

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Vietnam Journal of Hydro - Meteorology

ISSN 2525 - 2208



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

Số 742

10-2022

MỤC LỤC

Bài báo khoa học



Q. TÔNG BIÊN TẬP TS. Đoàn Quang Trí

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

Giấy phép xuất bản

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

Tòa soạn

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

Chế bản và In tại:

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

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

Giá bán: 25.000 đồng

- Lê Khánh Uyên, Nguyễn Hoàng Phong, Bùi Tá Long:** Đánh giá rủi ro nhập viện điều trị các bệnh đường hô hấp và bệnh tim mạch do phơi nhiễm ngắn hạn O_3 mặt đất tại tỉnh Đồng Nai
- Nguyễn Thành Công, Nguyễn Văn Minh, Lê Minh Quân, Lê Thành Tùng:** Tiềm năng áp dụng công nghệ chuỗi khối trong quản lý và vận hành thị trường các-bon tại Việt Nam
- La Đức Dũng, Nguyễn Xuân Hùng, Đỗ Huy Dương, Hoàng Thị Ngần, Hoàng Thị Hoài Linh:** Đánh giá kết quả thử nghiệm đo lưu lượng nước bằng thiết bị tự động theo nguyên lý không tiếp xúc trên mạng lưới trạm thủy văn
- Huỳnh Phú, Nguyễn Lý Ngọc Thảo, Huỳnh Thị Ngọc Hân, Trần Thị Minh Hà:** Đánh giá chất lượng nước mặt vùng Tứ Giác Long Xuyên theo chỉ số WQI và mô hình MIKE11
- Nguyễn Gia Thông, Phạm Hữu Tài, Cù Minh Hoàng, Tô Việt Nam, Lê Quốc Nam, Trần Thị Mai Hương, Nguyễn Xuân Huy:** Khảo sát thí nghiệm bơm ép khí nước luân phiên trong mẫu cát kết Miocen mỏ Rồng Đen, bể Cửu Long
- Nguyễn Văn Nhật, Đoàn Quang Trí, Quách Thị Thanh Tuyết, Trần Duy Hiền:** Nghiên cứu ứng dụng mô hình TRIGRS mô phỏng trượt lở khu vực Lào Cai, Việt Nam
- Trần Đình Bảo, Phạm Văn Việt, Vũ Đình Trọng, Hoàng Đình Nam:** Nghiên cứu lựa chọn hệ thống khai thác hợp lý cho khu 2 mỏ đá vôi Lam Sơn
- Hoàng Minh Tuyền, Trần Đức Thiện, Nguyễn Quang Chiến, Nguyễn Ngọc Hoa:** Vai trò hồ Tonle Sap đối với vùng Đồng bằng sông Cửu Long trong mùa cạn

Bài báo khoa học

Đánh giá rủi ro nhập viện điều trị các bệnh đường hô hấp và bệnh tim mạch do phơi nhiễm ngắn hạn O₃ mặt đất tại tỉnh Đồng Nai

Lê Khánh Uyên^{1,2}, Nguyễn Hoàng Phong^{1,2}, Bùi Tá Long^{1,2*}

¹ Trường Đại học Bách Khoa Tp. HCM; uyen.le02@hcmut.edu.vn; nhphong@dcselab.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

² Đại học Quốc gia Tp. HCM; uyen.le02@hcmut.edu.vn; nhphong@dcselab.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

*Tác giả liên hệ: longbt62@hcmut.edu.vn; Tel.: +84–918017376

Ban Biên tập nhận bài: 7/8/2022; Ngày phản biện xong: 27/9/2022; Ngày đăng bài: 25/10/2022

Tóm tắt: Đồng Nai có tốc độ tăng trưởng kinh tế–xã hội mạnh mẽ, dân số tăng và đô thị hóa diễn ra nhanh chóng dẫn đến môi trường không khí bị ảnh hưởng đáng kể và một trong những đối tượng luôn được quan tâm đó là ozon (O₃) mặt đất. Áp lực tạo ra cho chính quyền địa phương trong việc đề xuất và xây dựng giải pháp giảm thiểu và kiểm soát các nguồn phát thải tiền chất góp phần hình thành nên O₃. Nghiên cứu này đã áp dụng các mô hình WRF (*Weather Research and Forecast*)/CMAQ (*Community Multiscale Air Quality Modeling System*) kết hợp để mô phỏng đặc điểm hiện trạng phân bố ô nhiễm O₃ theo không gian–thời gian trong tháng 01, 02/2019 và phân tích sơ bộ tác động sức khỏe cộng đồng do nhập viện điều trị nội trú vì bệnh đường hô hấp và tim mạch (mọi nguyên nhân) ở tất cả nhóm tuổi và giới tính. Kết quả nghiên cứu đã định lượng được tổng số trường hợp phải nhập viện điều trị nội trú do tiếp xúc ngắn hạn với ô nhiễm O₃ lên đến 440,39 (95% CI: –0,03–872,72) ca theo ngưỡng trung bình 8–h của QCVN 05:2013/BTNMT và 1.556,94 (95% CI: –1,20–3.047,94) ca theo ngưỡng mục tiêu IT 2 (*Interim target*) của hướng dẫn từ WHO năm 2021. Đây là một trong những kết quả bước đầu, có độ tin cậy và có thể hỗ trợ cho những nghiên cứu tiếp theo trong vấn đề tiếp cận lượng hóa chi tiết mức độ kinh tế mất mát do tiếp xúc ô nhiễm O₃ mặt đất ngắn hạn.

Từ khóa: O₃ mặt đất; Sự phân bố không gian–thời gian; Thiệt hại sức khỏe; Nhập viện; WRF/CMAQ.

1. Mở đầu

Khí ozon (O₃) tầng đối lưu (*ground-level O₃*) là một trong sáu chất ô nhiễm không khí chủ yếu do Cục Bảo vệ Môi sinh Hoa Kỳ (US EPA) quy định, là một chất ô nhiễm thứ cấp có hại cho sức khỏe con người và hệ thực vật [1]. O₃ được hình thành trong khí quyển bởi các phản ứng quang hóa phức tạp phi tuyến tính của các hợp chất hữu cơ bay hơi (VOCs) và nitơ oxit (NO_x) khi có ánh sáng mặt trời [2–3]. Trong một phạm vi quy mô không gian và thời gian rộng lớn hơn thì cacbon monoxit (CO) và metan (CH₄) đều là các tiền chất O₃ rất quan trọng [4]. Mặt khác, O₃ mặt đất cũng tham gia vào nhiều phản ứng hóa học khác trong khí quyển với đặc điểm là thời gian tồn tại ngắn và hoạt tính mạnh [2, 5]. Chính vì khí O₃ tầng đối lưu là một chất oxy hóa rất mạnh, do đó khi tiếp xúc với O₃ có thể dẫn đến một loạt các ảnh hưởng đến sức khỏe [6], điển hình đó là vấn đề liên quan đến căng thẳng, mệt mỏi (*stress*) oxy hóa và viêm phổi [7].

Theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), 1/8 tổng số ca tử vong toàn cầu xảy ra do tác động từ việc tiếp xúc với ô nhiễm không khí [6, 8]. Số ca tử vong toàn cầu đã tăng mạnh từ 1,3 triệu người năm 2008 [9] lên đến 3,7 triệu người vào năm 2012 [8]; trong đó, có khoảng 88% số trường hợp xảy ra tại các nước có thu nhập thấp và thu nhập trung bình thuộc khu vực Tây Thái Bình Dương và Đông Nam Á với số ca tử vong lần lượt là 1,67 và 0,936 triệu người [8]. Cùng với PM_{2.5}, vấn đề ô nhiễm O₃ mặt đất cũng đã gây ra những rủi ro đáng kể cho sức khỏe nhân loại toàn cầu [5]. Từ 1990–2004, thống kê của Cơ quan Môi trường Châu Âu (EEA) cho thấy trung bình có khoảng 21,4 nghìn ca tử vong sớm mỗi năm tại Liên minh Châu Âu (EU) xảy ra do O₃ [10] và cũng từ báo cáo của EEA (2014) về số ca tử vong sớm ở EU trong năm 2011 đạt mức 16,0 nghìn người [11]. Nhìn chung, ảnh hưởng của O₃ đến sức khỏe con người có thể được chia thành các dạng cấp tính và mãn tính [12]. Xét về cơ chế ảnh hưởng, O₃ oxy hóa trực tiếp các tế bào hoặc tác động thứ cấp bằng cách chuyển hướng năng lượng ra khỏi chức năng chính của tế bào để hạn chế tạo ra các cơ chế phòng vệ như chất chống oxy hóa. Hơn nữa, O₃ cũng phản ứng với chúng như chất ascorbate trong dịch niêm mạc phổi (*Lung Lining Fluid–LLF*) và phản ứng với các chất nền khác như protein hoặc lipid trong LLF, hình thành nên các sản phẩm oxy hóa thứ cấp dẫn đến một số phản ứng tế bào bên trong phổi và một chuỗi các tế bào viêm [10]. Hệ quả là lớp màng rào cản khí–máu (*blood/air barrier*) bị phá hủy và chức năng của phổi bị suy giảm [10].

Gần đây, một loạt rất nhiều các nghiên cứu dịch tễ học đã chứng minh việc phơi nhiễm O₃ ngắn hạn có mối liên hệ chặt chẽ đến tăng nguy cơ tử vong do mọi nguyên nhân [13], bệnh về tim mạch [14] và bệnh về hô hấp [15]. Điển hình, một kết quả nghiên cứu từ [3] cho thấy có từ 55.341–80.280 trường hợp tử vong do bệnh phổi tắc nghẽn mạn tính (*Chronic Obstructive Pulmonary Disease–COPD*) trong năm 2015 tập trung tại Thành phố (TP) Bắc Kinh; các tỉnh Sơn Đông, Hà Nam, Hồ Bắc, Tứ Xuyên, vùng đồng bằng sông Dương Tử và sông Châu Giang. Nghiên cứu [16] cũng đã báo cáo về sự gia tăng tỷ lệ tử vong sớm do O₃ từ 0,42–1,11% trong năm 2015 ở Trung Quốc, kết quả ước tính có 28.367 (95% CI: 9.450–37.834) ca, 59.844 (95% CI: 19.903–79.883) ca và 74.316 (95% CI: 24.699–99.233) ca tương ứng với chỉ số (*metric*) tiêu chuẩn trung bình 8 giờ (8–h) cực đại hàng ngày của Quy chuẩn chất lượng không khí xung quanh quốc gia Trung Quốc (80 ppb), tiêu chuẩn của WHO (50 ppb) [17] và SOMO35 của EU (35 ppb) [18]. Một kết quả điển hình từ [1] đã chứng minh có khoảng 120 (95% CI: 67–160) nghìn ca tử vong sớm tránh được khi nồng độ O₃ trung bình 8–h cực đại hàng ngày giảm xuống mức 100 µg/m³ và khi được kiểm soát ở mức 70 µg/m³ thì sẽ giảm thiểu khoảng 160 (95% CI: 98–230) nghìn ca tử vong ở Trung Quốc trong năm 2016.

Cho đến nay, vẫn chưa có những ước tính về mức độ thiệt hại sức khỏe người dân và thiệt hại kinh tế do O₃ mặt đất gây ra cho các tỉnh của Việt Nam. Khi hầu hết các nghiên cứu chỉ tập trung đánh giá tác động kinh tế–xã hội gây ra do NO₂, SO₂ và bụi PM. Điển hình như nghiên cứu [19] đánh giá thiệt hại sức khỏe cấp tính do PM₁₀ phát sinh từ mỏ đá Tân Uyên ở tỉnh Bình Dương năm 2018; một kết quả từ [20] đã đánh giá sự tương tác từ tác động môi trường–sức khỏe–kinh tế do ô nhiễm PM₁₀ ở TP. Hồ Chí Minh (HCM) tháng 10/2017; hay từ nghiên cứu [21] đã ước tính số ca tử vong sớm tại TP. HCM gây ra do phơi nhiễm dài hạn NO₂, SO₂ và PM_{2.5} trong năm 2017. Kết quả từ nghiên cứu [13] đã đánh giá các rủi ro sức khỏe liên quan đến PM₁₀ và PM_{2.5} tại Long Biên, TP. Hà Nội từ 2013 đến 2016; hay gần đây, từ một nghiên cứu nổi bật [14] đã báo cáo về rủi ro tử vong sớm ở nhóm người trưởng thành (> 25 tuổi) bởi ô nhiễm PM_{2.5} tại 30 quận/huyện của TP. Hà Nội trong năm 2017 theo chỉ số tiêu chuẩn trung bình năm của QCVN 05:2013/BTNMT (25 µg/m³) và WHO 2006 (10 µg/m³).

Do đó, để đáp ứng được mục tiêu nghiên cứu đặt ra, trước tiên hiện trạng mức ô nhiễm O₃ mặt đất trung bình 8–h hàng ngày với độ phân giải không gian–thời gian của lưới tính có độ phân giải khoảng 3 km × 3 km được mô phỏng từ hệ thống mô hình *Weather Research*

and Forecasting Model (WRF)/Community Multiscale Air Quality Modeling System (CMAQ) kết hợp cho các tháng 01/2019 và tháng 02/2019 ở tỉnh Đồng Nai. Từ các kết quả mô phỏng trên, mô hình *Benefits Mapping and Analysis Program–Community Edition* (BenMAP–CE) đã được áp dụng để ước tính những tác động sức khỏe cộng đồng do phải nhập viện điều trị nội trú vì bệnh đường hô hấp và bệnh tim mạch do tất cả mọi nguyên nhân ở tất cả các nhóm tuổi và giới tính dựa theo ngưỡng kiểm soát của QCVN và tiêu chuẩn của WHO năm 2021 theo các ngưỡng mục tiêu IT 1 và IT 2.

2. Phương pháp và số liệu

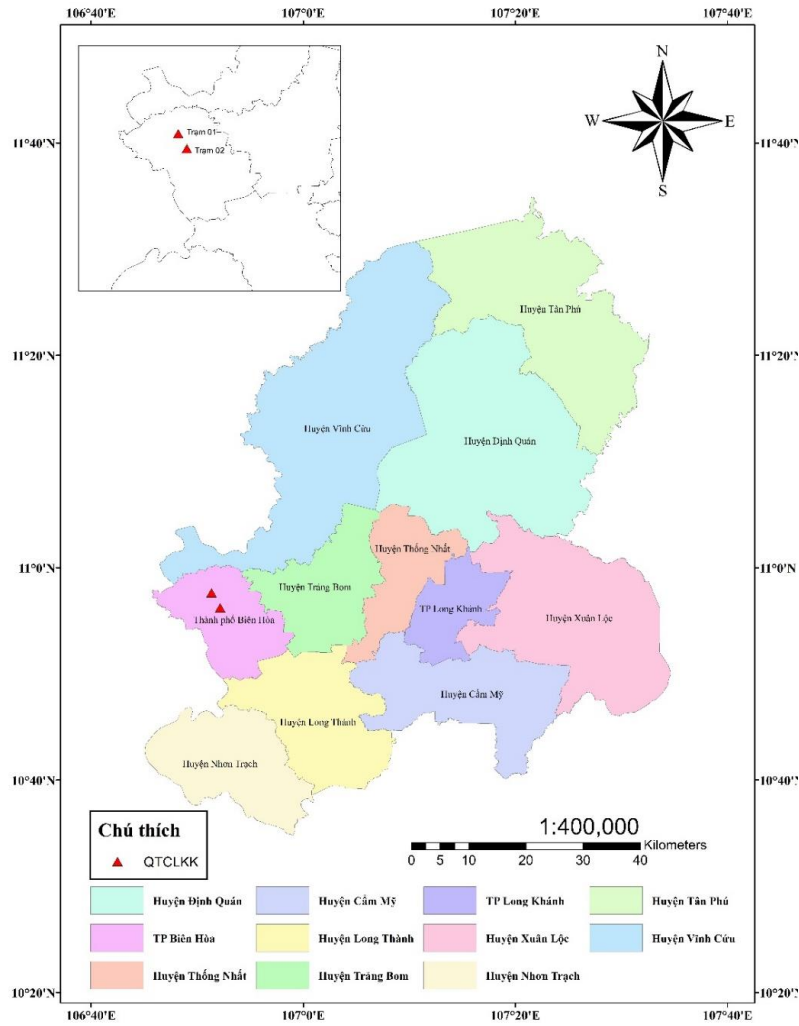
2.1. Khu vực nghiên cứu và các vị trí quan trắc nồng độ O_3

Đồng Nai là tỉnh nằm ở vị trí trung tâm Vùng kinh tế trọng điểm phía Nam (KTTĐPN), là một vùng kinh tế phát triển năng động bậc nhất Việt Nam. Cùng với TP. HCM và tỉnh Bình Dương, Đồng Nai đã có đóng góp kinh tế đáng kể với 316,8 nghìn tỉ đồng năm 2018 [22], chiếm 12,5% so với quy mô GRDP của toàn vùng KTTĐPN (2.530,5 nghìn tỉ đồng) và 5,7% so với quy mô của cả nước [23]. Đến năm 2020, quy mô GRDP của tỉnh đã đạt 372,9 nghìn tỉ đồng và mức bình quân đầu người đạt 117,4 triệu đồng, tương đương khoảng 5.057,5 USD [24]. Hình 1 bên dưới mô tả vị trí của khu vực nghiên cứu tại tỉnh Đồng Nai. Toàn tỉnh có 11 đơn vị hành chính, gồm TP. Biên Hòa, TP. Long Khánh và 9 huyện là Long Thành, Nhơn Trạch, Vĩnh Cửu, Trảng Bom, Thống Nhất, Định Quán, Tân Phú, Cẩm Mỹ, Xuân Lộc; tỉnh có diện tích tự nhiên là 586,4 nghìn ha, dân số trong năm 2019 là 3.113,7 nghìn người, với dân số khu vực thành thị gần 44,1% (1.371,8 nghìn người) và ở nông thôn là 55,9% (1.741,9 nghìn người) [24].

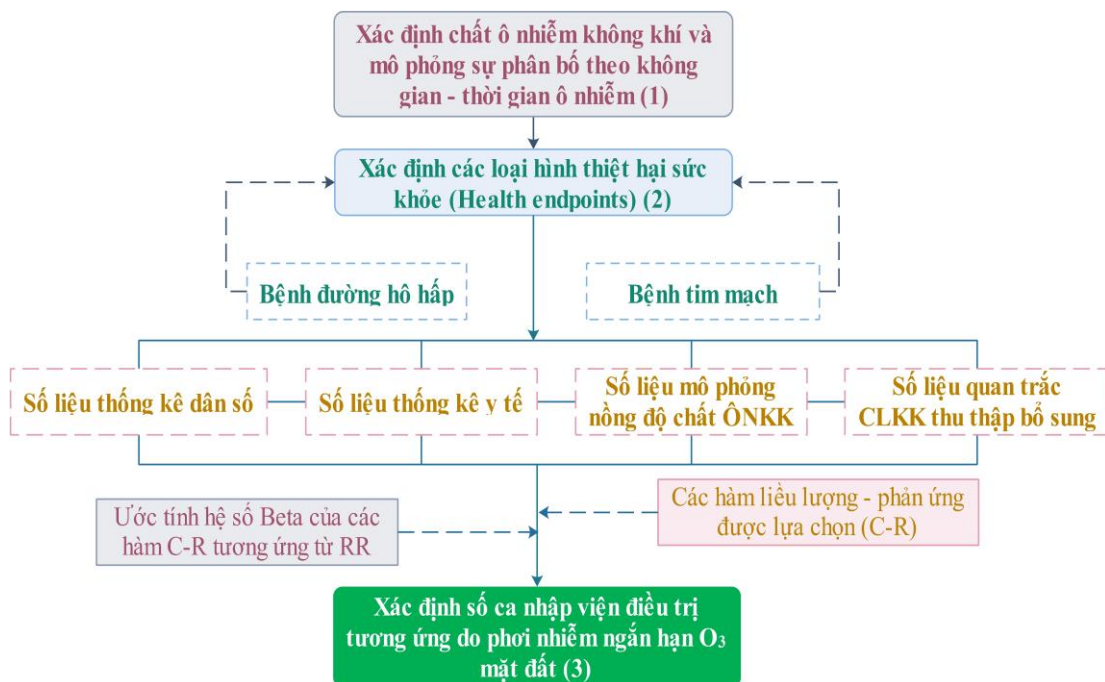
Khu vực nghiên cứu có địa hình vùng đồng bằng và bình nguyên, nằm hoàn toàn trong vùng nhiệt đới gió mùa, có khí hậu ôn hòa, thuộc vùng ít bão lụt, không ngập nước và không chịu ảnh hưởng của động đất [25]. Nhiệt độ không khí trung bình năm trong giai đoạn 2016–2020 của tỉnh Đồng Nai từ 26,3–26,9°C, với 2 mùa (mùa mưa và khô) trong một năm, tổng lượng mưa hàng năm là tương đối cao từ 1.617,7–2.262,7 mm từ năm 2016–2020, và mức độ ẩm không khí trung bình trong giai đoạn này từ 79–83% [24]. Mặt khác, về khía cạnh kinh tế hoạt động công nghiệp của Đồng Nai phát triển rất mạnh, dẫn đầu phát triển công nghiệp tại Việt Nam và cũng là tỉnh đầu tiên phát triển khu công nghiệp của cả nước. Đồng Nai cũng có một Trung tâm công nghệ sinh học tại huyện Cẩm Mỹ đang vận hành với diện tích 208 ha và một khu liên hợp công–nông nghiệp tại các huyện Xuân Lộc, Thống Nhất có diện tích lên đến 2.186 ha [25].

Đối với dữ liệu kết quả quan trắc nồng độ O_3 mặt đất của tháng 01 và 02/2019 được dùng cho kiểm định hiệu quả mô phỏng từ mô hình CMAQ được thu thập từ 2 trạm đo dạng tự động, cố định có vị trí đặt tại Sở Tài nguyên và Môi trường ($X = 10.96045793^\circ$, $Y = 106.85579133^\circ$) (trạm đo số 1), và tại Ban Quản lý các Khu công nghiệp ($X = 10.93699064^\circ$, $Y = 106.86933903^\circ$) (trạm đo số 2) đều do Trung tâm Kỹ thuật Tài nguyên và Môi trường thuộc Sở Tài nguyên và Môi trường Đồng Nai quản lý và vận hành [26], như đã được thể hiện trong Hình 1. Các giá trị nồng độ O_3 được quan trắc theo thời gian thực với chu kỳ 30 phút.

Hình 2 bên dưới cũng thể hiện một sơ đồ khung cấu trúc các bước thực hiện của nghiên cứu này, gồm có 03 giai đoạn chính: (1) xác định đối tượng chất ô nhiễm quan tâm (O_3 mặt đất) và mô phỏng sự phân bố không gian–thời gian bằng mô hình WRF/CMAQ kết hợp; (2) xác định các dạng thiệt hại sức khỏe do phơi nhiễm ngắn hạn và các loại dữ liệu có liên quan cho tính toán; (3) lượng hóa số trường hợp chịu tác động do tiếp xúc ô nhiễm không khí (O_3).



Hình 1. Vị trí địa lý khu vực nghiên cứu và các trạm đo đặc O₃ mặt đất tại khu vực tỉnh Đồng Nai (trạm đo số 1 và trạm đo số 2).



Hình 2. Sơ đồ khung cấu trúc các bước thực hiện của nghiên cứu.

2.2. Mô phỏng sự phân bố không gian–thời gian O₃ mặt đất

Nồng độ O₃ bề mặt hàng giờ (*hourly*) cho tháng 01/2019 và 02/2019 tại khu vực tỉnh Đồng Nai đã được mô phỏng bằng các mô hình WRF và CMAQ. WRF là một hệ thống dự báo thời tiết số theo tỷ lệ hiện đại và CMAQ là một mô hình vận chuyển hóa chất trong khí quyển khu vực do US EPA phát triển [27]. CMAQ kết hợp kiến thức hiện tại về khoa học khí quyển và mô hình chất lượng không khí, bao gồm các quá trình vật lý và hóa học toàn diện, đồng thời có thể lập mô hình đồng thời nhiều chất ô nhiễm từ quy mô địa phương đến lục địa [27]. WRF tính toán trường thời tiết hàng giờ và cung cấp cho mô hình CMAQ để mô phỏng nồng độ O₃ mặt đất theo hàng giờ [28–30]. Trong nghiên cứu này, mô hình ngoại tuyến WRF với phiên bản ver.3.8 [31] đã được dùng để mô phỏng các điều kiện khí tượng. Những dữ liệu NCEP (*the National Center for Environmental Prediction*) Final (FNL) Operational Global Analysis mỗi 6 giờ có độ phân giải không gian 1.0° × 1.0° từ Trung tâm Nghiên cứu Khí quyển Quốc gia Hoa Kỳ (NCAR) (<https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/>) đã được dùng làm các điều kiện ban đầu và điều kiện biên, và phân tích phỏng đoán cho mô hình WRF. Dữ liệu NCEP FNL này được tạo ra từ hệ thống *Global Data Assimilation System (GDAS)* [32] dựa trên các nguồn dữ liệu giám sát được thu thập liên tục là các thông số khí tượng như áp suất bề mặt, áp suất mực nước biển, nhiệt độ địa chất, nhiệt độ bề mặt biển, nhiệt độ đất, lớp phủ băng, độ ẩm tương đối, vector gió U và vector gió V. Các dữ liệu FNL đã được sử dụng rộng rãi trong nhiều nghiên cứu để mô phỏng các điều kiện khí tượng và chất lượng không khí tại nhiều khu vực khác nhau trên thế giới [33]. Mô hình WRF đã được thiết lập với 02 miền tính D01 và D02, với số ô lưới cho D01, D02 và D03 lần lượt là 76×94, 55×43, và 54×48 ô lưới. Miền tính lớn nhất bên ngoài (D01) có diện tích khoảng 5,41 × 10⁶ km² và độ phân giải không gian lưới ngang 27 km; miền tính D02 nhỏ hơn có diện tích khoảng 2,11×10⁵ km² và có độ phân giải không gian lưới ngang 9 km.

Mặt khác, theo phương đứng, có tất cả 31 mức lớp sigma cho tất cả các ô lưới của 03 miền tính D01, D02 và D03 trong mô hình WRF, từ mức mặt đất tới lớp sigma mức đỉnh cố định tại áp suất 100 hPa. Kết quả đầu ra từ mô hình WRF được xử lý bởi công cụ MCIP phiên bản ver.4.5.3 (*Meteorology–Chemistry Interface Processor*) để tạo ra định dạng đầu vào theo yêu cầu của mô hình CMAQ. Tiếp theo, mô hình CMAQ phiên bản ver.5.2.1 (<http://cmasceneter.org/cmaq/>) được cập nhật và công bố vào tháng 06/2017 bởi Cục Bảo vệ Môi sinh Hoa Kỳ (U.S. EPA) [34–36] đã được áp dụng để mô phỏng nồng độ sự phân bố nồng độ O₃ mặt đất tại khu vực nghiên cứu từ 01/01/2019 đến 28/02/2019. Để đảm bảo tính chính xác của các trường khí tượng điều kiện biên, các miền tính ngang của mô hình WRF thông thường lớn hơn một chút so với mô hình CMAQ [37]. Mô hình CMAQ trong nghiên cứu được cấu hình với các miền tính lồng nhau giống với mô hình WRF nhưng 03 ô lưới tính theo mỗi phương của các miền tính được loại bỏ từ các miền tính D01, D02 và D03 của mô hình WRF, như vậy số ô lưới của các miền tính mô phỏng O₃ mặt đất trong CMAQ lần lượt là 73×91, 52×40, và 51×45 grid cells. Đối với mô hình CMAQ, có tất cả 29 lớp trong hệ thống tọa độ sigma, cụ thể các giá trị sigma (σ) cho các miền tính CMAQ tại các ranh giới lớp là 1.000, 0.997, 0.990, 0.983, 0.976, 0.970, 0.962, 0.954, 0.944, 0.932, 0.917, 0.898, 0.874, 0.844, 0.806, 0.760, 0.707, 0.647, 0.582, 0.513, 0.444, 0.375, 0.308, 0.243, 0.183, 0.126, 0.073, 0.023, và 0.000. Phiên bản cập nhật và mở rộng lần thứ 3 của Cơ chế hóa học liên kết Carbon (CBM) pha khí CB6r3 [38–40] cho các chất hóa học cũng đã được thiết lập trong mô hình CMAQ.

2.3. Kiểm định khả năng mô phỏng O₃ mặt đất từ WRF/CMAQ kết hợp

Nghiên cứu cũng đã đánh giá được khả năng mô phỏng nồng độ O₃ mặt đất tại khu vực tỉnh Đồng Nai của mô hình WRF/CMAQ kết hợp bằng sự so sánh những kết quả được ước tính với kết quả đo đạc nồng độ O₃ tại 02 trạm quan trắc khác nhau trong khoảng thời gian mô phỏng (như thể hiện trong Hình 1). Nồng độ O₃ mặt đất từ mô hình WRF/CMAQ kết

hợp được xuất ra ở vị trí ô lưới tính tương ứng và so sánh với kết quả đo tại từng trạm quan trắc (trạm đo số 1 và trạm đo số 2) dựa vào tiêu chí đánh giá của nhiều chỉ số thống kê khác nhau để kiểm định các kết quả, bao gồm độ lệch trung bình chuẩn hóa (*NMB–Normalized Mean Bias*) ở công thức (1); sai số gộp trung bình chuẩn hóa (*NME–Normalized Mean Gross Errors*) ở công thức (2) và hệ số tương quan R (*Correlation Coefficient–COR*) ở công thức (3) [41] trên cơ sở các đề xuất kiểm chứng mô phỏng chất lượng không khí của các nghiên cứu trước đây [42–43] để kiểm chứng mô hình.

$$NMB = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)}{\sum_{i=1}^N (O_i)} \times 100 \tag{1}$$

$$NME = \frac{\sum_{i=1}^N |M_i - O_i|}{\sum_{i=1}^N (O_i)} \times 100 \tag{2}$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N [(M_i - \bar{M}_i) \times (O_i - \bar{O}_i)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M}_i)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)^2}} \tag{3}$$

Trong đó M_i là nồng độ O_3 mặt đất mô phỏng tại thời điểm thứ i (với i từ 1, 2, ..., N với N là tổng số thời điểm có đo O_3); O_i là nồng độ O_3 mặt đất giám sát tại thời điểm thứ i ; \bar{M}_i là giá trị trung bình O_3 mặt đất mô phỏng ở các thời điểm i có đo đạc và \bar{O}_i là trung bình nồng độ O_3 mặt đất đo đạc ở tất cả các thời điểm i .

2.4. Đánh giá tác động sức khỏe con người

Mô hình BenMAP–CE phiên bản 1.5.0.4 đã được dùng để ước tính những ảnh hưởng sức khỏe do tiếp xúc ngắn hạn với khí O_3 gây ra. BenMAP–CE là một phần mềm mã nguồn mở, có sẵn do US EPA phát triển [44] nhằm hệ thống hóa các quá trình phân tích cả về sức khỏe cộng đồng và giá trị kinh tế (tiền tệ) [45–46]. Bộ dữ liệu đầu vào gồm có dữ liệu nồng độ O_3 mặt đất trung bình 8–h cực đại hàng ngày mô phỏng từ mô hình WRF/CMAQ kết hợp, dữ liệu về dân số và dữ liệu liên quan đến các loại bệnh tật (*morbidity*) theo các dạng hàm ước tính thiệt hại sức khỏe.

Dựa trên cơ sở Phân loại Bệnh tật Quốc tế, Bản sửa đổi lần thứ 10 (ICD–10), các nguyên nhân gây ra việc nhập viện điều trị trong nghiên cứu này có thể được phân loại thành các bệnh đường hô hấp do tất cả nguyên nhân (*all-cause respiratory diseases*) (RD–ICD J00–J99) và các bệnh tim mạch do tất cả nguyên nhân (*all-cause cardiovascular diseases*) (CVD–ICD I00–I99, ngoại trừ I88).

Những thiệt hại sức khỏe người dân trong BenMAP–CE được xác định theo một hàm thiệt hại sức khỏe (*Health Impact Function–HIF*) cùng với các hệ số β có liên quan đến các loại thiệt hại sức khỏe (health endpoints) được tính từ các giá trị rủi ro sức khỏe trong các nghiên cứu dịch tễ học, chúng phản ánh mối quan hệ giữa rủi ro tương đối với sự thay đổi trong phơi nhiễm ngắn hạn O_3 mặt đất theo các công thức (4), (5), (6) và (7) [44, 47–48] mô tả bên dưới như sau:

$$\Delta Y = Y_0 \left(1 - e^{-\beta \times \Delta O_3 \text{Conc}} \right) \times \text{Pop} \tag{4}$$

$$\beta = \frac{\ln(\text{RR})}{\Delta O_3 \text{Conc}} \tag{5}$$

$$\beta_{\text{lowerbound}} = \beta - (1.96 \times \sigma_\beta) \tag{6}$$

$$\beta_{\text{upperbound}} = \beta + (1.96 \times \sigma_\beta) \tag{7}$$

Trong đó ΔY là số trường hợp nhập viện điều trị do tiếp xúc ô nhiễm O_3 mặt đất ngắn hạn; Y_0 là tỷ lệ mắc bệnh nền cho từng loại thiệt hại sức khỏe trên mỗi đơn vị dân số; $\Delta O_3 Conc$ là sự thay đổi nồng độ O_3 trung bình 8–h cực đại hàng ngày, đại diện cho sự khác biệt giữa lớp nồng độ O_3 hiện trạng (*baseline*) và nồng độ sau khi được kiểm soát bởi QCVN 05:2013/BTNMT và tiêu chuẩn của WHO năm 2021; Pop là dân số bị phơi nhiễm O_3 mặt đất và β là hệ số của các hàm HIF hay còn được gọi là hàm nồng độ phản ứng (C–R) được xác định từ các giá trị rủi ro tương đối từ các nghiên cứu dịch tễ học (*relative risk – RR*) [1, 48–49], β đại diện cho phần trăm thay đổi trong một loại tác động sức khỏe nhất định của mỗi đơn vị nồng độ O_3 mặt đất. $\beta_{lowerbound}$ và $\beta_{upperbound}$ lần lượt là các giá trị cận dưới và cận trên của hệ số β với σ_β (sai số chuẩn của β) được tính toán như là giá trị trung bình của các sai số chuẩn được bao hàm bởi các giới hạn dưới ($RR_{lowerbound}$) và giới hạn trên ($RR_{upperbound}$) của RR đã được nghiên cứu trong các báo cáo dịch tễ học (như trong Bảng 1).

Bảng 1. Giá trị rủi ro tương đối (RR) của các hàm C–R tương ứng cho các loại thiệt hại sức khỏe (ngắn hạn) được phân tích.

Loại thiệt hại	RR (95% CI), $\Delta O_3 Conc$	Khu vực nghiên cứu	Tham khảo
HA do bệnh đường hô hấp tất cả nguyên nhân, tất cả nhóm tuổi	1.007 (1.001–1.013), $\Delta O_3 Conc = 10 \mu g/m^3$	TP. Hà Nội	[15]
HA do bệnh đường hô hấp tất cả nguyên nhân, trẻ em (0–5 tuổi)	1.007 (1.001–1.013), $\Delta O_3 Conc = 10 \mu g/m^3$	TP. Hà Nội	[15]
HA do bệnh đường hô hấp tất cả nguyên nhân, người già (≥ 65 tuổi)	1.021 (1.005–1.037), $\Delta O_3 Conc = 10 \mu g/m^3$	TP. Hà Nội	[15]
HA do bệnh tim mạch tất cả nguyên nhân, tất cả nhóm tuổi	0.987 (0.973–1.001), $\Delta O_3 Conc = 68 \mu g/m^3$	TP. Hà Nội	[50]
	1.021 (0.989–1.054), $\Delta O_3 Conc = 68 \mu g/m^3$	TP. Quảng Ninh	[50]
HA do bệnh tim mạch tất cả nguyên nhân, người trưởng thành (15–64 tuổi)	0.991 (0.969–1.014), $\Delta O_3 Conc = 68 \mu g/m^3$	TP. Hà Nội	[50]
	1.006 (0.959–1.054), $\Delta O_3 Conc = 68 \mu g/m^3$	TP. Quảng Ninh	[50]
HA do bệnh tim mạch tất cả nguyên nhân, người già (≥ 65 tuổi)	0.983 (0.965–1.002), $\Delta O_3 Conc = 68 \mu g/m^3$	TP. Hà Nội	[50]
	1.034 (0.991–1.079), $\Delta O_3 Conc = 68 \mu g/m^3$	TP. Quảng Ninh	[50]

2.5. Dữ liệu thu thập

2.5.1. Dữ liệu dân số

Ước tính tác động của ô nhiễm O_3 mặt đất tại khu vực nghiên cứu thuộc toàn bộ tỉnh Đồng Nai; do vậy, nghiên cứu xác định quy mô dân số bị phơi nhiễm là toàn bộ dân số của 02 Thành phố và 09 quận/huyện trên địa bàn tỉnh Đồng Nai trong năm 2019 (Bảng 2). Dữ liệu về dân số được thu thập từ Niên giám Thống kê Đồng Nai, 2020 và xem xét tính toán cho tất cả các nhóm tuổi, nhóm giới tính [24].

Bảng 2. Dân số của tỉnh Đồng Nai trong năm 2019 (đơn vị: người).

Huyện, Thành phố	Tổng dân số	Trẻ em	Người lớn	Người già
TP. Biên Hòa	1.062.410	250.815	753.644	57.951
TP. Long Khánh	152.280	35.950	108.023	8.306
Huyện Tân Phú	153.010	36.123	108.541	8.346
Huyện Vĩnh Cửu	164.880	38.925	116.961	8.994
Huyện Định Quán	187.310	44.220	132.872	10.217
Huyện Trảng Bom	351.150	82.900	249.096	19.154
Huyện Thống Nhất	164.540	38.845	116.720	8.975

Huyện, Thành phố	Tổng dân số	Trẻ em	Người lớn	Người già
Huyện Cẩm Mỹ	140.910	33.266	99.958	7.686
Huyện Long Thành	247.370	58.399	175.477	13.493
Huyện Xuân Lộc	227.860	53.793	161.638	12.429
Huyện Nhơn Trạch	261.990	61.851	185.848	14.291
Tổng cộng	3.113.710	735.088	2.208.779	169.844

2.5.2. Tỷ lệ mắc bệnh nền

Trong nghiên cứu này, tỷ lệ mắc bệnh nền (Y_0) là xác suất mà một người dân của một quốc gia/khu vực sẽ bị mắc bệnh trong một khoảng thời gian nhất định [45]. Bộ dữ liệu Y_0 của từng loại thiệt hại sức khỏe trong năm 2019 cho tất cả các nhóm giới tính (nam, nữ) và các nhóm tuổi cho khu vực nghiên cứu được thu thập từ nguồn Niên giám thống kê Y tế quốc gia 2019–2020 (<https://moh.gov.vn/>). Mặt khác, để có sự tương thích với các tính toán tiếp xúc ngắn hạn, giá trị Y_0 hàng ngày (người/ngày) đã được ước tính bằng cách chia cho 365 ngày [45] và là nguồn dữ liệu nhập vào trong mô hình BenMAP–CE. Từ đó, xác định được tỷ lệ mắc bệnh nền (Y_0) đối với các loại thiệt hại, gồm bệnh đường hô hấp do tất cả nguyên nhân và bệnh tim mạch do tất cả nguyên nhân lần lượt là 0,000378 và 0,000231.

2.5.3. Hàm nồng độ–phản ứng (C–R)

Khu vực được thực hiện nghiên cứu là toàn bộ tỉnh Đồng Nai; tuy nhiên, các nghiên cứu dịch tễ học hiện nay có liên quan đến việc xây dựng các hàm C–R để đánh giá mức độ rủi ro (RR) do tác động từ phơi nhiễm ô nhiễm O_3 mặt đất ở tỉnh Đồng Nai là vẫn chưa có và còn thiếu dữ liệu. Do đó, nhóm nghiên cứu đã thực hiện lựa chọn các giá trị RR từ các nghiên cứu dịch tễ học sẵn có đã công bố cho TP. Hà Nội và TP. Quảng Ninh [14–15], đều có nhiều nét tương đồng về tốc độ, trình độ phát triển kinh tế–xã hội và mật độ phân bố dân cư. Bảng 1 bên trên đã trình bày chi tiết các giá trị RR với độ tin cậy 95% (95% CI) có được từ kết quả công bố của các nghiên cứu dịch tễ học và kết quả tính toán các hệ số β , $\beta_{lowerbound}$ và $\beta_{upperbound}$ tương ứng được thể hiện trong Bảng 5 bên dưới.

3. Kết quả và thảo luận

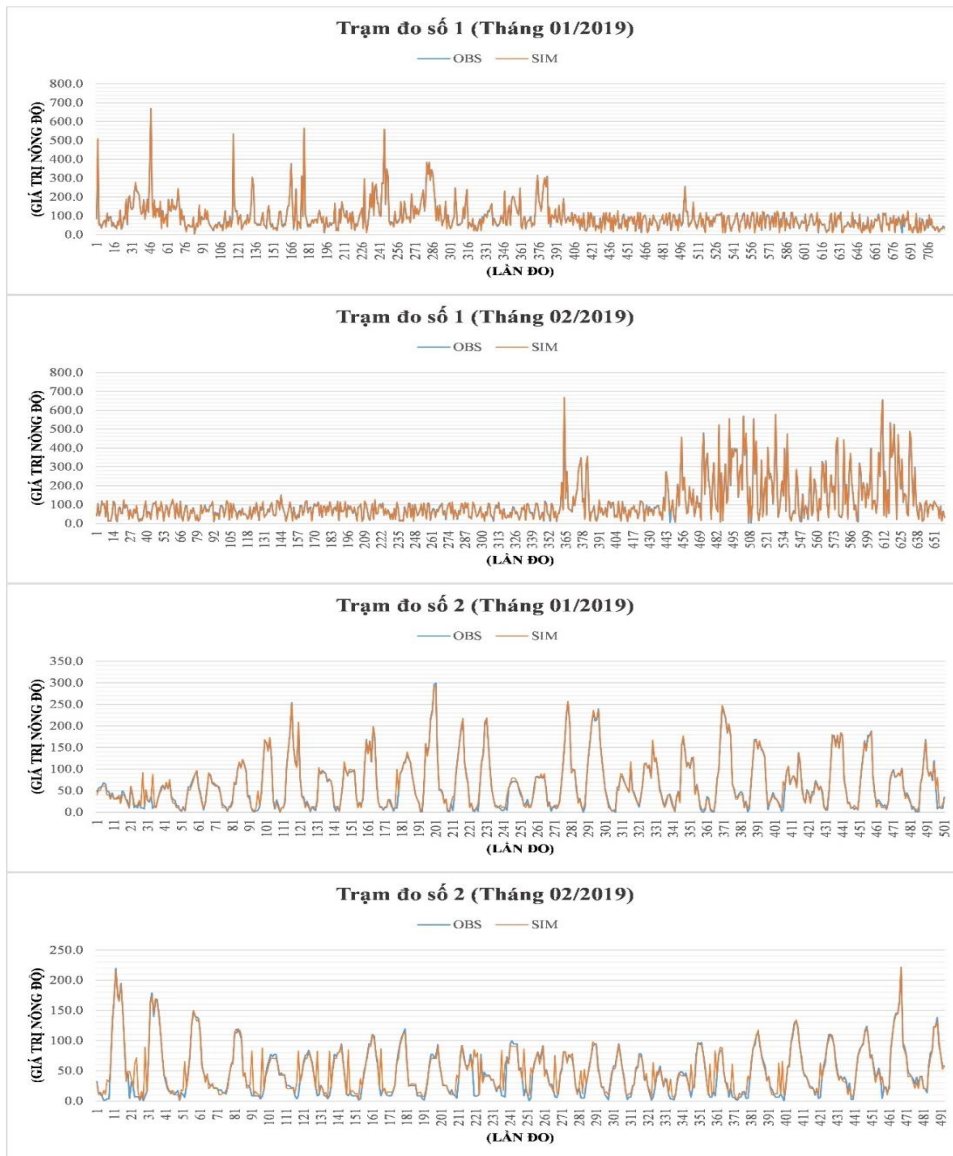
3.1. Phân tích hiệu quả mô phỏng nồng độ O_3 mặt đất

Việc đánh giá hiệu quả mô phỏng nồng độ O_3 mặt đất cho khu vực nghiên cứu thuộc tỉnh Đồng Nai trong các tháng 01/2019 và tháng 02/2019 đã được phân tích dựa trên kết quả nồng độ O_3 mặt đất đo đạc (Bảng 3) và nồng độ mô phỏng (Hình 3) tại 02 vị trí quan trắc (trạm đo số 1 và trạm đo số 2) ở TP. Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai như đã mô tả ở mục 2.1 và Hình 1. Ba chỉ số thống kê, gồm có NMB, NME và giá trị hệ số tương quan R (COR) đã được xác định dựa trên các công thức từ (1) đến (3) đã được mô tả ở mục 2.3 để phân tích, đánh giá hiệu quả của hệ thống các mô hình WRF/CMAQ kết hợp. Điều kiện cho phép tương ứng của các chỉ số thống kê cũng được đề xuất theo các nghiên cứu [42–43] cũng đã được báo cáo trong Bảng 4.

Đối với trạm đo số 1, trong tháng 01/2019 kết quả các chỉ số thống kê ước tính đều đảm bảo các điều kiện cho phép tương ứng ở mức tốt, với các giá trị lần lượt là NMB = –1,515% (điều kiện NMB < ± 30%); NME = 4,164% (điều kiện NME < 50%) và hệ số COR = 0,987 (điều kiện hệ số COR > 0,5). Trong tháng 02/2019, các kết quả cũng đạt được tương tự như trong trường hợp tháng 01/2019 với các kết quả chỉ số thống kê NMB, NME và hệ số COR ước tính lần lượt tại trạm đo số 1 là –1,065%; 3,662% và 0,988.

Tương tự đối với trạm đo số 2, các kết quả chỉ số thống kê ước tính đều đảm bảo các điều kiện cho phép tương ứng ở mức tốt. Cụ thể, các giá trị đạt được trong tháng 01/2019 và 02/2019 đối với chỉ số NMB lần lượt là 1,158% và 7,906% (điều kiện NMB < ± 30%);

đôi với chỉ số NME lần lượt là 7,099% và 16,208% (điều kiện NME < 50%); và đôi với hệ số COR lần lượt là 0,987 và 0,913 (điều kiện hệ số COR > 0,5).



Hình 3. So sánh tương quan giữa giá trị nồng độ O₃ mặt đất từ kết quả mô phỏng (đường màu cam, SIM) và kết quả quan trắc (đường màu xanh, OBS) tại 02 trạm đo đặc của các ngày trong tháng 01/2018 và 02/2018 tại tỉnh Đồng Nai.

Bảng 3. Kết quả thống kê mô tả mức nồng độ O₃ mặt đất trung bình 8-h cực đại được đo đạc tại 02 trạm đo ở tỉnh Đồng Nai trong tháng 01/2019 và 02/2019.

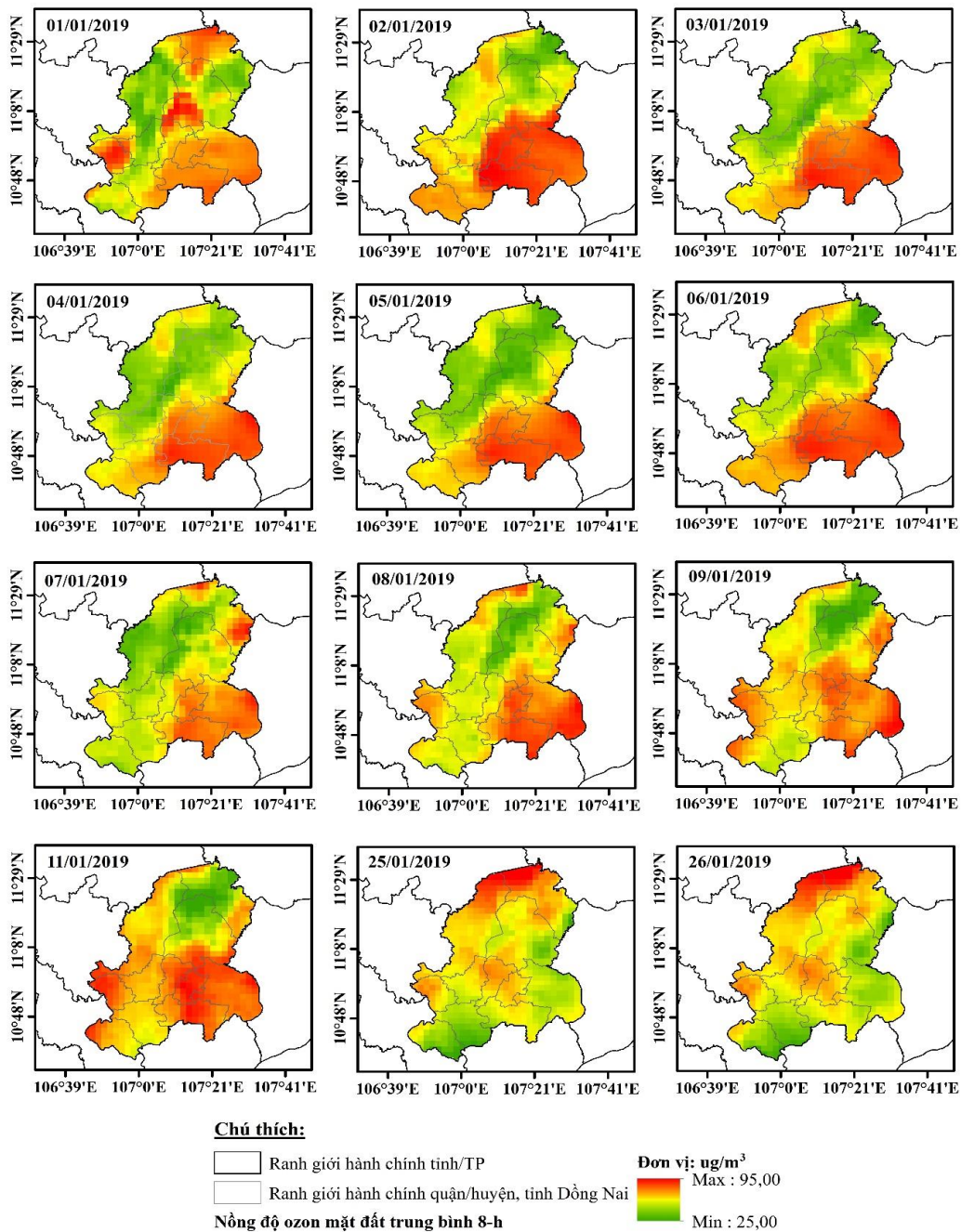
Thông số	Trạm đo số 1		Trạm đo số 2	
	Tháng 01/2019			
Giá trị trung bình (µg/m ³)	89.839 ± 35.573		102.376 ± 46.209	
Giá trị cực tiểu (µg/m ³)	44.221		14.992	
Giá trị cực đại (µg/m ³)	225.778		194.611	
Trung vị (µg/m ³)	79.791		97.995	
Tháng 02/2019				
Giá trị trung bình (µg/m ³)	103.658 ± 61.493		78.798 ± 29.467	
Giá trị cực tiểu (µg/m ³)	43.448		34.587	
Giá trị cực đại (µg/m ³)	237.888		158.689	
Trung vị (µg/m ³)	75.825		69.067	

Bảng 4. Kết quả xác định các chỉ số thống kê cho kiểm định mô phỏng nồng độ O₃ mặt đất từ các mô hình WRF/CMAQ kết hợp.

Chỉ số thống kê	Trạm quan trắc				Tiêu chuẩn
	Trạm đo số 1 (Tháng 1)	Trạm đo số 1 (Tháng 2)	Trạm đo số 2 (Tháng 1)	Trạm đo số 1 (Tháng 2)	
NMB (%)	-1,515%	-1,065%	1,158%	7,906%	-30% < NMB < 30%
NME (%)	4,164%	3,662%	7,099%	16,208%	NME < 50%
Hệ số COR	0,987	0,988	0,987	0,913	COR > 0,5

3.2. Đánh giá kết quả phân bố không gian–thời gian nồng độ O₃ mặt đất

3.2.1. Tháng 01/2019



Hình 4. Sự phân bố không gian–thời gian mức nồng độ O₃ mặt đất trung bình 8–h của các ngày có mức nồng độ cao nhất (01/01/2019–09/01/2019, 11/01/2019, 25/01/2019–26/01/2019) xảy ra trong tháng 01/2019 tại tỉnh Đồng Nai.

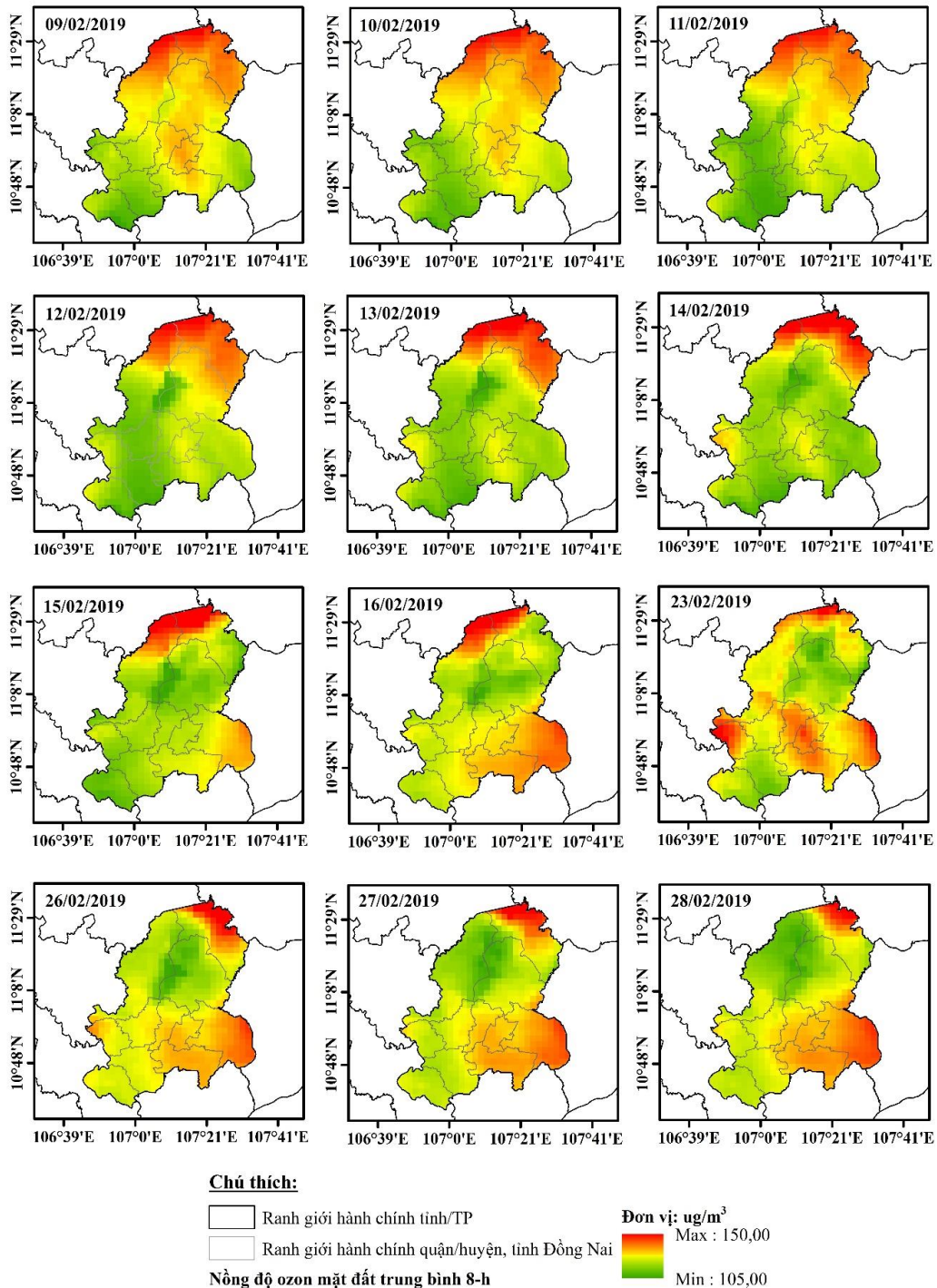
Dựa trên các kết quả mô phỏng từ hệ thống WRF/CMAQ chỉ ra sự biến động nồng độ O_3 trung bình 8-h trong tháng 01/2019 dao động từ 11,36–93,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hình 4 thể hiện sự phân bố nồng độ O_3 trung bình 8-h của một số ngày có mức nồng độ cao điển hình trong tháng, gồm có giai đoạn từ 01/01–09/01, 11/01 và 25/01–26/01/2019. Trong tháng 01/2019 mức nồng độ trung bình 8-h có xu hướng giảm dần từ ngày 01/01/2019 cho đến ngày 10/01/2019, trong đó ngày 10/01/2019 có mức nồng độ thấp nhất với khoảng từ 11,36–14,13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tiếp theo, ở giai đoạn từ ngày 11/01/2019 đến ngày 31/01/2019, nồng độ O_3 trung bình 8-h hầu như tương đối ổn định và rất ít có sự biến động với sự biến thiên trong khoảng từ 24,49–49,74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Đồng thời, từ các kết quả mô phỏng có thể nhận thấy rằng khi so sánh mức nồng độ O_3 trung bình 8-h đối với QCVN 05:2013/BTNMT (ngưỡng trung bình 8-h là 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) thì không có ngày nào vượt giới hạn cho phép. Tuy nhiên, khi so sánh với hướng dẫn về chất lượng không khí toàn cầu của WHO năm 2021 với ngưỡng mục tiêu IT 2 là 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ thì có 02 ngày có mức nồng độ O_3 trung bình 8-h bị ô nhiễm. Cụ thể đó lần lượt là các ngày 03/01/2019 với giá trị nồng độ O_3 trung bình 8-h cực đại là 93,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, đã vượt khoảng 1,33 lần và ở ngày 04/01/2019 với giá trị nồng độ O_3 trung bình 8-h cực đại là 74,60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, đã vượt khoảng 1,07 lần so với ngưỡng mục tiêu IT 2 của WHO. Mặt khác, cũng có thể thấy rằng trong giai đoạn từ 01/01/2019 đến 11/01/2019 mức nồng độ O_3 trung bình 8-h cao thường xảy ra tập trung tại các khu vực phía Đông và Đông Nam của tỉnh Đồng Nai như các huyện Xuân Lộc, Cẩm Mỹ, Long Thành, một phần phía Nam huyện Thống Nhất và TP. Long Khánh. Trong khi đó, từ 12/01/2019 đến 31/01/2019 mức nồng độ O_3 trung bình 8-h cao thường xảy ra tập trung tại các khu vực phía Bắc và Tây Bắc của tỉnh Đồng Nai như tại các huyện Vĩnh Cửu, Tân Phú và một phần phía Bắc của huyện Định Quán.

3.2.2. Tháng 02/2019

Tương tự như tháng 01/2019, cũng dựa trên các kết quả mô phỏng số từ hệ thống mô hình cho thấy sự biến thiên mức nồng độ O_3 trung bình 8-h trong tháng 02/2019 dao động từ 38,88–149,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Biên độ dao động đã cao hơn so với tháng 01/2019 từ 1,60–13,13 lần. Hình 5 bên dưới cũng trình bày sự phân bố không gian–thời gian nồng độ O_3 trung bình 8-h của một số ngày có mức nồng độ cao điển hình trong tháng, gồm có giai đoạn từ 09/02–16/02, 23/02 và 26/02–28/02/2019. Trong tháng 02/2019 mức nồng độ trung bình 8-h có xu hướng tăng dần trong một số ngày đầu tháng từ ngày 01/02/2019 cho đến ngày 05/02/2019, trong giai đoạn này giá trị nồng độ O_3 trung bình 8-h dao động từ 38,88–93,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tiếp theo, giá trị nồng độ có xu hướng giảm đến ngày 07/02/2019 với mức biến thiên từ 44,68–54,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; từ sau đó giá trị nồng độ bắt đầu tăng mạnh và đạt đỉnh vào ngày 12/02/2019 với mức dao động từ 112,49–149,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; và từ ngày 13/02/2019 đến 28/02/2019, giá trị nồng độ O_3 trung bình 8-h có xu hướng ổn định hơn và ít có sự thay đổi đáng kể với mức dao động từ 104,13–148,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Khác biệt so với tháng 01/2019, từ các kết quả mô phỏng có thể nhận thấy rằng khi so sánh mức nồng độ O_3 trung bình 8-h đối với QCVN 05:2013/BTNMT (ngưỡng trung bình 8-h là 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) thì có 20 ngày bị ô nhiễm, cụ thể đó là các ngày từ 09/02 đến 28/02/2019, với mức vượt ngưỡng giới hạn cho phép của QCVN từ 1,09–1,24 lần.

Đồng thời, khi so sánh với hướng dẫn về chất lượng không khí toàn cầu của WHO năm 2021 với các ngưỡng mục tiêu IT 1 và IT 2 lần lượt là 100 và 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ thì cũng lần lượt có 21 và 24 ngày có mức nồng độ O_3 trung bình 8-h bị ô nhiễm. Cụ thể đó lần lượt là các ngày 01/02/2019 với giá trị nồng độ O_3 trung bình 8-h cực đại là 71,60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, đã vượt khoảng 1,02 lần so với ngưỡng IT 2; ngày 05/02/2019 với giá trị nồng độ cực đại là 93,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, đã vượt khoảng 1,33 lần so với ngưỡng IT 2; ngày 06/02/2019 với giá trị nồng độ cực đại là 75,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, đã vượt khoảng 1,07 lần so với ngưỡng IT 2; ngày 08/02/2019 với giá trị nồng độ cực đại là 113,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, đã vượt khoảng 1,13 và 1,62 lần so với ngưỡng mục tiêu IT 1 và 2. Trong khi đó, ở giai đoạn từ 09/02/2019 đến 28/02/2019 với giá trị nồng độ O_3 trung

bình 8-h cực đại ở mức từ 131,02–149,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lần lượt đã vượt khoảng từ 1,31–1,49 lần và từ 1,87–2,13 lần so với các ngưỡng mục tiêu IT 1 và IT 2 của WHO. Mặt khác, cũng có thể thấy rằng trong giai đoạn từ 01/02/2019 đến 15/02/2019 mức nồng độ O_3 trung bình 8-h cao thường xảy ra tập trung tại các khu vực phía Bắc, Tây Bắc và một phần trung tâm của tỉnh Đồng Nai như tại các huyện Vĩnh Cửu, Tân Phú và một phần phía Bắc của các huyện Định Quán, Thống Nhất, TP. Long Khánh. Trong khi, từ 16/02/2019 đến 28/02/2019 mức nồng độ O_3 trung bình 8-h cao thường xảy ra tập trung tại các khu vực phía Bắc, Đông và Đông Nam của tỉnh Đồng Nai như các huyện Vĩnh Cửu, Tân Phú, Xuân Lộc, Cẩm Mỹ và một phần ở phía Đông của TP. Long Khánh.



Hình 5. Sự phân bố không gian–thời gian mức nồng độ O_3 mặt đất trung bình 8-h của các ngày có mức nồng độ cao nhất (09/02/2019–16/02/2019, 23/02/2019, 26/02/2019–28/02/2019) xảy ra trong tháng 02/2019 tại tỉnh Đồng Nai.

3.3. Đánh giá tác động đến sức khỏe cộng đồng do phơi nhiễm ngắn hạn O₃ mặt đất

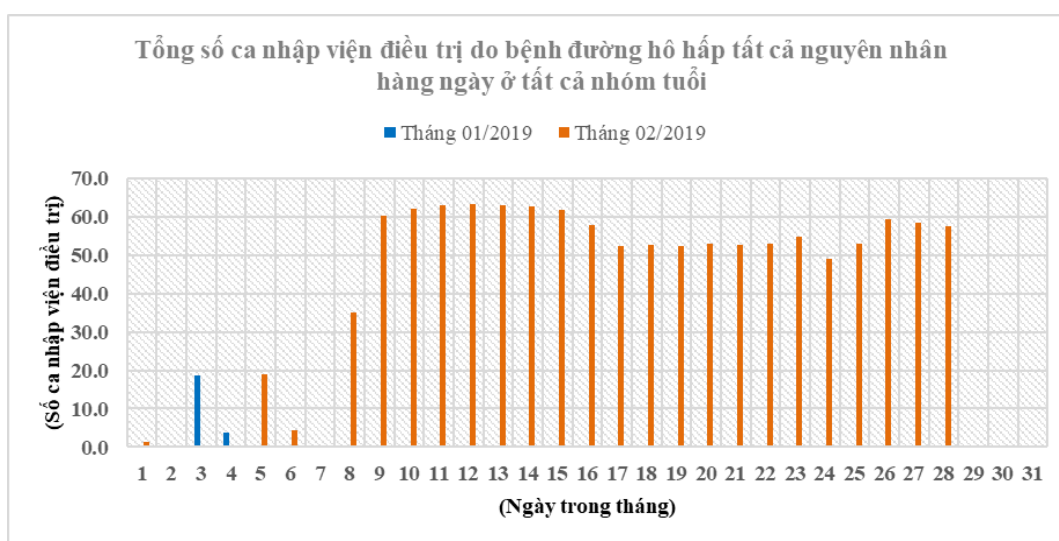
3.3.1. Trường hợp nhập viện điều trị do bệnh đường hô hấp

Kết quả phân tích tác động của tiếp xúc với ô nhiễm O₃ mặt đất ngắn hạn (dựa trên mức giá trị nồng độ O₃ trung bình 8–h cực đại hàng ngày đã mô phỏng kết hợp cùng với các giá trị hệ số β của hàm thiệt hại ở Bảng 5) cho thấy từ tháng 01/2019 đến tháng 02/2019 có khoảng 346,90 (95% CI: 50,04–637,79) ca nhập viện điều trị do các bệnh đường hô hấp bởi tất cả nguyên nhân khi áp dụng mức nồng độ sau khi được kiểm soát bởi QCVN 05:2013/BTNMT là 120 µg/m³. Tuy nhiên, khi áp dụng mức nồng độ sau khi được kiểm soát bởi các ngưỡng mục tiêu IT 1 và IT 2 của hướng dẫn về chất lượng không khí toàn cầu của WHO năm 2021 lần lượt là 100 và 70 µg/m³ thì số ca nhập viện điều trị ước tính ở mức cao hơn hẳn, cụ thể lần lượt là 679,17 (95% CI: 98,52–1.241,81) ca và 1.224,06 (95% CI: 179,00–2.220,39) ca. Số ca nhập viện điều trị do các bệnh đường hô hấp bởi tất cả nguyên nhân cao nhất xảy ra vào ngày 12/02/2019, lần lượt là 23,70 (95% CI: 3,43–43,50) ca khi tính theo QCVN; 39,68 (95% CI: 5,77–72,40) ca khi tính theo ngưỡng IT 1 và 63,24 (95% CI: 9,28–114,37) ca khi tính theo ngưỡng IT 2 của WHO năm 2021. Mặt khác, số ca nhập viện trong tháng 02/2019 cũng cao hơn hẳn so với trong tháng 01/2019, với khoảng 1.201,53 (95% CI: 175,75–2.178,92) ca so với chỉ 22,54 (95% CI: 3,25–41,47) ca khi tính theo ngưỡng IT 2 của WHO.

Hình 6 bên dưới thể hiện tổng số ca nhập viện điều trị hàng ngày ở tất cả các nhóm tuổi, nhóm giới tính do bệnh về đường hô hấp bởi tất cả các nguyên nhân trong tháng 01/2019 và 02/2019 ở khu vực nghiên cứu.

Bảng 5. Kết quả ước tính giá trị hệ số β, β_{lowerbound}, và β_{upperbound} của hàm C–R cho tính toán các loại thiệt hại sức khỏe (ngắn hạn).

Loại thiệt hại	Hệ số β	β _{lowerbound}	β _{upperbound}
HA do bệnh đường hô hấp tất cả nguyên nhân, tất cả nhóm tuổi	0.000698	0.000100	0.001292
HA do bệnh đường hô hấp tất cả nguyên nhân, trẻ em (0 – 5 tuổi)	0.000698	0.000100	0.001292
HA do bệnh đường hô hấp tất cả nguyên nhân, người già (≥ 65 tuổi)	0.002078	0.000499	0.003633
HA do bệnh tim mạch tất cả nguyên nhân, tất cả nhóm tuổi	-0.000192	-0.000403	0.000015
	0.000306	-0.000163	0.000773
HA do bệnh tim mạch tất cả nguyên nhân, người trưởng thành (15 – 64 tuổi)	-0.000133	-0.000463	0.000204
	0.000088	-0.000616	0.000773
HA do bệnh tim mạch tất cả nguyên nhân, người già (≥ 65 tuổi)	-0.000252	-0.000524	0.000029
	0.000492	-0.000133	0.001118

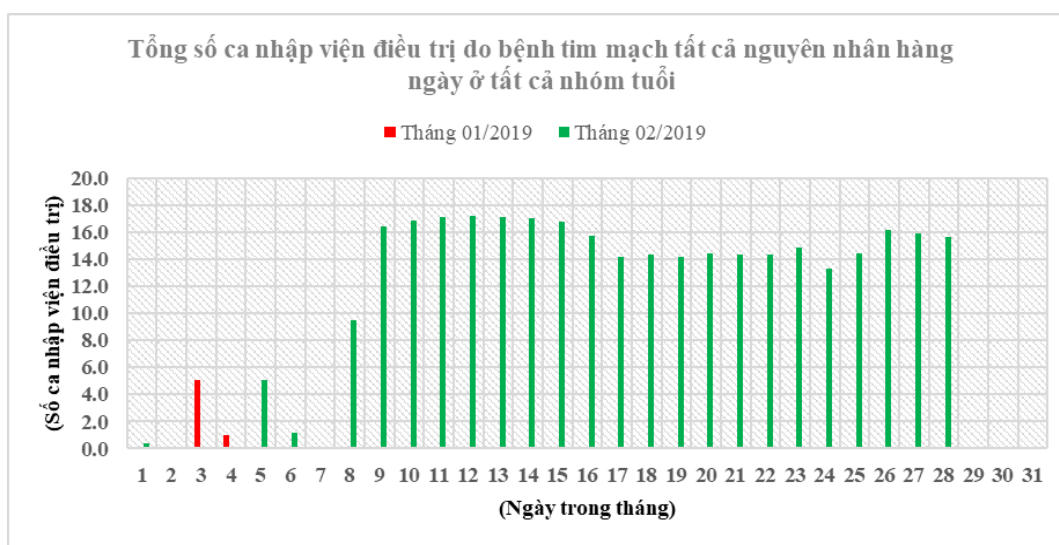


Hình 6. Diễn biến tổng số ca nhập viện điều trị nội hàng ngày do bệnh về đường hô hấp bởi tất cả các nguyên nhân trong tháng 01/2019 và 02/2019 ở tỉnh Đồng Nai (tính theo ngưỡng mục tiêu IT 2 của WHO năm 2021).

3.3.2. Trường hợp nhập viện điều trị do bệnh tim mạch

Tương tự như bệnh đường hô hấp, đối với trường hợp nhập viện điều trị nội trú do bệnh tim mạch bởi tất cả nguyên nhân, các kết quả tác động sức khỏe con người cũng được phân tích dựa trên mức độ tiếp xúc với ô nhiễm O₃ mặt đất ngắn hạn (từ mức giá trị nồng độ O₃ trung bình 8–h cực đại hàng ngày đã mô phỏng bằng mô hình WRF/CMAQ kết hợp) cho thấy từ tháng 01/2019 đến tháng 02/2019 có khoảng 93,50 (95% CI: –50,07–234,93) ca nhập viện khi áp dụng mức nồng độ sau khi được kiểm soát bởi QCVN 05:2013/BTNMT là 120 µg/m³. Mặt khác, cũng tương tự khi áp dụng mức nồng độ sau khi được kiểm soát bởi các ngưỡng mục tiêu IT 1 và IT 2 của hướng dẫn về chất lượng không khí toàn cầu của WHO năm 2021 lần lượt là 100 và 70 µg/m³ thì số ca nhập viện điều trị ước tính ở mức cao hơn hẳn, cụ thể lần lượt là 183,72 (95% CI: –98,82–459,63) ca và 332,88 (95% CI: –180,20–827,55) ca. Số ca nhập viện điều trị do các bệnh tim mạch bởi tất cả nguyên nhân cao nhất cũng xảy ra vào ngày 12/02/2019, lần lượt là 6,40 (95% CI: –3,43–16,05) ca khi tính theo QCVN; 10,75 (95% CI: –5,79–26,85) ca khi tính theo ngưỡng IT 1 và 17,23 (95% CI: –9,35–42,74) ca khi tính theo ngưỡng IT 2 của WHO năm 2021. Hơn nữa, số ca nhập viện do bệnh về tim mạch bởi tất cả nguyên nhân ở các nhóm tuổi trong tháng 02/2019 cũng cao hơn hẳn so với trong tháng 01/2019, với khoảng 326,80 (95% CI: –176,96–812,28) ca so với chỉ 6,07 (95% CI: –3,25–15,26) ca khi tính theo ngưỡng IT 2 của WHO.

Hình 7 bên dưới thể hiện tổng số ca nhập viện điều trị hàng ngày ở tất cả các nhóm tuổi, nhóm giới tính do bệnh về tim mạch bởi tất cả các nguyên nhân trong tháng 01/2019 và 02/2019 ở tỉnh Đồng Nai.



Hình 7. Diễn biến tổng số ca nhập viện điều trị nội hàng ngày do bệnh về tim mạch bởi tất cả các nguyên nhân trong tháng 01/2019 và 02/2019 ở tỉnh Đồng Nai (tính theo ngưỡng mục tiêu IT 2 của WHO năm 2021).

3.4. Thảo luận

Các dữ liệu đầu vào trong nghiên cứu này bao gồm dữ liệu về chất lượng không khí (nồng độ O₃ mặt đất), dân số phơi nhiễm (số dân củatỉnh Đồng Nai), các hàm C–R và các hệ số β tương ứng từ các nghiên cứu dịch tễ học. Mỗi loại dữ liệu đầu vào mô hình đều có những sai số, có thể ảnh hưởng đến kết quả tính toán cuối cùng ở những mức độ khác nhau. Kết quả ước tính quy mô dân số bị phơi nhiễm được lấy từ nguồn dữ liệu tin cậy của địa phương là Niên giám Thống kê tỉnh Đồng Nai 2020 và Niên giám Thống kê Y tế 2019–2020. Do đó, các kết quả về thiệt hại sức khỏe về cơ bản phụ thuộc vào lựa chọn các hàm C–R, hệ số β và thấy rằng các kết quả tính trong nghiên cứu có thể có sự chênh lệch. Bởi hiện tại ở Việt Nam, hầu như không có bất kỳ các nghiên cứu định lượng về mối quan hệ giữa ô nhiễm không khí và tính

trạng sức khỏe, đặc biệt là các nghiên cứu dịch tễ học về mối quan hệ giữa O₃ mặt đất và tác động sức khỏe đối với công dân ở các thành phố (phía Nam nói chung và tỉnh Đồng Nai nói riêng); nghiên cứu lựa chọn giải pháp là sử dụng các hệ số β và các hàm C–R từ các nghiên cứu gần đây ở các thành phố phía Bắc của Việt Nam. Đây chính là một trong những yếu tố chính có thể dẫn đến sai số của kết quả tính bởi các hệ số β và các hàm C–R có sự khác biệt rõ rệt về dữ liệu khu vực đánh giá (kết quả ước lượng hàm hồi quy); mặc dù trong quá trình tính toán, đánh giá vẫn xét đến giá trị trung bình và độ tin cậy 95% CI của các thiệt hại sức khỏe đã phản ánh phạm vi sai số.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu về cơ bản đã tổng quan phù hợp cho khu vực nghiên cứu tại tỉnh Đồng Nai trong điều kiện về các nghiên cứu dịch tễ học đánh giá mối liên hệ C–R do tiếp xúc O₃ ngắn hạn vẫn còn có sự hạn chế nhất định. Kết quả lượng hóa tác động sức khỏe cộng đồng cho thấy trong tháng 01/2019 và 02/2019, ô nhiễm không khí mà cụ thể là O₃ mặt đất đã gây ra thiệt hại sức khỏe cho khu vực nghiên cứu ước tính với khoảng 347 ca nhập viện điều trị do bệnh đường hô hấp bởi tất cả nguyên nhân (theo ngưỡng QCVN) và lên tới 1.224 ca theo ngưỡng mục tiêu IT 2 của WHO năm 2021. Và theo ước tính mức thiệt hại sức khỏe gây ra từ số ca nhập viện điều trị do bệnh tim mạch bởi tất cả nguyên nhân là 183 ca khi tính theo ngưỡng QCVN và có thể lên đến khoảng 333 ca theo ngưỡng mục tiêu IT 2 của hướng dẫn từ WHO năm 2021. Tuy nhiên, trong phạm vi nghiên cứu vẫn chưa xem xét, tính toán đến những thiệt hại sức khỏe con người liên quan đến số ca tử vong sớm do vấn đề hạn chế về mặt dữ liệu nghiên cứu dịch tễ học. Nghiên cứu đã được thực hiện và hoàn thành với các mục tiêu đặt ra; kết quả đạt được sẽ là cơ sở để phát triển tiếp theo hơn nữa việc lượng hóa chi tiết mức thiệt hại quy đổi thành các định mức giá trị kinh tế (tiền tệ). Từ đó, góp phần xây dựng, phát triển nguồn dữ liệu phục vụ công tác quản lý môi trường không khí hiệu quả cho tỉnh Đồng Nai.

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

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin bày tỏ sự cảm ơn chân thành tới Phòng Thí nghiệm Mô hình hóa Môi trường thuộc Khoa Môi trường và Tài nguyên, Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Quốc gia Điều khiển số và Kỹ thuật hệ thống (DCSELab), Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc Gia Tp. HCM.

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. Liang, S. et al. Estimation of health and economic benefits based on ozone exposure level with high spatial–temporal resolution by fusing satellite and station observations. *Environ. Pollut.* **2019**, 255, 113267.
2. Liu, T. et al. The short–term effect of ambient ozone on mortality is modified by temperature in Guangzhou, China. *Atmos. Environ.* **2013**, 76, 59–67.
3. Liu, H. et al. Ground–level ozone pollution and its health impacts in China. *Atmos. Environ.* **2018**, 173, 223–230.
4. Zhang, Y. et al. Tropospheric ozone change from 1980 to 2010 dominated by equatorward redistribution of emissions. *Nat. Geosci.* **2016**, 9(12), 875–879.
5. Qin, L. et al. Seasonal association between ambient ozone and mortality in Zhengzhou, China. *Int. J. Biometeorol.* **2017**, 61(6), 1003–1010.
6. Karthik, L.B.; Sujith, B.; Rizwan, A.S.; Sehgal, M. Characteristics of the Ozone Pollution and its Health Effects in India. *Int. J. Med. Public Heal.* **2017**, 7(1), 56–60.

7. Le, D.N. et al. Air pollution and risk of respiratory and cardiovascular hospitalizations in a large city of the Mekong Delta Region. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2022**.
8. WHO. Burden of disease from Ambient Air Pollution for 2012, 1211 Geneva 27, Switzerland, 2014.
9. WHO. Burden of disease attributable to outdoor air pollution, 1211 Geneva 27, Switzerland, 2011.
10. Fowler, D. et al. Ground-level ozone in the 21st century: future trends, impacts and policy implications, October, 2008.
11. NERC. Global Challenge Network on Tropospheric Ozone Ozone modelling, 2008.
12. Soares, A.R.; Silva, C. Review of Ground-Level Ozone Impact in Respiratory Health Deterioration for the Past Two Decades. *Atmosphere* **2022**, *13*(3), 434.
13. Chi, D.T.L.; Toan, V.D.; Linh, Q.H.; Van Chien, V.; Huyen, V.T. Risk assessment for PM10 and PM2.5 in Hanoi, Vietnam: An ecological study. *Pollut. Res.* **2020**, *39*(4), 971–979.
14. Nhung, N.T.T. et al. Mortality Burden due to Exposure to Outdoor Fine Particulate Matter in Hanoi, Vietnam: Health Impact Assessment. *Int. J. Public Health* **2022**, *67*, 1604331.
15. Luong, L.M.T.; Phung, D.; Dang, T.N.; Sly, P.D.; Morawska, L.; Thai, P.K. Seasonal association between ambient ozone and hospital admission for respiratory diseases in Hanoi, Vietnam. *PLoS One* **2018**, *13*(9), 1–15.
16. Feng, Z. et al. Economic losses due to ozone impacts on human health, forest productivity and crop yield across China. *Environ. Int.* **2019**, *131*, 104966.
17. WHO. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, 2006, 51, 6.
18. Ellingsen, K. et al. Global ozone and air quality: a multi-model assessment of risks to human health and crops. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* **2008**, *8*, 2163–2223.
19. Long, B.T.; Phong, N.H.; Duyen, C.M.N. Model for assessing health damage from air pollution in quarrying area – Case study at Tan Uyen quarry, Ho Chi Minh megapolis, Vietnam. *Heliyon* **2020**, *6*, e05045.
20. Bui, L.T.; Nguyen, P.H.; My Nguyen, D.C. Linking air quality, health, and economic effect models for use in air pollution epidemiology studies with uncertain factors. *Atmos. Pollut. Res.* **2021**, *12*(7), 101118.
21. Vu, H.N.K. et al. Poor air quality and its association with mortality in Ho Chi Minh city: Case study. *Atmosphere* **2020**, *11*(7), 1–20.
22. Dong Nai Statistics Office. Dong Nai Statistical Yearbook 2018, Dong Nai Province, 2019.
23. Department of Statistics Ho Chi Minh City. Part II: Actual situation of economic growth of Key Economic Region of South Vietnam in the period of 2010 – 2018, Ho Chi Minh City, 2019.
24. Dong Nai Statistics Office. Dong Nai Statistical Yearbook 2020, Bien Hoa City, 2021.
25. People’s Committee of Dong Nai Province. Dong Nai Province – Vietnam Investment Potential, Bien Hoa City, 2015.
26. Center for Technique of Natural Resources and Environment. Automatic air quality monitoring results in 2019. Dong Nai Department of Natural Resources and Environment, 2020. <https://tkktnmt.dongnai.gov.vn/> (Accessed Sep. 06, 2022).
27. Byun, D.; Schere, K.L. Review of the governing equations, computational algorithms, and other components of the models–3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) modeling system. *Appl. Mech. Rev.* **2006**, *59*(1–6), 51–76.

28. Viện vật lý địa cầu. Hệ thống mô hình nghiên cứu và dự báo thời tiết WRF. Trung tâm ứng dụng vật lý địa cầu (AGPC).
29. Hạnh, N.T. Dự báo mưa hạn mưa bằng mô hình WRF: độ nhạy cảm của tham số hóa đối lưu. Đại học Quốc gia Hà Nội – Trường Đại học Khoa học tự nhiên, 2016.
30. NCAR. WRF 3.9 User's Guide, 443, 2017.
31. Skamarock, W.C. et al. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. *Tech. Rep.* **2008**, pp. 113.
32. NCEP. CISL RDA: NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce, 2000.
33. Wang, X. et al. Modelling air quality during the EXPLORE–YRD campaign – Part I. Model performance evaluation and impacts of meteorological inputs and grid resolutions. *Atmos. Environ.* **2021**, *246*, 118131.
34. Borge, R. et al. Emission inventories and modeling requirements for the development of air quality plans. Application to Madrid (Spain). *Sci. Total Environ.* **2014**, *466–467*, 809–819.
35. Hu, J. et al. Source contributions and regional transport of primary particulate matter in China. *Environ. Pollut.* **2015**, *207*, 31–42.
36. Lang, J. et al. Investigating the contribution of shipping emissions to atmospheric PM_{2.5} using a combined source apportionment approach. *Environ. Pollut.* **2017**, *229*, 557–566.
37. Li, J. et al. Evaluation of the WRF–CMAQ Model Performances on Air Quality in China with the Impacts of the Observation Nudging on Meteorology. *Aerosol Air Qual. Res.* **2022**, *22(4)*, 220023.
38. Yarwood, G.; Jung, J.; Whitten, G.Z.; Heo, G.; Mellberg, J.; Estes, M. Updates to the Carbon Bond Mechanism for Version 6 (CB6). Proceeding of the 9th Annu. C. Conf. Chapel Hill, NC, Oct. 11–13, 2010, 6(415), 1–4.
39. Emery, C.; Jung, J.; Koo, B.; Yarwood, G. Final report: Improvements to CAMx Snow Cover Treatments and Carbon Bond Chemical Mechanism for Winter Ozone. Novato, California, USA, 2015.
40. Luecken, D.J.; Yarwood, G.; Hutzell, W.T. Multipollutant modeling of ozone, reactive nitrogen and HAPs across the continental US with CMAQ–CB6. *Atmos. Environ.* **2019**, *201*, 62–72.
41. Emery, C.; Liu, Z.; Russell, A.G.; Odman, M.T.; Yarwood, G.; Kumar, N. Recommendations on statistics and benchmarks to assess photochemical model performance. *J. Air Waste Manage. Assoc.* **2017**, *67(5)*, 582–598.
42. Morris, R.E.; Mc Nally, D.E.; Tesche, T.W.; Tonnesen, G.; Boylan, J.W.; Brewer P. Preliminary Evaluation of the Community Multiscale Air Quality Model for 2002 over the Southeastern United States. *J. Air Waste Manag. Assoc.* **2005**, *55(11)*, 1694–1708.
43. Eder, B.; Yu, S. A performance evaluation of the 2004 release of Models–3 CMAQ. *Atmos. Environ.* **2006**, *40(26)*, 4811–4824.
44. Sacks, J.D. et al. The Environmental Benefits Mapping and Analysis Program – Community Edition (BenMAP–CE): A tool to estimate the health and economic benefits of reducing air pollution. *Environ. Model. Softw.* **2018**, *104(2)*, 118–129.
45. Shang, Y. et al. Systematic review of Chinese studies of short–term exposure to air pollution and daily mortality. *Environ. Int.* **2013**, *54*, 100–111.
46. Altieri, K.E.; Keen, S.L. Public health benefits of reducing exposure to ambient fine particulate matter in South Africa. *Sci. Total Environ.* **2019**, *684*, 610–620.
47. Linh Nguyen, T.N.; Pimonsree, S.; Prueksakorn, K.; Bich Thao, P.T.; Vongruang, P. Public health and economic impact assessment of PM_{2.5} from open biomass

burning over countries in mainland Southeast Asia during the smog episode. *Atmos. Pollut. Res.* **2022**, 13(6), 101418.

48. Chen, L. et al. Assessment of population exposure to PM_{2.5} for mortality in China and its public health benefit based on BenMAP. *Environ. Pollut.* **2017**, 221, 311–317.
49. Luo, G.; Zhang, L.; Hu, X.; Qiu, R. Quantifying public health benefits of PM_{2.5} reduction and spatial distribution analysis in China. *Sci. Total Environ.* **2020**, 719, 137445.
50. Nhung, N.T.T. et al. Exposure to air pollution and risk of hospitalization for cardiovascular diseases amongst Vietnamese adults: Case–crossover study. *Sci. Total Environ.* **2020**, 703(1), 134637.

Risk assessment of hospital admission due to all–cause respiratory and cardiovascular diseases attributed to ground–level O₃ short–term exposure in Dong Nai Province

Uyen Le Khanh^{1,2}, Phong Hoang Nguyen^{1,2}, Long Ta Bui^{1,2*}

¹ Laboratory for Environmental Modelling, 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, Viet Nam; uyen.le02@hcmut.edu.vn; nhphong@dcselab.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

² Vietnam National University Ho Chi Minh City (VNU–HCM), Linh Trung Ward, Thu Duc District, Ho Chi Minh City, Viet Nam; uyen.le02@hcmut.edu.vn; nhphong@dcselab.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

Abstract: Dong Nai has always been strong socio–economic growth, population growth, and rapid urbanization make the air quality of the area significantly affected and one of the objects of concern is ozone pollution (ground–level O₃). The pressure created for the local government of Dong Nai province, in proposing and developing solutions to help reduce and control the sources of precursor emissions that contribute to the formation of the surface O₃. This study applied a combination of WRF (Weather Research and Forecasting)/CMAQ (Community Multilevel Air Quality Modeling System) models to simulate the current characteristics of surface O₃ pollution allocation spatially and temporally in January 2019 and February 2019, and a preliminary analysis of the public human health impact of inpatient hospitalization for all–cause respiratory and cardiovascular diseases at all ages and genders. The highlight outcomes have quantified the total number of inpatient hospitalizations due to short–term exposure to O₃ pollution up to 440.39 (95% CI: –0.03–872.72) cases calculated according to the 8–hour average threshold of QCVN 05:2013/BTNMT and 1,556.94 (95% CI: –1.20–3,047.94) cases calculated according to the Interim target threshold 2 of WHO guidance in 2021. This is one of the initial, reliable results, and could support further studies in accessing detailed quantitative economic losses from exposure to short–term ground–level O₃ pollution.

Keywords: Ground–level O₃ pollution; Spatio–temporal distribution; Human health effects; Hospital admission; WRF/CMAQ.

Bài báo khoa học

Tiềm năng áp dụng công nghệ chuỗi khối trong quản lý và vận hành thị trường các-bon tại Việt Nam

Nguyễn Thành Công^{1*}, Nguyễn Văn Minh¹, Lê Minh Quân¹, Lê Thành Tùng¹

¹ Cục Biến đổi khí hậu; tcongnguyen90@gmail.com; nvminh.dmhcc@gmail.com; lmquan2004@gmail.com; lethanhtungdccc@gmail.com

*Tác giả liên hệ: tcongnguyen90@gmail.com; Tel.: +84-829906696

Ban Biên tập nhận bài: 7/9/2022; Ngày phản biện xong: 6/10/2022; Ngày đăng bài: 25/10/2022

Tóm tắt: Định giá các-bon, bao gồm thị trường các-bon, đang dần trở thành công cụ chính sách chính được các quốc gia áp dụng trong nỗ lực giảm phát thải khí nhà kính. Song hành với sự phát triển của thị trường các-bon, các công nghệ mới giúp hỗ trợ quản lý và vận hành thị trường cũng đang được các bên tích cực nghiên cứu và áp dụng. Công nghệ chuỗi khối là một ví dụ điển hình cho xu thế trên. Bài báo sẽ cung cấp thông tin, nghiên cứu tiềm năng và đề xuất phương thức áp dụng công nghệ chuỗi khối trong quản lý và vận hành thị trường các-bon tại Việt Nam. Từ đó, kết quả của bài báo sẽ cung cấp cơ sở cho các nhà hoạch định chính sách trong xây dựng các văn bản quy phạm pháp luật có liên quan, hỗ trợ Việt Nam trong quản lý minh bạch và vận hành hiệu quả thị trường các-bon nội địa.

Từ khóa: Công nghệ chuỗi khối; Thị trường các-bon; Thỏa thuận Paris về biến đổi khí hậu.

1. Mở đầu

Khủng hoảng khí hậu tiếp tục leo thang trong bối cảnh đại dịch kéo dài, bất ổn kinh tế và căng thẳng địa chính trị ngày càng gia tăng. Theo đó, các quốc gia, trong đó có Việt Nam, đã đưa những cam kết mạnh mẽ hơn tại Hội nghị lần thứ 26 Các bên tham gia Công ước khung của Liên hợp quốc về biến đổi khí hậu (COP26) năm 2021. Các báo cáo mới nhất của Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu (IPCC) cho thấy thế giới vẫn cần tiếp tục đẩy mạnh nỗ lực giảm phát thải khí nhà kính ngay từ bây giờ để kịp thời ngăn chặn cuộc khủng hoảng khí hậu [1]. Để giải quyết thách thức lâu dài, xuyên suốt này trong bối cảnh quốc tế phức tạp đòi hỏi các nhà hoạch định chính sách phải có những hành động tham vọng, công bằng và toàn diện. Theo đó, định giá các-bon, bao gồm thuế các-bon và thị trường các-bon (hệ thống trao đổi hạn ngạch phát thải khí nhà kính và cơ chế trao đổi, bù trừ tín chỉ các-bon), là một trong những công cụ chính sách mạnh mẽ nhất để thúc đẩy các nỗ lực giảm nhẹ và duy trì tăng trưởng kinh tế.

Hiện nay, đã có 68 quốc gia, vùng lãnh thổ áp dụng công cụ định giá các-bon, tương đương khoảng 23% tổng phát thải toàn cầu, trong đó có 34 quốc gia, vùng lãnh thổ triển khai thị trường các-bon. Trong năm 2021, doanh thu từ trao đổi hạn ngạch phát thải khí nhà kính và thuế các-bon tăng 60%, đạt mức 80 tỷ USD [2]. Trong các công cụ định giá các-bon, thị trường các-bon nội địa đã dần trở thành lựa chọn chính cho các quốc gia, trong đó tiêu biểu như Liên minh Châu Âu, Trung Quốc, Hàn Quốc và một số bang của Hoa Kỳ [3-4]. Doanh thu từ thị trường các-bon nội địa cũng đã lần đầu vượt các khoản thu từ thuế các-bon, đạt mức 56 tỷ USD [2]. Cụ thể, để tạo động lực đầu tư, áp dụng các công nghệ giảm phát thải, chính phủ sẽ phân bổ hạn ngạch phát thải khí nhà kính cho các doanh nghiệp trong thị trường các-bon.

Việt Nam xác định thị trường các-bon là một trong những công cụ định giá các-bon hữu hiệu trong việc triển khai các hoạt động giảm nhẹ phát thải khí nhà kính, đóng góp vào cam kết giảm phát thải khí nhà kính theo Đóng góp do quốc gia tự quyết định (NDC) [5] và đặc biệt là góp phần đạt mức phát thải ròng bằng “0” vào năm 2050 được Thủ tướng Chính phủ Phạm Minh Chính tuyên bố tại Hội nghị lần thứ 26 các Bên nước tham gia Công ước khung của Liên hợp quốc về biến đổi khí hậu vào cuối năm 2021 [6].

Trong làn sóng cách mạng Công nghệ 4.0, công nghệ chuỗi khối (hay còn được gọi là blockchain) được xem là chìa khóa cho chuyển đổi và xây dựng nền tảng công nghệ cho tương lai. Công nghệ chuỗi khối là công nghệ lưu trữ và cập nhật thông tin một cách liên tục bằng một hệ thống phân phối dữ liệu. Mỗi khối dữ liệu sẽ được liên kết chuỗi với nhau và trở thành một hệ thống. Các thông tin trong khối dữ liệu được cập nhật và bổ sung theo thứ tự, dưới sự giám sát của hệ thống các thành viên trong chuỗi khối [7]. Điều này khiến công nghệ chuỗi khối có thể chống lại sự thay đổi thông tin, đảm bảo tính an toàn, minh bạch cho các thông tin và giao dịch được lưu. Quan trọng hơn, công nghệ chuỗi khối sẽ giúp cắt giảm chi phí giao dịch. Chính vì vậy, công nghệ chuỗi khối có tiềm năng ứng dụng lớn, đặc biệt trong lĩnh vực quản lý tài chính, thị trường. Để cung cấp thêm thông tin về tiềm năng áp dụng của công nghệ chuỗi khối, bài báo sẽ phân tích kinh nghiệm ứng dụng công nghệ chuỗi khối và đề xuất phương án áp dụng cho thị trường các-bon tại Việt Nam.

2. Phương pháp đánh giá

Việc đánh giá tiềm năng áp dụng công nghệ chuỗi khối trong quản lý và vận hành thị trường các-bon được thực hiện thông qua các bước sau:

Bước 1: Phân tích kinh nghiệm trên thế giới liên quan đến việc áp dụng công nghệ chuỗi khối như: Liên minh Châu Âu, Trung Quốc, Chilê, IBM...

Bước 2: Xác định cơ sở thực tiễn dựa trên lộ trình phát triển thị trường các-bon quy định tại Luật Bảo vệ môi trường năm 2020, Nghị định 06/2022/NĐ-CP và kinh nghiệm thực tế triển khai trên thế giới,

Bước 3: Tham vấn các đơn vị trực tiếp liên quan đến quản lý và xây dựng thị trường các-bon phía Việt Nam.

Tham vấn các cơ quan quản lý có liên quan, các đơn vị, doanh nghiệp, chuyên gia tư vấn có nhiều năm kinh nghiệm về quản lý và giao dịch tín chỉ các-bon về các khó khăn trong triển khai thị trường các-bon tại Việt Nam nhằm đề xuất phương thức áp dụng công nghệ chuỗi khối phù hợp.

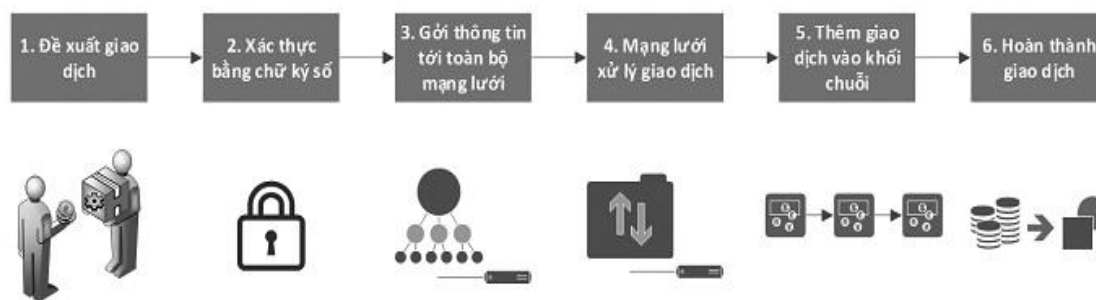
Bước 4: Tổng hợp, phân tích kết quả

Tổng hợp và phân tích các kết quả rà soát chính sách, kinh nghiệm thực tế và tham vấn các bên liên quan, để từ đó đề xuất các giải pháp áp dụng công nghệ chuỗi khối trong quản lý và vận hành thị trường các-bon tại Việt Nam.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Ứng dụng của công nghệ chuỗi khối trong quản lý và vận hành thị trường

Công nghệ chuỗi khối là công nghệ lưu trữ dữ liệu phi tập trung, hoạt động trong một mạng lưới ngang hàng. Các dữ liệu được lưu trữ, liên kết thành một chuỗi các khối với số lượng ngày càng tăng, trong đó khối đầu tiên được gọi là khối gốc và cung cấp một bản mẫu cho các khối còn lại. Các khối sau đều chứa tham chiếu đến khối trước cùng thông tin về thời gian được thành lập, lưu trữ đảm bảo các thông tin có thể truy cứu ngược. Bất kỳ thay đổi nào sẽ được cập nhật tại tất cả các khối, thường trong vòng vài phút hoặc thậm chí vài giây, điều này ngăn cản việc xóa, sửa đổi thông tin khi không có sự đồng thuận từ mạng lưới. Bằng cách tạo ra một mạng lưới đồng thuận, các bên tham gia có thể xác định trực tiếp các vấn đề trong liên kết giao dịch và đảm bảo truy xuất nguồn gốc của thông tin, để tránh các vấn đề như bị mất hạn ngạch và các giao dịch lặp lại [8].



Hình 1. Quy trình lưu trữ thông tin giao dịch của công nghệ chuỗi khối.

Trong thị trường năng lượng, công nghệ chuỗi khối dần được áp dụng rộng rãi trong xử lý giao dịch và tăng cường khả năng tham gia thị trường của các đơn vị sản xuất năng lượng tái tạo [9]. Thông qua công nghệ chuỗi khối, các hợp đồng thông minh (*smart-contract*) tự động kích hoạt giao dịch khi các bên đáp ứng đủ điều kiện và đồng hồ đo lường điện thông minh, tạo ra các giao dịch và chuỗi khối ghi lại những giao dịch mua bán này. Đồng thời, công nghệ chuỗi khối cũng tạo ra nền tảng để thúc đẩy phát triển lưới điện thông minh, tăng cường sự ổn định trong cung ứng điện [10].

Trong thị trường tài chính, công nghệ chuỗi khối là một trong những công nghệ đổi mới hàng đầu, hứa hẹn giảm thiểu gian lận, đảm bảo các giao dịch nhanh chóng và an toàn, và hỗ trợ quản lý rủi ro tài chính toàn cầu [11]. Bằng cách áp dụng chuỗi khối, các giao dịch sẽ được lưu trữ trực tiếp trong các khối một cách công khai, tăng cường minh bạch trong giao dịch. Đồng thời, các bên cũng dễ dàng truy soát lịch sử giao dịch, tránh được các rủi ro về bảo mật.

Trong truyền thông, giải trí, các doanh nghiệp, công ty sử dụng hệ thống chuỗi khối để quản lý dữ liệu bản quyền. Ví dụ, các họa sĩ có thể phát hành các tác phẩm trên chuỗi khối, đảm bảo sự thuận tiện trong truy soát nguồn gốc các tác phẩm. Việc áp dụng công nghệ chuỗi khối giúp quản lý quyền kỹ thuật số một cách hiệu quả, nâng cao hiệu suất và giảm chi phí xử lý bản quyền [12].

3.2. Kinh nghiệm quốc tế trong áp dụng công nghệ chuỗi khối trong quản lý và vận hành thị trường các-bon

Trên thế giới, các nghiên cứu về công nghệ chuỗi khối trong quản lý đang diễn ra một cách sôi nổi và ứng dụng thực tế của công nghệ này đang dần mở ra một kỉ nguyên mới. Năm 2018, với sự ủng hộ của Liên hợp quốc, sáng kiến Liên minh chuỗi khí hậu (*Climate Chain Coalition*) được thành lập để nhằm mục đích chia sẻ thông tin, phối hợp thúc đẩy ứng dụng của công nghệ chuỗi khối trong ứng phó với biến đổi khí hậu [13]. Liên minh châu Âu cũng thành lập Đối tác chuỗi khối liên minh châu Âu (*European Blockchain Partnership*) để xây dựng chiến lược ứng dụng công nghệ chuỗi khối trong quản lý nhà nước và ứng phó với biến đổi khí hậu. Một số quốc gia khác như Mỹ, Anh và đặc biệt các tập đoàn đa quốc gia cũng đang tích cực nghiên cứu sử dụng công nghệ chuỗi khối trong quản lý tài chính, năng lượng, bảo vệ môi trường [14].

Ở Trung Quốc, Energy Blockchain Labs làm việc với IBM xây dựng một nền tảng với hơn 200 phương pháp luận để phát triển tài sản các-bon thành các hợp đồng thông minh, một tính năng thuộc công nghệ chuỗi khối cho phép tự động tính toán hạn ngạch cho các doanh nghiệp cần giảm lượng khí thải. Thông thường, để có thể xây dựng hoàn chỉnh một dự án giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và tạo tín chỉ các-bon cần sự tham gia của rất nhiều bên như doanh nghiệp, đơn vị thẩm định, cơ quan quản lý nhà nước, cơ quan xác nhận tín chỉ. Thời gian xây dựng trung bình là 10 tháng. Nền tảng của IBM cho phép rút ngắn thời gian từ 20–50%. Công ty cũng dự đoán mức tăng hiệu quả đáng kể trong thị trường xanh, với các tài sản

các-bon được đưa ra thị trường nhanh hơn khi công nghệ chuỗi khối tạo sự minh bạch và loại bỏ lỗi trong quá trình giao dịch và xử lý [15].

Vào tháng 10 năm 2021, Toucan hợp tác với KlimaDAO để mã hóa 20 triệu tấn các-bon vào Ethereum sidechain Polygon, tương đương 5% các tín chỉ các-bon trong Verra, một trong những chương trình trao đổi, bù trừ tín chỉ các-bon tự nguyện lớn nhất [16]. Theo đó, Toucan sẽ rút các tín chỉ các-bon khỏi hệ thống đăng ký của Verra và phát hành một phiên bản mã hóa tín chỉ các-bon theo dạng mã thông báo không thay đổi (NFT). Các mã NFT chứa thông tin liên quan về các dự án giảm nhẹ phát thải, lượng tín chỉ các-bon và có thể giao dịch trên thị trường.

Tại Chile, chính phủ đã hợp tác với chính phủ Canada thí điểm áp dụng công nghệ chuỗi khối trong thu thập dữ liệu trong một dự án phát điện từ rác từ tháng 1 năm 2020 đến tháng 3 năm 2022 [17]. Tuy nhiên, các kết quả giảm nhẹ của dự án chỉ phục vụ cho việc tính toán NDC của Chile mà không tạo các tín chỉ các-bon. Theo đó, dự án sử dụng công nghệ sổ cái phân tán (DLT) để bảo mật dữ liệu do hệ thống thu thập. Dự án đã sử dụng chuỗi khối IOTA, sử dụng một vòng lặp có hướng dẫn đồ thị chứ không phải là một blockchain truyền thống. Cụ thể, dữ liệu không được lưu trữ trong một chuỗi đơn lẻ và có thể có nhiều chi nhánh, cho phép giao dịch diễn ra đồng thời. Không giống như các chuỗi khối khác, DLT của IOTA tăng cường hiệu suất tiết kiệm năng lượng và cho phép khối lượng giao dịch cao mà không có phí chuyển dữ liệu.

3.3. Đề xuất

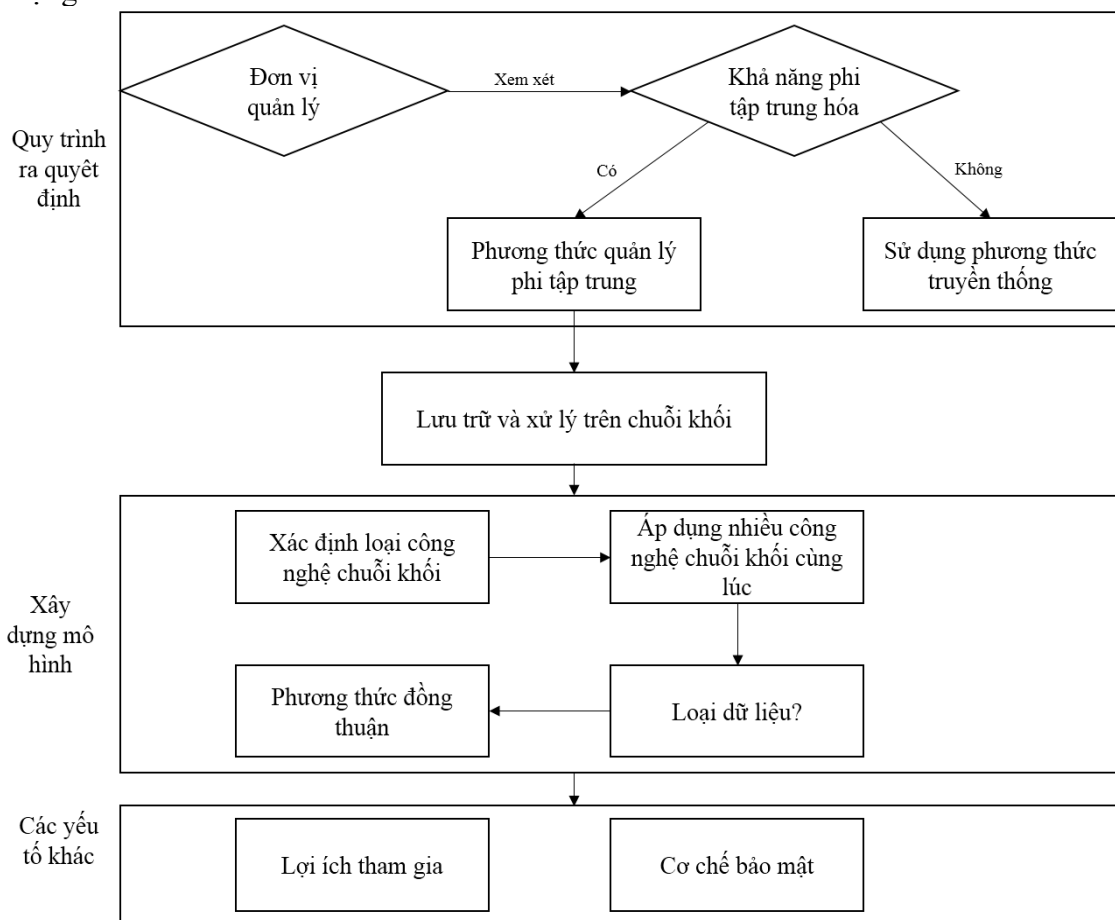
Tạo cơ chế, chính sách tài chính để hình thành và vận hành thị trường các-bon ở Việt Nam, Việt Nam đã lần đầu luật hóa quy định về phát triển thị trường các-bon tại Điều 139, Luật Bảo vệ môi trường năm 2020 [18]. Cụ thể, thị trường các-bon của Việt Nam sẽ bao gồm hai hợp phần chính: (i) Hệ thống trao đổi hạn ngạch phát thải khí nhà kính và (ii) Cơ chế trao đổi, bù trừ tín chỉ các-bon. Các đối tượng dự kiến tham gia thị trường các-bon sẽ thuộc danh mục các cơ sở phát thải khí nhà kính phải thực hiện kiểm kê khí nhà kính, thuộc 04 ngành: công thương, giao thông vận tải, xây dựng, tài nguyên và môi trường, quy định tại Quyết định số 01/2022/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ. Các cơ sở này được Chính phủ phân bổ hạn ngạch phát thải khí nhà kính và có quyền trao đổi, mua bán trên thị trường các-bon trong nước [19].

Để quy định chi tiết thi hành Luật Bảo vệ môi trường năm 2020 về giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và bảo vệ tầng ô-dôn, ngày 07/01/2022, Chính phủ đã ban hành Nghị định số 06/2022/NĐ-CP [20]. Nghị định quy định phân bổ hạn ngạch phát thải khí nhà kính, đối tượng tham gia thị trường các-bon trong nước, lộ trình phát triển, thời điểm triển khai thị trường các-bon trong nước; xác nhận tín chỉ các-bon được giao dịch trên sàn giao dịch của thị trường các-bon trong nước; trao đổi hạn ngạch phát thải khí nhà kính và tín chỉ các-bon trên sàn giao dịch thị trường các-bon trong nước; hồ sơ, trình tự, thủ tục thực hiện dự án theo cơ chế trao đổi, bù trừ tín chỉ các-bon; trách nhiệm của các cơ quan trong việc phát triển thị trường các-bon. Theo đó, Bộ Tài nguyên và Môi trường là cơ quan chịu trách nhiệm vận hành và quản lý thị trường các-bon. Theo Nghị định 06/2022/NĐ-CP, Việt Nam sẽ thí điểm thị trường các-bon từ năm 2026 và triển khai chính thức từ năm 2028 trở đi (Hình 2).

2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	...
Cơ chế trao đổi, bù trừ tín chỉ các-bon										
Giai đoạn chuẩn bị				Giai đoạn triển khai thực hiện						
Hệ thống trao đổi hạn ngạch và tín chỉ các-bon										
Giai đoạn chuẩn bị				Giai đoạn thí điểm			Giai đoạn triển khai			

Hình 2. Lộ trình dự kiến áp dụng thực hiện công cụ định giá các-bon ở Việt Nam.

Vì vậy, để có thể nghiên cứu, áp dụng kịp thời công nghệ chuỗi khối trong quản lý và vận hành thị trường, cần xem xét và lựa chọn các hoạt động của thị trường phù hợp cho việc áp dụng.



Hình 3. Quy trình xây dựng phương án áp dụng công nghệ chuỗi khối [21].

Để có thể xác định những khía cạnh của thị trường các-bon có thể cân nhắc áp dụng công nghệ chuỗi khối, bài báo sử dụng quy trình theo Hình 3. Cụ thể, cần xác định những hoạt động của thị trường có khả năng quản lý phi tập trung. Nếu hoạt động đó có khả năng quản lý phi tập trung thì cần cân nhắc áp dụng công nghệ chuỗi khối. Sau đó, cần xác định mô hình chuỗi khối phù hợp để áp dụng, bao gồm xác định loại hình chuỗi khối áp dụng, cấu trúc dữ liệu, phương thức đồng thuận trong chuỗi khối. Ngoài ra, cần tích hợp các yếu tố quản lý khác phù hợp với nhu cầu thực tiễn. Đối với mỗi quy trình, sẽ có tương ứng một số lựa chọn để cân nhắc áp dụng (Bảng 1).

Bảng 1. Các lựa chọn đối với quy trình xây dựng phương án áp dụng công nghệ chuỗi khối.

Bước/Quy trình	Nội dung	Lựa chọn
Quy trình ra quyết định	Mức độ tập trung hóa	Hoàn toàn tập trung hóa Bán tập trung hóa Phi tập trung hóa
	Lưu trữ số liệu	Trên chuỗi khối Ngoài chuỗi khối
Lưu trữ và xử lý	Thu thập số liệu	Hợp đồng thông minh Xử dụng công nghệ khác
	Xử lý số liệu	Trên chuỗi khối Ngoài chuỗi khối (ví dụ sử dụng điện toán đám mây)
Xây dựng mô hình chuỗi khối	Xác định loại chuỗi khối	Do chính phủ xây dựng
		Do tư nhân xây dựng

Bước/Quy trình	Nội dung	Lựa chọn
	Xác định loại dữ liệu	Do liên doanh công tư xây dựng Theo dạng chuỗi khối Theo dạng GHOST Theo dạng BlockDAG Proof-of-work Proof-of-authority
	Phương thức đồng thuận [22]	Proof-of-stake Proof-of-retrievably Xử lý ngoài chuỗi khối
Các yếu tố khác	Cơ chế bảo mật	Bảo mật danh tính bên tham gia Chia sẻ danh tính bên tham gia
	Lợi ích tham gia	Phí giao dịch Tiền ảo

Theo đó, bài báo sẽ tập trung phân tích và đề xuất phương án áp dụng công nghệ chuỗi khối trong các hoạt động vận hành hệ thống cơ sở dữ liệu về hạn ngạch phát thải khí nhà kính và tín chỉ các-bon, ban hành tín chỉ các-bon và thẩm định nhằm tăng tính hiệu quả và minh bạch trong quá trình vận hành và quản lý thị trường.

3.3.1. Vận hành hệ thống cơ sở dữ liệu về hạn ngạch phát thải khí nhà kính và tín chỉ các-bon

Trong hệ thống cơ sở dữ liệu về hạn ngạch phát thải khí nhà kính và tín chỉ các-bon, Bộ Tài nguyên và Môi trường có trách nhiệm lưu trữ và cập nhật thông tin, số liệu. Cụ thể, Bộ Tài nguyên và Môi trường dự kiến sẽ cấp quyền cho các doanh nghiệp tham gia thị trường để mở tài khoản đăng ký trong hệ thống. Mỗi tài khoản sẽ có quyền truy cập, trích xuất các thông tin về các tín chỉ các-bon và hạn ngạch phát thải khí nhà kính mà tài khoản đó sở hữu như thông tin về loại tín chỉ các-bon, loại hình dự án, số ký hiệu tín chỉ các-bon, năm sở hữu, lịch sử giao dịch tín chỉ... Việc lưu trữ thông tin, nếu tiến hành theo phương thức truyền thống, sẽ được thực hiện qua việc tập trung và lưu trữ thông tin tại một hệ thống máy chủ, do Bộ Tài nguyên và Môi trường hoặc cơ quan đầu mối quản lý. Tuy nhiên, thông qua việc áp dụng công nghệ chuỗi khối trong quá trình lưu trữ, mỗi tài khoản sẽ có một bản sao chép của dữ liệu. Mỗi khi có cập nhật, các tài khoản sẽ tự động nhận được bản sao chép với các cập nhật mới. Điều này giúp giảm thiểu rủi ro trong quá trình lưu trữ, như quá tải trong truy cập tại máy chủ, hoặc các sự cố kỹ thuật khác, đồng thời tăng tính minh bạch trong quá trình truy cập và trích xuất số liệu. Hoạt động khác trong quá trình vận hành hệ thống cơ sở dữ liệu về hạn ngạch phát thải khí nhà kính và tín chỉ các-bon là cập nhật hệ thống. Theo quy định hiện nay, các doanh nghiệp cần gửi hồ sơ, thông tin cần cập nhật đến Bộ Tài nguyên và Môi trường để xác minh và cập nhật trong hệ thống. Nếu áp dụng công nghệ chuỗi khối, sẽ có hai phương án để tiến hành việc cập nhật cơ sở dữ liệu.

Phương án 1 là thông qua chu trình “*proof-of-work*”, hệ thống sẽ tạo những nốt trong mạng lưới chịu trách nhiệm thu thập, xác minh các thông tin cập nhật. Bất cứ tài khoản hoặc đơn vị nào cũng có thể tham gia xác minh các thông tin cập nhật.

Phương án 2 là thông qua chu trình “*proof-of-authority*”. Theo đó, Bộ Tài nguyên và Môi trường sẽ là cơ quan đầu mối duy nhất tiến hành xác minh các thay đổi. Quá trình xác minh sẽ được tự động hóa, mà không cần sự theo dõi thường xuyên của người vận hành hệ thống. Phương án 2 phù hợp với quy định hiện hành, đồng thời cũng cho phép cơ quan đầu mối phân quyền cho một số tài khoản, cơ quan đầu mối tại các Bộ chuyên ngành khác để tiến hành xác minh và cập nhật vào hệ thống.

3.3.2. Ban hành tín chỉ các-bon

Hoạt động ban hành tín chỉ các-bon dự kiến được thực hiện bởi Bộ Tài nguyên và Môi trường. Các doanh nghiệp khi có nhu cầu được cấp tín chỉ, sẽ phải gửi hồ sơ gồm các thông tin như loại hình dự án, phương pháp luận, số lượng khí nhà kính giảm được cùng hồ sơ thẩm

định của bên thứ ba đến Bộ Tài nguyên và Môi trường. Sau khi rà soát hồ sơ, Bộ Tài nguyên và Môi trường sẽ quyết định việc cấp tín chỉ cho doanh nghiệp. Trong trường hợp, có quá nhiều doanh nghiệp cùng gửi hồ sơ vào một thời điểm, quy trình trên sẽ dẫn đến việc chậm trễ trong quá trình ban hành tín chỉ các-bon, đồng thời tăng chi phí hành chính. Nếu áp dụng công nghệ chuỗi khối, các tín chỉ các-bon sẽ được ban hành thông qua sử dụng các hợp đồng thông minh.

Hợp đồng thông minh là các chương trình chạy trên công nghệ chuỗi khối. Hợp đồng thông minh cũng giống như một hợp đồng kỹ thuật số bị bắt buộc thực hiện bởi một bộ quy tắc, quy chuẩn cụ thể. Các quy tắc này do bộ mã máy tính xác định trước mà tất cả các nút trong mạng lưới đều phải sao chép và thực thi các quy tắc đó. Để áp dụng, Bộ Tài nguyên và Môi trường cần xây dựng và đưa vào hệ thống một bộ tiêu chuẩn cho hoạt động ban hành tín chỉ. Sau đó, các doanh nghiệp cần điền đầy đủ thông tin theo tiêu chuẩn đề ra. Hợp đồng thông minh sẽ tự động ban hành tín chỉ các-bon khi doanh nghiệp đạt được các điều kiện về tiêu chuẩn. Quá trình tự động hóa thông qua hợp đồng thông minh này sẽ giúp tăng tính minh bạch và giảm chi phí hoạt động. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng hợp đồng thông minh xây dựng trên công nghệ chuỗi khối nên không thể sửa đổi và can thiệp. Một khi hợp đồng thông minh được viết ra, nếu muốn thay đổi thì chỉ có cách viết lại một hợp đồng mới.

3.3.3. Thẩm định

Theo quy định tại Điều 14, Nghị định số 06/2022/NĐ-CP, đơn vị thẩm định thực hiện thẩm định giảm nhẹ phát thải khí nhà kính theo quy định của Bộ Tài nguyên và Môi trường và chịu trách nhiệm về kết quả thẩm định giảm nhẹ phát thải khí nhà kính. Báo cáo thẩm định sẽ được tích hợp trở thành một trong những tiêu chuẩn trong phần mềm hợp đồng thông minh để ban hành tín chỉ các-bon. Như đã đề xuất ở trên, tín chỉ các-bon chỉ có thể được ban hành nếu các điều kiện, tiêu chuẩn trong hợp đồng thông minh được thỏa mãn. Như vậy, vai trò của Bộ Tài nguyên và Môi trường trong việc quản lý các hoạt động thẩm định sẽ chủ yếu tập trung vào việc kiểm tra ngẫu nhiên các báo cáo thẩm định, tiết kiệm thời gian xét duyệt từng hồ sơ, báo cáo thẩm định kết quả giảm nhẹ.

4. Kết luận

Thông qua nghiên cứu, có thể kết luận rằng tiềm năng của công nghệ chuỗi khối trong quản lý và vận hành thị trường các-bon là rất lớn. Thông qua việc áp dụng công nghệ chuỗi khối, tính minh bạch của thị trường sẽ được tăng cường, đồng thời hỗ trợ tiết kiệm chi phí quản lý và tăng hiệu quả trong các giao dịch trên thị trường. Cụ thể, công nghệ chuỗi khối có thể được xem xét để áp dụng trong quá trình quản lý và vận hành cơ sở dữ liệu của thị trường, hỗ trợ quá trình ban hành tín chỉ cho các bên tham gia dự án và phục vụ hoạt động thẩm định trên thị trường. Tuy nhiên, để có thể áp dụng triển khai trong thực tế và phù hợp với lộ trình phát triển của thị trường, cần tiếp tục có những nghiên cứu và thí điểm nhằm chọn lựa những mô hình công nghệ chuỗi khối phù hợp với nhu cầu quản lý của chính phủ và xu thế phát triển của thị trường.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.C., L.M.Q.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.V.M., N.T.C.; Viết bản thảo bài báo: N.T.C., L.M.Q.; Chỉnh sửa bài báo: L.T.T.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn Phòng Kinh tế và Thông tin biến đổi khí hậu, Cục Biến đổi khí hậu, Bộ Tài nguyên và Môi trường đã hỗ trợ về số liệu và thông tin để thực hiện bài báo này.

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

Tài liệu tham khảo

1. Báo cáo đánh giá thứ sáu IPCC. 2022. Available online: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6>
2. Báo cáo State and Trends of Carbon Pricing. 2022. Available online: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/37455>
3. Pan, C.; Shrestha, A.K.; Wang, G.; Innes, J.L.; Wang, K.X.; Li, N.; Li, J.; He, Y.; Sheng, C.; Niles, J.O. A Linkage Framework for the China National Emission Trading System (CETS): Insight from Key Global Carbon Markets. *Sustainability* **2021**, *13*, 7459. <https://doi.org/10.3390/su13137459>
4. Narassimhan, E.; Gallagher, K.S.; Koester, S.; Alejo, J.R. Carbon pricing in practice: a review of existing emissions trading systems. *Clim. Policy* **2018**, *18*(8), 967–991. Doi: 10.1080/14693062.2018.1467827.
5. Đóng góp do quốc gia tự quyết định (NDC) của Việt Nam năm 2020.
6. Quyết định số 896/QĐ-TTg ngày 26/7/2022 phê duyệt Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu giai đoạn đến năm 2050.
7. Narayanan, Arvind; Bonneau, Joseph; Felten, Edward; Miller, Andrew; Goldfeder, Steven. Bitcoin and cryptocurrency technologies: a comprehensive introduction, Princeton: Princeton University Press, 2016.
8. Nida, K.; Tabrez, A. DCarbonX Decentralised Application: Carbon Market Case Study, Doha Islamic Finance Conference (DIFC-VIII), 2022.
9. Mannaro, K.; Pinna, A.; Marchesi, M. Crypto-trading: Blockchain-oriented energy market. Proceeding of the 2017 AEIT International Annual Conference, 2017, pp. 1–5. doi: 10.23919/AEIT.2017.8240547.
10. Buccafurri, F.; Lax, G.; Musarella, L.; Russo, A. An Ethereum-based solution for energy trading in smart grids. Digital Communications and Networks, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2021.12.004>.
11. Tapscott, A.; Tapscott, D. How blockchain is changing finance. *Harvard Bus. Rev.* **2017**, *1*(9), 2–5.
12. Dutra, A.; Tumasjan, A.; Welp, I.M. Blockchain is changing how media and entertainment companies compete. *MIT Sloan Manage. Rev.* **2018**, *60*(1), 39–45.
13. Climate Chain Coalition: <https://www.climatechaincoalition.io/>.
14. Ojo, A.; Adebayo, S. Blockchain as a next generation government information infrastructure: A review of initiatives in D5 countries. Government 3.0-Next Generation Government Technology Infrastructure and Services, **2017**, pp. 283–298.
15. Energy Blockchain Labs Inc.: <https://www.ibm.com/case-studies/energy-blockchain-labs-inc>.
16. Crypto Carbon: Can Blockchain Networks Fix Carbon Offsets?: <https://www.coindesk.com/layer2/miningweek/2022/03/27/crypto-carbon-can-blockchain-networks-fix-carbon-offsets/>.
17. Project Alvarium Accurately Tracks Carbon Footprints with Edge Solutions: <https://www.dell.com/en-us/dt/video-collateral/project-alvarium-tracks-carbon-footprint-with-edge-solutions.htm>.
18. Luật Bảo vệ môi trường số 72/2014/QH14 ngày 17 tháng 11 năm 2020.
19. Quyết định số 01/2022/QĐ-TTg ngày 18 tháng 1 năm 2022 ban hành danh mục lĩnh vực, cơ sở phát thải khí nhà kính phải thực hiện kiểm kê khí nhà kính.
20. Nghị định số 06/2022/NĐ-CP ngày 7 tháng 1 năm 2022 quy định về giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và bảo vệ tầng ô-dôn.
21. Xiwei, X.; Ingo, W.; Mark, S.; Liming, Z.; Jan, B.; Len, B.; Cesare, P.; Paul, R. A Taxonomy of Blockchain-Based Systems for Architecture Design. 2017 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA), 2017, 16913008. doi:10.1109/ICSA.2017.33.

22. Bahareh, L.; Petr, M. A Comprehensive Review of Blockchain Consensus Mechanisms. *IEEE Access* 2021, 99, 1–1. Doi:10.1109/ACCESS.2021.3065880.

Potential application of blockchain technology in the management and operation of the carbon market in Viet Nam

Nguyen Thanh Cong^{1*}, Nguyen Van Minh¹, Le Minh Quan¹, Le Thanh Tung¹

¹ Department of Climate Change; tcongnguyen90@gmail.com;
nvminh.dmhcc@gmail.com; lmquan2004@gmail.com; lethanhtungdcc@gmail.com

Abstract: Carbon pricing, including carbon markets, is gradually becoming the main policy tool used by countries in their efforts to reduce greenhouse gas emissions. Along with the development of the carbon market, new technologies to support the management and operation of the market are also being actively researched and applied by the relevant stakeholders. Blockchain technology is a prime example of this trend. The article will provide information, research potential and propose methods of applying blockchain technology in the management and operation of the carbon market in Viet Nam. From there, the results of the article will provide a basis for policy makers in developing relevant legal documents, supporting Viet Nam in transparent management and efficient operation of the domestic carbon market.

Keywords: Block chain technology; Carbon market; Paris Agreement.

Bài báo khoa học

Đánh giá kết quả thử nghiệm đo lưu lượng nước bằng thiết bị tự động theo nguyên lý không tiếp xúc trên mạng lưới trạm thủy văn

La Đức Dũng¹, Nguyễn Xuân Hùng^{2*}, Đỗ Huy Dương², Hoàng Thị Ngân², Hoàng Thị Hoài Linh³

¹ Tổng cục Khí tượng Thủy văn; dungla@gmail.com

² Trung tâm quan trắc khí tượng thủy văn; hungk2ml@gmail.com;
duongohedu@gmail.com, hoangngan181289@gmail.com

³ Văn phòng Tổng cục Khí tượng Thủy văn; hoanghoailinh@gmail.com

*Tác giả liên hệ: hungk2ml@gmail.com; Tel: +84-388588886

Ban biên tập nhận bài: 5/9/2022; Ngày phản biện xong: 10/10/2022; Ngày đăng bài: 25/10/2022

Tóm tắt: Hoạt động đo lưu lượng nước theo thủ công tốn nhiều kinh phí trong việc thiết kế công trình và nhân lực vận hành. Bên cạnh đó, nguy cơ an toàn lao động còn tiềm ẩn, khi thiên tai khắc nghiệt xảy ra và khả năng sai số mang tính chủ quan do quan trắc viên. Việc ứng dụng giải pháp công nghệ quan trắc lưu lượng nước tự động theo nguyên lý không tiếp xúc không những khắc phục những bất cập nêu trên mà còn đảm bảo tần suất truyền tin, khả năng số hóa, đồng bộ dữ liệu, định hướng trên nền tảng Big Data, phục vụ dự báo số theo chiến lược phát triển ngành khí tượng thủy văn Việt Nam. Bài báo này sẽ cung cấp thông tin và viên thức về giải pháp đo lưu lượng nước sông bằng công nghệ không tiếp xúc và phân tích kết quả tính toán từ số liệu thực đo, tại các trạm quan trắc thủy văn; kết quả thử nghiệm thiết bị được so sánh, kiểm nghiệm với quá trình đo song song theo nghiệp vụ hiện nay cho thấy cơ sở khoa học và thực tiễn có thể triển khai, vận hành vào thực tế giải pháp quan trắc lưu lượng nước sông theo nguyên lý không tiếp xúc.

Từ khóa: Không tiếp xúc; Nguyên lý; Đánh giá; Kết quả; Số liệu.

1. Mở đầu

Theo định hướng chiến lược phát triển ngành khí tượng thủy văn [1] trong Quyết định số 1970/QĐ-TTg ngày 23/11/2021 của Thủ tướng Chính phủ, đến năm 2030, công tác quan trắc lưu lượng nước phải đạt trên 40% tự động hoá [1]. Thực tế hiện nay, mức độ tự động hoá trong đo đạc lưu lượng nước trên mạng lưới trạm thủy văn vẫn còn chưa cao (7,8%) [2-3]. Trước thực tế, thiên tai, lũ, lụt, bão đã xảy ra và có xu hướng ngày càng khốc liệt, dị thường về tần suất, cường độ gây nên những hậu quả nghiêm trọng, việc đo đạc lưu lượng nước thủ công hiện nay sẽ tồn tại những hạn chế nhất định trong quan trắc [3], truyền tin, xử lý số liệu phục vụ dự báo bằng công nghệ số.

Chính vì vậy, tự động hoá quan trắc là vấn đề cấp bách hơn bao giờ hết và là giải pháp thiết thực, đảm bảo tần suất truyền tin, khả năng số hóa, đồng bộ dữ liệu, định hướng trên nền tảng Big Data, phục vụ công tác dự báo khí tượng thủy văn và phòng chống thiên tai hiệu quả hơn, đáp ứng định hướng theo chiến lược phát triển ngành khí tượng thủy văn Việt Nam [1].

Nghiên cứu này sẽ cung cấp thông tin về giải pháp đo lưu lượng nước sông bằng công nghệ không tiếp xúc và phân tích kết quả tính toán từ số liệu thực đo, tại các trạm quan trắc

thủy văn; kết quả thử nghiệm thiết bị được so sánh, kiểm nghiệm với quá trình đo đồng thời theo nghiệp vụ hiện nay nhằm góp phần làm sáng tỏ ở góc độ khoa học nhất định trong công nghệ đo lưu lượng nước tự động và ứng dụng vào thực tế giải pháp đo lưu lượng nước sông theo nguyên lý không tiếp xúc trong công tác quan trắc lưu lượng nước ở Việt Nam.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phạm vi nghiên cứu

Trong khuôn khổ thời gian và quy mô triển khai nên phạm vi nghiên cứu này chỉ tập trung về công nghệ đo lưu lượng nước bằng thiết bị tự động theo nguyên lý không tiếp xúc với nước và ứng dụng ở vùng sông không ảnh hưởng thủy triều (thiết bị thử nghiệm là loại RVM 20). Trạm thủy văn thu thập số liệu được chọn ngẫu nhiên (có phân vùng Bắc, Trung, Nam) thuộc vùng sông không ảnh hưởng thủy triều trên phạm vi cả nước.

2.2. Thống kê, thu thập thông tin, tài liệu

Bài báo đã thống kê, thu thập thông tin, dữ liệu về nguyên lý, tính năng của thiết bị và tiến hành thử nghiệm thực tế tại hiện trường để quan trắc số liệu. Các số liệu khác thu thập được là nguồn dữ liệu đo tự động tại các trạm đã lắp đặt thiết bị tự động và số liệu đo đồng thời (tại 13 trạm); chuỗi số liệu đo lưu lượng nước quan trắc (tại 08 trạm).

Thiết bị đo được lưu lượng nước tự động theo nguyên lý không tiếp xúc gồm nhiều loại như SVR-100 [4] của hãng OTT (Đức); RSS-2-300 WL [5] của hãng Geolux-Croatia; RQ-30 [6] của hãng Sumer-Áo; RVM20 [7] của hãng CAE-Ý (Hình 1). Sau khi phân tích, đề xuất lựa chọn, nhóm tác giả nghiên cứu sử dụng thiết bị của hãng CAE với tính năng kỹ thuật và giải pháp vận hành đảm bảo thuận lợi và phù hợp với các điều kiện địa hình sông ở Việt Nam để thử nghiệm.



Hình 1. Một số thiết bị đo lưu lượng nước theo nguyên lý không tiếp xúc với nước trên thị trường – Lần lượt từ trái sang phải: SVR 100-OTT; RSS-2-300 WL; RQ-30-Sumer; RVM20-CAE [4-7].

+ Đặc tính kỹ thuật của thiết bị:

Thông thường, thiết bị đo lưu lượng nước theo nguyên lý không tiếp xúc gồm có 02 cảm biến (đo mực nước và tốc độ nước) được tích hợp trong một khối và kết nối với bộ phận xử lý tín hiệu. Trong trường hợp này, đòi hỏi các bộ phận phải có tính đồng bộ để không bị xung đột khi hoạt động. Tuy nhiên, mực nước và tốc độ nước là hai yếu tố thủy văn khác nhau, nguyên lý đo các yếu tố thủy văn cũng không nhất thiết phải giống nhau và không bắt buộc [8-14]. Cũng chính vì thế, cho nên một số thiết bị đo được sản xuất với cảm biến đo mực nước và cảm biến đo tốc độ nước tách biệt và hoạt động độc lập. Sau đó, tín hiệu đo cùng được nạp vào bộ phận xử lý, tính toán lưu lượng nước. Trong số thiết bị kể trên, SVR 100, RVM20 thuộc loại như vậy.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của một số thiết bị tự động đo lưu lượng nước.

STT	Tên thiết bị	Phạm vi hoạt động		Độ phân giải	Độ chính xác
		Khoảng cách	Tốc độ nước		
1	SVR 100	0,5–25 m	0,08–15 m/s	0,1 mm/s	± 2% giá trị đo được
2	RSS–2–300	0,5–50 m	0,02–15 m/s	0,001 m/s	1 % giá trị đo được
3	RQ–30	0,5–35 m	0,10–15 m/s	1 mm/s	±0,01 m/s
4	RVM20	0,5–35 m	0,30–15 m/s	1 mm/s	± 1% của phép đo hoặc ± 0,02 m/s

Theo yêu cầu kỹ thuật đo đặc thủy văn [8–9, 15] cho thấy, các thiết bị đo lưu lượng nước theo nguyên lý không tiếp xúc kê trên đều đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật để đưa vào sử dụng. Từ số liệu thực đo tại các trạm thủy văn quan trắc được, tốc độ dòng chảy tại các sông ở nước ta về mùa lũ cũng chỉ ở mức 5 m/s [16–17]. Như vậy ngưỡng trên trong phạm vi đo của thiết bị tự động không tiếp xúc thông kê ở trên hoàn toàn đáp ứng cho các điều kiện sông ở Việt Nam.

- Thu thập chuỗi tài liệu tại các trạm quan trắc:

Từ 08 trạm thủy văn ở vùng sông không ảnh hưởng thủy triều để tính toán và đánh giá mức độ tương quan giữa tốc độ trung bình mặt cắt ngang và tốc độ điểm đo. Nhằm đảm bảo số liệu tính toán dài đều trên các cấp mực nước, tài liệu của mỗi trạm được thu thập là kết quả thực đo lưu lượng nước tối thiểu trong 01 năm, một số trạm được thu thập nhiều năm để đánh giá mức độ thay đổi của các tương quan (Bảng 2).

Bảng 2. Danh sách trạm thu thập tài liệu quan trắc.

STT	Tên trạm	Loại tài liệu	Số năm	Số lần đo/năm
1	Bảo Yên	Lưu lượng nước	6	50
2	Gia Bảy	Lưu lượng nước	4	46
3	Lào Cai	Lưu lượng nước	6	52
4	Hòa Duyệt	Lưu lượng nước	1	51
5	Sơn Diêm	Lưu lượng nước	1	36
6	Yên Thượng	Lưu lượng nước	5	52
7	Giang Sơn	Lưu lượng nước	1	45
8	Phước Hòa	Lưu lượng nước	4	46

- Thu thập tài liệu đo đồng thời với thiết bị tự động:

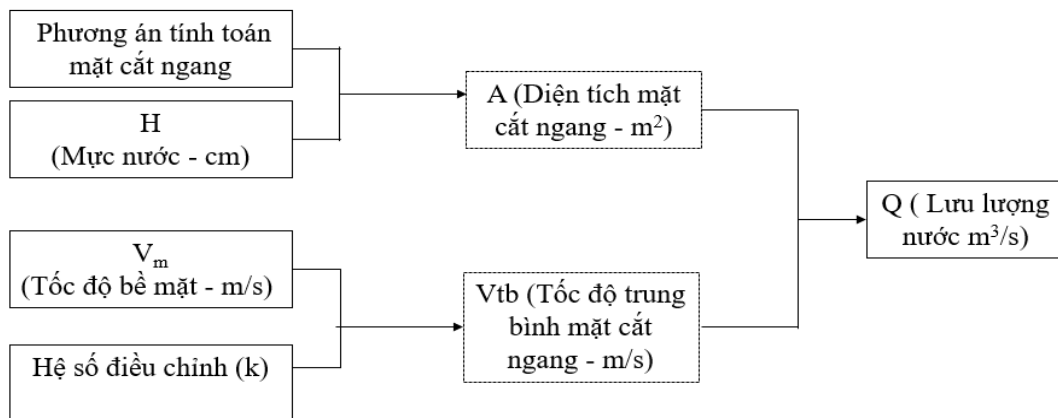
Với 13 trạm thủy văn đã lắp đặt thiết bị (lưu vực sông Cả và Vu Gia – Thu Bồn), được thu thập toàn bộ số liệu đo lưu lượng nước đồng thời và trích xuất số liệu đo tự động tại cùng thời điểm đo đồng thời để đánh giá độ ổn định hoạt động của thiết bị theo các cấp mực nước và chất lượng tài liệu đo tự động. Danh sách các trạm và thông tin về tài liệu các trạm tại bảng 3.

Bảng 3. Danh sách trạm thu thập tài liệu đo tự động và đo đồng thời.

TT	Tên trạm	Loại tài liệu	Thời gian đo	Biên độ mực nước thay đổi (cm)	Số lượng tài liệu (lần đo đồng thời)
1	Tân Kỳ		31/5 – 30/6/2022	220	40
2	Sơn Diêm		15/8 – 28/6/2022	64	40
3	Hoà Duyệt		17/5 – 30/6/2022	220	40
4	Thanh Liêm		15/6 – 15/7/2022	119	40
5	Thác Cạn		29/5 – 02/06/2022	290	40
6	Hồ Sông Bung 2	Lưu	29/5 – 02/06/2022	87	40
7	Sông Thanh	lượng	06/5 – 22/5/2022	338	40
8	Hiệp Đức	nước	06/5 – 12/5/2022	221	40
9	Hồ A Vương		06/5 – 10/5/2022	47	41
10	Cầu Nước Choong		05/5 – 20/5/2022	78	37
11	Cầu Trà Tập		05/5 – 21/5/2022	172	50
12	Cầu Treo Bà Trầu		13/5 – 17/5/2022	57	37
13	Cầu Thành Mỹ		27/5 – 06/6/2022	68	37

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Việc tính toán lưu lượng nước khi đo bằng thiết bị tự động không tiếp xúc được sử dụng phương pháp vận tốc – diện tích [18–19] và thực hiện theo sơ đồ hình 2.



Hình 2. Sơ đồ khối tính toán lưu lượng nước khi đo bằng thiết bị tự động theo nguyên lý không tiếp xúc.

Phép đo tốc độ dòng chảy không tiếp xúc dựa trên nguyên lý hiệu ứng Doppler [20–22], lưu lượng nước được xác định theo công thức [21–22] dưới đây:

$$Q = V_{tb} \times A = k \times V_m \times A \quad (1)$$

Trong đó V_{tb} là tốc độ trung bình toàn mặt cắt ngang (m/s); V_m là tốc độ trên bề mặt nước tại vị trí đo (m/s); A là diện tích mặt cắt ướt (m^2); k là một hệ số điều chỉnh; k được xác định thông qua thực nghiệm theo công thức: $k = V_{tb}/V_m$.

Bài báo kết hợp phương pháp phân tích trong việc đánh giá, lựa chọn về các chủng loại thiết bị đo lưu lượng nước tự động và nguyên lý đo của công nghệ này; đánh giá các tham số tham gia trong tính toán, xác định giá trị lưu lượng nước, bao gồm các tương quan, phương pháp tính toán, giới hạn và điều kiện xác định; phân tích đánh giá các tương quan giữa tốc độ trung bình với tốc độ điểm đo trên mặt cắt ngang (tốc độ mặt) đối với từng trạm để xác định hệ số và mức độ chặt chẽ của tương quan. Tương quan giữa tốc độ trung bình với tốc độ điểm đo trên mặt cắt ngang để xác định hệ số điều chỉnh tính lưu lượng nước, cần phải chặt chẽ nếu không sẽ dẫn đến kết quả đo có sai số rất lớn [11, 23] và ngược lại. Như vậy, muốn có kết quả tốt, thì trên mặt cắt ngang, cần lựa chọn được vị trí có tương quan tốt nhất để lắp đặt thiết bị [24]. Đây cũng là điểm mấu chốt [21] trong nguyên tắc đo lưu lượng nước theo nguyên lý không tiếp xúc.

2.4. Xử lý số liệu

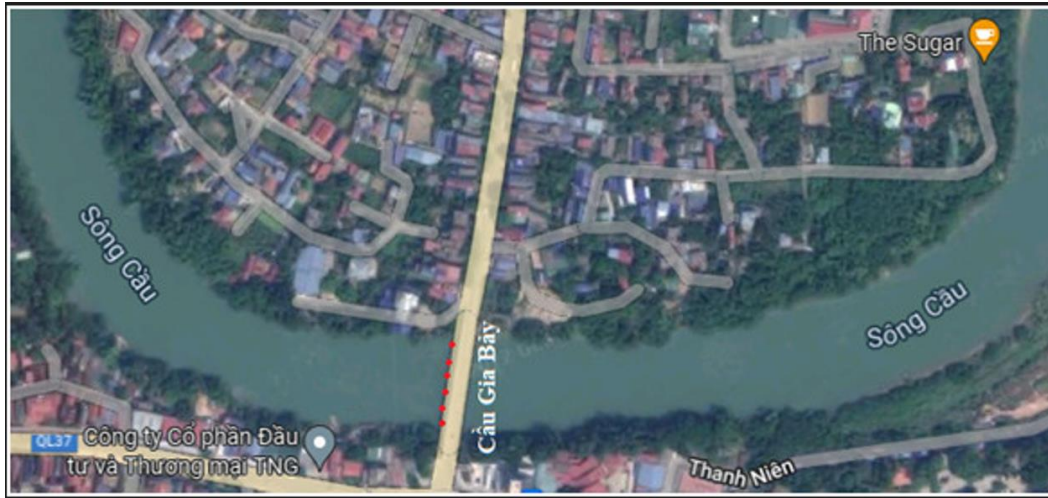
Kết quả lưu lượng nước đo bằng thiết bị tự động được trích xuất từ phần mềm đi kèm thiết bị đo (lưu trữ sang máy tính định dạng file excel (.xlsx)). Đối với kết quả lưu lượng nước thực đo tại các trạm được nhập vào máy vi tính. Thời điểm đo lưu lượng nước đồng thời, được tính trung bình trong khoảng thời gian bắt đầu và kết thúc đo lưu lượng nước [10]. Toàn bộ quá trình tính toán, xây dựng các biểu đồ được xử lý bằng phần mềm Microsoft Excel.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả đo thử nghiệm

- Địa điểm thử nghiệm: Địa điểm thử nghiệm được chọn là trạm thủy văn Gia Bẫy, thuộc Đài KTTV khu vực Việt Bắc. Để so sánh, đánh giá chất lượng tài liệu đo tại các vị trí trên mặt cắt ngang, thiết bị được lắp đặt cố định tạm thời trên cầu trong thời gian thu thập số liệu và di chuyển đến các vị trí tương ứng với các thủy trực trên cầu Gia Bẫy (Hình 3). Các vị trí

di chuyển, được xác định tương ứng với khoảng cách vị trí các thủy trực ở khu vực chủ lưu và các vị trí trên mặt cắt ngang. Hướng lắp đặt thiết bị về phía thượng lưu cầu (tia chiếu ngược với hướng dòng chảy).



Hình 3. Các vị trí thử nghiệm thiết bị trên cầu Gia Báy.

- Thiết bị thử nghiệm là thiết bị đo vận tốc của hãng CAE, ký hiệu RVM20 [7] (không bao gồm sensor đo mực nước – hình 3): Phạm vi đo: 0,1–15 m/s; độ chính xác: $\pm 0,01$ m/s; độ phân giải: 1 mm/s; khoảng cách đo được tới mặt nước: 0,5–30 m.

- Công trình gắn thiết bị là bộ gá tự chế, nên rất thuận tiện và linh hoạt khi di chuyển và gắn cố định trên cầu giao thông, đảm bảo độ chắc chắn và ổn định cho sensor khi thu thập số liệu và bảo đảm hành lang an toàn hoạt động theo quy định hiện hành [25–27].

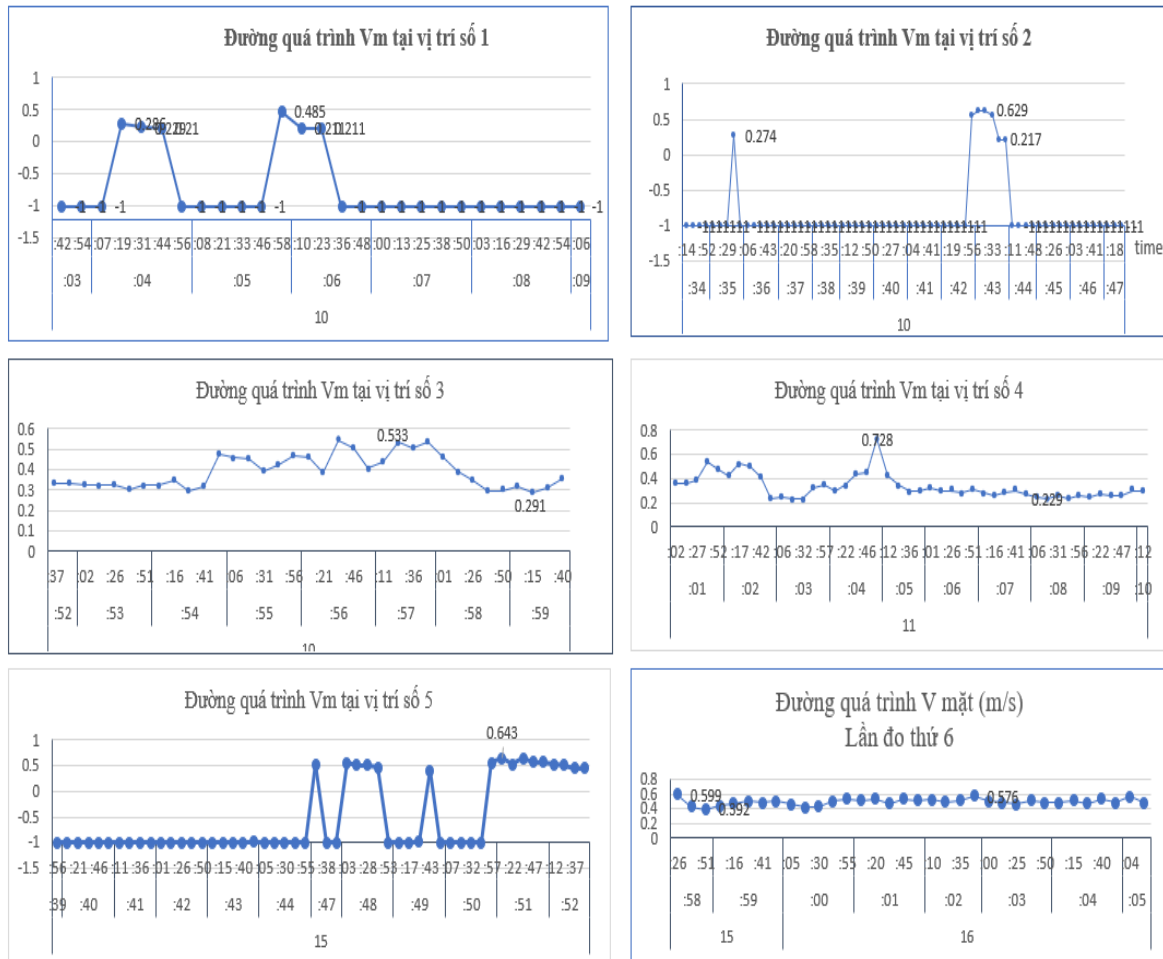
- Phần mềm hoạt động thu thập số liệu Commander (bản thử nghiệm, do đó chỉ đánh giá số liệu vận tốc điểm đo).

- Chế độ dòng chảy: Tại thời điểm thử nghiệm, dòng chảy tại tuyến đo vận tốc thử nghiệm không chịu ảnh hưởng của các công trình như thủy điện, đập hay các công trình dân sinh khác. Thời điểm đo mực nước dao động ít, không chịu ảnh hưởng lũ. Chủ lưu của dòng chảy lệch về phía bờ phải. Do khoảng cách tại vị trí lắp đặt sensor đến tuyến đo lưu lượng nước của Trạm Thủy văn Gia Báy khoảng 50 m, không có xuất hay nhập lưu nên coi dòng chảy tại trạm và ở vị trí lắp máy (cầu) là tương đương nhau. Trong thời gian thử nghiệm, sự biến đổi của mực nước không nhiều nên rất thuận lợi cho việc so sánh, đánh giá kết quả tại các vị trí đo trên mặt cắt ngang (khi di chuyển thiết bị đến các vị trí đo trên mặt cắt ngang, mực nước gần như không biến đổi).

Bảng 4. Một số kết quả thử nghiệm thiết bị RVM20 tại trạm thủy văn Gia Báy.

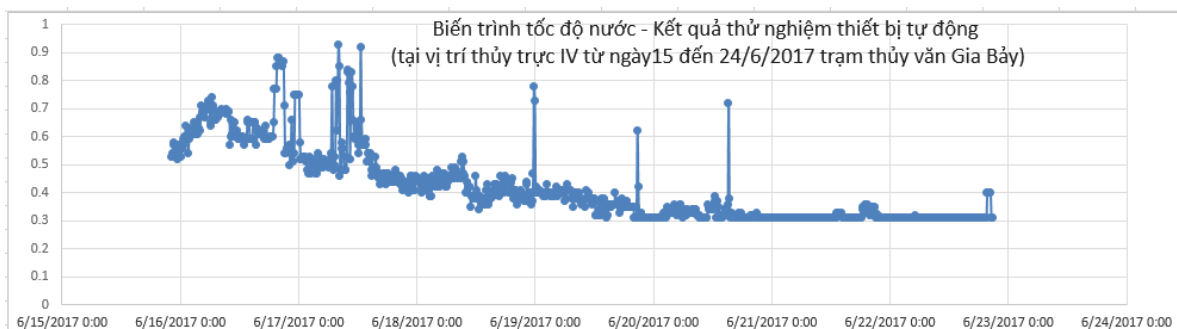
Vị trí đo	Thời gian đo	Tổng số lần đo		Tốc độ mặt đo được Vm (m/s)	
		Số lần đo có số liệu	Số lần đo không có số liệu	Vm max	Vm min
1	Từ 10:03:42 đến 10:09:06	6	21	0,485	0,21
2	Từ 10:34:14 đến 10:47:31	7	58	0,629	0,211
3	Từ 10:52:37 đến 10:59:40	35	0	0,545	0,291
4	Từ 11:01:02 đến 11:10:12	45	0	0,729	0,229
5	Từ 15:39:56 đến 15:52:49	16	36	0,643	0,409
6	Từ 15:58:26 đến 16:05:17	34	0	0,599	0,392

Kết quả tốc độ nước đo thử nghiệm thiết bị RVM20 tại trạm thủy văn Gia Bảy tại các vị trí trên mặt cắt ngang được thống kê trong bảng 4 và vẽ trên các biểu đồ, biểu diễn trong hình 5, cho thấy tại các vị trí chủ lưu (vị trí 3, 4), và vị trí số 6, nơi quan sát thấy dòng chảy rõ rệt, kết quả thu được đúng theo tần suất đo đã cài đặt và không bị mất số liệu.



Hình 4. Biến trình tốc độ nước tại các vị trí trên mặt cắt – đo thử nghiệm tại trạm thủy văn Gia Bảy.

Trên hình vẽ cũng cho thấy, biến trình tốc độ dòng chảy theo thời gian không có các đột biến, các giá trị tốc độ thay đổi theo dao động nhỏ quanh giá trị trung bình và khi so sánh thấy phù hợp với kết quả đo thử công (kết quả đo trung bình 0,21–0,28 m/s). Tại các vị trí có dòng chảy nhỏ (vị trí 1, 2, 5), phần lớn số liệu bị mất, không thu được (các giá trị -1 là mặc [5] định khi không có tín hiệu). Trên biểu đồ biến trình tốc độ nước (Hình 5), xuất hiện một số giá trị đột biến. Theo nhận định, đây là do các vết sóng nước trên bề mặt do gió (xuôi dòng) tạo nên, không phản ánh đúng giá trị dòng chảy tại vị trí đo, các quan sát khác cũng cho thấy gần như không có dòng chảy.

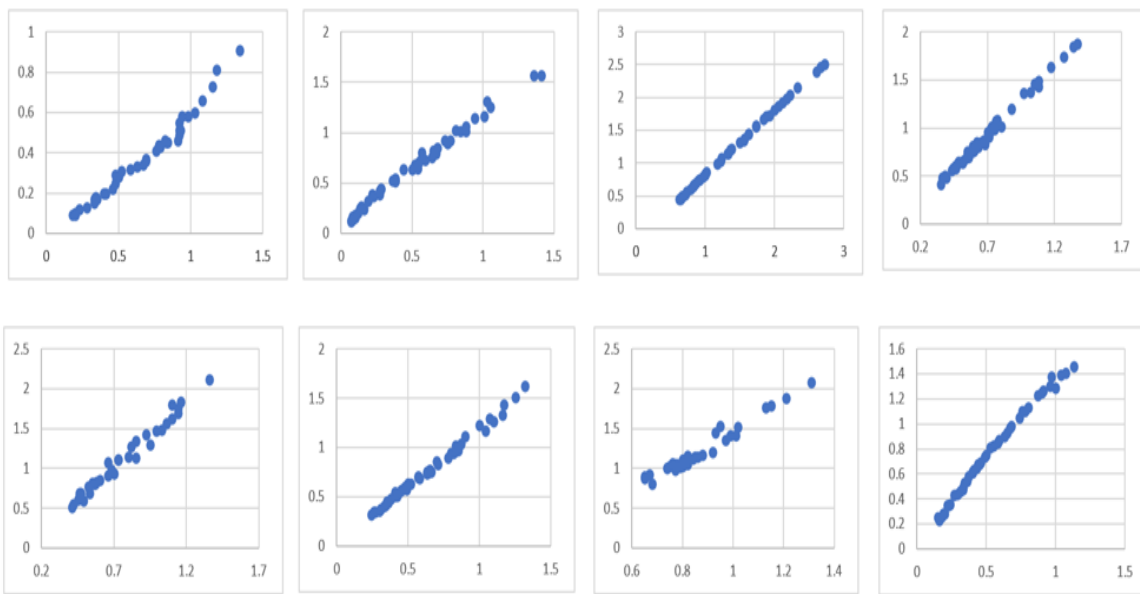


Hình 5. Biến trình tốc độ nước tại thủy trực đại biểu – đo thử nghiệm tại trạm thủy văn Gia Bảy.

Qua kết quả thử nghiệm cho thấy: (1) Thiết bị đo lưu lượng nước tự động theo nguyên lý không tiếp xúc, có độ nhạy rất cao, thu được các giá trị tức thời (đến 5 giây), điều này cũng đồng nghĩa rằng các kết quả đo sẽ có những giá trị đột biến khi bề mặt nước không ổn định hoặc quá phẳng (nước xoáy, vật; nơi dòng chảy quá nhỏ; vật trôi nổi); (2) Khi tốc độ dòng nước quá nhỏ (dưới 0,2 m/s), các ảnh hưởng của điều kiện thời tiết đến kết quả đo là đáng kể, thậm chí không thu được tín hiệu; (3) Tại các khu vực có dòng chảy tương đối rõ rệt như vùng chủ lưu, khu vực nước chảy ổn định thì kết quả đo tốt, không bị mất số liệu, ít bị tác động của thời tiết.

3.2. Kết quả xác định tương quan giữa tốc độ trung bình với tốc độ tại các điểm mặt

Kết quả tính toán và xây dựng biểu đồ tương quan giữa tốc độ trung bình và tốc độ tại điểm mặt ở thủy trực đại biểu của các trạm thủy văn trên hình 6, cho thấy, các biểu đồ đều có dạng đồng biến, các điểm chấm tập trung thành băng dải hẹp và thẳng (Mặc dù trong số các trạm tính toán có nhiều trạm chế độ dòng chảy ảnh hưởng lũ như Hoà Duyệt, Sơn Diệm, Yên Thượng).



Hình 6. Biểu đồ tương quan $V_{tb} = f(V_m)$ tại thủy trực đại biểu của các trạm thủy văn – lần lượt từ trái sang phải, từ trên xuống dưới là trạm Bảo Yên, Gia Bầy, Lào Cai, Hoà Duyệt, Sơn Diệm, Yên Thượng, Giang Sơn, Phước Hòa.

Kết quả tính toán trên mặt cắt ngang với chuỗi số liệu thực đo, được thu thập từ các trạm quan trắc được thông kê trong bảng 5 cho thấy, hầu hết các trạm tính toán, ở khu vực chủ lưu (chữ in đậm), hệ số tương quan ổn định và tương đối lớn, ở mức từ 0,97–0,99. Tại các thủy trực ở khu vực không phải chủ lưu, hệ số này có sự biến động, thường nhỏ hơn ở chủ lưu, thậm chí có tương quan nghịch (nhỏ hơn 0). Điều này, đồng nghĩa ở khu vực chủ lưu tương quan giữa tốc độ trung bình mặt cắt ngang và tốc độ tại các điểm trên bề mặt tốt và giảm dần về phía hai bờ sông.

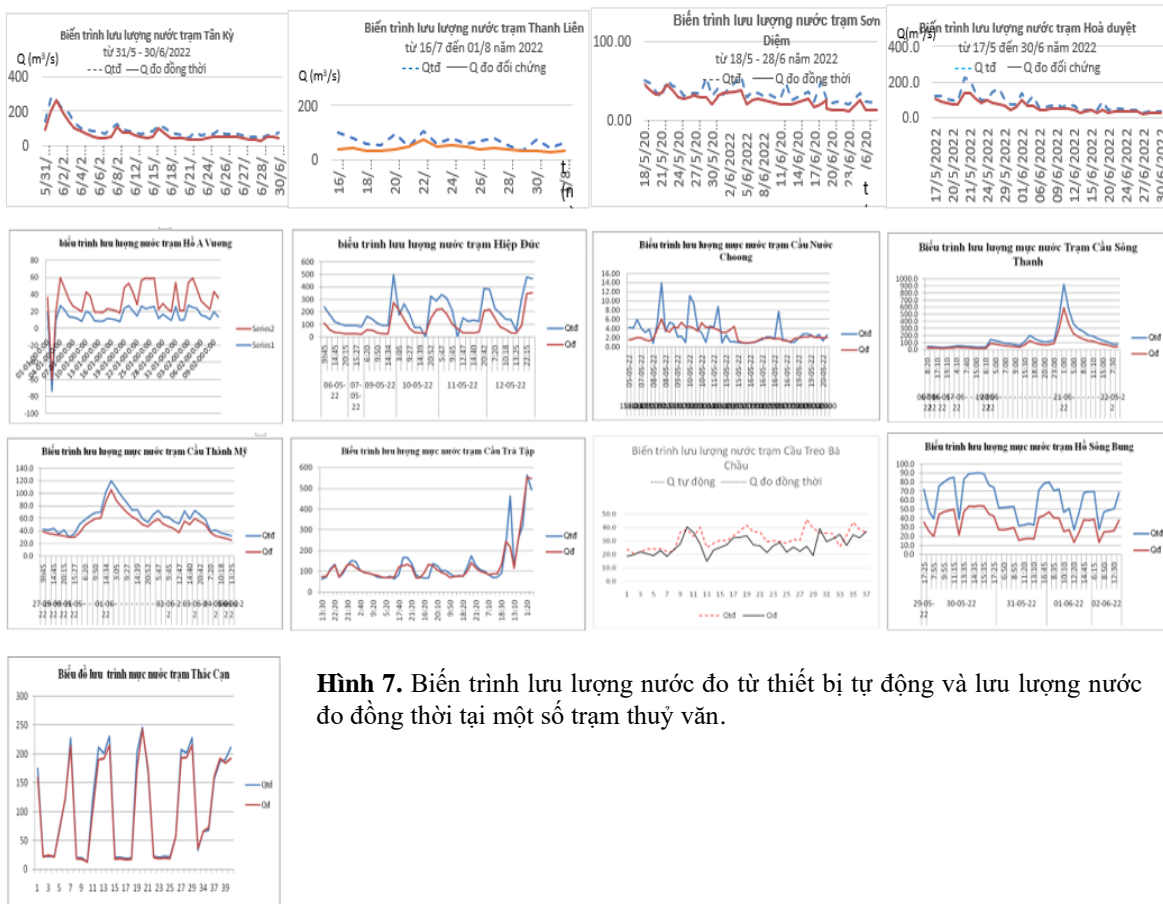
Bảng 5. Hệ số tương quan giữa tốc độ trung bình mặt cắt ngang với tốc độ điểm mặt trên mặt cắt ngang tại một số trạm thủy văn.

STT	Tên trạm	Thủy trực/Hệ số tương quan							
1	Bảo Yên	V/0,98	VI/0,96	VII/0,96	VIII/0,95	IX/0,97	X/0,85	XI/0,67	
2	Gia Bầy	II/0,99	III/0,99	IV/0,98	V/0,99	VI/0,99	VII/0,99	VIII/0,99	
3	Lào Cai	III/0,99	IV/0,99	V/0,99	VI/0,99	VII/0,98	VIII/0,99	IX/0,99	
4	Hòa Duyệt	I/0,96	II/0,99	III/0,99	IV/0,99	V/0,98	VI/0,96	VII/0,98	VIII/0,88
5	Sơn Diệm	V/0,91	VI/0,97	VII/0,95	VIII/0,97	IX/0,97	X/0,97	XI/0,96	

STT	Tên trạm	Thủy trực/Hệ số tương quan						
6	Yên Thượng	III/0,98	IV/0,99	V/0,99	VI/0,98	VII/0,98	VIII/0,96	IX/0,87
7	Giang Sơn	I/-0,13	II/0,62	III/0,59	IV/0,76	V/0,76	VI/-0,11	
8	Phước Hòa	VIII/0,98	IX/0,99	X/0,99	XI/0,99	XII/0,99	XIII/0,99	XIV/0,98

3.3. Kết quả so sánh lưu lượng nước đo đồng thời

Kết quả trích xuất số liệu lưu lượng nước từ thiết bị đo tự động cùng thời điểm với lưu lượng nước đo đồng thời tại một số trạm thủy văn (trạm đã lắp đặt thiết bị tự động) được vẽ trên cùng biểu đồ (Hình 7), cho thấy, biến trình lưu lượng nước đo bằng thiết bị tự động tại các trạm đều có xu hướng tương đồng tại các trạm Tân Kỳ, Thanh Liên, Sơn Diêm, Hoà Duyệt, Hồ A Vương, Cầu Hiệp Đức, Cầu Nước Chong, Cầu Sông Thanh, Cầu Thành Mỹ, Cầu Trà Tập, Cầu Treo Bà Châu, Hồ Sông Bung, Thác Cạn. Điều này cho thấy kết quả đo từ thiết bị tự động phản ánh đúng diễn biến lưu lượng nước như kết quả đo đồng thời và có chất lượng tốt.



Hình 7. Biến trình lưu lượng nước đo từ thiết bị tự động và lưu lượng nước đo đồng thời tại một số trạm thủy văn.

4. Kết luận và kiến nghị

1. Việc xác định vị trí đo (vị trí đại diện) đóng vai trò rất quan trọng, quyết định đến kết quả và chất lượng số liệu đo. Kết quả tốt nhất đạt được là tại khu vực chủ lưu, ở những đoạn sông thẳng, lòng sông ít biến đổi (Vị trí số 3, 4 tương ứng khu vực chủ lưu của trạm tại thủy trực số IV của trạm thủy văn Gia Bầy). Ở những khu vực lòng sông gập ghềnh như đá tảng hoặc có các công trình nhân tạo, chỗ nước xoáy có ảnh hưởng đáng kể đến kết quả đo (mất số liệu). Vì vậy không nên lắp đặt thiết bị tại những những khu vực này. Các vị trí ở hai ven bờ và gần khu vực trụ cầu, có nước chảy quẩn, chất lượng tài liệu đo đặc kém (vị trí số 1,2, 5 tương ứng với vị trí thủy trực VII, VIII, II);

2. Tương quan giữa tốc độ tại các điểm mặt trên mặt cắt ngang với tốc độ trung bình mặt cắt đảm bảo tính chặt chẽ. Điều này không chỉ có ở các trạm có chế độ dòng chảy ổn định ($Q=f(H)$ ổn định) mà tại các trạm có chế độ dòng chảy ảnh hưởng lũ cũng tương tự như vậy (Trạm Yên Thượng, Hoà Duyệt, Sơn Diệm). Tuy nhiên, để đảm bảo tính khách quan khi sử dụng tương quan này cho tính toán lưu lượng nước thì hệ số tương quan cần phải được xác định từ chuỗi tài liệu thực đo đủ dài, bố trí trên các cấp mực nước tại trạm;

3. Thiết bị đo lưu lượng nước tự động theo nguyên lý không tiếp xúc là thiết bị có độ nhạy rất cao, điều này cũng đồng nghĩa rằng các kết quả đo sẽ có những giá trị đột biến khi bề mặt nước không ổn định hoặc quá phẳng (Kết quả thử nghiệm tại vị trí 1,2, 5 tại cầu Gia Bầy có nước xoáy, vạt; do gần trụ cầu);

4. Thực tế đánh giá cho thấy, gió là yếu tố ảnh hưởng rất lớn đến kết quả đo, đặc biệt là khi tốc độ dòng chảy nhỏ. Tác động của gió làm cho kết quả đo tốc độ điểm mặt thu được tăng hoặc giảm một cách đột biến so với chuỗi số liệu ổn định. Trong khi lưu lượng nước là yếu tố có tính chất biến đổi từ từ, vì vậy, khi tính toán lưu lượng nước, các giá trị này, cần phải được loại bỏ hoặc hiệu chỉnh về phạm vi cho phép, phù hợp với dao động của chuỗi tài liệu đo.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu, vạch ra sơ đồ viết bản nháp, chỉnh sửa bản thảo: L.Đ.D.; Xử lý số liệu, vẽ hình: H.T.N., H.T.H.L.; Viết bản thảo: N.X.H.; Kiểm tra, hoàn thiện: Đ.H.D.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở, mã số CS.2022.2. Bên cạnh đó, tập thể tác giả trân trọng cảm ơn sự giúp đỡ của trạm thủy văn Gia Bầy, thuộc Đài KTTV khu vực Việt Bắc trong quá trình đo đạc thử nghiệm và thực hiện nghiên cứu này.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là 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. Quyết định số 1970/QĐ-TTg ngày 25/11/2021 của Thủ tướng Chính phủ về việc “Phê duyệt Chiến lược phát triển Ngành Khí tượng Thủy văn đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045.
2. Dũng, L.Đ. Nghiên cứu đề xuất đổi mới công nghệ quan trắc giám sát thủy văn, tài nguyên nước mặt phù hợp với các loại hình sông của Việt Nam, 2020.
3. Thanh, Q.C. Nghiên cứu ghiên cứu cơ sở khoa học và thực tiễn xây dựng mô hình hoạt động của các trạm khí tượng thủy văn ở Việt Nam, 2020.
4. <https://www.ott.com/products/water-flow>.
5. <https://www.linkedin.com/pulse/rq-30-velocity-level-radar>.
6. <https://www.wetec.com.sg/sites/default/files>.
7. <https://www.cae.it/upload/products>.
8. Thông tư số 26/2012/TT-BTNMT, ngày 28/12/2012 của Bộ Tài nguyên và Môi trường ban hành Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về quan trắc thủy văn, 2012.
9. Thông tư số 70/2015/TT-BTNMT, ngày 23/12/2015 của Bộ Tài nguyên và Môi trường, quy định kỹ thuật đối với hoạt động của các trạm khí tượng thủy văn tự động, 2015.
10. Quy phạm quan trắc lưu lượng nước sông lớn và sông vừa vùng không ảnh hưởng triều. (94 TCN 3–90), Quy phạm quan trắc lưu lượng nước sông vùng ảnh hưởng triều. (94 TCN 17–99);

11. Rasmussen, P.P.; Gray, J.R.; Glysson, G.D.; Ziegler, A.C. Guidelines and procedures for computing time-series suspended-sediment concentrations and loads from in-stream turbidity-sensor and streamflow data: U.S. *Geological Survey Techniques and Methods book 3* 2009, C4, pp. 53. <http://pubs.usgs.gov/tm/tm3c4/>.
12. Mapping, Remote Sensing, and Geospatial Data: What is the difference between “mountain”, “hill”, and “peak”; “lake” and “pond”; or “river” and “creek?”. United States Geological Survey. Retrieved 25 August 2019.
13. World Meteorological Organization. Hydrological Operational Multipurpose System (HOMS) E79. Velocity Measurement, Use of Current Meters, Geneva, 2000.
14. International Organization for Standardization. Liquid Flow Measurement in Open Channels: Velocity-area Methods. Second edition, ISO 748, Geneva, 1979.
15. Thông tư 05/2011/TT-BTNMT ngày 13/5/2016 của Bộ Tài nguyên và Môi trường về Quy định nội dung quan trắc khí tượng thủy văn đối với mạng lưới trạm khí tượng thủy văn quốc gia, 2016.
16. Hiệp, N.Q và cs. Nghiên cứu chế tạo một số thiết bị đo nước trong hệ thống kênh tưới. Trung tâm Công nghệ phần mềm Thủy lợi thuộc Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2009.
17. Hân, N.V và cs. Nghiên cứu xây dựng và thực nghiệm giám sát từ xa một số trạm đo mực nước tự động theo các nguyên lý đo không tiếp xúc với nước trên lưu vực sông phục vụ cảnh báo lũ. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, 2015.
18. Minh, H.T.N. Giáo trình Đo đạc Thủy văn. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2017.
19. Sơn, N.T.; Phương, Đ.Q. Đo đạc và Chinh lý số liệu Thủy văn, NXB Đại học Quốc gia Hà Nội, 2003.
20. Teledyne. Horizontal Current Profiling and Waves Measurement in One Package: Marine Measurements Product Selection Guide. Teledyne Marine, 2015. Available online: www.teledynemarine.com.
21. Theory and application of the method of converting surface velocity and water level data into full cross-sectional water flow by permanently installed sensors. E. Todini (same author) Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali (BiGeA), Bologna University, Via Zamboni 67, 40126 Bologna; V. Alessandrini; G. Bernardi Computer Application Engineering (CAE) SpA, Via Colunga 20, 40068 San Lazzaro.
22. SOMMER Messtechnik. RQ-30: Non-contact discharge measurement for channels and open rivers using radar technology. SOMMER Messtechnik, 2017. Available online: www.sommer.at.
23. Hiệp, N.Q. Nghiên cứu chế tạo một số thiết bị đo nước trong hệ thống kênh tưới. Trung tâm Công nghệ phần mềm Thủy lợi thuộc Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2009.
24. Tiêu chuẩn quốc gia Công trình quan trắc khí tượng thủy văn (TCVN 12635-2:2019)
25. Luật khí tượng thủy văn số 90/2015/QH13, ngày 23 tháng 11 năm 2015.
26. Nghị định số 38 ngày 15 tháng 5 năm 2016 quy định chi tiết một số điều của luật khí tượng thủy văn.
27. Khánh, D.V. Công nghệ mới đo lưu lượng dòng chảy, kết quả kiểm chứng thực tế ở sông Tone của Nhật Bản. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* 2017, 673, 22-27.

Evaluation of test water flow measurement results by automatic equipment on the non–contact principle on the network of hydrological stations

La Duc Dung¹, Nguyen Xuan Hung^{2*}, Do Huy Duong², Hoang Thi Hoai Linh³

¹ Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; dungla@gmail.com

² Hydrometeorological Observation Center; hungk2ml@gmail.com;
duongohedu@gmail.com; hoangngan181289@gmail.com

³ Office of Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration;
hoanghoailinh@gmail.com

Abstract: Manual water flow measurement activities are costly in terms of construction design and operation personnel. In addition, there is a potential risk of occupational safety when severe natural disasters occur and the possibility of subjective error of observers. The application of an automatic traffic monitoring technology solution on the non–contact principle not only overcomes the above inadequacies but also ensures the frequency of communication, the ability to digitize, synchronize data and navigate on the Internet. Big Data platform, serving digital forecasting according to the development strategy of Vietnam's hydrometeorological industry. This paper will provide information on the solution of measuring river water flow by non–contact technology and analyze calculation results from data collected from hydrological monitoring stations; The equipment test results are compared and tested with the parallel measurement process according to the current professional practice, showing that the scientific and practical basis can deploy and operate the river water flow monitoring solution into reality. according to the non–contact principle.

Keywords: Non–contact; Principles; Evaluate; Result; Data.

Bài báo khoa học

Đánh giá chất lượng nước mặt vùng Tứ Giác Long Xuyên theo chỉ số WQI và mô hình MIKE11

Huỳnh Phú¹, Nguyễn Lý Ngọc Thảo^{1*}, Huỳnh Thị Ngọc Hân², Trần Thị Minh Hà³

¹ Trường Đại học Công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh – HUTECH; h.phu@hutech.edu.vn; nln.thao@hutech.edu.vn;

² Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh; htnhan_ctn@gmail.com;

³ Trường Đại học Tây Nguyên; ttmha@ttn.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nln.thao@hutech.edu.vn; Tel.: +84–949363655

Ban Biên tập nhận bài: 10/9/2022; Ngày phản biện xong: 14/10/2022; Ngày đăng bài: 25/10/2022

Tóm tắt: Nghiên cứu này sử dụng mô hình MIKE 11 kết hợp với chỉ số WQI để đánh giá diễn biến chất lượng nước mặt vùng Tứ Giác Long Xuyên. Kết quả cho thấy diễn biến chất lượng nước tốt nhất tại vị trí đầu kênh Xáng Vịnh Tre tiếp giáp với sông Hậu–NĐ5(N)–CP và vị trí cuối rạch Ông Chường giáp sông Hậu–NĐ20(N)–CM (đồng mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu cả 3 năm liên tiếp), xấu nhất tại điểm giữa kênh Mạc Cần dung tiếp giáp kênh Xáng Cây Dương–NĐ9(N)–CT, vị trí cuối kênh Tám Ngàn, tiếp giáp Kiên Giang–NĐ12(N)–TT và kênh Xáng Cà Mau giáp kênh Đồng Xút–NĐ24(N)–CM. Mô phỏng chất lượng nước theo kịch bản 1, nồng độ các chất cao; TSS: 56,78 mg/l, BOD₅: 5,73 mg/l, COD: 5,73 mg/l, Tổng N: 1,97 mg/l, Tổng P: 0,332 mg/l trong mùa kiệt. Với kịch bản 2, khi dân số tăng, kinh tế phát triển thì nồng độ TSS: 33,68 mg/l, tăng khoảng 15,3% so với hiện trạng. Nếu theo kịch bản 3 thì khi xây dựng công trình công ngăn mặn đã tác động tới chế độ dòng chảy và làm cho nồng độ BOD tăng cao hơn so với hiện trạng khoảng 9,996 mg/l, diễn biến nồng độ BOD phía thượng lưu do không bị tác động bởi chế độ thủy triều nên biên độ giao động không lớn và nồng độ tăng dần theo thời gian đóng cống.

Từ khóa: Tứ giác Long Xuyên; Đồng bằng sông Cửu Long; Nguồn nước mặt; MIKE 11; Chỉ số WQI.

1. Giới thiệu

Tứ Giác Long Xuyên (TGLX) là một trong 6 vùng kinh tế trọng điểm của Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), với thế mạnh phát triển nông nghiệp là vùng sản xuất lúa gạo lớn nhất của ĐBSCL và nuôi trồng thủy sản nước ngọt, nước lợ đã đóng góp rất lớn cho kinh tế của vùng. Đây là yếu tố quan trọng tạo nên sự gắn kết chặt chẽ với nguồn nước của vùng TGLX là không thể tránh khỏi những tác động đến chất lượng nước. Việc quản lý khai thác, vận hành và bảo vệ hệ thống các công trình thủy lợi tại khu vực này đã đáp ứng tốt nhu cầu phục vụ sản xuất nông nghiệp và phát triển kinh tế-xã hội của toàn vùng. Đồng thời trong những năm qua, tình hình lũ diễn biến phức tạp, ảnh hưởng nghiêm trọng đến sản xuất, đời sống và sinh hoạt của người dân trong vùng [1–2]. Để giải quyết những khó khăn trên, tỉnh An Giang, Kiên Giang, Tp. Cần Thơ đã đầu tư các công trình quản lý nước nơi đây gồm: Hệ thống kiểm soát lũ Tha La, Trà Sư và các cống kiểm soát lũ dọc tuyến Quốc lộ N1 từ Châu Đốc đến Hà Tiên; hệ thống kiểm soát lũ ven sông Hậu; đê và hệ thống cống tiêu nước mưa, thoát lũ và kiểm soát mặn ven biển Tây; hệ thống quan trắc tài nguyên nước gồm: các trạm khí tượng, thủy văn; các trạm đo chất lượng nước, phù sa và điểm đo chất lượng nước theo

đợt. Tuy nhiên, công tác quản lý chủ yếu về nội dung kiểm soát lũ và mặn, việc đánh giá chất lượng môi trường nước của vùng còn nhiều bất cập. Vì vậy mục đích của nghiên cứu này là sử dụng kết quả tính toán chỉ số WQI và mô hình MIKE 11 đánh giá diễn biến chất lượng nước trên địa bàn Tứ giác Long Xuyên nhằm tìm ra giải pháp sử dụng hiệu quả nguồn nước trong hoạt động kinh tế-xã hội phù hợp với bối cảnh hiện tại, thích ứng với BĐKH [3–9].

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Vị trí vùng nghiên cứu

Vùng TGLX nằm ở phía Tây của ĐBSCL, trên địa phận của ba tỉnh/thành An Giang, Kiên Giang và Cần Thơ. Phía Bắc giáp biên giới Việt Nam–Campuchia, phía Đông giáp sông Hậu, phía Nam giáp kênh Cái Sắn và phía Tây giáp Biển Tây.



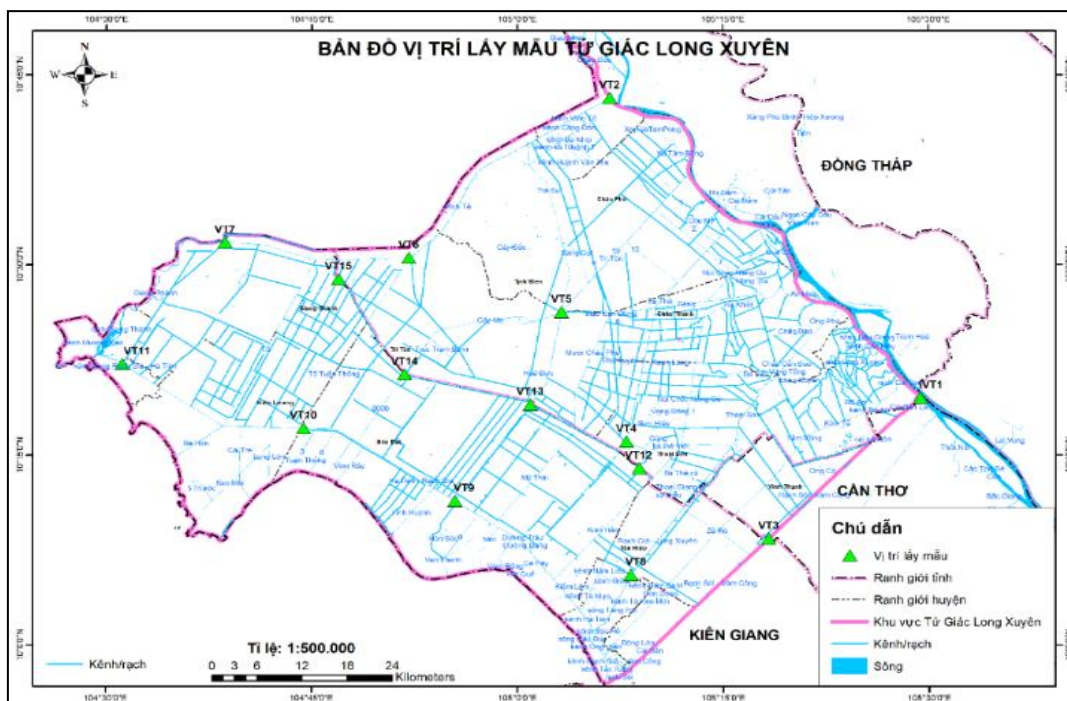
Hình 1. Sơ đồ vùng nghiên cứu.

TGLX là vùng đồng bằng khá bằng phẳng có địa hình dạng lòng chảo (trừ vùng Bảy Núi, Hòn Sóc, Ba Hòn, Hà Tiên có địa hình đồi núi). Địa hình dốc đều theo hướng Đông Bắc–Tây Nam tạo thành một cánh đồng trũng có dạng hờ, nên TGLX được ví như là một “túi nước” khổng lồ của ĐBSCL, có khả năng hấp thu, tạm trữ một khối lượng nước khổng lồ để điều hòa dòng chảy, giảm ngập lụt cho vùng giữa trong mùa lũ và bổ sung dòng chảy nước ngọt vào mùa khô, cân bằng mặn–ngọt cho vùng ven biển, cung cấp một lượng phù sa khá lớn chứa nhiều khoáng chất để cung cấp cho đất. Tổng diện tích tự nhiên của vùng là 498.141 ha và dân số gần 2,0 triệu người. Với các lợi thế về điều kiện tự nhiên và tài nguyên thiên nhiên, TGLX là vùng đất có tiềm năng rất lớn để phát triển kinh tế hàng hóa với các thế mạnh về nông–lâm nghiệp, khai thác nguồn lợi thủy–hải sản, phát triển công nghiệp và đặc biệt là du lịch, dịch vụ.

2.2. Phương pháp lấy mẫu

Điều tra, khảo sát, đo đạc, phân tích mẫu tại 15 vị trí với tên gọi VT1, VT2, VT3, VT4, VT5, VT6, VT7, VT8, VT9, VT10, VT11, VT12, VT13, VT14, VT15 đại diện điển hình trong hình 2, phân bố đều trên các kênh, rạch chính trong khu vực nhằm đánh giá diễn biến chất lượng nước của vùng TGLX (Bảng 1). Ký hiệu mẫu cho các khu vực khảo sát đại diện được ký hiệu thể hiện trong Bảng 2. Tần suất lấy mẫu quan trắc cho năm 2018–2020

vùng tứ giác Long Xuyên thực hiện cũng như các cơ sở đặc điểm sản xuất và mùa vụ; việc đóng mở các cống, vận hành đập Tha La và Trà Sư điều tiết nguồn nước phục vụ sản xuất, để lựa chọn thời điểm giám sát CLN vào các tháng mùa khô và đầu mùa mưa. Số lần quan trắc: 12 lần/ (2 lần/tháng × 6 tháng). Các tháng lấy mẫu: 1, 2, 3, 4 (mùa khô) và 5, 6 (đầu mùa mưa).



Hình 2. Sơ đồ các vị trí quan trắc trong vùng TGLX.

Bảng 1. Nhiệm vụ đại diện giám sát chất lượng nước của các vị trí lấy mẫu.

TT	Khu vực giám sát chất lượng nước	Nhiệm vụ giám sát chất lượng nước	Ký hiệu
1	Đầu kênh Cái Sắn phía sông Hậu	Giám sát CLN từ sông Hậu vào vùng TGLX ở đầu kênh Cái Sắn (đoạn giữa sông Hậu)	VT1
2	Đầu kênh Vĩnh Tế từ sông Hậu vào	Giám sát CLN từ sông Hậu vào vùng TGLX đoạn đầu sông, ngay khi vào vùng biên giới Việt Nam	VT2
3	Giữa kênh Cái Sắn, vùng giáp ranh Cần Thơ và Kiên Giang	Giám sát CLN đoạn giữa kênh Cái Sắn do tác động của canh tác nông nghiệp và xâm nhập mặn vào các tháng mùa khô	VT3
4	Giao của kênh Ba Thê cũ và kênh Ba Thê mới	Giám sát CLN trên kênh phục vụ SXNN cho khu vực Thoại Sơn do các tác động gây ô nhiễm từ canh tác nông nghiệp và sinh hoạt	VT4
5	Giao của kênh Tri Tôn, kênh Trà Sư và kênh Mặc Cần Dung	Giám sát CLN giữa vùng TGLX do tác động gây ô nhiễm từ canh tác nông nghiệp và sinh hoạt	VT5
6	Giao của kênh Vĩnh Tế và kênh T5	Giám sát CLN trên kênh phục vụ SXNN cho khu vực Tri Tôn do các tác động gây ô nhiễm từ canh tác nông nghiệp và sinh hoạt	VT6
7	Giao của kênh Vĩnh Tế và kênh Hà Giang	Giám sát CLN trên kênh phục vụ cho khu vực Giang Thành do các tác động gây ô nhiễm của SXNN, NTTS, xâm nhập mặn từ biển Tây và các ảnh hưởng khác từ nguồn nước	VT7
8	Cuối kênh Rạch Giá-Long Xuyên (Tp. Rạch Giá)	Giám sát CLN trên kênh do tác động gây ô nhiễm từ Tp. Rạch Giá và xâm nhập mặn từ biển Tây	VT8
9	Giao giữa kênh Tri Tôn và kênh Rạch Giá-Hà Tiên	Giám sát CLN trên kênh do tác động của các vùng SXNN, ô nhiễm của Thị trấn Tri Tôn và xâm nhập mặn từ biển Tây	VT9

TT	Khu vực giám sát chất lượng nước	Nhiệm vụ giám sát chất lượng nước	Ký hiệu
10	Giao giữa kênh T5 và kênh Rạch Giá-Hà Tiên	Giám sát CLN trên kênh do tác động ô nhiễm của các vùng SXNN, vùng NTTS, xâm nhập mặn từ biển Tây và các khu vực trũng phèn	VT10
11	Giao giữa kênh Hà Giang và kênh Rạch Giá-Hà Tiên (cầu Hà Giang)	Giám sát CLN trên kênh do tác động của các vùng NTTS, xâm nhập mặn từ biển Tây và các khu vực trũng phèn	VT11
12	Giao của kênh 10 Châu Phú và kênh ranh An Giang-Kiên Giang	Giám sát CLN trên kênh do tác động xâm nhập mặn từ Rạch Giá đến Thoại Sơn	VT12
13	Giao của kênh Tri Tôn và kênh ranh An Giang-Kiên Giang	Giám sát CLN trên kênh do tác động của chua phèn và ô nhiễm tại khu vực ranh Hòn Đất và Tri Tôn	VT13
14	Giao của kênh Tám Ngàn và kênh ranh An Giang-Kiên Giang	Giám sát CLN trên khu vực giao của 2 kênh do các tác động của chua phèn	VT14
15	Giao giữa kênh T4 và kênh ranh tỉnh An Giang-Kiên Giang	Giám sát CLN trên kênh phục vụ cho SXNN do tác động ô nhiễm từ biên giới đến khu vực Giang Thành và Tri Tôn	VT15

Bảng 2. Ký hiệu mẫu của các khu vực khảo sát.

Khu vực	Kí hiệu mẫu
Thượng nguồn sông Hậu	
Thượng nguồn sông Hậu vào vùng TGLX ở đầu kênh Cái Sắn	MH1(N)-AP
Kênh Vĩnh Tế	
Kênh Vĩnh Tế từ sông Hậu vào vùng TGLX đoạn đầu sông, ngay khi vào vùng biên giới Việt Nam	NĐ1(N)-CĐ
Kênh Vĩnh Tế đoạn giữa số 1 vùng giáp ranh Cần Thơ	NĐ2(N)-TB
Kênh Vĩnh Tế đoạn vị trí cầu sắt Hữu Nghị	NĐ3(N)-TB
Kênh Vĩnh Tế giáp Kiên Giang	NĐ4(N)-TT
Kênh MẶC Cần Dung	
Kênh MẶC Cần Dung tiếp giáp kênh Bốn Tổng	NĐ8(N)-CT
Kênh MẶC Cần dung tiếp giáp kênh Xáng Cây Dương	NĐ9(N)-CT
Kênh Tám Ngàn	
Kênh Tám Ngàn đoạn đầu	NĐ10(N)-TT
Kênh Tám Ngàn đoạn giữa	NĐ11(N)-TT
Kênh Tám Ngàn đoạn cuối giáp Kiên Giang	NĐ12(N)-TT
Kênh Rạch Giá-Long Xuyên giáp Kiên Giang	
Điểm đầu kênh Rạch Giá-Long Xuyên, tiếp giáp với rạch Long Xuyên	NĐ13(N)-LX
Điểm giữa kênh Rạch Giá-Long Xuyên, tiếp giáp kênh Bốn Tổng, kênh Chác Cà Dao, kênh Ông Cò	NĐ14(N)-CT
Kênh Rạch Giá-Long Xuyên giáp Kiên Giang	NĐ15(N)-TS
Kênh 7 xã, kênh Xáng, rạch Mương Khai, kênh Xáng Cà Mau và kênh Xáng A-B	
Kênh 7 xã	NĐ21(N)-TC
Kênh Xáng	NĐ22(N)-TC
Rạch Mương Khai	NĐ23(N)-PT
Kênh Xáng Cà Mau giáp kênh Đồng Xút	NĐ24(N)-CM
Kênh Xáng A-B	NĐ25(N)-CM

2.3. Phương pháp phân tích

Tổng 180 mẫu nước được mang đi phân tích 13 thông số gồm: pH, Oxy hòa tan (DO), BOD₅, COD, Tổng chất rắn lơ lửng (TSS), Clorua (Cl⁻), Amoni (NH₄⁺ tính theo N), Nitrite (NO₂⁻ tính theo N), Nitrate (NO₃⁻ tính theo N), Phosphat (PO₄³⁻ tính theo P), Độ mặn, Tổng sắt (Fe_{TS}), Coliform Bateria tại hiện trường và phòng thí nghiệm tuân thủ theo các phương pháp quy định tại Thông tư 10/2021/TT–BTNMT kỹ thuật quan trắc môi trường và quản lý thông tin, dữ liệu. Đánh giá tải lượng ô nhiễm theo Thông tư 76/2017/BTNMT và so sánh với Quyết định 1460/QĐ–TCMT của Tổng cục Môi trường và QCVN 08:2015/TNMT.

2.4. Phương pháp điều tra, thu thập, cập nhật thông tin dữ liệu

Thu thập tài liệu liên quan đến vùng nghiên cứu tại tỉnh An Giang, Kiên Giang và thành phố Cần Thơ tại các cơ quan chuyên môn về tài nguyên nước dưới đất, các cơ quan quản lý tại địa phương và một số các cơ quan liên quan.

Số liệu mưa và bốc hơi các trạm khí tượng trong vùng TGLX các năm 2005, 2011 và 2016 được thu thập để làm tài liệu tính toán cho mô hình mưa–dòng chảy. Tài liệu mực nước lưu lượng được thu thập nhằm xây dựng các biên tính toán (Rạch Giá) hoặc để làm tài liệu phục vụ cho việc hiệu chỉnh, kiểm định mô hình (Tri Tôn, Xuân Tô ...). Các tài liệu này bao gồm:

- Số liệu quan trắc tại các trạm thủy văn quốc gia và các trạm đo tăng cường trong các năm 2005, 2011, 2016;
- Số liệu đo đạc mực nước & lưu lượng và chất lượng nước bổ sung trại 30 vị trí vào mùa kiệt 2016;
- Số liệu đo đạc mực nước & lưu lượng bổ sung trại 24 vị trí vào mùa lũ 2016;
- Số liệu mực nước, lưu lượng trích từ mô hình thủy lực cho toàn ĐBSCL;
- Số liệu lưu lượng đầu các nhánh sông, kênh phân lãnh thổ Cambodia.

2.5. Phương pháp tính toán chỉ số chất lượng nước.

Theo Quyết định số 1460/QĐ–TCMT ngày 12 tháng 11 năm 2019: chỉ số chất lượng nước của Việt Nam (viết tắt là VN–WQI) là chỉ số được tính toán từ các thông số quan trắc chất lượng nước mặt ở Việt Nam, dùng để mô tả định lượng về chất lượng nước và khả năng sử dụng của nguồn nước đó, được biểu diễn qua một thang điểm [10–13]. Chỉ số chất lượng nước được tính theo thang điểm (khoảng giá trị WQI) tương ứng với biểu tượng và các màu sắc để đánh giá chất lượng nước đáp ứng cho nhu cầu sử dụng (Bảng 1).

Bảng 3. Các mức VN–WQI và sự phù hợp với mục đích sử dụng.

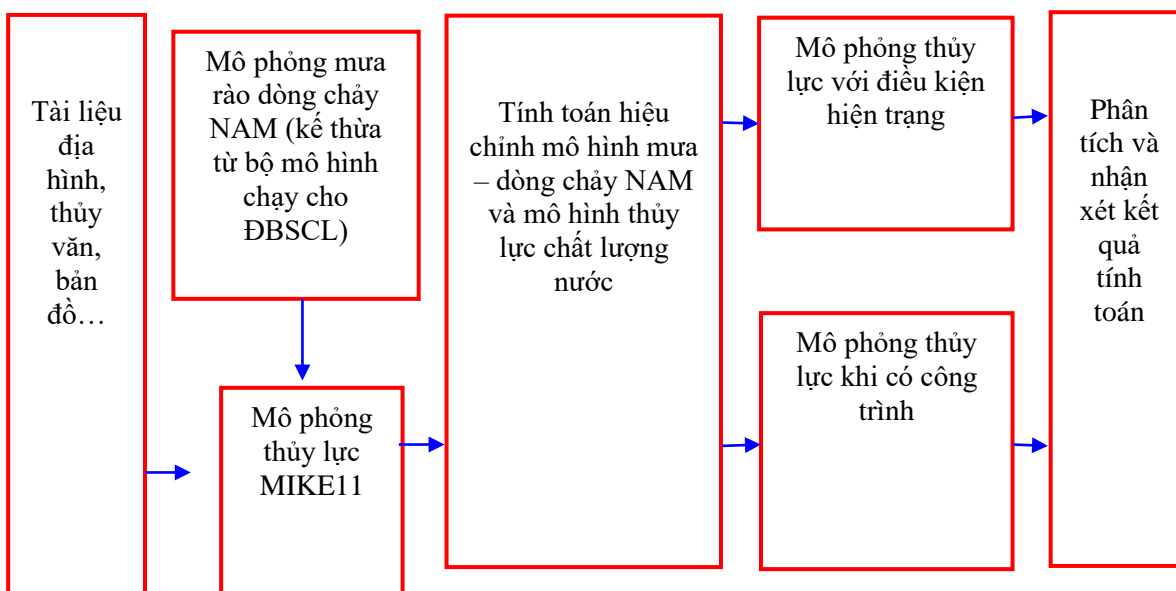
Khoảng giá trị WQI	Chất lượng nước	Phù hợp với mục đích sử dụng	Màu sắc	Mã màu
91–100	Rất tốt	Sử dụng tốt cho mục đích cấp nước sinh hoạt	Xanh nước biển	51;51;255
76–90	Tốt	Sử dụng cho mục đích cấp nước sinh hoạt nhưng cần các biện pháp xử lý phù hợp	Xanh lá cây	0;228;0
51–75	Trung bình	Sử dụng cho mục đích tưới tiêu và các mục đích tương đương khác	Vàng	255;255;0
26–50	Kém	Sử dụng cho giao thông thủy và các mục đích tương đương khác	Da cam	255;126;0
10–25	Ô nhiễm nặng	Nước ô nhiễm nặng, cần các biện pháp xử lý trong tương lai	Đỏ	255;0;0
< 10	Ô nhiễm rất nặng	Nước nhiễm độc, cần có biện pháp khắc phục, xử lý	Nâu	126;0;35

2.4. Phương pháp ứng dụng mô hình hóa

Ứng dụng mô hình MIKE 11 để dự báo chất lượng nước vùng Tứ giác Long Xuyên, và mô hình MIKE NAM để làm điều kiện biên cho mô hình MIKE 11, đây là 2 mô hình khá phổ biến được sử dụng cho việc tính toán thủy lực và dự báo kết quả nước thông qua nhiều nghiên cứu với kết quả tính toán phù hợp, có độ tin cậy cao. Để tính toán diễn biến chất lượng nước từ các sông chính, tác giả đã sử dụng phần mềm mô hình thủy lực Mike 11HD. Đây là phần mềm có xuất xứ từ Đan Mạch do DHI phát triển dưới dạng thương mại hóa, có những ưu điểm vượt trội đã và đang được áp dụng rất rộng rãi ở Việt Nam cho kết quả đáng tin cậy [14–21].

Trên cơ sở phân tích, đánh giá điều kiện tự nhiên, khí tượng thủy văn, kinh tế-xã hội và phương hướng phát triển của vùng, nghiên cứu thực hiện các nội dung sau:

- (1) Đánh giá tài nguyên nước mưa, các đặc trưng mưa và chế độ mưa vùng;
 - (2) Thiết lập mô hình thủy văn MIKE NAM kết hợp với mô hình thủy lực MIKE 11HD để xác định tổng tiềm năng nguồn nước đến vùng nghiên cứu và các tiểu vùng.
- Quá trình tính toán được thể hiện như sau:



Hình 3. Sơ đồ thực hiện tính toán mô hình hóa.

Kết quả tính toán chất lượng nước được kết luận theo các dạng kịch bản ở Bảng 3.

Bảng 4. Các kịch bản tính toán chất lượng nước.

Tên kịch bản	Tính chất kịch bản
Kịch bản 1	Các loại hình xả thải trong tương lai có nhà máy xử lý nước thải hoặc được xử lý nước thải hợp tiêu chuẩn và được vận hành đúng quy trình, lưu lượng nước thải tăng theo quy hoạch các ngành. Nồng độ các chất ô nhiễm trong nước thải của các loại hình xả thải đạt tiêu chuẩn A ngành, nguồn tiếp nhận chịu sự tác động cục đoạn của thượng nguồn (Hiện trạng). Kịch bản này có sự thay đổi cơ bản về quy định của chính quyền, thay đổi mục đích sử dụng nước, của khí hậu dẫn đến ảnh hưởng mạnh mẽ dòng chảy, đặc biệt là vào mùa khô.
Kịch bản 2	Các loại hình xả thải trong tương lai có nhà máy xử lý nước thải hoặc được xử lý nước thải hợp tiêu chuẩn và được vận hành đúng quy trình, lưu lượng nước thải tăng theo quy hoạch các ngành. Nồng độ các chất ô nhiễm trong nước thải của các loại hình xả thải đạt tiêu chuẩn A ngành, nguồn tiếp nhận chịu sự tác động cục đoạn của thượng nguồn (thượng nguồn Mekông chịu ảnh hưởng của BDKH và đập chứa), lưu lượng dòng chảy thượng nguồn sông Mekông giảm về mùa khô 20%. Kịch bản này có sự thay đổi cơ bản về quy định của chính quyền, thay đổi mục đích sử dụng nước, của khí hậu dẫn đến ảnh hưởng mạnh mẽ dòng chảy, đặc biệt là vào mùa khô.

Tên kịch bản	Tính chất kịch bản
Kịch Bản 3	Các loại hình xả thải trong tương lai có nhà máy xử lý nước thải hoặc được xử lý nước thải hợp tiêu chuẩn và được vận hành đúng quy cách, lưu lượng nước thải tăng theo quy hoạch các ngành. Nồng độ các chất ô nhiễm trong nước thải của các loại hình xả thải đạt tiêu chuẩn A ngành, nguồn tiếp nhận chịu sự tác động cục bộ của thượng nguồn (thượng nguồn Mekông chịu ảnh hưởng của BĐKH), lưu lượng dòng chảy thượng nguồn sông Mekông được tính theo kịch bản BĐKH của Bộ tài nguyên và Môi trường năm 2020. Kịch bản này có sự thay đổi cơ bản về quy định của chính quyền, thay đổi mục đích sử dụng nước của tất cả các nguồn tiếp nhận ứng với mục đích sử dụng.

2.7. Phương pháp thống kê, xử lý số liệu

Thống kê, tập hợp số liệu từ “Báo cáo hiện trạng môi trường” qua các năm hay “Báo cáo quan trắc môi trường” để đánh giá CLN trong thời gian tính toán. Phương pháp này giúp trình bày, xử lý những số liệu thực tế đã thu thập được, sau đó sẽ rút ra những nhận xét kết luận khoa học một cách khách quan đối với những vấn đề cần nghiên cứu.

2.8. Phương pháp chuyên gia

Tham khảo ý kiến của các chuyên gia trong lĩnh vực môi trường và các chuyên gia quản lý nhà nước về môi trường trên địa bàn để đề ra các biện pháp quản lý nguồn nước một cách hiệu quả, nhằm bảo vệ bền vững tài nguyên nước mặt vùng TGLX đáp ứng cho nhu cầu phát triển nông nghiệp của vùng.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Chất lượng nước sông Hậu

Diễn biến chất lượng nước theo chỉ số WQI trung bình năm giai đoạn 2018–2020 cho thấy chất lượng nước mặt tại các khu vực giám sát được thể hiện trên Hình 4.

3.1.1. Chất lượng nước khu vực thượng nguồn sông Hậu

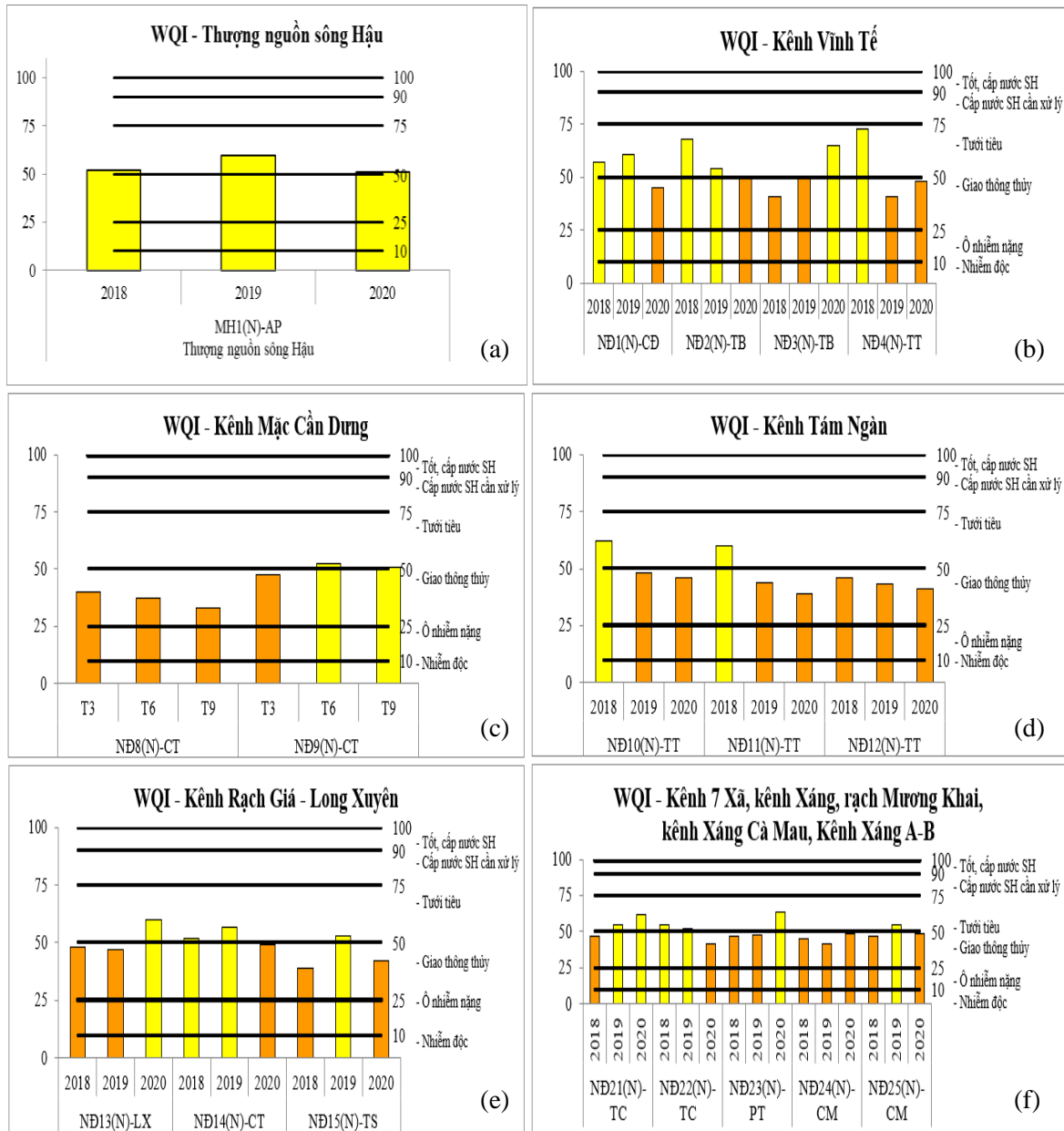
Diễn biến chất lượng nước theo chỉ số WQI trung bình năm giai đoạn 2018–2020 cho thấy, chất lượng nước mặt tại vị trí thượng nguồn sông Hậu–MH1(N)–AP đoạn chảy qua địa phận tỉnh An Giang không có nhiều biến động, đều ở mức dùng cho mục đích tưới tiêu. Vì vậy, trong thời gian tới cần phải tiếp tục theo dõi để kịp thời cảnh báo đến người dân, phải tùy vào mục đích sử dụng mà có biện pháp xử lý nước cho phù hợp (Hình 4a).

3.1.2. Chất lượng nước kênh nội đồng TGLX

Diễn biến chất lượng nước mặt kênh, rạch nội đồng theo chỉ số WQI trung bình năm giai đoạn 2018–2020 dao động từ mức sử dụng cho giao thông thủy đến mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu, tốt nhất tại vị trí đầu kênh Xáng Vịnh Tre tiếp giáp với sông Hậu–NĐ5(N)–CP và vị trí cuối rạch Ông Chường giáp sông Hậu–NĐ20(N)–CM (đồng mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu cả 3 năm liên tiếp), xấu nhất tại điểm giữa kênh Mác Càn dung tiếp giáp kênh Xáng Cây Dương–NĐ9(N)–CT, vị trí cuối kênh Tám Ngàn, tiếp giáp Kiên Giang–NĐ12(N)–TT và kênh Xáng Cà Mau giáp kênh Đồng Xút–NĐ24(N)–CM (đồng mức sử dụng cho giao thông thủy cả 3 năm liên tiếp). Chất lượng nước tại các vị trí quan trắc có sự biến động qua các năm, chi tiết được thể hiện như sau:

Chất lượng nước khu vực kênh Vĩnh Tế: Diễn biến chất lượng nước theo chỉ số WQI trung bình năm giai đoạn 2018–2020 trên kênh Vĩnh Tế dao động từ mức sử dụng cho giao thông thủy đến mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu, ngoại trừ vị trí cầu sắt Hữu Nghị–NĐ3(N)–TB có diễn biến tốt, cải thiện từ mức sử dụng cho giao thông thủy (năm 2018 và năm 2019) lên mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu (năm 2020), các vị trí còn lại đều có chất lượng nước theo chỉ số WQI trung bình năm 2020 giảm xuống mức sử dụng cho giao thông

thủy. Điều này cho thấy chất lượng nước trên kênh Vĩnh Tế chưa đảm bảo tốt về chất lượng nước cấp cho sinh hoạt theo quy chuẩn Việt Nam hiện hành. Do đó, trong thời gian tới cần phải tiếp tục theo dõi để kịp thời cảnh báo đến người dân, phải tùy vào mục đích sử dụng mà có biện pháp xử lý nước cho phù hợp (Hình 4b).



Hình 4. Diễn biến WQI vùng nghiên cứu: a) Diễn biến WQI tại vị trí thượng nguồn sông Hậu 2018–2020; b) Diễn biến WQI kênh Vĩnh Tế 2018–2020; c) Diễn biến WQI kênh Mặc Cần Dung 2018–2020; d) Diễn biến WQI kênh Tám Ngàn 2018–2020; e) Diễn biến WQI kênh Rạch Giá–Long Xuyên 2018–2020; f) Diễn biến WQI kênh 7 xã, kênh Xáng, rạch Mương Khai, kênh Xáng Cà Mau và kênh Xáng A–B 2018–2020.

Chất lượng nước khu vực kênh Mặc Cần Dung: Diễn biến chất lượng nước theo chỉ số WQI trung bình năm giai đoạn 2018–2020 trên kênh Mặc Cần Dung dao động từ mức sử dụng cho giao thông thủy đến mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu. Tại đầu kênh Mặc Cần Dung tiếp giáp kênh Bốn Tổng–NĐ8(N)–CT, chất lượng nước giảm từ mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu (năm 2018) xuống mức sử dụng cho giao thông thủy (năm 2019 và năm 2020). Tại điểm giữa kênh Mặc Cần dung tiếp giáp kênh Xáng Cây Dương–NĐ9(N)–CT, chất lượng nước đồng mức sử dụng cho giao thông thủy qua 3 năm liên tiếp. Điều này cho thấy chất

lượng nước chưa đảm bảo tốt cho sinh hoạt, do vậy trong thời gian tới cần phải tiếp tục theo dõi để kịp thời cảnh báo đến người dân, phải tùy vào mục đích sử dụng mà có biện pháp xử lý nước cho phù hợp (Hình 4c).

Chất lượng nước khu vực kênh Tám Ngàn: Diễn biến chất lượng nước theo chỉ số WQI trung bình năm giai đoạn 2018–2020 trên kênh Tám Ngàn dao động từ mức sử dụng cho giao thông thủy đến mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu. Tại cuối kênh Tám Ngàn, tiếp giáp Kiên Giang–NĐ12(N)–TT, chất lượng nước đồng mức sử dụng cho giao thông thủy qua 3 năm liên tiếp. Tại các vị trí quan trắc còn lại, chất lượng nước giảm từ mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu (năm 2018) xuống mức sử dụng cho giao thông thủy (năm 2019 và năm 2020). Diễn biến chất lượng nước trên kênh Tám Ngàn cho thấy nước chưa đảm bảo tốt cho sinh hoạt, do vậy trong thời gian tới cần phải tiếp tục theo dõi để kịp thời cảnh báo đến người dân, phải tùy vào mục đích sử dụng mà có biện pháp xử lý nước cho phù hợp (Hình 4d).

Chất lượng nước khu vực kênh Rạch Giá–Long Xuyên: Diễn biến chất lượng nước theo chỉ số WQI trung bình năm giai đoạn 2018–2020 trên kênh Rạch Giá–Long Xuyên dao động từ mức sử dụng cho giao thông thủy đến mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu. Tốt nhất tại điểm đầu kênh Rạch Giá–Long Xuyên, tiếp giáp với rạch Long Xuyên–NĐ13(N)–LX, chất lượng nước cải thiện từ mức sử dụng cho giao thông thủy (năm 2018 và năm 2019) lên mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu (năm 2020). Tại điểm giữa kênh Rạch Giá–Long Xuyên, tiếp giáp kênh Bốn Tổng, kênh Chắc Cà Đào, kênh Ông Cò–NĐ14(N)–CT, chất lượng nước giảm từ mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu (năm 2018 và năm 2019) xuống mức sử dụng cho giao thông thủy (năm 2020). Tại vị trí cuối kênh Rạch Giá–Long Xuyên, tiếp giáp với Kiên Giang–NĐ15(N)–TS, chất lượng nước cải thiện từ mức sử dụng cho giao thông thủy (năm 2018) lên mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu (năm 2019) sau đó giảm xuống mức sử dụng cho giao thông thủy (năm 2020). Qua đó cho thấy chất lượng nước trên kênh Rạch Giá–Long Xuyên chưa đảm bảo tốt cho sinh hoạt, do vậy trong thời gian tới cần phải tiếp tục theo dõi để kịp thời cảnh báo đến người dân, phải tùy vào mục đích sử dụng mà có biện pháp xử lý nước cho phù hợp (năm 2020).

Chất lượng nước khu vực kênh 7 xã, kênh Xáng, rạch Mương Khai, kênh Xáng Cà Mau và kênh Xáng A–B: Diễn biến chất lượng nước theo chỉ số WQI trung bình năm giai đoạn 2018–2020 trên kênh 7 Xã, kênh Xáng, rạch Mương Khai, kênh Xáng Cà Mau giáp kênh Đồng Xút và kênh Xáng A–B (Hình 4f) như sau: Tại kênh 7 xã–NĐ21(N)–TC chất lượng nước cải thiện từ mức sử dụng cho giao thông thủy (năm 2018) lên mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu (năm 2019, năm 2020); Tại kênh Xáng–NĐ22(N)–TC chất lượng nước giảm từ mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu (năm 2018, năm 2019) xuống mức sử dụng cho giao thông thủy (năm 2020); Tại rạch Mương Khai–NĐ23(N)–PT chất lượng nước cải thiện từ mức sử dụng cho giao thông thủy (năm 2018, năm 2019) lên mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu (năm 2020); Tại kênh Xáng Cà Mau giáp kênh Đồng Xút–NĐ24(N)–CM chất lượng nước đồng mức sử dụng cho giao thông thủy; Tại kênh Xáng A–B–NĐ25(N)–CM chất lượng nước cải thiện từ mức sử dụng cho giao thông thủy (năm 2018) lên mức sử dụng cho mục đích tưới tiêu (năm 2019), sau đó giảm xuống mức sử dụng cho giao thông thủy (năm 2020). Điều này cho thấy chất lượng nước chưa đảm bảo tốt cho sinh hoạt, cảnh báo đến người dân phải tùy vào mục đích sử dụng mà có biện pháp xử lý nước cho phù hợp.

Trong quá trình khảo sát điều tra lấy mẫu nghiên cứu, tính toán chỉ số WQI theo Quyết định số 1460–QĐ/TCMT; trong đó, việc phân tích các chỉ tiêu thuộc trừ sâu hữu như không phát hiện tại thời điểm nghiên cứu.

3.2. Kết quả ứng dụng mô hình đánh giá chất lượng nước vùng nghiên cứu

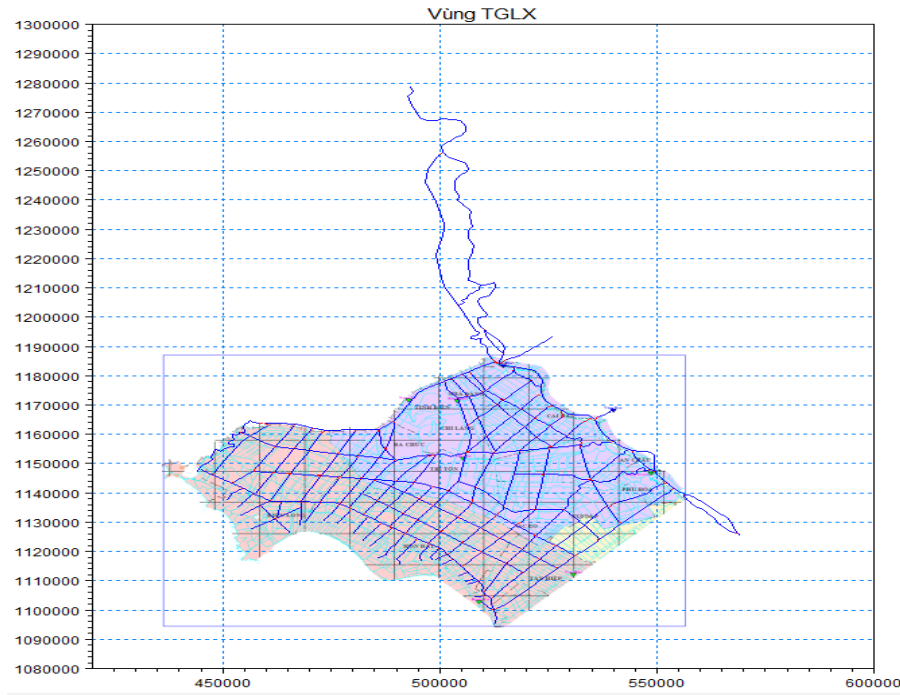
Đặc điểm tự nhiên lưu vực TGLX là một phần của ĐBSCL nên chịu tác động chính từ dòng chảy thượng nguồn biên giới (sông Giang Thành, sông Mêkông) và phía dưới hạ lưu chịu tác động của mực nước triều ngoài biển Tây.

Biên lưu lượng gồm các biên lưu vực tính toán từ mô hình NAM kế thừa từ bộ mô hình Nam chạy cho ĐBSCL do Viện Khoa học thủy lợi thực hiện) (Hình 5).

Biên mực nước được sử dụng từ biên mực nước triều Rạch Giá, Hà Tiên.

Biên chất lượng nước được xác định dựa vào các mẫu phân tích thu thập được có vị trí gần biên tính toán vào mùa khô năm 2016.

Biên của mô hình: trong số 39 vị trí này có 8 điểm là các biên lưu lượng, 31 vị trí còn lại là biên mực nước.



Hình 5. Sơ đồ thủy lực vùng TGLX.

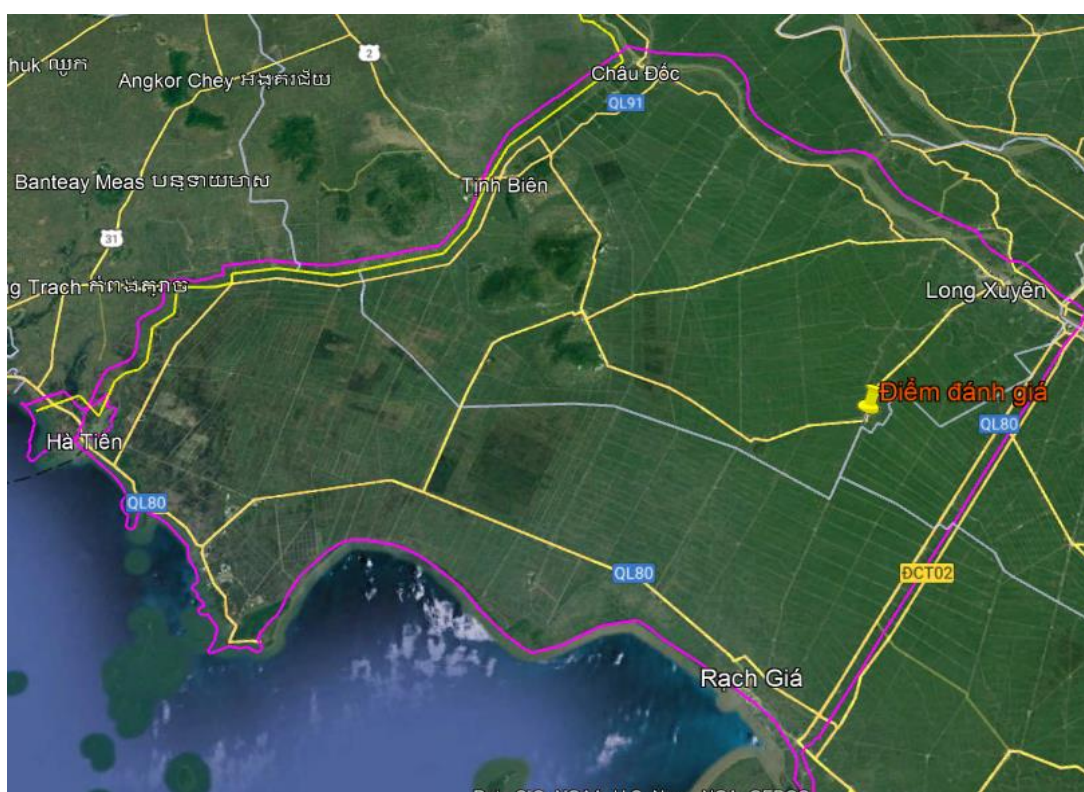
- Lưu lượng nhánh Bassac tại vị trí KhoKhel (Cambodia) được trích từ kết quả tính toán lũ cho toàn khu vực hạ lưu sông Mekong;
- Lưu lượng tại điểm đầu các nhánh sông trên lãnh thổ Cambodia;
- Mực nước sông Hậu tại vị trí sau đoạn giao với kênh Cái Sắn: trích từ mô hình toàn đồng bằng;
- Lưu lượng tại điểm đầu kênh Tân Châu–Châu Đốc (giáp sông Tiền);
- Mực nước tại các trạm Vàm Nao và Rạch Giá.

Công trình: Mô hình được xây dựng bao gồm các công kiểm soát lũ/mặn Tây; Đập cao su Tha La & Trà Sư; Trần Xuân Tô;

Việc hiệu chỉnh chất lượng nước được dựa trên số liệu lấy mẫu và phân tích tháng 3 năm 2016, kết quả mô phỏng so sánh với giá trị thực đo cho thấy độ chênh lệch không nhiều có thể chấp nhận được. Diễn biến chất lượng nước cũng được thể hiện theo sự biến động của dòng triều ngoài biển, giao thông của ghe thuyền trên các nguồn nước tác động gặp nhiều khó khăn do quá trình trao đổi chất trong môi trường nước trong mùa khô là rất phức tạp. Tuy nhiên kết quả mô hình đưa ra cũng khá tương quan so với giá trị đo đạc, do vậy có thể sử dụng mô hình để tính toán các kịch bản. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình vùng TGLX cho thấy mô hình phản ánh phù hợp chế độ dòng chảy và tác động của vận hành hệ thống công trình trong vùng TGLX lên chế độ dòng chảy. Minh chứng thông qua so sánh tính toán và thực đo của các yếu tố mực nước và lưu lượng các trạm trên dòng chính và nội vùng TGLX, chênh lệch giữa mực nước tính toán và thực đo nằm trong giới hạn cho phép, do đó có thể dùng bộ thông số của mô hình để tính toán mô phỏng thủy lực khu vực nghiên cứu. Điều này cho thấy bộ thông số của mô hình là phù hợp và có thể sử dụng để mô phỏng các kịch bản tính toán.

Hiệu chỉnh mô hình thủy lực: Bước thời gian tính toán $\Delta t = 1$ phút. Việc xác định khoảng thời gian Δt được làm sơ bộ đồng thời với quá trình chạy thông mô hình. Mô hình tính toán đó lựa chọn khoảng thời gian Δt khác nhau (20s, 1 phút, 5 phút) nhận thấy với $\Delta t = 20$ s mô hình chạy ổn định nhưng mất nhiều thời gian, 5 phút thì mô hình chạy không ổn định. Sau khi thử với bước thời gian $\Delta t = 1$ phút thì mô hình chạy ổn định hơn nên lựa chọn bước thời gian này để tính toán là hợp lý. Hệ số nhám theo Manning (m) được phân ra nhiều đoạn sông khác nhau thượng lưu có hệ số nhám cao hơn hạ lưu và có xét đến sự thay đổi của nhám lòng và nhám bãi, dao động trong khoảng từ 0,022÷0,032.

Kết quả đề xuất đánh giá tại điểm nằm trên kênh Rạch Giá–Long Xuyên lấy nước từ sông Tiền qua 2 tỉnh An Giang và Kiên Giang và đổ ra của biển Tp. Rạch Giá, Kiên Giang (Hình 6).



Hình 6. Vị trí xuất kết quả mô hình.

3.2.1. Kết quả tính toán theo kịch bản 1

Trong trường hợp hiện trạng ứng với điều kiện xả thải tính toán theo các lĩnh vực thì nồng độ các chất trong môi trường nước phụ thuộc chính vào điều kiện khí hậu tại vùng. Vào năm 2025 là năm có dòng chảy trên lưu vực TGLX là trung bình so với các năm khảo sát và mùa kiệt trong năm 2025 vào thời điểm tháng 4. Bên cạnh đó đặc thù vùng sinh hoạt tập quán, người dân sống cận bờ sông, kênh cộng với mật độ giao thông thủy của thuyền ghe điễn ra liên tục nên chỉ số chất lượng nước trong sông cũng thay đổi khá nhiều và phức tạp.

Mùa kiệt năm 2025 có thời gian kéo dài tới đầu tháng 5 do đó với lưu lượng từ phía thượng lưu chảy xuống dưới hạ lưu tăng dần đã tác động lớn tới chất lượng nước trong sông, kênh khi lượng thải đổ ra sông không được hòa tan và làm sạch nên nồng độ tăng dần theo thời gian, với nồng độ các chất đạt giá trị lớn nhất vào khoảng cuối tháng 5 như nồng độ TSS đạt 56,78 mg/l, BOD₅ đạt 5,73 mg/l, COD đạt 5,73 mg/l, nồng độ Tổng N đạt 1,97 mg/l, nồng độ Tổng P đạt 0,332 mg/l. Nhưng sau khi xuất hiện mưa bắt đầu vào thời kỳ mùa lũ, lưu lượng tăng lên làm thay đổi nồng độ trong sông, kênh.

Xét trong điều kiện hiện trạng với chế độ dòng chảy năm 2011 có thể thấy chất lượng nước trong sông có sự thay đổi khá lớn. Với năm 2011 thời gian mùa kiệt kết thúc sớm hơn

so với năm 2016 nên chất lượng nước trong sông có sự thay đổi khá lớn. Dựa vào kết quả mô hình hóa đã phân tích, nồng độ các chất năm 2016 và 2011 có thể thấy chế độ dòng chảy tác động khá lớn tới chất lượng nước trong sông, năm 2016 mùa kiệt kéo dài kèm theo đó là lưu lượng dòng chảy nhỏ đã làm tăng nồng độ chất lượng nước trong sông và thời kì mùa kiệt kéo dài cũng làm tăng nồng độ các chất theo thời gian.

3.2.2. Kết quả theo tính toán kịch bản 2

Trong kịch bản này với điều kiện chế độ dòng chảy năm 2016 là khi chưa xây dựng công trình kèm theo tải lượng đổ ra sông tương ứng với năm 2025 trong tương lai, khi điều kiện tương lai dân số tăng lên cùng với việc kinh tế phát triển đã làm cho lượng thải ra môi trường tăng cao qua đó nồng độ các chất trong sông cũng tăng dần lên.

Nồng độ TSS trong tương lai cũng tăng lên như đối với các chỉ số chất lượng nước khác, ứng với KB2 thì nồng độ TSS tại vị trí công trình đạt khoảng 33,68 mg/l và tăng khoảng 15,3% so với hiện trạng.

Tại vị trí công trình, nồng độ các chất như BOD cao nhất đạt khoảng 6.81mg/l và tăng khoảng 18,8% so với nồng độ hiện trạng.

Nồng độ Tổng N tại khu vực xây dựng công trình trong điều kiện tương lai cũng tăng lên đáng kể so với hiện trạng khi chưa xây dựng công trình, giá trị nồng độ Tổng N đạt khoảng 2,26 mg/l tăng so với nồng độ hiện trạng khoảng 14,7%.

Tương tự như nồng độ Tổng N, nồng độ Tổng P trong điều kiện tương lai tại vị trí công trình cũng tăng khá cao so với thời điểm hiện trạng, với nồng độ trong sông đạt khoảng 0,395 mg/l tăng khoảng hơn 19% so với nồng độ hiện nay.

3.2.3. Kết quả theo tính toán kịch bản 3

Khi xây dựng công trình công phía dưới hạ lưu để ngăn mặn lại, đã tác động tới chế độ dòng chảy trong sông và nồng độ các chất cũng biến đổi theo quá trình diễn biến dòng chảy này. Chế độ dòng chảy tại khu vực sau công về phía thượng lưu khi công đóng vào mùa kiệt ngăn mặn sẽ không bị tác động bởi chế độ thủy triều ngoài biển tác động lên thượng lưu.

Nồng độ BOD tại vị trí thượng lưu công do chịu ảnh hưởng chính từ dòng chảy thượng lưu đổ về dồn tới cửa công qua đó làm cho nồng độ tăng lên tại vị trí công và tăng cao hơn so với hiện trạng trong cả liệt tài liệu mùa kiệt.

Theo như diễn biến quá trình nồng độ BOD, có thể thấy rằng khi xây dựng công trình công ngăn mặn đã tác động tới chế độ dòng chảy và làm cho nồng độ BOD phía thượng lưu công tăng cao hơn so với hiện trạng khoảng 9,996 mg/l, diễn biến nồng độ BOD phía thượng lưu do không bị tác động bởi chế độ thủy triều nên biên độ dao động không lớn và nồng độ bị tăng dần theo thời gian đóng công. Mặt khác phía hạ lưu công biên độ về nồng độ BOD cũng thu hẹp lại so với trường hợp hiện trạng do công đóng lại và vận hành cửa van trong thời đoạn mùa kiệt, phía sau công đổ ra biển như 1 kênh cắt nên nồng độ tại vị trí sau công cũng tăng lên đáng kể.

Khi đóng công thì vị trí khu vực trước công về phía thượng lưu trở thành như một hồ chứa do đó lượng nước đổ về làm cho các chất trong nước lắng lại, do đó chỉ số TSS tại vị trí công trình phía thượng lưu bị giảm đi dần trong quá trình đóng công, với kịch bản 3 thì chỉ số TSS giảm xuống còn khoảng 24 mg/l.

Phía hạ lưu sau công về phía biển thì nồng độ TSS cũng tương tự như nồng độ BOD do bị tác động bởi công trình công nên biên độ BOD bị co hẹp hơn so với khi chưa xây dựng công trình.

Xét chỉ tiêu Tổng P tại vị trí công trình khi xây dựng công và khi vận hành đóng công cả mùa khô thì nồng độ tại vị trí thượng lưu công tăng lên khoảng 0,425 mg/l và theo diễn biến quá trình nồng độ tại vị trí này cũng tăng dần theo thời gian và biên độ dao động không bị tác động bởi dòng triều nên hẹp hơn so với kịch bản 1.

3.3. Đề xuất các giải pháp cơ bản bảo vệ nguồn nước hiệu quả

Từ kết quả tính toán của 3 kịch bản, bài báo đề xuất một số giải pháp cấp thiết và cơ bản nhất để bảo vệ nguồn nước cụ thể phù hợp như sau:

- Tăng cường quan trắc, dự báo diễn biến chất lượng môi trường, xác định kịp thời các vấn đề môi trường trên lưu vực sông. Kiểm soát ô nhiễm nguồn thải cố định chất thải chăn nuôi, chất thải sinh hoạt và hoạt động công nghiệp. Đẩy mạnh các hoạt động nghiên cứu, ứng dụng và chuyển giao công nghệ về xử lý ô nhiễm, khắc phục suy thoái và sự cố môi trường, trong đó tập trung cho việc ngăn chặn, hạn chế và xử lý ô nhiễm môi trường tại các khu chăn nuôi, khu công nghiệp/ cụm công nghiệp, khu dân cư, khu xử lý chất thải tập trung. Đẩy mạnh ứng dụng các giải pháp kỹ thuật nhằm hoàn thiện hệ thống tiêu thoát nước mưa và thu gom, xử lý nước thải sinh hoạt. Nạo vét, cải tạo các kênh, rạch bị ô nhiễm nặng trong vùng nghiên cứu.

- Hiện nay, hệ thống các công trình quản lý nước vùng TGLX tương đối hoàn chỉnh. Tuy nhiên, theo Quy hoạch tổng thể ĐBSCL trong điều kiện BĐKH và nước biển dâng, để quản lý và chia sẻ nguồn nước trong vùng, địa phương cần phải thực hiện thêm các giải pháp công trình căn cứ vào tình hình thực tế theo từng giai đoạn phát triển. Công tác xây dựng hệ thống các công trình thủy lợi cần tôn trọng quy luật thủy văn, không gây cản trở dòng chảy để dòng chảy, phù sa, nguồn lợi thủy sản liên thông. Đồng thời, tăng cường xây dựng, ứng dụng công nghệ phù hợp, vận hành có hiệu quả các hệ thống thu gom xử lý nước thải công nghiệp, dịch vụ, sinh hoạt nhằm kiểm soát nguồn phát thải ô nhiễm, bảo vệ môi trường đáp ứng các yêu cầu tiêu chuẩn xanh trong phát triển các ngành sản xuất, quy hoạch khu dân cư đô thị của vùng.

- Tuyên truyền, vận động và phổ biến nội dung các văn bản về bảo vệ môi trường lưu vực sông, tăng cường công tác nâng cao nhận thức cộng đồng trong bảo vệ nguồn nước. Đẩy mạnh xã hội hóa công tác bảo vệ môi trường. Hoàn thiện bộ máy quản lý môi trường nước mặt từ cấp tỉnh đến cấp cơ sở, đào tạo, tập huấn nâng cao trình độ chuyên môn, nghiệp vụ cho đội ngũ cán bộ quản lý môi trường ở cấp cơ sở. Có sự phân công trách nhiệm rõ ràng giữa các cấp, các ngành.

Đề xuất một số biện pháp giảm thiểu ô nhiễm môi trường nước vùng nghiên cứu:

- Nhóm giải pháp công trình: (i) Thu gom và xử lý nước thải tại các khu công nghiệp, nước thải sinh hoạt, nước thải chăn nuôi; (ii) Vận hành hệ thống công trình ngăn mặn.

- Nhóm giải pháp phi công trình: (i) Giải pháp về nâng cao nhận thức cộng đồng trong bảo vệ nguồn nước; (ii) Giải pháp nâng cao vai trò, hiệu quả và năng lực quản lý của cơ quan quản lý địa phương; (iii) Đẩy mạnh xã hội hóa công tác bảo vệ môi trường; (iv) Kiểm soát nguồn phát thải ô nhiễm.

4. Kết luận

Kết quả đánh giá diễn biến chất lượng nước theo chỉ số WQI của vùng nghiên cứu đã cho thấy chất lượng nước tại khu vực quan trắc có hàm lượng cặn lơ lửng cao, độ pH phía thượng nguồn thấp, nguồn nước có dấu hiệu bị ô nhiễm vi sinh (*Coliform Bacteria*). Chất lượng nước vùng TGLX được đánh giá trung bình theo thang đo màu. Tuy nhiên có một số khu vực có chất lượng xấu (màu da cam) tại một số thời điểm trong năm. Cụ thể khu vực kênh Vĩnh Kế, kênh Mặc Cần Dung, Kênh Tám Ngàn, Rạch Giá-Long Xuyên và kênh 7 xã, kênh Xáng, rạch Mương Khai, kênh Xáng Cà Mau và kênh Xáng A-B đều có chất lượng nước xấu đi trong năm 2020. Để có thể sử dụng vào những phục vụ mục đích sinh hoạt thì cần phải áp dụng các biện pháp xử lý phù hợp.

Mô phỏng chất lượng nước mùa kiệt năm 2025 (Kịch bản 1) thời gian đầu tháng 5 do đó với lưu lượng từ phía thượng lưu chảy xuống dưới hạ lưu tăng dần đã tác động lớn tới chất lượng nước trong sông, kênh khi lượng thải đổ ra sông không được hòa tan và làm sạch nên nồng độ tăng dần theo thời gian, với nồng độ các chất cao; TSS: 56,78 mg/l, BOD5: 5,73

mg/l, COD: 5,73 mg/l, Tổng N: 1,97 mg/l, Tổng P: 0,332 mg/l. Nhưng khi xuất hiện mưa bắt đầu vào thời kì mùa lũ, lưu lượng tăng lên làm thay đổi hàm lượng chất hữu cơ cũng như các chỉ tiêu hóa lý có xu thế giảm. Nghiên cứu chỉ ra khi so sánh với các năm 2011 và 2016 có thể thấy chế độ dòng chảy tác động khá lớn tới chất lượng nước trong sông, năm 2016 mùa kiệt kéo dài kèm theo đó là lưu lượng dòng chảy nhỏ đã làm tăng nồng độ chất lượng nước trong sông và thời kì mùa kiệt kéo dài cũng làm tăng nồng độ các chất ô nhiễm theo thời gian. Tại kịch bản 2, với điều kiện chế độ dòng chảy năm 2016 và khi chưa xây dựng các công trình thủy lợi, kèm theo tải lượng đổ ra sông tương ứng với năm 2025 và trong tương lai, khi dân số tăng lên cùng với việc kinh tế phát triển đã làm cho lượng thải ra môi trường tăng cao qua đó nồng độ các chất trong sông cũng tăng dần lên. Nồng độ TSS ứng với KB2 thì nồng độ TSS: 33,68 mg/l, tăng khoảng 15,3% so với hiện trạng. Với kịch bản 3, khi xây dựng công trình cống ngăn mặn đã tác động tới chế độ dòng chảy và làm cho nồng độ BOD tăng cao hơn so với hiện trạng khoảng 9,996 mg/l, diễn biến nồng độ BOD phía thượng lưu do không bị tác động bởi chế độ thủy triều nên biên độ giao động không lớn và nồng độ bị tăng dần theo thời gian đóng cống. Mặt khác phía hạ lưu nồng độ BOD cũng giảm dần so với trường hợp hiện trạng khi cống đóng lại và vận hành cửa van trong thời đoạn mùa kiệt, phía sau công đổ ra biển như một kênh cắt nên nồng độ các thông số TSS, BOD₅ tại vị trí sau cống cũng tăng lên đáng kể.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của dự án nghiên cứu Viện Phát triển Công nghệ Môi trường và Tài nguyên nước Phú Mỹ.

Lời cam đoan: Các tác giả đảm bảo rằng bài viết này là công trình của các tác giả, chưa được xuất bản ở nơi khác, không được sao chép từ nghiên cứu trước đó; không có xung đột lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Thanh, T.V. và cs. Nghiên cứu đánh giá các tác động tích cực và những tồn tại, đề xuất các giải pháp để nâng cao hiệu quả kinh tế – xã hội và môi trường của hệ thống công trình kiểm soát lũ vùng Tứ Giác Long Xuyên. Đề tài cấp Nhà nước KC08.20/11–15, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Việt Nam, 2015.
2. Tran, D.D.; Huu, L.H.; Hoang, L.P.; Pham, T.D.; Nguyen, A.H. Sustainability of rice-based livelihoods in the upper floodplains of Vietnamese Mekong Delta: Prospects and challenges. *Agric. Water Manage.* **2021**, *243*, 106495.
3. ADB and IMHEN. Climate Change Impact and Adaptation Study in The Mekong Delta, Part A Final Report: Climate Change Vulnerability and Risk Assessment Study for Ca Mau and Kien Giang Provinces, Vietnam, 2011.
4. ADB. Viet Nam: Environment and climate change assessment. Deltares–Delta Alliance–DWRPIS, 2011. Vietnam – Netherlands Mekong Delta Masterplan Project: Mekong Delta: Water resources assessment studies. Deltares–Delta Alliance–Division for water Resources Planning and Investigation for the South of Vietnam (DWRPIS), 2013.
5. Economics of adaptation to climate change. The World Bank: The Social Dimensions of Adaptation to Climate Change in Vietnam, 2010.
6. Shrestha, S.; Bach, T.V.; Pandey, V.P. Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios. *Environ. Sci. Policy* **2016**, *61*, 1–13.

7. Sustainable Development Department, Vietnam Country Office. The World Bank: Climate-Resilient Development in Vietnam: Strategic Directions for the World Bank, 2011.
8. Trung, N.H. Possible impacts of seawater intrusion and strategies for water management in coastal areas in the Vietnamese Mekong delta in the context of climate change. Proceeding of the Coastal Disasters and Climate Change in Vietnam, 2014, 219–232.
9. World Bank. Climate-Resilient Development in Viet Nam: Strategic Directions for the World Bank. Washington, DC, 2011.
10. Tran, D.D.; Quang, C.N.X.; Tien, P.D.; Tran, P.G.; Kim Long, P.; Van Hoa, H.; ...; Le Ha, T.T. Livelihood Vulnerability and Adaptation. Capacity of Rice Farmers under Climate Change and Environmental Pressure on the Vietnam Mekong Delta Floodplains. *Water* 2020, 12(11), 3282.
11. Tuyển chọn các văn bản quy phạm pháp luật trong lĩnh vực tài nguyên nước, Tập 1,2,3, Cục Quản lý tài nguyên nước.
12. Tổng cục Môi trường. Sổ tay hướng dẫn Tính toán chỉ số chất lượng nước. Bộ Tài Nguyên và Môi trường, 2011.
13. Nghị định số 120/2008/NĐ-CP, ngày 01 tháng 12 năm 2008 của Chính phủ về Quản lý lưu vực sông.
14. Quyết định số 81/2006/QĐ-TTg ngày 14 tháng 04 năm 2006 của Thủ tướng Chính phủ về việc phê duyệt Chiến lược quốc gia về tài nguyên nước đến năm 2020.
15. DHI software. Mike Use Guide, 2007.
16. DHI software. Mike Reference Manual, 2007.
17. DHI – Water & Environment (DHI). MIKE11 – a modelling system for Rivers and Channels – Short Introduction and Tutorial – Denmark Hydraulics Institute, 2014.
18. Mike Flow model (DHI). Hydronamic module: Scientific Documentation, 2007.
19. Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Van Liew, M.W.; Bingner, R.L.; Harmel, R.D.; Veith, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE* 2007, 50(3), 885–900.
20. McCuen, R.H.; Knight, Z.; Cutter, A.G. Evaluation of the Nash-Sutcliffe efficiency index. *J. Hydrol. Eng.* 2006, 11(6), 597–602.
21. http://www.esr.org/polar_tide_models/Model_TPXO62_load.html.
22. http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/water_quality_models.html.
23. Trọng, H.; Ngọc, C.N.M. Phân tích dữ liệu nghiên cứu với SPSS Tập 1. Xuất bản lần 1, Nhà xuất bản Hồng Đức, Tp. HCM, 2008.

Application WQI Index and of MIKE 11 model to evaluate surface water quality in the Long Xuyen Quadrangle

Huynh Phu¹, Nguyen Ly Ngoc Thao^{1*}, Huynh Thi Ngoc Han², Tran Thi Minh Ha³

¹ HUTECH University; h.phu@hutech.edu.vn; nln.thao@hutech.edu.vn

² Hochiminh City University of Nature Resources & Environment; htghan_ctn@hcmunre.edu.vn

³ Tay Nguyen University; ttmha@ttn.edu.vn

Abstract: This study used the MIKE 11 model combined with the WQI index to assess the changes in surface water quality in the Long Xuyen Quadrangle. The results show that the best water quality evolution is at the beginning of Xang Vinh Tre canal adjacent to Hau river-ND5(N)-CP and at the end of Ong Chuong canal adjacent to Hau river-ND20(N)-CM at the same level. used for irrigation purposes for 3 consecutive years), the worst is at the middle point of the Mac Can Dung canal adjacent to Xang Cay Duong canal-ND9(N)-

CT, at the end of Tam Ngan canal, adjacent to Kien Giang–ND12 (N)–TT and Xang Ca Mau canal adjacent to Dong Xut–ND24(N)–CM canal. Water quality simulation under scenario 1, high concentration of substances; TSS: 56.78 mg/l, BOD₅: 5.73 mg/l, COD: 5.73 mg/l, Total N:1.97 mg/l, Total P: 0.332 mg/l in dry season. In scenario 2, when the population increases and the economy develops, TSS concentration: 33.68 mg/l, an increase of about 15.3% compared to the current situation. If according to scenario 3, when constructing the sluice gate to prevent saline intrusion, it affects the flow regime and causes the BOD concentration to increase higher than the current situation by about 9.966 mg/l, the evolution of BOD concentration upstream is due to is not affected by the tidal regime, so the fluctuation amplitude is not large and the concentration is gradually increased with the time of closing the sluice.

Keywords: Long Xuyen Quadrangle; Mekong Delta; Surface water sources; MIKE 11; WQI.

Bài báo khoa học

Khảo sát thí nghiệm bơm ép khí nước luân phiên trong mẫu cát kết Miocen mỏ Rồng Đen, bể Cửu Long

Nguyễn Gia Thông¹, Phạm Hữu Tài^{1,2}, Cù Minh Hoàng³, Tô Việt Nam¹, Lê Quốc Nam, Trần Thị Mai Hương¹, Nguyễn Xuân Huy^{1*}

¹ Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM; thong.nguyen2711@hcmut.edu.vn; tovietnam@hcmut.edu.vn; ttmai.huong@hcmut.edu.vn

² Trường Đại Học Dầu Khí Việt Nam; taiph@pvu.edu.vn

³ Tổng công ty thăm dò khai thác dầu khí Việt Nam, Hà Nội; hoangcm@pvep.com.vn

*Tác giả liên hệ: nxhuy@hcmut.edu.vn; Tel.: +84-909453698

Ban Biên tập nhận bài: 5/9/2022; Ngày phản biện xong: 23/10/2022; Ngày đăng bài: 25/10/2022

Tóm tắt: Thông thường lượng dầu sót lại trong mỏ sau giai đoạn bơm ép nước là rất lớn, nhất là hoạt động khai thác ở mỏ Rồng Đen, bể Cửu Long. Một phần đáng kể lượng dầu sót này có thể được thu hồi, đạt hiệu quả kinh tế bằng cách sử dụng bơm ép khí CO₂ và nước luân phiên (WAG). Sử dụng bơm ép WAG trong phòng thí nghiệm cho thấy áp suất trộn lẫn tối thiểu của khí CO₂ ở khoảng 2950 psi. Thí nghiệm bơm ép mẫu lõi bằng phương pháp WAG cho kết quả rất đáng chú ý, hệ số thu hồi của thí nghiệm WAG trước khi bơm ép nước thứ cấp là 88,6%. Lượng thu hồi của bơm ép nước thứ cấp đạt 68,6%, bơm ép WAG sau bơm ép nước, thu hồi thêm 17,9%. Kết quả cho thấy hệ số thu hồi dầu của WAG trước khi bơm ép nước lớn hơn tổng hệ số thu hồi của bơm ép nước và bơm ép WAG sau khi bơm ép nước là 2,1%, cho thấy việc áp dụng WAG trước khi bơm ép nước đạt hiệu quả hơn sau khi bơm ép nước thứ cấp và WAG tam cấp.

Từ khóa: Bơm ép khí nước luân phiên; Hệ số thu hồi dầu; Áp suất trộn lẫn tối thiểu; khí CO₂; Bể Cửu Long.

1. Giới thiệu

Kể từ năm 1957, dự án bơm ép khí bằng phương pháp WAG đầu tiên được áp dụng tại Canada và áp dụng phổ biến đến nay bởi vì hiệu suất thu hồi dầu được cải thiện đáng kể. Kết quả báo cáo cho rằng 80% các dự án WAG ở Hoa Kỳ có đạt hiệu quả kinh tế [1]. Trong 59 mỏ, áp dụng phương pháp WAG cho thấy cải thiện hệ số thu hồi dầu trung bình từ 5% đến 10% trữ lượng dầu tại chỗ [2]. Hệ số thu hồi dầu trung bình của phương pháp WAG trộn lẫn và không thể trộn lẫn được tính toán tương ứng là 9,7% và 6,4% OOIP. Sử dụng khí CO₂ cho kết quả hệ số thu hồi dầu được cải thiện hơn so với khí đồng hành [3]. Hệ số thu hồi dầu tăng lên được cho là do có sự cải thiện hiệu suất đẩy của bơm ép khí, tăng cường hiệu suất quét bằng bơm ép nước và sự trao đổi thành phần giữa khí với dầu. Ở vùng Biển Bắc, phương pháp WAG làm cải thiện hệ số thu hồi thông qua tiếp xúc với những đới không quét được của vỉa [4].

Ở Việt Nam, phần lớn sản lượng dầu hiện tại được khai thác từ các mỏ sắp cạn kiệt, mức độ bổ sung trữ lượng từ các mỏ mới đang trên đà giảm mạnh [5]. Việc gia tăng hệ số thu hồi dầu từ các mỏ đã khai thác trong thời gian dài đang là vấn đề cấp bách đối các công ty khai thác dầu khí. Đứng trước nhu cầu tiêu thụ dầu khí gia tăng nhanh chóng, một số mỏ dầu lớn

đã khai thác lâu năm cần nghiên cứu tìm các phương pháp mới nhằm gia tăng thu hồi dầu sót. Hệ số thu hồi dầu trung bình ở các mỏ bể Cửu Long vào khoảng 18–25% trữ lượng dầu tại chỗ. Như vậy, lượng dầu còn lại chiếm khá nhiều trong vỉa là đối tượng tiềm năng cho các giải pháp nâng cao hệ số thu hồi dầu.

Mặc dù có rất nhiều văn liệu nghiên cứu về thu hồi dầu tăng cường nhưng đến nay những dự án được ứng dụng vào thực tế còn hạn chế. Việc gia tăng thu hồi dầu phụ thuộc rất nhiều vào điều kiện cụ thể đặc tính lý hóa của từng mỏ [6]. Nghiên cứu giải pháp thu hồi dầu tăng cường bằng bơm ép khí CO₂ trong tầng móng granit nứt nẻ tự nhiên của mỏ Sư Tử Đen, kết quả cho thấy, khí CO₂ đi vào thân dầu móng mỏ Sư Tử Đen trong điều kiện áp suất trên MMP là 3950 psi sẽ tạo cơ chế trộn lẫn và lượng dầu thu hồi tăng thêm khoảng 6,2–13,1% OIIP [7].

Đánh giá hiệu quả thu hồi dầu bằng bơm ép khí trên mẫu lõi; sau đó mô hình hóa trên phần mềm mô phỏng khai thác bơm ép WAG cho tầng chứa cát kết Mioxen hạ toàn mỏ Bạch Hồ [8]. Kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm cho thấy, áp suất trộn lẫn tối thiểu (MMP) của khí đồng hành với dầu trong tầng cát kết Mioxen hạ, mỏ Bạch Hồ là 5076 psi, áp suất trộn lẫn tối thiểu có thể giảm xuống bằng cách trộn lẫn khí thấp áp và khí đồng hành với tỉ lệ tương thích. Đồng thời, sử dụng WAG trước khi bơm ép nước có thể thu hồi khoảng 70,5–80,2% lượng dầu trong mẫu lõi, trong lúc bơm ép nước chỉ đạt hiệu quả thu hồi khoảng 55,5–60,5%. Sử dụng WAG tại thời điểm sau bơm ép nước sẽ tận thu thêm được từ 15,9–17,8%.

Mỏ Rạng Đông bắt đầu khai thác sử dụng WAG làm gia tăng lượng thu hồi dầu vào khoảng 7 triệu thùng trong giai đoạn khai thác 2011–2020, tương đương với tổng thu hồi tăng thêm khoảng 2% [9]. Xác định giá trị MMP của khí đồng hành trong phòng thí nghiệm vào khoảng 4800 psi.

Căn cứ theo tiêu chuẩn của Taber [6] về điều kiện vỉa và hiện trạng khai thác tại tầng chứa Miocen dưới mỏ Rồng Đen, bể Cửu Long nhận thấy rằng các phương pháp polymer, hóa chất và chất hoạt động bề mặt đều không phù hợp. Do tầng chứa Miocen dưới mỏ Rồng Đen có nhiệt độ vỉa cao 196°F (91°C), hai phương pháp polymer và chất hoạt động bề mặt bị giới hạn về nhiệt độ, hợp chất polymer và chất hoạt động bề mặt sẽ bị phân rã khi gặp nhiệt độ cao. Mặc khác, phương pháp polymer rất khó áp dụng với đá thành hệ có độ thấm kém, do các hạt polymer khó thâm nhập vào kênh rỗng nhỏ và sẽ chèn lấp những kênh rỗng này làm giảm hiệu quả của phương pháp. Do đó, phương pháp bơm ép khí nước luân phiên với chất hóa lý cũng như áp suất trộn lẫn tối thiểu phù hợp với điều kiện đặc tính vỉa. Phương pháp có thể áp dụng trên vỉa có nhiệt độ cao, độ thấm trung bình.

2. Phương pháp tiếp cận thí nghiệm

Mục đích là xác định độ trương nở của dầu khi bơm ép CO₂ làm cải thiện độ nhớt và làm dầu linh động hơn [10]. Bên cạnh đó, thực hiện thí nghiệm áp suất trộn lẫn tối thiểu nhằm mục đích tìm áp suất nhỏ nhất để hiện tượng trộn lẫn xảy ra để tăng hệ số thu hồi cao nhất [11]. Thí nghiệm WAG kiểm tra sự cải thiện trong thu hồi dầu có thể xác định được tại phòng thí nghiệm. Hệ số thu hồi dầu theo thời gian được thể hiện trên đồ thị để quan sát tốt hơn về xu hướng thu hồi dầu.

2.1. Thí nghiệm xác định áp suất trộn lẫn tối thiểu

2.1.1. Công tác chuẩn bị

Mẫu lõi khoan được lấy tại tầng đá chứa Miocen dưới mỏ Rồng Đen, sau đó được khoan cắt mẫu đúng chuẩn, thì ghép mẫu thành hình trụ dài đại diện cho vỉa được áp dụng bơm ép. Độ rỗng và độ thấm của mẫu lõi X được đo trên thiết bị UltraPore và CMS 300 của Mỹ trong phòng thí nghiệm cơ lý đất đá. Dữ liệu mẫu lõi (Bảng 1) và mẫu chất lưu dầu (Bảng 2) được thu thập phân tích trong phòng thí nghiệm như sau:

Bảng 1. Thông số mẫu lõi X.

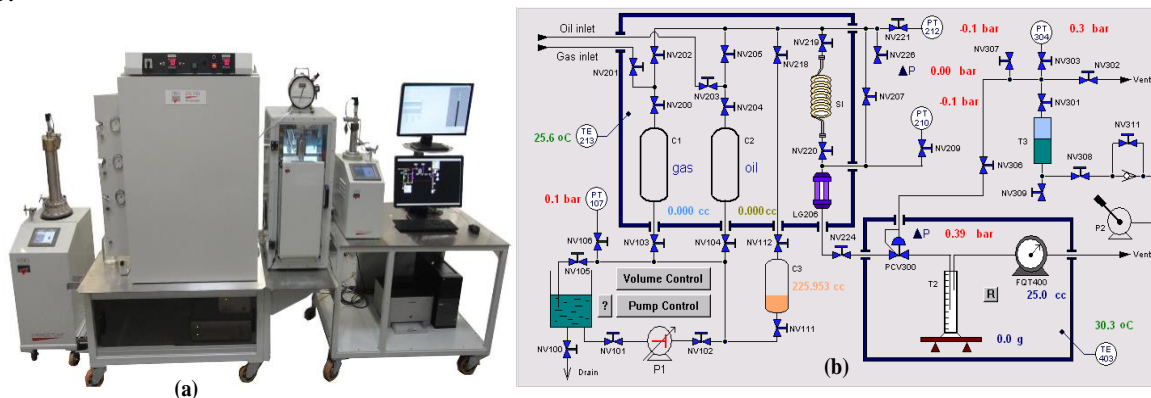
Trọng lượng	188.252 g
Đường kính	1,5 in (38,1 mm)
Chiều dài	3 in (76,2 mm)
Độ thấm	403 mD
Thể tích rỗng	20,85 cc
Độ rỗng	24%

Bảng 2. Đặc tính chất lưu đơn pha tại 91°C.

Áp suất bão hòa (bubble point pressure)	
Tỷ trọng tại áp suất bão hòa	0,7011 g/cm ³
Độ nhớt (cp)	0,833 (cp)

2.1.2. Thiết bị thí nghiệm

Xác định áp suất trộn lẫn tối thiểu có nghĩa là tìm ra một giá trị áp suất trộn lẫn thấp nhất nhưng lại mang lại hiệu suất thu hồi dầu cao. Thí nghiệm được tiến hành trên thiết bị Slim Tube System (STS) phòng Core Lab (Hình 1a). Thiết bị được dùng một cột cát nhồi xoắn ốc dài 12.192 (m), gọi là slimtube. Đây là ống thép không rỉ cứng có đường kính rất nhỏ là 4,6 mm để tránh ảnh hưởng tới hiện tượng phân tỏa dạng ngón. Bên trong chứa cát Ottawa nén áp suất cao, mẫu vật đạt được độ rỗng trung bình 37,48% và độ thấm đạt 9.006 (Darcy). Ống slimtube được thiết kế như trên và bơm ép khí từ trên xuống sẽ đảm bảo cho khí quét hoàn toàn dầu trong ống. Sơ đồ thiết bị đo áp suất trộn lẫn tối thiểu được trình bày chi tiết như hình 1b.



Hình 1. (a) Thiết bị thí nghiệm slimtube xác định MMP; (b) Sơ đồ thiết bị đo áp suất trộn lẫn tối thiểu [8].

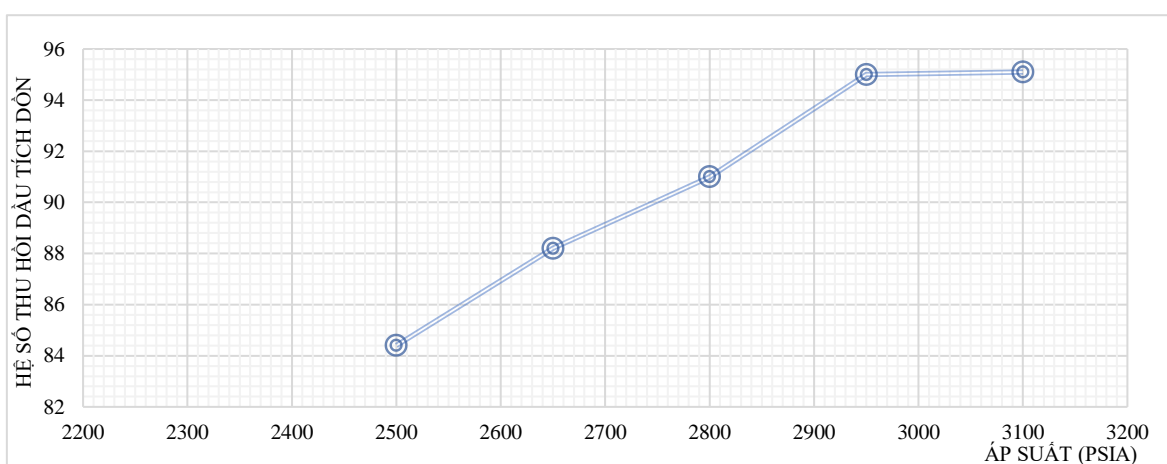
2.1.3. Quy trình thí nghiệm

Mẫu dầu và khí sau khi nạp vào bình chứa khí được lắp đặt trong buồng đốt để gia nhiệt và đưa về điều kiện via bằng cách nâng dần áp suất đầu vào đẩy dầu lên đỉnh cột cát nhồi trong ống slimtube và nâng áp suất đầu ra bằng bơm tay tạo đối áp P2 với điều kiện áp suất đầu vào luôn nhỏ hơn áp suất đầu ra trong quá trình nâng áp. Bình chứa khí được cô lập bởi hệ thống van đỉnh của bình chứa khí trong quá trình bơm đẩy dầu. Nâng mỗi cấp áp suất bơm dầu là 150 psi. Quá trình nâng áp tiến hành đến khi dầu được bơm từ đỉnh cột cát xuống dưới với áp suất 2755 psig và áp suất đầu ra được đặt ở 2900 psig. Dầu được bơm ép liên tục trong nhiều giờ nhằm đảm bảo dầu được bão hòa hoàn toàn và không còn sót không khí trong toàn bộ hệ thống. Thí nghiệm bơm ép khí để tìm áp suất trộn lẫn tối thiểu được tiến hành sau khi các thông số ổn định tại điều kiện nhiệt độ via 91°C và áp suất bão hòa dầu đạt 2097 psig.

Năm thí nghiệm được thực hiện lần lượt tại 5 cấp áp suất bơm ép khác nhau là: 2500 psi, 2650 psi, 2800 psi, 2950 psi và 3100 psi. Sau khi áp suất bơm đẩy dầu ổn định tại mỗi cấp, bình dầu được cô lập bởi hệ thống van đỉnh của bình dầu. Sử dụng bơm Gilson P1 bơm ép khí CO₂ với lưu lượng 6 ml/giờ từ bình khí C1 lên đỉnh cột cát nhồi để đẩy dầu và tìm áp suất trộn lẫn tối thiểu lần lượt tại mỗi cấp áp suất. Khi áp suất bơm ép khí lớn hơn áp suất đầu ra của bộ điều chỉnh áp suất, lượng dầu và khí được thu hồi tại phần cuối của thiết bị tại mỗi

cấp áp suất của thí nghiệm. Chúng ta có thể quan sát quá trình đẩy quét dầu trong ống slimtube tại các cấp áp suất qua cửa sổ chịu áp cao. Tại điểm áp suất trộn lẫn tối thiểu, khí sẽ xuyên thủng qua dầu và có thể quan sát được bởi sự thay đổi màu sắc của dầu.

Theo kết quả thí nghiệm như hình 2 cho thấy, đường xanh thể hiện hệ số thu hồi tích dồn tăng dần đều đến một giá trị nào đó rồi xảy ra hiện tượng tăng chậm hơn so với ban đầu. Có thể nhận định rằng, ban đầu độ bão hòa dầu trong ống slimtube cao, thì khí bơm ép có thể dễ dàng đẩy dầu dịch chuyển khỏi lỗ rỗng. Tuy nhiên khi dầu đạt đến gần giới hạn độ bão hòa dầu sót, thì do lực ma sát, lực mao dẫn, hay tính dính ướt trong lỗ rỗng làm cho dầu khó dịch chuyển hơn, và tăng chậm hơn. Khi khí được bơm vào ống slimtube với áp suất cao tạo ra một đới, gọi là đới trộn lẫn, đới này gồm thành phần khí và dầu, có chức năng ổn định đới phía trước chuyên dịch (đới dầu), khí đẩy đới trộn lẫn và đới trộn lẫn đẩy đới dầu như cơ chế pit-tông. Cho đến khi lượng khí được bơm ép vượt quá 0,85–1 PV thì xuất hiện hiện tượng lưỡi khí xuyên qua đới trộn lẫn, và vượt qua cả đới dầu, chảy ra ngoài. Nguyên nhân là do độ linh động của khí CO₂ rất cao, và dưới áp lực mạnh nên dễ dàng tạo lưỡi khí hình dạng tỏa ngón nên sản phẩm thu hồi đầu ra có lẫn khí.



Hình 2. Hệ số thu hồi dầu cộng dồn cho trường hợp bơm ép 1,2 PV (%) với áp suất (psia).

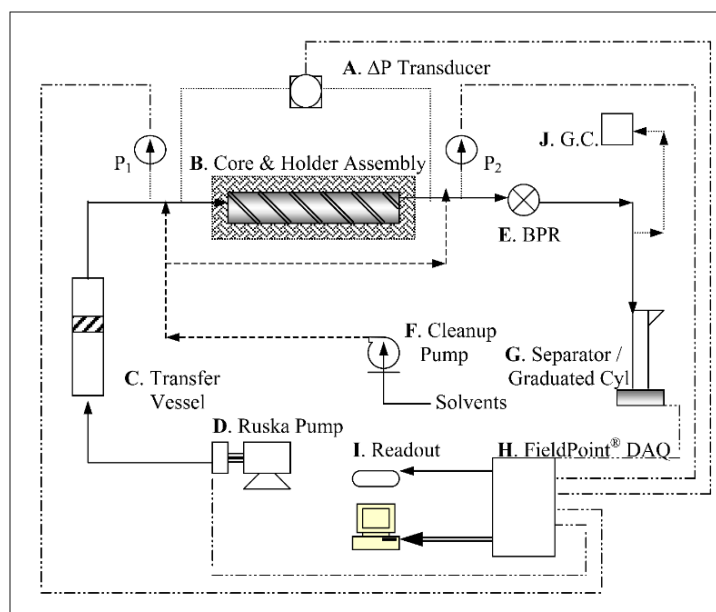
Từ kết quả thí nghiệm, với 5 cấp áp suất 2500, 2650, 2800, 2950, 3100 psia tại thể tích bơm ép là 1.2 PV đạt hệ số thu hồi cao hơn 1 PV. Tại thể tích bơm ép là 1.2 PV tương ứng với từng hệ số thu hồi tích dồn, vẽ được đồ thị với trục tung là hệ số thu hồi tích dồn (%) và trục hoành là áp suất (psig). Từ đồ thị suy ra, áp suất trộn lẫn tối thiểu (MMP) vào khoảng 2950 psig.

2.2. Thí nghiệm bơm ép khí nước luân phiên

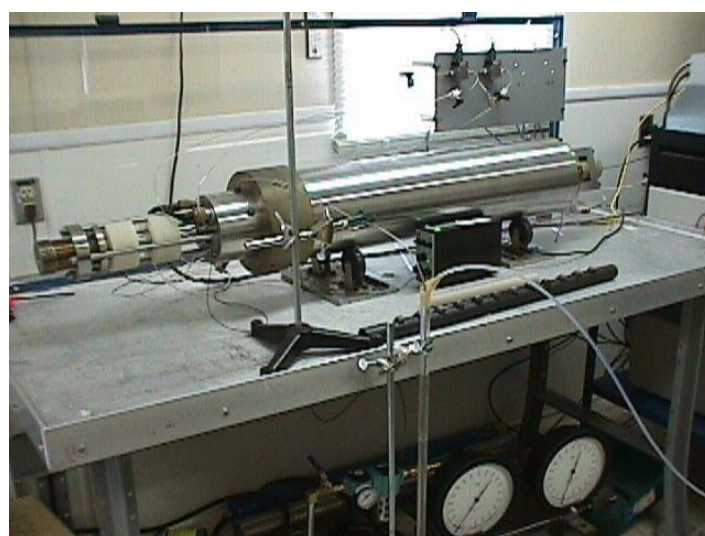
Khảo sát đánh giá hiệu quả bơm ép nước khí luân phiên được thực hiện trên thiết bị Steady state and Unsteady state Relative Permeameter (RPS). Hệ thống điều khiển tự động các thông số về áp suất, lưu lượng bơm ép, nhiệt độ, độ chênh áp, lượng khí, dầu và nước thu được trong quá trình bơm ép đều được tự động ghi lại theo thời gian.

Thiết bị bơm ép ngập lõi với áp suất cao được lắp đặt để tiến hành thí nghiệm bơm ép tại trạng thái không ổn định. Sơ đồ thiết bị bơm ép được trình bày trong Hình 3. Hệ thống thiết bị bao gồm một máy bơm áp suất cao Ruska để bơm ép nước sạch/dầu/khí với lưu lượng và áp suất mong muốn vào phần dưới của cửa của pit-tông chuyên dung dịch bơm ép. Pit-tông chuyên dung dịch được đổ đầy bởi chất lưu để bơm ép vào lõi. Ống thép chịu áp suất cao (đường kính trong 1/8 in) dẫn chất lưu bơm ép vào lõi với sự trợ giúp của van 3 chiều phân phối chất lưu. Sản phẩm lưu chất được thu hồi từ thiết bị đối áp, chất lưu được dẫn vào xy lanh/cân điện tử để đo lường, và được ghi nhận lại theo thời gian. Những đường ống song song được lắp đặt để tạo thuận lợi cho việc lưu thông chất lưu làm sạch lõi bằng máy bơm ly tâm. Áp suất đầu vào, áp suất đầu ra và chênh lệch áp suất được đo đạc bằng bộ đo chênh áp

điện tử được gắn trên thiết bị bơm ép ngập mẫu trước khi hiệu chỉnh lại thiết bị thí nghiệm đo trọng lượng tiêu chuẩn (Hình 4).



Hình 3. Sơ đồ hệ thống bơm ép ngập mẫu [12].



Hình 4. Giá đỡ mẫu lõi 1.

2.2.1. Quy trình thí nghiệm

Thí nghiệm bơm ép khí nước luân phiên được tiến hành theo những bước sau:

1. Bão hòa mẫu lõi với nước biển, xác định thể tích rỗng và độ thấm tuyệt đối.
2. Bơm ép dầu đến khi đạt độ bão hòa nước dư, xác định độ thấm điểm cuối của dầu.
3. Bơm ép ngập nước đến khi đạt độ bão hòa dầu sót, xác định độ thấm điểm cuối của nước.
4. Tiến hành bơm ép khí tam cấp

Quá trình dịch chuyển khí ở trạng thái chuyển tiếp bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi của độ nhớt, sự gián đoạn tại đầu vào và quan trọng hơn là tại đầu ra của lõi, được gọi là hiệu ứng kết thúc. Hiệu ứng kết thúc có thể được giảm thiểu bằng cách sử dụng mẫu lõi dài và thể tích rỗng lớn. Các tiêu chuẩn tỷ lệ của Leas và Rappaport đã loại bỏ sự phụ thuộc của tốc độ bơm ép và độ dài mẫu lõi đến hệ số thu hồi dầu [13].

2.2.2. Bơm ép khí CO₂ tam cấp

Bơm ép khí CO₂ luân phiên với nước: Mẫu được bơm ép CO₂ và luân phiên với nước sau khi bơm ép ngập mẫu với nước biển.

Thông thường, quy trình bơm ép ngập mẫu được thực hiện tại tốc độ dòng chảy tương đối thấp để đảm bảo làm ngập ổn định. Với lưu lượng 16,2 cc/giờ để đáp ứng các tiêu chuẩn của Leas và Rappaport [13]. Đây là bước lâu nhất trong toàn bộ thí nghiệm, nó cần được tính toán kỹ lưỡng và theo dõi cẩn thận.

Kích cỡ nút được sử dụng là 5% (5%/nút khí, 8 nút khí: 40%) PV.

Cần duy trì được áp suất trong xy lanh khí và nước biển để tránh trạng thái mất ổn định và hiện tượng vỡ nước sớm trong suốt quá trình làm ngập mẫu. Bể chứa chuyển đổi dầu và nước biển được nối với máy bơm và để đạt trạng thái cân bằng ít nhất 24h. Quá trình kiểm soát áp suất trong mẫu lõi được bơm ép thông qua thiết bị áp suất đầu vào (P1) và đối áp đầu ra (P2). Đối áp (P2) được đặt tối thiểu ở 2950 psig để đảm bảo quá trình trộn lẫn được diễn ra.

Sau khi áp suất đạt cân bằng ở cả hai xy lanh khí và nước biển, 5% PV thể tích khí được bơm vào lõi. Sau đó, thể tích nước biển tương tự cũng được bơm ép vào lõi. Cứ sau 1 khoảng thời gian vừa đủ bơm ép hết 5% IHCPV thì van 3 chiều được quay từ vị trí bơm ép khí sang bơm ép nước. Tương tự, với bơm ép nước, sau khi bơm ép đủ 5% IHCPV với cùng thời gian bơm ép khí, van 3 chiều lại được quay lại chuyển ngay về bơm ép khí.

Quy trình này được lặp đi lặp lại cho đến hết lượng khí cần bơm ép (0.4 IHCPV) thì tiếp tục bơm ép nước cho đến khi toàn bộ thể tích bơm ép đạt 1.5 IHCPV thì dừng lại.

Thể tích nước biển, dầu và khí thu hồi được xác định bằng thiết bị đọc dữ liệu tách chiết (*The Separator Readout*) và máy đo lượng khí (gasometer: sử dụng cho bơm ép khí không thể trộn lẫn) hoặc máy đo lượng khí ẩm (wet gas meter: sử dụng cho bơm ép khí có thể trộn lẫn). Toàn bộ thể tích, khối lượng chất lưu, thể tích khí được ghi nhận theo thời gian. Dựa vào tỷ trọng dầu, tỷ trọng nước, hệ số thể tích của dầu, và tỷ số khí dầu, để tính toán lượng dầu, khí và nước thu hồi được theo thời gian [12]. Dữ liệu được ghi nhận và lập theo bảng 3 bên dưới.

Bảng 3. Thiết kế bơm ép khí nước luân phiên.

Kích cỡ một nút khí	0.05 IHCPV (Thể tích dầu ban đầu).
Tỷ số WAG	1:1 (1 thể tích khí bơm : 1 thể tích nước)
Tổng lượng khí bơm ép	0,4 IHCPV
Tổng số nút khí	8
Tổng số nút nước	8
Tốc độ bơm ép	16,2 cc/giờ
Áp suất duy trì trong mẫu tối thiểu	2950 psig

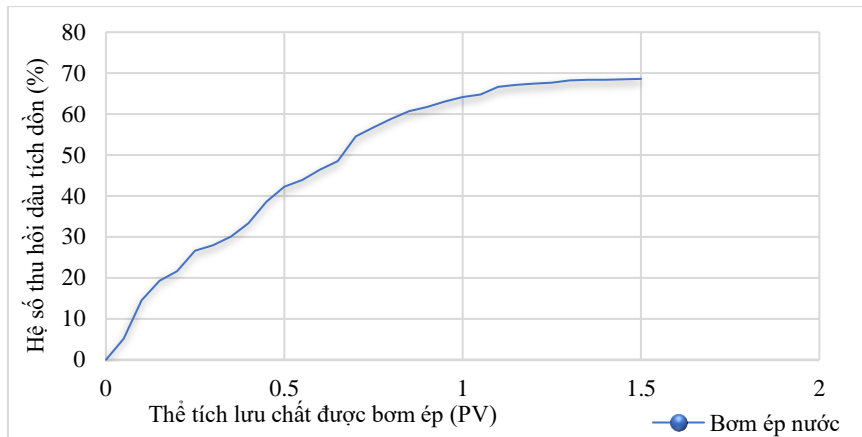
3. Kết quả và thảo luận

Sản lượng thu hồi dầu tăng cường theo 3 kịch bản được tóm tắt trong Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả thu hồi dầu dựa trên các kịch bản.

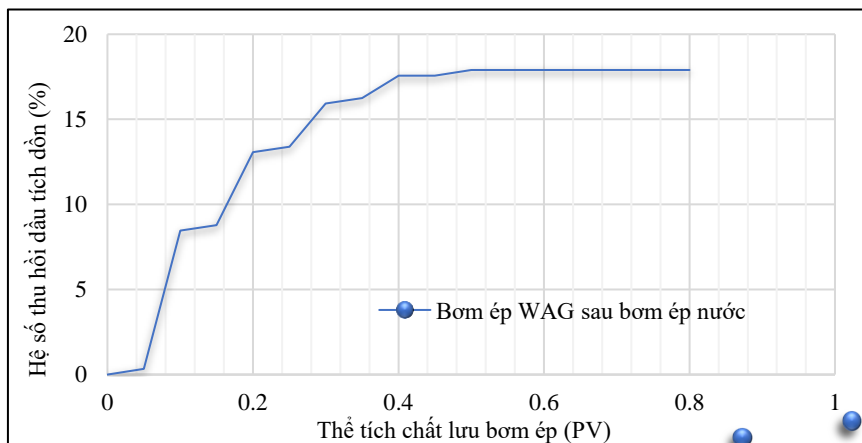
Thời điểm bơm ép	Tổng thể tích bơm (PV)	Lượng dầu thu hồi (%)
Bơm ép WAG trước bơm ép nước	1,5	88,6
Bơm ép nước	1,5	68,6
Bơm ép WAG sau bơm ép nước	1,5	17,9

Kết quả 3 thí nghiệm gồm bơm ép nước, bơm ép WAG sau khi bơm ép nước và bơm ép WAG trước bơm ép nước được biểu diễn bằng đồ thị giữa hệ số thu hồi tích dồn (%) và thể tích chất lưu được bơm ép (PV) (Hình 5).

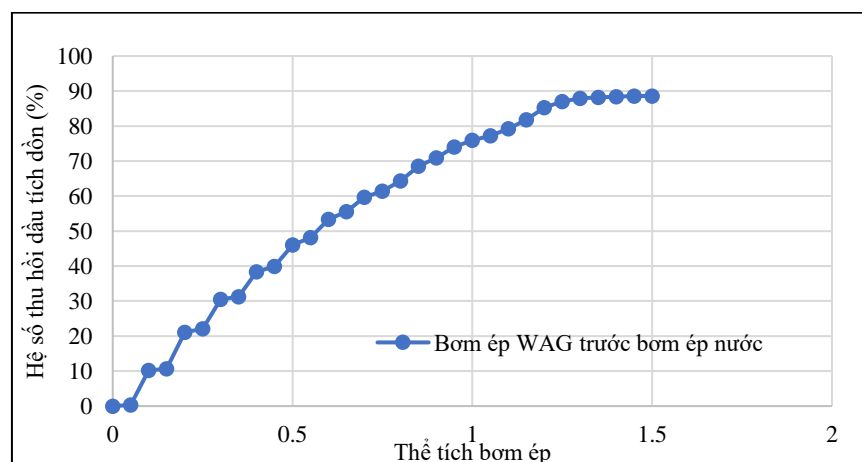


Hình 5. Đồ thị biểu diễn hệ số thu hồi tích dồn với thể tích lưu chất được bơm ép.

Từ kết quả thí nghiệm bơm ép nước hình 5 cho thấy, quá trình bơm ép nước được thực hiện liên tục đến khi hết 1,5 PV nước. Tuy nhiên, thể tích nước được bơm từ 0 PV đến 0,7 PV thì đạt tổng lượng dầu thu hồi nhiều nhất (chiếm 54,56%). Điều này được giải thích rằng, ban đầu mẫu lõi được bão hòa dầu ($S_o > S_w$ nên $K_{ro} > K_{rw}$) nên nước bơm ép dễ dàng đẩy dầu ra khỏi lỗ rỗng. Đến khi, thể tích nước bơm ép tăng dần từ 0,7 PV đến 1,5 PV thì tổng lượng dầu thu hồi sụt giảm lại (còn 14,04%). Vì độ bão hòa nước ngày càng tăng cao ($S_w > S_o$), dầu trở nên khó dịch chuyển hơn ($K_{rw} > K_{ro}$). Mặc khác, độ linh động của nước cao hơn dầu nên nước dễ dàng vượt lên trước đối dầu và chặn dầu lại trong lỗ rỗng, được gọi là hiện tượng lũ nước.

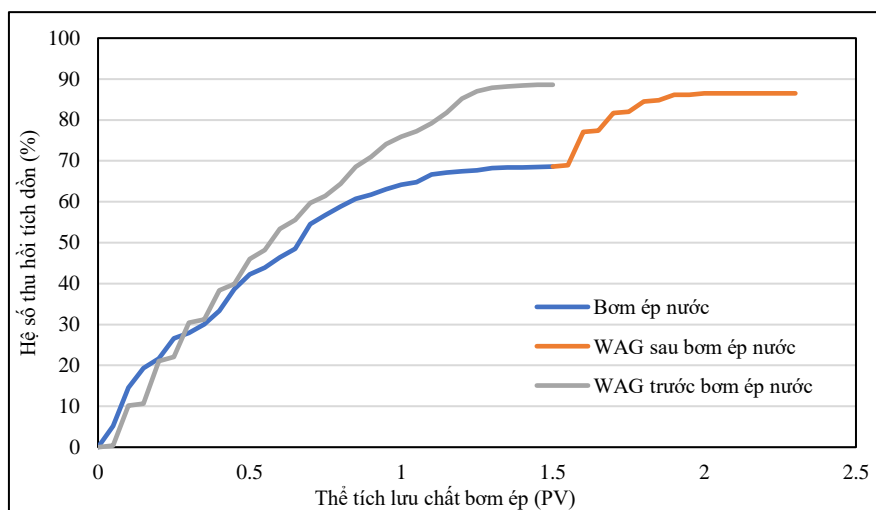


Hình 6. Hệ số thu hồi tích dồn và thể tích chất lưu bơm ép trong bơm ép WAG sau bơm ép nước.



Hình 7. Hệ số thu hồi tích dồn và thể tích chất lưu bơm ép trong bơm ép WAG trước bơm ép nước.

Kết quả hình 6 và 7 cho thấy, lượng dầu thu hồi khi bơm ép khí ít hơn lượng dầu thu hồi được khi bơm ép nước. Hiện tượng này xảy ra là do bơm ép hai chất có độ nén rất khác biệt nhau, khí có độ nén khí rất cao trong khi nước có độ nén thấp hơn. Thêm vào đó, khí CO₂ bơm ép với áp suất cao thì hòa tan ngay vào dầu. Do vậy lượng dầu thu được khi bơm ép khí ít hơn.



Hình 8. Đồ thị biểu diễn hệ số thu hồi tích dồn theo thể tích bơm ép.

Từ kết quả thí nghiệm bơm ép cho thấy, hiệu suất thu hồi dầu của bơm ép WAG rất cao (Hình 8). Thời điểm sử dụng WAG trước khi bơm ép nước, hệ số thu hồi dầu đạt 88,6% lớn hơn tổng hệ số thu hồi trong lúc bơm ép nước (68,6%) và hệ số thu hồi bơm ép WAG sau bơm ép nước (86,5%) là 2,1%. Điều này cho thấy, khí CO₂ được bơm ép vào mẫu lõi sẽ dễ dàng bị hòa tan và làm dầu trương nở tốt hơn tại thời điểm trước khi bơm ép ngập nước thứ cấp. Khí CO₂ được tiếp xúc trực tiếp với đới dầu tạo thành đới trộn lẫn, với độ nhớt được giảm xuống dẫn đến độ linh động của đới dầu-CO₂ tăng lên đáng kể. Cơ chế này làm cải thiện hiệu suất đẩy, dầu được thu hồi nhiều hơn. Ngược lại khi bơm ép WAG sau giai đoạn bơm ép nước, để tương tác với đới dầu, khí CO₂ phải di chuyển xuyên qua pha nước và bị mất một phần áp năng. Do đó trong trường hợp này, khí CO₂ gặp khó khăn để làm dầu trương nở, dẫn đến giảm hiệu suất đẩy. Điều này dễ dàng được nhận thấy, qua kết quả thí nghiệm trên.

Quan sát hai đường hệ số thu hồi của bơm ép nước và bơm ép WAG trước bơm ép nước từ đoạn thể tích bơm ép 0 PV đến 0,27 PV như hình 9, cho thấy hệ số thu hồi tích dồn của bơm ép nước cao hơn hẳn so với bơm ép WAG trước bơm ép nước. Điều này được giải thích là do giai đoạn mới bắt đầu bơm ép nước thì hệ số quét của nước cao nên lượng dầu thu hồi nhiều. Ngược lại, bơm ép WAG trước bơm ép nước với thể tích 0,27 PV thì có ba nút khí được bơm ép, vì khí CO₂ được bơm ép với áp suất cao nên sẽ trộn lẫn và làm dầu trương nở nên lượng dầu thu hồi được là rất ít. Do đó, hệ số thu hồi dầu của bơm ép WAG kém hơn của bơm ép nước trong giai đoạn này. Tuy nhiên, từ giai đoạn 0,27 PV lên 1,5 PV, hệ số thu hồi của phương pháp WAG trước bơm ép nước (đạt ngưỡng 88,6%) cao hơn hẳn so với hệ số thu hồi của bơm ép nước (đạt 68,6%) là 20%. Điều này được giải thích là do dầu được khí CO₂ trộn lẫn vào làm giảm độ nhớt đáng kể, nên nút nước theo sau nút khí cho khả năng quét dầu triệt để hơn.

Trong vòng đời khai thác của một mỏ, phương pháp bơm ép WAG cần được thực hiện ngay từ lúc đầu để trong thời gian ngắn nhất (thời gian bơm ép hết 1,5 PV chất lưu) đạt hệ số thu hồi tối ưu nhất (88,6%). Trong khi đó, vòng đời mỏ sử dụng cả bơm ép nước thứ cấp và bơm ép WAG tam cấp cần tốn nhiều thời gian bơm ép (thời gian để bơm ép hết 2,3 PV chất lưu) hơn nhưng chỉ đạt được hệ số thu hồi là 86,5%. Do đó, sử dụng WAG ngay từ lúc đầu thì đạt được lợi ích trong cả kỹ thuật lẫn kinh tế.

4. Kết luận

Thí nghiệm bơm ép bằng phương pháp WAG cho kết quả rất đáng chú ý: hệ số thu hồi dầu bằng bơm ép WAG trước khi bơm ép nước thứ cấp là 88,6%, trong khi đó lượng thu hồi dầu của bơm ép nước chỉ đạt 68,6%, bơm ép WAG sau bơm ép nước đạt thêm 17,9%. Điều này cho thấy hệ số thu hồi dầu của WAG trước bơm ép nước lớn hơn tổng hệ số thu hồi của bơm ép nước và bơm ép WAG sau bơm ép nước là 2,1%, cho thấy việc áp dụng giải pháp bơm ép WAG trước khi bơm ép nước đạt hiệu quả hơn khi bơm ép nước thứ cấp và WAG tam cấp sau đó.

Lợi ích vượt trội nhất giữa việc bơm ép WAG trước khi bơm ép nước so với sau khi bơm ép nước, chính là thời gian cần thiết ngắn hơn để tận thu lượng dầu, khi xem xét đến yếu tố hiệu quả kinh tế của dòng tiền và thời gian hoàn vốn của dự án. Vì vậy, phương pháp WAG phải được thực hiện ngay sau giai đoạn khai thác sơ cấp để đạt hiệu quả nhất trong cả kỹ thuật lẫn kinh tế.

Các kết quả thu hồi dầu được thực hiện trong điều kiện nhiệt độ môi trường trong phòng thí nghiệm nên chưa đủ cơ sở để kết luận là có hiệu quả với quy mô toàn mỏ. Nhưng hệ số thu hồi dầu của phương pháp WAG với khí CO₂ cho thấy rất khả quan để nghiên cứu sâu hơn và tiến hành mô phỏng trên quy mô mỏ với các thông số thí nghiệm đã đề cập.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại Học Bách Khoa, ĐHQG–HCM trong khuôn khổ đề tài mã số To–ĐCDK 2021–09.

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. Sanchez, N.L. Management of Water Alternating Gas (WAG) Injection Projects. *All Days* 1999. Doi: 10.2118/53714-MS.
2. Christensen, J.R.; Stenby, E.H.; Skauge, A. Review of WAG Field Experience. *SPE Reserv. Eval. Eng.* **2001**, *4*(2), 97–106. Doi: 10.2118/71203-PA.
3. Caudle, B.H.; Dyes, A.B. Improving Miscible Displacement by Gas-Water Injection. *Trans. AIME* **1958**, *213*(1), 281–283. doi: 10.2118/911-G.
4. Zhang, P.; Brodie, J.; Daae, V.; Erbas, D.; Duncan, E. BP North Sea Miscible Gas Injection Projects Review. *All Days* 2013. doi: 10.2118/166597-MS.
5. Hien, D.H.; Giao, P.H.; Ngoc, P.Q.; Qu, N.M.; Dung, B.V.; Huy, D.D.; Giang, P.T.; Long, H. Numerical Simulation of Low Salinity Water Flooding on Core Samples for an Oil Reservoir in the Nam Con Son Basin, Vietnam. *Energies* **2021**, *14*(9), 2658. doi: 10.3390/en14092658.
6. Taber, J.J. Technical Screening Guides for the Enhanced Recovery of Oil. *All Days* 1983. Doi: 10.2118/12069-MS.
7. An, N.H. Nghiên cứu ứng dụng giải pháp thu hồi dầu tam cấp bằng bơm ép CO₂ cho tầng móng nứt nẻ mỏ Sư Tử Đen. Trường Đại Học Mở – Địa Chất, **2012**. Available online: <http://luanan.nlv.gov.vn/luanan?a=d&d=TTcFIgYIrjAW2012.1.1&e=-vi-20-1-txt-txIN%7CtxME-#>.
8. Thắng, P.Đ.; Vinh, N.T. và cs. Nghiên cứu giải pháp gia tăng thu hồi dầu bằng bơm ép khí nước luân phiên (WAG) cho tầng mioxen hạ, mỏ Bạch Hổ. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ–Địa chất* **2013**, *42*, 14–21.
9. Ha, G.T. et al. Design & implementation of CO₂ Huff–n–Puff operation in a Vietnam offshore field. *Soc. Pet. Eng. Abu Dhabi Int. Pet. Exhib. Conf. ADIPEC* 2012 –

Sustain. Energy Growth People, Responsib. Innov. **2012**, 4, 2754–2761. doi: 10.2118/161835-ms.

10. Rahimi, V.; Bidarigh, M.; Bahrami, P. Experimental Study and Performance Investigation of Miscible Water–Alternating–CO₂ Flooding for Enhancing Oil Recovery in the Sarvak Formation. *Oil Gas Sci. Technol. Rev. d'IFP Energies Nouv.* **2017**, 72(6), 35. Doi: 10.2516/ogst/2017030.
11. Amao, A.M.; Siddiqui, S.; Menouar, H.; Herd, B.L. A new look at the minimum miscibility pressure (MMP) determination from slimtube measurements. *Proc. SPE Symp. Improv. Oil Recover.* **2012**, 1, 324–336. Doi: 10.2118/153383-ms.
12. Kulkarni, M.M.; Rao, D.N. Experimental investigation of miscible and immiscible Water–Alternating–Gas (WAG) process performance. *J. Pet. Sci. Eng.* **2005**, 48(1–2), 1–20. Doi: 10.1016/j.petrol.2005.05.001.
13. Rapoport, L.A.; Leas, W.J. Properties of Linear Waterfloods. *J. Pet. Technol.* **1953**, 5(05), 139–148. Doi: 10.2118/213-g.

An Experimental Investigation of CO₂ WAG Coreflood in Miocene reservoir of Rong Den field, Cuu Long basin

Nguyen Gia Thong¹, Pham Huu Tai^{1,2}, Cu Minh Hoang³, To Viet Nam¹, Le Quoc Nam¹, Tran Thi Mai Huong¹, Nguyen Xuan Huy^{1*}

¹ Faculty of Geology and Petroleum Engineering, Ho Chi Minh University of Technology (HCMUT), VNU-HCM; thong.nguyen2711@hcmut.edu.vn; tovietnam@hcmut.edu.vn; ttmaihuong@hcmut.edu.vn

² Petrovietnam University, 762 Cach Mang Thang Tam Street, Long Toan Ward, Ba Ria City, Ba Ria – Vung Tau Province 790000, Viet Nam; taiph@pvu.edu.vn

³ Petrovietnam Exploration and Production, Ha Noi, Viet Nam; hoangcm@pvep.com.vn

Abstract: In the process of oil field exploitation, the amount of residual oil after primary and secondary production is very large, especially in Rong Den field in Cuu Long basin. A significant portion of these residual oil can be recovered economically by water alternating gas injection (WAG). The WAG injection method has been studied in the experimental investigation laboratory with a minimum miscible pressure of about 2950 psi. The core sample injection test by WAG method shown very remarkable results, the oil recovery coefficient of the WAG injection before waterflood was 88.6%. The oil recovery by waterflooding reached only 68.6%, then using WAG injection, oil production recovered about 17.9%. The results that the oil recovery coefficient of WAG before waterflood injection is 2.1% larger than after water injection. Thus, the application of WAG injection before water injection is the best case.

Keywords: Water Alternating Gas; Minimum Miscible Pressure; Oil recovery; Carbon dioxide; Cuu Long basin.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu ứng dụng mô hình TRIGRS mô phỏng trượt lở khu vực Lào Cai, Việt Nam

Nguyễn Văn Nhật^{1*}, Đoàn Quang Trí¹, Quách Thị Thanh Tuyết¹, Trần Duy Hiền²

¹ Tạp chí Khí tượng Thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; vannhat.tv@gmail.com; doanquangtrikttv@gmail.com; tuyetkttv@gmail.com

² Vụ Khoa học và Công nghệ, Bộ Tài nguyên và Môi trường; tranhienvkttv@gmail.com; tdhien@monre.gov.vn

*Tác giả liên hệ: vannhat.tv@gmail.com; Tel.: +84–332321101

Ban Biên tập nhận bài: 15/8/2022; Ngày phản biện xong: 22/10/2022; Ngày đăng bài: 25/10/2022

Tóm tắt: Ảnh hưởng của mưa lớn và cấu trúc địa chất thay đổi là nguy cơ cao xảy ra trượt lở ở khu vực miền núi phía bắc Việt Nam trong đó Lào Cai là một trong những tỉnh chịu ảnh hưởng nặng nề và thường xuyên nhất. Nghiên cứu ứng dụng mô hình TRIGRS (*Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Model*) nhằm mô phỏng lượng thấm do mưa dựa trên độ dốc và tính ổn định địa hình của khu vực nghiên cứu. Mô hình được áp dụng để mô phỏng trượt lở đất sử dụng tài liệu địa chất–địa hình, số liệu khí tượng thủy văn và các đặc tính cơ học của khu vực nghiên cứu. Các phương trình được thiết lập để tính toán biến đổi độ sâu cột nước và tính ổn định của mái dốc. Kết quả nghiên cứu với trận mưa lớn đầu tháng 9 năm 2013 cho thấy, khi mưa lớn bắt đầu xảy ra, lượng thấm tăng dần kéo theo đó là độ ổn định mái dốc giảm, hệ số ổn định giảm dần và sau khoảng 24 giờ thì hiện tượng trượt lở đất đã diễn ra tại vị trí có FoS thấp nhất và mở rộng ra các vùng lân cận.

Từ khóa: Mô hình TRIGRS; Lào Cai; Trượt lở.

1. Giới thiệu

Trượt lở đất nguyên nhân do mưa là tai biến địa chất phổ biến trên thế giới có thể gây ra thiệt hại về người và tài sản. Hiện nay có hai cách tiếp cận chính để dự báo mưa gây ra trượt lở đất: (1) Sử dụng mô hình thống kê để xây dựng mối quan hệ giữa cường độ mưa–thời gian mưa với sự xuất hiện trượt lở đất [1–5]; (2) Thiết lập các mô hình vật lý về sự không ổn định của mái dốc dưới tác động của mưa [6–8]. Mô hình TRIGRS hiện nay đã và đang được sử dụng nhiều nơi trên thế giới [9–15], mô hình TRIGRS đã xem xét đến lượng thấm do mưa và mực nước ngầm thay đổi theo độ ổn định của mái dốc. Mô hình kết hợp mô phỏng lượng thấm do mưa và phương pháp cân bằng giới hạn, có thể dùng để tính toán mức độ không ổn định của mái dốc trong các điều kiện mưa khác nhau [16]. Nghiên cứu ứng dụng TRIGRS để xác định lở đất do mưa gây ra ở Banjarnegara, Trung tâm Java, Indonesia [16] để tính toán áp suất độ rỗng và hệ số an toàn FoS (*Factor of Safety*) suốt quá trình thấm do mưa. Giá trị FoS thấp nhất ở điều kiện ban đầu trước khi có thấm do mưa là 1–1,2 và phân bố gần khu vực có độ dốc lớn gần Jemblug. Kết quả mô phỏng cho thấy khu vực có độ dốc lớn với góc nghiêng lớn hơn 30° dễ bị trượt lở do mưa với FoS < 1,2 trong khi một số vị trí có độ dốc lớn có khả năng không bị ảnh hưởng nhiều với FoS > 1,2. Nghiên cứu này đưa ra kết luận rằng TRIGRS có thể dự đoán vị trí trượt lở đất do mưa. [17] nghiên cứu mô phỏng trượt lở đất do

mưa lớn dãy Himalaya, Ấn Độ, sử dụng mô hình TRIGRS, kết quả đánh giá mô phỏng từ mô hình với thực tế đạt gần 80%. Tuy nhiên, việc có thêm bộ dữ liệu như lượng mưa hàng giờ, thời gian chính xác của sự kiện trượt đất đã xảy ra trong thực tế sẽ nâng cao độ chính xác của kết quả nghiên cứu. Các kết quả từ nghiên cứu này có thể được nhân rộng và sử dụng ở các khu vực có địa chất không ổn định khác trên dãy Himalaya của Ấn Độ để thiết lập một hệ thống cảnh báo sớm trượt lở đất do mưa. Có thể nhận thấy kết quả đánh giá việc ứng dụng mô hình TRIGRS để cảnh báo sớm trượt lở do mưa lớn ở nhiều khu vực trên thế giới cho kết quả tương đối khả quan.

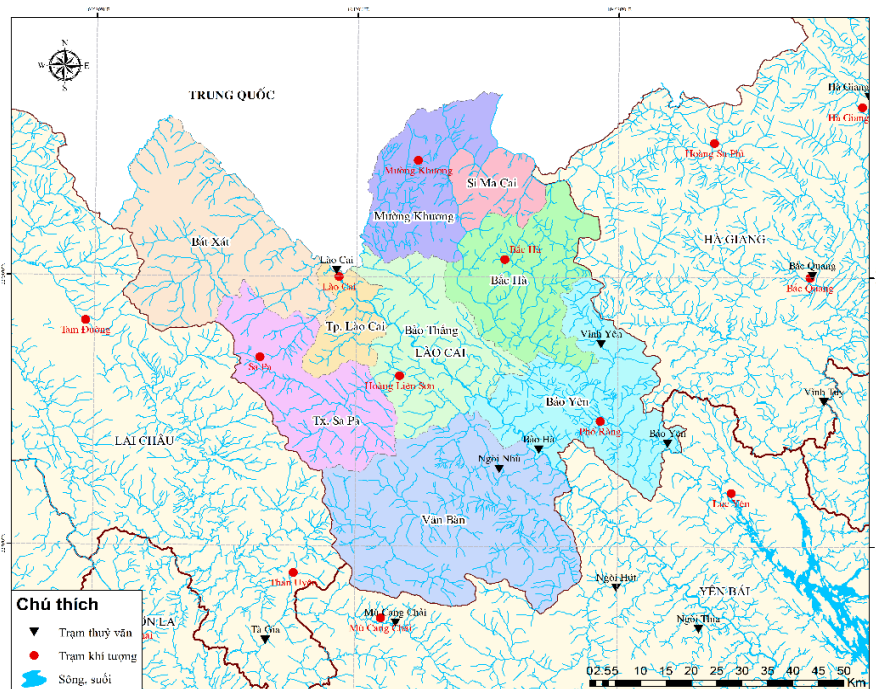
Hiện nay, vấn đề trượt lở đất do mưa lớn đã và đang nghiên cứu tại Việt Nam, thống kê đến năm 2020 thì nghiên cứu về trượt lở đất tập trung chủ yếu ở khu vực các tỉnh miền núi phía Bắc (Điện Biên, Hà Giang, Hòa Bình, Lai Châu, Lạng Sơn, Lào Cai, Sơn La, Yên Bái) và một số tỉnh ở khu vực miền Trung–Tây Nguyên (Bình Định, Đà Nẵng, Lâm Đồng, Quảng Nam, Quảng Ngãi, Quảng Trị, Thừa Thiên Huế). Trong đó, khu vực các tỉnh miền núi phía Bắc có nhiều công trình nghiên cứu hơn (chiếm 67%) so với các tỉnh miền Trung - Tây Nguyên (chiếm 33%) [18]. Cũng theo bài báo này thì có tất cả 67 mô hình đánh giá nguy cơ sạt lở, trượt lở đất đã được sử dụng ở 41 công trình nghiên cứu, trong đó có một số khu vực ứng dụng mô hình TRIGRS như Ba Vì, lưu vực sông Cầu... tuy nhiên chưa có nghiên cứu ứng dụng mô hình TRIGRS để mô phỏng trượt lở đất đá do mưa lớn ở tỉnh Lào Cai thuộc khu vực miền núi phía Bắc Việt Nam.

Lào Cai là một trong các tỉnh thuộc vùng miền núi Tây Bắc, tỉnh Lào Cai có độ dốc địa hình thay đổi khá lớn theo phân bố diện tích. Lào Cai là một trong những tỉnh thường xảy ra hiện tượng trượt lở đất đá, đặc biệt năm 2013 đã xảy ra trượt lở đất đá gây hậu quả nặng nề tại xã Thảm Dương, huyện Văn Bàn, xã Thanh Kim, huyện Sa Pa.... Thống kê đến năm 2013 cho thấy số điểm trượt lở đất đá ở Lào Cai là hơn 500 điểm. Do đó vấn đề trượt lở tại Lào Cai là vấn đề cần đặc biệt quan tâm, nghiên cứu. Mục đích nghiên cứu nhằm ứng dụng mô hình TRIGRS mô phỏng trượt lở đất đá do mưa áp dụng thí điểm cụ thể cho tỉnh Lào Cai.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Tổng quan khu vực nghiên cứu

Lào Cai là một trong các tỉnh thuộc vùng miền núi Tây Bắc, có diện tích tự nhiên là 6.357 km², được giới hạn bởi tọa độ địa lý từ 21°48' đến 22°50' vĩ độ Bắc và từ 102°32' đến 104°38' kinh độ Đông. Tỉnh Lào Cai có 10 đơn vị hành chính cấp huyện, bao gồm: Thành phố Lào Cai, Thị xã Cam Đường, và các huyện Bắc Hà, Bảo Thắng, Bảo Yên, Bát Xát,



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu và hệ thống mạng lưới trạm KTTV tỉnh Lào Cai.

Mường Khương, Sa Pa, Si Ma Cai, và Văn Bàn (Hình 1). Hệ thống giao thông gồm 4 quốc lộ và 4 tỉnh lộ. Cấu trúc địa chất của khu vực tỉnh Lào Cai bao gồm các đá có tuổi từ Proterozoi đến Đệ tứ, phân bố trong 37 phân vị địa chất. Khu vực tỉnh Lào Cai nằm trong phạm vi của 4 đới cấu trúc lớn là đới cấu trúc Sông Chảy, đới cấu trúc Sông Hồng, đới cấu trúc Phan Xi Păng và đới Tú Lệ.

2.2. Thu thập số liệu nghiên cứu

a) Số liệu khí tượng thủy văn

Số liệu mưa, số liệu bốc hơi tại trạm khí tượng: Lào Cai, Sa Pa, Hoàng Liên Sơn, Mường Khương, Bắc Hà, Phố Ràng từ 01/08/2013 đến 30/09/2013.

b) Hiện trạng trượt lở đất đá

Theo kết quả điều tra, khảo sát và thành lập bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá tỷ lệ 1:50.000 khu vực miền núi tỉnh Lào Cai (2014) [19] trên cơ sở công tác khảo sát thực địa đã thống kê được 534 vị trí đã xảy ra trượt lở đất đá được thống kê trong Bảng 1.

Bảng 1. Thống kê số lượng các điểm trượt lở đất đá trên địa bàn tỉnh Lào Cai.

STT	Huyện	Số điểm trượt lở đất đá
1	Bắc Hà	85
2	Bảo Thắng	34
3	Bảo Yên	55
4	Bát Xát	88
5	Cam Đường	10
6	Mường Khương	80
7	Văn Bàn	129
8	Sa Pa	53
Tổng cộng		534

Trượt lở đất đá tại Lào Cai thường khá nghiêm trọng và gây ra hậu quả thiệt hại về người và của, Hình 2 là một số hình ảnh trượt lở đất đá đã xảy ra tại Lào Cai.



Hình 2. Trượt lở đất tại tỉnh Lào Cai [20].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Mô hình TRIGRS là một chương trình của Fortran được thiết kế để thiết lập và mô phỏng sự phân bố của các trận lở đất nông do mưa gây ra [21–22]. Chương trình cần nhiều thông số đầu vào, bao gồm cả sự thấm thấu, đặc tính thủy lực và các thông số đầu vào ổn định mái dốc [22], mô phỏng sự thay đổi áp suất lỗ rỗng qua bề mặt thoáng và sự thay đổi tương ứng trong hệ số an toàn do thấm nước mưa [23]. Các mô hình thấm trong TRIGRS với các điều kiện ban đầu dựa trên nghiệm tuyến tính của phương trình Richards [24].

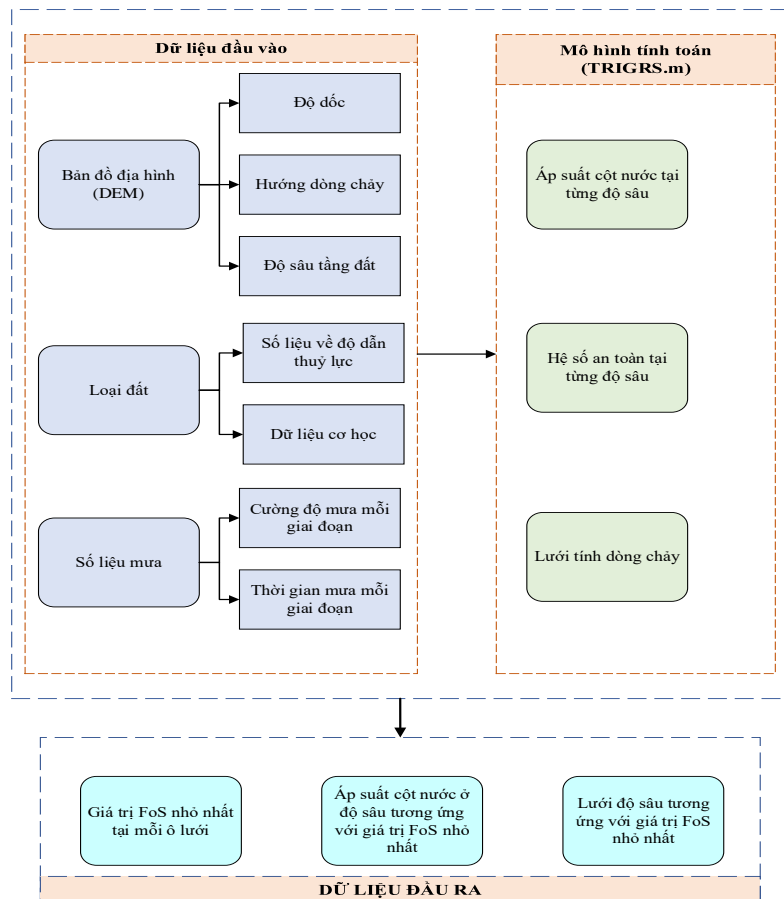
Mô hình bao gồm một thành phần ổn định và một thành phần thấm tạm thời. Độ thấm ổn định phụ thuộc vào độ sâu ban đầu đến mực nước ngầm và tốc độ thấm ổn định. Dưới sự thấm thấu ổn định, mái dốc sẽ không bị hư hại. Thấm nhất thời là sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng thoáng qua do lượng mưa gây ra trong thời gian ngắn. Nói chung, cường độ mưa càng lớn thì sự thấm nhất thời càng lớn [25–27]. Áp lực nước lỗ rỗng tạm thời được tính toán sau đó được sử dụng cho mô hình độ dốc vô hạn. Giải pháp tổng quát trong TRIGRS là:

$$\psi(Z, t) = (Z - d)\beta + 2 \sum_{n=1}^N \frac{I_{nz}}{K_s} H(t - t_n) \left[D_1(t - t_n) \right]^{\frac{1}{2}} \operatorname{ierfc} \left[\frac{Z}{2 \left[D_1(t - t_n) \right]^{\frac{1}{2}}} \right] - 2 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \times \sum_{n=1}^N \frac{I_{nz}}{K_s} H(t - t_{n+1}) \left[D_1(t - t_{n+1}) \right]^{\frac{1}{2}} \operatorname{ierfc} \left[\frac{Z}{2 \left[D_1(t - t_n) \right]^{\frac{1}{2}}} \right] \\ \psi(Z, t) = & (Z - d)\beta + 2 \sum_{n=1}^N \frac{I_{nz}}{K_s} H(t - t_n) \left[D_1(t - t_n) \right]^{\frac{1}{2}} \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \operatorname{ierfc} \left[\frac{(2m-1)d_{LZ} - (d_{LZ} - Z)}{2 \left[D_1(t - t_n) \right]^{\frac{1}{2}}} \right] + \operatorname{ierfc} \left[\frac{(2m-1)d_{LZ} + (d_{LZ} - Z)}{2 \left[D_1(t - t_n) \right]^{\frac{1}{2}}} \right] \right\} - 2 \quad (2) \\ & \times \sum_{n=1}^N \frac{I_{nz}}{K_s} H(t - t_{n+1}) \left[D_1(t - t_{n+1}) \right]^{\frac{1}{2}} \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \operatorname{ierfc} \left[\frac{(2m-1)d_{LZ} - (d_{LZ} - Z)}{2 \left[D_1(t - t_n) \right]^{\frac{1}{2}}} \right] + \operatorname{ierfc} \left[\frac{(2m-1)d_{LZ} + (d_{LZ} - Z)}{2 \left[D_1(t - t_n) \right]^{\frac{1}{2}}} \right] \right\} \end{aligned}$$

Trong đó Ψ là cột áp nước ngầm; t là thời gian; Z là độ sâu bên dưới mặt đất theo phương tọa độ thẳng đứng (đương hướng xuống); d là độ sâu trạng thái ổn định của mực nước ngầm; $\beta = \cos^2\delta - (I_{ZLT}/K_s)$, δ là góc của hệ số góc; K_s là độ dẫn thủy lực bão hòa theo phương Z ; I_{ZLT} là thông lượng bề mặt ổn định; I_{nz} là thông lượng bề mặt hoặc cường độ mưa trong khoảng thời gian thứ n ; $D_1 = D_0/\cos^2\delta$, D_0 là độ khuếch tán thủy lực bão hòa; N là tổng số khoảng thời gian; $H(t - t_n)$ là hàm bước Heaviside, trong đó t_n là thời điểm ở khoảng thời gian thứ n trong chuỗi lượng mưa xâm nhập; d_{LZ} là độ sâu của ranh giới cơ bản không thấm nước đo được.

Tiếp theo [24], chương trình thiết lập mô hình ổn định mái dốc bằng cách sử dụng



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu ứng dụng mô hình TRIGRS.

phương trình phân tích ổn định mái dốc vô hạn phương trình (3). Trong quá trình phân tích trượt lở, tính không ổn định của một độ dốc vô hạn được đặc trưng bởi tỷ số giữa lực chống ma sát Coulomb cơ bản và ứng suất truyền động cơ bản xuống dốc do trọng lực gây ra [27]. Tỷ lệ này, được gọi là FoS, được tính ở độ sâu Z bằng phương trình:

$$FoS(Z, t) = \frac{\tan \varphi'}{\tan \varphi} + \frac{c' - \psi(Z, t) \gamma_w \tan \varphi'}{\gamma_s Z \sin \delta \cos \delta} \quad (3)$$

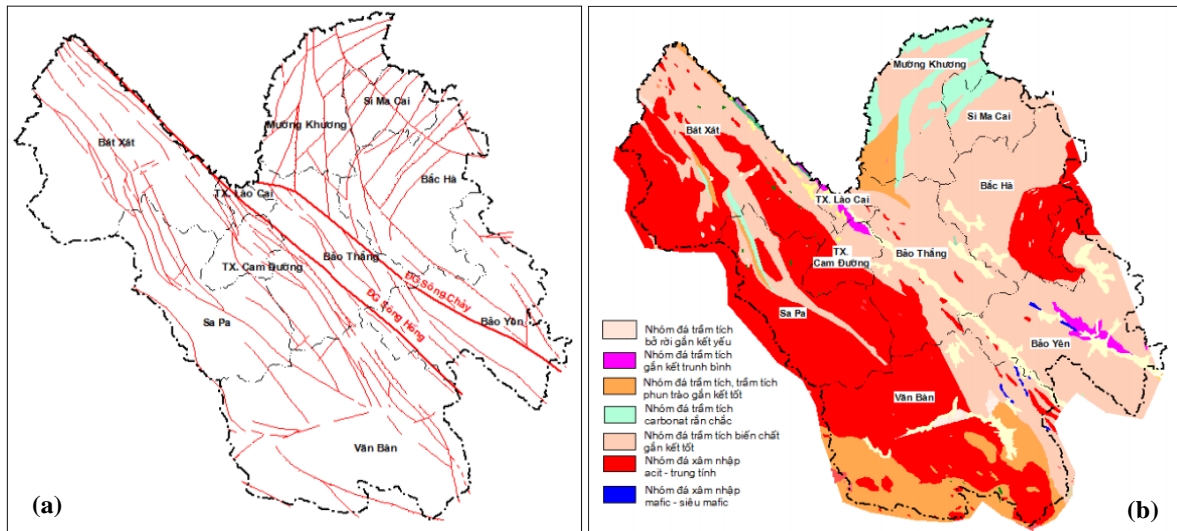
Trong đó c' là hệ số kết dính; φ' là hệ số góc ma sát mặt đất; γ_s là đơn vị trọng lượng; γ_w đơn vị trọng lượng của nước ngầm.

Nghiên cứu này trình bày kết quả ứng dụng mô hình TRIGRS mô phỏng trượt lở cho khu vực miền núi phía bắc tỉnh Lào Cai, Việt Nam. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu được triển khai thực hiện theo các bước miêu tả trên hình 3.

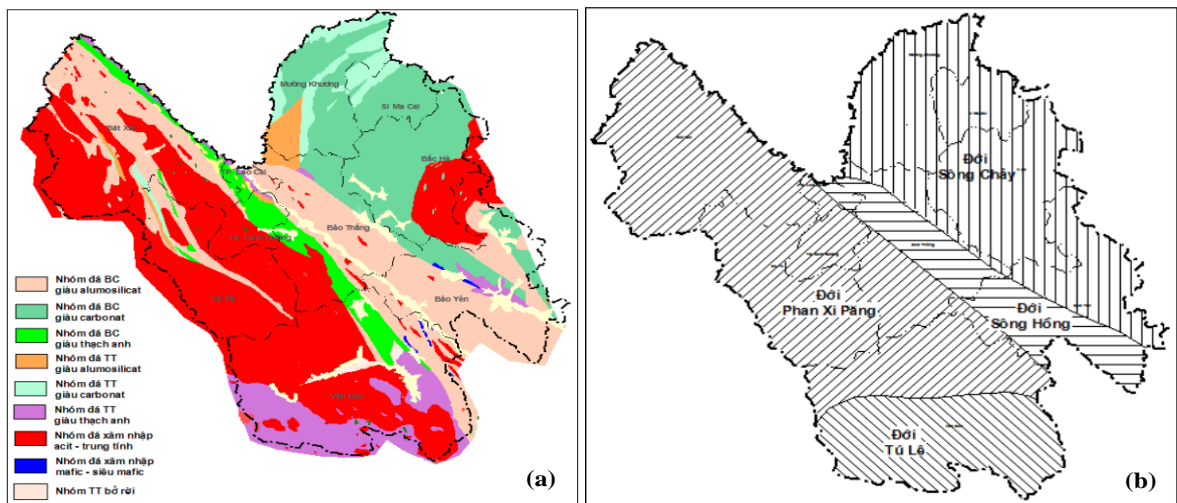
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Thiết lập mô hình TRIGRS cho khu vực nghiên cứu

Các thông số mô hình TRIGRS được thiết lập dựa trên các tài liệu về địa chất, địa hình khu vực nghiên cứu. Hình 4–5 là bản đồ đặc trưng một số đặc điểm địa chất–địa mạo tỉnh Lào Cai.



Hình 4. (a) Sơ đồ phân bố hệ thống các đứt gãy trên địa bàn tỉnh Lào Cai; (b) Sơ đồ phân bố nhóm đá theo đặc điểm địa chất công trình tỉnh Lào Cai [18].



Hình 5. (a) Sự phân bố diện tích xuất lộ các nhóm đá gốc tỉnh Lào Cai; (b) Sự phân bố đới cấu trúc trên địa bàn tỉnh Lào Cai [18].

Bảng 1 là thông số chính thiết lập trong mô hình TRIGRS.

Bảng 1. Thông số cơ bản mô hình TRIGRS tỉnh Lào Cai.

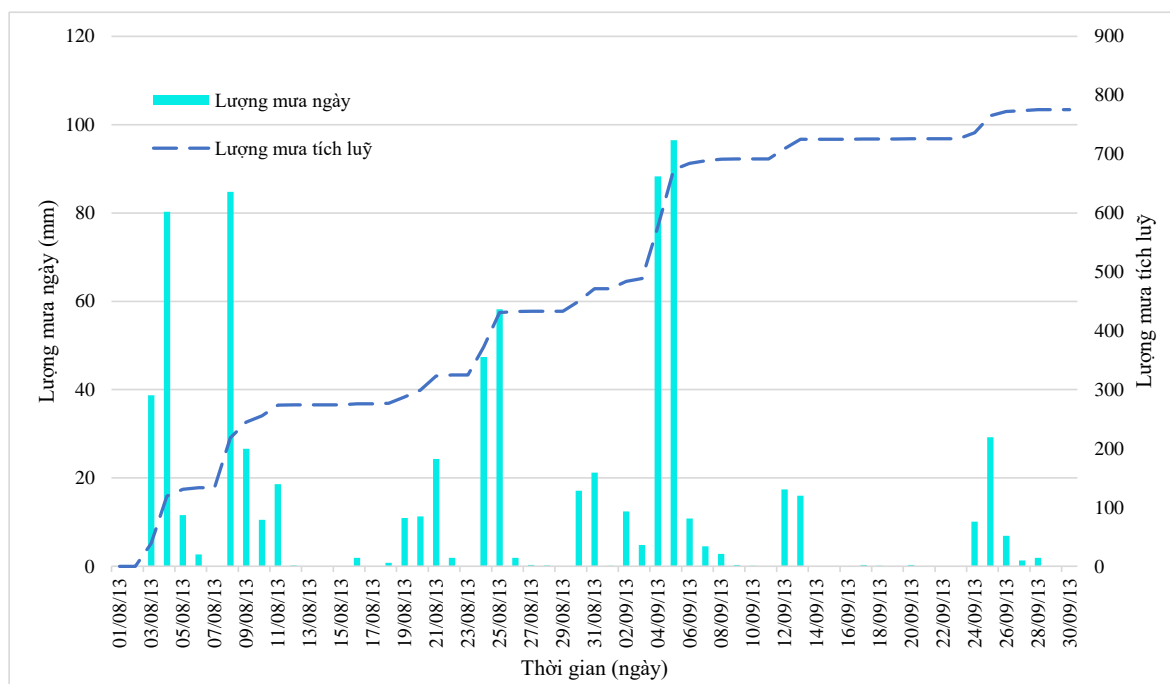
c_0 [kPa]	φ_0 [deg]	γ_s [kN m ⁻³]	K_s [m s ⁻¹]	D_0 [m ² s ⁻¹]	α [m ⁻¹]	θ_s	θ_r
3.50E+03	35	2.20E+04	1.00E-07	8.00E-04	-0.5	0.45	0.05

Số liệu độ cao triết xuất từ ALOS PALSAR DEM 12,5 m. Độ dốc và hướng dòng chảy được tính toán từ DEM khi đưa vào mô hình TRIGRS. Độ dày lớp đất được tính toán theo phương trình Z, căn cứ vào dữ liệu các lỗ khoan trong khu vực để xác định cáo trình trên và cáo trình dưới của lớp đất mô phỏng, do đó độ dày lớp đất có thể tính toán theo phương trình (4).

$$Z_i = Z_{max} - \left(\frac{h_i - h_{min}}{h_{max} - h_{min}} \right) (Z_{max} - Z_{min}) \tag{4}$$

Trong đó Z_{max} và Z_{min} là độ sâu lớn nhất và độ sâu nhỏ nhất tầng đất; h_{max} và h_{min} là độ cao lớn nhất và nhỏ nhất tương ứng; K_s là hệ số dẫn thủy lực bão hoà và D là hệ số khuếch tán thủy lực.

Hình 6 là đồ thị lượng mưa và tổng lượng mưa tích lũy tại trạm Sa Pa.



Hình 6. Đồ thị lượng mưa và tổng mưa tích lũy trạm Sa Pa tháng 9 năm 2013

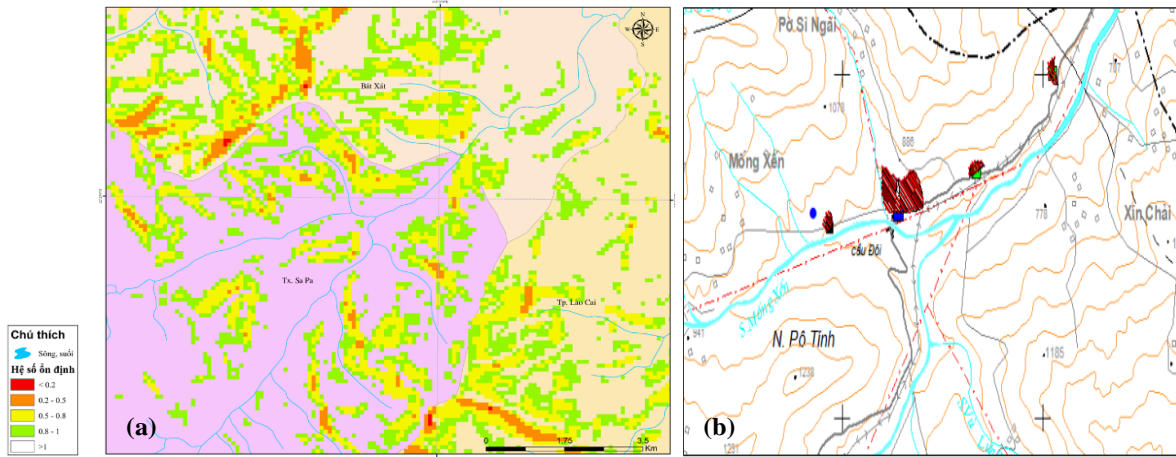
Hình trên là đồ thị thể hiện lượng mưa tại trạm khí tượng Sa Pa từ ngày 01/08/2013 đến ngày 30/09/2013, có thể nhận thấy tuần đầu tháng 8 có xuất hiện mưa lớn 80mm vào ngày 09/08/2013 sau đó mưa giảm dần và kết thúc mứ ngày 13/08/2013, từ 19/08/2013 bắt đầu đợt mưa tiếp theo với lượng mưa lớn nhất xảy ra ngày 25/08/2013 là gần 60mm, ngày 30/08 tiếp tục trận mưa lớn và kéo dài đến ngày 08/09/2013 với lượng mưa lớn nhất là gần 100mm ngày 05/09/2013. Có thể nhận thấy đây là đợt mưa kéo dài và liên tục, với tổng lượng mưa tích lũy lớn.

3.2. Kết quả mô hình mô phỏng

Mô hình TRIGRS được thiết lập mô phỏng sạt lở đất khu vực nghiên cứu thời đoạn mô phỏng từ 01/08 đến 30/09 năm 2013 để đánh giá bộ thông số mô hình, tổng lượng mưa tích lũy là 775,5 mm, cường độ mưa lớn nhất là 96,5 mm/ngày (ngày 05/09/2013).

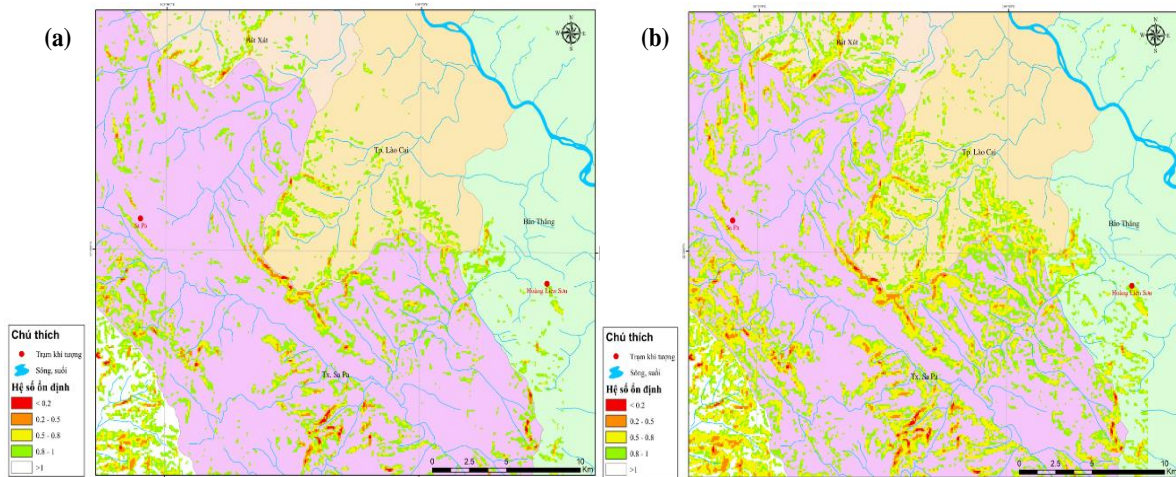
Nghiên cứu đã sử dụng vị trí trượt lở đất đá tại cầu Mống Sên trên quốc lộ 4D, xã Thanh Kim, huyện Sa Pa với trận mưa tháng 9 năm 2013 để đánh giá bộ thông số mô hình TRIGRS. Kết quả so sánh cho thấy, hệ số FoS tại khu vực sạt lở tại Cầu Mống Sên dao động trong khoảng từ 0,4 đến 0,7.

Kết quả mô phỏng cho thấy vị trí có hệ số an toàn thấp nhất trùng với vị trí xảy ra trượt lở đất đá tại Cầu Mống Sên tối ngày 4 tháng 9 năm 2013. Có thể nhận thấy bộ thông số mô hình tương đối phù hợp cho khu vực nghiên cứu.



Hình 7. (a) Kết quả FoS mô hình mô phỏng; (b) Sơ đồ vị trí điểm trượt lở đất đá tại Cầu Mống Sên, xã Thanh Kim, huyện Sa Pa.

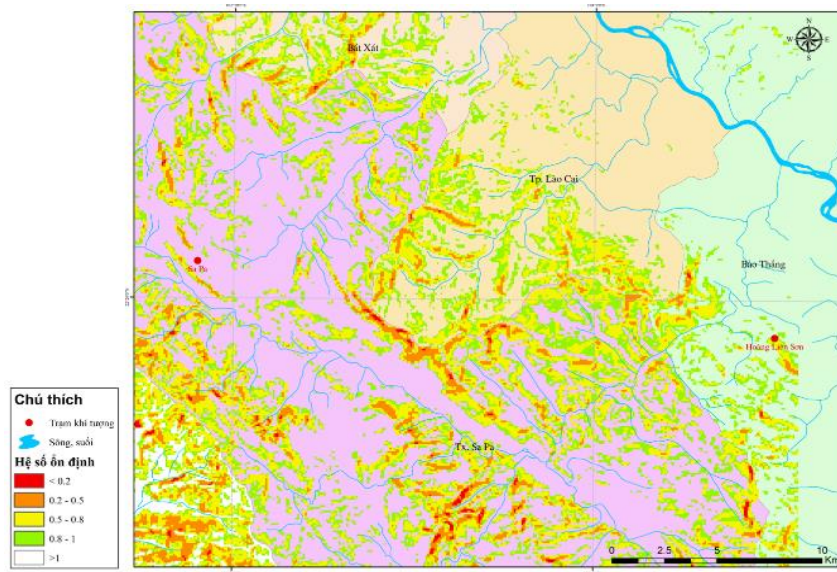
Nghiên cứu sử dụng bộ thông số của mô hình để mô phỏng khả năng trượt lở đất đá cho tỉnh Lào Cai. Kết quả đánh giá khả năng trượt lở đất đá khu vực nghiên cứu dựa vào kết quả hệ số an toàn do mô hình tính toán FoS (*Factor of Safety*), hệ số an toàn càng thấp thì khả năng trượt lở đất đá xảy ra càng lớn. Hình 8a–8c là kết quả FoS khu vực nghiên cứu tại một số thời điểm mô phỏng.



Hình 8. (a) Thay đổi của hệ số an toàn (FoS) tỉnh Lào Cai tại thời điểm ngày 03/09/2013; (b) Thay đổi của hệ số an toàn (FoS) tỉnh Lào Cai tại thời điểm ngày 04/09/2013.

Kết quả mô phỏng cho thấy 20 ngày trước ngày 04/09/2013, khu vực nghiên cứu xuất hiện mưa liên tiếp, tuy nhiên đến ngày 04/09/2013 lượng mưa trên 80 mm và gần 100 mm vào ngày 05/09/2013. Do đó báo cáo đánh giá sự thay đổi giá trị hệ số an toàn FoS từ ngày 03 đến ngày 05 năm 2013. Hình 8c thể hiện biến động hệ số FoS từ ngày 3/9/2013 đến ngày 5/9/2013. Có thể nhận thấy FoS giảm dần, 24h sau khi xảy ra mưa lớn, nhiều khu vực có hệ số an toàn giảm, khả năng xuất hiện trượt lở đất cao và xu thế đó mở rộng sau 48 giờ, có thể nhận thấy tại những khu vực có địa hình dốc (độ dốc lớn hơn 50°) có hệ số an toàn thấp, dao

động từ 0,2–0,5. Thực tế cho thấy lượng mưa càng tăng thì độ ổn định mái dốc càng giảm, hệ số FoS giảm và đến tối 04/9/2013 đã mất kết dính gây trượt lở đất khả nghiêm trọng tại một số huyện của tỉnh Lào Cai như: Sa Pa, Văn Bàn.



Hình 8. (c) Thay đổi của hệ số an toàn (FoS) tỉnh Lào Cai tại thời điểm ngày 05/09/2013 (tiếp).

4. Kết luận

Mô hình TRIGRS cho phép nhận số liệu đầu vào dạng lưới (*TIF format*) và liên kết với các chương trình tính toán thám, kết quả đầu ra là giá trị áp suất, áp suất lỗ rỗng và hệ số an toàn tại bất cứ thời điểm nào. Kết quả mô phỏng cho thấy cường độ mưa tăng thì hệ số an toàn của các ô lưới xung quanh khu vực đó giảm. Cường độ mưa càng lớn thì sự biến đổi độ sâu mực nước ngầm và độ ổn định mái dốc càng lớn. Nghiên cứu đã ứng dụng thành công mô hình TRIGRS mô phỏng trượt lở đất tỉnh Lào Cai. Mô hình TRIGRS có đặc điểm xử lý số liệu đơn giản, hiệu quả tính toán cao có thể phát triển ứng dụng trong việc cảnh báo trượt lở đất do mưa lớn và có thể nghiên cứu phát triển xây dựng công cụ giám sát nguy cơ trượt lở đất theo thời gian thực. Tuy nhiên, hạn chế của mô hình mới chỉ tính toán riêng biệt cho từng ô lưới chưa tính đến trao đổi dòng chảy ngầm giữa các ô lưới đồng thời chưa tính đến lực tác động giữa các ô lưới gây trượt lở đất đá.

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

Lời cảm ơn: Bài báo đã kế thừa và sử dụng tài liệu và số liệu thuộc báo cáo kết quả điều tra và thành lập bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá tỷ lệ 1:50.000 khu vực miền núi tỉnh Lào Cai (2014).

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. Frattini, P.; Crosta, G.; Sosio, R. Approaches for defining thresholds and return periods for rainfall – triggered shallow landslides. *Hydrol. Processes* **2009**, 23(10), 1444–1460.
2. Guzzetti, F.; Peruccacci, S.; Rossi, M.; Stark, C.P. Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorol. Atmos. Phys.* **2007**, 98(3), 239–367.

3. Kanungo, D.P.; Sharma, S. Rainfall thresholds for prediction of shallow landslides around Chamoli-Joshimath region, Garhwal Himalayas, India. *Landslides* **2014**, *11*(4), 629–638.
4. Tân, M.T.; Liêm, N.V.; Tuấn, Đ.A.; Tiến, N.V. Phân tích tương quan giữa trượt lở đất và lượng mưa khu vực Mai Châu - Hòa Bình. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2015**, *31*(4), 51–63.
5. Thủy, N.T.; Hùng, N.S. Áp dụng phương pháp dùng các chỉ số lượng mưa ảnh hưởng ngắn hạn và dài hạn để cảnh báo thiên tai bùn đá ở một số khu vực của Việt Nam. *Tap chí Khoa học biến đổi khí hậu* **2018**, *5*, 1–10.
6. Alvioli, M.; Guzzetti, F.; Rossi, M. Scaling properties of rainfall induced landslides predicted by a physically based model. *Geomorphology* **2014**, *213*, 38–47.
7. Wei, Y.; Xia, M.; Ye, F.; Fu, W. Effect of drag force on stability of residual soil slopes under surface runoff. *Geomatics Nat. Hazards Risk* **2018**, *9*(1), 488–500.
8. Yuan, X.; Ye, F.; Fu, W.; Wen, L. Estimating the critical shear stress for incipient particle motion of a cohesive soil slope. *Sci. Rep.* **2022**, *12*(1), 9736.
9. Peres, D.J.; Cancelliere, A. Accounting for Variability in Rain-Event Intensity and Initial Conditions in Landslide Triggering Return Period Mapping via a Monte Carlo Approach. In: Sassa, K., Canuti, P., Yin, Y. (Eds) *Landslide Science for a Safer Geoenvironment*. Springer, Cham. 2014, 499–505. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05050-8_77.
10. Park, D.W.; Nikhil, N.V.; Lee, S.R. Landslide and debris flow susceptibility zonation using TRIGRS for the 2011 Seoul landslide event. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **2013**, *13*, 2833–2849. doi:10.5194/nhess-13-2833-2013.
11. Viet, T.T.; Lee, G.; Thu, T.M.; An, H.U. Effect of digital elevation model resolution on shallow landslide modeling using TRIGRS. *Nat. Hazards Rev.* **2017**, *18*, 04016011. doi:10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000233.
12. Weidner, L.; Oommen, T.; Escobar-Wolf, R.; Sajinkumar, K.S.; Samuel, R.A. Regional-scale back-analysis using TRIGRS: An approach to advance landslide hazard modeling and prediction in sparse data regions. *Landslides* **2018**, *15*, 2343–2356. doi:10.1007/s10346-018-1044-7.
13. Zhang, S.; Jiang, Q.; Xu, X.; Tao, G.; Zhang, Z.; Gao, X.; He, C. Influence of soil mechanical and hydraulic parameters on the definition of rainfall intensity and duration thresholds based on Transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability model (TRIGRS). *Front. Earth Sci.* **2022**, *10*, 971655. doi:10.3389/feart.2022.971655.
14. Ma, S.; Shao, X.; Xu, C.; He, X.; Zhang, P. MAT.TRIGRS (V1.0): A new open – source tool for predicting spatiotemporal distribution of rainfall – induced landslides. *Nat. Hazards Res.* **2021**, *1*(4), 161–170.
15. Baum, R.L.; Savage, W.Z.; Godt, J.W. TRIGRS A Fortran program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis, version 2.0: U.S. Geological Survey Open-File Report, 2008-1159, 2008, pp.75.
16. Muntohar, A.S.; Mavrouli, O.; Jetten, V.G.; van Westen, C.J.; Hidayat, R. Development of Landslide Early Warning System Based on the Satellite-Derived Rainfall Threshold in Indonesia . In: Casagli, N., Tofani, V., Sassa, K., Bobrowsky, P.T., Takara, K. (eds) *Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk*. WLF 2020. ICL Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction. Springer, Cham. 2021, pp. 227–235. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60311-3_26.
17. Dikshit, A.; Sarkar, R.; Pradhan, B.; Segoni, S.; Alamri, A.M. Rainfall Induced Landslide Studies in Indian Himalayan Region: A Critical Review. *Appl. Sci.* **2020**, *10*, 2466. <https://doi.org/10.3390/app10072466>.

18. Long, D.V.; Cong, N.C.; Binh, N.Q. Đánh giá thực trạng và giải pháp nghiên cứu về sạt lở đất ở Vite Nam giai đoạn 2010-2020. *Tap chí khoa học và công nghệ thủy lợi* **2020**, *61*, 119–128.
19. Viện khoa học và địa chất khoáng sản. Báo cáo kết quả điều tra và thành lập bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá tỷ lệ 1:50.000 khu vực miền núi tỉnh Lào Cai – sản phẩm bước I của Đề án Điều tra, đánh giá và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá các vùng miền núi Việt Nam, 2014.
20. vietnamplus.com
21. Alvioli, M.; Baum, R.L. Parallelization of the TRIGRS model for rainfall-induced landslides using the message passing interface. *Environ. Model. Software* **2016**, *81*, 122–135.
22. Baum, R.L.; Savage, W.Z.; Godt, J.W. TRIGRS—A Fortran program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis, Version 2.0, U.S. Geol. Surv. Open File Rep., 2008, 2008-1159, pp. 81.
23. Berti, M.; Simoni, A. Field evidence of pore pressure diffusion in clayey soils prone to landsliding. *J. Geophys. Res.* **2010**, *115*, F03031. doi:10.1029/2009JF001463.
24. Iverson, R.M. Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resour. Res.* **2000**, *36*(7), 1897–1910.
25. Baum, R.; Godt, J. Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in the USA. *Landslides* **2010**, *7*, 259–272.
26. Baum, R.L.; Godt, J.W.; Savage, W.Z. Estimating the timing and location of shallow rainfall-induced landslides using a model for transient, unsaturated infiltration. *J. Geophys. Res.* **2010**, *115*(F3), 1–26.
27. Godt, J.W.; Baum, R.L.; Savage, W.Z.; Salciarini, D.; Schulz, W.H.; Harp, E.L. Transient deterministic shallow landslide modeling: Requirements for susceptibility and hazard assessments in a GIS framework. *Eng. Geol.* **2008**, *102*(3), 214–226.

Research and application TRIGRS model to simulate landslide in Lao Cai Province, Vietnam

Nguyen Van Nhat^{1*}, Doan Quang Tri¹, Quach Thi Thanh Tuyet¹, Tran Duy Hien²

¹ VietNam Journal of Hydrometeorology, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; vannhat.tv@gmail.com; doanquangtrikttv@gmail.com; tuyetkttv@gmail.com

² Department of Science and Technology, Ministry of Natural Resources and Environment; tranhienvkttv@gmail.com; tdhien@monre.gov.vn

Abstract: Effective of heavy rain and geological structure changes is a high risk of landslides in the mountainous areas of northern Vietnam in which Lao Cai is one of the most Provinces have severe and frequent effect. Research and application TRIGRS model (*Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Model*) model to simulate infiltration due to rain based on the slope stability and topographic of the study area. The model is applied to simulate landslide using geological - topographic data, hydrometeorological data of the study area. Equations are established to calculate the variation of pressure head and slope stability. Research results with heavy rain in early September 2013 show that when heavy rain begins, the pressure head increases rapidly. On these day, the slope stability of the study area changes greatly and FoS of most grid cells in the source area are decrease after about 24 hours, then the landslide occurred at the location that has lowest FoS and extended to the surrounding areas.

Keywords: TRIGRS model; Lao Cai; Landslide.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu lựa chọn hệ thống khai thác hợp lý cho khu 2 mỏ đá vôi Lam Sơn

Trần Đình Bảo^{1*}, Phạm Văn Việt¹, Vũ Đình Trọng², Hoàng Đình Nam¹

¹ Trường Đại học Mở-Địa chất; trandinhbao@humg.edu.vn; phamvanviet@humg.edu.vn; 2021040137@student.humg.edu.vn

² Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh; trongvu.sme@gmail.com

*Tác giả liên hệ: trandinhbao@humg.edu.vn; Tel.: +84-988196996

Ban Biên tập nhận bài: 15/9/2022; Ngày phản biện xong: 23/10/2022; Ngày đăng bài: 25/10/2022

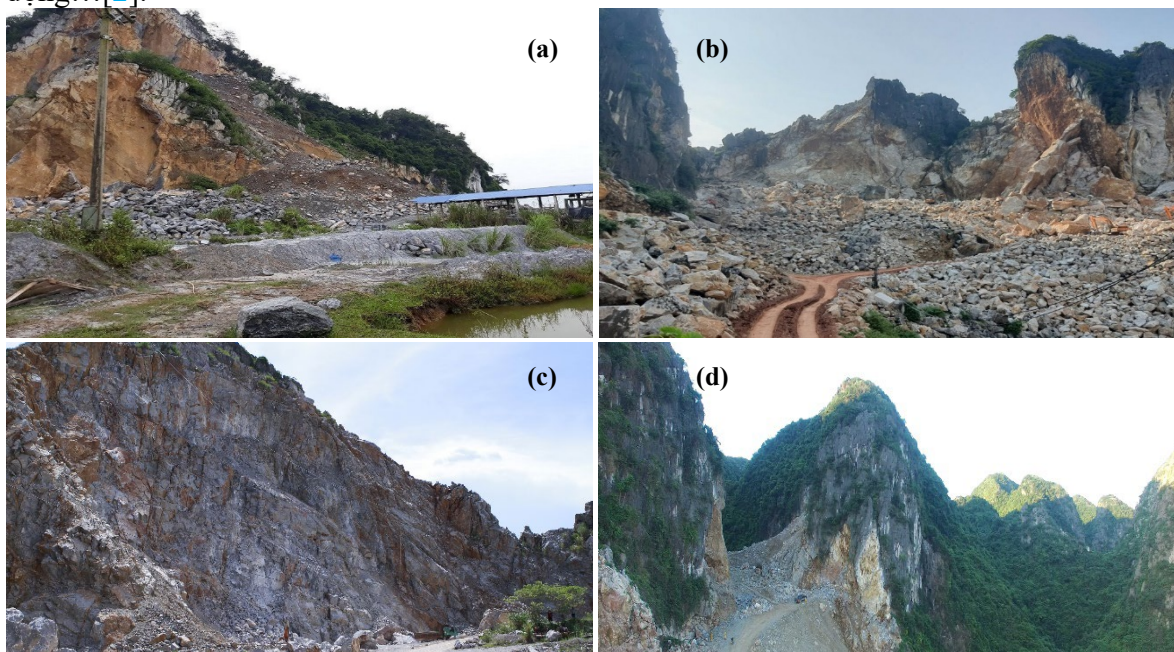
Tóm tắt: Một trong những nhiệm vụ quan trọng khai thác mỏ đá vật liệu xây dựng (VLXD) là lựa chọn hệ thống khai thác (HTKT) phù hợp vì việc lựa chọn sai có thể phát sinh nhiều vấn đề trong quá trình khai thác, dẫn đến các khoản phí phát sinh cho chủ mỏ hoặc có thể là nguyên nhân mất an toàn cho người lao động, giảm năng suất lao động, ảnh hưởng lâu dài tới toàn bộ thời gian tồn tại của mỏ thậm chí một số mỏ cần phải điều chỉnh thiết kế. Trên cơ sở phân tích toàn diện các yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT cho khu 2 mỏ đá Lam Sơn như: điều kiện địa hình, điều kiện địa chất, góc dốc sườn núi, yêu cầu về sản lượng, vốn đầu tư, ... nghiên cứu đã đề xuất 02 phương án HTKT có thể áp dụng cho mỏ, thông qua việc đánh giá các chỉ tiêu kinh tế-kỹ thuật của 02 phương án đề xuất, nhóm nghiên cứu đã lựa chọn được HTKT hợp lý cho mỏ đảm bảo hài hòa giữa các tiêu chí về an toàn-môi trường, đúng kỹ thuật, có hiệu quả kinh tế và phù hợp với thực tế sản xuất. Phương án được chọn đem lại hiệu quả hơn cho khu 2 mỏ đá Lam Sơn qua một loạt chỉ số như: chi phí khai thác thấp hơn, lợi nhuận dòng nhiều hơn 2,5 tỷ đồng và thời gian thu hồi vốn nhanh hơn 6 tháng mặc dù vốn đầu tư nhiều hơn 2,5 tỷ đồng.

Từ khóa: Lam Sơn; Hệ thống khai thác; Đá vôi; Địa hình phức tạp; An toàn lao động; Hiệu quả kinh tế.

1. Mở đầu

Thanh Hóa có trữ lượng đá vôi lớn (khoảng 29,1 tỷ m³) [1], với chất lượng tốt, phù hợp làm vật liệu xây dựng thông thường và sản xuất xi măng. Đá vôi là nguồn nguyên liệu không thể thiếu trong sản xuất xi măng, giao thông, xây dựng, Trong những năm gần đây, dưới áp lực phát triển kinh tế của tỉnh, của các địa phương lân cận, cũng như nhu cầu đá vôi ngày càng lớn, tỉnh Thanh Hóa đã đẩy mạnh việc cấp phép khai thác các mỏ đá VLXD thông thường có quy mô vừa và nhỏ. Hoạt động khai thác đá VLXD trong những năm gần đây tại tỉnh Thanh Hóa đã góp phần nâng cao đời sống người công nhân, tạo việc làm ổn định cho hàng nghìn lao động, phát triển kinh tế-xã hội của địa phương, cung cấp nguyên liệu cho các ngành kinh tế khác như xây dựng, giao thông, Bên cạnh những mặt tích cực kể trên, hoạt động khai thác đá VLXD trên địa bàn tỉnh Thanh Hóa còn tồn tại một số hạn chế sau: Các mỏ đá VLXD được cấp phép có diện tích và công suất nhỏ; Phần lớn các mỏ khai thác không đúng thiết kế được phê duyệt dẫn đến hiện tượng mất tầng, tạo thành máng trượt (khẩu sụt), gây mất an toàn lao động; Một số mỏ áp dụng HTKT không hợp lý, các thông số hệ thống khai thác chưa phù hợp với thiết bị mỏ, quy chuẩn, tiêu chuẩn kỹ thuật an toàn, ... gây ảnh

hướng xấu tới môi trường, tiềm ẩn những rủi ro mất an toàn lao động trong quá trình hoạt động...[2].



Hình 1. Một số dạng mỏ đá vôi có cấu trúc phân lớp phức tạp điển hình tỉnh Thanh Hóa: (a) Mỏ đá vôi tại xã Phú Nghiê, huyện Quan Hoá; (b) Mỏ đá của Công ty Minh Hương, xã Đông Nam, huyện Đông Sơn; (c) Mỏ đá núi Vức xã Đông Vinh và phường An Hưng (TP.Thanh Hóa, tỉnh Thanh Hóa); (d) Khu 2 mỏ đá Lam Sơn, xã Hà Vinh, huyện Hà Trung.

Để xảy ra những hậu quả trên, một phần do các doanh nghiệp được cấp phép khai thác không đúng thiết kế được phê duyệt, theo kiểu ăn xổi “dễ làm, khó bỏ”, ... nguyên nhân khác là trong quá trình thiết kế chưa đưa ra HTKT hợp lý, phù hợp với điều kiện địa hình, địa chất, công suất mỏ.

Hiện nay, việc lựa chọn HTKT cho các mỏ đá VLXD vẫn chủ yếu dựa vào kinh nghiệm của người thiết kế, căn cứ vào điều kiện địa hình, tài liệu địa chất mỏ mà đơn vị tư vấn sẽ đưa ra các phương án mở mỏ và HTKT sẽ áp dụng cho mỏ. Như vậy, việc lựa chọn HTKT vẫn chưa phân tích cụ thể các chỉ tiêu kinh tế, mức đầu tư, quy mô khai thác, cũng như các vấn đề liên quan tới an toàn trong quá trình khai thác.

Đã từ lâu, việc nghiên cứu công nghệ khai thác đá đã được các tác giả người Nga, Mỹ, Australia, Canada... thực hiện. Trong đó, các giả người Nga là một trong những người đi tiên phong mở đường cho khoa học công nghệ khai thác mỏ ra đời và phát triển [3-9], với nhiều công trình nghiên cứu khoa học sáng tạo. Tuy nhiên, đa phần các nghiên cứu này đều sử dụng một số dấu hiệu như: vị trí bãi thải (bãi thải trong, bãi thải ngoài, bãi thải hỗn hợp), hướng phát triển của công trình mỏ theo mặt cắt đứng (xuống sâu, không xuống sâu), số lượng bờ công tác (một hoặc hai bờ công tác), hướng phát triển của tuyến công tác trên bình đồ (dọc, ngang, rẽ quạt, vành khuyên), vị trí tương đối của trạm nghiền so với biên giới mỏ (trạm nghiền đặt trong mỏ, ngoài mỏ, đặt trên bờ mỏ và trạm nghiền tự hành theo máy xúc), ... Như vậy, các nghiên cứu này đã xây dựng các mô hình công nghệ mỏ phù hợp với điều kiện địa hình, đặc điểm địa chất, thiết bị khai thác mỏ, nơi mà các tác giả nghiên cứu một cách tỉ mỉ.. Dấu hiệu phân loại công nghệ thông qua HTKT chủ yếu dựa vào đối tượng xúc bóc chính trên mỏ lộ thiên là đất đá thải. Vì hầu hết các mỏ này đều có lớp đất phủ dày, khối lượng đất đá bóc lớn, bãi thải và vị trí của nó đóng một vai trò quan trọng trong hoạt động khai thác của dạng mỏ này. Vì thế, mà các phân loại công nghệ khai thác thông qua HTKT của các công trình nghiên cứu ngoài nước chưa đủ để có thể áp dụng vào các dạng mỏ đá VLXD của Việt Nam. Để có thể lựa chọn HTKT hợp lý áp dụng cho các mỏ đá VLXD có điều kiện địa hình phức tạp ở Việt Nam, cần có nghiên cứu lựa chọn và kế thừa những mặt đạt được của các

ngiên cứu về HTKT của các tác giả trong nước và nước ngoài, loại bỏ những yếu tố không phù hợp đồng thời bổ sung các yếu tố còn thiếu để có được HTKT phù hợp đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững nguồn đá VLXD ở nước ta hiện nay.

Ở Việt Nam, ngành công nghiệp khai thác nói chung, khai thác đá VLXD nói riêng bắt đầu phát triển từ thập niên 60 nhưng thực sự khởi sắc khi đất nước bước vào thời kỳ đổi mới. Thời gian đầu, các mỏ khai thác đá khai thác theo kinh nghiệm mà chưa có thiết kế. Xuất phát từ các yêu cầu của thực tế của sản xuất, rất nhiều các công trình nghiên cứu về khai thác mỏ nói chung, công nghệ và kỹ thuật khai thác đá VLXD nói riêng đã được các nhà khoa học trong nước đưa ra, góp phần vào việc nâng cao hiệu quả khai thác đá, giảm thiểu các rủi ro mất an toàn, cũng như giảm giá thành khai thác, Các công trình này khá đa dạng về số lượng cũng như khía cạnh nghiên cứu, bao gồm các bài giảng, giáo trình, sách tham khảo, sách chuyên khảo, các luận án tiến sĩ, luận văn thạc sĩ và các đề tài các cấp, ...[10–16].

Trong nghiên cứu [10], tác giả đã trình bày khá chi tiết các vấn đề liên quan tới các khâu công nghệ khai thác, công tác chế biến cũng như các vấn đề liên quan đến kinh tế–tổ chức doanh nghiệp khai thác đá. Tuy nhiên, công trình chỉ là sự tổng hợp, kế thừa các nghiên cứu ở nước ngoài về lĩnh vực khai thác đá VLXD mà chưa đi sâu nghiên cứu, đề xuất các công nghệ kỹ thuật mới phù hợp với các điều kiện khai thác cụ thể ở Việt Nam.

Trong nghiên cứu [11], trên cơ sở phân tích các phương án HTKT có thể áp dụng cho các mỏ đá vôi điều kiện địa hình đồi núi, tác giả chỉ ra: Phương án HTKT khâu tự do, HTKT khâu theo lớp đứng cắt tầng nhỏ là các phương pháp tồn tại nhiều rủi ro về an toàn cho người lao động và không có khả năng cơ giới quá trình sản xuất, không thể tăng năng suất mỏ khi cần thiết; Phương án HTKT khâu theo lớp bằng xúc (gạt) chuyên và HTKT khâu theo lớp bằng vận tải trực tiếp là các phương án có khả năng cơ giới các khâu công nghệ cũng như an toàn cho người lao động và có thể tăng công suất khai thác khi cần thiết. Tuy nhiên, HTKT hợp lý cho các mỏ đá VLXD có điều kiện địa hình phức tạp vẫn chưa được đề cập trong nghiên cứu này.

Dựa trên kết quả tổng kết và đánh giá hiện trạng khai thác đá vôi xi măng ở Miền Bắc, [12] đã đưa ra bảng phân loại HTKT cho các mỏ kiểu sườn núi với 3 nhóm chính (Bảng 1) cũng như đã xây dựng đồng bộ thiết bị với 2 nhóm mỏ theo công suất (các mỏ có công suất dưới 200.000 m³/năm và các mỏ có công suất trên dưới 1 triệu m³/năm). Tuy nhiên, phạm vi của nghiên cứu này chỉ giới hạn cho các mỏ đá vôi xi măng kiểu đồi núi ở Miền Bắc mà chưa đưa ra được HTKT hợp lý cho các mỏ đá VLXD có điều kiện địa hình núi cao, dốc đứng, diện tích khai thác nhỏ hẹp trên toàn quốc.

Bảng 1. Phân loại HTKT các mỏ đá vôi của Lê Thị Thu Hoa [12].

Nhóm	Phương pháp khâu	Phương thức vận tải
1	Khâu theo lớp bằng	Vận tải trực tiếp bằng cơ giới Vận tải qua sườn núi (giếng, máng)
2	Khâu theo lớp đứng (không vận tải trên tầng)	Chuyển tải bằng năng lượng nổ mìn Chuyển tải bằng cơ giới
3	Khâu hỗn hợp	Phối hợp giữa hai nhóm 1 và 2

Trong nghiên cứu [13–16], tác giả đã chỉ ra những mặt hạn chế, chưa phù hợp của HTKT khâu theo lớp đứng, cắt tầng nhỏ, chuyển tải bằng năng lượng chất nổ. Qua đó, tác giả đề xuất phương pháp xác định các thông số làm việc của HTKT khâu theo lớp đứng, chuyển tải bằng năng lượng nổ mìn dưới sự hỗ trợ bởi phần mềm Rocfall. Tuy nhiên, nghiên cứu này mới chỉ tập trung xác định các thông số HTKT mỏ đá theo tiêu chí an toàn mà chưa đưa ra được HTKT hợp lý dựa trên việc đánh giá toàn diện các yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT cho mỏ đá VLXD.

Như vậy, có rất nhiều nghiên cứu khác nhau về HTKT mỏ đá VLXD trong và ngoài nước. Việc lựa chọn HTKT cho các mỏ đá VLXD vẫn chủ yếu dựa vào kinh nghiệm của người thiết kế, điều kiện địa hình, tài liệu địa chất thăm dò của mỏ. Như vậy, việc lựa chọn HTKT vẫn chưa phân tích cụ thể các chỉ tiêu kinh tế, mức đầu tư, quy mô khai thác, cũng như các vấn đề liên quan tới an toàn trong quá trình khai thác. Cũng như, chưa có công trình nghiên cứu nào đưa ra các tiêu chí cụ thể và đầy đủ để là cơ sở lựa chọn đúng HTKT nhằm đảm bảo an toàn và nâng cao hiệu quả khai thác cho các mỏ đá VLXD phức tạp ở nước ta hiện nay. Trước thực tế trên, nhóm tác giả đã tiến hành nghiên cứu lựa chọn HTKT hợp lý cho các mỏ đá VLXD dựa trên cơ sở phân tích, đánh giá đầy đủ các yếu tố: địa hình khu mỏ, điều kiện địa chất, sản lượng đá yêu cầu, đồng bộ thiết bị của mỏ, các yêu cầu về an toàn, ... Thông qua việc đánh giá các chỉ tiêu kinh tế-kỹ thuật của các phương án HTKT được đề xuất cho mỏ, nghiên cứu sẽ lựa chọn được HTKT hợp lý cho mỏ đảm bảo các tiêu chí về an toàn, đúng kỹ thuật và có hiệu quả kinh tế. Kết quả của nghiên cứu được áp dụng để lựa chọn HTKT hợp lý cho khu 2 mỏ đá vôi Lam Sơn.

2. Phương pháp nghiên cứu

Trong phần này, tác giả sẽ tiến hành đánh giá tổng quan các yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT cho các mỏ đá VLXD. Trên cơ sở phân tích điều kiện khai thác khu 2 mỏ đá Lam Sơn, nhóm nghiên cứu đề xuất các phương án HTKT có thể áp dụng theo điều kiện địa hình, địa chất khu mỏ, sản lượng mỏ yêu cầu, ... thông qua việc đánh giá bổ sung các chỉ tiêu kinh tế của các phương án HTKT có thể áp theo điều kiện kể trên, sẽ lựa chọn được HTKT hợp lý cho khu 2 mỏ đá vôi Lam Sơn đáp ứng được các tiêu chí đề ra và góp phần phát triển bền vững trong khai thác đá VLXD.

2.1. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả hệ thống khai thác

Sự thành công của một dự án khai thác mỏ đá VLXD là việc lựa chọn chính xác HTKT, việc lựa chọn sai sẽ dẫn đến hệ quả lớn trong quá trình khai thác như: thiếu an toàn, năng suất lao động kém, ảnh hưởng lâu dài tới toàn bộ thời gian của dự án. HTKT mỏ phụ thuộc các yếu tố như: điều kiện địa hình, độ cao và mực độ phức tạp của địa hình, vị trí của khu mỏ, chiều dày các lớp đá vôi, hệ thống nứt nẻ, góc cắm của thân khoáng, đồng bộ thiết bị mỏ, quy mô sản lượng, quy mô và mức độ đầu tư của chủ doanh nghiệp,....

2.1.1. Ảnh hưởng của địa hình tới việc lựa chọn HTKT

a. Ảnh hưởng của điều kiện địa hình đến lựa chọn hệ thống khai thác

Điều kiện địa hình khu mỏ là một yếu tố quan trọng hàng đầu ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT mỏ. Các mỏ đá VLXD ở nước ta có điều kiện địa hình khá đa dạng và có sự sai khác về độ chênh cao, độ dốc sườn núi, diện tích đỉnh núi, Điều kiện địa hình cụ thể là độ chênh cao của núi đá vôi, góc dốc, hình dạng và kích thước của mỏ đá vôi là yếu tố cơ bản nhất ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT. Đối với các mỏ đá VLXD dạng đồi núi, để tiến hành khai thác các mỏ này ta cần tiến hành khai thác theo các tầng, trình tự khai thác có thể theo từng mức khai thác (khai thác theo lớp bằng) hoặc có thể khai thác đồng thời trên nhiều mức (khẩu theo lối đứng). Do đó, để khai thác được ta cần đưa thiết bị như máy khoan, máy xúc, thiết bị vận tải lên vị trí khai thác. Độ chênh cao của mỏ, độ dốc của sườn núi ảnh hưởng đến việc làm đường đưa thiết bị lên tiến hành khai thác. Với các điều kiện địa hình cụ thể thì theo điều kiện kỹ thuật có thể áp dụng các HTKT tương ứng như sau:

Đối với các mỏ núi cao, địa hình dốc, diện tích hẹp: do chiều cao lớn rất khó đưa các thiết bị tiếp cận lên đỉnh núi để bặt ngọn. Do đó, HTKT phù hợp cho các mỏ dạng này là HTKT cắt tầng nhỏ đất đá sau nổ mìn được chuyển tải bằng năng lượng chất nổ hoặc HTKT khẩu theo lớp xiên-xúc chuyển (gạt chuyển) đá sau khi làm tơi bằng máy xúc, hay máy gạt.

Đối với các mỏ núi cao trung bình, địa hình dốc vừa, diện tích trung bình: căn cứ vào đặc điểm địa hình cụ thể thì HTKT có thể được sử dụng cho các mỏ này là HTKT hỗn hợp: Phần phía trên của mỏ đá lựa chọn HTKT cắt tầng nhỏ đất đá sau nổ mìn được chuyển tải bằng năng lượng chất nổ; HTKT khấu theo lớp xiên, xúc chuyển đất đá qua sườn núi; HTKT lớp bằng xúc chuyển; Phần phía dưới của núi đá thường áp dụng HTKT khấu theo lớp bằng, đá sau khi được làm to sẽ được vận chuyển trực tiếp từ gương khai thác tới vị trí chế biến bằng thiết bị vận tải.

Đối với các mỏ núi thấp, địa hình thoải, diện tích lớn: do điều kiện địa hình thuận lợi cho việc làm đường đưa thiết bị lên khai thác. Do đó, HTKT phù hợp cho các mỏ có điều kiện địa hình này là HTKT lớp bằng vận chuyển trực tiếp trên tầng..

b. Ảnh hưởng của điều kiện địa hình đến công tác mở mỏ

Để khai thác các mỏ đá VLXD dạng đồi núi tùy thuộc vào phương thức vận tải đá sau nổ mìn mà cần xây dựng tuyến đường vận tải trực tiếp hoặc đường thiết bị tiếp cận vị trí khai thác đầu tiên của mỏ. Các yếu tố địa hình mỏ đá ảnh hưởng rất lớn tới các thông số của tuyến đường vận tải trong mỏ cũng như khối lượng đất đá cần phải bóc, chi phí xây dựng cơ bản,.... Đường trên mỏ được đặc trưng bởi các thông số chính như: độ dốc không chế, chiều rộng, chiều dài, số lần đổi hướng, bán kính cong tối thiểu, đoạn dài chuyển tiếp, trắc ngang, Các thông số này chịu ảnh hưởng lớn bởi điều kiện địa hình khu mỏ như sau:

Độ dốc không chế của tuyến đường vận mỏ được xác định theo điều kiện công suất động cơ của ô tô và phải đảm bảo khối lượng vận chuyển qua hào chính, được tính theo biểu thức sau:

$$i_0 = \frac{270 \cdot N \cdot \eta}{K_b \cdot W_c \cdot L_a} - \omega_0 \tag{1}$$

Trong đó N là công suất động cơ, Kw; η là hiệu suất truyền động của động cơ (0,85÷0,90); K_b là hệ số bì của ô tô; W_c là khối lượng đất đá vận chuyển qua đường hào, t/ca; L_a là khoảng cách an toàn giữa các ô tô khi chuyển động, m; ω₀ là sức cản chuyển động cơ bản của ô tô.

Tuy nhiên, trong thực tế độ dốc không chế của tuyến đường vận tải trực tiếp bằng ô tô thường được lấy theo i₀ = 100‰, theo điều kiện an toàn thì i₀ = 60÷80‰. Việc lựa chọn giá trị độ dốc của tuyến đường phụ thuộc rất lớn vào điều kiện địa hình khu mỏ, phương thức vận chuyển và sự thay đổi giá trị này sẽ làm ảnh hưởng đến khối lượng công tác mở mỏ của một HTKT, chiều dài tuyến đường vận tải, cũng như chi phí khai thác của mỏ.

Mặt khác, địa hình khu mỏ (độ dốc của sườn núi) có ảnh hưởng rất lớn đến tiết diện cũng như chiều cao của tuyến đường vận tải. Chiều cao của hào bán hoàn chỉnh ở một vị trí bất kì của tuyến đường hào được xác định theo biểu thức:

$$H = \frac{b_0}{\text{Cot}\gamma - \text{Cot}\alpha_0}, \text{ m.} \tag{2}$$

Tiết diện của hào là:

$$S = \frac{0,5 \cdot b_0^2}{\text{Cot}\gamma - \text{Cot}\alpha_0}, \text{ m}^2. \tag{3}$$

Khối lượng hào chuẩn bị dạng bán hoàn chỉnh đào theo sườn núi được tính theo biểu thức sau:

$$S = \frac{L \cdot b^2}{2(\text{Cot}\gamma - \text{Cot}\alpha_0)}, \text{ m}^3. \tag{4}$$

Trong đó b₀ là chiều rộng tuyến đường hào, m; α₀ là góc nghiêng sườn hào, độ; γ là góc nghiêng sườn núi, độ.

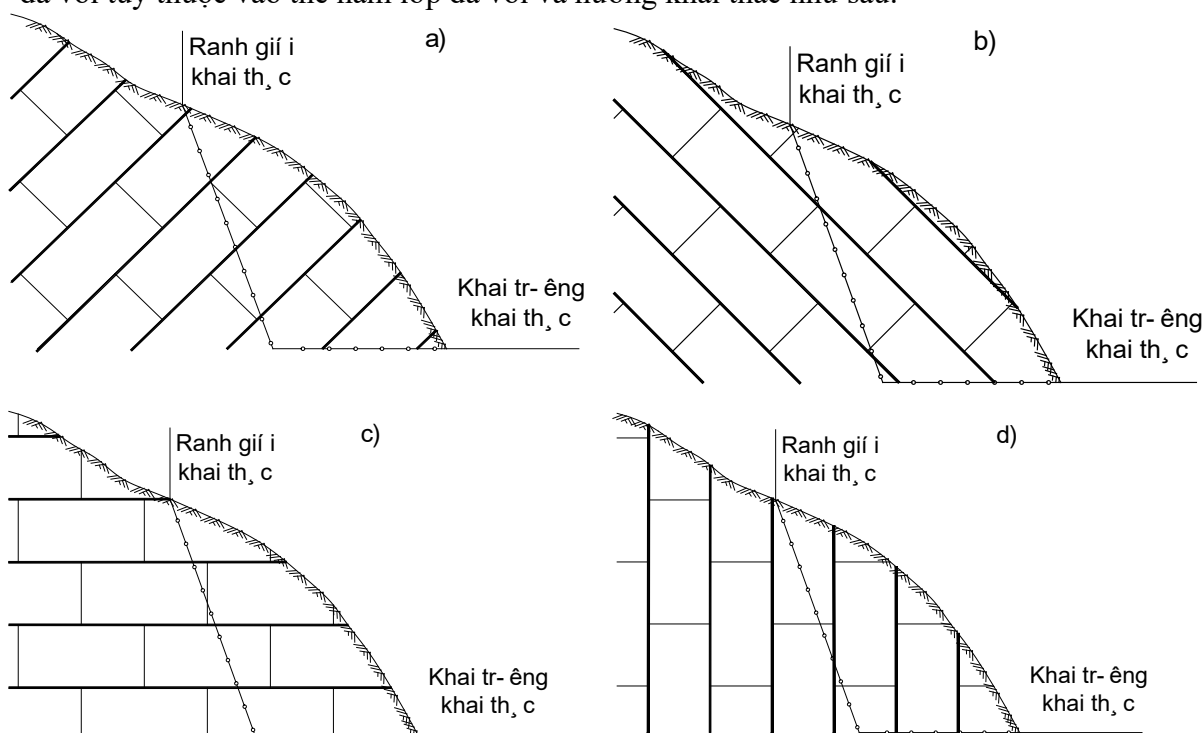
Theo biểu thức (2), (3), (4) thì chiều cao, tiết diện ngang, khối lượng đào của tuyến đường vận tải phụ vào điều kiện địa hình mà cụ thể hơn là góc nghiêng sườn núi.

Như vậy, điều kiện địa hình khu mỏ sẽ có ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT áp dụng cho mỏ, chi phí mở mỏ cũng như chi phí khai thác của các phương án HTKT.

2.1.2. Ảnh hưởng của địa chất tới hiệu quả áp dụng HTKT lộ thiên

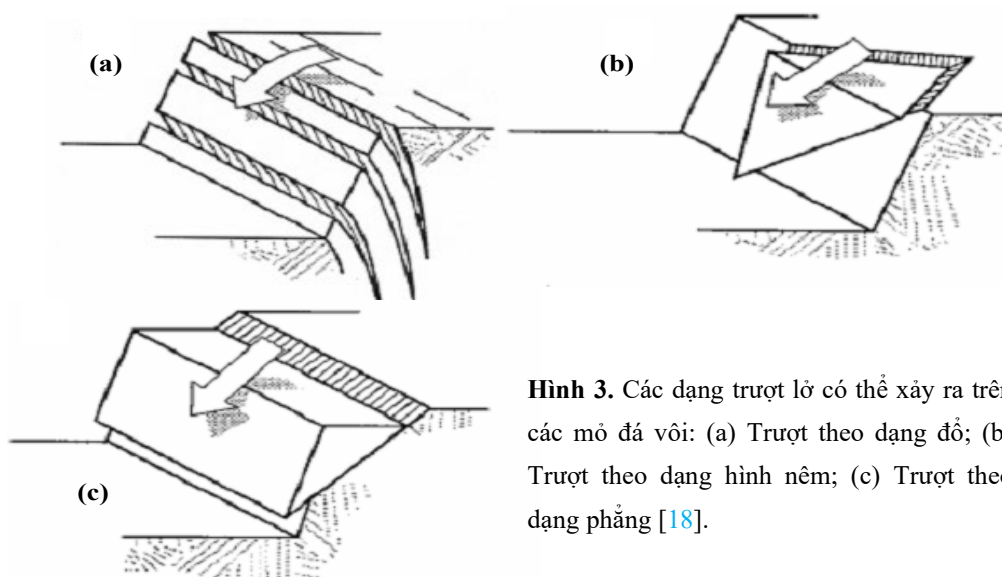
Các mỏ phân bố không tập trung mà phân tán theo từng khu vực trong khu vực địa hình có đồi núi cao, sườn dốc đứng, phân cắt phức tạp. Trong đá vôi tồn tại nhiều hang hốc Karst, khe nứt thường cắm vuông góc với mặt phân lớp, tồn tại nhiều đứt gãy; Đá vôi thường phân lớp mỏng, dày trung bình có góc cắm từ 20–50°;

Tùy vào điều kiện thể nằm của các lớp đá vôi, độ bền cắt của các mặt phân lớp, hướng khai thác thì có thể xảy ra trượt theo mặt phân lớp. Hình 2 đưa ra một số dạng mỏ của các mỏ đá vôi tùy thuộc vào thể nằm lớp đá vôi và hướng khai thác như sau:



Hình 2. Một số dạng mỏ của các mỏ đá khu vực Bắc Trung Bộ: (a) dạng mỏ với cấu trúc các lớp đá vôi cắm nghiêng sâu vào phía núi; (b) dạng mỏ với cấu trúc các lớp đá vôi cắm nghiêng về phía khai trường; (c) dạng mỏ với cấu trúc các lớp đá vôi phân lớp nằm ngang; (d) dạng mỏ với cấu trúc các lớp đá vôi phân lớp thẳng đứng [17].

Qua đây thấy rằng dạng mỏ hình 2a với cấu trúc các lớp đá cắm nghiêng sâu vào núi. Việc mất ổn định của mỏ dạng này không phụ thuộc vào mặt phân lớp mà phụ thuộc chủ yếu vào góc cắm của lớp đá vôi. Nếu các lớp đá vôi cắm dốc quá có thể xảy ra trượt theo dạng đồ (hình 3a). Ta thấy rằng dạng mỏ hình 3b là dạng mỏ với cấu trúc các lớp đá cắm về phía khai trường. Đối với dạng mỏ này thì việc mất ổn định xảy ra chủ yếu theo mặt phân lớp và trượt có thể xảy ra khi mà góc nghiêng của mặt phân lớp nhỏ hơn góc nghiêng của góc bờ công tác. Các dạng trượt có thể xảy ra là trượt dạng nêm (hình 3b) và trượt dạng phẳng (hình 3c). Còn đối với dạng mỏ hình 2c và hình 2d với các lớp đá phân lớp nằm ngang và phân lớp thẳng đứng. Mặt phân lớp không ảnh hưởng gì đến việc mất ổn định.



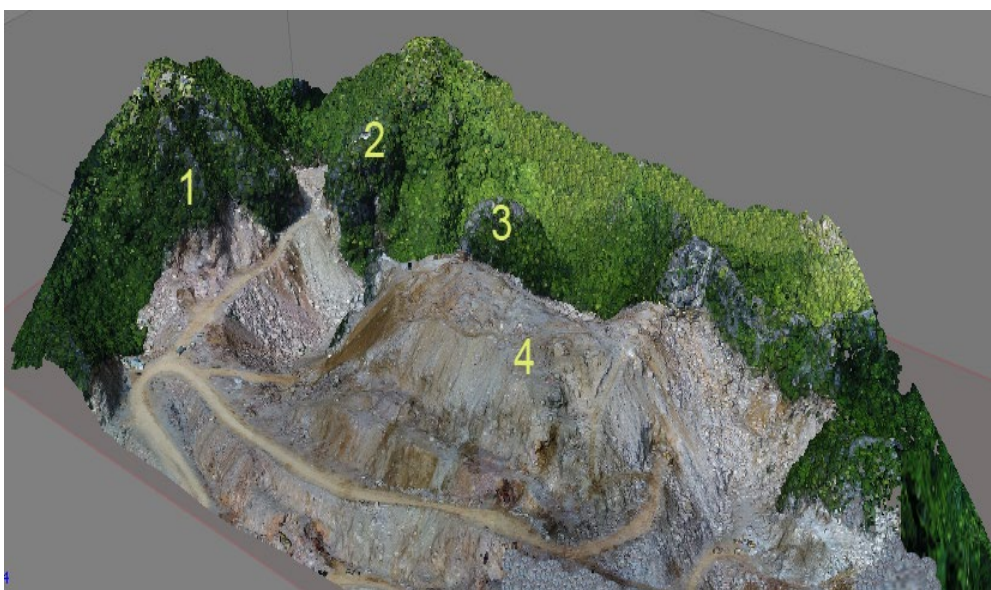
Hình 3. Các dạng trượt lở có thể xảy ra trên các mỏ đá vôi: (a) Trượt theo dạng dốc; (b) Trượt theo dạng hình nêm; (c) Trượt theo dạng phẳng [18].

Do đó với thể nằm của các lớp đất đá ảnh hưởng đến việc lựa chọn vị trí khai thác, trình tự khai thác trên mỏ. Khi mặt phân lớp của đá vôi cắm dốc đứng vào khai trường với góc nghiêng của mặt phân lớp dao động trong khoảng 500, còn góc nghiêng sườn tầng từ 700–750. Khi đó các lớp đá vôi bị cắt chân nên rất nguy hiểm xảy ra trượt theo mặt phân lớp gây nguy hiểm cho người và thiết làm việc trên tầng và dưới chân tuyến. Lúc này, cần lựa chọn hướng khai thác của các gương tầng nên khâu đuổi theo các phân lớp đá vôi, qua đó góp phần khắc phục tình trạng các lớp đá vôi trượt vào phía khai trường và đất đá nổ ra mức độ đập vỡ kém. Tiến hành khai thác theo một số lớp (theo trình tự lớp ngoài khâu trước, lớp trong khâu sau) và phát triển dọc theo đường phương của lớp sao cho khi một lần khâu đủ chiều rộng để bố trí một hàng mìn hợp lý.

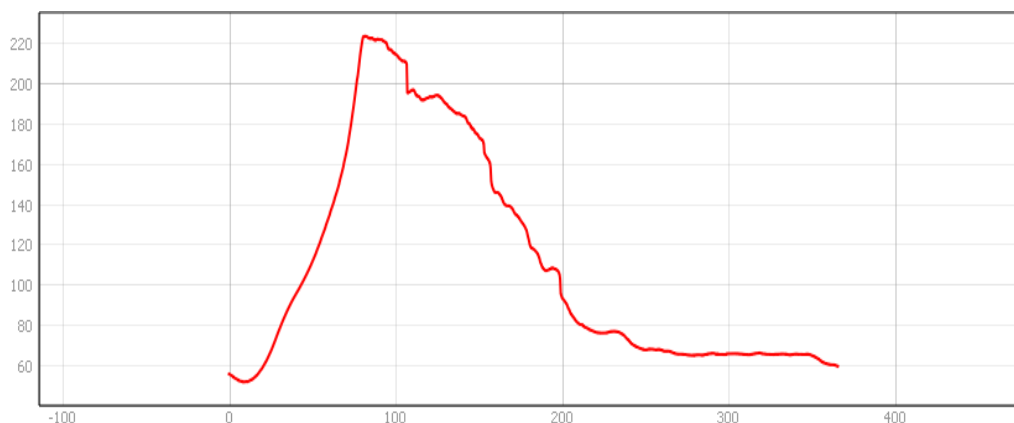
2.2. Nghiên cứu lựa chọn hệ thống khai thác hợp lý cho khu 2 mỏ đá vôi Lam Sơn

2.2.1. Đặc điểm địa hình, địa chất khu vực nghiên cứu [19]

Khu vực nghiên cứu là khu 2 mỏ vôi Lam Sơn có diện tích 6,9 ha thuộc xã Hà Vinh, huyện Hà Trung, tỉnh Thanh Hóa, được xác định trên Hình 4.



Hình 4. Mô hình 3D của khu 2 mỏ đá vôi Lam Sơn đo vẽ bằng UAV.



Hình 5. Mặt cắt đặt trung khu 2 mỏ đá Lam Sơn.

Khu 2 nằm về phía Bắc khu mỏ đá vôi Lam Sơn có địa hình tương đối phức tạp thấp nhất là +25 m và cao nhất là +200 m, diện tích khoảng 6,9 ha. Chiều dài khu mỏ là 283 m, chiều rộng khu mỏ là 278 m. Độ dốc từ đỉnh mức xuống thể hiện Hình 6.

Dạng địa hình chính tại khu vực này là địa hình núi đá lởm chởm, bao gồm những đỉnh núi cao, nhọn, sườn dốc xếp liên tiếp nhau kéo dài theo hướng Tây Bắc–Đông Nam, xen giữa các đỉnh núi là các khe hẻm và phếu karst. Các đỉnh núi nhọn, sườn dốc xếp sát bên nhau tạo ra một dạng địa hình đặc biệt hiểm trở.

Khu vực nghiên cứu bao gồm các thành tạo địa chất có nguồn gốc, thành phần và phân bố từ trên xuống như sau:

- Cát, bột, sét thuộc hệ đệ tứ (Q) phân bố ở các thung lũng nhỏ giữa núi, khu vực có địa hình trung thuộc trung tâm khu thăm dò và ở ven các chân núi đá, chiều dày thay đổi từ 1,0 đến 5,0m. Đất có màu xám nâu, xám đen. Trạng thái đất bờ rời, khi gặp nước dễ sụt lún và trượt lở.

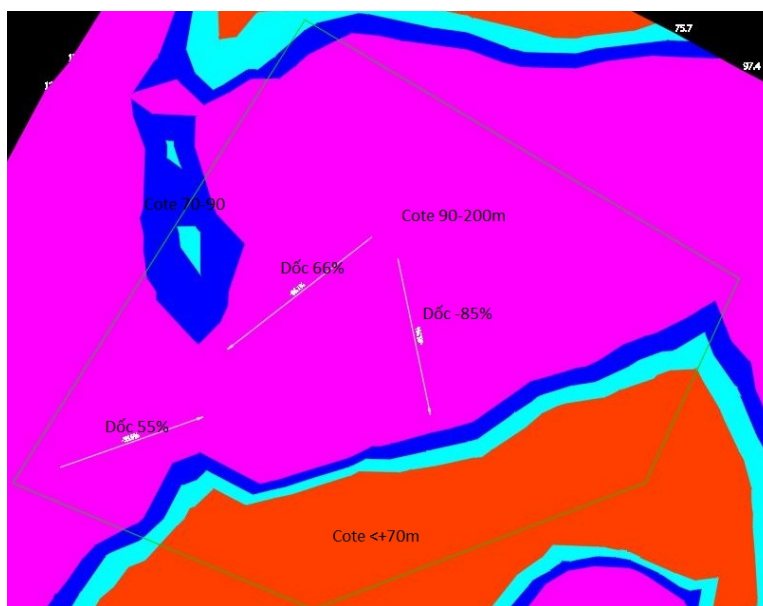
- Đá vôi thuộc hệ tầng Đồng Giao (T2ađg) phân bố trên phần lớn diện tích thăm dò. Đá có cấu tạo phân lớp dày đến dạng khối, thể nằm đơn nghiêng, thể nằm thay đổi $210^{\circ} \div 220^{\circ} \angle 45^{\circ} \div 70^{\circ}$ chúng tạo thành dải núi cao trung bình. Trạng thái của đá khá rắn chắc, bị nứt nẻ mạnh, ít có hang hốc Karst, nhưng vẫn dễ bị sụt lở theo mặt lớp trong quá trình khai thác sau này.

Mặc dù trong quá trình thăm dò không phát hiện được hiện tượng trượt lở nào đáng kể, song qua quy mô phân bố và đặc điểm địa chất nêu trên cho thấy hiện tượng sụt có thể xảy ra trong quá trình khai thác sau này. Do tác động của hoạt động nổ mìn khai thác gây nứt nẻ đất đá, cùng ảnh hưởng của trọng lực và nước mưa làm giảm mức độ liên kết của đất đá gây ra hiện tượng trượt lở bờ moong khai thác, hay có hiện tượng tăng lún cục bộ, để khắc phục vấn đề này khi khai thác góc dốc bờ moong phải nhỏ hơn giới hạn cho phép.

2.2.2. Nghiên cứu áp dụng hệ thống khai thác cho khu 2 mỏ đá vôi Lam Sơn

2.2.2.1. Phương án hệ thống khai thác

Khu 2 mỏ đá vôi Lam Sơn cách 450 m vào đến khu vực nghiên cứu, đầu đường kết nối với khu vực nghiên cứu là +32 m tại vị trí cách cụm nghiên cứu là 30 m, địa hình chênh cao đến khu vực đỉnh cao nhất là +200 m, địa hình tương đối dốc từ mức +80 m đến +200 m là từ 66–85% (Hình 5). Do đó không thể đi chiều dài, độ dốc để bố trí tuyến đường vận tải đến mức cao được. Khu 2 được giao khai thác đạt sản lượng khoảng 1 triệu tấn/năm. Do vậy, mô lựa chọn HTKT hỗn hợp gồm HTKT khâu theo lớp bằng vận tải trực tiếp phân dưới và HTKT khâu theo lớp bằng, xúc (gạt) chuyển phân trên. Trên cơ sở nghiên cứu địa hình khu mỏ, khả năng áp dụng của HTKT với khả năng công suất của mỏ, đề xuất hai mức áp dụng chuyển đổi HTKT.



Hình 6. Mô hình phân tích độ dốc, cao độ khu 2.

- Phương án 1: Sử dụng HTKT khấu theo lớp bằng xúc (gạt) chuyển từ mức +170 m đến mức +100 m và HTKT khấu theo lớp bằng vận tải trực tiếp từ mức +100 m đến mức kết thúc khai thác +80 m.

- Phương án 2: Sử dụng HTKT khấu theo lớp bằng xúc (gạt) chuyển từ mức +170 m đến mức +120 m và HTKT khấu theo lớp bằng vận tải trực tiếp từ mức +120 m đến mức kết thúc khai thác +80 m.

2.2.2.2. Trình tự khai thác hai phương án HTKT hỗn hợp

Trình tự khai thác của 02 phương án HTKT cho khu 2 mỏ đá Lam Sơn được thể hiện tại Bảng 2.

Bảng 2. Trình tự khai thác của hai phương án HTKT cho khu 2 mỏ đá Lam Sơn.

Trình tự khai thác theo HTKT hỗn hợp phương án 1	Trình tự khai thác theo HTKT hỗn hợp phương án 2
Sau khi hoàn thành công tác xây dựng cơ bản, quá trình khai thác chia làm 2 giai đoạn: – Giai đoạn 1: Áp dụng HTKT khấu theo lớp bằng, xúc (gạt) chuyển, đá vôi được nổ mìn trên tầng, được máy xúc (máy gạt) xúc chuyển đổ xuống bãi xúc +100m. Ở đây máy xúc sẽ tiến hành xúc lên phương tiện vận tải vận chuyển về khu nghiền đập. – Giai đoạn 2: Sau khi khai thác đến mức +100, mở áp dụng hoàn toàn HTKT khấu theo lớp bằng vận tải trực tiếp. Sau khi đá vôi được phá vỡ, được xúc lên phương tiện vận tải và trở về khu nghiền đập.	Sau khi hoàn thành công tác xây dựng cơ bản, quá trình khai thác chia làm 2 giai đoạn: – Giai đoạn 1: Áp dụng HTKT khấu theo lớp bằng, xúc (gạt) chuyển, đá vôi được nổ mìn trên tầng, được máy xúc (máy gạt) xúc chuyển đổ xuống bãi xúc +120m. Ở đây máy xúc sẽ tiến hành xúc lên phương tiện vận tải vận chuyển về khu nghiền đập. – Giai đoạn 2: Sau khi khai thác đến mức +120m, mở áp dụng hoàn toàn HTKT khấu theo lớp bằng vận tải trực tiếp. Sau khi đá vôi được phá vỡ, được xúc lên phương tiện vận tải và trở về khu nghiền đập.

Để Đánh giá và lựa chọn phương án khai thác hợp lý, tác giả đã tiến hành tính toán và đánh giá hiệu quả kinh tế các phương án HTKT theo các chỉ tiêu kinh tế như tổng mức đầu tư, giá thành khai thác, lợi nhuận, giá trị hiện tại thuần, thời gian hoàn vốn,... Đây là cơ sở quan trọng trong việc lựa chọn HTKT hợp lý cho mỏ. Hiệu quả kinh tế của HTKT khai thác hỗn hợp theo phương án 1 và 2 được xác định trong bảng tổng hợp kinh tế Bảng 3.

Bảng 3. Bảng tổng hợp kinh tế kỹ thuật phương án.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Phương án 1	Phương án 2
Tổng sản lượng đá vôi nguyên khai	103 tấn	4.700	4.700
Tổng mức đầu tư	103 đồng	76.904.811	79.460.534
Tổng doanh thu	106 đồng	459.399	459.399
Tổng chi phí SX-KD	106 đồng	432.580	429.634
Giá đá vôi	đ/m ³	260.000	260.000
Giá thành bình quân	đ/m ³	244.822	243.154
Lợi nhuận trước thuế	106 đồng	26.819	29.766
Lợi nhuận ròng (Pn)	106 đồng	17.294	19.814
Giá trị hiện tại thuần (NPV)	106 đồng	1.917	2.792
Tỷ suất hoàn vốn nội bộ (IRR)	%	15,8%	16,4%
Lãi vay ngân hàng	%/năm	6%	6%
Thời hạn hoàn vốn (T)	năm	1,51	1,46

Qua đánh giá về kỹ thuật chọn được 2 phương án phù hợp với HTKT hỗn hợp phù hợp với điều kiện địa hình, công suất mỏ. Qua đánh giá về kỹ thuật nhận thấy phương án 2 là phương án đem lại hiệu quả hơn qua một loạt chỉ số. Mặc dù vốn đầu tư nhiều hơn 2,5 tỷ đồng, nhưng chi phí khai thác thấp hơn, dẫn tới lợi nhuận ròng nhiều hơn 2,5 tỷ đồng và thời gian thu hồi vốn nhanh hơn 6 tháng.

3. Kết quả và thảo luận

Sự thành công của một dự án khai thác mỏ đá VLXD là việc lựa chọn chính xác HTKT, việc lựa chọn sai sẽ dẫn đến hệ quả lớn trong quá trình khai thác như: thiếu an toàn, năng suất lao động kém, ảnh hưởng lâu dài tới toàn bộ thời gian của dự án. Hiện nay có rất nhiều HTKT khác nhau đã được nghiên cứu trong và ngoài nước có thể áp dụng cho các mỏ đá VLXD ở nước ta hiện nay. Tuy nhiên, chưa có một công trình nghiên cứu nào đưa ra các tiêu chí cụ thể và đầy đủ để là cơ sở lựa chọn đúng hệ thống khai thác nhằm đảm bảo an toàn và nâng cao hiệu quả khai thác cho các mỏ đá có điều kiện địa hình núi cao, dốc đứng, diện khai thác nhỏ hẹp.

Nghiên cứu đã phân tích đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT cho các mỏ đá núi cao, địa hình phức tạp như các điều kiện địa hình, các điều kiện địa chất của mỏ, các yêu cầu về an toàn-môi trường trong quá trình khai thác, các yêu cầu về sản lượng mỏ, mức đầu tư của doanh nghiệp mỏ... Qua đó đưa ra cách tính chọn HTKT có khả năng áp dụng dựa trên địa hình, công suất và hiệu quả kinh tế đem lại khi áp dụng các HTKT.

Trên cơ sở phân tích toàn diện các yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT cho khu 2 mỏ đá Lam Sơn như: điều kiện địa hình, điều kiện địa chất, góc dốc sườn núi, yêu cầu về sản lượng, tỷ suất đầu tư, ... nghiên cứu đã đề xuất 02 phương án HTKT có thể áp dụng cho mỏ, thông qua việc đánh giá các chỉ tiêu kinh tế-kỹ thuật của 02 phương án đề xuất, nhóm nghiên cứu đã lựa chọn được HTKT hợp lý cho mỏ đảm bảo hài hòa giữa các tiêu chí về an toàn-môi trường, đúng kỹ thuật, có hiệu quả kinh tế và phù hợp với thực tế sản xuất là phương án mỏ sử dụng HTKT khấu theo lớp bằng xúc (gạt) chuyên từ mức +170 m đến mức +120 m và HTKT khấu theo lớp bằng vận tải trực tiếp từ mức +120 m đến mức kết thúc khai thác +80 m là phương án đem lại hiệu quả hơn cho khu 2 mỏ đá Lam Sơn qua một loạt chỉ số. Mặc dù vốn đầu tư nhiều hơn 2,5 tỷ đồng, nhưng chi phí khai thác thấp hơn, dẫn tới lợi nhuận ròng nhiều hơn 2,5 tỷ đồng và thời gian thu hồi vốn nhanh hơn 6 tháng.

Phát triển bền vững ngành công nghiệp khai thác đá VLXD là tất yếu trong bối cảnh suy thoái môi trường như hiện nay, việc lựa chọn HTKT cho mỏ đá VLXD cần hướng tới đảm bảo hài hòa các mục tiêu phát triển bền vững về kinh tế-xã hội-môi trường. Tuy nhiên, việc

lựa chọn HTKT cho các mỏ đá VLXD ở nước ta hiện nay vẫn chủ yếu dựa vào kinh nghiệm của đơn vị thiết kế, điều kiện địa hình, tài liệu địa chất, mức độ đầu tư, yêu cầu về sản lượng mỏ, ... mà chưa đánh giá toàn diện là cơ sở lựa chọn đúng HTKT nhằm đảm bảo an toàn và nâng cao hiệu quả khai thác cho các mỏ đá có điều kiện địa hình núi cao, dốc đứng, diện khai thác nhỏ hẹp.

4. Kết luận

Một trong những nhiệm vụ quan trọng khai thác mỏ đá VLXD là lựa chọn HTKT phù hợp vì việc không chú ý đến vấn đề này có thể phát sinh nhiều vấn đề trong quá trình khai thác, dẫn đến các khoản phí phát sinh cho chủ mỏ hoặc có thể là nguyên nhân mất an toàn cho người lao động, giảm năng suất lao động, ảnh hưởng lâu dài tới toàn bộ thời gian tồn tại của mỏ. Do đó, việc lựa chọn HTKT mỏ đá VLXD được coi là một quyết định chiến lược về mặt kinh tế, kỹ thuật và an toàn vì lựa chọn phù hợp sẽ mang lại nhiều lợi nhuận hơn và ngược lại. Để lựa chọn được HTKT hợp lý cho mỏ cần dựa trên các đặc điểm của mỏ và thỏa mãn mục tiêu phát triển bền vững ngành công nghiệp khai thác. Do sự phức tạp về hình học và địa chất của các mỏ đá vôi, nên không thể sử dụng một phương pháp lựa chọn duy nhất cho tất cả các loại hình mỏ đá vôi, vì vậy trong mỗi điều kiện cụ thể của mỏ cần linh hoạt và phân tích đầy đủ các tiêu chí lựa chọn HTKT để đưa ra phương án tối ưu nhất cho mỏ.

Tuy nhiên, trong nghiên cứu này chưa giải quyết được bài toán là xây dựng bộ tiêu chí, các yếu tố ảnh hưởng đến phương án hệ thống khai thác mỏ đá VLXD cũng như chưa đánh giá, so sánh được mức độ quan trọng của từng tiêu chí. Việc lựa chọn phương án HTKT cho các mỏ đá vôi bằng phương pháp đánh giá đa tiêu chí kết hợp với phương pháp phân tích thứ bậc sẽ là hướng nghiên cứu mới trong tương lai.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Đại học Mỏ-Địa chất, mã số T22-38.

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. Báo cáo điều chỉnh, bổ sung quy hoạch, thăm dò, khai thác, chế biến đá làm vật liệu xây dựng thông thường tỉnh Thanh Hóa đến năm 2020 do Sở Xây Dựng Thanh Hóa lập.
2. Báo cáo hoạt động khoáng sản (2013–2019). Tổng Cục địa chất và Khoáng sản Việt Nam.
3. Арсентьев, А.И. Разработка месторождений твёрдых полезных ископаемых открытым способом// СПб.: РИЦ СПГГИ, 2010, pp. 117.
4. Баженов, Ю.М. Проектирование предприятий по производству строительных материалов и изделий // Учебник. М.: Издательство АСВ, 2005, pp. 472.
5. Лигоцкий, Д.Н. Организация проектирования и строительства рудных и угольных карьеров: Учебное пособие/ Д.Н. Лигоцкий, С.И. Фомин// СПГГИ (ТУ) им. Г.В. Плеханова, 2010, pp. 86.
6. Фомин, С.И. Производительность карьеров и спрос на минеральное сырьё// СПГГИ (ТУ), 1999, pp. 169.
7. Фомин, С.И. Производительность карьеров и спрос на минеральное сырьё// СПб.: Изд-во Тема, 1999, pp. 167.

8. Ржевский, В.В. Открытые горные работы. Производственные процессы: Учебник для вузов/ В.В. Ржевский// М.: Недра, Часть 1985, 1, pp. 509.
9. Ржевский, В.В. Открытые горные работы. Технология и комплексная механизация: Учебник для вузов/ В.В. Ржевский// М.: Недра, Часть 1985, 2, pp.549.
10. Giao, H.S. Kỹ Thuật khai thác đá vôi, Nhà xuất bản công nhân kỹ thuật, 1981.
11. Tuân, N.T. Nghiên cứu chọn phương pháp khai thác hợp lý cho khoáng sàng đá vôi Việt Nam có địa hình dạng núi cao. Luận án phó tiến sĩ khoa học, Trường Đại học Mỏ-Địa chất, 1985.
12. Hoa, L.T.T. Phân tích đánh giá công nghệ khai thác đá vôi ở các mỏ đá phía Bắc Việt Nam, Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Mỏ – Địa chất, 1998.
13. Bão, T.Đ. Hoàn thiện các thông số của hệ thống khai thác khâu theo lớp đứng chuyển tải bằng năng lượng chất nổ ở những mỏ vật liệu xây dựng dạng địa hình núi cao. Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Mỏ – Địa chất, 2013.
14. Vu, T.; Bao, T.D.; Drebenstedt, C.; Hien, P.; Hoai, N.; Duc, N. Optimisation of long-term quarry production scheduling under geological uncertainty to supply raw materials to a cement plant. Trans. Inst. Min. Metall., Sect. A: Min. Technol. 2021.
15. ЧАН ДИНЬ БАО. Обоснование параметров технологических схем открытой разработки сложноструктурных месторождений цементного сырья Вьетнама, Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Санкт-Петербургский горный университет, 2019.
16. Igorevich, F.S.; Bao, T.D.; Hoan, D.N. Определение параметров берм безопасности для горнотехнических условий карьеров Вьетнама. Горный информационно-аналитический бюллетень, 2019.
17. Tuấn, N.A.; Việt, P.V.; Minh, L.Đ. Đề xuất mô hình khai thác hợp lý cho các mỏ đá vôi tỉnh Bắc Kạn. Tạp chí Công nghiệp Mỏ 2010, 4, 24–27.
18. Tuấn, N.A.; Hiếu, V.Đ. Kích thước hình học các khối đá và nguy cơ mất ổn định bờ mỏ và sườn dốc. Tạp chí Công nghiệp Mỏ 2016, 2, 53–58.
19. Báo cáo thăm dò đá vôi làm nguyên liệu sản xuất xi măng đến cốt +10m tại xã Hà Vinh, huyện Hà Trung, tỉnh Thanh Hóa do Công ty CP Khảo sát và Xây dựng lập tháng 7 năm 2015.

Research on selection of reasonable mining system for the zone II at Lam Son limestone quarry

Tran Dinh Bao^{1*}, Pham Van Viet¹, Vu Dinh Trong², Hoang Dinh Nam¹

¹ Hanoi University of Mining and Geology; trandinhbao@humg.edu.vn; phamvanviet@humg.edu.vn; 2021040137@student.humg.edu.vn

² Quang Ninh University of Industry; trongvu.sme@gmail.com

Abstract: Selection of a reasonable mining system is one of the most important problems in raw materials quarries. Wrong selection can cause many serious issues such as cost increase, unsafety, labour efficiency reduction, lowering quarry life, or eventually changing quarry mining design. This research analyzes completely the influencing factors on mining system including terrain, geological conditions, hill slope, production requirements, investment capital to propose two possible mining systems. Also, the economic and technical comparisons between those two mining systems have been done in detail to select the optimal one. The chosen method for the Zone II of Lam Son quarry is proven to be more efficient with lower mining cost, more 2,5 billion VND of profit and a faster time of capital recovery, etc.

Keywords: Lam Son; Mining system; Limestone quarry; Complex terrain; Labour safety; Economical efficiency.

Bài báo khoa học

Vai trò của hồ Tonle Sap trong việc cung cấp nước vào vùng Đồng bằng sông Cửu Long trong mùa cạn

Hoàng Minh Tuyên¹, Trần Đức Thiện^{2*}, Nguyễn Quang Chiến², Nguyễn Ngọc Hoa³

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

² Viện khoa học tài nguyên nước; thientd810@wru.vn; quangchien29@gmail.com

³ Trung tâm dự báo khí tượng thủy văn quốc gia; ngochoa50v@gmail.com

*Tác giả liên hệ: thientd810@wru.vn; Tel.: +84–389961328

Ban Biên tập nhận bài: 5/9/2022; Ngày phản biện xong: 22/10/2022; Ngày đăng bài: 25/10/2022

Tóm tắt: Hiện tượng hạn hán, thiếu nước trong mùa cạn của vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đang ngày càng trở lên nghiêm trọng với tần suất xảy ra liên tiếp và mức độ gây thiệt hại đến kinh tế xã hội trầm trọng hơn. Do đặc điểm nguồn nước mặt của vùng ĐBSCL phụ thuộc phần lớn vào nguồn nước từ ngoài lãnh thổ, vì vậy cần phải có những nghiên cứu phân tích các thành phần tạo nên dòng chảy mùa cạn vào vùng ĐBSCL. Nghiên cứu này sẽ đánh giá vai trò của hồ Tonle Sap đến dòng chảy mùa cạn vào vùng ĐBSCL bằng phương pháp thống kê và sử dụng mô hình MIKE11HD. Kết quả cho thấy vào cuối tháng 10, dòng chảy từ hồ Tonle Sap sẽ bắt đầu chảy về hạ lưu trong khoảng thời gian khoảng 180 ngày với tổng lượng nước từ tháng XI đến tháng IV khoảng 40 tỉ m³. Trung bình từ tháng XI đến tháng IV, hồ Tonle Sap đóng góp khoảng 36% dòng chảy cho hạ lưu. Tháng 12 có tỉ lệ đóng góp dòng chảy cho hạ lưu lớn nhất, còn cao hơn cả dòng chính. Đến cuối mùa cạn, hồ chỉ đóng góp cho hạ lưu khoảng 15% đến 16% trong tổng lượng nước vào Việt Nam. Nhờ có hồ Tonle Sap mà lưu lượng trên sông Tiền và sông Hậu trong các năm hạn điển hình tăng lên khoảng 15% đến 30%, góp phần đầy đặn cho vùng ĐBSCL.

Từ khóa: Mê Công; Hồ Tonle Sap; Vai trò mùa cạn; Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL).

1. Mở đầu

Dòng chảy mùa cạn vào vùng ĐBSCL được đóng góp bởi hai thành phần chính gồm dòng chính sông Mê Công và hồ Tonle Sap. Tuy nhiên, những năm gần đây do một số nguyên nhân như tác động của các hiện tượng thời tiết cực đoan, sự phát triển của hệ thống hồ chứa thủy điện khu vực thượng và trung lưu của lưu vực sông Mê Công và việc khai thác, sử dụng nước của các quốc gia thượng nguồn, dẫn đến dòng chính sông Mê Công trong mùa cạn ngày càng có xu thế cạn kiệt hơn so với trước đây. Hệ quả là vùng ĐBSCL đang thường xuyên phải đối mặt với tình trạng hạn hán, thiếu nước trên diện rộng xảy ra trong mùa cạn như các năm 2015–2016 và 2019–2020 do sự biến đổi và suy giảm dòng chảy mùa cạn ở dòng chính sông Mê Công, mà vai trò đóng góp dòng chảy của hồ Tonle Sap càng trở lên quan trọng hơn. Vì vậy cần có những đánh giá cụ thể về khả năng đóng góp dòng chảy của hồ Tonle Sap vào vùng ĐBSCL trong mùa cạn.

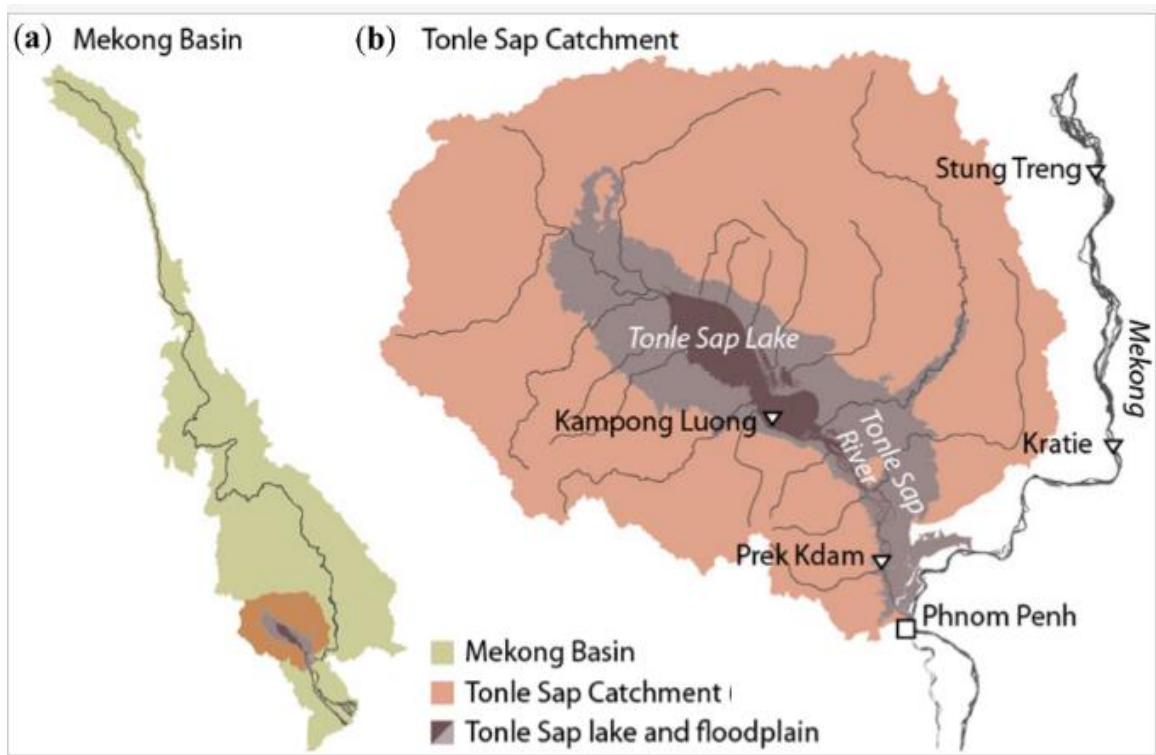
Các nghiên cứu về hồ Tonle Sap đã chỉ ra các đặc điểm của hồ như: trong mùa khô nước trong hồ sẽ đổ về hạ lưu, nhưng trong mùa mưa nước từ sông Mê Công sẽ chảy ngược vào hồ [1–8]; mực nước của hồ Tonle Sap và dòng chính sông Mê Công có quan hệ chặt chẽ với nhau [3, 7], trong mùa khô khi không được cấp nước từ dòng chính, mực nước hồ Tonle Sap sẽ giảm dần [5, 9], ngược lại trong mùa mưa hồ Tonle Sap sẽ đóng vai trò tích trữ nước lũ

giúp phần giảm thiểu lũ lụt cho khu vực hạ du của sông Mê Công [6, 8]; hệ thống các hồ chứa đang làm thay đổi chế độ dòng chảy trên sông Mê Công, điển hình như nghiên cứu tác động của 11 đập thủy điện trên sông Lan Thương đã và đang làm giảm lưu lượng cả mùa khô lẫn mùa mưa ở hạ lưu của lưu vực [10], hay hệ thống thủy điện dòng nhánh sông Sesan, Srepok cũng đang làm gia tăng dòng chảy tối thiểu hạ du và làm giảm lũ cho hạ du [11–12]; các quốc gia trên sông Mê Công đang lấy nước ngày càng nhiều hơn nhằm phục vụ cho các mục đích phát triển kinh tế xã hội, như Cam Pu Chia đã nâng cấp hệ thống tưới tiêu cũ và xây dựng mới hệ thống kênh và hồ chứa bởi sự tài trợ của Trung Quốc, Nhật bản, Ngân hàng thế giới và Ngân hàng phát triển Châu Á (ADB) [13], ước tính hệ thống này sẽ lấy đi khoảng 31% lượng nước mùa khô khu vực hạ lưu sông Mê Công và hạ lưu hồ Tonle Sap [14]. Tuy nhiên các nghiên cứu nước ngoài chỉ mới đánh giá đến đặc điểm của hồ Tonle Sap mà chưa đề cập đến vai trò cung cấp nước của hồ Tonle Sap đến vùng ĐBSCL. Một số nghiên cứu ở Việt Nam trước đây chỉ tập trung nghiên cứu các tác động dòng chảy mùa lũ của hồ Tonle Sap đến Việt Nam [1, 8], sau khi vùng ĐBSCL xảy ra hạn hán lịch sử năm 2015–2016 thì đã có một số các nghiên cứu liên quan phân tích dòng chảy mùa cạn của hồ Tonle Sap vào Việt Nam [16–17], tuy nhiên mới chỉ dừng lại ở việc xác định lượng nước tại hồ Tonle Sap mà chưa xét đến khả năng đóng góp nước của hồ vào vùng ĐBSCL trong mùa cạn. Bài báo này sẽ sử dụng phương pháp phân tích thống kê và mô hình MIKE11HD để đánh giá vai trò của hồ Tonle Sap đến dòng chảy mùa cạn vùng ĐBSCL.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Hồ Tonle Sap có lưu vực chủ yếu nằm ở Cam Pu Chia, phần diện tích ở Thái Lan chiếm 5% diện tích lưu vực. Với 11 nhánh chính chảy trực tiếp vào hồ cung cấp một nguồn nước quan trọng khác. Tổng diện tích lưu vực hồ Tonle Sap là 85.790 km², xấp xỉ 11% tổng diện tích toàn lưu vực. Vùng mặt hồ ngập vĩnh viễn trong mùa khô có diện tích khoảng 2400 km². Diện tích vùng ngập lũ quanh hồ tối đa trung bình là 10.800 km² (không bao gồm diện tích hồ vĩnh viễn 2400 km², cao nhất khoảng 16.000 km²) [8].



Hình 1. Sơ đồ vị trí hồ Tonle Sap [6].

2.2. Phương pháp thu thập dữ liệu

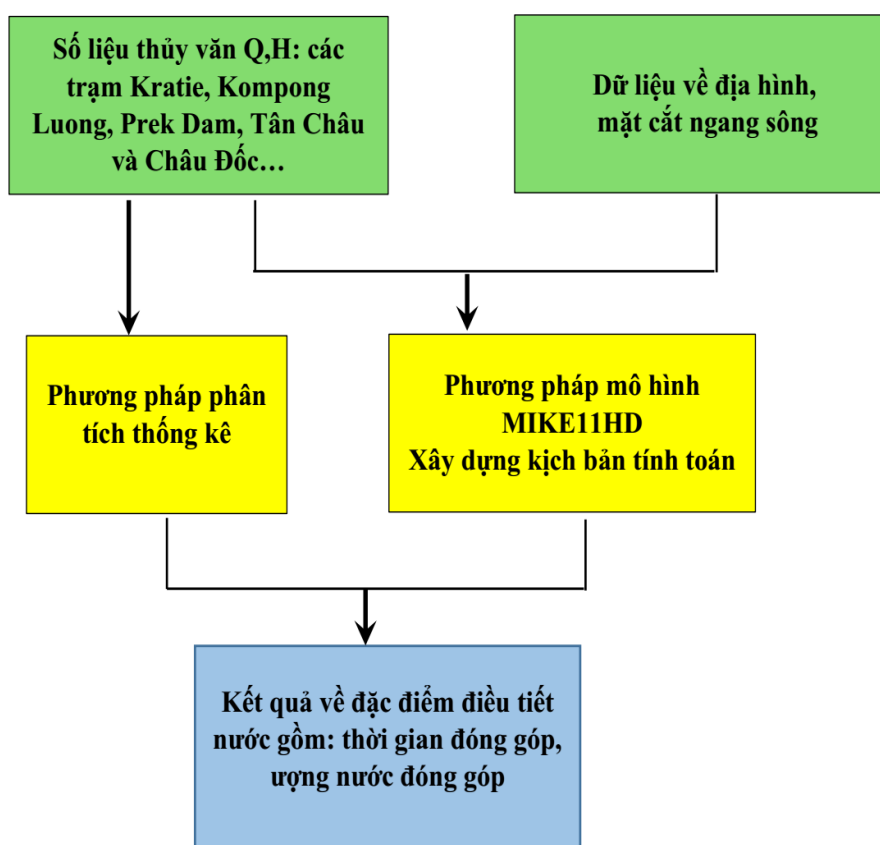
Các số liệu sử dụng được thu thập từ dự án của Ủy ban sông Mê Công Việt Nam, Ủy hội sông Mê Công quốc tế [18–20] bao gồm số liệu thủy văn về lưu lượng mực nước tại các trạm đại diện gồm: trạm Kratie, Kompong Luong, Prek Dam, Tân Châu và Châu Đốc được cập nhật đến 2021.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Nguyên tắc chung

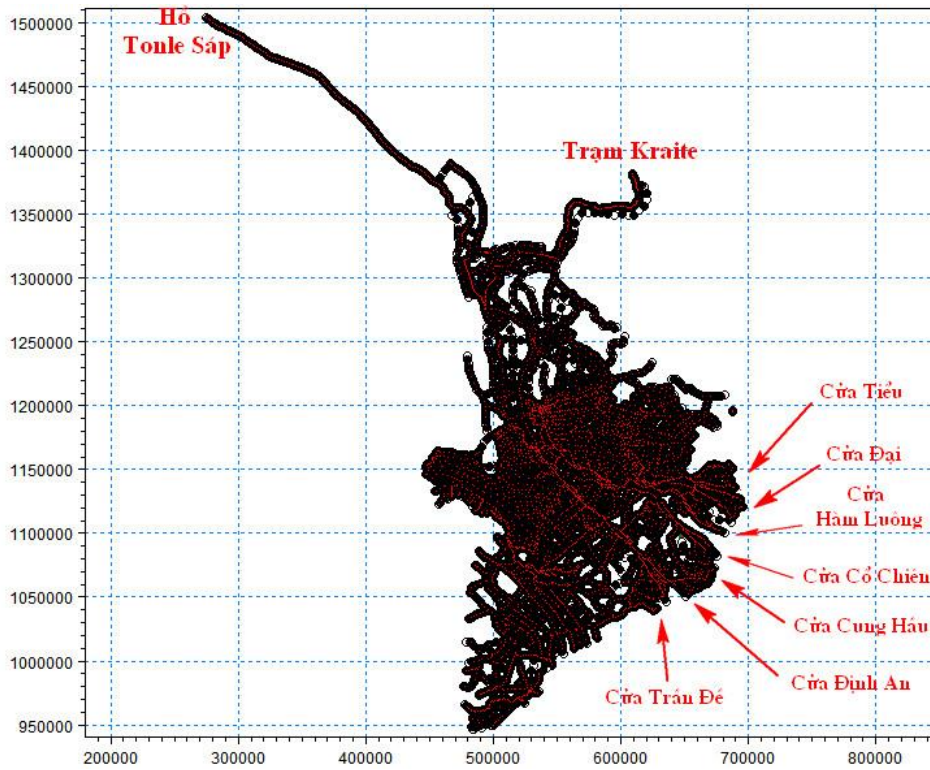
Phương pháp thống kê, phân tích hệ thống được sử dụng nhằm tiến hành phân tích khả năng đóng góp dòng chảy của hồ Tonle Sap vào vùng ĐBSCL trong mùa cạn từ các số liệu về lưu lượng, mực nước của các trạm Kratie, Kompong Luong, Prek Dam, Tân Châu và Châu Đốc.

Bên cạnh đó, nghiên cứu đã áp dụng mô hình thủy lực MIKE11HD được kế thừa từ Đề tài cấp bộ “Nghiên cứu xây dựng công nghệ cảnh báo sớm nguồn nước mùa cạn và nguy cơ hạn hán cho Đồng bằng sông Cửu Long”, mã số TNMT.2020.02.02 đã được hiệu chỉnh kiểm định dùng để mô phỏng dòng chảy vào Việt Nam qua Tân Châu và Châu Đốc cho 2 năm hạn điển hình 2015–2016 và 2019–2020 với giả thiết hồ Tonle Sap không đóng góp dòng chảy mùa cạn vào vùng ĐBSCL.



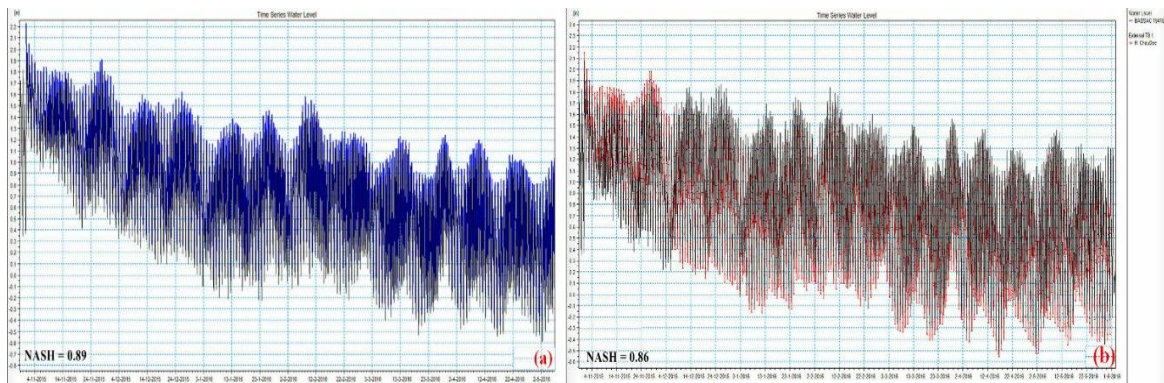
Hình 2. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

Mô hình MIKE11HD khu vực nghiên cứu được thiết lập bao gồm toàn bộ các sông chính thuộc hệ thống sông Mê Công của Đồng Bằng sông Cửu Long phía hạ lưu hồ Tonle Sap và trạm Kratie đến hai nhánh sông Tiền (trạm Tân Châu), sông Hậu (trạm Châu Đốc) ra đến các cửa sông. Với số liệu địa hình mặt cắt ngang gồm trên 5000 mặt cắt ngang lòng sông, trong đó sông Tiền trên 500 mặt cắt, sông Hậu trên 400 và các sông khác khoảng trên 5000 mặt cắt (Hình 3).

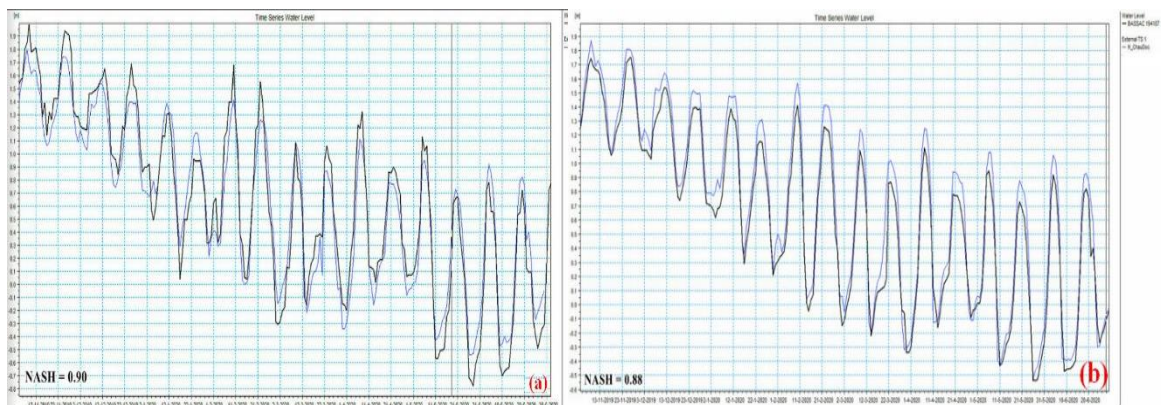


Hình 3. Sơ đồ mạng thủy lực khu vực hạ lưu sông Mê Công.

Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mô hình cho chỉ số NASH đạt trên 0,85 thông qua giá trị mực nước tại 2 trạm Tân Châu và Châu Đốc. Như vậy, mô hình đáp ứng tốt cho bài toán tính toán vai trò của hồ Tole Sap đến dòng chảy mùa cạn vào Việt Nam.



Hình 4. Kết quả hiệu chỉnh mực nước năm 2015–2016 tại trạm: (a) Tân Châu; (b)Châu Đốc.

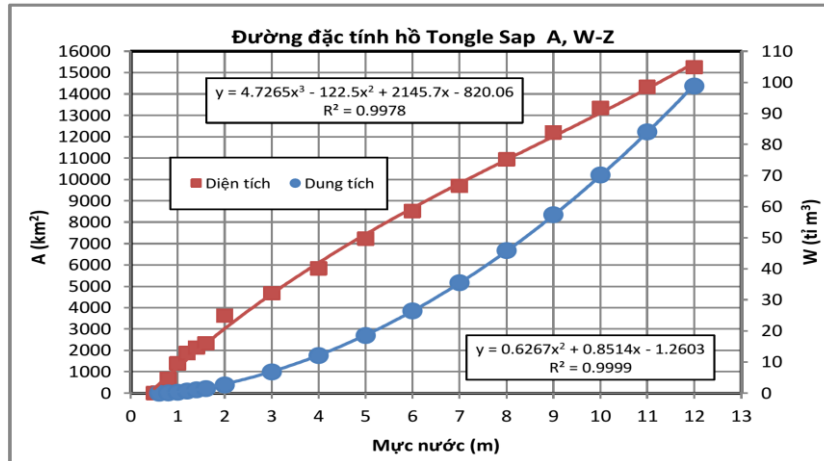


Hình 5. Kết quả kiểm định mực nước năm 2019–2020 tại trạm: (a) Tân Châu; (b)Châu Đốc.

3. Kết quả và thảo luận

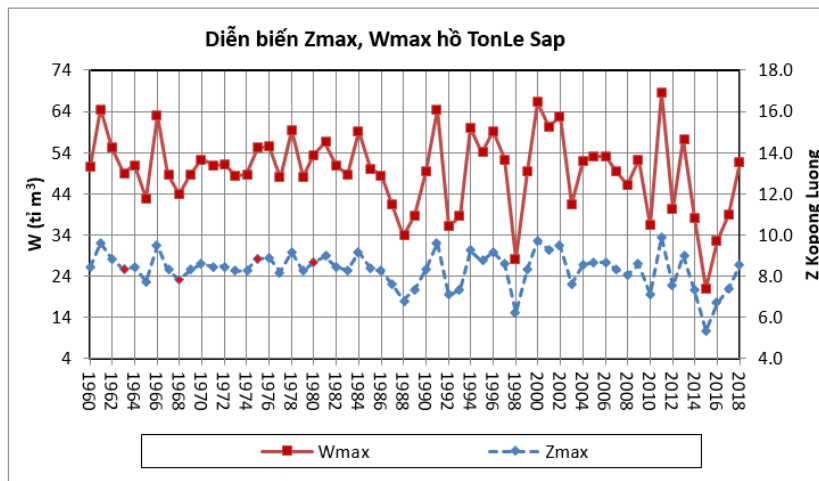
3.1. Đặc tính và diễn biến mực nước của hồ Tonle Sap

Đặc trưng hình thái hồ thông qua quan hệ diện tích, dung tích hồ với mực nước hồ được lấy tại Kompong Luong (Hình 6).



Hình 6. Đường đặc tính hồ Tonle Sap.

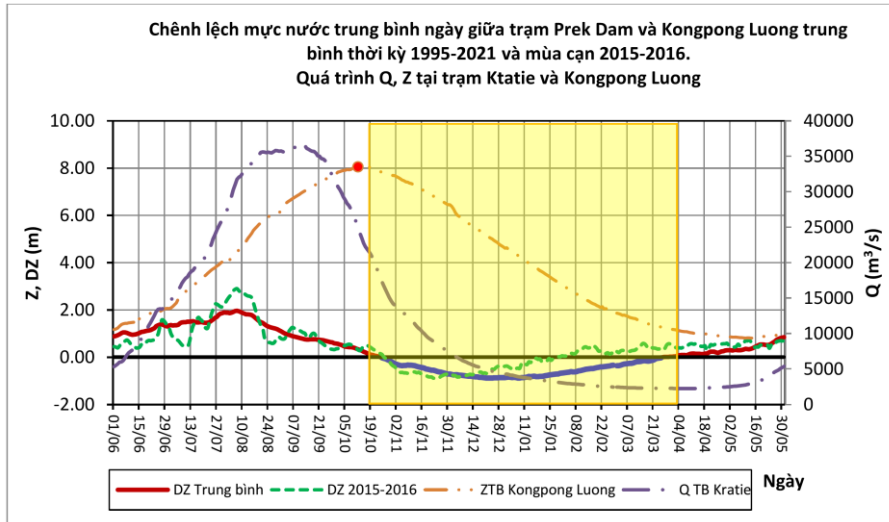
Biến động của dung tích trữ lớn nhất của hồ khá lớn, từ 21 tỉ m³ (năm 2015) đến 68,6 tỉ m³ (năm 2011). Tuy nhiên, lượng trữ ở hồ lớn nhất (W_{max}) có xu thế giảm (Hình 7) và sau năm 1998 phạm vi biến đổi rộng hơn. Phần lớn (chiếm 56,5%) nước của hồ Tonle Sap có nguồn gốc từ dòng chính sông Mê Công, các nhánh sông đổ vào hồ đóng góp 34%, trong khi đó mưa đóng góp 12,5%. Nhưng có đến 88% tổng lượng nước chảy qua hồ Tonle Sap đổ xuống hạ du, còn lại chảy tràn trên vùng ngập lũ [3]. Nhờ hồ Tonle Sap điều tiết mà lũ xuống hạ lưu điều hòa hơn và ngược lại vào mùa khô, một lượng nước lớn bù đắp cho ĐBSCL.



Hình 7. Diễn biến mực nước và tổng lượng lớn nhất của hồ TonLe Sap.

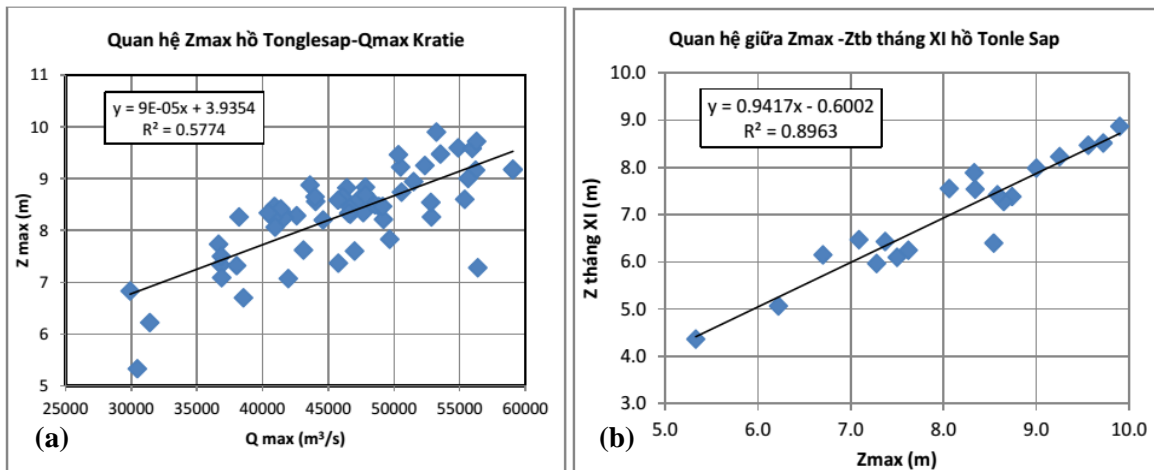
3.2. Đặc điểm điều tiết nước trong mùa cạn của hồ TonLe sap

Hàng năm, nước từ hồ Tonle Sap bắt đầu đổ về ĐBSCL vào giữa tháng 10 và kết thúc vào tháng 4 năm sau. Phân tích chênh lệch mực nước trung bình ngày giữa hai trạm: Prek Dam (trên hồ Tonle Sap ở hạ lưu cửa ra của hồ) và trạm KomPong Luong (đại diện cho mực nước hồ) để xác định thời gian đảo chiều dòng chảy trên hồ Tonle Sap (Hình 8). Trong một năm, thời gian chảy xuôi trung bình của hồ Tonle Sap khoảng 180 ngày. Mùa cạn 2015–2016, thời gian chảy xuôi ngắn nhất, chỉ 95 ngày, không bằng 2/3 so với trung bình nhiều năm.



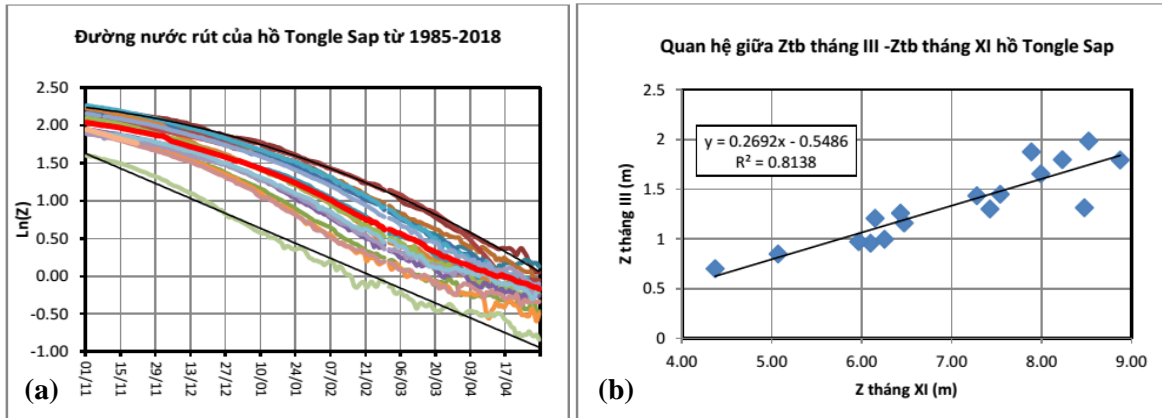
Hình 8. Chênh lệch mực nước trung bình ngày giữa trạm Prek Dam và Kongpong Luong.

Lượng nước trữ được trong hồ, chủ yếu là do từ dòng chính Mê Công chảy vào trong mùa lũ. Khi dòng chính đạt đỉnh lũ lớn nhất năm nhưng mực nước hồ phải về gần cuối mùa lũ mới đạt đỉnh, ở thời điểm chuyển tiếp giữa dòng chảy ngược và chảy xuôi trên hồ Tonle Sap. Quan hệ giữa mực nước lớn nhất của hồ với lưu lượng đỉnh lũ tại trạm Kratie khá chặt (Hình 9a). Vì vậy, khi xác định được đỉnh lũ lớn nhất xuất hiện trên dòng chính thì có thể nhận định được quy mô lượng nước trữ trong hồ Tonle Sap. Thời kỳ lũ chính vụ của sông Mê Công tại Kratie thường từ 20/7–15/10, có nghĩa trước ngày 15/10 thường là đỉnh lũ lớn trên dòng chính kết thúc thì có thể nhận định được lượng nước trữ được trong hồ Tonle Sap, không cần đến đầu tháng 11 hàng năm. Mặt khác, mực nước trung bình tháng XI (đầu mùa cạn) có mối tương quan lớn với mực nước lớn nhất của hồ (Hình 9b). Điều này cho phép đánh giá sớm lượng nước chảy về hạ du của hồ Tonle Sap.



Hình 9. (a) Mối tương quan giữa Z_{max} hồ Tonle Sap– Q_{max} Kratie; (b) Mối tương quan giữa Z_{max} – Z_{tb} tháng XI hồ Tonle Sap.

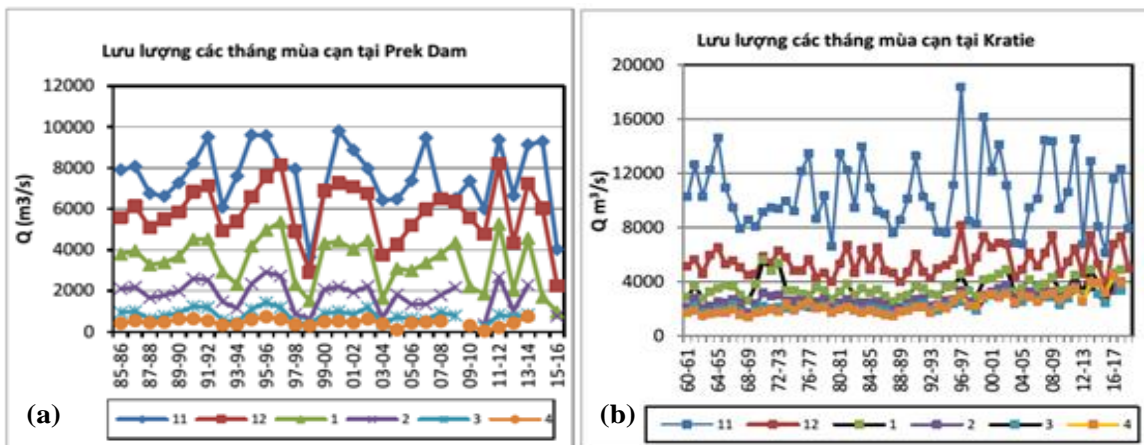
Trong mùa cạn, lượng nước hồ Tonle Sap chảy về hạ du thay đổi qua các tháng, phụ thuộc khá chặt vào mực nước hồ đầu mùa cạn (Hình 10a). Dạng đường nước rút của hồ khá tương đồng giữa các năm, do đó quan hệ giữa mực nước trung bình tháng XI (đầu mùa cạn) với tháng III (gần cuối mùa cạn) khá chặt chẽ (Hình 10b). Như vậy, ngay từ đầu mùa cạn, có thể đánh giá được lượng nước cung cấp nước của hồ Tonle Sap cho tháng cuối mùa cạn (ở đây không xét tháng 4, vì tháng này đường nước rút chịu tác động nhiều yếu tố khác nên không thể hiện quy luật chung).



Hình 10. (a) Đường nước rút của hồ Tonle Sap từ 1995–2021; (b) Mối tương quan Ztb tháng III – Ztb tháng XI hồ Tonle Sap.

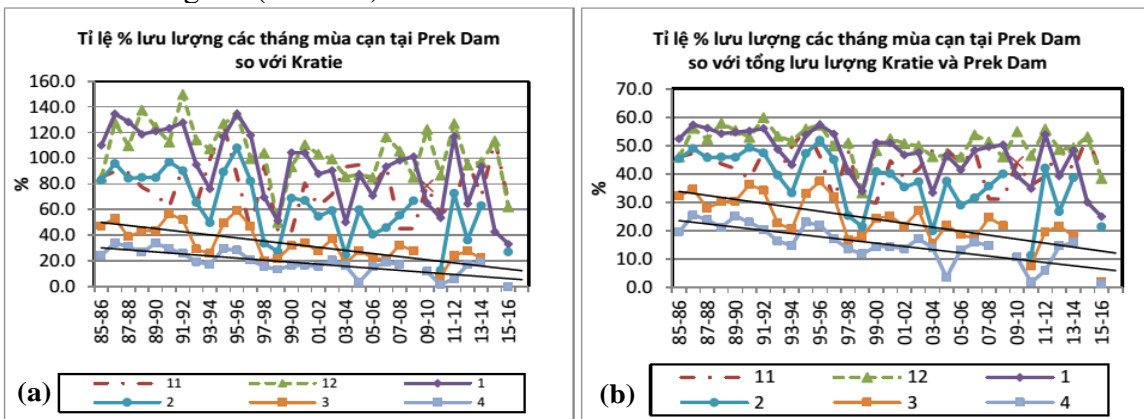
Lưu lượng tại trạm Prek Dam, cửa ra của hồ, được xem như là chảy trực tiếp ra từ hồ Tonle Sap. Phân tích số liệu lưu lượng tại trạm Prek Dam lưu trữ tại ngân hàng dữ liệu trong DSF [7, 8] của ủy hội Mê Công cho thấy:

- Diễn biến lưu lượng các tháng mùa cạn không có xu thế rõ ràng (Hình 11a), nhưng tại Kratie, sau năm 2000 lưu lượng các tháng 1 đến tháng 4 có xu thế tăng rõ rệt (Hình 11b).



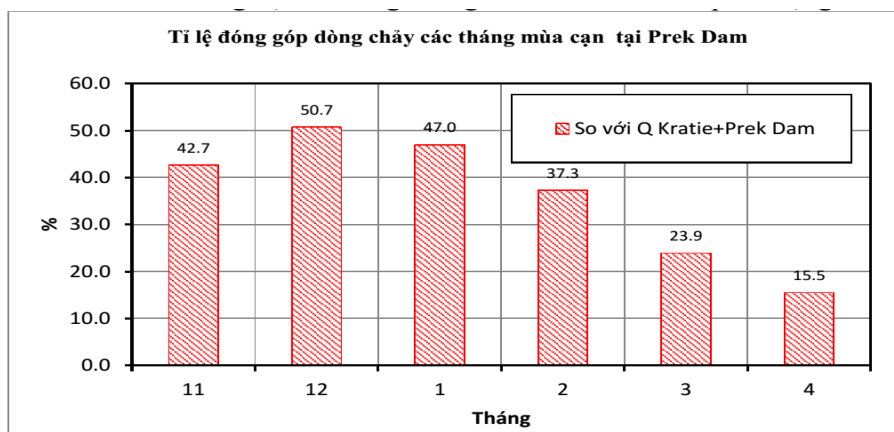
Hình 10. (a) Lưu lượng trung bình tháng tại trạm Prek Dam; (b) Lưu lượng trung bình tháng tại trạm Kratie.

- Do dòng chảy mùa cạn tại Kratie các năm gần đây có xu thế gia tăng, dẫn đến tỉ lệ giữa dòng chảy cho hạ du của hồ Tonle Sap so với Kratie và tổng dòng chảy của Kratie và Prek Dam có xu thế giảm (Hình 12).



Hình 11. Tỉ lệ lưu lượng các tháng mùa cạn tại Prek Dam so với Kratie.

Trung bình 6 tháng mùa cạn, hồ Tonle Sap đóng góp khoảng 36% dòng chảy cho hạ lưu và trong các năm cạn điển hình 2015–2016, 2019–2020 hồ chỉ đóng góp cho hạ du khoảng dưới 25%. Tháng 12 có tỉ lệ đóng góp dòng chảy cho hạ du lớn nhất, còn cao hơn cả dòng chính, sau đó giảm dần (Hình 13). Đến cuối mùa cạn, hồ chỉ đóng góp cho hạ du khoảng 15% đến 16% trong tổng dòng chảy. Điều này cho thấy trong mùa khô lượng nước từ hồ Tonle Sap chảy về hạ du có ý nghĩa cực kì quan trọng cho vùng đồng bằng sông Mê Công nói chung, cũng như cho vùng ĐBSCL nói riêng.

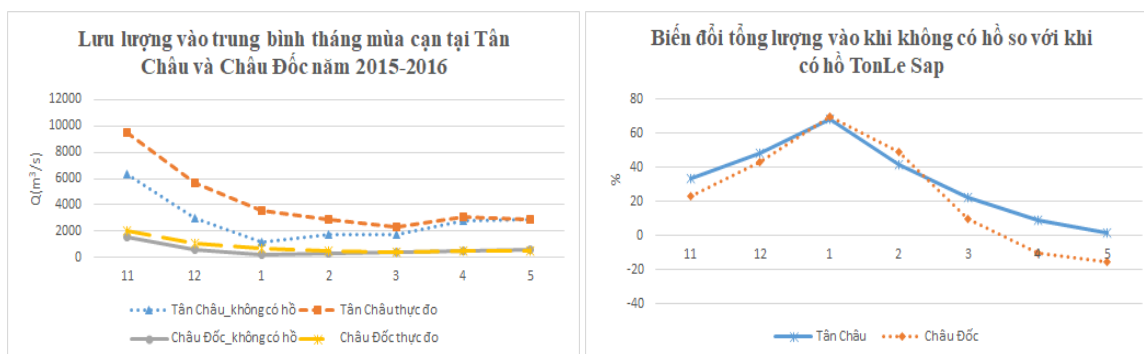


Hình 12. Tỉ lệ đóng góp dòng chảy các tháng mùa cạn của hồ Tonle Sap.

3.3. Mô phỏng dòng chảy vào Việt Nam khi có và không có hồ Tonle Sap

Mô hình MIKE 11HD được dùng để mô phỏng dòng chảy vào Việt Nam qua Tân Châu và Châu Đốc cho 2 năm hạn điển hình 2015–2016 và 2019–2020 với giả thiết không có hồ Tonle Sap. Mục đích là để đánh giá được sự biến đổi của lưu lượng và tổng lượng nước vào vùng ĐBSCL trong mùa cạn khi không có hồ Tonle Sap thông qua việc đánh giá tại hai trạm Tân Châu và Châu Đốc.

Đối với kịch bản mùa cạn năm 2015–2016, có thể thấy dòng chảy tại Tân Châu và Châu Đốc đều bị biến đổi trong mùa cạn. Tổng lượng nước đến trung bình tháng trong mùa cạn biến đổi rất lớn, trong đó lớn nhất là tháng 1 với lượng nước giảm lên đến 60%, các tháng 4 và tháng 5 dòng chảy từ hồ chứa Tonle Sap không đóng góp cho dòng chảy vào vùng ĐBSCL. Lưu lượng trung bình mùa cạn tại Tân Châu giảm 32%, tại Châu Đốc giảm 24% (Hình 14).



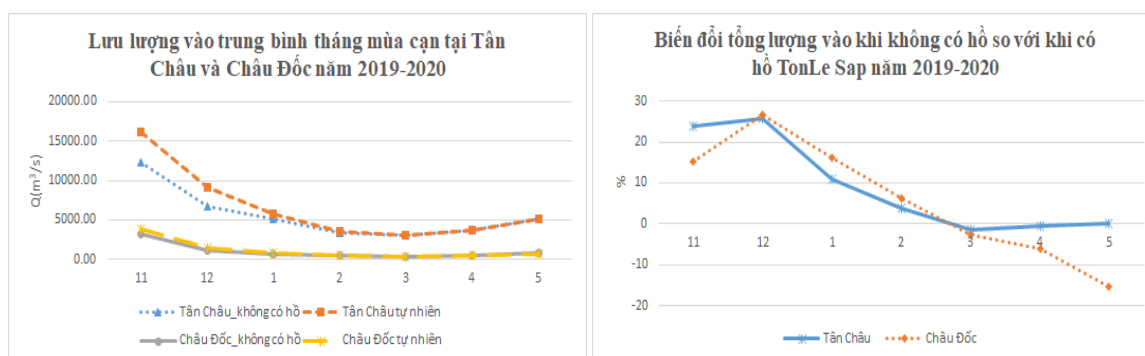
Hình 13. Biến đổi tổng lượng và lưu lượng tại Tân Châu và Châu Đốc mùa cạn 2015–2016.

Bảng 1. Biến đổi lưu lượng mùa cạn năm 2015–2016 tại 2 trạm Tân Châu và Châu Đốc trường hợp tự nhiên và không có hồ TonLe Sap.

Năm 2015–2016	Q Tân Châu (m³/s)		Q Châu Đốc (m³/s)	
	Không có hồ Tonle Sap	Tự nhiên	Không có hồ Tonle Sap	Tự nhiên
11	6309,79	9524,35	1582,78	2060,88
12	2939,64	5656,73	626,62	1104,72

Năm 2015–2016	Q Tân Châu (m ³ /s)		Q Châu Đốc (m ³ /s)	
	Không có hồ Tonle Sap	Tự nhiên	Không có hồ Tonle Sap	Tự nhiên
1	1138,39	3599,99	206,16	679,20
2	1702,67	2916,64	263,58	519,97
3	1772,36	2287,85	359,13	398,39
4	2763,14	3036,85	523,39	474,24
5	2863,65	2917,96	554,83	479,07

Đối với kịch bản mùa cạn năm 2019–2020 có thể thấy dòng chảy tại Tân Châu và Châu Đốc đều bị biến đổi trong mùa cạn. Tổng lượng nước biến đổi lớn nhất là tháng 12 với lượng nước giảm lên đến 26%, các tháng 3, tháng 4 và tháng 5 dòng chảy từ hồ chứa Tonle Sap không đóng góp cho dòng chảy vào vùng ĐBSCL. Lưu lượng trung bình mùa cạn tại Tân Châu giảm 16%, tại Châu Đốc giảm 15% (Hình 15).



Hình 14. Biến đổi tổng lượng và lưu lượng tại Tân Châu và Châu Đốc mùa cạn 2019–2020.

Bảng 2. Biến đổi lưu lượng mùa cạn năm 2019–2020 tại 2 trạm Tân Châu và Châu Đốc trường hợp tự nhiên và không có hồ TonLe Sap.

Năm 2019–2020	Q Tân Châu (m ³ /s)		Q Châu Đốc (m ³ /s)	
	Không có hồ Tonle Sap	Tự nhiên	Không có hồ Tonle Sap	Tự nhiên
11	12344,03	16187,04	3208,64	3780,21
12	6769,17	9099,38	1127,35	1537,37
1	5129,60	5765,48	629,41	751,61
2	3418,73	3555,71	434,25	463,18
3	3052,64	3006,13	376,00	365,81
4	3642,46	3627,67	478,42	451,50
5	5191,78	5191,29	752,00	651,39

4. Kết luận

Vai trò của Biển Hồ đối với dòng chảy hạ lưu trong mùa khô là rất quan trọng. Trung bình trong các tháng XI đến tháng IV, lượng nước từ hồ Tonle Sap cung cấp cho hạ du chiếm tới hơn 36% so với tổng lượng dòng chảy vào Việt Nam. Hàng năm, hồ xả nước xuống hạ lưu trong thời gian khoảng 180 ngày với tổng lượng nước từ tháng XI đến tháng IV khoảng 40 tỉ m³. Lượng nước trữ của hồ Tonle Sap có quan hệ khá chặt với đỉnh lũ năm trên dòng chính sông Mê Công và xu thế đường nước rút của hồ khá tương đồng. Tuy nhiên, nghiên cứu mới chỉ dừng ở việc xem xét lượng nước mà hồ Tonle Sap đóng góp cho vùng ĐBSCL thông qua hai trạm Tân Châu và Châu Đốc, mà chưa xem xét đến mức độ biến đổi về lưu lượng và mực nước tại các trạm bên trong vùng ĐBSCL. Ngoài ra cần có nghiên cứu thêm về sự gia tăng lượng nước trong các tháng I đến tháng IV tại Kratie và vai trò của hồ Tonle Sap trong việc cấp nước đầy đặn cho ĐBSCL, để giúp làm rõ thêm vai trò cung cấp nước mùa cạn cho hạ du của hồ Tonle Sap.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, mã số TNMT.2020.02.02.

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

Tài liệu tham khảo

1. Hòa, T.Q.; Ngọc, H.M. Tổng quan về quan hệ và vai trò của biển hồ đối với dòng chảy sông Mê Công ở vùng đồng bằng châu thổ. <http://tapchivatuyentap.tlu.edu.vn/Portals/10/So%209/14-Trinh%20Quang%20Hoa%20-%20vai%20tro%20cua%20Bien%20Ho.pdf>
2. Araki, Y.; Hirabuki, Y.; Powkhy, D.; Tsukawaki, S.; Rachna, C.; Tomita, M.; Suzuki, K. Influence of Large Seasonal Water Level Fluctuations and Human Impact on the Vegetation of Lake Tonle Sap, Cambodia, in Forest Environments in the Mekong River Basin, edited by: Sawada, H., Araki, M., Chappell, N.A., LaFrankie, J.V.; Shimizu, A. Springer, Japan, Tokyo, 2007, 26, 281–294, <https://doi.org/10.1007/978-4-431-46503-4>.
3. Inomata, H.; Fukami, K. Restoration of historical hydrological data of Tonle Sap Lake and its surrounding areas. *Hydrol. Process.* 2008, 22, 1337–1350. <https://doi.org/10.1002/hyp.6943>.
4. Campbell, I.C.; Say, S.; Beardall, J. Tonle Sap Lake, the Heart of the Lower Mekong. *Mekong Biophys. Environ. Int. River Basin Aquat. Ecol.* 2009, 251–272, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374026-7.00010-3>.
5. Kummu, M.; Sarkkula, J. Impact of the Mekong River Flow Alteration on the Tonle Sap Flood Pulse. *Ambio.* 2008, 37, 185–192. <http://www.jstor.org/stable/25547881>.
6. Kummu, M.; Tes, S.; Yin, S.; Adamson, P.; Józsa, J.; Koponen, J.; Richey, J.; Sarkkula, J. Water balance analysis for the Tonle Sap Lake–floodplain system. *Hydrol. Process.* 2014, 28, 1722–1733. <https://doi.org/10.1002/hyp.9718>.
7. Guan, Y.; Zheng, F. Alterations in the Water–Level Regime of Tonle Sap Lake. *J. Hydrol. Eng.* 2021, 26, 05020045. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0002013](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002013).
8. Thành, L.Đ. Vai trò của biển hồ đối với chế độ dòng chảy hạ lưu sông Mê công. [http://tapchivatuyentap.tlu.edu.vn/Portals/10/So 2014/06](http://tapchivatuyentap.tlu.edu.vn/Portals/10/So%2014/06).
9. Arias, M.E.; Cochrane, T.A.; Piman, T.; Kummu, M.; Caruso, B.S.; Killeen, T.J. Quantifying changes in flooding and habitats in the Tonle Sap Lake (Cambodia) caused by water infrastructure development and climate change in the Mekong Basin. *J. Environ. Manage.* 2012, 112, 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.003>.
10. Hecht, J.S.; Lacombe, G.; Arias, M.E.; Dang, T.D.; Piman, T. Hydropower dams of the Mekong River basin: A review of their hydrological impacts. *J. Hydrol.* 2019, 568, 285–300. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.045>.
11. Arias, M.E.; Cochrane, T.A.; Piman, T.; Kummu, M.; Caruso, B.S.; Killeen, T.J. Quantifying changes in flooding and habitats in the Tonle Sap Lake (Cambodia) caused by water infrastructure development and climate change in the Mekong Basin. *J. Environ. Manage.* 2012, 112, 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.003>.

12. Arias, M.E.; Piman, T.; Lauri, H.; Cochrane, T.A.; Kumm, M. Dams on Mekong tributaries as significant contributors of hydrological alterations to the Tonle Sap Floodplain in Cambodia, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2014**, *18*, 5303–5315. <https://doi.org/10.5194/hess-18-5303-2014>.
13. Sithirith, M. Water Governance in Cambodia: From Centralized Water Governance to Farmer Water User Community. *Resources* **2017**, *6*, 44. <https://doi.org/10.3390/resources6030044>.
14. Erban, L.E.; Gorelick, S.M. Closing the irrigation deficit in Cambodia: Implications for transboundary impacts on groundwater and Mekong River flow. *J. Hydrol.* **2016**, *535*, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.072>.
15. Keskinen, M.; Someth, P.; Salmivaara, A.; KummBarker, M. Water–Energy–Food Nexus in a Transboundary River Basin: The Case of Tonle Sap Lake, Mekong River Basin. *Water* **2015**, *7*(10), 5416–5436. <https://doi.org/10.3390/w7105416>.
16. Thắng, T.Đ. Khả năng cấp nước của hồ Tonle Sap trong mùa khô. *Tap chí khoa học và công nghệ thủy lợi* **2021**, *65*, 1–7.
17. Thắng, T.Đ.; Giáp, P.V.; Hải, N.T.; Toản, T.Q.; Hoạt, N.V.; Hải, P.N.; Mai, N.P. Tác động của hồ chứa lưu vực mê công đến tích nước của hồ Tonle Sap thời kỳ cuối mùa mưa – đầu mùa khô. *Tap chí Khoa học Công nghệ Thủy lợi* **2021**, *64*, 1–7.
18. Mekong River Commission – Decision Support Framework (DSF).
19. Mekong River Commission (MRC), trang WEB: <http://www.mrcmekong.org>.
20. Mekong River Commission – Hydro–Meteorological Database Hymos.
21. Trang WEB: <https://monitoring.mrcmekong.org/>.
22. Thiện, T.Đ. cs. Nghiên cứu xây dựng công nghệ cảnh báo sớm nguồn nước mùa cạn và nguy cơ hạn hán cho Đồng bằng sông Cửu Long. Đề tài cấp Bộ mã số TNMT.2020.02.02.

The role of Tonle Sap lake in supplying water to the Mekong Delta in the dry season

Hoang Minh Tuyen¹, Tran Duc Thien^{2*}, Nguyen Quang Chien², Nguyen Ngoc Hoa³

¹ Viet Nam institute of Meteorology, Hydrology and Climate change;
hmtuyenvkttv@gmail.com

² Water resources institute; thientd810@wru.vn; quangchien29@gmail.com

³ National centre for Hydro–Meteorological forecasting; ngochoa50v@gmail.com

Abstract: Droughts and water shortages in the dry season of the Mekong River Delta are becoming more and more serious due to their frequency of occurrence and causing more serious socio–economic losses. Because surface water characteristics of the Mekong Delta depend largely on water from outside the territory, it is necessary to have studies to analyze the components that make up the dry season flow into the Mekong Delta. This study will evaluate the role of Tonle Sap Lake on dry season flow into the Mekong Delta by statistical methods and use MIKE11HD model. Base on the result, at end of October, the flow from Tonle Sap Lake will begin to flow downstream in about 180 days with a total volume of water about 40 billion from November to April. On average, from November to April, Tonle Sap Lake contributes about 36% of the total flow volume to the downstream. In December, the lake largely contributes the flow to the downstream, which is even higher than flow contribution from the mainstream. By the end of the dry season, the lake only contributes about 15% to 16% of the total flow downstream in Viet Nam. With contributions from Tonle Sap Lake, the discharge on the Tien and Hau rivers in typical drought years increases from 15% to 30%, contributing to the prevention of salinity intrusion into the Mekong Delta.

Keywords: Mekong; Tonle Sap Lake; Role of dry season; The Mekong Delta.

Table of content

- 1** Uyen, L.K.; Phong, N.H.; Long, B.T. Risk assessment of hospital admission due to all-cause respiratory and cardiovascular diseases attributed to ground-level O₃ short-term exposure in Dong Nai Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 742, 1–18.
- 19** Cong, N.T.; Minh, N.V.; Quan, L.M.; Tung, L.T. Potential application of blockchain technology in the management and operation of the carbon market in Viet Nam. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 742, 19–27.
- 28** Dung, L.D.; Hung, N.X.; Duong, D.H.; Linh, H.T.H. Evaluation of test water flow measurement results by automatic equipment on the non-contact principle on the network of hydrological stations. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 742, 28–38.
- 39** Phu, H.; Thao, N.L.N.; Han, H.T.N.; Ha, T.T.M. Application WQI Index and of MIKE 11 model to evaluate surface water quality in the Long Xuyen Quadrangle. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 734, 39–54.
- 55** Thong, N.G.; Tai, P.H.; Hoang, C.M.; Nam, T.V.; Nam, L.Q.; Huong, T.T.M.; Huy, N.X. An Experimental Investigation of CO₂ WAG Coreflood in Miocene reservoir of Rong Den field, Cuu Long basin. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 742, 55–64.
- 65** Nhat, N.V.; Tri, D.Q.; Tuyet, Q.T.T.; Hien, T.D. Research and application TRIGRS model to simulate landslide in Lao Cai Province, Vietnam. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 742, 65–74.
- 75** Bao, T.D.; Viet, P.V.; Trong, V.D.; Nam, H.D. Research on selection of reasonable mining system for the zone II at Lam Son limestone quarry. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 742, 75–86.
- 87** Tuyen, H.M.; Thien, T.D.; Chien, N.Q.; Hoa, N.N. The role of Tonle Sap lake in dry season for Mekong Delta. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 742, 87–97.