

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Journal of Hydro - Meteorology

ISSN 2525 - 2208



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

Số 762
06-2024



Q. TÔNG BIÊN TẬP
PGS. TS. Đoàn Quang Trí

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

Giấy phép xuất bản

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

Tòa soạn

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

Chế bản và In tại:

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

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

Giá bán: 40.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN
SỐ 762 - 6/2024

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- Nguyễn Thị Thu Hà, Nguyễn Thành Nam, Nguyễn Thùy Liên, Bùi Thị Hoa:** Chất lượng môi trường nước và tương quan giữa chỉ số ô nhiễm hữu cơ Palmer của thực vật nổi (Phytoplankton) với thông số thủy lý hóa tại sông Hồng, Việt Nam
- Đặng Trần Trung, Nguyễn Thị Hoa, Nguyễn Thanh Kim Huệ, Trần Đức Thịnh, Lê Việt Hùng, Phạm Quý Nhân:** Ứng dụng mô hình MODFLOW xác định lượng bổ cập cho khai thác nước dưới đất vùng đồng bằng sông Hồng
- Trần Thị Minh Hằng, Doãn Đức Duy, Nguyễn Mạnh Khải:** Nghiên cứu chất lượng nước sông Thương đoạn qua địa bàn tỉnh Bắc Giang
- Phan Trường Khanh, Nguyễn Văn Tuấn, Nguyễn Đức Thắng, Trần Thị Hồng Ngọc:** Ước tính nhu cầu nước và bùn thải cho các mô hình nuôi cá tra ở tỉnh An Giang
- Phạm Hùng, Nguyễn Thị Ngọc Quyên, Lê Văn Trung, Võ Lê Phú:** Đánh giá sự phù hợp của một số mô hình khí hậu toàn cầu CMIP6-GCMs trong mô phỏng lượng mưa và nhiệt độ trên lưu vực thượng nguồn sông Đồng Nai
- Nguyễn Phúc Hiếu, Nguyễn Nhật Dương, Đỗ Quang Lĩnh, Đào Nguyên Khôi:** Mô phỏng nồng độ bụi PM_{2.5} tại khu vực trung tâm Thành phố Hồ Chí Minh bằng thuật toán học máy và học sâu
- Nguyễn Gia Trọng, Thái Trung Quốc, Trần Đức Vinh, Nguyễn Văn Cương, Huỳnh Nguyễn Định Quốc:** Khảo sát kết quả xử lý dữ liệu GNSS sử dụng các dịch vụ trực tuyến
- Đỗ Ngọc Hoàn:** Áp dụng phương pháp đánh giá đa tiêu chí để lựa chọn phương án phục hồi môi trường phù hợp cho mỏ đá xây dựng Đông núi Cô Tô, tỉnh An Giang

Bài báo khoa học

Chất lượng môi trường nước và tương quan giữa chỉ số ô nhiễm hữu cơ Palmer của thực vật nổi (Phytoplankton) với thông số thủy lý hóa tại sông Hồng, Việt Nam

Nguyễn Thị Thu Hà¹, Nguyễn Thành Nam^{1,2}, Nguyễn Thùy Liên¹, Bùi Thị Hoa^{1*}

¹ Khoa Sinh học, Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG Hà Nội; nguyenthithuha2_t63@hus.edu.vn; namhus147@gmail.com; thuylienhus@gmail.com; buithihoah@hus.edu.vn

² Trung tâm Khoa học Sự sống, Khoa Sinh học, Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN; namhus147@gmail.com

*Tác giả liên hệ: buithihoah@hus.edu.vn; Tel.: +84-906298232

Ban Biên tập nhận bài: 29/1/2024; Ngày phản biện xong: 4/3/2024; Ngày đăng bài: 25/6/2024

Tóm tắt: Nghiên cứu này đã tiến hành quan trắc và thu mẫu nước và mẫu thực vật nổi tại 12 vị trí khác nhau trên toàn bộ lưu vực của sông Hồng, đoạn chảy trên địa phận Việt Nam. Thời gian khảo sát được thực hiện vào 2 đợt: đợt 1 từ 15-21/7/2020 và đợt 2 từ 11-16/12/2020 dọc theo lưu vực của sông. Kết quả nghiên cứu cho thấy, các thông số thủy lý hóa của nước bao gồm: pH, BOD₅ đều nằm trong giới hạn cho phép của QCVN 08:2023 BTNMT mức A, chỉ số DO ở mùa mưa nằm ở mức B nhưng trong mùa khô DO tại hầu hết các điểm khảo sát đều ở mức C của QCVN 08: 2023/BTNMT. Chỉ số ô nhiễm hữu cơ Palmer của thực vật nổi thay đổi theo mùa: vào mùa mưa dao động từ 4 đến 28, mùa khô dao động từ 0 đến 13. Vào mùa mưa, chỉ số Palmer tăng dần từ 4 đến 8 ở vùng thượng lưu, 10 đến 13 ở vùng trung lưu và 16 đến 28 ở vùng hạ lưu. Vào mùa khô, mức ô nhiễm hữu cơ trung bình xảy ra ở điểm SH4, SH10 với chỉ số Palmer là 10 và SH7 với chỉ số Palmer là 13, các điểm còn lại không bị ô nhiễm hữu cơ do chỉ số Palmer dao động từ 0 đến 9. Chỉ số ô nhiễm hữu cơ Palmer có tương quan có ý nghĩa thống kê ở mức trung bình với các thông số thủy lý hóa được khảo sát bao gồm: pH, nhiệt độ, DO nhưng không tương quan với các chỉ số, độ muối, độ dẫn điện, PO₄³⁻, NO₃⁻; trong đó, chỉ số Palmer tương quan thuận với nhiệt độ, nhưng tương quan nghịch với pH và DO. Kết quả nghiên cứu này là cơ sở dữ liệu ban đầu trong việc đánh giá chất lượng môi trường nước thông qua chỉ số sinh học Palmer của thực vật nổi tại khu vực sông Hồng.

Từ khóa: Chất lượng nước; Sông Hồng; Chỉ số Palmer.

1. Giới thiệu

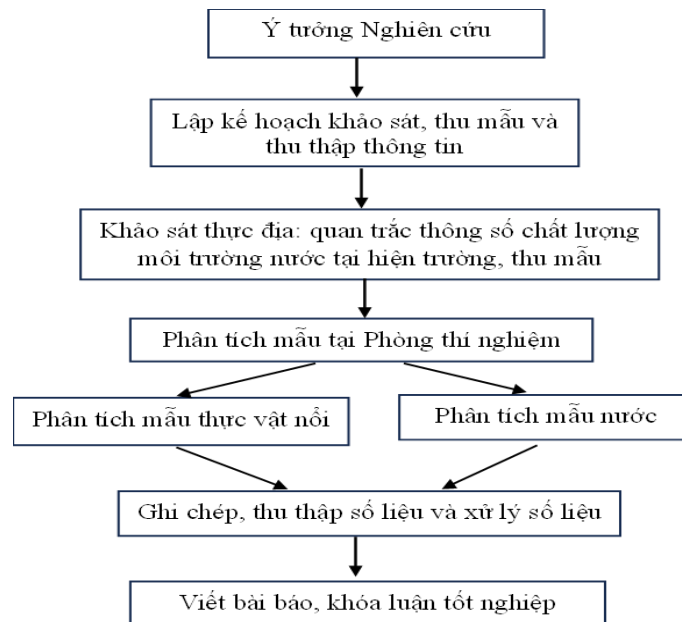
Đánh giá chất lượng nước là đánh giá định tính hoặc định lượng các yếu tố có trong môi trường nước, trên cơ sở đó so sánh các yếu tố của môi trường nước với tiêu chuẩn hoặc quy chuẩn, tiêu chí về chất lượng nước. Đánh giá chất lượng nước là cơ sở cho việc quy hoạch và quản lý tài nguyên nước [1]. Đánh giá chất lượng nước thông qua các chỉ số thủy lý hóa đã được thực hiện tại rất nhiều nước trên thế giới từ rất sớm, từ thế kỉ 19, bao gồm Trung Quốc, Ấn Độ, các nước châu Âu, châu Mỹ, tuy nhiên việc đánh giá chất lượng nước mặt dựa trên các chỉ số sinh học về ô nhiễm đã bắt đầu ở châu Âu vào những năm đầu thế kỉ XX khi dân số tăng nhanh và sự phát triển công nghiệp bắt đầu ảnh hưởng nghiêm trọng đến hệ sinh thái ở nước [2]. Việc đánh giá chất lượng nước dựa trên chỉ số ô nhiễm hữu cơ

Palmer đã được thực hiện từ những năm 1996 [3], cho đến hiện tại chỉ số ô nhiễm hữu cơ Palmer cũng được nhiều nhà khoa học sử dụng để đánh giá chất lượng nước các sông hồ ở nhiều nước khác nhau trên thế giới, như nghiên cứu [4] tại hồ Buhok, nghiên cứu [5, 6] tại hồ vùng đông bắc Nga và Prebaltic, nghiên cứu [7] tại sông Bengkulu và Nelas và các nghiên cứu khác [8–10].

Tại Việt Nam, các công bố liên quan đến chỉ số Palmer cũng được biết đến như các nghiên cứu tại sông Như Ý, Thừa Thiên Huế [11], sông Lam [12],... Tuy nhiên, các công bố liên quan đến chỉ số Palmer và việc sử dụng chỉ số Palmer để đánh giá chất lượng nước cũng chưa có nhiều và các công bố liên quan đến sử dụng chỉ số Palmer để đánh giá chất lượng nước của sông Hồng thì chưa được tìm thấy. Đối với sông Hồng, việc đánh giá chất lượng môi trường nước đã được thực hiện tại một số đoạn sông và kết quả nghiên cứu đã cho thấy chất lượng nước tại một số đoạn sông này đã bị ô nhiễm bởi một số yếu tố như NO_3^- , coliform và Fe [13, 14]. Do đó, nghiên cứu này, ngoài việc đánh giá chất lượng môi trường nước của sông Hồng thông qua các thông số thủy lý hóa, nghiên cứu cũng cung cấp thêm cơ sở dữ liệu ban đầu về chất lượng môi trường nước thông qua việc đánh giá chỉ số hữu cơ Palmer của thực vật nổi và đồng thời cũng xét sự tương quan chỉ số ô nhiễm hữu cơ Palmer với các thông số thủy lý hóa xem giữa chúng có sự tương quan với nhau hay không. Với tầm quan trọng của sông Hồng trong phát triển kinh tế xã hội của miền Bắc thì việc nghiên cứu đánh giá chất lượng sông Hồng thông qua chỉ số ô nhiễm hữu cơ Palmer của thực vật nổi cũng sẽ đóng góp một phần nhỏ vào vai trò cung cấp cơ sở dữ liệu cho các nghiên cứu dự báo về chất lượng nước sông và là cơ sở cho những kế hoạch, quy hoạch sau này.

2. Thời gian, địa điểm và phương pháp nghiên cứu

Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu được thể hiện ở hình 1.



Hình 1. Cấu trúc của nghiên cứu.

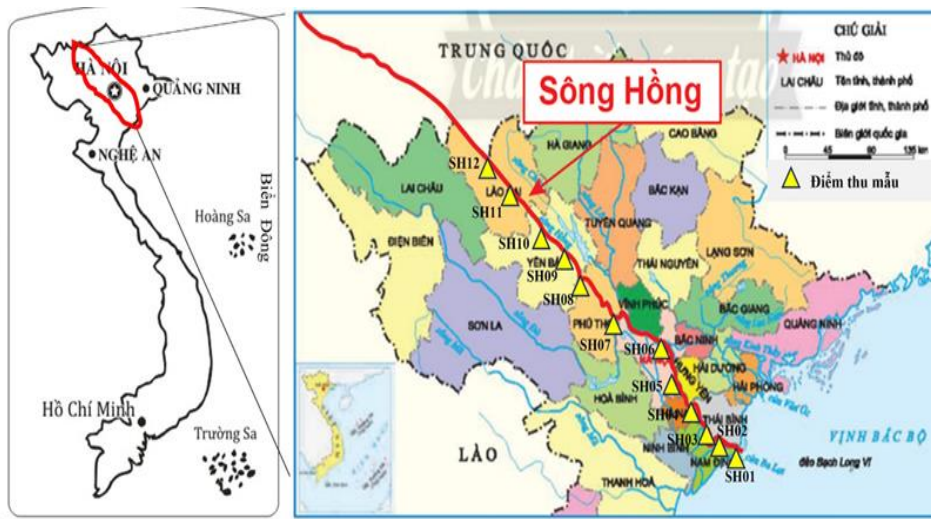
2.1. Thời gian quan trắc

Số liệu quan trắc thông số thủy lý hóa của nước được lấy theo 2 đợt: Đợt 1 mùa mưa: Từ ngày 15/7/2020 đến ngày 21/7/2020 (12 điểm khảo sát: 12 mẫu nước và 12 mẫu thực vật nổi).

Đợt 2 mùa khô: Từ ngày 11/12/2020 đến ngày 16/12/2020 (12 điểm khảo sát: 12 mẫu nước và 12 mẫu thực vật nổi).

2.2. Địa điểm quan trắc

Các số liệu quan trắc được thực hiện tại 12 điểm khảo sát dọc theo sông Hồng trên địa phận của nước Việt Nam (vị trí các điểm khảo sát được thể hiện ở hình 2).



Hình 2. Sơ đồ vị trí các điểm khảo sát tại sông Hồng.

2.3. Phương pháp khảo sát tại thực địa

2.3.1. Đo đạc thu thập mẫu nước

Các thông số thủy lý hóa gồm: Nhiệt độ, độ đục, độ dẫn, pH, độ muối, DO được xác định ngay tại thời điểm thu mẫu bằng máy đo đa chỉ tiêu trong nước Water Quality Checker WQC-22A của hãng TOA, Nhật Bản.

Mẫu nước lấy theo TCVN 6663-6:2008 (ISO 5667-6:2005) Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 6: hướng dẫn lấy mẫu ở sông và suối [15]; theo TCVN 6663-3:2003 (ISO 5667-3:1985) Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 3: Hướng dẫn bảo quản và xử lý mẫu [16], mẫu nước thu được đựng trong chai nhựa PE dung tích 1000ml và bảo quản ở nhiệt độ 4°C và được chuyển về PTN để phân tích các chỉ số BOD₅ (nhu cầu oxy sinh hóa), nồng độ NO₃⁻, nồng độ PO₄³⁻.

2.3.2. Phương pháp thu mẫu thực vật nổi

Tại mỗi điểm khảo sát, mẫu thực vật nổi được thu bằng lưới Juday No.64, đường kính miệng lưới 25cm, kích thước mắt lưới 40 micromet, chiều dài lưới 75cm.

Thu mẫu định tính: Tại mỗi điểm, dùng lưới thực vật nổi kéo theo chiều ngang để thu thực vật nổi có trong cột nước, miệng lưới ngập trong nước trong toàn bộ thời gian kéo lưới. Mẫu thực vật nổi thu được được bảo quản trong lọ PPE sạch, dung tích 200ml, nồng độ foocmol dùng để bảo quản mẫu là 4%.

Thu mẫu định lượng: Tại mỗi điểm, lọc 20 lít nước qua lưới và mẫu thực vật nổi được bảo quản bằng dung dịch 4%.

2.4. Phương pháp phân tích mẫu tại phòng thí nghiệm

Các thông số BOD₅, NO₃⁻, PO₄³⁻ được phân tích tại PTN Nghiên cứu Sinh thái học và Đa dạng sinh học ứng phó biến đổi khí hậu ở Việt Nam, Khoa Sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội (Hình 3).

BOD₅ được xác định bằng phương pháp Winkler theo tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) 6001-2:2008 (ISO 5815-2:2003), phần 2: phương pháp dùng cho mẫu không pha loãng [17].

NO_3N được xác định bằng phương pháp trắc quang dùng Acid sunfosalixylic theo TCVN 6180:1996 (ISO 7890-3:1988) về chất lượng nước: Xác định nitrat bằng phương pháp trắc phổ dùng axit sunfosalixylic [18].

PO_4^{3-}P được xác định bằng phương pháp trắc quang dùng amoni molipdat theo TCVN 6202:2008 (ISO 6878:2004) Chất lượng nước: Xác định phospho - Phương pháp đo phổ dùng amoni molipdat [19].

Phương pháp phân tích mẫu thực vật nổi

Các mẫu thực vật nổi được soi bằng kính hiển vi quang học Olympus CX 21, hãng Olympus với độ phóng đại 50-200 lần tại PTN Tảo và nấm, Bộ môn Khoa học Thực vật, Khoa Sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.

Thành phần loài thực vật nổi được xác định bằng phương pháp so sánh hình thái, kích thước dựa trên các khóa định loại đã được công bố [20–22].



Hình 3. Hình ảnh đo đạc tại hiện trường và phân tích mẫu tại phòng thí nghiệm.

2.5. Phương pháp xử lý số liệu

2.5.1. Phương pháp xác định chỉ số ô nhiễm hữu cơ các chi tảo Palmer

Chỉ số ô nhiễm hữu cơ Palmer là chỉ số ô nhiễm chi hoặc loài tảo (thực vật nổi), được xác định dựa vào điểm số của các chi tảo xuất hiện tại từng điểm khảo sát. Chỉ số ô nhiễm hữu cơ Palmer được tính toán khi có mặt các chi tảo được mô tả trong bảng 2 [3].

Bảng 2. Chỉ số ô nhiễm của các chi tảo [3].

Chi tảo	Chỉ số ô nhiễm	Chi tảo	Chỉ số ô nhiễm	Chi tảo	Chỉ số ô nhiễm
Anacystis	1	Micractinium	1	Gomphonema	1
Ankistrodesmus	2	Navicula	3	Lepocinclis	1
Chlomydomonas	4	Nitzschia	3	Melosira	1
Chlorella	3	Oscillatoria	5	Scenedesmus	4
Closterium	1	Pandorina	1	Stigeoclonium	2
Cyclotella	1	Phacus	2	Synedra	2
Euglena	5	Phormidium	1		

Tại từng điểm khảo sát, chỉ số ô nhiễm hữu cơ theo Palmer được tính bằng cách tính tổng các chỉ số ô nhiễm của các chi tảo xuất hiện trong điểm đó và so sánh kết quả tổng số với bảng 3 để đánh giá mức độ ô nhiễm hữu cơ của nguồn nước.

Bảng 1. Chỉ số ô nhiễm theo Palmer [3].

Chỉ số	Mức độ ô nhiễm
0–10	Không ô nhiễm
10–15	Ô nhiễm trung bình
15–20	Ô nhiễm hữu cơ cao có thể xảy ra
≥ 20	Ô nhiễm hữu cơ cao

2.5.2. Phương pháp xác định phương trình tương quan và hệ số tương quan

Phần mềm Excell được sử dụng trong phương pháp phân tích tương quan hồi quy tuyến tính giữa chỉ số Palmer với các yếu tố thủy lý hóa của môi trường [23].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá chất lượng môi trường nước sông Hồng qua các chỉ tiêu thủy lý hóa

Các kết quả khảo sát về thông số thủy lý hóa của sông Hồng được so sánh với QCVN 08: 2023 BTNMT về chất lượng nước mặt được thể hiện ở bảng 4.

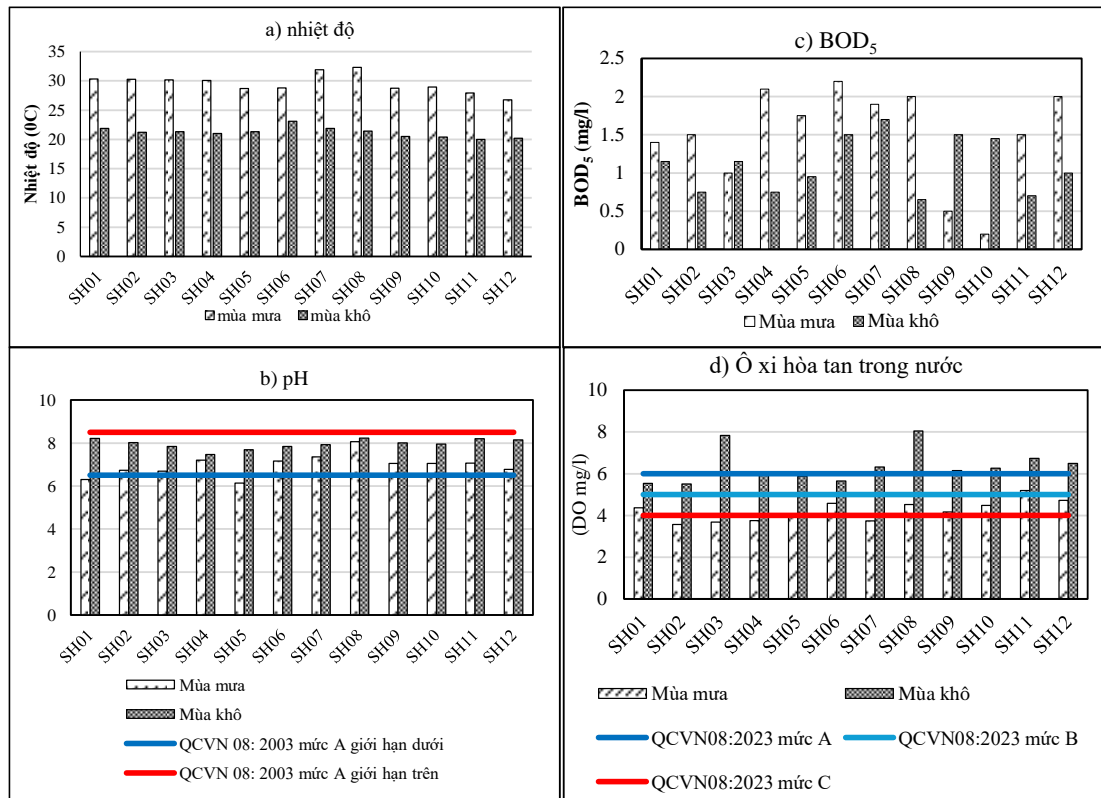
Bảng 4. Thông số thủy lý hóa của hai mùa tại sông Hồng.

Mẫu	Mùa	Nhiệt độ (°C)	pH	Độ Dẫn (mS/m)	DO (mg/l)	Độ muối (‰)	BOD ₅ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)
SH01	Mưa	30,33	6,31	42,8	4,37	20	1,4	0,148	0,91
	Khô	21,9	8,22	355	5,54	21,5	1,2	0,055	0,095
SH02	Mưa	30,27	6,74	20,5	3,57	0,1	1,5	0,023	0,677
	Khô	21,2	8,02	21	5,51	0,1	0,75	0,017	0,771
SH03	Mưa	30,19	6,69	20,4	3,69	0,1	1,0	0,031	0,71
	Khô	21,3	7,84	21	7,84	0,1	1,15	0,065	0,797
SH04	Mưa	30,06	7,20	20,6	3,75	0,1	2,1	0,055	0,776
	Khô	21,00	7,47	20	5,93	0,1	0,75	0,043	0,685
SH05	Mưa	28,68	6,14	20	4,07	0,1	1,75	0,172	1,020
	Khô	21,3	7,69	21	5,88	0,1	0,95	0,061	0,713
SH06	Mưa	28,78	7,17	19,6	4,58	0,1	2,2	0,093	1,032
	Khô	23,1	7,85	20	5,65	0,1	1,5	0,027	0,747
SH07	Mưa	31,91	7,36	19,7	3,74	0,1	1,9	0,117	1,067
	Khô	21,9	7,92	22	6,32	0,1	1,7	0,035	0,473
SH08	Mưa	32,3	8,07	23	4,53	0,1	2,0	0,038	0,604
	Khô	21,4	8,23	34	8,05	0,2	0,6	0,007	0,640
SH09	Mưa	28,72	7,05	23,5	4,17	0,1	0,5	0,057	0,749
	Khô	20,5	8,01	20	6,15	0,1	1,5	0,050	0,923
SH10	Mưa	28,95	7,06	20	4,48	0,1	0,2	0,113	0,778
	Khô	20,4	7,96	21	6,26	0,1	1,4	0,055	0,953
SH11	Mưa	27,93	7,07	24,1	5,19	0,1	1,5	0,098	0,729
	Khô	20	8,21	22	6,73	0,1	0,7	0,108	1,070
SH12	Mưa	26,78	6,77	24,1	4,73	0,1	2,0	0,193	0,833
	Khô	20,2	8,15	27	6,5	0,1	1,0	0,049	1,219
TB mùa mưa		29,58±1,58	6,97±0,50	23,19±6,42	4,24±0,49	1,76±5,74	1,50±0,64	0,095±0,056	0,824±0,151
TB mùa khô		21,18±0,87	7,96±0,23	50,33±96,03	6,36±0,83	1,89±6,18	1,10±0,36	0,048±0,026	0,757±0,289
QCVN 08:2023/ BTNMT(*)	A	-	6,5-8,5	-	≥ 6,0	-	≤ 4	-	-
	B	-	6,0-8,5	-	≥ 5	-	≤ 6	-	-
	C	-	6,0-8,5	-	≥ 4	-	≤ 10	-	-
	D	-	<6,0;>8,5	-	≥ 2	-	>10	-	-

Ghi chú: *: QCVN 08:2023/BTNMT [24].

Nhiệt độ của nước có sự thay đổi theo mùa: mùa mưa, nhiệt độ động từ 26,78°C đến 32,3°C; mùa khô, nhiệt độ trong nước sông dao động từ 20°C đến 23,1°C. Sự chênh lệch nhiệt độ trung bình giữa 2 mùa là 8,4°C (Hình 4a).

pH trong nước dao động theo mùa, vào mùa mưa, pH trung bình là 6,97±0,50 và tăng lên là 7,96±0,23 vào mùa khô, điều đó cho thấy rằng nước sông có xu thế kiềm hóa vào mùa khô. Trong mùa khô, pH tại tất cả các điểm khảo sát đều thuộc mức A của QCVN 08:2023/BTNMT và phù hợp với đời sống của thủy sinh vật (Bảng 4). Tuy nhiên, vào mùa mưa, 2 điểm có pH nằm ở mức B của QCVN 08:2023/BTNMT là điểm SH01 và SH05 với pH tương ứng là 6,31 và 6,14 (Hình 4b).



Hình 4. Các thông số thủy lý hóa của nước sông Hồng: (a) nhiệt độ; (b) pH; (c) BOD₅ và (d) DO.

Nồng độ muối trong nước giữa hai mùa của các điểm khảo sát khá ổn định ở 0,1‰ đến 0,20‰ trong cả 2 mùa, ngoại trừ điểm SH01 với độ muối 20‰ (vào mùa mưa) và 21,5‰ (vào mùa khô) (bảng 4). Do điểm SH01 nằm ở khu vực cửa Ba Lạt, nơi sông Hồng đổ ra biển Đông, nước tại điểm này là sự giao thoa, pha trộn giữa nước ngọt của sông Hồng và nước mặn của biển Đông, do đó độ muối ở cả hai mùa tại điểm này đều rất cao ($\geq 20\%$), gấp khoảng 200 lần so với các điểm còn lại.

Nồng độ oxy hòa tan (DO): Kết quả khảo sát bảng 4 cho thấy, có sự chênh lệch về nồng độ ô xi hòa tan giữa các điểm khảo sát ở 2 mùa. DO trung bình mùa khô là $6,36 \pm 0,83$ mg/l cao gấp 1,5 lần so với mùa mưa ($4,24 \pm 0,49$ mg/l) (Bảng 4, Hình 4d). Vào mùa mưa, tại hầu hết các điểm khảo sát đều có DO ở mức C, ngoại trừ điểm SH 11 có DO ở mức B, còn trong mùa DO của các điểm khảo sát đều đạt mức B, trong đó có 7 điểm có DO cao đạt mức A của QCVN 08:2023 BTNMT là SH03, SH07, SH08, SH 09, SH 10, SH11 và SH12.

Nhu cầu oxy sinh hóa (BOD₅): Tại khu vực sông Hồng, hàm lượng BOD₅ trong nước vào mùa mưa cao hơn mùa khô (Bảng 4, Hình 4c). Vào mùa mưa, BOD₅ dao động từ 0,2 mg/l đến 2 mg/l, vào mùa khô, BOD₅ dao động từ 0,65 mg/l đến 1,7 mg/l. Tuy nhiên, BOD₅ tất cả các điểm ở cả hai mùa đều thuộc mức A (≤ 4 mg/l) theo QCVN 08:2023 BTNMT, đây là một tín hiệu tốt cho thấy khả năng tự làm sạch của sông đạt hiệu suất cao. Kết quả này thấp hơn so với kết quả đã được công bố tại khu vực sông Hồng, đoạn chảy qua tỉnh Thái Bình năm 2016-2017 [13].

Nồng độ NO₃⁻: Vào mùa mưa, nồng độ NO₃⁻ tại các điểm khảo sát dao động từ 0,604 mg/l đến 1,067 mg/l, vào mùa khô nồng độ NO₃⁻ dao động từ 0,095 mg/l đến 1,219 mg/l, cao hơn. Nồng độ NO₃⁻ trung bình trong hai mùa có sự chênh lệch không nhiều. Với lượng mưa lớn rửa trôi NO₃⁻ từ đất cùng với sự gia tăng nuôi trồng nông thủy sản, nồng độ NO₃ trung bình vào mùa mưa (0,82 mg/l) cao hơn nồng độ NO₃⁻ trung bình vào mùa khô (0,76 mg/l).

Nồng độ PO₄³⁻: Nồng độ PO₄³⁻ tại khu vực sông Hồng có sự thay đổi theo mùa, vào mùa mưa, nồng độ PO₄³⁻ dao động từ 0,023mg/l đến 0,193 mg/l, vào mùa khô nồng độ PO₄³⁻ dao động từ 0,007 mg/l đến 0,108 mg/l. Nồng độ PO₄³⁻ tại điểm SH12 vào mùa mưa

là cao nhất với 0,193 mg/l, cao hơn gần 8,4 lần nồng độ PO₄³⁻ tại điểm SH02 (0,023 mg/l). Nồng độ PO₄³⁻ tại điểm SH11 vào mùa khô là cao nhất với 0,108 mg/l. Nồng độ PO₄³⁻ trung bình trong hai mùa có sự chênh lệch rõ rệt, cao vào mùa mưa (0,095 mg/l) và giảm dần vào mùa khô (0,05 mg/l).

Các thông số thủy lý hóa môi trường đều chỉ ra được chất lượng môi trường nước tại từng điểm khảo sát có sự khác biệt trong hai mùa. Nhiệt độ và BOD₅ mùa mưa cao hơn so với mùa khô, trong khi đó DO mùa mưa lại thấp hơn so với mùa khô. Các thông số pH, BOD₅, đều nằm trong giới hạn cho phép của QCVN 08:2023/BTNMT mức A và B, riêng chỉ số DO ở mùa mưa nằm ở mức C.

3.2. Thành phần loài thực vật nổi tại sông Hồng

Kết quả phân tích định tính 24 mẫu thực vật nổi trong 2 mùa khảo sát tại sông Hồng đã phát hiện được 119 loài và dưới loài, thuộc 49 họ, 32 bộ, 10 lớp của 6 ngành tảo: Ngành Cyanobacteriophyta (vi khuẩn lam), ngành Chlorophyta (tảo lục), ngành Bacillariophyta (tảo silic), ngành Crysophyta (tảo vàng ánh), ngành Euglenophyta (tảo mắt) và ngành Dinophyta (tảo giáp) (bảng 5).

Bảng 5. Cấu trúc thành phần loài tại sông Hồng.

Ngành tảo	Lớp	Bộ	Họ	Loài	
				Số lượng	Tỷ lệ (%)
Cyanobacteriophyta (vi khuẩn lam)	1	6	8	11	9,24
Chlorophyta (tảo lục)	3	4	9	40	33,61
Bacillariophyta (tảo silic)	3	17	25	54	45,38
Crysophyta (tảo vàng ánh)	1	1	1	1	0,84
Euglenophyta (tảo mắt)	1	1	3	8	6,72
Dinophyta (tảo giáp)	1	3	3	5	4,20
Tổng	10	32	49	119	100,00

Tại khu vực sông Hồng, tảo silic là nhóm xuất hiện đông đảo và đa dạng thành phần loài nhất chiếm tỷ lệ 45,38% với 54 loài, 25 họ, 17 bộ, 3 lớp. Tiếp đó là tảo lục chiếm 33,61% gồm 40 loài, 9 họ, 4 bộ, 3 lớp. Xuất hiện ít nhất và duy nhất một loài vào mùa mưa là tảo vàng ánh chiếm 0,84% (Bảng 5).

3.3. Đánh giá chất lượng nước tại sông Hồng thông qua chỉ số Palmer

Tại khu vực sông Hồng, đã xác định được 9 chi trên tổng số 20 chi có trong chỉ số Palmer là: *Ankistrodesmus*, *Chlorella*, *Cyclotella*, *Euglena*, *Melosira*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Phacus* và *Scenedesmus*. Dựa vào thành phần các chi có mặt trong bảng điểm (bảng 2) để tính chỉ số ô nhiễm của các chi tảo trong từng điểm cho sông Hồng. Chỉ số ô nhiễm Palmer của từng điểm thể hiện ở bảng 6.

Bảng 6. Chỉ số ô nhiễm của các chi tảo Palmer tại khu vực sông Hồng.

Kí hiệu mẫu	Mùa mưa		Mùa khô	
	Chỉ số Palmer	Đánh giá	Chỉ số Palmer	Đánh giá
SH 01	19	Ô nhiễm hữu cơ cao có thể xảy ra	6	Không ô nhiễm
SH 02	28	Ô nhiễm hữu cơ cao	0	Không ô nhiễm
SH 03	18	Ô nhiễm hữu cơ cao có thể xảy ra	5	Không ô nhiễm
SH 04	16	Ô nhiễm hữu cơ cao có thể xảy ra	10	Ô nhiễm trung bình
SH 05	13	Ô nhiễm trung bình	9	Không ô nhiễm
SH 06	10	Ô nhiễm trung bình	5	Không ô nhiễm
SH 07	13	Ô nhiễm trung bình	13	Ô nhiễm trung bình
SH 08	10	Ô nhiễm trung bình	0	Không ô nhiễm

Kí hiệu mẫu	Mùa mưa		Mùa khô	
	Chỉ số Palmer	Đánh giá	Chỉ số Palmer	Đánh giá
SH 09	8	Không ô nhiễm	0	Không ô nhiễm
SH 10	6	Không ô nhiễm	10	Ô nhiễm trung bình
SH 11	4	Không ô nhiễm	5	Không ô nhiễm
SH 12	7	Không ô nhiễm	1	Không ô nhiễm
TB	12,67		5,33	

Dựa trên chỉ số Palmer cho thấy, chất nước sông Hồng vào mùa mưa dao động từ 4 đến 28; thay đổi theo chiều dọc sông, mức ô nhiễm tăng dần từ thượng lưu cho đến vùng hạ lưu phân rõ thành 3 mức tương ứng với 3 lưu vực: mức ô nhiễm cao là khu vực hạ lưu từ điểm SH 01 đến SH 04; mức ô nhiễm trung bình nằm tại khu vực trung lưu gồm các điểm SH 05 đến SH 08 và mức không ô nhiễm thuộc khu vực thượng lưu gồm các điểm SH 09 đến SH 12 (Bảng 6). Vào mùa khô, chỉ số Palmer dao động từ 0 đến 13, chỉ số này thể hiện chất lượng nước ở mức không ô nhiễm đến ô nhiễm hữu cơ ở mức trung bình và không có sự phân lưu vực mà cao hoặc thấp tùy thuộc vào từng điểm. Chỉ số Palmer trung bình của mùa mưa gấp 3,7 lần so với mùa khô, điều đó cho thấy rằng mức độ ô nhiễm hữu cơ vào mùa khô thấp hơn so với mùa mưa (Bảng 6).

Kết quả nghiên cứu cho thấy, cũng giống như thông số thủy lý hóa, chỉ số ô nhiễm hữu cơ cho thấy được mức độ ô nhiễm hữu cơ ở từng điểm khảo sát và sự khác biệt về chất lượng nước rõ rệt từ mùa mưa đến mùa khô. Tuy nhiên, sử dụng phương pháp đánh giá chất lượng môi trường nước bằng chỉ số ô nhiễm hữu cơ Palmer còn cho thấy được sự khác nhau về chất lượng nước từ vùng thượng lưu xuống trung lưu và hạ lưu sông Hồng. Nguyên nhân do các dòng hợp lưu của sông Hồng đã lưu chuyển các vật chất từ các khu vực, theo dòng chảy ra dòng lớn của sông, với sự tích tụ dần các vật chất khiến cho mức độ ô nhiễm hữu cơ ngày càng tăng từ vùng thượng lưu xuống hạ lưu.

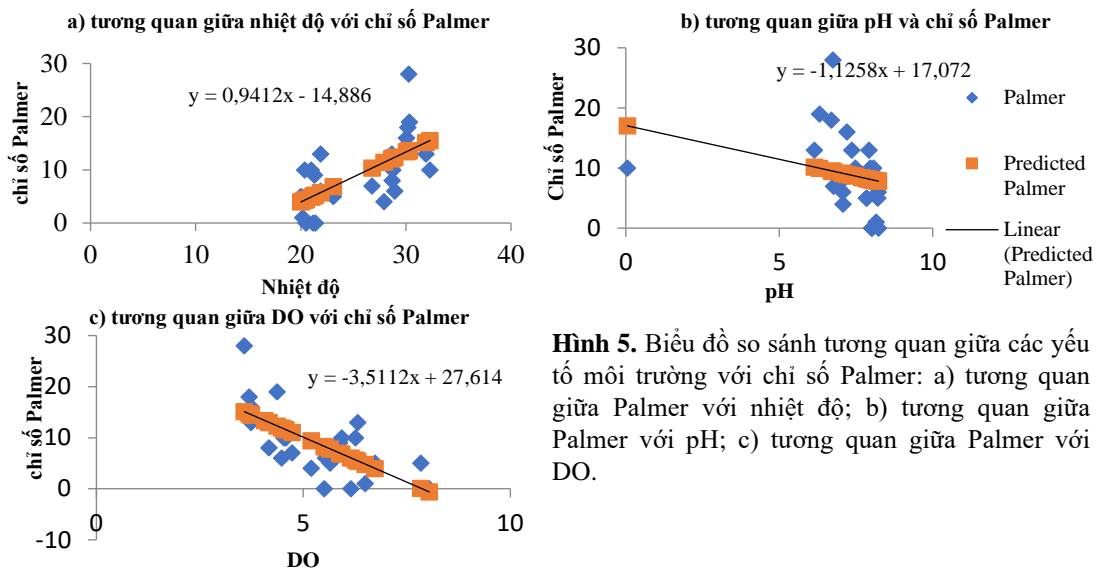
3.4. Tương quan giữa chỉ số ô nhiễm hữu cơ Palmer với các thông số thủy lý hóa tại sông Hồng

Phân tích tương quan giữa chỉ số ô nhiễm Palmer và các chỉ số môi trường cho thấy, tại khu vực sông Hồng, chỉ số ô nhiễm hữu cơ Palmer của tảo tương quan ở mức trung bình với nhiệt độ, pH và DO. Trong đó, Palmer tương quan thuận với nhiệt độ, và tương quan nghịch với pH và DO nhưng không tương quan với các yếu tố như độ dẫn điện, độ muối, BOD₅, PO₄³⁻, NO₃⁻ (Bảng 7, Hình 5).

Bảng 7. Tương quan giữa chỉ số ô nhiễm hữu cơ Palmer và thông số thủy lý hóa.

Mối tương quan	Phương trình	r	p	Mức độ tương quan
Palmer - Nhiệt độ	$y = 0,9412x - 14,886$	0,623	< 0,05	Trung bình
Palmer - pH	$y = -0,1,258x + 17,072$	0,637	< 0,05	Trung bình
Palmer - DO	$y = -3,5112x + 27,614$	0,663	< 0,05	Trung bình
Palmer - Độ dẫn	-	0,093	> 0,05	Không tương quan
Palmer - Muối	-	0,086	> 0,05	Không tương quan
Palmer - BOD ₅	-	0,356	> 0,05	Không tương quan
Palmer - PO ₄ ³⁻	-	0,106	> 0,05	Không tương quan
Palmer - NO ₃ ⁻	-	0,070	> 0,05	Không tương quan

Ghi chú: r là hệ số tương quan, p là mức ý nghĩa.



Hình 5. Biểu đồ so sánh tương quan giữa các yếu tố môi trường với chỉ số Palmer: a) tương quan giữa Palmer với nhiệt độ; b) tương quan giữa Palmer với pH; c) tương quan giữa Palmer với DO.

Kết quả nghiên cứu về tương quan, cho thấy yếu tố ô xi hòa tan trong nước có ý nghĩa quan trọng, với điều kiện ô xi trong nước tăng, thì sự xuất hiện (có mặt) của các chỉ tạo gây ô nhiễm hữu cơ tính theo Palmer là giảm, điều này cũng phù hợp với QCVN 08:2023/BTNMT, khi nồng độ ô xi hòa tan trong nước cao thì nước có chất lượng tốt. Ngoài ra, tại từng điểm nghiên cứu, ảnh hưởng của thời tiết, khí hậu, dòng chảy, các chất thải, lượng sinh vật trong nước... cũng khiến các thông số môi trường nước thay đổi liên tục, dẫn tới các chỉ số sinh học tạo cũng thay đổi để thích nghi.

4. Kết luận

Chất lượng nước sông Hồng tại các điểm khảo sát còn tương đối tốt: pH, BOD₅ đều nằm trong giới hạn cho phép của QCVN 08:2023 BTNMT mức A, chỉ số DO ở mùa mưa nằm ở mức B nhưng trong mùa khô DO tại hầu hết các điểm khảo sát đều ở mức C của QCVN 08: 2023/BTNMT.

Chỉ số ô nhiễm hữu cơ Palmer của thực vật nổi thay đổi theo mùa: vào mùa mưa dao động từ 4 đến 28, mùa khô dao động từ 0 đến 13. Vào mùa mưa, chỉ số Palmer tăng dần từ 4 đến 8 ở vùng thượng lưu, 10 đến 13 ở vùng trung lưu và 16 đến 28 ở vùng hạ lưu. Vào mùa khô, mức ô nhiễm hữu cơ trung bình xảy ra ở điểm SH4, SH10 với chỉ số Palmer là 10 và SH7 với chỉ số Palmer là 13, các điểm còn lại không bị ô nhiễm hữu cơ do chỉ số Palmer dao động từ 0 đến 9.

Chỉ số ô nhiễm hữu cơ Palmer có tương quan có ý nghĩa thống kê ở mức trung bình với các thông số thủy lý hóa được khảo sát bao gồm: pH, nhiệt độ, DO nhưng không tương quan với các chỉ số, độ muối, độ dẫn điện, PO₄³⁻, NO₃⁻; trong đó, chỉ số Palmer tương quan thuận với nhiệt độ, nhưng tương quan nghịch với pH và DO.

Kết quả nghiên cứu này là cơ sở dữ liệu ban đầu trong việc đánh giá chất lượng môi trường nước thông qua chỉ số sinh học Palmer của thực vật nổi tại khu vực sông Hồng. Tuy nhiên, nghiên cứu này cũng có những hạn chế nhất định như: số điểm nghiên cứu và lượng mẫu thu còn tương đối ít so với chiều dài hơn 500 km của sông, do đó việc đánh giá một cách tổng quát cả khu vực sông Hồng vẫn mang tính ước lệ chưa phản ánh được một cách chính xác tuyệt đối. Do đó nếu có thể tiến hành khảo sát với số lượng điểm nhiều hơn và số lần lấy mẫu nhiều thì kết quả nghiên cứu sẽ có ý nghĩa hơn và mang giá trị khoa học cao hơn.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của nhiệm vụ: “Nghiên cứu sự đa dạng vi khuẩn trong các hệ sinh thái thủy vực khu vực nội đồng của Việt Nam bằng phương pháp DGGE fingerprinting và đánh giá mối liên hệ với các tác động của con người và biến đổi khí hậu”.

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. Sơn, N.T. Đánh giá tài nguyên nước Việt Nam. Nhà xuất bản Giáo dục, 2005, tr. 187.
2. Norris, R.H.; Barbour, M.T. Bioassessment of aquatic ecosystems in encyclopedia of inland waters. Elsevier Inc. 2009, pp. 21–28.s
3. Palmer, C.M.A. Composite rating of algae tolerating organic pollution. *J. Phycol.* **1969**, 5(1), 78–82.
4. Toma, J.J. Algae as indicator to assess trophic status in Duhok Lake, Kurdistan region of Iraq. *J. Univ. Garmian* **2019**, 6, 90–99.
5. Trifonova, I.S. Phytoplankton composition and biomass structure in relation to trophic gradient in some temperate and subarctic lakes of north-western Russia and the Prebaltic. *Hydrobiol.* **1998**, 369/370, 99–108.
6. Khalik, I.; Sapei, A.; Hariyadi, S.; Anggraeni, E. The water quality characteristics and quality status of Bengkulu river and Nelas river, Bengkulu province: Conditions for the last six years. *IOP Conf. Series: Earth Environ. Sci. Trans.* **2022**, 950, 012038.
7. Hosmani, S.P. Fresh water Algae as indicators of water quality. *Univers. J. Environ. Res. Technol.* **2013**, 3(4), 473–482.
8. Veenashree.; Kumar. M.; Nandini., N. Algal species diversity and Palmer pollution index of Puttenahalli lake in Bengaluru, India. *J. Adv. Sci. Res.* **2022**, 13(10), 41–46.
9. Hussam, M.; Al-Kanani.; Saleh, A.K.; Al-Essa. Assessment of shatt Al-Arab river water quality by using Palmer's, Algal index, Basrah, Iraq. *Basrah J. Agric. Sci.* **2018**, 31(1), 70–77.
10. Jose, L.; Kumar, C. Evaluation of pollution by Palmer's Algal pollution index and physico-chemical analysis of water in four temple ponds of mattancherry, Ernakulam, Kerala. *Nat. Environ. Pollut. Technol. Int. Q. Sci. J.* **2011**, 10(3), 471–472.
11. Trang, T.L.; Doc, Q.L.; Ha, T.T.V.; Tu, V.N. A case study of phytoplankton used as a biological index for water quality assessment of Nhu Y river, Thua Thien - Hue. *Life Sci. Biol.* **2018**, VJSTE.60(4), 45–51.
12. Hoa, B.T.; Liên, T.N.; Hà, L.T.; Nam, T.N.; Hiền, V.T.T. Đánh giá chất lượng môi trường nước và tương quan giữa các thông số thủy lý hóa với chỉ số Palmer của thực vật nổi tại sông Lam, tỉnh Nghệ An. Báo cáo khoa học về nghiên cứu và giảng dạy Sinh học ở Việt Nam. Hội nghị quốc gia lần thứ V, 2022, tr. 148–157.
13. Thủy. T.T.T.; Huy, P.K, Đánh giá diễn biến chất lượng nước sông Hồng đoạn chảy qua tỉnh Thái Bình và đề xuất giải pháp quản lý. Kỷ yếu Hội nghị toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững, **2018**, 288–296.
14. Hoa, B.T.; Huân, N.X.; Nam, T.N.; Hà, L.T. Chất lượng môi trường nước vùng cửa Ba Lạt (sông Hồng). *Tap chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2020**, 51–60.
15. Bộ tài nguyên và môi trường. TCVN 6663-6:2008 (ISO 5667-6:2005) - Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 6: hướng dẫn lấy mẫu ở sông và suối, 2008.
16. Bộ tài nguyên và môi trường. TCVN 6663-3:2003 (ISO 5667-3:1985) - Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 3: Hướng dẫn bảo quản và xử lý mẫu, 2003.

17. Bộ tài nguyên và môi trường. TCVN 6001-2:2008 (ISO 5815-2:2003), Phần 2: phương pháp xác định oxy hòa tan dùng cho mẫu không pha loãng, 2008.
18. Bộ tài nguyên và môi trường. TCVN 6180:1996 (ISO 7890-3:1988) về chất lượng nước - Xác định nitrat bằng phương pháp trắc phổ dùng axit sunfosalixylic, 1996.
19. Bộ tài nguyên và môi trường. TCVN 6202:2008 (ISO 6878:2004) Chất lượng nước: Xác định phospho - Phương pháp đo phổ dùng amoni molipdat, 2008.
20. Tiến, D.Đ. Phân loại vi khuẩn Lam ở Việt Nam. Nhà xuất bản Nông Nghiệp, 1996, 220 trang.
21. Tiến, D.Đ.; Hành, V. Tảo nước ngọt Việt Nam, phân loại bộ tảo lục. Nhà xuất bản Nông Nghiệp, 1997, tr. 503.
22. Trực tuyến: www.algaebase.org.
23. Mẫn, C.V. Tin học trong công nghệ sinh học, NXB Giáo dục, 2009, tr. 255.
24. Bộ tài nguyên Môi trường. QCVN 08:2023/BTNMT, Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về chất lượng nước mặt, 2023.

Water quality and correlation between Palmer index of phytoplankton with physiochemical of Red river in Vietnam

Nguyen Thi Thu Ha¹, Nguyen Thanh Nam^{1,2}, Nguyen Thuy Lien¹, Bui Thi Hoa^{1*}

¹ Faculty of Biology, VNU University of Science, Hanoi; nguyenthithuha2_t63@hus.edu.vn; namhus147@gmail.com; thuylienhus@gmail.com; buiithihoa@hus.edu.vn

² Center for Life Science Research, Faculty of Biology, VNU University of Science, Hanoi; namhus147@gmail.com

Abstract: The study conducted and collected phytoplankton samples at 12 locations along the Red river that area flow through of Vietnamese territory. Time of the survey: the first time: from 1/7/2020 to 15-21/7/2020 and the second time: from 11/12/2020 to 16/12/2020. The results shown that the physico chemical parameters of water including: pH, BOD₅ were in the allowable limits of QCVN 08:MT 2023/BTNMT level A, however, in the rain season, DO was in the level B and in dry season DO was in the level C of the QCVN 08: 2023/BTNMT. The Palmer index of phytoplankton shown that water quality of Red river was changed following the season: in the rain season value of Palmer ranger 4 to 28, in the dry season it changed 0 to 13. Organic pollution was increased from upstream to downstream of the river, in which Palmer index at SH01 to SH04 location was high corresponding that level organic was high with value ranged from 16 to 28, SH05 to SH 08 location shown that organic level was normal (Palmer value ranged 10 to 13) and SH09 to SH12 organic level was low (Palmer value ranged 4 to 8). In the dry season, organic pollution occurred at some locations: SH04, SH07, SH10 with Palmer value 10 to 13 and other locations were not organic polluted with Palmer value 0 to 9. The Palmer organic pollution index was a statistically significant correlation with temperature, pH, DO but was not correlation with salinity, conductivity, PO₄³⁻, NO₃⁻. In which, Palmer index was positively correlated with temperature but negatively with pH and DO. The result was the initial database in assessing water quality environment by Palmer index of the Red river.

Keywords: Water quality; Red river; Palmer index.

Bài báo khoa học

Ứng dụng mô hình MODFLOW xác định lượng bổ cập cho khai thác nước dưới đất vùng đồng bằng sông Hồng

Đặng Trần Trung^{1*}, Nguyễn Thị Hoa¹, Nguyễn Thanh Kim Huệ^{1,3}, Trần Đức Thịnh¹, Lê Việt Hùng², Phạm Quý Nhân²

¹ Trung tâm Cảnh báo và Dự báo tài nguyên nước; dtrung@gmail.com; hoanguyen.dctv@gmail.com; nguyenthankimhue95@gmail.com; tranducthinhtv@gmail.com

² Đại học Tài nguyên môi trường Hà Nội; lvhung@hunre.edu.vn; pqnhan@hunre.edu.vn

³ Trường Khoa học Liên ngành và nghệ thuật - Đại học Quốc gia Hà Nội; nguyenthankimhue95@gmail.com

*Tác giả liên hệ: dtrung@gmail.com; Tel.: +84-983397833

Ban Biên tập nhận bài: 5/2/2024; Ngày phản biện xong: 4/3/2024; Ngày đăng bài: 25/6/2024

Tóm tắt: Đồng bằng sông Hồng (ĐBSH) đang khai thác khoảng 1,5 triệu m³/ngày chủ yếu trong các tầng chứa nước (TCN) Đệ tứ. Một số địa phương như Hà Nội và Nam Định đã xuất hiện các vấn đề suy giảm mực nước, sụt lún đất, xâm nhập mặn và ô nhiễm NĐĐ. Việc bổ cập NĐĐ chủ yếu đến từ các nguồn khác nhau, bao gồm mưa, tưới tiêu và hệ thống sông hồ. Mô hình ba chiều (3D) MODFLOW xây dựng ở khu vực nghiên cứu và được hiệu chỉnh với số liệu quan trắc thực tế, kết quả tính toán cân bằng nước từ mô hình MODFLOW cho thấy lượng bổ cập từ mưa và sông đến các TCN Đệ tứ. Trong đó lượng bổ cập tối đa vào mùa mưa (khoảng 68% lượng mưa) và tối thiểu trong mùa khô (khoảng 10% lượng mưa). Trong mùa mưa, hệ thống sông chủ yếu bổ sung cho các TCN Đệ tứ, đóng góp khoảng 9,51-17,36% vào tổng cân bằng nước của các TCN. Dòng chảy từ các TCN nứt nẻ ở rìa bồn đồng bằng đến các TCN Đệ tứ chỉ chiếm một lượng rất nhỏ. Để đảm bảo công tác quản lý, khai thác NĐĐ bền vững cần phải xét đến vai trò của nguồn bổ cập tự nhiên cho NĐĐ cần được đánh giá một cách toàn diện, đây cũng là mục tiêu của nghiên cứu này.

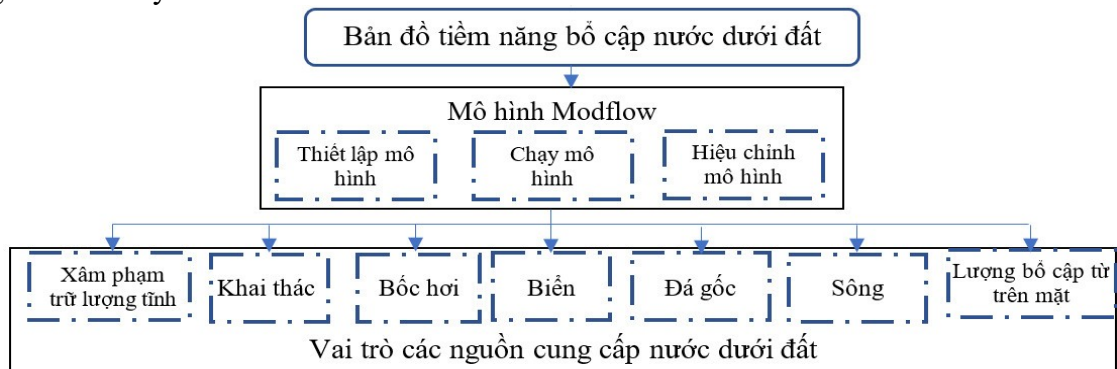
Từ khóa: Bổ cập nước dưới đất; Mô hình MODFLOW; Tầng chứa nước Đệ tứ; Đồng bằng sông Hồng.

1. Giới thiệu

Bổ cập nước dưới đất (NĐĐ) là quá trình nước thấm vào đất, tăng lượng trữ lượng NĐĐ [1]. Có ba loại bổ cập cho NĐĐ: i) Bổ cập trực tiếp xảy ra khi độ ẩm trong đất cao thấm xuống theo phương thẳng đứng đi qua đới không bão hòa và xuống đến mực nước ngầm. ii) Bổ sung gián tiếp xảy ra khi nước thấm qua lòng sông hoặc hồ iii) Bổ cập cục bộ là quá trình thấm của nước xảy ra ở các khu vực cụ thể, như các khớp nối, lỗ hỏng, hố sụt, hoặc rãnh nước nhỏ [2, 3]. Bổ cập NĐĐ là một thành phần quan trọng trong bài toán cân bằng nước góp phần vào việc khai thác bền vững NĐĐ trên một lưu vực sông. Bổ cập cho NĐĐ một cách trực tiếp là rất khó xác định [4]. Để đánh giá bổ cập NĐĐ cần sử dụng nhiều phương pháp và sau đó so sánh kết quả của từng phương pháp với nhau [5]. Xác định bổ cập của NĐĐ vào hệ thống dòng chảy NĐĐ khu vực là cần thiết cho mục đích quản lý và kinh tế [6, 7]. Vùng ĐBSH với diện tích trên 21260 km² gồm 11 tỉnh thành phố, là một trong hai đồng bằng lớn nhất với mật độ dân số cao là nơi sinh sống của khoảng 22,9 triệu người. Các tầng chứa NĐĐ ĐBSH là một trong những nguồn nước chính phục vụ nhu cầu cho sinh hoạt và

sản xuất. Các nghiên cứu khác nhau đã đánh giá việc bổ cập NDD ở ĐBSH, thường tập trung vào các điểm cụ thể hoặc khu vực nhỏ, chưa có nghiên cứu khu vực toàn diện nào. Nghiên cứu trước đây đã sử dụng mô hình hóa trên MODFLOW để ước lượng bổ sung nước ngầm, gán 87% cho mùa mưa và 56,28% cho mùa khô [8]. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này do hạn chế dữ liệu và sự thiếu kiểm chứng từ các phương pháp khác như đồng vị bền. Phương pháp đồng vị bền sau này đã được sử dụng để xác định bổ cập NDD ở Đan Phượng, Hà Nội cho các TCN Đệ tứ và cho thấy trong mùa mưa sông cấp cho NDD và mùa khô NDD thoát ra sông [9]. Đối với các bãi giồng khai thác Hạ Đình, Mai Dịch và Pháp Vân kết quả nghiên cứu trước cho thấy nước sông Hồng đóng góp 50%, 52% và 57% tương ứng cho trữ lượng khai thác [10]. Phương pháp đồng vị Tritium/Helium định tuổi NDD đã được sử dụng xác định lượng cấp từ sông Hồng đến các TCN ở khu vực Nam Du [11]. Sử dụng kết hợp đồng vị và mô hình để đánh giá bổ sung từ sông Hồng và nước mưa đến các TCN Đệ tứ ở khu vực Đan Phượng [12]. Nghiên cứu sử dụng kết hợp MODFLOW và phương pháp dao động mực nước ở các công trình quan trắc để đánh giá tài nguyên NDD ở ĐBSH [13]. Gần đây nhất, việc xác định lượng bổ cập và lượng thoát biên đá gốc phần Tây Nam, thành phố Hà Nội bằng phương pháp mô hình MODFLOW cho thấy lượng bổ cập này là rất nhỏ [14]. Kết hợp GIS và viễn thám để phân tích các yếu tố để xây dựng bản đồ phân vùng bổ cập nước ngầm ở ĐBSH [15], nghiên cứu lượng bổ cập được định lượng bằng phương pháp định tuổi bằng đồng vị 3H. Tuy nhiên, vai trò trong cân bằng đối với hệ thống TCN trong nghiên cứu này vẫn còn chưa rõ ràng.

Như vậy từ các nghiên cứu trong và ngoài nước cho thấy để xác định lượng bổ cập cho NDD cần thực hiện với nhiều phương pháp khác nhau. Các nghiên cứu trước đây mới chỉ tập trung theo khu vực nhỏ hay theo điểm, chưa có phân vùng bổ cập từ nước mưa cho nước dưới đất trên toàn vùng ĐBSH. Việc kết hợp phương pháp viễn thám, GIS và thủy văn đồng vị để phân vùng tiềm năng bổ cập từ nước mưa cho nước dưới đất và xác định lượng bổ cập vùng ĐBSH là phương pháp mới, khả thi [15]. Từ các kết quả phân vùng tiềm năng bổ cập [15], ứng dụng mô hình MODFLOW là phương pháp hiệu quả và toàn diện trong xác định vai trò của nước mưa, nước sông trong thành phần cung cấp thấm đối với sự hình thành trữ lượng khai thác nước dưới đất các trầm tích Đệ tứ ĐBSH. Mô hình MODFLOW được phát triển bởi tổ chức *US Geological Survey (USGS)* [16] có uy tín trong lĩnh vực nghiên cứu và quản lý tài nguyên nước, đã và đang sử dụng phổ biến tại Việt Nam. Trong đó, mô hình MODFLOW đã được Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước quốc gia (NAWAPI) xây dựng từ năm 2005 cho vùng ĐBSH liên tục được cập nhật và phát triển cho đến nay phục vụ cho công tác thông báo, cảnh báo dự báo tài nguyên nước hiện tại được sử dụng trong nghiên cứu này.



Hình 1. Sơ đồ nghiên cứu bằng mô hình MODFLOW vùng ĐBSH.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

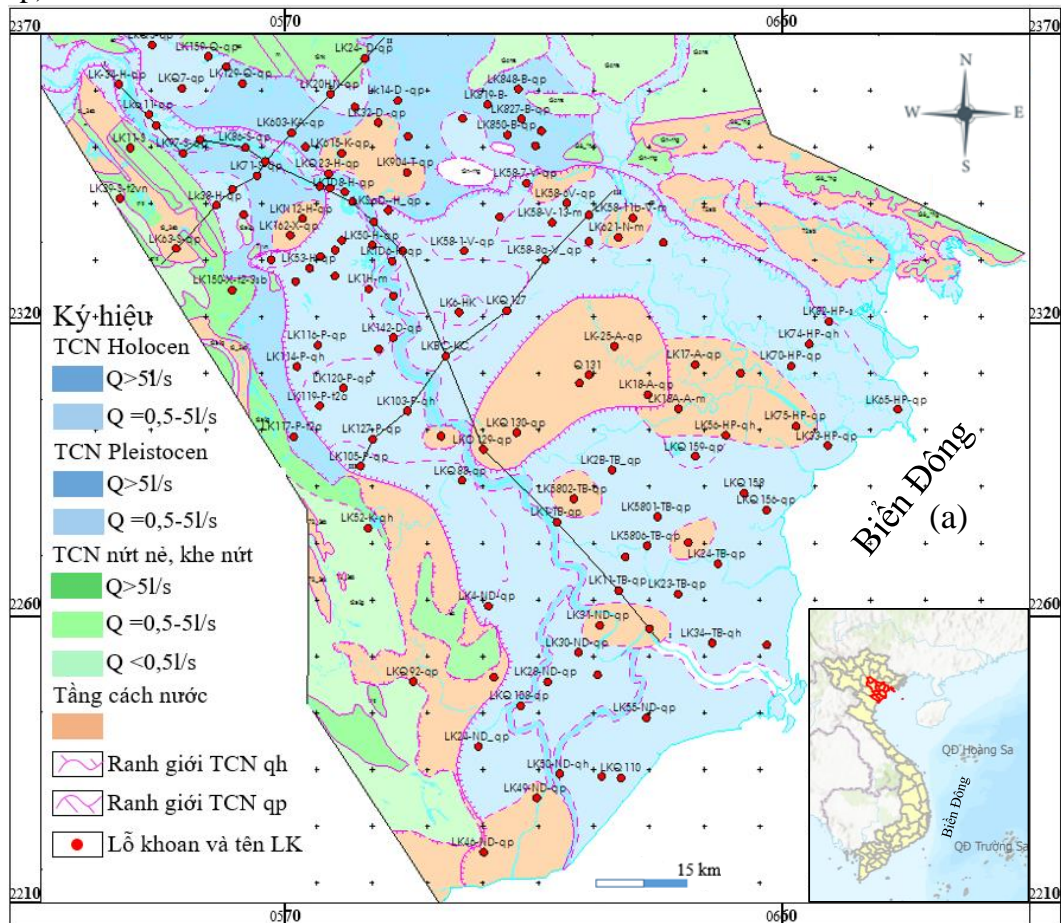
2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

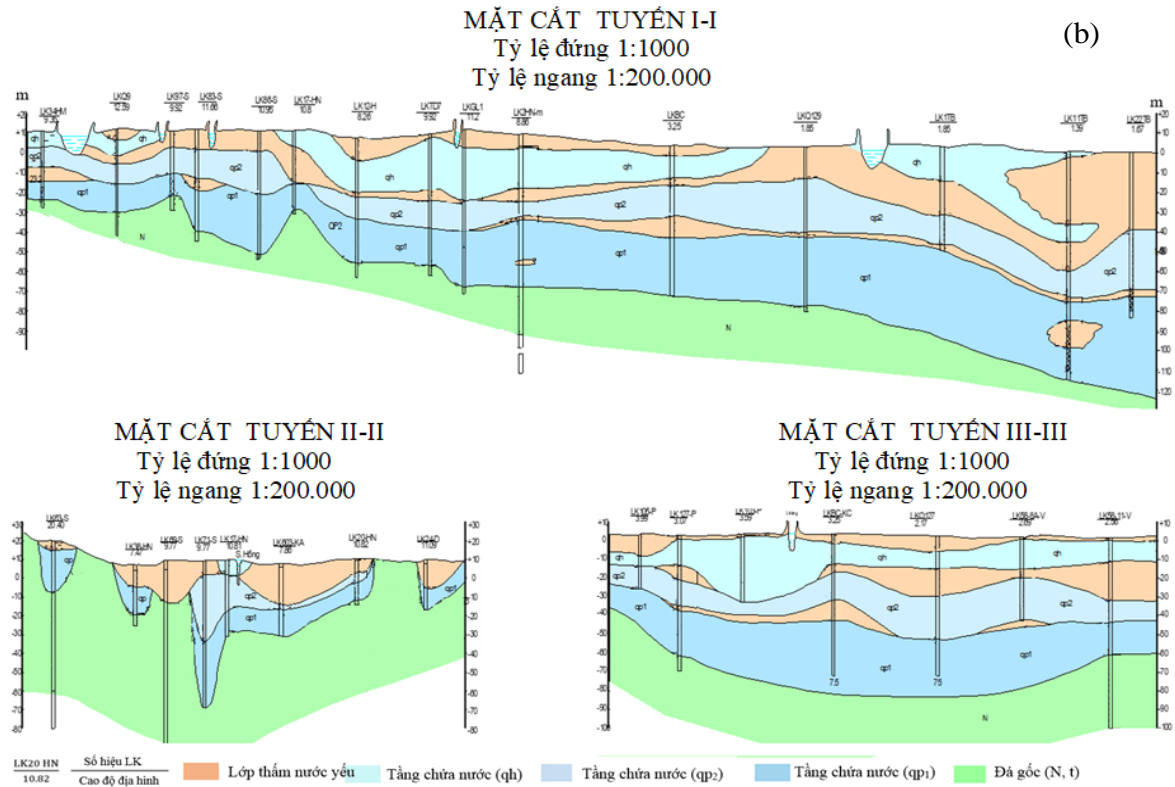
Đặc điểm vị trí địa lý tự nhiên: Khu vực nghiên cứu nằm trong vùng ĐBSH, khí hậu nhiệt đới ẩm gió mùa. Mùa khô chiếm 15% lượng mưa năm (từ tháng XI đến tháng IV) và

mùa mưa chiếm 85% lượng mưa năm (từ tháng V đến tháng X). Theo không gian, ĐBSH có lượng mưa trung bình năm biến động rất mạnh so với yếu tố khí tượng khác, giá trị cực tiểu, cực đại của lượng mưa có thể chênh nhau từ hai đến ba lần. Lượng mưa trung bình năm cho toàn vùng giao động từ 1200 mm đến 2700 mm, theo đó là lượng bốc hơi từ 828,2 đến 1057,1 mm/năm. Nhiệt độ thể hiện sự đối lập theo mùa, với nhiệt độ không khí cao nhất đạt từ 35°C đến 39°C, trong khi nhiệt độ trung bình hàng năm ổn định ở mức từ 23°C đến 23,5°C. Đáng chú ý, có sự chênh lệch nhiệt độ trong ngày đáng kể, đo được từ 8°C đến 15°C vào mùa hè và từ 4°C đến 13°C trong mùa đông. Hệ thống sông ngòi ĐBSH phức tạp với mật độ trung bình từ 0,4 đến 0,7 km/km² với hai hệ thống sông chính là hệ thống sông Hồng và hệ thống sông Thái Bình.

ĐBSH có địa hình đa dạng bao gồm các khu vực ven biển dưới 1m, các vùng sông bậc thang từ 7-8 m đến 15m, các khu vực đồi núi ở độ cao 50-100 m trong đồng bằng, và các dãy núi cao đến 900 m dọc theo biên giới phía Tây và Tây bắc. Địa hình bị ảnh hưởng bởi hệ thống đứt gãy, đặc biệt là các đứt gãy Tây Bắc - Đông Nam, Đông Bắc - Tây Nam và các đứt gãy theo hướng bắc - nam, điều khiển hoạt động kiến tạo và phân chia đồng bằng. Bờ biển kéo dài khoảng 200 km ở phía Đông và Đông Nam từ Quảng Ninh đến Thanh Hóa, trải qua sự xâm nhập mặn do sóng, thủy triều và hệ thống sông. Sự xâm nhập này ảnh hưởng đến hệ sinh thái ven biển, việc tưới tiêu và các TCN nông.

Đặc điểm địa chất thủy văn (ĐCTV): ĐBSH có 2 TCN chính. Trong đó TCN Holocen (qh) là TCN thứ nhất từ trên xuống, có tuổi trẻ nhất được cấu thành từ các trầm tích cát hạt trung đến hạt mịn của hệ tầng Thái Bình và phần trên của hệ tầng Hải Hưng. TCN Pleistocen (qp) phân bố rộng khắp đồng bằng, đa phần bị phủ bởi các trầm tích qh trẻ hơn chỉ lộ ra chủ yếu ở phần đỉnh đồng bằng. TCN qp được cấu thành từ các trầm tích hạt thô đến hạt trung. Nằm xen kẽ với các TCN Đệ tứ là các trầm tích thấm nước yếu tuổi Holocen sớm giữa hệ tầng Hải Hưng (Q₂¹⁻²hh) và các trầm tích cách nước Pleistocen muộn hệ tầng Vĩnh Phúc (Q₁³vp).





Hình 2. a) Bản đồ ĐCTV và b) Các mặt cắt ĐCTV ở ĐBSH [17].

2.2. Cơ sở lý thuyết phương pháp

Mô hình số được xây dựng và sử dụng để phân tích, đánh giá vai trò các nguồn cung cấp thấm đối với sự hình thành trữ lượng NDD. Sự biến đổi độ cao mực nước dưới đất được mô tả bằng một phương trình đạo hàm riêng [16] duy nhất sau:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) \pm W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

Trong đó $K_{xx} = K_{xx}(x, y, z)$, $K_{yy} = K_{yy}(x, y, z)$, $K_{zz} = K_{zz}(x, y, z)$ là các hệ số thấm của TCN theo các phương x, y, z; H là chiều cao mực nước dưới đất tại vị trí (x, y, z) ở thời điểm t; W là giá trị bổ cập hoặc thoát đi của nước nước dưới đất tính tại vị trí (x, y, z) ở thời điểm t, $W = W(x, y, z, t)$; $S_s = S_s(x, y, z)$ là hệ số nhả nước.

Phương trình (1) được giải với các điều kiện biên:

- + Điều kiện biên loại I (biên Dirichlet) là các ô mà mực nước được xác định trước và giá trị này không đổi trong suốt thời gian tính toán $H = h(t)$.
- + Điều kiện biên loại II (biên lưu lượng Neuman) là các ô mà lưu lượng dòng chảy qua biên được xác định trước trong suốt bước thời gian tính toán $Q = q(t)$.
- + Điều kiện biên loại III (biên hỗn hợp Cauchy) là điều kiện biên mà lưu lượng trên biên phụ thuộc vào mực nước $Q = f(H)$.

2.3. Dữ liệu đầu vào và xây dựng mô hình vùng ĐBSH

Để đánh giá vai trò của việc bổ sung nước ngầm trực tiếp đối với việc khai thác nước ngầm vùng ĐBSH, chúng ta dựa vào dữ liệu nghiên cứu gần đây làm nguồn đầu vào cơ bản để xây dựng mô hình dòng chảy nước ngầm. Các nguồn dữ liệu này bao gồm:

- Dữ liệu bản đồ ĐCTV tỷ lệ 1:200.000 (hình 1) [17].
- Dữ liệu về bề mặt địa hình: Trên mô hình, bề mặt địa hình được xây dựng dựa trên các điểm độ cao của bản đồ địa hình tỷ lệ 1:50.000 và các điểm cao độ của các giếng quan trắc và các giếng thăm dò được điều tra trước đây.

- Dữ liệu về hiện trạng khai thác NĐĐ hiện nay (nguồn: Cục quản lý tài nguyên nước - DWRM).

- Dữ liệu về điều tra NĐĐ tại các tỉnh vùng ĐBBS (nguồn: NAWAPI).

- Dữ liệu về bổ cập nước ngầm được tính toán và xác định bởi [15].

- Dữ liệu về bổ cập từ biên đá gốc và tương tác thủy lực giữa nước sông Hồng và NĐĐ ở Hà Nội và vùng lân cận được nghiên cứu bởi [14].

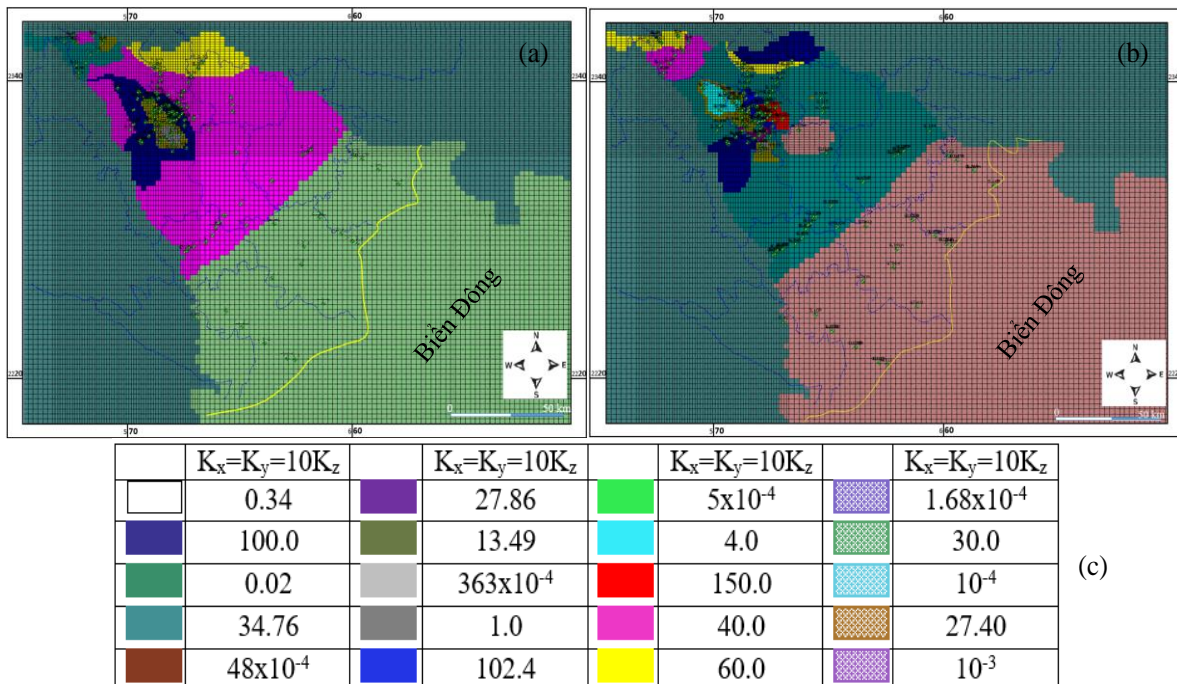
- Đánh giá toàn diện về ảnh hưởng của đô thị hoá đến bổ cập NĐĐ ở Hà Nội được nghiên cứu bởi [18].

Dữ liệu trên được sử dụng làm nền tảng và cơ sở cho mô hình dòng chảy NĐĐ đã được xây dựng [19]. Mô hình được xây dựng bằng phần mềm Visual MODFLOW của hãng Schlumberger [20, 21] và được chỉnh lý trên cơ sở số liệu quan trắc quốc gia và địa phương (Hà Nội, Nam Định và Thái Bình) và một số các kết quả điều tra mới nhất gần đây. Sau khi hiệu chỉnh mô hình, tính toán bổ cập cho NĐĐ được thực hiện thông qua gói Zone Budget trong mô hình. Kết quả đánh giá cân bằng nước và các kịch bản dự báo làm rõ vai trò của các nguồn bổ cập NĐĐ trong quá trình hình thành trữ lượng khai thác NĐĐ vùng ĐBSH.

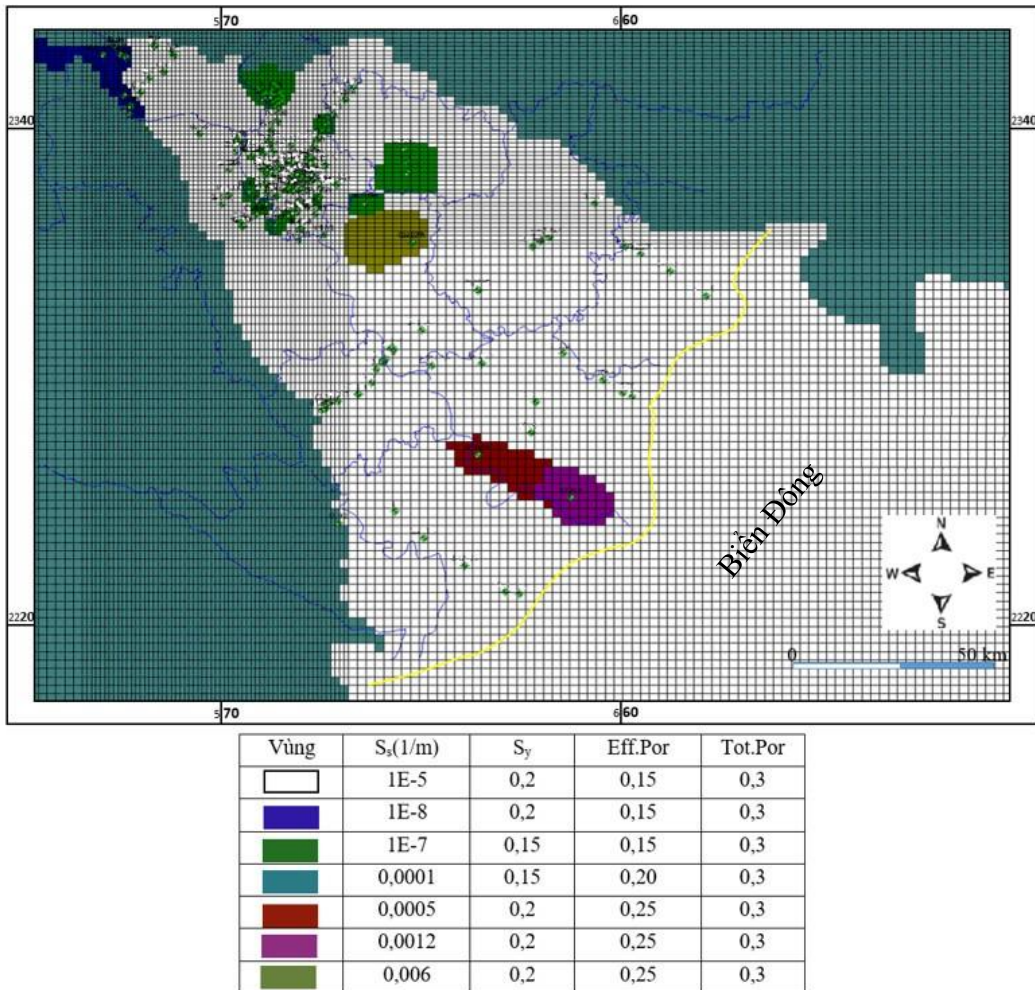
- Thiết kế lưới cho mô hình: Diện tích lập mô hình là 14860 km² được nới rộng ra so với mô hình cũ nhằm mục đích mở rộng biên ở phía Đông TCN Pleistoxen. Theo một số kết quả điều tra cho thấy phía Đông của vùng ĐBSH, TCN Pleistoxen mở rộng ra về phía biển chứ không bị giới hạn bởi đường bờ biển do đó việc mở rộng mô hình là cần thiết. Lưới của mô hình được chia thành 162 hàng và 223 cột với kích thước hình vuông là 1000×1000m, riêng khu vực Hà Nội, lưới được chia với kích thước là 500×500m để đảm bảo độ chính xác do khu vực này nhiều bãi giếng khai thác nước tập trung.

- Dữ liệu về phân tầng địa chất thủy văn: Dữ liệu được sử dụng để phân chia các lớp của mô hình bao gồm các 728 lỗ khoan điều tra giai đoạn trước [15]. Cấu trúc phân tầng ĐCTV được chia thành 4 lớp trong mô hình, trong đó gồm lớp thấm nước yếu bề mặt (lớp 1), TCN Holoxen (qh) (lớp 2), lớp thấm nước yếu bề mặt (lớp 3) và TCN Pleistoxen (qp) (lớp 4).

- Các thông số ĐCTV: Các thông số ĐCTV bao gồm hệ số thấm (K) và hệ số nhả nước (S) được gán trong mô hình dựa theo các nghiên cứu trước đó đã được cập nhật gần đây nhất [15]. Đối với TCN Holoxen, hệ số thấm nằm trong khoảng 0,02-158 m/ngày, trung bình 26,1 m/ngày. Đối với TCN Pleistoxen, hệ số thấm nằm trong khoảng 0,5-184 m/ngày, trung bình 34,75 m/ngày.



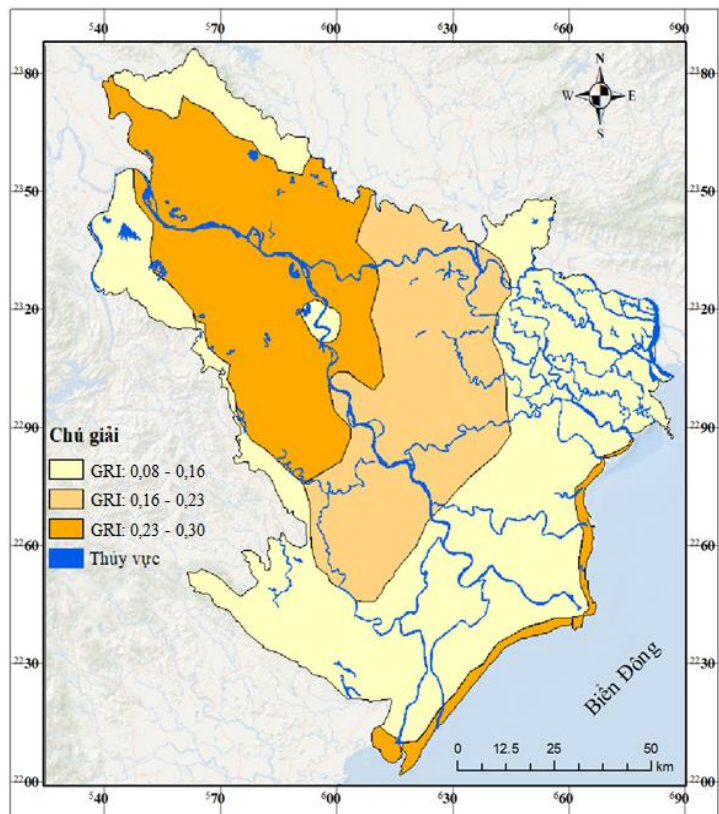
Hình 3. Hệ số thấm K_x , K_y , K_z tương ứng cho TCN: (a) Holoxen, (b) Pleistoxen, (c) Chỉ dẫn màu hệ số thấm.



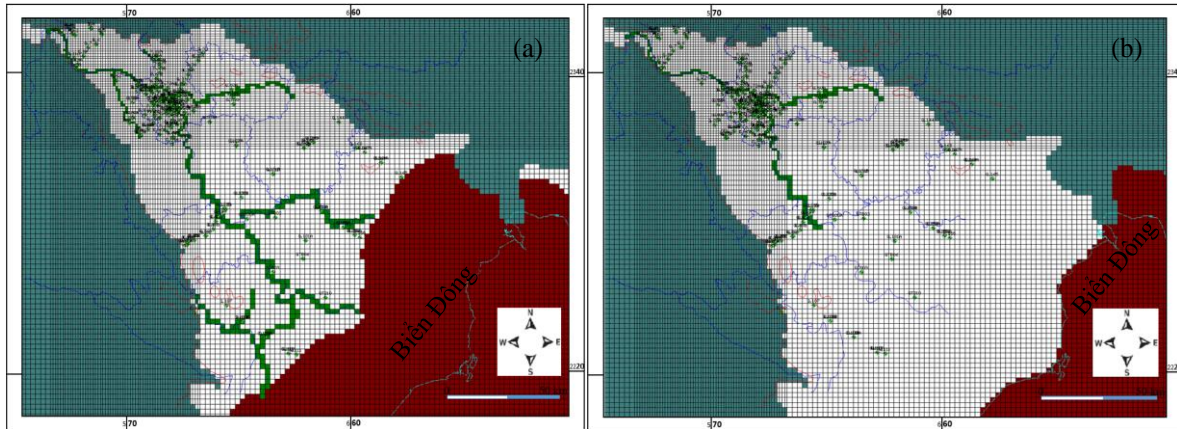
Hình 4. Chỉ số nhà nước đàn hồi (S_s) và trọng lực (S_y) cho TCN Pleistocen.

- Biên bổ cập (RECHARGE): dựa trên nghiên cứu của [15] bằng cách dựa trên kết quả ảnh viễn thám đối với các yếu tố ảnh hưởng đến bổ cập cho NĐĐ và chông chập các lớp ảnh bằng kỹ thuật GIS. Và để xác định trọng số một cách khác quan các yếu tố ảnh hưởng đến bổ cập NĐĐ thông qua mô hình phân tích thứ bậc AHP [22]. Bên cạnh đó còn kiểm chứng lại kết quả bằng phương pháp đồng vị phóng xạ 3H để đảm bảo chính xác.

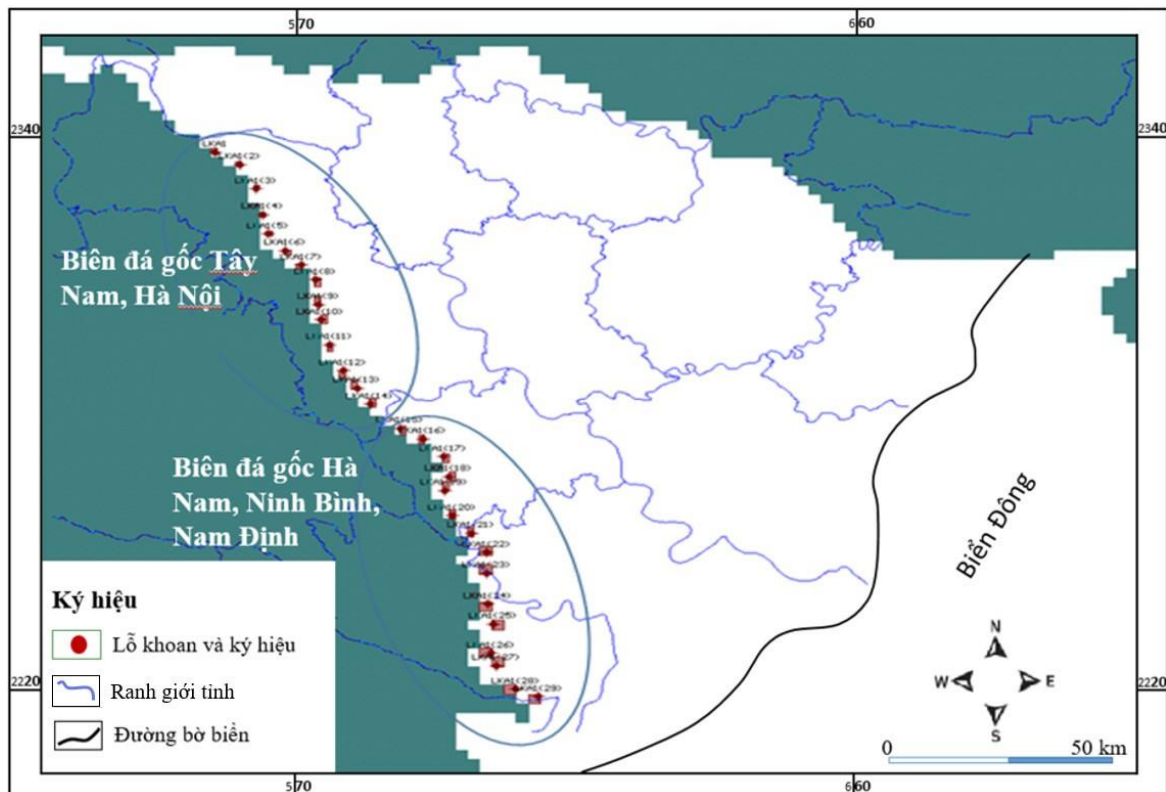
Hình 5. Phân vùng bổ cập cho NĐĐ cho vùng ĐBSH dựa trên chỉ số GRI được phân chia thành 3 khoảng: 0,08-0,16; 0,16-0,23 và 9,23-0,30. Các khoảng cách này tương ứng với lượng bổ cập cho NĐĐ 188, 372 và 429 mm/năm [15].



- Các điều kiện biên: Điều kiện biên của mô hình đã được chỉ ra ở mục 3.1, kết hợp với các nghiên cứu mới nhất. Đối với việc mô phỏng hệ thống sông Hồng - Thái bình được mô phỏng bằng điều kiện biên tổng hợp (*General Head Boundary*), sức cản lòng sông được xác định theo [8, 14]. Biên bốc hơi sử dụng dữ liệu khí tượng tại các trạm thủy văn. Đối với điều kiện biên đá gốc được xác định dựa theo nghiên cứu gần đây [14]. Điều kiện biên biển dựa theo giả thiết của [23] với giả thiết rằng TCN mở rộng ra biển do đặc điểm độ cao và chiều sâu phân bố của đáy TCN Pleistoxen và điều này dẫn đến mô phỏng điều kiện biên loại I, mực nước xác định (*Constant Head - CH*) với giá trị mực nước dựa theo mực nước biển tại trạm Hòn Dấu ở ngoài khơi [19].



Hình 6. Biên biển và biên sông khu vực nghiên cứu: (a) TCN Holoxen, (b) TCN Pleistoxen.

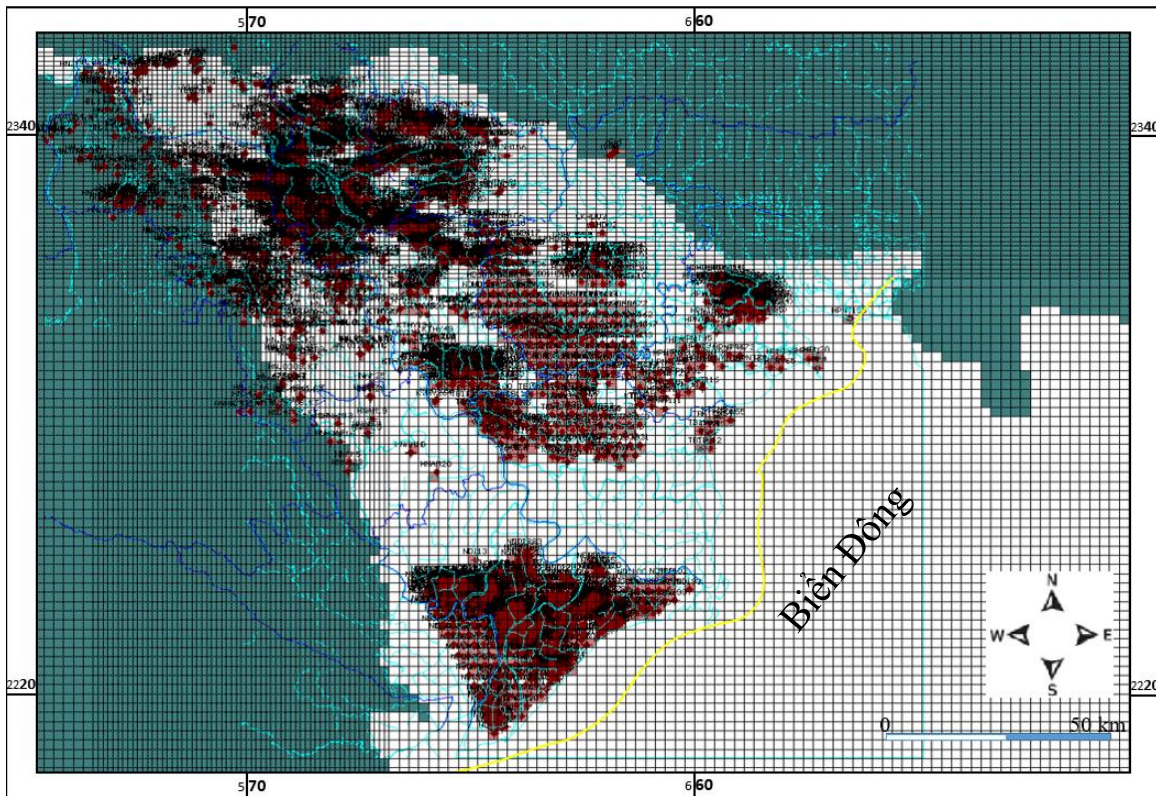


Hình 7. Biên đá gốc khu vực nghiên cứu.

- Hiện trạng khai thác NĐĐ: Tình hình khai thác NĐĐ từ 2005 đến 2018 được minh họa trong hình 7 và bảng 1 cung cấp chi tiết về lưu lượng khai thác NĐĐ toàn ĐBSH. Tổng lượng khai thác NĐĐ vùng ĐBSH vào khoảng 1.500.000 m³/day.

Bảng 1. Hiện trạng khai thác NĐĐ vùng ĐBSH [19].

TT	Tỉnh/Thành Phố	Lưu lượng khai thác (m ³ /ngày)		Tổng cộng
		Khai thác cho công nghiệp	Khai thác cho sinh hoạt	
1	Hà Nội	670931	124180	795111
2	Vĩnh Phúc	25900	52361	78261
3	Hưng Yên	114490	7800	122290
4	Bắc Ninh	42000	55118	97118
5	Hải Dương	18200	64259	82459
6	Hà Nam	5508	24492	30000
7	Hải Phòng	-	-	34000
8	Thái Bình	9546	39454	49000
9	Nam Định	-	-	120000

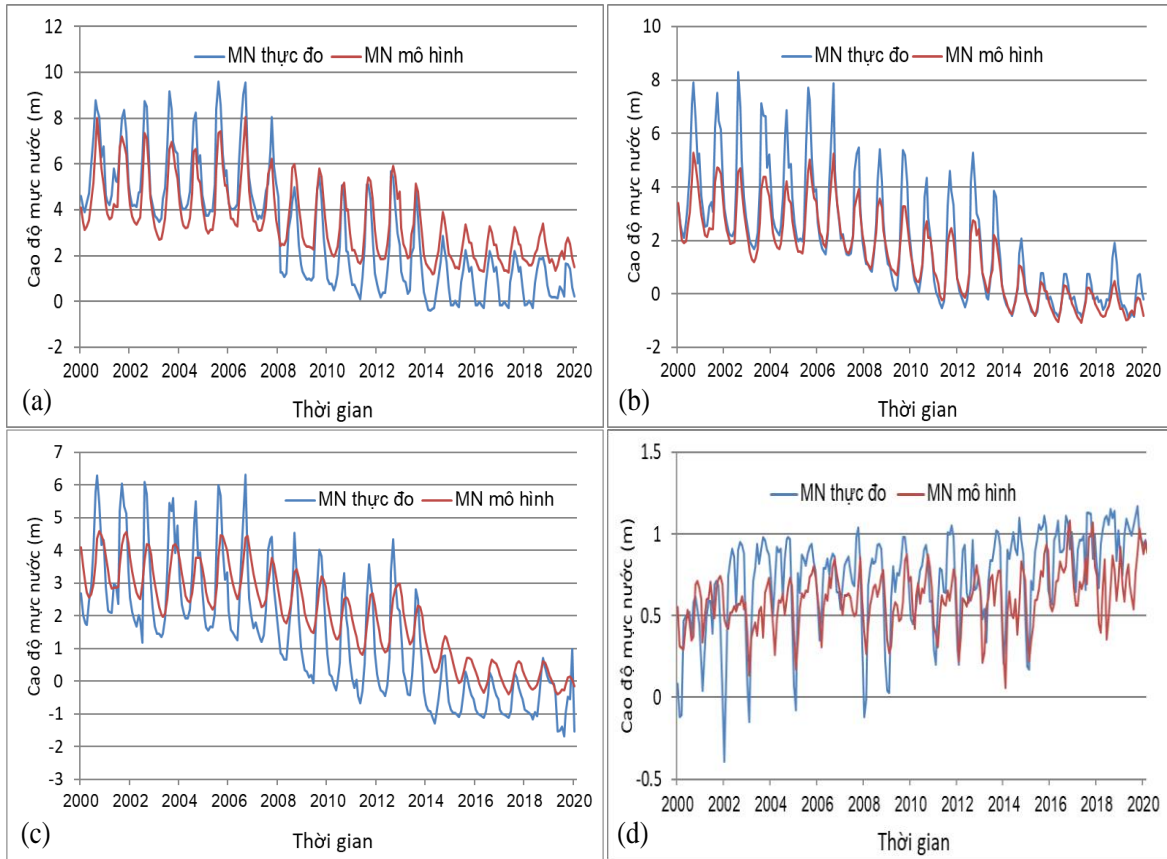


Hình 8. Phân bố các giếng khai thác NĐĐ (các giếng khai thác được biểu thị bằng các chấm đỏ) [19].

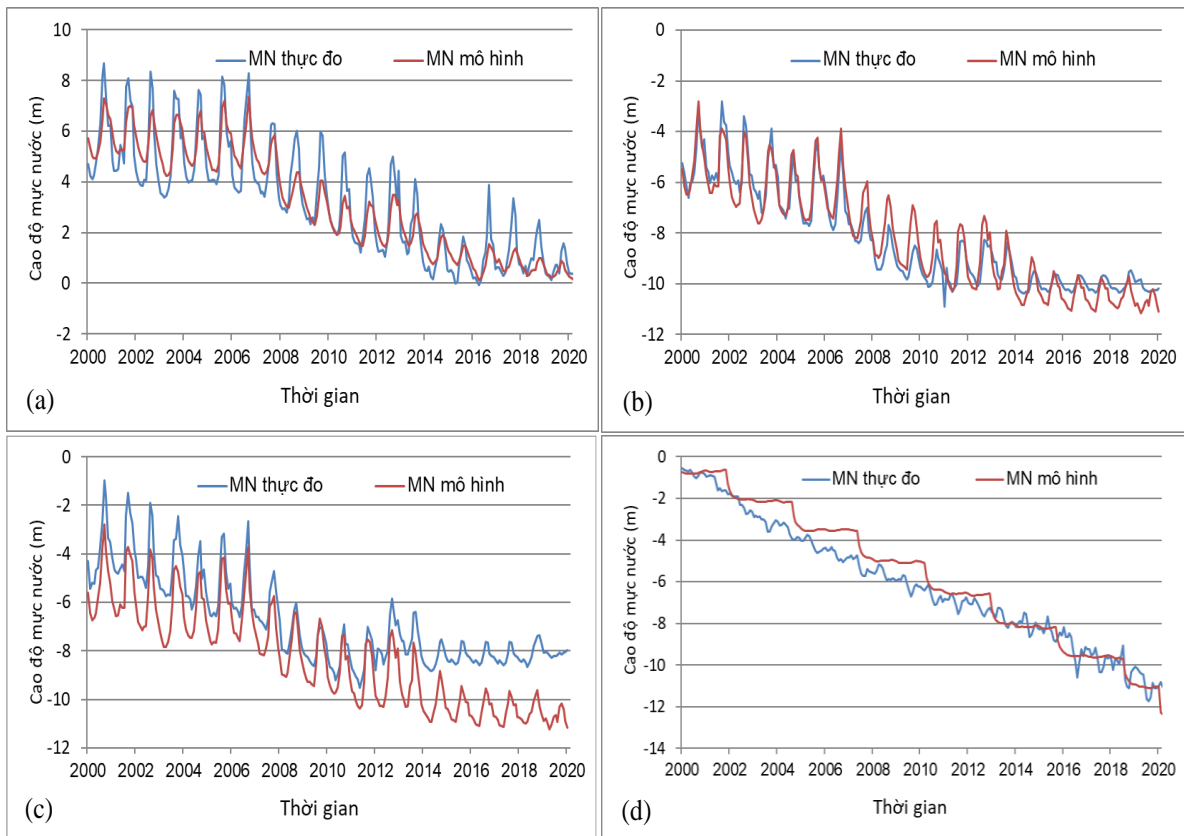
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả chỉnh ký mô hình

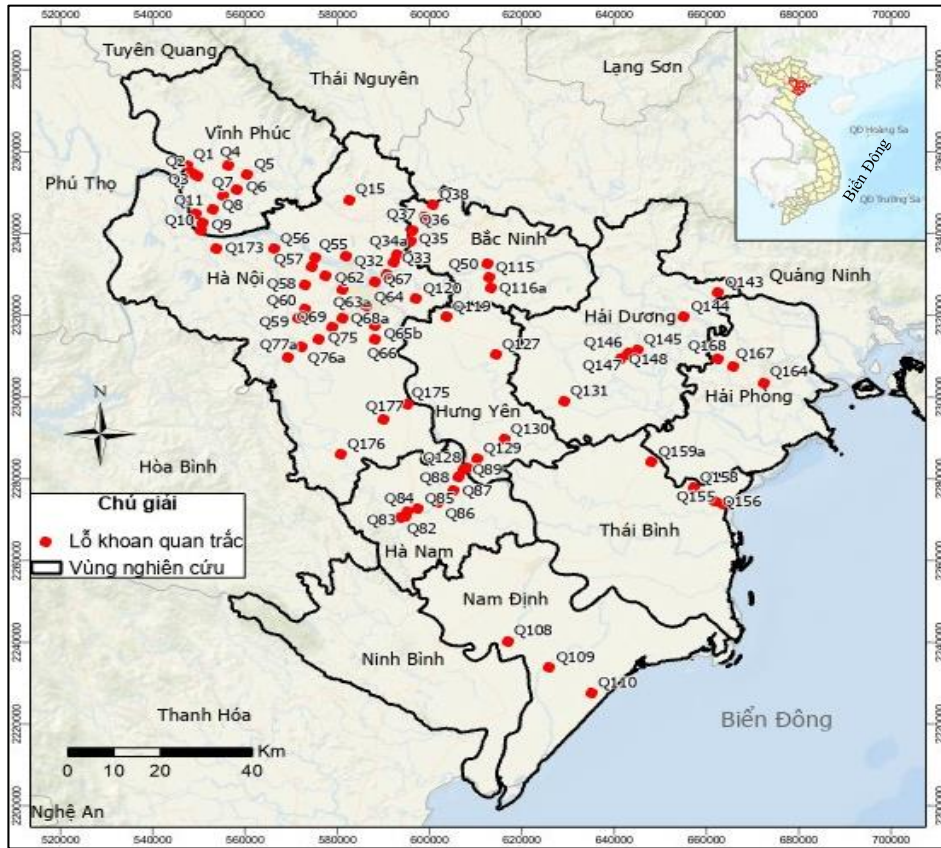
Mô hình được hiệu chỉnh bằng cách so sánh mực nước ngầm tính toán từ mô hình với mực nước quan trắc được thực tế. Việc hiệu chỉnh được thực hiện với bài toán không ổn định và sử dụng các công trình quan trắc quốc gia và địa phương (Hà Nội, Nam Định, Thái Bình) từ 1/1996 đến 1/2020. Số liệu quan trắc được sử dụng để hiệu chỉnh gồm 128 công trình quan trắc trong đó có 88 công trình quan trắc tầng Pleistoxen và 40 công trình quan trắc tầng Holoxen (Hình 10). Dữ liệu quan trắc được tổng hợp định kỳ và lưu trữ tại Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước quốc gia (NAWAPI) [24]. Kết quả so sánh mực nước (MN) theo thời gian tại các công trình quan trắc tầng Holoxen (Hình 8, Hình 11) và Pleistoxen (Hình 9, Hình 11) được trình bày ở dưới đây, đánh giá sai số giữa mực nước mô hình và mực nước quan trắc thực tế.



Hình 9. Sai số giữa mực nước mô hình và mực nước quan trắc thực tế trong TCN Holoxen tại các công trình quan trắc: (a) P.33b; (b) P.76b; (c) P.77b; (d) Q.108.

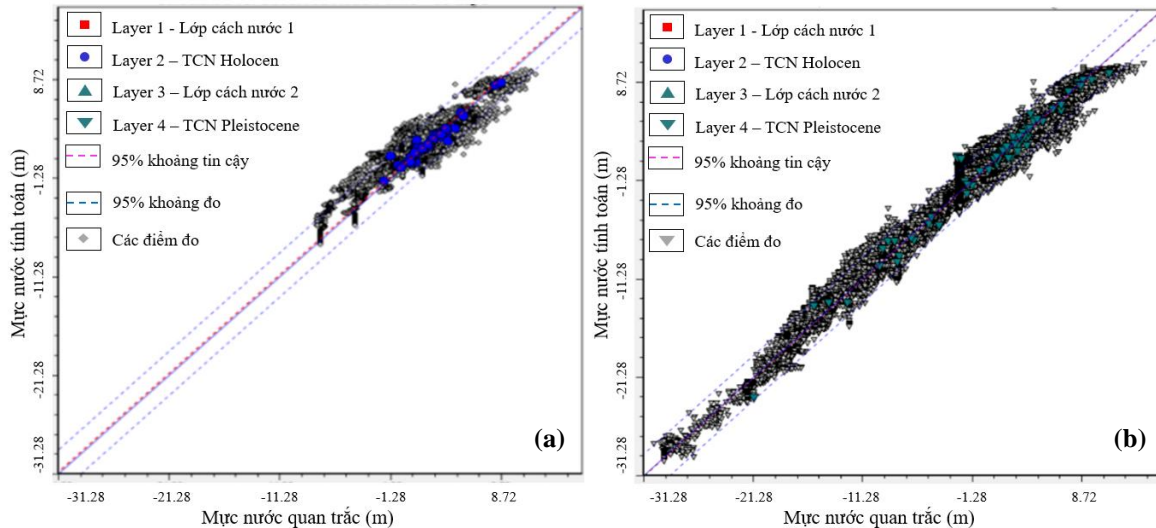


Hình 10. Sai số giữa mực nước mô hình và mực nước quan trắc thực tế trong TCN Pleistoxen tại các công trình quan trắc: (a) Q.23; (b) P.32a; (c) P.35a; (d) Q.109a.



Hình 11. Các công trình quan trắc được sử dụng để chính lý mô hình vùng ĐBSH.

Kết quả đánh giá sai số giữa mực nước thực đo và mực nước quan trắc ở các công trình quan trắc vùng ĐBSH được thể hiện ở hình 11.



Hình 12. Đánh giá sai số giữa mực nước quan trắc thực tế và mô hình trong các TCN vùng ĐBSH: (a) TCN Holocen; (b) TCN Pleistocen.

Kết quả đánh giá sai số mô hình cho TCN Holocen cho thấy sai số lớn nhất là 4,4m tại công trình Q.64, sai số nhỏ nhất là 0,0m tại công trình Q.85, sai số trung bình là 0,197m và sai số trung bình tuyệt đối là 0,861, sai số trung bình quân phương NRMS là 5,9%. Đối với TCN Pleistocen tại các công trình quan trắc cho thấy sai số lớn nhất là 4,96m tại công trình quan trắc P.73a, sai số nhỏ nhất 0,0m tại Q.164a, sai số tương đối 0,067m, sai số tuyệt đối là 0,906m, sai số quân phương NRMS 2,621%.

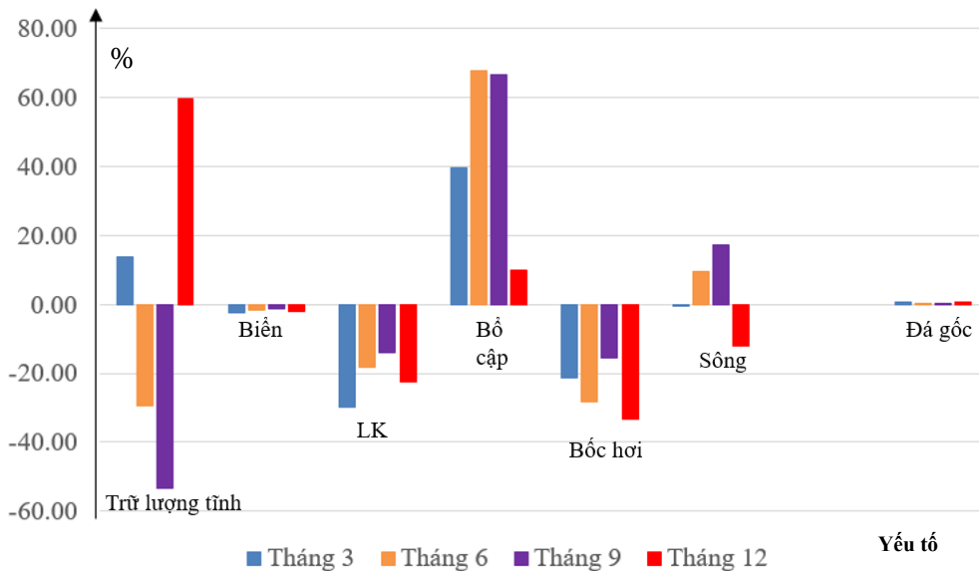
Phần lớn công trình chỉnh lý nằm trong khoảng tin cậy 95%. Mặc dù một số công trình thể hiện giá trị sai số tuyệt đối đáng kể, nhưng giá trị tương đối vẫn nằm trong giới hạn chấp nhận được, đảm bảo ngưỡng cho phép. Đáng chú ý, những công trình này nằm gần các bãi giồng khai thác, nơi mà sự chênh lệch giữa dữ liệu quan trắc và mô hình thường xuyên là đáng kể. Do đó, việc đánh giá sai số mô hình xác nhận rằng tất cả các tham số đều đáp ứng tiêu chí độ tin cậy đã thiết lập. Việc đánh giá sai số mô hình chỉ ra rằng tất cả các tham số đều thỏa mãn tiêu chí độ tin cậy của mô hình. Tuy nhiên, khi so sánh với các mô hình trước đây được phát triển cho ĐBSH [8], mô hình hiện tại thể hiện độ tin cậy cao hơn.

3.2. Đánh giá vai trò bổ cập cho NĐĐ trong việc hình thành trữ lượng khai thác vùng ĐBSH

Sau khi hiệu chỉnh mô hình, gói Zone Budget được sử dụng để tính toán cân bằng nước một cách có hệ thống cho cả TCN Holoxen và Pleistoxen trong toàn bộ vùng ĐBSH. Thông qua việc phân tích các thành phần được tính toán trong cân bằng nước, xác định được lượng bổ cập NĐĐ đối với việc hình thành trữ lượng khai thác NĐĐ trong khu vực. Kết quả tính toán cân bằng nước cho hệ thống TCN được thể hiện ở tháng 3, tháng 6, tháng 9 và tháng 12 (xem bảng 2, hình 12). Trong đó từ tháng 10 tới tháng 3 năm sau tương ứng với mùa khô, trong khi đó từ tháng 4 đến tháng 9 là tương ứng với mùa mưa.

Bảng 2. Thành phần tham gia vào cân bằng nước trong trầm tích Đệ tứ vùng ĐBSH (%), lượng chảy vào và chảy ra được thể hiện bằng dấu (+) và dấu (-) tương ứng.

Tháng \ Nguồn	Trữ lượng tính	Biển	LK	Bổ cập	Bốc hơi	Sông	Đá gốc
Tháng 3	13,94	-2,47	-29,86	39,47	-21,32	-0,48	0,71
Tháng 6	-29,32	-1,52	-18,38	67,63	-28,34	9,51	0,43
Tháng 9	-53,56	-1,25	-13,91	66,67	-15,63	17,36	0,32
Tháng 12	59,74	-1,86	-22,67	9,75	-33,24	-12,25	0,53



Hình 13. Thành phần tham gia vào cân bằng nước TCN Đệ tứ theo thời gian. Trong đó lượng chảy vào và lượng chảy ra được thể hiện bằng dấu (+) và dấu (-).

Hình 13 minh họa các thành phần tham gia vào cân bằng nước trong hệ thống các TCN Đệ tứ. Các giá trị dương biểu thị dòng chảy vào đóng góp cho hệ thống TCN, trong khi các giá trị âm thể hiện dòng chảy ra. Dựa theo kết quả trên có thể rút ra một số kết luận như sau:

- Lượng bổ cập từ nước mưa, nước tưới, nước trên mặt cho NĐĐ trầm tích Đệ tứ vào tất cả các mùa trong năm, vào mùa mưa lớn nhất lên đến 67,63% tổng lượng bổ cập, tương ứng 5.607.868 m³/ngày. Ngược lại vào mùa khô, lượng bổ cập này còn 9,75%, tương ứng

664.326m³/ngày. So sánh giữa lượng bổ sung cho NĐĐ và lượng khai thác trong khu vực có thể thấy được sự chênh lệch đáng chú ý đặc biệt là vào mùa khô. Trong giai đoạn này, lượng nước ngầm khai thác lớn hơn lượng bổ cập NĐĐ trực tiếp tương ứng, do đó chỉ có thể xâm phạm vào trữ lượng tĩnh trong các TCN làm suy giảm mực NĐĐ đặc biệt ở những khu vực ở cách xa sông. Sự xuất hiện các phễu hạ thấp mực nước trong vùng ĐBSH càng làm rõ cho vấn đề này.

- Lượng xâm phạm trữ lượng tĩnh do thành phần khai thác chiếm 13,91% đến 29,86% và do thành phần bốc hơi chiếm 13,94%-59,74%, tương ứng từ 705.693 m³/ngày đến 4.085.660 m³/ngày.

- Lượng cập nước sông cho NĐĐ trầm tích Đệ tứ chỉ xảy ra chủ yếu vào mùa mưa chiếm từ 9,51% -17,36%, tương ứng từ 788.378 m³/ngày tới 1.928.548 m³/ngày.

- Lượng bổ cập từ biên đá gốc ven rìa đồng bằng, lượng nước thoát ra biển xảy ra ở tất cả các mùa trong năm nhưng với lượng không lớn.

3.3. Thảo luận

Đối với các kết quả nghiên cứu bổ cập trước đây cho vùng ĐBSH, lượng bổ cập từ nước mưa vào trầm tích Đệ tứ chiếm 56,28% (vào mùa khô) và 84,11% (vào mùa mưa) [8]. Tuy nhiên, nghiên cứu này chưa có số liệu để kiểm chứng trực tiếp lượng thấm này do đó độ tin cậy chưa cao. Sau này các nghiên cứu và kỹ thuật đồng vị bền phát triển, việc ứng dụng đồng vị bền xác định lượng bổ cập cho NĐĐ ngày càng phổ biến tuy nhiên mới chỉ có thể áp dụng cho những khu vực nhỏ. Nghiên cứu [15] đã kết hợp kỹ thuật GIS, viễn thám để phân vùng bổ cập cho nước dưới đất và có chỉnh lý so sánh với các kết quả đồng vị trước đây. Kết quả nghiên cứu trong bài báo đã sử dụng bản đồ phân vùng bổ cập từ viễn thám, GIS đã được hiệu chỉnh với các kết quả đồng vị và kết quả xác định lượng chảy vào từ biên đá gốc [14] để làm thông số đầu vào cho mô hình tính toán cân bằng nước cho toàn vùng ĐBSH. Kết quả cho thấy lượng bổ cập tối đa vào mùa mưa (khoảng 68% lượng mưa) và tối thiểu trong mùa khô (khoảng 10% lượng mưa) ngoài ra vào mùa mưa, hệ thống sông bổ sung cho các TCN Đệ tứ khoảng 9,51-17,36% vào tổng cân bằng nước của các TCN Đệ tứ. Có thể thấy sự khác biệt khá rõ giữa lượng bổ cập xác định bởi nghiên cứu trước đây [8] và kết quả nghiên cứu này do thời điểm trước đó việc ứng dụng các kỹ thuật đồng vị bền còn hạn chế, thiếu các số liệu để kiểm chứng. Như vậy, có thể thấy rằng nghiên cứu này đã kế thừa các kết quả nghiên cứu trước đây bằng các thí nghiệm trực tiếp để làm thông số đầu vào và hiệu chỉnh mô hình do đó cho kết quả tin cậy cao hơn.

4. Kết luận

Nghiên cứu đánh giá xác định nguồn bổ cập cho NĐĐ là rất quan trọng cho việc quản lý khai thác NĐĐ hiệu quả và bền vững. Các nghiên cứu định lượng gần đây về các nguồn bổ cập NĐĐ ở các khu vực khác thuộc vùng ĐBSH hỗ trợ cho việc đánh giá chính xác hơn về ảnh hưởng của chúng trên quy mô đồng bằng thông qua việc áp dụng phương pháp mô hình.

Các nguồn nước đóng góp chính cho hệ thống các TCN Đệ tứ vùng ĐBSH bao gồm nguồn nước mưa, nước tưới và nước sông. Thêm vào đó là dự bổ cập cho TCN từ các đá gốc nứt nẻ ở rìa đồng bằng là những nguồn bổ cập đáng kể.

Sự bổ cập NĐĐ đối với các TCN trầm tích Đệ tứ trong ĐBSH thể hiện sự biến đổi theo thời gian và không gian. Lượng bổ cập từ nước mưa, nước tưới, nước trên mặt cho nước dưới đất trầm tích Đệ tứ được diễn ra tất cả các mùa trong năm, lớn nhất vào mùa mưa, chiếm đến 67,63% tổng lượng bổ cập tương ứng 5.607.868 m³/ngày. Ngược lại vào mùa khô, lượng bổ cập này còn 9,75%, tương ứng 664.326 m³/ngày. Lượng bổ cập từ nước sông cho NĐĐ trầm tích Đệ tứ chỉ xảy ra chủ yếu vào mùa mưa chiếm từ 9,51-17,36%, tương ứng từ 788.378m³/ngày tới 1928548 m³/ngày. Lượng bổ cập từ biên đá gốc ven rìa đồng bằng, lượng nước thoát ra biển xảy ra ở tất cả các mùa trong năm nhưng với lượng không lớn.

Việc khai thác nước ngầm vùng ĐBSH duy trì ổn định quanh năm. Trong mùa khô, trữ lượng khai thác chủ yếu lấy ra từ trữ lượng tĩnh trong TCN do thành phần khai thác chiếm 13,91% đến 29,86% và do thành phần bốc hơi chiếm 13,94-59,74%, tương ứng từ 705.693 m³/ngày đến 4.085.660 m³/ngày.

Một số hạn chế của mô hình là mô hình vùng ĐBSH do đó kích thước lưới còn khá thô do đó sai số mực nước ở khu vực bãi giồng tập trung là không thể tránh khỏi. Độ chính xác của mô hình phụ thuộc nhiều vào kết quả chính lý của các công trình quan trắc, tuy nhiên mật độ các giếng quan trắc còn thưa chủ yếu phân bố theo tuyến phục vụ nghiên cứu động thái.

Tuy còn tồn tại một số hạn chế trên, nghiên cứu cũng đã xem xét được một cách toàn diện vai trò của nguồn bổ cập tự nhiên nước dưới đất cũng như các thành phần cung cấp khác cho kết quả tin cậy giúp cho công tác quản lý, khai thác bền vững và bảo vệ môi trường NĐĐ trầm tích Đệ tứ ĐBSH.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: Đ.T.T., L.V.H.; Xử lý, phân tích số liệu: N.T.H., N.T.K.H.; mô hình hoá: Đ.T.T., L.V.H.; Viết bản thảo bài báo: Đ.T.T., T.Đ.T.; Chỉnh sửa bài báo: P.Q.N.

Lời cảm ơn: Bài báo có sự đóng góp từ nguồn dữ liệu và mô hình dự báo thuộc đề tài “Nghiên cứu nghiên cứu phát triển phần mềm phân tích dữ liệu lớn hỗ trợ công tác cảnh báo và dự báo tài nguyên nước”. Mã số: TNMT.2023.04.07 của Trung tâm Cảnh báo và Dự báo tài nguyên nước.

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. De Vries, J.J.; Simmers, I. Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. *Hydrogeol. J.* **2002**, *10*, 5–17.
2. Hartmann, A.; Gleeson, T.; Rosolem, R.; Pianosi, F.; Wada, Y.; Wagener, T. A large-scale simulation model to assess karstic groundwater recharge over Europe and the Mediterranean. *Geosci. Model Dev.* **2015**, *8*(6), 1729–1746.
3. Hartmann, A.; Gleeson, T.; Wada, Y.; Wagener, T. Enhanced groundwater recharge rates and altered recharge sensitivity to climate variability through subsurface heterogeneity. *Proc. Nat. Acad. Sci.* **2017**, *114*(11), 2842–2847.
4. Lerner, D.N.; Issar, A.S.; Simmers, I. Groundwater recharge: A guide to understanding and estimating natural recharge. Verlag Heinz Heise, P.O.B. 610407, D-3000 Hannover 61, Germany, 1990, pp. 345. ISBN 3-922705-91-X.
5. Arnold, J.G.; Muttiah, R.S.; Srinivasan, R.; Allen, P.M. Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin. *J. Hydrol.* **2000**, *227*(1-4), 21–40.
6. Hirata, R.; Conicelli, B.P. Groundwater resources in Brazil: a review of possible impacts caused by climate change. *Anais da Academia Brasileira de Ciências.* **2012**, *84*, 297–312.
7. Raudsepp-Hearne, C.; Peterson, G.D.; Bennett, E.M. Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **2010**, *107*(11), 5242–5247.
8. Nhân, P.Q. Sự hình thành và trữ lượng nước dưới đất các trầm tích Đệ tứ đồng bằng sông Hồng và ý nghĩa của nó trong nền kinh tế quốc dân. Luận án Tiến sĩ, Đại học Mỏ - Địa chất, 2000, tr. 126.
9. Lê, T.T. Xác định lượng bổ cập và mối quan hệ giữa các tầng chứa nước trong trầm tích đệ tứ vùng Thạch Thất - Đan Phượng, Hà Nội bằng kỹ thuật đồng vị hạt nhân. Luận văn Thạc sỹ. 2011.

10. Pham, Q.; Dang, T.; Tran, T. Sustainable groundwater development in Hanoi City. *Sci. Tech. Publ. House*. **2019**.
11. Postma, D.; Mai, N.T.H.; Lan, V.M.; Trang, P.T.K.; Sørensen, H.U.; Nhan, P.Q.; Larsen, F.; Viet, P.H.; Jakobsen, R. Fate of arsenic during Red river water infiltration into aquifers beneath Hanoi, Vietnam. *Environ. Sci. Technol.* **2017**, *51*, 838–845.
12. Larsen, F.; Nhan, Q.P.; Nhan, D.D.; Postma, D.; Jessen, S.; Viet, H.P.; Thao, B.N.; Huy, D.T.; Luu, T.T.; Hoan, N.; Chambon, J.; Hoan, V.N.; Ha, D.H.; Hue, N.T.; Duc, M.T.; Refsgaard, J.C. Controlling geological and hydrogeological processes in an arsenic contaminated aquifer on the Red River flood plain, Vietnam. *Appl. Geochem.* **2008**, *23(11)*, 3099–3115.
13. Cảnh, Đ.V. Nghiên cứu đề xuất các tiêu chí và phân vùng khai thác bền vững, bảo vệ tài nguyên nước dưới đất vùng đồng bằng Bắc Bộ và đồng bằng Nam Bộ. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu cấp nhà nước. Mã số: KC.08.06/11-15. Bộ Khoa học và Công nghệ, 2015.
14. Huy, T.Đ. Xác định vai trò của sông Hồng và đá gốc đối với lượng bổ cập cho nước dưới đất trong trầm tích Đệ tứ phần Tây Nam thành phố Hà Nội. Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 2022.
15. Nhan, P.Q.; Hung, L.V.; Le, T.T.; Khoa, T.V.L.; Nhan, D.D.; Cuong, T.Q. Zoning groundwater potential recharge using remote sensing and GIS technique in the Red river delta plain. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2022**, *964*, 012025.
16. Anderson, M.P.; Woessner, W.W.; Hunt, R.J. Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport. Academic Press, 2015.
17. Minh, T. Thành lập bản đồ Địa chất thủy văn vùng Bắc Bộ tỷ lệ 1:200.000. 2005.
18. Tam, V.T.; Nga, T.T.V. Assessment of urbanization impact on groundwater resources in Hanoi, Vietnam. *J. Environ. Manage.* **2018**, *227*, 107–116.
19. Trung, Đ.T.; Hoa, N.T.; Hoàn, T.V. Báo cáo kết quả xây dựng mô hình vùng đồng bằng Bắc Bộ. Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước quốc gia. 2018.
20. Namitha, M.; Devi, K. JS.; Sreelekshmi, H.; Muhammed, A.S. Groundwater flow modelling using visual modflow. *J. Pharmacogn. Phytochem.* **2019**, *8(1)*, 2710–2714.
21. Hariharan, V.; Shankar, M.U. A review of visual MODFLOW applications in groundwater modelling. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **2017**, *263*, 032025.
22. Saaty, T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Serv. Sci.* **2008**, *1(1)*, 83–98.
23. Hoan, H.V.; Larsen, F.; Nhan, P.Q.; Long, T.V.; Giang, N.T.T. Recharge mechanism and salinization processes in coastal aquifers in Nam Dinh Province, Vietnam. *VN J. Earth Sci.* **2022**, *44(2)*, 213–238.
24. NAWAPI. Cơ sở dữ liệu quan trắc quốc gia tài nguyên nước dưới đất. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội, Việt nam, 2023.

Application of MODFLOW for determining the role of groundwater recharge to groundwater exploitation in the Red River Delta Plain

Dang Tran Trung^{1*}, Nguyen Thi Hoa¹, Nguyen Thanh Kim Hue¹, Tran Duc Thinh¹, Le Viet Hung², Pham Quy Nhan²

¹ Centre for Water resources Monitoring and Forecasting; dtrung@gmail.com;
hoanguyen.dctv@gmail.com; nguyenthankimhue95@gmail.com;
tranducthinhtv@gmail.com

² Hanoi University of Natural Resources and Environment; lvhung@hunre.edu.vn;
pqnhan@hunre.edu.vn

³ School of Interdisciplinary Study and Arts, Vietnam National University;
nguyenthankimhue95@gmail.com

Abstract: The Red River Delta (RRD) with a population of over 22.9 million people has a total discharge of approximately 1.5 million m³/day, mostly Quaternary sedimentary aquifers. However, certain localities, such as Hanoi and Nam Dinh, have exhibited signs of over-exploitation, leading to associated issues such as depletion, land subsidence, saltwater intrusion, and water pollution. Groundwater recharge in the study area primarily originates from various sources, including rainfall, irrigation, and the river system. A three-dimensional (3D) model was developed in the study area using the MODFLOW code and calibrated by comparing simulated and observed groundwater levels. The calibrated model's budget code revealed that recharge from rainfall, river, lake to the Quaternary aquifers occurs throughout the year. The maximum recharge occurs during the rainy season (approximately 68% of rainfall) and the minimum during the dry season (approximately 10% of rainfall). During the rainy season, the river system primarily recharges Quaternary aquifers, contributing around 9.51-17.36% to the aquifers' total water balance. Year-round, the flow from fractured aquifers at the plain's edge to Quaternary aquifers is consistently small. To ensure sustainable management and exploitation of groundwater, the role of natural recharge sources for groundwater needs to be comprehensively assessed in this study.

Keywords: Groundwater recharges; Groundwater Modelling; Quaternary aquifer; Red River Delta.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu chất lượng nước sông Thương đoạn qua địa bàn tỉnh Bắc Giang

Trần Thị Minh Hằng^{1*}, Doãn Đức Duy², Nguyễn Mạnh Khải¹

¹ Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội; hangttm@hus.edu.vn; nguyenmanhkhai@hus.edu.vn

² Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước miền Bắc, 10/42 Trần Cung, Cầu Giấy, Hà Nội; doanduy121@gmail.com

*Tác giả liên hệ: hangttm@hus.edu.vn; Tel: +84-902168955

Ban Biên tập nhận bài: 9/2/2024; Ngày phản biện xong: 12/3/2024; Ngày đăng bài: 25/6/2024

Tóm tắt: Nghiên cứu đánh giá chất lượng nước có ý nghĩa rất quan trọng trong phát triển bền vững, vừa đảm bảo sự phát triển kinh tế, bảo vệ môi trường và an ninh nguồn nước. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá chất lượng nước sông Thương đoạn chảy qua tỉnh Bắc Giang. 16 mẫu nước được lấy dọc theo chiều dài của sông từ điểm đầu tỉnh Bắc Giang (khu vực cầu Lường) đến điểm cuối tỉnh (khu vực xã Đồng Việt, Yên Dũng) trong hai mùa mưa và mùa khô để phân tích các chỉ tiêu pH, DO, TSS, COD, BOD₅, N-NH₄⁺, P-PO₄³⁻, phenol, coliform và một số kim loại nặng, so sánh với quy chuẩn Việt Nam, đánh giá qua chỉ tiêu chất lượng nước (WQI). Kết quả cho thấy nước sông đang có dấu hiệu bị nhiễm COD, BOD₅, N-NH₄⁺, phenol, coliform bởi hoạt động nhân sinh đặc biệt vào mùa khô. Giá trị WQI có xu hướng giảm hơn trong mùa khô với có 3/16 điểm quan trắc có giá trị WQI < 20 (mức độ màu đỏ). Chất lượng nước sông Thương đoạn qua tỉnh Bắc Giang chịu ảnh hưởng mạnh bởi các hoạt động phát triển kinh tế xã hội cho thấy các biện pháp kiểm soát và quản lý chất lượng nước sông trong quy mô lưu vực cần được chú trọng để phòng ngừa và giảm thiểu ô nhiễm môi trường nước sông Thương.

Từ khóa: Bắc Giang; Sông Thương; Ô nhiễm; Chất lượng nước; WQI.

1. Mở đầu

Chất lượng nước mặt của các dòng sông ngày nay ngoài sự chịu ảnh hưởng bởi các quá trình tự nhiên trên lưu vực sông còn chịu tác động mạnh bởi các hoạt động nhân sinh như hoạt động sinh hoạt của người dân, hoạt động đô thị, hoạt động công nghiệp, chăn nuôi và trồng trọt trong nông nghiệp [1]. Do vậy, việc nghiên cứu quan trắc và đánh giá chất lượng nước mặt có vai trò quan trọng trong công tác quản lý và bảo vệ chất lượng nước các thủy vực sông [2]. Tại Việt Nam, trong nhiều năm qua mặc dù công tác quan trắc, kiểm soát chất lượng môi trường đã có nhiều cải tiến nhưng chất lượng nước tại các dòng sông, thủy vực vẫn có những thay đổi lớn theo chiều hướng suy giảm về chất lượng. Tại lưu vực sông Hồng - Thái Bình, điểm nóng nhất về ô nhiễm chất lượng nước là hệ thống thủy nông Bắc Hưng Hải với chiều dài khoảng 200 km chạy qua các địa phương gồm Hà Nội, Bắc Ninh, Hưng Yên và Hải Dương, chất lượng nước bị ô nhiễm nghiêm trọng về chất hữu cơ, chất dinh dưỡng và vi sinh với trên 90% các vị trí quan trắc trên hệ thống có nhiều thông số vượt ngưỡng C của QCVN 08-MT:2023/BTNMT. Mức độ ô nhiễm đặc biệt gia tăng vào mùa khô, do hệ thống thủy nông được đóng lại để trữ nước cho tưới tiêu, gây tình trạng nước bị ứ đọng các chất gây ô nhiễm. Một số nghiên cứu khác tại Việt Nam và quốc tế cũng cho

thấy chất lượng nước tại các sông có sự thay đổi theo mùa [3, 4]. Nguyên nhân ô nhiễm được chỉ ra là do phải tiếp nhận một lượng quá lớn nước thải sinh hoạt, công nghiệp, làng nghề từ các hoạt động trong lưu vực sông... chưa được xử lý, xả trực tiếp từ các nguồn thải trong lưu vực vào các dòng sông [5, 6].

Để đánh giá chất lượng nước sông một cách đơn giản và khái quát trực quan, chỉ số WQI thường được sử dụng để khái quát hóa kết quả phân tích dựa trên các chỉ tiêu đơn lẻ. Trên thế giới, nhiều nước áp dụng WQI để đánh giá và phân loại mức độ ô nhiễm nguồn nước như Mỹ [7], Ấn Độ [8], Malaysia [9], Nigeria [10], Trung Quốc [11]. Tại Việt Nam, Tổng cục môi trường đã ban hành Quyết định số 879/QĐ-TCMT hướng dẫn tính toán chỉ số chất lượng nước vào năm 2011 và được sửa đổi thay thế bằng quyết định số 1460/QĐ-TCMT năm 2019 [12]. Tiếp theo đó, Tại Việt Nam đã có nhiều nghiên cứu sử dụng chỉ số WQI để đánh giá chất lượng nước [13–19].

Sông Thương là phụ lưu của sông Cầu. Dòng chính sông Thương có chiều dài 157km, trong đó chiều dài chảy qua địa bàn tỉnh Bắc Giang khoảng 80 km. Sông Thương cung cấp nguồn nước sinh hoạt và nông nghiệp cho Bắc Giang và các vùng lân cận. Tuy nhiên, quá trình đô thị hóa, công nghiệp hóa phát triển mạnh khiến sông Thương đã và đang phải đối mặt với nguy cơ ô nhiễm rất cao. Năm 2023 thủ tướng chính phủ đã ban hành quyết định phê duyệt Quy hoạch tổng hợp lưu vực sông Hồng - Thái Bình [20]. Do đó, việc nghiên cứu đánh giá chất lượng nước sông Thương đoạn chảy qua địa bàn tỉnh Bắc Giang là cần thiết cho công tác quản lý môi trường nước sông Thương qua Bắc Giang nói riêng và toàn bộ lưu vực nói chung.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

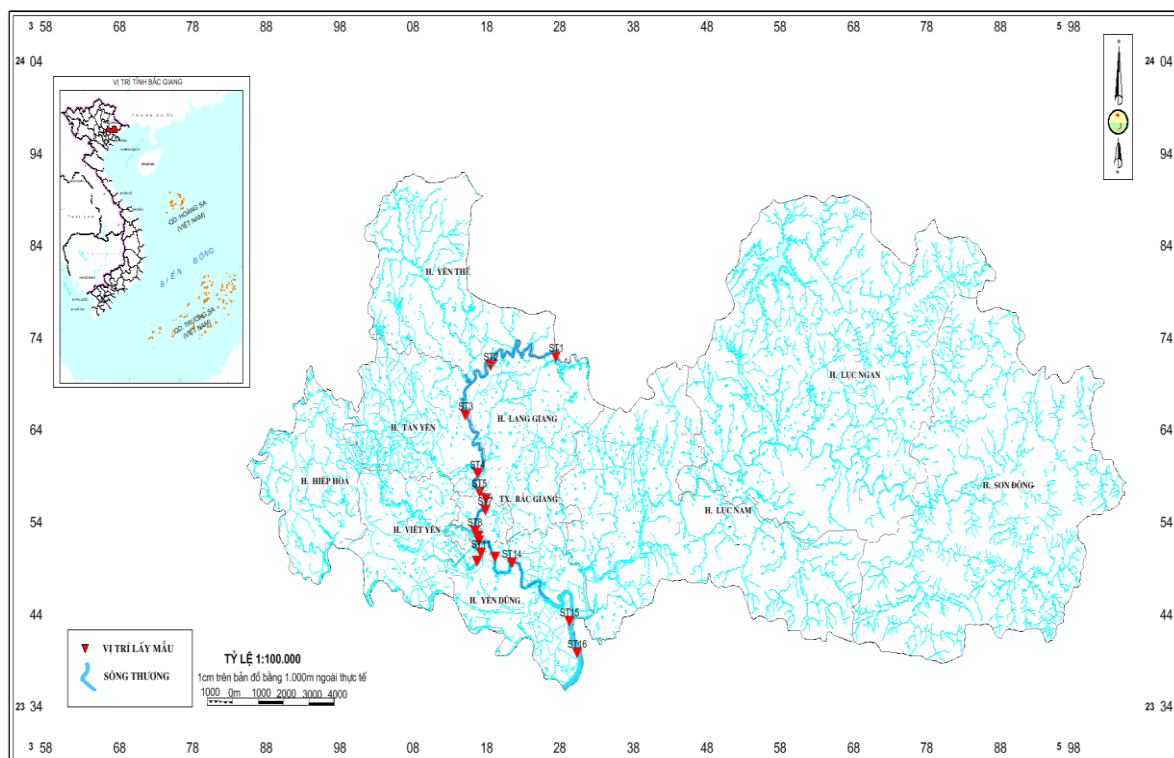
2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Mười sáu điểm điểm lấy mẫu nước sông Thương được lấy dọc theo dòng chảy từ huyện Lạng Giang đến huyện Yên Dũng với số lượng mẫu phân bố qua các đơn vị hành chính như trong Bảng 1 và sơ đồ vị trí lấy mẫu trong Hình 1. Các vị trí lấy mẫu được ký hiệu từ ST01 đến ST16, tại mỗi vị trí mẫu nước được lấy trong 2 thời điểm gồm mùa mưa (tháng 8) và mùa khô (tháng 4).

Bảng 1. Vị trí các điểm lấy mẫu nước sông Thương trên địa bàn tỉnh Bắc Giang.

TT	Ký hiệu	Vị trí	Huyện	X	Y
1	ST01	Lấy nước sông Thương khu vực Cầu Lường	Huyện Lạng Giang	633378	2372503
2	ST02	Lấy nước sông Thương chảy qua địa phận thị trấn Bồ Hạ	Huyện Yên Thế	624501	2371466
3	ST03	Lấy nước sông Thương đoạn chảy qua xã Hợp Đức, huyện Tân Yên	Huyện Tân Yên	621145	2365979
4	ST04	Lấy tại nhập lưu giữa ngòi Phú Khê và sông Thương chảy qua xã Quế Nham, huyện Tân Yên	Huyện Tân Yên	622868	2359668
5	ST05	Lấy nước sông Thương chảy qua địa bàn xã Xuân Hương, huyện Lạng Giang	Huyện Lạng Giang	623165	2357683
6	ST06	Lấy nước sông Thương gần công ty TNHH MTV Phân đạm và hóa chất Hà Bắc, phường Thọ Xương, TP Bắc Giang	TP. Bắc Giang	624073	2356991
7	ST07	Lấy nước sông Thương, điểm cấp nước cho nhà máy nước sạch Bắc Giang - Phường Thọ Xương.	TP. Bắc Giang	623953	2355748
8	ST08	Lấy nước sông Thương thuộc địa phận phường Mỹ Độ, TP Bắc Giang	TP. Bắc Giang	622570	2353461
9	ST09	Lấy nước sông Thương gần cầu Xương Giang, sau Trạm bơm nước thải của TP Bắc Giang.	TP. Bắc Giang	623048	2352959

TT	Ký hiệu	Vị trí	Huyện	X	Y
10	ST10	Lấy nước đoạn nhập lưu giữa kênh và sông Thương thuộc xã Song Khê, TP Bắc Giang	TP. Bắc Giang	623143	2352393
11	ST11	Lấy nước kênh cạnh khu công nghiệp xã Song Khê, TP Bắc Giang	TP. Bắc Giang	623407	2351122
12	ST12	Lấy nước kênh cạnh khu công nghiệp xã Song Khê, TP Bắc Giang	TP. Bắc Giang	622919	2350200
13	ST13	Lấy nước sông Thương tại xã Tân Tiến, huyện Yên Dũng	Huyện Yên Dũng	625370	2350628
14	ST14	Lấy nước tại điểm nhập lưu giữa kênh và sông Thương gần trạm bơm xã Tân Tiến, huyện Yên Dũng	Huyện Yên Dũng	627696	2350043
15	ST15	Lấy nước sông Thương thuộc xã Đức Giang, huyện Yên Dũng sau điểm hợp lưu với sông Lục Nam	Huyện Yên Dũng	635591	2343826
16	ST16	Lấy nước sông Thương thuộc xã Đồng Việt, huyện Yên Dũng	Huyện Yên Dũng	636669	2340456



Hình 1. Sơ đồ vị trí lấy mẫu nước sông Thương đoạn chảy qua địa bàn tỉnh Bắc Giang.

2.2. Lấy mẫu và bảo quản mẫu

Các mẫu nước tại các vị trí thể hiện trên Hình 1, được lấy với từng thời điểm với sự lặp lại 3 lần. Chai nhựa đựng mẫu (PE) được rửa sạch, làm khô dùng để lưu trữ mẫu, tiền xử lý mẫu theo các hướng dẫn với từng chỉ tiêu phân tích. Mẫu được bảo quản trong tủ lạnh trong phòng thí nghiệm.

2.3. Phân tích chất lượng nước

pH, DO được đo ngay tại hiện trường trên thiết bị (TOA: WQC-24) đã được hiệu chỉnh trước khi sử dụng. Tổng chất rắn lơ lửng (TSS), COD, BOD, $N-NH_4^+$, $P-PO_4^{3-}$, Coliform được xác định theo các phương pháp tiêu chuẩn Việt Nam. Phenol được xác định theo hướng dẫn của EPA-Method 8041:1994 [21]. Xác định các kim loại nặng trong nước theo phương pháp [22]. Kết quả phân tích được đánh giá và so sánh với QCVN 08:2023/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt (Bảng 2, Bảng 3) [23].

Bảng 2. Giá trị giới hạn các thông số trong nước mặt phục vụ cho việc phân loại chất lượng sông, suối, kênh, mương, khe, rạch và bảo vệ môi trường sống dưới nước.

Mức phân loại chất lượng nước	pH	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	Colifom (MPN)
A	6-8,5	≥ 6	≤ 25	≤ 10	≤ 4	≤ 1.000
B	6-8,5	≥ 5	≤ 100	≤ 15	≤ 6	≤ 5.000
C	6-8,5	≥ 4	>100 và không có rác nổi	≤ 20	≤ 10	≤ 7.500
D	<6 hoặc >8,5	≥ 2	> 100 và có rác nổi	>20	>10	>7.500

Bảng 3. Giá trị giới hạn tối đa các thông số ảnh hưởng tới sức khỏe con người.

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị giới hạn
1	NH ₄ ⁺	mg/L	0,3
2	Fe	mg/L	0,5
3	Ni	mg/L	0,1
4	Zn	mg/L	0,5
5	As	mg/L	0,01
6	Phenol	µg/L	5,0

Kết quả phân tích chất lượng nước tại các thời điểm được so sánh với QCVN 08:2023/BTNMT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt, loại B dùng cho mục đích sản xuất công nghiệp, nông nghiệp sau khi áp dụng các biện pháp xử lý phù hợp; loại C dùng cho mục đích sản xuất công nghiệp sau khi áp dụng các biện pháp xử lý phù hợp [23].

2.4. Xử lý số liệu và phân tích thống kê

Kết quả phân tích chất lượng nước tại các thời điểm được lấy giá trị trung bình giữa 3 lần lặp lại. Sự so sánh chất lượng nước giữa các vị trí nghiên cứu được sử dụng phép so sánh trong phân tích thống kê (*Tukey's pairwise comparison*) trong phần mềm Minitab phiên bản 19.0, sự khác biệt có ý nghĩa được ghi nhận với xác suất nhỏ hơn 0,05 [24].

2.5. Đánh giá chất lượng nước

Đánh giá chất lượng nước dựa trên chỉ số chất lượng nước (WQI). Chỉ số chất lượng nước (WQI) được trình bày trong công thức số [11]:

$$WQI = \frac{WQI_I}{100} \times \frac{(\prod_{i=1}^n WQI_{II})^{1/n}}{100} \times \frac{(\prod_{i=1}^m WQI_{III})^{1/m}}{100} \times \left[\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k WQI_{IV} \times \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l WQI_V \right] \quad (1)$$

Trong đó WQI_I là kết quả tính toán đối với thông số nhóm I (pH); WQI_{II} là Kết quả tính toán đối với thông số nhóm II (thuốc bảo vệ thực vật); WQI_{III} là kết quả tính toán đối với thông số nhóm III (các kim loại nặng); WQI_{IV} là kết quả tính toán đối với thông số nhóm IV (thông số hữu cơ và dinh dưỡng); WQI_V là kết quả tính toán đối với thông số nhóm V (thông số vi sinh).

- Tính toán WQI đối với các thông số BOD, COD, NH₄, TSS, PO₄ Coliform theo công thức:

$$WQISI = \frac{q_i - q_{i+1}}{BP_{i+1} - BP_i} (BP_{i+1} - C_p) + q_{i+1} \quad (2)$$

Trong đó BP_i là nồng độ giới hạn dưới của giá trị thông số quan trắc được quy định tương ứng với mức i; BP_{i+1} là nồng độ giới hạn trên của giá trị thông số quan trắc được quy định tương ứng với mức i+1; q_i là giá trị WQI ở mức i đã cho trong bảng tương ứng với giá trị BP_i; q_{i+1} là giá trị WQI ở mức i+1 đã cho trong bảng tương ứng với giá trị BP_{i+1}; C_p là giá trị của thông số quan trắc được đưa vào tính toán; Các giá trị BP_i, BP_{i+1}, q_i, q_{i+1} được tra từ Quyết định số 1460/QĐ-TCMT.

- Tính toán WQI đối với DO theo công thức:

$$WQISI = \frac{q_{i+1} - q_i}{BP_{i+1} - BP_i} (C_p - BP_{i+1}) + q_i \quad (3)$$

Trong đó C_p là giá trị DO% bão hòa; $BP_i, BP_{i+1}, q_i, q_{i+1}$ là các giá trị tương ứng với mức $i, i+1$; Các giá trị $BP_i, BP_{i+1}, q_i, q_{i+1}$ được tra từ Quyết định số 1460/QĐ-TCMT tương ứng với bảng số hiệu của DO bão hòa.

- Tính toán WQI của pH: Tùy thuộc vào giá trị của pH mà áp dụng công thức 2 hoặc 3 và bảng quy định các giá trị BP_i, q_i đối với thông số pH.

2.6. Xây dựng bản đồ chất lượng nước

Để xây dựng bản đồ chất lượng nước, nhóm nghiên cứu đã thực hiện các bước:

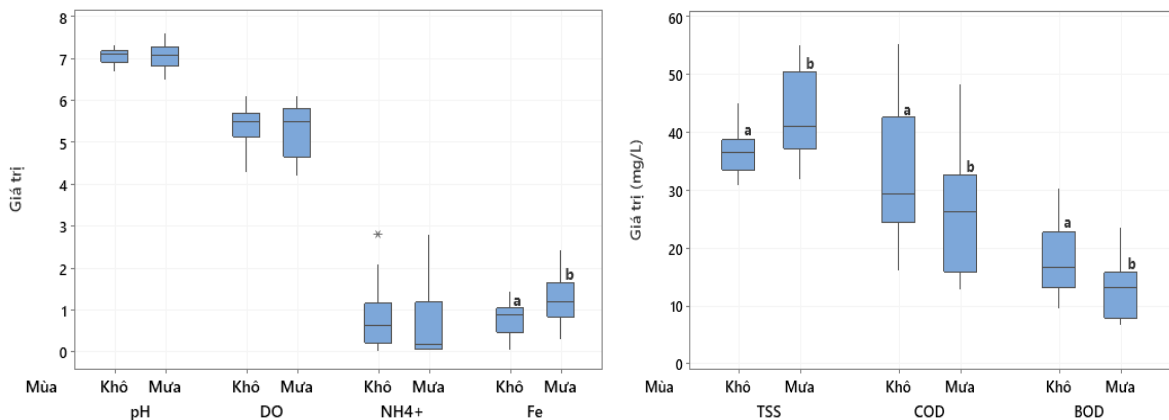
- Nội suy, phân tích: sử dụng phương pháp nội suy lân cận gần nhất giả thiết là các giá trị của của các mẫu đo phân bố trong không gian ở khoảng cách gần sẽ tương tự hơn so với các mẫu đo ở các vị trí có khoảng cách lớn hơn [25]. Các số liệu chất lượng nước và WQI tại các điểm nghiên cứu được tính toán nội suy cho các đoạn sông lân cận, kết quả sẽ có được các giá trị nội suy cho các vùng lân cận.

- Hiện thị bản đồ chất lượng nước: Sử dụng phần mềm GIS để chồng chập các lớp bản đồ khác (thủy hệ, địa giới hành chính...) cùng kết quả nội suy để tạo nên bản đồ chất lượng nước và được tô màu với màu tương ứng với giá trị chất lượng nước.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Chất lượng nước sông Thương thông qua một số chỉ tiêu phân tích

Kết quả phân tích chất lượng nước sông Thương mùa mưa và mùa khô tại 16 điểm nghiên cứu dọc sông Thương đoạn chảy qua tỉnh Bắc Giang được thể hiện trong Hình 2 và Bảng 4.



Hình 2. Biểu đồ giá trị các thông số quan trắc trong mùa mưa và mùa khô với các vị trí quan trắc trên sông Thương đoạn chảy qua tỉnh Bắc Giang (pH theo thang đo pH; DO (mg/L), NH_4^+ (mg NH_4^+ -N/L), Fe (mg/L); các thông số còn lại đơn vị tính ghi trên biểu đồ). Khác biệt giữa các chữ với cùng thông số chất lượng nước theo mùa có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Bảng 4. Kết quả phân tích mẫu nước mùa mưa và mùa khô tại sông Thương đoạn chảy qua tỉnh Bắc Giang.

STT	Ký hiệu	Mùa mưa						Mùa khô					
		P- PO_4^{3-}	Ni	Zn	As	Phenol	Coliform	P- PO_4^{3-}	Ni	Zn	As	Phenol	Coliform
		mg/L						MPN/100mL					
1	ST01	0,04	<0,01	<0,031	<0,002	7,11	3500	0,31	<0,01	0,050	<0,004	7,33	5400
2	ST02	0,04	<0,01	<0,031	<0,002	5,52	3000	0,04	<0,01	0,240	<0,004	5,21	4300

STT	Ký hiệu	Mùa mưa						Mùa khô					
		P-PO ₄ ³⁻	Ni	Zn	As	Phenol	Coliform	P-PO ₄ ³⁻	Ni	Zn	As	Phenol	Coliform
		mg/L					MPN/100mL	mg/L					MPN/100mL
3	ST03	0,09	<0,01	<0,031	<0,002	4,32	3200	0,11	<0,01	0,223	<0,004	4,51	3800
4	ST04	0,06	<0,01	<0,031	<0,002	6,12	4100	0,16	<0,01	0,247	<0,004	6,22	3100
5	ST05	0,04	<0,05	<0,031	<0,002	7,24	3600	0,21	<0,01	0,097	0,031	7,34	2600
6	ST06	0,03	<0,05	<0,031	0,003	7,36	3400	0,09	<0,04	0,126	<0,004	7,11	3300
7	ST07	0,01	<0,05	<0,031	<0,002	6,60	3700	0,09	<0,04	0,625	<0,004	6,82	2900
8	ST08	0,03	<0,05	<0,031	<0,002	6,87	2300	0,25	<0,04	0,240	<0,004	6,51	8600
9	ST09	0,27	<0,05	<0,031	0,003	9,51	3300	0,09	<0,04	1,047	<0,004	9,11	9500
10	ST10	0,22	<0,05	<0,031	0,044	11,3	1800	0,57	<0,04	1,240	0,051	12,30	19000
11	ST11	0,09	<0,01	<0,031	0,052	10,7	1500	0,06	<0,04	0,037	0,058	10,82	18000
12	ST12	0,03	<0,01	<0,031	0,070	9,97	2700	0,23	<0,01	0,281	0,068	9,34	3700
13	ST13	0,01	<0,05	<0,031	<0,002	5,40	1900	0,08	<0,04	<0,001	<0,004	5,30	4300
14	ST14	0,04	<0,01	<0,031	0,066	5,21	2800	0,15	<0,01	0,263	0,066	5,33	19000
15	ST15	0,08	<0,01	<0,031	<0,002	5,79	3300	0,07	<0,01	0,425	0,046	5,46	2100
16	ST16	0,13	<0,01	<0,031	<0,002	6,10	3700	0,09	<0,01	0,468	<0,004	6,21	2500

QCVN08:2023/ BTNMT

An toàn với con người	0,1	0,5	0,01	5,0	-	0,1	0,5	0,01	5,0	-
A	-	-	-	-	≤ 1.000	-	-	-	-	≤ 1.000
B	-	-	-	-	≤ 5.000	-	-	-	-	≤ 5.000
C	-	-	-	-	≤ 7.500	-	-	-	-	≤ 7.500
D	-	-	-	-	>7.500	-	-	-	-	>7.500

Ghi chú: QCVN 08:2023 - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt [23].

(a) Giá trị pH, DO

Giá trị pH đặc trưng cho độ axit/bazơ của nước, DO thể hiện hàm lượng ôxi hòa tan trong nước. Qua kết quả phân tích cho thấy giá trị pH (cả mùa mưa và mùa khô) đều nằm trong khoảng 6-8,5 đáp ứng yêu cầu loại B (QCVN08:2023/BTNMT), hàm lượng oxi hòa tan đa số ở mức ≥ 5 đáp ứng yêu cầu loại B (QCVN08:2023/BTNMT). Tuy nhiên vào mùa mưa có 3 điểm tại TP Bắc Giang (ST10, ST11, ST12), 1 điểm tại huyện Yên Dũng (ST13) có DO > 4 đạt mức C và vào mùa khô có 2 điểm tại TP Bắc Giang (ST10, ST11) hàm lượng DO ở mức > 4 đạt mức C. Hàm lượng DO tại một số điểm quan trắc trên sông Thương, nhất là vào mùa khô, có giá trị nhỏ (trong khoảng 4-5 mg/l) cho dấu hiệu cảnh báo chất lượng nước sông Thương đang có dấu hiệu bị ảnh hưởng của hoạt động xả thải trên lưu vực sông.

(b) Tổng chất rắn lơ lửng, COD và BOD₅

Kết quả quan trắc TSS, COD, BOD₅ vào mùa mưa thể hiện trên Hình 2 và Bảng 4 cho thấy, Tổng chất rắn lơ lửng (TSS) trong nước sông Thương chảy qua tỉnh Bắc Giang giao động trong khoảng 31 đến 45 mg/l. Giá trị COD và BOD₅ lần lượt từ 13,0 đến 48,2 mg/l và 6,9 đến 23,6 mg/l. Vào mùa khô, TSS trong nước sông Thương giao động trong khoảng 32 đến 55 mg/l. Giá trị COD và BOD₅ lần lượt từ 16,2 đến 48,7 mg/l và 9,7 đến 30,3 mg/l. Hàm lượng TSS và Fe trong nước sông Thương vào mùa mưa cao hơn có ý nghĩa thống kê (p < 0,05) so với các giá trị tương ứng nêu trên trong nước sông Thương vào mùa khô (Hình 2) do ảnh hưởng của dòng chảy bề mặt kéo theo các chất phù sa và hàm lượng tương đối sắt hòa tan chảy theo bề mặt vào nguồn nước mặt sông Thương. Các thông số COD, BOD₅ về mùa khô cao hơn mùa mưa có ý nghĩa thống kê (p < 0,05) cho thấy chất lượng nước sông Thương

đã và đang chịu tác động bởi hoạt động dân sinh, phát triển kinh tế xã hội trên địa bàn tỉnh Bắc Giang. Vào mùa mưa, các dòng thải và nước mặt sông Thương bị pha loãng ít nhiều nên giá trị BOD, COD có xu hướng giảm hơn nhiều so với mùa khô.

(c) Hàm lượng N-NH₄⁺ và P-PO₄³⁻

Trên sông Thương đoạn qua tỉnh Bắc Giang vào mùa mưa có 4/16 và mùa khô có 11/16 điểm lấy mẫu có hàm lượng N-NH₄⁺ vượt mức giới hạn tối đa cho phép ảnh hưởng tới sức khỏe con người theo sự so sánh với ngưỡng giới hạn tối đa cho phép quy định bởi QCVN 08:2023/BTNMT. Các điểm có hàm lượng vượt cao nhất đa số đều phân bố gần khu vực thành phố Bắc Giang (ST6-ST12). Hàm lượng P-PO₄³⁻ có giá trị lần lượt vào mùa mưa từ 0,001 đến 0,270 mg/l và mùa khô từ 0,041 đến 0,57 mg/l (cao nhất đo được tại vị trí ST10 vào mùa khô, 0,570 mg/l).

(d) Kim loại nặng và phenol trong nước

Hàm lượng Fe, As, phenol đo được vào mùa mưa lần lượt có 16/16, 4/16, 15/16; mùa khô lần lượt 12/16, 5/16, 15/16 điểm lấy mẫu có hàm lượng vượt mức giới hạn tối đa cho phép ảnh hưởng tới sức khỏe con người theo sự so sánh với ngưỡng giới hạn tối đa cho phép quy định bởi QCVN 08:2023/BTNMT. Hàm lượng các kim loại Ni, Zn có xu hướng cao hơn trong mùa khô những các giá trị quan trắc được đối với các thông số này đều nằm trong ngưỡng an toàn khi so với giá trị giới hạn tối đa cho phép tương ứng quy định bởi QCVN 08:2023/BTNMT.

3.2. Chỉ số chất lượng nước sông Thương

Chỉ số chất lượng nước sông Thương (WQI) đoạn chảy qua tỉnh Bắc Giang được tính toán dựa vào giá trị của các thông số pH, DO, COD, BOD, NH₄⁺, TSS, P-PO₄³⁻. Kết quả tính toán thể hiện trong Bảng 5.

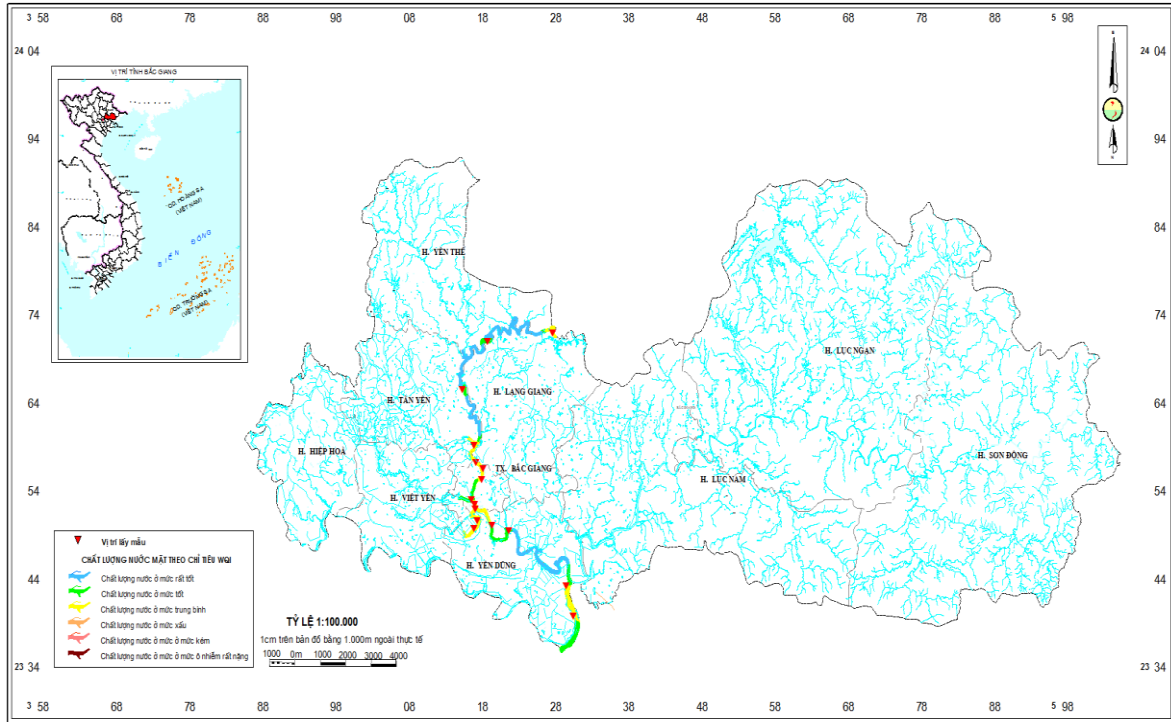
Bảng 5. Chỉ số chất lượng nước sông Thương đoạn chảy qua tỉnh Bắc Giang.

TT	Vị trí	WQI		Màu	
		Mùa mưa	Màu	Mùa khô	Màu
1	ST01	74	Vàng	66	Vàng
2	ST02	83	Xanh lá cây	75	Xanh lá cây
3	ST03	80	Xanh lá cây	77	Xanh lá cây
4	ST04	71	Vàng	69	Vàng
5	ST05	68	Vàng	77	Xanh lá cây
6	ST06	73	Vàng	74	Vàng
7	ST07	72	Vàng	73	Vàng
8	ST08	75	Xanh lá cây	53	Vàng
9	ST09	61	Vàng	44	Da cam
10	ST10	61	Vàng	11	Đỏ
11	ST11	61	Vàng	14	Đỏ
12	ST12	75	Vàng	70	Vàng
13	ST13	77	Xanh lá cây	64	Vàng
14	ST14	77	Xanh lá cây	16	Đỏ
15	ST15	74	Vàng	80	Xanh lá cây
16	ST16	71	Vàng	76	Xanh lá cây

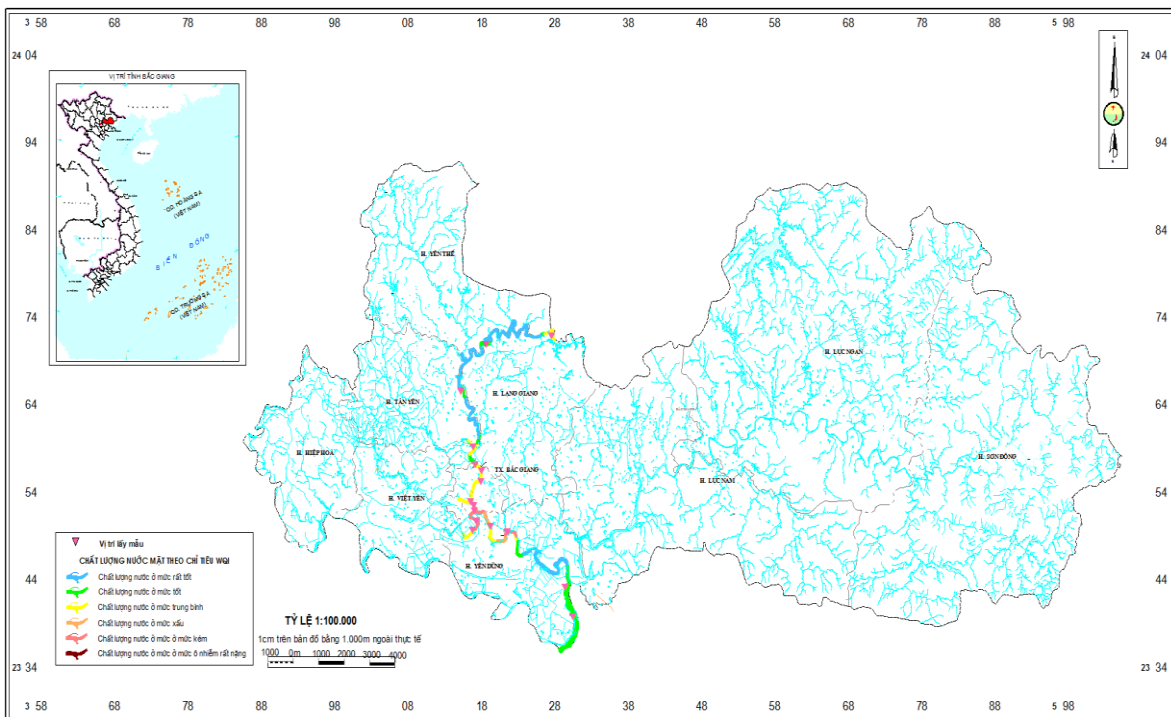
Đánh giá chất lượng nước sông Thương qua WQI mặc dù đa phần kết quả tại các điểm quan trắc ở ngưỡng cao, nhưng chất lượng nước mùa khô kém hơn mùa mưa. Vào mùa mưa, kết quả 16 vị trí nghiên cứu cho thấy chất lượng đa số ở mức tốt và trung bình. Vào mùa khô, 12/16 vị trí nghiên cứu cho kết quả nước có chất lượng nước ở mức tốt và trung bình; 4/16 vị trí cho kết quả nước có chất lượng xấu và kém (11-44). Các vị trí có chỉ số WQI thấp tập trung khu vực đông dân cư như thành phố Bắc Giang cho thấy chất lượng nước sông Thương bị ảnh hưởng mạnh bởi hoạt động sinh hoạt và phát triển kinh tế xã hội.

3.3. Bản đồ chất lượng nước sông Thương

Qua kết quả tính toán giá trị WQI tại bảng 5 kết hợp với phương pháp nội suy phân tích đã xây dựng được bản đồ chất lượng nước sông Thương thuộc địa phận tỉnh Bắc Giang vào mùa mưa (Hình 3) và mùa khô (Hình 4). Qua hai bản đồ cho thấy được phần nào thực trạng chất lượng nguồn nước khu vực nghiên cứu. Từ điểm đầu sông Thương tại huyện Lạng Giang đến điểm cuối tại huyện Yên Dũng đặc biệt vào mùa khô, chất lượng nước biến đổi từ tốt đến xấu do chịu sự tác động của nước thải sinh ra từ các khu vực đông dân cư và các khu, cụm công nghiệp.



Hình 3. Bản đồ chất lượng nước sông Thương theo chỉ số WQI vào mùa mưa.



Hình 4. Bản đồ chất lượng nước sông Thương theo chỉ số WQI vào mùa khô.

4. Kết luận

Chất lượng nước sông Thương đoạn chảy qua địa phận tỉnh Bắc Giang có dấu hiệu bị ảnh hưởng bởi các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội, sinh hoạt. Vào mùa mưa, TSS trong nước sông Thương chảy qua tỉnh Bắc Giang giao động trong khoảng 31 đến 45 mg/l, giá trị COD và BOD₅ lần lượt từ 13,0 đến 48,2 mg/l và 6,9 đến 23,6 mg/l. Vào mùa khô, TSS trong nước sông Thương giao động trong khoảng 32 đến 55 mg/l, giá trị COD và BOD₅ lần lượt từ 16,2 đến 48,7 mg/l và 9,7 đến 30,3 mg/l. Hàm lượng TSS và Fe trong nước sông Thương vào mùa mưa cao hơn so với mùa khô do ảnh hưởng của dòng chảy bề mặt kéo theo các chất phù sa và hàm lượng sắt hòa tan chảy theo bề mặt vào nguồn nước mặt sông Thương. Chỉ số chất lượng nước WQI đoạn qua các khu vực có hoạt động công nghiệp và khu dân cư tập trung có giá trị thấp hơn các khu vực khác. Chất lượng nước sông Thương chịu ảnh hưởng mạnh bởi các hoạt động phát triển kinh tế xã hội qua đó cho thấy các biện pháp đánh giá chất lượng nước thường xuyên, nghiên cứu tương quan giữa các thông số quan trắc, tính toán sức chịu tải, kiểm soát và quản lý chất lượng nước sông trong quy mô lưu vực cần được chú trọng để phòng ngừa và giảm thiểu ô nhiễm môi trường nước sông Thương, đặc biệt đoạn qua khu vực tỉnh Bắc Giang.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.T.M.H.; thu thập, lấy mẫu, xử lý số liệu: Đ.N.D., T.T.M.H., N.M.K.; Viết bản thảo bài báo: T.T.M.H., Đ.N.D.; Chỉnh sửa bài báo: T.T.M.H., N.M.K.

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. Khải, N.M.; Trang, N.T.H.; Linh, N.T.; Đào, C.A.; Côn, P.M.; Nga, N.T. Nghiên cứu chất lượng nước sông Nhuệ khu vực Hà Nội. *Tạp chí khoa học ĐHQGHN: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2012**, 28(4S), 111–117.
2. Behmel, S.; Damour, M.; Ludwig, R.; Rodriguez, M.J. Water quality monitoring strategies - A review and future perspectives. *Sci. Total Environ.* **2016**, 571, 1312–1329.
3. Trinh, N.N.; Hiền, N.T.T.; Thịnh, L.T. Đánh giá chất lượng nước sông Hàm Luông - Đoạn chảy qua Thành phố Bến Tre thông qua chỉ số WQI và khả năng chịu tải của sông. *Tạp chí Môi trường* **2023**, 9.
4. Xiaoyun, F.; Baoshan, C.; Kejang, Z.; Zhiming, Z.; Hongbo, S. Water quality management based on division of dry and wet seasons in Pearl River Delta, China. *Clean Soil Air Water* **2012**, 40(4), 381–393.
5. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia năm 2018, Chuyên đề: Môi trường nước các lưu vực sông. Nhà xuất bản Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2019. ISBN: 978-604-952-409-7.
6. Cường, N.G.; Thủy, P.T. Hiện trạng chất lượng nước các lưu vực sông giai đoạn 2016 - 2020 và đề xuất giải pháp bảo vệ môi trường nước thời gian tới. *Tạp chí Môi trường* **2022**.
7. Tyagi, S.; Sharma, B.; Singh, P.; Dobhal, R. Water quality assessment in terms of water quality index. *Am. J. Water Resour.* **2013**, 1(3), 34–38. doi: 10.12691/ajwr-1-3-3.
8. Poonam, T.; Tanushree, B.; Sukalyan, C. Water quality indices-important tools for water quality assessment: A review. *Int. J. Adv. Chem.* **2013**, 1(1), 15–28.

9. Naubi, I.; Zardari, N.H.; Shirazi, S.M.; Ibrahim, N.F.P.; Baloo, L. Effectiveness of water quality index for monitoring Malaysian river water quality. *Pol. J. Environ. Stud.* **2016**, 25(1), 231–239. Doi:10.15244/pjoes/60109.
10. Etim, E.E.; Odoh, R.; Itodo, A.U.; Umoh, S.D.; Lawal, U. Water quality index for the assessment of water quality from different sources in the Niger Delta region of Nigeria. *Front. Sci.* **2013**, 3(3), 89–95. Doi:10.5923/j.fs.20130303.02.
11. Li, P.Y.; Hui, Q.; Wu, J.H. Groundwater quality assessment based on improved water quality index in Pengyang county, Ningxia, Northwest China. *J. Chem.* **2010**, 7(S1), S209–S216.
12. Tổng cục môi trường. Sổ tay hướng dẫn tính toán chỉ số chất lượng nước, Quyết định số 1460/QĐ-TCMT ngày 12 tháng 11 năm 2019 của Tổng cục trưởng Tổng cục Môi trường, 2019.
13. Cường, N.G.; Thùy, P.T. Chất lượng môi trường không khí và nước khu vực miền Bắc trong đợt 8 năm 2022. *Tap chí Môi trường* **2023**.
14. Vân, L.T.H.; Hương, L.T.; Nga, N.T.K.; Thùy, T.T.T. Đánh giá chất lượng nước mặt trên địa bàn Thành phố Hải Phòng năm 2021 bằng phương pháp tính toán chỉ số chất lượng nước. *Tap chí Môi trường, Chuyên đề Tiếng Việt IV* **2022**.
15. Nam, L.H.; Hưng, Đ.T.; Vân, N.T.B. Diễn biến chất lượng môi trường khu vực miền Nam năm 2021. *Tap chí Môi trường* **2022**.
16. Giàu, V.T.N.; Tuyền, P.T.B.; Trung, N.H. Đánh giá biến động chất lượng nước mặt sông Cần Thơ giai đoạn 2010-2014 bằng phương pháp tính toán chỉ số chất lượng nước (WQI). *Tap chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2019**, 55(2), 105–113.
17. Hằng, N.T.; Hưng, N.T.Q.; Kỳ, N.M.; Vũ, T.P. Nghiên cứu hiện trạng chất lượng nước và đánh giá khả năng tiếp nhận nước thải sông Đồng Nai giai đoạn 2012-2016: Đoạn chảy qua tỉnh Đồng Nai. *Tap chí khoa học & Công nghệ nông nghiệp* **2018**, 2(3), 889–902.
18. Trang, Đ.H.; Thông, M.T. Đánh giá hiện trạng chất lượng môi trường nước mặt tỉnh Nghệ An bằng chỉ số WQI. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2007**, 558, 13–19.
19. Khanh, P.T.; Vũ, N.V.T.; Ngọc, T.T.H. Đánh giá chất lượng nước Búng Bình Thiên bằng chỉ số WQI tích hợp với GIS và Viễn Thám. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 745, 51–64.
20. Quyết định số 50/QĐ-TTg của Thủ tướng chính phủ. Phê duyệt Quy hoạch tổng hợp lưu vực sông Hồng - Thái Bình thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050.
21. EPA 8041. US environmental protection agency, Method 8041 - Phenols by gas chromatography, US. EPA, 1994.
22. Eaton, A.D.; Clesceri, L.S.; Greenberg, A.E. (Eds.). Standard methods for examination of water and wastewater. Proceeding of the 19th ed. American Public Health Association, Washington, 1995.
23. Bộ Tài nguyên và Môi trường. QCVN 08:2023/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt, 2023.
24. Minitab, Minitab User's guide. Minitab statistical software, release 19 for window. State College Pennsylvania, USA, 2020.
25. Setianto, A.; Triandini, T. Comparison of kriging and inverse distance weighted (IDW) interpolation methods in lineament extraction and analysis. *J. SE Asian Appl. Geol.* **2013**, 5(1), 21–29.

Research on water quality of Thuong river in Bac Giang Province

Tran Thi Minh Hang^{1*}, Doan Duc Duy², Nguyen Manh Khai¹

¹ Faculty of Environmental Sciences, University of Science, Vietnam National University, Hanoi, 334 Nguyen Trai Road, Thanh Xuan district, Hanoi, Vietnam; hangttm@hus.edu.vn; nguyenmanhkhai@hus.edu.vn

² Northern division for water resources planning and investigation, 10/42 Tran Cung Road, Cau Giay district, Hanoi, Vietnam; doanduy121@gmail.com

Abstract: Water quality assessment research is very important in sustainable development, supporting economic development while ensuring environmental protection and water security. This study was conducted to evaluate the water quality of the Thuong River section flowing through Bac Giang province. 16 water samples were taken along the the river from the beginning of Bac Giang province (Luong bridge area) to the end of the province (Dong Viet and Yen Dung communes) during the rainy and dry seasons to analyze some parameters including pH, DO, TSS, COD, BOD₅, N-NH₄⁺, phenol, coliform and some heavy metals, then compared the outcomes with Vietnamese regulation and calculated water quality index (WQI). The results show that the Thuong River water is showing signs of contamination with COD, BOD₅, N-NH₄⁺, phenol, and coliform due to human activities, especially in the dry season. WQI values tend to decrease during the dry season with 3/16 monitoring points having WQI values below < 20 (red color level). The water quality of the Thuong River section flowing through Bac Giang province is strongly influenced by socio-economic development activities, which shows that measures to control and manage river water quality in the basin scale need to be focused to prevent and reduce environmental pollution of Thuong River water.

Keywords: Bac Giang; Thuong River; Pollution; Water Quality; WQI.

Bài báo khoa học

Ước tính nhu cầu nước và bùn thải cho các mô hình nuôi cá tra ở tỉnh An Giang

Phan Trường Khanh¹, Nguyễn Văn Tuấn¹, Nguyễn Đức Thắng¹, Trần Thị Hồng Ngọc^{1*}

¹ Khoa Kỹ thuật Công nghệ Môi trường, Trường Đại học An Giang - ĐHQG-TP.HCM;
ptkhanhagu@gmail.com; nvantuan@agu.edu.vn; akthang98@gmail.com;
tthngocagu@gmail.com

*Tác giả liên hệ: tthngocagu@gmail.com; Tel: +84-917886178

Ban Biên tập nhận bài: 10/2/2024; Ngày phản biện xong: 13/3/2024; Ngày đăng bài: 25/6/2024

Tóm tắt: Nghề nuôi cá tra ở An Giang đã phát triển mạnh mẽ trong thời gian qua. Vì vậy, nhu cầu nước cho nuôi cá tương đối lớn. Tuy nhiên, người ta thường bỏ qua nhu cầu nước cho lĩnh vực này trong quy hoạch nguồn nước. Và nhiều tác giả tính nhu cầu nước cho nuôi cá cũng thường bỏ qua việc tính lượng bốc thoát hơi nước và thấm trong quá trình nuôi. Vì vậy, nghiên cứu này áp dụng phương trình bốc hơi mặt nước mở của FAO để tính lượng nước tồn thất do bay hơi và thấm cho các mô hình nuôi cá tra thông qua các dữ liệu khí tượng. Kết quả nhu cầu nước nuôi theo truyền thống là 301.650 m³/ha/năm (2 vụ nuôi), theo VietGAP cao gấp 10 lần nuôi truyền thống. Nhu cầu nước toàn tỉnh là 1,8 tỉ m³, trong đó nuôi theo VietGap 1,2 tỉ m³ và nuôi cá giống 0,46 tỉ m³. Tồn thất do bay hơi là 10.950 m³/ha/năm cho nuôi cá giống và 18.250m³/ha/năm nuôi theo VietGap và do thấm là 50.400 m³/ha/năm. Thể tích bùn thải toàn tỉnh năm 2020 là 6.324.578,2 m³. Kết quả chỉ ra rằng tồn thất do thấm và bốc hơi trong ao nuôi nhỏ so với nhu cầu nước của quá trình nuôi. Vì vậy, việc giảm nhu cầu nước có thể áp dụng các quy trình vận hành tiết kiệm nước trong mùa khô là điều khá dễ dàng.

Từ khóa: Cá tra; Nhu cầu nước; Bốc thoát hơi nước; FAO-PENMAN; Bùn thải.

1. Giới thiệu

Do địa hình và sông rạch thuận lợi nên nghề nuôi cá tra của tỉnh An Giang phát triển mạnh mẽ và là một trong những tỉnh đứng đầu cả nước về sản lượng, ngành này có kim ngạch xuất khẩu hơn 280 triệu USD mỗi năm, với tốc độ tăng trưởng 8-9% hàng năm [1]. Diện tích mặt nước nuôi cá tra của tỉnh năm 2017 là 1.711 ha, sản lượng đạt 285 nghìn tấn, tăng 18 nghìn tấn so với năm 2016 [2]. Năm 2020, diện tích giảm so với năm 2017 chỉ có 1.235 ha, trong đó nuôi theo tiêu chuẩn VietGAP là 386 ha. Nhiều chính sách được UNND tỉnh ban hành, trong số đó có quy hoạch vùng nuôi. Để ứng dụng công nghệ cao giai đoạn 2020-2030, chỉ rõ tỉnh cần tập trung nuôi cá cho xuất khẩu, áp dụng kỹ thuật nuôi cá tiên tiến [3]. Dự kiến diện tích mặt nước năm 2030 là 3.000 ha [4], trong đó có 1500 ha nuôi bằng công nghệ cao và có hệ thống xử lý nước thải. Vì vậy, nhu cầu nước cho nghề nuôi thủy sản của tỉnh sẽ tăng rất nhiều so trước đây. Nuôi cá tra theo hình thức thâm canh gây ra ảnh hưởng đáng kể đối với môi trường vì sự tích tụ thức ăn dư thừa, phân bón, và chất thải trong nước và lớp đáy [5]. Đồng thời, các chất độc hại phát sinh từ quá trình phân hủy chất thải và tạo làm môi trường nuôi dần suy thoái, dẫn đến nguy cơ nhiễm bệnh, thiếu oxy, và ô nhiễm độc hại từ các chất chuyển hoá [6-7]. Nghiên cứu [8], mỗi vụ nuôi có năng suất đạt 300 tấn/ha sẽ phát sinh khoảng 2.677 tấn bùn ướt (tương đương 937 tấn bùn khô) và 77.930 m³ nước thải vào môi

trường [8–9]. Cứ mỗi kg cá tra sọc được sản xuất thì có khoảng 2,5 đến 9,1m³ nước được thải ra sông Mê Kông [10–12]. Sản xuất cá trên mỗi kg tạo ra 0,2-0,5 kg bùn khô [13]. Bùn tích tụ ở đáy ao nuôi cá tra chứa 6%N và 57%P [14]. Trong nghiên cứu [15], khi thực hiện thí nghiệm nuôi cá da trơn, đã được chỉ ra rằng để đạt được mức sản lượng trung bình khoảng 200 tấn cá/ha với hệ số chuyển đổi thức ăn FRC là 1,6, cần phải sử dụng ít nhất 320 tấn thức ăn và thải ra môi trường 256 tấn chất hữu cơ. Mặc dù nguồn nước ở quy mô khu vực và hàng năm hiện nay vẫn đủ cung cấp cho vùng nghiên cứu nhưng nguồn nước vào mùa khô rất hạn chế ở một số huyện và chất lượng nước ngày càng suy giảm ở nhiều nơi. Nguyên nhân là do phần lớn hệ thống kênh rạch được quy hoạch và xây dựng để phục vụ cho trồng lúa và giao thông thủy. Nhu cầu nước cho nuôi trồng thủy sản chưa được xem xét, dòng chảy thiết kế kênh không thể theo kịp sự gia tăng nhanh chóng của diện tích ao nuôi. Vì vậy nhiều kênh rạch bị ô nhiễm, lưu thông tắc nghẽn ảnh hưởng đến khả năng tự làm sạch của hệ thống sông rạch và đe dọa tính bền vững của nghề cá. Để có cơ sở cho quản lý và xử lý bùn từ việc nuôi cá tra, công tác đầu tiên là phải xác định khối lượng bùn sinh ra trên một đơn vị diện tích cũng như tính toán chính xác nhu cầu nước cho ngành mà bấy lâu nay người ta thường bỏ qua lĩnh vực này trong quy hoạch cũng như bỏ qua việc tính lượng bốc thoát hơi nước và thấm trong quá trình nuôi. Do đó, bài báo này sẽ cung cấp cách tính toán chi tiết nhu cầu nước trong lĩnh vực NTTS nhằm hỗ trợ cho địa phương trong công tác quy hoạch nguồn nước cũng như thiết kế, nâng cấp lại hệ thống kênh rạch. Đây là việc làm rất cần thiết.

Các nghiên cứu khác nhau trên toàn thế giới đã chứng minh rằng phương pháp Penman-Monteith (PM-FAO56) là mô hình phổ biến nhất để xác định bốc thoát hơi nước ET_o [16–21] và nó phù hợp cho một số vùng [22–25]. Phương trình Penman-Monteith được tích hợp vào nhiều loại phần mềm và đã được hiệu chỉnh bằng nhiều loại máy đo khác nhau. Mô hình Penman được sửa đổi bởi Tổ chức Lương thực thế giới và đã được áp dụng trong các dự án quản lý và phát triển thủy lợi. Nhiều nghiên cứu đã sử dụng phương trình Penman-Monteith để ước tính lượng bốc thoát hơi nước vì tính ứng dụng phổ biến của nó. Phương pháp Penman (PM) ước tính ET_o cần bốn thông số: nhiệt độ không khí, độ ẩm tương đối, tốc độ gió và bức xạ, những thông số này có thể không có sẵn ở mọi nơi [26]. Trong mặt nước mở ao hồ, bốc hơi là thành phần chính của cân bằng nước mà hiếm khi được đo trực tiếp đặc biệt là ở các nước đang phát triển. Một lượng lớn nhiệt từ các vùng đất khô nóng bên cạnh sẽ làm tăng đáng kể tốc độ bay hơi bề mặt của các cơ thể nước bên cạnh. Sự bay hơi của nước trong đất bị ảnh hưởng bởi các tương tác phức tạp giữa yêu cầu khí quyển (độ ẩm, nhiệt độ, bức xạ, gió) và các cơ chế vận chuyển nội bộ trong đất ngoài các tính chất của đất (ví dụ, khả năng khuếch tán hơi nước, nhiệt và thủy lực) tất cả đều được kết nối mạnh mẽ. Đất trong môi liên kết thủy lực với nguồn nước thông qua sự khuếch tán hơi nước. Vì vậy, rất khó để ước lượng sự bay hơi của nước ao hồ bằng các phương pháp thông thường. Do đó, bốc thoát hơi nước cho ao nuôi sẽ được xác định bằng mô hình toán của Penman trong nghiên cứu này.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp nuôi cá truyền thống

Cá tra chủ yếu được nuôi trong ao thường được thả với mật độ cao (khoảng 60-80 con/m²) và nuôi trong khoảng 6 tháng, đạt trọng lượng thu hoạch khoảng 1kg. Đất trong ao phải nạo vét bùn đáy, phơi đáy ao. Trong tháng đầu cho cá ăn thức ăn công nghiệp, từ tháng thứ 2 trở đi ăn thức ăn nấu chín do người nuôi tự chế biến. Nhu cầu nước cho nuôi trồng thủy sản phụ thuộc vào mùa vụ, loại cá và phương pháp nuôi. Đa số người dân ở An Giang nuôi cá tra theo phương pháp truyền thống, hàng năm nuôi 2 đợt, mỗi đợt kéo dài 5-6 tháng. Sản lượng cá giống kéo dài 90 ngày. Độ sâu của ao nuôi cá tra và cá giống từ 1,5-2m. Người nuôi cá xuất khẩu cần thay nước 10 ngày/lần, mỗi lần thay 33-50% lượng nước ban đầu. Đối với sản xuất cá giống, thay nước hàng tuần và mỗi lần thay 50% lượng nước ban đầu [27]. Như vậy, tổng nhu cầu nước cho nuôi cá tra bao gồm: Lượng nước cần thiết để cải tạo ao trước

khí thả giống; Lượng nước cần thiết trong ao; Nước được thay trong quá trình nuôi; Lượng nước bốc hơi ở mặt nước; Tồn thất nước do thấm.

2.2. Nuôi cá theo tiêu chuẩn VietGAP

Năm 2008 là thời điểm bắt đầu của việc khởi đầu Chương trình VietGAP nhằm đẩy mạnh thực phẩm sạch và an toàn [28]. Sáng kiến này cũng bao gồm cả lĩnh vực NTTS. Việc áp dụng tiêu chuẩn VietGAP trong việc nuôi cá không chỉ đáp ứng nhu cầu của thị trường mà còn giúp tăng cường chuỗi giá trị của ngành nuôi cá từ giai đoạn trang trại đến chế biến, đồng thời đóng góp vào sự phát triển bền vững của ngành nuôi cá tra. Tuân thủ VietGAP là nền tảng để đòi hỏi người nuôi cá tra thực hiện các tiêu chuẩn quốc tế như GlobalGAP, BAP, ASC. Khi thực hiện VietGAP thành công, người nuôi sẽ đạt được những lợi ích cụ thể cho bản thân và các bên liên quan.

Hơn 30% diện tích được áp dụng mô hình VietGAP. Điểm khác biệt so với phương pháp nuôi truyền thống là yêu cầu ao sâu hơn (2-3 mét) và thay 1/3 lượng nước mỗi ngày. Các yêu cầu này đã làm gia tăng đáng kể nhu cầu nước so với cách nuôi truyền thống. Hiện tại, diện tích áp dụng tiêu chuẩn VietGAP tăng lên 80% [29]. Để tính nhu cầu nước cho các mô hình nuôi cá tra, dữ liệu sử dụng nước nên được phân tích chính xác. Trong đó, mỗi thành phần được chuẩn hóa thành mm tương đương với 10 m³ trên 1 ha diện tích ao. Cụ thể như sau:

Nước cần thiết để cải tạo ao trước khi thả giống: nước được bơm vào ao ở mực nước 0,3-0,5 m, ngâm ao từ 5 đến 7 ngày, sau đó rút hết nước hoàn toàn.

$$Q_{\text{cải tạo ao}} = 500\text{mm} \quad (1)$$

Lượng nước cần thiết để nuôi cá (Q cần) ở mực nước H là 2 m.

$$Q_{\text{cần nuôi}} = 1000H \quad (2)$$

Tổng lượng nước được thay trong một vụ nuôi:

$$Q_{\text{thay nước}} = n \cdot a_i \quad (3)$$

Trong đó a_i là số lượng nước thay thế; n là số lần thay nước.

Tổng nhu cầu nước cho các ao nuôi cá tra trong năm (2 vụ/năm):

$$Q_{\text{tổng}} (\text{m}^3) = 2 [Q_{\text{cải tạo ao}} + Q_{\text{cần nuôi}} + Q_{\text{thay nước}}] - Q_{\text{mưa}} + E_{\text{bốc hơi}} + S_{\text{thấm}} \quad (4)$$

Trong đó Q_{mưa} là lượng mưa năm; E_{bốc hơi} là lượng nước mất đi do bay hơi mỗi năm; S_{thấm} là lượng nước thất thoát do thấm mỗi năm.

Tổng nhu cầu nước cho vùng nghiên cứu được ước tính cho cả mô hình nuôi truyền thống và nuôi theo tiêu chuẩn VietGAP sẽ bằng nhu cầu nước nuôi 1 ha nhân với diện tích canh tác thực tế của vùng nghiên cứu. Lượng nước cải tạo ao và nước thay mới phụ thuộc hoàn toàn vào phương pháp nuôi. Lượng nước cần lấy vào ao nuôi phụ thuộc vào độ sâu mong muốn và thông số này ước tính khá dễ dàng. Thuật ngữ phức tạp nhất là tồn thất do bay hơi, yêu cầu phải có mô hình để tính toán. Trong các vùng nước lộ thiên như ao nuôi cá, bốc hơi là một trong những yếu tố quan trọng của cân bằng nước và được Penman (1948) thiết lập qua công thức bên dưới [30]:

$$E_p \left(\frac{\text{mm}}{\text{month}} \right) = \frac{\Delta(T_a)}{\Delta(T_a) + \gamma} R_n + \frac{\gamma}{\Delta(T_a) + \gamma} f_u (e^* - e_a) \quad (5)$$

Trong đó R_n = bức xạ (mm d⁻¹); T_a (K) = nhiệt độ không khí; e_a = áp suất hơi thực tế (hPa); e* = áp suất hơi bão hòa (hPa) tại T_a; f_u là tốc độ gió.

$$f_u (\text{m/s}) = 0,26 (1 + 0,54 u_2) \quad (6)$$

Trong đó u₂ là vận tốc gió (m/s) cao 2m so với mặt đất.

Theo FAO, cách tính lượng nước thất thoát do thấm cho ha/năm:

$$S_p (\text{m}^3) = R_{S_p} \times 10.000 (\text{m}^2) \times 360 (\text{ngày}) \quad (7)$$

Theo FAO, R_{S_p}(m/ngày) là tỷ lệ tồn thất do thấm tính (mm/ngày) từ đất ao thực tế khảo sát.

2.3. Phương pháp tính toán lượng bùn sinh ra trong ao nuôi cá Tra

Thể tích bùn đáy ao tính bằng công thức:

$$V = S \times h \tag{8}$$

Trong đó V là tổng thể tích bùn đáy ao (lượng bùn tươi) (m³); S là diện tích đáy ao (m²); h là chiều cao của lớp bùn (m).

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Xác định lượng bùn đáy từ ao nuôi cá tra

Lượng bùn tích tụ trong ao nuôi được xác định theo thời gian cho cả 3 hình thức nuôi (Bảng 1). Kết quả cho thấy rằng nuôi cá theo phương pháp truyền thống tích tụ lượng bùn trong ao nuôi trung bình khoảng 2,541 m³/ha mỗi vụ, trong khi áp dụng phương pháp VietGAP, lượng bùn tích tụ trong ao nuôi tăng lên đến 3,926 m³/ha. Trong trường hợp nuôi cá giống, lượng bùn trung bình trong ao đạt 410 m³/ha.

Bảng 1. Lượng bùn tích tụ theo thời gian trong ao nuôi cá tra cho một vụ nuôi.

Thời gian (ngày)	Nuôi VietGAP		Nuôi truyền thống		Sản xuất cá giống	
	Bùn tích tụ (cm)	Thể tích bùn (m ³ /ha)	Bùn tích tụ (cm)	Thể tích bùn (m ³ /ha)	Bùn tích tụ (cm)	Thể tích bùn (m ³ /ha)
30	1,6	370,8	1,8	290,2	1,5	220,7
60	5,9	623,90	4,7	570,7	2,8	370,5
90	18	1.324,86	12	1.102,3	9,3	410,8
120	24	1.724,86	19	1.623,4		
150	36	2.825,82	25	2.130,7		
180	42	3.926,79	32	2.541,8		

Nếu ước tính cho toàn tỉnh An Giang, lượng bùn thải do nuôi cá tra sẽ là 6.324.578 m³/năm (Bảng 2). Nguồn chất thải độc hại này hiện nay vẫn chưa được xử lý triệt để và thải vào sông rạch trong khu vực. Theo kết quả điều tra, chỉ có 14/50 hộ nuôi ao đã thiết lập hồ chứa để xử lý nước thải và bùn thải. Những khó khăn trong khâu xây dựng hệ thống xử lý nước thải hiện nay là không có diện tích đất trống; thiếu thiết bị xử lý đạt hiệu quả cao; chưa có công nghệ xử lý, cách vận hành hệ thống phù hợp. Chất thải từ việc nuôi trồng thủy sản bao gồm các phần tử như thức ăn dư thừa bị phân hủy, thuốc kháng sinh, vôi và các khoáng chất khác. Trong đó, chất thải từ các hệ thống ao nuôi công nghiệp có thể chứa đến hơn 45% Nitrogen và 22% chất hữu cơ, tạo ra nguồn gây ô nhiễm môi trường và làm tăng nguy cơ lây lan các bệnh trong môi trường nuôi trồng. Lượng cá chết cũng là một nguồn gây ô nhiễm đáng kể. Lượng hao hụt cá trong vụ nuôi chủ yếu nằm trong khoảng 15-35% (chiếm khoảng 70% số hộ), đặc biệt có 2/50 hộ có tỉ lệ hao hụt cá là 80%. Môi trường nước trên sông Tiền, sông Hậu và các kênh rạch đã bắt đầu thể hiện rõ sự ô nhiễm hữu cơ từ các chất thải này.

Bảng 2. Tổng thể tích bùn thải ra do nuôi cá tra cho toàn tỉnh An Giang năm 2020.

Mô hình	Diện tích (ha)	Thể tích bùn (m ³ /ha/vụ)	Tổng V bùn thải ra (m ³ /năm) (2 vụ)
Nuôi VietGAP	386	3.926,79	3.031.481,8
Nuôi truyền thống	609	2.541,8	3.095.912,4
Sản xuất cá giống	240	410,8	197.184
Tổng			6.324.578,2

3.2. Nhu cầu nước cho các mô hình nuôi cá tra

Để tính nhu cầu nước cho các mô hình nuôi, trong công thức tính toán (xem phần phương pháp) có đề cập đến chỉ số bốc hơi mặt nước và thấm. Do đó, bài báo cũng đã xác định lượng nước bốc hơi theo tháng (Bảng 3 và Bảng 4). Lượng bốc hơi hàng năm (Ep) ước tính là 1.697 mm/năm, tương đương với 4,64 mm/ngày. Các tháng có lượng bốc hơi cao là các tháng mùa

khô từ tháng 2 đến tháng 5, lượng bốc hơi từ 4,9-5,6 mm/ngày. Kết quả của các thông số khí tượng được sử dụng trong tính toán bốc hơi mặt nước cho ao cá được thể hiện trong bảng bên dưới.

Bảng 3. Kết quả tính toán các thông số khí tượng từ phương trình Penman.

Tháng	Độ ẩm tương đối (%)	T _a (K)	e*	R _n (mm d ⁻¹)	Y (hPa K ⁻¹)	Δ
Giêng	74	297,75	0,326	4,537	0,674	0,143
Hai	79	298,65	0,309	5,073	0,674	0,144
Ba	79	300,65	0,345	5,804	0,674	0,159
Tư	80	301,85	0,362	5,570	0,674	0,167
Năm	79	301,55	0,366	5,585	0,674	0,168
Sáu	83	301,05	0,332	4,500	0,674	0,162
Bảy	81	301,45	0,336	4,418	0,674	0,160
Tám	80	301,05	0,342	4,856	0,674	0,161
Chín	81	301,05	0,336	3,605	0,674	0,160
Mười	81	300,05	0,336	4,885	0,674	0,160
Mười một	80	301,15	0,310	4,696	0,674	0,147
Mười hai	77	299,95	0,313	4,223	0,674	0,143

Bảng 4. Kết quả bốc hơi nước hàng tháng từ phương trình Penman.

Tháng	u ₂ =Tốc độ gió m/s	f _u = 0,26 (1+0,54u ₂) (m/s)	E _p (mm/ngày)	E _p (mm/tháng)
Giêng	0,104	0,274	4,372	133,101
Hai	0,127	0,277	4,900	149,154
Ba	0,127	0,277	5,628	171,319
Tư	0,115	0,276	5,398	164,327
Năm	0,138	0,279	5,415	164,847
Sáu	0,173	0,284	4,341	132,134
Bảy	0,185	0,285	4,259	129,640
Tám	0,138	0,279	4,685	142,612
Chín	0,162	0,282	3,449	104,997
Mười	0,127	0,277	4,713	143,459
Mười một	0,127	0,277	4,522	137,668
Mười hai	0,127	0,277	4,054	123,403

Từ đó, nhu cầu nước cho 3 mô hình nuôi cá: truyền thống, VietGAP và nuôi cá giống được xác định. Áp dụng công thức trong phần phương pháp ta tính được lượng nước cần thiết cho một hecta trong năm (2 vụ) được trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5. Nhu cầu nước cho nuôi cá tra và sản xuất cá giống năm 2020 (Đơn vị: m³/ha/năm).

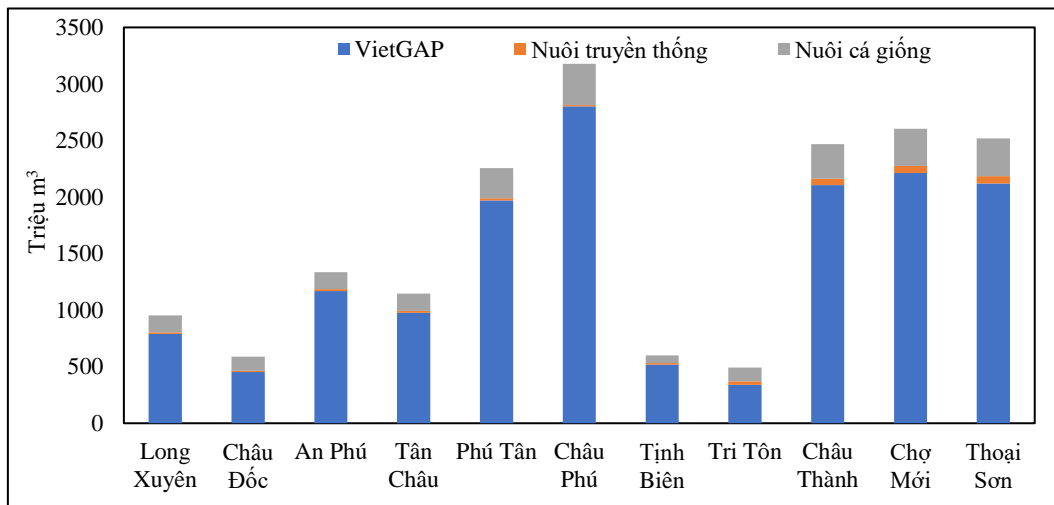
Thông số	Nuôi Vietgap	Nuôi truyền thống	Sản xuất cá giống
Q cái ao	10.000	10.000	10.000
Q cần	60.000	40.000	60.000
Q bốc hơi	18.250	18.250	10.950
Q thấm	50.400	50.400	50.400
Q thay	3.000.000	200.000	1.800.000
Q mưa	17.000	17.000	17.000
Tổng	3.121.650	301.650	1.914.350

Tổng diện tích ao nuôi năm 2020 ở tỉnh An Giang là 1.235 ha trong đó có 609 ha nuôi cá thương phẩm (386 ha nuôi theo VietGAP), 240 ha nuôi cá giống. Tổng nhu cầu sử dụng nước theo tiêu chuẩn VietGap là 3.117.513 m³/ha/năm, gấp 10 lần so với canh tác truyền thống (301.650m³/ha/năm). Nghiên cứu của Viện Thủy lợi Miền Nam cho thấy, nhu cầu nước cho 1 ha nuôi trồng thủy sản nuôi theo phương thức truyền thống là 304.000 m³/ha/năm [31], con số này gần đúng với kết quả của chúng tôi ở thời điểm hiện tại.

Nhu cầu nước trong lĩnh vực NTTS cho toàn tỉnh An Giang là 1,8 tỉ m³, trong đó nuôi theo tiêu chuẩn VietGap (1,2 tỉ m³) và nuôi cá giống (0,46 tỉ m³) tiêu tốn rất nhiều nước. Phần còn lại là nuôi theo phương truyền thống. Huyện có nhu cầu nước cao nhất là Châu Phú. Hầu hết các hộ dân ở Châu Phú đều sống bằng nghề nuôi cá tra. Theo sau huyện Châu Phú là Thoại Sơn, Châu Thành, Chợ Mới, An Phú và Phú Tân và các huyện này có nhu cầu nước gần tương đương. Tiếp đến là các huyện Tân Châu và thành phố Long Xuyên có nhu cầu nước tương đối thấp. Ba huyện có nhu cầu sử dụng nước không đáng kể là huyện Tri Tôn, Tịnh Biên và thị xã Châu Đốc. Nguyên nhân là do hệ thống kênh mương không lưu thông nước nên dòng chảy không đến được các kênh nội đồng. Việc nuôi cá tra cũng đang gặp nhiều khó khăn ở các huyện này do thiếu nước. Năm 2030 dự kiến bốc thoát hơi nước theo viễn cảnh thay đổi khí hậu sẽ là 5,0-6,0 mm/day. Và nhu cầu nước cho các mô hình nuôi cá tra tỉnh An Giang sẽ là 4.490.308.479m³/năm, tăng gấp 2,3 lần so với năm 2020.

Bảng 6. Nhu cầu nước tổng cộng cho các mô hình nuôi cá tra ở An Giang năm 2020.

Huyện/Tỉnh	Truyền thống		VietGAP		Cá giống		Tổng NCN (m ³)
	DT (ha)	NCN (m ³)	DT (ha)	NCN (m ³)	DT (ha)	NCN (m ³)	
An Giang	609	183.869.615	386	1.204.956.900	240	459.683.809	1.848.510.324



Hình 1. Tổng nhu cầu nước cho các phương thức nuôi cá tra phân theo huyện năm 2020.

4. Kết luận

Trên cơ sở phân tích quy trình vận hành nuôi cá tra hiện nay và nuôi theo tiêu chuẩn VietGAP, chúng tôi nhận thấy rằng nuôi cá theo tiêu chuẩn VietGAP tốn nước gấp 10 lần so với phương thức nuôi truyền thống và tổn thất do bay hơi nước không đáng kể so với tổng nhu cầu nước của quá trình nuôi. Do đó, chúng tôi đề xuất rằng nhu cầu nước có thể giảm xuống bằng cách điều chỉnh các quy trình vận hành trong mùa khô.

Đầu tư vào các công nghệ nuôi cá tiết kiệm nước, như hệ thống tái sử dụng nước, hệ thống lọc và xử lý nước hiệu quả, có thể giúp giảm lượng nước cần thiết cho các vùng thiếu nước.

Tổ chức các chương trình giáo dục và tư vấn cho người nuôi cá về cách quản lý nước hiệu quả và sử dụng các phương tiện nuôi cá tiết kiệm nước.

Cần xem xét lại và điều chỉnh các chính sách liên quan đến sử dụng nước và ngành nuôi cá để đáp ứng được nhu cầu ngày càng tăng trong bối cảnh thiếu hụt nước và biến đổi khí hậu.

Bằng cách tính toán chính xác diện tích ao và mật độ cá nuôi trong ao, người nuôi có thể kiểm soát lượng thức ăn hàng ngày vừa đủ. Điều này không chỉ giúp giảm ô nhiễm, và giảm lượng bùn ao mà còn giúp tiết kiệm chi phí đầu tư.

Thông qua cách tính toán nhu cầu nước và bùn thải, tính có thể chủ động trong việc kiểm tra, đánh giá năng lực chuyên tải của các hệ thống kênh rạch. Từ đó có kế hoạch tu sửa, nạo vét, phân vùng cấp thoát nước cho phù hợp.

Bài báo đã phân tích lượng nước cần thiết cho việc nuôi cá tra tại tỉnh An Giang và kết quả cho thấy rằng lượng nước này là khá lớn. Bỏ qua việc tính toán lượng nước này trong quy hoạch nguồn nước có thể dẫn đến những sai lầm trong thiết kế hệ thống kênh mương thủy lợi và cũng làm giảm hiệu quả của các giải pháp được đề xuất. Điều này làm nổi bật giá trị của bài báo đối với độc giả, giúp họ hiểu rõ hơn về tầm quan trọng của việc tính toán và quản lý nguồn nước trong lĩnh vực nuôi cá.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: P.T.K.; Xử lý số liệu: T.T.H.N., P.T.K.; Điều tra phỏng vấn: N.V.T., N.Đ.T.; Viết bản thảo bài báo: T.T.H.N., P.T.K.; Chính sửa bài báo: P.T.K., T.T.H.N.

Lời cảm ơn: Cảm ơn Anh/Chị ở Phòng Nông nghiệp và Phát triển nông thôn huyện Châu Phú đã giới thiệu và tạo điều kiện thuận lợi cho nhóm nghiên cứu được khảo sát thực địa tại vùng nuôi cá tra trên địa bàn huyện.

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. Hạnh, H. An Giang đầu tư xứng tầm cho ngành cá tra. Cổng thông tin điện tử Thủy Sản Việt Nam. 2024. Trục tuyến: <https://thuysanvietnam.com.vn/an-giang-dau-tu-xung-tam-cho-nganh-ca-tra/>.
2. Hai, T.H. An Giang Phát triển nuôi trồng chế biến Cá tra bền vững. Cục Thống Kê tỉnh An Giang. 2017. Trục tuyến: <https://www.2lua.vn/article/an-giang-phat-trien-nuoi-trong-che-bien-ca-tra-ben-vung-5a2decfee495191d358b456b.html>.
3. QĐ:1021/QĐ-UBND. Quyết định của chủ tịch Ủy ban nhân dân tỉnh An Giang về quy hoạch vùng sản xuất thủy sản ứng dụng công nghệ cao đến năm 2020-2030. 2014. Trục tuyến: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Linh-vuc-khac/Quy- dinh-1021-QD-UBND-2014-Quy-hoach-vung-san-xuat-thuy-san-cong-nghe-cao-An-Giang-den-2020-240790.aspx>
4. Thủy sản Việt Nam 2020. An Giang: Quy hoạch chi tiết nuôi, chế biến cá tra đến năm 2020 và định hướng đến năm 2030. 2020. Trục tuyến: <https://thuysanvietnam.com.vn/an-giang-quy-hoach-chi-tiet-nuoi-che-bien-ca-tra-den-nam-2020-va-dinh-huong-den-nam-2030/>
5. Quang, T. Nuôi cá tra ở ĐBSCL: Xử lý môi trường-giải pháp song hành. Cổng thông tin điện tử của Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. 2024.
6. Ngọc, L.B. Đánh giá chất lượng môi trường ao nuôi cá Tra (*Pangasius hypophthalmus*) thâm canh ở xã Tân Lộc, huyện Thốt Nốt, Thành Phố Cần Thơ. Khoa Nông nghiệp và sinh học ứng dụng, Luận văn cao học, Đại học Cần Thơ. 2004.
7. Giang, H.T.; Út, V.N.; Phương, N.T. Biến động các yếu tố môi trường trong ao nuôi cá tra (*Pangasianodon Hypophthalmus*) thâm canh ở an giang. *Tap chí Khoa học - Trường Đại học Cần Thơ* **2008**, 1, 1-9.
8. Thích, C.V. Chất lượng nuôi và tích lũy vật chất dinh dưỡng trong ao nuôi cá Tra thâm canh ở quận Ô Môn, TP. Cần Thơ. Luận văn cao học chuyên ngành nuôi trồng thủy sản, Khoa Thủy sản, Trường Đại học Cần Thơ, 2008.

9. Huyen, K.N.; Hai, L.T.; Tra, T.V.; Thang, N.V.; Hieu, T.T.; Anh, T.H.N; Huyen, D.T.T.; Thao, N.T.P. Study on the use of sludge farming of catfish as organic fertilizer and evaluate its effectiveness in agriculture. *Sci. Technol. Dev. J. Sci. Earth Environ.* **2020**, *4(1)*, 128–139.
10. Anh, P.T.; Kroeze, C.; Bush, S.R.; Mol, A.P.J. Water pollution by intensive shrimp farming in Vietnam: causes and options for control. *J. Agric. Water Manage.* **2010**, *97*, 872–882.
11. Lam, T. P.; Tam, M. B.; Thuy, T.T.N.; Geoff, J.G.; Brett, A.I.; Hao, V.N.; Phuong, T.N.; Sena, S.D.S. Current status of farming practices of striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus* in the Mekong Delta, Vietnam. *J. Aquacult.* **2009**, *296 (3-4)*, 227–236.
12. Bosma, N.; Stam, E.; Schutjens, V. Creative destruction and regional productivity growth: Evidence from the Dutch manufacturing and services industries. *Small Bus. Econ.* **2011**, *36*, 401–418. <https://doi.org/10.1007/s11187-009-9257-8>.
13. Chen, S. Sludge Production and Management for Recirculating Aquacultural Systems. *J. World Aquacult. Soc.* **1997**, *28(4)*, 303–315.
14. Nguyen, N. Improving sustainability of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) farming in the Mekong Delta, Vietnam through recirculation technology. PhD, WU, Wageningen University, **2016**, pp. 180. <https://doi.org/10.18174/394644>.
15. Yang, Y.; Xie, S.; Cui, Y.; Lei, W.; Zhu, X.; Yang, Y.; Yu, Y. Effect of replacement of dietary fish meal by meat and bone meal and poultry by-product meal on growth and feed utilization of gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. *Aquacult. Nutr.* **2004**, *10(5)*, 289–294.
16. Xu, C.Y.; Chen, D. Comparison of seven models for estimation of evapotranspiration and groundwater recharge using lysimeter measurement data in Germany. *Hydrol. Process.* **2005**, *19*, 3717–3734.
17. Yoder, R.E.; Odhiambo, L.O.; Wright, W.C. Evaluation of methods for estimating daily reference crop evapotranspiration at a site in the humid Southeast United States. *Appl. Eng. Agric.* **2005**, *21*, 197–202.
18. Lopez-Urrea, R.; Martin de Santa Olalla, F.; Fabeiro, C.; Moratalla, A. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. *Agric. Water Manage.* **2006**, *85*, 15–26.
19. Jabloun, M.D.E.; Sahli, A. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia. *Agric. Water Manage.* **2008**, *95*, 707–771.
20. Xavier, A.C.; King, C.W.; Scanlon, B.R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). *Int. Journal. Climatol.* **2015**, *36*, 2644–2659.
21. Caporusso, N.B.; Rolim, G.S. Reference evapotranspiration models using diferents time scales in the Jaboticabal region of São Paulo, Brazil. *Acta Sci. Agron.* **2015**, *37*, 1–9.
22. Temesgen, B.; Eching, S.; Davidoff, B.; Frame, K. Comparison of some reference evapotranspiration equations for California. *J. Irrig. Drain. Eng.* **2005**, *131*, 73–84.
23. Allen, G.R.; William, O.P.; James, L.W.; Terry, A.H. Francesca, V.; Richard, S.; Daniel, I.; Pasquale, S.; Joaquin, B.; Javier, B.Y.; Martin, S.; Luis, S.P.; Dirk, R.; Alain, P.; Isabel, A.; Ivan, W.; Ronald, E. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO 56 Penman-Monteith method. *Agric. Water Manage.* **2006**, *81*, 1–22.
24. Gavilán, P.; Berengena, J.; Allen, R.G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. *Agric. Water Manage.* **2007**, *89*, 275–286.
25. Carvalho, L.G.D.; Rios, G.F.A.; Miranda, W.L.; Neto, P.C. Evapotranspiração de Referência: Uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. *Pesq Agropec. Trop.* **2011**, *41*, 456–465.
26. Bautista, E.; Bautista, D.Y.; Delgado-Carranza, C. Calibration of the equations of Hargreaves and Thornthwaite to estimate the potential evapotranspiration in semi-arid

- and subhumid tropical climates for regional applications. *Atmosfera* 2009, 22(4), 331–348.
27. QCVN 02 20:2014/BNNPTNT. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về cơ sở nuôi cá tra (Pangasianodon hypophthalmus Sauvage, 1878) trong ao - Điều kiện đảm bảo vệ sinh thú y, bảo vệ môi trường và an toàn thực phẩm. 2014. Trục tuyến: <https://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjE7uenseLTAhXGFywKHfrIAO8QFgghMAA&url=http%3A%2F%2Ftieuchuan.mard.gov.vn%2FDocuments%2FUploads%2FQCVN%252002-20-2014>.
 28. Bộ Nông Nghiệp và Phát triển nông thôn. Quyết định số 1503/QĐ-BNN-TCTS, 05/07/2011. Ban hành quy phạm thực hành nuôi trồng thủy sản tốt tại Vietnam. 2011. (VietGap). Trục tuyến: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Linh-vuc-khac/Quy- dinh-1503-QD-BNN-TCTS-Quy-pham-thuc-hanh-Nuoi-trong-thuy-san-tot-127686.aspx>.
 29. Hà, N. Nuôi trồng thủy sản theo VietGAP: Vì lợi ích, đồng hành cùng người nuôi vượt khó. Cổng thông tin điện tử của Bộ nông nghiệp và phát triển nông thôn. 2011. Trục tuyến: <https://www.mard.gov.vn/Pages/nuoi-trong-thuy-san-theo-vietgap-vi-loi-ich-dong-hanh-cung-nguoi-nuoi-vuot-kho-11421.aspx>.
 30. Penman, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, physical and engineering Sciences, 1948, 193(1032), 120-145. <https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>.
 31. Tổng cục Thủy lợi. Thủy lợi phục vụ nuôi trồng thủy sản ở Đồng Bằng Sông Cửu Long. 2018. Trục tuyến: <http://www.tongcucthuyloi.gov.vn/Tin-tuc-Su-kien/Tin-chi-dao-dieu-hanh/catid/13/item/553/th%E1%BB%A7y-l%E1%BB%A3i-v%C3%A0-ph%C3%A1t>

Estimating water needs and sludge for Pangasius farming models in An Giang province

Phan Truong Khanh¹, Nguyen Van Tuan¹, Nguyen Duc Thang¹, Tran Thi Hong Ngoc^{1*}

¹ Faculty of Engineering, Technology - Environment, An Giang University, National University - HCM, Vietnam; ptkhanhagu@gmail.com; nvantuan@agu.edu.vn; akthang98@gmail.com; tthngocagu@gmail.com

Abstract: Aquaculture in An Giang has developed quite strongly, especially in catfish farming. Therefore, the water demand for this sector is significant. However, water demand for this sector is often overlooked in water resource planning. Additionally, many studies on water demand for fish farming often neglect to account for water evaporation and seepage losses during the farming process. Hence, this study applies the FAO open evaporation equation to estimate the amount of water lost due to evaporation and seepage in catfish ponds using meteorological data. The results showed that the water demand for one hectare of traditional catfish farming is 301,650m³/ha/year (2 crops), VietGAP farming is 10 times higher than that of traditional farming. Water demand for fish farming in An Giang province was 1.8 billion m³, of which VietGAP farming was 1.2 billion m³ and breeding fish was 0.46 billion m³. Loss water due to evaporation for traditional and VietGAP farming was 10,950m³/ha/year and 18,250m³/ha/year respectively and seepage was 50,400m³/ha/year. The average volume of sludge for the entire province is 6,324,578.2 m³ in 2020. The results showed that the water losses due to seepage and evaporation in the ponds are small compared to the water requirements of the culture process. Therefore, it is quite easy to reduce water demand in the future by adopting water-saving operating procedures in the dry season.

Keywords: Catfish; Water demand; Evapotranspiration; FAO-PENMAN; Sludge.

Bài báo khoa học

Đánh giá sự phù hợp của một số mô hình khí hậu toàn cầu CMIP6-GCMs trong mô phỏng lượng mưa và nhiệt độ trên lưu vực thượng nguồn sông Đồng Nai

Phạm Hùng^{1*}, Nguyễn Thị Ngọc Quyên², Lê Văn Trung^{3,4}, Võ Lê Phú^{3,4*}

¹ Sở Tài nguyên và Môi trường Lâm Đồng, 36 Trần Phú, Tp. Đà Lạt, Lâm Đồng; hungmtk25@gmail.com

² Khoa Nông Lâm nghiệp, Đại học Tây Nguyên, 567 Lê Duẩn, Tp. Buôn Ma Thuột, Đắk Lắk; ntnquyen@ttn.edu.vn

³ Khoa Môi trường và Tài nguyên, Trường Đại học Bách Khoa, 268 Lý Thường Kiệt, Quận 10, TP HCM; lvtrung@hcmut.edu.vn; volephu@hcmut.edu.vn

⁴ ĐHQG Thành phố Hồ Chí Minh, Phường Linh Trung, Tp. Thủ Đức, Tp. HCM

*Tác giả liên hệ: hungmtk25@gmail.com; volephu@hcmut.edu.vn; Tel.: +84-886138809

Ban Biên tập nhận bài: 15/2/2024; Ngày phản biện xong: 19/3/2024; Ngày đăng bài: 25/6/2024

Tóm tắt: Hiệu suất của các mô hình hoàn lưu khí hậu toàn cầu (GCMs) có thể khác nhau khi mô phỏng ở các vùng khác nhau. Do đó, việc lựa chọn mô hình phù hợp cho nghiên cứu về biến đổi khí hậu là rất cần thiết. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá sự phù hợp của 7 GCMs và kết quả tổng thể của chúng theo dự án đối chứng các mô hình khí hậu lần thứ 6 (CMIP6) đã được chi tiết hóa cho Việt Nam áp dụng tại lưu vực thượng nguồn sông Đồng Nai trong việc mô phỏng lượng mưa và nhiệt độ bề mặt. Dữ liệu quan trắc giai đoạn 1980-2014 đã sử dụng để đánh giá hiệu quả mô phỏng của các mô hình thông qua các chỉ số thống kê gồm: Độ lệch phần trăm, độ lệch chuẩn, sai số bình phương trung bình gốc, hệ số tương quan Pearson (R), và biểu đồ Taylor. Kết quả cho thấy các GCMs có hiệu suất mô phỏng khác nhau theo tùy thuộc vào yếu tố độ cao và địa hình của khu vực. Bên cạnh đó, giá trị trung bình tổng thể của các mô hình cho kết quả so sánh tốt hơn so với từng mô hình riêng lẻ. Trong đó, năm mô hình tốt nhất để mô phỏng nhiệt độ và lượng mưa ở khu vực nghiên cứu lần lượt là: EC-Earth3-Veg, CanESM5, EC-Earth3, HadGEM3-GC31-LL, và CNRM-CM6-1-HR.

Từ khóa: Biến đổi khí hậu; CMIP6; Mô hình khí hậu toàn cầu; So sánh mô hình khí hậu; Thượng nguồn sông Đồng Nai.

1. Mở đầu

Từ đầu thập niên 90 của thế kỷ trước, nhiều nghiên cứu về hiệu ứng nhà kính, sự nóng lên toàn cầu và những dấu hiệu của biến đổi khí hậu (BĐKH) đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới tìm hiểu và đánh giá. Cho tới nay, Ủy Ban Liên Chính phủ về Biến đổi khí hậu (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) đã thực hiện 6 lần xây dựng và cập nhật kịch bản BĐKH thông qua các công bố về báo cáo đánh giá BĐKH toàn cầu: Lần thứ nhất (FAR) năm 1990 [1], lần thứ hai (SAR) năm 1995 [2], lần thứ ba (TAR) năm 2001 [3], lần thứ tư (AR4) năm 2007 [4], lần thứ năm (AR5) năm 2013 [5] và lần gần đây nhất là báo cáo lần thứ sáu (AR6) năm 2021 [6]. Trong đó, báo cáo AR6 được xây dựng dựa trên cách tiếp cận chia sẻ kinh tế - xã hội (*Shared Socioeconomic Pathways - SSP*) với 5 kịch bản (KB) chính gồm [7, 8]: (i) “KB bền vững” với SSP1-1.9 đặt mục tiêu đạt phát thải ròng khí nhà

kinh bằng không (*net zero*) vào khoảng giữa thế kỷ này và SSP1-2.6 đặt mục tiêu cân bằng lượng phát thải và hấp thụ khí nhà kính (*net zero*) trong nửa sau của thế kỷ này [9]; (ii) “KB trung bình” SSP2-4.5 mô tả sự phát triển kinh tế xã hội dựa trên xu hướng của quá khứ và hiện tại, lượng phát thải khí nhà kính ở mức trung bình, không có chính sách khí hậu bổ sung [10]; (iii) “KB cạnh tranh khu vực” SSP3-7.0 mô tả lượng phát thải cao không chỉ do CO₂ mà bao gồm cả lượng phát thải sol khí [11]; (iv) “KB bất bình đẳng” mô tả sự chia rẽ giữa các khu vực trên toàn cầu, gồm SSP4-3.4 ứng với bức xạ nhiệt đạt đến mức 3,4 W/m² và SSP4-6.0 ứng với bức xạ nhiệt đạt đến mức 6,0 W/m² vào cuối thế kỷ 21 [12]; và (v) “KB phát triển dựa trên nhiên liệu hóa thạch” SSP5-8.5 là kịch bản tham chiếu cao, không có sự bổ sung về chính sách khí hậu, chỉ đạt được trong lộ trình phát triển kinh tế - xã hội sử dụng nhiên liệu hóa thạch [13].

Các kịch bản ĐKKH toàn cầu cho tương lai thường dựa trên các sản phẩm dự tính từ những mô hình khí hậu toàn cầu (*General Circulation Models - GCMs*). Dự án đối chứng mô hình khí hậu CMIP6 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 6*) đã được sử dụng để hỗ trợ cho báo cáo đánh giá lần thứ sáu (AR6) của IPCC [14]. Các GCMs cho đến hiện tại có độ phân giải tương đối thô, đa số từ khoảng 100km trở lên [15–17]. Vì vậy, để có thể dự báo ĐKKH ở quy mô địa phương/khu vực, cần thiết phải áp dụng một số kỹ thuật chi tiết hoá. Ở Việt Nam, bộ kịch bản khí hậu phân giải cao (10km) thiết lập cho quốc gia được xây dựng bằng phương pháp chi tiết hóa thống kê hiệu chỉnh sai số và phân rã không gian BCSD (*Bias Corrected Spatial Disaggregation*) phục vụ cho Báo cáo “Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu quốc gia và khả năng thích ứng” năm 2022 của Cục Biến đổi khí hậu, Bộ TN&MT. Đây là báo cáo cập nhật ở cấp độ quốc gia, xuất bản cùng thời điểm của COP 27, đã phát triển một tập hợp các kịch bản khí hậu mới SSP (*Shared Socioeconomic Pathways - Kịch bản chia sẻ kinh tế - xã hội*) bằng cách sử dụng các CMIP6-GCMs từ báo cáo của IPCC năm 2021, có thể được tải và sử dụng miễn phí [18, 24].

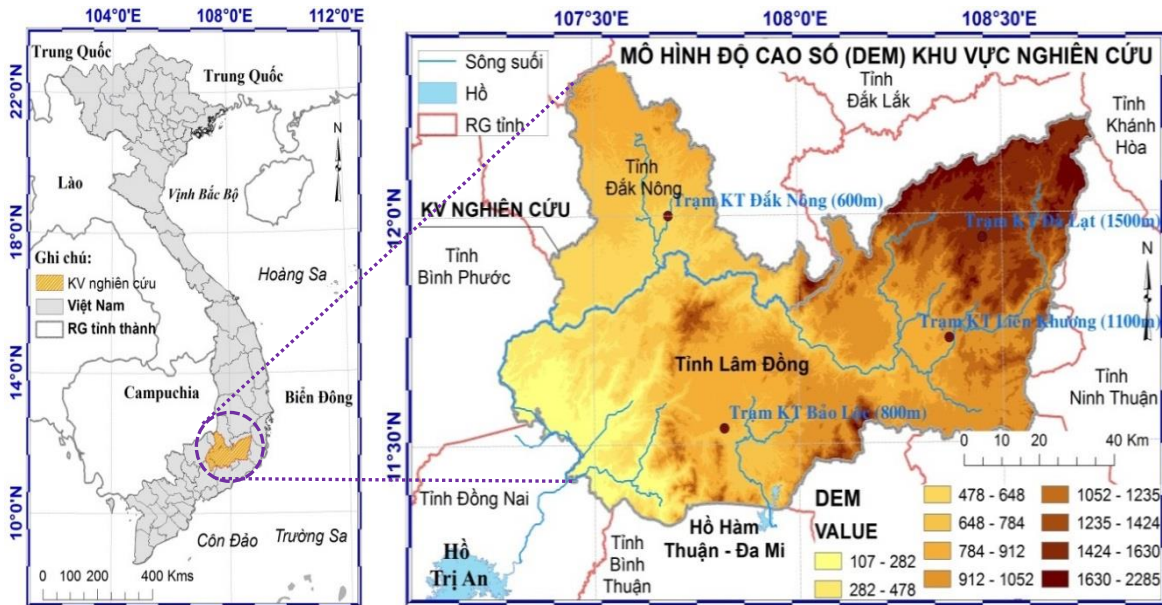
Các mô hình khí hậu toàn cầu (CMIP6-GCMs) trong báo cáo lần gần đây nhất (AR6) của IPCC đã sử dụng tổ hợp của hơn 50 mô hình GCMs [14, 19]. Việc chọn GCMs phù hợp để chi tiết hóa hơn nữa là rất quan trọng để cải thiện độ chính xác của kết quả thu nhỏ quy mô cục bộ và tối ưu hóa tài nguyên tính toán. Tùy thuộc độ phân giải không gian và thời gian, biến khí hậu cần đánh giá và mục đích của người dùng, một số nghiên cứu đã sử dụng từ vài mô hình GCMs đến vài chục GCMs, như 3 mô hình [8], 5 mô hình [16], 7 mô hình [20], 16 mô hình [21], 29 mô hình [22], 31 mô hình [23], 32 mô hình [14], 35 mô hình [24], 41 mô hình [25]. Nghiên cứu này lựa chọn 7 mô hình GCMs (EC-Earth3, EC-Earth3-Veg, HadGEM3-GC31-LL, IPSL-CM6A-LR, MPI-ESM1-2-HR, CNRM-CM6-1-HR, và CanESM5) đã được chi tiết hóa cho Việt Nam (CMIP6_VN) [18, 24]. Đây là các mô hình đã được một số nghiên cứu trước đây sử dụng, đánh giá là phù hợp với Việt Nam [16, 20, 22], để đánh giá hiệu suất (độ tin cậy và độ chính xác) trong mô phỏng lượng mưa và nhiệt độ nhằm chọn một bộ CMIP6-GCMs phù hợp cho lưu vực thượng nguồn sông Đồng Nai. Trong đó, đối với yếu tố nhiệt độ, nghiên cứu đã lựa chọn nhiệt độ cực trị (nhiệt độ tối cao - T_{max} và nhiệt độ tối thấp - T_{min}) gần bề mặt, vì đây là hai yếu tố nhiệt độ thường được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho mô hình thủy văn (như mô hình SWAT), cũng như sử dụng trong đánh giá các hiện tượng thời tiết cực đoan. Kết quả của nghiên cứu này cung cấp thông tin dữ liệu đầu vào cho các mô hình thủy văn, phục vụ cho các nghiên cứu về ĐKKH, góp phần hỗ trợ ra quyết định trong quản lý và phát triển bền vững lưu vực.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

Sông Đồng Nai là sông nội địa dài nhất Việt Nam nằm trên khu vực rộng lớn liên quan đến các tỉnh Lâm Đồng, Đắk Nông, Bình Phước, Bình Dương, Đồng Nai, thành phố Hồ Chí Minh với chiều dài 586 km và diện tích lưu vực 38.600 km². Đây là vùng có tốc độ đô thị hoá nhanh và dân số thành thị chiếm tỉ lệ cao hơn so với trung bình của cả nước. Xét về mặt sử

dụng nước, vùng ven biển gồm các tỉnh Ninh Thuận, Bình Thuận, Bà Rịa Vũng Tàu luôn có mối quan hệ chặt chẽ với nguồn nước ở lưu vực sông này, đặc biệt là các công trình chuyển nước đã có và sẽ xây dựng [26, 27].



Hình 1. Vị trí, mô hình độ cao số DEM khu vực nghiên cứu [28].

Khu vực nghiên cứu nằm ở thượng nguồn của sông Đồng Nai thuộc vùng Tây Nguyên, bao phủ vùng diện tích khoảng 11.036 km², đa phần thuộc địa bàn tỉnh Lâm Đồng (chiếm 80% diện tích của toàn lưu vực) và vùng phụ cận thuộc tỉnh Đắk Nông. Khu vực gồm hai lưu vực sông, trong đó lưu vực sông chính Đồng Nai bắt nguồn từ cao nguyên Langbiang ở phía bắc tỉnh Lâm Đồng, chảy theo hướng Bắc Nam, sau đó chuyển hướng uốn lượn theo địa hình khu vực nhưng hướng chủ đạo là Đông bắc - Tây nam và kết thúc ở điểm đầu ra của sông khỏi địa phận tỉnh Lâm Đồng. Lưu vực còn lại bắt nguồn từ cao nguyên Di Linh và kết thúc tại hồ thủy điện Hàm Thuận - Đa Mi [28].

Phía Bắc của khu vực nghiên cứu thuộc cao nguyên LangBiang (bao phủ huyện Lạc Dương và thành phố Đà Lạt), có độ cao thay đổi từ 1.300 m đến hơn 2.000 m như đỉnh Bidoup (2.287 m), LangBiang (2.167 m). Khu vực trung tâm là đồi núi thấp thuộc cao nguyên Bảo Lộc - Di Linh, có độ cao thay đổi từ 700-1.300 m. Phía Nam là vùng chuyển tiếp giữa cao nguyên và đồng bằng với độ cao thay đổi từ 50-700 m. Vị trí và mô hình độ cao số của khu vực nghiên cứu được thể hiện trên Hình 1. Lượng mưa nhiều năm trên lưu vực biến đổi từ 1.500-3.600 mm/năm, trung bình khoảng 2.500 mm/năm. Trong mùa mưa, lượng mưa dao động từ 1.350-3.300 mm, trung bình đạt 2.100 mm và mùa khô từ 210 đến 530 mm, trung bình đạt 320 mm. Đây là vùng chịu ảnh hưởng của khí hậu nhiệt đới gió mùa biến thiên theo độ cao, trong năm có hai mùa rõ rệt, mùa mưa từ tháng 4 đến tháng 11, mùa khô từ tháng 12 đến hết tháng 3 năm sau.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Dữ liệu quan trắc lượng mưa và nhiệt độ

Số lượng trạm quan trắc khí tượng có đầy đủ dữ liệu đo mưa và nhiệt độ nằm trong lưu vực còn ít, một số trạm mới đưa vào hoạt động nên dữ liệu chưa đủ dài, do đó dựa vào dữ liệu sẵn có của địa phương, nghiên cứu đã tiến hành thu thập số liệu thực đo lượng mưa và nhiệt độ ngày (T_{max} và T_{min}) trên lưu vực trong giai đoạn 35 năm 1980-2014 tại 4 trạm: Đắk Nông, Bảo Lộc, Liên Khương và Đà Lạt, với cao độ tương ứng tại các khu vực khoảng 600 m, 800 m, 1.100 m và 1.500 m. Các dữ liệu này được thu thập từ các cơ quan quản lý ở địa phương

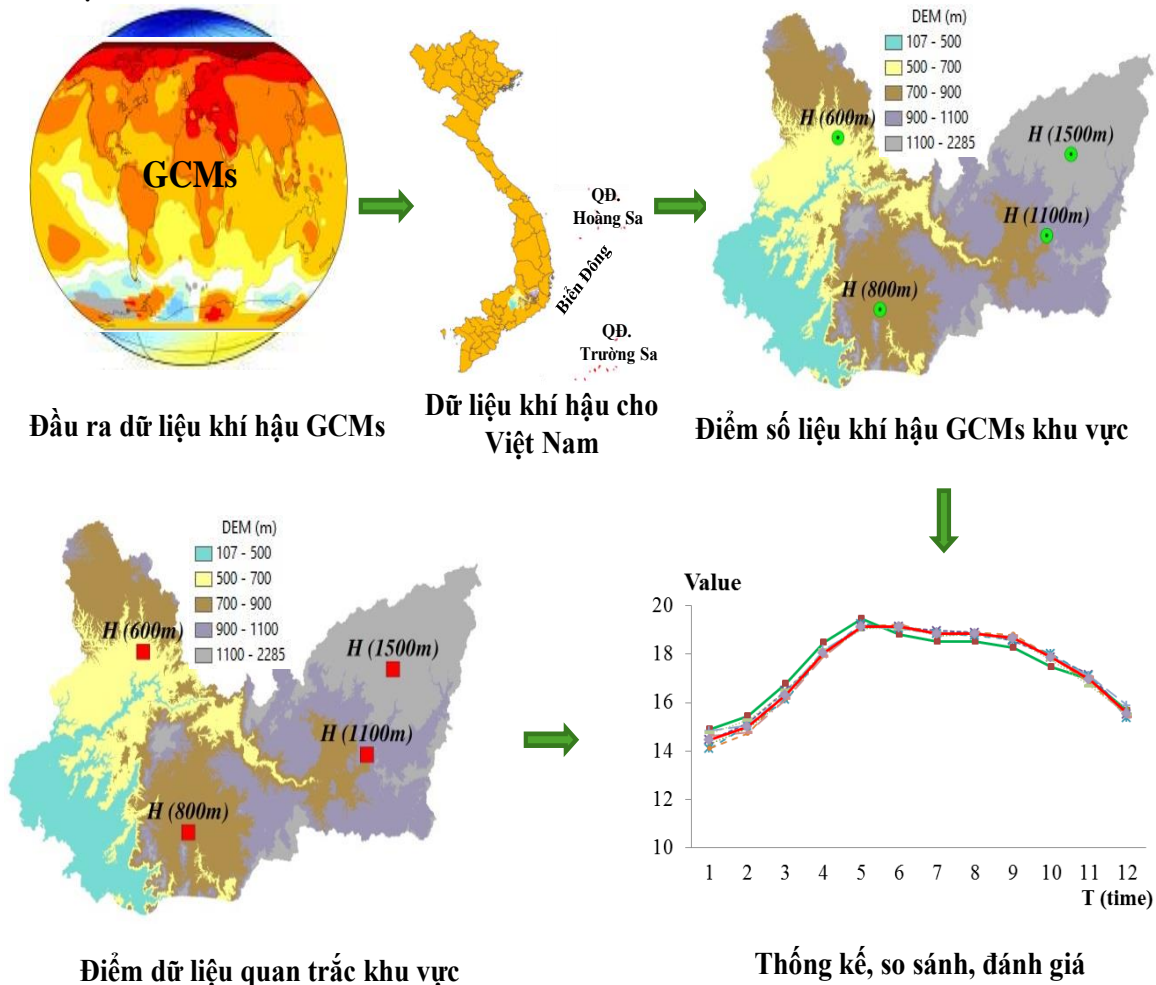
(Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Lâm Đồng, Đài Khí tượng Thủy văn Tây nguyên). Phân bố của 4 trạm quan trắc này nằm phân tán đều trên lưu vực và thuộc các vùng có độ cao khác nhau nên có thể đại diện cho khu vực nghiên cứu, thông tin các trạm quan trắc được thể hiện ở Bảng 1 và Hình 1.

Bảng 1. Các trạm quan trắc khí tượng trên lưu vực đã được thu thập dữ liệu.

STT	Tên trạm quan trắc	Độ cao trạm (m)	Độ cao vùng H (m)	Kinh độ	Vĩ độ
1	Trạm Đắc Nông	631	600	107,68	12,00
2	Trạm Bảo Lộc	840	800	107,82	11,54
3	Trạm Liên Khương	939	1.100	108,37	11,73
4	Trạm Đà Lạt	1.509	1.500	108,45	11,95

2.2.2. Mô hình khí hậu toàn cầu

Dữ liệu lượng mưa và nhiệt độ (T_{max} , T_{min}) gần bề mặt của 7 mô hình khí hậu toàn cầu GCMs trong quá khứ (1980-2014) đã được chi tiết hóa với độ phân giải không gian $0,1^{\circ}$ (tương ứng 10×10 km), độ phân giải thời gian ngày cho toàn Việt Nam kế thừa từ nghiên cứu “Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu quốc gia và khả năng thích ứng” [18, 24] (http://remosat.usth.edu.vn/~thanhd/Download/dat_GEMMES_WP1). Chi tiết các mô hình GCMs được liệt kê trong Bảng 2. Để chuyển đổi dữ liệu khí hậu vùng ở cấp độ quốc gia (multidimension “Netcdf.NC”) sang dữ liệu điểm (point “Excel.xls”) tại vị trí tọa độ của các trạm quan trắc sử dụng công cụ “Multidimension Toolbox” trong phần mềm ArcGIS 10.2, như lược đồ Hình 2.



Hình 2. Lược đồ phương pháp nghiên cứu.

Bảng 2. Các mô hình BDKH được lựa chọn trong CMIP6.

TT	Tên mô hình	Quốc gia, tổ chức	Độ phân giải ô lưới	Độ phân giải ô lưới
		phát triển	toàn cầu	Việt Nam
1	CNRM-CM6-1-HR	Pháp	1,25°×0,94°	0,10°×0,10°
2	CanESM5	Canada	1,41°×1,39°	0,10°×0,10°
3	EC-Earth3	Châu Âu (EU)	0,70°×0,70°	0,10°×0,10°
4	EC-Earth3-Veg	Châu Âu (EU)	0,70°×0,70°	0,10°×0,10°
5	HadGEM3-GC31-LL	Anh	1,88°×1,88°	0,10°×0,10°
6	IPSL-CM6A-LR	Pháp	2,50°×1,27°	0,10°×0,10°
7	MRI-ESM2-0	Nhật Bản	1,13°×1,13°	0,10°×0,10°

2.2.3. Phương pháp thống kê

Để đánh giá hiệu suất (độ tin cậy và độ chính xác) của các mô hình GCMs trong mô phỏng các yếu tố khí tượng so với giá trị thực đo có thể sử dụng một hoặc nhiều chỉ số thống kê [14, 21, 22, 29]. Trong nghiên cứu này đã sử dụng các chỉ số thống kê sau: (i) Độ lệch phần trăm PBias (*Percent Bias*), (ii) Độ lệch chuẩn SD (*standard deviation*), (iii) Sai số bình phương trung bình gốc RMSE (*root mean square error*), (iv) Hệ số tương quan Pearson (R), và Biểu đồ Taylor để so sánh lượng mưa, nhiệt độ (T_{min} , T_{max}) trung bình tháng của từng mô hình riêng lẻ với số liệu thực đo tại các trạm quan trắc trong quá khứ. Các chỉ số này thường được áp dụng để đánh giá hiệu suất mô phỏng các yếu tố lượng mưa và nhiệt độ của các mô hình GCMs [29, 30]. Công thức tính của chỉ số thống kê như sau:

Độ lệch phần trăm PBias (*Percent bias*):

$$PBias = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Độ lệch chuẩn SD (*Standard Deviation*):

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

Sai số bình phương trung bình gốc RMSE (*Root Mean Square Error*):

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

Hệ số tương quan Pearson (R):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (4)$$

Trong đó O là giá trị thực đo; \bar{O} là giá trị thực đo trung bình; P là giá trị mô phỏng; \bar{P} là giá trị mô phỏng trung bình; n là số lượng giá trị tính toán.

Giá trị R trong khoảng từ 0 đến 1, thể hiện mối tương quan giữa giá trị thực đo và giá trị mô phỏng. Nếu R gần bằng 0, khi đó kết quả được xem là không thể chấp nhận hoặc độ tin cậy kém. Ngược lại, nếu những giá trị này bằng 1, thì kết quả mô phỏng của mô hình là hoàn hảo, nằm trong khoảng 0,8-0,9 được xem là tương quan mạnh; 0,7-0,8 ; 0,3-0,6; 0,1-0,3 tương ứng khá, trung bình và yếu [31].

Biểu đồ Taylor là các sơ đồ toán học được thiết kế để biểu thị bằng đồ họa những biểu diễn (hoặc mô hình) gần đúng nào của một hệ thống, quy trình hoặc hiện tượng là thực tế

nhất. Biểu đồ này do Karl E. Taylor phát minh vào năm 1994 (xuất bản năm 2001) tạo điều kiện thuận lợi cho việc đánh giá so sánh các mô hình khác nhau [32]. Nó được sử dụng để định lượng mức độ phù hợp giữa hành vi được mô hình hóa và hành vi được quan sát theo ba thống kê là hệ số tương quan Pearson, sai số trung bình bình phương gốc RMSE và độ lệch chuẩn SD. Trong biểu đồ Taylor, hệ số tương quan Pearson đo mức độ đồng dạng về mẫu giữa trường mô phỏng và trường quan sát, có liên quan đến góc phương vị trên biểu đồ; sai số RMSE là số nằm ở giữa trong biểu đồ, tỷ lệ thuận với khoảng cách từ điểm trên trục x được xác định là "điểm thực đo"; và độ lệch chuẩn SD là giá trị nằm trên hai trục tọa độ, tỷ lệ thuận với khoảng cách hướng tâm từ điểm gốc tọa độ của biểu đồ.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

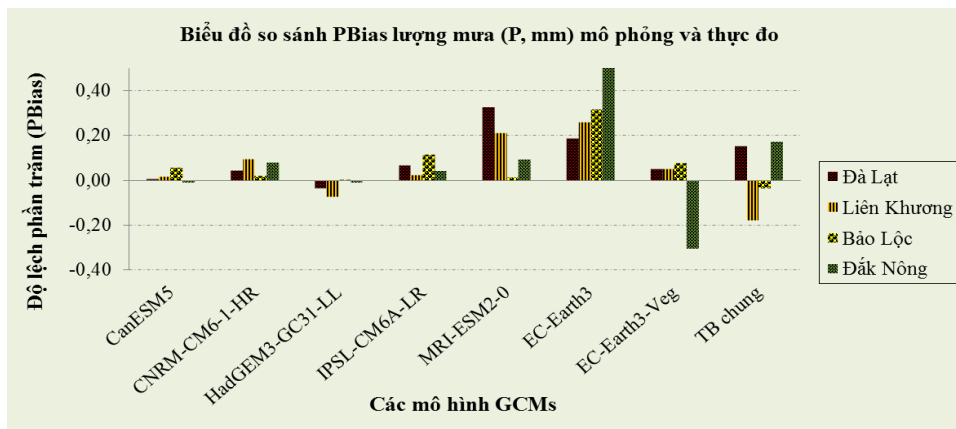
3.1. Đánh giá sự phù hợp của các mô hình bằng chỉ số thống kê PBias

Kết quả thống kê chỉ số độ lệch phần trăm PBias đánh giá sự phù hợp của 7 mô hình khí hậu toàn cầu GCMs và giá trị trung bình tổng thể của chúng trong mô phỏng lượng mưa tháng (mm), nhiệt độ tối cao Tmax (°C), nhiệt độ tối thấp Tmin (°C) tháng trên lưu vực được thể hiện ở các Bảng 3, 4 và 5.

Giá trị PBias trong mô phỏng yếu tố lượng mưa của 7 mô hình và giá trị trung bình chung phân bố theo không gian tại Đà Lạt ở độ cao khoảng 1.500 m, Liên Khương 1.100 m, Bảo Lộc 800 m và Đăk Nông 600m so với mực nước biển nằm trong khoảng (-0,30) - 0,54, giá trị in đậm ở Bảng 3. Trong đó, giá trị cao nhất thuộc về mô hình EC-Earth3 (PBias = 0,54) tại Đăk Nông, tiếp đến là mô hình MRI-ESM2-0 (PBias = 0,33) tại Đà Lạt, giá trị in nghiêng đậm gạch dưới của Bảng 3. Trong số các mô hình, mô hình HadGEM3-GC31-LL và CanESM5 cho giá trị PBias thấp hơn so với các mô hình còn lại được thể hiện ở Hình 3.

Bảng 3. PBias giữa giá trị mô phỏng và thực đo yếu tố lượng mưa (P, mm/tháng).

STT	GCMs	PBias (P, mm)			
		Đà Lạt	Liên Khương	Bảo Lộc	Đăk Nông
1	CanESM5	0,01	0,01	0,06	-0,01
2	CNRM-CM6-1-HR	0,04	0,10	0,02	0,08
3	HadGEM3-GC31-LL	-0,04	-0,07	0,00	-0,01
4	IPSL-CM6A-LR	0,07	0,02	0,12	0,04
5	MRI-ESM2-0	<u>0,33</u>	0,21	0,01	0,10
6	EC-Earth3	0,19	0,26	0,32	0,54
7	EC-Earth3-Veg	0,05	0,05	0,08	-0,30
8	TB chung	0,15	-0,18	-0,03	0,17

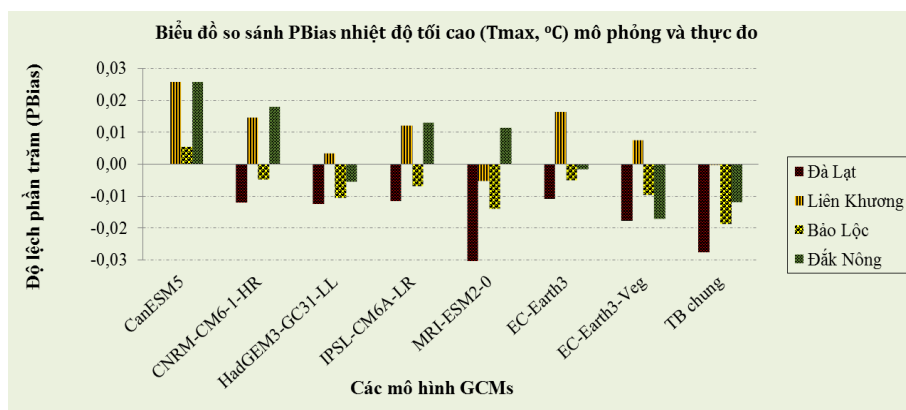


Hình 3. So sánh PBias lượng mưa (P, mm/tháng) mô phỏng và thực đo của các GCMs.

Giá trị PBias trong mô phỏng yếu tố nhiệt độ tối cao (T_{max}) của 7 mô hình và giá trị trung bình chung nằm trong khoảng (-0,03) - 0,03, giá trị in đậm ở Bảng 4. Trong đó, giá trị cao nhất thuộc về mô hình CanESM5 (PBias = 0,03) tại Liên Khương và Đắk Nông; MRI-ESM2-0 (PBias = -0,03) tại Đà Lạt. Trong mô phỏng yếu tố nhiệt độ tối cao (T_{max}), kết quả cho thấy không có mô hình nào cho giá trị PBias là vượt trội. Tuy nhiên, mô hình EC-Earth3 và HadGEM3-GC31-LL cho giá trị PBias tốt hơn so với các mô hình còn lại (Hình 4).

Bảng 4. PBias giá trị mô phỏng và thực đo yếu tố nhiệt độ tối cao (T_{max} , °C).

STT	GCMs	PBias (T_{max} , °C)			
		Đà Lạt	Liên Khương	Bảo Lộc	Đắk Nông
1	CanESM5	0,00	0,03	0,01	0,03
2	CNRM-CM6-1-HR	-0,01	0,01	0,00	0,02
3	HadGEM3-GC31-LL	-0,01	0,00	-0,01	-0,01
4	IPSL-CM6A-LR	-0,01	0,01	-0,01	0,01
5	MRI-ESM2-0	-0,03	-0,01	-0,01	0,01
6	EC-Earth3	-0,01	0,02	-0,01	0,00
7	EC-Earth3-Veg	-0,02	0,01	-0,01	-0,02
8	TB chung	-0,03	0,00	-0,02	-0,01



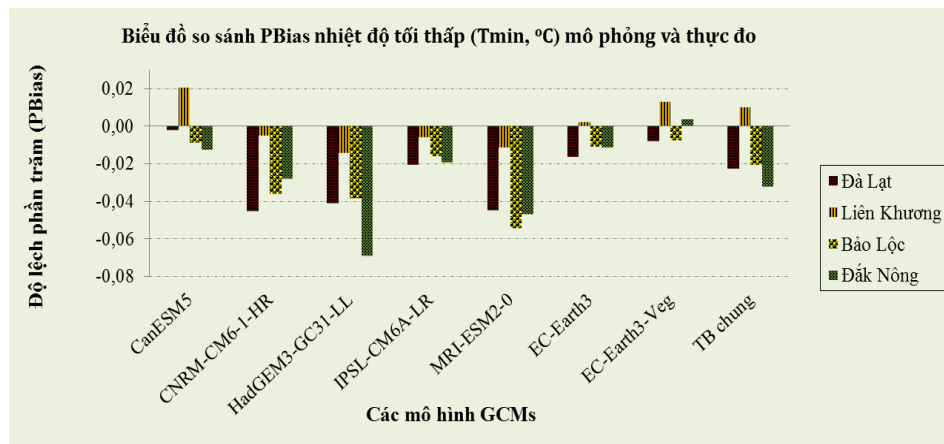
Hình 4. So sánh PBias nhiệt độ tối cao (T_{max} , °C) mô phỏng và thực đo của các GCMs.

Giá trị PBias trong mô phỏng yếu tố nhiệt độ tối thấp (T_{min}) của 7 mô hình và giá trị trung bình chung nằm trong khoảng (-0,07) - 0,02, giá trị in đậm ở Bảng 5. Trong đó, giá trị cao nhất thuộc về mô hình HadGEM3-GC31-LL (PBias = -0,07) tại Đắk Nông và MRI-ESM2-0 (PBias = -0,03) tại Đà Lạt, tiếp đến là mô hình MRI-ESM2-0 (PBias = -0,03) tại Bảo Lộc và Đắk Nông; mô hình CNRM-CM6-1-HR (PBias = -0,03) tại Đà Lạt. Trong mô phỏng yếu tố nhiệt độ tối cao (T_{max}), kết quả cho thấy hai mô hình EC-Earth3 và EC-Earth3-Veg cho giá trị PBias vượt trội hơn so với các mô hình còn lại (Hình 5).

Nhìn chung, dựa vào chỉ số thống kê PBias, kết quả cho thấy không có mô hình GCMs nào cho kết quả tốt cho cả ba yếu tố lượng mưa, nhiệt độ tối cao (T_{max}), nhiệt độ tối thấp (T_{min}). Mô hình HadGEM3-GC31-LL và CanESM5 cho kết quả PBias tốt cho yếu tố lượng mưa nhưng lại hạn chế về yếu tố nhiệt độ. Trong khi đó, mô hình EC-Earth3 và EC-Earth3-Veg cho kết quả tốt về yếu tố nhiệt độ nhưng lại hạn chế về yếu tố lượng mưa. Hơn nữa, kết quả cho thấy với cùng một yếu tố nhiệt độ, một số mô hình cho kết quả khá tốt cho yếu tố nhiệt tối cao (T_{max}), nhưng lại bị hạn chế trong mô phỏng về nhiệt độ tối thấp (T_{min}) và ngược lại như mô hình CanESM5, HadGEM3-GC31-LL. Trong số 7 mô hình, 2 mô hình IPSL-CM6A-LR và MRI-ESM2-0 cho kết quả PBias cao đối với cả yếu tố lượng mưa và nhiệt độ.

Bảng 5. PBias giá trị mô phỏng và thực đo yếu tố nhiệt độ tối thấp (T_{min} , °C).

STT	GCMs	PBias (T_{min} , °C)			
		Đà Lạt	Liên Khương	Bảo Lộc	Đắk Nông
1	CanESM5	0,00	0,02	-0,01	-0,01
2	CNRM-CM6-1-HR	-0,05	0,00	-0,04	-0,03
3	HadGEM3-GC31-LL	-0,04	-0,01	-0,04	-0,07
4	IPSL-CM6A-LR	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02
5	MRI-ESM2-0	-0,04	-0,01	-0,05	-0,05
6	EC-Earth3	-0,02	0,00	-0,01	-0,01
7	EC-Earth3-Veg	-0,01	0,01	-0,01	0,00
8	TB chung	-0,02	0,01	-0,02	-0,03



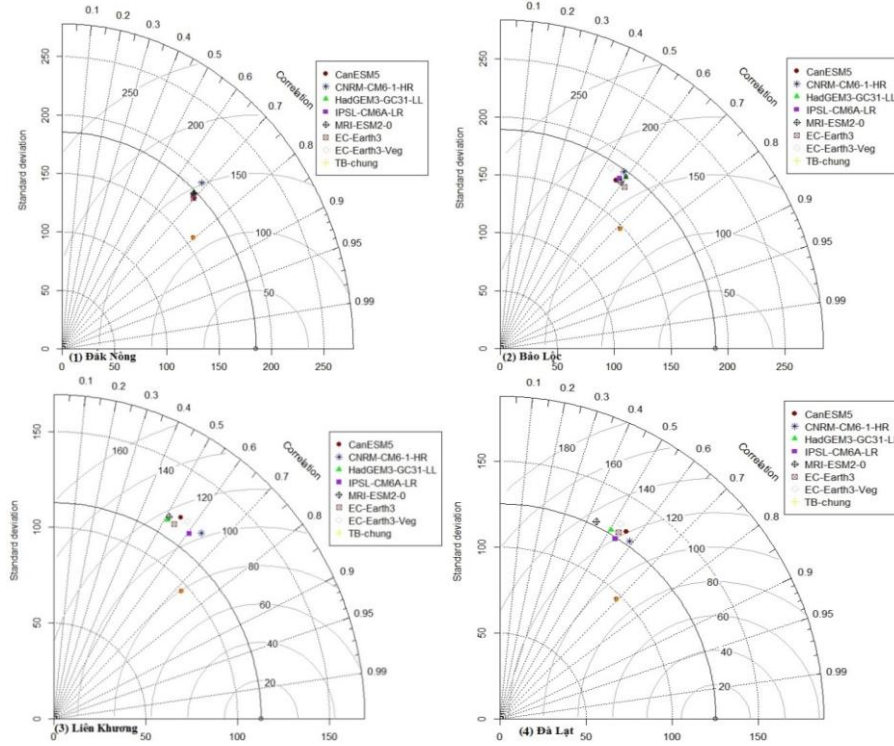
Hình 5. So sánh PBias nhiệt độ tối thấp (T_{min} , °C) mô phỏng và thực đo của các GCMs.

3.2. Đánh giá sự phù hợp của các mô hình thông qua biểu đồ Taylor

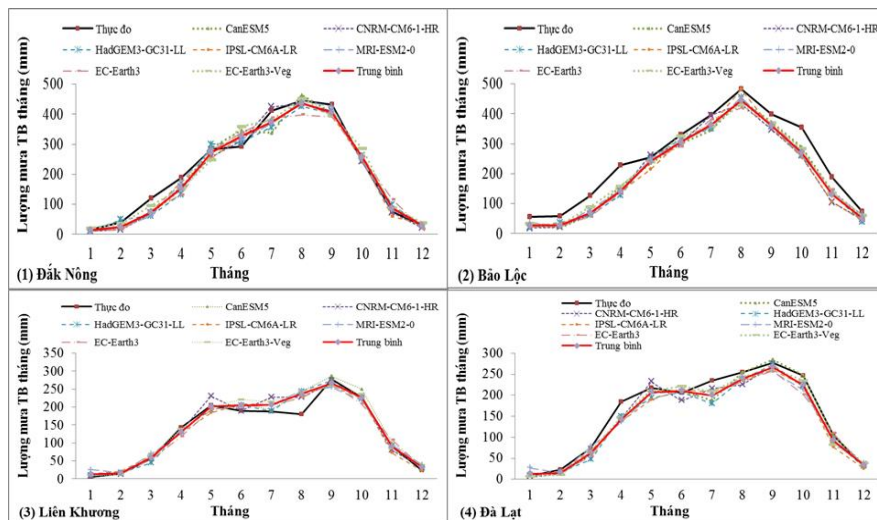
Biểu đồ Taylor mô tả hiệu suất của mô hình thông qua các chỉ số thống kê gồm hệ số tương quan Pearson R (giá trị nằm trên đường cong ngoài cùng điểm giao nhau giữa đường thẳng nét đứt xuất phát từ gốc tọa độ của biểu đồ), sai số RMSE (giá trị nằm trên nửa đường tròn đồng tâm có nét liền, có tâm nằm trên trục ngang) và độ lệch chuẩn SD (giá trị nằm trên hai trục điểm giao nhau giữa một phần tư đường tròn đồng tâm có nét đứt, tâm tại trục tọa độ của biểu đồ) cho 3 yếu tố gồm lượng mưa (mm), T_{max} (°C), T_{min} (°C) như trong Hình 6, 8, 10. Đồng thời, giá trị thực đo được thể hiện là đường cong nét liền đậm xuất phát từ tâm của nửa đường tròn nằm trên trục ngang, chạy song song với đường biểu diễn độ lệch chuẩn SD.

Biểu đồ Taylor của Hình 6 mô tả hiệu suất các GCMs trong mô phỏng lượng mưa (mm) tháng cho 7 mô hình và giá trị trung bình tổng thể của chúng được biểu thị bằng một ký hiệu có màu sắc khác nhau trên biểu đồ. Hệ số tương quan đạt được của các mô hình và trung bình tổng thể của chúng nằm trong khoảng 0,45-0,80. Trong khi đó giá trị RMSE nằm trong khoảng 80-180 mm/tháng, còn SD nằm trong khoảng 90-190 mm/tháng. Trong số các mô hình, biểu đồ Taylor cho thấy EC-Earth3, MRI-ESM2-0 có hiệu suất mô phỏng lượng mưa thấp hơn so với các mô hình còn lại, được thể hiện qua giá trị R thấp, đồng thời giá trị RMSE và SD cao hơn. Giữa các vị trí trên lưu vực thì khu vực Đắk Nông cho kết quả mô phỏng tốt hơn các vị trí còn lại về mức độ đồng dạng mẫu giữa giá trị mô phỏng và giá trị quan sát, thể hiện qua giá trị R cao (xấp xỉ 0,7-0,8). Điều này được thể hiện rõ hơn trong biểu đồ so sánh giá trị lượng mưa thực đo và mô phỏng trung bình tháng cho cả thời đoạn 35 năm 1980-2014, như Hình 7. Trong khi đó, xét về sai số và độ lệch chuẩn thì khu vực Liên Khương cho kết quả tốt hơn, với giá trị RMSE và SD nhỏ hơn so với các khu vực còn lại, cụ thể RMSE (80-120) và SD (80-125) so với RMSE (85-135) và SD (90-130) tại Đà Lạt; RMSE

(110-150) và SD (160-190) tại Đắk Nông; RMSE (130-180) và SD (150-190) tại Bảo Lộc. Như vậy, để so sánh đánh giá hiệu suất của các mô hình GCMs trong mô phỏng các yếu tố khí hậu cần kết hợp nhiều chỉ số thống kê. Ngoài ra, kết quả còn cho thấy so với từng mô hình riêng lẻ, giá trị trung bình chung (trung bình tổng thể cho tất cả các mô hình) cho kết quả so sánh tốt hơn với giá trị R cao, RMSE và SD thấp hơn rõ rệt.



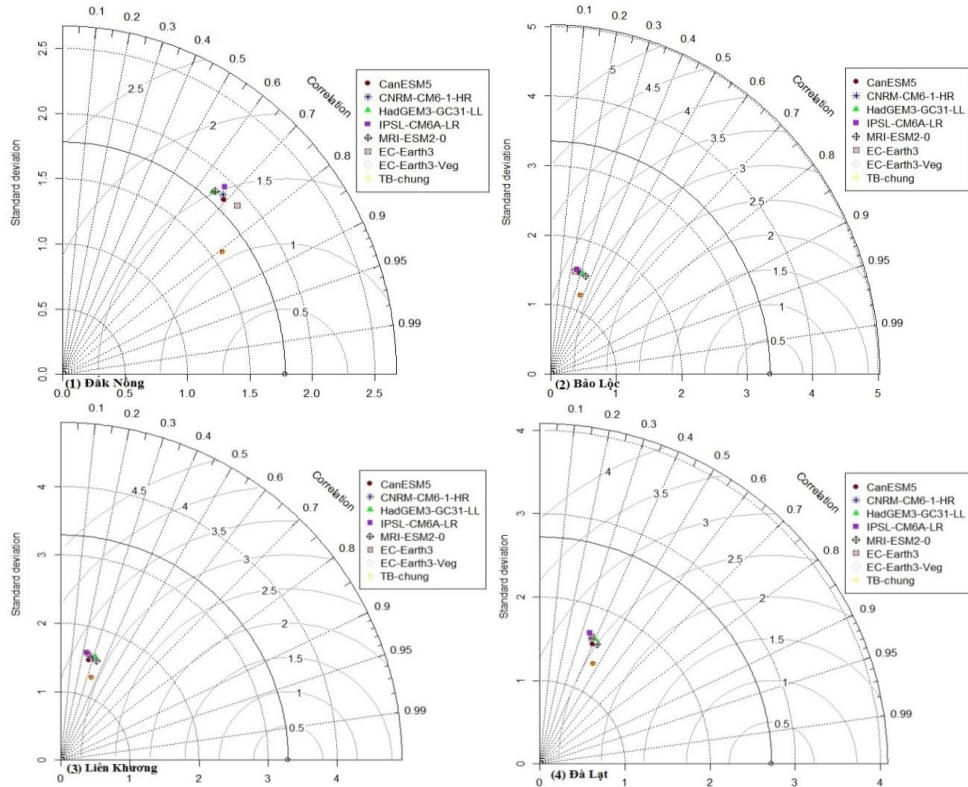
Hình 6. Kết quả so sánh hiệu suất mô phỏng lượng mưa (mm/tháng) của các mô hình bằng biểu đồ Taylor.



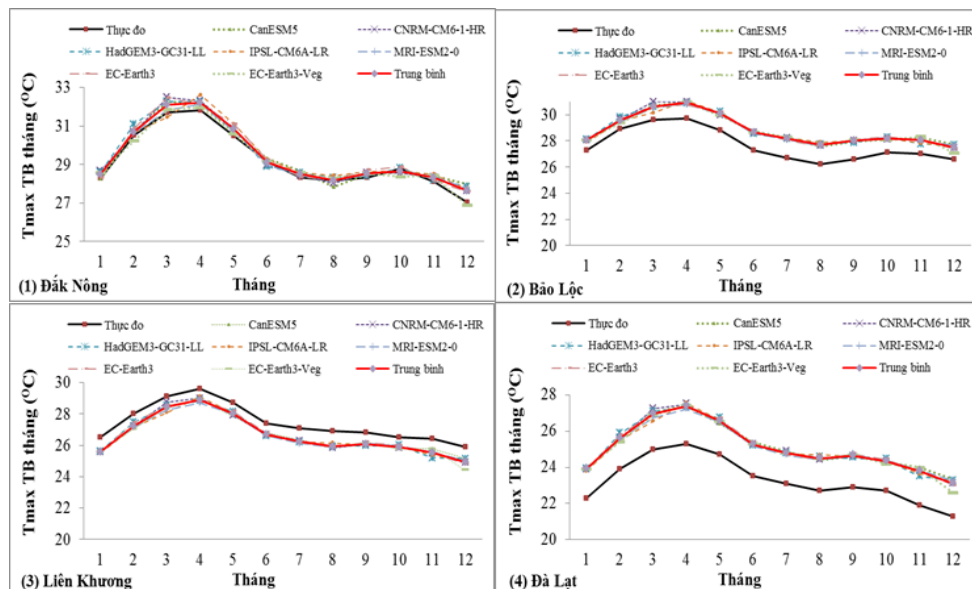
Hình 7. Biểu đồ so sánh lượng mưa tháng (P, mm/tháng) theo mô phỏng và thực đo.

Biểu đồ Taylor của hình 8 mô tả hiệu suất các GCMs trong mô phỏng nhiệt độ tối cao T_{max} ($^{\circ}C$) tháng trên lưu vực. Hệ số tương quan đạt được của các mô hình và trung bình tổng thể của chúng nằm trong khoảng 0,25-0,82. Trong khi đó giá trị RMSE nằm trong khoảng 1,0-3,2 $^{\circ}C$ /tháng, còn SD nằm trong khoảng 1,2-1,9 $^{\circ}C$ /tháng. Trong số các mô hình, biểu đồ Taylor cho thấy HadGEM3-GC31-LL, IPSL-CM6A-LR và CanESM5 có hiệu suất mô phỏng T_{max} thấp hơn so với các mô hình còn lại, được thể hiện qua giá trị R thấp, đồng thời giá trị RMSE và SD cao hơn. Tư tượng như trong mô phỏng về lượng mưa, giữa các vị trí trên

lưu vực thì khu vực Đắc Nông cho kết quả mô phỏng T_{max} tốt hơn các vị trí còn lại về mức độ đồng dạng mẫu giữa giá trị mô phỏng và giá trị quan sát, thể hiện qua giá trị R cao (xấp xỉ 0,65-0,82) và được thể hiện rõ hơn trong biểu đồ so sánh giá trị T_{max} thực đo và mô phỏng trung bình tháng cho cả thời đoạn 35 năm 1980-2014 (Hình 9). Đồng thời, xét về sai số thì khu vực Đắc Nông vẫn cho kết quả tốt hơn, với giá trị RMSE nhỏ hơn so với các khu vực còn lại, cụ thể RMSE (1,2-1,6) so với RMSE (2,4-2,7) tại Đà Lạt; RMSE (3,0-3,4) tại Liên Khương; RMSE (3,0 - 3,8) tại Bảo Lộc. Trong khi đó độ lệch chuẩn không có sự khác biệt lớn giữa các khu vực, cụ thể tại SD (1,6-1,8) tại Đắc Nông so với SD (1,3 - 1,7) tại Đà Lạt; và SD (1,3-1,6) tại Liên Khương và SD (1,3-1,5) tại Bảo Lộc. Tương tự như với mô phỏng lượng mưa, giá trị trung bình chung T_{max} cho kết quả so sánh tốt hơn so với từng mô hình riêng lẻ (giá trị R cao hơn, trong khi đó giá trị RMSE và SD thấp hơn rõ rệt).

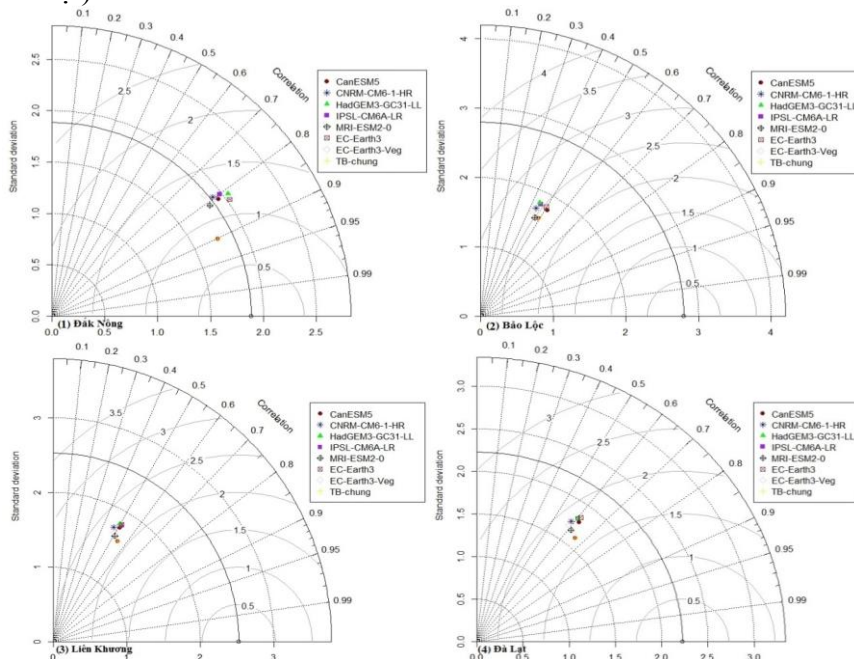


Hình 8. Biểu đồ Taylor so sánh hiệu suất mô phỏng nhiệt độ tối cao (T_{max} , °C) tại các trạm.

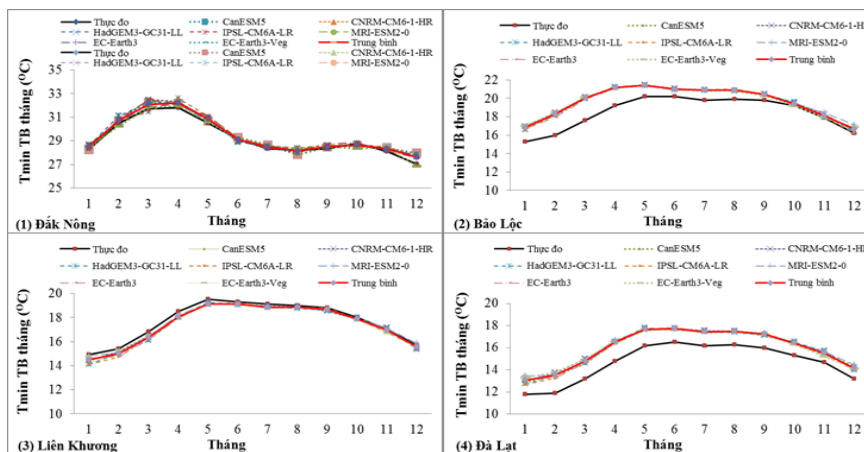


Hình 9. Kết quả so sánh giá trị nhiệt độ tối cao tháng (T_{max} , °C) theo mô phỏng và thực đo.

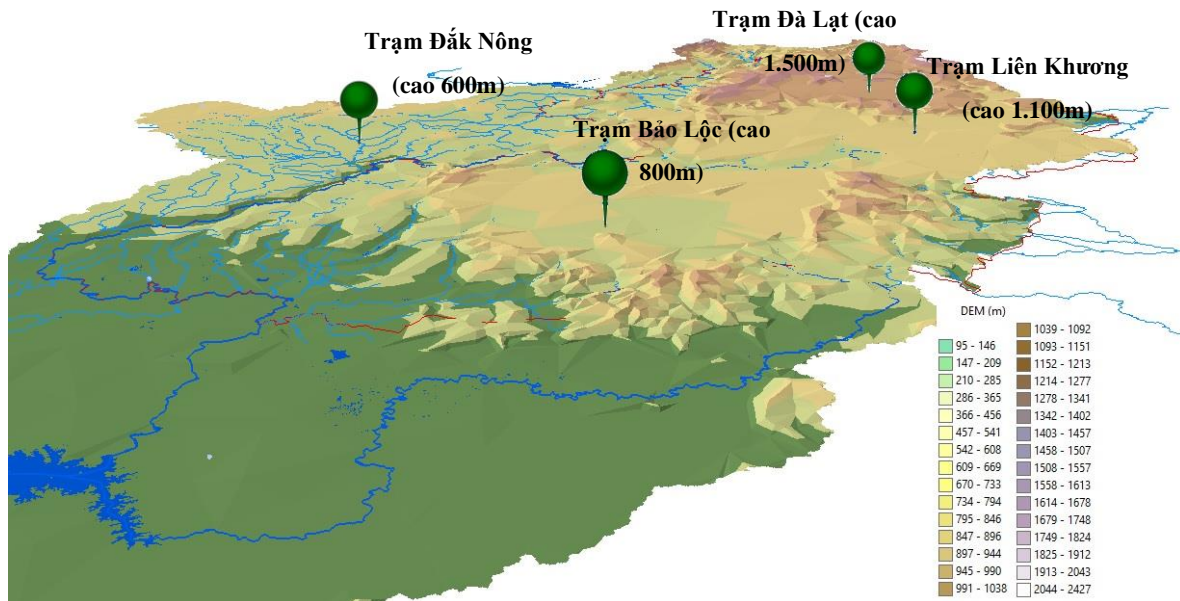
Biểu đồ Taylor của Hình 10 mô tả hiệu suất các GCMs trong mô phỏng nhiệt độ tối thấp T_{min} ($^{\circ}C$) tháng trên lưu vực. Hệ số tương quan đạt được của các mô hình và trung bình tổng thể của chúng nằm trong khoảng 0,25-0,90; giá trị RMSE nằm trong khoảng 0,7-2,6 $^{\circ}C$ /tháng và SD nằm trong khoảng 1,5-2,0 $^{\circ}C$ /tháng. Tương tự như trong mô phỏng T_{max} , trong số các mô hình, biểu đồ Taylor cho thấy HadGEM3-GC31-LL, IPSL-CM6A-LR và CNRM-CM6-1-HR có hiệu suất mô phỏng T_{min} thấp hơn so với các mô hình còn lại, được thể hiện qua giá trị R thấp, đồng thời giá trị RMSE và SD cao hơn. Giữa các vị trí trên lưu vực thì khu vực Đăk Nông cho kết quả mô phỏng T_{min} tốt hơn các vị trí còn lại về mức độ đồng dạng mẫu giữa giá trị mô phỏng và giá trị quan sát, thể hiện qua giá trị R cao (xấp xỉ 0,7-0,8) và biểu đồ so sánh giá trị T_{min} thực đo và mô phỏng khá trùng khớp, như Hình 11. Bên cạnh đó, giống như trong mô phỏng T_{max} , xét về sai số thì khu vực Đăk Nông cho kết quả tốt hơn, với giá trị RMSE nhỏ hơn so với các khu vực còn lại, cụ thể RMSE (0,8-1,3) so với RMSE (1,7-1,9) tại Đà Lạt; RMSE (2,1-2,4) tại Liên Khương; RMSE (2,4-2,6) tại Bảo Lộc. Ngược lại, độ lệch chuẩn không có sự khác biệt lớn giữa các khu vực, cụ thể tại SD (1,6-2,0) tại Đăk Nông so với SD (1,6-1,9) tại Đà Lạt; SD (1,7-1,9) tại Liên Khương và SD (1,6-1,9) tại Bảo Lộc. Tương tự như với mô phỏng lượng mưa, T_{max} , giá trị trung bình chung T_{min} cho kết quả so sánh tốt hơn so với từng mô hình riêng lẻ (giá trị R cao hơn, trong khi đó giá trị RMSE và SD thấp hơn rõ rệt).



Hình 10. Kết quả so sánh hiệu suất mô phỏng nhiệt độ tối thấp (T_{min} , $^{\circ}C$) của các mô hình bằng biểu đồ Taylor.



Hình 11. Kết quả so sánh giá trị nhiệt độ tối thấp tháng (T_{min} , $^{\circ}C$) theo mô phỏng và thực đo.



Hình 12. Vị trí các trạm quan trắc khí tượng với nền độ cao địa hình.

Tổng thể cho thấy trong tất cả các mô hình không có mô hình nào cho kết quả tốt cho cả yếu tố lượng mưa, T_{max} , T_{min} . Chẳng hạn như mô hình EC-Earth3-Veg, EC-Earth3 có kết quả mô phỏng nhiệt độ (T_{min} và T_{max}) khá tốt, trong khi đó mô hình EC-Earth3 lại bị hạn chế trong mô phỏng yếu tố lượng mưa.

Tại các vị trí thì khu vực Đắc Nông cho giá trị mô phỏng tốt hơn so với khu vực Liên Khương, Bảo Lộc và Đà Lạt. Điều này được giải thích là do sự thay đổi địa hình và độ cao chuyên tiếp từ đồng bằng lên cao nguyên và từ cao nguyên lên vùng cao hơn, đặc biệt là tại khu vực Bảo Lộc và Đà Lạt (Hình 12). Sự chênh lệch địa hình từ vùng đồng bằng lên cao nguyên Bảo Lộc - Di Linh (từ 95-800 m) và từ cao nguyên Bảo Lộc - Di Linh lên cao nguyên LangBiang (từ 800-1.500 m) đã ảnh hưởng đến các yếu tố khí hậu. Tại Đà Lạt và Bảo Lộc, đối với lượng mưa hầu hết các mô hình và giá trị trung bình tổng thể có giá trị thấp hơn so với giá trị thực đo. Trong khi đó, nhiệt độ (T_{max} , T_{min}) tại Đà Lạt và Bảo Lộc cao hơn so với giá trị thực đo (Hình 9 và Hình 11). Nhìn chung, tại Đà Lạt và Bảo Lộc có sự đồng dạng hơn giữa yếu tố khí tượng mô phỏng và thực đo theo từng tháng, nhưng có sự sai khác lớn hơn so với khu vực còn lại. Điều này được giải thích là do địa hình khu vực này có chênh lệch địa hình lớn và sự tương tác giữa gió mùa và các dãy núi lân cận. Kết quả này tương tự như kết quả nghiên cứu [22].

4. Kết luận

Kết hợp chỉ số thống kê độ lệch phần trăm PBias và biểu đồ Taylor (đánh giá thông qua ba yếu tố là hệ số tương quan Pearson R, sai số trung bình bình phương gốc RMSE và độ lệch chuẩn SD) là phương pháp khả thi giúp đánh giá hiệu suất của các mô hình khí hậu toàn cầu GCMs trong mô phỏng các yếu tố khí hậu (lượng mưa, T_{max} , T_{min}).

Hiệu suất của 7 GCMs và giá trị trung bình tổng thể của chúng là khác nhau trong mô phỏng lượng mưa (mm), nhiệt độ tối cao T_{max} ($^{\circ}C$), nhiệt độ tối thấp T_{min} ($^{\circ}C$) tháng theo không gian trên lưu vực thượng nguồn sông Đồng Nai. Trong đó, khu vực Đắc Nông (cao 600 m) có địa hình đồng dạng hơn cho kết quả mô phỏng tốt hơn so với Liên Khương (cao 1.100 m), Đà Lạt (cao 1.500 m) và Bảo Lộc (cao 800 m). Địa hình vùng núi và sự thay đổi độ cao góp phần làm ảnh hưởng đến hiệu suất mô phỏng yếu tố khí hậu của các GCMs.

Tổng thể cho thấy không có mô hình nào vượt trội đối với kết quả mô phỏng các yếu tố lượng mưa, T_{max} , T_{min} . Mô hình HadGEM3-GC31-LL và CanESM5 cho kết quả tin cậy trong mô phỏng yếu tố lượng mưa nhưng hạn chế về nhiệt độ. Mô hình EC-Earth3-Veg, EC-Earth3

có kết quả mô phỏng nhiệt độ (T_{\min} và T_{\max}) khá tốt, tuy nhiên EC-Earth3 lại hạn chế về mô phỏng yếu tố lượng mưa. Trong số 7 GCMs thì mô hình MRI-ESM2-0 có hiệu quả phỏng thấp nhất cho các yếu tố khí hậu trên lưu vực, tiếp đến là mô hình IPSL-CM6A-LR. Đối với tất cả các khu vực và tất cả các yếu tố (lượng mưa, nhiệt độ), giá trị trung bình chung của các mô hình cho kết quả so sánh tốt hơn so với từng mô hình riêng lẻ. Do đó, việc đánh giá, dự báo theo các kịch bản BĐKH tương lai cần sử dụng tổ nhiều mô hình GCMs thông qua sử dụng giá trị trung bình chung của chúng nhằm hạn chế sự sai lệch mang tính nội tại của mỗi mô hình riêng lẻ. Đối với lưu vực thượng nguồn sông Đông Nai có thể sử dụng tổ hợp của 5 mô hình (1) EC-Earth3-Veg, (2) CanESM5, (3) EC-Earth3, (4) HadGEM3-GC31-LL, (5) CNRM-CM6-1-HR trong các nghiên cứu liên quan đến kịch bản BĐKH trong tương lai có sử dụng yếu tố lượng mưa và nhiệt độ cực trị. Những kết quả đạt được của nghiên cứu này có thể áp dụng cho các lưu vực khác có điều kiện tương tự như lưu vực thượng nguồn sông Đông Nai với địa hình không đồng dạng, núi cao.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu thực hiện dưới sự hỗ trợ của Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Lâm Đồng. Các tác giả xin chân thành cảm ơn sự hợp tác của Sở Tài nguyên và Môi trường Lâm Đồng, Đài Khí tượng Thủy văn Tây Nguyên, Viện nghiên cứu Đổi mới và Phát triển bền vững (RIFISD) đã hỗ trợ cho việc hoàn thành nghiên cứu này.

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

Tài liệu tham khảo

1. IPCC. Contribution of working group 1 to the first assessment report of the intergovernmental panel on climate change. New York, NY, USA, 1990, pp. 365.
2. IPCC. Contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. New York, NY, USA, 1995, pp. 588.
3. IPCC. Contribution of working group 1 to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. New York, NY, USA, 2001, pp. 881.
4. IPCC. Contribution of working group 1 to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. New York, NY, USA, 2007, pp. 996.
5. IPCC. Contribution of working group 1 to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. New York, NY, USA, 2013, pp. 1535.
6. IPCC. Contribution of working group 1 to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. New York, NY, USA, 2021.
7. Riahi, K.; van Vuuren, D.P.; Kriegler, E.; Edmonds, J.; O'Neill, B.C.; Fujimori, S.; Bauer, N.; Calvin, K.; Dellink, R.; Fricko, O.; Lutz, W. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environ. Change* **2017**, 42, 153–168.
8. Nhi, P.T.T.; Linh, Đ.Q.; Dũng, T.Đ.; Khôi, Đ.N. Dự báo khí hậu lưu vực sông Sêrêpôk theo kịch bản mới của IPCC công bố năm 2021. *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ - Khoa học Trái đất và Môi trường* **2021**, 5(SI1), 27–36.
9. Vuuren, D.P.V.; Stehfest, E.; Gernaat, D.E.H.J.; Doelman, J.C.; Berg, M.V.D.; Harmsen, M.; Boer, H.S.D.; Bouwman, L.F.; Daioglou, V.; Edelenbosch, O.Y.; Girod, B.; Kram, T.; Lassaletta, L.; Lucas, P.L.; Meijl, H.V.; Müller, C.; Ruijven, B. J.V.; Sluis, S.V.D.; Tabeau, A. Energy, land-use and greenhouse gas emissions trajectories under a green growth paradigm. *Global Environ. Change* **2017**, 42, 316–330.
10. Fricko, O.; Havlik, P.; Rogelj, J.; Klimont, Z.; Gusti, M.; Johnson, N.; Kolp, P.; Strubegger, M.; Valin, H.; Amann, M.; Ermolieva, T., The marker quantification of

- the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century. *Global Environ. Change* **2017**, 42, 251–267.
11. Fujimori, S.; Hasegawa, T.; Masui, T.; Takahashi, K.; Herran, D.S.; Dai, H.; Hijioka, Y.; Kainuma, M. SSP3: AIM implementation of Shared Socioeconomic Pathways. *Global Environ. Change* **2017**, 42, 268–283.
 12. Calvin, K.; Bond-Lamberty, B.; Clarke, L.; Edmonds, J.; Eom, J.; Hartin, C.; Kim, S.; Kyle, P.; Link, R.; Moss, R.; McJeon, H. The SSP4: A world of deepening inequality. *Global Environ. Change* **2017**, 42, 284–296.
 13. Krieglner, E.; Bauer, N.; Popp, A.; Humpenöder, F.; Leimbach, M.; Strefler, J.; Baumstark, L.; Bodirsky, B.L.; Hilaire, J.; Klein, D.; Mouratiadou, I. Fossil-fueled development (SSP5): An energy and resource intensive scenario for the 21st century. *Global Environ. Change* **2017**, 42, 297–315.
 14. Huong, N.T.; Kim, Y.T.; Kwon, H.H. Evaluation and selection of CMIP6 GCMs for long-term hydrological projections based on spatial performance assessment metrics across South Korea. *J. Water. Clim. Change* **2023**, 14, (8), 2663–2678.
 15. Quyên, N.T.N. Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước và đất lưu vực sông Srepok. Viện Môi trường và Tài nguyên - ĐHQG TP Hồ Chí Minh, TP HCM, 2018.
 16. Khoi, D.N.; Nguyen, V.T.; Sam, T.T.; Mai, N.T.H.; Vuong, N.D.; Cuong, H.V. Assessment of climate change impact on water availability in the upper Dong Nai River Basin, Vietnam. *J. Water. Clim. Change* **2021**, 1–14.
 17. Ngo, D.T.; Nguyen, M.H.; Pannier, E.; Woillez, M.N.; Drogoul, A.; Huynh, T.P.L.; Le, T.T.; Nguyen, T.T.H.; Nguyen, T.T.; Nguyen, T.A.; Thomas, F.; Truong, C.Q.; Vo, Q.T.; Vu, C.T. Climate change in Viet Nam; Impacts and adaptation. A COP26 assessment report of the GEMMES Viet Nam project, Paris, 2021.
 18. Cục Biến đổi khí hậu, Bộ TNMT. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu quốc gia và khả năng thích ứng; Hà Nội, 2022.
 19. Eyring, V.; Bony, S.; Meehl, G.A.; Senior, C.A.; Stevens, B.; Stouffer, R.J.; Taylor, K.E. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geosci. Model Dev.* **2016**, 9(5), 1937–1958.
 20. Khoi, D.N.; Sam, T.T.; Chi, N.T.T.; Linh, D.Q.; Nhi, P.T.T. Impact of future climate change on river discharge and groundwater recharge: a case study of Ho Chi Minh City, Vietnam. *J. Water. Clim. Change* **2022**, 13(3), 1–13.
 21. Tính, N.T.; Tỷ, T.V.; Minh, H.V.T. Đánh giá và lựa chọn mô hình khí hậu toàn cầu (GCMs-CMIP5) cho khu vực đồng bằng Sông Cửu Long. *Tap chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2016**, 42, 81–90.
 22. Nguyen, D.T.; Ngo, D.T.; Desmet, Q. Performance evaluation and ranking of CMIP6 global climate models over Vietnam. *J. Water. Clim. Change* **2023**, 14(6), 1831–1846.
 23. Tran, A.Q.; Ngo, D.T.; Espagne, E.; Trinh, T.L. A high-resolution projected climate dataset for Vietnam: Construction and preliminary application in assessing future change. *J. Water. Clim. Change* **2022**, 13(9), 3379–3399.
 24. Tran, A.Q.; Ngo, D.T.; Espagne, E.; Trinh, T.L. A 10-km CMIP6 downscaled dataset of temperature and precipitation for historical and future Vietnam climate. *Sci. Data* **2023**, 2023, 1–12.
 25. Scafetta, N. CMIP6 GCM validation based on ECS and TCR ranking for 21st century temperature projections and risk assessment. *Atmosphere* **2023**, 14(345), 1–22.
 26. Trường, T.V. Quy hoạch Tài nguyên nước lưu vực sông Đồng Nai. 2015. Trục tuyến: <http://lvsdongnai.cem.gov.vn/>.
 27. Ringler, C.; Huy, N.V. Water allocation policies for the Dong Nai river basin in Vietnam: An integrated perspective; Washington, D.C., U.S.A, 2004, pp. 1–5.
 28. Hung, P.; Le, T.V.; Vo, P.L.; Duong, H.C.; Mostafizurb, R.M. Vulnerability assessment of water resources using GIS, remote sensing and SWAT model – A case study: the upper part of Dong Nai river basin, Vietnam. *Int. J. River Basin Manage.* **2021**, 20, 1–16.

29. Lei, X.; Xu, C.; Liu, F.; Song, L.; Cao, L.; Suo, N. Evaluation of CMIP6 models and multi-model ensemble for extreme precipitation over Arid Central Asia. *Remote Sens.* **2023**, *15*(2376), 1–25.
30. Sabarinath, A.; Naga, R. A.; Gunthe, S.S.; Lakshmi, K.T.V. Application of deep learning algorithms to correct Bias in CMIP6 simulations of surface air temperature over the Indian monsoon core region. *Int. J. Climatol.* **2023**, *43*(16), 7496–7515.
31. Chairani, S. The correlation between rainfall, temperature, relative humidity, and rice field productivity in Aceh Besar. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2022**, *1071* (2022), 1–11.
32. Taylor, K.E. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geophys. Res.* **2001**, *106*(D7), 7183–7192.

Performance evaluation of some CMIP6-GCMs in simulating rainfall and temperature in the upper part of Dong Nai river basin

Pham Hung^{1*}, Nguyen Thi Ngoc Quyen², Le Van Trung^{3,4}, Vo Le Phu^{3,4*}

¹ Department of Natural Resources and Environment Lam Dong Province, Dalat, Vietnam; hungmtk25@gmail.com

² Tay Nguyen University-567 Le Duan Street, Buon Ma Thuot City, Dak Lak Province; ntnquyen@ttn.edu.vn

³ Faculty of Environment and Natural Resources, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268. Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam; lvtrung@hcmut.edu.vn; volephu@hcmut.edu.vn

⁴ Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc District, Ho Chi Minh City, Vietnam; lvtrung@hcmut.edu.vn; volephu@hcmut.edu.vn

Abstract: The effective performance of general circulation models (GCMs) in simulating climate factors may vary in different regions. Therefore, the selection of suitable models for simulating climate change is a vital concern. This study was conducted to evaluate the performance of seven GCMs and their overall performance values based on Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) which downscaled for Vietnam (CMIP6_VN) in the upper part of Dong Nai river basin to simulate rainfall and near-surface temperature. Historical monitoring data in the period of 35-years (1980-2014) were collected to evaluate and categorize the rank of models' effectiveness according to statistical indicators, including: PBias percentage deviation, standard deviation (SD), Root mean square error (RMSE), Pearson correlation coefficient (R), and Taylor-Diagram. The results showed that GCMs performed different simulation outputs for each region depending on altitude and terrain factors. In addition, the ensemble means values of all GCMs achieve better comparative results than each individual model. In particular, the top five most effective models to simulate temperature and precipitation in the study area are EC-Earth3-Veg, CanESM5, EC-Earth3, HadGEM3-GC31-LL, and CNRM-CM6-1-HR, respectively.

Keywords: Climate change; CMIP6; General circulation model; Model ranking; Upper Part Dong Nai river basin.

Bài báo khoa học

Mô phỏng nồng độ bụi PM_{2.5} tại khu vực trung tâm Thành phố Hồ Chí Minh bằng thuật toán học máy và học sâu

Nguyễn Phúc Hiếu¹, Nguyễn Nhật Dương¹, Đỗ Quang Linh¹, Đào Nguyên Khôi^{1*}

¹ Khoa Môi trường, Trường ĐH Khoa học tự nhiên, ĐHQG-HCM;
phuchieu50@gmail.com; 19170139@student.hcmus.edu.vn; dqlinh@hcmus.edu.vn;
dnkhoi@hcmus.edu.vn

*Tác giả liên hệ: dnkhoi@hcmus.edu.vn; Tel.: +84-088304379

Ban Biên tập nhận bài: 15/3/2024; Ngày phản biện xong: 20/3/2024; Ngày đăng bài: 25/6/2024

Tóm tắt: Nghiên cứu áp dụng ba thuật toán học máy *Random Forest Regression (RFR)*, *XGBoost Regression (XGBR)*, *Multilayer Perceptron Regression (MLPR)* và một thuật toán học sâu *Convolutional Neural Network (CNN)* để mô phỏng nồng độ bụi PM_{2.5} tại khu vực trung tâm Thành phố Hồ Chí Minh. Bộ dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu là dữ liệu ngày trong giai đoạn từ 2016-2021 bao gồm nồng độ bụi PM_{2.5} thu thập từ trạm Lãnh Sự Quán Mỹ và sáu thông số khí tượng bao gồm nhiệt độ trung bình, hướng gió, tốc độ gió, độ ẩm, số giờ nắng và lượng mưa tại trạm Tân Sơn Hòa. Bộ dữ liệu được chuẩn hóa và phân chia với tỷ lệ 80:20 phục vụ quá trình huấn luyện và kiểm tra các thuật toán. Sau đó, sáu kịch bản các thông số đầu vào khác nhau được xây dựng dựa trên kết quả phân tích tương quan riêng phần giữa các thông số khí tượng với nồng độ bụi PM_{2.5}. Kết quả nghiên cứu cho thấy cả ba thuật toán học máy đều có khả năng mô phỏng tốt nồng độ PM_{2.5} với giá trị hệ số tương quan r dao động trong khoảng 0,770 đến 0,854, trong đó thuật toán XGBR với sáu thông số khí tượng đầu vào cho hiệu quả mô phỏng tốt nhất với $r = 0,854$, $IOA = 0,922$ và $NMB = 6,711$. Bên cạnh đó, kết quả mô phỏng nồng độ PM_{2.5} của thuật toán CNN là chưa đạt với giá trị r nhỏ hơn 0,5 ở tất cả kịch bản mô phỏng.

Từ khóa: Bụi PM_{2.5}; Học máy; Học sâu; TP. Hồ Chí Minh.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, ô nhiễm không khí đã trở thành một trong những vấn đề môi trường có ảnh hưởng lớn đến sức khỏe cộng đồng, đặc biệt dưới ảnh hưởng của quá trình đô thị hóa và công nghiệp hóa [1–6]. Theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), có 7 triệu ca tử vong sớm do ô nhiễm không khí cả bên ngoài và trong nhà trên toàn cầu mỗi năm [7]. Đặc biệt là ô nhiễm do bụi PM_{2.5}, đang trở thành một trong những vấn đề tác động tiêu cực đối với sức khỏe toàn cầu, trong đó có Việt Nam [8]. Bụi PM_{2.5} được định nghĩa là các hạt bụi mịn có đường kính nhỏ hơn 2,5 μm [9]. Một số nghiên cứu đã thực hiện [10–13] cho thấy mối liên hệ chặt chẽ giữa nồng độ PM_{2.5} và các bệnh như ung thư, tim mạch, hô hấp, chuyển hóa và béo phì. Tại Việt Nam, nồng độ bụi PM_{2.5} năm 2021 cao thứ 36 trong 117 quốc gia [14] và mức độ ô nhiễm bụi PM_{2.5} cũng thể hiện sự phân hóa theo mức độ đô thị hóa. Thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM) là trung tâm kinh tế của khu vực phía nam, cùng với sự phát triển kinh tế, thành phố có số dân cao nhất cả nước với mật độ dân số 4.375 người/km² (năm 2021) đang phải đối mặt với nguy cơ ảnh hưởng sức khỏe người dân do ô nhiễm không khí. Theo kết quả thống kê [15–16], 12/24 quận/huyện ở TP.HCM có nồng độ bụi PM_{2.5} năm 2020 vượt quy chuẩn QCVN 05:2013/ BTNMT. Đến năm 2021, mặc dù hầu hết các quận huyện có nồng độ

PM_{2.5} nằm trong ngưỡng cho phép về chất lượng không khí theo quy chuẩn quốc gia, tuy nhiên các giá trị này vẫn lớn hơn so với mức khuyến nghị của WHO. Bên cạnh đó, số ca tử vong sớm do phơi nhiễm PM_{2.5} năm 2019 tại TP. Hồ Chí Minh là 4.130 ca, đứng thứ hai cả nước, tập chủ yếu tại những quận trung tâm thành phố, lớn nhất tại quận Bình Tân với 370 ca, theo sau là quận Gò Vấp, huyện Bình Chánh và Quận 12 (khoảng 280-320 ca). Nồng độ bụi PM_{2.5} cao ở các quận trung tâm, thấp ở các huyện như Củ Chi, Cần Giờ [15–16]. Vì vậy, việc mô phỏng và dự báo nồng độ bụi PM_{2.5} tại khu vực trung tâm TP.HCM (Hình 1) là cần thiết nhằm phục vụ cho công tác quản lý và kiểm soát ô nhiễm, cũng như giảm thiểu rủi ro gây ra do ô nhiễm bụi PM_{2.5}.

Có thể thấy, công tác mô phỏng và dự báo chất lượng không khí có vai trò quan trọng trong việc ứng phó với ô nhiễm khí và bảo vệ sức khỏe con người. Tuy nhiên, việc dự báo chất lượng không khí là khá phức tạp và bị chi phối bởi nhiều yếu tố, trong đó có điều kiện khí tượng và tải lượng phát thải. Hiện nay, các phương pháp nghiên cứu dự đoán ô nhiễm không khí chủ yếu bao gồm phương pháp mô hình số và phương pháp thống kê [17, 18]. Tuy nhiên, phương pháp mô hình số thường đòi hỏi nhiều dữ liệu và người dùng cần hiểu biết sâu sắc về cơ chế lan truyền và bản chất của các chất gây ô nhiễm không khí để có thể lựa chọn các sơ đồ vật lý và hóa học phù hợp được sử dụng trong cấu hình của mô hình [19]. Phương pháp thống kê thì tương đối đơn giản, tiết kiệm thời gian và tài nguyên tính toán, và dễ thực hiện. Tuy nhiên, hiệu quả mô phỏng sẽ phụ thuộc vào số lượng các biến số và dữ liệu sẵn có, kết quả dự báo sẽ phụ thuộc rất nhiều vào mối tương quan giữa biến đầu ra và các yếu tố đầu vào. Bên cạnh đó, hiện nay với xu thế của cách mạng công nghiệp 4.0, đã có nhiều nghiên cứu sử dụng các thuật toán trí tuệ nhân tạo bao gồm cả học máy và học sâu nhằm tăng hiệu quả mô phỏng, dự đoán chất lượng không khí.

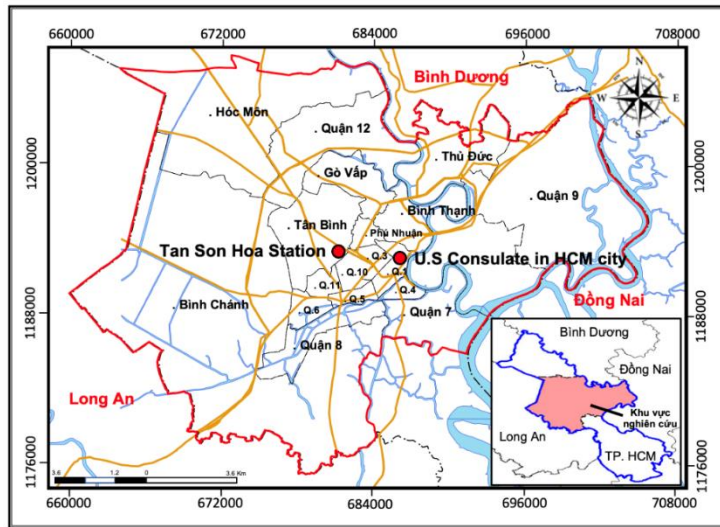
Một số nghiên cứu sử dụng thuật toán học máy để dự đoán bụi mịn đã được thực hiện có thể kể đến như nghiên cứu [20] đã sử dụng các thuật toán học máy *Random Forest (RF)*, *eXtreme Gradient Boosting (XGBoost)*, và học sâu *Deep Neural Network (DNN)* để nghiên cứu dự đoán nồng độ PM_{2.5} ở khu vực đô thị của Tehran, sử dụng bộ dữ liệu khí tượng từ trạm quan trắc và dữ liệu độ dày quang học sol khí (AOD) từ ảnh MODIS. Kết quả cho thấy thuật toán XGB cho khả năng dự báo tốt nhất trong 3 phương pháp. Nghiên cứu [21] dự báo nồng độ PM₁₀ khu vực Caribe bằng sáu thuật toán học máy bao gồm: *Support Vector Machine (SVM)*, *RFR*, *k-nearest Neighbor Regression (kNN)*, *Gradient Boosting Regression (GBR)*, *Tweedie Regression (TR)* và *Bayesian Ridge Regression (BRR)*. Các phương pháp này đã được áp dụng để xây dựng thuật toán dự đoán dựa trên mối quan hệ giữa nồng độ PM₁₀ và các yếu tố thời tiết của khu vực nghiên cứu và kết quả cho thấy thuật toán GBR cho hiệu quả dự báo tốt nhất. Nghiên cứu [22] đã sử dụng các phương pháp học máy như RF, GBR, *Support Vector Regression (SVR)* và *Multilayer Regression (MLR)* để dự đoán PM₁₀ và PM_{2.5} ở Ma cao, Trung Quốc. Dữ liệu khí tượng và chất lượng không khí từ năm 2013 đến năm 2018 được sử dụng để dự đoán. Nghiên cứu này cho thấy RF là phương pháp dự đoán đáng tin cậy nhất về nồng độ chất ô nhiễm, thuật toán này cũng chứng minh được tính hiệu quả khi dự báo nồng độ PM_{2.5} trong vùng Paso Del Norte với độ chính xác đạt 92% [23]. Bên cạnh các thuật toán học máy, các thuật toán học sâu như *Recurrent Neural Network (RNN)*, *Long Short-Term Memory (LSTM)*, *Convolutional Neural Network (CNN)* cũng được sử dụng trong nhiều nghiên cứu nhằm dự báo nồng độ bụi PM_{2.5} [24–27].

Từ các nghiên cứu kể trên, có thể thấy các thuật toán học máy và học sâu được sử dụng phổ biến và có hiệu quả cao trong mô phỏng, dự báo nồng độ bụi mịn tại nhiều quốc gia trên thế giới. Nghiên cứu này sẽ sử dụng các thuật toán được đánh giá có hiệu quả tốt trong các nghiên cứu đã thực hiện là RF và XGB, bên cạnh đó, hai thuật toán học máy và học sâu phổ biến là MLP và CNN cũng được áp dụng để thử nghiệm trong nghiên cứu này. Ngoài ra, phần lớn các nghiên cứu đã thực hiện đều sử dụng các dữ liệu khí tượng để dự báo PM_{2.5}. Mục tiêu của nghiên cứu nhằm xác định thuật toán và bộ thông số tối ưu phục vụ mô phỏng nồng độ bụi PM_{2.5} dựa trên dữ liệu về khí tượng tại khu vực trung tâm TP.HCM.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Thu thập và xử lý dữ liệu

Bộ dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu là dữ liệu ngày trong giai đoạn từ 5/2/2016 đến 30/4/2021 bao gồm nồng độ bụi PM_{2.5} trung bình ngày thu thập từ trạm Lãnh Sự Quán Mỹ và sáu thông số khí tượng bao gồm nhiệt độ trung bình (T), hướng gió (WD), tốc độ gió (W), độ ẩm (H), số giờ nắng (S) và lượng mưa trung bình (R) tại trạm Tân Sơn Hòa. Các thông số này được chọn dựa theo Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia 2021 của Bộ Tài nguyên và môi trường, nồng độ chất ô nhiễm trong không khí gần mặt đất phụ thuộc rất lớn vào yếu tố khí tượng (hướng gió, tốc độ gió, nhiệt độ, độ ẩm tương đối, lượng mưa), các yếu tố khí tượng có liên quan mật thiết đến sự hình thành, tích tụ và phân tán các chất ô nhiễm không khí và bụi vào môi trường xung quanh [7]. Vị trí các trạm được thể hiện trong Hình 1 và đặc trưng bộ dữ liệu đầu vào được thống kê và trình bày trong Bảng 1.



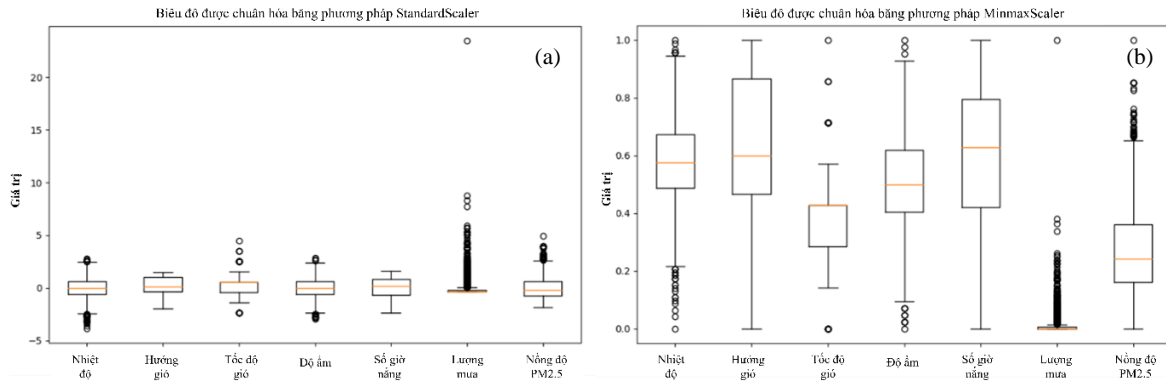
Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

Bảng 1. Đặc trưng bộ dữ liệu đầu vào.

Biến	Đơn vị	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Trung bình	Trung vị	Độ lệch chuẩn
Nhiệt độ (T)	°C	23,4	32,6	28,73	28,7	1,38
Hướng gió (WD)	-	0,0	15,0	8,53	9,0	4,38
Tốc độ gió (W)	m/s	3,0	10,0	5,40	6,0	1,02
Độ ẩm (H)	%	51	93	72,31	72,0	7,40
Số giờ nắng (S)	h	0,0	10,2	5,98	6,4	2,57
Lượng mưa (R)	mm	0,0	366,0	5,02	0,0	15,38
Nồng độ PM _{2.5}	µg/m ³	5,0	77,65	24,75	22,63	10,73

Bộ dữ liệu trong nghiên cứu có sự chênh lệch về độ lớn cũng như không đồng nhất về đơn vị, do đó việc chuẩn hóa bộ dữ liệu cần được thực hiện nhằm đưa bộ dữ liệu về cùng khoảng giá trị phục vụ cho các phép tính trong thuật toán. Trong nghiên cứu này, phương pháp chuẩn hóa StandardScaler nhằm đưa giá trị trong bộ dữ liệu có trung bình bằng 0 và độ lệch chuẩn bằng 1 (Hình 2a), phương pháp này được áp dụng cho các thuật toán hồi quy như RFR, XGBR, MLPR và phương pháp MinMaxScaler nhằm đưa các giá trị về khoảng [0, 1] phục vụ tính toán cho thuật toán CNN (Hình 2b).

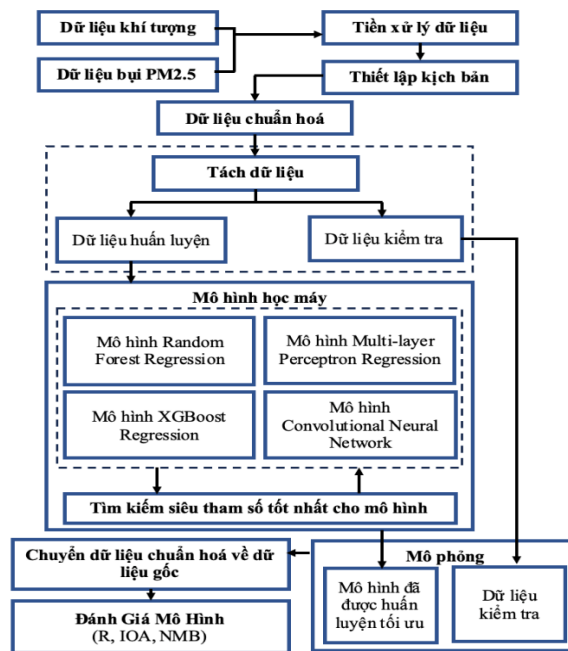
Sau khi đã chuẩn hóa dữ liệu, nghiên cứu tiến hành phân chia dữ liệu thành hai phần phục vụ quá trình huấn luyện và kiểm tra mô hình theo tỷ lệ 80:20, tức là 80% dữ liệu được sử dụng cho quá trình huấn luyện nhằm tìm bộ thông số tối ưu của mô hình và 20% dữ liệu phục vụ quá trình kiểm tra nhằm đánh giá hiệu quả, độ tin cậy của các mô hình.



Hình 2. Đặc trưng bộ dữ liệu sau khi chuẩn hóa: (a) Phương pháp StandardScaler, (b) Phương pháp MinMaxScaler.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, các thuật toán Random Forest Regression (RFR), XGBoost Regression (XGBR), Multilayer Perceptron Regression (MLPR) và Convolutional Neural Network (CNN) sẽ được áp dụng để xây dựng mô hình mô phỏng nồng độ bụi PM_{2.5}. Hình 3 thể hiện quy trình thực hiện tổng quát nhằm xác định cấu trúc và bộ thông số mô hình tối ưu mô phỏng nồng độ bụi PM_{2.5} tại khu vực trung tâm TP.HCM, các bước chính cụ thể như sau: (1) thu thập và tiền xử lý dữ liệu; (2) chuẩn hóa dữ liệu, (3) phân chia dữ liệu, (4) tính tương quan riêng phần giữa nồng độ PM_{2.5} và các thông số khí tượng, từ đó xây dựng các kịch bản tính, (5) lựa chọn và xây dựng các thuật toán học máy và học sâu bằng ngôn ngữ lập trình Python, (6) huấn luyện và kiểm tra mô hình, xác định thuật toán và bộ thông số tối ưu mô phỏng nồng độ bụi PM_{2.5} tại khu vực nghiên cứu.



Hình 3. Quy trình xây dựng mô hình.

2.2.1. Thuật toán Random Forest Regression (RFR)

Thuật toán RFR được giới thiệu bởi [28], là một phương pháp học tập tổng thể có giám sát hoạt động dựa trên cây quyết định. Thuật toán này có thể được sử dụng cho cả phân loại và hồi quy, rất linh hoạt và nhanh chóng. Nghiên cứu này sử dụng thuật toán hồi quy để mô phỏng nồng độ PM_{2.5}. Cách hoạt động của thuật toán RFR bao gồm các bước như sau: (1) Chọn ngẫu nhiên một số mẫu từ tập dữ liệu huấn luyện ban đầu để tạo ra các tập dữ liệu con

khác nhau; (2) Xây dựng một cây quyết định trên mỗi tập dữ liệu con; (3) Kết hợp mô phỏng của các cây quyết định bằng cách tính trung bình hoặc biểu quyết theo đa số các mô phỏng độc lập từ các cây quyết định.

2.2.2. Thuật toán XGBoost Regression (XGBR)

Thuật toán XGBR là một trong những thuật toán học máy phổ biến được sử dụng trong bài toán mô phỏng giá trị liên tục (hồi quy). Đây là một thuật toán học máy dựa trên kỹ thuật gradient boosting. Thuật toán XGBR sử dụng nhiều cây quyết định để học, trong đó mỗi cây quyết định được xây dựng dựa trên các trọng số của các cây trước đó. XGBR sử dụng các hàm mất mát để tối ưu hóa thuật toán, đồng thời áp dụng các kỹ thuật regularization để tránh hiện tượng quá khớp (overfitting) [29].

2.2.3. Thuật toán Multilayer Perceptron Regression (MLPR)

Thuật toán MLPR là một thuật toán mạng nơ-ron nhân tạo được sử dụng cho bài toán hồi quy, cấu trúc gồm lớp đầu vào, các lớp ẩn, và lớp đầu ra. Cụ thể, lớp đầu vào nhận các đặc trưng của dữ liệu đầu vào và chuyển chúng vào mạng nơ-ron. Số lượng nơ-ron trong lớp đầu vào phụ thuộc vào số lượng đặc trưng trong dữ liệu. Các lớp ẩn nằm giữa lớp đầu vào và lớp đầu ra. Mỗi lớp ẩn chứa một số lượng nơ-ron được chọn trước, số lượng và kích thước của các lớp ẩn có thể khác nhau tùy thuộc vào độ phức tạp của bài toán và khả năng học của thuật toán. Lớp đầu ra chứa một số lượng nơ-ron tương ứng với số lượng biến mục tiêu trong bài toán hồi quy, mỗi nút trong lớp đầu ra tính toán giá trị mô phỏng của biến mục tiêu.

Các nơ-ron trong các lớp đầu vào, lớp ẩn và lớp đầu ra kết nối với nhau thông qua các trọng số và hàm kích hoạt. Quá trình tính toán trong MLPR được thực hiện bằng cách lan truyền thuận, trong đó thông tin được truyền từ lớp đầu vào qua các lớp ẩn và cuối cùng đến lớp đầu ra để tạo ra dự đoán.

2.2.4. Thuật toán Convolutional Neural Network CNN

Thuật toán CNN đã được phát triển với bốn ý tưởng: trường tiếp nhận cục bộ (*Local receptive field*), trọng số chung (*Shared weights*), lấy mẫu con không gian (*Spatial subsampling*) và sử dụng nhiều lớp (*Pooling layer*). Một trong những lợi ích của mạng này là trọng số được chia sẻ giúp giảm số lượng tham số. Một thuật toán CNN điển hình bao gồm ba loại lớp: lớp tích chập (*Convolutional layer*), lớp lấy mẫu con (*Subsampling layer*) và lớp kết nối đầy đủ (*Fully connected layer*) [30].

Trong lĩnh vực môi trường, thuật toán CNN 1D có thể được áp dụng để phân tích và mô phỏng các dữ liệu liên quan đến môi trường như dữ liệu khí quyển, chất lượng không khí, và dữ liệu địa chất. Cụ thể, CNN 1D có khả năng xử lý các chuỗi dữ liệu không gian và thời gian, như dữ liệu về nồng độ ô nhiễm không khí theo thời gian, dữ liệu về thay đổi khí hậu, hay dữ liệu về sự biến đổi địa chất trong một khu vực.

2.3. Đánh giá hiệu quả mô phỏng

Hiệu quả mô phỏng của các mô hình được đánh giá bằng phương pháp đồ thị và phương pháp thống kê nhằm so sánh chất lượng và độ tin cậy của kết quả mô phỏng từ các mô hình với số liệu thực đo. Trong nghiên cứu này, các chỉ số được dùng để đánh giá độ hiệu quả của các mô hình bao gồm hệ số tương quan riêng phần pearson (r), chỉ số tương đồng (IOA) và độ lệch trung bình chuẩn hoá (NMB). Cách tính của từng chỉ số được trình bày lần lượt trong các công thức 1, công thức 2 và công thức 3. Tiêu chuẩn đánh giá hiệu quả mô phỏng của mô hình dựa trên ba chỉ số thống kê r , IOA và NMB được thể hiện ở Bảng 2.

$$R = \frac{\sum[(P_j - \bar{P}) \times (O_j - \bar{O})]}{\sqrt{\sum(P_j - \bar{P})^2 \times \sum(O_j - \bar{O})^2}} \text{ với, } -1 \leq R \leq 1 \quad (1)$$

$$IOA = 1 - \frac{\sum(P_j - O_j)^2}{\sum(|P_j - \bar{O}| + |O_j - \bar{O}|)^2} \text{ với } 0 \leq IOA \leq 1 \tag{2}$$

$$NMB = \frac{\sum(P_j - O_j)}{\sum O_j} \times 100 \text{ với } -100\% \leq NMB \leq +\infty \tag{3}$$

Bảng 2. Tiêu chuẩn đánh giá cho các mô hình thuật toán với ba chỉ số R, IOA và NMB [31].

Chỉ số thống kê	Mức tiêu chuẩn	PM _{2.5}
r	Mục tiêu	> 0,70
	Tiêu chuẩn	> 0,60
IOA	Mục tiêu	> 0,80
	Tiêu chuẩn	> 0,70
NMB	Mục tiêu	< ±10%
	Tiêu chuẩn	< ±20%

Trong đó P_j và O_j là giá trị quan sát thứ j của giá trị mô phỏng và giá trị thực tế, \bar{P} và \bar{O} là giá trị trung bình của giá trị mô phỏng và giá trị thực tế.

2.4. Xây dựng kịch bản mô phỏng

Các kịch bản mô phỏng được xác định dựa trên mức độ tương quan giữa từng thông số khí tượng với nồng độ bụi PM_{2.5}, theo đó thông số nhiệt độ có mức độ tương quan cao nhất với r = 0,296, tiếp theo lần lượt là tốc độ gió, số giờ nắng, độ ẩm, hướng gió và lượng mưa là thông số có mức độ tương quan thấp nhất với nồng độ PM_{2.5}. Kết quả tính toán giá trị tương quan đối với từng thông số được trình bày trong Bảng 3. Các biến đầu vào của các kịch bản được xác định dựa trên số lượng biến đầu vào và mức độ tương quan từ cao đến thấp, theo đó 6 kịch bản mô phỏng được xây dựng và thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 3. Hệ số tương quan Pearson (r) giữa các biến đầu vào với bụi PM_{2.5}.

Thông số	Nhiệt độ (T)	Hướng gió (WD)	Tốc độ gió (W)	Độ ẩm (H)	Số giờ nắng (S)	Lượng mưa (R)
r	0,296	0,072	0,282	0,108	0,152	0,066

Bảng 4. Các kịch bản mô phỏng.

Kịch Bản	Biến đầu vào
KB1	Nhiệt độ (T)
KB2	Nhiệt độ (T), Tốc độ gió (W)
KB3	Nhiệt độ (T), Tốc độ gió (W), Số giờ nắng (S)
KB4	Nhiệt độ (T), Tốc độ gió (W), Số giờ nắng (S), độ ẩm (H)
KB5	Nhiệt độ (T), Tốc độ gió (W), Số giờ nắng (S), độ ẩm (H), Hướng gió (WD)
KB6	Nhiệt độ (T), Tốc độ gió (W), Số giờ nắng (S), độ ẩm (H), Hướng gió (WD), Lượng mưa (R)

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá hiệu quả mô phỏng của mô hình

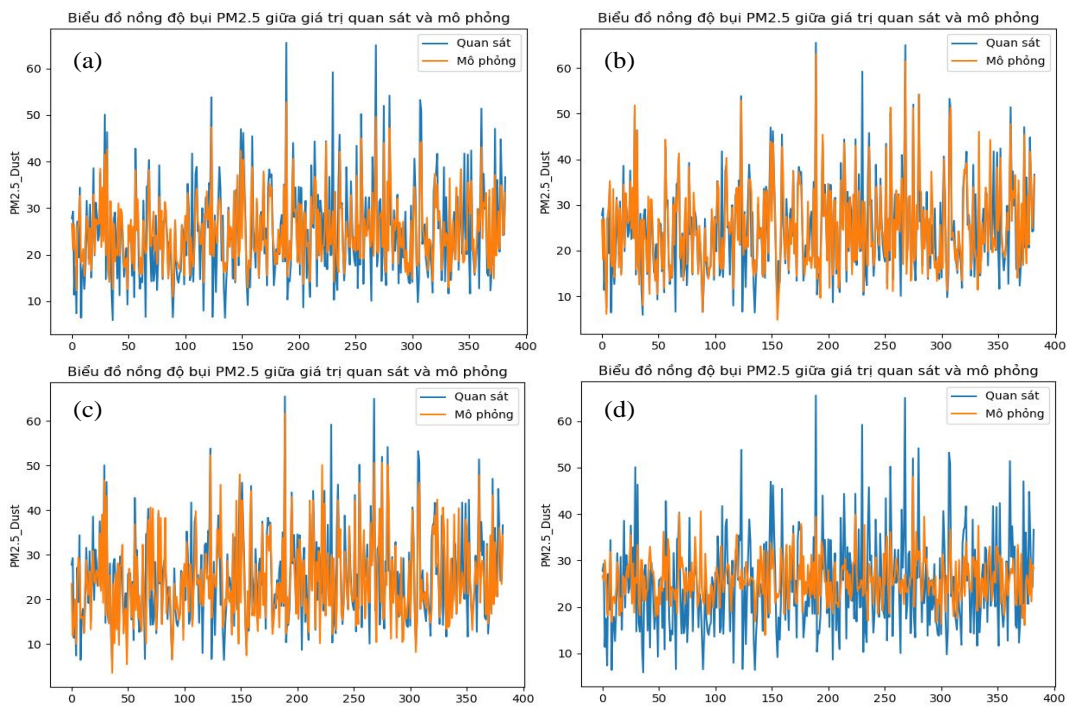
Kết quả đánh giá hiệu quả mô phỏng nồng độ bụi PM_{2.5} theo 6 kịch bản bằng các thuật toán dựa theo các chỉ số r, IOA và NMB được thể hiện trong Bảng 5. Thuật toán có hiệu quả mô phỏng tốt nhất nghĩa là có sự khác biệt nhỏ nhất với nồng độ bụi PM_{2.5} quan trắc.

Đối với thuật toán RFR, kết quả mô phỏng không tốt ở các kịch bản KB1 và KB2 với r thấp hơn 0,6, IOA thấp hơn 0,7 và NMB lớn hơn 10%, kịch bản KB3 đạt mức tiêu chuẩn. Ngược lại, hiệu quả mô phỏng đạt mức tốt ở các kịch bản KB4, KB5 và KB6 với r lớn hơn 0,7, IOA lớn hơn 0,8 và NMB bé hơn 10%, trong đó KB6 với 6 biến đầu vào cho hiệu quả mô phỏng tốt nhất với các giá trị r = 0,838, IOA = 0,887 và NMB = 9,078. Đồ thị so sánh nồng độ PM_{2.5} quan trắc và mô phỏng với kịch bản tốt nhất KB6 được thể hiện trong Hình 4a.

Đối với thuật toán XGBR, các kịch bản với 3 thông số khí tượng đầu vào là nhiệt độ, tốc độ gió, số giờ nắng cho kết quả mô phỏng chưa đạt, trong khi đó hiệu quả mô phỏng đạt mức tốt ở các kịch bản KB4, KB5 và KB6 với R lớn hơn 0,7, IOA lớn hơn 0,8 và NMB bé hơn 10%, và kịch bản KB6 với 06 thông số đầu vào cho hiệu quả mô phỏng tốt nhất với các giá trị $r = 0,854$, $IOA = 0,922$ và $NMB = 6,711$ (Hình 4b).

Đối với thuật toán MLPR, hiệu quả mô phỏng không tốt ở các kịch bản KB1, KB2, KB3 và KB4 với r thấp hơn 0,6, IOA thấp hơn 0,7 và NMB lớn hơn 10%, và kịch bản KB6 đạt hiệu quả mô phỏng tốt nhất với $r = 0,771$, $IOA = 0,875$ và $NMB = 3,217$ (Hình 4c).

Đối với thuật toán CNN, kết quả cho thấy thuật toán CNN không thể mô phỏng tốt nồng độ bụi $PM_{2.5}$ tại khu vực nghiên cứu, cụ thể kết quả so sánh giữa nồng độ $PM_{2.5}$ quan trắc và mô phỏng cho thấy r thấp hơn 0,5, IOA thấp hơn 0,7 và NMB đều lớn hơn 10% ở tất cả các kịch bản. Ngoài ra, đồ thị thể hiện kết quả mô phỏng trong kịch bản KB6 (Hình 4d) cho thấy, giá trị nồng độ bụi $PM_{2.5}$ mô phỏng từ thuật toán CNN nhỏ hơn rất nhiều so với giá trị quan trắc.



Hình 4. Kết quả mô phỏng nồng độ bụi $PM_{2.5}$ tốt nhất của bốn thuật toán: (a) RFR - KB6; (b) XGBR - KB6; (c) MLPR - KB6; (d) CNN - KB6.

Bảng 5. Hiệu quả mô phỏng nồng độ bụi $PM_{2.5}$ cho các kịch bản giữa các thuật toán trong quá trình kiểm tra.

Thuật toán	Chỉ số	Kịch Bản					
		KB1	KB2	KB3	KB4	KB5	KB6
RFR	r	0,302	0,476	0,759	0,79	0,835	0,839
	IOA	0,483	0,658	0,837	0,862	0,884	0,887
	NMB	17,901	15,167	11,21	9,373	8,965	9,078
XGBR	r	0,332	0,396	0,392	0,775	0,826	0,854
	IOA	0,508	0,556	0,604	0,881	0,909	0,922
	NMB	17,185	15,996	15,893	6,106	2,408	6,711
MLPR	r	0,253	0,39	0,523	0,568	0,7	0,771
	IOA	0,414	0,528	0,701	0,732	0,83	0,875
	NMB	18,888	18,463	20,031	5,763	16,87	3,217
CNN	r	0,238	0,367	0,388	0,432	0,448	0,454
	IOA	0,379	0,491	0,506	0,558	0,571	0,578
	NMB	23,636	20,61	19,39	20,607	22,094	20,091

3.2. Bộ tham số thuật toán tối ưu

Nhìn chung, các kết quả cho thấy, kịch bản KB6 với 6 thông số khí tượng đầu vào là nhiệt độ (T), tốc độ gió (W), số giờ nắng (S), độ ẩm (H), hướng gió (WD) và lượng mưa (R) ở cả 4 thuật toán đều cho hiệu quả mô phỏng tốt nhất. Bên cạnh đó, khi so sánh hiệu quả mô phỏng tốt nhất giữa bốn thuật toán, kết quả từ Hình 4 và Bảng 5 cho thấy XGBR cho hiệu quả mô phỏng nồng độ bụi PM_{2.5} tại khu vực trung tâm TP.HCM tối ưu nhất. Bộ tham số tối ưu của thuật toán XGBR được thể hiện trong Bảng 6, bao gồm các siêu tham số max_depth, gamma, learning_rate, n_estimators, subsample, giá trị các siêu tham số này được xác định bằng hàm GridSearchCV với thời gian huấn luyện là 30 phút. Kết quả này tương đồng với kết quả trong nghiên cứu [20], nghiên cứu này cũng sử dụng các thuật toán RF, XGB và DNN cùng với bộ dữ liệu khí tượng để dự báo nồng độ PM_{2.5} và cho thấy XGB cho hiệu quả mô phỏng tốt nhất. Xét về bộ tham số tối ưu, giá trị của tham số max_depth ở hai nghiên cứu giống nhau đều bằng 8, riêng các tham số gamma và n_estimators của nghiên cứu [20] lần lượt là 0,7 và 200, có sự chênh lệch so với nghiên cứu này. Điều này có thể do sự khác biệt về đặc trưng và độ lớn của bộ dữ liệu sử dụng.

Bảng 6. Bộ tham số tối ưu của thuật toán XGBR.

Tham số	Ý nghĩa tham số	Giá trị
learning_rate	Kiểm soát sự ảnh hưởng của mỗi cây quyết định đến kết quả và tốc độ học của XGB.	0,6
max_depth	Độ sâu tối đa của mỗi cây. Cây sâu hơn có thể nắm bắt được các tương tác phức tạp hơn nhưng có thể gây overfitting.	8
gamma	Xác định mức độ giảm tối thiểu của hàm mất mát cần đạt được để tiếp tục phân chia một nút cây.	0,2
subsample	Kiểm soát tỷ lệ mẫu được sử dụng để huấn luyện từng cây.	0,6
colsample_bytree	Kiểm soát tỷ lệ cột (biến đầu vào) được sử dụng để huấn luyện từng cây.	0,6
n_estimators	Số lượng cây sẽ được xây dựng trong quá trình huấn luyện. Tăng số lượng cây có thể cải thiện hiệu suất nhưng cũng tăng thời gian huấn luyện.	300

Bên cạnh đó, từ bảng thống kê hiệu quả mô phỏng ở 6 kịch bản trong Bảng 5 có thể thấy, kết quả trong KB6 và KB5 không có sự chênh lệch nhiều ở thuật toán XGBR, và kết quả khi sử dụng 05 thông số đầu vào vẫn đạt hiệu quả mô phỏng cao với $r = 0,826$, $IOA = 0,909$ và $NMB = 2,408$, vì vậy có thể thấy yếu tố lượng mưa không ảnh hưởng nhiều đến nồng độ bụi PM_{2.5} tại khu vực nghiên cứu. Do đó, trong trường hợp không đủ dữ liệu lượng mưa vẫn có thể sử dụng 05 thông số khí tượng là nhiệt độ, tốc độ gió, số giờ nắng, độ ẩm, hướng gió để mô phỏng nồng độ PM_{2.5} mà vẫn đảm bảo hiệu quả mô phỏng.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã thực hiện mô phỏng nồng độ bụi PM_{2.5} tại khu vực trung tâm TP.HCM bằng thuật toán học máy và học sâu bao gồm bốn thuật toán RFR, XGBR, MLPR và CNN. Sáu kịch bản mô phỏng được xây dựng dựa trên mức độ tương quan riêng phần giữa nồng độ PM_{2.5} và sáu thông số khí tượng: nhiệt độ, tốc độ gió, số giờ nắng, độ ẩm, hướng gió và lượng mưa. Kết quả mô phỏng nồng độ bụi PM_{2.5} được đánh giá thông qua các chỉ số r, IOA và NMB.

Kết quả cho thấy các thuật toán học máy như RFR, XGBR và MLPR đạt được độ chính xác và hiệu suất tốt trong việc mô phỏng nồng độ bụi PM_{2.5}. Đặc biệt, thuật toán XGBR với 06 thông số đầu vào đã đạt hiệu quả mô phỏng cao nhất với các chỉ số $r = 0,854$, $IOA = 0,922$ và $NMB = 6,711$. Kết quả này cho thấy khả năng của thuật toán học máy trong mô phỏng diễn biến chất lượng không khí thông qua nồng độ bụi PM_{2.5} là rất tốt. Kết quả của nghiên cứu có thể được sử dụng trong những bài toán về mô phỏng nồng độ bụi tại khu vực trung tâm TP.HCM, cũng như những khu vực khác có điều kiện tương tự.

Trong những nghiên cứu tiếp theo, để nâng cao hiệu quả mô phỏng sẽ xem xét đến những thông số chất lượng không khí khác như CO₂, SO₂,... như các biến đầu vào và thử nghiệm các thuật toán khác. Bên cạnh đó, xem xét mở rộng mô phỏng, dự báo các thông số ô nhiễm khác phục vụ quá trình quản lý và kiểm soát ô nhiễm không khí trên địa bàn TP.HCM.

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

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. Riojas-Rodríguez, H.; Romieu, I.; Hernández-Ávila, M. Air pollution. Occupational and Environmental Health. Oxford University Press: Oxford, UK, 2017, pp. 345–364.
2. Brunekreef, B.; Holgate, S.T. Air pollution and health. *Lancet* **2002**, *360*, 1233–1242.
3. Guarneri, M.; Balmes, J.R. Outdoor air pollution and asthma. *Lancet* **2014**, *383*, 1581–1592.
4. Akimoto, H. Global air quality and pollution. *Science* **2003**, *302*, 1716–1719.
5. Wang, Z. Energy and air pollution. Comprehensive Energy Systems. Elsevier: Amsterdam, Netherlands, **2018**, pp. 909–949.
6. Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban For. Urban Green* **2006**, *4*, 115–123.
7. WHO. 7 million premature deaths annually linked to air pollution, 2014.
8. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia năm 2021 - Môi trường không khí, thực trạng và giải pháp, 2022.
9. Shen, H.; Li, T.; Yuan, Q.; Zhang, L. Estimating regional ground-level PM_{2.5} directly from satellite top-of-atmosphere reflectance using deep belief networks. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **2018**, *123*, 13875–13886.
10. Al Hanai, A.H.; Antkiewicz, D.S.; Hemming, J.D.C.; Shafer, M.M.; Lai, A.M.; Arhami, M.; Hosseini, V.; Schauer, J.J. Seasonal variations in the oxidative stress and inflammatory potential of PM_{2.5} in Tehran using an alveolar macrophage model: The role of chemical composition and sources. *Environ. Int.* **2019**, 417–427.
11. Laden, F.; Schwartz, J.; Speizer, F.E.; Dockery, D.W. Reduction in fine particulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities Study. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* **2006**, *173*, 667–672.
12. Evans, J.; van Donkelaar, A.; Martin, R.V.; Burnett, R.; Rainham, D.G.; Birkett, N.J.; Krewski, D. Estimates of global mortality attributable to particulate air pollution using satellite imagery. *Environ. Res.* **2013**, *120*, 33–42.
13. Rojas-Rueda, D.; de Nazelle, A.; Teixidó, O.; Nieuwenhuijsen, M.J. Health impact assessment of increasing public transport and cycling use in Barcelona: A morbidity and burden of disease approach. *Prev. Med.* **2013**, *57*, 573–579.
14. IQAir/AirVisual. World Air Quality Report 2021, 2022.
15. VNU-UET, Live&Learn và USAID. Hiện trạng bụi PM_{2.5} ở Việt Nam giai đoạn 2019-2020 sử dụng dữ liệu đa nguồn. Báo cáo được phối hợp thực hiện bởi Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội (VNU-UET), Trung tâm Sống và Học tập vì Môi trường và Cộng đồng (Live&Learn) và Cơ quan Phát triển Quốc tế Hoa Kỳ (USAID), 2021, tr. 34-35.
16. VNU-UET, Live&Learn và USAID. Báo cáo hiện trạng bụi PM_{2.5} và tác động sức khỏe tại Việt Nam năm 2021. Báo cáo được phối hợp thực hiện bởi Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội (VNU-UET), Trung tâm Sống và Học tập vì

- Môi trường và Cộng đồng (Live&Learn) và Cơ quan Phát triển Quốc tế Hoa Kỳ (USAID), 2022.
17. Pak, U; Ma, J; Ryu, U; Ryom, K; Juhyok, U; Pak, K; Pak, C. Deep learning-based PM_{2.5} prediction considering the spatiotemporal correlations: A case study of Beijing, China. *Sci. Total Environ.* **2020**, 699, 133561.
 18. Jinghui, M.; Zhongqi, Y.; Qu, Y.; Xu, J.; Cao, Y. Application of the XGBoost Machine Learning Method in PM_{2.5} Prediction: A Case Study of Shanghai. *Aerosol Air Qual. Res.* **2020**, 20, 128–138.
 19. Yumimoto, K.; Uno, I. Adjoint inverse modeling of CO emissions over Eastern Asia using four dimensional variational data assimilation. *Atmos. Environ.* **2006**, 40, 6836–6845.
 20. Zamani Joharestani, M.; Cao, C.; Ni, X.; Bashir, B.; Talebiesfandarani, S. PM_{2.5} Prediction Based on Random Forest, XGBoost, and Deep Learning Using Multisource Remote Sensing Data. *Atmosphere* **2019**, 10, 373.
 21. Plocoste, T.; Laventure, S. Forecasting PM₁₀ Concentrations in the Caribbean Area Using Machine Learning Models. *Atmosphere* **2023**, 14, 134.
 22. Lei, T.M.T.; Siu, S.W.I.; Monjardino, J.; Mendes, L.; Ferreira, F. Using machine learning methods to forecast air quality: A case study in Macao. *Atmosphere* **2022**, 13, 1412.
 23. Mahmud, S.; Ridi, T.B.I.; Miah, M.S.; Sarower, F.; Elahee, S. Implementing machine learning algorithms to predict particulate matter (PM_{2.5}): A case study in the Paso del Norte Region. *Atmosphere* **2022**, 13, 2100.
 24. Huang, C.J.; Kuo, P.H. A deep CNN-LSTM model for particulate matter (PM_{2.5}) forecasting in smart cities. *Sensors* **2018**, 18, 2220.
 25. Qi, Y.; Li, Q.; Karimian, H.; Liu, D. A hybrid model for spatiotemporal forecasting of PM_{2.5} based on graph convolutional neural network and long short-term memory. *Sci. Total Environ.* **2019**, 664, 1–10.
 26. Qin, D.; Yu, J.; Zou, G.; Yong, R.; Zhao, Q.; Zhang, B. A novel combined prediction scheme based on CNN and LSTM for urban PM_{2.5} concentration. *IEEE Access* **2019**, 7, 20050–20059.
 27. Tong, W.; Li, L.; Zhou, X.; Hamilton, A.; Zhang, K. Deep learning PM_{2.5} concentrations with bidirectional LSTM RNN. *Air Qual. Atmos. Health* **2019**, 12, 411–423.
 28. Liaw, A.; Wiener. Classification and Regression by RandomForest. *R. News* **2002**, 2(3), 18–22.
 29. Chen, H.; Deng, G.; Liu, Y. Monitoring the influence of industrialization and urbanization on spatiotemporal variations of AQI and PM_{2.5} in three provinces, China. *Atmosphere* **2022**, 13(9), 1377.
 30. Lecun, Y.; Bottou, L.; Bengio, Y.; Haffner, P. Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, **1998**, 86(11), 2278–2324.
 31. Huang, L.; Zhu, Y.; Zhai, H.; Xue, S.; Zhu, T.; Shao, Y.; Liu, Z.; Emery, C.; Yarwood, G.; Wang, Y.; Fu, J.; Zhang, K.; Li, L. Recommendations on benchmarks for numerical air quality model applications in China - Part 1: PM_{2.5} and chemical species. *Atmos. Chem. Phys.* **2021**, 21, 2725–2743.

Simulation of PM_{2.5} concentration in the metropolitan region of Ho Chi Minh City utilizing machine learning and deep learning algorithms

Nguyen Phuc Hieu¹, Nguyen Nhat Duong¹, Do Quang Linh¹, Dao Nguyen Khoi^{1*}

¹ Faculty of Environment, University of Science, VNU-HCM; phuchieu50@gmail.com; 19170139@student.hcmus.edu.vn; dqlinh@hcmus.edu.vn; dnkhai@hcmus.edu.vn

Abstract: The research employs three machine learning algorithms: Random Forest Regression (RFR), XGBoost Regression (XGBR), and Multilayer Perceptron Regression (MLPR), and a Convolutional Neural Network (CNN) deep learning algorithm, to simulate PM_{2.5} concentration in the metropolitan region of Ho Chi Minh City. The dataset used spans from 2016 to 2021 and includes daily PM_{2.5} concentration data from the U.S. Consulate General - Ho Chi Minh City station, as well as six daily meteorological parameters: temperature, wind direction, wind speed, humidity, sunshine hours, and rainfall collected from the Tan Son Hoa station. The dataset is then standardized and split into an 80:20 ratio for the training and testing phases. Based on the results of Pearson correlation analysis between meteorological parameters and PM_{2.5} concentration, six scenarios are created with different input parameters. The findings reveal that the three machine learning models are effective in simulating PM_{2.5} concentrations with correlation coefficient (r) values ranging from 0.770 to 0.854. The XGBR model performs the best when all six meteorological parameters are used, attaining an r of 0.771, an Index of Agreement (IOA) of 0.875, and a Normalized Mean Bias (NMB) of 3.217. Nonetheless, it is important to note that the CNN algorithm does not produce satisfactory results, with an r value less than 0.5 in all scenarios.

Keywords: PM_{2.5}; Machine learning; Deep learning; Ho Chi Minh City.

Bài báo khoa học

Khảo sát kết quả xử lý dữ liệu GNSS sử dụng các dịch vụ trực tuyến

Nguyễn Gia Trọng^{1,2}, Thái Trung Quốc³, Trần Đức Vinh⁴, Nguyễn Văn Cường^{2,5},
Huỳnh Nguyễn Định Quốc^{6*}

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

² Nhóm nghiên cứu Trắc địa cao cấp - môi trường, Trường Đại học Mở - Địa chất;
nguyengiatrong@humg.edu.vn; nvcuong7@monre.gov.vn

³ Công Ty Cổ Phần CIST Miền Nam; thaitrungquoc0404@gmail.com

⁴ Đoàn Đo đạc, biên vẽ hải đồ và nghiên cứu biển; vinhhtduc@gmail.com

⁵ Cục Biển và Hải đảo Việt Nam; nvcuong7@monre.gov.vn

⁶ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường thành phố Hồ Chí Minh;
hndquoc@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: hndquoc@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-907640797

Ban Biên tập nhận bài: 15/2/2024; Ngày phản biện xong: 25/3/2024; Ngày đăng bài:
25/7/2024

Tóm tắt: Nhiều dịch vụ xử lý dữ liệu GNSS trực tuyến đã được công bố nhưng chưa có khảo sát về khả năng ứng dụng các dịch vụ nêu trên trong công tác trắc địa - bản đồ tại Việt Nam. Bài báo tiến hành khảo sát để đánh giá khả năng áp dụng các dịch vụ xử lý dữ liệu trực tuyến như OPUS, AusPOS, GAPS, CRCS-PPP và GNSS converter với dữ liệu đo thu nhận được bởi trạm CORS với tên gọi CTHO thuộc mạng lưới VNGEONET của Việt Nam. Qua kết quả xử lý cho thấy độ chính xác xác định tọa độ về mặt bằng của 4 dịch vụ AusPOS, GAPS, CRCS-PPP và GNSS converter là rất tốt trong khi đó kết quả xử lý với OPUS chỉ đạt được độ chính xác ở mức cm. Dịch vụ CRCS-PPP cho độ lệch so với tọa độ trung bình và biến thiên các thành phần tọa độ tốt nhất ở mức 1 mm tiếp đó là các dịch vụ AusPOS, GAPS và GNSS converter đạt 2-3 mm. Đối với dịch vụ OPUS, độ lệch tọa độ trung bình và biến thiên tọa độ đều chỉ đạt ở mức cm. Kết quả nghiên cứu của bài báo khẳng định về tiềm năng khi ứng dụng dịch vụ xử lý dữ liệu trực tuyến trong công tác trắc địa - bản đồ tại Việt Nam.

Từ khóa: GNSS; PPP; Processing GNSS online; OPUS; AusPOS; CRCS-PPP.

1. Mở đầu

Các phương pháp xử lý dữ liệu GNSS cho ra các kết quả với độ chính xác khác nhau. Trong các trường hợp đòi hỏi độ chính xác cao, có thể áp dụng phương pháp định vị tuyệt đối chính xác (PPP) hoặc phương pháp xử lý dữ liệu dựa trên mạng lưới như Gamit/Globk, Bernese,... Khi chọn phương pháp PPP, người ta có thể sử dụng các dịch vụ dữ liệu trực tuyến như AusPOS, OPUS, hoặc sử dụng tính năng xử lý PPP có sẵn trong các phần mềm đã đề cập.

Định vị tuyệt đối chính xác được đề xuất từ rất sớm (năm 1976) [1]. Tuy nhiên, chưa được áp dụng ngay vào thực tế vì chưa có những nghiên cứu đánh giá về mặt độ chính xác đạt được cho mỗi mục tiêu ứng dụng cụ thể. Nghiên cứu [2] đã đánh giá độ chính xác xử lý PPP dựa trên dịch vụ định vị tuyệt đối của Canada (CRCS - Canadian Spatial Reference System). Kết quả định vị bằng PPP được so sánh với kết quả xử lý bằng phần mềm Bernese phiên bản 5.0 với độ lệch ở mức 4 mm theo hướng Bắc và phương thẳng đứng. Tuy nhiên,

với các nước đang phát triển hoặc các vùng xa xôi nơi mà hạ tầng định vị chưa phát triển thì phương pháp này hoàn toàn có thể được sử dụng [2]. Cũng sử dụng dịch vụ PPP CRCS, nghiên cứu [3] đã đánh giá độ chính xác xác định chiều dài cạnh được đo bằng máy thu một tần số với chiều dài lần lượt là 1, 6, 7 và 10 km. Dữ liệu đo được xử lý theo hai phương án đó là: (1) sử dụng dịch vụ CRCS và (2) xử lý cạnh theo phương pháp thông thường. Kết quả so sánh cho thấy, độ lệch chiều dài cạnh ở mức 3 dm. Kết quả xử lý sử dụng dịch vụ CRCS cũng đã được so sánh với kết quả xử lý sử dụng phần mềm mã nguồn mở RTKLib [4]. Dữ liệu đo được thu nhận tại hai điểm trong sáu ngày đo và được xử lý theo các dãy thời gian khác nhau bao gồm 0,5 giờ, 1 giờ, 2 giờ và 4 giờ.

Có nhiều dịch vụ xử lý dữ liệu GNSS trực tuyến theo phương pháp PPP đã được thiết lập bởi các quốc gia. Kết quả xử lý PPP của các dịch vụ như APPS, GAPS, CRCS-PPP, Magic-PPP đã được Qiuying Guo so sánh và đánh giá với dữ liệu đo của 23 trạm thường trực của IGS [5]. Các kết quả ước lượng giá trị tọa độ và độ trễ tầng đối lưu theo phương thiên đỉnh (ZTDs) được so sánh với các số liệu được công bố bởi IGS. Kết quả thực nghiệm cho thấy sự khác biệt giữa ZTD theo giá trị APPS và IGS hầu hết nằm trong khoảng ± 1 cm. Đối với PPP có thời gian quan sát ngắn, độ chính xác của các thành phần N/E trong khoảng thời gian quan sát 2, 1 và 0,5 giờ có thể đạt tương ứng khoảng 2-3, 2-7 và 3-8 cm, trong khi độ chính xác của các thành phần độ cao trắc địa là lần lượt là khoảng 3-5, 5-12 và 10-18 cm. Nghiên cứu [6] cũng đã đánh giá kết quả xử lý với các dịch vụ xử lý dữ liệu trực tuyến là APPS, GAPS, CRCS-PPP để xem xét khả năng ứng dụng các dịch vụ này tại châu Phi.

Kết quả xử lý với các dịch vụ CRCS-PPP, AusPOS, Auto-GIPSY đã được so sánh với kết quả xử lý bằng Grafnav và RTKLib trên cơ sở các dữ liệu đo thuộc mạng lưới NIGNET của Nigeria [7]. Với kết quả thực nghiệm thu được, các tác giả kết luận, các giải pháp xử lý dữ liệu GNSS trực tuyến có thể ứng dụng trong một số lĩnh vực đo đạc - bản đồ. Sử dụng giải pháp xử lý CRCS-PPP, nghiên cứu [8] đã kết luận rằng sử dụng kết hợp dữ liệu GPS+GLONASS cho kết quả tốt hơn so với chỉ sử dụng dữ liệu GPS.

Số lượng máy thu trong các lĩnh vực định vị GNSS động chiếm hơn 90% tổng số máy thu [1]. Độ chính xác cũng như thời gian hội tụ kết quả xử lý PPP thời gian thực đã được [9] đánh giá theo đó khi sử dụng kết hợp dữ liệu của 3 hệ thống GPS, GLONASS, BeiDou thì thời gian hội tụ giảm xuống xấp xỉ 8% và độ chính xác tăng lên xấp xỉ 8%. Sử dụng giải pháp ước lượng đồng hồ, độ chính xác xử lý hỗn hợp dữ liệu của các hệ thống vệ tinh GNSS đạt được sai số ở mức 4 cm về mặt bằng và 2 cm tương ứng về độ cao khi xử lý dữ liệu thời gian thực [10]. Khả năng xử lý của các giải pháp xử lý dữ liệu trực tuyến đã được nghiên cứu [12] so sánh với giải pháp sử dụng dịch vụ RTX. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, sử dụng dịch vụ xử lý dữ liệu GNSS trực tuyến góp phần giảm 75% thời gian so với phương pháp truyền thống. Độ lệch chuẩn tối đa thu được là 15,4 cm từ dịch vụ APPS với thời gian dưới hai giờ, trong khi độ lệch chuẩn tối thiểu là 0,07 cm và thu được từ CSRS-PPP với thời gian từ 6 đến 12 giờ.

Độ chính xác của dịch vụ định vị chính xác thời gian thực toàn cầu Trimble CenterPoint RTX đã được đánh giá bằng việc sử dụng dịch vụ CRCS-PPP. Kết quả đánh giá cho thấy định vị thời gian thực 3D đạt được độ chính xác đến từng centimet trong thời gian hội tụ vài phút [13]. Khả năng xử lý của các dịch vụ AusPOS, CRCS-PPP cũng đã được đánh giá khi so sánh với kết quả xử lý bằng các phần mềm thương mại xử lý cạnh ngắn như Compass Post Process và GNSS Solution. Kết quả thực nghiệm cho thấy, với mức khác biệt 5% về độ chính xác trong kết quả xử lý giữa các dịch vụ xử lý dữ liệu trực tuyến với các phần mềm thương mại chứng tỏ tính hiệu quả của các dịch vụ nêu trên [14]. Nghiên cứu [15] đã đánh giá kết quả xử lý dữ liệu GNSS sử dụng các dịch vụ AusPOS, OPUS, CRCS-PPP với Magic-GNSS và cho độ chính xác kết quả đạt được ở mức cm khi xử lý dữ liệu với độ dài 3 giờ.

Kết quả xử lý dữ liệu với các dịch vụ trực tuyến đã được đối chiếu với kết quả xử lý bằng các phần mềm mã nguồn mở [16, 17]. Trong nghiên cứu [16], công cụ xử lý PPPH Matlab đã được đánh giá so với các dịch vụ trực tuyến GAPS và CRCS-PPP. Từ kết quả xử lý bằng

nhiều dịch vụ trực tuyến và công cụ mã nguồn mở, PRIDE-PPPAR được xác định là có kết quả tốt nhất, với sai số trung bình là 5,52, 5,40 và 6,79 mm tương ứng với các hướng Đông, Bắc và độ cao [17].

Nghiên cứu [18, 19] đã tiến hành nghiên cứu và phát triển chương trình xử lý dữ liệu RINEX, với kết quả đạt được là phần mềm GNSS-Adj. Nghiên cứu đã xây dựng các mô đun liên quan đến định vị tuyệt đối thông thường, định vị tuyệt đối chính xác sử dụng phép lọc Kalman mở rộng, tìm kiếm số nguyên đa trị và định vị tương đối,...Nghiên cứu [20] đã áp dụng phương pháp phân tích dữ liệu từ một số trạm CORS tại Việt Nam trong giai đoạn 2016-2018 để xác định vận tốc chuyển dịch của vỏ trái đất. Trong nghiên cứu này, vận tốc chuyển dịch được xác định bằng phương pháp PPP đã được so sánh với kết quả từ phần mềm Bernese, với độ lệch lớn nhất đạt tới 6 mm.

Bằng cách sử dụng giải pháp xử lý PPP với công cụ PPPC, nghiên cứu [21] đã phân tích chuỗi chuyển dịch theo thời gian từ dữ liệu của một số trạm CORS trên lãnh thổ Việt Nam. Sau đó, các kết quả này đã được phân tích để tìm ra quy luật chuyển dịch của vỏ trái đất tại các vị trí tương ứng. Trong một nghiên cứu khác [22], việc kết hợp dữ liệu từ các hệ thống GPS, GALILEO, BEIDOU để thực hiện định vị tuyệt đối chính xác đã được áp dụng. Kết quả thực nghiệm cho thấy độ chính xác các thành phần tọa độ đã được cải thiện lên đến 60% so với việc chỉ sử dụng dữ liệu từ hệ thống GPS.

Từ các phân tích nêu trên có thể thấy, kết quả xử lý dữ liệu GNSS bởi các dịch vụ trực tuyến cho kết quả và độ chính xác khác nhau. Bên cạnh đó, chưa có nghiên cứu nào tại Việt Nam đánh giá về kết quả xử lý dữ liệu GNSS trực tuyến với các dịch vụ khác nhau. Mục tiêu của nghiên cứu này đó là khảo sát kết quả nhận được bởi 5 dịch vụ xử lý dữ liệu GNSS trực tuyến đó là OUPS, AusPOS, GAPS, CRCS-PPP và GNSS converter.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Các dịch vụ xử lý dữ liệu trực tuyến

a) CRCS-PPP

CSRS-PPP là một dịch vụ trực tuyến để xử lý sau dữ liệu GNSS, cho phép người dùng xác định vị trí với độ chính xác cao từ dữ liệu quan sát gốc của họ. Các ước lượng của CSRS được tính toán từ các quan sát pha mang hoặc mã pseudo-range của cả bộ thu tần số đơn và tần số kép. Người dùng có thể gửi dữ liệu quan sát trong định dạng RINEX từ bộ thu tần số đơn hoặc tần số kép hoạt động ở chế độ tĩnh hoặc chuyển động qua internet để được xử lý tiếp [23].

b) GAPS

Phần mềm lõi trong dịch vụ GAPS đã được phát triển vào năm 2007 tại Đại học New Brunswick và cung cấp cho người dùng việc xác định vị trí chính xác ở cả chế độ đo tuyệt đối tĩnh và động. Thông qua việc sử dụng các sản phẩm quỹ đạo và đồng hồ chính xác được cung cấp bởi các nguồn như Dịch vụ GNSS Quốc tế (IGS) và Tài nguyên Tự nhiên Canada (NRCAN), có thể đạt được việc xác định vị trí cấp độ centimet ở chế độ tĩnh và cấp độ decimet ở chế độ chuyển động nếu có đủ thời gian hội tụ [24].

c) OPUS

OPUS là một dịch vụ xử lý dữ liệu GNSS trực tuyến miễn phí được quản lý và vận hành bởi Cơ quan Quản lý khí quyển và Đại dương Hoa Kỳ (NOAA). Dịch vụ này cho phép xử lý dữ liệu đo theo cả hai chế độ định vị là tĩnh nhanh và tĩnh. Các bước xử lý dữ liệu với OPUS bao gồm: (1) tải dữ liệu, (2) lựa chọn loại ăng ten, (3) khai báo chiều cao ăng ten, (4) cung cấp địa chỉ email để trung tâm xử lý gửi kết quả. Bên cạnh chế độ xử lý mặc định, dịch vụ còn cho phép người dùng thay đổi cấu hình xử lý ở mục xử lý nâng cao [25].

d) AusPos

AUSPOS là một cơ sở xử lý dữ liệu GNSS trực tuyến miễn phí được cung cấp bởi Geoscience Australia. Nó tận dụng cả Mạng Lưới Trạm IGS và phạm vi sản phẩm IGS.

AUSPOS hoạt động với dữ liệu thu thập ở bất kỳ nơi nào trên Trái Đất. Người sử dụng có thể gửi dữ liệu GPS RINEX chất lượng địa đạo tần số kép được quan sát trong chế độ “tĩnh” đến hệ thống xử lý dữ liệu GPS. Kết quả xử lý sẽ được gửi tới email của người dùng với tọa độ của điểm được tính trong các hệ tọa độ như GDA2020, GDA94 hoặc khung tham chiếu trái đất quốc tế (ITRF) [26].

e) GNSS converter

Nền tảng này, do Hexagon Positioning Intelligence xây dựng và vận hành, mang lại các dịch vụ GNSS đa dạng như các giải pháp định vị PPP, RTK, định vị mạng, cùng các giải pháp tăng khí quyển và quỹ đạo chính xác. Hơn nữa, nền tảng này cũng cung cấp các giải pháp quan trắc biến dạng sử dụng công nghệ GNSS [27].

2.2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

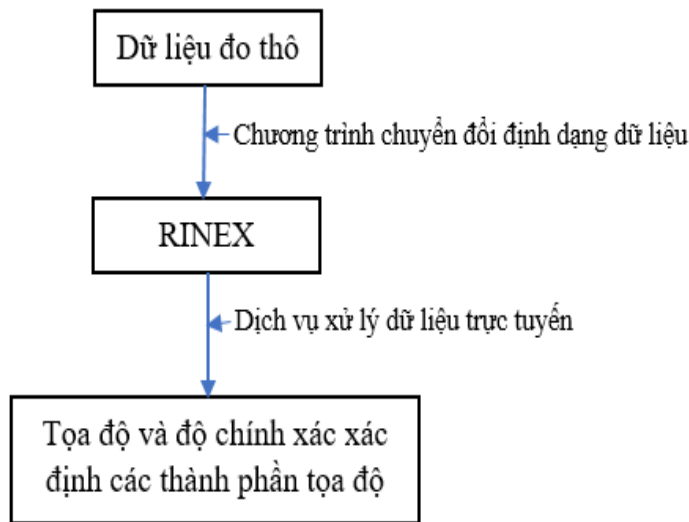
Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu này được cung cấp bởi Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam thu nhận bởi trạm CORS của mạng lưới VNGEONET có tên gọi CTHO đặt tại thành phố Cần Thơ. Các thông tin về dữ liệu sử dụng được cho như trong bảng 1.

Bảng 1. Thông tin về dữ liệu nghiên cứu.

Tên trạm	Thời gian	Giãn cách thu tín hiệu	Loại máy thu/ăng ten
CTHO	26/8/2019	30 giây	LEICA GR50/ LEIAR25.R4 LEIT
	01/01/2022		
	02/01/2022		
	03/01/2022		

Dữ liệu đo được chuyển đổi về định dạng dữ liệu RINEX trước khi đưa vào tính toán bởi các dịch vụ như đã được giới thiệu trong mục 2.1.

Khi xử lý dữ liệu, lựa chọn chế độ xử lý mặc định và chỉ cung cấp các thông tin như loại ăng ten, chiều cao ăng ten (nếu có). Tọa độ của trạm được tính toán trong hệ tọa độ ITRF-14. Phương pháp nghiên cứu được thể hiện như trong hình 1.



Hình 1. Quy trình thực nghiệm của bài báo.

3. Kết quả và thảo luận

Dữ liệu như đã mô tả trong bảng 1 được xử lý theo quy trình trong hình 1 sử dụng 5 dịch vụ xử lý dữ liệu trực tuyến là OPUS, AusPOS, GAPS, CRCS-PPP và GNSS converter với kết quả được cho tương ứng trong bảng 2 tới bảng 6.

Bảng 2. Kết quả xử lý với dịch vụ OPUS.

Tên trạm	Thời gian	Các thành phần tọa độ/ độ chính xác (m)		
		X/B/m _x /m _B	Y/L/m _y /m _L	Z/H/m _z /m _H
CTHO	26/8/2019	-1706954.144/10°01'	6044981.034/105°46'	1103170.784/3.465/
		36.56255"/0.053/0.004	06.15407"/0.018/0.046	0.006/0.032
	01/01/2022	-1706954.203/10°01'	6044980.972/105°46'	1103170.761/3.418/
		36.56204"/0.018/0.010	06.15648"/0.016/0.015	0.011/0.019
	02/01/2022	-1706954.198/10°01'	6044980.985/105°46'	1103170.766/3.430/
36.56215"/0.011/0.010		06.15623"/0.020/0.014	0.013/0.020	
03/01/2022	-1706954.166/10°01'	6044980.985/105°46'	1103170.758/3.420	
		36.56194"	06.15522"	
TB		1706954.189	6044980.981	1103170.762

Bảng 3. Kết quả xử lý với dịch vụ AusPOS.

Tên trạm	Thời gian	Các thành phần tọa độ/ độ chính xác (m)		
		X/B/m _B	Y/L/m _L	Z/H/m _H
CTHO	26/8/2019	-1706954.150/10°	6044981.017/105°46'	1103170.779/3.450/0.016
		01'36.5625"/0.008	06.1544"/0.006	
	01/01/2022	-1706954.208/10°	6044980.981/105°46'	1103170.759/3.428/0.011
		01'36.5619"/0.006	06.1566"/0.004	
	02/01/2022	-1706954.204/10°01'	6044980.981/105°46'	1103170.762/3.428/0.010
36.5620"/0.006		06.1564"/0.003		
03/01/2022	-1706954.207/10°01'	6044980.979/105°46'	1103170.761/3.426/0.011	
		36.5620"/0.007	06.1566"/0.004	
TB		-1706954.206	6044980.980	1103170.761

Bảng 4. Kết quả xử lý với dịch vụ GAPS.

Tên trạm	Thời gian	Các thành phần tọa độ/ độ chính xác (m)		
		X/B/m _x	Y/L/m _y	Z/H/m _z
CTHO	26/8/2019	-1706954.157/10°01'	6044980.998/105°46'	1103170.785/3.4354/0.001
		36.5628"/0.001	6.1548"/0.002	
	01/01/2022	-1706954.208/10°01'	6044980.968/105°46'	1103170.761/3.4164/0.001
		36.5621"/0.001	06.1567"/0.002	
	02/01/2022	-1706954.206/10°01'	6044980.964/105°46'	1103170.764/3.4118/0.001
36.5622"/0.001		06.1567"/0.002		
03/01/2022	-1706954.208/10°01'	6044980.965/105°46'	1103170.763/3.4133/0.001	
		36.5622"/0.001	06.1567"/0.002	
TB		-1706954.207	6044980.966	1103170.763

Bảng 5. Kết quả xử lý với dịch vụ CRCS-PPP.

Tên trạm	Thời gian	Các thành phần tọa độ/ độ chính xác (m)		
		X/B/m _B	Y/L/m _L	Z/H/m _H
CTHO	26/8/2019	-1706954.150/10°01'	6044981.014/105°46'	1103170.781/3.4473/0.009
		36.56253"/0.002	06.15445"/0.003	
	01/01/2022	-1706954.204/10°01'	6044980.976/105°46'	1103170.763/3.4224/0.009
		36.56208"/0.002	06.1565"/0.003	
	02/01/2022	-1706954.205/10°01'	6044980.977/105°46'	1103170.763/3.4239/0.010
36.56208"/0.002		06.15651"/0.003		
03/01/2022	-1706954.206/10°01'	6044980.976/105°46'	1103170.763/3.4229/0.010	
		36.56209"/0.002	06.15656"/0.003	
TB		-1706954.205	6044980.976	1103170.763

Bảng 6. Kết quả xử lý với dịch vụ GNSS converter.

Tên trạm	Thời gian	Các thành phần tọa độ/ độ chính xác (m)		
		X/B/m _x /m _B	Y/L/m _y /m _L	Z/H/m _z /m _H
CTHO	26/8/2019	-1706954.154/10°01'	6044981.010/105°46'	1103170.783/3.4448/0.001/0.004
		36.5626"/0.002/0.001	06.1546"/0.004/0.002	

Tên trạm	Thời gian	Các thành phần tọa độ/ độ chính xác (m)		
		X/B/m _X /m _B	Y/L/m _Y /m _L	Z/H/m _Z /m _H
	01/01/2022	-1706954.208/10°01' 36.5621"/0.002/0.001	6044980.982/105° 46' 06.1566"/0.004/0.002	1103170.765/3.4303/0.001/0.004
	02/01/2022	-1706954.207/10°01' 36.5621"/0.002/0.001	6044980.980/105° 46' 06.1566"/0.004/0.002	1103170.766/3.4279/0.001/0.004
	03/01/2022	-1706954.210/10°01' 36.5622"/0.002/0.001	6044980.985/105° 46' 06.1566"/0.004/0.002	1103170.766/3.4334/0.001/0.004
TB		-1706954.208	6044980.982	1103170.766

Trong bảng 2 đến bảng 6, giá trị các thành phần tọa độ trung bình (TB) được tính từ các thành phần tọa độ xác định được từ ngày 01/01 đến 03/01/2022. Kết quả xử lý với GNSS converter, OPUS cung cấp đầy đủ độ chính xác của các thành phần tọa độ; AusPOS, CRCS-PPP cung cấp độ chính xác xác định tọa độ trắc địa còn dịch vụ GAPS chỉ cung cấp độ chính xác xác định thành phần tọa độ X, Y, Z. Cấu trúc thông tin trong các bảng này bao gồm: X, Y, Z là các thành phần tọa độ trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm; B, L, H là các thành phần tọa độ trắc địa; m_B, m_L, m_H và m_X, m_Y, m_Z là độ chính xác xác định các thành phần tọa độ tương ứng. Từ kết quả trên có thể thấy, khi xử lý với các dịch vụ như GNSS converter, CRCS-PPP và GAPS cho độ chính xác xác định các thành phần tọa độ rất nhỏ (dưới 5 mm) ngoại trừ thành phần độ cao xác định với CRCS-PPP đạt 1 cm. Kết quả xử lý với hai dịch vụ còn lại cho độ chính xác kém hơn.

Nghiên cứu tiếp tục khảo sát giá trị độ lệch tọa độ trung bình và biến thiên các thành phần tọa độ giữa các ngày liên tiếp nhau với kết quả được thể hiện trên bảng 7.

Bảng 7. Độ lệch tọa độ trung bình và biến thiên tọa độ theo ngày.

Dịch vụ	Thời gian	Độ lệch so với tọa độ trung bình			Biến thiên tọa độ theo ngày		
		X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
OPUS	01/01/2022	-0,014	-0,009	-0,001			
	02/01/2022	-0,009	0,004	0,004	0,005	0,013	0,005
	03/01/2022	0,023	0,004	-0,004	0,032	0	-0,008
AusPOS	01/01/2022	-0,002	0,001	-0,002			
	02/01/2022	0,002	0,001	0,001	0,004	0,000	0,003
	03/01/2022	-0,001	-0,001	0,000	-0,003	-0,002	-0,001
GAPS	01/01/2022	-0,001	0,002	-0,002			
	02/01/2022	0,001	-0,002	0,001	0,002	-0,004	0,003
	03/01/2022	-0,001	-0,001	0,000	-0,002	0,001	-0,001
CRCS-PPP	01/01/2022	0,001	0,000	0,000			
	02/01/2022	0,000	0,001	0,000	-0,001	0,001	0,000
	03/01/2022	-0,001	0,000	0,000	-0,001	-0,001	0,000
GNSS converter	01/01/2022	0,000	0,000	-0,001			
	02/01/2022	0,001	-0,002	0,000	0,001	-0,002	0,001
	03/01/2022	-0,002	0,003	0,000	-0,003	0,005	0,000

Bảng 8 có thể thấy, khi xử lý với CRCS-PPP cho giá trị độ lệch so với tọa độ trung bình và biến thiên thành phần tọa độ theo ngày là nhỏ nhất. Các kết quả xử lý với GAPS, AusPOS, GNSS converter cho độ lệch lớn hơn một chút nhưng gần như đều nhỏ hơn 5 mm. Kết quả độ lệch các thành phần tọa độ xác định được khi sử dụng OPUS cho độ chính xác kém nhất (lên tới cm). Như vậy có thể thấy rằng, kết quả xác định sử dụng các dịch vụ xử lý dữ liệu trực tuyến (trừ dịch vụ OPUS) cho kết quả khá hội tụ và có thể xem xét để ứng dụng vào các công tác trắc địa tại Việt Nam.

Để thấy rõ hơn nữa hiệu quả xử lý của các dịch vụ, so sánh giá trị thay đổi độ cao (v_H) với kết quả xử lý sử dụng phần mềm Gamit/Globk với quy trình như trong [28] (PA1) và kết quả xác định trong [29] (PA2). Trong nghiên cứu [29], các tác giả sử dụng phần mềm Bernese phiên bản 5.2 để xác định lượng chuyển dịch các thành phần tọa độ của điểm trên cơ sở hai ngày độc lập. Theo đó, lượng chuyển dịch thành phần độ cao của điểm CTHO xác định được theo phương án này là -0,01 m/năm. Trong khi đó, nghiên cứu [28] phân tích

chuỗi dữ liệu GNSS thu nhận được từ ngày 26/8/2029 đến 18/03/2022 để xác định lượng chuyển các thành phần tọa độ. Kết quả xác định lượng chuyển dịch thành phần độ cao xác định được theo quy trình nêu trên đối với điểm CTHO là -0,014 m/năm. Kết quả so sánh sự thay đổi độ cao được thể hiện trên bảng 8.

Bảng 8. So sánh sự thay đổi độ cao.

Dịch vụ	vH (m)	Độ lệch (m)	
		PA1	PA2
OPUS	-0,018	-0,004	-0,008
AusPOS	-0,100	0,004	0,000
GAPS	-0,009	0,001	0,001
CRCS-PPP	-0,008	0,006	0,002
GNSS converter	-0,006	0,008	0,004

Bảng 8 có thể thấy, giá trị độ lệch độ cao xác định theo dịch vụ GAPS có độ lệch nhỏ nhất. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng việc xác định sự thay đổi về độ cao trong PA1 sử dụng chuỗi thời gian trong khoảng 2,5 năm.

4. Kết luận

Định vị tuyệt đối chính xác (PPP) được khẳng định có thể đạt được độ chính xác ở mức cm. Để phát huy ưu điểm của xử lý PPP, nhiều dịch vụ xử lý dữ liệu GNSS trực tuyến cũng như phần mềm mã nguồn mở đã được xây dựng và công bố. Các kết quả khảo sát trên thế giới cho thấy, hoàn toàn có thể ứng dụng trong nhiều nội dung công việc có sử dụng tín hiệu của các vệ tinh định vị và dẫn đường.

Bài báo đã tiến hành khảo sát xử lý dữ liệu GNSS thu nhận được bởi trạm thu GNSS CORS có tên CTHO sử dụng 5 dịch vụ xử lý PPP trực tuyến đó là OPUS, AusPOS, GAPS, CRCS-PPP và GNSS converter. Từ kết quả nhận được cho thấy, sử dụng các dịch vụ xử lý dữ liệu trực tuyến đạt kết quả tốt ngoại trừ dịch vụ OPUS cho độ chính xác thấp, độ lệch tọa độ trung bình cũng như biến thiên tọa độ lớn. Với độ chính xác xác định tọa độ đạt được như trên, hoàn toàn có thể ứng dụng kết quả đạt được với dịch vụ xử lý dữ liệu GNSS trực tuyến trong công tác trắc địa - bản đồ tại Việt Nam.

Bài báo mới khảo sát về độ lệch tọa độ, biến thiên các thành phần tọa độ từ kết quả xử lý sử dụng các dịch vụ xử lý dữ liệu GNSS trực tuyến độc lập. Trong thời gian tới, cần tiếp tục nghiên cứu để xác định giá trị độ lệch tọa độ xác định được khi sử dụng các dịch vụ xử lý dữ liệu trực tuyến với kết quả xử lý sử dụng các phần mềm như Bernese, Gamit/Glokb ... hoặc với tọa độ chính xác đã được công bố trước đó.

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

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

Lời cảm ơn: Các tác giả của bài báo trân trọng cảm ơn Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam đã cung cấp số liệu; đề tài cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường mã số TNMT.2024.02.07 đã cung cấp kinh phí để thực hiện nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

1. Teunissen, P.J.G.; Montenbruck, O. Handbook of global navigation satellite system. Springer 2017, e-ISBN: 978-3-319-42928-1.
2. Ebner, R.; Featherstone, W.E. How well can online GPS PPP post-processing services be used to establish geodetic survey control networks?. *J. Appl. Geod.* **2008**, 2(3), 149–157.

3. Mohamed, A.; Ashraf, F.; Farrag, A. Assessment study of using online (CSRS) GPS-PPP service for mapping applications in Egypt. *J. Geodetic Sci.* **2011**, 1(3), 233–239.
4. Grzegorz, K.; Karol, D.; Krzysztof, S. Comparison of position determination accuracy conducted by PPP technique using web-based online service and dedicated scientific software. Proceeding of the 9th International Conference “Environmental Engineering” 2014, enviro.2014.226. <http://dx.doi.org/10.3846/enviro.2014.226>.
5. Qiuying, G. Precision comparison and analysis of four online free PPP services in static positioning and tropospheric delay estimation. *GPS Solution* **2014**, 19(4), 537–544. <http://dx.doi.org/10.1007/s10291-014-0413-5>.
6. Abdallah, A.; Schwieger, V. Static GNSS precise point positioning using free online services for Africa. *Surv. Rev.* **2015**, 48(346), 61–77. <http://dx.doi.org/10.1179/1752270615Y.0000000017>.
7. Paolo, D.; Marco, P.; Kawuna, N.J. Statistical comparison of PPP solution obtained by Online Post-Processing Services. *IEEE* **2016**, 137–143.
8. Saad, B.; Ali, A.H.; El-Sayed, M.S.; Elbeah, M.N. Performance evaluation of precise point positioning (PPP) using CSRS-PPP online service. *Am. J. Geogr. Inf. Syst.* **2017**, 6(4), 156–167.
9. Naser, A.; Ardalan, A.A.; Roohollah, K.; Mohammad-Hadi, R. Performance assessment of multi-GNSS real-time PPP over Iran. *Adv. Space Res.* **2017**, 59(12), 2870–2879. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2017.03.024>.
10. Wenju, F.; Guanwen, H.; Qin, Z.; Shengfeng, G.; Maorong, G.; Harald, S. Multi-GNSS real-time clock estimation using sequential least square adjustment with online quality control. *J. Geod.* **2018**, 93(11), 963–976. <https://doi.org/10.1007/s00190-018-1218-z>.
11. Herbert, T.; Ibrahim, O.R. Comparative analysis of different online GNSS processing services. *Lagos J. Environ. Studies* **2019**, 10(1), 1–12.
12. Ahmed, E.S.; Yehia, M. Accuracy assessment of relative and precise point positioning online GPS processing services. *J. Appl. Geod.* **2019**, 13(3), 215–227. <https://doi.org/10.1515/jag-2018-0046>.
13. Reha, M.A.; Serdar, E.; Ozulu, I.M.; Veli, I. Accuracy comparison of post-processed PPP and real-time absolute positioning techniques. *Geomatics Nat. Hazards Risk* **2020**, 11(1), 178–190.
14. Tata, H.; Nzelibe, I.U.; Raufu, I.O. Assessing the accuracy of online GNSS processing services and commercial software on short baselines. *South Afr. J. Geomatics* **2020**, 9(2), 321–332.
15. Eren, G.O. Investigation of the performance of web-based online data processing services that offer relative and absolute positioning (PPP) solution approach in different observation periods. *Geomatik Dergisi* **2022**, 7(1), 41–51.
16. Mahmoud, E.; Ahmed, Z.; Shehata, A.G.; Elhalawani, M.A. Comparison of PPPH MATLAB based program vs online GNSS services. *Delta Univ. Sci. J.* **2023**, 6(1), 1–7.
17. Jesus, R.V.; Jorge, P.; Gaxiola-Camacho, J.R.; Guadalupe, E.V. Evaluation and analysis of the accuracy of open-source software and online services for PPP processing in static mode. *Remote Sens.* **2023**, 15(8), 1–20. <https://doi.org/10.3390/rs15082034>.
18. Trọng, N.G.; Quang, P.N. Ứng dụng phép lọc Kalman (EKF) trong giải bài toán định vị tuyệt đối khoảng cách giả. *Tap chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất* **2019**, 60(1), 72–78.
19. Trọng, N.G. Nghiên cứu thuật toán và xây dựng chương trình xử lý số liệu GNSS dạng RINEX nhằm phát triển ứng dụng công nghệ định vị vệ tinh tại Việt Nam. Luận án tiến sĩ kỹ thuật trắc địa - bản đồ, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 2019.
20. Lau, N.N.; Richard, C.; Hoa, H.M. Determination of tectonic velocities of some continuously operating reference station (CORS) in Vietnam 2016 - 2018 by using precise point positioning. *VN J. Earth Sci.* **2020**, 43(1), 1–12.
21. Trong, T.D.; Long, N.Q.; Huy, N.D. General geometric model of GNSS position time series for crustal deformation studies – A case study of CORS stations in Vietnam. *J. Pol. Miner. Eng. Soc.* **2021**, 2(1), 183–198.

22. Lâu, N.N.; Nam, T.V. Định vị tuyệt đối kết hợp ba hệ thống GPS, GALILEO và BEIDOU. *Tap chí Khoa học đo đạc và bản đồ* **2023**, 38, 11–16.
23. CRCS-PPP. Trục tuyến: <https://webapp.csrscs-scrcs.nrcan-rncan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>.
24. GAPS. Trục tuyến: <http://gaps.gge.unb.ca/index.html>.
25. OPUS. Trục tuyến: <https://geodesy.noaa.gov/OPUS/>
26. AusPOS. Trục tuyến: <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos>.
27. GNSS converter. Trục tuyến: https://gps-solutions.com/gnss_converter.
28. Trọng, N.G.; Nghĩa, N.V.; Khải, P.C.; Thành, N.H.; Hà, L.L.; Dũng, V.T.; Quân, N.V.; Quang, P.N. Xác định chuyển dịch trên phạm vi lãnh thổ Việt Nam dựa vào dữ liệu của các trạm CORS thuộc mạng lưới VNGEONET. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 739, 59–66.
29. Quân, N.V.; Trung, V.Đ.; Nam, T.V. Ứng dụng mạng lưới trạm định vị vệ tinh quốc gia (VNGEONET) trong hoạt động đo đạc bản đồ, nghiên cứu khoa học trái đất và một số lĩnh vực khác trong thời kỳ chuyển đổi số. *Tuyên tập Hội nghị Khoa học quốc gia về công nghệ địa không gian trong khoa học Trái đất và Môi trường 2021*, tr. 25–32.

Surveying the results of GNSS data processing using online services

Nguyen Gia Trong^{1,2}, Thai Trung Quoc³, Tran Duc Vinh⁴, Nguyen Van Cuong^{2,5}, Huynh Nguyen Dinh Quoc^{6,*}

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

² Geodesy and Environment research group, Hanoi University of Mining and Geology; nguyengiatrong@humg.edu.vn; nvcuong7@monre.gov.vn

³ CIST Southern Joint Stock Company; thaitrungquoc0404@gmail.com

⁴ Viet Nam's people naval hydrographic and oceanographic department; vinhhtduc@gmail.com

⁵ The Vietnam Agency of Seas and Islands; nvcuong7@monre.gov.vn

⁶ Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment; hndquoc@hcmunre.edu.vn

Abstract: Many online GNSS data processing services have been announced but there has been no survey on the applicability of these services in geodetic mapping in Vietnam. This article conducts a survey to assess the applicability of online data processing services such as OPUS, AusPOS, GAPS, CRCS-PPP, and GNSS converter with data collected by CORS station named CTHO in the VNGEONET network of Vietnam. The processing results show that the accuracy of determining ground coordinates for the AusPOS, GAPS, CRCS-PPP, and GNSS converter services is very good, while the processing result with OPUS only achieves centimeter accuracy. CRCS-PPP service provides the smallest deviation from the mean coordinates and the variation of coordinate components at the level of 1 mm, followed by AusPOS, GAPS, and GNSS converter services achieving 2-3 mm. For the OPUS service, both the mean coordinate deviation and coordinate variation only reach centimeter level. The research results of the article affirm the potential of applying online data processing services in geodetic mapping in Vietnam.

Keywords: GNSS; PPP; Processing GNSS online; OPUS; AusPOS; CRCS-PPP.

Bài báo khoa học

Áp dụng phương pháp đánh giá đa tiêu chí để lựa chọn phương án phục hồi môi trường phù hợp cho mỏ đá xây dựng Đông núi Cô Tô, tỉnh An Giang

Đỗ Ngọc Hoàn^{1,2*}

¹ Giảng viên chính - Tiến sĩ, Khoa Mỏ, Trường Đại học Mỏ - Địa chất;
dongochuan@humg.edu.vn

² Nhóm Nghiên cứu mạnh ISRM, Trường Đại học Mỏ - Địa chất;
dongochuan@humg.edu.vn

*Tác giả liên hệ: dongochuan@humg.edu.vn; Tel.: +84-968639593

Ban Biên tập nhận bài: 18/2/2024; Ngày phản biện xong: 25/3/2024; Ngày đăng bài: 25/6/2024

Tóm tắt: Cải tạo phục hồi môi trường (CTPHMT) sau khai thác là một hoạt động hết sức cần thiết giúp bảo vệ môi trường và phát triển bền vững. Nghiên cứu áp dụng phương pháp đánh giá đa tiêu chí để lựa chọn phương án cải tạo phục hồi môi trường cho mỏ sau khai thác với 6 phương án CTPHMT có thể áp dụng được đề xuất. Dựa vào việc khảo sát các điều kiện thực tế của đối tượng nghiên cứu xác định mục tiêu cụ thể (SMART) để phân tích các mục tiêu của công tác CTPHMT, xây dựng bộ tiêu chí đánh giá mức độ phù hợp của các phương án cải tạo phục hồi môi trường khác nhau có thể áp dụng cho mỏ. Thông qua bộ tiêu chí được xây dựng tiến hành gán điểm từng tiêu chí dựa vào phương pháp trọng số đơn giản (SAW), cuối cùng là đánh giá mức độ quan trọng của từng phương án thông qua việc phân tích thứ bậc (AHP) các tiêu chí nhằm xác định điểm phù hợp của từng phương án CTPHMT. Phương án phù hợp là phương án được đánh giá với mức độ điểm phù hợp lớn hơn, phù hợp nhất với mục tiêu ban đầu đặt ra. Phương pháp này cùng một lúc có thể đánh giá nhiều phương án CTPHMT khác nhau với điểm 23 tiêu chí giúp đánh giá từng phương án và lựa chọn được phương án phù hợp nhất. Việc định lượng điểm dựa trên cơ sở mức độ đạt được của từng tiêu chí giúp cho các đánh giá có tính chính xác hơn việc chỉ so sánh chỉ tiêu chỉ số phục hồi đất và mức độ phù hợp của một vài chỉ tiêu như trước tại mỏ đá xây dựng Đông Núi Cô Tô như trước.

Từ khóa: Phục hồi môi trường; Sau khai thác; Mỏ đá vật liệu xây dựng; Đa tiêu chí.

1. Mở đầu

Mục tiêu của khai thác mỏ bền vững là dung hòa các yêu cầu của hiện tại về phát triển kinh tế - xã hội với việc bảo vệ môi trường, cân bằng cho các thế hệ tương lai. Cải tạo phục hồi môi trường (CTPHMT) và đóng cửa mỏ là giai đoạn cuối trong vòng đời của một dự án khai thác. Có nhiều phương án khác nhau để phục hồi cảnh quan môi trường hoặc tái sử dụng đất sau khai thác đem lại hiệu quả, an toàn cho con người và cảnh quan môi trường. Phương án đóng cửa mỏ hợp lý sẽ đảm bảo sự ổn định trong tương lai và hạnh phúc của một cộng đồng sau khai thác mỏ, đòi hỏi phải lập kế hoạch cẩn thận và đánh giá các phương án đề xuất trước khi đóng cửa mỏ [1-5].

Đối với công tác CTPHMT sau khi kết thúc khai thác sẽ có nhiều phương án khác nhau để có thể áp dụng. Tuy nhiên, mỗi phương án đều có những ưu, nhược điểm riêng của nó, trên thực tế khi xây dựng phương án CTPHMT cho các mỏ ở Việt Nam chỉ đưa ra 2 đến 3 phương

án (thường là trồng cây, để lại hồ chứa nước) và tiến hành so sánh chỉ số phục hồi đất “Ip” và chỉ số hiệu quả sử dụng đất là chính. Các tiêu chí về an toàn, con người và cảnh quan môi trường được đề cập tới nhưng thường không có cơ sở để so sánh cái nào phù hợp hơn. Thực tế, trong quá trình so sánh, lựa chọn phương án CTPHMT, đa phần các dự án đều lựa chọn theo tiêu chí thứ hai, tức là phương án có chỉ số phục hồi đất “Ip” cao hơn. Về bản chất, chỉ số phục hồi đất “Ip” chỉ có ý nghĩa tương đối về mặt hiệu quả khi so sánh các phương án CTPHMT cùng một dự án với nhau. Có 2 nguyên nhân chính dẫn đến nhiều bất cập trong việc cải tạo, phục hồi môi trường sau khai thác khoáng sản gồm: Một là, các đơn vị, doanh nghiệp khai thác chưa quan tâm, thiếu trách nhiệm, nguồn quỹ phục hồi môi trường trong khai thác khoáng sản quá ít, không đủ thực hiện các đề án, dự án phục hồi môi trường. Hiện nay mức ký quỹ cải tạo, phục hồi môi trường thấp (chỉ từ 1 - 3% tổng mức đầu tư) [6, 7] nên việc tổ chức cải tạo, phục hồi môi trường gặp nhiều khó khăn. Hai là, việc phê duyệt phương án CTPHMT được tiến hành từ khi mở mỏ nên việc xác định phương án CTPHMT chưa thực sự gắn với chiến lược phát triển dài hạn khu vực, định giá không phù hợp với thời điểm khi kết thúc khai thác [8–10].

Trên thế giới và tại Việt Nam, Phương pháp đánh giá đa tiêu chí đã được áp dụng ở một số lĩnh vực khác nhau như: quản lý chất thải, đánh giá chất lượng môi trường, biến đổi khí hậu, quản lý tài nguyên nước và quản lý đất đai. Tuy nhiên, với mỗi lĩnh vực lại có nhiều phương pháp đa tiêu chí khác nhau được áp dụng thậm chí là kết hợp với nhiều các phương pháp khác [11–15]. Tuy nhiên, vấn đề áp dụng đánh giá đa tiêu chí để lựa chọn phương án cải tạo phục hồi môi trường hợp lý còn chưa được quan tâm nhiều. Trên thế giới, trong nhiều lĩnh vực khác nhau phổ biến sử dụng các phương pháp đánh giá đa tiêu chí như: phân tích đa tiêu chí (MCA), phân tích thứ bậc (AHP), phân tích thứ bậc mờ (F-AHP), phương pháp điểm lý tưởng (TOPSIS), ... hoặc kết hợp các phương pháp phân tích khác nhau nhằm giải quyết các bài toán lựa chọn phương án thực tế [16–18]. Nghiên cứu [19–20], cũng đề cập tới việc ứng dụng phân tích đa tiêu chí để lựa chọn phương án cải tạo phục hồi môi trường hợp lý cho một số mỏ khai thác đá vôi và sét sau khi kết thúc khai thác. Tuy nhiên, việc xây dựng bộ tiêu chí và phương pháp đánh giá cho điểm không áp dụng các phương pháp SMART và SAW mà chỉ dùng phương pháp phân tích thứ bậc AHP để xác định mức độ ưu tiên cho các tiêu chí đánh giá.

Tỉnh An Giang có trữ lượng đá VLXD khoảng 144 triệu m³ với 7 khu vực mỏ đang hoạt động khai thác. Đây là nguồn lực tích cực đóng góp tích cực cho sự phát triển kinh tế - xã hội của tỉnh cũng như tạo công ăn việc làm cho người dân địa phương, cung cấp nguyên vật liệu cho các công trình xây dựng trong tỉnh và cho vùng Đồng bằng sông Cửu Long. Khu vực mỏ đá xây dựng Đông núi Cô Tô thuộc Thị trấn Cô Tô, huyện Tri Tôn, tỉnh An Giang nằm trong vùng kinh tế trọng điểm khu vực Tây Nam Bộ. Theo kế hoạch phát triển VLXD tỉnh An Giang thời kỳ 2021-2030, định hướng đến năm 2050, mỏ đá VLXD Đông Núi Cô Tô có công suất khai thác và chế biến là 450.000 m³/năm trên diện tích 14 ha. Mỏ có địa hình dạng (đồi núi), khu mỏ nằm trên phần nhỏ của sườn núi, thuộc địa hình chuyển tiếp giữa địa hình đồi núi thấp sang đồng bằng, với mức xâm thực thấp nhất +15m, cao nhất +110m. Bề mặt địa hình tự nhiên thấp dần về phía Đông - Đông Nam. Trên bề mặt phát triển các khe rãnh xâm thực, phân bố rải rác các khối tảng granit với kích thước khá lớn nổi cao trên bề mặt địa hình. Sau 10 năm tiến hành khai thác dự kiến khi kết thúc khai thác, moong khai thác sẽ để lại địa hình thấp hơn địa hình ban đầu là cote +135m xuống đến cote +20m. Địa hình dạng lòng moong thấp hơn địa hình xung quanh có thể ảnh hưởng tới an toàn và môi trường cũng như khả năng phục hồi sinh thái sau khi kết thúc khai thác. Thị trấn Cô Tô là trung tâm huyện đang trong quá trình đô thị hóa, các hoạt động sản xuất, kinh doanh đang ngày càng được đẩy mạnh phát triển với mật độ dân số ngày càng gia tăng trong khu vực.

Như vậy, nghiên cứu này nhằm đưa ra một phương pháp lựa chọn mới với nhiều phương án CTPHMT có thể áp dụng cho khu mỏ VLXD Đông Núi Cô Tô. Dựa trên việc phân tích điều kiện tự nhiên, kinh tế, văn hóa - xã hội và đặc điểm công nghệ khai thác, nghiên cứu đề

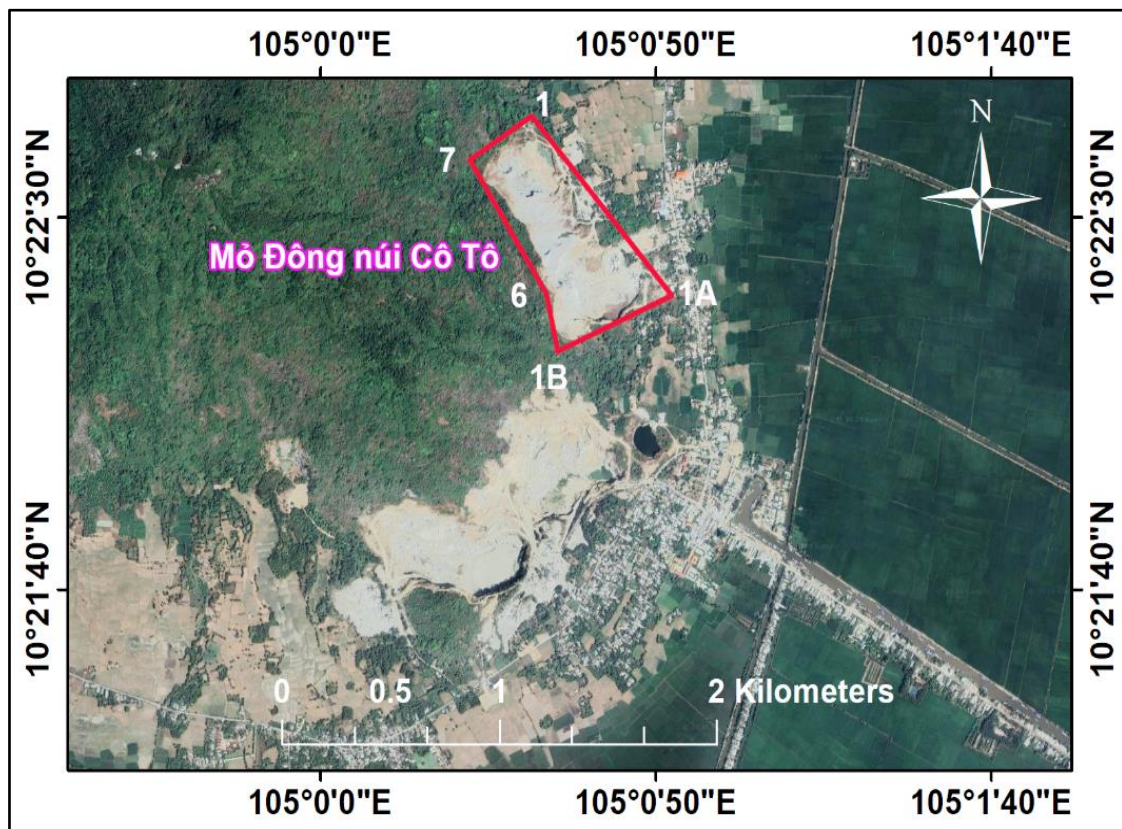
xuất 23 tiêu chí để đánh giá mức độ phù hợp với các nhóm đặc điểm tự nhiên, đặc điểm kinh tế - xã hội, đảm bảo an toàn - môi trường và hiệu quả kinh tế mang lại. Thông qua việc phân tích đánh giá bằng phương pháp bán định lượng sẽ giúp lựa chọn được phương án CTPHMT có mức độ phù hợp tốt hơn với điều kiện thực tế. Tuy chỉ là một nghiên cứu lý thuyết mới nhưng với những thay đổi về phương thức quản lý và quy hoạch môi trường như hiện nay thì phương pháp này có thể áp dụng rộng rãi để thay thế phương pháp phương án còn nhiều hạn chế hiện tại.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Mỏ đá xây dựng Đông núi Cô Tô, thuộc Thị trấn Cô Tô, huyện Tri Tôn, tỉnh An Giang. Vị trí trung tâm mỏ cách tỉnh lộ 943 khoảng 1,5 km, cách thị xã Châu Đốc khoảng 50 km về phía Nam và thành phố Long Xuyên khoảng 80 km về phía Bắc. Diện tích của mỏ là 14 ha. Ngoài khu vực khai thác mỏ còn có các khu vực chế biến và công trình phụ trợ với diện tích 5,4 ha. Vậy, tổng diện tích khu vực dự án là 19,4 ha. Phía Tây và phía Nam khu mỏ là vùng đồi núi, phía Bắc; Đông Bắc và phía Đông có tỉnh lộ 15, dọc tỉnh lộ là các hộ dân sinh sống, tập trung chủ yếu ở phía Đông Nam khu mỏ.

Khu mỏ nằm trên phần nhỏ của sườn núi, thuộc địa hình chuyển tiếp giữa địa hình đồi núi thấp và đồng bằng, với mức xâm thực thấp nhất +15 m, cao nhất +110 m. Bề mặt địa hình tự nhiên thấp dần về phía Đông - Đông Nam. Trên bề mặt phát triển các khe rãnh xâm thực, phân bố rải rác các khối tảng granit với kích thước khá lớn nổi cao trên bề mặt địa hình. Phần diện tích phía Đông Bắc khu mỏ rộng khoảng 7,5 ha là moong khai thác đá xây dựng, bề mặt địa hình đáy moong khá bằng phẳng, cao độ thấp nhất +20 m. Diện tích còn lại 15,5 ha là địa hình tự nhiên, chưa có hoạt động khai thác, thảm thực vật khá phát triển, chủ yếu là cây bụi, độ che phủ tốt.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Thu thập và tổng hợp tài liệu

Nghiên cứu đã tiến hành khảo sát thực địa và thu thập các tài liệu về môi trường tự nhiên, kinh tế xã hội và cảnh quan khu vực, các yếu tố khí tượng thủy văn, địa chất địa mạo làm cơ sở đánh giá lựa chọn tiêu chí đánh giá khi lựa chọn phương án.

2.2.2. Phương pháp chuyên gia

Trao đổi, lấy ý kiến các nhà khoa học, các chuyên gia tư vấn về phương pháp nghiên cứu, tham khảo ý kiến chuyên gia trong việc cho điểm đánh giá các tiêu chí và thực hiện so sánh theo cặp, nhằm xác định mức độ quan trọng của các tiêu chí đánh giá được đưa ra trong nghiên cứu.

2.2.3. Phương pháp SMART

Đây là một cách tiếp cận phổ biến trong việc đặt mục tiêu và đánh giá chúng. SMART là viết tắt của các từ viết hoa: Specific (Cụ thể), Measurable (Đo lường được), Achievable (Có thể đạt được), Relevant (Phù hợp), và Time-bound (Có thời hạn). Tức là thông qua phương pháp SMART sẽ xây dựng được bộ tiêu chí trong đó các tiêu chí phải liên quan trực tiếp đến các mục tiêu và các hoạt động đóng cửa mở sau khai thác, các tiêu chí có thể được gán trọng số bằng cách sử dụng phương pháp đo lường hoặc bán định lượng, các tiêu chí phải phù hợp với các mục tiêu đóng cửa và bối cảnh xã hội, môi trường và quy định của địa phương. Phương pháp này giúp tập trung vào mục tiêu cụ thể và xác định rõ ràng những gì bạn muốn đạt được. Điều này giúp bạn định hình hướng đi và cung cấp sự phân định trong việc lựa chọn hoạt động và tài nguyên [21, 22].

2.2.4. Phương pháp SAW (Simple Additive Weighting)

Phương pháp trọng số đơn giản dựa trên lý thuyết giá trị đa thuộc tính và sự độc lập của các thuộc tính. Phương pháp này sử dụng các hàm cộng tuyến tính để tính giá trị của mỗi phương án dưới dạng Value Theory (VT), với giả thiết độc lập của các thuộc tính.

Để đánh giá mức độ phù hợp của phương án lựa chọn bằng cách gán điểm cho tiêu chí: so sánh tương đối tính chất tác động (thông qua các tiêu chí) được thực hiện bằng cách cho điểm. Đối với một phương án cải tạo phục hồi và đóng cửa mỏ đá cụ thể, tùy theo mức độ phù hợp của phương án và tùy theo loại dự án, các tiêu chí đánh giá mức độ phù hợp của phương án đóng cửa mỏ sẽ đáp ứng các mức độ khác nhau với các tiêu chí. Nghiên cứu sử dụng thang điểm theo 5 bậc [18, 23].

2.2.5. Phương pháp phân tích thứ bậc AHP (Analytic Hierarchy Process)

Đây là một phương pháp xác định trọng số khi cần phải ra quyết định với rất nhiều tiêu chuẩn khác nhau. Bằng việc xác định một thứ tự sắp xếp của những tiêu chuẩn theo mức độ tăng hoặc giảm dần mà ta tìm được một quyết định cuối cùng hợp lý nhất. Phương pháp này nhằm xác định mức độ quan trọng của từng tiêu chí trong bộ tiêu chí đánh giá [15–18].

2.3. Xử lý số liệu

Kết quả khảo sát, phân tích, lấy mẫu được thu thập, tổng hợp, phân loại và xử lý đánh giá bằng phần mềm Microsoft Excel, các phương pháp xây dựng bộ tiêu chí đánh giá, xây dựng bảng điểm để gán điểm cho từng tiêu chí và ứng dụng phân tích thứ bậc để xác định mức độ quan trọng của tiêu chí từ đó xác định mức độ phù hợp của từng tiêu chí thông qua việc tổng hợp điểm số của tiêu chí với giá trị mức độ quan trọng của tiêu chí, từ đó xác định phương án phù hợp nhất.

2.4. Khảo sát thực địa và xây dựng bộ tiêu chí

Nhóm nghiên cứu đã thực hiện khảo sát khu vực khai thác và khu vực cảnh quan xung quanh với các yếu tố về điều kiện tự nhiên, dân cư, kinh tế, văn hóa - xã hội, điều kiện địa hình, địa chất, khí tượng thủy văn, hệ sinh thái khu vực làm cơ sở để xây dựng các phương án CTPHMT có thể áp dụng. Thông qua đó cũng xác định các mục tiêu của công tác CTPHMT cần đạt được phù hợp với điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội, chính trị của địa phương. Mục tiêu chung của công tác CTPHMT cho mỏ đá VLXD Đông Núi Cô Tô là sau khi kết thúc khai thác là giảm thiểu tác động tiêu cực lên môi trường và tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình tái tổ chức và phục hồi hệ sinh thái bị ảnh hưởng. Công tác này không chỉ đơn thuần là tái tạo các loại cây cỏ hay tái thiết lập diện tích trước đây của mỏ, mà còn bao gồm một loạt các biện pháp hữu ích nhằm khôi phục môi trường tự nhiên đa dạng và bền vững [9, 24–26].

Mục tiêu cụ thể: Điều kiện tự nhiên của khu vực mỏ có đáy moong kết thúc nằm trên mực nước thông thủy (theo thiết kế cơ sở của dự án). Vị trí khai thác trên địa hình núi cao, khi kết thúc khai thác tạo thành vùng có địa hình thấp hơn so với khu vực sườn núi phía Tây, nhưng về phía Đông lại có địa hình bằng với xung quanh. Đặc điểm địa hình sau khi kết thúc khai thác là nghiêng thoải về phía Đông, trong quá trình khai thác sẽ tạo độ dốc về phía Đông để thoát nước tự nhiên, nếu dùng đất nơi khác đắp vào để tạo thành sườn núi như lúc chưa khai thác là không khả thi do tốn nhiều chi phí và không có vật liệu để san lấp. Phù hợp với quy hoạch phát triển, quy hoạch sử dụng đất của địa phương (kết quả lấy ý kiến chính quyền địa phương đối với phương án cải tạo, phục hồi môi trường đính kèm phụ lục). Phù hợp với điều kiện thực tế tại dự án, hài hòa cảnh quan sử dụng đất khu vực lân cận (các mỏ khai thác xung quanh) và tâm lý của người dân (kết quả tham vấn ý kiến của người dân có khả năng bị tác động bởi dự án) [9, 27]. Phương án cải tạo, phục hồi môi trường phù hợp với cấu tạo địa chất, đặc điểm thổ nhưỡng, thành phần thạch học và chất lượng môi trường của khu vực mỏ.

Từ các mục tiêu nêu trên, cơ sở để xây dựng bộ tiêu chí đánh giá mức độ phù hợp của phương án CTPHMT được phân thành bộ tiêu chí. Khung tiêu chí này được xây dựng dựa trên các đặc điểm về tự nhiên, cảnh quan môi trường, điều kiện kinh tế, văn hóa xã hội, tính an toàn và hiệu quả mang lại cho cộng đồng, địa phương và doanh nghiệp. Bộ tiêu chí được xây dựng đáp ứng được 4 nguyên tắc trên gồm:

Nguyên tắc 1. Phù hợp với đặc điểm tự nhiên khu vực mỏ: bao gồm các tiêu chí liên quan đến: địa hình khu mỏ và cảnh quan môi trường xung quanh; đặc điểm nước mặt; nước ngầm; đặc điểm khí hậu; chất lượng không khí; đặc điểm thổ nhưỡng; quy mô diện tích; đặc điểm địa chất trong khu mỏ. Các tiêu chí này rất quan trọng trong việc quyết định hình thức sử dụng đất sau đóng cửa mỏ.

Nguyên tắc 2. Phù hợp với đặc điểm kinh tế xã hội vùng: gồm các tiêu chí liên quan đến dân số, điều kiện cơ sở hạ tầng, công nghiệp, du lịch dịch vụ, lịch sử văn hóa. Đảm bảo tính hài hòa giữa hình thức sử dụng mặt bằng sau khai thác mỏ với quy hoạch phát triển kinh tế xã hội địa phương.

Nguyên tắc 3. Đảm bảo an toàn môi trường: hình thức sử dụng đất mỏ sau khai thác phải đảm bảo ổn định vật lý, ổn định hóa học, ổn định sinh học và an toàn cho con người không gây ô nhiễm môi trường và sự cố rủi ro.

Nguyên tắc 4. Hiệu quả kinh tế: hình thức sử dụng mặt bằng sau đóng cửa mỏ có mang lại lợi ích cho cộng đồng, lợi ích cho địa phương và chủ doanh nghiệp.

Dựa trên phương pháp SMART nghiên cứu chọn ra bộ tiêu chí gồm 23 tiêu chí quan trọng dùng để đánh giá trọng số và được tóm tắt ở Bảng 1. Trong đó: i) Phù hợp đặc điểm tự nhiên của khu vực mỏ - 8 tiêu chí; ii) Phù hợp đặc điểm kinh tế - xã hội khu vực - 5 tiêu chí; iii) Đảm bảo an toàn môi trường - 5 tiêu chí; iv) Hiệu quả kinh tế - 5 tiêu chí. Theo đó, đưa ra các điều kiện để đánh giá điểm đạt được của từng tiêu chí khi đánh giá lựa chọn.

Bảng 1. Bộ tiêu chí đánh giá mức độ phù hợp của phương án cải tạo phụ hồi môi trường và đóng cửa mỏ.

Nhóm tiêu chí		Tiêu chí cụ thể	Phân tích lựa chọn các tiêu chí
I	Đặc điểm tự nhiên	T1	Địa hình khu mỏ và cảnh quan môi trường
		T2	Nước mặt
		T3	Nước ngầm
		T4	Điều kiện khí hậu
		T5	Chất lượng môi trường không khí
		T6	Đặc điểm thổ nhưỡng
		T7	Quy mô diện tích
		T8	Đặc điểm địa chất
II	Đặc điểm kinh tế xã hội	T9	Quy mô dân số
		T10	Cơ sở hạ tầng
		T11	Công nghiệp
		T12	Du lịch dịch vụ
		T13	Lịch sử văn hóa
III	Đảm bảo an toàn và môi trường	T14	Ổn định vật lý
		T15	Ổn định hóa học
		T16	Ổn định sinh học
		T17	An toàn cho con người
		T18	Phòng ngừa sự cố rủi ro

Địa hình khu mỏ là một tiêu chí đặc biệt quan trọng trong việc quyết định hình thức sử dụng đất sau đóng cửa mỏ. Vị trí khai thác trên địa hình núi cao, khi kết thúc khai thác nghiêng thoải về phía Đông, trong quá trình khai thác sẽ tạo độ dốc về phía Đông để thoát nước tự nhiên. Do địa hình đồi núi nên khi cải tạo cần xem xét các yếu tố về nước mặt, các công trình thoát nước và tránh xói mòn rửa trôi bề mặt

Nguồn cung cấp nước ngầm cho dự án sau khi cải tạo để phục vụ các nhu cầu về chăm sóc thực vật hoặc phục vụ nhu cầu phát triển của phương án.

Phương án cải tạo và đóng cửa mỏ phải phù hợp với điều kiện khí hậu để có thể phát triển du lịch dịch vụ, công nghiệp điện mặt trời hoặc phương án phục hồi thảm thực vật.

Chất lượng môi trường không khí khu vực mỏ phải phù hợp với phương án cải tạo và đóng cửa mỏ để có thể phát triển du lịch dịch vụ, công nghiệp điện mặt trời hoặc phương án phục hồi thảm thực vật.

Đặc điểm thổ nhưỡng có liên quan đến sự phát triển của thực vật trong tái phủ xanh mặt bằng và phục hồi hệ sinh thái.

Quy mô diện tích tương ứng với hình thức phương án lựa chọn.

Đặc điểm địa chất quyết định tính ổn định của công trình sau cải tạo, điều kiện để lựa chọn các phương án về xây dựng cơ sở hạ tầng, khu công nghiệp, khu tái định cư hoặc chôn lấp rác thải,...

Mật độ dân số có liên quan mật thiết đến hiệu quả sử dụng mặt bằng sau đóng cửa mỏ.

Cơ sở hạ tầng bao gồm hệ thống giao thông, bến cảng và số điểm giải trí và phục vụ cộng đồng. Cơ sở hạ tầng đáp ứng các yêu cầu của phương án đóng cửa mỏ được lựa chọn phù hợp với điều kiện phát triển thực tế của khu vực.

Có thể sử dụng mặt bằng để chuyển đổi mục đích xây dựng nhà xưởng phục vụ phát triển công nghiệp cũng như khả năng đáp ứng nhu cầu phát triển công nghiệp của dự án từ các nhà máy trong khu vực.

Điều kiện để chuyển đổi mục đích sử dụng đất khi cải tạo khu mỏ sau khai thác thành khu du lịch sinh thái, khu nghỉ dưỡng hoặc nhà hàng khách sạn phục vụ nhu cầu phát triển du lịch, dịch vụ.

Xem xét kết hợp phát triển dịch vụ du lịch nhằm phục vụ du khách tham quan các địa điểm di tích lịch sử văn hóa.

Tất cả các công trình phải được tính toán đảm bảo an toàn và phục vụ đúng chức năng theo thiết kế, bền vững, không xói mòn và mất an toàn gây sự cố rủi ro cho sức khỏe cộng đồng lâu dài.

Các môi trường không khí, đất và nước phải được đảm bảo về thành phần hóa học không gây ảnh hưởng tới sức khỏe con người và sự phát triển của hệ sinh thái. Các điều kiện này cần được đảm bảo đang dần cải thiện theo hướng tốt hơn.

Môi trường sinh học được khôi phục thành một hệ sinh thái tự nhiên, cân bằng và đa dạng sinh học không lựa chọn các giống cây ngoại lai có thể gây xâm hại hoặc tổn thương tới hệ sinh thái tự nhiên của khu vực.

Đảm bảo các yếu tố về sức khỏe và sự phát triển bền vững của con người, phương án đóng cửa mỏ có tính đến việc chuyển đổi công việc mới cho người lao động mất việc làm do đóng cửa mỏ.

Cạy bẫy các tảng đá treo đảm bảo an toàn trên bờ mỏ khi kết thúc khai thác, thiết kế hệ thống rãnh thoát nước đảm bảo tránh các sự cố lũ lụt có thể xảy ra.

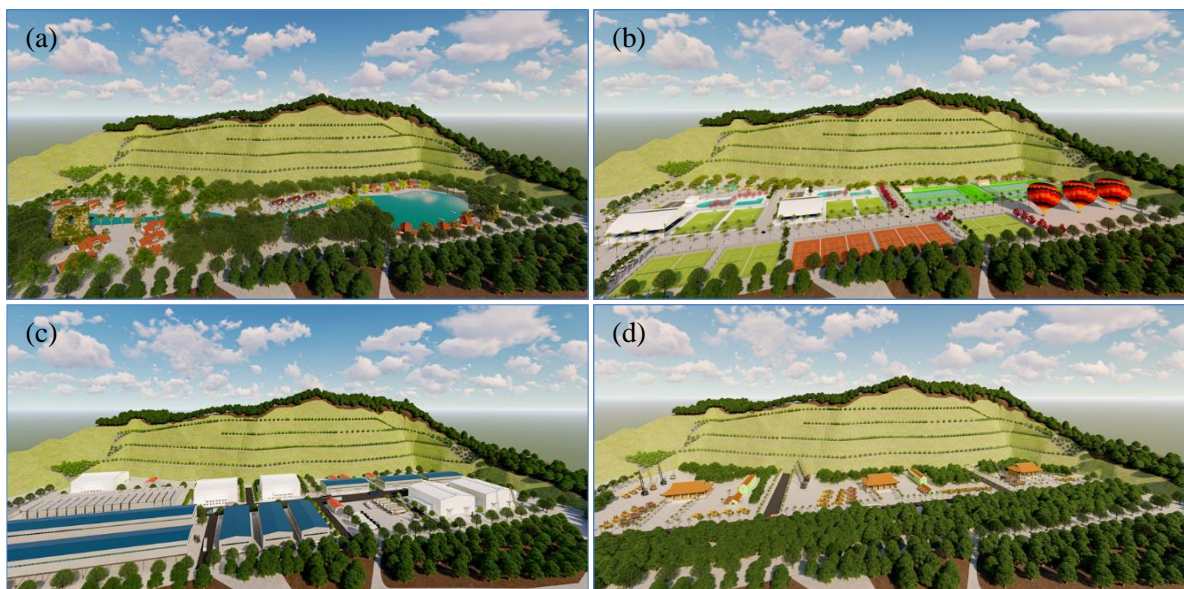
Nhóm tiêu chí	Tiêu chí cụ thể	Phân tích lựa chọn các tiêu chí
IV Hiệu quả kinh tế	T19 Lợi ích cộng đồng	Hình thức sử dụng đất đáp ứng được mong muốn và lợi ích của cộng đồng khu mỏ. Ý kiến cộng đồng về hình thức sử dụng mặt bằng sau đóng cửa mỏ cần được thu thập để hiểu nhu cầu và tính khả thi của hình thức chọn;
	T20 Lợi ích cho địa phương	Hình thức sử dụng mặt bằng sau đóng cửa mỏ có phù hợp với quy hoạch và lợi ích của địa phương
	T21 Lợi ích cho doanh nghiệp	Chi phí đóng cửa mỏ và hình thức sử dụng mặt bằng sau đóng cửa mỏ mang lại lợi nhuận cho chủ đầu tư sẽ đảm bảo tuổi thọ của hình thức sử dụng mặt bằng sau đóng cửa mỏ và lợi ích của các bên liên quan.
	T22 Chi số phục hồi đất	Tiêu chí so sánh hiệu quả của phương án CTPHMT của các phương án mang lại so với hiện trạng trước khi thực hiện dự án
	T23 Tổng chi phí CTPHMT	Đánh giá xem doanh nghiệp có khả năng thực hiện phương án CTPHMT với số tiền tương ứng hay không

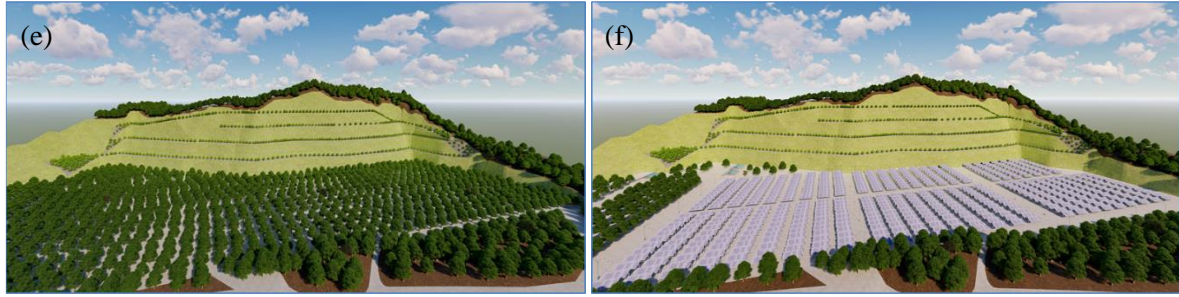
3. Kết quả và thảo luận

3.2. Ứng dụng phương pháp phân tích đa tiêu chí để lựa chọn phương án CTPHMT hợp lý cho mỏ đá VLXD Đông Núi Cô Tô

Theo điều kiện cụ thể của mỏ đá xây dựng Đông Núi Cô Tô, với diện tích các đai bảo vệ sẽ thực hiện gia cố đảm bảo an toàn sau đó phủ 30 cm đất màu trên mặt tầng và gieo hạt cỏ để tạo thảm thực vật xanh, tránh rửa trôi và xói lở. Phần diện tích được cải tạo theo các phương án là phần đáy mỏ, mặt bằng sân công nghiệp sau khi đã tháo dỡ các công trình. Điều kiện tự nhiên của khu vực mỏ có đáy moong kết thúc nằm trên mực nước thông thủy, khi kết thúc khai thác tạo thành vùng có địa hình thấp hơn so với khu vực sườn núi phía Tây, nhưng về phía Đông lại có địa hình bằng với xung quanh. Đặc điểm địa hình sau khi kết thúc khai thác là nghiêng thoải về phía Đông, trong quá trình khai thác sẽ tạo độ dốc về phía Đông để thoát nước tự nhiên. Theo điều kiện cụ thể của mỏ có thể đề xuất các phương án CTPHMT và đóng cửa mỏ như sau:

Phương án 1: Cải tạo thành khu sinh thái, nghỉ dưỡng với địa hình núi cao cảnh quan khu vực có tầm nhìn rộng và điều kiện cơ sở hạ tầng tốt thuận lợi phát triển khu sinh thái nghỉ dưỡng. Phương án này một phần diện tích được sử dụng để xây dựng cơ sở hạ tầng, hồ nước, bể bơi còn lại vẫn thực hiện trồng cây xanh để tạo cảnh quan nên vừa mang lại hiệu quả giá trị sử dụng đất vừa có ý nghĩa trong công tác phục hồi cảnh quan môi trường. Tuy nhiên, phương án phụ thuộc nhiều vào điều kiện kinh tế xã hội và mật độ dân cư khu vực cũng như các yếu tố về cảnh quan và khí hậu (Hình 2a).





Hình 2. (a) Cải tạo thành khu sinh thái, nghỉ dưỡng, (b) Cải tạo thành khu vui chơi giải trí, (c) Cải tạo thành mặt bằng công nghiệp, (d) Cải tạo thành khu du lịch kỹ thuật phục vụ nghiên cứu, (e) Trồng rừng tái tạo hệ sinh thái, (f) Cải tạo để sản xuất điện mặt trời.

Phương án 2: Cải tạo thành khu vui chơi giải trí với diện tích mặt bằng cải tạo 18,5 ha thuận lợi phát triển thành khu vui chơi giải trí với các tổ hợp vui chơi và có thể tạo bể bơi nhân tạo. Phương án này phân diện tích giành cho cơ sở hạ tầng chiếm tỷ trọng lớn lượng cây xanh cũng được tái tạo nhưng không nhiều. Phụ thuộc vào điều kiện kinh tế xã hội và mật độ dân cư khu vực cũng như các yếu tố về cảnh quan và khí hậu (Hình 2b).

Phương án 3: Chuyển đổi toàn bộ mặt bằng cần cải tạo thành mặt bằng công nghiệp. Với điều kiện địa phương có thể hình thành nhà máy cung cấp bê tông và các vật liệu bê tông cốt thép nhằm phục vụ nhu cầu xây dựng và phát triển cơ sở hạ tầng địa phương như cầu, cống,... Đây là phương án khả thi bởi điều kiện khu vực hiện rất cần mặt bằng để phát triển công nghiệp nói chung (Hình 2c).

Phương án 4: Cải tạo khu vực thành khu du lịch kỹ thuật phục vụ nghiên cứu với phương án này sẽ giữ lại một phần các bờ mỏ, xây dựng các nhà trưng bày và phòng hội thảo, khu vực nhà nghỉ và cung cấp dịch vụ để phục vụ thăm quan và nghiên cứu. Phương án này được áp dụng ở một số mỏ trên thế giới và hiện tại ở Việt Nam chưa có địa điểm nào áp dụng. Ý nghĩa của phương án mang lại là rất tích cực nhưng tính hấp dẫn của phương án thì chưa được khẳng định (Hình 2d).

Phương án 5: Trồng rừng tái tạo lại thảm thực vật và hệ sinh thái. Thực hiện phủ 0,7m đất màu trên toàn bộ diện tích khu vực đáy mỏ, mặt bằng sân công nghiệp để trồng cây keo lai với mật độ 1600 cây/ha. Phương án này hiện được áp dụng rộng rãi ở hầu hết các dự án khai thác mỏ ở Việt Nam khi kết thúc khai thác. Phương án này có giá trị về mặt phục hồi cảnh quan, sinh thái và môi trường. Tuy nhiên, giá trị đất sử dụng sau đóng cửa mỏ không cao và việc lấy lượng đất phủ để cải tạo mặt bằng với diện tích lớn lại gây tác động môi trường cho khu vực lân cận (Hình 2e).

Phương án 6: Cải tạo toàn bộ mặt bằng đáy mỏ và khu vực phụ trợ để sản xuất điện mặt trời. Phương án này đã được áp dụng cho nhiều mỏ trên thế giới và cũng đã được xem xét nghiên cứu thử nghiệm ở Việt Nam. Trong giai đoạn khó khăn về sản xuất và tiêu thụ điện như hiện nay thì đây có vẻ là một phương án khả thi và có tính mới. Tuy nhiên, phương án này lại ảnh hưởng rất nhiều bởi lượng bức xạ mặt trời và số giờ nắng phân bố trong năm. Khu vực tỉnh An Giang thuận lợi phát triển sản xuất điện mặt trời vào mùa nắng còn mùa mưa số giờ nắng ít hiệu quả lại thấp. Hiện tại khu vực địa phương cũng đã có đơn vị đầu tư hệ thống sản xuất điện mặt trời mang lại hiệu quả tích cực. Tuy nhiên, vốn đầu tư xây dựng cơ bản cho phương án là cao (Hình 2f).

Bảng 2. Sàng lọc phương án đóng cửa mỏ, sử dụng mặt bằng phù hợp cho mỏ đá xây dựng Đông Núi Cô Tô.

STT	Phương án (PA)	Ký hiệu PA	Sàng lọc phương án
1	Khu sinh thái - nghỉ dưỡng	PA1	X
2	Khu vui chơi giải trí	PA2	X
3	Công nghiệp chuyển đổi	PA3	X
4	Du lịch kỹ thuật phục vụ đào tạo nghiên cứu	PA4	X
5	Khu trồng rừng	PA5	X
6	Sản xuất điện mặt trời	PA6	X

Với 6 phương án nêu trên ta tiến hành đánh giá cho điểm theo số chỉ tiêu đạt được cho từng tiêu chí khi thực hiện phương án.

Bảng 3. Đánh giá điểm các tiêu chí theo từng phương án.

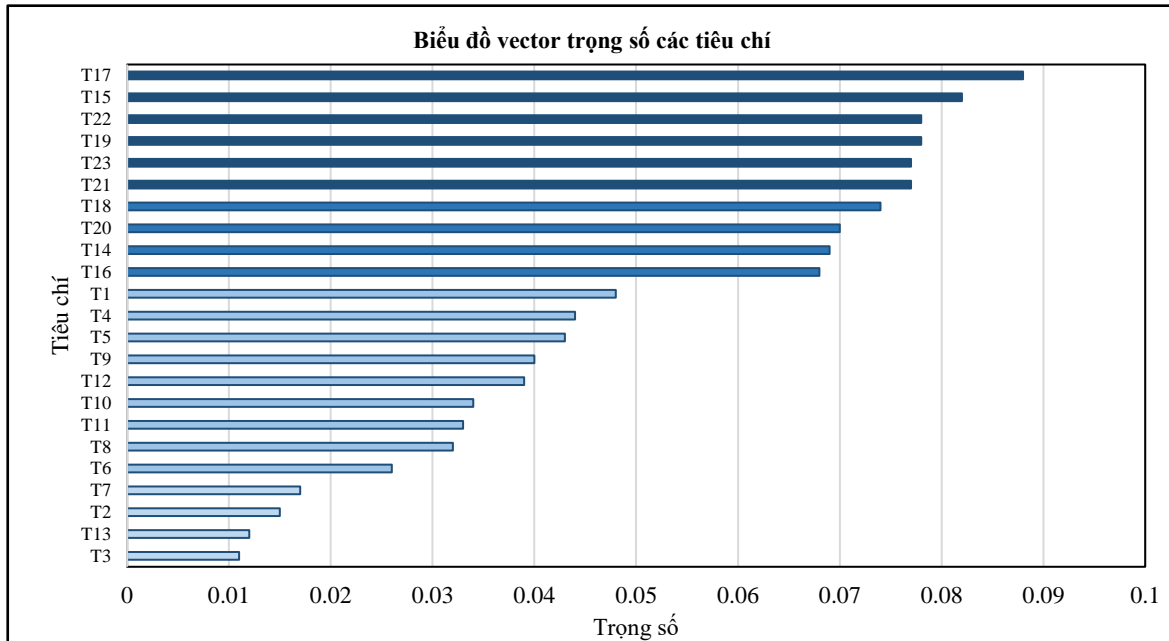
STT	Chỉ tiêu	Điểm số					
		PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	PA6
<i>I Đặc điểm tự nhiên</i>							
1	Địa hình khu mô và cảnh quan môi trường	4	3	4	4	5	3
2	Nước mặt	3	2	4	4	3	3
3	Nước ngầm	3	2	2	3	2	4
4	Điều kiện khí hậu	2	2	4	4	3	5
5	Chất lượng môi trường không khí	3	2	3	4	4	3
6	Đặc điểm thổ nhưỡng	1	4	1	4	3	4
7	Quy mô diện tích	4	5	5	4	4	5
8	Đặc điểm địa chất	3	3	4	4	2	3
<i>II Đặc điểm kinh tế xã hội</i>							
9	Mật độ dân số	3	3	4	2	2	4
10	Cơ sở hạ tầng	3	2	4	2	3	3
11	Công nghiệp	2	2	5	3	2	3
12	Du lịch và dịch vụ	3	2	3	3	2	3
13	Lịch sử văn hóa	1	1	1	1	1	1
<i>III Đảm bảo an toàn và môi trường</i>							
14	Ổn định vật lý	3	3	3	3	4	2
15	Ổn định hóa học	3	3	3	3	4	3
16	Ổn định sinh học	4	2	1	3	5	1
17	An toàn cho con người	4	2	2	4	5	3
18	Phòng ngừa sự cố rủi ro	3	2	3	3	4	4
<i>IV Hiệu quả kinh tế</i>							
19	Lợi ích cộng đồng	3	3	4	4	4	5
20	Lợi ích cho địa phương	3	3	4	2	1	5
21	Lợi ích cho doanh nghiệp	5	3	5	1	1	4
22	Chỉ số phục hồi đất	3	2	3	2	3	3
23	Tổng chi phí CTPHMT	2	2	3	3	4	3

Việc đánh giá cho điểm chỉ dừng lại ở mức độ hoàn thành từng tiêu chí riêng lẻ. Để đánh giá mức độ hoàn thành mục tiêu chung cần phải đánh giá mức độ quan trọng của các tiêu chí với nhau. Trong các phương án đưa ra thì mức độ quan trọng của các tiêu chí là khác nhau và điểm đạt được của các tiêu chí theo các phương án cũng là khác nhau. Do vậy, cần phân tích và so sánh các tiêu chí để phân cấp về mức độ quan trọng của các tiêu chí trong phương án mới có thể đánh giá mức độ hợp lý của phương án theo các tiêu chí. Đối với việc phân tích so sánh này thì phù hợp có thể sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc AHP hoặc phân tích mờ FAHP để so sánh đánh giá. Trong phạm vi nghiên cứu tác giả áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc AHP [15,16].

Giá trị cốt lõi của tiêu chí và phương án được thể hiện qua giá trị trọng số. Đây là yếu tố chính quyết định đến điểm số xếp hạng phương án. Xét trên tỷ số nhất quán cho thấy, kết quả đánh giá cho điểm của chuyên gia đều phù hợp với yêu cầu của kỹ thuật phân tích thứ bậc AHP đưa ra ($CR \leq 10\%$ đối với ma trận có kích thước lớn hơn 23×23). Với bộ tiêu chí tương ứng với 6 phương án CTPHMT được xây dựng, giá trị riêng lớn nhất của ma trận so sánh ($\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{23} \lambda_i}{23} = 23,803$); Chỉ số nhất quán $CI: CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0,040137$. RI là chỉ số ngẫu nhiên tương ứng với ma trận 23×23 có giá trị 1,59. Để chấp nhận giá trị trọng số, cần kiểm tra lại tính nhất quán qua tỉ số nhất quán (CR) trong cách chấm điểm của chuyên gia [11, 18]. Tỷ số nhất quán CR được xác định:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,040137}{1,59} = 0,0252 = 2,52\% < 10\%$$

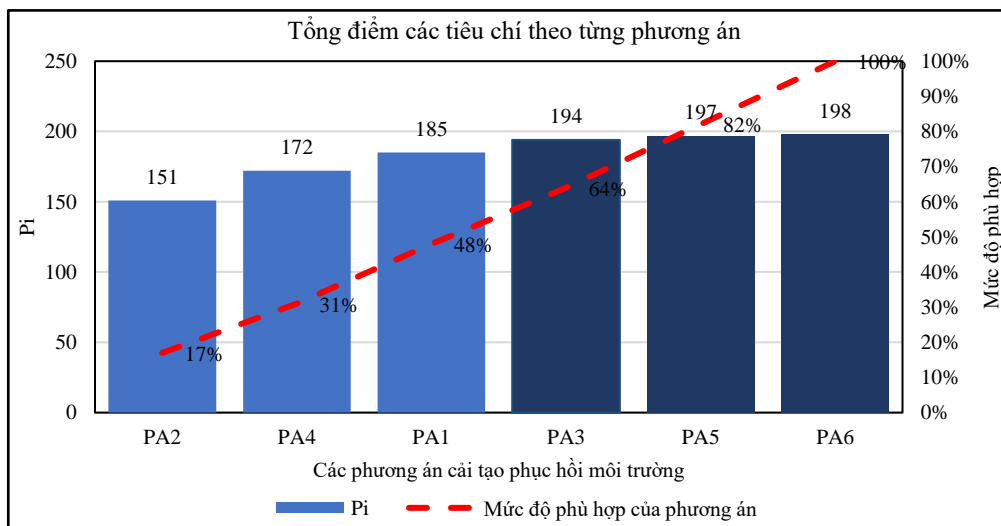
Như vậy, với giá trị CR = 2,52% nhỏ hơn 10% là đảm bảo tính nhất quán của kết quả. Giá trị trọng số được xác định theo biểu đồ hình 3. Trong đó: I- Nhóm các tiêu chí “rất quan trọng”, là các tiêu chí không thể thiếu (T17; T15; T22; T19; T23; T21); II- Nhóm các tiêu chí có tầm ảnh hưởng trực tiếp tới mức độ phù hợp của phương án CTPHMT (T18; T20; T14; T16); III - Nhóm các tiêu chí có tầm ảnh hưởng gián tiếp tới mức độ phù hợp của phương án CTPHMT (T1; T4; T5; T9; T12; T10; T11; T8; T6); IV- Nhóm các tiêu chí ít có tầm ảnh hưởng đến mức độ phù hợp của phương án (T7; T2; T13; T3).



Hình 3. Biểu đồ Vector trọng số các tiêu chí.

3.3. Lựa chọn phương án CTPHMT hợp lý cho mỏ đá VLXD Đông Cô Tô

Sau cùng, Kết quả tính toán điểm số các phương án được thực hiện trên phép nhân ma trận giữa giá trị trọng số của phương án theo 23 tiêu chí (T1 ÷ T23, ma trận kích thước $n \times 23$) và giá trị trọng số (ma trận kích thước 23×1) [11, 18]. Chỉ số mức độ phù hợp của phương án “Pi” là tổng các tác động đến mức độ phù hợp của phương án theo cường độ tác động. Được xác định bằng tổng các giá trị của điểm số đạt được của tiêu chí nhân trọng số mức độ quan trọng của tiêu chí. Giá trị này được xác định cho 6 phương án CTPHMT tại mỏ đá xây dựng Đông Núi Cô Tô thể hiện trong hình 4.



Hình 4. Mức độ phù hợp của các phương án.

Như vậy, theo tính toán với 6 phương án đưa ra, thì 3 phương án 3,5,6 có số điểm khá tương đồng có thể áp dụng cho mỏ, phương án 6 - cải tạo để sản xuất điện mặt trời có tổng điểm lớn nhất 198 với mức độ phù hợp được đánh giá tương ứng là 100%, phù hợp với chiến lược phát triển năng lượng sạch, hạn chế phát thải khí nhà kính là hướng đi phù hợp với xu thế phát triển năng lượng hiện nay. Phương án 5 trồng rừng tái tạo hệ sinh thái, có ý nghĩa về mặt phục hồi cảnh quan và hệ sinh thái khu vực đạt 197 điểm tương ứng với mức độ phù hợp 82%, đây cũng là phương án được phê duyệt theo báo cáo đánh giá tác động môi trường của dự án. Phương án 3 công nghiệp chuyển đổi có mức điểm phù hợp là 194 tương ứng với mức độ phù hợp 64%, phương án này cũng rất khả thi khi áp dụng cho điều kiện khu mỏ. Các mức độ phù hợp được xác định theo mức độ của 6 phương án với nhau.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đáp ứng mục tiêu là đánh giá tính hợp lý của các phương án CTPHMT đã được lựa chọn khi lập dự án khai thác cho các mỏ đá VLXD nói chung trong huyện, đề xuất bổ sung những nội dung và giải pháp hợp lý hơn như sau:

Thứ nhất, phương án CTPHMT các mỏ đá VLXD được nghiên cứu phù hợp với điều kiện địa hình khu vực, phù hợp với quy hoạch sử dụng đất của địa phương: đáy mỏ kết thúc thì được trồng cây hoặc chuyển mục đích sử dụng đất thành đất xây dựng (nếu hết khoáng sản); bãi thải (đất thừa được sử dụng làm đất san lấp) được cải tạo và trồng cây để ổn định bãi thải và bảo vệ môi trường; mặt bằng, các công trình phụ trợ được san gạt và trồng cây; đường vận chuyển được cải tạo, trồng cây hai bên đường và bàn giao cho địa phương quản lý, sử dụng vào mục đích khác có hiệu quả hơn.

Thứ hai, trong 6 phương án đưa ra, thì 3 phương án 3,5,6 có số điểm khá tương đồng có thể áp dụng cho mỏ, phương án 6 - cải tạo để sản xuất điện mặt trời có tổng điểm lớn nhất 198 với mức độ phù hợp được đánh giá tương ứng là 100%, phù hợp với chiến lược phát triển năng lượng sạch, hạn chế phát thải khí nhà kính là hướng đi phù hợp với xu thế phát triển năng lượng hiện nay. Các mức độ phù hợp được xác định theo mức độ của 6 phương án với nhau.

Thứ ba, so với phương án CTPHMT được lựa chọn cho dự án là phủ đất trồng cây nhằm tái tạo hệ sinh thái cũng được xem xét đánh giá với số điểm phù hợp rất cao. Tuy nhiên, theo phương pháp đánh giá này thì phương án được lựa chọn là phương án cải tạo thành khu sản xuất điện mặt trời. Điều này chỉ ra với việc lập báo cáo theo rất ít phương án như hiện nay có thể bỏ qua nhiều phương án CTPHMT hiệu quả và phù hợp hơn có thể áp dụng.

Tuy trong giới hạn nội dung nghiên cứu không thể đưa ra được nhiều phương án hơn nữa để thể hiện tính vượt trội của nghiên cứu, nhưng kết quả đánh giá phương án CTPHMT đã chọn phù hợp với định hướng phát triển và quy hoạch của tỉnh An Giang.

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

Lời cam đoan: Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây.

Tài liệu tham khảo

1. Columbia Center of Sustainable Investment, UNDP. UN sustainable development solutions network and world economic forum 2016: Mapping mining to the sustainable development goals: An atlas. 2016. Online available: <https://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/poverty-reduction/mapping-mining-to-the-sdgs%2D%2Dan-atlas.html>.
2. Kretschmann, J.; Efremenkova, A.; Aleksey, K. From mining to post-mining: the sustainable development strategy of the German hard coal mining industry. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2017**, *50*, 012024.

3. Kretschmann, J. Post-mining—a holistic approach. *Min. Metall. Explor.* **2020**, 37, 1401–1409.
4. Clark, A.L.; Clark, J.C. VIII. An international overview of legal frameworks for mine closure. Environmental Law Alliance Worldwide: Eugene, OR, USA, 2005.
5. Asr, E.T.; Kakaie, R.; Ataei, M.; Mohammadi, M.R.T. A review of studies on sustainable development in mining life cycle. *J. Cleaner Prod.* **2019**, 229, 213–231.
6. Hà, N.M. Nghiên cứu ứng dụng tổ hợp các giải pháp cải tạo, phục hồi hệ sinh thái khu vực bãi thải và khu vực khai thác khoáng sản nhằm ngăn ngừa hoang mạc hóa, sử dụng đất hiệu quả, bền vững vùng Tây Nguyên. Đề tài KHCN cấp Quốc Gia, Viện hàn Lâm Khoa học Việt Nam, 2020.
7. Phương, H.C. Nghiên cứu các giải pháp công nghệ và quản lý nhằm phát triển bền vững các mỏ khai thác vật liệu xây dựng ở Việt Nam. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 2016.
8. Việt, P.H.; Hoàn, Đ.N.; Hoa, L.T.T.; Thảo, L.Q. Đánh giá tác động môi trường kinh tế - xã hội do hoạt động khai thác đá vật liệu xây dựng trên địa bàn tỉnh Bình Dương. *Tap chí Khí tượng thủy văn* **2023**, 746, 56–69.
9. Quý, N.Đ.; Hạnh, N.V. Hoàn phục môi trường mỏ Việt Nam. Tuyển tập Hội nghị Khoa học về Tài nguyên và Môi trường, 2001.
10. Giao, H.S.; Nam, B.X.; Toàn, M.T. Bảo vệ môi trường trong khai thác mỏ. Nhà xuất bản Từ điển Bách Khoa Hà Nội, 2010.
11. Lý, C.Đ. Hướng dẫn phương pháp đánh giá đa tiêu chí dùng trong phân hạn các đối tượng nghiên cứu doanh nghiệp hay địa phương, 2012.
12. Center for International Forestry Research (CIFOR). guidelines for applying multi-criteria analysis to the assessment of criteria and indicators, Indonesia, 2019.
13. STsolaki-Fiaka, S.; Bathrellos, G.D.; Skilodimou, H.D. Multi - criteria decision analysis for an abandoned quarry in the Evros region (NE Greece). *Land* **2018**, 7, 43. doi:10.3390/land7020043.
14. Worrall, R.; Neil, D.; Brereton, D.; Mulligan, D. Towards a sustainability criteria and indicators framework for legacy mine land. *J. Cleaner Prod.* **2009**, 17(16), 1426–1434.
15. Thắng, V.Q.; Quân, N.T. Áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) để lựa chọn loại hợp đồng dự án sử dụng trong dự án thực hiện theo hình thức đối tác công tư. *Tap chí Khoa học Công nghệ Xây dựng* **2015**.
16. Bascetin, A. A decision support system using analytical hierarchy process (AHP) for the optimal environmental reclamation of an open-pit mine. *Environ. Geol.* **2007**, 52, 663–672.
17. Lý, C.Đ. Ứng dụng tiến trình phân tích cấp bậc (Analytic Hierarchy Process) đánh giá tính bền vững cho các tỉnh thành – Trường hợp nghiên cứu tỉnh Bình Dương. *Tap chí Tài nguyên và Môi trường* **2012**.
18. Saaty, T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Serv. Sci.* **2008**, 1(1), 83–98.
19. Hạnh, H.T.H. Nghiên cứu xây dựng mô hình sử dụng đất hợp lý cho các khu vực khai thác đá xây dựng và sét ở vùng kinh tế trọng điểm phía Nam. Luận án Tiến sĩ, Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh, 2014.
20. Hạnh, H.T.H.; Thủy, H.T.T.; Lý, C.Đ. Ứng dụng phương pháp phân tích đa tiêu chí và tiến trình phân tích cấp bậc định hướng sử dụng mặt bằng sau khai thác mỏ. *Tap chí Tài nguyên Môi trường*, **2012**, 22, tr. 156.
21. Butler, C.R.; Hynds, R.E.; Gowers, K.H.; Lee, D.D.H.; Brown, J.M.; Crowley, C.; ... Janes, S.M. Rapid expansion of human epithelial stem cells suitable for airway tissue engineering. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* **2016**, 194(2), 156–168.

22. Meldungen, A. Online available: <https://www.arbeitsagentur.de/news/arbeitsmarkt-2020> (accessed 4 July 2020) in German.
23. Bainton, N.; Holcombe, S. A critical review of the social aspects of mine closure. *Resour. Policy* **2018**, 59, 468–478.
24. Lechner, A.M.; McIntyre, N.; Witt, K.; Raymond, C.M.; Arnold, S.; Scott, M.; Rifkin, W. Challenges of integrated modelling in mining regions to address social, environmental and economic impacts. *Environ. Modell. Software* **2017**, 93, 268–328. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.020>.
25. McHaina, D.M. Environmental planning considerations for the decommissioning, closure and reclamation of a mine site. *Int. J. Surf. Min. Reclam. Environ.* **2001**, 15(3), 163–176.
26. Lei, K.; Pan, H.; Lin, C. A landscape approach towards ecological restoration and sustainable development of mining areas. *Ecol. Eng.* **2016**, 90, 320–325. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.080>.
27. Việt, P.H.; Tước, Đ.T. Phương pháp lựa chọn mô hình đóng cửa cho các mỏ khai thác đá xây dựng tại tỉnh Bình Dương. *Tap chí Công nghiệp mỏ* **2020**, 17–24.

Application of multicriteria analysis method to select suitable environmental restoration options for the limestone quarry in East Co To mountain in An Giang province

Do Ngoc Hoan^{1,2*}

¹ Lecturers, Faculty of Mining, Hanoi University of Mining and Geology; dongochuan@humg.edu.vn

² Innovations for sustainable and responsible mining (ISRM), Hanoi University of Mining and Geology; dongochuan@humg.edu.vn

Abstract: Post-mining environmental rehabilitation is a crucial activity aimed at safeguarding the environment and fostering sustainability within mining operations. This study applies a multi-criteria evaluation approach to select post-mining environmental rehabilitation options, considering six viable post-mining alternatives. By surveying the actual conditions of the research subject, specific, measurable, achievable, relevant, and time-bound (SMART) objectives are identified to analyze post-mining goals. A set of criteria is developed to assess the suitability of various post-mining options applicable to mining sites. Scoring for each criterion is conducted using the Simple Additive Weighting (SAW) method, followed by analytic hierarchy process (AHP) analysis to determine the importance of each option based on criteria. The most suitable post-mining option is identified as the one with the highest overall score, aligning best with the initial objectives. This method allows for simultaneous evaluation of multiple post-mining alternatives against 23 comprehensive criteria, facilitating precise assessments compared to previous practices at the Dong Nui Co To limestone quarry.

Keywords: Environmental restoration; Post-mining; Limestone quarry; Multicriteria analysis.

Table of content

- 1 Ha, N.T.T.; Nam, N.T.; Lien, N.T.; Hoa, B.T. Water quality and correlation between Palmer index of phytoplankton with physiochemical of Red river in Vietnams. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 762, 1–11.
- 12 Trung, D.T.; Hoa, N.T.; Hue, N.T.K.; Thinh, T.D.; Hung, L.V.; Nhan, P.Q. Application of MODFLOW for determining the role of groundwater recharge to groundwater exploitation in the Red River Delta Plain. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 762, 12–26.
- 27 Hang, T.T.M.; Duy, D.D.; Khai, N.M. Research on water quality of Thuong river in Bac Giang Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 762, 27–37.
- 38 Khanh, P.T.; Tuan, N.V.; Thang, N.D.; Ngoc, T.T.H. Estimating water needs and sludge for Pangasius farming models in An Giang Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 762, 38–46.
- 47 Hung, P.; Quyen, N.T.N.; Trung, L.V.; Phu, V.L. Performance evaluation of some CMIP6-GCMs in simulating rainfall and temperature in the upper part of Dong Nai river basin. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 762, 47–61.
- 62 Hieu, N.P.; Duong, N.N.; Linh, D.Q.; Khoi, D.N. Simulation of PM_{2.5} concentration in the metropolitan region of Ho Chi Minh City utilizing machine learning and deep learning algorithms. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 762, 62–72.
- 73 Trong, N.G.; Quoc, T.T.; Vinh, T.D.; Cuong, N.V.; Quoc, H.N.D. Surveying the results of GNSS data processing using online services. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 762, 73–81.
- 82 Hoan, D.N. Application of multicriteria analysis method to select suitable environmental restoration options for the limestone quarry in East Co To muontain in An Giang Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 762, 82–94.