định dịch chuyển tương đối giữa 3 điểm đo GNSS tại Việt Nam và

4 điểm khác trong khu vực Đông Nam Á trong Khung quy chiếu ITRF2005 với sai số xác định các thành phần chuyển dịch lớn nhất là 1,7 mm/năm.

Đặc điểm chung của các nghiên cứu trên đó là: (1) sử dụng số liệu đo tương đối tĩnh theo phương pháp đo truyền thống; (2) sử dụng phần mềm xử lý theo phương án xử lý lưới không chế; và (3) chưa bàn đến việc sử dụng các mô hình toán để phân tích dữ liệu quan trắc theo chuỗi thời gian.

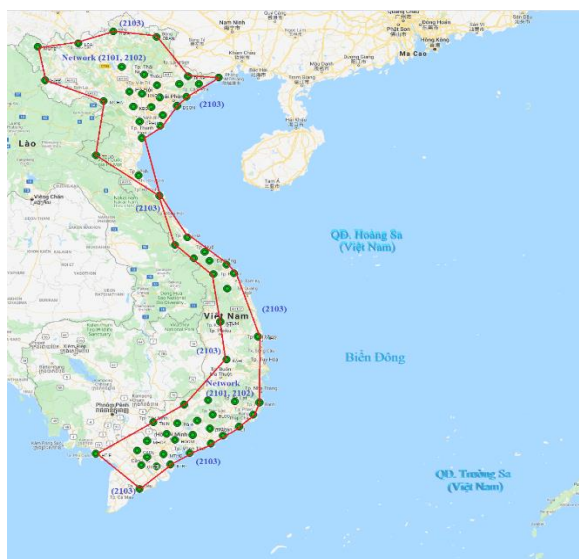
Trong thời gian gần đây, khi hệ thống định vị vệ tinh quốc gia Việt Nam (VNGEONET) sử dụng công nghệ GNSS-CORS được hoàn thiện, phương pháp định vị tuyệt đối chính xác (PPP) với thời gian đo từ 1 giờ trở lên cho độ chính xác ở mức cm và được áp dụng trong nghiên cứu chuyển dịch kiến tạo ở Việt Nam. [15] đã sử dụng phương pháp này để xác định chuyển dịch cho một số trạm CORS trên lãnh thổ Việt Nam với dữ liệu đo trong giai đoạn 2016–2018. Độ chính xác xác định các thành phần tọa độ lớn nhất là 4 mm (theo hướng Bắc), 4 mm (theo hướng Đông) và 8 mm (về độ cao). Kết quả xác định chuyển dịch này cũng được so sánh với kết quả xác định sử dụng phần mềm Gamit/Globk và Bernese với độ lệch ở mức mm [15].

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

Hệ thống trạm định vị vệ tinh quốc gia Việt Nam (VNGEONET) bao gồm 65 trạm GNSS-CORS bao gồm: 24 trạm Geodetic với khoảng cách trung bình giữa các trạm 150÷200 km và 41 trạm NRTK được bố trí tại 3 khu vực đó là: Đồng bằng Bắc Bộ và khu vực Thanh Hóa; khu vực miền Trung và Tây nguyên; khu vực Nam bộ với khoảng cách trung bình 50÷80 km. Sơ đồ phân bố các trạm CORS được cho trong Hình 1. Kết cấu các mốc của tất cả 65 trạm CORS thuộc VNGEONET đều là loại mốc chôn sâu tới tầng đá gốc, đảm bảo đủ điều kiện cung cấp dữ liệu cho các nghiên cứu chuyển dịch kiến tạo, cũng như các yêu cầu khác trong các nghiên cứu khoa học về trái đất (Hình 2). Trong nghiên cứu này, dữ liệu của 17 trạm CORS thuộc mạng lưới VNGEONET thu được trong giai đoạn 2019–2022 đã được sử dụng. Thông tin chi tiết về dữ liệu được trình bày trong Bảng 1. Trong Bảng 1, các điểm có chỉ số (1) là các trạm Geodetic CORS. Như đã trình bày ở phía trên, để xử lý số liệu GNSS trong nghiên cứu chuyển dịch kiến tạo, có thể sử dụng phương pháp định vị tuyệt đối chính xác hoặc xử lý dữ liệu lưới quan trắc GNSS bằng một phần mềm có độ chính xác cao như: Bernese, Gamit/Blobk. Với dữ liệu trong thời gian dài thu được bởi các trạm CORS, xác định được lượng chuyển dịch theo từng ngày trong chuỗi dữ liệu.

Bảng 1. Thông tin về dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu.

Tên các trạm, tỉnh	Loại ăng ten	Loại máy thu	Dạng dữ liệu	Tần suất (s)	Thời gian có dữ liệu
ANHO(1) (Bình Định)	LEIAR25.R4	LEICA	RINEX;	30	26/08/2019 –
QNAM(1) (Quảng Nam)	LEIT	GR50	phiên bản		18/03/2022
MCAI(1) (Quảng Ninh)			2.11		
SDON (Bắc Giang)					
HCMV (TP Hồ Chí Minh)					
BTRI (Bến Tre)					
KANH(1) (Hà Tĩnh)					
CLON (Trà Vinh)					
HYEN (Hưng Yên)					
THOA(1) (Thanh Hóa)					
CTHO (Cần Thơ)					
CPHU (Ninh Bình)					
VINV(1) (Nghệ An)					
TQUA(1) (Tuyên Quang)					
TDOU(1) (Nghệ An)					
HTIE(1) (Kiên Giang)					
MGTE (Lai Châu)					



Hình 1. Sơ đồ phân bố trạm CORS tại Việt Nam.



Hình 2. Một trạm CORS thuộc mạng lưới VNGEONET.

Tuy nhiên, giá trị chuyển dịch của các ngày có sai số lớn do ảnh hưởng của nhiều yếu tố khách quan sẽ không phản ánh hết quy luật chuyển dịch của đới đứt gãy, mảng kiến tạo theo thời gian. Để có thể phân tích và tìm ra quy luật chuyển dịch của các đới đứt gãy, mảng kiến tạo dựa vào chuỗi thời gian, sử dụng các mô hình toán học để xác định được quy luật chuyển dịch theo mùa, xu hướng chuyển dịch theo năm ... [16].

Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng phần mềm Gamit/Blobk để xử lý dữ liệu các dữ liệu của 17 điểm thuộc hệ thống VNGEONET từ ngày 26 tháng 08 năm 2019 đến ngày 18 tháng 03 năm 2022. Phần mềm Gamit/Globk được phát triển bởi Viện Công nghệ Massachusetts (MIT), Viện Hải dương học Scipps và Đại học Harvard; chuyên dùng để phân tích số liệu GNSS phục vụ chủ yếu cho các mục đích về nghiên cứu biến dạng và chuyển dịch vỏ Trái đất, nghiên cứu khí quyển cũng như tính toán quỹ đạo. Trong đó, môđul Gamit (viết tắt của GNSS at MIT) là một bộ chương trình xử lý các dữ liệu pha để đưa ra các tính toán vị trí không gian 3 chiều của các trạm thu trên mặt đất và quỹ đạo vệ tinh, độ trễ khí quyển cũng như các tham số định hướng Trái đất. Môđul GLOBK (*Global Kalman filter*) là một bộ lọc Kalman với mục đích chính là kết hợp nhiều lời giải trắc địa khác nhau như GPS, VLBI, SLR. Đây là phần mềm được thiết kế để có thể chạy trên bất kỳ hệ điều hành UNIX nào, bao gồm LINUX và MacOS.

3. Kết quả và thảo luận

Kết quả xác định chuyển dịch từ phần mềm Gamit/Globk của 17 điểm trong thời gian 2 năm 7 tháng, được xác định với phương pháp tính toán như trên và được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả xác định chuyển dịch của 10 trạm CORS – VNGEONET.

TT	Tên điểm	Vĩ độ	Kinh độ	VE/ sai số (mm/năm)	VN/sai số (mm/năm)	VP (mm/năm)
1	ANHO	13.90600	109.10474	28,80/1,31	-11,10/1,30	30,87
2	BTRI	10.04683	106.59719	28,56/1,33	-9,41/1,31	30,07
3	CLON	9.99284	106.20316	34,48/1,33	-8,40/1,31	35,49
4	CPHU	20.24641	105.71999	31,80/1,31	-8,76/1,30	32,98
5	CTHO	10.02682	105.76838	26,00/1,32	-7,90/1,31	27,17
6	HCMV	10.79511	106.73414	27,64/1,31	-9,72/1,30	29,30
7	HTIE	10.36954	104.45289	25,56/1,34	-10,09/1,32	27,48
8	HYEN	20.66645	106.05089	32,42/1,31	-5,43/1,30	32,87
9	KANH	18.08687	106.28541	31,26/1,31	-8,35/1,30	32,36

TT	Tên điểm	Vĩ độ	Kinh độ	VE/ sai số (mm/năm)	VN/sai số (mm/năm)	VP (mm/năm)
10	MCAI	21.51838	107.98163	33,02/1,31	-9,70/1,31	34,42
11	MGTE	10.36954	104.45289	33,60/1,32	-7,65/1,31	34,46
12	QNAM	15.79284	108.41420	30,28/1,31	-10,24/1,30	31,96
13	SDON	21.33510	106.84935	33,91/1,31	-12,36/1,31	36,09
14	TDUO	19.26309	104.47053	32,07/1,32	-8,33/1,31	33,13
15	THOA	19.76207	105.77806	30,71/1,31	-9,22/1,30	32,06
16	TQUA	21.82360	105.21007	32,83/1,31	-8,63/1,30	33,95
17	VINH	18.67552	105.69104	31,02/1,31	-9,16/1,30	32,34

Trong Bảng 2:

$$V_p = \sqrt{V_E^2 + V_N^2} \tag{1}$$

Từ số liệu ở Bảng 2 có một số nhận xét như sau:

- Chuyển dịch trên toàn bộ phần đất liền của Việt Nam có xu hướng chuyển dịch theo hướng Đông Nam với giá trị chuyển dịch theo các hướng khác nhau. Lượng chuyển dịch nhỏ nhất, lớn nhất về hướng Đông trong một năm tương ứng là 25,56 mm và 34,48 mm. Đối với chuyển dịch theo hướng Bắc, các giá trị lần lượt là 5,43 mm và 12,36 mm về giá trị tuyệt đối.

- Sai số xác định chuyển dịch theo hướng Bắc và hướng Đông của tất cả các điểm đều xấp xỉ như nhau và đạt giá trị ±1,3 mm.

Dựa trên các kết quả xác định chuyển dịch được công bố của một số nghiên cứu gần đây [11, 17], cho thấy sự khác biệt về lượng chuyển dịch theo hướng Đông nhỏ nhất là -0,02 mm (điểm MGTE) và lớn nhất là 1,21 mm (điểm SDON); giá trị tương ứng về hướng Bắc lần lượt là -1,49 mm (điểm THOA) và 0,79 mm (điểm TQUA). Chuỗi dữ liệu được sử dụng để tính toán trong [17] là 1 năm 1 tháng, độ chính xác xác định các thành phần chuyển dịch (theo hướng Đông và hướng Bắc) xấp xỉ ±2 mm. Dữ liệu dùng để tính trong nghiên cứu này dài 2 năm 7 tháng cho độ chính xác xác định các thành phần chuyển dịch tốt hơn với giá trị xấp xỉ ±1,3 mm (tương ứng xấp xỉ 30%).

Cũng sử dụng phần mềm Gamit/Globk, [17] đã xác định chuyển dịch cho 4 điểm trên lãnh thổ Việt Nam với chuỗi thời gian đo tại mỗi điểm kéo dài từ 6 đến 11 năm với kết quả xác định các thành phần chuyển dịch tại các điểm nhỏ hơn ±1 mm.

Trên cơ sở so sánh vận tốc chuyển dịch của điểm HYEN với kết quả đã được công bố trong tài liệu [11] có thể thấy vận tốc chuyển dịch về cơ bản là tương đồng với nhau.

4. Kết luận

Qua kết quả nghiên cứu và tính toán thực nghiệm, nhóm nghiên cứu rút ra một số nhận xét như sau:

- Kết quả xác định chuyển dịch của bề mặt Trái đất trên lãnh thổ Việt Nam dựa vào dữ liệu đo của 17 trạm CORS thuộc mạng lưới VNGEONET cho kết quả tương đồng với các kết quả xác định chuyển dịch được công bố trước đó. Theo đó, xu hướng chuyển dịch chung trên toàn bộ phần đất liền là theo hướng Đông Nam.

- Sự khác biệt về lượng chuyển dịch nhỏ nhất–lớn nhất theo hướng Đông, hướng Bắc lần lượt là 9 mm và 7 mm, đây là đại lượng sai lệch dịch chuyển giữa các điểm tương đối lớn và cần phải đặc biệt quan tâm khi tiến hành nâng cấp, hiện đại hóa hệ quy chiếu ở nước ta.

- Kết quả xác định chuyển dịch với thời gian đo dài hơn (2 năm 9 tháng) cho phép xác định chênh lệch lên tới mức xấp xỉ 1 mm/năm so với kết quả xác định chuyển dịch của điểm tương ứng với thời gian đo ngắn hơn trước đây (1 năm 1 tháng). Bên cạnh đó, với việc sử dụng chuỗi thời gian đo dài hơn có thể nâng cao độ chính xác xác định các thành phần chuyển dịch sử dụng phần mềm Gamit/Globk.

- Trong thời gian tới, cần tiến hành nghiên cứu để đưa thêm các mô hình toán học để phân tích dữ liệu chuyển dịch theo chuỗi thời gian nhằm tìm ra các quy luật chuyển dịch cũng như loại trừ một số nguồn sai số ngẫu nhiên nếu có.

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

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam, đề tài cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường mã số TNMT.2022.04.09 đã cung cấp số liệu, tài liệu để có thể hoàn thành nội dung của bài báo này.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố 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. Tô, T.Đ.; Hùng, P.V. Xây dựng lưới GNSS thường trực tại Việt Nam dưới góc nhìn địa kiến tạo. *Tap chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất* **2013**, 41, 58–64.
2. Altiner, Y.; Söhne, W.; Güney, C.; Perl, J.; Wang, R.; Muzli, M. A geodetic study of the 23 October 2011 Van, Turkey earthquake. *Tectonophysics* **2013**, 588, 118–134. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2012.12.005>.
3. Jun, L.S.; Sic, J.H. Analysis of Plate Motion Parameters in Southeastern South Korea using GNSS. *J. Korean Soc. Surv. Geod. Photogramm. Cartography* **2020**, 38(6), 697–705. <https://doi.org/10.7848/ksGPC.2020.38.6.697>.
4. Tiryakioglu, İ.; Gulal, E.; Solak, H.I.; Ozkaymak, C. Crustal Deformation Modelling by GNSS Measurements: Southwestern Anatolia, Turkey. *Adv. Sci. Technol. Innovation* **2018**, 1895–1897. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70548-4_547.
5. Sefa Yalvaç. Determining the Effects of the 2020 Elazığ–Sivrice/Turkey (Mw 6.7) Earthquake from the Surrounding CORS–TR GNSS Stations. *Turk. J. Geosciences* **2020**, 1(1), 15–21.
6. Yamin, D.; Peng, Z.; Zhihao, J.; Jinzhong, B. The Data Processing and Analysis of National GNSS CORS Network in China. China National Report on Geodesy (2007–2010), Report No.04, 2011.
7. Danezis, C.; Chatzinikos, M.; Kotsaki, C. Linear and Nonlinear Deformation Effects in the Permanent GNSS Network of Cyprus. *Sensors* **2020**, 20, 1768. doi:10.3390/s20061768.
8. Kyung, K.S.; Tae–Suk, Bae. Long–Term GNSS Analysis for Local Geodetic Datum After 2011 Tohoku Earthquake, *J. Navig.* **2017**, 71(1), 1–17. doi:10.1017/S0373463317000595.
9. Abdallah, A.; Agag, T.; Dawod, G. ITRF–Based Tectonic Coordinates Changes using GNSS–CORS Networks: A Case Study of Egypt. *Surv. Land Inf. Sci.* **2021**, 80(2), 69–78.
10. Duong, C.C.; Yun, H.S.; Cho, J.M. GPS measurements of horizontal deformation across of Lai Chau – Dien Bien (Dien Bien Phu) fault in Northwest of Viet Nam 2002 – 2004. *Earth Planets Space* **2006**, 58, 523–528.
11. Hải, V.Q. Xác định chuyển dịch tuyệt đối khu vực lưới GPS Tam Đảo – Ba Vì. *Tap chí Các khoa học về Trái đất* **2016**, 38(1), 14–21.
12. Tô, T.Đ.; Yêm, N.T.; Công, D.C.; Hải, V.Q.; Zuchiewicz, W.; Cường, N.C.; Nghĩa, N.V. Recent crustal movements of northern Vietnam from GPS data. *J. Geodyn.* **2013**, 69, 5–10.
13. Trịnh, P.T.; Liêm, N.V.; Anh, N.T.; Hải, V.Q.; Tô, T.Đ.; Hướng, N.V.; Vinh, H.Q.; Thom, B.V.; Túc, N.Đ.; Xuyên, N.Q.; Hùng, V.T.; Thịnh, N.H.; Hùng, T.Q.; Tùng, L.M.; Thảo, B.T.; Tiến, N.V.; Thế, Đ.V. Kết quả nghiên cứu ban đầu về tốc độ dịch chuyển kiến tạo hiện đại trên biển Đông. 2009, http://idm.gov.vn/nguon_luc/Xuat_ban/2009/a310/a1.htm.

14. Minh, L.H.; Masson, F.; Bourdillon, A.; Fleury, R.; Hu, J.C.; Hùng, V.T.; Thanh, L.T.; Thắng, N.C.; Thành, N.H. Chuyên động hiện đại vỏ Trái đất theo số liệu GPS liên tục tại Việt Nam và khu vực Đông Nam Á. *Tap chí Các khoa học về Trái đất* **2010**, 36(1), 1–13.
15. Lau, N.N. Richard Coleman, Ha Minh Hoa. Determination of tectonic velocities of some continuously operating reference stations (CORS) in Vietnam 2016–2018 by using precise point positioning. *VN J. Earth Sci.* **2020**, 43(1), 1–12,
16. Kowalczyk, K.; Rapinski, J. Verification of a GNSS Time Series Discontinuity Detection Approach in Support of the Estimation of Vertical Crustal Movements. *J. Geo-Inf.* **2018**, 7, 149. doi:10.3390/ijgi7040149.
17. Trọng, N.G.; Thạch, L.T.; Thành, N.H.; Quang, P.N.; Cương, N.V. Bước đầu xác định chuyển dịch cho một số trạm CORS khu vực miền Bắc Việt Nam sử dụng phần mềm Gamit/Glock. Hội nghị Khoa học quốc gia về công nghệ địa không gian trong khoa học trái đất và môi trường, 2021, 137–146.

Determination of tectonic velocities in Vietnam territory based on data of CORS stations of VNGEONET network

Nguyen Gia Trong¹, Nguyen Viet Nghia^{1*}, Pham Cong Khai¹, Nguyen Ha Thanh², Ly Lam Ha³, Vu Trung Dzung⁴, Nguyen Viet Quan⁵, Pham Ngoc Quang¹

¹ Faculty of Geomatics and Land administration, Hanoi University of Mining and Geology; nguyengiatrong@humg.edu.vn; nguyenvietnghia@humg.edu.vn;

phamcongkhai@humg.edu.vn; phamngocquang@humg.edu.vn

² Vietnam Academy of Science and Technology; hathanh5984@gmail.com

³ Department of Economy and Infrastructure of Cam Lam district, Khanh Hoa province; funnylams@gmail.com

⁴ Bac Giang Agriculture and Forestry University; dungcnl@gmail.com

⁵ Department Of Survey, Mapping and Geographic Information Vietnam; vngeonet@monre.gov.vn

Abstract: Research on tectonic velocities (or plate tectonic) is a task that has been carried out regularly and continuously in Vietnam. The results of the study of tectonic velocities contribute to the possibility and extent of geological hazards as well as to the safe operation of works. GNSS–CORS technology is one of the technologies used in plate tectonic research. Built in 2016 and completed by the end of 2019, the VNGEONET network includes 65 stations distributed throughout Vietnam, serving many applications including plate tectonic shift. Based on measured data from August 2019 to March 2022, the authors determined displacement for 17 points in the territory of Vietnam. The experimental results show the similarity in magnitude and direction of displacement when compared with previously published results. Also, from the results of displacement determination, the use of long data series will contribute to improving the accuracy of displacement determination. Besides, the difference in the amount of displacement up to approximately 1 cm between points is something to pay attention to when modernizing the geodetic reference system in Vietnam.

Keywords: Gamit/Globk; CORS; Plate tectonic; GNSS data processing; PPP.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu kết hợp mô hình thủy lực và mô hình trí tuệ nhân tạo mô phỏng chất lượng nước sông Nhuệ – Đáy

Hoàng Thị An^{1*}, Trần Thùy Nhung¹, Nguyễn Thanh Thủy², Trần Anh Phương¹

¹ Phòng Công nghệ và Kỹ thuật tài nguyên nước, Viện Khoa học tài nguyên nước; anht510@wru.vn; tranthuyhung1990@gmail.com; phuongtran.monre@gmail.com

² Trường Đại học Thủy Lợi; thanhthuy_rt@tlu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: anht510@wru.vn; Tel.: +84-963952484

Ban Biên tập nhận bài: 11/6/2022; Ngày phản biện xong: 18/07/2022; Ngày đăng bài: 25/07/2022

Tóm tắt: Lưu vực sông Nhuệ – sông Đáy được biết đến như một điểm nóng về chất lượng nước, gây ảnh hưởng lớn đến sức khỏe người dân cũng như cảnh quan, môi trường lưu vực sông trong những năm gần đây. Nghiên cứu xây dựng mô hình trí tuệ nhân tạo (AI) mô phỏng chất lượng nước sông Nhuệ–Đáy dựa trên kết quả mô phỏng thủy động lực và chất lượng nước của mô hình thủy lực MIKE 11. Dữ liệu đầu vào bao gồm: địa hình, số liệu thủy văn, dữ liệu nguồn thải tại các vị trí quan trắc để mô phỏng chất lượng nước trong mô hình MIKE 11. Mô hình AI sử dụng thuật toán MLP – ANN xây dựng quan hệ hồi qui giữa lưu lượng nước sông và nồng độ các nguồn thải với các chỉ số chất lượng nước để dự báo chất lượng nước tại các vị trí kiểm soát theo các kịch bản kiểm soát và quản lý nguồn thải khác nhau một cách nhanh chóng. Kết quả từ mô hình AI gần sát với kết quả từ mô hình MIKE 11 với chỉ số R^2 đạt từ 0,98 trở lên với thời gian mô phỏng nhanh hơn hàng nghìn lần so với mô hình thủy lực, là một công cụ hữu hiệu, cho phép đưa ra dự báo chất lượng nước nhanh. Nghiên cứu cung cấp công cụ quản lý cho các nhà quản lý trong đánh giá nhanh tác động của các giải pháp quy hoạch, quản lý và kiểm soát ô nhiễm nguồn nước trên lưu vực sông Nhuệ – Đáy.

Từ khóa: Chất lượng nước; Lưu vực sông Nhuệ–Đáy; Mô hình MIKE 11; Mô hình trí tuệ nhân tạo AI; MLP–ANN.

1. Đặt vấn đề

Chất lượng nước luôn là vấn đề cấp thiết được quan tâm hơn cả do tác động của nó đến sức khỏe của người dân cũng như đến môi trường và hệ sinh thái. Lưu vực sông Nhuệ–Đáy có vai trò quan trọng không chỉ trong phát triển kinh tế của các tỉnh thành phố ven sông mà còn cả trong sự phát triển của vùng đồng bằng sông Hồng [1]. Tuy nhiên, nguồn nước sông đang bị ô nhiễm nghiêm trọng và là một trong những điểm nóng về ô nhiễm môi trường nước. Theo Tổng cục Môi trường – Bộ Tài nguyên và Môi trường, trong tổng số 15/185 điểm quan trắc bị ô nhiễm nặng nhất trên 5 lưu vực sông khu vực phía Bắc vào năm 2020 thì có đến 13 điểm thuộc lưu vực sông Nhuệ–Đáy và có tới 62% số điểm quan trắc cho kết quả của chỉ số chất lượng nước WQI < 50 ở mức xấu đến rất xấu. Chất lượng nước kém đã ảnh hưởng rất lớn tới cuộc sống, kinh tế, môi trường và xã hội. Do đó việc kiểm soát ô nhiễm trên lưu vực sông Nhuệ–Đáy thuộc địa bàn thành phố Hà Nội đóng vai trò quan trọng không chỉ với Hà Nội mà còn đối với toàn lưu vực.

Việc tính toán mô phỏng biến đổi theo không gian và thời gian của các chất ô nhiễm đóng vai trò quan trọng trong công tác đánh giá và kiểm soát chất lượng nước. Với sự phát

triển của công nghệ thông tin cũng như mô hình hóa chất lượng nước, ngày càng nhiều các mô hình mô phỏng chất lượng nước ra đời và phát triển. Một số mô hình toán thông dụng đã được phát triển bao gồm QUAL, WASP, QUASAR, MIKE Ecolab, các mô hình này thuộc nhóm mô hình số trị, là mô hình hóa quá trình lan truyền nước trên hệ thống sông, kênh mương. Ưu điểm của nhóm mô hình này là có thể cung cấp thông tin đánh giá chất lượng nước theo không gian và thời gian. Tuy nhiên, việc thiết lập mô hình tương đối phức tạp và mất nhiều thời gian, yêu cầu người sử dụng mô hình cần có kiến thức chuyên môn hiệu chỉnh, kiểm định và đánh giá kết quả mô hình. Đặc biệt, trong điều kiện ở các nước đang phát triển như Việt Nam, do tính phức tạp trong việc thiết lập mô hình, sẽ rất khó khăn trong việc chuyển giao mô hình cho các cơ quan quản lý địa phương sử dụng. Do đó việc phát triển các mô hình đơn giản để tiếp cận, dễ sử dụng là một yêu cầu cấp bách.

Thời gian gần đây, các mô hình trí tuệ nhân tạo phục vụ mô phỏng dự báo chất lượng nước đã và đang được ứng dụng rộng rãi do khả năng tính toán nhanh với độ tin cậy và hiệu quả cao. Bên cạnh đó, các quá trình thủy văn nhìn chung là các quá trình phi tuyến tính trong tự nhiên, thay đổi theo không gian và thời gian như dòng chảy, chất lượng nước [2]. Do đó, việc mô tả các quá trình và yếu tố trên cần được phân tích phi tuyến tính. Khi các dữ liệu đủ lớn, cùng với thuật toán và hệ số của mô hình trí tuệ nhân tạo (AI) được thiết lập một cách phù hợp, mô hình có khả năng mô phỏng các yếu tố với hiệu suất và độ chính xác cao, có thể thay thế cho mô hình thủy lực số trị.

Thực tế cho thấy AI có ưu điểm vượt bậc và phù hợp trong việc quản lý, đánh giá và mô phỏng, dự báo chất lượng nước hiệu quả tại một số quốc gia trên thế giới. Tuy vậy, cách tiếp cận sử dụng công nghệ trí tuệ nhân tạo mô phỏng chất lượng nước vẫn là một trong những hướng nghiên cứu tương đối mới trên thế giới hiện nay. Ở Việt Nam, cho đến thời điểm hiện tại vẫn chưa có nhiều nghiên cứu đánh giá mô phỏng chất lượng nước ứng dụng mạng trí tuệ nhân tạo. Một trong những lý do mô hình trí tuệ nhân tạo chưa được sử dụng rộng rãi là do thiếu dữ liệu để huấn luyện các mô hình trí tuệ nhân tạo. Mặc dù số liệu quan trắc chất lượng nước trên lưu vực sông Nhuệ-Đáy ngày càng nhiều, chuỗi số liệu này vẫn chưa đủ để xây dựng một mô hình trí tuệ nhân tạo đủ tin cậy. Năm 2006, [3] đã xem xét kết hợp mô hình trí tuệ nhân tạo và mô hình chất lượng nước và đưa ra các lý do cần tích hợp hai loại mô hình và đánh giá hiệu quả. Trong đề xuất này nhóm thực hiện sẽ xây dựng công cụ mô phỏng chất lượng nước dựa vào công nghệ trí tuệ nhân tạo. Theo đó, nghiên cứu sẽ sử dụng công nghệ này xây dựng quan hệ tương quan giữa đầu vào (tải lượng các nguồn xả thải, chỉ số chất lượng nước sông thời điểm hiện tại và lưu lượng nước sông) và đầu ra (chỉ số chất lượng nước tại một số vị trí có số liệu đo trên sông Nhuệ-Đáy). Quan hệ này sau khi xây dựng sẽ được sử dụng để mô phỏng chất lượng nước sông góp phần cho dự báo và phục vụ công tác kiểm soát ô nhiễm sau này. So với các mô hình số trị, công nghệ trí tuệ nhân tạo không yêu cầu người sử dụng cần có kiến thức chuyên môn sâu vì các công việc phân tích, xử lý số liệu đã được ẩn phía sau. Do đó, công nghệ rất thuận lợi trong việc chuyển giao cho thành phố Hà Nội. Công nghệ cũng cho kết quả tính toán một cách nhanh chóng, rất phù hợp phục vụ công tác mô phỏng, dự báo chất lượng nước cũng như hỗ trợ ra quyết định trong việc kiểm soát ô nhiễm. Vì vậy, nghiên cứu sẽ kết hợp cả mô hình thủy lực và mô hình trí tuệ nhân tạo nhằm tăng độ tin cậy cho mô hình trí tuệ nhân tạo trong đó mô hình thủy lực được sử dụng để tạo lập cơ sở dữ liệu theo các kịch bản khác nhau cùng với dữ liệu đo đạc có sẵn làm đầu vào cho mô hình trí tuệ nhân tạo. Bài báo này trình bày một số kết quả đạt được của cách tiếp cận mới này áp dụng cho lưu vực sông Nhuệ-Đáy. Kết quả nghiên cứu trình bày trong bài báo có thể hỗ trợ các nhà quản lý trong việc đánh giá hiện trạng và dự báo chất lượng nước, phục vụ công tác kiểm soát và quản lý chất lượng nước trên lưu vực sông Nhuệ Đáy.

2. Phương pháp nghiên cứu và tài liệu thu thập

2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

Lưu vực sông Nhuệ–Đáy nằm ở hữu ngạn sông Hồng tọa độ từ 20° đến 21°20' vĩ độ Bắc, và từ 105° đến 105°30' kinh độ Đông, với tổng diện tích tự nhiên là 7665 km² [1] (hình 1). Sông Đáy là một phân lưu của sông Hồng bắt nguồn từ hệ thống phân chứa lũ Vân Cốc thuộc huyện Phúc Thọ chảy qua các tỉnh Hà Nội, Hà Nam, Ninh Bình, Nam Định trước khi đổ ra biển ở cửa Đáy. Sông Nhuệ lấy nước từ sông Hồng qua cống Liêm Mạc ở Từ Liêm, Hà Nội để cấp nước tưới và đồng thời làm chức năng tiêu nước cho các quận/huyện Cầu Giấy, Hà Đông, Từ Liêm, Thanh Trì, Hoài Đức, Thường Tín, Thanh Oai, Phú Xuyên của TP. Hà Nội rồi đổ vào sông Đáy ở Phú Lý [4].

BẢN ĐỒ VỊ TRÍ SÔNG NHUỆ, ĐÁY

Tỷ lệ: 1:400,000



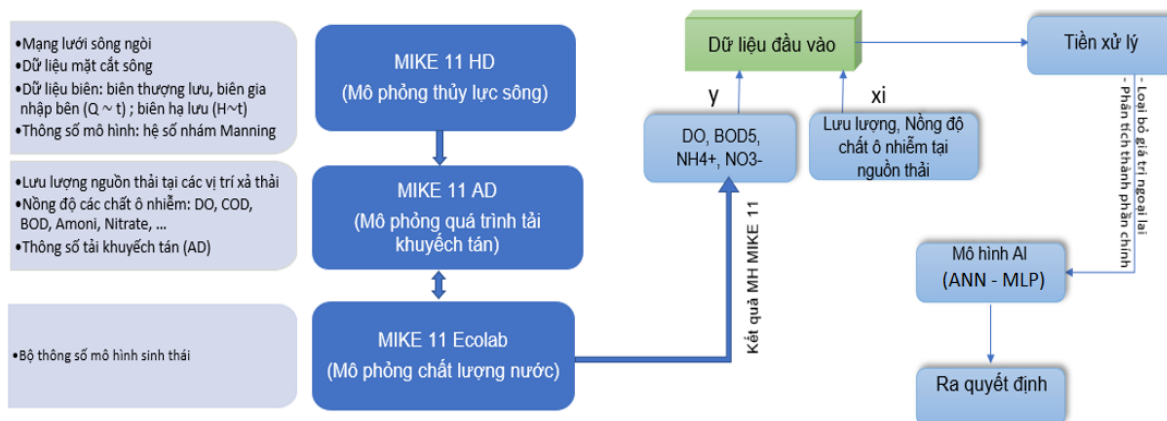
Hình 1. Sông Nhuệ Đáy thuộc địa bàn thành phố Hà Nội.

Khu vực nằm trong vùng có khí hậu nhiệt đới ẩm gió mùa, có một mùa đông lạnh và khô; một mùa hè nóng ẩm và mưa nhiều [4]. Mùa mưa thường kéo dài 5 tháng, từ tháng V đến tháng X; ba tháng liên tục có lượng mưa cao nhất là tháng VII, VIII và IX [5]. Chế độ thủy văn trên lưu vực sông Đáy phụ thuộc vào dòng chảy của nước sông Hồng và các sông nhánh [5]. Do đó mà dòng chảy trên lưu vực sông phân bố không đều theo không gian và thời gian. Theo không gian, dòng chảy lớn nhất ở núi Ba Vì, phần hữu ngạn lưu vực có dòng chảy lớn hơn phần tả ngạn. Sự phân bố theo thời gian theo phân phối dòng chảy năm phụ thuộc vào sự phân phối theo mùa. Trên lưu vực sông Nhuệ–Đáy, các nguồn xả thải chủ yếu từ các nguồn sinh hoạt và đô thị, từ các làng nghề, tiểu thủ công nghiệp; bệnh viện; một phần từ nông nghiệp, thủy sản và các nguồn khác do đó chất lượng nước đang bị ô nhiễm, nhiều vị trí cục bộ ô nhiễm nghiêm trọng. Chất lượng nước lưu vực sông Nhuệ Đáy những năm gần

đây có sự ô nhiễm cục bộ theo thời gian. Vào mùa khô, nước ít, một số vị trí nước có màu đen, mùi hôi, đặc biệt một số vùng mặt nước bị thu hẹp, dòng chảy thấp: đoạn Phúc La–Đồng Quan, cầu Mai Lĩnh. Mùa mưa lượng nước được tăng cường nhiều hơn nhưng lưu vực sông Nhuệ–Đáy lúc này là khu vực xả lũ cho thượng lưu (Hà Nội) nên ngoài lưu lượng nước thường kèm theo rác thải gây ô nhiễm cho lưu vực sông.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng kết hợp các mô hình thủy lực và mô hình trí tuệ nhân tạo trong mô phỏng tính toán, mô phỏng chất lượng nước lưu vực sông Nhuệ – Đáy. Trong đó, phương pháp mô hình toán sử dụng mô hình MIKE HD, AD và Ecolab một chiều để mô phỏng diễn biến chất lượng nước và tạo cơ sở dữ liệu đầu vào cho mô hình trí tuệ nhân tạo. Nghiên cứu sử dụng mô hình MIKE mô phỏng thủy lực và chất lượng nước lưu vực sông với chuỗi dữ liệu nằm trong giai đoạn 2016 – 2020 bước thời đoạn ngày để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình, sau đó kết quả mô phỏng chất lượng nước được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho mô hình AI. Mô hình AI sử dụng thuật toán trí tuệ nhân tạo để xây dựng quan hệ hồi qui giữa chất lượng nước tại một số vị trí kiểm soát và các biến ảnh hưởng đến chất lượng tại các vị trí kiểm soát này (lưu lượng nước sông, nồng độ các chất ô nhiễm và lưu lượng tại các nguồn thải). Hình 2 trình bày sơ đồ kết nối giữa mô hình thủy lực, mô hình chất lượng nước và mô hình trí tuệ nhân tạo sử dụng trong nghiên cứu này. Chi tiết về hai mô hình này được trình bày dưới đây.



Hình 2. Phương pháp nghiên cứu.

2.2.1. Mô hình MIKE 11

✓ Mô hình thủy động lực MIKE 11

Mô hình MIKE 11 là bộ mô hình một chiều được phát triển bởi Viện thủy lực Đan Mạch (DHI) từ mô hình gốc đầu tiên ra đời năm 1972 dùng để mô phỏng thủy lực, chất lượng nước và vận chuyển nước trong sông [6–9]. Mô hình giúp mô phỏng diễn biến dòng chảy cũng như mực nước trong hệ thống sông. Mô đun thủy động lực học được xây dựng trên cơ sở lý thuyết của hệ phương trình Saint–Venant, có dạng:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b \frac{\partial h}{\partial t} = q \tag{1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2AR} = 0 \tag{2}$$

Trong đó Q là lưu lượng dòng chảy, h là mực nước; t là thời gian; x là biến khoảng cách; g là gia tốc trọng trường; A, b là diện tích và chiều rộng mặt cắt ướt; g là gia tốc trọng trường; α là hệ số hiệu chỉnh lưu tốc; C là hệ số Chezy; R là bán kính thủy lực.

✓ Mô đun chất lượng nước

Mô đun truyền tải khuếch tán AD: quá trình truyền tải khuếch tán được mô tả bằng phương trình [8]:

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) = -AKC + C_2q \quad (3)$$

Trong đó C là nồng độ (Kg/m³); D là hệ số khuếch tán; q là lưu lượng nhập lưu đơn vị (m²/s); K là hệ số phân hủy sinh học, K chỉ được dùng khi các hiện tượng hay quá trình xem xét có liên quan đến các phản ứng sinh hóa.

Phương trình tải khuếch tán phản ánh hai cơ chế vận chuyển: (1) Quá trình vận chuyển chất do dòng chảy (*advection*); (2) Quá trình khuếch tán các chất do dòng chảy rối (*turbulent diffusion*).

Mô đun Ecolab: Mô đun sinh thái trong mô hình MIKE 11 mô phỏng các quá trình biến đổi sinh-hoá của các biến chất lượng nước trong Template 4 với các quá trình được thể hiện trong phương trình: trao đổi nhiệt, biến đổi chất hữu cơ, biến đổi nitơ, biến đổi photpho và biến đổi oxy trong sông bằng các phương trình:

$$\frac{dT}{dt} = insolation - radiation \quad khi \ t \in [t_{up}; t_{down}]; \quad (4)$$

$$- radiation \quad khi \ t \notin [t_{up}; t_{down}]$$

$$\frac{dBOD}{dt} = -BOD_{decay} \quad (5)$$

$$\frac{dNH4_N}{dt} = N_BOD_{decay} - Nitrification \quad (6)$$

$$\frac{dNO3_N}{dt} = Nitrification - Denitrification \quad (7)$$

$$\frac{dOP}{dt} = PPdecay - PPformation + OPreleaseFromBOD - OpplantUptake \quad (8)$$

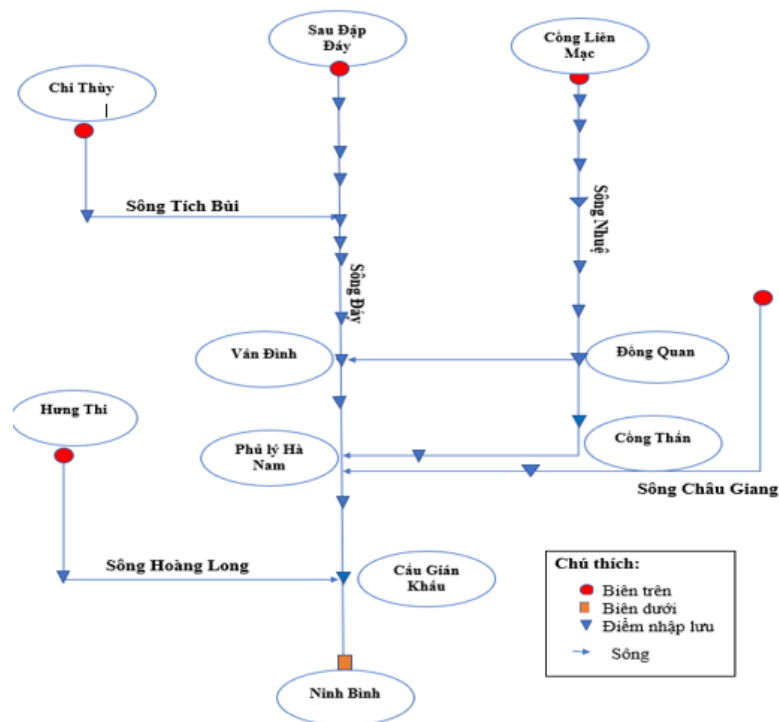
$$\frac{dPP}{dt} = - PPdecay + PPformation - PPsedimentation + PPresuspension$$

$$\frac{dDO}{dt} = Reaera + phtsyn - respT - BOD_{decay} - SOD - Nitrification \quad (9)$$

Trong đó T: nhiệt độ của nước (°C); insolation, radiation: Bức xạ mặt trời vào và ra BOD_{decay}: BOD của chất hữu cơ hòa tan (mg/l); K_{d3} là tốc độ phân hủy của chất hữu cơ hòa tan (1/day); DO: nồng độ oxy hòa tan (mg/l); NH₄_N: Amoni tính theo Nitơ; NO₃_N: Nitrate tính theo Nitơ, PP: Photpho dạng mảnh; OP: photpho hòa tan.

Sơ đồ mạng sông mô phỏng diễn biến chất lượng nước trên hệ thống sông Nhuệ – Đáy được trình bày ở Hình 3 dưới đây. Đầu vào cho các mô đun thủy lực HD, tải khuếch tán AD và Ecolab của mô hình số trị MIKE 11 bao gồm: mạng lưới sông, dữ liệu mặt cắt sông, dữ liệu biên, thông số hệ số nhám (*MIKE 11 HD*); lưu lượng, nồng độ các chất ô nhiễm và vị trí nguồn thải, bộ thông số của các mô đun tải khuếch tán (*MIKE 11 AD*) và sinh thái (*MIKE 11 Ecolab*). Hệ thống sông bao gồm các sông Đáy, Nhuệ, Tích Bùn, Hoàng Long, Châu Giang với tổng chiều dài là 434 km và số mặt cắt là 179 mặt cắt (Bảng 1). Biên trên của mô hình là lưu lượng tại các vị trí Chi Thủy, đập Đáy, cống Liên Mạc, Hưng Thi và Châu Giang. Biên

dưới của hệ thống là mực nước tại trạm thủy văn Ninh Bình. Các yếu tố chất lượng nước được mô phỏng bao gồm BOD₅, NH₄-N, NO₃-N, DO và nhiệt độ.



Hình 3. Sơ đồ thủy lực lưu vực sông Nhuệ–Đáy.

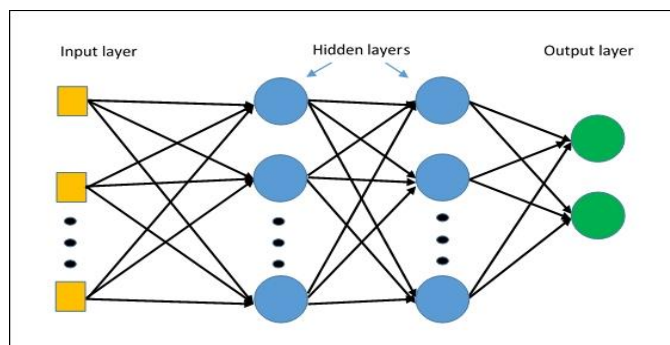
Bảng 1. Mạng lưới sông, số lượng mặt cắt trên các sông.

STT	Tên sông	Chiều dài (m)	Số mặt cắt 1
1	Sông Đáy	168.858	90
2	Sông Nhuệ	73.755	43
3	Sông Tích Bù	101.888	20
4	Sông Châu Giang	27.688	11
5	Sông Hoàng Long	61.589	15

Nguồn: ¹Viện Khoa học Khí tượng thủy văn và Biến đổi khí hậu.

2.2.2. Mô hình trí tuệ nhân tạo

Mô hình AI xây dựng quan hệ hồi qui $y=f(\mathbf{p},x_i)$ trong đó x_i là biến dự báo (lưu lượng, nồng độ các chất ô nhiễm tại các nguồn thải, lưu lượng nước sông tại biên trên), y là biến phụ thuộc (nồng độ BOD₅, DO, Amoni, Nitrate tại một số điểm kiểm soát trên sông Nhuệ–Đáy), \mathbf{p} là tham số của phương trình hồi qui sẽ được xác định trong quá trình huấn luyện (*training*) sử dụng các thuật toán trí tuệ nhân tạo. Trong nghiên cứu này, thuật toán mạng hồi quy Multilayer Perceptron (*ANN-MLP*) đã được sử dụng [10]. ANN-MLP là một thuật toán học máy có giám sát (*Machine Learning*) thuộc lớp Mạng nơ-ron nhân tạo, là tập hợp của các perceptron chia làm nhiều nhóm, mỗi nhóm tương ứng với một layer [10–12]. Các layer này được kết nối hoàn toàn với nhau: Mỗi nút ở từng layer đều kết nối với tất cả các nút của layer kế tiếp. Một neuron nhân tạo (còn được gọi là perceptron) là một hàm biến đổi toán học nhận một hoặc nhiều đầu vào đã được nhân với các giá trị gọi là “*weights*”, cộng các giá trị đó lại với nhau thành một giá trị duy nhất. Sau đó giá trị này được đưa vào một hàm phi tuyến (được gọi là *activation function*) và kết quả của hàm này chính là đầu ra của neuron [10–11].



Hình 4. Minh họa mạng hồi quy Multilayer Perceptron (ANN-MLP): Input layer (lớp đầu vào), Output layer (lớp đầu ra) và Hidden layers (các lớp ẩn).

Các mô hình được xây dựng từ các thuật toán trí tuệ nhân tạo bởi việc huấn luyện dữ liệu. Quá trình huấn luyện dữ liệu trong mô hình nhằm xác định các tham số, có mối liên hệ chặt chẽ với số liệu được đưa vào huấn luyện. Trong khi đó, quá trình kiểm định sẽ đánh giá mức độ tin cậy của mô hình. Các thuật toán được lựa chọn trong từng mô hình tương ứng nhằm tìm ra mô hình phù hợp với nghiên cứu. Lựa chọn phương pháp tối ưu phù hợp trong mô hình với mục đích tăng độ chính xác của mô hình. Các thông số trong mô hình sẽ được xác định bằng cách tính toán và thử sai. Hiệu chỉnh các thông số của mô hình đối với khu vực sao cho kết quả tính toán phù hợp với số liệu thực đo. Sử dụng hệ số tương quan (R^2) để đánh giá hiệu quả mô hình trí tuệ nhân tạo so với kết quả từ mô hình MIKE 11. Chỉ số này phản ánh mức độ giải thích của các biến độc lập đối với biến phụ thuộc trong mô hình hồi quy [13].

Số liệu mô hình bao gồm dữ liệu huấn luyện và kiểm tra, được phân chia với tỷ lệ 90% dữ liệu sử dụng cho huấn luyện, 10% dữ liệu sử dụng cho kiểm tra.

Trước khi đưa vào mô AI để huấn luyện, tập dữ liệu sẽ được phân tích thành phần chính PCA để tìm ra được các thành phần có tương quan tốt với mô hình. Đối với mỗi thành phần chất lượng nước tại mỗi điểm, tìm ra được một bộ dữ liệu huấn luyện riêng sau khi đã loại bỏ các thông số có tương quan thấp. Việc loại bỏ giá trị ngoại lai được thực hiện bởi phương pháp Standard Scaler dựa trên phương sai đơn vị.

Các tham số được hiệu chỉnh của mạng nơ-ron hồi quy nhiều lớp MLP bao gồm: `hidden_layer_sizes` (số lớp ẩn), `activation` (hàm kích hoạt), `solver` (bộ tối ưu hóa), `learning_rate` (tốc độ học). Sử dụng phương pháp thử sai, nghiên cứu đã xác định được các tham số này như sau: số lớp ẩn được cài đặt là 100, hàm kích hoạt là hàm *relu*, bộ tối ưu hóa là *adam*, tốc độ học là *constant* [12, 14–16].

2.2.3. Xây dựng tập dữ liệu cho mô hình trí tuệ nhân tạo từ mô hình MIKE 11

Mô hình AI yêu cầu một lượng lớn dữ liệu để huấn luyện và kiểm định mô hình trong khi chuỗi số liệu đo đạc trên hệ thống sông Nhuệ–Đáy tương đối ngắn, không đủ để xây dựng một mô hình AI đủ tin cậy. Do đó nghiên cứu sẽ sử dụng mô hình MIKE 11 để chạy mô hình với các kịch bản khác nhau để tạo tập dữ liệu cho mô hình AI. Trong mô hình AI, các biến đầu vào bao gồm: lưu lượng, BOD₅, DO, Amoniac, Nitrate tại cống Liên Mạc, Hà Đông, Cầu Tó, Đồng Quan (lưu vực sông Nhuệ) và đập Đáy, Sông Phương, cầu Mai Lĩnh, cầu Ba Thá (lưu vực sông Đáy). Các biến-mô phỏng bao gồm: nồng độ BOD₅, DO, Amoniac, Nitrate tại các vị trí kiểm soát Phúc La, cầu Chiéc, Đồng Quan (lưu vực sông Nhuệ) và cầu Mai Lĩnh, cầu Ba Thá, cầu Tế Tiêu (lưu vực sông Đáy). Nghiên cứu đã tạo một chuỗi các số liệu đầu vào cho các biến mô phỏng theo nguyên tắc sau:

- Các tham số chất lượng nước BOD₅, Amoniac, Nitrate được tạo ra ngẫu nhiên trong khoảng từ giá trị cận dưới là các chỉ tiêu chất lượng cho cột B1 của QNVN MT-08/2015-

BTNMT (đủ tiêu chuẩn cho mục đích tưới tiêu, thủy lợi) và cận trên là giá trị gấp đôi hàm lượng chất ô nhiễm hiện tại.

- Tham số DO dao động ngẫu nhiên trong khoảng cận trên là giá trị tại cột B1 của QNVN MT-08/2015-BTNMT và cận dưới là nửa giá trị DO tại thời điểm hiện tại.

- Nhiệt độ tại tất cả các nguồn thải được tạo ngẫu nhiên trong khoảng 15–35°C.

- Lưu lượng nước sông, nghiên cứu xem xét biến đổi của lưu lượng nước tại các biên đập Đáy trên sông Đáy và cống Liên Mạc trên sông Nhuệ. Lưu lượng được tạo ngẫu nhiên dao động trong khoảng từ 3–7 m³/s tại đập Đáy, trong khi đó giá trị này dao động trong khoảng từ 5–60 m³/s tại cống Liên Mạc. Các yếu tố chất lượng nước tại 2 biên này được giữ cố định như điều kiện hiện trạng.

Để có được cơ sở dữ liệu đủ lớn, nghiên cứu đã tạo ngẫu nhiên chuỗi số liệu gồm 6872 dữ liệu (dữ liệu thủy văn, các biến chất lượng nước: nhiệt độ, nồng độ BOD₅, Amoniac, Nitrate, DO) với bước thời gian là 1 ngày. Ngoại trừ các vị trí điều chỉnh này, các vị trí khác không được xem xét trong nghiên cứu này.

3. Kết quả nghiên cứu

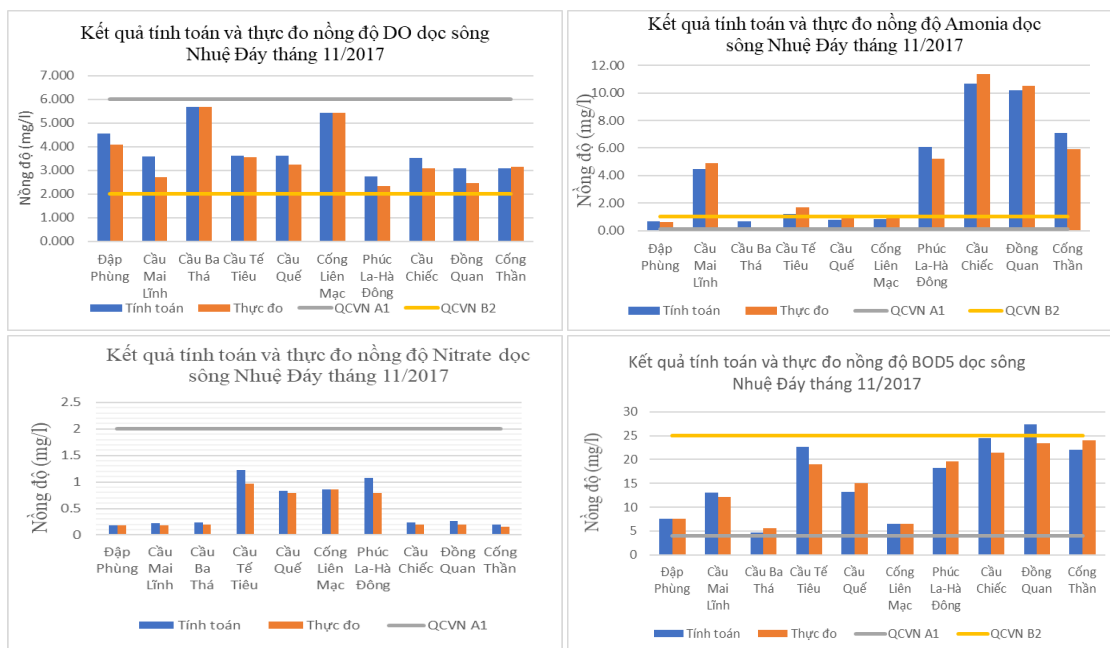
3.1. Kết quả mô phỏng chất lượng nước bằng mô hình MIKE 11

Theo không gian: trên sông Nhuệ nước sông bị ảnh hưởng rất lớn bởi nước thải sinh hoạt, công nghiệp, nông nghiệp của thành phố Hà Nội. Về mùa cạn chất lượng nước phụ thuộc vào chế độ vận hành cống Liên Mạc, chế độ xả nước đập Thanh Liệt và chế độ lấy nước tưới của hệ thống thủy nông. Về mùa lũ, cống Liên Mạc thường đóng, nước sông Nhuệ chủ yếu là nước thải từ thành phố, nước mưa, nước tiêu nông nghiệp, nguồn nước bị ô nhiễm nhưng được bơm thoát ra sông Đáy. Chất lượng nước sông Đáy thay đổi thất thường và phụ thuộc chủ yếu vào chất lượng nước thải từ sinh hoạt, công nghiệp, nông nghiệp, làng nghề xuống các kênh mương, sông nội địa, sau đó đổ dồn vào sông Đáy dọc theo sông.

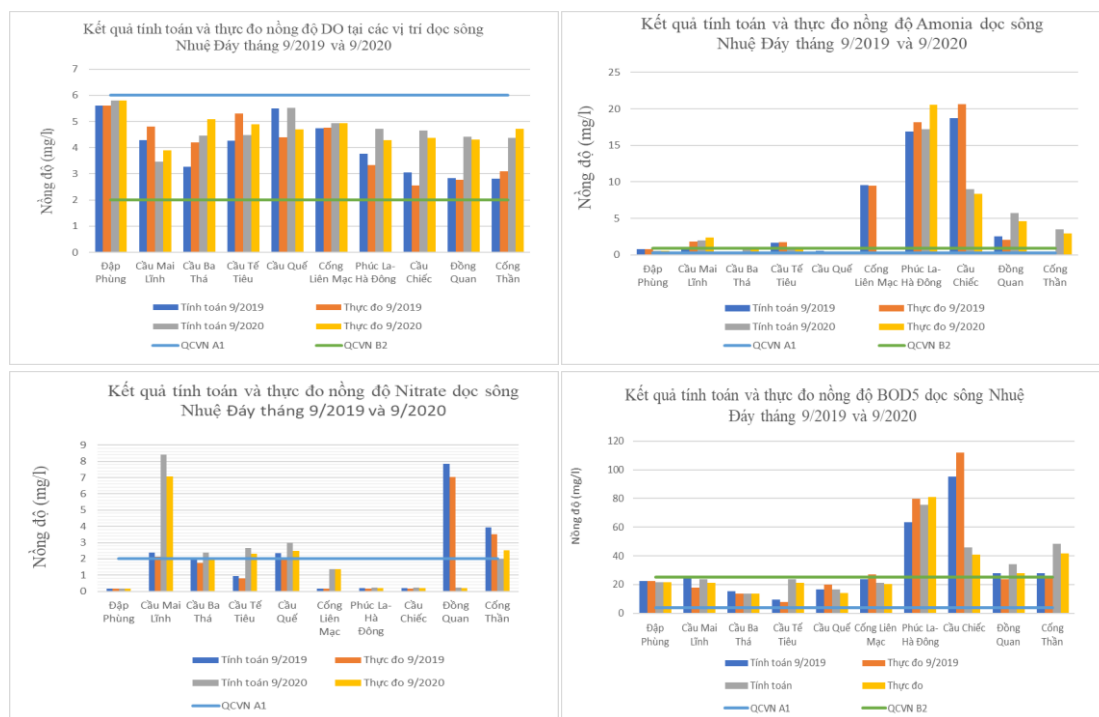
Với nguồn số liệu thực đo nồng độ các chất tại các vị trí dọc sông, việc hiệu chỉnh mô hình dựa trên việc thay đổi hệ số triết giảm cho từng đoạn sông ứng với mỗi vị trí xả thải. Quá trình hiệu chỉnh thông số mô hình dựa trên sự phù hợp giữa tính toán và thực đo tại các trạm kiểm tra, cụ thể là sự phù hợp về giá trị nồng độ chất lượng nước.

Việc hiệu chỉnh thông số mô hình chất lượng nước Ecolab cũng cần dựa trên sự tương đồng giữa số liệu tính toán và thực đo tại các vị trí quan trắc; với việc hiệu chỉnh mô hình được thực hiện chủ yếu thông qua việc thay đổi các biến trạng thái, hệ số khuếch tán và các chỉ số sinh thái Ecolab của các chất ô nhiễm.

Từ kết quả hiệu chỉnh mô hình (Hình 5) cho kết quả mô phỏng thực đo và tính toán tại Đập Phùng cho thấy nồng độ các chất giữa thực đo và tính toán chênh lệch không nhiều. Nồng độ Amoni, và BOD₅ sai số không đáng kể, nồng độ DO và Nitrate mô phỏng cao hơn thực đo với sai số tương đối 11–26%. Có thể thấy kết quả mô phỏng của mô hình chất lượng nước là tương đối phù hợp khi tính toán lan truyền đối với DO, BOD₅, Amonia (NH₄⁺) và Nitrate (NO₃). Nhìn chung có nồng độ 3 thông số DO, Amoni và BOD₅ so với quy chuẩn A₁ đều vượt ngưỡng quy định, chỉ có nồng độ Nitrate không vượt nên không được sử dụng cho mục đích cấp nước sinh hoạt. Với mục đích sử dụng cho mục đích tưới tiêu và giao thông thủy được đáp ứng tại một số vị trí cho nồng độ các chất khác nhau.



Hình 5. Nồng độ DO, Amoni, Nitrate, BOD₅ thực đo và tính toán giai đoạn hiệu chỉnh tháng 11/2017 tại các vị trí dọc sông Nhuệ Đáy.



Hình 6. Nồng độ DO, Amoni, Nitrate, BOD₅ thực đo và tính toán giai đoạn kiểm định tháng 09/2019 và tháng 09/2020 tại các vị trí dọc sông Nhuệ Đáy.

Hình 6 biểu diễn kết quả mô phỏng cho thấy theo các vị trí quan trắc, giá trị nồng độ DO sông Nhuệ Đáy đều nằm trong giới hạn B₂ QCVN 08:2015/BTNMT [20]. Biến đổi theo không gian cho thấy nồng độ DO tại sông Đáy tốt hơn so với sông Nhuệ. Xét theo biến đổi theo thời gian, nồng độ DO tháng 9/2020 tăng cao hơn tháng 9/2019 nhưng vẫn chỉ nằm ở mức B₂, một số vị trí trên sông Đáy đạt mức A₂ (Đập Phùng) và B₁. Giai đoạn tháng 9/2020, nồng độ DO sông Nhuệ tăng cao tại cầu Chiềng (70%), những vị trí khác tăng từ 4–56%, đều nằm trong mức B₁.

Nồng độ amonia tại sông Đáy phần lớn nằm trong mức B₂, nhưng tại sông Nhuệ vượt ngoài mức B₂ rất nhiều lần tại Phúc La–Hà Đông và cầu Chiềc. So sánh nồng độ amonia trong 2 thời đoạn tháng 9/2019 và tháng 9/2020 trên các vị trí dọc sông Nhuệ Đáy cho thấy sự chênh lệch giữa 2 thời đoạn cao nhất tại cầu Chiềc trên sông Nhuệ với mức tăng 12,3 mg/l, sau đó là cống Liên Mạc, tăng 9,1 mg/l. Tuy nhiên, xét sự sai khác giữa tính toán và thực tế giữa 2 thời đoạn cho thấy mô phỏng chất lượng nước trong tháng 9/2020 cho kết quả tốt với sai số tương đối giữa thực đo và tính toán cao nhất chỉ 24% tại Đồng Quan, còn lại tại các vị trí khác đều cho kết quả sai số dưới 20%.

Trong tháng 9/2020 tại cầu Mai Lĩnh, nồng độ thải nitrate cao gấp 3,3 lần so với cùng kỳ năm trước, điều này cho thấy tại đây xuất hiện lượng xả thải cao đánh kể gây ô nhiễm nguồn nước nghiêm trọng. Ngược lại, tại Đồng Quan, nồng độ thải nitrate cùng kỳ tháng 9 nhưng năm 2020 giảm đi rất nhiều, đưa chất lượng nước sông đang từ vượt mức A₂ về dưới mức A₁, cho thấy đã có những biện pháp can thiệp giúp bảo vệ nguồn nước khu vực này. Đánh giá sai số tương đối giữa nồng độ nitrat tính toán và quan trắc nhận thấy mô hình mô phỏng cho kết quả tương đối tốt. Sai số tương đối giữa tính toán và thực đo kỳ tháng 9/2019 cho sai số dưới 20%; trong khi đó tháng 9/2020 cao nhất cũng chỉ 21%. Với kết quả này, nghiên cứu đã lựa chọn được bộ thông số phù hợp để mô phỏng cho các thời đoạn khác trong lưu vực sông.

Trên các vị trí sông Nhuệ, tại Phúc La–Hà Đông và Cầu Chiềc, nồng độ BOD₅ cao gấp nhiều lần hạng B₂, do vậy cần có các biện pháp cải tạo nguồn nước. Tại cầu Chiềc, nồng độ BOD₅ thời đoạn tháng 9/2020 giảm hơn 50% so với cùng kỳ năm 2019, cho thấy nên có những cơ chế hạn chế nguồn thải và làm sạch nguồn nước sông sẽ giúp cho chất lượng nước sông được cải thiện đáng kể. Xét sai số tương đối giữa kết quả mô phỏng và thực đo nhận thấy mô hình mô phỏng thời đoạn tháng 9/2020 (sai số tương đối (SSTD) max = 28% tại cầu Mai Lĩnh) tốt hơn tháng 9/2019 (SSTD = 22% tại Đồng Quan). Tuy nhiên kết quả mô phỏng này tương đối hợp lý và có thể sử dụng mô phỏng cho các vị trí trong các thời đoạn khác trên lưu vực sông Nhuệ Đáy để đánh giá chất lượng nước sông, qua đó tìm các giải pháp giúp cải thiện nguồn nước sông tốt hơn.

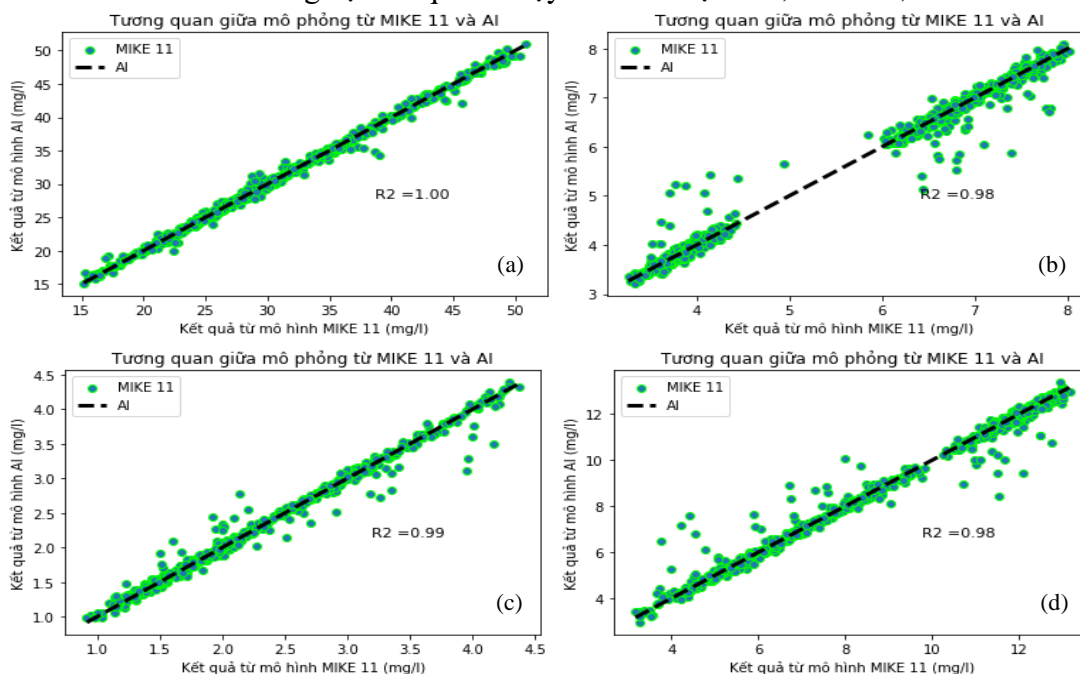
3.2. Kết quả mô hình trí tuệ nhân tạo AI

Quá trình huấn luyện được đánh giá bởi các hệ số tương quan R² thể hiện mức độ tin cậy của kết quả huấn luyện từ mô hình AI trong nghiên cứu (ANN–MLP). Bên cạnh đó, mức độ tin cậy cũng được đánh giá thông qua chỉ số Nash (NSE). Mô hình mô phỏng tính toán tại các điểm: Phúc La, cầu Chiềc, Đồng Quan (lưu vực sông Nhuệ) và cầu Mai Lĩnh, cầu Ba Thá, cầu Tế Tiêu (lưu vực sông Đáy). Bảng 1, Hình 7 và 8 trình bày kết quả kiểm định mô hình AI tương ứng với các tham số này.

Bảng 1. Hệ số tương quan R², chỉ số NSE so sánh kết quả từ mô hình MIKE 11 và Mô hình AI.

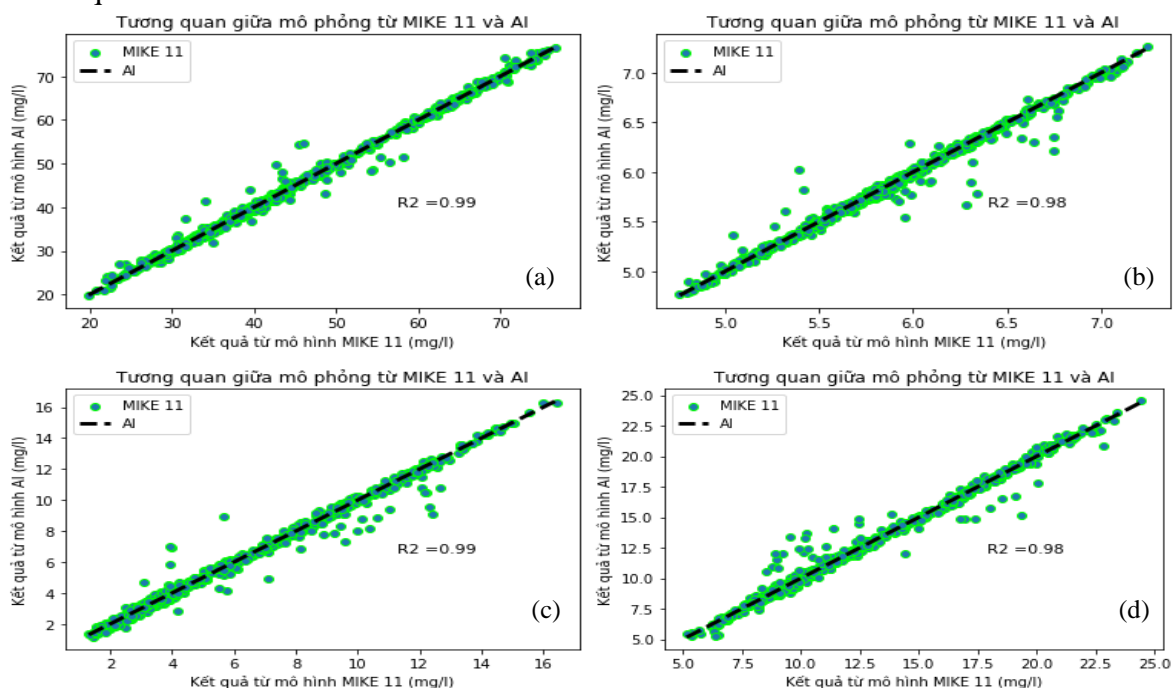
Vị trí	BOD ₅		DO		NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻	
	R ²	NSE	R ²	NSE	R ²	NSE	R ²	NSE
Cầu Mai Lĩnh	~1,00	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,96
Cầu Ba Thá	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,98	0,98
Cầu Tế Tiêu	0,98	0,97	0,99	0,99	0,98	0,99	0,98	0,99
Phúc La	~1,00	0,98	0,98	0,98	0,99	0,98	0,98	0,97
Cầu Chiềc	~1,00	0,98	0,99	0,99	0,99	0,96	0,99	0,99
Đồng Quan	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Cầu Cống Thần	0,99	0,98	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,99

Nếu phần biến thiên do phần dư càng nhỏ, nghĩa là khoảng cách từ các điểm quan sát đến đường ước lượng hồi quy càng nhỏ thì phần biến thiên do hồi quy sẽ càng cao, khi đó giá trị R^2 sẽ càng cao. Kết quả thu được từ quá trình huấn luyện ở tất cả các trạm đạt giá trị R^2 từ 0,98 đến ~1 cho thấy khả năng dự báo của mô hình AI gần sát với kết quả từ mô hình MIKE 11. Chỉ số NSE cũng đạt kết quả tin cậy cao lần lượt từ 0,96 đến 0,99.



Hình 7. Tương quan giữa kết quả mô phỏng từ mô hình MIKE 11 và AI tại điểm Cầu Mai Lĩnh – sông Đáy: (a) Nồng độ BOD₅; (b) Nồng độ DO; (c) Nồng độ NH₄⁺; (d) Nồng độ NO₃⁻.

Hình 7 và Hình 8 so sánh kết quả chất lượng nước từ mô hình MIKE 11 và mô hình AI tại hai trạm Cầu Mai Lĩnh và Cầu Cống Thần. Kết quả cho thấy việc dự báo từ AI gần như trùng lặp với kết quả từ mô hình MIKE 11. Trong đó, thông số BOD₅ có độ hồi quy tốt nhất, có kết quả tốt nhất.



Hình 8. Tương quan giữa kết quả mô phỏng từ mô hình MIKE 11 và AI tại điểm Cầu Cống Thần – sông Nhuệ: (a) Nồng độ BOD₅; (b) Nồng độ DO; (c) Nồng độ NH₄⁺; (d) Nồng độ NO₃⁻.

Với kết quả được cho là tin cậy, mô hình AI cho phép dự báo chất lượng nước mặt lưu vực sông Nhuệ–Đáy thay cho mô hình MIKE 11 nhằm thực hiện dự báo chất lượng nước mặt cho lưu vực sông cho các kịch bản trong tương lai. Đây là công cụ thực hiện dự báo với tốc độ nhanh chóng, thuận lợi cho thành phố Hà Nội trong việc quản lý cũng như đưa ra các chính sách phù hợp.

4. Kết luận

Bài báo đã thu được các kết quả chính và nổi bật như sau:

- Sử dụng phương pháp sử dụng mô hình số trị MIKE 11 kết hợp với mô hình trí tuệ nhân tạo mô phỏng chất lượng nước sông tương đối tốt.

- Mô hình trí tuệ nhân tạo mạng hồi quy Multilayer Perceptron (*ANN-MLP*) đã được ứng dụng để mô phỏng nồng độ BOD₅, DO, Amoniac, Nitrate trên lưu vực sông Nhuệ–Đáy. Kết quả thu được từ quá trình huấn luyện ở tất cả các trạm đạt chỉ số R² từ 0.98 đến ~1 cho thấy khả năng dự báo của mô hình AI gần sát với kết quả từ mô hình MIKE 11. Với kết quả được cho là tin cậy, mô hình AI cho phép mô phỏng chất lượng nước mặt lưu vực sông Nhuệ–Đáy thay cho mô hình MIKE 11 đồng thời là cơ sở để xây dựng một mô hình dự báo chất lượng nước mặt cho lưu vực sông cho các kịch bản trong tương lai. Đây là công cụ thực hiện dự báo với tốc độ nhanh chóng, thuận lợi cho thành phố Hà Nội trong việc quản lý cũng như đưa ra các chính sách phù hợp.

- Mô phỏng chất lượng nước trên lưu vực sông đã đánh giá được tình trạng chất lượng nước như sau: chất lượng nước lưu vực sông vẫn chưa được cải thiện rõ rệt, xuất hiện tình trạng gia tăng ô nhiễm cục bộ; chất lượng nước sông Nhuệ đoạn chảy qua đoạn Phúc La– Hà Đông đến hạ nguồn sông phân xuyên ở mức kém, tại một số thời điểm còn xảy ra tình trạng ô nhiễm nghiêm trọng và ít chuyển biến giữa các mùa trong năm; chất lượng nước sông Đáy nhìn chung ở mức trung bình, ô nhiễm cục bộ tại khu vực cầu Mai Lĩnh. Nước sông Nhuệ chủ yếu chỉ đáp ứng được cho mục giao thông thủy và các mục đích tương đương khác, trên sông Đáy tại một số vị trí được sử dụng thêm cho mục đích tưới tiêu. Do đó, cần có các giải pháp khắc phục tình trạng ô nhiễm nguồn nước lưu vực sông.

Ngoài những kết quả đã đạt được, do hạn chế về thời gian nên việc mô phỏng các thông số lượng nước khác: Photpho, Coliform, Ecoli, chưa được tiến hành để đánh giá tổng quan hơn về chất lượng nước lưu vực sông. Đồng thời, nhóm tác giả định hướng nghiên cứu dự báo và kiểm soát nguồn ô nhiễm chất lượng nước cho nguồn nước lưu vực sông Nhuệ–Đáy nói riêng và hệ thống sông nói chung sẽ được thực hiện trong các nghiên cứu tiếp theo.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được thực hiện bởi sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học thuộc chương trình nghiên cứu ứng dụng và phát triển công nghệ cấp thành phố, mã số đề tài 01C–09/01–2020–3, đề tài nghiên cứu ứng dụng và phát triển công nghệ cấp Quốc gia, mã số ĐTĐL.CN.18/21 và đề tài “Đánh giá hiểm họa ngập lụt đô thị Hà Nội trong điều kiện khí hậu hiện tại và tương lai” được tài trợ bởi VLIR-UOS, mã số VN2019SIN267A101.

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. Trung tâm quan trắc Môi trường, Tổng cục Môi trường (<http://www.cem.gov.vn/tin-tuc-moi-truong/dien-bien-chat-luong-nuoc-luu-vuc-song-nhue-day>).
2. Chapra, S.C. Surface water–quality modeling. *Waveland Press*, 2008.

3. Chau, K.W. A review on integration of artificial intelligence into water quality modelling. *Mar. Pollut. Bull.* **2006**, 52(7), 726–733.
4. Xuân, T.T. Tài nguyên nước các hệ thống sông chính ở Việt Nam. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, **2012**, tr. 298.
5. Hằng, V.T. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến biến động tài nguyên nước lưu vực sông Nhuệ–Đáy thuộc thành phố Hà Nội (Doctoral dissertation, Luận văn thạc sỹ khoa học, Trường Đại học KHTN Hà Nội, 2010).
6. Tayfur, G.; Singh, V.P. Predicting mean and bankfull discharge from channel cross-sectional area by expert and regression methods. *Water Resour.* **2011**, 25(5), 1253–1267.
7. Techow, V.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. Thủy văn ứng dụng – Đỗ Hữu Thành dịch – NXB Giáo dục, 1994.
8. DHI Water and Environment (DHI). MIKE 11 User Manual. DHI, Demark, 2009.
9. DHI. MIKE 11, A modelling system for rivers and channel, user guide. http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Water_Resources/MIKE11_UserManual.pdf, 2017.
10. Pham, Q.B.; Abba, S.I.; Usman, A.G.; Linh, N.T.T.; Gupta, V.; Malik, A.; Costache, R.; Vo, N.D.; Tri, D.Q. Potential of hybrid data–intelligence algorithms for multi-station modelling of rainfall. *Water Res. Manage.* **2019**, 33(15), 5067–5087.
11. Chena, Y.H.; Chang, F.J. Evolutionary artificial neural networks for hydrological systems forecasting. *J. Hydrol.* **2009**, 367(1–2), 125–137.
12. Hagiabi, A.H.; Nasrolahi, A.H.; Parsaie, A. Water quality prediction using machine learning methods. *Water Quality Res. J.* **2018**, 53(1), 3–13.
13. Hải, C.H.; Phương, T.A.; Như, T.Q.; Cường, T.M. Áp dụng mô hình trí tuệ nhân tạo vào dự báo lưu lượng đến hồ lưu vực sông Ba. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 705, 22–33.
14. Philippe, B. The WGNE survey of verification methods for numerical prediction of weather elements and severe weather events. Meteo – France, Toulouse, 2003.
15. Chen, Yingyi. A review of the artificial neural network models for water quality prediction. *Applied Sci.* **2020**, 10(17), 5776.
16. Ighalo, J.O.; Adewale, G.A.; Gonçalo, M. Artificial intelligence for surface water quality monitoring and assessment: a systematic literature analysis. *Model. Earth Syst. Environ.* **2021**, 7(2), 669–681.
17. Han, H.G.; Qiao, J.F.; Chen, Q.L. Model predictive control of dissolved oxygen concentration based on a self–organizing RBF neural network. *Control Eng. Pract.* **2012**, 20, 465–476.
18. Rajae, T.; Boroumand, A. Forecasting of chlorophyll–a concentrations in South San Francisco Bay using five different models. *Appl. Ocean Res.* **2015**, 53, 208–217.
19. Augspurger, T.; Keller, A.E.; Black, M.C.; Cope, W.G.; Dwyer, F.J. Water quality guidance for protection of freshwater mussels (Unionidae) from ammonia exposure. *Environ. Toxicol. Chem.: Int. J.* **2003**, 22(11), 2569–2575.
20. Bộ Tài nguyên và Môi trường. QCVN 08:MT 2015/BTNMT – Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt, Hà Nội, 2015.

Research on combining hydraulic model and artificial intelligence model to simulate water quality of Nhue – Day river in Ha Noi City

Hoang Thi An^{1*}, Tran Thuy Nhung¹, Nguyen Thanh Thuy², Tran Anh Phuong¹

¹ Department of Water Resources Engineering and Technology, Water Resources Institute; anht510@wru.vn; tranthuynhung1990@gmail.com; phuongtran.monre@gmail.com

² Thuy Loi University; thanhthuy_rt@tlu.edu.vn

Abstract: The Nhue–Day river basin is well–known by its critical water quality, causing negative impacts on locals’ health as well as landscape and environmental storage in recent years. The study develops artificial intelligence (AI) model to simulate the water quality of Nhue–Day river, based on the results of hydrodynamic simulation and water quality in the hydraulic model MIKE11. The input data include: topography, hydrological, and discharge data at monitoring locations to simulate river water quality. The AI model with MLP – ANN algorithm builds a regression relationship between river water flow and concentration of discharge sources (predictor variables) with water quality indicators (dependent variable) to forecast river water quality at control locations under different control and waste management scenarios quickly. The results from the AI model are close to the results from the MIKE 11 model with an R^2 index of 0.98 or higher, with simulation time being thousands of times faster than hydraulic model, which is an effective tool, allowing to get water quality forecast quickly. This study provides management tools for managers to quickly assess the impact of solutions to planning, managing, and controlling water pollution in the Nhue–Day river basin.

Keywords: Water quality; Nhue–Day river basin; MIKE 11 model; Artificial Intelligence model; MLP–ANN.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu ứng dụng mô hình học máy trong phân loại hệ sinh thái đất ngập nước nội địa tại Vườn Quốc gia Ba Bể, tỉnh Bắc Kạn

Đặng Kinh Bắc^{1*}, Phạm Hạnh Nguyên², Nguyễn Thành Vĩnh², Trần Ngọc Cường², Nguyễn Văn Quân³, Trịnh Thị Thúy Chinh⁴, Vũ Thị Phương⁵

¹ Khoa Địa lý, trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; dangkinhbac@hus.edu.vn;

² Cục Bảo tồn Thiên nhiên và Đa dạng Sinh học, Tổng cục Môi trường, Bộ Tài nguyên và Môi trường; nguyenvh.nbca@gmail.com;

³ Công ty TNHH MTV Trắc địa Bản đồ, Cục Bản Đồ, Bộ Tổng tham mưu; quannguyen26795@gmail.com;

⁴ Công ty cổ phần dược phẩm Hoa Anh, 14/1 Pháo Đài Láng, Đống Đa, Hà Nội; trinha2698@gmail.com;

⁵ Đại học Hồng Đức, 565 Quang Trung, Thanh Hóa; vuthiphuong@hdu.edu.vn;

*Tác giả liên hệ: dangkinhbac@hus.edu.vn; Tel.: +84–389542557

Ban Biên tập nhận bài: 12/6/2022; Ngày phản biện xong: 20/7/2022; Ngày đăng bài: 25/7/2022

Tóm tắt: Sự suy thoái và chuyển đổi đất ngập nước đã được cảnh báo trong 10 năm qua, nhưng việc kiểm kê và giám sát những thay đổi này vẫn còn gặp nhiều khó khăn do thiếu khả năng tiếp cận và công nghệ. Do đó, việc trang bị cho các nhà quản lý những công cụ để phân loại và giám sát các hệ sinh thái đất ngập nước theo thời gian thực là điều cần thiết. Mục đích của nghiên cứu này là phát triển mô hình hữu ích phân loại 7 loại đất ngập nước nội địa tại Vườn quốc gia Ba Bể, tỉnh Bắc Kạn cùng các hệ sinh thái lân cận được phân loại trong hệ thống RAMSAR và MONRE (*Ministry of Natural Resources and Environment – Bộ Tài Nguyên và Môi trường*). Từ đó, mô hình ResU–Net (*Deep Residual U–Net*) sử dụng chức năng tối ưu hóa Adadelta đã được sử dụng để phân loại 7 loại đất ngập nước và 3 loại hình hệ sinh thái lân cận ở Vườn quốc gia Ba Bể, dựa trên ảnh vệ tinh Sentinel–2, với độ chính xác cao hơn 85%. Hiệu suất tốt hơn của mô hình này so với các phương pháp *Random forest (RF)* và *Support Vector Machine (SVM)* đã được chứng minh. Mô hình ResU–Net sau khi tối ưu hóa, cũng được sử dụng để lập bản đồ các khu vực đất ngập nước nội địa tại vùng núi Bắc Kạn. Mô hình này có khả năng cập nhật các kiểu đất ngập nước mới tại Việt Nam nhằm giám sát biến động đất ngập nước trong thời gian thực.

Từ khóa: Đất ngập nước; RAMSAR; Vườn quốc gia Ba Bể; U–Net; Viễn thám.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, khoảng 70% dân số thế giới đang sống ở các cửa sông ven biển và xung quanh các vùng nước ngọt nội địa [1–2]. Hệ sinh thái này cung cấp cho nhân loại một số lượng lớn các sản phẩm có giá trị hàng năm. Tuy nhiên các vùng đất ngập nước đang dần bị suy giảm, thế chỗ cho các công trình nhân sinh. Tại Việt Nam, các khu vực đất ngập nước rất đa dạng, có diện tích khoảng 5.810.000 ha, chiếm khoảng 8% tổng diện tích đất ngập nước của châu Á [3]. Hiện nay, cũng như trên thế giới, các hệ sinh thái đất ngập nước này tại nước ta đang đối mặt với sự suy giảm cả chất lượng lẫn diện tích. Mặc dù sự suy giảm này đã được cảnh

báo trong nhiều năm qua, việc đánh giá, kiểm kê và giám sát những thay đổi các vùng đất ngập nước vẫn đang gặp nhiều khó khăn do thiếu khả năng tiếp cận và công nghệ [4]. Do đó, cần thiết trang bị cho các nhà quản lý các công cụ tốt hơn để phân loại và giám sát thường xuyên hệ sinh thái đất ngập nước, đặc biệt tại các khu vực Vườn quốc gia và khu bảo tồn. Vườn quốc gia (VQG) Ba Bể thuộc tỉnh Bắc Kạn với tổng diện tích 7.610 ha, bao gồm khoảng 3.226 ha vùng lõi. Đặc biệt, vào năm 2011 vùng lõi của VQG Ba Bể được Ban Thư ký Công ước RAMSAR công nhận là khu đất ngập nước thứ 1938 có tầm quan trọng trên thế giới. Tuy nhiên, khác với hầu hết các VQG trên cả nước, tại vùng lõi của VQG Ba Bể các hoạt động kinh tế của người dân vẫn diễn ra. Do vậy, việc giám sát đất ngập nước có vai trò quan trọng đối với sinh kế và phát triển kinh tế của người dân tại vùng lõi của VQG Ba Bể.

Gần đây, các mô hình trí tuệ nhân tạo ngày càng phát triển và có chiều sâu, các mạng này có thể cung cấp một dự đoán chính xác hơn so với các phương pháp tính toán viển thám trước đây. Phương pháp phân đoạn ngữ nghĩa hiện đang bắt đầu được sử dụng trong các mô hình học máy, đặc biệt là trong việc tách các vùng phủ và đất ngập nước cho mỗi đặc điểm lớp phủ trên ảnh viển thám thành một lớp riêng biệt. Một số mạng sử dụng các phương pháp phân đoạn ngữ nghĩa chẳng hạn như mạng nơ-ron liên kết (CNN) mã hóa thông tin ngữ nghĩa cấp cao với quy trình tách mẫu. Tuy nhiên, phương pháp này không bảo toàn thông tin không gian chi tiết nhất của hình ảnh đầu vào. Do đó, một số mô hình như PSPNet, DeepLab v2 và Deeplab v3 đã được tích hợp với nhiều lớp phức hợp hơn để lưu giữ thông tin không gian trong suốt quá trình. Đặc biệt, mô hình mạng U-Shape có thể khôi phục thông tin không gian của dữ liệu đầu vào sau quá trình mã hóa và giải mã [16]. Hai giai đoạn này được kết nối liên tục và đa chiều, giúp lưu giữ thông tin không gian và thuộc tính đến cùng. Đồng thời để quan sát các loại đất ngập nước trong một khu vực rộng lớn, các ảnh vệ tinh như MODIS, Landsat và Sentinel thường được sử dụng [5–6]. So với các hình ảnh vệ tinh MODIS và Landsat có độ phân giải không gian kém thì Sentinel với khả năng chụp ảnh đa phổ, có thể thu được hình ảnh quang học một cách có hệ thống trên cả khu vực nội địa và ven biển ở độ phân giải không gian cao (10 m đến 60 m). Do đó, trong nghiên cứu này, các tác giả đề xuất mô hình ResU-Net để dự báo lớp phủ đất ngập nước nội địa dựa trên dữ liệu Sentinel đa thời gian tại Vườn Quốc gia Ba Bể, tỉnh Bắc Kạn. Ba câu hỏi nghiên cứu sau liên quan đến phân loại lớp phủ đất ngập nước dựa trên học sâu sẽ được làm rõ trong nghiên cứu này:

- Lợi ích của việc tích hợp ảnh học sâu và ảnh viển thám đa thời gian để theo dõi phân loại đất ngập nước nội địa là gì?
- Liệu mô hình học máy sâu có thể thay thế các phương pháp truyền thống trong việc phân loại đất ngập nước nội địa?
- Các loại đất ngập nước nội địa phân bố như thế nào ở khu vực VQG Ba Bể?

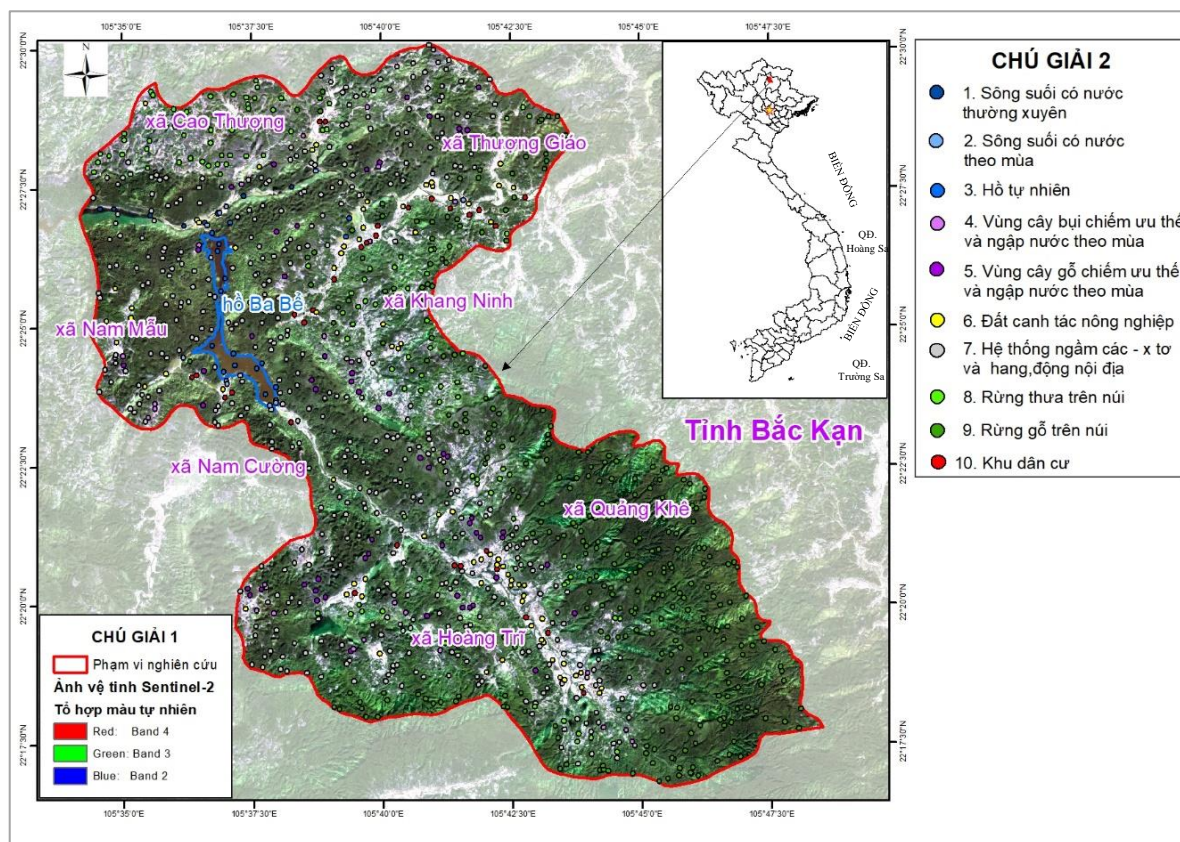
2. Phạm vi và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực trọng tâm trong nghiên cứu này là vùng đất ngập nước vườn Quốc gia Ba Bể thuộc các xã Nam Mẫu, Khang Ninh, Cao Thượng, Thượng Giáo, Quảng Khê, Hoàng Trĩ, Đông Phúc thuộc huyện Ba Bể và xã Nam Cường thuộc huyện Chợ Đồn. Vườn Quốc gia Ba Bể có tổng diện tích 44 ha, trong đó vùng lõi chiếm khoảng 10 ha và vùng đệm là hơn 34 ha [7]. Ngày 2 tháng 2 năm 2011, Ban Thư ký Công ước RAMSAR đã công nhận vùng lõi của VQG Ba Bể là khu đất ngập nước thứ 1938 có tầm quan trọng trên thế giới [8].

Hồ Ba Bể là hệ sinh thái lớn nhất thuộc VQG Ba Bể được hình thành cách đây khoảng 200 triệu năm về trước do một biến động địa chất lớn, làm sụt lún các dãy núi đá vôi tạo thành. Hồ được nhận nước từ ba con sông Tà Han, Nam Cường và Chợ Lèn ở phía nam VQG rồi từ hồ đổ ra sông Năng là con sông chảy qua phía bắc của VQG. Ba Bể là một khu bảo vệ độc đáo trong hệ thống rừng đặc dụng Việt Nam do là nơi có nhiều hệ sinh cảnh nước ngọt đa dạng, nhiều ao tù, vùng đầm lầy. Cấu trúc địa chất, địa mạo khu vực hết sức đa dạng với nhiều đỉnh cao, độ phân

cắt lớn, thung lũng, sông suối với các sườn dốc đứng kéo theo hình thành nhiều hệ sinh thái khác nhau và đồng thời cũng tạo thành phong cảnh nơi đây hết sức ngoạn mục. Theo phân loại của RAMSAR và Bộ Tài nguyên và Môi trường [9], VQG Ba Bể có 7 loại hình đất ngập nước được thống kê trong Bảng 1.



Hình 1. Phạm vi khu vực nghiên cứu (Ảnh Sentinel –2).

Bảng 1. Phân loại đất ngập nước VQG Ba Bể dựa trên RAMSAR, MONRE.

STT	HST	Loại hình đất ngập nước	RAMSAR	MONRE	VQG Ba Bể
1		Sông, suối có nước thường xuyên	X	X	X
2		Sông, suối có nước theo mùa	X	X	X
3		Hồ tự nhiên	X	X	X
4	Đất ngập nước tự nhiên	Vùng đất than bùn có rừng, cây bụi hoặc không có thực vật che phủ	X	X	
5		Vùng ngập nước có cây bụi chiếm ưu thế và ngập nước theo mùa	X	X	X
6		Vùng ngập nước có cây gỗ chiếm ưu thế và ngập nước theo mùa	X	X	X
7		Suối, điểm nước nóng, nước khoáng	X	X	
8		Hệ thống thủy văn ngầm karst và hang, động nội địa	X	X	X
9		Ao, hồ, đầm nuôi trồng thủy sản nước mặn, lợ	X	X	
10		Ao, hồ, đầm nuôi trồng thủy sản nước ngọt	X	X	
11	Đất ngập nước nhân sinh	Đất canh tác nông nghiệp	X	X	X
12		Đồng cỏ	X	X	
13		Đồng muối	X	X	
14		Ao, hồ chứa và xử lý nước thải	X	X	
15		Moong khai thác khoáng sản	X	X	
16		Hồ chứa nước nhân tạo	X	X	
17		Sông đào, kênh, mương, rạch	X	X	

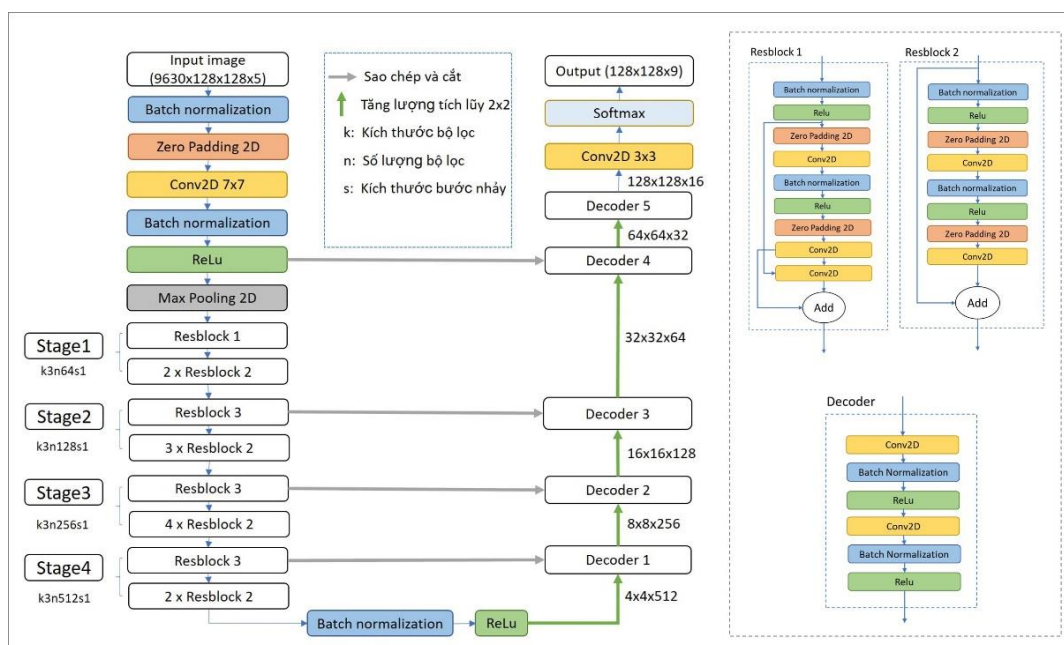
2.2. Thu thập dữ liệu và mẫu

2.2.1. Chuẩn bị dữ liệu đầu vào

Để thu thập thông tin về lớp phủ đất ở khu vực Vườn Quốc gia Ba Bể, ảnh Sentinel-2 (hiệu chỉnh ở mức 2 với độ phân giải 10 mét) đã được chọn sử dụng. Dựa vào các ảnh vệ tinh có độ phân giải trung bình, nghiên cứu phân biệt được các vùng đất ngập nước vĩnh viễn và tạm thời. Đối với vùng có hệ thủy văn ngầm karst và hang động, nghiên cứu bổ sung dữ liệu địa chất-địa mạo để xác định khu vực có thành tạo karst, ghép với các hệ sinh thái trên bề mặt để chuẩn hóa dữ liệu đầu ra từ bước giải đoán. Các hình ảnh vệ tinh thu được năm 2021 và 2020 được sử dụng để xác minh các lớp đầu vào để đào tạo mô hình ResU-net. Khảo sát thực địa được thực hiện vào tháng 11/2021 để kiểm chứng các loại hình đất ngập nước đã được giải đoán tại phòng. Ngoài ra, công trình nghiên cứu sử dụng thêm 5 hình ảnh Sentinel-1 và 2 vào các năm 2014, 2016, 2017, 2018 để đánh giá những thay đổi đất ngập nước trong Vườn Quốc gia Ba Bể sau khi mô hình ResU-net được hoàn thành. Trên cơ sở đó, nghiên cứu tính toán chỉ số MNDWI nhằm đánh giá sự biến đổi chất lượng môi trường nước trên các hệ sinh thái có được từ hệ thống ResU-Net, đặc biệt tại khu vực hồ Ba Bể.

2.2.2. Thiết lập ResU-Net để phân loại đất ngập nước

ResU-Net là một kiến trúc tận dụng các mạng thần kinh còn sót lại sâu với 34 lớp [1,10] và U-Net [11]. Kiến trúc của ResU-Net được đề xuất thể hiện trong Hình 2. Các mạng ResU-Net tích hợp các khối xây dựng còn lại (viết tắt là ResBlock) trong một mặt mã hóa của các mô hình U-Net, trong khi mặt giải mã của chúng vẫn được giới thiệu trong kiến trúc U-Net cũ [12]. Các mạng Resnet34 đã được sử dụng trong phân loại đối tượng, nhận dạng hình ảnh và các tác vụ phi thị giác máy tính. Dựa trên những lợi thế này, kiến trúc ResU-Net được chọn làm xương sống của mạng trong nghiên cứu này.



Hình 2. Cấu trúc ResU-Net để đào tạo mô hình phân loại các loại hệ sinh thái đất ngập nước nội địa.

Trong quá trình phát triển ResU-Net, độ chính xác của cả dữ liệu đào tạo và xác nhận đã được kiểm tra để tránh hiện tượng mô hình quá khít hoặc không khớp với mẫu đầu vào. Mạng ResU-Net tốt nhất sẽ được chọn nếu khả năng dự đoán các loại hình đất ngập nước phù hợp với các nhãn được chỉ định từ dữ liệu huấn luyện trong dữ liệu thô. Mô hình ResU-Net được phát triển dựa trên API python mô hình Segmentation trong khuôn khổ Keras, dưới dạng API được

thiết kế để phân đoạn hình ảnh dựa trên Tensorflow. Chu kỳ đào tạo ResU–Net được giới hạn ở 200 vòng (chu kỳ), nhưng nếu hệ số trên tập dữ liệu thử nghiệm hội tụ, chu kỳ có thể bị dừng lại nếu tất cả các giá trị chính xác không thay đổi sau 20 chu kỳ.

2.2.3. Phương pháp kiểm tra hiệu suất

Chức năng đánh giá mức độ mất mát dữ liệu trong quá trình huấn luyện được tính toán liên tục để đánh giá hiệu suất hoạt động của mô hình. Nếu như mô hình có độ chính xác cao nhưng mất đi thông tin dữ liệu ban đầu thì mô hình đó cũng không có ý nghĩa [13–14]. Do số lượng mẫu cho bảy đối tượng đất ngập nước nội địa không cân bằng trong bộ dữ liệu đầu vào, chỉ số đánh giá mức độ mất mát đã được chọn trong nghiên cứu này là F1 để đánh giá mức độ mất thông tin phân loại đa lớp. Nó làm giảm sự mất cân bằng của các bộ dữ liệu đào tạo giữa các đối tượng, đặc biệt khi diện tích đất ngập nước nội địa chiếm phần lớn dữ liệu đầu vào [14–15]. Ngoài ra, trong nghiên cứu này, hai giá trị độ chính xác khác sẽ được tính toán, bao gồm tổng độ chính xác ACC và IoU như các công thức sau:

$$ACC = \frac{2TP}{2TP+FP+FN} \tag{1}$$

$$IoU = \frac{TP}{TP+FP+FN} \tag{2}$$

Trong đó TP là giá trị dương thực sự, FP là giá trị dương tính giả và giá trị âm sai FN giữa dự đoán và sự thật cơ bản. Mô hình được đào tạo có giá trị thấp nhất trong tất cả các chức năng mất mát sẽ là mô hình tốt nhất để phân loại các khu vực đất ngập nước mới.

2.2.4. Phương pháp tối ưu hóa

Các phương pháp tối ưu hóa được sử dụng rộng rãi để xây dựng các mạng thần kinh dựa trên thuật toán SGD để giảm chức năng chi phí. Cách tiếp cận này để thay đổi trọng số mô hình theo hướng gradient âm cải thiện độ chính xác của các mạng thần kinh đủ điều kiện và giảm thiểu sự mất mát. Các lỗi của các mô hình được đào tạo (hoặc chức năng mất mát) đã được tính toán trong các chu kỳ tối ưu hóa. Qua các vòng lặp tính toán, dữ liệu di chuyển qua các lớp của các mô hình ResU–Net [1, 15]; và cập nhật trọng số sau mỗi vòng lặp là cần thiết để giảm giá trị mất mát cho đánh giá tiếp theo. Ba thuật toán tối ưu hóa đã được sửa đổi tuần tự trong nghiên cứu này bao gồm Adam (Ước tính khoảng khắc thích ứng), Adagrad (Thuật toán Gradient thích ứng), Adadelta trong quá trình phát triển ResU–Net. Nói chung, cách tiếp cận tối ưu hóa các trọng số trong mô hình tạo ra độ chính xác cao nhất và giá trị mất mát thấp nhất.

Bảng 2. Ba thuật toán tối ưu hóa để đào tạo các thông số của kiến trúc ResU–Net để phân loại đất ngập nước.

Công thức	Phương pháp Optimizer	Thuật toán
03	Adam	$\theta_{t+1} = \theta_t - \frac{\eta}{\sqrt{\hat{v}_t + \epsilon}} \hat{m}_t$
04	Adagrad	$\theta_{t+1} = \theta_t - \frac{\eta}{\sqrt{G_t + \epsilon}} g_t$
05	Adadelta	$\theta_{t+1} = \theta_t - \frac{\sqrt{E[\Delta\theta^2]_{t-1} + \epsilon}}{\sqrt{E[g^2]_t + \epsilon}} \cdot g_t$

Trong đó θ : giá trị tham số ở đâu; η : là tỷ lệ học tập; t là bước thời gian; $\epsilon = 10^{-8}$ g_t : là gradient; $E[g]$: trung bình động của gradient bình phương; m, v là ước tính của khoảng khắc thứ nhất và thứ hai; g_t : hoạt động tối đa.

Trong đó, Adam là thuật toán cho phép tính tốc độ học thích ứng với mỗi trọng số. Thuật toán Adagrad thay đổi tùy thuộc vào trọng số: tốc độ học thấp đối với các trọng số tương ứng với

các đặc trưng phổ biến và tốc độ học cao tương ứng với các trọng số đặc trưng ít phổ biến hơn. Còn với Adadelta là một biến thể khác của Adagrad nhằm mục đích khắc phục tình trạng giảm tốc độ học của Adagrad.

2.2.5. So sánh mô hình

Trong phần này, kết quả dự đoán của ba mô hình ResU–Net được so sánh với kết quả từ hai mô hình chuẩn, bao gồm RF và SVM. Tổng cộng có 9630 điểm ngẫu nhiên đã được chọn ở khu vực trong quá trình thực địa lấy mẫu. Các loại đất ngập nước được giải thích từ năm mô hình và mặt nạ được chỉ định cho 9630 điểm này. Kết quả giải thích từ năm mô hình được so sánh với thông tin ban đầu từ mặt nạ để kiểm tra hiệu suất của từng mô hình được đào tạo. Hai giá trị đánh giá được chọn là độ chính xác tổng thể (ACC) và các giá trị hệ số kappa. Mô hình tốt nhất sẽ đạt được các giá trị ACC và kappa cao nhất.

3. Kết quả

3.1. Đánh giá độ chính xác mô hình học máy

Độ chính xác của việc phân loại kiểu hệ sinh thái ĐNN trong VQG Ba Bể dựa trên việc giải thích năm mô hình học máy được đào tạo thể hiện trong Bảng 2. Theo đó, hầu hết các hệ sinh thái đất liền đều được dự đoán hiệu quả trong cả ba mô hình U–Net. Các hệ thống thủy văn ngầm karst và hang, động nội địa được giải đoán có phần kém nhất do tính chất karst không được thể hiện đặc trưng trên bề mặt. Bên cạnh đó, các hệ sinh thái biến động theo mùa vụ cũng khó được phát hiện như sông suối theo mùa và đất canh tác nông nghiệp. Mô hình Unet–Adadelta–256–64 phát hiện hầu hết các sông suối thường xuyên và hồ tự nhiên. Các khu vực sông suối theo mùa không đồng nhất bằng mô hình Unet–Adam–256–32 và Unet–Adagrad–256–64, trong khi sự phân bố của kiểu hệ sinh thái này dường như đồng nhất hơn trong mô hình Unet–Adadelta–256–64. Trong kết quả thu được từ hai mô hình điểm chuẩn, mô hình RF không phát hiện được các hệ sinh thái ngập nước theo mùa. Kết quả của mô hình RF giải đoán tốt các khu vực có hồ tự nhiên và sông suối thường xuyên. Cả hai mô hình điểm chuẩn đều dự đoán rằng rất khó để tách các khu vực còn lại. Có thể thấy sự khác biệt giữa kết quả của tất cả các mô hình U–Net và hai mô hình điểm chuẩn là tương đối lớn.

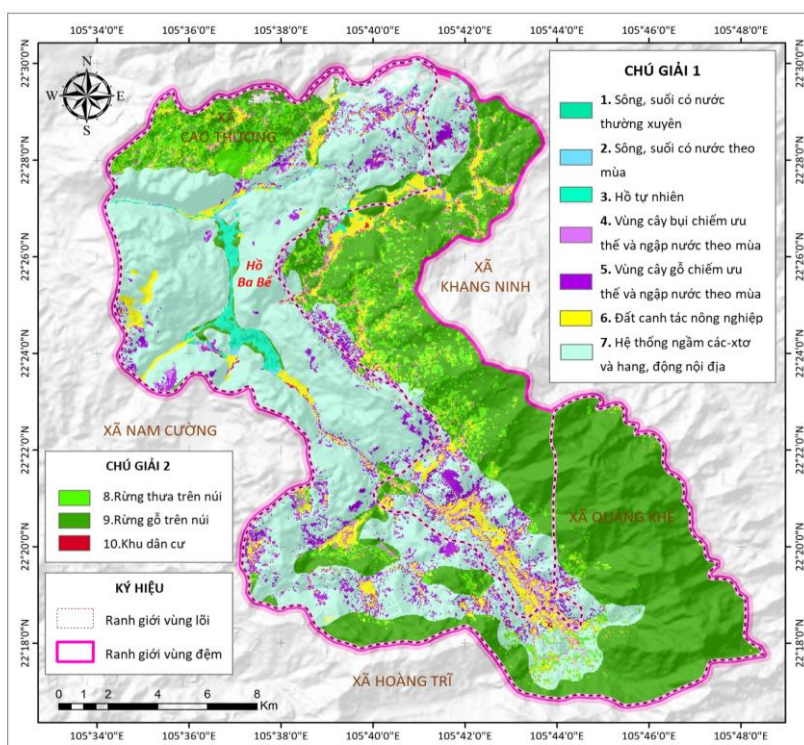
Bảng 3. Xác nhận chéo của ba mô hình U–Net được đào tạo và hai mô hình điểm chuẩn để phân loại kiểu hệ sinh thái ĐNN.

	Số mẫu	Độ chính xác mô hình				
		UNet–Adam–256–32	UNet–Adagrad–256–64	UNet–Adadelta–256–64	SVM RF	
Kiểu HST đất ngập nước						
Sông, suối có nước thường xuyên	997	97,4	97,8	99,4	98,5	97,2
Sông, suối có nước theo mùa	962	74,8	76,0	79,5	77,5	26,8
Hồ tự nhiên	983	85,8	88,3	93,4	85,4	85,0
Vùng ngập nước có cây bụi chiếm ưu thế và ngập nước theo mùa	939	80,9	80,4	90,4	76,3	19,2
Vùng ngập nước có cây gỗ chiếm ưu thế và ngập nước theo mùa	990	97,4	97,2	98,6	97,8	97,2
Hệ thống thủy văn ngầm karst và hang, động nội địa	852	27,0	30,4	64,9	21,8	3,2
Đất canh tác nông nghiệp	992	77,6	85,0	98,7	59,1	48,1
Tổng số	9,630	Độ chính xác (%)				
		73,0	77,0	86,6	66,7	50,2
		Kappa Coefficient				
		0,7	0,8	0,9	0,6	0,5

So sánh độ chính xác giữa ba mô hình U-Net và hai mô hình điểm chuẩn với các dự đoán mới được trình bày trong Bảng 2. Cả ba mô hình U-Net có thể phát hiện bốn kiểu hệ sinh thái ĐNN trong VQG gồm sông suối có nước theo mùa, hồ tự nhiên, vùng ngập nước có cây bụi và cây gỗ ngập nước theo mùa và đất canh tác nông nghiệp. Mô hình UNet-Adadelta-256-64 là mô hình tốt nhất để phân loại hầu hết các kiểu hệ sinh thái này với tổng độ chính xác là 86,6 % và chỉ số Kappa là 0,9. Hai mô hình U-Net khác khả năng xác định các khu vực thủy văn karst ngầm và hang động nội địa với độ chính xác thấp. Trong hai mô hình điểm chuẩn, RF chỉ đạt được độ chính xác là 50 % với chỉ số Kappa là 0,5. Mặc dù SVM có thể giải đoán hồ và sông suối tự nhiên với độ chính xác cao hơn 80 %, nó không thể được sử dụng để giải đoán các hệ sinh thái khác. Do đó, có thể dễ dàng khẳng định rằng kết quả từ tất cả các mô hình U-Net có độ chính xác cao hơn so với kết quả từ hai mô hình truyền thống trước đây.

3.2. Phân bố vùng đất ngập nước trong VQG Ba Bể

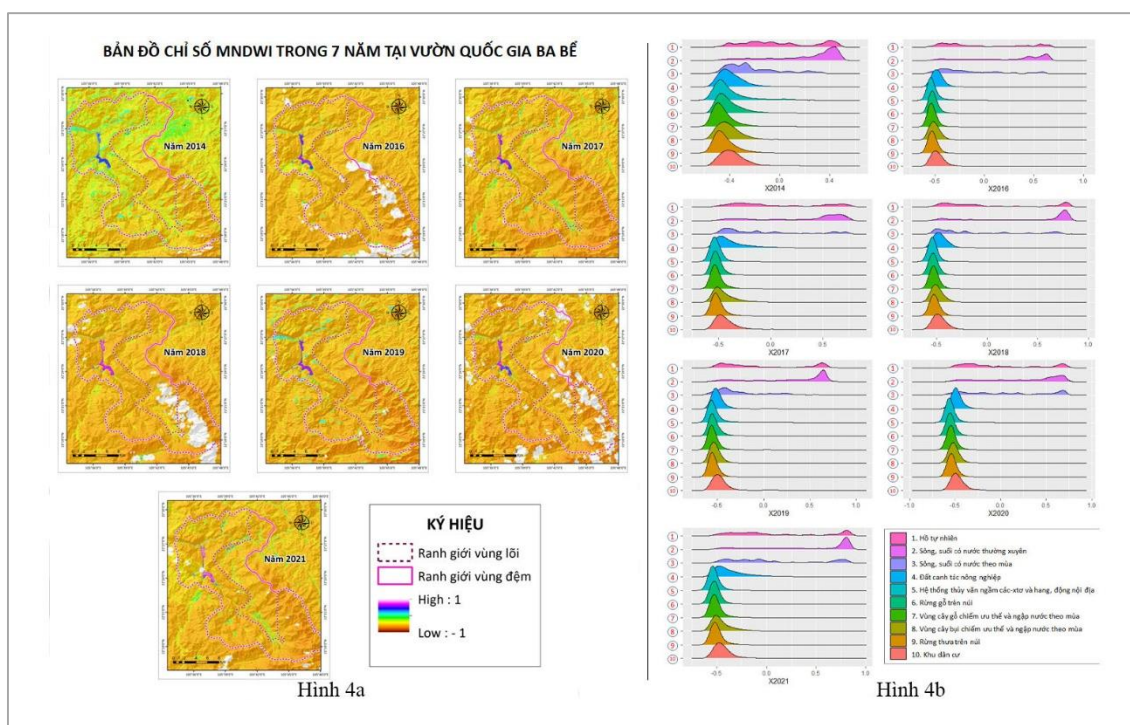
Khu vực VQG Ba Bể có 10 loại hình lớp phủ, trong đó có 7 loại hình đất ngập nước lục địa được thống kê theo danh sách phân loại của RAMSAR và MONRE (Hình 3). Dân cư sinh sống rải rác dọc theo đường quốc lộ và một số điểm du lịch quanh khu vực Hồ Ba Bể và trung tâm các xã vùng đệm. Ngoài các hệ sinh thái sông suối và hồ tự nhiên ngập nước thường xuyên trong năm, khu vực VQG có nhiều hệ sinh thái ĐNN ngập nước theo mùa như vùng cây bụi, cây gỗ và đất canh tác nông nghiệp. Ba lớp phủ rừng thưa và gỗ trên núi tập trung chủ yếu tại khu vực núi cao phía đông khu vực vùng đệm, xã Quảng Khê và Cao Thượng. Đặc biệt, khu vực vùng lõi chủ yếu được hình thành bởi hệ thống đá vôi hệ tầng Mia Lé. Bản thân hồ Ba Bể được hình thành trên một vùng sụt, nằm giữa vùng karst lớn. Tại đây phát hiện được nhiều hang động lớn nhỏ. Hệ thống hang động kì vĩ đã và đang phát triển dưới tác động của quá trình kiến tạo bao gồm hệ thống hang khô, hệ thống hang nước và hệ thống sông ngầm. Do đó, toàn bộ hệ thống lớp phủ rừng gỗ và cây bụi có nền địa chất karst đều được phân tách thành loại lớp phủ phù hợp với phân loại của RAMSAR và MONRE là “hệ thống ngầm các-tơ và hang, động nội địa”. Một số hang động được kể đến như động Puông, động Hua Mạ, hang Thẩm Phây và hang Nà Phong.



Hình 3. Bản đồ phân bố các kiểu đất ngập nước khu vực VQG Ba Bể.

3.3. Biến động chỉ số mặt nước khu vực nghiên cứu trong 7 năm

Kết quả tính toán chỉ số mặt nước khu vực VQG Ba Bể cho thấy chỉ số MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) thấp hơn tại các năm ảnh được thu vào mùa khô như 2014 và 2019 (Hình 4a). Mặc dù vậy, do đây là khu vực miền núi đá vôi, lượng nước mưa sau khi được đổ xuống nhanh chóng bị tiêu thoát theo các hệ thống mạch nước, khiến diện tích nước trên bề mặt không nhiều, chỉ tập trung chủ yếu tại khu vực hồ Ba Bể. Theo đó, biến động diện tích hồ sẽ được phân tích ở mục sau. Các khu vực có hệ thống rừng gỗ hoặc cây bụi vẫn giữ chỉ số MNDWI thấp dưới 0. Trong khi các khu vực mặt nước có chỉ số MNDWI lớn hơn 0, riêng các khu vực sông suối và hồ ngập nước thường xuyên có chỉ số gần ngưỡng 1. Riêng khu vực canh tác nông nghiệp có phần biến động nhất do thời gian canh tác 1 vụ trong năm (Hình 4b). Toàn vùng lõi có 448 ha đất nông nghiệp (bình quân 0,73 ha/hộ và 0,12 ha/người) chủ yếu là canh tác nông nghiệp 1 vụ, ngoài ra một vài diện tích đất trồng màu tại các bãi ven sông suối và cửa sông suối đổ vào hồ. Hầu hết diện tích này chỉ canh tác được 1 vụ và thường xuyên bị cát bồi lấp nên năng suất rất thấp.

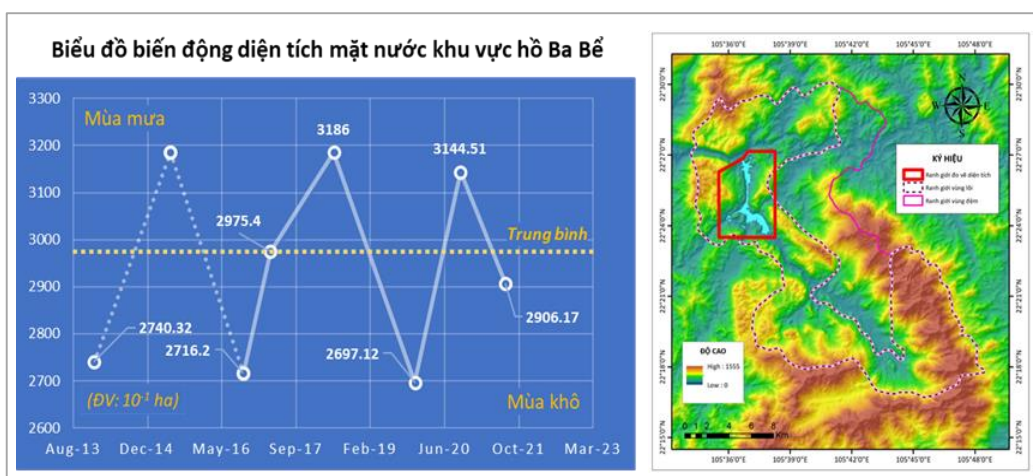


Hình 4. Kết quả tính toán chỉ số MNDWI của từng hệ sinh thái ĐNN và toàn khu vực VQG Ba Bể trong 7 năm.

3.4. Biến động diện tích hồ Ba Bể

Dựa trên kết quả tính toán chỉ số MNDWI, nghiên cứu tách thông tin mặt nước khu vực quanh hồ Ba Bể để đánh giá biến động hồ Ba Bể trong 7 năm (Hình 5). Theo đó, diện tích ngập nước trung bình quanh hồ Ba Bể là 290 ha/năm, trong mùa khô đạt trên 270 ha và trong mùa mưa đạt gần 320 ha. Trong 7 năm tính toán, dữ liệu ảnh mùa khô được tính vào các năm 2014, 2016 và 2019 và mùa mưa được tính toán vào các năm 2018 và 2020. Ảnh được chụp vào các tháng chuyển tiếp của các năm 2017 và 2021 thường chỉ mang lại diện tích ở mức trung bình trong năm. Trong vài năm gần đây, xuất hiện việc sử dụng chất độc và chất nổ để đánh bắt cá trong hồ Ba Bể, nhưng việc đánh bắt cá bằng các phương thức hủy diệt hiện đã hầu như được kiểm soát. Tuy nhiên, tàu thuyền du lịch đi lại trong hồ là nguồn xả chất thải rắn và cặn bã xăng dầu vào hồ. Một vấn đề môi trường lớn là hiện tượng bồi lắng lòng hồ do việc canh tác ở các vùng đầu nguồn của ba con sông nhánh chính đổ vào hồ. Mặc dù vậy, kết

quả tính toán mặt hồ không thể hiện rõ ràng điều này. Diện tích mặt nước có xu thế giảm nhẹ từ năm 2014 đạt 274 ha nhưng đến năm 2019 chỉ đạt 270 ha vào mùa khô. Ngay cả khi phỏng vấn người dân bản địa và các nhà quản lý khu vực cũng cho rằng diện tích mặt hồ có sự tác động của quá trình bồi lắng lòng hồ, nhưng sự suy giảm diện tích mặt hồ là không đáng kể.



Hình 5. Biến động diện tích mặt hồ khu vực Ba Bể trong 7 năm.

4. Thảo luận

So với các hệ thống phân loại đất ngập nước của RAMSAR và MONRE [9], nghiên cứu này tập trung vào 7 loại hình đất ngập nước lục địa. Mặc dù các mô hình phân loại đất ngập nước đã được phát triển trong một số nghiên cứu và các phương pháp tách lọc lớp phủ theo phương pháp truyền thống đã có nhiều trước đây, tuy nhiên các phương pháp này đòi hỏi nhiều thời gian, công sức, sai số lớn hơn nếu thực hiện trong nhiều thời điểm, thời gian khác nhau. Trong khi, mô hình Unet–Adadelta–256–64 lại thể hiện ưu thế về độ chính xác, tiết kiệm thời gian hơn rất nhiều cho các nhà nghiên cứu.

Ngoài ra, việc sử dụng dữ liệu viễn thám đã được tối ưu hóa trong nghiên cứu này. Mô hình được đào tạo sử dụng hình ảnh vệ tinh Sentinel–2 chất lượng cao (không có mây che phủ) được thu thập hai đến ba lần mỗi năm, có thể được sử dụng hiệu quả để theo dõi việc sử dụng đất ngập nước, lớp phủ thực vật thường xuyên.

5. Kết luận

Nghiên cứu này đã chứng minh lợi ích của việc kết hợp dữ liệu học sâu và viễn thám để theo dõi các kiểu đất ngập nước trong khu vực VQG Ba Bể. Mô hình U–Net được đào tạo đã sử dụng để xác định 7 kiểu hệ sinh thái ĐNN trong khu vực VQG trong vòng 7 năm (2014–2021). Trong đó, 7 loại hình đất ngập nước phù hợp với hệ thống phân loại của RAMSAR và MONRE. Ngoài các hệ sinh thái ngập nước theo mùa, hệ thống thủy văn dòng chảy karst là loại hình lớp phủ đặc biệt trong khu vực đã được xác định nhờ dữ liệu địa chất–địa mạo. Tuy nhiên, do nước tại vùng karst có khả năng tiêu thoát nước nhanh, mức độ phủ mặt nước khu vực tại một thời điểm không cao. Tập trung chủ yếu chỉ tại khu vực hồ Ba Bể.

Sau 7 năm, các hệ sinh thái đất ngập nước không thay đổi nhiều. Trong thời gian này, diện tích mặt nước suy giảm lớn nhất được ghi nhận vào năm 2019 trong khoảng 270 ha, với độ chính xác 87%. Mặc dù các thống kê cho thấy hiện tượng bồi lắng lòng hồ diễn ra mạnh, kết quả phân tích cho thấy hiện tượng này xuất hiện chủ yếu do hoạt động nông nghiệp ven lòng hồ. Hoạt động nông nghiệp bị thu hẹp nhiều vào những thời điểm nước rút, khiến người dân không thể phát triển sinh kế nông nghiệp tại đây. Các nhà quản lý sử dụng đất có thể sử dụng các mô hình trí tuệ nhân tạo để theo dõi động thái của hệ sinh thái đất ngập nước hoặc mặt hồ mỗi mùa. Các nhà khoa học có thể đào tạo lại mô hình học máy dễ dàng với các mẫu bổ sung trong tương lai và sử dụng nó để phân loại các vùng sinh thái đất ngập nước nội địa khác.

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

Lời cảm ơn: Bài báo được thực hiện trong khuôn khổ đề tài khoa học và công nghệ: “Nghiên cứu, đề xuất giải pháp duy trì đặc tính sinh thái và cải thiện sinh kế cộng đồng tại một số khu Ramsar ở Việt Nam”, mã số TNMT.2020.562.08 của Bộ Tài nguyên và Môi trường.

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. Dang, K.B.; Nguyen, M.H.; Nguyen, D.A.; Phan, T.T.H.; Giang, T.L.; Pham, H.H.; Nguyen, T.N.; Van Tran, T.T.; Bui, D.T. Coastal Wetland Classification with Deep U-Net Convolutional Networks and Sentinel-2 Imagery: A Case Study at the Tien Yen Estuary of Vietnam. *Remote Sens.* **2020**, *12*, 1–26. doi:10.3390/rs12193270.
2. Sannigrahi, S.; Chakraborti, S.; Joshi, P.K.; Keesstra, S.; Sen, S.; Paul, S.K.; Kreuter, U.; Sutton, P.C.; Jha, S.; Dang, K.B. Ecosystem Service Value Assessment of a Natural Reserve Region for Strengthening Protection and Conservation. *J. Environ. Manage.* **2019**, *244*, 208–227. doi:10.1016/j.jenvman.2019.04.095.
3. Cục Bảo vệ Môi trường Việt Nam. Tổng Quan Hiện Trạng Đất Ngập Nước Việt Nam Sau 15 Năm Thực Hiện Công Ước Ramsar. Cục Bảo vệ Môi trường Việt Nam: Hà Nội, Việt Nam, 2005.
4. Huyền, N.T.T.; Minh, P.T.N.; Thủy, Đ.T.T. Bảo Tồn Đa Dạng Sinh Học Biển và Đất Ngập Nước (Kinh nghiệm từ một số Dự án nhỏ GRF). Viện Nghiên cứu GEF: Hà Nội, 2015.
5. He, Z.; He, D.; Mei, X.; Hu, S. Wetland Classification Based on a New Efficient Generative Adversarial Network and Jilin-1 Satellite Image. *Remote Sens.* **2019**, *11*, 1–16. doi:10.3390/rs11202455.
6. Ozesmi, S.L.; Bauer, M.E. Satellite Remote Sensing of Wetlands. *Wetl. Ecol. Manag.* **2002**, *10*, 381–402. doi:10.1023/A:1020908432489.
7. Đặng, T.H. Du Lịch Sinh Thái Vườn Quốc Gia Ba Bể, Huyện Ba Bể, Tỉnh Bắc Kan. *Tap chí kinh tế sinh thái* **2017**, *54*, 12.
8. Thủ tướng Chính phủ. QĐ 83/TTg, Quyết Định Phê Duyệt Luận Chứng Kinh Tế – Kỹ Thuật Đầu Tư Xây Dựng Vườn Quốc Gia Ba Bể (Giai Đoạn I), 1992.
9. MONRE. Thông Tư 07/2020/TT-BTNMT Ngày 31/08/2020 về Hướng Dẫn Điểm c Khoản 1 Điều 31 Nghị Định 66/2019/NĐ-CP về Bảo Tồn và Sử Dụng Bền Vững Các Vùng Đất Ngập Nước, Hà Nội, 2020.
10. Perez, H.; Tah, J.H.M.; Mosavi, A. Deep Learning for Detecting Building Defects Using Convolutional Neural Networks. *Sensors* **2019**, *19*. doi:10.3390/s19163556.
11. Stoian, A.; Poulain, V.; Inglada, J.; Poughon, V.; Derksen, D. Land Cover Maps Production with High Resolution Satellite Image Time Series and Convolutional Neural Networks: Adaptations and Limits for Operational Systems. *Remote Sens.* **2019**, *11*, 1–26. doi:10.3390/rs11171986.
12. Giang, T.L.; Dang, K.B.; Toan Le, Q.; Nguyen, V.G.; Tong, S.S.; Pham, V.M. U-Net Convolutional Networks for Mining Land Cover Classification Based on High-Resolution UAV Imagery. *IEEE Access* **2020**, *8*, 186257–186273. doi:10.1109/access.2020.3030112.
13. Lin, T.Y.; Goyal, P.; Girshick, R.; He, K.; Dollar, P. Focal Loss for Dense Object Detection. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* **2020**, *42*, 318–327. doi:10.1109/TPAMI.2018.2858826.

14. Choung, Y.J.; Jo, M.H. Comparison between a Machine–Learning–Based Method and a Water–Index–Based Method for Shoreline Mapping Using a High–Resolution Satellite Image Acquired in Hwado Island, South Korea. *Sensors* **2017**, *2017*. doi:10.1155/2017/8245204.
15. Pouliot, D.; Latifovic, R.; Pasher, J.; Duffe, J. Assessment of Convolution Neural Networks for Wetland Mapping with Landsat in the Central Canadian Boreal Forest Region. *Remote Sens.* **2019**, *11*. doi:10.3390/rs11070772.
16. Diakogiannis, F.I.; Waldner, F.; Caccetta, P.; Wu, C. ResUNet–a: A deep learning framework for semantic segmentation of remotely sensed data. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* **2020**, *162*, 94–114. doi:10.1016/j.isprsjprs.2020.01.013

Application of artificial intelligence model in classification of inland wetland ecosystems in Ba Be National Park, Bac Kan province

Dang Kinh Bac^{1*}, Pham Hanh Nguyen², Nguyen Thanh Vinh², Tran Ngoc Cuong², Nguyen Van Quan³, Trinh Thi Thuy Chinh⁴, Vu Thi Phuong⁵,

¹ Faculty of Geography, University of Natural Sciences, Vietnam National University, Hanoi; dangkingbac@hus.edu.vn

² Department of Nature Conservation and Biodiversity, Vietnam Environment Administration, Ministry of Natural Resources and Environment; nguyennh.nbca@gmail.com

³ Survey and Aerial Mapping One Member Limited Liability Company, Department of Mapping, General Staff; quannguyen26795@gmail.com

⁴ Hoa Anh Pharmaceutical Joint Stock Company, 14/1 Lang Fort, Dong Da, Hanoi; Trinha2698@gmail.com

⁵ Hong Duc University, 565 Quang Trung, Thanh Hoa; vuthiphuong@hdu.edu.vn

Abstract: The degradation of wetland areas has been reported for the past 10 years, but the monitoring process of these changes is still a big challenge due to a lack of accessibility and technology. It is therefore essential to equip managers with tools to classify and monitor wetland ecosystems in real time. The aim of this study is to develop a useful model to classify inland wetlands in Ba Be National Park, Bac Kan Province and surrounding ecosystems based on the RAMSAR and MONRE classification systems. As a result, ResU–Net model using Adadelta optimization functions were used to classify seven types of wetlands and three types of neighboring ecosystems in Ba Be National Park, based on images obtained from the Sentinel–2 satellite, with more than 85% accuracy. The better performance of these models compared to Random forest (RF) and Support Vector Machine (SVM) methods has been demonstrated. The ResU–Net model, after optimization, is also used to map inland wetland areas in the Bac Kan mountains. This model is capable of updating new wetland types in Vietnam to monitor real–time wetland changes in the future.

Keywords: Wetland; RAMSAR; Ba Be National Park; U–Net; Remote sensing.

Table of content

- 1** Oanh, B.T.N.; Linh, T.K.K. Using satellite data of chlorophyll–A and sea surface temperature to evaluate dissolved CO₂ distribution in Vietnam. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 739, 1–9.
- 10** Luc, N.D.; Hang, L.T.T.; Thinh, C.V.; Thai, N.Q.; Thuy, L.T.; Duyen, Q.T.; Lan, P.T.H. Research on scientific basis to identify water sources and solutions for domestic and agricultural water supply for water shortage areas in Son La Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 739, 10–24.
- 25** Huong, C.T.T.; Do, T.T. Research the variation in intensity of tropical cyclones operating in the East Sea during development stages. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 739, 25–33.
- 34** Hieu, N.T.; Ha, D.T.; Anh, H.T.N. Evaluation of the effectiveness of improving water quality by appying riverbank filtration technology. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 739, 34–45.
- 46** Minh, P.T.; Dap, P.X.; Hang, N.T.; Tuong, T.T.H.; Thuy, P.K. Forecasting the track Molave storm in 2020 by of the weighted average method of the optimal ensemble members. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 739, 46–58.
- 59** Trong, N.G.; Nghia, N.V.; Khai, P.C.; Thanh, N.H.; Ha, L.L.; Dzung, V.T.; Quan, N.V.; Quang, P.N. Determination of tectonic velocities in Vietnam territory based on data of CORS stations of VNGEONET network. **2022**, 739, 59–66.
- 67** An, H.T.; Nhung, T.T.; Thuy, N.T.; Phuong, T.A. Research on combining hydraulic model and artificial intelligence model to simulate water quality of Nhue – Day river in Ha Noi city. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 739, 67–80.
- 81** Bac, D.K.; Nguyen, P.H.; Vinh, N.T.; Cuong, T.N.; Quan, N.V.; Chinh, T.T.T.; Phuong, V.T. Application of artificial intelligence model in classification of inland wetland ecosystems in Ba Be National Park, Bac Kan Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 739, 81–91.