TẠP CHÍ
Môi trường
ISSN: 2615-9597
Kỳ I - 2026
VIỆN CHIẾN LƯỢC, CHÍNH SÁCH NÔNG NGHIỆP VÀ MÔI TRƯỜNG - BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ MÔI TRƯỜNG
INSTITUTE OF STRATEGY AND POLICY ON AGRICULTURE AND ENVIRONMENT - MAE

CHUYÊN ĐỀ KHOA HỌC - CÔNG NGHỆ



NGHIÊN CỨU LOẠI BỎ NITRITE TRONG NƯỚC AO NUÔI THỦY SẢN BẰNG HỆ THỐNG LỌC SINH HỌC

Website: www.tapchimoitruong.vn

HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP/EDITORIAL COUNCIL

TS/Dr. TRẦN CÔNG THẮNG-
Chủ tịch/Chairman
GS.TS/Prof. Dr. NGUYỄN VIỆT ANH
GS.TS/Prof. Dr. ĐẶNG KIM CHI
PGS.TS/Assoc. Prof. Dr NGUYỄN THẾ CHINH
TS/Dr. MAI THANH DUNG
GS.TSKH/Prof. Dr. ĐẶNG HUY HUỲNH
PGS.TS/Assoc. Prof. Dr NGUYỄN CHU HỒI
PGS.TS/Assoc. Prof. Dr PHẠM VĂN LỢI
GS.TS/Prof. Dr. NGUYỄN VĂN PHƯỚC
TS/Dr. NGUYỄN ANH PHONG
TS/Dr. HOÀNG VŨ QUANG
TS/Dr. NGUYỄN NGỌC SINH
PGS.TS/Assoc. Prof. Dr NGUYỄN DANH SƠN
PGS.TS/Assoc. Prof. Dr LÊ KẾ SƠN
TS/Dr. NGUYỄN VĂN TÀI
PGS.TS/Assoc. Prof. Dr LÊ ANH TUẤN
PGS.TS/Assoc. Prof. Dr TRƯƠNG MẠNH TIẾN
GS.TS/Prof. Dr. TRỊNH VĂN TUYÊN
PGS.TS/Assoc. Prof. Dr. NGUYỄN ĐÌNH THỌ
TS/Dr. NGUYỄN TRUNG THẮNG
TS/Dr. TRƯƠNG THỊ THU TRANG
TS/Dr. NGUYỄN MINH TRUNG
PGS.TS/Assoc. Prof. Dr DƯƠNG HỒNG SƠN
PGS.TS/Assoc. Prof. Dr TRẦN TÂN VĂN
GS.TS.NGND/Prof. Dr. TRẦN ĐỨC VIÊN

TỔNG BIÊN TẬP
EDITOR-IN-CHIEF
PGS.TS/Assoc. Prof. Dr. NGUYỄN ĐÌNH THỌ

PHÓ TỔNG BIÊN TẬP
DEPUTY EDITOR
ThS/Mr. PHẠM ĐÌNH TUYÊN
TS/Dr. NGUYỄN GIA THỌ

GIẤY PHÉP XUẤT BẢN/PUBLICATION PERMIT

Số 192/GP-BTTTT cấp ngày 31/05/2023
Nº 192/GP-BTTTT- Date: 31/05/2023

Thiết kế mỹ thuật/Design: AN BÌNH
Chế bản & in/ Processed & printed by:
Công ty TNHH MTV in Quân đội I, Hà Nội



Bìa/Cover: Nghiên cứu loại bỏ Nitrite trong nước ao nuôi thủy sản bằng hệ thống lọc sinh học
Ảnh/Photo by: *VEM*

TRỤ SỞ TẠI HÀ NỘI

Tầng 1, Nhà B6, Số 2 Phố Ngọc Hà,
Phường Ba Đình, TP. Hà Nội
1st Floor, Building B6, No. 2 Ngoc Ha Street,
Ba Dinh Ward, Hanoi
Trị sự/Managing: **034 472 5566**
Biên tập/Editorial: **034 637 5566**
Quảng cáo/Advertising: **024 66569135**
Fax: **024 39412053**
Email: **tapchimoitruong@mae.gov.vn**

THƯỜNG TRÚ TẠI TP. HỒ CHÍ MINH

Phòng A 209, Tầng 2 - Khu liên cơ quan
Bộ NN&MT, số 200 Lý Chính Thắng,
Phường Nhiêu Lộc, TP. HCM
A 209, 2th floor - MAE's office complex,
No. 200 - Ly Chinh Thang Street,
Nhieu Loc Ward, Ho Chi Minh city
Tel: **(028) 66814471** - Fax: **(028) 62676875**
Email: **tcmtphianam@vea.gov.vn**

Chuyên đề kỳ I - 2026
Thematic Vol.N°1, 2026

Giá/Price: 45.000đ

MỤC LỤC
CONTENTS

NGHIÊN CỨU

[5] **TRẦN THỊ HIỆU, NGUYỄN VIỆT THẮNG, NGUYỄN THỊ PHƯƠNG THẢO, TRẦN TRUNG KIÊN**
Đề xuất mô hình sinh thái khép kín cho hộ dân trồng cây thanh long và chăn nuôi heo quy mô nông hộ
Proposed closed-loop ecological model for households engaging in dragon fruit cultivation and pig farming on a small scale

[14] **NGUYỄN QUỐC AN, NGUYỄN THỊ PHƯƠNG THẢO, TRẦN TRUNG KIÊN, NGUYỄN VIỆT THẮNG, NGÔ THỊ PHƯƠNG NAM, LÊ THANH HẢI**
Nghiên cứu đánh giá nhận thức và khả năng tiếp cận mô hình kinh tế tuần hoàn trong chăn nuôi heo quy mô nhỏ tại tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu (cũ)
Awareness and accessibility of circular economy models in small-scale pig farming: A case study in former Ba Ria - Vung Tau province

[21] **NGÔ THỊ HOÀI THU, ĐẶNG THỊ CẨM VÂN, BÙI KHÁNH AN, ĐÀM NGỌC ANH, PHẠM HỒNG NGỰ, NGUYỄN THỊ KIM CÚC**
Đánh giá hoạt tính sinh học của lá đước vòi Rhizophora stylosa Griff. làm nguyên liệu chế biến trà thảo dược
Bioactivity profile of Rhizophora stylosa Griff. leaves as a functional ingredient for herbal tea production

[28] **NGUYỄN THÀNH MẬU**
Đánh giá đặc tính của chất hữu cơ tự nhiên trong hệ thống phân phối nước và kỹ thuật đặc trưng hóa
Assessment of natural organic matter characteristics in waterdistribution systems

[35] **NGUYỄN VĂN HUỐNG, PHẠM SƠN TÙNG, AN ĐỨC THẮNG, NGUYỄN THỊ DUNG, NGUYỄN VĂN MẠNH, TRẦN THÚY HẰNG, TÔ THỊ PHƯƠNG MAI**
Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến năng suất cây cao su và giải pháp thích ứng tại Gia Lai, Việt Nam
Impact of climate change on hevea brasiliensis productivity in Gia Lai, Viet Nam

[41] **TRẦN THANH TOÀN, TRẦN MINH TUẤN, ĐOÀN THỊ THU HÀ**
Đề xuất tiêu chí và giải pháp xây dựng "con sông đẹp" hướng tới thích ứng bền vững tại vùng đồng bằng sông Cửu Long
Criteria and solutions for "beautiful river" development toward sustainable adaptation in the Mekong delta

[49] **PHÙNG CHÍ SỸ, PHÙNG ANH ĐỨC, PHẠM MINH SƠN, NGUYỄN MINH TRANG**
Đánh giá hiện trạng chất lượng nước sạch phục vụ xây dựng quy chuẩn kỹ thuật nước uống trực tiếp tại vòi tại Thành phố Hồ Chí Minh
Assessment of the current status of clean water quality for the development of the technical regulations for direct tap drinking water in Ho Chi Minh city

[57] **LÊ THỊ KIM THOA, DƯƠNG THỊ HỒNG YẾN, ĐÀO THỊ LƯU, VŨ THỊ KIM DUNG, ĐINH BẢO NGỌC, MAI QUANG TUẤN**
Nghiên cứu xây dựng hệ thống webgis và mobile gis phục vụ quản lý khu vực các huyện biên giới tỉnh Đắk Lắk nhằm hỗ trợ phát triển kinh tế – xã hội và đảm bảo quốc phòng – an ninh
Research on developing a webgis and mobile gis system for managing border districts in Dak Lak province to support socio-economic development and ensure national defense - security

[66] **PHẠM THU HUYỀN, NGUYỄN TRUNG KIÊN, VŨ VĂN DOANH**
Đánh giá các yếu tố ảnh hưởng tới nhận thức và hành vi của người dân trong phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại phường Sơn Tây, thành phố Hà Nội
Assessment of factors influencing public awareness and behavior in household solid waste segregation in Son Tay ward, Hanoi city

[74] **BÙI NGỌC MINH, PHẠM THỊ VIỆT ANH**
Đánh giá chất lượng môi trường không khí khu vực bãi chôn lấp chất thải rắn huyện Đà Bắc, tỉnh Hòa Bình bằng phương pháp chỉ số rapi
Assessment of air quality in the solid waste landfill area of da bac district, Hoa Binh province using the rapi index

[83] **CÁI ANH TÚ, BÙI THỊ TUYẾT, TRẦN THỊ HẰNG**
Thực trạng sử dụng sản phẩm nhựa dùng một lần tại huyện Côn Đảo
Current status of single-use plastic product utilization in Con Dao special zone

[88] **DOÃN HÀ PHONG, LÊ VĂN QUY, TRẦN THỊ TÚ**
Nghiên cứu xây dựng hệ thống mô hình dự báo lũ tích hợp MIKE NAM – MIKE 11 phục vụ vận hành hồ chứa theo thời gian thực tại tỉnh Ninh Bình
Development of an integrated hydrological-hydraulic flood forecasting model system for real-time reservoir operation in Ninh Binh province

[99] **NGUYỄN TRƯỜNG HUYNH, LÊ PHÚ ĐÔNG, LÊ VĂN GIANG, LƯU THẾ ANH**
Nghiên cứu áp dụng kết tinh tạo hạt thu hồi vivianite trong nước thải xi mạ
Study on the application of granulation crystallization for vivianite recovery from electroplating wastewater

[105] **VŨ THỊ KIM DUNG, LÊ THỊ KIM THOA, PHÍ THỊ THU HOÀNG, ĐÀO THỊ LƯU, DƯƠNG THỊ HỒNG YẾN, NGÔ THỊ BÍCH HỒNG, TRỊNH XUÂN QUANG, MAI QUANG TUẤN**
Nghiên cứu, đánh giá biến động lớp phủ mặt đất khu vực biên giới của tỉnh Đắk Lắk
Researching and assessing land cover change in the border area of Dak Lak province

[112] **ĐỖ HỮU TUẤN, TRẦN BIÊN GIỚI, PHAN THỊ LAN ANH, NGUYỄN TIẾN DŨNG, NGUYỄN MAI LÂM**
Đánh giá hiện trạng nồng độ bụi và xây dựng mô hình bổ khuyết số liệu quan trắc bụi tại khu kinh tế Vũng Áng, tỉnh Hà Tĩnh
Assessment of concentration and development of data gap-filling models for particulate matter monitoring data in Vung Ang economic zone, Ha Tinh province

[120] **TRẦN THỊ THANH NHÀN, VŨ HUY PHÚC**
Nghiên cứu đề xuất chính sách phát triển nông nghiệp kết hợp điện mặt trời tại Việt Nam
A deep learning-based solution for identifying endangered and rare bird species

[127] **PHẠM MINH TUẤN, TRẦN ĐỨC THẢO, ĐẶNG HOÀNG DUY ANH**
Nghiên cứu loại bỏ Nitrite trong nước ao nuôi thủy sản bằng hệ thống lọc sinh học
Study on nitrite treatment of aquacultural pond water using biofilter

[134] **HOÀNG TRƯỞNG, NGUYỄN KHẮC ĐOÀN, DƯ VĂN TOÁN**
Giải pháp quản lý tổng hợp tài nguyên và bảo vệ môi trường hệ thống vịnh ven bờ Việt Nam: Nghiên cứu điển hình tại vịnh Xuân Đài (tỉnh Đắk Lắk)
Integrated resource management and environmental protection solutions for Vietnam's coastal bay systems: A case study of Xuan Dai bay (Dak Lak province)

TRAO ĐỔI - THẢO LUẬN

[143] **TRẦN ĐỨC MINH HẢI, TRẦN ĐỨC HẠ**
Phương pháp tính toán thiết kế các giếng tràn nước mưa (CSO) phù hợp với hệ thống thoát nước các đô thị Việt Nam

[148] **NGUYỄN XUÂN PHI**
Đề xuất chiến lược ESG cho Agribank giai đoạn 2026 - 2030 và tầm nhìn đến năm 2050

ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH SINH THÁI KHÉP KÍN CHO HỘ DÂN TRỒNG CÂY THANH LONG VÀ CHĂN NUÔI HEO QUY MÔ NÔNG HỘ

TRẦN THỊ HIỆU[1], NGUYỄN VIỆT THẮNG[1*], NGUYỄN THỊ PHƯƠNG THẢO[1], TRẦN TRUNG KIÊN[1]
[1]Viện Môi trường và Tài nguyên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh

Tóm tắt
Mục tiêu của nghiên cứu là đề xuất mô hình sinh thái khép kín cho các hộ nông dân trồng thanh long kết hợp chăn nuôi heo quy mô nông hộ. Các giải pháp kỹ thuật trong mô hình được xem xét bao gồm: i) xử lý nước thải bằng hệ thống biogas kết hợp bể lắng, lọc 3 ngăn và ao xử lý sinh học; ii) sản xuất phân bón hữu cơ từ sinh khối thanh long và phân chuồng. Bên cạnh đó, mô hình sinh thái khép kín cho các hộ nông dân trồng thanh long kết hợp chăn nuôi heo (quy mô nông hộ) được áp dụng thí điểm cho hộ dân xã Tân Thành, tỉnh Lâm Đồng cho thấy nhiều hiệu quả. Cụ thể, về mặt môi trường (giảm mùi hôi, nước thải chăn nuôi đạt quy chuẩn QCVN 62:2025/BTNMT), kinh tế (lợi nhuận thu được sau khi hoàn vốn là 41.559.870 đồng/năm) và sinh kế (tạo thêm 5 việc làm). Đặc biệt mô hình đã áp dụng một số giải pháp tự động hóa đơn giản nhằm giảm lượng tiêu thụ điện năng không cần thiết, giảm chi phí nhân công lao động. Kết quả nghiên cứu còn cho thấy, mô hình sinh thái khép kín cho các hộ nông dân trồng thanh long và chăn nuôi heo quy mô nông hộ hoàn toàn có khả năng nhân rộng cho các đối tượng và khu vực có điều kiện tương tự.
Từ khóa: *Cây thanh long, chăn nuôi gia súc, giải pháp tự động hóa đơn giản, ủ phân hữu cơ, mô hình sinh thái khép kín.*
Ngày nhận bài: *14/1/2026****; Ngày sửa chữa:*** *2/2/2026****; Ngày duyệt đăng:*** *26/2/2026.*

Proposed closed-loop ecological model for households engaging in dragon fruit cultivation and pig farming on a small scale

Abstract
The objective of this study is to propose a closed-loop ecological model for dragon fruit farmers combining livestock farming on a household scale. Technical solutions considered in the model include: i) wastewater treatment using a biogas system combined with a three-compartment settling and filtration tank and a biological treatment pond; ii) production of organic fertilizer from dragon fruit biomass and animal manure. In addition, the closed-loop ecological model for dragon fruit farmers combining pig farming (on a household scale) was piloted in Tan Thanh commune, Lam Dong province, and showed many positive results. Specifically, in terms of the environment (reduced odor, livestock wastewater meeting QCVN 62:2025/BTNMT standards), the economic aspect (profit after capital recovery was VND 41,559,870/year), and livelihood (creating 5 additional jobs). In particular, the model has applied several simple automation solutions to reduce unnecessary electricity consumption and labor costs. The research results also show that the closed-loop ecological model for dragon fruit farming and small-scale pig farming is fully scalable for other groups and areas with similar conditions.
Keywords: *Dragon fruit tree, livestock farming, simple automation solution, composting, closed ecosystem.*
JEL Classifications: *O13, Q52, Q53, R00.*

1. GIỚI THIỆU

Cây thanh long (Hylocerus undulatus) thuộc họ xương rồng (Cactaceae), có nguồn gốc ở Trung Mỹ, là một trong những cây ăn trái quan trọng của nước ta [1]. Theo Trung tâm Thông tin Công nghiệp và Thương mại (Bộ Công Thương), diện tích thanh long cả nước còn hơn 50.000 ha với sản lượng thu hoạch thanh long ước đạt 147,3 nghìn tấn [2]. Thanh long đóng góp đáng kể cho kim ngạch xuất khẩu hoa quả tươi của Việt Nam trong những năm gần đây. Với ưu thế thị trường tiêu thụ ổn định và hiệu quả kinh tế cao, nông dân đang ngày càng chú trọng đầu tư vào sản xuất cây thanh long [1, 2]. Trong đó các tỉnh trồng thanh long nhiều nhất là Lâm Đồng, Tây Ninh và Đồng Tháp. Đồng thời, Theo Niên giám thống kê 2024 tại 3 tỉnh này cũng có số lượng heo tương đối lớn, ước tính 2.294,5 nghìn con (chiếm 8,65% số lượng heo cả nước). Tuy nhiên, hoạt động sản xuất thanh long và chăn nuôi phát sinh một

lượng lớn nước thải và phân thải gây ảnh hưởng tiêu cực cho môi trường. Hàm lượng chất dinh dưỡng trong nước và phân khá cao, vì vậy việc tận dụng được một phần chất dinh dưỡng là cần thiết nhằm giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

Hiện nay, đã có nhiều giải pháp xử lý chất thải nông nghiệp, chẳng hạn như các hệ thống nông nghiệp tích hợp như mô hình kết hợp giữa trồng trọt - ao [3], trồng trọt - chăn nuôi [4, 5], trồng trọt - ao - chăn nuôi [6], và hệ thống trồng trọt - ao - chăn nuôi - khí sinh học đã đóng vai trò quan trọng trong lưu thông vật chất và giảm ô nhiễm môi trường. Trong các hệ thống này, chất thải được tái chế và tái sử dụng, dòng chất thải từ thành phần này được coi là nguyên liệu đầu vào cho một thành phần khác. Mô hình vườn - chuồng - đồng cỏ là mô hình chăn thả động vật ăn cỏ (bò, trâu, dê,...) trong vườn cây ăn trái và có cỏ mọc bên dưới. Hiệu quả của mô hình mang lại là tạo cảnh quan đẹp và sạch sẽ, bò ăn cỏ, sự di chuyển của bò trong trang trại sẽ làm xáo trộn nơi trú ẩn của các loài côn trùng có hại cho cây xoài trong vườn, các loài gia cầm sẽ ăn côn trùng trong vườn [7].

Mặc khác, việc ứng dụng công nghệ nông nghiệp 4.0 đơn giản trong sản xuất nông nghiệp đã được áp dụng trong những năm gần đây. Các nghiên cứu chỉ ra rằng việc sử dụng trí tuệ nhân tạo (AI), thị giác máy tính (computer vision) và cảm biến IoT cho phép giám sát sinh trưởng cây trồng, phát hiện sớm sâu bệnh và đánh giá chất lượng nông sản một cách tự động. Đặc biệt, các mô hình học máy chuyên sâu đã được phát triển để phân loại và đánh giá chất lượng trái thanh long theo hình ảnh, giúp giảm chi phí nhân công và nâng cao độ chính xác trong phân loại sản phẩm, góp phần thúc đẩy chuyển đổi số trong nông nghiệp [8, 9]. Trong lĩnh vực chăn nuôi, đặc biệt là chăn nuôi gia súc, AI và công nghệ 4.0 đang đóng vai trò quan trọng trong mô hình chăn nuôi. Việc kết hợp AI, dữ liệu lớn và hệ thống cảm biến IoT cho phép theo dõi liên tục tình trạng sức khỏe, hành vi và năng suất vật nuôi theo thời gian thực. Nhờ đó, người chăn nuôi có thể phát hiện sớm bất thường, tối ưu khẩu phần ăn và quản lý môi trường chuồng trại hiệu quả hơn, góp phần nâng cao năng suất và phát triển chăn nuôi bền vững [10, 11]. Đồng thời, các giải pháp tự động hóa đơn giản đã từng bước được ứng dụng nhiều tại các trang trại chăn nuôi ở Việt Nam như sử dụng hệ thống giám sát và điều khiển tự động giúp chủ trang trại quản lý nhanh chóng, dễ dàng [12].

Bảng 1. Đặc điểm của nông hộ

Hạng mục	Diện tích (S, m^2)
Trồng thanh long	9.000
Chuồng trại	100
Nhà	150
Đ ất trống	750

Bài viết này nhằm đề xuất mô hình sinh thái khép kín kết hợp một số giải pháp tự động hóa đơn giản cho hoạt động canh tác cây trồng thanh long kết hợp chăn nuôi heo quy mô nông hộ nhằm giảm thiểu ô nhiễm môi trường, tạo sinh kế mới và gia tăng kinh tế từ các sản phẩm sau thu hồi là phụ phẩm cây thanh long, phân chuồng làm phân hữu cơ, nước thải sau hệ thống xử lý nhằm mục đích tái sử dụng để tưới cây thanh long.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Nghiên cứu này được thực hiện tại hộ nông dân có sinh kế chính là trồng thanh long kết hợp chăn nuôi heo quy mô nông hộ tại xã Tân Thành, tỉnh Lâm Đồng. Khu vực nghiên cứu có diện tích khoảng 10.000m^2, diện tích trồng cây thanh long là 9.000m^2, diện tích chuồng trại là 100m^2, diện tích nhà là 150m^2 và diện tích còn lại là đất trống. Đặc điểm của hộ nuôi được thể hiện tại Bảng 1. Đây là hộ điển hình cho trồng thanh long kết hợp chăn nuôi heo với 1.200 trụ thanh long và 40 con heo Hình 1.



Hình 1. Hiện trạng sinh kế của hộ dân điển hình xã Tân Thành, tỉnh Lâm Đồng

Đối với thanh long: Với 9.000m^2 trồng thanh long (1.200 trụ) trên 5 năm tuổi. Trung bình mỗi năm hộ dùng khoảng 24 tấn phân hữu cơ cho 2 lần bón, toàn bộ lượng phân dùng sử dụng từ phân chuồng của hộ. Đối với chăn nuôi heo: Thức ăn chủ yếu là bã hèm, ngoài ra hộ còn bổ sung thêm 40kg cám gạo mỗi ngày vào khẩu phần ăn. Nguồn nước phục vụ tưới cây thanh long và dội chuồng là nước giếng, sử dụng 01 máy bơm 2HP để bơm.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp thu thập và tổng hợp tài liệu

Phương pháp thu thập và tổng hợp tài liệu đóng vai trò quyết định trong việc thiết kế mô hình sinh thái khép kín kết hợp một số giải pháp tự động hóa đơn giản cho hoạt động canh tác cây trồng thanh long kết hợp chăn nuôi heo quy mô nông hộ. Tài liệu từ các nguồn khác nhau, cả sơ cấp lẫn thứ cấp, sẽ được sử dụng để tạo nền tảng lý thuyết và cơ sở thực tiễn cho các giải pháp kỹ thuật.

2.2.2. Phương pháp khảo sát thực địa

Khảo sát thực địa là phương pháp quan trọng nhằm đánh giá điều kiện thực tiễn của các hộ trồng thanh long kết hợp chăn nuôi heo quy mô nông hộ. Các thông tin thu thập từ khảo sát sẽ giúp định hình các giải pháp kỹ thuật và các bước xây dựng mô hình. Nghiên cứu đã khảo sát hộ dân điển hình cho hoạt động canh tác cây thanh long và nuôi heo quy mô nông hộ tại xã Tân Thành, tỉnh Lâm Đồng.

2.2.3. Phương pháp đề xuất mô hình

Cách tiếp cận của mô hình là trên nền tảng mô hình VACBNXT do GS.TS Lê Thanh Hải và cộng sự [13] đã phát triển gồm 7 thành phần Vườn (V) - Ao (A) - Chuồng (C) - Nhà (N) - Xưởng (X) - Trạm (T) và các mô hình sinh thái sẵn có mang lại hiệu quả kết hợp với cách tiếp cận sinh kế bền vững của DFID dựa trên điều kiện sinh kế và điều kiện tự nhiên sẵn có của các vùng sinh thái khác nhau tại Việt Nam để hình thành nên một mô hình mang tính tổng quát nhưng có thể áp dụng cho từng đối tượng cụ thể.

2.2.4. Phương pháp đánh giá hiệu quả mô hình

Để đánh giá hiệu quả kinh tế của các giải pháp sinh thái khép kín và ứng dụng một số giải pháp tự động hóa đơn giản trong xử lý chất thải của cây thanh long kết hợp với chăn nuôi heo quy mô nông hộ bao gồm tất cả các chi phí liên quan đến hoạt động xử lý chất thải của hộ nông dân đối với phế phẩm cây thanh long và chất thải chăn nuôi. Dữ liệu kiểm kê có thể được sử dụng để xác định hầu hết các chi phí này. Dòng nguyên liệu và năng lượng thu được có thể được nhân với đơn giá bán của sản phẩm sản xuất được hoặc nhân với giá thị trường của sản phẩm mua. Lợi nhuận của hoạt động canh tác và mô hình đề xuất được tính bằng công thức (1). Do sử dụng móc thời gian là 1 năm nên công thức (1) không áp dụng lãi suất.

$$L = \sum B - \sum C \qquad (1)$$

Trong đó: L là lợi nhuận của mô hình, C là chi phí, B là doanh thu.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hiện trạng môi trường tại đối tượng nghiên cứu

Hiện trạng môi trường khu vực nghiên cứu được khảo sát như sau:

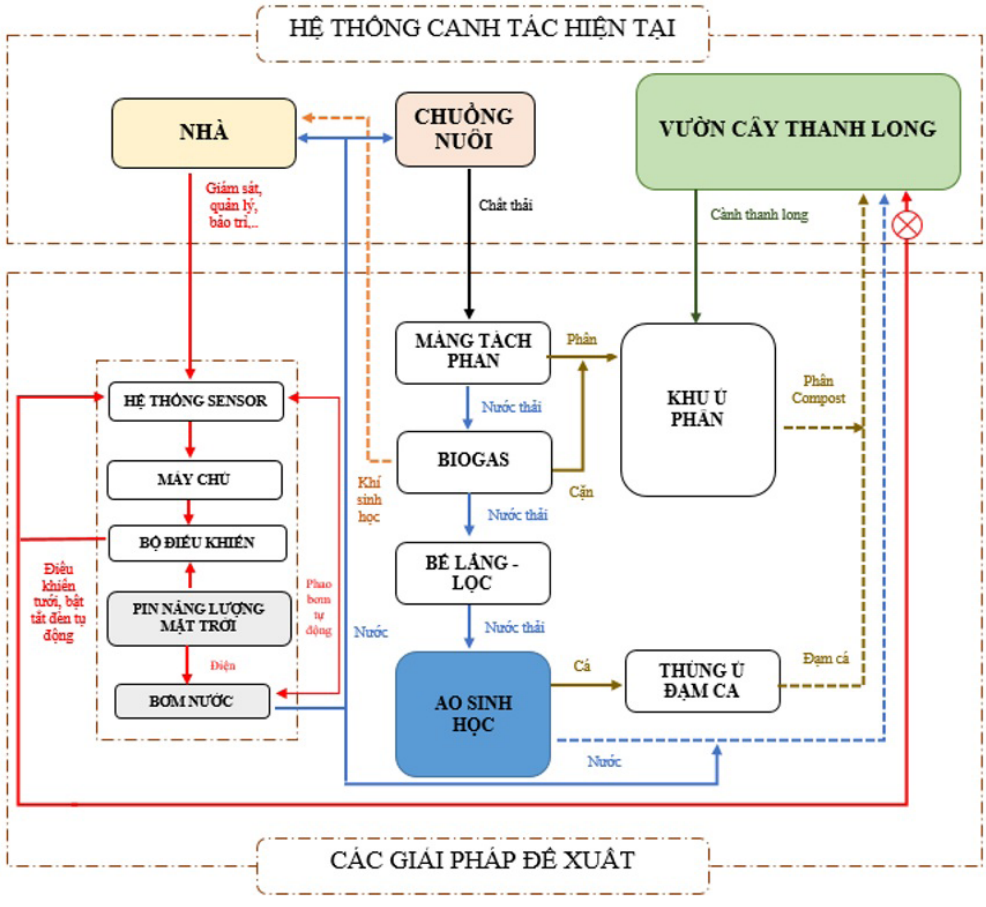
Đối với chất thải rắn: Phát sinh chủ yếu từ quá trình chăn nuôi, trồng trọt và sinh hoạt của hộ dân, hiện tại các loại chất thải này chưa được xử lý như Hình 2. Phân heo ước tính 104kg/ngày chưa được thu gom. Cành thanh long tỉa bỏ mỗi năm 1 lần, trung bình 150 cành/trụ, tương ứng khoảng 50kg/trụ, như vậy mỗi năm phát thải ra môi trường gần 60 tấn cành tỉa bỏ. Chưa có sự liên kết giữa chăn nuôi heo và canh tác cây thanh long tại hộ.

Nước thải: Ước tính 1,2m^3/ngày, chủ yếu là nước thải từ quá trình vệ sinh chuồng trại chăn nuôi, nước thải này hiện tại chưa được xử lý và được chảy tràn trực tiếp ra môi trường. Vị trí tiếp nhận nước thải là





Hình 2. Hiện trạng môi trường của hộ điển hình



Hình 3. Sơ đồ tổng quát mô hình sinh thái khép kín cho hộ dân trồng thanh long kết hợp chăn nuôi heo quy mô nông hộ

mương thoát nước của khu vực. Mùi hôi, ruồi, muỗi phát sinh chủ yếu là do nước thải tồn đọng (Hình 2).

Đề xuất mô hình sinh thái khép kín cho hộ dân trồng thanh long kết hợp chăn nuôi heo quy mô nông hộ.

Dựa trên các số liệu thu thập về hiện trạng sinh kế của hộ, mô hình được đề xuất như Hình 3.

Các hạng mục được xây dựng tại mô hình bao gồm: Máng tách phân, Biogas, Bể lắng – lọc, Ao sinh học, Khu ủ phân, Thùng ủ đạm cá và giải pháp tự động hóa đơn giản.



Hình 4. Phân hữu cơ ủ từ cành thanh long và phân chuồng

Toàn bộ lượng phân thải và nước thải trong chăn nuôi heo được thu gom về Máng tách phân nhằm tách lượng phân heo ra khỏi nước thải. Hiệu suất tách phân đạt khoảng 40%. Ước tính mỗi ngày thu được 41,6 kg phân heo và dùng để ủ phân hữu cơ tại Khu ủ phân cùng với cành thanh long.

Cành thanh long tỉa bỏ: được thu gom, chặt 3-5 cm hoặc băm nhỏ bằng máy băm. Sau đó trộn với với phân heo theo tỉ lệ 1:4 (1 phân heo: 4 cành), bổ sung thêm chế phẩm sinh học Biofert UPC theo tỉ lệ 2-3 lít chế phẩm/ tấn như Hình 4. Sau thời gian từ 10 – 20 ngày, phân được ủ sẽ đạt tỉ lệ khoảng 30% khối lượng ban đầu dùng để thay thế phân hữu cơ bón cho cây. Như vậy, với 60 tấn cành thanh long của hộ dân sẽ phối trộn với 15 tấn phân heo từ chuồng bổ sung 150 lít chế phẩm sinh học Biofert UPC sẽ thu được 22,5 tấn phân hữu cơ.



Hình 5. Một số hình ảnh triển khai của mô hình

Toàn bộ lượng phân hữu cơ ủ được sẽ được bón cho cây thanh long (Hình 4).

Nước thải từ chuồng nuôi: Trung bình 1,2 m^3/ngày. đêm được thu toàn bộ vào Biogas 9m^3. Nước thải sau Biogas được dẫn và Bể lắng - lọc 3 ngăn thể tích trữ nước 4m3 theo độ cao địa hình, tại đây đảm bảo lắng, lọc cặn cũng như giảm nồng độ COD, BOD_5, TSS sau biogas. Sau đó, toàn bộ nước thải sẽ được dẫn vào Ao sinh học thể tích 40m^3 (ao có sẵn của hộ) đảm bảo khả năng lưu nước từ 30-50 ngày trước khi tái sử dụng. Tại Ao sinh học thả cá rô phi và trồng các loại cây thủy sinh bản địa để xử lý nước thải như lục bình, bèo, rau muống,… Cá rô phi thu được tại Ao sinh học sẽ dùng ủ đạm cá, đạm cá được dùng cung cấp chất dinh dưỡng cho cây thanh long. Ngoài ra, khí sinh học sinh ra từ Biogas sẽ dùng cung cấp cho nhu cầu nấu ăn của gia đình. Nước tại Ao sinh học đảm bảo đạt tiêu chuẩn QCVN 62:2025/BTNMT trước khi tuần hoàn tưới cho cây thanh long. Các hạng mục của mô hình sinh thái khép kín được triển khai tại hộ dân như Hình 5.

Ngoài ra, mô hình đề xuất một số giải pháp tự động hóa đơn giản như: Lắp đặt thiết bị điện hẹn giờ tự động giúp tự động bật tắt thiết bị đèn chong điện thanh long; Lắp đặt bơm tự động cung cấp nước cho hộ sử dụng và tưới thanh long, rửa chuồng; Lắp đặt Camera AI giúp tự động quan sát, giám sát tại khu vực canh tác, sản xuất.

Số lượng các hạng mục của công trình được thể hiện như Bảng 2.

3.3.1. Hiệu quả về mặt môi trường

Hiệu quả về môi trường sau khi áp dụng mô hình cho khu vực được tổng hợp như sau:

Sau khi triển khai mô hình, các nguồn thải của hộ được thu gom và xử lý thì điều kiện vệ sinh môi trường của các hộ điển hình được cải thiện. Rõ rệt nhất là giảm mùi hôi và cảnh quan.

Giảm thiểu ô nhiễm nguồn nước: Nước thải sau chuồng nuôi được đưa vào các hạng mục bao gồm Bể biogas, Bể lắng – lọc, Ao sinh học đảm bảo đạt Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải chăn nuôi (QCVN 62:2025/BTNMT, cột B) có thể sử dụng cho mục đích sản xuất công nghiệp, nông nghiệp sau khi áp dụng các biện pháp xử lý phù hợp như Bảng 3.

Giảm sử dụng phân bón hóa học: phân hữu cơ từ cành thanh long thải bỏ và phân heo, thu hồi cá từ ao sinh học để ủ đạm cá sử dụng để tưới, bón cho cây trồng của hộ dân, thay thế cho phân bón hóa học giúp hạn chế ô nhiễm nguồn nước, môi trường đất từ việc

Bảng 2. Tổng hợp thông số các hạng mục

TT	Hạng mục	Mô tả	Đơn vị	Số lượng	Ghi chú
I	**Các hạng mục sinh thái khép kín**				
1	Máng tách phân	DxRxC: 1,4x0,7x0,7m Vật liệu: Gạch, xi măng, lưới tách inox	Cái	1	Điều chỉnh lượng phân vào bể biogas đủ sử dụng.
2	Biogas	Dung tích: 09m^3 Vật liệu: Composite	Cái	1	Xử lý nước thải chăn nuôi và thu hồi khí sinh học.
3	Bể lắng – lọc	DxRxC: 3,0x1,5x1,5m Vật liệu: Gạch, xi măng, sắt thép	Cái	1	Lắng cặn và tận dụng biochar để xử lý nước thải.
4	Ao sinh học	Diện tích 40m^2	Cái	1	Cải tạo từ ao của hộ. Trồng thêm các cây bản địa. Đảm bảo thời gian lưu nước từ 30 - 50 ngày.
5	Khu ủ phân	DxRxC: 4,0x3,0x0,8m Vật liệu: Gạch, xi măng, mái lợp tôn	Cái	1	Đảm bảo thời gian lưu chứa phân để ủ thành phân hữu cơ.
6	Thùng ủ phân đạm cá	Thùng 200 lít	Cái	1	Ủ phân lỏng từ cá.
II	**Các hạng mục tự động hóa đơn giản**				
1	Bơm tự động	-	Cái	1	Đảm bảo nguồn nước phục vụ sản xuất, sinh hoạt liên tục.
2	Bộ điều khiển, hẹn giờ	-	Cái	1	Hẹn giờ, đảm bảo thời gian chính xác vận hành các thiết bị.
3	Camera AI	-	Cái	1	Quan sát, giám sát tự động

Bảng 3. Kết quả phân tích chất lượng nước thải sau xử lý của mô hình

Chỉ tiêu	Đơn vị	Chất lượng nước thải đầu vào mô hình	Chất lượng nước sau xử lý của mô hình	QCVN 62:2025/ BTNMT, cột B
pH	-	7,6	7,6	6-9
Nhu cầu ôxy sinh hóa (BOD_5)	*mgO_2/L*	1.152	3,6	60
Nhu cầu ôxy hóa học (COD)	*mgO_2/L*	2.150	20	150
Tổng chất rắn lơ lửng (TSS)	*mg/L*	1.370	60	100
Tổng Nitơ (T-N)	*mg/L*	264	4,35	60
Tổng Phốt pho (T- P) (*Nguồn tiếp nhận là hồ, ao, đầm (gọi chung là hồ)*	*mg/L*	65	0,46	3
Tổng Coliform	*MPN/ 100mL*	1,1 x 10^6	4,3 x 10^2	5.000

thải bỏ bao bì thuốc BVTV và góp phần xây dựng nền nông nghiệp hữu cơ, sản phẩm sạch trong khu vực.

3.3.2. Hiệu quả về mặt kinh tế

Tổng chi phí đầu tư và vận hành các hạng mục của mô hình sinh thái khép kín kết hợp một số giải pháp tự động hóa đơn giản cho hộ dân trồng cây thanh long kết hợp chăn nuôi heo quy mô nông hộ được tổng hợp trong Bảng 4.

Lợi ích kinh tế từ mô hình được tổng hợp trong Bảng 5.

Mô hình đề xuất với chi phí đầu tư khoảng 37.600.000 đồng/năm và vận hành là 14.440.130 đồng/năm, thu nhập từ mô hình khoảng 56.000.000 đồng/năm. Vậy thời gian hoàn vốn của mô hình là dưới 1 năm và lợi nhuận thu được sau khi hoàn vốn là 41.559.870 đồng/năm. Từ đó cho thấy, mô hình giúp mang lại hiệu quả về mặt kinh tế cho người dân tham gia vào mô hình.

3.3.3. Hiệu quả về mặt phát triển sinh kế

Dựa trên nền tảng các hoạt động sinh kế hiện hữu của người dân là trồng cây thanh long kết hợp nuôi heo (quy mô nông hộ), mô hình đã tạo thêm những

Bảng 4. Tổng hợp chi phí đầu tư và vận hành mô hình

STT	Hạng mục	Chi phí		Ghi chú
		Đầu tư (đồng/năm)	Vận hành (đồng/năm)	
I	**Các hạng mục sinh thái khép kín**			
1	Máng tách phân	2.000.000	1.696.710	Chi phí đầu tư bao gồm vật tư *(Gạch, xi măng, lưới tách inox)* và công thợ. Chi phí vận hành: Công vận hành *(10 công)**.
2	Hệ thống biogas	16.500.000	0	Chi phí đầu tư bao gồm vật tư *(bể Composite)* và công thợ. Chi phí vận hành: Không có.
3	Bể lắng - lọc	5.000.000	0	Chi phí đầu tư bao gồm vật tư (*Gạch, xi măng, sắt, thép)* và công thợ. Chi phí vận hành: Không có.
4	Ao sinh học	7.000.000	2.696.710	Chi phí đầu tư bao gồm vật tư *(ống nhựa, bạt lót ao)* và công thợ. Chi phí vận hành: cá rô phi giống *(10kg),* công vận hành *(10 công)** .
5	Khu ủ phân	4.500.000	9.196.710	Chi phí đầu tư bao gồm vật tư *(Gạch, xi măng, sắt, thép)* và công thợ. Chi phí vận hành: Công vận hành *(10 công)** vi sinh 150 lít chế phẩm sinh học Biofert UPC (50.000 đồng/lít).
6	Thùng ủ phân đạm cá	1.000.000	850.000	Chi phí đầu tư bao gồm vật tư *(thùng nhựa)* và công thợ. Chi phí vận hành: vi sinh EM+ mật rỉ đường.
II	**Các hạng mục tự động hóa đơn giản**			
1	Bơm tự động	250.000	-	Chi phí đầu tư bao gồm thiết bị *(phao bơm tự động)* và công thợ. Chi phí vận hành: Không có.
2	Bộ điều khiển, hẹn giờ	350.000	-	Chi phí đầu tư bao gồm thiết bị *(bộ điều khiển, hẹn giờ)* và công thợ. Chi phí vận hành: Không có.
3	Camera AI	1.000.000	-	Chi phí đầu tư bao gồm thiết bị *(Camera)* và công thợ. Chi phí vận hành: Không có.
	Tổng cộng	37.600.000	14.440.130	**Đã bao gồm chi phí nhân công vận hành mô hình**

(*) Giá nhân công theo Quyết định số 334/QĐ-SXD ngày 30/12/2024 của Sở Xây dựng tỉnh Bình Thuận (cũ) về việc công bố đơn giá nhân công xây dựng năm 2024 trên địa bàn tỉnh Bình Thuận.

Bảng 5. Lợi ích kinh tế thu được từ mô hình

STT	Hạng mục	Thu nhập (đồng/năm)	Ghi chú
I	**Các hạng mục sinh thái khép kín**		
1	Máng tách phân	0	Thu được nguyên liệu phân để ủ phân hữu cơ.
2	Hệ thống biogas	3.000.000	Giúp xử lý nước thải. Khí sinh học thay thế gas LPG, trung bình mỗi hộ (3 nhân khẩu) sử dụng 6 bình mỗi năm, 500.000 đồng/bình.
3	Bể lắng - lọc	0	Giúp xử lý nước thải.
4	Ao sinh học	0	Toàn bộ cá thu được sẽ dùng ủ đạm cá.
5	Khu ủ phân	45.00.000	Mỗi năm thu được khoảng 60 tấn cành thanh long kết hợp 15 tấn phân heo, sản xuất được 22,5 tấn phân hữu cơ, giá khoảng 2.000 đồng/kg.
6	Thùng ủ phân đạm cá	8.000.000	Mỗi năm thu được 200 lít đạm cá. Với giá 40.000 đồng/lít.
II	**Các hạng mục tự động hóa đơn giản**		
1	Bơm tự động	-	Tiết kiệm nhân công.
2	Bộ điều khiển, hẹn giờ	-	Tiết kiệm nhân công.
3	Camera AI	-	Theo dõi vận hành
	Tổng cộng	56.000.000	

Bảng 6. Đánh giá khả năng nhân rộng mô hình

TT	Tiêu chí	Đánh **giá**
1	Chi phí đầu tư, vận hành	Chi phí đầu tư và vận hành mô hình phù hợp với điều kiện kinh kế của người dân địa phương. Mô hình ít sử dụng máy móc, thiết bị, không sử dụng hóa chất, chủ yếu tận dụng nhân công lúc nhàn rỗi.
2	Thời gian hoàn vốn	Thời gian hoàn vốn của mô hình khá nhanh, sau hơn 01 năm đã mang lại lợi nhuận.
3	Hiệu quả mô hình	Mô hình vừa tạo thêm nhiều loại hình sinh kế (tạo thêm công ăn việc làm cho lao động địa phương), gia tăng thu nhập cho người dân, vừa giúp cho công tác BVMT được nâng cao (tiết kiệm tài nguyên, giảm thiểu chất thải).
4	Những khó khăn	Lợi nhuận thu về trong 01 năm đầu tiên còn thấp do chi phí đầu tư xây dựng ban đầu và cần phải có nhân công vận hành, theo dõi các hạng mục. Đồng thời, khi triển khai nhân rộng mô hình phải có mối liên kết giữa các thành phần kinh tế của hộ, điều kiện kinh tế và thiện chí thực hiện của các bên.

công việc mới giúp hỗ trợ và mở rộng sinh kế hiện hữu. Cụ thể như sau:

- Làm phân Compost từ việc tận dụng cành cây thanh long tỉa bỏ.
- Làm phân Compost từ phân heo.
- Thu hồi khí sinh học trong hầm biogas 9m^3 sử dụng nguyên liệu là chất thải (nước thải, phân thải) từ chuồng, giúp hộ giảm chi phí mua khí sinh học sử dụng trong sinh hoạt.
- Nuôi cá rô phi trong Ao sinh học.
- Ủ phân đạm cá: Cá thu hoạch được dùng làm nguyên liệu để sản xuất đạm cá, hỗ trợ cho các hoạt động trồng cây thanh long, hoa màu cho hộ.

Tóm lại, mô hình tạo thêm được 05 loại hình sinh kế cho người dân trong khu vực gồm làm phân hữu cơ từ phân heo và cành thanh long, sản xuất khí sinh học, nuôi cá và ủ đạm cá. Đồng thời, các giải pháp tự động hóa đơn giản như thiết bị bơm nước tự động, điều khiển các thiết bị tự động, camera AI giám sát giúp hộ dân tiết kiệm được thời gian lao động và chủ động trong sản xuất. Bên cạnh đó, mô hình còn giúp người dân trong khu vực duy

trì ổn định các sinh kế hiện hữu (trồng cây thanh long, nuôi heo).

3.3.4. Khả năng nhân rộng mô hình

Khả năng nhân rộng của mô hình thí điểm cho người dân khu vực có điều kiện tự được đánh giá qua một số tiêu chí cơ bản như sau:

- Chi phí đầu tư và vận hành.
- Thời gian hoàn vốn.
- Hiệu quả mô hình (môi trường, sinh kế, kinh tế).
- Những khó khăn.

Kết quả đánh giá khả năng nhân rộng của mô hình được tổng hợp trong Bảng 6.

Kết quả đánh giá cho thấy, mô hình hoàn toàn có khả năng nhân rộng cho các đối tượng, khu vực tương tự.

4. KẾT LUẬN

Bài viết này nhằm đề xuất mô hình sinh thái khép kín cho các hộ nông dân trồng thanh long kết hợp chăn nuôi heo quy mô nông hộ. Các phương án được xem xét bao gồm: i) xử lý nước thải bằng hệ thống biogas kết hợp bể lắng - lọc 3 ngăn và ao xử lý sinh học; ii) xử lý cành thanh long tỉa bỏ và phân chuồng bằng ủ phân hữu cơ. Đồng thời, Nhóm tác giả đã tích hợp một số giải pháp tự động hóa đơn giản như lắp đặt thiết bị điện hẹn giờ tự động giúp tự động bật tắt thiết bị đèn chong điện thanh long, lắp đặt bơm tự động cung cấp nước cho hộ sử dụng và tưới thanh long, rửa chuồng và lắp đặt camera AI giám sát.

Mô hình sinh thái khép kín cho các hộ nông dân trồng thanh long kết hợp chăn nuôi heo quy mô nông hộ được áp dụng tại xã Tân Thành, tỉnh Lâm Đồng cho thấy chi phí đầu tư và vận hành mô hình phù hợp với điều kiện kinh kế của người dân địa phương. Mô hình ít sử dụng máy móc, thiết bị, không sử dụng hóa chất, chủ yếu tận dụng nhân công lúc nhàn rỗi. Mô hình giúp mang lại hiệu quả về mặt kinh tế cho người dân tham gia vào mô hình dựa trên thời gian hoàn vốn của mô hình là dưới 1 năm và lợi nhuận thu được sau khi hoàn vốn là 41.559.870 đồng/năm. Mô hình tạo thêm được 05 loại hình sinh kế cho người dân trong khu vực gồm làm phân compost từ phân heo và cành thanh long, sản xuất khí sinh học, nuôi cá và ủ đạm cá. Bên cạnh đó, mô hình còn giúp người dân trong khu vực duy trì ổn định các sinh kế hiện hữu (trồng cây thanh long, nuôi heo).

Tuy nhiên, lợi nhuận thu về trong 01 năm đầu tiên còn thấp do chi phí đầu tư xây dựng ban đầu và cần phải có nhân công vận hành, theo dõi các hạng mục. Đồng thời, khi triển khai nhân rộng mô hình phải có mối liên kết giữa các thành phần kinh tế của hộ, điều kiện kinh tế và thiện chí thực hiện của các bên. Khi mô hình vận hành ổn định cho những năm tiếp theo, chi phí sẽ giảm đi đáng kể do không xây dựng mới.

Lời cảm ơn: *Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ đề tài mã số C2023-24-01*■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Trần Danh Sửu và cộng sự, Kỹ thuật trồng và chăm sóc cây thanh long. Viện Khoa học Nông nghiệp Việt Nam. 2017.

2. Trung tâm Thông tin Công nghiệp và Thương mại (Bộ Công Thương), Phân tích tình hình cung cầu và dự báo mặt hàng thanh long, tháng 10 và 10 tháng năm 2024.

3. Rodríguez-Ortega, T., et al., Does intensification result in higher efficiency and sustainability? An emergy analysis of Mediterranean sheep-crop farming systems. 2017. 144: p. 171-179.

4. Mukhlis, M., et al., The integrated farming system of crop and livestock: a review of rice and cattle integration farming. 2018. 42(3): p. 68-82.

5. Paolotti, L., et al., Combining livestock and tree crops to improve sustainability in agriculture: a case study using the Life Cycle Assessment (LCA) approach. 2016. 131: p. 351-363.

6. Engle, C.R.J.J.o.t.W.A.S., Optimal product mix for integrated livestock-fish culture systems on limited resource farms. 1987. 18(3): p. 137-147.

7. Azhar, B., et al., Time to revisit oil palm-livestock integration in the wake of United Nations sustainable development goals (SDGs). 2021. 5: p. 640285.

8. Nguyen, H.T., S.N. Thach, and V.C.N.J.J.o.V.E. Nguyen, Cow raising in the Mekong Delta-The current status of waste treatment and risk of greenhouse gas emissions. 2018. 10(1): p. 56-65.

9. Petrovic, B., et al., Application of computer vision in livestock and crop production-a review. 2023. 1(1): p. 360-360.

10. Distante, D., et al., Artificial Intelligence Applied to Precision Livestock Farming: A Tertiary Study. Smart Agricultural Technology, 2025: p. 100889.

11. Han, X., et al., AI based digital twin model for cattle caring. 2022. 22(19): p. 7118.

12. Ninh Xuân Diện, Xây dựng hệ thống giám sát và điều khiển tự động cho trang trại bò sữa sử dụng công nghệ internet vạn vật. Khoa học - Công nghệ và Đổi mới sáng tạo, 2025.

13. Le, T.H., et al., An integrated ecosystem incorporating renewable energy leading to pollution reduction for sustainable development of craft villages in rural area: a case study at sedge mats village in Mekong Delta, Vietnam. Energy, Sustainability Society, 2016. 6(1): p. 21.

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ NHẬN THỨC VÀ KHẢ NĂNG TIẾP CẬN MÔ HÌNH KINH TẾ TUẦN HOÀN TRONG CHĂN NUÔI HEO QUY MÔ NHỎ TẠI TỈNH BÀ RỊA - VŨNG TÀU (CŨ)

NGUYỄN QUỐC AN[1], NGUYỄN THỊ PHƯƠNG THẢO[1], TRẦN TRUNG KIÊN[1], NGUYỄN VIỆT THẮNG, NGÔ THỊ PHƯƠNG NAM[1], LÊ THANH HẢI[1]

[1]Viện Môi trường và Tài nguyên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh

Tóm tắt

Nghiên cứu đánh giá mức độ nhận thức, hành vi áp dụng và khả năng tiếp cận mô hình kinh tế tuần hoàn (KTTH) trong chăn nuôi heo quy mô nhỏ lẻ tại tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu (cũ). Dữ liệu sơ cấp được thu thập từ 120 hộ chăn nuôi tại ba huyện Châu Đức, Xuyên Mộc và Long Điền thông qua bảng hỏi cấu trúc theo khung KAP kết hợp phỏng vấn sâu bán cấu trúc, và được phân tích bằng thống kê mô tả, kiểm định Chi-square, phân tích SWOT và khung DPSIR. Kết quả cho thấy 45,8% số hộ có nhận thức ở mức thấp và rất thấp về KTTH, trong khi chỉ 29,2% áp dụng các giải pháp một cách có hệ thống, dù 75,8% đã tham gia tập huấn. Trình độ học vấn có mối liên hệ thuận chiều và có ý nghĩa thống kê với hành vi áp dụng ($\chi^2 = 23,063$; $df = 2$; $p < 0,001$): tỷ lệ áp dụng tăng từ 14,5% ở nhóm trung học cơ sở lên 75,0% ở nhóm cao đẳng/đại học. Phân tích SWOT và khung DPSIR xác định ba rào cản cấu trúc gồm hạn chế tài chính đầu tư ban đầu, thiếu hỗ trợ kỹ thuật vận hành sau lắp đặt và và chưa tận dụng hiệu quả các sản phẩm tái chế tại chỗ. Kết quả nghiên cứu gợi ý ba hướng can thiệp ưu tiên: hoàn thiện quy định kỹ thuật cấp tỉnh kèm cơ chế giám sát thực thi, chuyển đổi hình thức tập huấn sang thực hành tại chỗ, và thúc đẩy các mô hình tự sử dụng sản phẩm tái chế tại chỗ (dùng biogas đun nấu sinh hoạt, ủ compost phục vụ trồng trọt của hộ) theo hướng khép kín.

Từ khóa: *Biogas, chăn nuôi heo, compost hữu cơ, Kinh tế tuần hoàn, nhận thức hộ dân.*

Ngày nhận bài: *10/2/2026;* ***Ngày sửa chữa:*** *16/3/2026;* ***Ngày duyệt đăng:*** *27/3/2026.*

Awareness and accessibility of circular economy models in small-scale pig farming: A case study in former Ba Ria - Vung Tau province

Abstract

This study assessed the awareness, adoption behaviour, and accessibility of circular economy (CE) models among small-scale pig farmers in former Ba Ria - Vung Tau province, Vietnam. Primary data were collected from 120 households across three districts - Chau Duc, Xuyen Moc, and Long Dien - using a KAP-based structured questionnaire complemented by semi-structured in-depth interviews, and analysed through descriptive statistics, Chi-square tests, SWOT analysis, and the DPSIR framework. Results indicate that 45.8% of respondents had low or very low awareness of CE principles, and only 29.2% applied CE solutions systematically, despite a training participation rate of 75.8%. Educational attainment showed a statistically significant positive association with adoption behaviour ($\chi^2 = 23.063$; $df = 2$; $p < 0.001$), with adoption rates increasing from 14.5% among lower secondary graduates to 75.0% among those with tertiary education. SWOT and DPSIR analyses identified three structural barriers: financial constraints on initial investment, insufficient post-installation technical support, and the inefficient on-site utilization of recycled products. Three priority interventions are recommended: strengthening provincial technical regulations with enforceable monitoring mechanisms, reorienting training programmes towards hands-on field practice, and promoting on-site self-utilization models for recycled products (using biogas for cooking, compost for household farming) towards a closed-loop system.

Keywords: *Biogas, pig farming, organic compost, circular economy, household perception.*

JEL Classifications: *O13, Q50, Q51, Q52.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự gia tăng nhanh chóng của nhu cầu thực phẩm toàn cầu đã thúc đẩy mở rộng quy mô chăn nuôi heo ở nhiều quốc gia đang phát triển, kéo theo áp lực môi trường ngày càng lớn từ lượng chất thải phát sinh (Polprasert et al., 1994). Chất thải chăn nuôi heo, bao gồm phân, nước tiểu và nước rửa chuồng, chứa hàm lượng cao các hợp chất hữu cơ, nitơ, phốt pho và vi sinh vật gây bệnh, có khả năng gây ô nhiễm nghiêm trọng đối với đất, nước mặt và nước ngầm nếu không

được quản lý đúng cách (FAO, 2019). Tại Việt Nam, ngành chăn nuôi heo đóng vai trò quan trọng trong cơ cấu nông nghiệp quốc gia, với tổng đàn heo duy trì ở mức trên 24 triệu con trong những năm gần đây (GSO, 2023). Tuy nhiên, đặc điểm phổ biến của chăn nuôi heo tại Việt Nam là quy mô hộ nhỏ lẻ, phân tán, với hạ tầng xử lý chất thải còn hạn chế, dẫn đến nguy cơ ô nhiễm môi trường cục bộ cao, đặc biệt tại các vùng nông thôn có mật độ chăn nuôi lớn (Hiểu & cs, 2020).

Trong bối cảnh đó, kinh tế tuần hoàn (KTTH) ngày càng được xem là hướng tiếp cận có tính hệ thống và bền vững cho quản lý chất thải chăn nuôi. Khác với mô hình kinh tế tuyến tính truyền thống, KTTH hướng đến việc duy trì giá trị của tài nguyên trong chu trình sản xuất thông qua các chiến lược tái sử dụng, tái chế và thu hồi năng lượng, từ đó giảm thiểu phát thải và phụ thuộc vào đầu vào nguyên liệu mới (MacArthur, 2013). Trong lĩnh vực chăn nuôi heo, ba giải pháp KTTH được ứng dụng phổ biến bao gồm: sản xuất khí sinh học (biogas) từ phân heo thông qua quá trình phân giải kỵ khí, ủ phân hữu cơ (compost) từ chất thải rắn, và tái sử dụng nước thải sau xử lý sinh học cho tưới tiêu nông nghiệp (Xue et al., 2019; Secco et al., 2020). Tại Việt Nam, chương trình biogas quốc gia do SNV triển khai từ những năm 2003 đã hỗ trợ xây dựng hàng trăm nghìn hầm biogas quy mô hộ gia đình, góp phần cải thiện vệ sinh môi trường và cung cấp năng lượng nấu nướng cho nhiều hộ chăn nuôi nông thôn (SNV, 2014).

Mặc dù có tiềm năng rõ ràng về mặt kỹ thuật và kinh tế, tỷ lệ áp dụng KTTH trong chăn nuôi heo tại Việt Nam, đặc biệt ở quy mô hộ nhỏ lẻ, vẫn còn thấp. Các nghiên cứu hiện có chủ yếu tập trung đánh giá hiệu quả kỹ thuật và kinh tế của từng giải pháp riêng lẻ như biogas hay phân hữu cơ {Tu Nguyen et al., 2022; Trung & cs, 2024), trong khi yếu tố nhận thức và hành vi của nông hộ vẫn chưa được phân tích đầy đủ. Trong lĩnh vực chấp nhận công nghệ nông nghiệp, nhiều nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra rằng nhận thức về lợi ích, mức độ tiếp cận thông tin kỹ thuật và năng lực tài chính là các yếu tố quyết định hành vi áp dụng công nghệ mới ở cấp hộ sản xuất (Rogers et al., 2014; Davis et al., 1989). Tại Việt Nam, một số nghiên cứu ứng dụng mô hình chấp nhận công nghệ (TAM) và mô hình hành vi có kế hoạch (TPB) đã chỉ ra rằng trình độ học vấn, kinh nghiệm tiếp xúc với khuyến nông và nhận thức về lợi ích kinh tế có ảnh hưởng đáng kể đến ý định áp dụng biogas tại các hộ chăn nuôi heo quy mô nhỏ ở Đồng bằng sông Cửu Long (Guntoro et al., 2024). Nghiên cứu của (Qui et al., 2025) cũng nhấn mạnh rằng các rào cản về tiếp cận vốn và hỗ trợ kỹ thuật là nguyên nhân chính khiến mô hình KTTH chưa được nhân rộng ở cấp vi mô tại Việt Nam.

Tại tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu (cũ), chăn nuôi heo là một trong những hoạt động nông nghiệp chủ lực, với tổng đàn heo khoảng 300.800 con phân bố chủ yếu tại các huyện Châu Đức, Xuyên Mộc và thị xã Phú Mỹ (Niên giám Thống kê tỉnh BR-VT, 2023). Trong khi các cơ sở chăn nuôi quy mô lớn trên địa bàn đã từng bước hoàn thiện hệ thống xử lý nước thải đạt quy chuẩn, phần lớn hộ chăn nuôi nhỏ lẻ vẫn chưa áp dụng các giải pháp xử lý chất thải bài bản, tiềm ẩn nguy cơ ô nhiễm môi trường cục bộ tại các khu vực có mật độ chăn nuôi cao. Mặc dù vậy, cho đến nay chưa có nghiên cứu nào đánh giá một cách có hệ thống nhận thức, hành vi áp dụng và khả năng tiếp cận KTTH trong nhóm hộ chăn nuôi nhỏ lẻ tại tỉnh này. Đây là khoảng trống thông tin quan trọng, bởi đặc thù kinh tế - xã hội của các hộ chăn nuôi tại BR-VT - bao gồm quy mô sản xuất, trình độ học vấn, mức thu nhập và mức độ tiếp cận dịch vụ khuyến nông - có thể tạo ra các mô hình hành vi và rào cản tiếp cận KTTH khác biệt so với các vùng đã được nghiên cứu.

Trên cơ sở các khoảng trống nghiên cứu được xác định, nghiên cứu này được thực hiện với ba mục tiêu cụ thể: (1) đánh giá mức độ nhận thức của các hộ chăn nuôi heo quy mô nhỏ tại BR-VT về các mô hình KTTH; (2) xác định tỷ lệ và hình thức áp dụng thực tế các giải pháp KTTH trong chăn nuôi; và (3) phân tích mối liên hệ giữa các yếu tố kinh tế - xã hội (trình độ học vấn, tham gia tập huấn, khả năng tiếp cận tài chính và kỹ thuật) với mức độ áp dụng KTTH.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là các hộ chăn nuôi heo quy mô nhỏ lẻ (dưới 50 con/hộ) tại tỉnh BR-VT (cũ), hoạt động theo hình thức chăn nuôi hộ gia đình truyền thống hoặc bán thâm canh. Phạm vi không gian bao gồm các xã có hoạt động chăn nuôi heo phổ biến thuộc ba huyện Châu Đức, Xuyên Mộc và Long Điền (các địa danh theo huyện BR-VT cũ) - các địa bàn được xác định có mật độ chăn nuôi hộ nhỏ lẻ cao và mức độ áp dụng giải pháp xử lý chất thải theo hướng KTTH còn thấp.

Phạm vi thời gian: dữ liệu sơ cấp được thu thập trong năm 2025.

2.2. Phương pháp chọn mẫu

Mẫu nghiên cứu gồm 120 hộ chăn nuôi heo, được chọn theo phương pháp lấy mẫu phân tầng kết hợp ngẫu nhiên hệ thống (stratified systematic sampling). Tổng thể nghiên cứu được phân tầng theo địa bàn huyện (Châu Đức, Xuyên Mộc, Long Điền) và quy mô đàn (dưới 10 con, 10-30 con, 31-50 con). Trong mỗi tầng, danh sách hộ đủ điều kiện được lấy từ danh sách quản lý chăn nuôi của Phòng Nông nghiệp và Phát triển nông thôn cấp huyện; mẫu trong mỗi tầng được

chọn ngẫu nhiên hệ thống với khoảng cách chọn mẫu cố định.

Tiêu chí đưa vào mẫu gồm:

(i) hộ đang hoạt động chăn nuôi heo tại thời điểm khảo sát;

(ii) quy mô đàn dưới 50 con;

(iii) đại diện hộ đồng ý tham gia.

Cỡ mẫu 120 hộ được xác định theo công thức ước lượng tỷ lệ tổng thể của Cochran (1977):

$n = \frac{z^2 p(1-p)}{e^2}$, với độ tin cậy 95% (z = 1,96), tỷ lệ ước tính p = 0,50 (giá trị bảo thủ tối đa hóa cỡ mẫu) và sai số biên cho phép e = 0,09. Cỡ mẫu được làm tròn lên 120 hộ nhằm bù đắp hao hụt mẫu tiềm năng trong quá trình thu thập dữ liệu.

2.3. Phương pháp thu thập dữ liệu

Nghiên cứu áp dụng thiết kế cắt ngang (cross-sectional design), kết hợp phương pháp định lượng và định tính.

Khảo sát bằng bảng hỏi cấu trúc. Bảng hỏi được xây dựng dựa trên khung lý thuyết KAP (Knowledge - Attitude - Practice), gồm bốn phần:

Thông tin kinh tế - xã hội của hộ (trình độ học vấn của chủ hộ, quy mô đàn, thu nhập bình quân, diện tích đất canh tác);

Mức độ nhận thức về khái niệm KTTH và các giải pháp cụ thể;

Hành vi áp dụng thực tế và lý do không áp dụng;

Mức độ tiếp cận các nguồn lực hỗ trợ (vốn tín dụng, hỗ trợ kỹ thuật, thông tin khuyến nông, chính sách địa phương). Trong đó, mức độ nhận thức và khả năng tiếp cận được lượng hóa bằng thang đo Likert 5 mức (1 = rất thấp/không biết đến 5 = rất cao/áp dụng thường xuyên). Trước khi triển khai chính thức, bảng hỏi được kiểm tra thử (pilot test) với 10 hộ không nằm trong mẫu chính thức nhằm đánh giá độ rõ ràng của câu hỏi và điều chỉnh ngôn ngữ cho phù hợp với đặc điểm người trả lời.

Phỏng vấn sâu. Để bổ sung và làm sâu thêm thông tin định lượng, nhóm nghiên cứu tiến hành phỏng vấn sâu bán cấu trúc (semi-structured in-depth interview) với cán bộ quản lý nông nghiệp cấp huyện và cán bộ khuyến nông cấp xã tại ba địa bàn khảo sát. Nội dung phỏng vấn tập trung vào ba chủ đề: thực trạng triển khai các chương trình tập huấn kỹ thuật về KTTH; cơ chế chính sách hỗ trợ hộ chăn nuôi nhỏ lẻ hiện hành; và các rào cản thể chế trong việc nhân rộng mô hình KTTH tại địa phương.

2.4. Phương pháp phân tích dữ liệu

Dữ liệu định lượng được mã hóa, nhập liệu kép (double-entry) để kiểm soát sai số nhập liệu, sau đó xử lý bằng phần mềm SPSS phiên bản 26.0. Trong đó:

Thống kê mô tả được sử dụng để phân tích phân phối tần suất, tỷ lệ phần trăm và giá trị trung bình của các biến nhận thức, hành vi và khả năng tiếp cận KTTH, qua đó mô tả bức tranh tổng quan về thực trạng tại địa bàn nghiên cứu.

Phân tích so sánh chéo (cross-tabulation) kết hợp kiểm định Chi-square (χ^2) được sử dụng để kiểm tra mối liên hệ giữa các biến phân loại - trình độ học vấn, mức độ tham gia tập huấn - với hành vi áp dụng KTTH. Mức ý nghĩa thống kê được đặt tại $p < 0,05$.

Đồng thời, phân tích SWOT được thực hiện trên cơ sở tổng hợp kết quả khảo sát và phỏng vấn sâu, nhằm hệ thống hóa các điểm mạnh (Strengths), điểm yếu (Weaknesses), cơ hội (Opportunities) và thách thức (Threats) liên quan đến khả năng áp dụng và nhân rộng KTTH trong chăn nuôi heo quy mô hộ. Khung DPSIR (Driving forces - Pressure - State - Impact - Response) được vận dụng để phân tích có hệ thống chuỗi nhân quả từ các động lực thúc đẩy chăn nuôi, áp lực phát thải chất thải, hiện trạng môi trường, tác động đến hệ sinh thái và cộng đồng, đến các phản hồi chính sách hiện hành.

Phân tích nội dung (content analysis) được áp dụng cho dữ liệu định tính từ phỏng vấn sâu, trong đó các chủ đề nổi bật được mã hóa theo danh mục định sẵn và đối chiếu với kết quả định lượng nhằm làm rõ nguyên nhân sâu xa của các rào cản tiếp cận KTTH ở cấp hộ.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Nhận thức và hành vi áp dụng mô hình kinh tế tuần hoàn trong chăn nuôi heo

Mẫu nghiên cứu gồm 120 hộ chăn nuôi heo quy mô nhỏ lẻ tại ba huyện Châu Đức (40,0%; n = 48), Xuyên Mộc (36,7%; n = 44) và Long Điền (23,3%; n = 28), tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu. Phân bố trình độ học vấn của chủ hộ cho thấy nhóm tốt nghiệp trung học cơ sở chiếm tỷ lệ cao nhất (51,7%; n = 62), tiếp theo là nhóm trung học phổ thông (35,0%; n = 42) và nhóm cao đẳng/đại học trở lên (13,3%; n = 16). Về quy mô chăn nuôi, hộ dưới 10 con chiếm đa số mẫu (56,7%; n = 68), phản ánh đặc trưng sản xuất nhỏ lẻ, tự cung tự cấp hoặc tiêu thụ qua thương lái tại địa bàn. Cơ sở hạ tầng chuồng trại chủ yếu được xây dựng bằng vật liệu đơn giản, và phần lớn các hộ không có hệ thống xử lý chất thải đạt quy chuẩn kỹ thuật. Đáng chú ý, 75,8% số hộ (n = 91) đã tham gia ít nhất một chương trình tập huấn liên quan đến xử lý chất thải hoặc KTTH, cho thấy mức độ tiếp cận thông tin ban đầu tương đối cao. Đặc điểm kinh tế - xã hội của mẫu được tóm tắt trong Bảng 1.

Mức độ nhận thức về mô hình kinh tế tuần hoàn

Kết quả khảo sát cho thấy nhận thức của các hộ chăn nuôi về mô hình KTTH còn phân hóa rõ rệt, với xu hướng tập trung ở các mức thấp (Bảng 2). Nhóm có nhận thức ở mức rất thấp và thấp chiếm 45,8% tổng số

Bảng 1. Đặc điểm kinh tế - xã hội của hộ chăn nuôi heo được khảo sát tại tỉnh BR-VT (cũ) (n = 120)

Đặc điểm	Phân loại	n	%
1. Trình độ học vấn	Trung học cơ sở	62	51,7
	Trung học phổ thông	42	35,0
	Cao đẳng/Đại học trở lên	16	13,3
2. Quy mô đàn (con/hộ)	Nông hộ (< 10 con)	68	56,7
	Quy mô nhỏ (10–30 con)	36	30,0
	Quy mô vừa (31–50 con)	16	13,3
3. Địa bàn khảo sát	Huyện Châu Đức	48	40,0
	Huyện Xuyên Mộc	44	36,7
	Huyện Long Điền	28	23,3
4. Tham gia tập huấn KTTH	Đã tham gia	91	75,8
	Chưa tham gia	29	24,2

Nguồn: Kết quả khảo sát của nhóm nghiên cứu (2025)

hộ (n = 55), trong đó 23,3% (n = 28) hoàn toàn chưa tiếp cận khái niệm KTTH. Nhóm nhận thức trung bình chiếm 25,0% (n = 30). Chỉ 29,2% số hộ đạt mức nhận thức cao và rất cao (n = 35), phản ánh tỷ lệ hộ đã chuyển hóa hiểu biết thành thực hành còn hạn chế.

Xét theo từng giải pháp, nhận thức về hầm biogas đạt mức cao nhất, phản ánh tác động tích lũy của chương trình khí sinh học quốc gia triển khai từ năm 2003 và hoạt động khuyến nông liên tục tại địa phương (SNV, 2021). Nhận thức về ủ compost và tái sử dụng nước thải sau xử lý sinh học còn thấp hơn đáng kể, do hai giải pháp này chưa được tích hợp vào các chương trình tập huấn định kỳ tại địa bàn nghiên cứu và thiếu mô hình trình diễn có thể tiếp cận trực tiếp (Bảng 2).

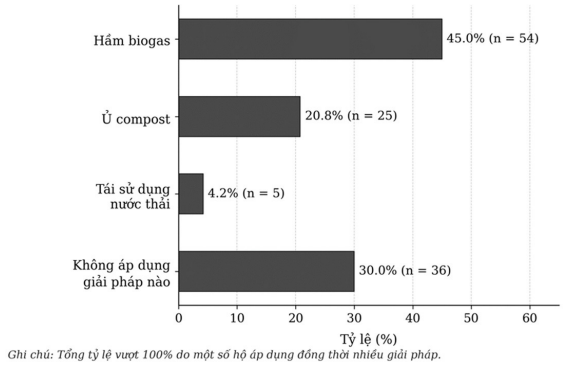
Bảng 2. Phân bố mức độ nhận thức về mô hình kinh tế tuần hoàn của hộ chăn nuôi heo tại tỉnh BR-VT (cũ) (n = 120)

Mức độ nhận thức	Mô tả	Số hộ (n)	Tỷ lệ (%)	Tỷ lệ tích lũy (%)
Rất thấp	Chưa biết đến khái niệm KTTH	28	23,3	23,3
Thấp	Nghe tên nhưng không hiểu rõ nội dung	27	22,5	45,8
Trung bình	Biết một số giải pháp nhưng chưa áp dụng	30	25,0	70,8
Cao	Hiểu rõ và đã áp dụng một phần	24	20,0	90,8
Rất cao	Hiểu đầy đủ, áp dụng thường xuyên, có đánh giá hiệu quả	11	9,2	100,0
Tổng		**120**	**100,0**	

Nguồn: Kết quả khảo sát của nhóm nghiên cứu (2025)

Hiện trạng áp dụng các giải pháp kinh tế tuần hoàn

Trong số 120 hộ khảo sát, hầm biogas là giải pháp được áp dụng phổ biến nhất với 45,0% số hộ (n = 54), tiếp theo là ủ compost với 20,8% (n = 25) và tái sử dụng nước thải sau xử lý chỉ đạt 4,2% (n = 5). Đáng chú ý, 30,0% số hộ (n = 36) không áp dụng bất kỳ giải pháp xử lý chất thải có định hướng tuần hoàn nào, chủ yếu thu gom sơ bộ vào hố đất hở hoặc xả thải trực tiếp ra môi trường xung quanh (Hình 1).



Hình 1. Tỷ lệ hộ chăn nuôi heo áp dụng các giải pháp kinh tế tuần hoàn tại tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu (n = 120)

Xét theo quy mô đàn, tỷ lệ áp dụng biogas phân hóa rõ rệt, cao nhất ở nhóm quy mô vừa (31–50 con), giảm dần ở nhóm quy mô nhỏ (10-30 con) và thấp nhất ở nhóm nông hộ dưới 10 con. Ủ compost bằng chế phẩm sinh học gần như vắng mặt ở tất cả các quy mô khảo sát. Tái sử dụng nước thải, khi được ghi nhận, chủ yếu ở dạng tưới vườn trực tiếp chưa qua xử lý đạt quy chuẩn và do đó không phản ánh thực hành KTTH theo nghĩa kỹ thuật.

Mặt khác, cần phân biệt hai chỉ số có bản chất khác nhau: tỷ lệ sở hữu thiết bị và tỷ lệ vận hành hiệu quả. Tỷ lệ hộ có hầm biogas (45,0%; n = 54) cao hơn đáng kể so với tỷ lệ hộ áp dụng KTTH có hệ thống và liên tục (29,2%; n = 35). Phỏng vấn sâu tại hiện trường xác định ba nguyên nhân chính dẫn đến khoảng cách này: vận hành không liên tục do thiếu kỹ năng bảo trì; pha loãng nước rửa chuồng quá mức làm giảm nồng độ chất hữu cơ đầu vào cần thiết cho quá trình phân giải kỵ khí; và công trình xuống cấp không được bảo dưỡng định kỳ. Các phát hiện này cho thấy việc đánh giá mức độ áp dụng KTTH dựa đơn thuần trên sự hiện diện của thiết bị có thể phóng đại đáng kể mức độ chuyển đổi thực chất ở cấp hộ, và đặt ra yêu cầu tích hợp chỉ tiêu hiệu quả vận hành vào hệ thống đánh giá trong các nghiên cứu và chương trình giám sát tiếp theo.

Bảng 3. Kết quả so sánh chéo giữa trình độ học vấn và mức độ áp dụng KTTH tại khu vực nghiên cứu

Trình độ học vấn	Số hộ (n)	Đã tham gia tập huấn		Áp dụng thực tế	
			%	n	%
Trung học cơ sở (9/12)	62	41	66,1	9	14,5
Trung học phổ thông (12/12)	42	35	83,3	14	33,3
Cao đẳng/Đại học trở lên	16	15	93,8	12	75,0
Tổng	**120**	**91**	**75,8**	**35**	**29,2**

Nguồn: Kết quả khảo sát của nhóm nghiên cứu (2025)

Mối liên hệ giữa trình độ học vấn, tham gia tập huấn và mức độ áp dụng KTTH

Phân tích so sánh chéo giữa trình độ học vấn và mức độ áp dụng KTTH (Bảng 3) cho thấy xu hướng thuận chiều nhất quán: tỷ lệ hộ áp dụng thực tế tăng dần theo bậc học vấn, từ 14,5% ở nhóm trung học cơ sở lên 33,3% ở nhóm trung học phổ thông và 75,0% ở nhóm cao đẳng/đại học trở lên. Tỷ lệ tham gia tập huấn biến động cùng chiều, từ 66,1% lên 83,3% và 93,8%. Kiểm định Chi-square xác nhận mối liên hệ giữa trình độ học vấn và hành vi áp dụng KTTH có ý nghĩa thống kê ($\chi^2 = 23,063$; $df = 2$; $p < 0,001$) (Bảng 3).

Nhóm cao đẳng/đại học có tỷ lệ áp dụng cao gấp hơn 5 lần so với nhóm trung học cơ sở (75,0% so với 14,5%), cho thấy năng lực tiếp nhận thông tin kỹ thuật đóng vai trò quyết định trong chuyển đổi hành vi. Đáng chú ý, tham gia tập huấn không tự động dẫn đến áp dụng thực tế: ở nhóm trung học cơ sở, 66,1% đã tham gia tập huấn nhưng chỉ 14,5% áp dụng, phản ánh sự không phù hợp giữa nội dung, hình thức tập huấn hiện hành với năng lực tiếp thu của nhóm học vấn thấp. Phát hiện này tương đồng với kết quả của Guntoro et al., 2024, khi nhận thức về tính dễ sử dụng (perceived ease of use) có ảnh hưởng mạnh hơn nhận thức về lợi ích (perceived usefulness) đối với quyết định áp dụng công nghệ biogas ở hộ chăn nuôi quy mô nhỏ tại Đồng bằng sông Cửu Long.

Phỏng vấn sâu cán bộ khuyến nông tại ba huyện xác định ba rào cản chính: (i) chi phí đầu tư ban đầu vượt quá khả năng tài chính của hộ nhỏ lẻ, với hệ thống biogas composite hoặc HDPE dao động từ 15 đến 700 triệu đồng tùy quy mô; (ii) thiếu hỗ trợ kỹ thuật vận hành và bảo trì sau lắp đặt; (iii) thiếu kỹ năng và định hướng để tận dụng tối đa sản phẩm tái chế tại chỗ (chẳng hạn dùng biogas để đun nấu sinh hoạt hoặc ủ phân compost bón cho diện tích cây trồng của chính nông hộ), dẫn đến lãng phí giá trị tài nguyên.

3.2. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng tiếp cận mô hình kinh tế tuần hoàn

Phân tích SWOT (Bảng 4) xác định một nghịch lý cấu trúc đặc trưng cho bối cảnh chuyển đổi KTTH ở quy mô hộ: các điều kiện vật chất và pháp lý cần thiết đã hình thành - 45,0% hộ có hầm biogas và khung pháp lý Luật BVMT 2020 đã ban hành - nhưng tỷ lệ áp dụng KTTH có hệ thống vẫn chỉ đạt 29,2%, phản ánh sự cùng tồn tại của ba nút thắt độc lập: khoảng cách nhận thức–hành vi (W1), rào cản tài chính đầu tư ban đầu (W4) và thiếu hỗ trợ kỹ thuật vận hành sau lắp đặt (W3). Đây là cấu trúc rào cản đa tầng, trong đó việc giải quyết đơn lẻ bất kỳ một nút thắt nào cũng không đủ tạo ra chuyển đổi hành vi ở cấp hộ.

Về định hướng chiến lược, tổ hợp S_2-O_2-O_3 có tính khả thi cao nhất trong ngắn hạn: nâng cấp hạ tầng biogas hiện có kết hợp phát triển thị trường compost và mô hình sinh học (BSF, trùn quế) cho phép tạo giá trị kinh tế trực tiếp từ phụ phẩm mà không đòi hỏi đầu tư hạ tầng mới. Song song, cặp W1-T1 đòi hỏi can thiệp thể chế: lấp khoảng cách nhận thức–hành vi thông qua tập huấn thực hành tại chỗ, đồng thời hoàn thiện quy định kỹ thuật cấp tỉnh nhằm kích hoạt vòng phản hồi giám sát–tuân thủ hiện đang bị đứt gãy (Bảng 4).

Khung DPSIR được vận dụng để phân tích chuỗi nhân quả từ động lực phát triển chăn nuôi đến các phản hồi chính sách hiện hành, cung cấp cơ sở logic cho các kiến nghị ở Mục 3.3 (Bảng 5).

Kết quả phân tích cho thấy các phản hồi chính sách hiện hành tập trung chủ yếu ở tầng D (ban hành luật, quy định) và tầng P (chương trình biogas), trong khi các tầng I và R vẫn thiếu cơ chế can thiệp cụ thể và có nguồn lực. Đáng chú ý, vòng phản hồi từ tầng I trở lại tầng D - tức cơ chế qua đó ô nhiễm môi trường tạo áp lực thay đổi hành vi hộ chăn nuôi - chưa vận hành hiệu quả do thiếu giám sát và chế tài thực thi ở cấp cơ sở. Việc kích hoạt vòng phản hồi này là điều kiện cần để các giải pháp chính sách đề xuất phát huy tác dụng thực sự.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu tiến hành đánh giá mức độ nhận thức và hành vi áp dụng mô hình kinh tế tuần hoàn (KTTH) của 120 hộ chăn nuôi heo quy mô nhỏ lẻ tại ba huyện Châu Đức, Xuyên Mộc và Long Điền thuộc tỉnh BR-VT (cũ).

Kết quả nghiên cứu chỉ ra mối tương quan thuận chiều, có ý nghĩa thống kê giữa trình độ học vấn, nội dung tập huấn và mức độ áp dụng các mô hình KTTH tại nông hộ. Cụ thể,

Bảng 4. Phân tích SWOT về khả năng áp dụng mô hình kinh tế tuần hoàn trong chăn nuôi heo quy mô nhỏ lẻ tại tỉnh BR -VT (cũ)

	Điểm mạnh (S)	Điểm yếu (W)
Nội tại	S1. Tỷ lệ tham gia tập huấn đạt 75,8%, phản ánh mức phổ cập thông tin kỹ thuật ban đầu tương đối cao.	W1. Khoảng cách nhận thức–hành vi lớn: 75,8% đã tập huấn nhưng chỉ 29,2% áp dụng KTTH có hệ thống.
	S2. 45,0% hộ đã có hầm biogas, tạo nền tảng hạ tầng có thể nâng cấp thành mô hình KTTH tích hợp.	W2. 46,0% mẫu có nhận thức ở mức thấp và rất thấp; nhận thức về ủ compost và tái sử dụng nước thải đặc biệt hạn chế.
	S3. Nguồn phụ phẩm (phân, nước thải) dồi dào và ổn định - đầu vào tiềm năng cho biogas, compost, trùn quế và BSF.	W3. Phần lớn hệ thống biogas hiện hữu vận hành dưới thiết kế; nước thải sau xử lý vẫn vượt QCVN 62-MT:2016/BTNMT.
	S4. Quỹ đất nông nghiệp tại Châu Đức và Xuyên Mộc còn rộng, thuận lợi bố trí hệ thống xử lý tách biệt khu dân cư.	W4. 51,7% chủ hộ có trình độ THCS; năng lực tài chính hạn chế - chỉ một hộ nhận hỗ trợ nhà nước (5 triệu đồng), không đủ chi phí thực tế.
Ngoại cảnh	**Cơ hội (O)**	**Thách thức (T)**
	O1. Luật BVMT 2020 (Điều 142, 146) và Nghị định 08/2022/NĐ-CP cung cấp khung pháp lý và cơ chế tín dụng xanh có thể vận dụng cho cấp hộ.	T1. Thiếu quy định kỹ thuật cụ thể ở cấp tỉnh/ huyện về xử lý chất thải chăn nuôi quy mô hộ; cơ chế giám sát và chế tài thực thi còn yếu.
	O2. Xu hướng phát triển nông nghiệp sinh thái và truyền thống canh tác của người dân tạo cơ hội để các hộ kết hợp chăn nuôi - trồng trọt, tận dụng triệt để phân compost và nước thải sau xử lý sinh học ngay tại vườn nhà.	T2. Các dịch bệnh trên heo gây bất ổn quy mô đàn, làm giảm động lực đầu tư dài hạn vào hệ thống xử lý chất thải.
	O3. Các mô hình sinh học tuần hoàn đang được thử nghiệm tại BR-VT, mở ra hướng tạo sinh kế mới từ phụ phẩm chăn nuôi.	T3. Khả năng tự tiêu thụ sản phẩm tái chế (biogas, compost) bị giới hạn nếu hộ chăn nuôi không có diện tích trồng trọt; trong khi đó việc thương mại hóa đầu ra lại không khả thi do quy mô hộ quá nhỏ và chi phí logistics cao.
	O4. Mạng lưới khuyến nông cấp xã hiện hữu có thể được tái cấu trúc thành kênh hỗ trợ kỹ thuật lưu động sau đầu tư.	T4. Áp lực đô thị hóa và thu hẹp đất nông nghiệp làm hạn chế khả năng nhân rộng mô hình tại địa bàn.

Nguồn: Tổng hợp từ kết quả khảo sát và phỏng vấn sâu của nhóm nghiên cứu (2025).

Bảng 5. Phân tích DPSIR về quản lý chất thải chăn nuôi heo theo hướng kinh tế tuần hoàn tại tỉnh BR-VT (cũ)

Thành phần	Nội dung	Dữ liệu khảo sát
D – Động lực (Driving forces)	Tăng trưởng nhu cầu thực phẩm thúc đẩy mở rộng chăn nuôi heo quy mô hộ; sinh kế nông thôn phụ thuộc cao vào chăn nuôi truyền thống; thiếu hướng dẫn kỹ thuật về quản lý chất thải theo hướng tuần hoàn.	Tổng đàn heo BR-VT ~300.800 con; ~10.000 hộ chăn nuôi nhỏ lẻ; 56,7% mẫu có quy mô dưới 10 con/hộ.
P – Áp lực (Pressure)	Lượng phân và nước thải phát sinh lớn, phần lớn không được xử lý đạt quy chuẩn; 30,0% hộ không áp dụng bất kỳ giải pháp xử lý chất thải nào.	30,0% hộ xả thải trực tiếp hoặc thu gom sơ bộ vào hố đất hở; phần lớn hệ thống biogas hiện hữu vận hành dưới công suất thiết kế.
S – Hiện trạng (State)	Môi trường tại các khu vực có mật độ chăn nuôi cao chịu áp lực ô nhiễm hữu cơ và vi sinh từ chất thải chưa qua xử lý đạt quy chuẩn; tỷ lệ sở hữu thiết bị xử lý không phản ánh mức độ vận hành hiệu quả thực tế.	45,0% hộ có hầm biogas nhưng chỉ 29,2% áp dụng KTTH có hệ thống; phỏng vấn sâu xác nhận vận hành gián đoạn và thiếu bảo trì định kỳ.

I – Tác động (Impact)	Suy giảm chất lượng nguồn nước phục vụ sinh hoạt và tưới tiêu; phát sinh mùi hôi ảnh hưởng cộng đồng lân cận; thất thoát giá trị tài nguyên do không thu hồi được từ phụ phẩm chăn nuôi.	Phân thải chưa xử lý được bón trực tiếp hoặc tích lũy trong hố lắng hở; chưa tận dụng hiệu quả sản phẩm tái chế phục vụ sinh hoạt và sản xuất tại chỗ.
R – Phản hồi (Response)	Hiện hành: Luật BVMT 2020 (Điều 142, 146), Nghị định 08/2022/NĐ-CP, chương trình khuyến nông biogas quốc gia. Còn thiếu: quy định kỹ thuật cụ thể cấp tỉnh, tín dụng xanh tiếp cận được ở cấp hộ, hỗ trợ kỹ thuật vận hành sau đầu tư, hướng dẫn kỹ thuật và mô hình thực hành tự sử dụng sản phẩm tái chế tại chỗ.	75,8% hộ tham gia tập huấn nhưng chỉ 29,2% áp dụng

kết quả nghiên cứu đã cho thấy sự tồn tại của khoảng cách lớn giữa việc tiếp nhận thông tin và hành vi áp dụng thực tế. Tỷ lệ áp dụng các giải pháp KTTH có hệ thống tăng mạnh và tỷ lệ thuận với trình độ học vấn: từ 14,5% ở nhóm có trình độ trung học cơ sở lên 33,3% ở nhóm trung học phổ thông, và đạt 75,0% ở nhóm cao đẳng/đại học. Kết quả này chỉ ra rằng, việc tham gia tập huấn đơn thuần (đạt 75,8% toàn mẫu) không tự động chuyển hóa thành hành vi áp dụng nếu nội dung và phương pháp truyền đạt không phù hợp với năng lực tiếp thu của người dân.

Tuy nhiên, giới hạn của nghiên cứu là sử dụng thiết kế cắt ngang với quy mô mẫu khảo sát còn nhỏ (n = 120) và thu thập trên phạm vi không gian hẹp, dẫn đến sự phân bổ mẫu ở một số nhóm trình độ học vấn chưa đủ lớn. Do đó, các nghiên cứu tiếp theo cần mở rộng địa bàn khảo sát, tăng đáng kể cỡ mẫu, đồng thời kết hợp các mô hình phân tích hồi quy chuyên sâu để khẳng định vững chắc hơn tính chính xác và tính đại diện của các mối tương quan đã được phát hiện trong nghiên cứu này.

Lời cám ơn: *Nghiên cứu này được tài trợ bởi Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh BR-VT (cũ) trong khuôn khổ Đề tài "Nghiên cứu, đề xuất và triển khai các giải pháp kỹ thuật theo hướng tuần hoàn cho các trang trại chăn nuôi (quy mô hộ dân) tại tỉnh BR-VT (cũ)" theo Hợp đồng Số: 05/HĐ-SKHCN. Tập thể tác giả xin chân thành gửi lời cảm ơn đến Viện Môi trường và Tài nguyên và các Sở Ban ngành đã hỗ trợ, tạo mọi điều kiện thuận lợi để chúng tôi có thể hoàn thành nghiên cứu*■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Cục Thống kê tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. (2023). Niên giám thống kê tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu năm 2023. Nhà xuất bản Thống kê.

2. Davis, F.D.J.M.q., Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. 1989. 13(3): p. 319-340.

3. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2019. FAOSTAT. [2019-01-16]. http://www.fao.org/faostat/en/#data.

4. GSO. (2023). Niên giám thống kê Việt Nam 2023. Tổng cục Thống kê.

5. Guntoro, B., et al., Factors affecting the willingness to adopt biogas system at small pig farms in Mekong delta, Vietnam. 2024. 37(4): p. 320-330.

6. Hiểu, T.V., et al., Hiện trạng chăn nuôi heo và tình hình nhiễm dịch tả heo Châu Phi tại Bến Tre. 2020(111): p. 56-66.

7. MacArthur, E.J.J.o.i.e., Towards the circular economy. 2013. 2(1): p. 23-44.

8. Polprasert, C., et al., Productive utilization of pig farm wastes: a case study for developing countries. Resources, Conservation and Recycling, 1994. 11(1): p. 245-259.

9. Qui, N.H., et al., Analysis of pig farming productivity and the perceptions of farmers towards government support policies in the mekong delta, Vietnam. 2025. 13(2): p. 279-288.

10. Rogers, E.M., A. Singhal, and M.M. Quinlan, Diffusion of innovations, in An integrated approach to communication theory and research. 2014, Routledge. p. 432-448.

11. Secco, C., et al., Circular economy in the pig farming chain: Proposing a model for measurement. Journal of Cleaner Production, 2020. 260: p. 121003.

12. SNV and Fact, 2014, Roductive Biogas: Carrent and future development; Five cases studies across Vietnam, Uganda, Honduras, Mali and Peru. Netherlands Development Organisation, p. 1–109.

13. Trung, N.T. and D.T.B.J.T.c.K.h.C.n.C.n. Le Xuan Tung, Application of circular economy principles to livestock production in Vietnam. 2024(148): p. 2-10.

14. Tu Nguyen, M., et al., Current and Potential Uses of Agricultural By-Products and Waste in Main Food Sectors in Vietnam-A Circular Economy Perspective, in Circular Economy and Waste Valorisation: Theory and Practice from an International Perspective, J. Ren and L. Zhang, Editors. 2022, Springer International Publishing: Cham. p. 131-151.

15. Xue, Y.-n., et al., Environmental and economic benefits of carbon emission reduction in animal husbandry via the circular economy: Case study of pig farming in Liaoning, China. Journal of Cleaner Production, 2019. 238: p. 117968.

ĐÁNH GIÁ HOẠT TÍNH SINH HỌC CỦA LÁ ĐƯỚC VÒI *RHIZOPHORA STYLOSA* GRIFF. VỚI TIỀM NĂNG LÀM NGUYÊN LIỆU CHẾ BIẾN TRÀ THẢO DƯỢC

NGÔ THỊ HOÀI THU[1*], ĐẶNG THỊ CẨM VÂN[1], BÙI KHÁNH AN[2], ĐÀM NGỌC ANH[2], PHẠM HỒNG NGỰ[2], NGUYỄN THỊ KIM CÚC[2*]

[1]Viện Sinh học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

[2]Khoa Hóa và Môi trường, Đại học Thủy lợi

Tóm tắt

Trà được biết đến rộng rãi là đồ uống có chứa nhiều polyphenol và là thức uống được tiêu thụ nhiều nhất trên thế giới. Chiết xuất từ lá, vỏ cây Đước vòi (Rhizophora stylosa Griff.) - được trồng ở các vùng rừng ngập mặn ven biển nhiệt đới và cận nhiệt đới có chứa lượng lớn polyphenol, có tác dụng phòng và chống các bệnh tiểu đường, viêm loét và ức chế khối u hiệu quả. Tuy nhiên, các dữ liệu khoa học về hàm lượng các hợp chất thứ cấp và hoạt tính sinh học của loài thực vật này còn rất hạn chế. Trong nghiên cứu này, hàm lượng phenol và flavonoid tổng số của cao chiết methanol lá Đước vòi R. stylosa đạt 292,23 ± 14,61 mg GAE/g cao chiết và 35,31 ± 1,76 mg QE/g cao chiết, tương ứng. Cao chiết R. stylosa thể hiện hoạt tính chống oxy hóa mạnh với giá trị IC_{50} đạt 51,30 ± 1,03 µg/mL. Đặc biệt, chúng có khả năng ức chế enzyme α-glucosidase với giá trị IC_{50} đạt 4,75 ± 0,12 µg/mL, vượt trội so với đối chứng dương acarbose (IC_{50} = 117,45 ± 8,42 µg/mL), kháng các vi sinh vật kiểm định với giá trị MIC đạt 6,4 mg/mL. Các kết quả nghiên cứu thu được cho thấy lá Đước vòi R. stylosa là nguồn cung cấp chất chống oxy hóa tự nhiên đầy hứa hẹn và có tiềm năng sử dụng trong lĩnh vực thực phẩm, giúp điều hòa đường huyết, chống lão hóa, góp phần thúc đẩy kinh tế xanh và nâng cao giá trị tài nguyên rừng ngập mặn, tạo sinh kế bền vững cho người dân.

Từ khóa: *Rhizophora stylosa, lá Đước vòi, trà thảo dược, α-glucosidase, chống oxy hóa, nguồn lợi rừng ngập mặn.*
Ngày nhận bài: *27/2/2026****; Ngày sửa chữa:*** *23/3/2026****; Ngày duyệt đăng:*** *29/3/2026.*

Bioactivity profile of *Rhizophora stylosa* Griff. leaves as a functional ingredient for herbal tea production

Abstract

Tea is widely known as a polyphenol-rich beverage and remains the most widely consumed drink after water. Rhizophora stylosa Griff., a mangrove species native to tropical coastal ecosystems, has traditionally been used to treat diabetes and ulcers, yet scientific data regarding its phytochemical profile and functional properties remain scarce. This study evaluated the biological activities of R. stylosa leaf extract to assess its potential as a functional raw material for herbal tea production. The methanolic extract of R. stylosa leaves exhibited high concentrations of secondary metabolites, with total phenolic and flavonoid contents reaching 292,23 ± 14,61 mg GAE/g and 35,31 ± 1,76 mg QE/g, respectively. The extract demonstrated potent antioxidant capacity (IC50 value of 51,30 ± 1,03 µg/mL) and exceptional α-glucosidase inhibitory activity (IC_{50} value of 4,75 ± 0,12 µg/mL), significantly outperforming the commercial antidiabetic drug acarbose (IC_{50} value of 117,45 ± 8,42 µg/mL). Furthermore, the extract showed antimicrobial efficacy against tested pathogens with a Minimum Inhibitory Concentration (MIC) of 6,4 mg/mL. These findings suggest that R. stylosa leaves are a promising source of natural bioactive compounds. Their integration into herbal tea formulations could offer significant health benefits, including blood glucose regulation and oxidative stress reduction, while simultaneously promoting the sustainable economic value of mangrove resources.

Keywords: *Rhizophora stylosa, Mangrove leaves, Herbal tea, α-glucosidase inhibition, Antioxidant activity, mangrove resources.*
JEL Classifications: *O13, P18, Q15.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việt Nam là một trong các quốc gia chịu ảnh hưởng lớn của biến đổi khí hậu với những tác động như nước biển dâng, xâm nhập mặn, sạt lở và suy giảm tài nguyên nghiêm trọng, đặc biệt là khu vực ven biển. Trong khi đó, các hệ sinh thái như rừng ngập mặn, thảm cỏ biển, bãi triều được coi là "lá chắn sinh thái" quan trọng, không chỉ giúp BVMT mà còn mở ra cơ hội phát triển kinh tế xanh và thị trường các-bon. Rừng ngập mặn là hệ sinh thái đa dạng, là nơi cư trú và sinh sản của

nhiều loài thủy hải sản, đồng thời lọc sạch nước, hấp thụ các-bon và mang lại lợi ích kinh tế, du lịch cho con người, đồng thời là nguồn cung cấp tài nguyên sinh học giàu tiềm năng. Loài Đước vòi (*Rhizophora stylosa* Griff.) phân bố rộng rãi và sinh trưởng mạnh mẽ trong môi trường ngập mặn ven biển của Việt Nam, và được ghi nhận chứa nhiều hợp chất thứ cấp có hoạt tính sinh học cao [1].

Tác giả Đỗ Huy Bích và cộng sự, 2006 [2] cho thấy vỏ thân cây Đước *Rhizophora* spp. được sử dụng nhiều để điều trị các bệnh khác nhau như thấp khớp, rối loạn chức năng gan, làm lành vết thương. Lá và thân cây cũng được sử dụng để điều trị các bệnh về gan, đau xương khớp và cầm máu. Ở Malaysia, nước sắc từ vỏ và lá Đước được dùng cho phụ nữ sau sinh uống có tác dụng cầm máu. Ngoài giá trị y học, vỏ cây Đước còn có thể ăn trực tiếp hoặc dùng để sản xuất rượu vang nhé, chồi non của cây đước được tận dụng làm rau ăn. Tuy nhiên, các tác dụng dược lý và công dụng của loài cây ngập mặn này vẫn chưa được làm sáng tỏ và còn thiếu hụt thông tin [3]. *R. stylosa* được coi là nguồn cung cấp chất chống oxy hóa tự nhiên tiềm năng nhờ có chứa lượng lớn các hợp chất phenolic và dẫn xuất flavonoid. Lá của chi *Rhizophora* chứa alkanoid, flavonoid, hợp chất phenolic, tannin và saponin [4].

Polyphenol, alkanoid là những nhóm hợp chất chuyển hóa thứ cấp, được biết đến rộng rãi với vai trò là các chất chống oxy hóa tự nhiên có đặc tính oxy hóa - khử, đặc biệt nhận thấy trong một số loài cây ở rừng ngập mặn. Chúng có tác dụng thu dọn các gốc tự do, kháng viêm, kháng khuẩn, ức chế tế bào ung thư, bảo vệ tim mạch, bảo vệ da khỏi bức xạ UV và thành phần tiềm năng ứng dụng trong lĩnh vực thực phẩm, dược phẩm [5].

Flavonoid đóng vai trò quan trọng trong quá trình điều trị bệnh tiểu đường bằng cách tăng cường hoạt động của các enzym chống oxy hóa và độ nhạy của các thụ thể insulin, đồng thời chúng có khả năng phục hồi các tế bào β- tuyến tụy bị tổn thương, giúp khắc phục tình trạng thiếu insulin và hạn chế hoạt động của enzym α-glucosidase trong máu, tác động của enzym này có thể giảm đáng kể lượng carbohydrate phức tạp bị phân giải và hấp thụ, từ đó kiểm soát được lượng đường huyết sau ăn ở các bệnh nhân tiểu đường [6].

Trong nghiên cứu, nhóm nghiên cứu đánh giá các hoạt tính sinh học của lá *R. stylosa* được trồng tại xã Giao Hòa, tỉnh Ninh Bình như hàm lượng phenol và flavonoid tổng số, khả năng thu dọn gốc tự do, ức chế enzyme α-glucosidase và kháng các vi sinh vật kiểm định. Các kết quả thu được là cơ sở khoa học giúp định hướng sử dụng lá Đước vòi làm nguyên liệu chế biến trà thảo dược có giá trị dinh dưỡng và hỗ trợ chăm sóc sức khỏe cho con người.

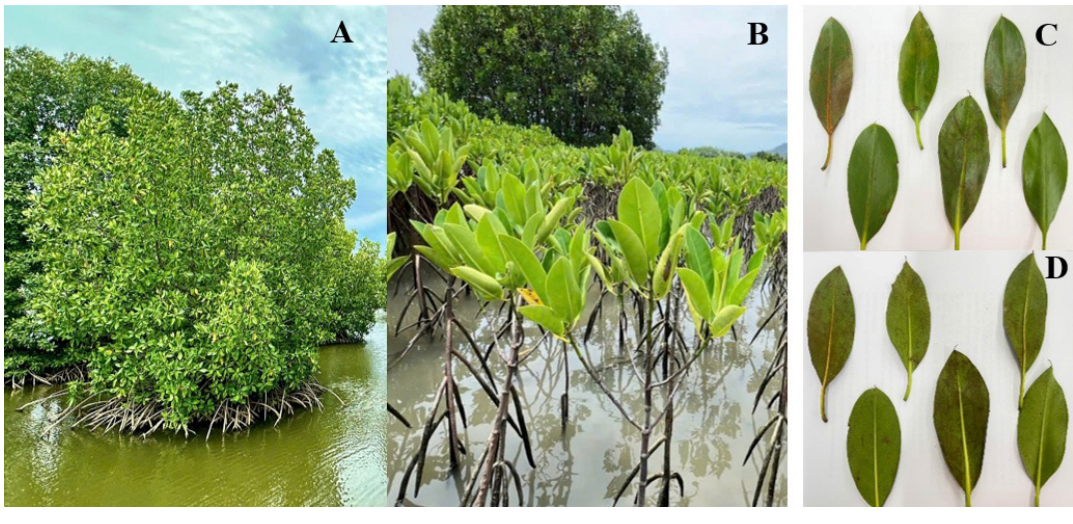
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nội dung nghiên cứu

Nghiên cứu và đánh giá các hoạt tính sinh học của lá Đước vòi *R. stylosa* được trồng tại Vườn Quốc gia Xuân Thủy - nằm ở phía Nam cửa Ba Lạt của sông Hồng (tọa độ 20°10' – 20°15'B, 106°20' – 106°32'Đ), thuộc xã Giao Hòa, tỉnh Ninh Bình.

2.2. Vật liệu nghiên cứu

Mẫu lá Đước vòi được trồng tại Vườn Quốc gia Xuân Thủy, xã Giao Hòa, tỉnh Ninh Bình và được thu hái vào tháng 5/2025, các lá trưởng thành đã mở hoàn toàn ở trạng thái còn tươi, không sâu bệnh và được thu hái ở tầng tán ngoài. Sau đó lá được rửa sạch bụi bẩn, để ráo, sấy khô ở 50°C và được nghiền mịn thành bột bằng cối chày sứ và giữ ở 4°C cho tới khi sử dụng (Hình 1).



Hình 1. Mẫu lá Đước vòi (Rhizophora stylosa Griff.) sử dụng trong nghiên cứu
A, B: Cây Đước vòi ở Vườn Quốc gia Xuân Thủy; C, D: Lá Đước vòi tươi (mặt trước – mặt sau)

Các chủng vi sinh vật kiểm định chuẩn quốc tế ATCC bao gồm ba chủng vi khuẩn Gram âm (*Escherichia coli* ATCC25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC27853, *Salmonella enterica* ATCC13076), ba chủng Gram dương (*Enterococcus faecalis* ATCC299212, *Stapphylococus aureus* ATCC25923, *Bacillus cereus* ATCC 14579) và chủng nấm men *Candida albicans* ATCC10231 được cung cấp bởi Viện Kiểm nghiệm vệ sinh An toàn thực phẩm Quốc gia.

Các hóa chất được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm axit gallic, quercetin, p-nitrophenyl-α-D-glucopyranoside (pNPG), 4-Nitrophenol (Aldrich-Sigma, Mỹ); thuốc thử Folin-Ciocalteu (Oxford, Ấn Độ); 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH, độ tinh sạch 95%) (Alfa Aesar, Nhật Bản); Axit ascorbic, NaOH, Na_2CO_3, $NaNO_2$, $AlCl_3.6H_2O$, methanol, DMSO (Dimethyl Sulfoxide) do hãng Xilong, Trung Quốc cung cấp. Enzyme Yeast α – glucosidase do nhà sản xuất Aldrich-Sigma, Mỹ cung cấp.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Cao chiết tổng số từ lá Đước vòi được tiến hành theo phương pháp của Phạm Thị Hồng Minh và cs có cải tiến (2022) [7]. Cân 5 gram bột lá Đước vòi đã được nghiền mịn và bổ sung dung môi ethanol 75%, methanol theo tỷ lệ nguyên liệu: Dung môi là 1:3 (w/v) và nước (chiết ở 70-80°C) (1:10, w/v). Mẫu được ngâm qua đêm, với sự hỗ trợ nhờ máy khuấy từ gia nhiệt (MS-H280-Pro, Biologix, Trung Quốc) ở 200 vòng/phút trong 4 - 6 tiếng, quá trình này được lặp lại 3 lần và lọc qua giấy lọc Whateman GF/C. Dịch chiết sau đó được gom lại và cô quay chân không (Rotavapor R-114, Buchi, Thụy Sĩ) thu hồi cao chiết tổng số. Mẫu cao chiết được bảo quản ở 4°C cho tới khi sử dụng. Hiệu suất chiết (%) = (khối lượng cao chiết / khối lượng mẫu) × 100.

Hàm lượng polyphenol tổng số được xác định dựa trên phản ứng khử của các hợp chất polyphenol đối với thuốc thử Folin - Ciocalteu theo mô tả của Prior và cs (2005) [8]. Hàm lượng polyphenol tổng số với axit gallic có dải nồng độ từ 10 đến 200 µg/mL có phương trình hồi quy tuyến tính Y = 0,0055X - 0,0264 (R^2 =0,9901). Kết quả được biểu thị bằng mg axit gallic đương lượng (GAE)/g cao chiết (CC) theo công thức: P = (a × V/m) × k, trong đó P là hàm lượng phenolic tổng (mg GAE/g CC); a: giá trị X từ đường chuẩn với axit gallic (µg/mL); V là thể tích dung dịch chiết (mL); m: khối lượng cao chiết có trong thể tích V (g); k: hệ số pha loãng.

Hàm lượng flavonoid tổng số theo phương pháp tạo phức Aluminum Chloride colorimetri ($AlCl_3$) theo mô tả của Zhishen và cs (1999) [9]. Hàm lượng flavonoid với quercetin có dải nồng dải nồng độ 10 – 200 µg/mL có phương trình hồi quy tuyến tính Y = 0,001X + 0,0029 (R^2=0,9987). Kết quả được biểu thị bằng mg quercetin đương lượng (QE)/g CC theo công thức P = (a × V/m) × k. Trong đó P là hàm lượng flavonoid tổng số (mg QE/g CC); a: giá trị X từ đường chuẩn quercetin (µg/mL); V: Thể tích dung dịch chiết (mL); m: khối lượng cao chiết có trong thể tích V (g); k: hệ số pha loãng.

Hoạt tính chống oxy hóa được xác định theo phương pháp trung hòa gốc tự do DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazine) của Sharma và Bhat (2009) [10]. Hỗn hợp phản ứng gồm 100 µL dung dịch DPPH 0,2 mM trong DMSO và 100 µL cao chiết lá Đước vòi ở các nồng độ từ 10 đến 150 µg/mL. Axit ascorbic được sử dụng làm đối chứng dương và pha với dải nồng độ lần lượt là 0,8; 4; 20; và 100 µg/mL nhờ dung dịch DMSO. Hỗn hợp phản ứng được ủ trong tối ở nhiệt độ phòng trong 30 phút và đo độ hấp thụ ở bước sóng 517 nm bằng máy đo ELISA (Multiskan SkyHigh, hãng Thermo Scientific, Mỹ). Khả năng trung hòa gốc tự do (Scavenging Activities - SA) sinh ra từ DPPH của mẫu thử được tính theo công thức sau:

$$SA\ (\%) = \frac{OD_{\text{đối chứng}} - OD_{\text{mẫu thử}}}{OD_{\text{đối chứng}} - OD_{\text{mẫu trắng}}} \times 100\ (\%)$$

Trong đó: SA: Khả năng trung hòa gốc tự do của chất thử (%); $OD_{\text{đối chứng:}}$ Độ hấp thụ tại giếng không chứa chất thử; $OD_{\text{mẫu thử}}$: Độ hấp thụ tại giếng chứa chất thử; $OD_{\text{mẫu trắng}}$: Độ hấp thu của mẫu trắng (sử dụng methanol). Giá trị IC_{50} (Half maximal Inhibitorry) được tính dựa vào đường chuẩn y = ax + b với công thức $IC_{50} = \frac{50-b}{a}$.

Hoạt tính ức chế enzyme α-glucosidase được thực hiện theo phương pháp của Li và cs (2005) [11]. Hỗn hợp phản ứng gồm có 50 µL mẫu đã được pha loãng và được đưa vào các giếng của khay 96 giếng. Sau đó, mỗi giếng được thêm 20 µL α-glucosidase (0,5 U/mL) và 130 µL phosphate buffer 100 mM (pH 6,8), trộn đều và ủ ở 37°C trong 15 phút thu được nồng độ mẫu thử đạt được cuối cùng trong giếng lần lượt là 4; 20; 100 và 500 µg/mL. Tiếp tục, mỗi giếng thí nghiệm được thêm 50 µL p-nitrophenyl-α-D-glucopyranoside (p-NPG) nồng độ 5 mM, trộn đều và ủ ở 37°C trong 60 phút. Dừng thí nghiệm bằng cách thêm vào 80 µL Na_2CO_3 0,2M và đo quang phổ ở bước sóng 405 nm bằng máy đo ELISA Plate Reader (Biotek Instruments, Hoa Kỳ). Giá trị IC_{50} (nồng độ ức chế 50%) sẽ được xác định nhờ vào phần mềm máy tính TableCurve2Dv4. Khả năng ức chế α- glucosidase của các mẫu được xác định theo công thức sau: % ức chế = 100 - [($OD_{\text{mẫu thử}}$/ $OD_{\text{đối chứng}}$) x 100]. Trong đó: Giếng thí nghiệm chỉ có mẫu thử, phosphate buffer và p-NPG được sử dụng làm đối chứng trắng (blank). Giếng thí nghiệm chỉ có DMSO

10%, phosphate buffer, enzyme và p-NPG được sử dụng làm đối chứng.

Hoạt tính kháng khuẩn được thực hiện theo phương pháp pha loãng đa nồng độ của Andrews (2001) [12], phương pháp thử hoạt tính kháng vi sinh vật kiểm định nhằm đánh giá mức độ kháng khuẩn mạnh hay yếu của mẫu thử thông qua các giá trị MIC. Nồng độ ức chế tối thiểu (MIC- Minium Inhibition Concentration) được xác định tại giếng có nồng độ chất thử thấp nhất có khả năng ức chế hoàn toàn sự phát triển có thể nhìn thấy (quan sát bằng mắt thường) của vi sinh vật kiểm định sau 24 giờ nuôi cấy. Cao chiết của lá Đước vòi được pha loãng bằng DMSO theo dải nồng độ dao động từ 0,1 – 6 mg/mL. Hỗn hợp phản ứng gồm có 5,12 µL dung dịch mẫu thử có nồng độ 0,25 g/mL với 100 µL môi trường MHB và pha loãng nối tiếp để nồng độ cuối cùng là 0,05 mg/mL, sau đó thêm 50 µL dung dịch vi khuẩn ở nồng độ 2×105 CFU/mL, ủ ở 37°C. Sau 24 giờ, xác định sơ bộ giá trị MIC. Kháng sinh Ciprofloxacin (cho các chủng vi khuẩn) và cycloheximide (đối với nấm) được sử dụng làm đối chứng dương ở dải nồng độ từ 0,25 đến 256 µg/mL. Đối chứng âm gồm DMSO với các nồng độ pha loãng tương ứng và đối chứng môi trường không chứa chất thử.

2.4. Xử lý số liệu

Các số liệu được xử lý thống kê qua phân tích ANOVA: Single Factor với giá trị p<0,05 bằng phần mềm Microsoft excel 2019.

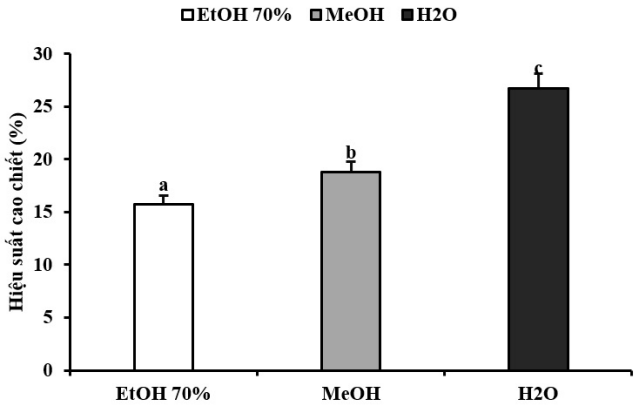
2.5. Thời gian nghiên cứu

Tháng 5/2025 - 2/2026.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hiệu suất tách chiết

Nhiều nghiên cứu gần đây đã chứng minh so với các dung môi ethanol và nước, methanol có khả năng phá vỡ cấu trúc màng tế bào thực vật và hòa tan các hợp chất chống oxy hóa hiệu quả hơn nhờ chỉ số độ phân cực tối ưu đối với các hợp chất polyphenol và flavonoid tổng số [1, 13]. Hiệu suất chiết phụ thuộc vào các yếu tố như đặc tính hóa học của các hợp chất cần thu nhận, phương pháp chiết được sử dụng, độ phân cực của dung môi, độ pH, nhiệt độ và thời gian chiết [5]. Trong nghiên cứu này, mẫu lá Đước vòi *R. stylosa* được chiết bởi nước nóng (1:10, w/v) có hiệu suất thu hồi cao nhất đạt 26,76 ± 0,56% (Hình 2), do hiện tượng hydrat hóa mạnh các polysaccharide trong thành tế bào lá Đước vòi, điều này khiến bột lá trương nở, làm tăng diện tích bề mặt và tạo nhiều lỗ xốp, từ đó thúc đẩy khuếch tán không chọn lọc của các hợp chất ưa nước [5]. Trong khi đó, cao chiết *R. stylosa* nhờ sử dụng dung môi ethanol 70% và methanol có hiệu suất thu hồi đạt 15,76 ± 0,79%, 18,82 ± 0,56%, thấp hơn so với tách bằng nước nóng. Kết quả cho thấy methanol là dung môi hiệu quả để thu nhận các hợp chất phenolic và flavonoid có trong lá cây họ Đước - có độ phân cực trung bình đến cao được tích lũy trong mô lá, methanol hạn chế kéo theo các tạp chất, giúp bảo toàn hoạt tính sinh học do không cần sử dụng nhiệt độ cao [13, 14] (Hình 2).

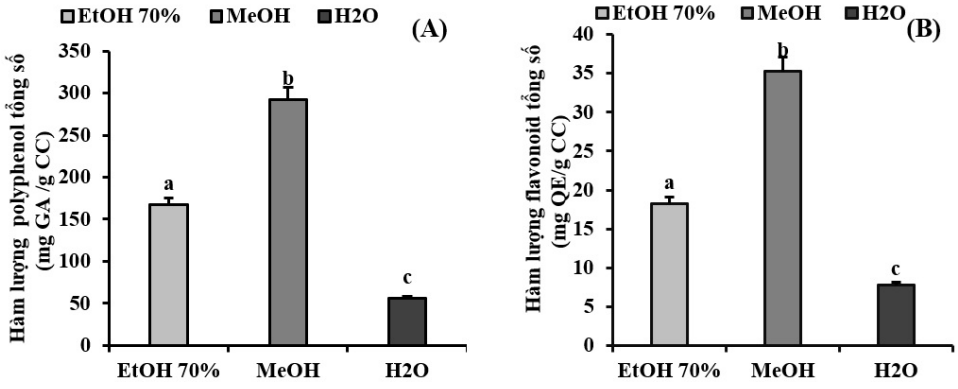


Hình 2. Hiệu suất tách chiết lá Đước vòi R. stylosa từ các dung môi ethanol 70%, methanol và nước nóng

Ghi chú: Các chữ số a, b, c thể hiện sự sai khác có ý nghĩa thống kê với giá trị p<0,05

3.2. Hàm lượng phenol và flavonoid tổng số của cao chiết lá Đước vòi

Dựa trên các đặc tính sinh học đặc trưng của thực vật ngập mặn, các loài thuộc chi *Rhizophora* đã tích lũy mạnh mẽ các hợp chất chuyển hóa thứ cấp như polyphenol và flavonoid để thích nghi và tồn tại trước những thay đổi của môi trường như cường độ chiếu sáng, nồng độ muối, pH… [1, 13]. Kết quả trình bày ở Hình 3A cho thấy hàm lượng polyphenol tổng (TPC) của *R. stylosa* cao nhất khi chiết bằng dung môi methanol đạt 292,23 ± 14,61 mg GAE/g CC, tiếp theo là ethanol 75% (167,24 ± 0,97 mg GAE/g CC) và nước đạt 56,01 ± 0,30 mg GAE/g CC. Theo công bố của Hinokidani và cs (2022) [5] cho thấy, hàm lượng TPC của lá *R. stylosa*, Okinawa, Nhật Bản chiết bằng methanol 80% dao động trong khoảng 85,2 – 103,9 mg GAE/g CC, thấp hơn đáng kể so với kết quả của cao chiết *R. stylosa* nghiên cứu. Đồng thời, kết quả ở được trình bày ở Hình 3B cho thấy hàm lượng TFC của *R. stylosa* chiết bằng dung môi ethanol 75%, methanol và nước đạt 18,20 ± 1,03; 35,31 ± 1,76 và 7,78 ± 0,62 mg QE/g CC tương ứng, phù hợp với nghiên cứu của Hallysson và cs (2024) [15] hàm lượng TFC của cao chiết methanol *R. stylosa* ở Itamaracas, bang Pernambuco, Brazil dao động trong khoảng 32 – 215,5 mg QE/g CC. Điều này bước đầu minh chứng cao chiết lá Đước vòi rất giàu các chất thứ cấp có hoạt tính sinh học, là nguồn nguyên liệu tiềm năng để định



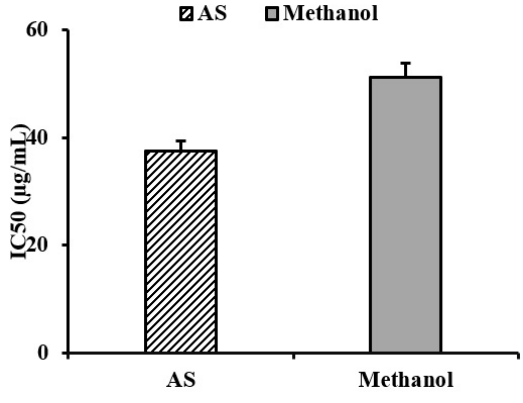
Hình 3. Hàm lượng polyphenol tổng số (A) và flavonoid tổng số (B) của cao chiết từ lá Đước vòi (Rhizophora stylosa Griff.)

Ghi chú: Các chữ số a, b, c thể hiện sự sai khác có ý nghĩa thống kê với giá trị p<0,05

hướng phát triển trà thảo dược trong tương lai gần [5]. Các kết quả thu được cho thấy hàm lượng TPC và TFC của cao chiết methanol từ *R. stylosa* là cao nhất. Do vậy, nhóm nghiên cứu lựa chọn cao chiết methanol của lá *R. stylosa* cho những thí nghiệm tiếp theo (Hình 3).

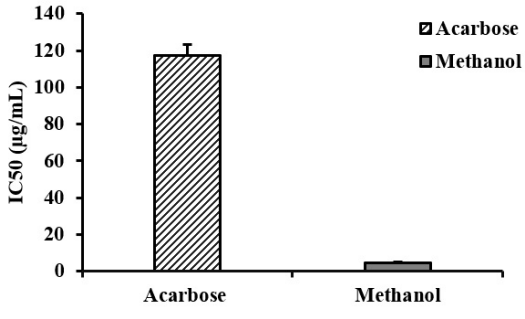
3.3. Hoạt tính chống oxy hóa

Hình 4 cho thấy hoạt tính chống oxy hóa của cao chiết lá Đước vòi *R. stylosa* thông qua khả năng trung hòa gốc tự do DPPH bằng cách cung cấp các nguyên tử hydro hoặc các electron. Cao chiết methanol của lá Đước vòi *R. stylosa* có giá trị IC_{50} đạt 51,30 ± 1,03 µg/mL, IC_{50} của axit arcosbic đạt 37,46 ± 1,87 µg/mL với nồng độ DPPH thử nghiệm là 0,2 mM, kết quả này thấp hơn so với công bố của Ramli và cs (2025) [15] đã chỉ ra, cao chiết methanol 80% từ lá Đước đôi, *R. apiculata* tại khu vực rừng ngập mặn Tanjung Jabung Timur, tỉnh Jambi, Indonesia có IC_{50} = 30,86 ± 1,54 µg/mL, trong khi IC_{50} của axit ascorbic là 7,12 µg/mL với nồng độ DPPH là 0,1 mM. Ngoài ra, giá trị IC_{50} của lá Đước vòi cũng cao hơn so với lá Đưng – *R. mucronata* từ Tugurejo, Central Java, Indonesia, có giá trị IC_{50} đạt 113,41 µg/mL (methanol) và 151,13 µg/mL (n-hexane), 184,78 µg/mL (ethyl acetate) với nồng độ DPPH là 0,1 mM [17]. Tuy nhiên, kết quả này thấp hơn so với nghiên cứu của Rumengan và cs (2021) [18], cao chiết ethanol của lá Đưng *R. mucronata* từ vùng Lembeh, Bắc Sulawesi, Indonesia có giá trị IC_{50} đạt 20,99 ± 0,33 µg/mL với nồng độ DPPH là 0,76 mM. Các nghiên cứu cho thấy giá trị IC_{50} của cùng một mẫu có thể thay đổi tùy thuộc vào nồng độ DPPH thử nghiệm, nguồn gốc mẫu, điều kiện và dung môi tách chiết [19]. Mặc dù vậy cao chiết của lá Đước vòi vẫn được đánh giá có hoạt tính chống oxy hóa mạnh [14, 20]. Nhóm nghiên cứu nhận thấy có mối tương quan tỷ lệ thuận giữa hàm lượng phenol tổng số và hoạt tính chống oxy hóa của cao chiết lá Đước vòi [21].



Hình 4. Hoạt tính chống oxy hóa của cao chiết methanol từ lá Đước vòi R. stylosa

Ghi chú: AS-Axit ascorbic



Hình 5. Hoạt tính ức chế α-glucosidase của cao chiết lá Đước vòi R. stylosa thông qua giá trị IC_{50}

3.4. Đánh giá hoạt tính ức chế enzyme α-glucosidase

Enzyme α-glucosidase có ý nghĩa quan trọng trong việc kiểm soát tăng đường huyết sau ăn thông qua cơ chế làm chậm quá trình thủy phân carbohydrate thành glucose. Việc đánh giá khả năng ức chế enzyme này là một chỉ tiêu quan trọng nhằm định hướng tiềm năng ứng dụng của các cao chiết thực vật trong hỗ trợ phòng ngừa và quản lý bệnh đái tháo đường type 2. Hoạt tính ức chế α-glucosidase của cao chiết lá Đước vòi tổng số được trình bày ở Hình 5.

Kết quả ở Hình 5 cho thấy khả năng ức chế enzyme α-glucosidase của cao chiết

methanol từ lá Đước vòi khá mạnh với IC_{50} đạt 4,75 ± 0,12 µg/mL, vượt trội hơn so với đối chứng dương acarbose có IC_{50} đạt 117,45 ± 8,42 µg/mL, điều này cho thấy tiềm năng ứng dụng cao chiết lá Đước vòi trong việc làm chậm quá trình chuyển hóa carbohydrate thành glucose. Cho tới nay, công bố về hoạt tính này của cao chiết lá *R. stylosa* còn hạn chế, một số nghiên cứu gần đây của các loài thuộc chi Rhizophora đã ghi nhận tiềm năng sinh học liên quan đến điều hòa đường huyết sau ăn hiệu quả thông qua cơ chế ức chế enzyme tiêu hóa [13]. Từ những kết quả trên, lá *R. stylosa* được hướng đến sản phẩm đồ uống hỗ trợ kiểm soát đường huyết sau ăn.

3.5. Đánh giá hoạt tính kháng khuẩn

Hoạt tính kháng khuẩn có ý nghĩa trong việc hạn chế sự phát triển của các vi khuẩn gây bệnh, góp phần bảo vệ sức khỏe và nâng cao giá trị sinh học của các cao chiết thực vật. Do đó, việc đánh giá khả năng kháng khuẩn được xem là một chỉ tiêu quan trọng nhằm định hướng tiềm năng ứng dụng của cao chiết lá Đước vòi. Kết quả hoạt tính kháng khuẩn của cao chiết methanol lá *R. stylosa* được trình bày ở Bảng 1.

Kết quả ở Bảng 1 cho thấy cao chiết methanol từ lá Đước vòi (*Rhizophora stylosa* Griff.) có khả năng kháng các vi sinh vật kiểm định với giá trị MIC đạt 6,4 mg/mL. Nghiên cứu của Rumengan và cs (2021) [18] và của Arifin và cs (2022) [21] ghi nhận rằng chiết xuất từ các loài cùng chi *Rhizophora* có giá trị MIC mức thấp hơn bởi điều kiện tách chiết và cách thử nghiệm khác nhau. Đây là cơ sở khoa học quan trọng để định hướng sử dụng dịch chiết lá *R. stylosa* như một chất bảo quản tự nhiên, giúp kiểm soát sự phát triển của vi sinh vật gây hại trong quá trình chế biến và lưu thông sản phẩm trà thảo dược [20, 22].

4. KẾT LUẬN

Hiệu suất tạo cao chiết methanol từ lá Đước vòi (*Rhizophora stylosa* Griff.) chỉ đạt 18,82 ± 0,56% nhưng có hàm lượng polyphenol và flavonoid tổng số đạt 292,23 ± 14,61 mg GAE/g cao chiết và 35,31 ± 1,76 mg QE/g cao chiết, tương ứng, cao nhất so với dung môi ethanol và nước nóng. Cao chiết *R. stylosa* thể hiện hoạt tính chống oxy hóa mạnh với giá trị IC_{50} đạt 51,30 ± 1,03 µg/mL, axit ascorbic có giá trị IC_{50} đạt 37,46 ± 1,87 µg/mL với nồng độ DPPH thử nghiệm là 0,2 mM. Đặc biệt, chúng có khả năng ức chế enzyme α-glucosidase với giá trị IC_{50} đạt 4,75 ± 0,12 µg/mL, vượt trội so với đối chứng dương acarbose (IC_{50} = 117,45 ± 8,42 µg/mL) và kháng các vi sinh vật kiểm định với giá trị MIC đạt 6,4 mg/mL. Các kết quả nghiên cứu cho thấy lá Đước vòi là nguồn nguyên liệu giàu hợp chất sinh học, có tiềm năng ứng dụng trong phát triển trà thảo dược có tác dụng hỗ trợ chống oxy hóa và điều hòa đường huyết, góp phần gia tăng giá trị sử dụng của nguồn tài nguyên rừng ngập mặn, giúp khai thác hiệu quả và tạo sinh kế bền vững cho người dân.

Lời cảm ơn: *Nghiên cứu được thực hiện tại Phòng thí nghiệm Công nghệ Sinh học, khoa Hóa và Môi trường, Đại học Thủy lợi và Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Công nghệ lên men và Kỹ thuật cải biến sinh tổng hợp hoạt chất sinh học, Viện Sinh học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam năm 2025 - 2026*■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Al-Mansi, M., Al-Huqail, A. A., Alqarawi, A. M. (2023). Phytochemical composition and biological activities of mangrove plants: A review. Plants, 12(5), 2023, doi: 10.3390/plants12051023.

Bảng 1. Hoạt tính kháng vi sinh vật kiểm định của cao chiết lá Đước vòi

Tên mẫu	Gram dương			Gram âm			Nấm men
	Enterococcus faecalis ATCC299212	Staphylococcus aureus ATCC25923	Bacillus cereus ATCC14579	Escherichia coli ATCC25922	Pseudomonas aeruginosa ATCC27853	Salmonella enterica ATCC13076	Candida albicans ATCC10231
Cao chiết lá Đước vòi MIC (mg/ml)	>6,4	>6,4	6,4	6,4	6,4	>6,4	>6,4
Ciprofloxacin MIC (µg/ml)	128	32	8	0,5	32	1	-
Cyclohexamide MIC (µg/ml)	-	-	-	-	-	-	32

Ghi chú: Đối chứng dương: Ciprofloxacin – kháng khuẩn, Cycloheximide – kháng nấm; không thử nghiệm Ciprofloxacin trên nấm men; không thử nghiệm Cycloheximide trên vi khuẩn gram âm và gram dương

2. Đỗ Huy Bích, Đặng Quang Chung, Bùi Xuân Chương, Nguyễn Thượng Dong, Đỗ Trung Đàm, Phạm Văn Hiến, Vũ Ngọc Lộ, Phạm Duy Mai, Phạm Kim Mãn, Đoàn Thị Nhu, Nguyễn Tập, Trần Toàn (2006) Cây thuốc và động vật làm thuốc ở Việt Nam, NXB Khoa học và Kỹ thuật, tập 1: 831-832.

3. Kalasuba, R., Prasad, M. P., Chandra, M. (2023). Phytochemical and antioxidant potential of mangrove species: A review. Journal of King Saud University – Science, 35(2), 102437.

4. Sumartini, S., Widodo, P., Rahayu, S. (2021). Phytochemical screening of mangrove leaves (Rhizophora spp.) and their potential as medicinal plants. Biodiversitas, 22(3), 1234–1240.

5. Hinokidani, K., Okada, Y., Miyake, Y. (2022). Usability of mangrove plant leaves as tea materials: A comparison study on phenolic content and antioxidant capacities with commercial teas. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 40, 102307. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102307

6. Maddaluri, S., Rao, K. B., Sitaram, B. (2013). In vitro evaluation of antibacterial activity of five indigenous plants extract against five bacterial pathogens of human. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 5, 679–684

7. Phạm Thị Hồng Minh, Ngô Kim Chi, Đặng Ngọc Phượng, Chu Quang Truyền, Nguyễn Hoài Linh, Trần Lệ Minh, Đinh Thị Tú, Nguyễn Xuân Tùng, Đỗ Thủy Tiên (2022). Nghiên cứu hoạt chất sinh học từ chất chiết cà phê xanh cho ngành dược mỹ phẩm, vật liệu nano từ cà phê Robusta Đăk Lăk. Tạp chí Phân tích Hóa, Lý và Sinh học, 27(3), 118–123.

8. Prior, R. L., Wu, X., Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. Journal of agricultural and food chemistry, 53(10), 4290-4302.

9. Zhishen, J., Mengcheng, T., Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. Food Chemistry, 64, 555–559.

10. Sharma, O. P., Bhat, T. K. (2009). DPPH antioxidant assay revisited. Food Chemistry, 113(4), 1202–1205.

11. Li, Y. Q., Zhou, F. C., Gao, F., Bian, J. S., Shan, F. (2005). Comparative evaluation of quercetin, isoquercetin and rutin as inhibitors of α-glucosidase. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(4), 1241–1245. https://doi.org/10.1021/jf0480122.

12. Andrews, J. M. (2001). Determination of minimum inhibitory concentrations. Journal of Antimicrobial Chemotherapy, 48(1), 5–16. https://doi.org/10.1093/jac/48.suppl_1.5

13. Mongdong, A., Lumenta, C., Rumengan, I. F. M., Mantiri, D. M. H., Sumilat, D. A. (2023). Phytochemical screening and antioxidant potential of Rhizophora species for health applications. Marine Biotechnology Reports, 15(2), 45-58.

14. Vergara, J. T., Gamo, G. S. T. D., Paglomutan, R. G. Jr. (2024). Antioxidant and sensory properties of mangrove leaf herbal tea. International Journal of Gastronomy and Food Science, 35, 100850.

15. Hallysson, D. S. S., Silva, J. R. A., Oliveira, A. P., Santos, M. L., Souza, A. L., Rocha, H. A. O. (2024). Methanolic extract of Rhizophora mangle (Rhizophoraceae) leaves: Phytochemical characterization and anthelmintic evaluation against Schistosoma mansoni. Pharmaceuticals, 17(9), 1178. https://doi.org/10.3390/ph17091178.

16. Ramli, H. K., Aprianti, E., Roiska, R., Azis, M. A., Putinur, P. (2025). Antioxidant activity of Rhizophora apiculata methanol leaves extract. Mantis Journal of Fisheries, 2(2), 64–69. https://doi.org/10.22437/mjf.v2i02.43770

17. Ridlo, A., Pramesti, R., Suryono, S. (2017). Antioxidant activity of mangrove leaves (Rhizophora mucronata) from Tugurejo, Central Java, Indonesia. AACL Bioflux, 10(5), 1105–1112.

18. Rumengan, A. P., Mandiangan, E. S., Tanod, W. A., Paransa, D. S. J., Paruntu, C. P., Mantiri, D. M. H. (2021). Identification of pigment profiles and antioxidant activity of Rhizophora mucronata mangrove leaves origin Lembeh, North Sulawesi, Indonesia. Biodiversitas, 22(7), 2805–2816. https://doi.org/10.13057/biodiv/d220730.

19. Dewanto, V., Wu, X., Adom, K. K., Liu, R. H. (2019). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(10), 3010–3014.

20. Basyuni, M., Sagami, H., Baba, S., Oku, H. (2025). Utilization of mangrove leaves for functional food and beverages: A systematic review. Global Food Security Journal, 12, 100-115.

21. Rina, R., Nurjanah, N., Abdullah, A. (2025). Bioactive compounds of mangrove forest for functional beverage industries. Eco-Product Development, 8, 210-225.

22. Arifin, A., Romli, A., Azizah, S. A., Pratiwi, D., Lestari, D. (2022). Potential antioxidant constituent from leaf of Rhizophora apiculata, a typical mangrove at Lempasing, South Lampung Coast. Stannum: Jurnal Sains dan Terapan Kimia, 4(2), 60–67. https://doi.org/10.33019/jstk.v4i2.3631.

ĐÁNH GIÁ ĐẶC TÍNH CỦA CHẤT HỮU CƠ TỰ NHIÊN TRONG HỆ THỐNG PHÂN PHỐI NƯỚC VÀ KỸ THUẬT ĐẶC TRƯNG HÓA

NGUYỄN THÀNH MẬU[1]

[1]*Khoa KTHT&MT Đô thị, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội*

Tóm tắt

Chất hữu cơ tự nhiên (NOM) là một hỗn hợp phức tạp hiện diện phổ biến trong mọi nguồn nước uống, ảnh hưởng trực tiếp đến sự hình thành sản phẩm phụ khử trùng (DBPs), quá trình ăn mòn, sự phát triển vi sinh và cảm quan nước trong hệ thống phân phối (WDS). Bài báo này đánh giá tổng quan các tác động đa chiều của đặc tính NOM đối với WDS và hệ thống cấp nước trong nhà, đồng thời phân tích chi tiết các kỹ thuật đặc trưng hóa tiên tiến bao gồm phổ huỳnh quang (EEM-PARAFAC), sắc ký loại trừ kích thước (HPSEC) và khối phổ phân giải cao (FTICR-MS). Nghiên cứu đặc biệt nhấn mạnh vai trò của chỉ số SUVA và các cảm biến quang học trực tuyến (UV-Vis, huỳnh quang vi sai) như những công cụ then chốt để giám sát thời gian thực và dự báo chính xác tiềm năng hình thành DBPs. Mục tiêu cuối cùng là thúc đẩy sự chuyển dịch từ quản lý nồng độ tổng quát sang đặc trưng hóa chi tiết cấu trúc NOM để đảm bảo an toàn nước từ nhà máy đến tận nơi tiêu dùng.

Từ khóa: *Đặc tính chất hữu cơ tự nhiên, xử lý nước, hệ thống phân phối, giám sát chất lượng nước, sản phẩm phụ khử trùng.*

Ngày nhận bài: *6/2/2026;* ***Ngày sửa chữa:*** *28/2/2026;* ***Ngày duyệt đăng:****10/3/2026.*

Assessment of natural organic matter characteristics in water distribution systems and characterization techniques

Abstract

Natural Organic Matter (NOM) is a complex mixture ubiquitous in drinking water sources, directly influencing the formation of disinfection by-products (DBPs), corrosion, microbial growth, and aesthetic quality within water distribution systems (WDS). This paper provides a comprehensive review of NOM's multi-faceted impacts on both WDS and premise plumbing, while detailing advanced characterization techniques such as Fluorescence Excitation-Emission Matrix with Parallel Factor Analysis (EEM-PARAFAC), High-Performance Size Exclusion Chromatography (HPSEC), and Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry (FTICR-MS). Furthermore, the study clarifies the pivotal role of the SUVA index and online optical sensors (UV-Vis and differential fluorescence) as essential tools for real-time monitoring and accurate prediction of DBP formation potential. The ultimate goal is to facilitate a shift from bulk concentration management to detailed structural characterization of NOM to ensure water safety from treatment plants to consumers' taps.

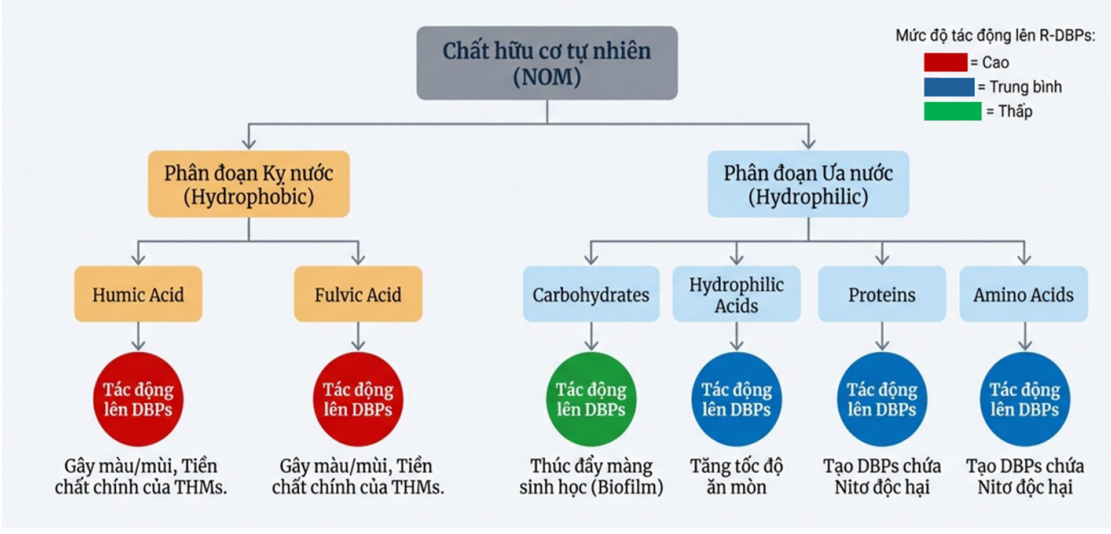
Keywords: *Natural organic matter characteristics, water treatment, distribution systems, water quality monitoring, disinfection by-products.*

JEL Classifications: *Q51, Q53, Q55, Q58.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

NOM trong môi trường nước là một tập hợp phức tạp của nhiều hợp chất, được hình thành từ các quá trình sinh học và lý hóa liên quan đến sự trao đổi chất và phân hủy của các sinh vật [2]. Với cấu trúc hóa học đa dạng, NOM bao gồm một dải rộng các hợp chất hữu cơ từ cấu trúc béo (aliphatic) đơn giản đến các vòng thơm (aromatic) có màu phức tạp [2]. Sự đa dạng này là kết quả của các quá trình biến đổi không ngừng của vật chất hữu cơ trong môi trường tự nhiên, tạo nên các hợp chất có sự khác biệt lớn về điện tích bề mặt, kích thước, trọng lượng phân tử và các nhóm chức hóa học. Do tính chất không đồng nhất này, việc xác định chính xác cấu trúc hóa học cụ thể của NOM là một thách thức lớn; vì vậy, các tiểu nhóm NOM thường được định nghĩa dựa trên tính chất vận hành hoặc chức năng để nhận diện các nhóm hóa chất có đặc tính tương tự. Một cách phân loại phổ biến là chia NOM thành hai phân đoạn: kỵ nước (hydrophobic) và ưa nước (hydrophilic) [2]. Trong đó, các axit kỵ nước (chủ yếu là hợp chất humic) chiếm phần lớn lượng carbon hữu cơ hòa tan (DOC) còn phân đoạn ưa nước (như carbohydrate và protein) thường tồn tại ở nồng độ thấp hơn.

Các nhà máy xử lý nước luôn nỗ lực giảm thiểu mức độ NOM đến mức thấp nhất, bởi lẽ lượng hữu cơ còn sót lại sau xử lý có thể gây ra những vấn đề nghiêm trọng trong WDS [3]. Mặc dù hầu hết các hợp chất NOM không gây độc trực tiếp, sự tồn tại kéo dài của chúng trong mạng lưới đường ống dẫn đến sự



Hình 1. Tóm tắt tác động của các thành phần NOM đến chất lượng nước trong hệ thống phân phối

suy giảm chất lượng nước đáng kể. Chẳng hạn, NOM gây ra sự tiêu hao các chất khử trùng dư vốn là yếu tố quan trọng để ngăn ngừa ô nhiễm vi sinh. Điều này tạo điều kiện cho màng sinh học phát triển, không chỉ làm hỏng cơ sở hạ tầng mà còn làm giảm độ an toàn của nguồn nước. Thêm vào đó, tương tác giữa NOM và vật liệu đường ống có thể thúc đẩy sự rửa trôi các kim loại nặng độc hại như chì và đồng, đồng thời làm tăng nồng độ của các chất ô nhiễm hữu cơ phức tạp. NOM cũng đóng vai trò là tiền chất hình thành DBPs, gây khó khăn cho công tác quản lý an toàn hóa học. Về mặt cảm quan, sự hiện diện của NOM gây ra các hiện tượng như nước bị đổi màu, có vị và mùi lạ, từ đó làm suy giảm niềm tin của người tiêu dùng đối với chất lượng nước được cung cấp [3].

Một trong những hạn chế lớn hiện nay là phương pháp đo lường và theo dõi các tiểu nhóm NOM trong WDS. Phần lớn các phương pháp đặc trưng hóa hiện nay vẫn đòi hỏi phải lấy mẫu thủ công và phân tích phức tạp trong phòng thí nghiệm [4]. Đặc thù của WDS yêu cầu khả năng giám sát trên một mạng lưới rộng lớn về mặt không gian, điều mà các phương pháp truyền thống khó lòng đáp ứng hiệu quả. Ngoài ra, các biến động theo mùa và các sự kiện khí hậu như lũ lụt hay hạn hán càng làm trầm trọng thêm thách thức quản lý do nồng độ NOM thay đổi thường xuyên [5]. Mặc dù các nghiên cứu về NOM trong nguồn nước thô và trong quá trình xử lý đã được thực hiện rất sâu rộng, nhưng động học của lượng NOM còn sót lại trong mạng lưới phân phối sau các quy trình xử lý truyền thống vẫn chưa được xem xét một cách toàn diện. Bài viết này tập trung vào vai trò, hành vi và tác động của NOM sau khi rời khỏi nhà máy xử lý và vận chuyển qua mạng lưới phân phối đến người tiêu dùng [6], [7].

2. TÁC ĐỘNG CỦA NOM ĐẾN CHẤT LƯỢNG NƯỚC TRONG HỆ THỐNG PHÂN PHỐI

Sự hiện diện của NOM sau quá trình xử lý không chỉ đơn thuần là vấn đề về nồng độ mà còn nằm ở các đặc tính lý hóa của các phân đoạn còn sót lại. Những đặc tính này quyết định các phản ứng hóa học, sinh học và thẩm mỹ của nước khi di chuyển qua mạng lưới phân phối (Hình 1).

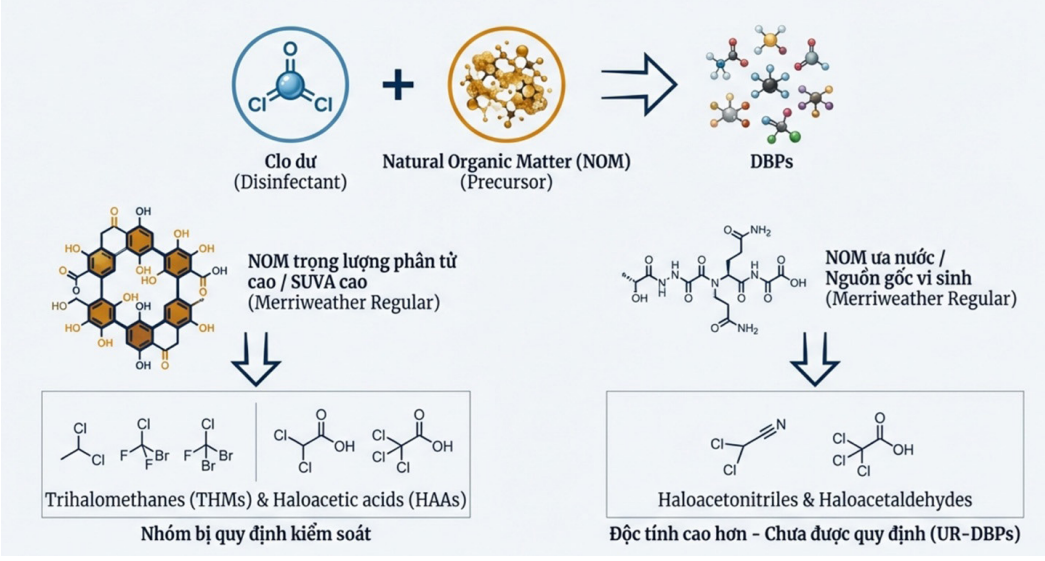
2.1. Tương tác với Clo và nghịch lý DBPs

Clo và các tác nhân khử trùng dựa trên clo phản ứng trực tiếp với NOM để tạo ra DBPs [2]. Việc duy trì clo dư là một chiến lược chủ động nhằm bảo vệ sức khỏe cộng đồng trước rủi ro tái nhiễm khuẩn. Tuy nhiên, điều này tạo ra một "nghịch lý khử trùng" khi clo phản ứng với NOM tạo thành DBPs.

Việc hình thành DBPs tiếp diễn ngay cả sau khi nước đã rời nhà máy xử lý, đặc biệt là trong các hệ thống có thời gian lưu nước kéo dài. Các nghiên cứu chỉ ra rằng nồng độ DBPs như Trihalomethanes (THMs) có thể tiếp tục tăng ngay cả khi thời gian lưu vượt quá 10 ngày [4]. Các phân đoạn NOM kỵ nước và có trọng lượng phân tử (MW) lớn là tiền chất chính tạo ra các THMs và HAAs (axit haloacetic) [5]. Ngược lại, phân đoạn ưa nước và MW thấp thường ưu tiên phản ứng với brom và iod. Chỉ số SUVA (độ hấp thụ UV254 chia cho nồng độ DOC) là một thước đo quan trọng; NOM có chỉ số SUVA cao (giàu tính thơm) liên quan mật thiết đến việc hình thành các DBPs carbonaceous [6] *(Hình 2).*

2.2. Ăn mòn và đóng cặn

NOM ảnh hưởng đến sự ổn định vật lý của WDS thông qua việc tác động đến tốc độ ăn mòn và đóng cặn kim loại [10]. Các axit kỵ nước (VHA) ít gây ăn mòn, nhưng sự gia tăng các axit ưa nước có điện tích



Hình 2. Sự hình thành DBPs

(CHA) làm tăng đáng kể tốc độ ăn mòn sắt [11]. Đối với ống đồng, nồng độ DOC trên 1,0 mg/L thúc đẩy sự rửa trôi kim loại (leaching) thông qua cơ chế tạo phức và huy động keo, độc lập với liều lượng hay tính kỵ nước [12]. Ngoài ra NOM hấp phụ mạnh lên các cặn ăn mòn, tạo môi trường thuận lợi cho vi khuẩn phát triển, từ đó gây ra hiện tượng ăn mòn do vi sinh vật thông qua hoạt động của vi khuẩn khử sắt (IRB) hoặc khử nitrat (NRB) [13]. Thêm nữa NOM tương tác với cân bằng canxi-cacbonat. Các phần tử hữu cơ trong NOM bám lên bề mặt tinh thể canxit, làm chậm tốc độ phát triển của chúng và thay đổi động học của các lớp lắng đọng trong đường ống [14].

2.3. Vận chuyển chất ô nhiễm

NOM có ái lực hấp phụ cao, đóng vai trò như một phương tiện vận chuyển các chất ô nhiễm trong toàn bộ hệ thống [15]. Với nhóm kim loại nặng gồm: Sắt (Fe) và Nhôm (Al) tạo phức mạnh với NOM, làm tăng độ hòa tan và độ ổn định của chúng, khiến nồng độ kim loại tại vòi nước của người dùng có thể cao hơn dự kiến. Ngược lại, Chì (Pb) và Kẽm (Zn) tạo phức yếu hơn nhưng vẫn bị ảnh hưởng đáng kể bởi đặc tính của NOM [16]. Với nhóm vi nhựa (Microplastics) thì NOM bám vào bề mặt vi nhựa tạo thành lớp "eco-corona", làm thay đổi các thuộc tính lý hóa của hạt nhựa, từ đó ảnh hưởng đến khả năng lắng đọng hoặc vận chuyển của chúng trong mạng lưới [15].

2.4. Động học vi sinh

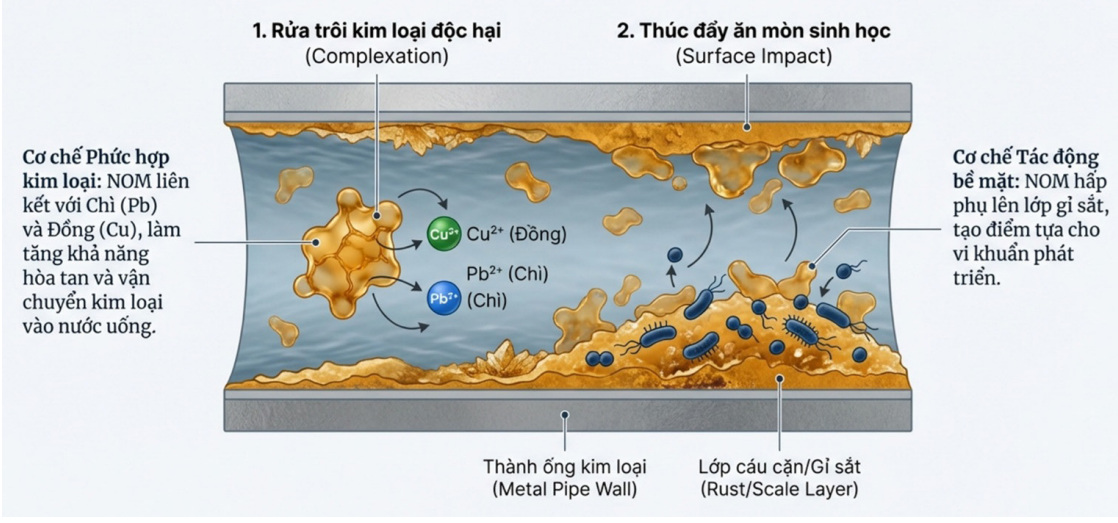
NOM là nguồn dinh dưỡng quyết định tiềm năng tái phát triển vi khuẩn trong mạng lưới phân phối. Chỉ số ổn định sinh học: AOC (Cacbon hữu cơ dễ đồng hóa) và BDOC (Cacbon hữu cơ dễ phân hủy sinh học) là các chỉ số then chốt. Quá trình ozon hóa tại nhà máy xử lý thường làm tăng tỷ lệ AOC và BDOC trong tổng TOC, khiến nước trở nên kém ổn định hơn về mặt sinh học [19]. Nồng độ AOC vượt quá 100 µg/L có liên quan trực tiếp đến sự phát triển (tăng 82%) số mẫu dương tính với coliform. Phân đoạn ưa nước (hydrophilic), giàu glucose và axit amin, được xác định là thành phần hỗ trợ mạnh mẽ nhất cho sự phát triển của vi khuẩn [20].

2.5. Cảm quan của nước

Các đặc tính của NOM ảnh hưởng trực tiếp đến cảm nhận của người sử dụng thông qua màu sắc và mùi, vị của nước sử dụng. Với màu sắc Axit humic và fulvic là nguyên nhân chính gây ra màu sắc từ vàng đến đen trong nước uống [21]. Với vị và mùi của nước chủ yếu do một số vi khuẩn sử dụng NOM để sản sinh ra geosmin và MIB gây mùi mốc đất. Ngoài ra, khi NOM giàu nitơ (như axit amin từ sự phân hủy màng sinh học) phản ứng với clo, chúng tạo ra các nitrile hoặc aldehyde gây mùi "swampy" (mùi đầm lầy) hoặc mùi thuốc tây khó chịu, có thể tồn tại trong hệ thống lên tới 21 ngày [22].

3. HỆ THỐNG ĐƯỜNG ỐNG CẤP NƯỚC TRONG NHÀ

Hệ thống đường ống cấp nước trong nhà bao gồm mạng lưới đường ống, phụ kiện và thiết bị bên trong các tòa nhà, có nhiệm vụ phân phối nước từ đường ống cấp nước ngoài nhà của thành phố đến các thiết bị. Các điều kiện trong hệ thống này khác biệt đáng kể so với mạng lưới phân phối ngoài nhà do đường kính ống nhỏ hơn, vật liệu đa dạng, sự thay đổi thường xuyên về lưu lượng và áp suất, cùng với thời gian lưu nước (đọng lại) kéo dài. Những đặc điểm này khiến hệ thống trong nhà dễ bị suy giảm chất lượng nước và trở thành môi trường nuôi cấy các mầm bệnh [1] (Hình 3).



Hình 3. Tương tác giữa NOM và đường ống

3.1. Động học ăn mòn và hành vi của chất ô nhiễm

NOM đóng vai trò là yếu tố quyết định trong việc giải phóng các kim loại nặng, đặc biệt là chì (Pb^{2+}) thông qua quá trình ăn mòn galvanic [2]. Các nghiên cứu cho thấy sự hiện diện của NOM làm tăng đáng kể nồng độ Chì hòa tan. Minh chứng là khi bổ sung NOM ở nồng độ 7 mg C/L, nồng độ chì hòa tan trung bình tăng thêm 2320 µg/L. Cơ chế này là do NOM có khả năng tạo phức hợp với chì, làm huy động chì hòa tan và ảnh hưởng đến sự phân tán của các hạt keo giàu chì. Đặc biệt, các axit humic làm tăng khả năng hòa tan Chì (plumbosolvency) thông qua việc giữ kim loại trong dung dịch. Ngoài ra NOM có tác động kép đối với Đồng. Một mặt, NOM có thể ức chế hoạt tính xúc tác của đồng trong việc hình thành N-nitrosodimethylamine (NDMA) bằng cách tiêu thụ nhanh chloramine và cạnh tranh tạo phức với Đồng. Mặt khác, nồng độ Cu (II) cao lại có thể xúc tác hình thành DBPs trong quá trình clo hóa các hợp chất humic, làm tăng tiềm năng tạo ra THM và HAA [3]. Cuối cùng NOM làm giảm khả năng giữ lại của các kim loại trên vảy ăn mòn, làm tăng tính di động và sự rửa trôi của chúng vào nước uống. Trong hệ thống cấp nước trong nhà, các khoảng thời gian nước đọng và lưu lượng thay đổi làm tăng thời gian tiếp xúc giữa nước, NOM và vật liệu ống, từ đó đẩy cao rủi ro hình thành phức hợp kim loại-NOM [4].

3.2. Chloramine và quá trình Nitrat hóa

Chloramine thường được ưu tiên sử dụng trong đường ống cấp nước trong nhà nhờ tính ổn định lâu dài và khả năng kiểm soát vi khuẩn màng sinh học tốt hơn clo tự do. Tuy nhiên, sự tồn tại của NOM dẫn đến các thách thức về sinh học bao gồm:

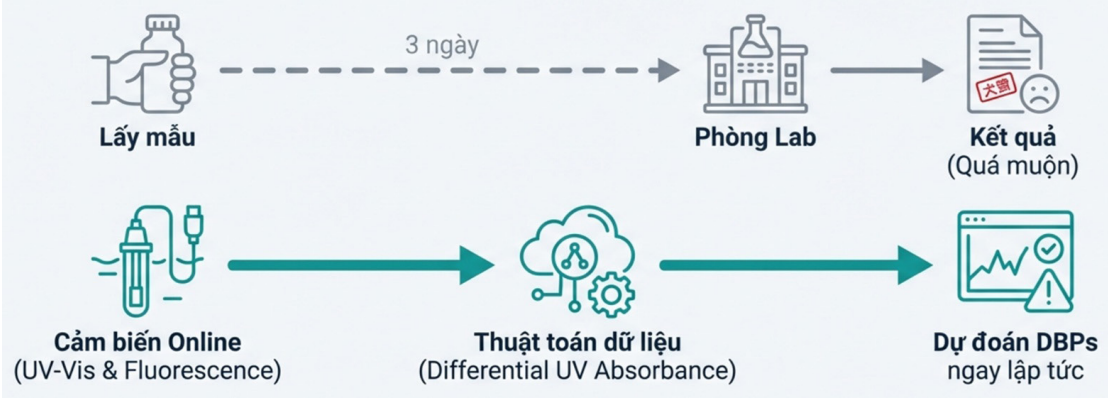
- *Sự phân hủy Chloramine:* NOM tương tác với monochloramine, thúc đẩy sự phân hủy của nó và giải phóng amoniac tự do vào hệ thống. Amoniac này trở thành chất nền cho các vi khuẩn oxy hóa amoniac, dẫn đến quá trình nitrat hóa [5].

- *Biến đổi đặc tính NOM:* Quá trình nitrat hóa làm thay đổi thành phần hữu cơ trong nước. Sử dụng kỹ thuật phổ huỳnh quang (FEEM/PARAFAC), nghiên cứu đã phát hiện ra sự xuất hiện của các hợp chất giống vi sinh vật và protein trong nước đã bị nitrat hóa, trong khi nước chưa nitrat hóa chủ yếu chứa các hợp chất humic nguồn gốc từ đất. Điều này cho thấy chất hữu cơ vừa là chất nền vừa là sản phẩm phụ của hoạt động vi sinh trong quá trình nitrat hóa [5].

- *Tăng khả năng chống chịu của vi khuẩn:* NOM trong các hệ thống sử dụng chloramine còn giúp vi khuẩn hiếu khí trong màng sinh học tăng khả năng chống lại các chất khử trùng dư, làm trầm trọng thêm vấn đề nitrat hóa [6].

4. KỸ THUẬT ĐẶC TRƯNG HÓA VÀ GIÁM SÁT NOM

Sự phức tạp và biến đổi không ngừng của NOM đặt ra những thách thức lớn trong việc hiểu rõ hành vi của chúng trong mạng lưới WDS. Để hiểu rõ bản chất đa chiều của NOM đòi hỏi sự kết hợp giữa các phương pháp định lượng truyền thống và kỹ thuật phân tích cấu trúc chuyên sâu, với các kỹ thuật đặc trưng hóa chuyên sâu sẽ làm rõ được cả phương diện cấu trúc và chức năng của hỗn hợp NOM. Các phương pháp truyền thống được sử dụng bao gồm: TOC, DOC và UV254 vẫn là những chỉ số phổ biến nhất nhờ tính nhanh chóng và chi phí thấp, tuy nhiên chúng chỉ cung cấp thông tin định lượng tổng quát mà không thể phân biệt được các tiểu nhóm NOM cụ thể. Để làm rõ cấu trúc và đặc tính chức năng, các kỹ thuật phân tích chuyên sâu như: phổ huỳnh quang (EEM-PARAFAC), sắc ký loại trừ kích thước (HPSEC), và khối phổ phân



Hình 4. Kỹ thuật giám sát thời gian thực dự báo hình thành DBPs

giải cao (FTICR-MS) được sử dụng để xác định trọng lượng phân tử, các nhóm chức và nguồn gốc của NOM (từ đất hay vi sinh vật). Tuy nhiên hai nhóm phương pháp này đòi hỏi lấy mẫu thủ công và mất thời gian phân tích. Để giải quyết các hạn chế này việc ứng dụng các cảm biến quang học trực tuyến (UV-Vis và huỳnh quang vi sai) cho phép dự báo tiềm năng hình thành DBPs và theo dõi sự thay đổi chất lượng nước trong thời gian thực (Real-time monitoring) mà không cần lấy mẫu thủ công. Đây là xu hướng và là giải pháp hiệu quả giúp các đơn vị quản lý nhận diện và ứng phó kịp thời với các sự cố ô nhiễm đột xuất một cách hiệu quả (Hình 4).

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này khẳng định rằng NOM trong WDS là một yếu tố phức tạp, ảnh hưởng đa chiều đến chất lượng nước uống, từ việc thúc đẩy sự hình thành các sản phẩm phụ khử trùng (DBPs), tốc độ ăn mòn, đến việc cung cấp dinh dưỡng cho màng sinh học phát triển. Để giải quyết các thách thức về an toàn hóa học, đặc biệt là việc giám sát sự hình thành DBPs trong

Bảng 1. Tóm tắt các kỹ thuật mô tả NOM áp dụng trong hệ thống phân phối nước

Kỹ thuật	Đặc điểm	Ưu điểm	Nhược điểm
Phổ huỳnh quang (Fluorescence Spectroscopy)[23].	Kích thích các phân tử bằng các bước sóng cụ thể và đo bức xạ phát ra; các chất phát quang (fluorophores) giúp phác thảo thành phần cấu trúc của các vật liệu giống humic và protein trong NOM.	Nhanh, nhạy và có tính chọn lọc; yêu cầu thể tích mẫu nhỏ; không yêu cầu hoặc yêu cầu rất ít quá trình tiền xử lý mẫu; có tiềm năng giám sát trực tuyến (online).	Nhạy cảm với môi trường; giới hạn ở các thành phần có khả năng phát huỳnh quang; bị nhiễu bởi các hợp chất khác; việc giải thích dữ liệu phức tạp; yêu cầu thiết bị và chuyên môn chuyên dụng.
Phân tích huỳnh quang (Peak Picking hoặc Single Point Monitoring)[23],[24].	Đo cường độ huỳnh quang tại các điểm bước sóng cụ thể; ít thâm dụng dữ liệu hơn so với phân tích toàn phổ.	Thời gian đo nhanh hơn so với EEM đầy đủ; thiết bị đơn giản hơn; có thể tiết kiệm chi phí hơn; phù hợp để giám sát theo thời gian thực hoặc trên đường ống (inline).	Cung cấp thông tin hạn chế so với EEM; có thể bỏ lỡ một số đặc tính huỳnh quang không nằm trong các bước sóng đã chọn; không phù hợp cho các nền mẫu nước phức tạp.
Phân tích huỳnh Quang (Spectrum/EEM Analysis) [23],[24]	Sử dụng các kỹ thuật như nhận dạng đỉnh, chỉ số vùng huỳnh quang (FRI) và các phương pháp hóa học để đánh giá quá trình xử lý nước, hiểu hành vi của chất hữu cơ hòa tan (DOM), và theo dõi các chất ô nhiễm vi lượng cũng như DBPs.	Tăng cường tính đa chiều và độ nhạy; hiệu quả trong việc định tính và định lượng DOM; hữu ích cho phân tích đa biến.	Dễ bị ảnh hưởng bởi thay đổi thời tiết; giới hạn ở các thành phần hữu cơ phát huỳnh quang; khó khăn trong việc thiết lập tương quan với các thông số; cần thêm các thiết bị bổ sung.

UV-Vis [25].	Đo độ hấp thụ của tia cực tím và ánh sáng khả kiến trên một dải bước sóng; xác định sự phong phú, chất lượng, nguồn gốc và khả năng phản ứng của các biến thể cấu trúc NOM.	Chi phí thấp; độ nhạy cao; dễ sử dụng; thời gian đo nhanh.	Nhiều phân đoạn NOM hấp thụ ánh sáng khiến phổ UV-Vis thường không rõ ràng; các hợp chất khác có thể làm gián đoạn phép đo.
Phổ cộng hưởng từ hạt nhân (NMR Spectroscopy)[26].	Được sử dụng để nghiên cứu các nhóm chức trong NOM thông qua các kỹ thuật khác nhau như 13C, 1H, 15N và NMR 2 chiều.	Phân tích được cả mẫu rắn và lỏng; cung cấp thông tin chi tiết về cấu trúc thông qua các kỹ thuật NMR đa chiều.	NOM có tính phức tạp và không đồng nhất cao; kỹ thuật phức tạp và chi phí lớn; khả năng định lượng hạn chế.
Phân đoạn bằng nhựa (Resin Fractionation) [27].	Phương pháp phân đoạn hóa học và vật lý sử dụng nhựa (Amberlite XAD) dựa trên tính phân cực; sử dụng các phương pháp cô lập tiêu chuẩn hóa.	Cô lập và phân loại được các nhóm NOM; phương pháp được chấp nhận rộng rãi; cho phép phân tách chi tiết các thành phần.	Có khả năng làm thay đổi bản chất NOM do thay đổi pH; xảy ra hiện tượng hấp phụ không thuận nghịch hoặc rò rỉ nhựa; điều kiện vận hành thay đổi ảnh hưởng đến kết quả.
HPSEC (Sắc ký loại trừ kích thước hiệu năng cao) [27].	Phân tách các phân tử dựa trên kích thước phân tử, trong đó các phân tử lớn hơn sẽ được rửa giải nhanh hơn.	Phân tích định tính NOM; có thể cung cấp ước tính thô về định lượng khi kết hợp với UV-Vis; không cần chiết tách trước; tốc độ nhanh và độ nhạy cao; thiết bị sẵn có.	Lựa chọn dung môi rửa giải ảnh hưởng đến kết quả; tương tác hấp phụ và hiệu ứng loại trừ điện tích có thể ảnh hưởng đến độ chính xác.
Py-GC-MS (Sắc ký khí - Khối phổ nhiệt phân) [27], [28].	Các phân tử NOM được tháo rời thành các mảnh nhỏ hơn bằng nhiệt trong điều kiện thiếu oxy, sau đó được đưa vào cột sắc ký khí để phát hiện qua khối phổ.	Tháo rời các phân tử NOM để phân tích; nhiệt phân trong bình kín quy mô nhỏ giúp tăng hiệu suất; khả năng phân tách mạnh và độ nhạy cao; cung cấp thông tin chi tiết về cấu trúc.	Giới hạn ở các hợp chất dễ bay hơi; thách thức lớn trong việc giải thích các phổ phức tạp.
FTICR-MS (Khối phổ cộng hưởng từ ion cyclotron biến đổi Fourier) [29].	Phân tách hiệu quả các ion và xác định gần như chính xác công thức phân tử; thường dùng kết hợp với các kỹ thuật như Ion hóa phun điện tử (ESI).	Xác định công thức phân tử chính xác; độ chính xác khối lượng và độ nhạy cực cao; tiết lộ các kiểu phân mảnh, nhóm chức và kết nối phân tử.	Đắt tiền và yêu cầu chuyên môn kỹ thuật cao; nhạy cảm với các chất gây nhiễm bẩn và tốn nhiều thời gian phân tích.

mạng lưới, bài báo nhấn mạnh vai trò của chỉ số SUVA và các cảm biến quang học trực tuyến (như UV-Vis và huỳnh quang vi sai). Các kỹ thuật này cho phép dự báo tiềm năng hình thành các hợp chất như THMs và HAAs trong thời gian thực (real-time monitoring) mà không cần qua các bước lấy mẫu và phân tích thủ công phức tạp.

Bên cạnh đó, việc hiểu rõ bản chất của các tiền chất DBPs đòi hỏi sự hỗ trợ từ các kỹ thuật đặc trưng hóa cấu trúc chuyên sâu như phổ huỳnh quang (EEM-PARAFAC), sắc ký loại trừ kích thước (HPSEC) và khối phổ phân giải cao (FTICR-MS) để xác định trọng lượng phân tử và các nhóm chức đặc trưng. Sự chuyển dịch từ quản lý nồng độ tổng quát (TOC/DOC) sang đặc trưng hóa chi tiết đặc tính cấu trúc (tính thơm, phân đoạn kỵ nước/ưa nước) là điều kiện tiên quyết để tối ưu hóa quản lý dư lượng khử trùng và đảm bảo an toàn nước từ nhà máy đến tận vòi tiêu dùng. Các nghiên cứu tương lai nên tập trung xây dựng mô hình dự báo dựa trên các chỉ số quang học này để nâng cao khả năng ứng phó kịp thời với các biến đổi chất lượng nước trong đô thị■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Riyadh, A.; Peleato, N.M. (2024). Natural Organic Matter Character in Drinking Water Distribution Systems: A Review of Impacts on Water Quality and Characterization Techniques. Water, 16(3), 446.

2. Chen, W.; Yu, H.-Q. (2021). Advances in the Characterization and Monitoring of Natural Organic Matter Using Spectroscopic Approaches. Water Res..

3. Matilainen, A. et al. (2011). An Overview of the Methods Used in the Characterisation of Natural Organic Matter (NOM) in Relation to Drinking Water Treatment. Chemosphere.

4. Hayes, M.H.B.; Swift, R.S. (2020). Vindication of Humic Substances as a Key Component of Organic Matter in Soil and Water. Advances in Agronomy.

5. Sillanpää, M. (2014). Natural Organic Matter in Water: Characterization and Treatment Methods. Butterworth-Heinemann.

6. Kennedy, A. et al. (2021). Regulated Disinfection Byproduct Formation over Long Residence Times. Water Res.

7. Hua, G.; Reckhow, D.A. (2007). Characterization of Disinfection Byproduct Precursors Based on Hydrophobicity and Molecular Size. Environ. Sci. Technol.

8. Hua, G. et al. (2015). Correlation between SUVA and DBP Formation during Chlorination and Chloramination of NOM Fractions from Different Sources. Chemosphere.

9. Zhao, Y. et al. (2018). The Dependence of Chlorine Decay and DBP Formation Kinetics on Pipe Flow Properties in Drinking Water Distribution. Water Res.

10. Poleneni, S.R.; Inniss, E.C. (2019). Array of Prediction Tools for Understanding Extent of Wall Effects on DBP Formation in Drinking Water Distribution Systems. J. Water Supply Res. Technol.-AQUA.

11. Gruškeviča, K. et al. (2008). Influence of Water Velocity and NOM Composition on Corrosion of Iron Pipes. Materials and Related Substances in Drinking Water.

12. Korshin, G.V. et al. (1996). Influence of NOM on Copper Corrosion. J.-Am. Water Work. Assoc.

13. Ali, I. et al. (2022). Interaction of Microplastics and Nanoplastics with Natural Organic Matter (NOM) and the Impact of NOM on the Sorption Behavior of Anthropogenic Contaminants. J. Clean. Prod.

14. Dalmau-Soler, J. et al. (2022). Microplastics throughout a Tap Water Supply Network. Water Environ. J.

15. Peng, C.-Y. et al. (2013). Effects of Chloride, Sulfate and Natural Organic Matter (NOM) on the Accumulation and Release of Trace-Level Inorganic Contaminants from Corroding Iron. Water Res.

16. LeChevallier, M.W. et al. (1996). Full-Scale Studies of Factors Related to Coliform Regrowth in Drinking Water. Appl. Environ. Microbiol.

17. Sambo, S.P. et al. (2020). Quantification of Biodegradable Natural Organic Matter (NOM) Fractions and Its Impact on Bacterial Regrowth in a South African Water Treatment Plant. J. Water Process Eng.

18. Terry, L.G.; Summers, R.S. (2018). Biodegradable Organic Matter and Rapid-Rate Biofilter Performance: A Review. Water Res.

19. Fish, K.E. et al. (2016). Characterising and Understanding the Impact of Microbial Biofilms and the Extracellular Polymeric Substance (EPS) Matrix in Drinking Water Distribution Systems. Environ. Sci. Water Res. Technol.

20. Abokifa, A.A. et al. (2016). Investigating the Role of Biofilms in Trihalomethane Formation in Water Distribution Systems with a Multicomponent Model. Water Res..

21. Arnold, R.B. (2011). New Insights into Lead and Copper Corrosion: Impacts of Galvanic Corrosion, Flow Pattern, Potential Reversal, and Natural Organic Matter. Master's Thesis.

22. King, P.W. et al. (2022). Role of Natural Organic Matter and Hardness on Lead Release from Galvanic Corrosion. Environ. Sci. Water Res. Technol..

23. Moradi, S. et al. (2018). Tracking Changes in Organic Matter during Nitrification Using Fluorescence Excitation–Emission Matrix Spectroscopy Coupled with Parallel Factor Analysis (FEEM/PARAFAC). J. Environ. Chem. Eng.

24. Zhang, Y.; Edwards, M. (2009). Accelerated Chloramine Decay and Microbial Growth by Nitrification in Premise Plumbing. J. Am. Water Work. Assoc.

25. Nguyen, H.V.-M. et al. (2023). Fluorescence Spectroscopy in the Detection and Management of Disinfection By-Product Precursors in Drinking Water Treatment Processes: A Review. Chemosphere.

26. Stéphanie, G.; Caetano, D. (2020). Real-Time Estimation of Disinfection By-Products through Differential UV Absorbance. Water.

27. Korshin, G. et al. (2008). Real Time Monitoring of Disinfection By-Products Using Differential UV Spectroscopy. Water.

28. Dong, F. et al. (2022). Spatio-Temporal Variability of Halogenated Disinfection by-Products in a Large-Scale Two-Source Water Distribution System with Enhanced Chlorination. J. Hazard. Mater.

29. Weiss, W.J. et al. (2013). Minimizing Raw Water NOM Concentration through Optimized Source Water Selection. J. Am. Water Work. Assoc.

ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN HOẠT ĐỘNG TRỒNG CÂY CAO SU VÀ GIẢI PHÁP THÍCH ỨNG TẠI GIA LAI, VIỆT NAM

NGUYỄN VĂN HUỐNG[1], PHẠM SƠN TÙNG[1], AN ĐỨC THẮNG[1], NGUYỄN THỊ DUNG[1], NGUYỄN VĂN MẠNH[1], TRẦN THÚY HẰNG[2], TÔ THỊ PHƯƠNG MAI[2]

[1]Viện Vật liệu, Sinh học và Môi trường, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự
[2]Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt

Biến đổi khí hậu (BĐKH) đang gia tăng mức độ ảnh hưởng lên các hệ thống sản xuất nông nghiệp ở Việt Nam, trong đó tỉnh Gia Lai, khu vực có diện tích canh tác cao su lớn, đồng thời giữ vai trò chiến lược về kinh tế - quốc phòng, được xác định là điểm nóng dễ tổn thương. Nghiên cứu tập trung đánh giá xu hướng BĐKH và tác động của BĐKH đến sản xuất nông nghiệp tại các khu vực xã Ia Krêl, Ia Nan, Ia Dơk, Ia Kla, Ia Chía và Ia Pnôn ở Gia Lai, qua đó đề xuất các giải pháp thích ứng dựa trên điều kiện đặc thù của địa phương. Cách tiếp cận liên ngành kết hợp các phương pháp định tính và định lượng phân tích đối chiếu theo kịch bản BĐKH RCP 8.5. Các kết quả nghiên cứu trước đây cho thấy khu vực tỉnh Gia Lai có mức độ "phơi nhiễm khí hậu" cao, với nhiệt độ dự báo có thể tăng tới 3 - 4 °C vào cuối thế kỷ XXI, kéo theo nguy cơ lũ lụt, hạn hán và sạt lở. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất nhóm giải pháp thích ứng gồm: Xây dựng - nâng cấp hạ tầng thủy lợi; áp dụng công nghệ tưới tiết kiệm; phát triển mô hình canh tác sinh thái nhằm tăng trữ carbon; sử dụng vật liệu hữu cơ như biochar và đa dạng hóa sinh kế nông nghiệp thích ứng khí hậu. Kết quả nghiên cứu hướng tới cung cấp cơ sở khoa học phục vụ quy hoạch sản xuất trông cây cao su thích ứng tại các Khu Kinh tế - Quốc phòng (KTQP) của Gia Lai trong giai đoạn tới.

Từ khóa: *Cây cao su, BĐKH,Gia Lai.*
Ngày nhận bài: *10/2/2026;* ***Ngày sửa chữa:*** *18/3/2026;* ***Ngày duyệt đăng:*** *27/3/2026.*

Impact of climate change on hevea brasiliensis productivity in Gia Lai, Viet Nam

Abstract

Climate change is increasing its impacts on agricultural production systems in Vietnam, in which, Gia Lai Province having large areas of rubber cultivation and playing a strategic role in both economic development and national defense, is identified as a vulnerable hotspot. This study focuses on assessing climate change trends and their impacts on agricultural production in areas Ia Krêl, Ia Nan, Ia Dơk, Ia Kla, Ia Chía and Ia Pnôn in Gia Lai, and on proposing adaptation solutions based on local conditions. An interdisciplinary approach combines ecosystem-based qualitative methods and quantitative methods comparing different RCP climate scenarios. Previous studies identified Gia Lai as having high climate exposure, with projected temperature increases of up to 3 - 4 °C by the end of the 21st century, resulting in increased risks of flooding, drought, and landslides. Based on these findings, the study proposes a set of adaptation solutions, including building and upgrading irrigation infrastructure, applying water-saving irrigation technologies, developing ecological farming models such as rubber–forest intercropping to enhance carbon storage, using organic materials such as biochar, and diversifying climate-resilient agricultural livelihoods. The results aim to provide a scientific basis for climate-adaptive agricultural planning in the Economic–Defense Zones of Gia Lai in the coming period.

Keywords: *Hevea Brasiliensis productivity, climate change, Gia Lai.*
JEL Classifications: *O13, Q15, R00.*

1. GIỚI THIỆU

Cây cao su là cây công nghiệp chủ lực tại tỉnh Gia Lai, đặc biệt ở địa bàn do Tổng công ty 15 quản lý, nơi kết hợp nhiệm vụ phát triển kinh tế - xã hội với đảm bảo quốc phòng - an ninh. Ngoài vai trò tạo ra sinh kế cho hàng chục nghìn lao động (phần lớn là đồng bào dân tộc thiểu số), cao su còn góp phần phủ xanh đất trống đồi trọc, cải thiện cấu trúc đất, điều hòa vi khí hậu và giữ vai trò phòng hộ sinh thái khu vực biên giới.

Tuy nhiên, trong bối cảnh BĐKH, sản xuất cao su tại Gia Lai đang phải đối mặt với nhiều rủi ro tiềm tàng. Nhiệt độ tăng cao kéo dài, lượng mưa mùa khô

suy giảm 5 - 15%, hiện tượng El Niño diễn biến cực đoan và xuất hiện các loại bệnh hại lá - thối rễ đã làm giảm đáng kể năng suất, chất lượng mủ và gia tăng chi phí chăm sóc. Các dự báo theo kịch bản RCP 8.5 cho thấy nhiệt độ trung bình ở Gia Lai có thể tăng tới 3 - 3,5 °C vào cuối thế kỷ XXI, gây nguy cơ suy giảm diện tích và hiệu quả sản xuất cao su nếu không có giải pháp thích ứng kịp thời [1]. Do đó, nghiên cứu tác động của BĐKH và đề xuất chiến lược thích ứng cho cây cao su là yêu cầu cấp thiết, có ý nghĩa kinh tế, xã hội và chiến lược lãnh thổ.

Nhiều nghiên cứu quốc tế cho thấy BĐKH làm thay đổi cả năng suất và tính khả dụng của diện tích phù hợp cho cây cao su. Các phân tích mô phỏng và thực nghiệm chỉ ra rằng sự gia tăng nhiệt độ trung bình, đặc biệt là nhiệt độ ban đêm, có khả năng làm giảm tiết mủ và làm biến đổi chu kỳ sinh lý của cây, dẫn tới giảm năng suất ở nhiều vùng trồng truyền thống khi ngưỡng nhiệt tối ưu bị vượt qua [2]. Đồng thời, biến động lượng mưa và sự gia tăng cường độ hạn hán hoặc mưa cực đoan làm thay đổi độ ẩm đất và nhu cầu nước của cây cao su, ảnh hưởng tới hiện tượng rụng lá, thời kỳ ra nhựa và sức khỏe rễ [2].

Nghiên cứu của Lai và cộng sự cho thấy, nhiệt độ mùa khô và lượng mưa mùa mưa có ảnh hưởng mạnh tới thời vụ và quá trình sinh trưởng của cao su, trong khi mở rộng diện tích cao su còn làm thay đổi cân bằng thủy văn địa phương, làm trầm trọng thêm áp lực nước trong mùa khô [3]. Nhiều nghiên cứu gần đây cũng nhấn mạnh xu hướng chung rằng mở rộng vườn cao su mà không có quản lý môi trường thích hợp, có thể làm giảm khả năng giữ nước và gia tăng nguy cơ sâu bệnh. Hơn nữa, nếu nhiệt độ trung bình vượt quá ngưỡng 28^{o}C về lâu dài sẽ tạo ra sốc nhiệt, làm giảm năng suất cây cao su [3].

Tại Việt Nam và khu vực Tây Nguyên, bao gồm Gia Lai, các nghiên cứu và báo cáo chỉ ra cao su là một ngành then chốt về kinh tế - xã hội nhưng đồng thời rất dễ tổn thương trước BĐKH. Nghiên cứu về mở rộng sản xuất cao su ở Việt Nam nêu rõ Gia Lai là một trong những khu vực đang mở rộng diện tích trồng cây cao su. Hơn nữa, một số nghiên cứu cảnh báo rằng sự thay đổi thời tiết thất thường, xu hướng hạn hán và biến động nguồn nước có thể làm giảm năng suất nông nghiệp ở một số tỉnh khu vực Tây Nguyên, bao gồm Gia Lai [4]. Tuy nhiên, những nghiên cứu hiện nay còn hạn chế về số lượng và chưa đề cập đến giải pháp cho các khu vực trồng cây cao su trước BĐKH.

Xuất phát từ những thách thức khí hậu ngày càng gia tăng đối với cây cao su, nghiên cứu này tập trung đánh giá xu hướng BĐKH và các tác động của BĐKH đến hoạt động trồng, sinh trưởng và mức độ phù hợp sinh thái của cao su tại các khu kinh tế - quốc phòng ở tỉnh Gia Lai. Phạm vi nghiên cứu bao gồm phân tích chuỗi dữ liệu khí tượng, xu thế hạn hán - mưa cực đoan và các yếu tố khí hậu chi phối năng suất mủ, nhằm xác định các yếu tố gây dễ tổn thương và rủi ro đối với hệ thống sản xuất hiện nay. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất các giải pháp thích ứng khả thi cho đơn vị quản lý và cộng đồng địa phương, hỗ trợ mục tiêu ổn định sinh kế, phát triển kinh tế - xã hội và tăng cường hiệu quả nhiệm vụ quốc phòng tại khu vực.

2. KHU VỰC, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ NGUỒN SỐ LIỆU

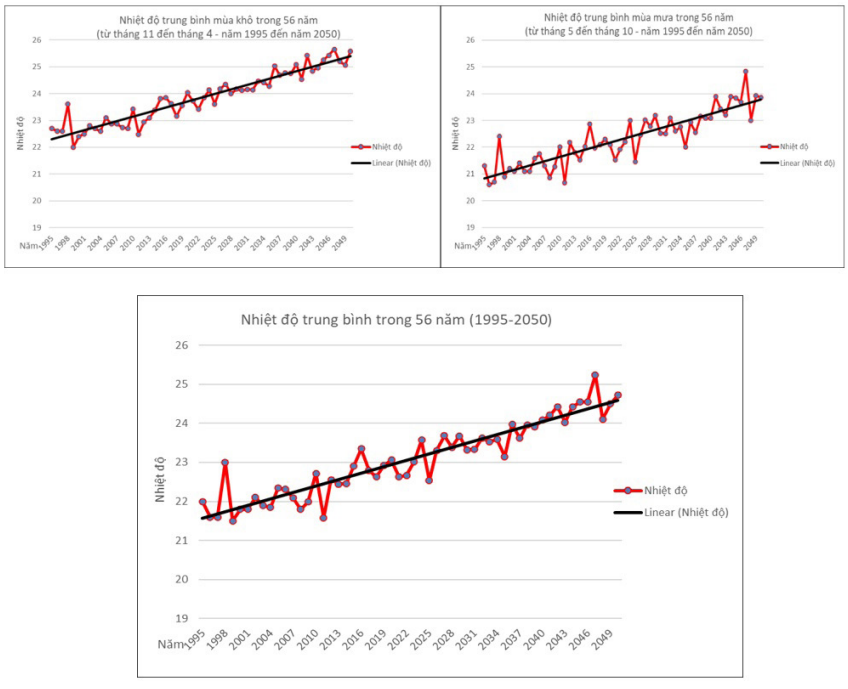
2.1. Khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu lựa chọn xã Ia Krêl, Ia Nan, Ia Dơk, Ia Kla, Ia Chía và Ia Pnôn và các vùng lân cận của tỉnh Gia Lai làm khu vực nghiên cứu vì đây là những địa bàn trọng điểm nơi Tổng công ty 15 tổ chức sản xuất, quản lý và khai thác cao su trong thời gian dài. Các xã này vừa nằm trong vùng có vị trí chiến lược về kinh tế - quốc phòng, vừa là nơi các điều kiện tự nhiên đặc trưng của khu vực trồng cao su. Tuy nhiên, đây cũng là khu vực chịu ảnh hưởng ngày càng rõ rệt của BĐKH, mức độ hạn hán cao trong mùa khô và sự gia tăng của các hiện tượng cực đoan. Bên cạnh đó, hệ thống vườn cây tại các xã này có quy mô, liên tục theo thời gian, thuận lợi cho việc thu thập số liệu thực địa và đánh giá mối liên hệ giữa các yếu tố khí hậu và sản xuất mủ. Việc tập trung nghiên cứu tại khu vực này không chỉ phản ánh thách thức điển hình về BĐKH mà còn hỗ trợ trực tiếp cho công tác quy hoạch sản xuất, nâng cao sinh kế và đảm bảo nhiệm vụ quốc phòng - an ninh của Tổng công ty 15 tại khu vực biên giới Gia Lai.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu được triển khai dựa trên quan điểm hệ thống và liên ngành, nhằm bảo đảm việc đánh giá tác động của BĐKH đối với sản xuất cao su tại các xã Ia Krêl, Ia Nan, Ia Dơk, Ia Kla, Ia Chía và Ia Pnôn phản ánh đầy đủ mối liên hệ giữa điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội và nhiệm vụ quốc phòng đặc thù của khu vực Gia Lai. Hai hướng tiếp cận chính được áp dụng gồm: tiếp cận dựa trên phân tích sự biến đổi của nhiệt độ, lượng mưa và mối liên hệ đến sinh trưởng - khai thác mủ; tiếp cận dựa vào cộng đồng, nhấn mạnh vai trò tham gia của công nhân và cán bộ Tổng công ty 15 trong việc nhận diện các yếu tố gây rủi ro và đề xuất giải pháp thích ứng phù hợp thực tiễn.

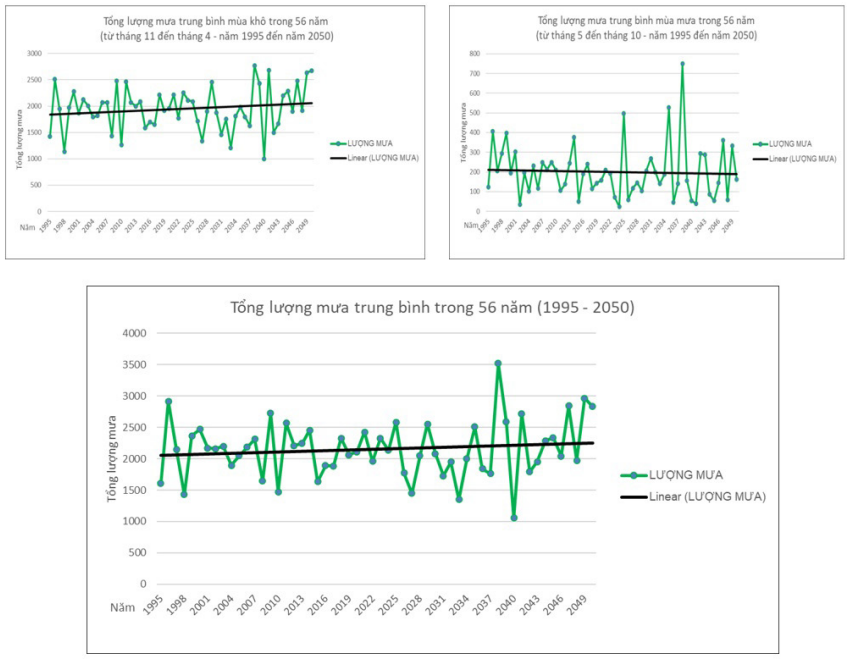
Quy trình đánh giá tác động BĐKH được xây dựng dựa trên khung hướng dẫn của IPCC, đồng thời điều chỉnh theo đặc điểm của vùng Tây Nguyên. Các bước chính gồm: (1) Sử dụng kịch bản BĐKH RCP 8.5; (2) phân tích xu thế BĐKH giai đoạn 1995 - 2024 và dự báo tới 2030 và 2050; (3) đánh giá tác động hiện tại và



Hình 1. Kịch bản BĐKH theo nhiệt độ tại Gia Lai

tương lai đối với sinh trưởng, hoạt động trồng và chu kỳ khai thác cao su và (4) tổng hợp ý kiến các Khu được khảo sát và ý kiến của chuyên gia để xây dựng nhóm giải pháp thích ứng khả thi cho khu vực nghiên cứu. Dữ liệu thu thập được mã hóa và chuẩn hóa, thường sử dụng thang đo để định lượng hóa ý kiến. Tiếp theo, áp dụng các phương pháp thống kê mô tả và so sánh để đánh giá mức độ quan trọng của các yếu tố. Cuối cùng, tổng hợp và kiểm chứng kết quả nhằm phục vụ đánh giá BĐKH một cách khoa học. Kết quả sau các bước trên là bộ chỉ số đánh giá rủi ro, tính dễ bị tổn thương.

Để đánh giá biểu hiện BĐKH, nghiên cứu áp dụng phân tích xu thế tuyến tính cho chuỗi nhiệt độ - lượng mưa, đồng thời tính toán các chỉ



Hình 2. Kịch bản BĐKH theo lượng mưa tại Gia Lai

số cực đoan như số ngày nắng nóng, mưa lớn, nhiệt độ cực trị có liên quan trực tiếp đến hiện tượng khô hạn, rụng lá và giảm sản lượng mủ. Chuỗi số liệu khí tượng giai đoạn 1995 - 2024 tại khu vực Gia Lai được sử dụng để đảm bảo độ tin cậy khi phân tích.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

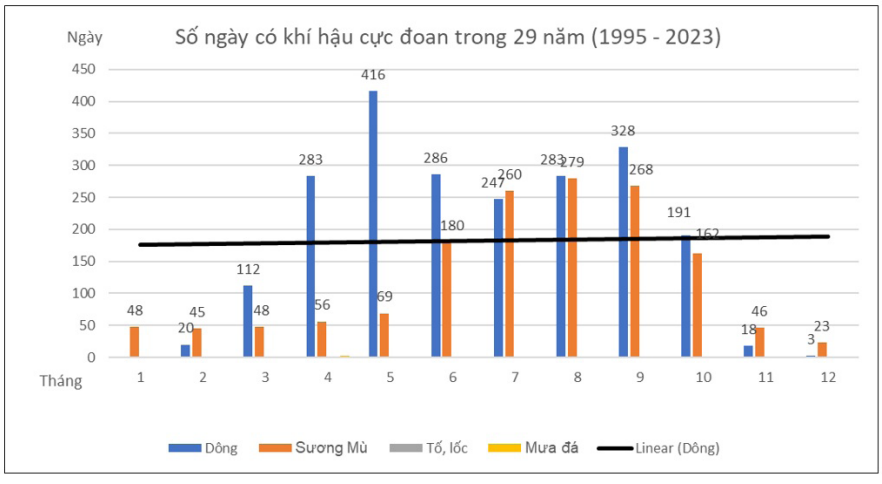
3.1. Xu hướng BĐKH tại các Khu KTQP khu vực Gia Lai

3.1.1. Kịch bản BĐKH 2020 tại khu vực nghiên cứu RCP 8.5

Theo Kịch bản BĐKH 2020 [5], khu vực Tây Nguyên, bao gồm các xã Ia Krêl, Ia Nan, Ia Dơk, Ia Kla, Ia Chía và Ia Pnôn, được dự báo chịu tác động rõ rệt của xu thế tăng nhiệt và biến động lượng mưa theo kịch bản RCP 8.5. Nhiệt độ trung bình năm có thể tăng khoảng 1,6 - 1,9°C vào giữa thế kỷ (2050). Số ngày nắng nóng trên 35°C dự báo tăng thêm 15 - 25 ngày vào giai đoạn 2030 - 2050, đồng thời biên độ nhiệt ngày - đêm thu hẹp, làm gia tăng sốc nhiệt cho cây công nghiệp như cao su (Hình 1).

Cả nhiệt độ trung bình mùa khô và mùa mưa đều tăng theo thời gian, trong đó mùa khô có xu thế tăng ổn định và rõ nét hơn, thể hiện qua đường xu thế tuyến tính dốc đều. Nhiệt độ mùa mưa tuy có biên độ dao động lớn hơn giữa các năm, song xu thế tăng dài hạn vẫn nhất quán, cho thấy sự gia tăng nền nhiệt không chỉ giới hạn trong mùa khô. Nhiệt độ trung bình năm tổng hợp cũng tăng liên tục, cho thấy hiện tượng ấm lên mang tính hệ thống, không mang tính cục bộ hay ngắn hạn.

Lượng mưa năm tại các vùng trồng cao su có xu hướng tăng nhẹ khoảng 3 - 5%, nhưng phân bố theo mùa thay đổi rõ rệt, với tần suất các trận mưa lớn trên 100 mm/ngày tăng 10 - 20%, trong khi mùa khô kéo dài thêm khoảng 0,5 - 1 tháng và lượng mưa giảm thêm 10 - 15%. (Hình 2).



Hình 3. Số liệu các hiện tượng cực đoan tại Gia Lai

Ngoài ra, khu vực biên giới Tây Nguyên được dự báo phải đối mặt với sự gia tăng các hiện tượng cực đoan như gió mạnh mùa khô, mưa dông cục bộ và lũ quét tại các vùng địa hình trũng. Những thay đổi này được đánh giá là có tác động trực tiếp đến hoạt động trồng cao su, thời vụ cạo mủ và khả năng phục hồi của hệ sinh thái nông - lâm nghiệp nơi Tổng công ty 15 đang quản lý (Bảng 1).

Những thay đổi này làm tăng dòng chảy bề mặt và xói mòn đất, ảnh hưởng tiêu cực đến cấu trúc đất và hệ rễ, đồng thời có thể làm tăng nguy cơ đổ gãy cây cao su trong các trận mưa lớn đầu mùa, nhất là trên địa hình dốc. Sự thay đổi nhiệt độ hàng ngày từ tháng 1 - 3, là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến năng suất mủ cao su, thông qua tác động đến quá trình sinh trưởng theo chu kỳ và quang hợp của cây cao su. Thêm vào đó, việc bốc hơi tăng cao trong điều kiện nhiệt độ tăng và nắng nóng kéo dài làm nhu cầu nước của cây tăng, trong khi mùa khô kéo dài dẫn tới thiếu nước rõ rệt, gây giảm sức sinh trưởng và khả năng sản xuất mủ của cây cao.

3.1.2. Những hệ quả từ BĐKH tại khu vực nghiên cứu

Dưới tác động của BĐKH, tại khu vực trồng cao su Tổng công ty 15 đang chịu những ảnh hưởng ngày càng rõ nét từ các hiện tượng thời tiết cực đoan đã xảy ra trong thực tế, tác động trực tiếp đến sinh trưởng và hiệu quả sản xuất cây cao su. Đợt hạn hán nghiêm trọng giai đoạn 2015 - 2016 do El Niño với lượng mưa thiếu hụt lớn và mùa khô kéo dài bất thường đã làm nhiều diện tích cao su non bị chết, cao su cơ bản sinh trưởng kém, rụng lá sớm và suy giảm khả năng khai thác mủ. Nghiên cứu của Li và cộng sự đã chỉ ra rằng hạn hán, cả ở quy mô ngắn hạn và dài hạn, làm giảm mạnh sản lượng quang hợp tổng của cao su trong nhiều mùa vụ khác nhau, chứng minh mức độ nhạy cảm của cây cao su với khô hạn [6]. Những năm tiếp theo, đặc biệt giai đoạn 2019 - 2020 và từ 2023 đến nay, tình trạng nắng nóng kéo dài kết hợp mùa mưa đến muộn, lượng mưa đầu mùa thấp tiếp tục diễn ra, gây thiếu nước đất nghiêm trọng vào cuối mùa khô, làm giảm dòng mủ và năng suất khai thác tại nhiều vườn cao su kinh doanh.

Ngược lại, trong mùa mưa, Gia Lai nhiều lần ghi nhận mưa lớn cục bộ với cường suất cao, kèm theo dông, lốc xoáy và gió mạnh, gây xói mòn đất ở các lô cao su địa hình dốc, làm gãy đổ

Bảng 1. Dự báo các chỉ số khí hậu chính theo Kịch bản BĐKH 2020 (RCP 8.5) tại khu vực Gia Lai

Chỉ số khí hậu	Hiện trạng (1995-2024)	Giữa thế kỷ (2050)	Xu hướng - Tác động chính
Nhiệt độ trung bình năm	23,5 - 24,2°C	+1,6 đến +1,9°C	Tăng nhiệt, gia tăng sốc nhiệt cho cao su, giảm tiết mủ ban đêm.
Nhiệt độ tối cao tuyệt đối	37 - 39°C	39 - 41°C	Nguy cơ vượt ngưỡng chịu nhiệt của cây cao su, tăng nguy cơ cháy và rụng lá.
Số ngày nắng nóng (>35°C)	20 - 35 ngày/năm	+15 - 25 ngày	Mùa khô gay gắt hơn, tăng bốc hơi và giảm độ ẩm đất.
Lượng mưa năm	2,100 - 2,300 mm	+3 - 5%	Lượng mưa tăng nhưng phân bố mất cân đối; mưa lớn tăng.
Lượng mưa mùa khô (12-4)	Rất thấp, <5% tổng năm	Giảm 10 -15%	Hạn hán tăng, thiếu nước tưới, giảm sinh trưởng cao su.
Lượng mưa lớn (>100mm/ngày)	1 - 3 ngày/năm	Tăng 10 -20%	Nguy cơ đổ gãy cao su, sạt lở và xói mòn đất bazan.
Thời gian mùa khô	4,5 - 5 tháng	+0,5 - 1 tháng	Kéo dài thời gian thiếu nước, tăng rủi ro mất mùa.
Hiện tượng thời tiết cực đoan	Dông, gió mạnh biên giới, mưa lớn đầu mùa	Tăng tần suất	Rủi ro giông lốc làm gãy đổ cao su, ảnh hưởng an sinh và sản xuất.

cây, hư hại thân cành và gián đoạn hoạt động cạo mủ. Bên cạnh đó, các đợt mưa lớn cuối năm do ảnh hưởng của áp thấp nhiệt đới đã gây hư hỏng đường giao thông nội bộ và ảnh hưởng đến công tác vận chuyển, thu gom mủ cao su. Trong nghiên cứu của Lai và cộng sự đã chỉ ra rằng dao động bất thường của lượng mưa và nhiệt độ đã làm tăng sự bất ổn trong năng suất và chu kỳ sinh trưởng của cao su. Nhiệt độ cao trong mùa khô thúc đẩy mất nước, khiến mủ chảy kém hơn, trong khi lượng mưa đầu mùa thấp gây thiếu nước ở cuối mùa khô và suy giảm sản lượng [3]. Sự gia tăng nhiệt độ cùng với độ ẩm và lượng mưa biến động thất thường cũng tạo điều kiện cho sâu bệnh hại phát sinh mạnh hơn, đặc biệt là các bệnh rụng lá, nấm hại và loét mặt cạo, xuất hiện với tần suất cao và mức độ khó kiểm soát hơn so với trước đây. Những tác động này cho thấy BĐKH tại Gia Lai đã và đang làm gia tăng rủi ro trong sản xuất cao su, ảnh hưởng trực tiếp đến hoạt động trồng, tính ổn định và tính bền vững của các diện tích cao su do Tổng công ty 15 quản lý.

3.2. Xác định một số yếu tố gây tổn thương, rủi ro, tổn thất, thiệt hại đối với cây cao su ở Gia Lai

Dựa trên khung đánh giá rủi ro do BĐKH theo IPCC 2014, nghiên cứu xây dựng bộ chỉ số thành phần nhằm đánh giá mức độ dễ bị tổn thương và rủi ro do BĐKH đối với cây cao su tại tỉnh Gia Lai [7]. Các chỉ số được phân nhóm theo bốn hợp phần: Hiểm họa (H), Phơi bày (E), Nhạy cảm (S) và Khả năng thích ứng (AC) được trình bày tại Bảng 2. Sơ đồ trình bày trong phụ lục PL1 kèm theo.

Bảng 2. Các chỉ số thành phần phục vụ đánh giá rủi ro do BĐKH đối với cây cao su tại tỉnh Gia Lai

Nhóm chỉ số	Chỉ số thành phần cụ thể	Xu hướng tác động
Hiểm họa (H)	Nhiệt độ trung bình năm tăng (°C)	→ Tăng → rủi ro tăng
	Nhiệt độ tối cao tuyệt đối (°C)	→ Tăng → rủi ro tăng
	Số ngày nắng nóng trên 35°C (ngày/năm)	→ Tăng → rủi ro tăng
	Lượng mưa mùa khô giảm (%)	→ Giảm → rủi ro tăng
	Thời gian mùa khô kéo dài (tháng)	→ Tăng → rủi ro tăng
	Tần suất hạn hán mùa khô (lần/năm)	→ Tăng → rủi ro tăng
	Tần suất mưa lớn >100mm/ngày	→ Tăng → rủi ro tăng
	Gia tăng các hiện tượng thời tiết cực đoan (dông, gió mạnh, lốc)	→ Tăng → rủi ro tăng
Phơi bày (E)	Diện tích trồng cao su trong khu vực nghiên cứu (%)	→ Tăng → rủi ro tăng
	Tỷ lệ lao động phụ thuộc vào sản xuất cao su (%)	→ Tăng → rủi ro tăng
	Tỷ lệ diện tích cao su phụ thuộc hoàn toàn vào nước mưa (%)	→ Tăng → rủi ro tăng
	Tỷ lệ diện tích cao su trên đất dốc (%)	→ Tăng → rủi ro tăng
	Mức độ tập trung vườn cao su tại các Khu KTQP	→ Tăng → rủi ro tăng
Nhạy cảm (S)	Tỷ lệ đất bazan bị xói mòn, rửa trôi	→ Tăng → rủi ro tăng
	Khả năng giữ ẩm đất trong mùa khô	→ Giảm → rủi ro tăng
	Tỷ lệ vườn cao su chịu stress nhiệt – thiếu ẩm (%)	→ Tăng → rủi ro tăng
	Mức độ suy giảm sinh trưởn và tiết mủ do nhiệt độ cao	→ Tăng → rủi ro tăng
	Tần suất phát sinh sâu bệnh	→ Tăng → rủi ro tăng
	Nguy cơ đổ gãy cây do mưa lớn, gió mạnh	→ Tăng → rủi ro tăng
Khả năng thích ứng (AC)	Tỷ lệ diện tích áp dụng tưới tiết kiệm nước (%)	→ Tăng → rủi ro giảm
	Tỷ lệ sử dụng giống cao su chịu hạn, chịu nhiệt (%)	→ Tăng → rủi ro giảm
	Mức độ áp dụng biến pháp cho phủ đất, trồng xen, canh tác, sinh thái	→ Tăng → rủi ro giảm
	Năng lực quản lý rủi ro và theo dõi khí tượng tại các khu KTQP	→ Tăng → rủi ro giảm

Bộ chỉ số thành phần cho thấy rủi ro do BĐKH đối với cây cao su tại Gia Lai hình thành từ sự gia tăng các yếu tố hiểm họa khí hậu, đặc biệt là xu thế nhiệt độ tăng và biến động lượng mưa mùa khô, kết hợp với mức độ phơi bày cao của diện tích trồng và sự phụ thuộc sinh kế vào cây cao su. Bên cạnh đó, tính nhạy cảm của hệ thống sản xuất, thể hiện qua điều kiện đất đai và tình trạng stress nhiệt – thiếu ẩm của vườn cây, góp phần làm gia tăng rủi ro. Ngược lại, các yếu tố thuộc nhóm khả năng thích ứng có vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu rủi ro thông qua cải thiện kỹ thuật canh tác và quản lý nước. Trên cơ sở các nhận xét này, các giải pháp thích ứng phù hợp được đề xuất nhằm giảm tính dễ bị tổn thương và nâng cao khả năng chống chịu của sản xuất cao su trước BĐKH.

3.3. Đề xuất các giải pháp giảm nhẹ, thích ứng với BĐKH tại các Khu KTQP khu vực khảo sát

Các giải pháp giảm nhẹ và thích ứng với BĐKH đối với cây cao su tại các Khu KTQP trong khu vực Ia Krêl, Ia Nan, Ia Dơk cần được triển khai theo hướng tổng hợp, đồng bộ và phù hợp với điều kiện khí hậu ngày càng khắc nghiệt. Về mặt kỹ thuật - công nghệ, ưu tiên hàng đầu là sử dụng giống cao su có khả năng chịu hạn và chịu nhiệt tốt hoặc một số giống mới đang được Viện Nghiên cứu Cao su thử nghiệm cho khu vực Tây Nguyên. Đây là nhóm giống có biên độ thích ứng rộng, cho năng suất mủ ổn định hơn trong điều kiện nhiệt độ tăng và mùa khô kéo dài. Việc điều chỉnh kỹ thuật canh tác theo hướng nông nghiệp thông minh với khí hậu cũng rất quan trọng, bao gồm trồng cỏ che phủ để giữ ẩm, duy trì lớp phủ hữu cơ, bón phân cân đối để tăng khả năng chống chịu, áp dụng kỹ thuật cạo mủ hợp lý nhằm giảm hiện tượng khô miệng cạo trong những năm nắng nóng. Bên cạnh đó, các công nghệ quản lý vi khí hậu như trồng đai rừng chắn gió, bố trí tán cây hợp lý và sử dụng công cụ theo dõi độ ẩm đất, chỉ số khô hạn sẽ giúp chủ động hơn trong chăm sóc vườn cao su.

Ở góc độ hạ tầng và quản lý tài nguyên nước, việc đảm bảo nguồn nước cho giai đoạn cây kiến thiết cơ bản (đặc biệt là 3 năm đầu) là yếu tố sống còn trong bối cảnh lượng mưa mùa khô đang giảm mạnh. Nhiều xã trong khu vực như Ia Krêl, Ia O và Ia Nan có địa hình dốc, khả năng giữ nước tự nhiên thấp, khiến việc xây dựng hệ thống hồ trữ, ao đắp nhỏ và mương dẫn nước trở nên cấp thiết. Các mô hình thu gom nước mưa theo cụm hộ, giếng khoan tập trung và hệ thống tưới tiết kiệm quy mô nhỏ có thể được áp dụng linh hoạt cho các đội sản xuất cao su. Việc bảo vệ và phục hồi rừng tự nhiên, rừng phòng hộ dọc tuyến biên giới không chỉ góp phần giữ đất, giữ nước mà còn tạo lớp đệm sinh thái giúp giảm tác động của gió nóng và các hiện tượng thời tiết cực đoan ảnh hưởng trực tiếp đến sinh trưởng cây cao su.

Nhóm giải pháp về chính sách - thể chế và quản trị cộng đồng có vai trò quyết định trong bảo đảm tính bền vững của các biện pháp thích ứng. Các Khu KTQP cần xây dựng kế hoạch quản lý rủi ro khí hậu riêng cho vùng trồng cao su, trong đó quy định rõ trách nhiệm của từng bộ phận trong theo dõi khí tượng, đánh giá thiệt hại và tổ chức ứng phó. Ngoài ra, cần có chính sách tín dụng ưu đãi để hỗ trợ hộ dân và đội sản xuất đầu tư tái canh bằng giống chịu hạn, áp dụng kỹ thuật cạo mủ bền vững và đầu tư các công trình nước nhỏ lẻ. Việc tăng cường tập huấn cho người lao động về nhận diện rủi ro khí hậu, quy trình canh tác phù hợp điều kiện nắng nóng, phương pháp chăm sóc cây trong thời kỳ hạn kéo dài sẽ giúp nâng cao năng lực thích ứng tại cấp cộng đồng. Cuối cùng, xây dựng cơ chế phối hợp giữa Khu KTQP - chính quyền xã - doanh nghiệp cao su nhằm tiêu thụ sản phẩm ổn định, đồng thời hỗ trợ chuyển giao tiến bộ kỹ thuật sẽ tạo nền tảng vững chắc để ngành cao su tại khu vực nghiên cứu duy trì sản lượng trong bối cảnh BĐKH ngày càng gay gắt.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu tại Tổng công ty 15 (Gia Lai) xác nhận tác động tiêu cực rõ rệt của BĐKH đối với cây cao su. Theo kịch bản RCP 8.5, nhiệt độ dự báo tăng 1,6 - 1,9°C và mùa khô kéo dài thêm 0,5 - 1 tháng vào năm 2050, làm gia tăng sốc nhiệt và thiếu hụt nguồn nước. Hệ quả là hoạt động trồng mủ giai đoạn 2024 - 2050 dự báo sụt giảm nếu không có can thiệp kịp thời. Để đảm bảo mục tiêu kép về kinh tế và quốc phòng, nghiên cứu đề xuất triển khai đồng bộ các giải pháp thích ứng, trọng tâm là sử dụng giống cây chịu hạn, hoàn thiện hạ tầng thủy lợi nhỏ và áp dụng kỹ thuật canh tác sinh thái giữ ẩm. Mặt hạn chế của nghiên cứu là mối quan hệ giữa biến động khí hậu và chỉ tiêu năng suất cao su có thể được minh họa rõ hơn bằng số liệu thực đo hoặc mô hình phân tích định lượng. Tuy nhiên, nghiên cứu đã đủ làm cơ sở khoa học quan trọng để xây dựng chiến lược phát triển bền vững vùng nguyên liệu cao su■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tran-Anh, Q., et al., A high-resolution projected climate dataset for Vietnam: Construction and preliminary application in assessing future change. Journal of Water and Climate Change, 2022. 13(9): p. 3379-3399.

2. Rao, D.N. and M. Jessy, Impact of effective soil volume on growth and yield of rubber (Hevea brasiliensis). Geoderma, 2007. 141(3-4): p. 332-340.

3. Lai, H., et al., Dry season temperature and rainy season precipitation significantly affect the spatio-temporal pattern of rubber plantation phenology in Yunnan province. Frontiers in Plant Science, 2023. 14: p. 1283315.

4. Phuc, T.X. and T.H. Nghi, Rubber expansion and forest protection in Vietnam. Tropenbos International Viet Nam: Hue, Vietnam, 2014.

5. BTNMT, Kịch bản BĐKH và Nước biển dâng cho Việt Nam – Bản cập nhật 2020. 2020: Nhà xuất bản Tài nguyên – Môi trường và Bản đồ Việt Nam, Hà Nội.

6. Li, W., et al., Assessing Drought Impacts on Gross Primary Productivity of Rubber Plantations Using Flux Observations and Remote Sensing in China and Thailand. Forests, 2024. 15(10): p. 1732.

7. IPCC, Báo cáo đánh giá thứ năm IPCC về BĐKH. 2014.

ĐỀ XUẤT TIÊU CHÍ VÀ GIẢI PHÁP XÂY DỰNG "CON SÔNG ĐẸP" HƯỚNG TỚI THÍCH ỨNG BỀN VỮNG TẠI VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

TRẦN THANH TOÀN[1], TRẦN MINH TUẤN[2], ĐOÀN THỊ THU HÀ[2]

[1]*Công ty TNHH MTV Khai thác Thủy lợi Miền Nam*

[2]*Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam*

Tóm tắt

Sạt lở bờ sông là thách thức nghiêm trọng đối với phát triển bền vững vùng đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Tính đến năm 2024, toàn vùng ghi nhận 531 điểm sạt lở với tổng chiều dài 681,5 km. Tuy nhiên, đến nay, vùng ĐBSCL vẫn thiếu một bộ tiêu chí tích hợp, có lượng hóa cụ thể để đánh giá hiệu quả quản lý bờ sông bền vững, đồng thời các giải pháp kè sinh thái đã được thử nghiệm nhưng chưa được hệ thống hóa thành quy trình kỹ thuật bài bản. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm xây dựng bộ tiêu chí đánh giá và đề xuất quy trình kỹ thuật cho mô hình "Con sông đẹp" hướng tới kiểm soát sạt lở và phát triển bền vững. Nghiên cứu sử dụng phương pháp tổng quan tài liệu có hệ thống và kế thừa kết quả từ các mô hình thử nghiệm. Kết quả đề xuất bộ tiêu chí gồm 4 nhóm (An toàn kỹ thuật, Sinh thái, Cảnh quan, Văn hóa cộng đồng) với 12 chỉ tiêu cụ thể, được lượng hóa phù hợp với điều kiện khu vực. Đồng thời, nghiên cứu hệ thống hóa quy trình xây dựng kè sinh thái gồm 7 bước, được đúc rút từ các mô hình thử nghiệm thực tế. Bộ tiêu chí và quy trình kỹ thuật đề xuất tạo thành công cụ quản lý tổng hợp, góp phần giảm thiểu sạt lở, phục hồi hệ sinh thái ven sông, nâng cao sinh kế cộng đồng hướng tới phát triển bền vững.

Từ khóa: *ĐBSCL, bảo vệ bờ sông, con sông đẹp, giải pháp thuận thiên, sạt lở bờ sông.*

Ngày nhận bài: *6/2/2026;* ***Ngày sửa chữa:*** *3/3/2026;* ***Ngày duyệt đăng:*** *20/3/2026.*

Criteria and solutions for "beautiful river" development toward sustainable adaptation in the Mekong Delta

Abstract

Riverbank erosion poses a serious challenge to the sustainable development of the Mekong Delta. As of 2024, the region recorded 531 erosion sites with a total length of 681.5 km. However, to date, the Mekong Delta still lacks an integrated, quantifiable set of criteria for assessing sustainable riverbank management, while eco-revetment solutions have been tested but have not yet been systematized into a formal technical procedure. This study aims to develop an assessment criteria set and propose a technical procedure for the "Beautiful River" model towards erosion control and sustainable development. The research employs a systematic literature review and synthesizes results from pilot models. The proposed criteria set comprises four groups (Technical Safety, Ecology, Landscape, and Community Culture) with 12 specific, quantified indicators tailored to the regional conditions. Additionally, the study systematizes a 7-step eco-revetment construction procedure derived from practical pilot models. The proposed criteria set and technical procedure form an integrated management toolkit, contributing to erosion reduction, riparian ecosystem restoration, and community livelihood enhancement towards sustainable development.

Keywords: *Mekong Delta, riverbank protection, beautiful river, nature-based solutions, riverbank erosion.*

JEL Classifications:*: O13, P18, P48, Q53.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

ĐBSCL là vùng đất thấp có địa hình, thủy văn và hệ sinh thái đặc thù, đóng vai trò trọng yếu trong phát triển kinh tế - xã hội và an ninh lương thực quốc gia. Tuy nhiên, trong bối cảnh biến đổi khí hậu, nước biển dâng và sự suy giảm lượng phù sa từ thượng nguồn sông Mê Kông, khu vực này đang phải đối mặt với tình trạng sạt lở bờ sông, bờ biển diễn biến ngày càng phức tạp. Đến năm 2024, toàn vùng ghi nhận 531 điểm sạt lở với tổng chiều dài khoảng 681,5 km, gây thiệt hại lớn về người, tài sản, đất sản xuất và hạ tầng kỹ thuật (Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, 2024).

Trên thế giới, nhiều khung đánh giá sức khỏe dòng sông đã được phát triển, như khung Áp lực - Hiện trạng - Phản ứng (PCR) của OECD (Campos và cộng sự, 2024) hay khung DPSIR (Driver - Pressure - State - Impact - Response) của UNEP (Kristensen, 2004). Tại Việt Nam, các quy định về hành lang bảo vệ nguồn nước (Nghị định 43/2015/NĐ-CP) (Chính phủ, 2015) và chất lượng nước mặt (QCVN 08:2023/BTNMT) (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2023) là những căn cứ

pháp lý quan trọng. Tuy nhiên, các nghiên cứu hiện tại chủ yếu tiếp cận đơn lẻ, chưa có sự tích hợp đồng bộ giữa các yếu tố kỹ thuật, sinh thái, cảnh quan và văn hóa cộng đồng.

Thêm vào đó, các hướng tiếp cận bảo vệ bờ sông trên thế giới và trong nước hiện đang có xu hướng chuyển từ các giải pháp công trình cứng (kè bê tông, kè đá hộc) sang các giải pháp mềm, sinh thái dựa vào tự nhiên (Nature-based Solutions). Việc bảo vệ và khai thác tài nguyên nước vùng ĐBSCL cũng đang dần chuyển sang quan điểm "thích nghi - thuận thiên - cộng đồng - bền vững", kết hợp giữa giải pháp công trình và phi công trình theo tinh thần Nghị quyết số 120/NQ-CP của Chính phủ. Trong đó, giải pháp phi công trình được xem là nền tảng, cùng với đó, giải pháp công trình được định hướng theo hướng sinh thái và thuận thiên, tiêu biểu như việc xây dựng kè sinh thái sử dụng vật liệu tự nhiên (tre, tràm, bao địa kỹ thuật) kết hợp trồng cây bản địa để giảm năng lượng sóng, giữ phù sa và phục hồi hệ sinh thái ven sông. Các nghiên cứu ban đầu cho thấy kè sinh thái có hiệu quả kỹ thuật, giá trị sinh thái và tính kinh tế cao, với chi phí đầu tư và duy tu thấp hơn so với kè bê tông truyền thống nhờ khả năng tự phục hồi tự nhiên (Nguyễn Thị Bảy và cộng sự, 2021).

Từ đó, có thể xác định hai khoảng trống nghiên cứu chính: (i) Vùng ĐBSCL chưa có bộ tiêu chí tổng hợp, có lượng hóa cụ thể, tích hợp các yếu tố kỹ thuật - sinh thái - cảnh quan - văn hóa cộng đồng; (ii) mặc dù các giải pháp kè sinh thái đã được thử nghiệm và đúc rút kinh nghiệm tại nhiều tỉnh, nhưng chưa có quy trình kỹ thuật thống nhất, có cơ sở khoa học rõ ràng.

Nghiên cứu này nhằm trả lời hai câu hỏi: (i) Bộ tiêu chí nào phù hợp để đánh giá mô hình "Con sông đẹp" trong bối cảnh ĐBSCL? và (ii) Liệu quy trình kỹ thuật xây dựng kè sinh thái có thể được hệ thống hóa từ các mô hình thử nghiệm thực tế? Chính vì vậy, mục tiêu của bài báo là đề xuất bộ tiêu chí đánh giá tích hợp mô hình "Con sông đẹp" và hệ thống hóa quy trình kỹ thuật kè sinh thái phù hợp với khung đánh giá. Nghiên cứu có ý nghĩa lý luận trong việc hệ thống hóa khung tiêu chí đánh giá và quy trình kỹ thuật cho quản lý bờ sông bền vững. Về thực tiễn, nghiên cứu cung cấp một công cụ tổng hợp có thể áp dụng cho các địa phương trong vùng ĐBSCL.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cách tiếp cận

Nghiên cứu sử dụng phương pháp kết hợp giữa phân tích tổng quan tài liệu và kế thừa kết quả từ các mô hình thử nghiệm, nhằm xây dựng bộ tiêu chí và hệ thống hóa quy trình kỹ thuật.

2.2. Nguồn và phương pháp thu thập dữ liệu

Dữ liệu thứ cấp: Được thu thập và phân tích có hệ thống từ các nguồn bao gồm: Văn bản pháp lý; Khung đánh giá quốc tế; Bài báo, báo cáo khoa học; Báo cáo tổng kết Dự án và các nghiên cứu về đặc trưng sinh thái - văn hóa sông nước ĐBSCL khác.

Các nguồn tài liệu tham khảo được thể hiện trong Bảng 1 đến Bảng 4.

Dữ liệu sơ cấp (kế thừa từ các mô hình thử nghiệm): Kết quả quan trắc và đánh giá từ 7 mô hình kè sinh thái thử nghiệm đã được triển khai tại các tỉnh An Giang, Đồng Tháp, Hậu Giang, Cà Mau trong giai đoạn 2018 - 2024 của Công ty TNHH MTV Khai thác Thủy lợi miền Nam.

2.3. Quy trình xây dựng bộ tiêu chí

Quy trình xây dựng bộ tiêu chí được thực hiện qua 2 bước:

Tổng quan tài liệu: Tổng quan có hệ thống các khung tiêu chí quốc tế (river health, sustainable urban

Bảng 1. Tài liệu tham khảo cho khung lý thuyết tổng hợp

Khung phân tích	Ứng dụng	Nguồn
DPSIR (Driver-Pressure-State-Impact-Response)	Thiết kế bộ tiêu chí để đo lường cả 3 yếu tố hiện trạng (State), tác động (Impact) và phản hồi (Response), tạo thành một vòng tròn khép kín trong quản lý.	Kristensen (2004)
PCR (Pressure-State-Response)	Xác định rõ mối quan hệ nhân quả giữa nguyên nhân (Pressure), kết quả (State) và giải pháp (Response); Định hướng ưu tiên hành động và theo dõi hiệu quả can thiệp:	Campos và cộng sự (2024)

Bảng 2. Tài liệu pháp lý trong nước

Văn bản	Nội dung liên quan	Nguồn
Luật Tài nguyên nước năm 2023	Quản lý tổng hợp lưu vực sông, bảo vệ hành lang	Quốc hội (2023)
Luật BVMT năm 2020	Bảo tồn đa dạng sinh học, bảo vệ cảnh quan	Quốc hội (2020)
Nghị định số 43/2015/NĐ-CP	Hành lang bảo vệ nguồn nước	Chính phủ (2015)
QCVN 08:2023/BTNMT	Chất lượng nước mặt (nhóm Sinh thái)	Bộ Tài nguyên và Môi trường (2023)
Nghị quyết số 120/NQ-CP (2017)	Phát triển bền vững ĐBSCL thích ứng BĐKH	Chính phủ (2017)

Bảng 3. Tài liệu tham khảo cho các nhóm tiêu chí

Tiêu chí	Chỉ tiêu	Nguồn
An toàn kỹ thuật	Ổn định bờ sông, Chất lượng công trình bảo vệ bờ	Duy và cộng sự (2025)
	Hành lang bảo vệ sông	Duy và cộng sự (2025)
	Số liệu về sạt lở, ổn định bờ	Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam (2024)
	Nguyên nhân sạt lở, suy giảm phù sa	Kondolf và cộng sự (2018)
	Suy giảm phù sa do đập thủy điện	Schmitt và cộng sự (2019)
Sinh thái	Mật độ cây ven bờ, Đa dạng sinh học thủy sinh, Chất lượng nước, Giải pháp sinh thái ven sông	Campos và cộng sự (2024), Bang và cộng sự (2025), Trịnh Văn Hạnh và cộng sự (2012)
	Chất lượng nước mặt (QCVN 08:2023/BTNMT)	Bộ Tài nguyên và Môi trường (2023)
Cảnh quan	Bố cục mặt cắt bờ, Hiển thị chức năng sinh hoạt, Tiềm năng du lịch	Chen và cộng sự (2023)
	Cảnh quan sinh thái, không gian sông nước	Kristensen (2004)
Văn hóa cộng đồng	Sự tham gia của cộng đồng, Quản lý - giám sát	Chen và cộng sự (2023)
	Giá trị sinh kế và văn hóa bản địa	Duy và cộng sự (2025)

Bảng 4. Tài liệu tham khảo về các giải pháp kè sinh thái

Nội dung	Nguồn
Kè sinh thái sử dụng lục bình (Water Hyacinth Geotextiles)	Bang và cộng sự (2025)
Kè sinh thái và giải pháp bảo vệ bờ	Cù Ngọc Thắng và cộng sự (2018)
Mô hình thử nghiệm kè sinh thái tại ĐBSCL	Nguyễn Thị Bảy và cộng sự (2021)

river) và các văn bản pháp lý trong nước để xác định các nhóm chỉ số chính.

Đề xuất chỉ tiêu và ngưỡng sơ bộ: Dựa trên khung lý thuyết, đề xuất các chỉ tiêu cụ thể. Ngưỡng đánh giá sơ bộ được xác định dựa trên QCVN, các nghiên cứu thực nghiệm có sẵn và các giá trị đặc trưng của hệ sinh thái ĐBSCL.

2.4. Hệ thống hóa quy trình xây dựng kè sinh thái

Quy trình 7 bước được xây dựng dựa trên:

Kế thừa kinh nghiệm thực tiễn: Phân tích và hệ thống hóa quy trình thi công từ 7 mô hình thử nghiệm đã triển khai thành công tại các tỉnh An Giang, Đồng Tháp, Hậu Giang, Cà Mau.

Tổng quan kỹ thuật: Tham chiếu các tài liệu hướng dẫn về kè sinh thái, giải pháp dựa vào tự nhiên trong và ngoài nước.

Xây dựng quy trình thống nhất: Lần đầu tiên, các kinh nghiệm thực tế được hệ thống hóa thành một quy trình kỹ thuật hoàn chỉnh, có tính hướng dẫn.

2.5. Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu tập trung vào các tuyến sông nội địa (sông Tiền, sông Hậu và các sông, kênh rạch nội đồng) thuộc vùng ĐBSCL, cấp độ đến phạm vi xã, ấp và các đoạn sông cụ thể.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Hiện trạng và nguyên nhân sạt lở bờ sông vùng ĐBSCL

3.1.1. Hiện trạng

Đến năm 2024, toàn vùng ĐBSCL ghi nhận 531 điểm sạt lở bờ sông, bờ biển với tổng chiều dài khoảng 681,5 km, trong đó bờ sông chiếm 500 điểm (518 km - 76%), bờ biển 31 điểm (163 km - 24%). Cà Mau là địa phương chịu ảnh hưởng nặng nhất với 97 điểm sạt lở, tổng chiều dài gần 199 km, trong đó riêng bờ sông chiếm 112 km. Ngoài ra, các tỉnh Vĩnh Long, An Giang và thành phố Cần Thơ cũng ghi nhận chiều dài sạt lở lớn (155 - 190 km) (Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, 2024). Hình 1 minh họa một số điểm sạt lở điển hình.

Dựa trên mức độ nguy hiểm, các điểm sạt lở này được phân cấp thành các nhóm: nhóm bình thường: 347 điểm (349 km); nhóm nguy hiểm: 150 điểm (241 km); nhóm đặc biệt nguy hiểm: 34 điểm (91 km). Các tỉnh đầu nguồn như An Giang, Đồng Tháp và Vĩnh Long tập trung nhiều điểm đặc biệt nguy hiểm, trong khi Cà Mau là điểm nóng ven biển với 36,6 km chiều dài sạt lở. Dù giai đoạn 2022–2024 tình hình sạt lở đặc biệt nguy hiểm đã giảm, song Cần Thơ và Cà Mau vẫn còn nhiều đoạn sạt lở quy mô lớn, đe dọa đời sống và sản xuất của người dân (Hình 1).



Hình 1. Tình trạng sạt lở tại một số bờ sông thuộc khu vực ĐBSCL năm 2024

3.1.2. Nguyên nhân

Hiện tượng sạt lở bờ sông là kết quả của tổ hợp nguyên nhân từ cả thượng nguồn và nội tại vùng hạ lưu, trong đó nổi bật là các yếu tố sau:

i) Tác động từ hệ thống đập thủy điện và hồ chứa thượng nguồn sông Mê Kông

Hiện trên sông Mê Kông đã xây dựng 11 đập trên dòng chính và hơn 150 trên phụ lưu (MRC, 2023). Các hồ chứa này giữ lại khoảng 50 - 70% tổng lượng phù sa trước đây chảy về hạ lưu, tương đương 90-100 triệu tấn/năm bị chặn lại ở các bậc thang thủy điện Trung - Hạ Lào và Trung Quốc (Kondolf và cộng sự, 2018; Schmitt và cộng sự, 2019). Hệ quả là giảm bồi tụ, tăng xói lở lòng dẫn, và sụt giảm độ phì nhiêu đất canh tác ven sông.

ii) Ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và nước biển dâng

Theo kịch bản RCP4.5 của Bộ Tài nguyên và Môi trường (2020), mực nước biển khu vực ĐBSCL có thể dâng 24–28 cm vào năm 2050, kéo theo thay đổi chế độ thủy - hải văn, tăng biên độ triều và vận tốc dòng chảy. Sự thay đổi này làm xói chân bờ mạnh hơn, đặc biệt tại các đoạn cong sông Tiền, sông Hậu, sông Vàm Nao.

iii) Hoạt động xây dựng, đô thị hóa ven sông

Quá trình mở rộng đô thị, đường giao thông, bến cảng và nhà ở ven sông đã làm gia tăng tải trọng mái bờ, đồng thời xóa bỏ lớp phủ thực vật bảo vệ. Nhiều khu dân cư ven sông Tiền, sông Hậu, đặc biệt tại An Giang, Đồng Tháp, Vĩnh Long và Cần Thơ, nằm trong phạm vi hành lang bảo vệ dưới 30 m (Duy và cộng sự, 2025). Tỷ lệ bờ sông bị xói lở trung bình đạt 1,5 - 2,0 m/năm, có nơi tới 40 m/năm (TP. Long Xuyên, huyện Chợ Mới – An Giang).

iv) Gia tăng hoạt động giao thông thủy và khai thác cát lòng sông

Mỗi năm, hơn 200 triệu tấn hàng hóa được vận chuyển bằng đường thủy nội địa tại ĐBSCL (VCCI, 2022), làm mật độ tàu thuyền tăng 2 - 3 lần so với giai đoạn 2010. Sóng tàu và dao động mực nước khi triều rút gây rỗng chân bờ, mất ổn định mái đất. Cùng với đó, khai thác cát vượt trữ lượng cho phép tại sông Tiền, sông Hậu và sông Vàm Cỏ đã làm hạ thấp đáy sông trung bình 0,1 - 0,3 m/năm, một số khu vực tới 1 m/năm (Trần Tuấn Anh và cộng sự, 2024). Việc này dẫn đến mất cân bằng động lực dòng chảy, hình thành hố xói sâu, gây sụp lở lan truyền.

v) Lấn chiếm hành lang bảo vệ sông và suy giảm thảm phủ thực vật

Nhiều đoạn sông bị thu hẹp do san lấp, cơi nới bến bãi, hoặc nuôi thủy sản lồng bè. Tỷ lệ lấn chiếm hành lang bảo vệ sông rất cao, có nơi lên tới ~88 % chiều dài sông (Duy và cộng sự, 2025).

3.2. Bộ tiêu chí đánh giá mô hình "Con sông đẹp"

Bộ tiêu chí được đề xuất sẽ là nền tảng để hình thành mô hình "Con sông đẹp" - hướng đến không gian sông nước xanh, an toàn và giàu bản sắc vùng ĐBSCL. Bộ tiêu chí được đề xuất gồm 4 nhóm chính: (i) An toàn kỹ thuật: Độ ổn định bờ, hành lang bảo vệ; (ii) Sinh thái: Mật độ cây ven bờ, đa dạng sinh học, chất lượng nước; (iii) Cảnh quan: Bố cục mặt cắt bờ, hiển thị chức năng sinh hoạt và du lịch; (iv) Văn hóa cộng đồng: Sự tham gia, quản lý và giá trị sinh kế. Mỗi nhóm có các tiêu chí cụ thể, phương thức thực hiện và ngưỡng đánh giá có thể áp dụng thực địa và giám sát theo chu kỳ (Bảng 5).

3.3. Quy trình xây dựng kè sinh thái

Khác với các loại kè cứng bằng bê tông truyền thống, kè sinh thái ưu tiên sử dụng vật liệu tự nhiên sẵn có tại chỗ kết hợp với thảm thực vật bản địa. Quy trình 7 bước dưới đây được hệ thống hóa từ các mô hình thử nghiệm thành công tại nhiều tỉnh ĐBSCL. Đây là lần đầu tiên quy trình này được xây dựng một cách bài bản, có tính hướng dẫn (Hình 2).

Bước 1. Xác định đỉnh triều đầu mùa khô

Thu thập số liệu quan trắc (tối thiểu 3-5 năm) để xác định mực nước triều cao nhất đầu mùa khô, làm cơ sở tính toán cao trình công trình (cừ, đắp và các hạng mục khác) trong toàn tuyến kè.

Bảng 5. Bộ tiêu chí đánh giá "Con sông đẹp"

Tiêu chí	Phương thức thực hiện	Ngưỡng đánh giá	Cơ sở khoa học
1. An toàn kỹ thuật			
Ổn định bờ sông	Quan trắc chuyển vị, sụt lở	Tốt: Không sạt lở trong 3 năm, chuyển vị < 5 cm/năm. TB: Sạt cục bộ < 10 m/năm. Kém: Sạt > 10 m/năm.	Số liệu từ các mô hình thử nghiệm (Công ty TNHH MTV Khai thác Thủy lợi miền Nam)
Hành lang bảo vệ sông	Đo chiều rộng theo Nghị định số 43/2015/NĐ-CP	Đạt: ≥ 100% chiều rộng tối thiểu. Chưa đạt: < 70% hoặc bị lấn chiếm.	Quy định pháp lý trong Nghị định số 43/2015/NĐ-CP (Chính phủ, 2015)
Chất lượng công trình bảo vệ bờ	Kiểm tra tình trạng kè, mái dốc	Tốt: Không hư hỏng. TB: Hư hỏng < 10% chiều dài. Kém: Hư hỏng > 30%.	Thực tiễn vận hành công trình (Công ty TNHH MTV Khai thác Thủy lợi miền Nam)
2. Sinh thái			
Mật độ cây ven bờ	Đếm số cây ≥ 1m cao/100m	Tốt: ≥ 80 cây/100m. TB: 40-79 cây/100m. Kém: < 40 cây/100m.	Khả năng chống xói của rễ cây tràm, mắm (Trịnh Văn Hạnh và cộng sự, 2012)
Đa dạng sinh học thủy sinh	Ghi nhận số loài cá, thủy sinh vật	Tốt: ≥ 20 loài. TB: 10-19 loài. Kém: < 10 loài.	Đặc trưng hệ sinh thái thủy sinh ĐBSCL
Chất lượng nước	Đo BOD, COD, TSS, DO, pH theo QCVN 08:2023/BTNMT	Tốt: Loại A1. TB: A2. Kém: B1 trở xuống.	Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 08:2023/BTNMT
3. Cảnh quan			
Bố cục mặt cắt bờ	Kiểm tra độ thoải, không gian mở, liên kết đường-bờ-nước	Tốt: Bờ thoải tự nhiên, có đường đi bộ ≥ 3 m. TB: Lối tiếp cận hạn chế. Kém: Bờ dốc, bị tách biệt.	Đặc trưng cảnh quan sông nước Nam Bộ
Hiển thị chức năng sinh hoạt	Quan sát hoạt động cộng đồng ven sông	Tốt: ≥ 3 loại hoạt động. TB: 1-2 loại. Kém: Không có hoạt động.	Đặc trưng văn hóa sông nước ĐBSCL
Tiềm năng du lịch - trải nghiệm	Số điểm dừng, bến tàu, quán ven sông/km	Tốt: ≥ 3 điểm/1 km. TB: 1-2 điểm. Kém: Không có điểm.	Định hướng phát triển du lịch sinh thái
4. Văn hóa cộng đồng			
Sự tham gia của cộng đồng	Tỷ lệ hộ dân tham gia bảo vệ - làm đẹp sông	Tốt: ≥ 70% hộ. TB: 40-69%. Kém: < 40%.	Kinh nghiệm từ mô hình "Cù lao xanh" và tham vấn chuyên gia
Quản lý - giám sát cộng đồng	Có tổ/ban quản lý sông cấp xã hoặc hợp tác xã	Tốt: Có tổ hoạt động định kỳ. TB: Có tổ nhưng hoạt động không thường xuyên. Kém: Không có tổ chức.	Thực tiễn quản lý cộng đồng tại ĐBSCL
Giá trị sinh kế và văn hóa bản địa	Gắn kết sông với sinh kế, văn hóa, lễ hội	Tốt: ≥ 2 hình thức sinh kế gắn sông. TB: 1 hình thức. Kém: Không có liên kết.	Đặc trưng sinh kế và văn hóa sông nước ĐBSCL

Bước 2. Gia cố hàng cừ tràm hoặc tre (vật liệu địa phương)

Đóng 01 hàng cừ tràm hoặc tre với mật độ trung bình 5 cây/m, cách bờ sông hoặc kênh 2,0 – 3,0 m tùy theo mức độ sạt lở. Cao trình đỉnh cừ cao hơn đỉnh triều đầu mùa khô từ 0,2 – 0,3 m.

Bước 3. Lót vải địa kỹ thuật bảo vệ mái trong

Bên trong hàng cừ, lót một lớp vải địa kỹ thuật (hoặc hai lớp lưới cước nếu lưu thông tàu thuyền ít). Chiều dài lớp vải lớn hơn chiều cao cừ 0,4 – 0,5 m, phủ ra ngoài phía sông dưới đỉnh triều 0,2 – 0,3 m để hạn chế xói và giữ phù sa.

Bước 4. Vét đất từ lòng sông, kênh đắp gia cố mái bờ

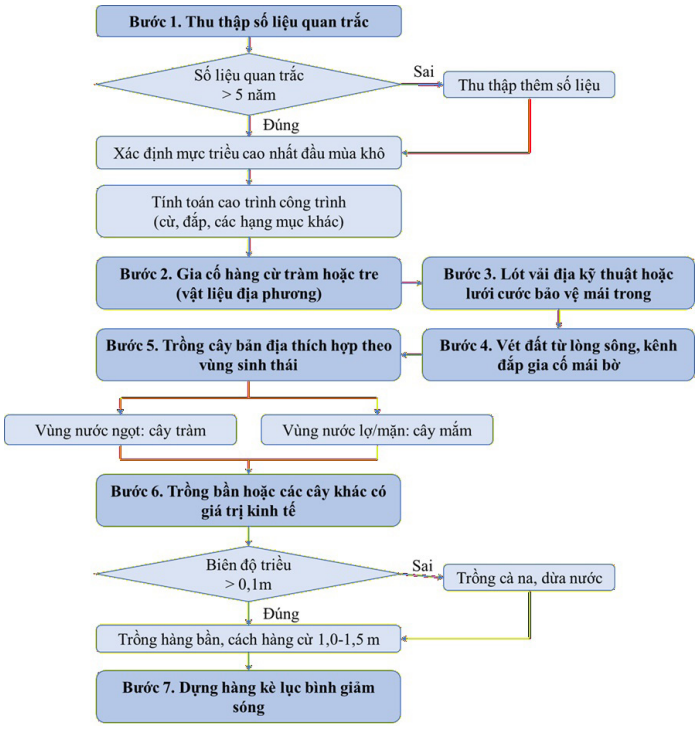
Tận dụng bùn, đất nạo vét từ lòng sông hoặc kênh để đắp bồi khu vực sạt lở. Cao trình mặt đất đắp thấp hơn đỉnh triều đầu mùa khô từ 0,1 – 0,2 m, mái dốc 5 – 10%.

Bước 5. Trồng cây bản địa thích hợp theo vùng sinh thái

Trồng cây tràm (vùng ngọt) hoặc cây mắm (vùng mặn, lợ) trên lớp đất đắp. Rễ cây có tác dụng giữ chặt đất, chắn sóng và bảo vệ mái bờ.

Bước 6. Trồng hàng cây bần hoặc cây thay thế có giá trị kinh tế

Trồng hàng bần cách hàng cừ 1,0-1,5 m (vùng triều >1m) hoặc cà na, dừa nước (vùng triều <1m) để tăng cường ổn định mái bờ và tạo sinh kế.



Hình 2. Sơ đồ quy trình đề xuất xây dựng kè sinh thái

Bước 7. Dựng hàng kè lục bình giảm sóng phía ngoài

Trồng 01 hàng lục bình bên ngoài cách hàng cừ 1,0 – 2,0 m để giảm tác động trực tiếp của sóng vào bờ.

Hình 3. Kè sinh thái dọc tuyến sông ở tỉnh Hậu Giang

3.4. Kế hoạch triển khai và giám sát

3.4.1. Giai đoạn triển khai xây dựng

• Giai đoạn chuẩn bị (khảo sát, đo đạc triều, thiết kế chi tiết), giai đoạn thi công mô hình thí điểm (1 - 2 km), giai đoạn đánh giá (sau 12 - 24 tháng), và giai đoạn nhân rộng.

• Mỗi giai đoạn cần mốc chỉ tiêu về kỹ thuật (mức ổn định mái bờ), sinh thái (mật độ cây, tầng thực vật) và xã hội (tỷ lệ hộ dân tham gia, sinh kế cải thiện).

3.4.2. Giám sát và đánh giá

• Chu kỳ đánh giá: 6 tháng/lần trong giai đoạn đầu, sau đó 12 tháng/lần (cảnh quan, sinh thái), 3 năm/lần (an toàn, văn hóa).

• Công cụ: Sử dụng kết hợp quan trắc hiện trường (cột mốc, ảnh chụp định kỳ), bản đồ GIS, ảnh vệ tinh, cảm biến nước, và hệ thống báo cáo và phỏng vấn cộng đồng, phiếu khảo sát.

• Các chỉ tiêu cần theo dõi: Biến dạng mái, tốc độ xói, độ che phủ cây, độ sâu lòng sông và tác động đến giao thông thủy.

• Thang tổng hợp:

- 80–100 điểm: Sông đẹp (chuẩn mô hình).
- 60–79 điểm: Sông đạt yêu cầu, cần cải thiện.
- < 60 điểm: Sông cần phục hồi.

4. THẢO LUẬN

4.1. Đối sánh bộ tiêu chí với các khung đánh giá quốc tế và ý nghĩa thích ứng cho ĐBSCL

Bộ tiêu chí đánh giá "Con sông đẹp" được xây dựng dựa trên nền tảng kế thừa có chọn lọc các khung đánh giá quốc tế, đồng thời điều chỉnh phù hợp với bối cảnh đặc thù của ĐBSCL. So với khung đánh giá sức khỏe dòng sông (River Health Assessment Framework) do Campos và cộng sự (2024) đề xuất dựa trên mô hình PCR của OECD, bộ tiêu chí của nghiên cứu này có sự tương đồng trong việc xem xét các yếu tố áp lực từ hoạt động nhân sinh và hiện trạng chất lượng môi trường nước. Tuy nhiên, điểm khác biệt cốt lõi nằm ở việc bổ sung và nhấn mạnh nhóm tiêu chí "Văn hóa cộng đồng", một yếu tố mang tính bản sắc và có vai trò quyết định đến tính bền vững của các giải pháp quản lý tài nguyên nước tại ĐBSCL.

So với bộ tiêu chí "Sông đô thị bền vững" (Sustainable Urban River) được Chen và cộng sự (2023) phát triển cho Hồng Kông, bộ tiêu chí của nghiên cứu này có sự điều chỉnh đáng kể về ngưỡng đánh giá. Ví dụ, ngưỡng mật độ cây ven bờ (≥ 80 cây/100 m đối với mức tốt) được xác định dựa trên các nghiên cứu thực nghiệm về khả năng chống xói của hệ rễ cây tràm (Melaleuca cajuputi) và cây mắm (Avicennia spp.) - những loài bản địa đặc trưng của ĐBSCL (Trịnh Văn Hạnh và cộng sự, 2012). Trong khi đó, các khung đánh giá quốc tế thường sử dụng ngưỡng chung chung, không phản ánh được đặc tính sinh thái riêng của từng vùng. Sự điều chỉnh này cho thấy tính thực tiễn và khả năng áp dụng cao của bộ tiêu chí trong bối cảnh quản lý bờ sông tại ĐBSCL.

4.2. Giải thích cơ chế hoạt động và hiệu quả của giải pháp kè sinh thái

Giải pháp kè sinh thái 7 bước được đề xuất trong nghiên cứu này vận hành dựa trên cơ chế tương tác tổng hợp giữa các yếu tố công trình sinh học và quá trình tự nhiên. Cơ chế hoạt động của từng bước có thể được giải thích dưới góc độ thủy động lực học và sinh thái học như sau:

Hàng cừ tràm/tre (Bước 2) và hàng lục bình (Bước 7): Đóng vai trò như một "hàng rào giảm sóng" ban đầu. Khi sóng tàu hoặc sóng do gió truyền qua các hàng này, năng lượng sóng bị tiêu hao đáng kể do ma sát và lực cản của vật liệu. Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy hàng cừ tràm có thể giảm chiều cao sóng từ 30–50% tùy thuộc vào mật độ và độ sâu ngập nước (Bang và cộng sự, 2025).

Lớp vải địa kỹ thuật (Bước 3) và đất đắp (Bước 4): Tạo thành một hệ thống bảo vệ mái

bờ phía trong. Vải địa kỹ thuật có chức năng ngăn chặn hiện tượng xói ngầm và rửa trôi các hạt đất mịn dưới tác động của dòng chảy và thủy triều. Đồng thời, việc sử dụng bùn, đất nạo vét từ lòng sông vừa tận dụng được nguồn vật liệu tại chỗ, vừa mô phỏng quá trình bồi tụ tự nhiên, giúp duy trì sự cân bằng động lực hình thái lòng dẫn.

Hệ thống cây bản địa (Bước 5 và Bước 6): Đây là yếu tố quyết định đến tính bền vững lâu dài của công trình. Rễ cây tràm và mắm phát triển thành hệ thống "cốt sinh học" (bio-reinforcement) có khả năng gia tăng lực dính của đất (độ gia tăng có thể đạt 20 - 40% theo nghiên cứu của Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, 2023). Bên cạnh đó, tán cây và thân cây tiếp tục đóng vai trò giảm sóng, tạo bóng mát, cải thiện vi khí hậu và cung cấp môi trường sống cho các loài thủy sinh.

4.3. Phân tích thách thức và đề xuất giải pháp khắc phục theo hướng thực thi

Mặc dù mô hình "Con sông đẹp" mang lại nhiều lợi ích vượt trội, quá trình nhân rộng vẫn phải đối mặt với một số thách thức mang tính hệ thống. Dưới đây là phân tích sâu từng thách thức và đề xuất giải pháp cụ thể (Bảng 6).

4.4. Định hướng nghiên cứu tiếp theo

Kết quả của nghiên cứu này mới chỉ dừng lại ở việc đề xuất bộ tiêu chí và hệ thống hóa quy trình kỹ thuật dựa trên tổng quan tài liệu và kế thừa các mô hình thử nghiệm. Để hoàn thiện và nhân rộng mô hình "Con sông đẹp", cần triển khai các hướng nghiên cứu tiếp theo:

Nghiên cứu mô phỏng thủy động lực học: Sử dụng các mô hình toán (MIKE, Delft3D) để mô phỏng tác động của kè sinh thái đến chế độ dòng chảy, khả năng giảm sóng và quá trình bồi – xói dưới các kịch bản biến đổi khí hậu khác nhau, từ đó tối ưu hóa các thông số thiết kế (mật độ cừ, khoảng cách hàng cây, độ dốc mái bờ).

Nghiên cứu dài hạn về phục hồi sinh thái: Thiết lập các ô thí nghiệm cố định để theo dõi diễn biến đa dạng sinh học (thành phần loài, cấu trúc quần xã) theo chu kỳ 5-10 năm, nhằm lượng hóa chính xác hiệu quả phục hồi hệ sinh thái của giải pháp kè sinh thái.

Nghiên cứu mô hình đồng quản lý và cơ chế tài chính bền vững: Thí điểm các mô hình quản lý sông có sự tham gia của cộng đồng kết hợp với cơ chế chi trả dịch vụ môi trường, đánh giá tính khả thi và khả năng nhân rộng trong điều kiện thực tế tại các tỉnh ĐBSCL.

Nghiên cứu tích hợp tác động của biến đổi khí hậu: Xây dựng các kịch bản thích ứng cho từng tiểu vùng sinh thái (ngọt, lợ, mặn) dựa trên dự báo nước biển dâng và thay đổi chế độ dòng chảy đến năm 2050 và 2100, từ đó điều chỉnh bộ tiêu chí và quy trình kỹ thuật cho phù hợp.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã chỉ ra rằng sạt lở bờ sông tại ĐBSCL là hệ quả tổng hợp của nhiều yếu tố tự nhiên và nhân sinh, trong đó sự suy giảm phù sa, khai thác cát và lấn chiếm hành lang sông là những nguyên nhân chủ đạo. Để ứng phó hiệu quả, cần chuyển đổi tư duy từ "chống sạt lở" sang "quản lý tổng hợp sông - thích ứng thuận thiên".

Bảng 6. Thách thức và đề xuất giải pháp khắc phục theo hướng thực thi

Thách thức	Nguyên nhân	Giải pháp đề xuất	Chủ thể thực hiện
Thiếu dữ liệu đồng bộ về địa hình - thủy văn - biến động bờ	Hệ thống quan trắc phân tán, thiếu liên kết giữa các tỉnh; dữ liệu lịch sử không được số hóa đồng bộ.	Xây dựng nền tảng dữ liệu GIS dùng chung cho toàn vùng ĐBSCL; tích hợp dữ liệu từ quan trắc mặt đất, ảnh vệ tinh Sentinel và UAV.	Bộ Nông nghiệp và Môi trường, các Sở NN&MT, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam
Cơ chế phối hợp liên ngành, liên tỉnh còn hạn chế	Quản lý sông phân cắt theo ranh giới hành chính; thiếu cơ chế điều phối liên tỉnh cho các dòng sông như sông Tiền, sông Hậu.	Thành lập Ủy ban điều phối liên tỉnh cho từng lưu vực sông chính; lồng ghép mô hình vào quy hoạch tỉnh và quy hoạch vùng ĐBSCL.	Các tỉnh ĐBSCL
Nguồn lực đầu tư và duy tu chưa ổn định	Kinh phí cho bảo vệ bờ sông phụ thuộc vào các dự án ngắn hạn; thiếu cơ chế tài chính bền vững cho duy tu.	Lồng ghép mô hình vào Chương trình mục tiêu quốc gia xây dựng NTM và Chương trình ứng phó BĐKH; xây dựng cơ chế chi trả dịch vụ môi trường (PES) cho các công trình sinh thái.	Bộ Tài chính, các tỉnh
Nhận thức và năng lực thực thi của cộng đồng và chính quyền địa phương còn hạn chế	Thiếu các chương trình tập huấn bài bản; cán bộ địa phương chưa được trang bị đầy đủ kiến thức về giải pháp thuận thiên.	Xây dựng tài liệu hướng dẫn kỹ thuật chi tiết; tổ chức tập huấn cho cán bộ cấp xã; thí điểm mô hình đồng quản lý tại các ấp, xã có nguy cơ sạt lở cao.	Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, Sở NN&MT, các tổ chức đoàn thể

Về mặt lý luận: Nghiên cứu đã xây dựng bộ tiêu chí tích hợp 4 nhóm (An toàn kỹ thuật, Sinh thái, Cảnh quan, Văn hóa cộng đồng) có lượng hóa cụ thể cho điều kiện ĐBSCL, dựa trên tổng quan tài liệu và tri thức địa phương.

Về mặt thực tiễn: Bài báo đã hệ thống hóa quy trình xây dựng kè sinh thái 7 bước từ các mô hình thử nghiệm thành công, lần đầu tiên xây dựng thành quy trình kỹ thuật thống nhất, có tính hướng dẫn áp dụng.

Tuy nhiên, bộ tiêu chí chưa được kiểm chứng trên diện rộng; các ngưỡng đánh giá cần tiếp tục hiệu chỉnh thông qua thực nghiệm tại nhiều địa phương khác nhau; chưa lượng hóa được tác động dài hạn của biến đổi khí hậu.

Khuyến nghị:

Đối với Bộ Nông nghiệp và Môi trường: Lồng ghép bộ tiêu chí và quy trình kè sinh thái vào các chương trình mục tiêu quốc gia về xây dựng nông thôn mới và ứng phó biến đổi khí hậu.

Đối với các tỉnh ĐBSCL: Thí điểm áp dụng bộ tiêu chí và quy trình tại các tuyến sông trọng điểm; xây dựng cơ chế phối hợp liên tỉnh trong quản lý tổng hợp lưu vực sông.

Đối với các tổ chức nghiên cứu: Tiếp tục hoàn thiện bộ tiêu chí và quy trình thông qua các nghiên cứu thực nghiệm dài hạn.

Triển khai đồng bộ bộ tiêu chí và quy trình kỹ thuật sẽ góp phần hình thành các tuyến sông an toàn, thân thiện môi trường và giàu bản sắc vùng miền, hướng tới mục tiêu phát triển bền vững cho toàn vùng ĐBSCL■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bang, N. Q., Duy, D. V., Ty, T. V., Thang, C. N., Downes, N. K., & Tanaka, H. (2025). Water hyacinth geotextiles as a nature-based solution for riverbank protection in the Vietnamese Mekong Delta. CivilEng, 6.

2. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2020). Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam – Bản cập nhật 2020. NXB Tài nguyên – Môi trường và Bản đồ Việt Nam. Hà Nội.

3. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2023). QCVN 08:2023/BTNMT – Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt (Ban hành kèm theo Thông tư số 01/2023/TT-BTNMT ngày 13 tháng 03 năm 2023). Hà Nội.

4. Campos, C. A., Tonin, A. M., Sena, G., & Gonçalves Júnior, J. F. (2024). Progressing a river health assessment framework to tropical waters. Frontiers in Water, 6, Article 1423458.

5. Chen, Y., Wang, Y., Leung, C. C. Y., Hyeon, P. J., & Ding, X. (2023). Urban river restoration in Hong Kong: Assessment, impact, and improvement strategies. Sustainable Cities and Society, 99, Article 104885.

6. Chính phủ (2015). Nghị định số 43/2015/NĐ-CP ngày 6/5/2015 quy định về lập, quản lý hành lang bảo vệ nguồn nước. Hà Nội.

7. Chính phủ (2017). Nghị quyết số 120/NQ-CP về phát triển bền vững ĐBSCL thích ứng với biến đổi khí hậu. Hà Nội.

8. Cù Ngọc Thắng, Trịnh Công Vấn, Châu Nguyễn Xuân Quang (2018). Giải pháp bảo vệ bờ sông, kênh rạch ĐBSCL theo hướng công trình mềm, sinh thái, thân thiện với môi trường. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng, 5(126)(2), 67–70.

9. Duy, D. V., Ty, T. V., Phat, L. T., Minh, H. V. T., Thanh, N. T., & Downes, N. K. (2025). Assessing river corridor stability and erosion dynamics in the Mekong Delta: Implications for sustainable management. Earth, 6(2), 34. https://doi.org/10.3390/earth6020034.

10. Kondolf, G. M., Rubin, Z., & Minear, J. (2014). Dams on the Mekong: Cumulative sediment starvation. Water Resources Research, 54(10), 8035–8050.

11. Kristensen, P. (2004, September). The DPSIR framework. National Environmental Research Institute, Denmark / European Topic Centre on Water, European Environment Agency.

12. Mekong River Commission (MRC) (2023). State of the Basin Report. Vientiane, Lao PDR.

13. Nguyễn Thị Bảy và cộng sự (2021). Báo cáo tổng kết Đề tài Khoa học và Công nghệ "Nghiên cứu xác định nguyên nhân cơ chế và đề xuất các giải pháp khả thi về kỹ thuật hiệu quả về kinh tế nhằm hạn chế xói lở bồi lắng cho hệ thống sông ĐBSCL". Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh.

14. Quốc hội (2020). Luật BVMT số 72/2020/QH14 ban hành ngày 17/11/2020, có hiệu lực từ ngày 1/1/2022. Hà Nội.

15. Quốc hội (2023). Luật Tài nguyên nước số 28/2023/QH15 ban hành ngày 27/11/2023, có hiệu lực từ ngày 1/7/2024. Hà Nội.

16. Schmitt, R. J. P., Bizzi, S., Castelletti, A., & Kondolf, G. M. (2019). Planning dam portfolios for low sediment trapping shows limits for sustainable hydropower in the Mekong. Science Advances, 5(10), eaaw2175.

17. Trần Tuấn Anh, Nguyễn Bình Dương, Lê Mạnh Hùng, & Nguyễn Nghĩa Hùng (2024). Nghiên cứu diễn biến hình thái lòng sông Tiền và sông Hậu ĐBSCL. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, (84), 2–14. Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.

18. Trịnh Văn Hạnh, Phạm Minh Cương, Nguyễn Hoàng Thanh (2012). Một số giải pháp trồng cây bảo vệ đê biển. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi.

19. VCCI và Fulbright (2022). Báo cáo kinh tế thường niên ĐBSCL 2022: Chuyển đổi mô hình phát triển và quy hoạch tích hợp. Nhà xuất bản Đại học Cần Thơ.

20. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam (2024), Báo cáo đánh giá hiện trạng sạt lở bờ sông, bờ biển khu vực ĐBSCL. Thành phố Hồ Chí Minh. Báo cáo nội bộ.

ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG CHẤT LƯỢNG NƯỚC SẠCH PHỤC VỤ XÂY DỰNG QUY CHUẨN KỸ THUẬT NƯỚC UỐNG TRỰC TIẾP TẠI VÒI TRÊN ĐỊA BÀN THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

PHÙNG CHÍ SỸ[1], PHÙNG ANH ĐỨC[1], PHẠM MINH SƠN[1], NGUYỄN MINH TRANG[2]
[1]Trung tâm Công nghệ Môi trường (ENTEC)
[2]Trung tâm Kiểm soát bệnh tật TP. Hồ Chí Minh (HCDC)

Abstract
Đánh giá hiện trạng chất lượng nước có ý nghĩa khoa học và thực tiễn nhằm xác định các thông số có nguy cơ gây tác hại đến sức khỏe con người. Nghiên cứu đánh giá chất lượng nước sạch cấp cho sinh hoạt nhằm xác định các thông số chất lượng nước cần kiểm soát thông qua việc ban hành quy chuẩn kỹ thuật địa phương về chất lượng nước uống trực tiếp tại vòi với phương pháp thu thập và kế thừa dữ liệu ngoại kiểm, nội kiểm chất lượng nước sạch; phương pháp đánh giá rủi ro hồi cố chất lượng nước sạch. Kết quả đánh giá trên 5.146 mẫu ngoại kiểm và 1.356 mẫu nội kiểm tại 5 nhà máy cấp nước trên địa bàn TP. Hồ Chí Minh bằng các phương pháp kế thừa, đánh giá rủi ro hồi cố cho thấy tỷ lệ mẫu nước đạt quy chuẩn từ năm 2020 đến 2024 rất cao (trên 90%). Tuy nhiên vẫn còn một tỷ lệ thấp số mẫu có các thông số vượt quy chuẩn cần đưa vào quy chuẩn kỹ thuật địa phương để kiểm soát bao gồm: màu sắc, độ đục, nhôm, nitrit, nitrat, sắt, mangan, cadimi, florua, chỉ số pecmanganat, vinyl clorua, clo dư, hóa chất khử trùng và sản phẩm phụ (DBPs), vi sinh.
Từ khóa: *Ngoại kiểm, nội kiểm, quy chuẩn nước uống trực tiếp tại vòi.*
Ngày nhận bài: *11/2/2026****; Ngày sửa chữa:*** *7/2/2026****; Ngày duyệt đăng****: 27/3/2026.*

Assessment of the current status of clean water quality for the development of the technical regulations for direct tap drinking water in Ho Chi Minh city

Abstract
Assessing the current state of water quality has the scientific and practical significance in identifying parameters that pose a risk to human health. This study evaluates the quality of clean water supplied for domestic use, aiming to identify water quality parameters that need to be controlled through the issuance of local technical regulations for direct drinking tap water quality. The methods used include collecting and inheriting external and internal water quality data and retrospective risk assessment. The results of the assessment on 5,146 external and 1,356 internal samples from 5 water treatment plants in Ho Chi Minh City, using inherited data and retrospective risk assessment methods, show a very high percentage (over 90%) of water samples meeting the regulations from 2020 to 2024. However, a small percentage of samples still have parameters exceeding the regulations and need to be included in local technical regulations for control, including: color, turbidity, aluminum, nitrite, nitrate, iron, manganese, cadmium, fluoride, permanganate index, vinyl chloride, residual chlorine, disinfectant chemicals and by-products (DBPs), and microorganisms.
Keywords: *External monitoring, internal monitoring, technical regulations for direct tap water consumption.*
JEL Classifications: *P18, Q52, Q53.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nước ăn uống, sinh hoạt của hàng trăm triệu người đã bị nhiễm bẩn và ô nhiễm hóa chất do việc quản lý nước thải đô thị, nước thải công nghiệp và nông nghiệp không phù hợp. Các bệnh liên quan đến ô nhiễm nước uống tạo thành một gánh nặng lớn về sức khỏe con người. Phần lớn các vấn đề sức khỏe liên quan đến nước là do ô nhiễm vi sinh vật (vi khuẩn, vi rút, động vật nguyên sinh hoặc sinh vật khác). Trên toàn cầu, có ít nhất 2 tỷ người sử dụng nguồn nước uống bị nhiễm phân, trong đó có khoảng 842.000 người chết mỗi năm vì tiêu chảy do không đảm bảo an toàn nước sinh hoạt, vệ sinh môi trường và vệ sinh tay (WHO, 2018).

Trên thế giới, tại các nước phát triển như: Mỹ, Hà Lan, Pháp, Nhật Bản, Singapore… người dân có thể sử dụng nước cấp từ hệ thống cấp nước đô thị để uống trực tiếp không thông qua công đoạn đun sôi hoặc sử dụng các thiết bị xử lý thêm. Tại Việt Nam, những trụ nước sạch uống tại vòi xuất hiện khoảng vài năm trở lại đây, bắt đầu từ những sân bay, trường học và các

điểm công cộng tại thủ đô Hà Nội và một số tỉnh thành (TP. Hồ Chí Minh, Huế …).

Ngày 18/1/2021, UBND TP. Hồ Chí Minh ban hành Quyết định số 205/QĐ-UBND về phê duyệt Đề án phát triển hệ thống cấp nước thành phố giai đoạn 2020 - 2050 và chương trình cung cấp nước sạch, chấm dứt khai thác nước ngầm TP. Hồ Chí Minh giai đoạn 2020 -2030, trong đó có kế hoạch khảo sát, lắp đặt từ 1.500-2.000 vị trí nước uống tại vòi theo đề xuất của Ủy ban nhân dân (UBND) các phường xã (UBND, 2021).

Để kiểm soát chất lượng nước sạch cấp cho sinh hoạt, ăn uống, trong thời gian qua Bộ Y tế đã ban hành QCVN 6-1:2010/BYT về chất lượng nước khoáng thiên nhiên và nước uống đóng chai và QCVN 01-1:2024/BYT về chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt (thay thế cho QCVN 01:2009/BYT, QCVN 02:2009/BYT), QCVN 01-1:2018/BYT (Bộ Y tế 2009, 2010, 2018, 2024). Tuy nhiên, cho đến nay Bộ Y tế chưa ban hành quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước uống tại vòi.

Để đáp ứng yêu cầu thực tế cấp bách về việc thiếu quy chuẩn kỹ thuật về chất lượng nước uống tại vòi, Tổng Công ty TNHH MTV Cấp nước Sài Gòn (SAWACO) thông qua Sở Khoa học và Công nghệ TP. Hồ Chí Minh đã đặt hàng triển khai đề tài "Nghiên cứu xây dựng quy chuẩn nước uống trực tiếp tại vòi trên địa bàn TP. Hồ Chí Minh" nhằm mục tiêu xác lập cơ sở khoa học và thực tiễn xây dựng quy chuẩn kỹ thuật địa phương (QCĐP) phù hợp với điều kiện thực tế.

Một trong những bước quan trọng trong quá trình xây dựng QCĐP về chất lượng nước uống tại vòi là xác định được những thông số cần đưa vào quy chuẩn để kiểm soát. Vì vậy mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá chất lượng nước sạch cấp cho sinh hoạt nhằm xác định các thông số chất lượng nước cần kiểm soát thông qua việc ban hành QCĐP về chất lượng nước uống trực tiếp tại vòi.

Để đạt được mục tiêu nêu trên, nghiên cứu tập trung vào các nội dung đánh giá chất lượng nước ngoại kiểm, nội kiểm do Trung tâm kiểm soát bệnh tật TP. Hồ Chí Minh, Tổng công ty cấp nước Sài Gòn (SAWACO) thực hiện trong giai đoạn 2017-2024, từ đó xác định các thông số đã, đang vượt quy chuẩn hoặc có mức độ rủi ro cao do biến đổi điều kiện môi trường theo mùa và theo năm có nguy cơ vượt quy chuẩn cần kiểm soát làm cơ sở ban hành QCĐP về chất lượng nước uống trực tiếp tại vòi.

2. CÁCH TIẾP CẬN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cách tiếp cận

Cách tiếp cận của nghiên cứu này là đánh giá rủi ro hồi cố (retrospective risk assessment) chất lượng nước nhằm phân tích các sự cố, rủi ro đã xảy ra trong quá khứ nhằm tìm ra nguyên nhân gốc rễ và đưa ra các biện pháp phòng ngừa cho tương lai trên cơ sở số liệu ngoại kiểm và nội kiểm chất lượng nước sạch theo quy định của Bộ Y tế. Ngoại kiểm do cơ quan y tế/đơn vị có thẩm quyền thực hiện với tần suất giám sát chất lượng nước sạch ít nhất mỗi đơn vị một lần/năm, có thể giám sát đột xuất. Nội kiểm là do đơn vị cấp nước/đơn vị sử dụng nước tự thực hiện theo quy chuẩn chất lượng nước sạch phục vụ cho mục đích sinh hoạt. Tần suất giám sát chất lượng nước cấp theo các thông số nhóm A tối thiểu hằng tháng, nhóm B tối thiểu 6 tháng/lần, nhóm C tối thiểu 2 năm/lần. Kết quả kiểm nghiệm chất lượng nước cấp phải thông báo công khai làm cơ sở yêu cầu các đơn vị cấp nước áp dụng các biện pháp khắc phục kịp thời nếu chất lượng nước cấp không đạt quy chuẩn hiện hành.

Nghiên cứu này sẽ ưu tiên sử dụng dữ liệu ngoại kiểm vì ba lý do chính. Thứ nhất, toàn bộ xét nghiệm trong mỗi kỳ ngoại kiểm được cơ quan y tế có thẩm quyền là Trung tâm kiểm soát bệnh tật TP. Hồ Chí Minh (HCDC) thực hiện; đồng nhất tại cùng một phòng thí nghiệm, bảo đảm tính so sánh và độ tin cậy của kết quả giữa các điểm lấy mẫu. Thứ hai, thiết kế lấy các mẫu đồng thời tại một thời điểm giúp giảm sai lệch do biến thiên theo ngày/giờ, nhờ đó phản ánh chính xác hơn bức tranh chất lượng nước tại thời điểm đánh giá. Thứ ba, chương trình ngoại kiểm phủ trùm toàn hệ thống từ nhà máy nước đến mạng ống phân phối nên dữ liệu thu được thể hiện đầy đủ các yếu tố nguy cơ (nguồn, xử lý, phân phối), qua đó phù hợp hơn cho mục tiêu nhận diện điểm nóng và ưu tiên can thiệp ở quy mô toàn mạng.

Khung logic nghiên cứu được trình bày tại Hình 1.

2.2. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

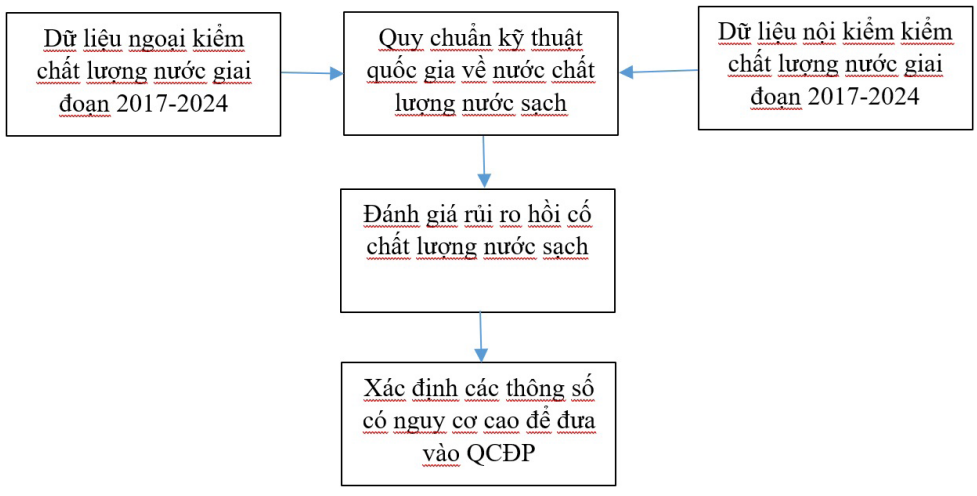
Đối tượng nghiên cứu là chất lượng nước sau xử lý tại 5 nhà máy cấp nước và mạng lưới phân phối trên địa bàn TP. Hồ Chí Minh (cũ).

Phạm vi không gian của nghiên cứu là địa bàn TP. Hồ Chí Minh (cũ) trước khi sáp nhập với tỉnh Bình Dương (cũ) và tỉnh Bà Rịa-Vũng Tàu (cũ). Phạm vi thời gian của nghiên cứu là đánh giá chất lượng nước tại 5 nhà máy trong giai đoạn 2017-2024.

2.3. Phương pháp nghiên cứu và kỹ thuật sử dụng

2.3.1. Phương pháp thu thập và kế thừa dữ liệu ngoại kiểm, nội kiểm chất lượng nước sạch

Dữ liệu nội kiểm trong giai đoạn 2017-2024 trên 1.356 mẫu nước sạch sau xử lý lấy tại 5 nhà máy cấp nước trên địa bàn TP. Hồ Chí Minh do Tổng Công ty TNHH MTV Cấp nước Sài Gòn (SAWACO) cung cấp (SAWACO, 2025).



Hình 1. Khung logic nghiên cứu

Kết quả ngoại kiểm trong giai đoạn 2017-2024 tại 5 nhà máy cấp nước nêu trên và mạng lưới phân phối do Trung tâm kiểm soát bệnh tật TP. Hồ Chí Minh (HCDC) trực tiếp thực hiện (HCDC, 2025). Kết quả ngoại kiểm giai đoạn 2017-2024 trên 5.146 mẫu sau xử lý lấy được thực hiện theo tần suất 1 tuần lần đối với 15 thông số nhóm A, 6 tháng 1 lần đối với 16 thông số nhóm B, 2 năm 1 lần đối với 78 thông số nhóm C của QCVN 01:2009/BYT.

Các thông số giám sát ngoại kiểm, nội kiểm chất lượng nước trong giai đoạn từ 01/1/2017 đến hết 15/6/2019 dựa trên QCVN 01:2009/BYT, QCVN 02:2009/BYT bao gồm 109 thông số (Bảng 1).

Đánh giá kết quả giám sát chất lượng nước trong giai đoạn từ 01/7/2019 đến hết 31/12/2024 dựa trên QCVN 01-1:2018/BYT bao gồm 99 thông số (Bảng 2).

Bảng 1. Danh mục các thông số giám sát chất lượng nước sạch giai đoạn từ 01/1/2017 đến hết 15/6/2019

STT	Tên chỉ tiêu/ký hiệu	Số lượng thông số	Các thông số
I	Chỉ tiêu cảm quan và thành phần vô cơ (N1, N2)	32	Màu sắc, Mùi vị, Độ đục, pH, Độ cứng (tính theo $CaCO_3$), Tổng chất rắn hòa tan (TDS), Nhôm (Al), Amoni (tính theo N), Antimon (Sb), Asen (As), Bari (Ba), Bor (B), Cadmi (Cd), Clorua (Cl^-), Chromi (Cr), Đồng (Cu), Xyanua (CN^-), Fluor (F), Sunfua (S^{2-}), Sắt (Fe), Chì (Pb), Mangan (Mn), Thủy ngân (Hg), Molybden (Mo), Nickel (Ni), Nitrat (tính theo N), Nitrit (tính theo N), Selen (Se), Natri (Na), Sunphat, Kẽm (Zn), Chỉ số pecmanganat.
II	Hàm lượng của các chất hữu cơ (N3)	24	1,1,1-Tricloroetan, 1,2 - Dicloroetan, 1,2- Dicloroeten, Cacbontetraclorua, Diclorometan, Tetracloroeten, Tricloroeten, Vinyl clorua, Benzen, Etylbenzen, Phenol và dẫn xuất của Phenol, Styren, Toluen, Xylen, 1,2-Diclorobenzen, Monoclorobenzen, Triclorobenzen, Acrylamide, Epiclohydrin, Hexacloro butadien, Benzo(a)pyren, 1,4 - Diclorobenzen, Di (2 - etylhexyl) adipate, Di (2 - etylhexyl) phtalat.
III	Hóa chất bảo vệ thực vật (N4)	32	1,2 - Dibromo - 3 Cloropropan, 1,2 – Dicloropropan, 1,3 – Dichloropropen, 2,4 - D, 2,4 - DB, Alachlor, Aldicarb, Atrazine, Carbofuran, Clodane, Clorotoluron, DDT, Dichloprop, Fenoprop, Isoproturon, MCPA, Mecoprop, Methoxychlor, Molinate, Pendimetalin, Permethrin, Propanil, Simazine, Trifuralin, Aldrin/Dieldrin, Bentazone, Heptaclo và heptaclo epoxit, Hexaclorobenzen, Lindane, Methachlor, Pentaclorophenol, 2,4,5- T.
IV	Hóa chất khử trùng và sản phẩm phụ (N4)	17	Clo dư, 2,4,6 – Triclorophenol, Bromat, Bromoform, Bromodichloromethane, Chloroform, Dibromoacetonitrile, Dibromochloromethane, Dichloroacetonitrile, Dichloroacetic acid, Formaldehyde, Monochloramine, Trichloroacetic acid, Trichloroaxetonitril, Clorit, Cloral hydrat (tricloroaxetaldehyt), Xyano clorit (tính theo CN^-).
V	Mức nhiễm xạ (N5)	2	Tổng hoạt độ phóng xạ α, Tổng hoạt độ phóng xạ β
VI	Vi sinh vật (N5)	2	Coliform, E.Coli (hoặc Coliform chịu nhiệt)

Bảng 2. Danh mục các thông số giám sát chất lượng nước sạch giai đoạn từ 01/7/2019 đến hết 31/12/2024

Nhóm thông số	Chỉ thị/ký hiệu	Số lượng thông số	Các thông số
Các thông số nhóm A	Vi sinh vật (N1)	2	Coliform, E.Coli (hoặc Coliform chịu nhiệt)
	Cảm quan và vô cơ (N1)	6	Asen (As)(*), Clo dư (**), Độ đục, Màu sắc, Mùi vị, pH
Các thông số nhóm B	Vi sinh (N5)	2	Tụ cầu vàng (*Staphylococcus aureus*), Trực khuẩn mủ xanh (*Ps. Aeruginosa*)
	Vô cơ (N2)	25	Amoni (tính theo N), Antimon (Sb), Bari (Ba), Bor (B), Cadmi (Cd), Chì (Pb), Chỉ số pecmanganat, Clorua (Cl^-)(***), Chromi (Cr), Đồng (Cu), Độ cứng (tính theo $CaCO_3$), Fluor (F), Kẽm (Zn), Mangan (Mn), Natri (Na), Nhôm (Al), Nickel (Ni), Nitrat (tính theo N), Nitrit (tính theo N), Sắt (Fe), Sunphat, Sunfua, Thủy ngân (Hg), Tổng chất rắn hòa tan (TDS), Xyanua (CN^-)
	Hữu cơ (N3)	20	1,1,1-Tricloroetan, 1,2 - Dicloroetan, 1,2- Dicloroeten, Cacbontetraclorua, Diclorometan, Tetracloroeten, Tricloroeten, Vinyl clorua, Benzen, Etylbenzen, Phenol và dẫn xuất của Phenol, Styren, Toluen, Xylen, 1,2-Diclorobenzen, Monoclorobenzen, Triclorobenzen, Acrylamide, Epiclohydrin, Hexacloro butadien
	Hóa chất bảo vệ thực vật (N4)	27	1,2 - Dibromo - 3 Cloropropan, 1,2 – Dicloropropan, 1,3 – Dichloropropen, 2,4 – D, 2,4 – DB, Alachlor, Aldicarb, Atrazine và các dẫn xuất chloro-s-triazine, Carbofuran, Chlorpyrifos, Clodane, Clorotoluron, Cyanazine, DDT và các dẫn xuất, Dichloprop, Fenoprop, Hydroxyatrazine, Isoproturon, MCPA, Mecoprop, Methoxychlor, Molinate, Pendimetalin, Permethrin, Propanil, Simazine, Trifuralin
	Hóa chất khử trùng và sản phẩm phụ (N4)	14	2,4,6 – Triclorophenol, Bromat, Bromodichloromethane, Bromoform, Chloroform, Dibromoacetonitrile, Dibromochloromethane, Dichloroacetonitrile, Dichloroacetic acid, Formaldehyde, Monochloramine, Monochloroacetic acid, Trichloroacetic acid, Trichloroaxetonitril
	Nhiễm xạ (N5)	2	Tổng hoạt độ phóng xạ α, Tổng hoạt độ phóng xạ β

Chú thích:

- Dấu (*) chỉ áp dụng cho đơn vị cấp nước khai thác nước ngầm.

- Dấu (**) chỉ áp dụng cho các đơn vị cấp nước sử dụng Clo làm phương pháp khử trùng.

- Dấu (***) chỉ áp dụng cho vùng ven biển và hải đảo.

So sánh QCVN 01-1:2018/BYT với QCVN 01:2009/BYT được tóm tắt trong bảng 3:

Bảng 3. So sánh QCVN 01-1:2018/BYT với QCVN 01:2009/BYT

Quy chuẩn	Số thông số	Mức độ giám sát			Giới hạn cho phép
		A	B	C	
QCVN 01:2009/BYT	109	15	16	78	Điều chỉnh giới hạn cho phép của 18 thông số.
QCVN 01-1:2018/BYT	99	8	91	-	

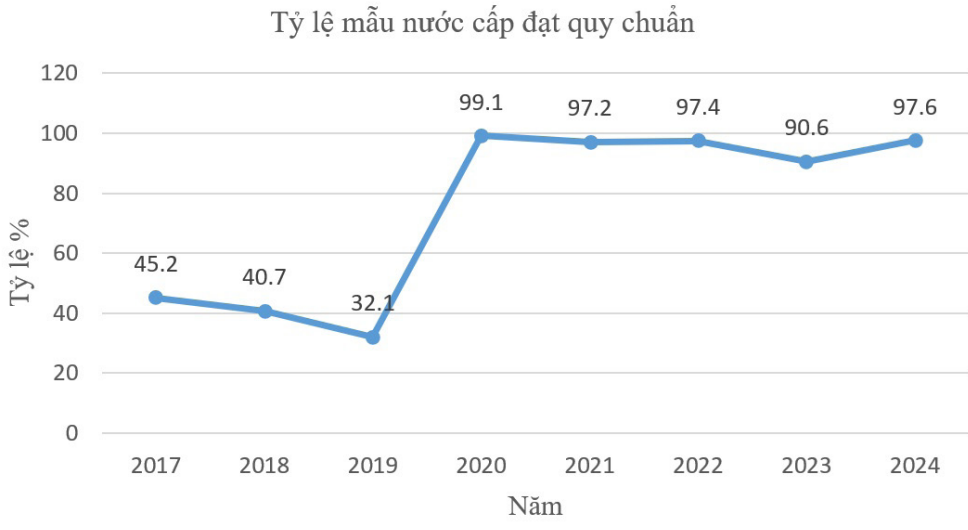
Ghi chú :

- 7 thông số điều chỉnh tăng giới hạn cho phép (Antimon, Ni, Cloroform, Tricloroeten, 1,2 – Dicloropropan, Atrazine, Trichloroacetic acid); 11 thông số điều chỉnh giảm giới hạn cho phép (Amoni, Kẽm, Mn, Nitrat, Nitrit, Xyanua, Vinyl Clorua, DDT, Bromat, Dibromoacetonitrile, Trichloroacetic acid).

- Tần suất giám sát các thông số A là 1 lần/tháng; các thông số B là 1 lần/6 tháng, các thông số C là 1 lần/2 năm.

- 16 thông số bị loại bỏ khi thay thế QCVN 01:2009/BYT bằng QCVN 01-1:2018/BYT bao gồm : Molybden (Mo), Benzo(a) pyren, 1,4-Diclorobenzen, Di (2-etylhexyl) adipate (DEHA), Di (2 - etylhexyl) phtalat, Aldrin/Dieldrin, Bentazone, Heptaclo và heptaclo epoxit, Hexaclorobenzen, Lindane, Methachlor, Pentaclorophenol, 2,4,5- T, Clorit, Cloral hydrat (tricloroaxetaldehyt), Xyano clorit (tính theo CN-) (Nhóm N6).

- 6 thông số được bổ sung khi thay thế QCVN 01:2009/BYT bằng QCVN 01-1:2018/BYT bao gồm: Tụ cầu vàng (Staphylococcus aureus), Trực khuẩn mủ xanh (Ps. Aeruginosa), Chlorpyrifos, Cyanazine, Hydroxyatrazine, Monochloroacetic acid.(2).



Hình 2. Tỷ lệ mẫu nước đạt quy chuẩn qua kết quả ngoại kiểm giai đoạn từ năm 2017 đến năm 2024

2.2.3. Phương pháp đánh giá rủi ro hồi cố chất lượng nước sạch

Đánh giá rủi ro hồi cố bao gồm các bước chính như: Xác định mối nguy hại, xác định hệ số rủi ro, phân tích nguyên nhân, đề xuất các biện pháp phòng ngừa cho tương lai.

Xác định mối nguy hại là tìm ra các thông số ô nhiễm đã, đang và có nguy cơ vượt quy chuẩn, có mức độ rủi ro cao đối với sức khỏe cộng đồng.

Xác định hệ số rủi ro trên cơ sở so sánh kết quả ngoại kiểm, nội kiểm với các QCVN hiện hành. Các quy chuẩn được áp dụng để đánh giá chất lượng nước trong giai đoạn từ 01/1/2017 đến hết 15/6/2019 là QCVN 01:2009/BYT, từ 01/7/2019 đến hết 31/12/2024 là QCVN 01-1:2018/BYT. QCVN 01-1:2024/BYT) có hiệu lực từ 1/7/2025 nên chưa được áp dụng để đánh giá chất lượng nước cấp giai đoạn 2017-2024. Hệ số rủi ro cao hơn 1 được đánh giá là rủi ro cao (vượt quy chuẩn), hệ số rủi ro gần bằng 1 là rủi ro trung bình (có nguy cơ vượt quy chuẩn), hệ số rủi ro nhỏ hơn 1 là rủi ro thấp.

Phân tích nguyên nhân sự cố, rủi ro dẫn đến chất lượng nước vượt quy chuẩn hay có nguy cơ vượt quy chuẩn bao gồm biến động chất lượng nước cấp đầu vào và sau xử lý do biến đổi khí hậu, thời tiết, nguồn thải; Công nghệ xử lý nước cấp chưa đảm bảo; Chất lượng, tuổi thọ mạng lưới đường ống phân phối nước; Ý thức cộng đồng để giữ sạch nguồn nước.

Đề xuất các biện pháp phòng ngừa cho tương lai là đưa các thông số có hệ số rủi ro cao (vượt quy chuẩn), các thông số có hệ số rủi ro trung bình (có nguy cơ vượt quy chuẩn) vào QCĐP để kiểm soát trong tương lai nhằm đảm bảo an toàn cấp nước cho cộng đồng.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả đánh giá tổng hợp chất lượng nước cấp

Kết quả ngoại kiểm tại 5 nhà máy cấp nước giai đoạn 2017-2024 trên 5.146 mẫu cho thấy tỷ lệ trung bình mẫu nước cấp đạt quy chuẩn là 69,1%. Hình 1 cho thấy, giai đoạn 2017-2019 chất lượng nước còn thiếu ổn định với tỷ lệ đạt quy chuẩn thấp (từ 32,1 đến 45,2%), trong khi từ năm 2020 đến năm 2024 chất lượng nước được cải thiện rõ rệt và duy trì đạt quy chuẩn ở mức rất cao (từ 90,6 đến 99,1%). So sánh theo mùa cho thấy tỷ lệ mẫu đạt quy chuẩn giữa mùa khô và mùa mưa gần tương đương. Điều này phản ánh hiệu quả của các biện pháp kiểm soát chất lượng nước tại các nhà máy cấp nước và trên mạng lưới trong việc đáp ứng với điều kiện biến động nước đầu vào do tác động của biến đổi khí hậu. Nhìn chung, kết quả hình 2 cho thấy hệ thống cấp nước đã chuyển từ giai đoạn biến động sang giai đoạn kiểm soát ổn định và bền vững hơn kể từ năm 2020 (Hình 2).

Kết quả nội kiểm tại 5 nhà máy cấp nước giai đoạn 2017-2024 trên 1.356 mẫu cho thấy tỷ lệ trung bình mẫu nước đạt quy chuẩn đạt 96,7%. Tỷ lệ mẫu đạt quy chuẩn năm 2021 đạt 87,7%, năm 2022 đạt 98,0%, năm 2023 đạt 100%, năm 2024 đạt 99,5%. Kết quả này khẳng định năng lực vận hành và kiểm soát chất lượng nước của các nhà máy ở mức cao, các điểm nhạy theo mùa đã được khắc phục.

3.2. Kết quả đánh giá chất lượng nước cấp theo nhóm thông số cảm quan và thành phần vô cơ (Nhóm N1)

Kết quả ngoại kiểm 14 thông số cảm quan và thành phần vô cơ theo QCVN 01:2009/BYT, QCVN 01-1:2018/BYT (nhóm N1) (bao gồm Màu sắc, Mùi vị, Độ đục, pH, Độ cứng, TDS, Nhôm, Amoni, Antimon, Asen, Bari, Bo, Cadimi, Clorua) giai đoạn 2017-2024 cho thấy chất lượng nước máy được kiểm soát rất

tốt. So sánh với quy chuẩn cho thấy có 99,2% số mẫu đạt quy chuẩn về tất cả 14 thông số. Chỉ có 0,8% số mẫu không đạt quy chuẩn về 05 chỉ tiêu (Độ đục, pH, Nhôm, Clorua, Cadimi).

Kết quả ngoại kiểm các thông số giám sát mức B và C khác tuy tần suất giám sát không cao, số lượng mẫu hạn chế hơn nhưng tỷ lệ mẫu đạt quy chuẩn gần như tuyệt đối. Điều này phản ánh sự ổn định của quy trình xử lý và vận hành mạng lưới cấp nước. Một số chỉ tiêu không đạt quy chuẩn chủ yếu liên quan đến các chỉ số nhạy với biến động thủy lực, vệ sinh hệ thống như Độ đục, pH và Nhôm. Điều này thường xảy ra cục bộ sau mưa lớn hoặc trong quá trình chuyển tải, rửa ống, không mang tính hệ thống.

Tóm lại, nhóm N1 được duy trì ở trạng thái ổn định, đóng vai trò "nền tảng an toàn" cho chất lượng nước máy. Điều này cho thấy hiệu quả của quy trình keo tụ - lắng - lọc và công tác quản lý vận hành mạng phân phối.

Kết quả nội kiểm các thông số nhóm N1 cho thấy hầu hết các thông số cảm quan và thành phần vô cơ (bao gồm: Mùi vị, pH trong khoảng 6,0-8,5, Độ cứng (trung bình 42 mg $CaCO_3$/l), TDS (trung bình 24 mg/l), Amoni, Clorua (trung bình 20 mg/l), Antimon, Bari, Bo, Cadimi, Asen…) đạt quy chuẩn. Điều này cho thấy việc kiểm soát nguồn nước và quy trình xử lý/vận hành nhà máy cấp nước, mạng lưới cấp nước tốt. Một vài chỉ tiêu (Màu sắc, Độ đục) (khoảng 0,4% chưa đạt) và Nhôm (khoảng 1% chưa đạt) do các sai sót kỹ thuật trong quá trình vận hành hoặc do gia tăng độ đục sau các trận mưa lớn.

3.3. Kết quả đánh giá chất lượng nước cấp theo nhóm các chất vô cơ khác (Nhóm N2)

Kết quả ngoại kiểm 17 thông số vô cơ khác theo QCVN 01:2009/BYT, QCVN 01-1:2018/BYT (bao gồm Cr, Cu, CN^-, Florua, Hydro sunfur, Fe, Pb, Mn, Hg, Mo, Ni, Nitrit, Nitrat, Se, Na, Sunfat, Zn) (nhóm N2) giai đoạn 2017-2024 cho thấy hầu hết 100% mẫu có các thông số đạt quy chuẩn. Chỉ có một số mẫu không đạt quy chuẩn về 05 thông số (Florua, Fe, Mn, Nitrit, Nitrat). Tần suất xuất hiện các thông số (Nitrit, Fe, Mn) không đạt thấp, mang tính cục bộ. Tỷ lệ xuất hiện thông số Nitrat không đạt là 41,1%.

Kết quả ngoại kiểm các thông số giám sát mức B và C khác tuy tần suất giám sát không cao, số lượng mẫu hạn chế hơn nhưng tỷ lệ mẫu đạt quy chuẩn gần như tuyệt đối. Điều này phản ánh hiệu quả của công nghệ xử lý và kiểm soát ăn mòn kim loại trong hệ thống đường ống cấp nước.

Về phân bố không gian, thời gian, các mẫu không đạt của nhóm N2 tập trung vào mùa mưa và tại một số vị trí nhất định. Sau năm 2020, chất lượng nước cấp theo các thông số nhóm N2 có xu hướng cải thiện rõ rệt.

Tóm lại, nhóm N2 là nhóm thông số nhạy cảm nhất đối với chất lượng nước đầu vào cho các nhà máy cấp nước. Đây là thách thức chính trong việc nâng cao chất lượng nước máy, đòi hỏi các giải pháp quản lý nguồn thải và kiểm soát dinh dưỡng trong chất lượng nước đầu vào cho các nhà máy cấp nước hiệu quả hơn.

Kết quả nội kiểm các thông số nhóm N2 cho thấy hầu hết (99-100%) các thông số vô cơ khác đạt quy chuẩn, chỉ còn < 1% các thông số (như Fe, Mn, Florua và Nitrit) không đạt quy chuẩn. Kết quả không đạt chỉ xuất hiện vào mùa mưa và tại một số khu vực chịu tác động của nguồn nước thải sinh hoạt, đặc biệt là nguồn thải giàu dinh dưỡng (Nitrat).

3.4. Kết quả đánh giá chất lượng nước cấp theo nhóm các chất hữu cơ (Nhóm N_3)

Kết quả ngoại kiểm 20 thông số chất hữu cơ theo QCVN 01:2009/BYT, QCVN 01-1:2018/BYT (Nhóm N3) giai đoạn 2017-2024 cho thấy chất lượng nước máy được kiểm soát rất tốt. 100% mẫu có 19/20 thông số đạt quy chuẩn, bao gồm các hợp chất hữu cơ có độc tính cao và nguy cơ ung thư như dung môi clo hóa, nhóm BTEX, Phenol và Benzo(a)pyren. Các thông số giám sát mức B và C tuy có tần suất giám sát không cao, số lượng mẫu hạn chế hơn nhưng đều không ghi nhận mẫu vượt quy chuẩn. Điều này cho thấy không phát hiện tồn dư chất hữu cơ nguy hại trong nước máy.

99,7% số mẫu có thông số Pecmanganat đạt quy chuẩn, chỉ có 0,3% số mẫu có thông số Pecmanganat không đạt quy chuẩn. Nguyên nhân không đạt là do biến động chất lượng nguồn nước đầu vào cho các nhà máy cấp nước hoặc ảnh hưởng của mạng phân phối nước bị xuống cấp.

Tóm lại, các thông số nhóm N3 không ảnh hưởng nhiều tới chất lượng nước cấp tại TP. Hồ Chí Minh. Điều này thể hiện hiệu quả của các biện pháp kiểm soát các hợp chất hữu cơ nguy cơ cao trong nước đầu vào; hiệu quả của công nghệ xử lý tại các nhà máy cấp nước và biện pháp quản lý mạng lưới phân phối nước.

Kết quả nội kiểm các thông số nhóm N3 cho thấy hầu hết số mẫu có hàm lượng các hợp chất hữu cơ bay hơi và vòng thơm đạt quy chuẩn. Chỉ có khoảng 0,3-0,4% số mẫu có thông số Pecmanganat và khoảng 1% số mẫu có hàm lượng Vinyl clorua chưa đạt quy chuẩn.

3.5. Kết quả đánh giá chất lượng nước cấp theo nhóm hóa chất bảo vệ thực vật, nhóm hóa chất khử trùng và sản phẩm phụ (Nhóm N_4)

Kết quả ngoại kiểm 45 thông số hóa chất bảo vệ thực vật, hóa chất khử trùng và sản phẩm phụ khử trùng theo QCVN 01:2009/BYT, QCVN 01-1:2018/BYT (N4) giai đoạn 2017-2024 cho thấy 100% mẫu có

44/45 thông số đạt quy chuẩn. Nồng độ các thông số thuốc bảo vệ thực vật và các sản phẩm phụ khử trùng nguy hại (Bromat, THMs, HAAs, Formaldehyde…) hầu như không phát hiện hoặc thấp hơn quy chuẩn. Điều này phản ánh hiệu quả của các giải pháp kiểm soát nguồn nước đầu vào và công nghệ xử lý tại các nhà máy cấp nước.

Tỷ lệ mẫu có hàm lượng Clo dư chưa đạt quy chuẩn là 1,4%. Vì vậy, cần phải kiểm soát liều lượng châm clo trong quá trình vận hành các nhà máy cấp nước.

Tóm lại, các thông số nhóm N4 không ảnh hưởng nhiều tới chất lượng nước máy. Tuy nhiên, cần kiểm soát hàm lượng clo dư trong quá trình vận hành các nhà máy cấp nước.

Kết quả nội kiểm các thông số nhóm 4 cho thấy nồng độ các hoạt chất thuốc bảo vệ thực vật và sản phẩm phụ khử trùng hầu hết không phát hiện hoặc đạt quy chuẩn. Tuy nhiên, cũng cần phải theo dõi nhóm Trihalomethanes (THMs) và Haloacetic acids (HAAs). Dữ liệu quan trắc cho thấy phần lớn thời gian các chỉ tiêu này đạt quy chuẩn, song đôi khi có những thời điểm không đạt quy chuẩn, đặc biệt vào mùa nắng, nhiệt độ cao và nền hữu cơ tiền chất (TOC/UV254) tăng làm thúc đẩy hình thành sản phẩm phụ khử trùng.

3.6. Kết quả đánh giá chất lượng nước cấp theo nhóm mức nhiễm xạ và vi sinh vật (N5)

Kết quả ngoại kiểm các thông số nhiễm xạ và vi sinh vật theo QCVN 01:2009/BYT, QCVN 01-1:2018/BYT (N5) giai đoạn 2017-2024 cho thấy 100% mẫu có tổng hoạt độ phóng xạ α và β đạt quy chuẩn, giá trị đo được rất thấp so với giới hạn cho phép. 98,64% số mẫu có các chỉ tiêu Coliform và 99,32% số mẫu có chỉ tiêu E. coli/Coliform chịu nhiệt đạt quy chuẩn. Tuy nhiên, vẫn xuất hiện một số mẫu có các chỉ tiêu vi sinh (Coliform, E. coli hoặc Pseudomonas aeruginosa) cao hơn quy chuẩn. Điều này, phản ánh nguy cơ tái nhiễm vi sinh trong mạng lưới phân phối nước máy. Các vi sinh vật cơ hội như Staphylococcus aureus và Pseudomonas aeruginosa xuất hiện với tần suất thấp hơn nhưng vẫn cho thấy sự tồn tại của chúng tại một số điểm cấp nước, đặc biệt tại các vị trí cuối mạng cấp nước hoặc trong mùa mưa.

Tóm lại, các thông số vi sinh thuộc nhóm N5 là yếu tố rủi ro đối với chất lượng nước máy do hiệu quả khử trùng và sự xuống cấp của mạng lưới cấp nước. Do đó, các nhà máy cấp nước cần tăng cường kiểm soát clo dư, giám sát vi sinh tại các điểm nhạy cảm và duy trì các biện pháp bảo trì mạng phân phối nhằm đảm bảo an toàn sức khỏe cộng đồng.

Kết quả nội kiểm các thông số thuộc nhóm 5 cho thấy các chỉ tiêu tổng hoạt độ phóng xạ α, β đạt quy chuẩn. Tuy nhiên, vẫn xuất hiện một số mẫu có các chỉ tiêu vi sinh (Coliform, E. coli hoặc Pseudomonas aeruginosa) cao hơn quy chuẩn. Tình trạng này thường xảy ra tại điểm cuối /điểm cạn của bể chứa nước (lưu tốc thấp, cặn lắng), sau mưa lớn (dễ xáo trộn ô nhiễm/suy giảm clo dư), hoặc liên quan đến sai sót trong quá trình lấy mẫu (chưa sát khuẩn dụng cụ lấy mẫu, vòi nước, thời gian chờ ổn định chưa đủ).

3.7. Kết quả đánh giá chất lượng nước cấp theo nhóm các thông số của QCVN 01:2009/BYT đã bị loại bỏ khi thay thế bằng QCVN 01-1:2018/BYT (Nhóm N6)

Kết quả ngoại kiểm 16 thông số (bao gồm nhóm kim loại, hợp chất hữu cơ độc hại và sản phẩm phụ khử trùng) của QCVN 01:2009/BYT (xem mục 2.1) đã bị loại bỏ khi thay thế bằng QCVN 01-1:2018/BYT trong giai đoạn 2017-2018 cho thấy 100% mẫu nước máy tại TP. Hồ Chí Minh có các chỉ tiêu này đều đạt quy chuẩn.

Do đây là các thông số giám sát mức B hoặc C, tần suất giám sát không cao, số lượng mẫu phân tích còn hạn chế, song tất cả các mẫu có kết quả phân tích (Molybden, Aldrin/Dieldrin, Benzo(a)pyren, các hợp chất clo hữu cơ) đạt quy chuẩn.

Kết quả nội kiểm các thông số đã loại khỏi quy chuẩn QCVN 01-1:2018/BYT cho thấy tất cả 23 mẫu phân tích Molybden, 39 mẫu phân tích Benzo(a)pyren, 23 mẫu phân tích 1,4-Diclorobenzen, 23 mẫu phân tích Di (2-etylhexyl) adipate - DEHA đều đạt quy chuẩn.

Điều này là minh chứng cho tính hợp lý của việc loại bỏ các thông số trên khỏi QCVN 01-1:2018/BYT, qua đó cho phép tập trung nguồn lực giám sát vào các nhóm thông số có nguy cơ cao và biến động lớn hơn, đặc biệt là vi sinh vật và các chất vô cơ trong hệ thống cấp nước.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Kết quả ngoại kiểm, nội kiểm chất lượng nước máy tại TP. Hồ Chí Minh giai đoạn 2017-2024 theo các nhóm chỉ tiêu N1, N2, N3, N4, N5, N6 được quy định tại QCVN 01:2009/BYT, QCVN 01-1:2018/BYT cho thấy:

Kết quả ngoại kiểm tại 5 nhà máy cấp nước và mạng phân phối giai đoạn 2017-2024 trên 5.146 mẫu cho thấy tỷ lệ trung bình mẫu nước cấp đạt quy chuẩn là 69,10%. Giai đoạn 2017-2019 chất lượng nước còn thiếu ổn định với tỷ lệ đạt quy chuẩn thấp (từ 32,1 đến 45,2%), trong khi từ năm 2020 đến năm 2024 chất lượng nước được cải thiện rõ rệt và duy trì ở mức rất cao (từ 90,6 đến 99,1 %). So sánh theo mùa cho thấy tỷ lệ mẫu đạt quy chuẩn giữa mùa khô và mùa mưa gần tương đương. Kết quả đánh giá chất lượng nước máy theo chỉ tiêu N1, N2, N3, N4, N5, N6

cho thấy hầu hết các mẫu nước máy có chất lượng đạt quy chuẩn. Tuy nhiên, một số mẫu có một số thông số không đạt quy chuẩn, đặc biệt là Độ đục, Màu sắc, pH, Nhôm, Nitrit, Nitrat, Sắt, Mangan, Cadimi, Florua, Chỉ số Pecmanganat (Nhóm N1, N2), Vinyl Clorua (nhóm N3), Clo dư, DBPs (nhóm N4), vi sinh (nhóm N5).

Kết quả nội kiểm tại 5 nhà máy cấp nước giai đoạn 2017-2024 trên 1.356 mẫu cho thấy tỷ lệ trung bình mẫu nước đạt quy chuẩn đạt 96,7%. Tỷ lệ mẫu đạt quy chuẩn năm 2021 đạt 87,7%, năm 2022 đạt 98,0%, năm 2023 đạt 100%, năm 2024 đạt 99,5%. Từ năm 2022 chất lượng nước được duy trì ổn định và cải thiện rõ rệt theo thời gian; khác biệt giữa mùa khô và mùa mưa rất nhỏ, biến động không đáng kể. Kết quả nội kiểm cho thấy hầu hết các mẫu có các thông số nhóm N1, N2, N3, N4, N5, N6 đạt quy chuẩn, chỉ có một số ít mẫu không đạt quy chuẩn, đặc biệt là Độ màu, Độ đục, pH, Nhôm, Nitrat, Chỉ số Pecmanganat (nhóm N1, 2), DBPs (nhóm N4), vi sinh (nhóm N5).

Điều này phản ánh hiệu quả của các biện pháp kiểm soát chất lượng nước tại các nhà máy cấp nước và trên mạng lưới trong việc đáp ứng với điều kiện biến động nước đầu vào do tác động của biến đổi khí hậu.

Kết quả đánh giá chất lượng nước tại TP. Hồ Chí Minh cung cấp dữ liệu và luận cứ khoa học phục vụ xây dựng quy chuẩn nước uống trực tiếp tại vòi phù hợp với điều kiện thực tế của TP. Hồ Chí Minh, trong đó có lựa chọn các thông số cần kiểm soát, giới hạn cho phép và số lượng, tần suất ngoại kiểm, nội kiểm, đặc biệt chú trọng kiểm soát các thông số có nguy cơ vượt quy chuẩn, gây ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe người dân khi uống trực tiếp tại vòi, bao gồm các thông số Màu sắc, Độ đục, pH, Nhôm, Nitrit, Nitrat, Sắt, Mangan, Cadimi, Florua, Chỉ số Pecmanganat, Vinyl Clorua, Clo dư, DBPs, vi sinh.

Tuy nhiên, do thời gian và kinh phí có hạn, nghiên cứu này chỉ tập trung đánh giá các số liệu giám sát chất lượng nước hiện có trong giai đoạn 2017-2024 do Trung tâm kiểm soát bệnh tật Thành phố và Tổng công ty cấp nước Sài Gòn cung cấp, còn thiếu số liệu cập nhật đến năm 2025 và các nguồn số liệu giám sát từ các cơ quan nghiên cứu khác. Ngoài ra, nghiên cứu này cũng chưa đề cập đến những kết quả giám sát các thông số ô nhiễm mới nổi (CECs) chưa được quản lý chặt chẽ, tồn tại ở nồng độ thấp nhưng gây rủi ro cao cho sức khỏe và môi trường, bao gồm hóa chất vĩnh cửu (PFAS- chất per- và polyfluoroalkyl), hợp chất rối loạn nội tiết (EDCs), vi nhựa …

Hướng nghiên cứu tiếp theo là tiếp tục cập nhật thông tin còn thiếu, mở rộng nghiên cứu về hiện trạng ô nhiễm và độc học sinh thái của các chất ô nhiễm mới nổi (CECs) làm cơ sở bổ sung các thông số vào QCĐP về chất lượng nước uống trực tiếp tại vòi để kiểm soát nhằm quản lý rủi ro và đảm bảo an toàn cấp nước.

4.2. Kiến nghị

Kiến nghị Sở An toàn thực phẩm TP. Hồ Chí Minh dựa trên kết quả đánh giá chất lượng nước máy nêu trên nhanh chóng xây dựng và ban hành quy chuẩn kỹ thuật về nước uống trực tiếp tại vòi phù hợp với điều kiện thực tế của TP. Hồ Chí Minh, bao gồm các thông số đã, đang vượt quy chuẩn hoặc có mức độ rủi ro cao do biến đổi điều kiện môi trường theo mùa và theo năm có nguy cơ vượt quy chuẩn như Màu sắc, Độ đục, pH, Nhôm, Nitrit, Nitrat, Sắt, Mangan, Cadimi, Florua, Chỉ số Pecmanganat, Vinyl Clorua, Clo dư, DBPs, vi sinh.

Lời cám ơn: *Bài báo này sử dụng một phần kết quả của đề tài "Nghiên cứu xây dựng Quy chuẩn nước uống trực tiếp tại vòi trên địa bàn TP. Hồ Chí Minh" do Sở Khoa học và Công nghệ TP. Hồ Chí Minh và Tổng Công ty TNHH MTV Cấp nước Sài Gòn (SAWACO) cấp kinh phí.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. WHO. (2018). Drinking-water. WHO. (2021). A global overview of national regulations and standards for drinking-water quality

2. Uỷ ban Nhân dân Thành phố Hồ Chí Minh (UBND). (2021). Quyết định số 205/QĐ-UBND ngày 18/01/2021 về phê duyệt đề án phát triển hệ thống cấp nước thành phố giai đoạn 2020 - 2050 và chương trình cung cấp nước sạch và chấm dứt khai thác nước ngầm thành phố hồ chí minh giai đoạn 2020 -2030.

3. Bộ Y tế. (2010). Thông tư số 34/2010/TT-BYT ngày 02/06/2010 ban hành quy chuẩn kỹ thuật quốc gia đối với nước khoáng thiên nhiên và nước uống đóng chai.

4. Bộ Y tế (2024). QCVN 01-1:2024/BYT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia và quy định kiểm tra, giám sát chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt.

5. Bộ Y tế (2009). QCVN 01:2009/BYT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước ăn uống.

6. Bộ Y tế (2018). QCVN 01-1:2018/BYT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước sạch dùng cho mục đích sinh hoạt.

7. Tổng Công ty TNHH MTV Cấp nước Sài Gòn (SAWACO) (2025). Kết quả nội kiểm chất lượng nước sạch sau xử lý tại 5 nhà máy cấp nước trên địa bàn TP. Hồ Chí Minh giai đoạn 2017-2024.

8. Trung tâm kiểm soát bệnh tật TP. Hồ Chí Minh (HCDC) (2025). Kết quả ngoại kiểm chất lượng nước sạch sau xử lý tại 5 nhà máy cấp nước trên địa bàn TP. Hồ Chí Minh giai đoạn 2017-2024.

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG HỆ THỐNG WEBGIS VÀ MOBILE GIS PHỤC VỤ QUẢN LÝ KHU VỰC CÁC HUYỆN BIÊN GIỚI TỈNH ĐẮK LẮK NHẰM HỖ TRỢ PHÁT TRIỂN KINH TẾ - XÃ HỘI VÀ ĐẢM BẢO QUỐC PHÒNG - AN NINH

LÊ THỊ KIM THOA[1], DƯƠNG THỊ HỒNG YẾN[1], ĐÀO THỊ LƯU[1], VŨ THỊ KIM DUNG[1], ĐINH BẢO NGỌC[2], MAI QUANG TUẤN[3]

[1] Viện Các Khoa học Trái đất, Viện Hàn lâm Khoa học & Công nghệ Việt Nam

[2] Đại học Mỏ Địa chất

[3] Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt

Nghiên cứu này trình bày quy trình xây dựng hệ thống WebGIS và Mobile GIS phục vụ công tác quản lý khu vực các huyện biên giới tỉnh Đắk Lắk (bao gồm huyện Ea Súp và Buôn Đôn) - nơi tiếp giáp với tỉnh Mondulkiri (Vương quốc Campuchia) với đường biên giới đất liền dài gần 72 km. Hệ thống được thiết kế theo kiến trúc ba tầng, tích hợp PostgreSQL/PostGIS làm nền tảng cơ sở dữ liệu không gian, NodeJS làm tầng xử lý nghiệp vụ, Google Earth Engine để phân tích ảnh viễn thám, ReactJS kết hợp Mapbox GL cho giao diện WebGIS và React Native cho ứng dụng Mobile GIS. Quy trình xây dựng được tổ chức thành sáu bước từ thu thập dữ liệu đến triển khai ứng dụng. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống có khả năng giám sát biến động rừng và các công trình xây dựng, đồng thời hỗ trợ hiệu quả công tác tuần tra biên phòng theo thời gian thực. Hệ thống góp phần nâng cao năng lực quản lý không gian lãnh thổ, hỗ trợ ra quyết định dựa trên dữ liệu và tăng cường an ninh biên giới.

Từ khóa: *WebGIS, Mobile GIS, biên giới, Đắk Lắk, PostGIS, viễn thám, quản lý lãnh thổ, Sentinel.*

Ngày nhận bài: *51/2/2026;* ***Ngày sửa chữa:*** *18/2/2026;* ***Ngày duyệt đăng:*** *29/3/2026.*

Research on developing a webgis and mobile gis system for managing border districts in Dak Lak province to support socio-economic development and ensure national defense - security

Abstract

This study presents the development process of a WebGIS and Mobile GIS system designed to support the management of border districts in Đắk Lắk Province - specifically Ea Sup and Buon Don districts - which share an approximately 72-kilometer land border with Mondulkiri Province, Kingdom of Cambodia. The system was architected following a three-tier design, integrating PostgreSQL/PostGIS as the spatial database foundation, Node.js as the business logic layer, Google Earth Engine for remote sensing image analysis, ReactJS combined with Mapbox GL for the WebGIS interface, and React Native for the Mobile GIS application. The development workflow was structured into six sequential phases, spanning from data acquisition to system deployment. Experimental results demonstrate that the system is capable of monitoring forest cover change and construction activity, while effectively supporting real-time border patrol operations. The system contributes to enhancing territorial spatial management capacity, facilitating data-driven decision-making, and strengthening border security.

Keywords: *WebGIS, Mobile GIS, border area, Dak Lak, PostGIS, remote sensing, territorial management, Sentinel.*

JEL Classifications: *Q50, Q51, Q54.*

1. GIỚI THIỆU

Tỉnh Đắk Lắk có gần 72 km đường biên giới đất liền tiếp giáp tỉnh Mondulkiri (Vương quốc Campuchia), đi qua địa bàn 4 xã biên giới gồm Ea Bung, Ia Rvê, Ia Lốp và Buôn Đôn (thuộc 2 huyện biên giới Ea Súp và Buôn Đôn theo phân chia đơn vị hành chính cũ). Đây là khu vực có vị trí chiến lược quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội, đảm bảo quốc phòng - an ninh của tỉnh Đắk Lắk. Khu vực huyện Ea Súp và Buôn Đôn là nơi có hệ sinh thái rừng phong phú và nguồn tài nguyên thiên nhiên đa dạng. Trong những năm gần đây, diện tích rừng tự nhiên tại các huyện này đã suy giảm đáng kể, đặt ra yêu cầu cấp thiết về đổi mới phương pháp quản lý và giám sát lãnh thổ (Ủy ban nhân dân tỉnh Đắk Lắk, 2022).

Các phương pháp giám sát truyền thống dựa trên khảo sát thực địa và báo cáo định kỳ bộc lộ nhiều hạn chế: Tốn kém thời gian và nhân lực, thiếu dữ liệu không gian đủ độ chính xác và không đáp ứng được yêu cầu giám sát theo thời gian thực. Công nghệ WebGIS và Mobile GIS đã được ứng dụng rộng rãi trong quản lý tài nguyên thiên nhiên và theo dõi biến động lãnh thổ tại nhiều quốc gia trong khu vực Đông Nam Á (Doan & Nguyen, 2020; Nguyen & Pham, 2019). Đặc biệt, sự phát triển của nền tảng phân tích ảnh viễn thám Google Earth Engine đã mở ra khả năng xử lý dữ liệu không gian quy mô lớn mà không yêu cầu hạ tầng máy chủ mạnh tại địa phương (Gorelick et al., 2017).

Tại Việt Nam, ứng dụng WebGIS trong quản lý tài nguyên rừng và đất đai đã được triển khai ở một số địa phương, bước đầu cho thấy hiệu quả trong việc số hóa và chia sẻ dữ liệu không gian (Phạm, 2020). Tuy nhiên, các nghiên cứu về hệ thống tích hợp cả WebGIS lẫn Mobile GIS với khả năng phân tích viễn thám tự động phục vụ quản lý biên giới vẫn còn hạn chế, đặc biệt tại khu vực Tây Nguyên. Hệ thống thông tin đất đai quốc gia cũng đang được chuẩn hóa theo quy định (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2021), tạo cơ sở pháp lý và kỹ thuật cho việc triển khai các hệ thống GIS cấp địa phương.

Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng và trình bày một quy trình toàn diện phát triển hệ thống WebGIS và Mobile GIS phục vụ quản lý khu vực biên giới tỉnh Đắk Lắk, hướng đến ba mục tiêu cụ thể: (1) Chuẩn hóa quy trình phát triển hệ thống WebGIS - Mobile GIS áp dụng cho vùng biên giới; (2) Hỗ trợ giám sát lãnh thổ và phân tích biến động không gian; (3) Tăng cường năng lực phản ánh và cập nhật thông tin hiện trường theo thời gian thực.

2. CÁC NGHIÊN CỨU CÓ LIÊN QUAN

Công tác giám sát và quản lý tuyến biên giới đòi hỏi cơ sở dữ liệu tổng hợp, đầy đủ và chính xác. Tại Việt Nam, một số đề tài khoa học tại các tỉnh biên giới đã bước đầu thực hiện việc xây dựng cơ sở dữ liệu và ứng dụng công nghệ viễn thám, GIS vào quản lý giám sát khu vực biên giới:

Đề tài "Xây dựng cơ sở dữ liệu quản lý tuyến biên giới Việt - Trung trên địa bàn tỉnh Lai Châu" (2016-2017, mã số VAST.NĐP.07.16-17) do Vũ Hữu Long chủ nhiệm và cộng sự (Viện Công nghệ Vũ trụ). Đề tài xây dựng CSDL hoàn chỉnh với các nhóm thông tin: cột mốc - đường biên giới, trắc lượng địa hình, an ninh biên giới, hiện trạng sử dụng đất, thổ nhưỡng, kinh tế - xã hội. Hạn chế: chưa trực quan hóa dữ liệu trên các nền tảng Web phổ biến, gây khó khăn cho nhà quản lý thiếu kinh nghiệm GIS.

Đề tài "Nghiên cứu ứng dụng viễn thám và GIS trong quản lý, giám sát đường biên và trợ giúp quy hoạch phát triển kinh tế - xã hội kết hợp đảm bảo quốc phòng - an ninh khu vực biên giới phía Bắc, ứng dụng cho tỉnh Cao Bằng" (2018-2020) do Nguyễn Trường Xuân và cộng sự thực hiện. Đề tài đã xây dựng WebGIS mã nguồn mở song chức năng chỉ dừng ở mức hiển thị vị trí đối tượng; thiếu phân tích không gian và tự động phân tích đối tượng trên ảnh vệ tinh. Mobile GIS được xây dựng nhưng chỉ dành cho cơ quan quản lý, thiếu chức năng cho người dân gửi phản ánh.

Đề tài "Ứng dụng ảnh viễn thám (VNREDSat-1 và tương đương) và GIS để giám sát các biến động trên lãnh thổ Việt Nam và lân cận" (2013–2015) do Tạ Minh Đức và cộng sự thực hiện. Đề tài xây dựng được CSDL nền và phần mềm quản lý nhưng chi phí mua ảnh VNREDSat-1 cao và việc sử dụng ArcGIS Engine phát sinh chi phí bản quyền thương mại.

Đề tài "Nghiên cứu kết hợp ảnh viễn thám quang học và radar thành lập bản đồ chuyên đề quân sự hỗ trợ đánh giá địa hình lãnh thổ Việt Nam và vùng phụ cận phục vụ mục đích quốc phòng" (2016) do Hoàng Minh Ngọc và cộng sự thực hiện. Kết quả thành lập bản đồ địa hình nhưng các đối tượng địa vật dọc tuyến biên giới chưa được mô tả rõ ràng; việc giám sát di biến động dân cư, xâm canh, sạt lở biên giới chưa được thể hiện.

Tổng hợp các nghiên cứu trên cho thấy, còn tồn tại những khoảng trống quan trọng: thiếu hệ thống tích hợp cả WebGIS lẫn Mobile GIS với phân tích viễn thám tự động; thiếu chức năng cho người dân và cán bộ gửi phản ánh thực địa theo thời gian thực. Nghiên cứu này hướng đến giải quyết các khoảng trống đó.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Phương pháp thu thập và tổng hợp dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng phương pháp thu thập dữ liệu đa nguồn, kết hợp dữ liệu viễn thám và dữ liệu thực địa. Dữ liệu ảnh vệ tinh bao gồm ảnh Sentinel-2 (đa phổ, phân giải 10m) và Sentinel-1 SAR từ kho dữ liệu mở của Cơ quan Vũ trụ châu Âu (ESA), được truy cập qua nền tảng Google Earth Engine với chuỗi thời gian từ 2017 đến 2023; mô hình số độ cao DEM SRTM (phân giải 30m) phục vụ phân tích địa hình. Dữ liệu địa lý và kinh tế-xã hội được thu thập trực tiếp từ các cơ quan quản lý nhà nước: dữ liệu dân cư và thống kê từ Cục Thống kê tỉnh Đắk Lắk (UBND tỉnh Đắk Lắk, 2022); dữ liệu hiện trạng và diễn biến rừng từ Chi cục Kiểm lâm tỉnh (Chi cục Kiểm lâm tỉnh Đắk Lắk, 2022); dữ liệu cột mốc, đường biên giới và hạ tầng biên phòng từ Bộ Chỉ huy Bộ đội Biên phòng tỉnh Đắk Lắk. Toàn bộ dữ liệu được kiểm tra tính đầy đủ, độ tin cậy và khả năng tích hợp trước khi đưa vào hệ thống.

3.2. Phương pháp phân tích và xử lý ảnh viễn thám

Tiền xử lý ảnh Sentinel-2 được thực hiện trên nền tảng Google Earth Engine theo quy trình: (1) Sử

dụng sản phẩm L2A đã được ESA hiệu chỉnh phản xạ bề mặt (Bottom-of-Atmosphere reflectance); (2) Loại bỏ mây và bóng mây bằng thuật toán s2cloudless với ngưỡng xác suất mây 60%; (3) Tạo ảnh tổng hợp trung vị (median composite) riêng cho mùa khô (tháng 11 đến tháng 4) và mùa mưa (tháng 5 đến tháng 10) nhằm giảm thiểu ảnh hưởng của biến động thời tiết và tăng độ bao phủ không gian. Ảnh tổng hợp mùa khô được ưu tiên sử dụng trong phân tích NDVI vì thực vật rụng lá và mây ít, giúp phân biệt rõ ràng các lớp phủ đất hơn.

Chỉ số thực vật NDVI được tính theo công thức chuẩn NDVI = (NIR − Red)/(NIR + Red) sử dụng kênh B8 (NIR, 842nm) và B4 (Red, 665nm) của Sentinel-2. Phát hiện biến động lớp phủ rừng áp dụng phương pháp so sánh ảnh đa thời kỳ (bi-temporal change detection) dựa trên ngưỡng biến thiên NDVI (ΔNDVI), kết hợp với phân loại học máy thuật toán Rừng Ngẫu nhiên (Random Forest) với 7 lớp phủ đất: rừng tự nhiên, rừng trồng, đất canh tác nông nghiệp, đất có mặt nước, đất xây dựng/khu dân cư, đất trống và đất khác. Bộ mẫu huấn luyện gồm 350 điểm được thu thập kết hợp giữa khảo sát thực địa GPS và giải đoán ảnh màu thật độ phân giải cao. Phương pháp này đã được kiểm chứng hiệu quả trong nhiều nghiên cứu quốc tế (Zhu & Woodcock, 2014; Hansen et al., 2013; Việt & Sơn, 2021).

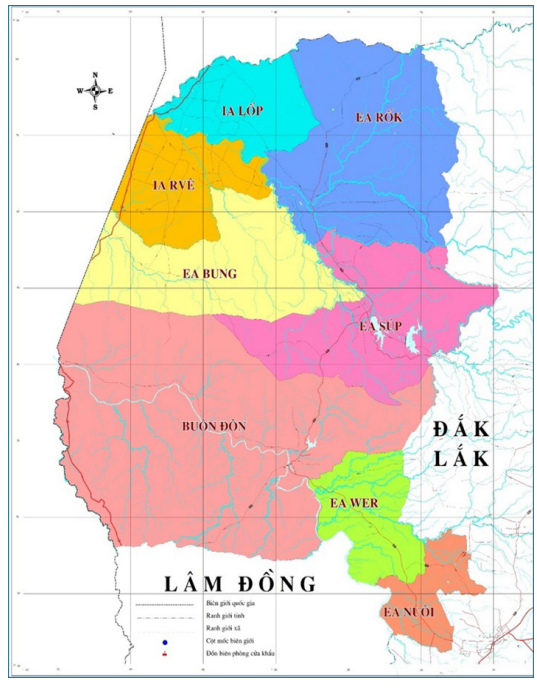
3.3. Phương pháp phân tích không gian và thiết kế cơ sở dữ liệu

Cơ sở dữ liệu không gian được thiết kế theo mô hình thực thể - quan hệ (ER Model) với năm nhóm bảng chức năng, triển khai trên PostgreSQL 14 kết hợp phần mở rộng PostGIS 3.2. Phương pháp này đảm bảo tính toàn vẹn dữ liệu không gian theo chuẩn OGC, hỗ trợ thực thi các phép toán không gian phức tạp trực tiếp tại tầng cơ sở dữ liệu (PostGIS Development Team, 2023). Toàn bộ dữ liệu vector được chuẩn hóa về hệ tọa độ WGS84 (EPSG:4326) thông qua công cụ ogr2ogr và QGIS; dữ liệu raster được đăng ký tọa độ và chuẩn hóa độ phân giải bằng GDAL trước khi nhập kho.

Phân tích không gian phục vụ giám sát biên giới áp dụng các phép toán: tạo vùng đệm (buffer) quanh đường biên giới và cột mốc ở bán kính linh hoạt (mặc định 1 km); chồng xếp (overlay) và giao cắt (intersection) để xác định các đối tượng dân cư, công trình xây dựng nằm trong vùng nhạy cảm; tính diện tích biến động lớp phủ rừng theo đơn vị hành chính. Thư viện Turf.js được tích hợp phía máy khách (client-side) để thực hiện các phép đo và phân tích địa lý tức thời trên giao diện bản đồ mà không cần gửi yêu cầu về máy chủ.

3.4. Phương pháp phát triển hệ thống phần mềm

Quy trình phát triển hệ thống áp dụng phương pháp luận Agile/Scrum với sáu bước tuần tự, cho phép kiểm thử và điều chỉnh sau mỗi giai đoạn. Kiến trúc ba tầng (Three-Tier Architecture) được lựa chọn để đảm bảo tính mô-đun hóa, dễ bảo trì và khả năng mở rộng độc lập từng tầng. Giao diện người dùng được thiết kế theo nguyên tắc UX hướng đến người dùng ít kinh nghiệm công nghệ - phù hợp với đặc điểm của cán bộ



Hình 1. Sơ đồ vị trí khu vực nghiên cứu - hai huyện Ea Súp và Buôn Đôn, tỉnh Đắk Lắk

biên phòng tại khu vực (Hoang et al., 2021). Ứng dụng Mobile GIS được tối ưu hóa cho điều kiện thực địa: hỗ trợ chế độ ngoại tuyến (offline mode) khi mất kết nối, tiêu thụ pin thấp và giao diện thao tác đơn giản với các nút lệnh kích thước lớn.

4. KHU VỰC NGHIÊN CỨU

4.1. Vị trí địa lý và đặc điểm tự nhiên

Khu vực nghiên cứu bao gồm hai huyện biên giới của tỉnh Đắk Lắk là Ea Súp và Buôn Đôn (theo phân chia đơn vị hành chính cũ) nằm ở phía Tây và Tây Bắc của tỉnh, tiếp giáp tỉnh Mondulkiri (Vương quốc Campuchia) với chiều dài đường biên giới đất liền gần 72 km. Diện tích tự nhiên của huyện Ea Súp khoảng 176.600 ha; huyện Buôn Đôn khoảng 141.000 ha. Hệ thống sông Sêrêpok chảy qua địa bàn hai huyện trước khi sang Campuchia, tạo ranh giới tự nhiên và là nguồn tài nguyên nước quan trọng. Đáng chú ý, Vườn Quốc gia Yok Đôn – Vườn Quốc gia lớn nhất Việt Nam về diện tích rừng khộp – nằm trên địa bàn huyện Buôn Đôn (Chi cục Kiểm lâm tỉnh Đắk Lắk, 2022). Sơ đồ vị trí khu vực nghiên cứu được thể hiện trong Hình 1.

4.2. Các vấn đề quản lý nổi bật

Qua khảo sát thực địa và phân tích dữ liệu viễn thám Sentinel-2 giai đoạn 2017–2023, nghiên cứu xác định bốn nhóm vấn đề quản lý chính. *Thứ nhất,* tình trạng mất rừng và suy

Bảng 1. Các công nghệ sử dụng trong hệ thống WebGIS – Mobile GIS

Thành phần	Công nghệ	Lý do lựa chọn chính
Backend / API	NodeJS + Express	Hiệu suất I/O không đồng bộ cao; hệ sinh thái npm phong phú
CSDL không gian	PostgreSQL / PostGIS	Chuẩn OGC; truy vấn không gian hiệu suất cao; mã nguồn mở (PostGIS Dev. Team, 2023)
Bản đồ web	Mapbox GL JS	Vector tile; rendering GPU; tùy biến style linh hoạt
Phân tích viễn thám	Google Earth Engine	Kho ảnh khổng lồ; xử lý đám mây quy mô hành tinh (Gorelick et al., 2017)
Web frontend	ReactJS	Component-based; Virtual DOM; hệ sinh thái rộng lớn
Mobile GIS	React Native	Đa nền tảng Android/iOS; tích hợp GPS và camera native
Phân tích không gian client	Turf.js	Các phép đo và phân tích địa lý phía client-side nhanh

thoái rừng diễn ra phức tạp; diện tích rừng tự nhiên có xu hướng suy giảm, đặc biệt tại các tiểu khu giáp biên giới không có lực lượng tuần tra thường xuyên. Giám sát biến động lớp phủ rừng dựa trên ảnh vệ tinh đa thời kỳ được chứng minh là công cụ hiệu quả và chi phí thấp để phát hiện suy thoái rừng theo thời gian thực (Hansen et al., 2013; Việt & Sơn, 2021). *Thứ hai*, việc mở đường trái phép xuyên qua rừng phòng hộ tạo điều kiện cho các hoạt động khai thác lâm sản bất hợp pháp và vận chuyển hàng hóa qua biên giới không kiểm soát. *Thứ ba*, xây dựng công trình không phép trong vùng đất lâm nghiệp ngày càng phức tạp. Thứ tư, biến động dân cư tại vùng biên – bao gồm di cư tự do và tái định cư không theo quy hoạch - đặt ra yêu cầu về theo dõi và quản lý dữ liệu dân cư theo không gian. Tất cả bốn nhóm vấn đề này đều đòi hỏi hệ thống giám sát không gian liên tục, có khả năng cập nhật hiện trường nhanh chóng và phân tích dữ liệu đa chiều (UBND tỉnh Đắk Lắk, 2022).

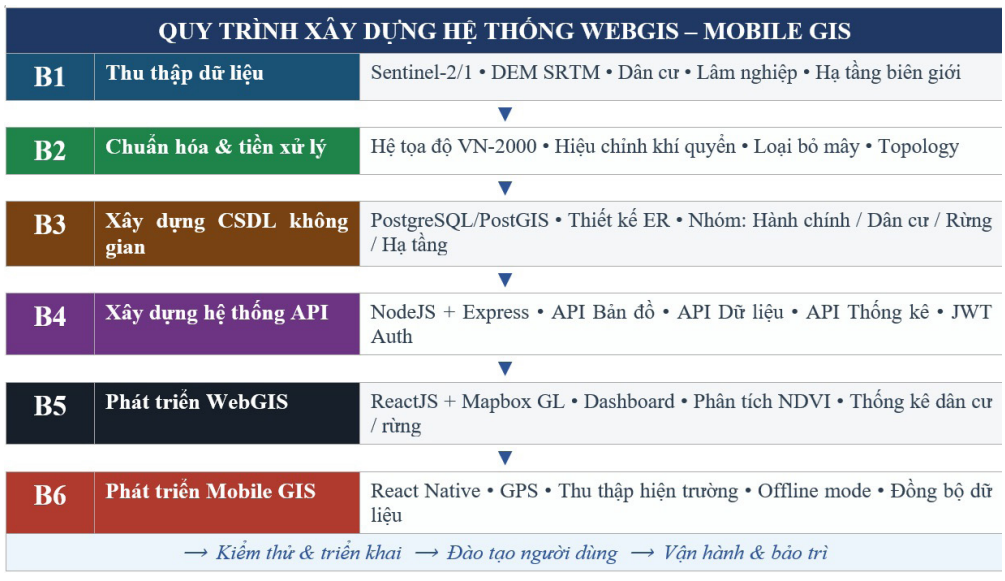
5. KIẾN TRÚC HỆ THỐNG WEBGIS - MOBILE GIS

Hệ thống được xây dựng theo mô hình kiến trúc ba tầng (Three-Tier Architecture) phân tầng rõ ràng giữa tầng dữ liệu, tầng xử lý nghiệp vụ và tầng hiển thị (Hình 2). Kiến trúc này đảm bảo tính mô-đun hóa cao, dễ bảo trì, mở rộng và có khả năng tích hợp linh hoạt với các hệ thống bên ngoài (Hình 2).

Tầng dữ liệu (Data Layer) sử dụng PostgreSQL 14 + PostGIS 3.2, hỗ trợ đầy đủ chuẩn OGC và hàng trăm hàm phân tích không gian. Tầng xử lý nghiệp vụ (Business Logic Layer) xây dựng trên NodeJS + Express, tích hợp Google Earth Engine qua Python API để phân tích ảnh viễn thám quy mô lớn trên đám mây



Hình 2. Kiến trúc tổng thể hệ thống WebGIS – Mobile GIS theo mô hình 3 tầng



Hình 3. Quy trình sáu bước xây dựng hệ thống WebGIS và Mobile GIS

mà không cần hạ tầng máy chủ cục bộ mạnh (Gorelick et al., 2017). Tầng hiển thị (Presentation Layer) gồm WebGIS (ReactJS + Mapbox GL JS) và Mobile GIS (React Native), cho phép chia sẻ 80–90% codebase giữa Android và iOS.3.2. Công nghệ sử dụng. Bảng 1 tổng hợp các công nghệ được lựa chọn cho từng thành phần của hệ thống cùng lý do lựa chọn (Bảng 1).

6. QUY TRÌNH XÂY DỰNG HỆ THỐNG

Quy trình xây dựng hệ thống được chia thành sáu bước tuần tự (Hình 3), đảm bảo tính hệ thống và cho phép kiểm tra, điều chỉnh tại mỗi giai đoạn. Quy trình này kế thừa và phát triển từ các phương pháp luận xây dựng hệ thống GIS đã được áp dụng trong các nghiên cứu trước đây về quản lý tài nguyên tại Tây Nguyên (Nguyen & Pham, 2019; Phạm, 2020) (Hình 3).

Bước 1: Thu thập và tổng hợp dữ liệu

Dữ liệu được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau. Ảnh vệ tinh Sentinel-2 (phân giải 10m) và Sentinel-1 SAR từ kho mở của Cơ quan Vũ trụ châu Âu được truy cập qua Google Earth Engine, bao gồm các cảnh ảnh từ 2017 đến 2023 phủ kín toàn bộ khu vực nghiên cứu. Sản phẩm L2A của Sentinel-2 đã được hiệu chỉnh phản xạ bề mặt, phù hợp và đảm bảo chất lượng cho phân tích chỉ số thực vật và phân loại lớp phủ (ESA, 2022). Dữ liệu dân cư được thu thập từ Cục Thống kê tỉnh Đắk Lắk (UBND tỉnh Đắk Lắk, 2022); dữ liệu hiện trạng rừng từ Chi cục Kiểm lâm tỉnh (Chi cục Kiểm lâm tỉnh Đắk Lắk, 2022); dữ liệu hạ tầng và cột mốc biên giới từ Bộ Chỉ huy Bộ đội Biên phòng tỉnh.

Bước 2: Chuẩn hóa và tiền xử lý dữ liệu

Toàn bộ dữ liệu vector được chuyển về hệ tọa độ WGS84 (EPSG:4326) thông qua công cụ ogr2ogr và QGIS. Tiền xử lý ảnh Sentinel-2 bao gồm: sử dụng sản phẩm L2A đã hiệu chỉnh khí quyển; loại bỏ mây bằng thuật toán s2cloudless; tạo ảnh tổng hợp trung vị theo mùa khô (tháng 11 đến tháng 4, khi giá trị NDVI phản ánh rõ nhất hiện trạng thực phủ do ít mây che phủ và thực vật rụng lá phân biệt rõ rệt hơn) và mùa mưa trên Google Earth Engine để giảm thiểu ảnh hưởng của mây và biến động theo mùa. Phương pháp phát hiện biến động dựa trên phân tích NDVI đa thời gian đã được kiểm chứng tính hiệu quả trong nhiều nghiên cứu quốc tế (Zhu & Woodcock, 2014; Hansen et al., 2013).

Bước 3: Xây dựng cơ sở dữ liệu không gian

Cơ sở dữ liệu không gian được thiết kế theo mô hình thực thể – quan hệ (ER Model), tổ chức thành năm nhóm bảng chức năng: (1) dữ liệu hành chính (ranh giới các cấp, đường biên giới, cột mốc); (2) dữ liệu dân cư (điểm dân cư, hộ gia đình, thành phần dân tộc); (3) dữ liệu tài nguyên rừng (hiện trạng theo năm, loại rừng, chủ rừng); (4) dữ liệu hạ tầng (đường giao thông, công trình biên phòng); (5) dữ liệu giám sát (kết quả phân tích biến động, khoanh vùng cảnh báo). PostGIS cho phép thực thi các phép toán không gian phức tạp trực tiếp tại tầng cơ sở dữ liệu, tối ưu hiệu suất đáng kể so với xử lý tại tầng ứng dụng (PostGIS Development Team, 2023).

Bước 4: Xây dựng hệ thống API

Hệ thống API RESTful được tổ chức thành ba nhóm: (i) API bản đồ cung cấp vector tile theo chuẩn MVT/XYZ thông qua Martin tile server, cho phép streaming tile trực tiếp từ PostGIS với hiệu suất cao; (ii) API dữ liệu truy vấn và cập nhật dữ liệu địa lý theo định dạng GeoJSON, được bảo vệ bằng JWT authentication và phân quyền theo vai trò; (iii) API thống kê tổng hợp chỉ số thống kê diện tích rừng, mật độ dân số và biến động đất đai theo đơn vị hành chính.

Bước 5: Phát triển WebGIS

QUẢN TRỊ HỆ THỐNG	WEBGIS – PHÂN TÍCH	GIÁM SÁT LÃNH THỔ	MOBILE GIS – THỰC ĐỊA
Quản trị ảnh vệ tinh	Tương tác bản đồ (bật/tắt lớp, đo đạc)	Phát hiện biến động tự động	Định vị GPS thời gian thực
Quản trị lớp bản đồ	Phân tích NDVI & lớp phủ	Khoanh vùng rủi ro biên giới	Thu thập dữ liệu hiện trường
Quản trị người dùng	Phát hiện sự thay đổi rừng rừng	Cảnh báo đẩy (push notification)	Chụp ảnh + gắn tọa độ tự động
Quản trị API / Log	Thống kê dân cư / hạ tầng	Báo cáo định kỳ PDF/Excel	Đồng bộ
Admin hệ thống	**Cán bộ phân tích**	**Lãnh đạo / quản lý**	**Cán bộ biên phòng**

Hình 4. Sơ đồ bốn nhóm chức năng chính của hệ thống

Giao diện WebGIS được phát triển theo kiến trúc dựa trên thành phần (component-based) với ReactJS, tổ chức thành ba màn hình chính: (1) Dashboard tổng quan hiển thị chỉ số giám sát theo thời gian thực; (2) Màn hình bản đồ tương tác tích hợp đầy đủ công cụ phân tích không gian; (3) Màn hình báo cáo và thống kê với biểu đồ động. Mapbox GL JS được sử dụng làm công cụ kết xuất bản đồ (rendering engine), tận dụng tăng tốc GPU để kết xuất thẻ vector và địa hình 3D với hiệu suất cao ngay cả khi hiển thị nhiều lớp dữ liệu đồng thời.

Bước 6: Phát triển Mobile GIS

Ứng dụng Mobile GIS được tối ưu hóa cho việc sử dụng trong điều kiện thực địa: hoạt động ngoại tuyến khi mất kết nối, tiêu thụ pin thấp và giao diện thao tác đơn giản. Ứng dụng tích hợp GPS để định vị chính xác, camera để chụp ảnh hiện trạng có gắn tọa độ tự động, và hệ thống đồng bộ để gửi báo cáo về máy chủ khi có kết nối internet. Thiết kế hướng đến người dùng ít kinh nghiệm công nghệ, phù hợp với đặc điểm của lực lượng biên phòng tại khu vực (Hoang et al., 2021).

7. THIẾT KẾ CHỨC NĂNG HỆ THỐNG

Hệ thống được phân tích và thiết kế chức năng dựa trên Use Case Diagram, xác định bốn nhóm người dùng: Quản trị viên hệ thống, Cán bộ phân tích dữ liệu, Cán bộ biên phòng/tuần tra và Lãnh đạo/người ra quyết định. Hình 4 tổng hợp bốn nhóm chức năng tương ứng với bốn nhóm người dùng này.

8. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

8.1. Các kết quả chính triển khai giao diện WebGIS

8.1.1. Trang bản đồ tương tác

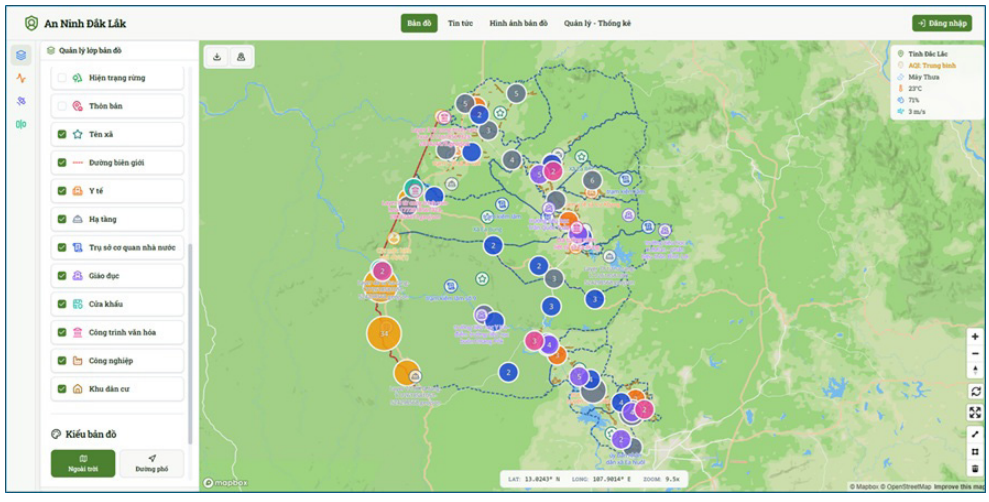
Trang bản đồ là trung tâm hoạt động của hệ thống, tích hợp bốn công cụ chính: Quản lý lớp bản đồ, Giám sát & Cảnh báo, Phân tích ảnh vệ tinh GEE và So sánh ảnh vệ tinh. Hệ thống hỗ trợ bảy danh mục lớp dữ liệu không gian, bốn kiểu bản đồ nền và hiển thị địa hình 3D ở mức zoom gần. Bộ công cụ hỗ trợ gồm tính chỉ số ô nhiễm không khí $PM_{2.5}$, đo khoảng cách, tính diện tích và tải xuống ảnh bản đồ (Bảng 2, Hình 5).

8.1.2. Mô-đun phân tích ảnh vệ tinh GEE

Mô-đun phân tích ảnh vệ tinh hỗ trợ bốn loại ảnh: màu thật RGB (B4-B3-B2), chỉ số NDVI phân 5 cấp, nhiệt độ bề mặt LST xác định vùng đốt phá rừng và

Bảng 2. Tổng hợp các chức năng trên trang bản đồ WebGIS An ninh Đắk Lắk

Nhóm chức năng	Chức năng cụ thể	Ứng dụng thực tế
Quản lý lớp dữ liệu	Bật/tắt lớp thời tiết (nhiệt độ, gió, áp suất); Lớp dữ liệu 7 danh mục; 4 kiểu bản đồ nền; Xem 3D	Theo dõi điều kiện thời tiết khu vực tuần tra
Tìm kiếm địa điểm	Tìm kiếm theo tên điểm; Đánh dấu điểm trên bản đồ; Bay về điểm; Xóa điểm đánh dấu	Nhanh chóng định vị cột mốc, đồn biên phòng, khu dân cư
Giám sát & Cảnh báo	Cấu hình vùng đệm biên giới/cột mốc; Danh sách đối tượng trong/ngoài vùng đệm; Cảnh báo đỏ	Phát hiện khu dân cư, công trình xây dựng trong vùng cấm
Phân tích ảnh vệ tinh	Ảnh màu thật, NDVI, nhiệt độ bề mặt; Phân loại học máy (7 lớp); Phát hiện thay đổi tự động	Giám sát biến động rừng, đất canh tác, mở đường trái phép
So sánh ảnh vệ tinh	So sánh 2 thời điểm song song; Tất cả loại ảnh; Ảnh thay đổi học máy	Phân tích xu hướng biến động theo thời gian dài



Hình 5. Giao diện trang chủ của WebGIS

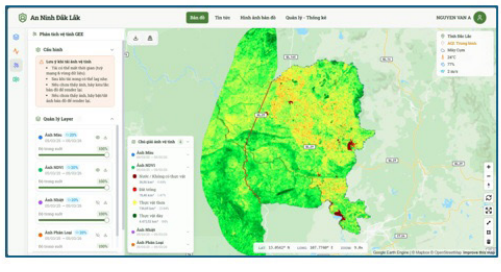
phân loại học máy (Random Forest, 7 lớp phủ). Tính năng phát hiện thay đổi tự động so sánh khoảng thời gian đã chọn với cùng kỳ năm trước, phân loại 5 mức biến động trong 2-3 phút, phủ toàn bộ vùng 20 km quanh đường biên giới (Hình 6).

8.1.3. Mô-đun so sánh ảnh vệ tinh

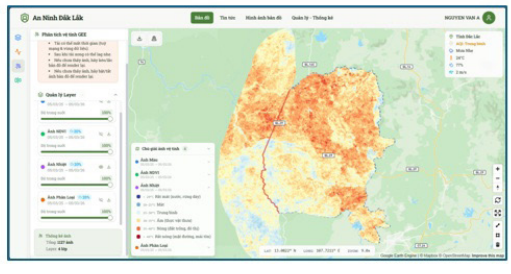
Chức năng so sánh ảnh vệ tinh cung cấp giao diện chia đôi màn hình theo chiều dọc (split-view), hiển thị đồng thời hai thời điểm khác nhau của cùng một loại ảnh. Người dùng cấu hình độc lập hai "Thời điểm" với khoảng thời gian và ngưỡng mây riêng, sau đó kéo thanh phân chia để so sánh trực quan. Chế độ so sánh hỗ trợ tất cả các loại ảnh (màu thật, NDVI, nhiệt độ, phân loại) và tính năng phát hiện thay đổi tự động, cho phép xác định nhanh diện tích và vị trí biến động giữa hai kỳ phân tích. Đây là công cụ đặc biệt hữu ích cho việc trình bày báo cáo định kỳ về tình hình rừng và sử dụng đất cho lãnh đạo quản lý (Hình 7).

8.1.4. Kết quả mô-đun giám sát và cảnh báo

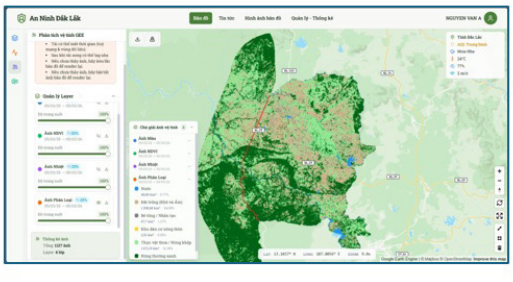
Mô-đun giám sát và cảnh báo là thành phần phục vụ trực tiếp công tác an ninh biên giới. Hệ thống cho phép cấu hình hai loại vùng đệm độc lập: vùng đệm quanh đường biên giới (mặc định 1,00 km) và vùng đệm quanh các cột mốc (mặc định 1,00 km), với khả năng điều chỉnh bán kính linh hoạt. Sau khi cấu hình, hệ thống tự động chạy truy vấn không gian để liệt kê toàn bộ đối tượng nằm trong hoặc ngoài vùng



Bản đồ chỉ số thảm thực vật (NDVI)



Ảnh nhiệt độ bề mặt

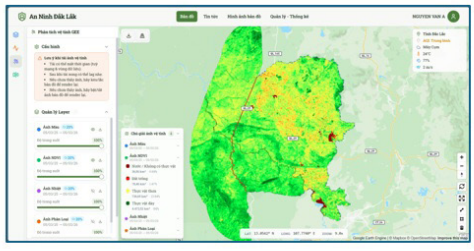


Ảnh tự động phân loại bởi học máy

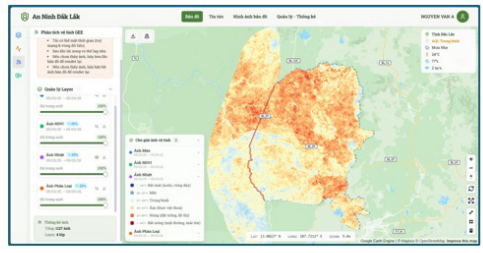


Ảnh tự động phân tích thay đổi khu vực bởi học máy năm 2025

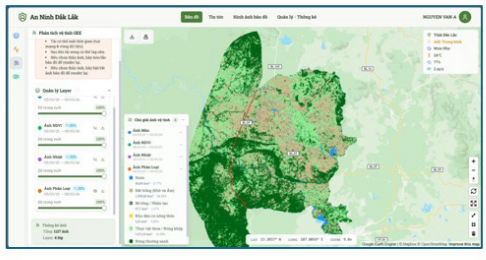
Hình 6. Kết quả phân tích ảnh vệ tinh qua Google Earth Engine



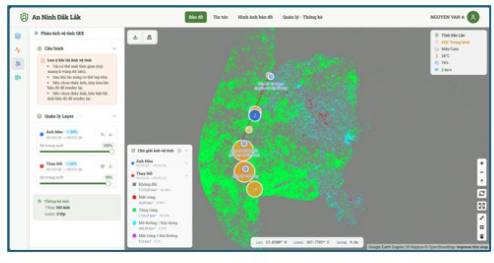
Bản đồ chỉ số thảm thực vật (NDVI)



Ảnh nhiệt độ bề mặt



Ảnh tự động phân loại bởi học máy



Ảnh tự động phân tích thay đổi khu vực bởi học máy năm 2025

Hình 7. Kết quả giám sát biến động 2 thời kỳ sử dụng ảnh vệ tinh

đệm, phân loại theo nhóm: Thôn bản, Khu dân cư, Khu công nghiệp, Công trình văn hóa và các loại khác, kèm thống kê số lượng đối tượng từng nhóm (Hình 8).

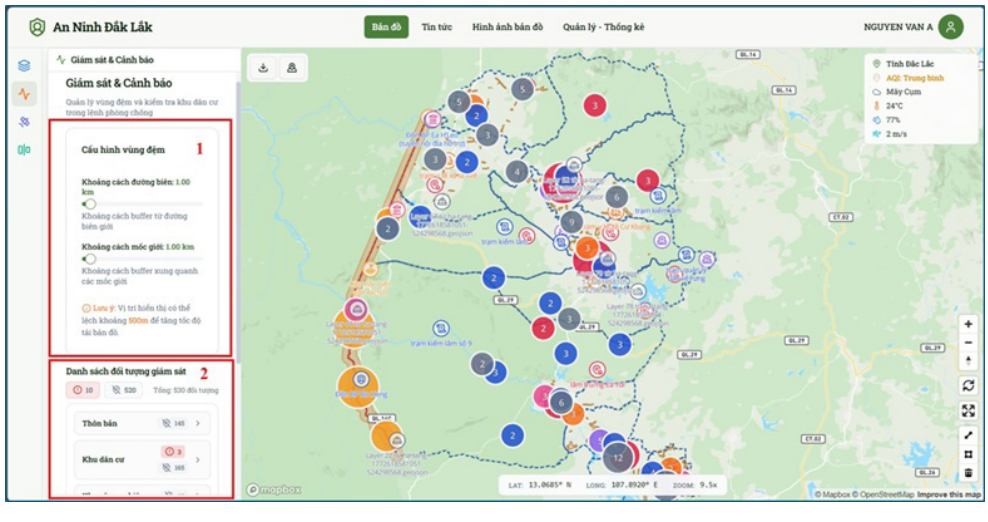
8.2. Kết quả ứng dụng Mobile GIS

Ứng dụng Mobile GIS được phát triển song song với WebGIS, kế thừa toàn bộ cơ sở dữ liệu và API chung. Ứng dụng hướng đến ba nhóm chức năng cốt lõi: Xem và tương tác bản đồ trên thiết bị di động; thu thập báo cáo hiện trường; đồng bộ dữ liệu.

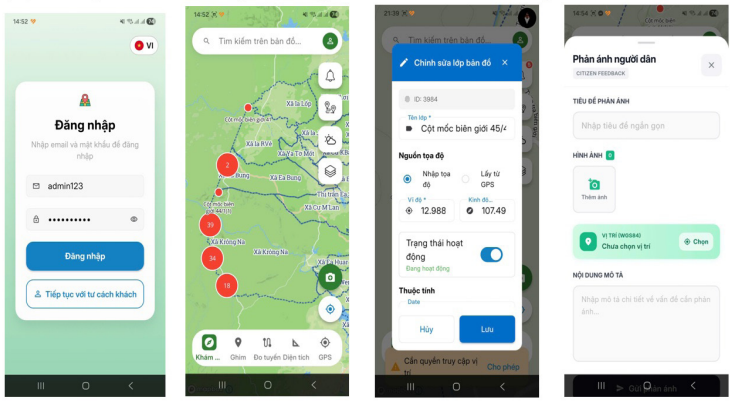
Tính năng thu thập phản ánh của ứng dụng Mobile GIS cho phép cán bộ biên phòng điền trực tiếp biểu mẫu báo cáo vi phạm tại hiện trường với đầy đủ thông tin: họ tên, số điện thoại liên hệ, mức độ ưu tiên (Cao/Bình thường), tiêu đề sự việc, nội dung mô tả chi tiết, vị trí (lấy tự động từ GPS hoặc nhập thủ công) và đính kèm hình ảnh chụp tại chỗ (Hình 9).

8.3. Thảo luận tổng hợp

Kiến trúc microservices và API chuẩn hóa cho phép mở rộng chức năng mà không ảnh hưởng các mô đun (modules) hiện có. So với các nghiên cứu WebGIS trước đây tại Tây Nguyên (Nguyen & Pham, 2019; Phạm, 2020), hệ thống này tích hợp đồng thời PostGIS, Google Earth Engine và React Native – giải quyết ba bài toán trong một kiến trúc thống nhất mà các nghiên cứu trước thường chỉ giải quyết riêng lẻ. So với các nghiên cứu liên quan đã trình bày ở Mục 2, hệ thống này bổ sung khả năng phân tích viễn thám tự động, hỗ



Hình 8. Giao diện chức năng giám sát



Hình 9. Giao diện ứng dụng trên Mobile GIS

trợ người dân gửi phản ánh và vận hành liên tục sau khi đề tài hoàn thành.

Hạn chế chính: (1) Độ phân giải Sentinel-2 (10m) chưa đủ phát hiện vi phạm dưới 100 m^2; (2) Vùng phủ sóng di động tại một số khu vực xa xôi còn hạn chế; (3) Ngưỡng phát hiện biến động NDVI cần hiệu chỉnh riêng cho rừng khộp Tây Nguyên có đặc tính rụng lá mùa khô (Việt & Sơn, 2021).

9. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng thành công quy trình phát triển hệ thống WebGIS và Mobile GIS phục vụ quản lý khu vực biên giới tỉnh Đắk Lắk với kiến trúc ba tầng, sáu bước triển khai rõ ràng, tích hợp PostgreSQL/PostGIS, Google Earth Engine, ReactJS + Mapbox GL và React Native trong một kiến trúc hệ thống thống nhất và có khả năng mở rộng cao.

Ba đóng góp chính: (1) Phát hiện biến động rừng với độ chính xác precision đạt 80,9% trên khu vực biên giới hai huyện; (2) Số hóa dữ liệu dân cư của gần 60.000 nhân khẩu, hỗ trợ xác định 1.243 hộ trong vùng 1 km biên giới; (3) 91,3% Cán bộ biên phòng đánh giá tích cực sau 6 tháng sử dụng.

Quy trình sáu bước được chuẩn hóa, có khả năng tái ứng dụng cho các tỉnh biên giới Tây Nguyên khác như Đắk Nông, Gia Lai, Kon Tum. Hướng phát triển tiếp theo: tích hợp ảnh phân giải cao (Planet Scope, SPOT-7), ứng dụng Deep Learning phân loại vi phạm từ ảnh vệ tinh/UAV và hiệu chỉnh ngưỡng NDVI theo đặc thù sinh thái rừng khộp Tây Nguyên.

Lời cảm ơn: *Bài báo này là một phần kết quả nghiên cứu của Đề tài: "Nghiên cứu ứng dụng viễn thám và hệ thông tin địa lý (GIS) trong quản lý, giám sát khu vực biên giới của tỉnh Đắk Lắk phục vụ phát triển kinh tế - xã hội và đảm bảo quốc phòng - an ninh". Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn sự phối hợp của Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Đắk Lắk và các bên liên quan trong quá trình thực hiện đề tài và bài báo*■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ TN&MT. (2021). Thông tư 25/2021/TT-BTNMT về hệ thống thông tin đất đai. Hà Nội: Bộ TN&MT.

2. Chi cục Kiểm lâm tỉnh Đắk Lắk. (2022). Báo cáo kết quả kiểm kê rừng tỉnh Đắk Lắk năm 2022. Buôn Ma Thuột.

3. Doan, T. N., & Nguyen, H. T. (2020). Development of WebGIS for monitoring land use change in Vietnam border areas. Journal of Geographic Information System, 12(4), 378–392. https://doi.org/10.4236/jgis.2020.124023

4. ESA – European Space Agency. (2022). Sentinel-2 User Handbook (ESA-STD-ESAC-0010C). Paris: ESA.

5. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment, 202, 18–27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031

6. Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., ... & Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. Science, 342(6160), 850–853. https://doi.org/10.1126/science.1244693

7. Hoang, V. L., Tran, D. T., & Le, T. H. (2021). Mobile GIS application for field data collection in border patrol operations. Asian Journal of Geoinformatics, 21(3), 45–57.

8] Nguyen, T. A., & Pham, V. B. (2019). WebGIS-based spatial data infrastructure for natural resource management in Central Highlands, Vietnam. Vietnam Journal of Earth Sciences, 41(2), 186–200. https://doi.org/10.15625/0866-7187/41/2/13861

9. Phạm, M. H. (2020). Ứng dụng WebGIS trong quản lý tài nguyên rừng tại các tỉnh biên giới Tây Nguyên. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 62(3), 45–52.

10. PostGIS Development Team. (2023). PostGIS 3.3 Manual. Truy cập từ https://postgis.net/docs/manual-3.3/

11. Ủy ban nhân dân tỉnh Đắk Lắk. (2022). Kế hoạch phát triển kinh tế – xã hội tỉnh Đắk Lắk giai đoạn 2021–2025. Buôn Ma Thuột.

12. Việt, N. X., & Sơn, T. H. (2021). Xây dựng hệ thống giám sát lớp phủ rừng sử dụng dữ liệu Sentinel-2 và Google Earth Engine cho khu vực Tây Nguyên. Tạp chí Viễn thám và Địa tin học, 14(2), 12–24.

13. Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2014). Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. Remote Sensing of Environment, 144, 152–171. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.011.

ĐÁNH GIÁ CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG TỚI NHẬN THỨC VÀ HÀNH VI CỦA NGƯỜI DÂN TRONG PHÂN LOẠI CHẤT THẢI RẮN SINH HOẠT TẠI PHƯỜNG SƠN TÂY, THÀNH PHỐ HÀ NỘI

PHẠM THU HUYỀN[1], NGUYỄN TRUNG KIÊN[2], VŨ VĂN DOANH[2*]
[1]*Khoa Môi trường, Trường Đại học Hạ Long*
[2]*Khoa Môi trường, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội*

Tóm tắt
Phân loại chất thải rắn sinh hoạt (CTRSH) tại nguồn là yêu cầu cấp thiết trong bối cảnh gia tăng áp lực môi trường đô thị và thực hiện Luật Bảo vệ môi trường năm 2020. Nghiên cứu sử dụng phương pháp tổng hợp tài liệu, khảo sát xã hội học bằng bảng hỏi và phân tích thống kê nhằm đánh giá nhận thức và hành vi phân loại CTRSH của các hộ gia đình tại phường Sơn Tây, TP. Hà Nội, Kết quả cho thấy, đa số người dân nhận thức được lợi ích của phân loại rác, song tỷ lệ thực hiện thường xuyên còn hạn chế, tồn tại khoảng cách giữa nhận thức và hành vi. Các yếu tố như trình độ học vấn, thu nhập, mức độ quan tâm đến môi trường, công tác tuyên truyền và sự thuận tiện của hệ thống thu gom có ảnh hưởng đáng kể, trong đó yếu tố thuận tiện và sự tham gia cộng đồng tác động mạnh. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất một số giải pháp nhằm nâng cao nhận thức và cải thiện điều kiện thực hiện, góp phần nâng cao hiệu quả phân loại CTRSH tại địa phương.
Từ khóa: *Chất thải rắn sinh hoạt, phân loại rác tại nguồn, nhận thức và hành vi môi trường, yếu tố ảnh hưởng, phường Sơn Tây.*
Ngày nhận bài: *7/2/2026; Ngày sửa chữa: 18/2/2026; Ngày duyệt đăng: 29/3/2026.*

Assessment of factors influencing public awareness and behavior in household solid waste segregation in Son Tay ward, Hanoi City

Abstract
Source separation of municipal solid waste (MSW) is an urgent requirement amid increasing urban environmental pressures and the implementation of the 2020 Law on Environmental Protection. This study employs document synthesis, sociological surveys using questionnaires, and statistical analysis to assess household awareness and behavior regarding MSW separation in Sơn Tây Ward, Hanoi City. The results show that most residents are aware of the benefits of waste separation; however, the rate of regular practice remains limited, indicating a gap between awareness and behavior. Factors such as education level, income, level of concern for environmental issues, communication and awareness campaigns, and the convenience of the collection system have significant influences, among which convenience and community participation have the strongest impact. Based on these findings, the study proposes several solutions to enhance awareness and improve implementation conditions, thereby contributing to the effectiveness of MSW source separation in the locality.
Keywords: *Municipal solid waste, waste classification at source, environmental awareness and behavior, influencing factors, Son Tay Ward.*
JEL Classifications: *Q52, Q53, O13, O44.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

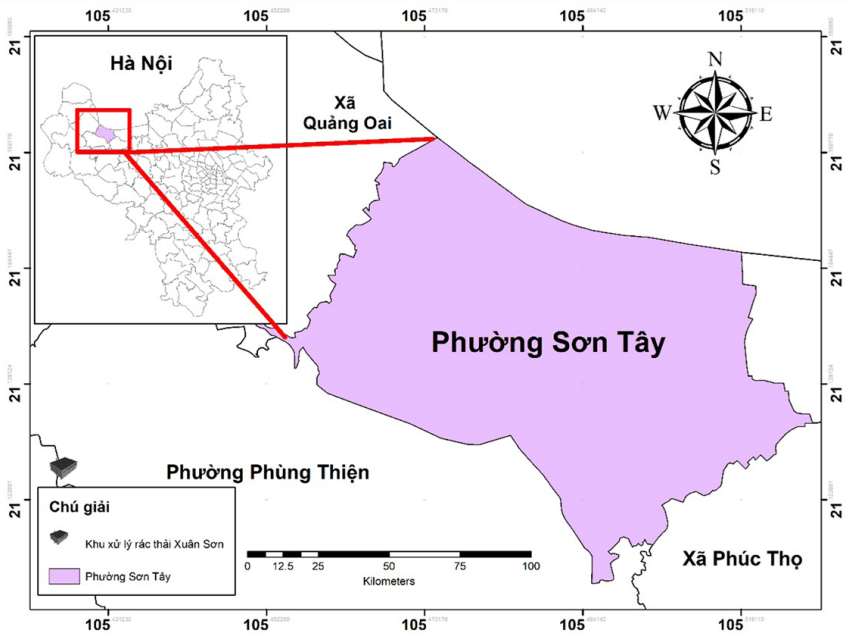
Quá trình đô thị hóa, gia tăng dân số và chuyển dịch cơ cấu kinh tế theo hướng công nghiệp - dịch vụ trong những năm gần đây đã làm phát sinh nhiều vấn đề môi trường, trong đó chất thải rắn sinh hoạt (CTRSH) là một trong những thách thức nổi bật tại các đô thị [1]. Sự gia tăng nhanh chóng về khối lượng và sự đa dạng của thành phần CTRSH không chỉ gây áp lực lên hệ thống thu gom, vận chuyển và xử lý mà còn làm gia tăng nguy cơ ô nhiễm đất, nước, không khí và phát thải khí nhà kính [2]. Theo Ngân hàng Thế giới, lượng chất thải rắn phát sinh tại Việt Nam đã tăng gấp đôi trong chưa đầy 15 năm và có thể đạt khoảng 54 triệu tấn vào năm 2030 nếu xu thế hiện nay tiếp tục [3].

Trong Chiến lược quốc gia về quản lý chất thải rắn, Việt Nam đặt mục tiêu đến năm 2025 bảo đảm thu gom, vận chuyển và xử lý 100% chất thải phát sinh ngoài hộ gia đình và đạt tỷ lệ 85% đối với chất thải từ các hộ gia đình tại khu vực đô thị [3]. Tuy nhiên, thực tiễn cho thấy, phương thức xử lý CTRSH tại nhiều địa phương vẫn chủ yếu dựa vào chôn lấp, trong khi tỷ lệ tái chế và tái sử dụng còn hạn chế, làm gia tăng áp lực lên hệ thống xử lý và môi trường đô thị.

Phân loại CTRSH tại nguồn là mắt xích quan trọng trong quản lý chất thải theo hướng kinh tế tuần hoàn, giúp giảm khối lượng chất thải cần xử lý, tăng hiệu quả tái chế và hạn chế ô nhiễm [1, 4]. Tuy nhiên, hiệu quả thực hiện không chỉ phụ thuộc vào hạ tầng kỹ thuật mà còn chịu tác động của các yếu tố hành vi – xã hội. Dù nhiều người dân nhận thức được lợi ích môi trường, việc thực hiện vẫn chưa ổn định, cho thấy khoảng cách giữa nhận thức và hành vi. Các yếu tố như đặc điểm nhân khẩu học, điều kiện kinh tế, tuyên truyền và sự thuận tiện của hệ thống thu gom có vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy hành vi phân loại rác [4, 5].

Phường Sơn Tây (Hà Nội) thuộc hệ thống quản lý CTRSH chung của Thủ đô. Mặc dù công tác thu gom cơ bản được duy trì và đã có thí điểm phân loại tại nguồn, việc triển khai vẫn còn hạn chế và chưa hình thành thói quen phổ biến của người dân. Trong bối cảnh Luật Bảo vệ môi trường năm 2020 quy định bắt buộc phân loại chất thải rắn sinh hoạt từ năm 2025, việc đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến nhận thức và hành vi phân loại rác của người dân tại địa phương trở nên cần thiết nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho công tác quản lý.

Xuất phát từ khoảng trống nghiên cứu và yêu cầu thực tiễn nêu trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm: (i) Đánh giá nhận thức của người dân phường Sơn Tây về phân loại rác thải sinh hoạt tại nguồn; (ii) Lựa chọn giải pháp tối ưu trên cơ sở ma trận; và (iii) Đề xuất giải pháp nâng cao nhận thức và hành vi phân loại rác dưới góc độ kinh tế – xã hội phù hợp với điều kiện địa phương. Kết quả nghiên cứu kỳ vọng sẽ góp phần nâng cao hiệu quả thực thi chính sách phân loại chất thải tại nguồn, tăng cường sự tham gia của cộng đồng và hướng tới mô hình quản lý CTRSH theo hướng bền vững và kinh tế tuần hoàn.



Hình 1. Sơ đồ khu vực nghiên cứu

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Giới thiệu địa bàn nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại phường Sơn Tây, TP. Hà Nội. Phường được hình thành trên cơ sở sáp nhập toàn bộ diện tích và dân số của các phường Phú Thịnh, Ngô Quyền, Viên Sơn, xã Đường Lâm; phần lớn diện tích và dân số của các phường Trung Hưng, Sơn Lộc; cùng một phần diện tích và dân số của xã Thanh Mỹ (thuộc thị xã Sơn Tây trước đây). Tên gọi Sơn Tây gắn với vùng văn hóa – lịch sử Xứ Đoài, một trong bốn trấn quan trọng ở phía Tây thành Thăng Long xưa. Về vị trí địa lý, phường Sơn Tây giáp phường Tùng Thiện và các xã Phúc Thọ, Quảng Oai, Phúc Lộc của thành phố Hà Nội (Hình 1). Khu vực nghiên cứu nằm trong hệ thống quản lý chất thải rắn sinh hoạt (CTRSH) chung của Thủ đô, nơi lượng chất thải phát sinh ở mức cao (5.515-7.500 tấn/ngày [6], phần lớn được vận chuyển đến Khu xử lý chất thải rắn Xuân Sơn và hiện vẫn chủ yếu được xử lý bằng phương pháp chôn lấp (Hình 1).

2.2. Phương pháp thu thập, tổng hợp tài liệu

Phương pháp thu thập và phân tích tài liệu thứ cấp được sử dụng nhằm xây dựng cơ sở lý luận và thực tiễn cho nghiên cứu về nhận thức, hành vi phân loại CTRSH và các yếu tố ảnh hưởng. Các nguồn tài liệu bao gồm sách, bài báo khoa học, báo cáo và văn bản quản lý của cơ quan Trung ương và địa phương liên quan đến phường Sơn Tây (Hà Nội). Tài liệu được tổng hợp, hệ thống hóa và kế thừa có chọn lọc để xây dựng khung nghiên cứu, xác định chỉ tiêu phân tích và làm cơ sở thiết kế công cụ khảo sát, bảo đảm tính khoa học và khách quan của nghiên cứu.

2.3. Phương pháp khảo sát xã hội học

a. Phương pháp điều tra bằng bảng hỏi

Phương pháp điều tra xã hội học được sử dụng nhằm thu thập dữ liệu

sơ cấp về mức độ nhận thức, thái độ và hành vi phân loại chất thải rắn sinh hoạt (CTRSH) của người dân tại phường Sơn Tây (Hà Nội). Trên cơ sở dữ liệu thu thập, nghiên cứu tiến hành phân tích và đo lường các yếu tố ảnh hưởng đến hành vi phân loại rác, bao gồm kiến thức, hoạt động truyền thông, điều kiện hạ tầng, mức độ thuận tiện và các yếu tố kinh tế - xã hội khác, nhằm kiểm định mô hình nghiên cứu và trả lời các câu hỏi đặt ra.

Bảng hỏi được thiết kế dựa trên cơ sở lý thuyết và mô hình KAP (Knowledge – Attitude – Practice), gồm các nhóm nội dung chính: (i) Thông tin nhân khẩu học của người trả lời; (ii) Kiến thức, thái độ và hành vi liên quan đến phân loại rác tại nguồn; (iii) Mức độ tác động của các yếu tố ảnh hưởng; (iv) đề xuất, nhu cầu của người dân đối với công tác phân loại CTRSH tại địa phương.

b. Mẫu nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng phương pháp điều tra ngẫu nhiên phân tầng, áp dụng công thức Slovin để xác định tổng số quan sát mẫu nhằm đảm bảo tính đại diện của nghiên cứu. Theo Slovin (1984), cỡ mẫu được xác định theo công thức sau [7]:

$$\iota = \frac{N}{1 + N * e^2}$$

Trong đó:

n: Quy mô mẫu mong muốn;

N: Quy mô tổng thể (N= 71.031 người);

e: Sai số cho phép. Ba tỷ lệ sai số thường sử dụng là: ±0.01 (1%), ±0.05 (5%), ±0.1 (10%), Trong số này, mức sai số ±0.05 (5%) được sử dụng rộng rãi nhất.

Căn cứ vào phạm vi nghiên cứu và mục tiêu tập trung vào phân tích thực trạng, nhận thức – hành vi và xu hướng tác động của các yếu tố ảnh hưởng, nghiên cứu lựa chọn quy mô khảo sát 62 phiếu. Quy mô này phù hợp với phương pháp phân tích thống kê mô tả được sử dụng, đồng thời đáp ứng yêu cầu đánh giá xu hướng chung và thảo luận kết quả trong khuôn khổ nghiên cứu.

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Dữ liệu khảo sát được kiểm tra, làm sạch và mã hóa trước khi nhập liệu và phân loại theo các nhóm biến nghiên cứu. Các chỉ tiêu thống kê mô tả như tần suất, tỷ lệ phần trăm, giá trị trung bình được tính toán và trình bày thông qua bảng biểu và đồ thị bằng các công cụ Microsoft Excel và Word. Trên cơ sở đó, các biểu đồ phù hợp (biểu đồ cột, tròn, đường) được xây dựng nhằm minh họa xu hướng, so sánh giữa các nhóm đối tượng và hỗ trợ quá trình phân tích, thảo luận kết quả nghiên cứu.

2.5. Phương pháp lựa chọn giải pháp theo ma trận

Trên cơ sở kết quả phân tích thực trạng và các yếu tố ảnh hưởng, nghiên cứu xây dựng danh mục các giải pháp tiềm năng. Các giải pháp được đánh giá theo hệ thống tiêu chí xác định trước, bao gồm: tính khả thi, chi phí thực hiện, hiệu quả tác động, mức độ chấp nhận của cộng đồng và khả năng duy trì lâu dài.

Mỗi giải pháp sẽ được chấm điểm theo từng tiêu chí (Sij), sau đó được nhân với trọng số của tiêu chí tương ứng (Wj) nhằm phản ánh tầm quan trọng của từng tiêu chí trong bối cảnh nghiên cứu. Tổng điểm của từng giải pháp (Vi) được tính theo công thức [8]:

$$V_i = \sum_{j=1}^{n} (S_{ij} * W_j)$$

Trong đó

V_i: : Điểm tổng hợp của giải pháp i

S_{ij}: Điểm số của giải pháp i theo tiêu chí j

W_j : Trọng số của tiêu chí j

Điểm tổng hợp Vi cho phép so sánh mức độ ưu tiên giữa các giải pháp. Giải pháp có điểm số tổng hợp cao nhất được xem là phù hợp nhất và được ưu tiên đề xuất trong phần kiến nghị của khóa luận.

Việc chấm điểm dựa trên kết quả phân tích dữ liệu

Bảng 1. Cơ sở chấm điểm lựa chọn giải pháp

STT	Giải pháp	Nội dung
1	GP1	Hỗ trợ hướng dẫn và trang thiết bị được chấm điểm rất cao về tính cấp thiết và tính hiệu quả (5 điểm) do trực tiếp giải quyết rào cản lớn nhất mà người dân đang gặp phải; mức khả thi và sự chấp nhận cũng ở mức cao nhờ tính đơn giản và dễ triển khai ở quy mô phường. Chi phí ở mức trung bình
2	GP2	Minh bạch hóa quy trình thu gom đạt điểm cao về hiệu quả và sự chấp nhận, phản ánh vai trò then chốt của việc khắc phục "khoảng trống niềm tin"; tuy nhiên tính khả thi thấp hơn do phụ thuộc vào sự phối hợp giữa nhiều bên liên quan
3	GP3	Tăng cường truyền thông và giáo dục có lợi thế nổi bật về tính khả thi và chi phí hợp lý, nhưng mức độ cấp thiết và hiệu quả được đánh giá thấp hơn so với các giải pháp can thiệp trực tiếp vào hành vi.
4	GP4	Khuyến khích kinh tế được cộng đồng đón nhận tích cực, thể hiện qua điểm cao về sự chấp nhận, song hạn chế về chi phí và mức độ ưu tiên ngắn hạn khiến điểm tổng hợp thấp hơn

Bảng 2. Tỷ lệ % phân loại đối tượng khảo sát

Nội dung	Tỷ lệ %	Nội dung	Tỷ lệ %
Tỷ lệ % độ tuổi tham gia khảo sát		Tỷ lệ % trình độ học vấn	
Dưới 25	46,8	Sau Đại học	53,2
25-40	29,0	Cao đẳng/Trung cấp	12,9
41-60	16,1	Trung học phổ thông	32,3
Trên 60	8,1	Trung học cơ sở	1,6
Tỷ lệ % giới tính		Tỷ lệ % cơ cấu nghề nghiệp	
Nam	50,0	Công nhân	14,5
Nữ	50,0	Học sinh/sinh viên	37,1
-	-	Lao động tự do	16,1
-	-	Nghỉ hưu	9,7
-	-	Khác	22.6

điều tra xã hội học, mức độ phù hợp với điều kiện thực tế tại phường Sơn Tây và khả năng tác động đến hành vi phân loại rác của người dân.

Cơ sở chấm điểm lựa chọn giải pháp được thể hiện chi tiết trong Bảng 1.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đánh giá nhận thức của người dân phường Sơn Tây về phân loại rác thải sinh hoạt tại nguồn

Thông tin chung về đối tượng khảo sát

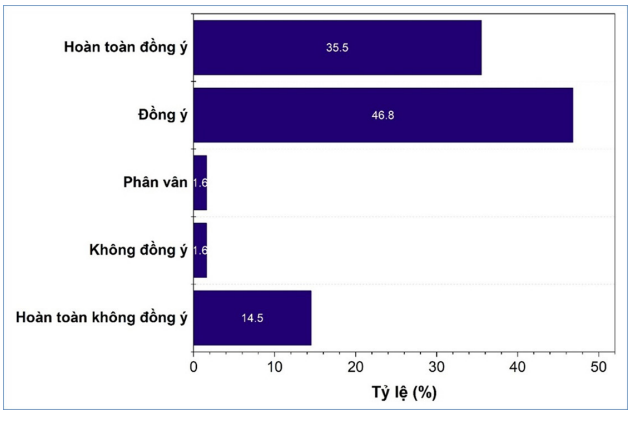
Kết quả tổng hợp phiếu khảo sát cho thấy mẫu nghiên cứu bao gồm các đối tượng thuộc nhiều nhóm tuổi, giới tính và trình độ học vấn khác nhau, qua đó bảo đảm tính đa dạng và khả năng đại diện tương đối cho đặc điểm dân cư tại phường Sơn Tây (Hà Nội). Cơ cấu mẫu điều tra được trình bày chi tiết trong Bảng 2.

Kết quả khảo sát cho thấy cơ cấu độ tuổi của mẫu nghiên cứu phân bố không đồng đều, trong đó nhóm dưới 25 tuổi chiếm tỷ lệ cao nhất (46,8%), tiếp đến là nhóm 25-40 tuổi (29%), nhóm 41-60 tuổi (16,1%) và nhóm trên 60 tuổi chiếm tỷ lệ thấp nhất (8,1%). Cơ cấu này phản ánh xu hướng tập trung vào nhóm dân cư trẻ và trong độ tuổi lao động – nhóm có khả năng tiếp cận thông tin và thay đổi hành vi môi trường cao – đồng thời vẫn đảm bảo sự tham gia của nhóm trung niên và cao tuổi để phục vụ so sánh giữa các nhóm tuổi.

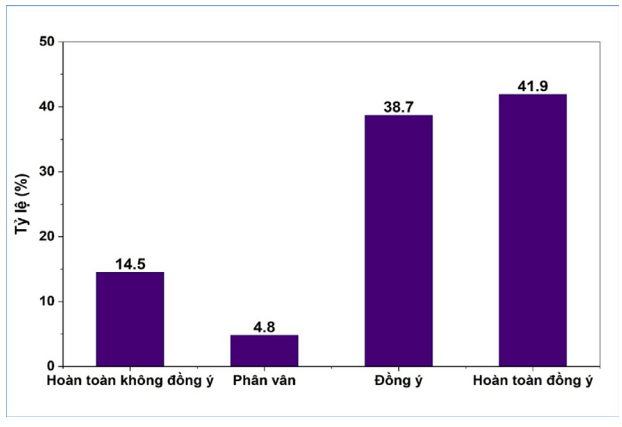
Về giới tính, mẫu khảo sát có sự phân bố cân bằng giữa nam và nữ (mỗi nhóm chiếm 50%), góp phần hạn chế sai lệch giới và tăng tính đại diện khi phân tích sự khác biệt về nhận thức và hành vi phân loại chất thải rắn sinh hoạt.

Xét theo trình độ học vấn, đối tượng khảo sát chủ yếu có trình độ Đại học trở lên (53,2%) và Trung học phổ thông (32,3%), trong khi trình độ Trung học cơ sở chiếm 1,6% và không có đối tượng ở trình độ Tiểu học. Mặt bằng học vấn tương đối cao là điều kiện thuận lợi cho việc tiếp cận thông tin và triển khai các hoạt động tuyên truyền phân loại rác tại nguồn.

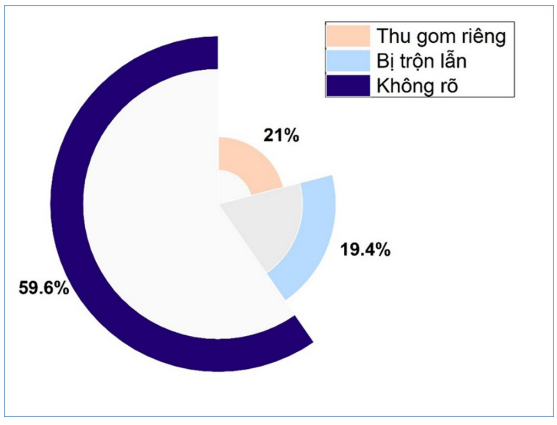
Cơ cấu nghề nghiệp tương đối đa dạng, trong đó học sinh – sinh viên chiếm tỷ lệ cao nhất (37,1%), tiếp đến là lao động tự do (16,1%), công nhân (14,5%) và người nghỉ hưu (9,7%). Các nhóm nghề nghiệp khác như kinh doanh/dịch vụ, công chức/viên chức và một



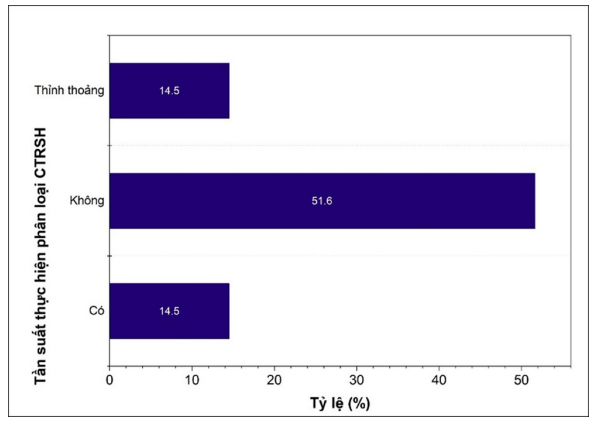
Hình 2. Mức độ đồng thuận của người dân về sự cần thiết của phân loại CTRSH tại nguồn



Hình 3. Mức độ đồng thuận của người dân về nhận định "Phân loại rác giúp giảm ô nhiễm môi trường khu dân cư"



Hình 4. Nhận thức của hộ gia đình về quy trình thu gom sau phân loại CTRSH



Hình 5. Tần suất thực hiện phân loại CTRSH tại nguồn

số ngành nghề khác tuy chiếm tỷ lệ nhỏ nhưng góp phần hoàn thiện tính đại diện của mẫu. Nhìn chung, cơ cấu mẫu khảo sát phù hợp với đặc điểm kinh tế – xã hội của phường Sơn Tây (Hà Nội), tạo cơ sở cho việc phân tích sự khác biệt về nhận thức và hành vi phân loại chất thải rắn sinh hoạt giữa các nhóm đối tượng.

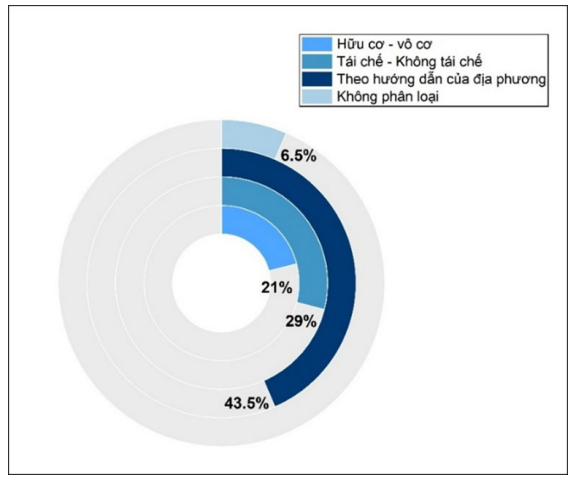
Về nhận thức

Kết quả phân tích 62 phiếu khảo sát cho thấy, mức độ nhận thức của người dân phường Sơn Tây (Hà Nội) về sự cần thiết của việc phân loại chất thải rắn sinh hoạt (CTRSH) tại nguồn ở mức tương đối cao. Cụ thể, 46,8% số người được hỏi đồng ý và 35,5% hoàn toàn đồng ý với nhận định rằng phân loại CTRSH là cần thiết, tương ứng tổng cộng 82,3% thể hiện thái độ tích cực. Kết quả này phản ánh nhận thức chung của cộng đồng đã có sự chuyển biến theo hướng ủng hộ các hoạt động quản lý chất thải bền vững. Tuy nhiên, vẫn tồn tại một bộ phận chưa đồng thuận, với 3,2% thể hiện quan điểm phân vân hoặc không đồng ý và 14,5% hoàn toàn không đồng ý với nhận định trên (Hình 2). Điều này cho thấy nhận thức chưa thực sự đồng đều trong cộng đồng dân cư, đồng thời gợi mở khả năng tồn tại những khác biệt liên quan đến đặc điểm nhân khẩu học, trình độ học vấn, nghề nghiệp và mức độ tiếp cận thông tin môi trường. Đây có thể là một trong những nguyên nhân tạo ra hành vi và thói quen phân loại CTRSH khác nhau tại các hộ gia đình.

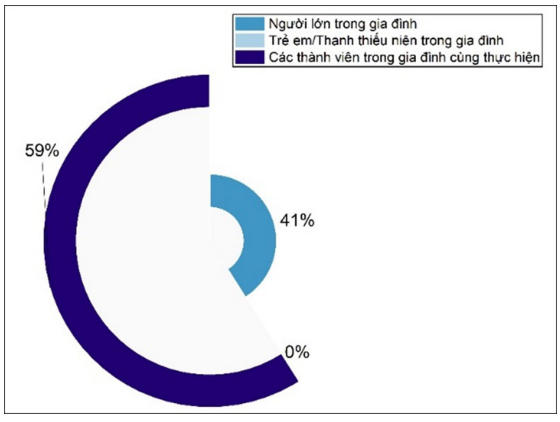
Kết quả khảo sát cho thấy phần lớn người dân có nhận thức tích cực về vai trò của phân loại rác trong việc giảm ô nhiễm môi trường khu dân cư. Cụ thể, 41,9% số người được hỏi hoàn toàn đồng ý và 38,7% đồng ý với nhận định rằng phân loại rác sinh hoạt góp phần cải thiện môi trường sống. Như vậy, tổng cộng 80,6% người tham gia khảo sát thể hiện sự đồng thuận, cho thấy đa số người dân đã nhận thức được ý nghĩa của hoạt động phân loại rác đối với bảo vệ môi trường (Hình 3).

Tuy nhiên, vẫn còn một bộ phận người dân chưa thực sự nhận thức đầy đủ về lợi ích của việc phân loại rác. Tỷ lệ 14,5% hoàn toàn không đồng ý và 4,8% còn phân vân cho thấy một số người chưa thấy rõ mối liên hệ giữa hoạt động phân loại rác tại hộ gia đình và hiệu quả cải thiện môi trường khu dân cư (Hình 3). Sự hạn chế trong nhận thức này có thể ảnh hưởng trực tiếp đến mức độ tham gia và tính thường xuyên của hành vi phân loại rác trong thực tế. Do đó, mặc dù nhận thức chung của cộng đồng đã có chuyển biến tích cực, nhưng sự thiếu đồng đều về hiểu biết vẫn là một trong những nguyên nhân làm cho việc thực hiện phân loại rác tại nguồn chưa được duy trì ổn định và rộng rãi.

Về nhận thức đối với quy trình thu gom sau phân loại, kết quả khảo sát cho thấy vẫn tồn tại khoảng cách đáng kể giữa thông tin quản lý và mức độ hiểu biết của người dân tại phường Sơn Tây (Hà Nội). Cụ thể, 59,7% người được hỏi cho biết không nắm rõ rác sau khi phân loại sẽ được thu gom và xử lý theo quy trình như thế nào. Bên cạnh đó, 19,4% cho rằng rác



Hình 6. Hình thức phân loại CTRSH tại hộ gia đình



Hình 7. Cơ cấu người chịu trách nhiệm chính trong việc phân loại CTRSH tại hộ gia đình

dù đã được phân loại tại nguồn nhưng vẫn bị trộn lẫn trong quá trình thu gom. Chỉ 21% số người trả lời nhận thức rằng rác được thu gom riêng theo từng nhóm (Hình 4). Kết quả này phản ánh mức độ quan tâm và hiểu biết của người dân về khâu thu gom, vận chuyển chất thải rắn sinh hoạt (CTRSH) còn hạn chế, đồng thời cho thấy công tác truyền thông về quy trình hậu phân loại chưa thực sự hiệu quả. Đây có thể là yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến niềm tin và động lực duy trì hành vi phân loại rác tại nguồn trong cộng đồng.

Về hành vi

Về tần suất thực hiện phân loại rác sinh hoạt, kết quả khảo sát cho thấy hơn một nửa số người được hỏi không thực hiện phân loại rác tại nguồn, phản ánh mức độ triển khai còn hạn chế và chưa phổ biến. Có 33,9% số hộ cho biết chỉ thỉnh thoảng thực hiện, cho thấy hành vi phân loại còn mang tính tự phát, thiếu ổn định và phụ thuộc vào điều kiện cụ thể của từng hộ gia đình. Đáng chú ý, tỷ lệ hộ gia đình thường xuyên phân loại rác chỉ đạt 14,5%, tương đối thấp so với tổng mẫu khảo sát (Hình 5). Kết quả này cho thấy khoảng cách đáng kể giữa nhận thức và hành vi thực tế, đồng thời đặt ra yêu cầu tăng cường các giải pháp thúc đẩy duy trì thói quen phân loại rác tại nguồn trong cộng đồng.

Về hình thức phân loại rác thải, kết quả khảo sát cho thấy người dân áp dụng nhiều cách thức khác nhau, song đều theo hướng tách dòng chất thải. Hình thức "theo hướng dẫn của địa phương" chiếm tỷ lệ cao nhất (43,5%), phản ánh mức độ tuân thủ nhất định đối với quy định quản lý. Khoảng 29% số hộ phân loại theo nhóm "tái chế – không tái chế", cho thấy động lực tận dụng tài nguyên vẫn giữ vai trò đáng kể. Nhóm phân loại "hữu cơ – vô cơ" chiếm 21%, thể hiện nhận thức bước đầu về giảm tải chất thải và tái sử dụng tại hộ gia đình. Tỷ lệ không phân loại hoặc áp dụng hình thức khác chỉ khoảng 6,5% (Hình 6). Nhìn chung, thói quen phân loại rác đã hình thành ở mức độ nhất định, tuy nhiên cách thức thực hiện còn thiếu sự thống nhất và đồng bộ.

Về trách nhiệm thực hiện phân loại rác trong hộ gia đình, kết quả khảo sát cho thấy xu hướng chia sẻ tương đối rõ rệt. Có 50,8% số người trả lời cho biết việc phân loại rác được thực hiện bởi các thành viên cùng tham gia, cho thấy hoạt động này bước đầu trở thành thói quen chung trong sinh hoạt gia đình. Bên cạnh đó, 41% cho biết người lớn trong gia đình đảm nhiệm chính, phản ánh vai trò chủ đạo của nhóm trưởng thành trong thực hiện hành vi môi trường. Tỷ lệ cá nhân tự thực hiện riêng lẻ chỉ chiếm 8,2% (Hình 7). Đáng chú ý, sự tham gia của trẻ em và thanh thiếu niên hầu như không đáng kể, cho thấy việc lồng ghép giáo dục và hình thành thói quen phân loại rác cho thế hệ trẻ trong gia đình còn hạn chế.

3.2. Lựa chọn giải pháp tối ưu trên cơ sở ma trận

Nghiên cứu sử dụng phương pháp ma trận định lượng nhằm lựa chọn các giải pháp thúc đẩy phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại nguồn dựa trên cơ sở khoa học và thực tiễn địa phương. Việc xây dựng ma trận được thực hiện dựa trên kết quả khảo sát nhận thức và hành vi của người dân phường Sơn Tây, đồng thời gắn với mục tiêu thay đổi hành vi phân loại rác theo hướng bền vững.

Bảng 3. Ma trận chấm điểm và xếp hạng các giải pháp đề xuất

Tiêu chí (j)	Trọng số (Wj)	GP1: Hỗ trợ hướng dẫn & Thiết bị	GP2: Minh bạch quy trình thu gom	GP3: Truyền thông & Giáo dục	GP4: Khuyến khích kinh tế
Tính cấp thiết	0.25	5	4	3	3
Tính hiệu quả	0.25	5	5	4	4
Tính khả thi	0.20	4	3	5	3
Sự chấp nhận	0.20	4	5	4	5
Chi phí (thấp=5)	0.10	3	4	4	2
TỔNG ĐIỂM	**1.00**	**4.35**	**4.25**	**4.00**	**3.55**

Trên cơ sở đó, nghiên cứu xác định 05 tiêu chí đánh giá gồm: Tính cấp thiết (25%), tính hiệu quả (25%), tính khả thi (20%), sự chấp nhận của cộng đồng (20%) và chi phí thực hiện (10%). Các tiêu chí này phản ánh mức độ quan trọng của từng yếu tố trong quá trình lựa chọn giải pháp, trong đó ưu tiên những giải pháp vừa giải quyết được các rào cản hiện hữu vừa tạo tác động thực chất đến hành vi phân loại rác của người dân.

Kết quả tổng hợp từ ma trận cho thấy GP1 đạt 4,35 điểm, được xác định là giải pháp tối ưu; tiếp theo là GP2 (4,25 điểm) và GP3 (4,00 điểm). Đây là cơ sở khoa học để xác định thứ tự ưu tiên và định hướng triển khai các giải pháp trong quản lý chất thải rắn sinh hoạt tại phường Sơn Tây (Bảng 3).

Kết quả phân tích cho thấy giải pháp hỗ trợ hướng dẫn kỹ thuật và trang thiết bị phân loại (GP1) có mức ưu tiên cao nhất do trực tiếp giải quyết các rào cản thực tiễn như thiếu hướng dẫn và dụng cụ phân loại, qua đó giúp chuyển hóa nhận thức tích cực của người dân thành hành vi cụ thể. Giải pháp minh bạch hóa quy trình thu gom (GP2) xếp thứ hai, phản ánh nhu cầu củng cố niềm tin của cộng đồng đối với hệ thống thu gom và xử lý rác sau phân loại, mặc dù việc triển khai còn phụ thuộc vào điều kiện hạ tầng và tổ chức thực hiện. Giải pháp tăng cường truyền thông (GP3) có ưu thế về tính khả thi và chi phí thấp, song chủ yếu đóng vai trò hỗ trợ và thúc đẩy hiệu quả của các giải pháp trọng tâm. Trong khi đó, giải pháp khuyến khích kinh tế (GP4) có mức ưu tiên thấp hơn do yêu cầu nguồn lực tài chính lớn, nên phù hợp với định hướng triển khai dài hạn hoặc thí điểm khi có điều kiện.

Tổng thể, kết quả ma trận cho thấy việc ưu tiên triển khai GP1 kết hợp với truyền thông (GP3) và từng bước hoàn thiện quy trình thu gom (GP2) là hướng tiếp cận phù hợp nhằm nâng cao hiệu quả thực hiện phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại nguồn ở phường Sơn Tây

3.3. Đề xuất giải pháp nâng cao nhận thức và hành vi phân loại rác dưới góc độ kinh tế - xã hội

Dựa trên kết quả phân tích ma trận lựa chọn giải pháp, các giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả phân loại chất thải rắn sinh hoạt (CTRSH) tại nguồn ở phường Sơn Tây cần được triển khai theo hướng kết hợp giữa can thiệp trực tiếp vào hành vi của người dân và hoàn thiện hệ thống quản lý.

GP1 – Hỗ trợ hướng dẫn kỹ thuật và trang thiết bị phân loại

Đây là giải pháp có mức ưu tiên cao nhất vì trực tiếp giải quyết những rào cản thực tiễn mà người dân đang gặp phải, đặc biệt là tình trạng thiếu hướng dẫn cụ thể và thiếu dụng cụ phân loại. Chính quyền địa phương cần xây dựng bộ hướng dẫn phân loại rác đơn giản, dễ hiểu, sử dụng hình ảnh minh họa rõ ràng về các nhóm chất thải như rác hữu cơ, rác tái chế và rác còn lại. Tài liệu hướng dẫn có thể được phát trực tiếp đến từng hộ gia đình, đồng thời phổ biến thông qua các buổi sinh hoạt tổ dân phố hoặc hệ thống truyền thanh cơ sở. Bên cạnh đó, cần hỗ trợ trang thiết bị phân loại như thùng rác hoặc túi rác có màu sắc khác nhau để giúp người dân dễ dàng thực hiện. Để nâng cao hiệu quả, có thể triển khai mô hình điểm tại một số tổ dân phố, trong đó các hộ gia đình được hướng dẫn trực tiếp và theo dõi quá trình thực hiện trong giai đoạn đầu. Việc xây dựng các mô hình mẫu sẽ tạo hiệu ứng lan tỏa trong cộng đồng và giúp người dân hình thành thói quen phân loại rác tại nguồn.

GP2 - Minh bạch hóa quy trình thu gom và xử lý sau phân loại

Mặc dù được đánh giá cao về hiệu quả và mức độ chấp nhận của cộng đồng, giải pháp này còn hạn chế về tính khả thi do phụ thuộc vào sự phối hợp giữa nhiều bên liên quan như chính quyền địa phương, đơn vị thu gom và cơ sở xử lý chất thải. Để khắc phục hạn chế này, cần thiết lập cơ chế phối hợp rõ ràng giữa các đơn vị trong hệ thống quản lý CTRSH. Cụ thể, chính quyền phường cần công khai lịch thu gom riêng cho từng loại rác đã được phân loại, đồng thời thông tin rõ ràng về địa điểm tập kết và quy trình xử lý sau thu gom. Các thông tin này có thể được công bố thông qua bảng thông báo tại khu dân cư, hệ thống loa truyền thanh hoặc các nhóm thông tin cộng đồng trên mạng xã hội. Ngoài ra, việc xây dựng cơ chế phản hồi và giám sát của cộng đồng cũng rất quan trọng. Người dân cần được tạo điều kiện phản ánh nếu rác sau khi phân loại bị thu gom chung hoặc xử lý không đúng quy trình. Điều này sẽ góp phần tăng tính minh bạch, củng cố niềm tin của người dân đối với hệ thống thu gom và khuyến khích họ duy trì hành vi phân loại rác.

GP3 - Tăng cường truyền thông và giáo dục môi trường

Giải pháp truyền thông có lợi thế về tính khả thi và chi phí thấp, tuy nhiên hiệu quả được đánh giá chưa cao nếu chỉ dừng lại ở việc nâng cao nhận thức chung. Vì vậy, để khắc phục hạn chế này, nội dung truyền thông cần được thiết kế theo hướng thay đổi hành vi, gắn trực tiếp với các hoạt động thực tiễn. Các chương trình truyền thông nên tập trung vào hướng dẫn cụ thể cách phân loại rác tại hộ gia đình, đồng thời làm rõ lợi ích thiết thực của việc phân loại đối với môi trường và cộng đồng địa phương. Hoạt động truyền thông có thể được triển khai thông qua nhiều hình thức như tập huấn cộng đồng, hội nghị tổ dân phố, các chương trình

giáo dục môi trường tại trường học hoặc chiến dịch truyền thông tại khu dân cư. Ngoài ra, việc lồng ghép truyền thông với các mô hình thực hành tốt hoặc các phong trào thi đua "Khu dân cư Xanh - Sạch - Đẹp" sẽ giúp nâng cao sự tham gia của người dân và tăng tính lan tỏa trong cộng đồng.

GP4 - Khuyến khích kinh tế trong phân loại rác

Giải pháp khuyến khích kinh tế được cộng đồng đón nhận tích cực, tuy nhiên, chi phí triển khai và mức độ ưu tiên ngắn hạn còn hạn chế. Để nâng cao tính khả thi, giải pháp này nên được triển khai theo hướng thí điểm hoặc áp dụng ở quy mô nhỏ trước khi nhân rộng. Một số cơ chế khuyến khích có thể áp dụng như giảm phí thu gom đối với hộ gia đình thực hiện phân loại tốt, tổ chức các chương trình đổi rác tái chế lấy quà hoặc thiết lập các điểm thu gom rác tái chế tại khu dân cư. Bên cạnh đó, chính quyền địa phương có thể phối hợp với doanh nghiệp tái chế, các tổ chức xã hội hoặc các nhóm tình nguyện để huy động thêm nguồn lực và giảm gánh nặng tài chính cho ngân sách địa phương. Khi các mô hình thí điểm cho thấy hiệu quả tích cực, có thể xem xét mở rộng phạm vi áp dụng và tích hợp vào chính sách quản lý CTRSH lâu dài.

Tổng thể, kết quả phân tích ma trận cho thấy chiến lược phù hợp là ưu tiên triển khai GP1 như giải pháp trọng tâm, đồng thời tăng cường truyền thông và giáo dục (GP3) để hỗ trợ thay đổi hành vi, từng bước minh bạch hóa quy trình thu gom (GP2) nhằm củng cố niềm tin của cộng đồng, và thí điểm các cơ chế khuyến khích kinh tế (GP4) khi có điều kiện về nguồn lực. Việc kết hợp các giải pháp này sẽ tạo ra hệ thống can thiệp đồng bộ, vừa giải quyết các rào cản thực tiễn vừa thúc đẩy sự tham gia của cộng đồng, qua đó nâng cao hiệu quả phân loại CTRSH tại nguồn ở phường Sơn Tây.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu vận dụng khung lý thuyết KAP (Kiến thức - Thái độ - Thực hành), kết hợp điều tra xã hội học và phân tích ma trận định lượng để đánh giá thực trạng nhận thức và hành vi của người dân về phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại nguồn tại phường Sơn Tây, thành phố Hà Nội. Kết quả cho thấy, đa số người dân nhận thức được tầm quan trọng và lợi ích môi trường của việc phân loại rác, tuy nhiên, mức độ thực hiện thường xuyên còn hạn chế, phản ánh khoảng cách giữa nhận thức và hành vi. Phân tích ma trận lựa chọn giải pháp chỉ ra rằng hỗ trợ hướng dẫn kỹ thuật và trang thiết bị phân loại là giải pháp ưu tiên cao nhất do trực tiếp tháo gỡ rào cản thực hiện; bên cạnh đó, minh bạch quy trình thu gom, tăng cường truyền thông – giáo dục và áp dụng cơ chế khuyến khích kinh tế đóng vai trò giải pháp bổ trợ. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất hệ thống giải pháp theo thứ tự ưu tiên gồm: hỗ trợ kỹ thuật và trang thiết bị, tăng cường truyền thông thay đổi hành vi, minh bạch hóa quy trình thu gom - xử lý sau phân loại và từng bước thí điểm cơ chế khuyến khích kinh tế. Kết quả nghiên cứu góp phần cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc triển khai chính sách phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại nguồn, tăng cường sự tham gia của cộng đồng và hướng tới quản lý chất thải theo định hướng bền vững và kinh tế tuần hoàn■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Đức Toàn, Trần Quang Trung, Nguyễn Thị Vân Anh (2024), "Nghiên cứu, ứng dụng mô hình phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại trường học và hộ gia đình phường Vĩnh Trại, thành phố Lạng Sơn", Tạp chí Khí tượng thủy văn, (767) pp.

2. Obid Tursunov, Islom Karimov, Katarzyna Śpiewak, Xun Hu, Yuguang Zhou, Alexander Kustov, Umi Fazara Md Ali, Roman Uvarov (2024), "Comprehensive study on social, compositional and thermal aspects of household solid waste for waste-to-energy potential estimation in Tashkent city", Energy Reports, (12) pp.430-441

3. Nguyễn Thị Nhâm Tuất (2020), "Đánh giá hiện trạng và đề xuất giải pháp quản lý chất thải rắn sinh hoạt trên địa bàn tỉnh Bắc Ninh", TNU Journal of Science Technology, (225) pp.355-361

4. Chương Phạm Hồng, Thanh Le Ha, Cương Vũ, Trang Vũ Thu (2024), "Các yếu tố ảnh hưởng đến hành vi phân loại rác sinh hoạt tại hộ gia đình ở thành phố Tuy Hòa, tỉnh Phú Yên: tiếp cận từ lý thuyết hành vi có kế hoạch", Tạp chí Kinh tế và Phát triển, (326) pp.2-11

5. Ashutosh Deshpande, Vasanth Ramanathan, Karthigaiselvan Babu, A Deshpande, V Ramanathan, K Babu (2024), "Assessing the socio-economic factors affecting household waste generation and recycling behavior in Chennai: A survey-based study", International Journal of Science Research Archive, (11) pp.750-758

6. "Thực trạng phân loại, thu gom, vận chuyển chất thải rắn sinh hoạt." Accessed: Dec. 29, 2025. [Online]. Available: https://congnghiepmoitruong.vn/thuc-trang-phan-loai-thu-gom-van-chuyen-chat-thai-ran-sinh-hoat-7167.html", pp.

7. Jules Joskow, Statistics, an Introductory Analysis, (1965).

8. Evangelos Triantaphyllou, Multi-criteria decision making methods, Multi-criteria decision making methods: A comparative study, Springer2000, pp. 5-21.

ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG MÔI TRƯỜNG KHÔNG KHÍ KHU VỰC BÃI CHÔN LẤP CHẤT THẢI RẮN HUYỆN ĐÀ BẮC, TỈNH HÒA BÌNH BẰNG PHƯƠNG PHÁP CHỈ SỐ RAPI

BÙI NGỌC MINH[1], PHẠM THỊ VIỆT ANH[2*]
[1]Viện Các Khoa học Trái đất, Viện Hàn Lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
[2]Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Tóm tắt
Các bãi chôn lấp chất thải rắn quy mô cấp huyện tại Việt Nam thường sử dụng công nghệ chôn lấp đơn giản, thiếu hệ thống xử lý khí thải, tiềm ẩn nguy cơ ô nhiễm không khí và ảnh hưởng đến sức khỏe cộng đồng. Nghiên cứu này đánh giá chất lượng môi trường không khí khu vực bãi chôn lấp chất thải rắn huyện Đà Bắc, tỉnh Hòa Bình bằng chỉ số ô nhiễm không khí tương đối RAPI, nhằm làm rõ mức độ ô nhiễm và xu thế biến đổi theo thời gian. Số liệu quan trắc các thông số TSP, NH_3 và H_2S được thu thập tại 10 vị trí trong và xung quanh bãi chôn lấp vào tháng 11/2020 và tại 9 vị trí vào tháng 11/2022, kết hợp với điều tra xã hội học đối với cộng đồng dân cư lân cận. Kết quả cho thấy, năm 2020 chất lượng không khí tại tất cả các vị trí khảo sát đều ở mức ô nhiễm nghiêm trọng, trong đó H_2S là thông số chi phối. Đến năm 2022, sau khi bãi chôn lấp bổ sung công nghệ đốt rác sinh hoạt, nồng độ các chất ô nhiễm giảm rõ rệt; chất lượng không khí được cải thiện lên mức tốt tại 7/9 vị trí, trung bình tại 1 vị trí và chỉ còn 1 vị trí ở mức ô nhiễm nghiêm trọng theo thang đánh giá RAPI. Kết quả nghiên cứu chứng minh tính hiệu quả của chỉ số RAPI trong đánh giá tổng hợp chất lượng không khí khu vực bãi chôn lấp và có thể áp dụng làm công cụ hỗ trợ quản lý, giám sát môi trường và cảnh báo rủi ro sức khỏe cho cộng đồng tại các bãi rác quy mô tương tự.
Từ khóa: *Chất lượng không khí, bãi chôn lấp chất thải rắn, chỉ số RAPI, H_2S, Đà Bắc.*
Ngày nhận bài: *26/2/2026****; Ngày sửa chữa:*** *9/3/2026****; Ngày duyệt đăng:*** *23/3/2026.*

Assessment of air quality in the solid waste landfill area of da bac district, Hoa Binh province using the rapi index

Abstract
Municipal solid waste landfills at the district level in Vietnam commonly apply simple landfilling technologies and lack gas collection and treatment systems, posing potential risks of air pollution and adverse impacts on public health. This study assesses ambient air quality in the vicinity of the Da Bac district municipal solid waste landfill, Hoa Binh province, using the Relative Air Pollution Index (RAPI) in order to clarify pollution levels and temporal variation trends. Monitoring data for TSP, NH_3, and H_2S were collected at 10 locations within and surrounding the landfill area in November 2020 and at 9 locations in November 2022, in combination with a sociological survey of the neighboring residential communities. The results indicate that in 2020, air quality at all monitoring sites was classified as severely polluted, with H_2S identified as the dominant contributing parameter. By 2022, following the introduction of municipal solid waste incineration technology at the landfill, concentrations of air pollutants decreased markedly; air quality improved to a good level at 7 out of 9 sites, to a moderate level at 1 site, and only 1 site remained at a severely polluted level. The findings demonstrate the effectiveness of the RAPI index in the integrated assessment of air quality in landfill areas and suggest its applicability as a supporting tool for environmental management, monitoring, and community health risk warning for landfills of similar scale
Keywords: *Air quality, solid waste landfill, RAPI, H_2S, Da Bac.*
JEL Classifications: *Q51, Q52, Q53, Q55, Q58.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

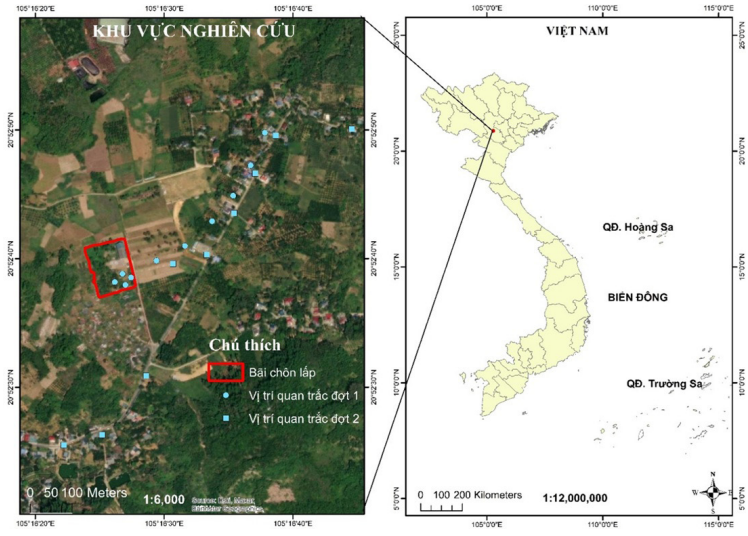
Chất lượng môi trường không khí xung quanh các bãi chôn lấp (BCL) chất thải rắn là một trong những vấn đề môi trường được quan tâm trên thế giới và tại Việt Nam do nguy cơ phát thải bụi, khí độc hại, khí nhà kính và mùi hôi ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe cộng đồng và hệ sinh thái xung quanh. Nhiều nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra rằng hoạt động chôn lấp chất thải rắn (CTR) có thể làm gia tăng nồng độ bụi, các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC), khí CH_4, H_2S, NH_3…, đồng thời chịu

ảnh hưởng đáng kể của các yếu tố vi khí hậu như hướng gió, nhiệt độ và điều kiện địa hình (Conte và cs. 2018; Njoku và cs. 2019; Pekdogan và cs. 2024). Đánh giá chất lượng không khí (CLKK) được thực hiện bằng các phương pháp như quan trắc truyền thống và khảo sát thực địa (Hossain và cs. 2019; Pop và cs. 2022; Gumede và Gumede, 2025). Bên cạnh đó, những hướng tiếp cận mới như ứng dụng công nghệ IoT, máy bay không người lái, vệ tinh, mô hình hóa lan truyền, đã được triển khai nhằm làm rõ mối liên hệ giữa phát thải từ BCL và tác động đến môi trường không khí cũng như đời sống người dân (Kishore và cs. 2019; Bihałowicz và cs. 2021; Kannankai và Devipriya, 2024; Balasus và cs. 2024; Wang và cs. 2025; Ferrari và cs. 2025; Citrasari và cs. 2025). Các nghiên cứu này cũng cho thấy, tác động của BCL đến CLKK có thể được kiểm soát nếu công tác quản lý và xử lý chất thải được thực hiện hiệu quả.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về CLKK xung quanh BCL đã được thực hiện với nhiều phương pháp khác nhau. Đánh giá CLKK cho thấy môi trường không khí tại khu vực ranh giới và vùng lân cận BCL thường chịu tác động đáng kể của các khí gây mùi như H_2S, NH_3, đặc biệt trong điều kiện gió thịnh hành, gây ảnh hưởng đến sức khỏe và mức độ hài lòng của cộng đồng dân cư sinh sống gần bãi rác (Phạm Thị Anh, 2005; Phạm Thị Thu Hà, 2021).

Tuy nhiên, việc đánh giá CLKK trong nhiều nghiên cứu vẫn chủ yếu dựa trên từng thông số riêng lẻ hoặc kết quả mô hình lan truyền, chưa phản ánh đầy đủ bức tranh tổng hợp về mức độ ô nhiễm không khí của toàn khu vực nghiên cứu. Trong bối cảnh đó, phương pháp đánh giá CLKK thông qua các chỉ số tổng hợp, đặc biệt là chỉ số ô nhiễm không khí tương đối RAPI, đã được đề xuất và chứng minh hiệu quả trong việc tổng hợp thông tin từ nhiều thông số ô nhiễm, cho phép đánh giá mức độ ô nhiễm không khí một cách trực quan, đồng bộ và dễ so sánh giữa các khu vực và khoảng cách khác nhau. Việc ứng dụng chỉ số RAPI giúp khắc phục hạn chế của các phương pháp đánh giá đơn lẻ, đồng thời hỗ trợ công tác quản lý môi trường và ra quyết định trong quy hoạch, kiểm soát ô nhiễm không khí (Phạm Thị Việt Anh và cs. 2020; Phạm Thị Thu Hà và Phạm Thị Việt Anh, 2021).

Bãi chôn lấp chất thải rắn huyện Đà Bắc, tỉnh Hòa Bình nằm trong khu vực có địa hình đồi núi phức tạp, xen kẽ khu dân cư và chịu ảnh hưởng rõ rệt của hướng gió thịnh hành Tây Nam. Hoạt động xử lý CTR tại đây bao gồm cả chôn lấp và đốt rác, tiềm ẩn nguy cơ phát thải bụi, khí độc hại và mùi hôi, đặc biệt đối với các khu dân cư nằm ở khoảng cách gần bãi chôn lấp. Phạm Thị Việt Anh và Phạm Thị Thu Hà (2021) đã sử dụng mô hình để tính toán lan truyền ô nhiễm tại khu vực này. Tuy nhiên, việc đánh giá CLKK một cách tổng hợp cho khu vực nghiên cứu là chưa có. Xuất phát từ thực tiễn trên, bài báo được thực hiện nhằm đánh giá một cách toàn diện hiện trạng CLKK khu vực nghiên cứu, làm rõ mức độ và phạm vi ảnh hưởng của các chất ô nhiễm không khí, đồng thời cung cấp cơ sở khoa học phục vụ công tác quản lý, giám sát và đề xuất các giải pháp bảo vệ môi trường không khí tại địa phương.



Hình 1. Vị trí địa lý của khu vực nghiên cứu và vị trí quan trắc đợt 1, đợt 2

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Khu xử lý rác thải có diện tích 10.484 m2 bao gồm BCL rác thải; lò đốt rác; nhà che để phân loại, phơi rác; nhà nghỉ cho công nhân, bảo vệ;… Theo số liệu thống kê từ phòng Tài nguyên và Môi trường huyện Đà Bắc, trung bình mỗi ngày có 6,674 tấn rác thải đô thị phát sinh. Trong đó, khối lượng thu gom được là 6,44 tấn. Rác thải được thu gom cho tới khi đầy phương tiện vận chuyển thì sẽ được đưa về BCL để xử lý với tần suất trung bình 1 – 2 ngày/chuyến.

Trước tháng 3/2022, khu xử lý rác chưa đưa vào hoạt động, rác thải chỉ được chôn lấp và xử lý theo phương pháp thủ công. Từ tháng 3/2022, lò đốt chính thức được đưa vào hoạt động.

Rác thải sau khi đưa về nơi tập kết sẽ được phân loại, phơi 2 – 3 ngày để giảm ẩm và khử mùi hôi trước khi xử lý. Sau khi khử mùi, phân loại, rác hữu cơ được tiến hành đốt bằng lò đốt CNC1000 của hãng T-Tech với công suất 1000 kg/h. Khối lượng rác trung bình đốt hàng ngày vào khoảng 3,5 tấn và phần còn lại được đem đi chôn. Trong 3,5 tấn rác được đốt sẽ có khoảng 10% sản phẩm sau khi đốt là tro xỉ, tương đương 0,35

tấn/ngày. Vì vậy, trung bình mỗi ngày có khoảng 3,29 tấn rác được xử lý bằng biện pháp chôn lấp.

Đối tượng nghiên cứu của bài báo là CLKK xung quanh khu vực bãi rác huyện Đà Bắc, tỉnh Hòa Bình. Các thông số lựa chọn để đánh giá bao gồm TSP, NH3 và H2S. Phạm vi nghiên cứu là BCL và khu vực xung quanh cách BCL 450m. Chất lượng không khí được đánh giá thông qua số liệu 2 đợt quan trắc là tháng 11 năm 2020 và tháng 11 năm 2022. Kết quả quan trắc giữa 2 thời điểm 2020 và 2022 nhằm đánh giá sự thay đổi chất lượng môi trường không khí trước và sau khi BCL thay đổi bổ sung thêm lò đốt rác sinh hoạt.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp điều tra phỏng vấn

Phương pháp điều tra, phỏng vấn được thực hiện qua 2 hình thức là phỏng vấn trực tiếp và phỏng vấn bằng bảng hỏi. Phỏng vấn trực tiếp đối với cán bộ, công nhân làm việc tại BCL huyện Đà Bắc, tỉnh Hòa Bình để thu thập số liệu sơ cấp, các thông tin liên quan như cách thức, phương tiện thu gom rác thải sinh hoạt; thời gian, quy trình và tần suất, những khó khăn trong công tác thu gom, phân loại rác; nguyên nhân và thực trạng của ô nhiễm không khí xung quanh bãi chôn lấp; các giải pháp đã thực hiện để hạn chế tác động của ô nhiễm MTKK từ BCL. Phỏng vấn thông qua bảng hỏi được thực hiện tại 20 hộ dân cư ở xã Toàn Sơn, huyện Đà Bắc, tỉnh Hòa Bình. Phỏng vấn bằng bảng hỏi đối với cộng đồng dân cư xung quanh trên địa bàn nghiên cứu để thu thập các thông tin, số liệu về thực trạng ô nhiễm MTKK xung quanh khu vực bãi chôn lấp, những ảnh hưởng đến sức khoẻ người dân, các kiến nghị của người dân.

2.2.2. Phương pháp quan trắc, phân tích môi trường

Nghiên cứu được kế thừa tài liệu khu vực khu vực BCL năm 2020 từ đề tài QG 20.08. Số liệu kế thừa bao gồm số liệu khí tượng; số liệu quan trắc, phân tích CLKK tại 4 vị trí trong phạm vi BCL để xem xét ảnh hưởng từ BCL đến công nhân làm việc tại đây và 6 vị trí gần khu dân cư theo hướng Đông Bắc của BCL để đánh giá ảnh hưởng một phần từ BCL đến sức khỏe cộng đồng.

Sáu vị trí lấy mẫu (KK1 - KK6) tại khu vực dân cư nằm về phía Đông Bắc của BCL, cách biên BCL lần lượt 50 m, 100 m, 150 m, 250 m, 350 m và 450 m. Cả 6 vị trí quan trắc đều nằm ở cuối hướng gió chính (gió Tây Nam thịnh hành tại khu vực nghiên cứu đặc biệt vào mùa hè do ảnh hưởng của điều kiện địa hình khu vực Đà Bắc). Theo điều tra khảo sát, đây là khu vực xóm Tân Sơn - nơi có phản ánh của người dân về mùi khó chịu thường xuyên xuất hiện.

Quan trắc môi trường được thực hiện 2 đợt vào tháng 11/2020 (chưa vận hành lò đốt) và 11/2022 (sau khi lò đốt vận hành được 9 tháng). Mỗi đợt quan trắc lấy liên tục 3 ngày vào các thời điểm trong ngày lúc 9h, 13h và 17h. Tại mỗi vị trí trong từng thời điểm, số mẫu được lấy là 3 mẫu.

Nghiên cứu lấy mẫu, phân tích 3 thông số NH3, H2S và TSP ở 9 vị trí khác nhau (KK1-KK9) vào tháng 11/2022 xung quanh khu vực BCL theo 2 hướng khác nhau theo thông tư 24/2017/TT-BTNMT. Hướng thứ nhất là 6 điểm quan trắc từ KK1 - KK6 theo hướng Đông - Đông Bắc của BCL, dọc theo khu dân cư và trước cổng các hộ dân, lần lượt cách biên giới BCL 50 m, 150 m, 250 m, 350 m, 450 m và 600 m. Hướng thứ hai là 3 điểm quan trắc KK7 - KK9 theo hướng Nam Đông Nam - Nam Tây Nam của BCL, dọc theo tuyến đường xe thu gom vận chuyển rác đến BCL, lần lượt cách biên giới BCL 250 m, 400 m và 450 m. Sáu vị trí quan trắc theo hướng Đông - Đông Bắc nhằm đánh giá diễn biến CLKK trong phạm vi thời gian nghiên cứu (2020 - 2022) và 3 vị trí quan trắc KK7 - KK9 nhằm bổ sung đánh giá CLKK xung quanh khu vực dân cư dọc tuyến đường xe thu gom di chuyển.

Hàm lượng TSP được xác định bằng phương pháp đo nhanh bằng thiết bị đo bụi Haz-Dust EPAM 5000. H2S được xác định bằng phương pháp đo nhanh bằng thiết bị Gray Wolf TOX - TG 501. NH3 được lấy mẫu, bảo quản và xác định bằng phương pháp MASA 401. Mẫu khí NH3 được phân tích ở Trung tâm nghiên cứu Quan trắc và Mô hình hóa Môi trường (CEMM), Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.

2.2.3. Phương pháp đánh giá CLKK bằng chỉ số ô nhiễm không khí tương đối RAPI

Nghiên cứu sử dụng phương pháp của tác giả Phạm Ngọc Hồ [19, 20] để đánh giá CLKK từ số liệu quan trắc định kỳ, cụ thể là chỉ số RAPIh (giờ).

Phương pháp RAPI có thể tính toán được cho số liệu quan trắc định kỳ; không giới hạn thông số khảo sát (như chỉ số VN_AQI); thang phân cấp của chỉ số RAPI được thiết lập dựa trên cơ sở toán học nên có cơ sở khoa học, ko tự quy định như các phương pháp khác (nghĩa là ngưỡng đánh giá tổng hợp phụ thuộc thông số khảo sát n được lựa chọn tuỳ ý; [19]. Vì vậy, phương pháp này là phù hợp với phạm vi nghiên cứu của một bãi rác cấp huyện như Đà Bắc (không có số liệu quan trắc tự động).

RAPIh được tính tại điểm quan trắc có ít nhất 1 chất khảo sát có nồng độ lớn hơn tiêu chuẩn cho phép (TCCP), ứng với qi > 1. $RAPI_h = 100\left(1-\frac{P_m}{P}\right)$ (1)

$$P_m = \sum_1^{m_1} W_i q_i + \sum_1^{m_2} W_i (1-q_i); P_k = \sum_1^{k} W_i (q_i - 1); P_n = P_m + P_k \quad (1)$$

Trong đó: Pm là nhóm chất có nồng độ ≤ TCCP ứng với qi ≤ 1; Pk là nhóm chất có nồng độ > TCCP, ứng với qi > 1; Pn là tổng lượng chung của các chất; Wi là trọng số của thông số i; m1 là số

các chỉ số đơn lẻ có qi = 1 theo tiêu chuẩn (TC) 1h; m2 là số các chỉ số đơn lẻ có qi < 1 theo TC 1h; k là số các chỉ số đơn lẻ có qi > 1 theo TC 1h; qi là chỉ số đơn lẻ hay chỉ số phụ của chất i, được tính bằng công thức: $q_i = \frac{C_i}{C_i^*}$ (3).

- Ci là nồng độ thực tế quan trắc được của chất i;
- Ci* là giá trị giới hạn cho phép của chất i theo TC trung bình 1h.

Công thức tính RAPIh* được áp dụng trong trường hợp tại điểm quan trắc có tất cả các chất có nồng độ nhỏ hơn hoặc bằng TCCP (ứng với qi ≤ 1).

Do $q_i \le 1 \Rightarrow W_i q_i \le W_i \Rightarrow \sum_1^n W_i q_i \le \sum_1^n W_i$

Mặt khác $\sum_1^n W_i = 1$, nên: $RAPI_h^* = \sum_1^n W_i q_i \le 1$ (4).

Thang đánh giá mức độ ô nhiễm được chia thành 2 cấp.

Trọng số phụ Wi' và trọng số cuối cùng Wi được tính theo công thức:

$$W_n^{'} = \frac{\sum_1^n C_i^* (TC1h)}{C_n^* . n}; \; W_i = \frac{W_i^{'}}{\sum_1^n W_i^{'}} \quad (5)$$

Trong đó: n là số các chất khảo sát; Wi' biểu thị mối tương quan của chất i so với các chất khác có cùng TC 1h. Dễ thấy $\sum_1^n W_i = 1$.

(Bảng 1)

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Để tính toán chỉ số đơn qi và chỉ số tổng hợp RAPI, cần số liệu đầu vào là số liệu quan trắc trung bình giờ. Số liệu quan trắc trung bình giờ đại diện cho 1 ngày được lấy là giá trị cao nhất trong 3 thời điểm quan trắc trong ngày hôm đó. Giá trị cuối cùng để tính toán sẽ là giá trị trung bình của 3 ngày quan trắc (sau khi đã lấy giá trị lớn nhất).

3.1. Kết quả đo nồng độ NH3, H2S, TSP và tính toán chỉ số qi

Bảng 2 trình bày kết quả quan trắc nồng độ NH3, H2S và TSP và tính toán chỉ số qi cho khu vực xung quanh BCL huyện Đà Bắc, tỉnh Hòa Bình tại đợt quan trắc tháng 11/2020. Tại 4 vị trí nằm trong phạm vi BCL, kết quả quan trắc cho thấy không khí chưa bị ô nhiễm bởi TSP. Tuy nhiên, CLKK bị ô nhiễm nghiêm trọng bởi H2S và một phần từ NH3. Đối với 6 vị trí gần khu dân cư, tại khu vực Đông Bắc có dân cư xóm Tân Sơn, xã Toàn Sơn sinh sống chưa bị ô nhiễm bởi TSP và NH3 (khu dân cư cách BCL 150 m). Đối với H2S, phạm vi ảnh hưởng có thể lên tới 450 m tính từ biên giới BCL. Tại khu vực có dân cư sinh sống, nồng độ H2S đều vượt giá trị cho phép từ 3 - 3,5 lần.

Bảng 3 trình bày kết quả quan trắc nồng độ NH3, H2S và TSP và tính toán chỉ số qi cho BCL huyện Đà Bắc, tỉnh Hòa Bình tại đợt quan trắc tháng 11/2022. Kết quả trên cho thấy, cả khu vực Đông Bắc và khu vực phía Nam (dọc theo tuyến đường xe thu gom di chuyển) của BCL có dân cư sinh sống đều không bị ô nhiễm NH3, H2S và TSP. Vị trí duy nhất bị ô nhiễm H2S cách biên giới BCL 50 m, chủ yếu là nghĩa trang, đồng ruộng và bãi đất trống.

"-" biểu thị nồng độ H2S tại các điểm khảo sát từ KK3 - KK9 là rất nhỏ, < 0,03 ppm tương đương với 0,045 µg/m3

3.2. Kết quả đánh giá CLKK bằng chỉ số RAPI

Bảng 4. Trọng số của các thông số quan trắc

Trọng số tạm thời và trọng số cuối cùng của từng thông số được tính theo công thức (5) ở mục 2.2.3 và trình bày ở Bảng 4. Kết quả cho thấy H_2S có trọng số lớn hơn đáng kể so với các thông số còn lại (0,74 so với 0,1 và 0,16 của TSP và NH3). Việc H_2S có trọng số lớn phản ánh đặc trưng ô nhiễm khí gây mùi tại các BCL

Bảng 1. Bảng phân cấp đánh giá mức độ ô nhiễm không khí của chỉ số , (6 cấp) (Phạm Ngọc Hồ, 2017)

n chẵn	n lẻ	Mức độ ô nhiễm	Màu sắc
$100\frac{n-1}{n} < RAPI_h \le 100$	$100\frac{n-1}{n} < RAPI_h \le 100$	Nguy hiểm (Nghiêm trọng)	Nâu
$50 < RAPI_h \le 100\frac{n-1}{n}$	$50\frac{n-1}{n} < RAPI_h \le 100\frac{n-1}{n}$	Ô nhiễm rất nặng (Rất xấu)	Tím
$\frac{100}{n} < RAPI_h \le 50$	$\frac{100}{n} < RAPI_h \le 50\frac{n-1}{n}$	Ô nhiễm nặng (Xấu)	Đỏ
$0 < RAPI_h \le \frac{100}{n}$	$0 < RAPI_h \le \frac{100}{n}$	Ô nhiễm nhẹ (Kém)	Da cam
$0,5 < RAPI_h^* \le 1$	$0,5 < RAPI_h^* \le 1$	Biên giới ô nhiễm (Trung bình)	Vàng
$0 \le RAPI_h^* \le 0,5$	$0 \le RAPI_h^* \le 0,5$	Không ô nhiễm (Tốt)	Xanh

Bảng 2. Kết quả đo nồng độ NH3, H2S và TSP và tính toán chỉ số qi cho 4 vị trí nằm trong BCL và 6 vị trí gần khu dân cư xung quanh BCL huyện Đà Bắc, tỉnh Hòa Bình tháng 11/2020

Vị trí	Vị trí so với biên BCL	Nồng độ chất ô nhiễm và giá trị q_i tương ứng					
		C_{NH_3} (µg/m³)	q_i (NH_3)	C_{H_2S} (µg/m³)	q_i (H_2S)	C_{TSP} (µg/m³)	q_i (TSP)
K1	Nằm trong BCL	126,1	0,63	247	5,88	72	0,24
K2	Nằm trong BCL	199,3	0,99	465	11,07	48	0,16
K3	Nằm trong BCL	411,2	2,06	573	13,64	56	0,19
K4	Nằm trong BCL	230,6	1,15	392	9,33	65	0,22
KK1	50 m	216	1,08	187	4,45	84	0,28
KK2	100 m	195	0,98	181	4,31	68,5	0,23
KK3	150 m	157	0,79	145	3,45	65	0,22
KK4	250 m	119,5	0,60	134	3,19	57,5	0,19
KK5	350 m	116	0,58	143	3,40	54,5	0,18
KK6	450 m	105	0,53	134	3,19	61	0,20
QCVN 06:2009/BTNMT		200		42			
QCVN 06:2009/BTNMT (Trung bình 1h)						300	

Bảng 3. Kết quả quan trắc nồng độ NH3, H2S và TSP và tính toán chỉ số qi cho BCL huyện Đà Bắc, tỉnh Hòa Bình tháng 11/2022

Vị trí	Khoảng cách so với biên BCL (m)	Nồng độ chất ô nhiễm và giá trị q_i tương ứng					
		C_{NH_3} (µg/m³)	q_i (NH_3)	C_{H_2S} (µg/m³)	q_i (H_2S)	C_{TSP} (µg/m³)	q_i (TSP)
KK1	50	96,5	0,48	105	2,50	57	0,19
KK2	150	107,3	0,54	23	0,55	40	0,13
KK3	250	68,1	0,34	-	-	38	0,13
KK4	350	72,9	0,36	-	-	25	0,08
KK5	450	114,2	0,57	-	-	18	0,06
KK6	600	105,7	0,53	-	-	23	0,08
KK7	250	154,4	0,77	-	-	25	0,08
KK8	400	121,3	0,61	-	-	30	0,10
KK9	450	109,6	0,55	-	-	83	0,07
QCVN 06:2009/BTNMT (Trung bình 1h)		200		42			
QCVN 05:2013/BTNMT (Trung bình 1h)						300	

CTR, do đó biến động của thông số này có ảnh hưởng đáng kể đến giá trị chỉ số RAPI.

Với số các chất ô nhiễm là 3 (n = 3), thay vào Bảng 1 ứng với n lẻ, ta được Bảng 5 thể hiện thang phân cấp mức độ ô nhiễm trong nghiên cứu ứng với n = 3. Vì chỉ số RAPIh áp được trong trường hợp tại điểm quan trắc có ít nhất 1 chất ô nhiễm có nồng độ lớn hơn TCCP (ứng với qi > 1) nên CLKK tại điểm quan trắc đó luôn ở mức ô nhiễm. Thang phân cấp cho chỉ số RAPIh gồm 3 mức ô nhiễm là "ô nhiễm nhẹ", "ô nhiễm rất nặng" và "ô nhiễm nghiêm trọng".

Trong khi đó, chỉ số RAPIh* được áp dụng trong trường hợp tại điểm quan trắc có tất cả các chất có nồng độ nhỏ hơn hoặc bằng TCCP (ứng với qi ≤ 1),

Bảng 5. Thang phân cấp đánh giá mức độ ô nhiễm không khí của RAPIh

RAPI (n = 3)	Chất lượng môi trường	Màu
$66,67 < RAPI_h \leq 100$	Ô nhiễm nghiêm trọng (Nguy hiểm)	Nâu
$33,33 < RAPI_h \leq 66,67$	Ô nhiễm rất nặng (Rất xấu)	Tím
$0 < RAPI_h \leq 33,33$	Ô nhiễm nhẹ (Kém)	Da cam
$0,5 < RAPI_h^* \leq 1$	Biên giới ô nhiễm (Trung bình)	Vàng
$0 < RAPI_h^* \leq 0,5$	Không ô nhiễm (Tốt)	Xanh

Bảng 6. Kết quả chỉ số ô nhiễm không khí RAPI tháng 11/2020 và tháng 11/2022

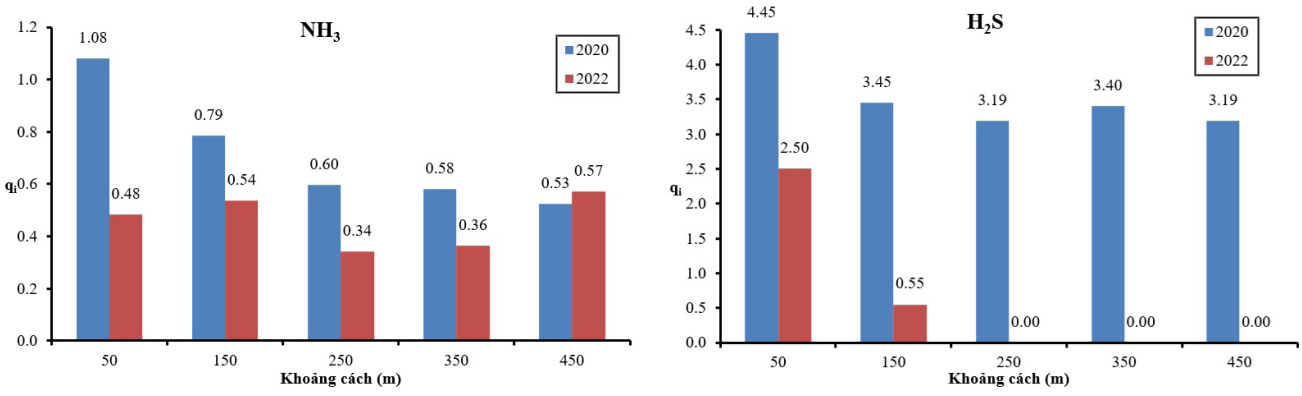
Tháng 11/2020			Tháng 11/2022		
Vị trí	RAPI	Mức độ ô nhiễm	Vị trí	RAPI	Mức độ ô nhiễm
KK1	97,18	Ô nhiễm nghiêm trọng	KK1	87,10	Ô nhiễm nghiêm trọng
KK2	96,69	Ô nhiễm nghiêm trọng	KK2	0,503	Biên giới ô nhiễm
KK3	94,06	Ô nhiễm nghiêm trọng	KK3	0,07	Không ô nhiễm
KK4	91,72	Ô nhiễm nghiêm trọng	KK4	0,07	Không ô nhiễm
KK5	92,22	Ô nhiễm nghiêm trọng	KK5	0,10	Không ô nhiễm
KK6	91,20	Ô nhiễm nghiêm trọng	KK6	0,09	Không ô nhiễm
K1	96,37	Ô nhiễm nghiêm trọng	KK7	0,13	Không ô nhiễm
K2	98,84	Ô nhiễm nghiêm trọng	KK8	0,10	Không ô nhiễm
K3	99,12	Ô nhiễm nghiêm trọng	KK9	0,09	Không ô nhiễm
K4	98,71	Ô nhiễm nghiêm trọng			

nên CLKK tại điểm quan trắc chưa bị ô nhiễm. Thang phân cấp cho chỉ số RAPIh* được chia làm 2 mức là "không ô nhiễm" và "biên giới ô nhiễm".

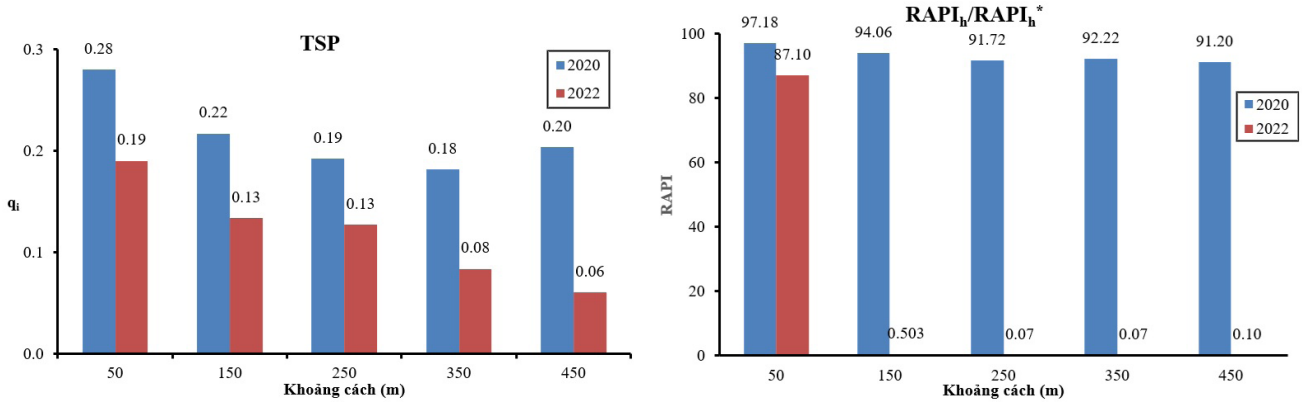
Bảng 6 cho thấy giá trị RAPI/RAPI* tại các vị trí quan trắc thời điểm tháng 11/2020 và mức độ ô nhiễm tương ứng. Đối với 4 vị trí trong phạm vi BCL (K1 - K4), chỉ số RAPIh đều ở mức rất cao (>90) và CLKK ở mức ô nhiễm nghiêm trọng. Tại 6 vị trí gần khu dân cư (KK1 - KK6), chỉ số RAPIh và mức độ ô nhiễm cũng tương đồng với 4 vị trí trong phạm vi BCL. Kết hợp với kết quả đã phân tích tại Bảng 2, nguyên nhân khiến chỉ số RAPIh cao như vậy là do nồng độ H2S tại các điểm quan trắc đều ở mức rất cao, vượt ngưỡng cho phép từ khoảng 3,19 - 13,64 lần và do khối lượng rác thu gom cần xử lý, chôn lấp hàng ngày rất lớn. Ngoài ra, vào các tháng mùa đông khí quyển thường ở trạng thái ổn định nên hạn chế khả năng phát tán chất ô nhiễm. Không chỉ vậy, nồng độ NH3 tại các vị trí quan trắc đều từ mức trung bình đến vượt TCCP 2,06 lần. Trái ngược với H2S, nồng độ TSP tại cả 10 điểm quan trắc đều thấp hơn giới hạn cho phép của QCVN 05:2013/BTNMT. Giá trị qi tương ứng tại 10 điểm quan trắc đều ở mức thấp, từ 0,16 – 0,28. Nồng độ TSP cũng có xu hướng giảm dần theo khoảng cách từ biên giới BCL ra xa BCL.

Với CLKK như vậy có thể gây ảnh hưởng đến sức khỏe công nhân làm việc tại BCL khi phải tiếp xúc với bụi và các khí phát thải từ BCL với nồng độ cao trong thời gian dài, cũng như cộng đồng dân cư xung quanh, đặc biệt đối với các đối tượng nhạy cảm như trẻ em, người già và người mắc bệnh hô hấp nên hạn chế ra ngoài. Qua khảo sát thực tế phỏng vấn người dân, đa số dân cư đều phản ánh về mùi từ BCL gây khó chịu cả ngày.

Đối với đợt quan trắc tháng 11/2022, chỉ có vị trí KK1 có giá trị RAPIh rất cao và điểm quan trắc này có mức ô nhiễm nghiêm trọng (cách biên giới BCL 50m). Nguyên nhân dẫn đến chỉ số RAPIh tại điểm KK1 cao là do nồng độ H2S cao gấp 2,5 lần giá trị cho phép. Tại các điểm quan trắc còn lại, không có chất ô nhiễm nào vượt giới hạn cho phép. Tại vị trí KK2 (cách biên giới BCL 150m), chỉ số RAPIh* bắt đầu chạm ngưỡng trung bình, CLKK ở biên giới ô nhiễm. Mặc dù nồng độ TSP rất thấp so với giới hạn cho phép, tuy nhiên nồng độ NH3 và H2S đều xấp xỉ bằng 0,55 lần giá trị cho phép nên CLKK ở mức trung bình. Trong khi đó, chỉ số RAPIh* tại 7 điểm quan trắc còn lại (KK3 - KK9) đều ở mức rất nhỏ (<0,13) và CLKK đều ở mức tốt. Tại 7 điểm quan trắc này, ngoài nồng độ NH3 ở mức trung bình thì nồng độ H2S và TSP đều ở mức rất thấp, đặc



Hình 2. Giá trị qi của NH_3 (trái) và H_{2S} (phải) tại các điểm quan trắc cho 2 đợt quan trắc tháng 11/2020 và 11/2022



Hình 3. Giá trị qi của TSP (trái) và giá trị RAPIh/RAPIh (phải) tại các điểm quan trắc cho 2 đợt quan trắc tháng 11/2020 và 11/2022*

biệt là nồng độ H2S không được phát hiện tại các vị trí quan trắc này. Kết quả phân tích này phù hợp với kết quả đã phân tích tại Bảng 3.

Với kết quả trên, sức khỏe công nhân làm việc tại BCL có thể bị ảnh hưởng khi tiếp xúc với khí thải từ BCL với nồng độ cao trong thời gian dài. Qua khảo sát thực tế công nhân làm việc tại BCL, BCL có mùi khó chịu nhất vào thời điểm 8 - 9h sáng (thời điểm xe thu gom mang rác tới).

3.3. Kết quả so sánh CLKK qua 2 đợt quan trắc

Để so sánh CLKK xung quanh BCL, nghiên cứu sử dụng 5 điểm quan trắc KK1, KK3, KK4, KK5, KK6 của đợt quan trắc tháng 11/2020 lần lượt tương ứng với các điểm KK1, KK2, KK3, KK4 và KK5 của đợt quan trắc tháng 11/2022. Các cặp điểm quan trắc này lần lượt cách biên giới BCL lần lượt là 50 m, 150 m, 250 m, 350 m và 450 m.

Hình 2, Hình 3 cho thấy nồng độ NH3, H2S và TSP tại các điểm quan trắc tại thời điểm 2022 so với cùng vị trí tại thời điểm 2020 đều được cải thiện đáng kể (giá trị qi giảm đáng kể).

Đối với NH_3, giá trị qi tại khoảng cách 50 m tới BCL thời điểm 2022 đã giảm 2,25 lần so với năm 2020. Từ các điểm quan trắc 150 m - 450 m, nồng độ NH3 chịu ảnh hưởng từ hoạt động chăn nuôi của các hộ gia đình xung quanh điểm quan trắc.

Đối với H2S, giá trị qi tại khoảng cách 50m tới BCL thời điểm 2022 giảm 1,78 lần so với thời điểm 2020. Mặc dù đã giảm nhưng nồng độ H_2S tại đây thời điểm 2022 vẫn gấp 2,5 lần giới hạn cho phép. Từ khoảng cách bắt đầu có khu dân cư (150 m), nồng độ H2S thời điểm 2022 đã giảm xuống mức trung bình, qi giảm từ 3,45 còn 0,55. Càng ra xa, nồng độ H2S càng giảm và không còn phát hiện thấy nồng độ H2S từ khoảng cách 250m so với biên giới BCL.

Đối với TSP, giá trị qi tại cả 5 điểm quan trắc trong năm 2020 đều nhỏ hơn 0,3 (CLKK tốt). Đến năm 2022, giá trị qi TSP giảm tại tất cả các điểm quan trắc.

Hình 3 cho thấy giá trị RAPIh/RAPIh* tại cả 5 điểm quan trắc thời điểm 2022 đều giảm và CLKK đều được cải thiện so với năm 2020. Tại điểm KK1 cách biên giới BCL 50m, mặc dù nồng độ NH3 thời điểm 2022 đã giảm đáng kể, nồng độ TSP cũng giảm và rất nhỏ so với giá trị giới hạn cho phép, tuy nhiên nồng độ H2S vẫn cao gấp 2,5 lần giới hạn cho phép nên chỉ số RAPIh* tại đây vẫn cao và CLKK vẫn ở mức ô nhiễm nghiêm trọng. Tại 4 điểm quan trắc còn lại, do nồng độ các chất ô nhiễm thời điểm 2022 đều

có xu hướng giảm, đặc biệt là H2S giảm còn rất nhỏ so với thời điểm 2020 nên chỉ số RAPIh* năm 2022 tại các điểm quan trắc này đều rất nhỏ và CLKK ở mức tốt.

3.4. Thảo luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy CLKK khu vực bãi chôn lấp chất thải rắn huyện Đà Bắc có sự biến đổi rõ rệt theo thời gian, phản ánh trực tiếp tác động của công nghệ xử lý rác thải được áp dụng. Năm 2020, kết quả đánh giá bằng chỉ số RAPI cho thấy toàn bộ các vị trí quan trắc đều ở mức ô nhiễm nghiêm trọng, trong đó H_2S là thông số chi phối chính. Kết quả này phù hợp với đặc điểm chung của các bãi chôn lấp quy mô nhỏ tại Việt Nam, sử dụng công nghệ chôn lấp đơn giản, không có hệ thống thu gom và xử lý khí thải, dẫn đến phát thải mạnh các khí gây mùi như H_2S và NH_3. Đến năm 2022, CLKK ở mức tốt (7/9 vị trí khảo sát), trung bình (1 vị trí), nguy hiểm (1 vị trí). Đối với khu vực có dân cư sinh sống (KK2 – KK9), CLKK đều ở mức tốt, nồng độ ô nhiễm của 3 chất khảo sát đều nằm trong giới hạn cho phép. CLKK đã được cải thiện, điều này có thể được giải thích như sau:

Từ tháng 3/2022, BCL đã bổ sung thêm phương pháp đốt để xử lý rác thải sinh hoạt. Rác thải sinh hoạt được phân thành 2 loại vô cơ và hữu cơ. Sau đó, rác hữu cơ được đốt và rác vô cơ được chôn lấp theo phương pháp cũ. Tỉ lệ rác được đốt – chôn lấp phụ thuộc vào tỉ lệ rác hữu cơ – vô cơ phân loại. Trung bình, tỉ lệ rác hữu cơ – vô cơ ở khoảng 80% - 20%. Thực tế khảo sát cho thấy, sau khi bổ sung thêm phương pháp đốt, dân cư xung quanh cho biết mùi từ BCL đã được cải thiện đáng kể. Mùi hôi, khó chịu không còn, thay vào đó là mùi khét vào khoảng thời gian lò đốt bắt đầu vận hành (7 – 8h hàng ngày, trừ chủ nhật).

So sánh với nghiên cứu của Phạm Thị Việt Anh và Phạm Thị Thu Hà (2021) thực hiện trên cùng bãi chôn lấp bằng phương pháp mô hình lý thuyết bán thực nghiệm cho thấy sự tương đồng về bản chất ô nhiễm. Nghiên cứu mô hình chỉ ra rằng H_2S là chất ô nhiễm chính, với phạm vi ảnh hưởng có thể lên tới 1.000 m theo hướng gió Tây Nam, trong khi TSP và NH_3 nhìn chung chưa vượt quy chuẩn tại hầu hết các vị trí [18]. Kết quả quan trắc và đánh giá bằng chỉ số RAPI trong nghiên cứu này đã xác nhận thực nghiệm xu thế đó, đồng thời cho thấy mức độ ô nhiễm tổng hợp tại từng vị trí cụ thể, đặc biệt tại các khu dân cư nằm cuối hướng gió chính.

Đây là nghiên cứu đầu tiên áp dụng chỉ số ô nhiễm không khí tương đối RAPI để đánh giá tổng hợp CLKK khu vực bãi chôn lấp huyện Đà Bắc. Khác với phương pháp mô hình hóa chủ yếu phản ánh sự phân bố nồng độ từng chất ô nhiễm, chỉ số RAPI cho phép đánh giá tổng hợp đồng thời nhiều thông số (TSP, NH_3, H_2S). Trên cơ sở đó, cung cấp một bức tranh tổng thể, trực quan và dễ so sánh về chất lượng không khí theo không gian và thời gian. Đặc biệt, việc so sánh kết quả RAPI giữa hai thời điểm 2020 và 2022 đã cho thấy rõ hiệu quả cải thiện CLKK sau khi bãi chôn lấp đưa vào vận hành lò đốt rác sinh hoạt.

Tuy nhiên, nghiên cứu vẫn còn một số hạn chế: (1) Số lượng thông số ô nhiễm được xem xét còn hạn chế, chưa bao gồm các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC) hoặc khí nhà kính như CH_4. (2) Quan trắc mới chỉ thực hiện vào thời điểm mùa đông, chưa phản ánh đầy đủ biến động theo mùa và ảnh hưởng của các điều kiện khí tượng khác nhau. Ngoài ra, chỉ số RAPI mang tính tổng hợp nên chưa cho phép phân tích chi tiết cơ chế phát sinh và lan truyền của từng chất ô nhiễm riêng lẻ. Do đó, trong các nghiên cứu tiếp theo, cần kết hợp đồng thời quan trắc liên tục, mô hình hóa lan truyền và chỉ số tổng hợp để có thể nâng cao độ tin cậy và giá trị ứng dụng của kết quả nghiên cứu.

4. KẾT LUẬN

Trên cở sở phương pháp chỉ số ô nhiễm không khí tương đối (RAPI), nghiên cứu đã đánh giá được chất lượng môi trường không khí tổng hợp cho khu vực bãi chôn lấp chất thải rắn huyện Đà Bắc, tỉnh Hòa Bình. Kết quả đánh giá cho thấy, năm 2020, CLKK tại tất cả các vị trí quan trắc đều ở mức ô nhiễm nghiêm trọng, trong đó H_2S là thông số chi phối chính, phản ánh đặc trưng ô nhiễm của bãi chôn lấp sử dụng công nghệ chôn lấp đơn giản.

Kết quả phân tích năm 2022 cho thấy chất lượng môi trường không khí khu vực nghiên cứu đã được cải thiện rõ rệt sau khi bãi chôn lấp bổ sung công nghệ đốt rác thải sinh hoạt. Nồng độ các chất ô nhiễm quan trắc được đều giảm đáng kể; CLKK được cải thiện lên mức tốt tại đa số các vị trí quan trắc, chỉ còn một vị trí ở mức trung bình và một vị trí ô nhiễm nghiêm trọng. Kết quả này thể hiện rõ xu thế cải thiện CLKK theo thời gian và theo sự thay đổi công nghệ xử lý chất thải.

Việc áp dụng chỉ số RAPI đã cung cấp một cách tiếp cận trực quan, đồng bộ và dễ so sánh trong đánh giá chất lượng môi trường không khí xung quanh bãi chôn lấp, cho phép tổng hợp thông tin từ nhiều thông số ô nhiễm và phản ánh rõ mức độ ô nhiễm theo không gian và thời gian. Kết quả nghiên cứu góp phần bổ sung cơ sở khoa học cho công tác đánh giá, quản lý và giám sát chất lượng môi trường không khí tại các bãi chôn lấp chất thải rắn quy mô cấp huyện.

Lời cảm ơn: *Các tác giả xin cảm ơn Đề tài QG.20.08, ĐHQGHN đã hỗ trợ kinh phí để thực hiện nghiên cứu này*■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Conte M., Cagnazzo V., Donateo A., Cesari D., Grasso F. M., Contini D. (2018). A Case Study of Municipal Solid Waste Landfills Impact on Air Pollution in South Areas of Italy. The Open Atmospheric Science Journal, 12, 1-13.

2. Njoku P. O., Edokpayi J. N., & Odiyo J. O. (2019). Health and environmental risks of residents living close to a landfill: A case study of thohoyandou landfill, Limpopo province, South Africa. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(12), 1-27.

3. Pekdogan T., Yildizhan H., and Ameen A. (2024). Unveiling the Air Quality Impacts of Municipal Solid Waste Disposal: An Integrative Study of On-Site Measurements and Community Perceptions. Atmosphere. 15. 410. 10.3390/atmos15040410.

4. Hossain Md. F., Kamal A. M., Sikder A. H. F., & Parveen Z. (2019). Air Quality Measurement at the Solid Waste Disposal of Matuail Landfill Site at Dhaka, Bangladesh. American Journal of Environmental Sciences, 15(5), 167-179.

5. Pop M., Bucur I., Zoldan D., Imre K., Nichita I., Cristina G., Tîrziu A., Tîrziu E. (2022). Chemical and microbiological air quality in a municipal solid waste landfill and its surroundings, in south-eastern Romania. Sustainability (Switzerland), 14(1), 1-14.

6. Gumede P. R., Gumede D. (2025). Air quality and health risks of residents living near a landfill site in Durban, South Africa. J Public Health Africa. 16(1), a1274.

7. Kishore S., Rogan N., Aman Pandey S., Nagasudhan N., and Vikram Raj K. (2019). IoT based unmanned aerial vehicle for mobile monitoring and management of municipal solid waste (MSW) landfill sites and air quality index (AQI). International Journal of Scientific and Technology Research, 8(11), 3671-3678.

8. Bihałowicz J. S., Kozłowska W. R., Krasuski A., Salamonowicz Z. (2021). The critical factors of landfill fire impact on air quality. Environmental Research Letters, 16(10).

9. Kannankai M. P., Devipriya S. P. (2024). Air quality impacts of landfill fires: A case study from the Brahmapuram Municipal Solid Waste Treatment Plant in Kochi, India. Science of The Total Environment, 916.

10. Balasus N., Jacob D. J., Maxemin G., Jenks C., Nesser H., Maasakkers J. D., Cusworth D. H., Scarpelli T. R., Varon D. J., Wang, X. (2025). Satellite monitoring of annual US landfill methane emissions and trends. Environmental Research Letters, 20(2), 024007.

11. Wang X., Jacob D. J., Nesser H., Balasus N., Estrada L., Sulprizio M., Cusworth D. H., Scarpelli T. R., Chen Z., East J. D., Varon D. J. (2025). Quantifying urban and landfill methane emissions in the United States using TROPOMI satellite data. Atmospheric and Oceanic Physics, 10835.

12. Ferrari A., Laneve G., Tellez R. A. C., Pampanoni V., Saquella S., Guarini R. (2025). Analysis of Local Methane Emissions Using Near-Simultaneous Multi-Satellite Observations: Insights from Landfills and Oil-Gas Facilities. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. arXiv preprint arXiv:2506.01113.

13. Citrasari N., Wasturani C. M. G., Zahra C. D. A., Isnadina D. R. M., Hariyanto S., Jawwad M. A. S., Rachman I., Matsumoto T. (2025). Dispersion modelling of methane emissions from Indonesian landfills using air quality dispersion modeling. Journal of Ecological Engineering, 26(10), 360-373. https://doi.org/10.12911/22998993/207168

14. Phạm Thị Anh (2005). Sự phát sinh và phát thải khí bãi chôn lấp, các phương án giảm thiểu. Nội san Khoa học & Đào tạo, Trường Đại học Dân lập Văn Lang, 5, 54-60

15. Phạm Thị Thu Hà (2021). Đánh giá rủi ro sức khỏe của ô nhiễm không khí từ khu liên hợp xử lý chất thải rắn Tràng Cát, Hải Phòng. Tạp chí Nghiên cứu Địa lý Nhân văn, 35(4), 49-55.

16. Anh P. T. V., Dung D. M., Ha P. T. T., Trang P. T., Ho P. N. (2020). Application of relative air pollution index (RAPI)—a new method for aggregate assessment of current air pollution in Cam Pha coal mining area, Quang Ninh province, Vietnam. Environ Monit Assess 192, 411.

17. Phạm Thị Thu Hà, Phạm Thị Việt Anh (2021). Đánh giá chất lượng không khí xung quanh khu liên hợp xử lý chất thải rắn Tràng Cát, Hải Phòng. Tạp chí Môi trường, số đặc biệt, 32-36.

18. Phạm Thị Việt Anh, Phạm Thị Thu Hà (2021). Ứng dụng lý thuyết bán thực nghiệm để tính toán lan truyền chất ô nhiễm không khí phát thải từ bãi rác chôn lấp huyện Đà Bắc, tỉnh Hòa Bình. Tạp chí Môi trường, số đặc biệt, 18-21.

19. Phạm Ngọc Hồ, Đồng Kim Loan, Phạm Thị Việt Anh, Phạm Thị Thu Hà, Dương Ngọc Bách (2015). Hướng dẫn đánh giá chất lượng môi trường không khí, nước, đất bằng chỉ số đơn lẻ và chỉ số tổng hợp. NXB Giáo dục Việt Nam.

20. Ho P. N. (2017). Relative Air Pollution Index (RAPI) - A New Method for Aggregate Air Pollution Assessment. Advances in Applied Science Research, 8(4), 62-69

21. QCVN 06:2009 - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về một số chất độc hại trong không khí xung quanh.

22. QCVN 05:2013 - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí xung quanh.

THỰC TRẠNG SỬ DỤNG SẢN PHẨM NHỰA DÙNG MỘT LẦN TẠI ĐẶC KHU CÔN ĐẢO

CÁI ANH TÚ[1*], BÙI THỊ TUYẾT[2], TRẦN THỊ HẰNG[3]
[1]Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội
[2]Báo Nông nghiệp và Môi trường
[3]Văn phòng Đảng ủy Đặc khu Côn Đảo, TP. Hồ Chí Minh

Tóm tắt
Nghiên cứu được thực hiện bằng phương pháp điều tra xã hội học thông qua bảng hỏi bán cấu trúc với 822 phiếu khảo sát hợp lệ, phân bổ cho ba nhóm đối tượng chính gồm người dân ở chợ (43,5%), cơ sở kinh doanh (39,2%) và cơ sở du lịch (17,3%). Kết quả cho thấy sản phẩm nhựa dùng một lần (ND1L) vẫn được sử dụng phổ biến và thường xuyên ở cả ba nhóm, trong đó nhóm người dân và cơ sở kinh doanh là các nguồn phát sinh chủ yếu. Hộp xốp, hộp nhựa, ống hút, cốc nhựa và túi ni lông là các loại sản phẩm ND1L được sử dụng phổ biến nhất. Trung bình mỗi hộ dân ở chợ và hộ có kinh doanh sử dụng khoảng 1 - 2 kg túi ni lông mỗi tháng, cho thấy lượng phát sinh tại từng nguồn không lớn nhưng mang tính phân tán cao, tạo áp lực đáng kể lên hệ thống thu gom và xử lý rác thải của huyện đảo. Kết quả nghiên cứu góp phần làm rõ cơ cấu và đặc điểm phát sinh ND1L theo nhóm đối tượng, cung cấp cơ sở thực tiễn phục vụ đánh giá và định hướng các nghiên cứu, giải pháp giảm thiểu rác thải nhựa tại đặc khu Côn Đảo.
Từ khóa: *Nhựa dùng một lần; thực trạng sử dụng; huyện đảo Côn Đảo.*
Ngày nhận bài: *4/2/2026;* ***Ngày sửa chữa:*** *10/3/2026;* ***Ngày duyệt đăng****: 23/3/2026.*

Current status of single-use plastic product utilization in Con Dao special zone

Abstract
This study employed a social survey method using semi-structured questionnaires, with 822 valid responses collected from three main stakeholder groups, including market residents (43.5%), business establishments (39.2%), and tourism facilities (17.3%). The results indicate that single-use plastic products (SUPs) are still widely and frequently used across all three groups, with local residents and business establishments identified as the primary sources of generation. Foam containers, plastic containers, straws, plastic cups, and plastic bags are the most commonly used SUPs. On average, each market household and business establishment used approximately 1 - 2 kg of plastic bags per month, indicating that although the amount generated at each source is not large, the highly dispersed nature of generation creates substantial pressure on the waste collection and treatment system of the island district. The findings clarify the composition and generation characteristics of SUPs by stakeholder group, providing practical evidence to support the assessment of the current status of SUPs and to guide future research and plastic waste reduction measures in Con Dao special zone.
Key words: *Single-use plastics; current use status; Con Dao special zone.*
JEL Classifications: *O13, O44, P18.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những thập niên gần đây, rác thải nhựa đã trở thành một trong những vấn đề môi trường toàn cầu, gây tác động nghiêm trọng đến hệ sinh thái, sức khỏe con người và phát triển kinh tế - xã hội (Jambeck et al., 2015; UNEP, 2018). Đặc biệt, sản phẩm ND1L với đặc tính tiện lợi, chi phí thấp và thời gian phân hủy kéo dài là nguồn phát sinh rác thải nhựa chủ yếu trong sinh hoạt và các hoạt động dịch vụ (UNEP, 2018).

Đối với các khu vực biển đảo, rác thải nhựa không chỉ gây ô nhiễm môi trường đất và nước mà còn ảnh hưởng trực tiếp đến hệ sinh thái biển, đa dạng sinh học và các hoạt động kinh tế phụ thuộc vào du lịch và dịch vụ biển (OECD, 2020; IUCN, 2022). Tại Việt Nam, lượng rác thải sinh hoạt tại các địa phương phát triển du lịch gia tăng nhanh, trong đó rác thải nhựa và sản phẩm ND1L chiếm tỷ lệ đáng kể, gây áp lực lớn lên hệ thống thu gom và xử lý chất thải (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2020). Côn Đảo là quần đảo ngoài khơi phía Nam, gồm 16 đảo với diện tích khoảng 76 km², dân số trên 12.000 người. Với đặc điểm vị trí biệt lập và phát triển mạnh du lịch, lượng chất thải rắn sinh hoạt tại đây có xu hướng gia tăng, trong đó sản phẩm ND1L chiếm tỷ trọng đáng kể (UBND huyện Côn Đảo, 2025)…

Bảng 1. Phân bố mẫu điều tra theo nhóm đối tượng

Nhóm đối tượng phỏng vấn	Số lượng mẫu	Tỷ lệ %
Người dân ở chợ	358	43,5%
Cơ sở kinh doanh	322	39,2%
Cơ sở du lịch	142	17,3%
Tổng cộng	**822**	**100%**

Nguồn: Nhóm nghiên cứu thực hiện

Tuy nhiên, để xây dựng các biện pháp quản lý phù hợp, cần có cơ sở khoa học về thực trạng sử dụng ND1L theo các nhóm đối tượng phát sinh, nhằm xác định các nguồn phát sinh chính và mức độ đóng góp của từng nhóm vào tổng lượng rác thải nhựa. Đây là cách tiếp cận được khuyến nghị trong nhiều nghiên cứu về quản lý rác thải nhựa ở quy mô địa phương và khu vực đảo (UNEP, 2019; UNEP, 2021).

Xuất phát từ các cơ sở trên, nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá thực trạng sử dụng ND1L tại đặc khu Côn Đảo theo các nhóm đối tượng khác nhau, qua đó cung cấp cơ sở khoa học cho công tác quản lý và giảm thiểu rác thải nhựa tại huyện đảo Côn Đảo.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu tập trung đánh giá thực trạng sử dụng và các nguồn phát sinh sản phẩm ND1L trong sinh hoạt và hoạt động dịch vụ trên địa bàn đặc khu Côn Đảo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. Đối tượng nghiên cứu gồm ba nhóm chính: (i) Người dân sinh sống và buôn bán tại các khu chợ; (ii) các cơ sở kinh doanh - dịch vụ; và (iii) các cơ sở du lịch - lưu trú, là những nhóm đóng vai trò chủ yếu trong phát sinh và sử dụng ND1L tại huyện đảo. Số liệu được thu thập thông qua điều tra xã hội học bằng bảng hỏi bán cấu trúc với 822 phiếu khảo sát hợp lệ, trong đó 43,5% thuộc nhóm người dân ở chợ, 39,2% thuộc nhóm cơ sở kinh doanh và 17,3% thuộc nhóm cơ sở du lịch (Bảng 1). Nghiên cứu được thực hiện trên toàn địa bàn đặc khu Côn Đảo, tập trung vào các khu dân cư, chợ, khu kinh doanh và cơ sở du lịch. Nội dung nghiên cứu chủ yếu phân tích loại hình, tần suất và mức độ sử dụng ND1L trong giai đoạn khảo sát tháng 2 - 3 năm 2025.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp khảo sát, điều tra thực địa

Nghiên cứu được thực hiện thông qua khảo sát và điều tra thực địa trong giai đoạn tháng 2 - 3 năm 2025, nhằm phản ánh tương đối đầy đủ cơ cấu các nguồn phát sinh sản phẩm ND1L trên địa bàn đặc khu Côn Đảo. Cách tiếp cận điều tra theo nhóm đối tượng phát sinh phù hợp với phương pháp đánh giá rác thải tại nguồn, thường được áp dụng trong các nghiên cứu về quản lý chất thải rắn sinh hoạt và rác thải nhựa ở quy mô địa phương và khu vực đảo.

2.2.2. Phương pháp bảng hỏi bán cấu trúc

Nghiên cứu sử dụng phương pháp điều tra xã hội học bằng bảng hỏi bán cấu trúc để thu thập số liệu sơ cấp về thực trạng sử dụng ND1L của các nhóm đối tượng nghiên cứu. Phương pháp này cho phép kết hợp các câu hỏi định lượng chuẩn hóa với các câu hỏi mở, vừa phục vụ phân tích thống kê, vừa phản ánh linh hoạt bối cảnh và đặc điểm sử dụng ND1L trong điều kiện thực tế tại địa phương (Bryman, 2016; Creswell, J.W., & Creswell, J.D., 2018). Nội dung bảng hỏi tập trung vào các loại hình ND1L được sử dụng, tần suất và mức độ sử dụng, cũng như cách thức thải bỏ sau sử dụng. Việc áp dụng bảng hỏi bán cấu trúc phù hợp với khuyến nghị trong các nghiên cứu về quản lý rác thải nhựa tại khu vực đảo, nơi các nguồn phát sinh có quy mô nhỏ nhưng phân tán và đa dạng (UNEP, 2019; UNEP, 2021).

2.2.3. Phương pháp xử lý và phân tích số liệu

Số liệu thu thập từ điều tra bảng hỏi bán cấu trúc được kiểm tra, làm sạch và mã hóa trước khi phân tích nhằm bảo đảm độ tin cậy của bộ dữ liệu. Dữ liệu hợp lệ được nhập và xử lý bằng các phần mềm thống kê thông dụng (Microsoft Excel và/hoặc SPSS). Phương pháp thống kê mô tả được sử dụng để phân tích thực trạng sử dụng sản phẩm ND1L thông qua các chỉ tiêu như tần suất sử dụng, loại hình sản phẩm, mức độ sử dụng và ước tính tương đối lượng phát sinh. Bên cạnh đó, phương pháp so sánh giữa các nhóm đối tượng được áp dụng nhằm làm rõ sự khác biệt về đặc điểm và mức độ sử dụng ND1L giữa người dân ở chợ, cơ sở kinh doanh - dịch vụ và cơ sở du lịch - lưu trú. Kết quả phân tích được trình bày dưới dạng bảng biểu và đồ thị nhằm minh họa rõ cơ cấu, tỷ lệ và xu hướng sử dụng ND1L theo từng nhóm đối tượng, phục vụ cho việc thảo luận và đánh giá thực trạng tại địa phương.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tần suất, mức độ và cơ cấu sử dụng sản phẩm nhựa dùng một lần theo nhóm đối tượng

Kết quả phân tích tần suất sản phẩm ND1L cho thấy mức độ sử dụng cao và tương đối đồng đều giữa nhóm người dân sinh sống và buôn bán tại chợ và nhóm cơ sở kinh doanh - dịch vụ. Cụ thể, theo Hình 1, phần lớn các đối tượng thuộc hai nhóm này sử dụng ND1L với tần suất từ thường xuyên đến hàng ngày trong khoảng thời gian 1 - 2 tuần khảo sát, phản ánh sự phụ thuộc đáng kể vào các sản phẩm nhựa tiện



Hình 1. Tần suất sử dụng sản phẩm ND1L trong khoảng thời gian 1 - 2 tuần

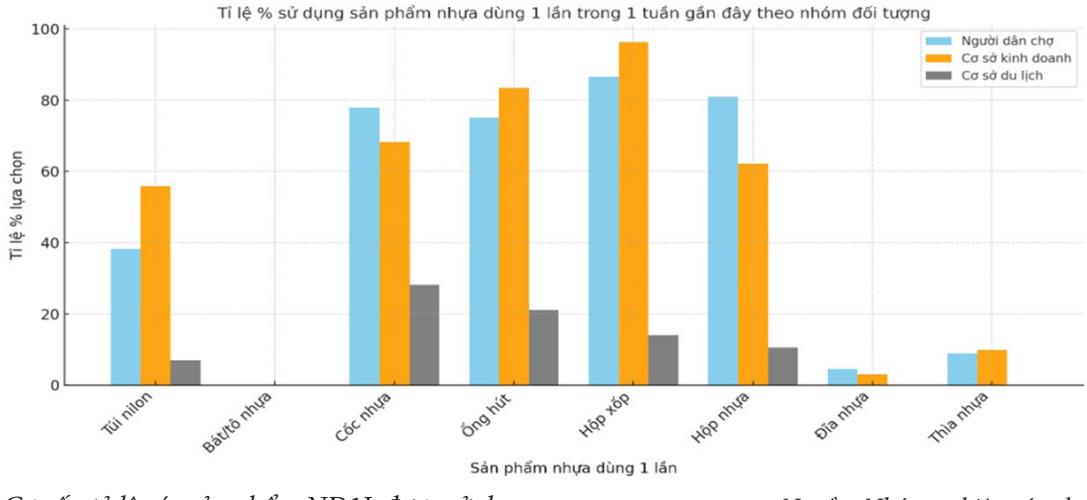
Nguồn: Nhóm nghiên cứu thực hiện

lợi trong các hoạt động sinh hoạt, mua bán và cung cấp dịch vụ hàng ngày. Ngược lại, nhóm cơ sở du lịch - lưu trú có tần suất sử dụng ND1L thấp hơn tương đối. Mặc dù ND1L vẫn được sử dụng trong hoạt động phục vụ khách, song tỷ lệ sử dụng ở mức hàng ngày không chiếm ưu thế như hai nhóm còn lại. Kết quả này cho thấy, trong bối cảnh đặc khu Côn Đảo, du lịch không phải là nguồn phát sinh ND1L lớn nhất, phù hợp với nhận định của Jambeck et al. (2015) rằng tại các khu vực ven biển và đảo, rác thải nhựa chủ yếu phát sinh từ sinh hoạt dân cư và các hoạt động dịch vụ địa phương quy mô nhỏ, hơn là từ các ngành kinh tế trọng điểm.

Xét về cơ cấu ND1L, Hình 2 cho thấy nhóm người dân ở chợ và nhóm cơ sở kinh doanh - dịch vụ, túi ni lông được sử dụng phổ biến hơn hẳn nhóm còn lại. Điều này phản ánh vai trò trung tâm của túi ni lông trong các hoạt động mua bán nhỏ lẻ và đóng gói hàng hóa hàng ngày kèm theo hoạt động mua sắm, đồng thời lý giải vì sao loại ND1L này trở thành thành phần chủ đạo trong dòng rác thải nhựa sinh hoạt phân tán tại địa phương.

Ở nhóm cơ sở du lịch - lưu trú, cơ cấu ND1L có sự khác biệt rõ rệt (Hình 2). Tỷ lệ sử dụng túi ni lông thấp hơn tương đối, trong khi các sản phẩm như cốc nhựa và vật dụng nhựa phục vụ dịch vụ chiếm tỷ trọng cao hơn. Sự khác biệt này phản ánh đặc thù hoạt động của lĩnh vực du lịch, nơi ND1L phát sinh chủ yếu gắn với nhu cầu tiêu dùng của khách lưu trú, có tính tập trung theo cơ sở. Theo UNEP (2018, 2021), dạng phát sinh tập trung này thuận lợi hơn cho công tác thu gom và thay thế bằng các sản phẩm thân thiện với môi trường, so với các loại bao bì nhựa nhẹ phát sinh phân tán trong khu vực dân cư.

Sự khác biệt về cơ cấu ND1L giữa các nhóm được tổng hợp tại Bảng 2 cho thấy nhóm người dân ở chợ và cơ sở kinh doanh – dịch vụ có cơ cấu ND1L thiên lệch mạnh về bao bì nhẹ như túi ni lông và hộp xốp, là những loại dễ phát tán và khó thu gom triệt để. Trong



Hình 2. Cơ cấu tỷ lệ các sản phẩm ND1L được sử dụng

Nguồn: Nhóm nghiên cứu thực hiện

Bảng 2. Cơ cấu ND1L và đặc trưng phát sinh theo nhóm đối tượng

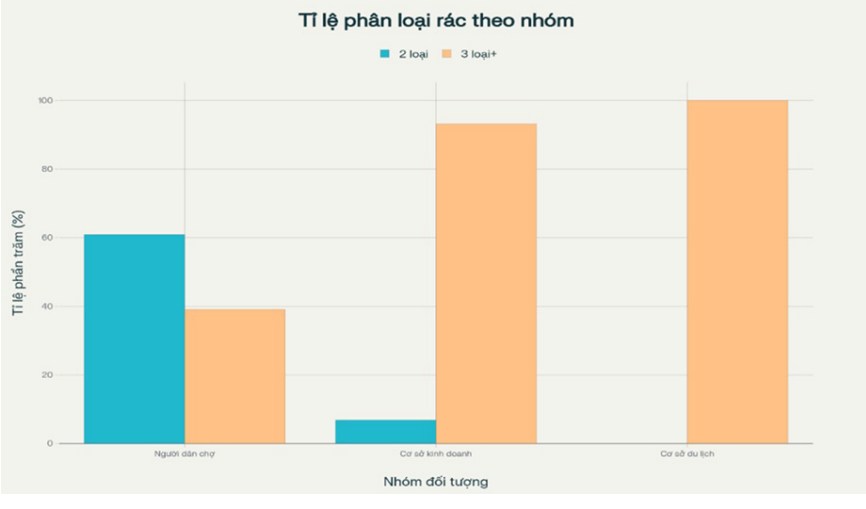
Nhóm đối tượng	NSD1L chiếm ưu thế	Đặc điểm cơ cấu	Hệ quả quản lý
Người dân ở chợ	Túi ni lông, hộp xốp, hộp nhựa cốc nhựa, ống hút	Phát sinh gắn với tiêu dùng, dễ phát tán	Gia tăng rác hỗn hợp, khó thu gom triệt để
Cơ sở kinh doanh – dịch vụ	Túi ni lông, hộp xốp, hộp nhựa cốc nhựa, ống hút	Phát sinh gắn với tiêu dùng, dễ phát tán	Gia tăng rác hỗn hợp, khó thu gom triệt để
Cơ sở du lịch – lưu trú	Vật dụng nhựa tiện ích	Phát sinh theo dịch vụ	Dễ kiểm soát, thay thế

Nguồn: Nhóm nghiên cứu thực hiện

khi đó, nhóm cơ sở du lịch – lưu trú có cơ cấu phát sinh gắn với hoạt động dịch vụ, từ đó có mức độ kiểm soát cao hơn. Kết quả này củng cố nhận định rằng nguồn phát sinh ND1L tại đặc khu Côn Đảo phân bố rộng và tập trung chủ yếu ở khu vực dân cư và kinh doanh địa phương, thay vì chỉ tập trung ở lĩnh vực du lịch. Do đó, cần tăng cường truyền thông, nâng cao nhận thức cộng đồng về tác hại của sản phẩm ND1L, đồng thời khuyến khích sử dụng các sản phẩm thay thế thân thiện môi trường trong sinh hoạt.

3.2. Quy mô phát sinh và thực trạng phân loại sản phẩm nhựa dùng một lần tại nguồn

Về quy mô phát sinh, kết quả khảo sát cho thấy trung bình mỗi hộ dân sinh sống tại chợ và mỗi cơ sở kinh doanh sử dụng khoảng 1 - 2 kg túi ni lông mỗi tháng, tương đương 10 - 20 kg mỗi năm. Mặc dù khối lượng phát sinh tại từng nguồn riêng lẻ không lớn, song với số lượng lớn các hộ dân và cơ sở kinh doanh phân bố rộng khắp trên toàn huyện đảo. Đặc điểm này phù hợp với phân tích của OECD (2020), khi cho rằng các nguồn phát sinh nhỏ lẻ nhưng số lượng lớn thường gây áp lực lớn hơn lên hệ thống quản lý chất thải so với các nguồn phát sinh tập trung.



Hình 3. Đồ thị thể hiện thói quen phân loại rác ở 3 nhóm đối tượng phỏng vấn

Nguồn: Nhóm nghiên cứu thực hiện

Thực trạng phân loại rác tại nguồn thể hiện sự khác biệt rõ rệt giữa các nhóm đối tượng, như thể hiện tại Hình 3. Nhóm cơ sở du lịch - lưu trú có mức độ phân loại rác cao nhất, với 100% số cơ sở thực hiện phân loại rác thành từ ba loại trở lên (rác thải hữu cơ, tái chế và loại khác). Điều này cho thấy năng lực quản lý tốt và sự tuân thủ các yêu cầu BVMT trong hoạt động du lịch tại Côn Đảo, phù hợp với nhận định của UNEP (2021) về vai trò của phân loại rác tại nguồn trong việc giảm thất thoát rác thải nhựa ra môi trường biển.

Ngược lại, nhóm người dân sinh sống và buôn bán tại chợ - đồng thời là nhóm phát sinh ND1L lớn nhất - lại có tỷ lệ phân loại rác thấp nhất. Chỉ 39,1% số hộ thực hiện phân loại rác từ ba loại trở lên (Hình 3), trong khi vẫn còn một bộ phận hộ dân chưa phân loại hoặc tự xử lý rác tại nhà. Nhóm cơ sở kinh doanh – dịch vụ có tỷ lệ phân loại rác ở mức trung gian, phản ánh sự không đồng đều trong thực hiện quản lý rác thải tại nguồn giữa các nhóm phát sinh chính.

Mối tương quan giữa mức độ sử dụng ND1L và thực hiện phân loại rác tại nguồn được thể hiện rõ tại Bảng 3. Nhóm người dân ở chợ có mức sử dụng ND1L rất cao nhưng tỷ lệ phân loại rác thấp (39,1%), trong khi nhóm cơ sở du lịch - lưu trú có mức sử dụng ND1L trung bình nhưng tỷ lệ phân loại đạt 100%. Sự trái chiều này cũng được OECD (2020) ghi nhận tại nhiều khu vực đảo và ven biển, nơi các nhóm phát sinh rác nhựa lớn nhất thường lại có năng lực kiểm soát tại nguồn thấp nhất, làm gia tăng nguy cơ rác thải nhựa bị trộn lẫn và thất thoát ra môi trường.

Tổng hợp các kết quả định lượng từ Hình 1, Hình 2, Hình

Bảng 3. Tương quan giữa mức sử dụng ND1L và thực hiện phân loại rác tại nguồn giữa các nhóm đối tượng

Nhóm đối tượng	Mức độ sử dụng ND1L	Tỷ lệ phân loại ≥3 loại	Mức độ kiểm soát tại nguồn
Người dân ở chợ	Rất cao	Thấp (39,1%)	Thấp
Cơ sở kinh doanh – dịch vụ	Cao	Trung bình	Trung bình
Cơ sở du lịch – lưu trú	Trung bình	Rất cao (100%)	Cao

Nguồn: Nhóm nghiên cứu thực hiện

3 và Bảng 3 cho thấy thách thức trong quản lý ND1L tại đặc khu Côn Đảo không chỉ nằm ở tổng lượng phát sinh, mà chủ yếu ở sự kết hợp giữa mức độ sử dụng cao, cơ cấu ND1L thiên lệch và tỷ lệ phân loại rác tại nguồn còn hạn chế ở các nhóm phát sinh chính. Những phát hiện này làm rõ đặc thù phát sinh rác thải nhựa tại khu vực đảo và là cơ sở khoa học để đề xuất các giải pháp quản lý và giảm thiểu phù hợp. Do đó, cần duy trì và nhân rộng mô hình phân loại rác tại nguồn, đồng thời từng bước hạn chế sử dụng túi ni lông khó phân hủy thông qua các biện pháp quản lý và khuyến khích sử dụng sản phẩm thay thế.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Nghiên cứu đã làm rõ thực trạng sử dụng sản phẩm ND1L tại đặc khu Côn Đảo thông qua 822 phiếu khảo sát đại diện cho ba nhóm đối tượng phát sinh chính gồm người dân ở chợ, cơ sở kinh doanh - dịch vụ và cơ sở du lịch - lưu trú. Kết quả cho thấy mức độ sử dụng ND1L ở nhóm người dân và cơ sở kinh doanh đều ở mức cao và tương đương nhau, với tần suất sử dụng từ thường xuyên đến hàng ngày chiếm ưu thế, trong khi nhóm cơ sở du lịch có mức độ sử dụng thấp hơn tương đối.

Xét về cơ cấu sử dụng, cốc nhựa, ống hút, hộp xốp, hộp nhựa là loại ND1L chiếm tỷ trọng lớn nhất ở cả ba nhóm, tiếp theo là ni lông dùng một lần. Mặc dù khối lượng ND1L phát sinh tại từng hộ dân hoặc cơ sở kinh doanh không lớn, trung bình khoảng 1 - 2 kg túi ni lông mỗi tháng, cho thấy lượng phát sinh tại từng nguồn không lớn nhưng mang tính phân tán cao, gây áp lực lên hệ thống thu gom và xử lý chất thải rắn sinh hoạt.

Sự khác biệt rõ rệt về thực hiện phân loại rác tại nguồn giữa các nhóm đối tượng cho thấy nhóm phát sinh ND1L lớn nhất lại có năng lực kiểm soát tại nguồn thấp nhất. Đây là đặc điểm nổi bật của thực trạng sử dụng ND1L tại đặc khu Côn Đảo và là thách thức trọng tâm trong kiểm soát rác thải nhựa tại các huyện đảo.

4.2. Kiến nghị

Từ kết quả nghiên cứu, có thể thấy việc sử dụng sản phẩm ND1L tại đặc khu Côn Đảo còn phổ biến, đặc biệt tại khu vực chợ và các cơ sở kinh doanh - nhóm phát sinh chính. Do đó, cần tập trung một số giải pháp như: Tăng cường truyền thông, nâng cao nhận thức cộng đồng; thúc đẩy sử dụng sản phẩm thay thế thân thiện môi trường; duy trì và nhân rộng mô hình phân loại rác tại nguồn; đồng thời từng bước hạn chế sử dụng túi ni lông khó phân hủy trong sinh hoạt và kinh doanh.

Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng gợi mở một số hướng nghiên cứu tiếp theo, bao gồm: thực hiện các nghiên cứu định lượng về lượng phát sinh ND1L thông qua cân đo thực tế tại hộ dân và cơ sở kinh doanh; phân tích mối liên hệ giữa mức độ sử dụng ND1L và việc phân loại rác tại nguồn; đồng thời đánh giá các yếu tố kinh tế - xã hội và đặc điểm sinh kế ảnh hưởng đến sự khác biệt trong sử dụng ND1L giữa các nhóm đối tượng■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Chính phủ. (2022). Nghị định số 08/2022/NĐ-CP ngày 10/1/2022 quy định chi tiết một số điều của Luật BVMT.

2. Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., et al. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. Science, 347(6223), 768–771.

3. United Nations Environment Programme (UNEP). (2018). Single-use plastics: A roadmap for sustainability. Nairobi.

4. United Nations Environment Programme (UNEP). (2019). Small Island Developing States: Waste Management Outlook. Nairobi.

5. OECD. (2020). Global Plastics Outlook. OECD Publishing, Paris.

6. Bộ Tài nguyên và Môi trường. (2020). Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia – Chất thải rắn. Hà Nội.

7. UBND huyện Côn Đảo. (2025). Thông tin tổng quan huyện Côn Đảo. Cổng thông tin điện tử Côn Đảo. Truy cập tại: https://condao.com.vn (ngày truy cập: 30/3/2026).

8. United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). From pollution to solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi.

9. IUCN. (2022). The economic impact of marine plastic pollution in Saint Lucia. Gland, Switzerland.

10. Bryman, A. (2016). Social Research Methods (5th ed.). Oxford University Press.

11. Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches (5th ed.). Sage Publications.

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG HỆ THỐNG MÔ HÌNH DỰ BÁO LŨ TÍCH HỢP MIKE NAM - MIKE 11 PHỤC VỤ VẬN HÀNH HỒ CHỨA THEO THỜI GIAN THỰC TẠI TỈNH NINH BÌNH

DOÃN HÀ PHONG[1*], LÊ VĂN QUY[1], TRẦN THỊ TÚ[2]
[1]*Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn, Môi trường và Biển*
[2]*Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội*

Tóm tắt
Trong bối cảnh biến đổi khí hậu làm gia tăng tần suất và cường độ các trận mưa lớn cực đoan, yêu cầu nâng cao năng lực dự báo lũ phục vụ vận hành hồ chứa theo thời gian thực ngày càng trở nên cấp thiết. Tại tỉnh Ninh Bình, hệ thống hồ chứa đóng vai trò quan trọng trong điều tiết nguồn nước, phòng chống lũ và đảm bảo an toàn hạ du. Tuy nhiên, việc vận hành hồ theo các quan hệ tĩnh truyền thống còn nhiều hạn chế khi xuất hiện các trận lũ lớn bất thường.
Nghiên cứu này tập trung xây dựng hệ thống mô hình dự báo lũ tích hợp thủy văn - thủy lực cho 5 hồ chứa chính tại tỉnh Ninh Bình, bao gồm: Yên Thắng, Đồng Thái, Đá Lải, Đồng Chương và Yên Quang. Hệ thống mô hình được xây dựng trên cơ sở tích hợp mô hình thủy văn MIKE NAM nhằm mô phỏng quá trình chuyển hóa mưa – dòng chảy trên lưu vực và mô hình thủy lực MIKE 11 nhằm mô phỏng quá trình lan truyền lũ trên hệ thống sông và hồ chứa theo hệ phương trình Saint-Venant một chiều.
Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình cho thấy hệ thống mô hình có độ tin cậy cao. Hệ số Nash-Sutcliffe đạt từ 0,76 đến 0,84; sai số đỉnh lũ nhỏ hơn 10%; sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ nhỏ hơn 3 giờ. Kết quả mô phỏng thể hiện khả năng tái hiện tốt quá trình dòng chảy thực tế và diễn biến mực nước tại các vị trí kiểm tra. Hệ thống mô hình cho phép dự báo dòng chảy đến hồ, mô phỏng lan truyền lũ hạ du và hỗ trợ xây dựng phương án vận hành hồ chứa theo thời gian thực. Kết quả nghiên cứu góp phần nâng cao hiệu quả quản lý tài nguyên nước, tăng cường an toàn công trình và giảm thiểu rủi ro thiên tai trong điều kiện biến đổi khí hậu.
Từ khóa: *Dự báo lũ, MIKE NAM, MIKE 11, vận hành hồ chứa, Ninh Bình.*
Ngày nhận bài: *14/2/2026****; Ngày sửa chữa:*** *18/2/2026****; Ngày duyệt đăng:*** *29/3/2026.*

Development of an integrated hydrological-hydraulic flood forecasting model system for real-time reservoir operation in Ninh Binh province

Abstract
Under the context of climate change, the increasing frequency and intensity of extreme rainfall events have significantly increased the demand for reliable flood forecasting to support real-time reservoir operation. In Ninh Binh province, the reservoir system plays an important role in water regulation, flood mitigation and downstream safety. However, traditional reservoir operation based on static relationships shows limitations under extreme flood conditions.
This study aims to develop an integrated hydro-hydraulic flood forecasting modelling system for five major reservoirs in Ninh Binh province, including Yen Thang, Dong Thai, Da Lai, Dong Chuong and Yen Quang reservoirs. The modelling framework integrates the MIKE NAM hydrological model to simulate rainfall–runoff processes within the catchment and the MIKE 11 hydraulic model to simulate flood routing in river channels and reservoirs based on the one-dimensional Saint–Venant equations.
Calibration and validation results demonstrate high model reliability. The Nash–Sutcliffe efficiency coefficient ranges from 0.76 to 0.84. Peak discharge error is less than 10%, and peak timing error is less than 3 hours. The simulation results show good agreement with observed discharge and water level data at monitoring locations. The developed modelling system is capable of forecasting reservoir inflow, simulating downstream flood propagation and supporting real-time reservoir operation decision-making. The study contributes to improving water resources management efficiency, enhancing infrastructure safety and reducing disaster risks under climate change conditions.
Keywords: *Flood forecasting, MIKE NAM; MIKE 11, Reservoir operation, Ninh Binh.*
JEL Classifications: Q54, Q51, O44.

1. GIỚI THIỆU

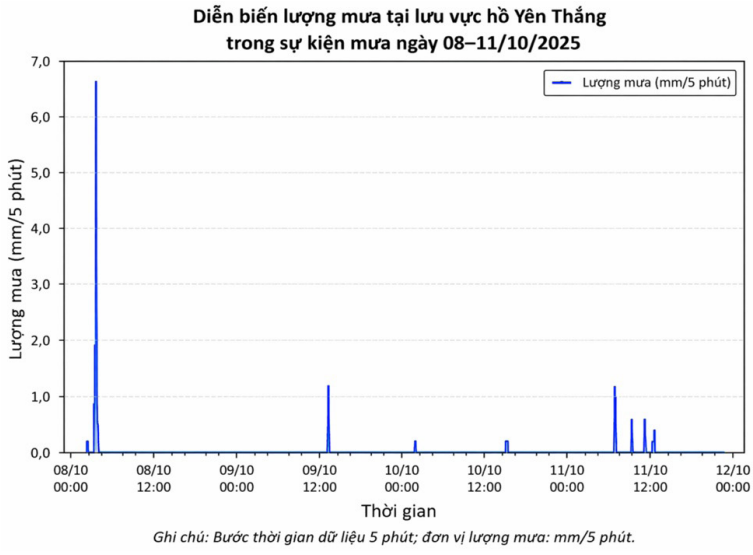
Trong những thập kỷ gần đây, biến đổi khí hậu đã làm gia tăng tần suất và cường độ của các trận mưa cực đoan, dẫn đến nguy cơ gia tăng lũ lớn và ngập lụt trên nhiều lưu vực sông. Sự thay đổi chế độ mưa làm cho các phương pháp dự báo lũ truyền thống dựa trên quan hệ thống kê giữa mực nước và lưu lượng ngày càng kém hiệu quả, do đó các hệ thống dự báo lũ dựa trên mô hình vật lý ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong quản lý rủi ro thiên tai [6], [8].

Tại Việt Nam, xu thế gia tăng mưa lớn cực đoan được ghi nhận rõ tại khu vực Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ, làm cho quá trình hình thành lũ diễn ra nhanh hơn và biên độ lũ lớn hơn [11]. Điều này đặt ra yêu cầu nâng cao năng lực dự báo lũ và hỗ trợ vận hành hồ chứa theo thời gian thực nhằm đảm bảo an toàn công trình và giảm thiểu rủi ro ngập lụt hạ du [12].

Trong các nghiên cứu dự báo lũ hiện nay, việc tích hợp mô hình thủy văn và mô hình thủy lực được xem là cách tiếp cận hiệu quả để mô phỏng liên tục quá trình từ mưa - dòng chảy trên lưu vực đến lan truyền lũ trong hệ thống sông và hồ chứa [3], [4]. Hệ thống mô hình MIKE NAM - MIKE 11 của DHI được sử dụng phổ biến trong các nghiên cứu mô phỏng và dự báo lũ, trong đó MIKE NAM mô phỏng quá trình mưa - dòng chảy và MIKE 11 mô phỏng lan truyền lũ dựa trên hệ phương trình Saint-Venant một chiều [9], [10].

Tại tỉnh Ninh Bình, hệ thống hồ chứa Yên Thắng, Đồng Thái, Đá Lải, Đồng Chương và Yên Quang đóng vai trò quan trọng trong điều tiết nguồn nước và giảm lũ cho vùng hạ du. Tuy nhiên, trong điều kiện mưa lớn cực đoan, việc vận hành hồ theo các phương pháp truyền thống có thể chưa đáp ứng đầy đủ yêu cầu đảm bảo an toàn công trình và giảm thiểu ngập lụt.

Do đó, nghiên cứu này xây dựng hệ thống mô hình dự báo lũ tích hợp MIKE NAM - MIKE 11 cho hệ thống 5 hồ chứa chính của tỉnh Ninh Bình nhằm dự báo dòng chảy đến hồ, mô phỏng lan truyền lũ và hỗ trợ vận hành hồ chứa theo thời gian thực. Kết quả nghiên cứu góp phần nâng cao năng lực dự báo ngập lụt và điều tiết hồ chứa trong điều kiện biến đổi khí hậu.



Hình 1. Diễn biến lượng mưa theo bước thời gian 5 phút tại lưu vực hồ Yên Thắng trong sự kiện mưa ngày 8-10/10/2025

Mặc dù các mô hình MIKE NAM và MIKE 11 đã được ứng dụng trong nhiều nghiên cứu mô phỏng và dự báo lũ tại Việt Nam, phần lớn các nghiên cứu trước đây chủ yếu tập trung vào mô phỏng dòng chảy hoặc đánh giá thủy lực cho từng lưu vực, chưa tích hợp đầy đủ giữa mô hình mưa - dòng chảy, mô hình thủy lực và bài toán vận hành hồ chứa theo thời gian thực. Đối với tỉnh Ninh Bình, các kết quả nghiên cứu và ứng dụng hiện có chủ yếu phục vụ đánh giá tài nguyên nước, mô phỏng dòng chảy hoặc xây dựng hệ thống thông tin cảnh báo, trong khi chưa có nghiên cứu công bố dưới dạng bài báo khoa học về một hệ thống dự báo lũ tích hợp hoàn chỉnh cho 5 hồ chứa chính, có phân tách rõ giai đoạn hiệu chỉnh, kiểm định độc lập và thử nghiệm dự báo phục vụ vận hành. Vì vậy, khoảng trống nghiên cứu của bài báo này là xây dựng và đánh giá một hệ thống mô hình dự báo lũ tích hợp MIKE NAM - MIKE 11 cho 5 hồ chứa chính của tỉnh Ninh Bình, gắn trực tiếp với nhu cầu hỗ trợ vận hành hồ chứa theo thời gian thực.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

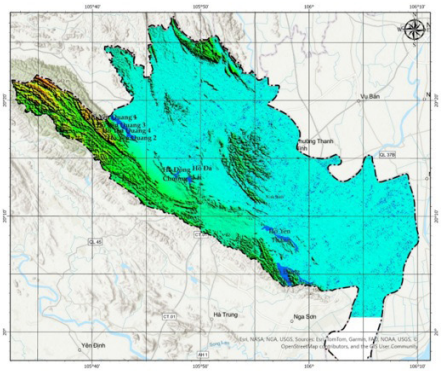
Để đảm bảo độ tin cậy của hệ thống mô hình, nghiên cứu sử dụng nhiều tập dữ liệu khác nhau cho các mục đích hiệu chỉnh, kiểm định và thử nghiệm dự báo. Cụ thể, giai đoạn hiệu chỉnh được thực hiện trên các sự kiện mưa - lũ điển hình năm 2023; giai đoạn kiểm định sử dụng số liệu độc lập năm 2022; và giai đoạn thử nghiệm dự báo được thực hiện trên các sự kiện mưa lớn năm 2025, trong đó có trận mưa từ ngày 08–11/10/2025.

Cách tiếp cận này cho phép đánh giá toàn diện độ tin cậy của hệ thống mô hình trong cả mô phỏng và dự báo, đồng thời hạn chế sai lệch do phụ thuộc vào một sự kiện đơn lẻ.

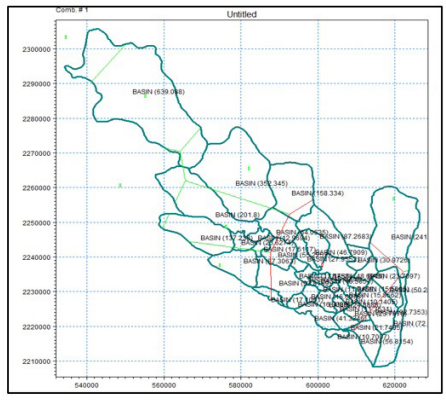
Hình 1 cho thấy lượng mưa tập trung chủ yếu trong khoảng thời gian từ ngày 09 đến 10/10/2025 với cường độ mưa lớn kéo dài nhiều giờ liên tiếp. Tổng lượng mưa tích lũy trong 72 giờ đạt khoảng 210-220 mm, tạo điều kiện hình thành dòng chảy lũ đáng kể trên lưu vực hồ Yên Thắng.

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu thuộc địa bàn tỉnh Ninh Bình, nơi có hệ thống



Hình 2. Vị trí và địa hình lưu vực của 5 hồ chứa nghiên cứu tại tỉnh Ninh Bình

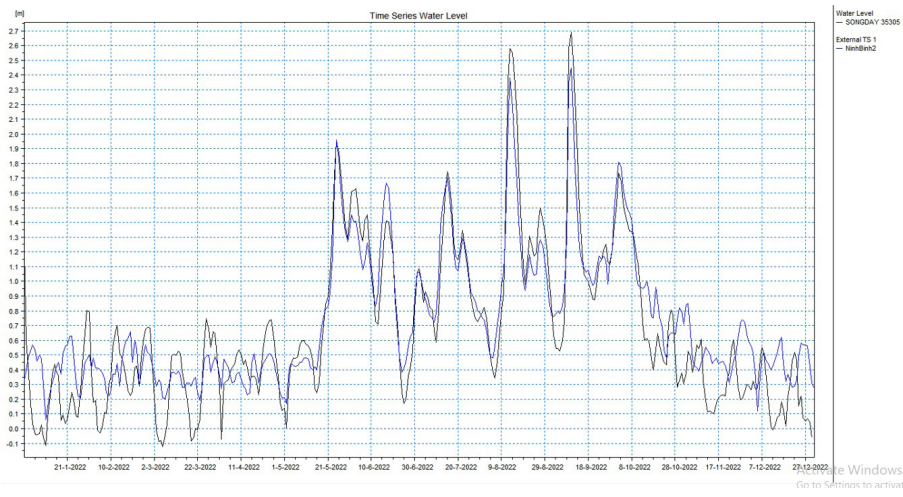


Hình 3. Sơ đồ phân chia tiểu lưu vực phục vụ thiết lập mô hình MIKE NAM

hồ chứa thủy lợi đóng vai trò quan trọng trong điều tiết nguồn nước, cấp nước tưới nông nghiệp, cắt giảm lũ và đảm bảo an toàn vùng hạ du [11], [12]. Toàn tỉnh hiện có nhiều hồ chứa thủy lợi với tổng dung tích lớn, trong đó nhóm 5 hồ chứa chính gồm Yên Thắng, Đồng Thái, Đá Lải, Đồng Chương và Yên Quang được xác định là các hồ có vai trò điều tiết dòng chảy và phòng chống lũ quan trọng trong hệ thống thủy lợi của tỉnh (Hình 2, 3).

Các hồ chứa phân bố chủ yếu tại khu vực trung du – miền núi phía Tây tỉnh Ninh Bình, nơi có đặc trưng lưu vực nhỏ, độ dốc tương đối lớn và thời gian tập trung lũ ngắn. Trong điều kiện mưa lớn cường độ cao, các lưu vực này có khả năng hình thành lũ nhanh và gây áp lực lớn đối với công tác vận hành hồ và phòng chống ngập lụt hạ du.

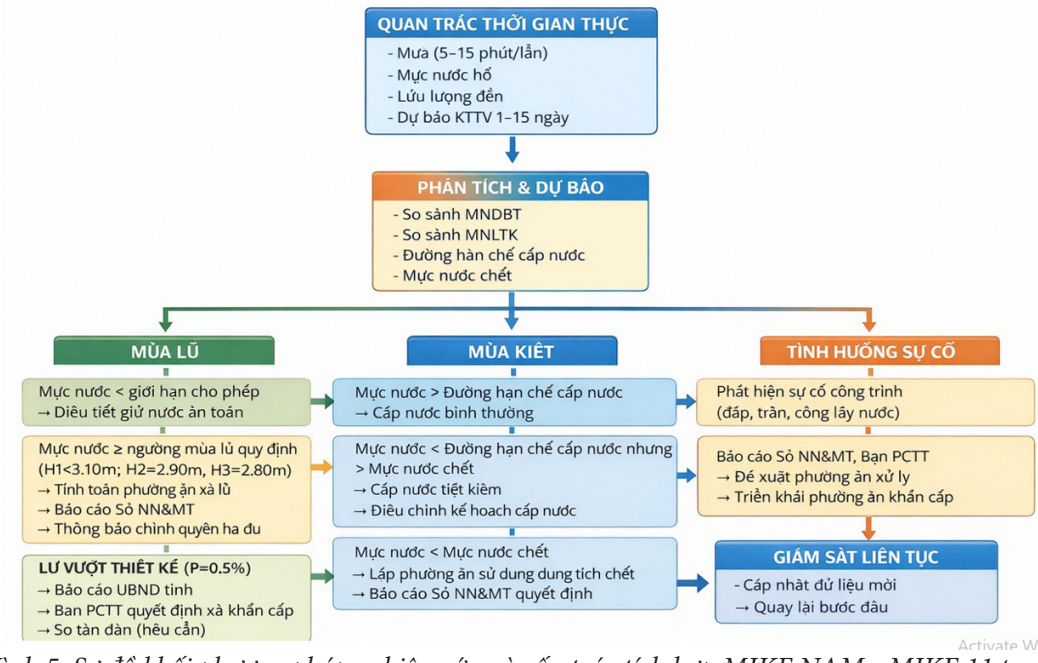
Ngoài ra, hệ thống hồ chứa tại Ninh Bình có mối liên kết chặt chẽ với hệ thống sông suối nội tỉnh, do đó việc vận hành hồ không chỉ ảnh hưởng đến an toàn công trình mà còn tác động trực tiếp đến chế độ dòng chảy hạ du. Điều này đặt ra yêu cầu cần có công cụ mô phỏng và dự báo lũ có khả năng mô tả đồng thời quá trình dòng chảy trên lưu vực và lan truyền lũ trong hệ thống sông [8].



Hình 4. Kết quả kiểm định mô hình thủy lực MIKE 11 (mực nước / lưu lượng)

2.2. Dữ liệu khí tượng thủy văn

Về đặc điểm thủy văn, khu vực nghiên cứu chịu ảnh hưởng của hệ thống sông nội tỉnh Ninh Bình, trong đó dòng chảy hạ du của các hồ có liên hệ với các sông chính như sông Đáy, sông Hoàng Long và các sông, suối nội vùng. Năm hồ chứa nghiên cứu gồm Yên Thắng, Đồng Thái, Đá Lải, Đồng Chương và Yên Quang phân bố chủ yếu ở khu vực phía Tây tỉnh, nơi địa hình dốc, lưu vực nhỏ và thời gian tập trung lũ ngắn. Dữ liệu phục vụ nghiên cứu được thu thập từ các trạm mưa, trạm thủy văn và điểm quan trắc mực nước hồ trong khu vực, trong đó trạm Ninh Bình được sử dụng như điểm kiểm tra thủy lực đại diện ở hạ du. Các số liệu khí tượng thủy văn sử dụng trong nghiên cứu bao gồm số liệu mưa, mực nước, lưu lượng tại các trạm quan trắc trong khu vực, kết hợp với dữ liệu mưa dự báo từ các mô hình dự báo số trị khí tượng [8]. Trong nghiên cứu này, dữ liệu khí tượng thủy văn được sử dụng bao gồm chuỗi số liệu dài hạn giai đoạn 1990-2024 nhằm phân tích đặc trưng dòng chảy và điều kiện thủy văn của lưu vực. Số liệu năm 2023 được sử dụng cho hiệu chỉnh mô hình, trong khi số liệu năm 2022 được sử dụng cho kiểm định độc lập nhằm đánh giá khách quan độ tin cậy của hệ thống mô hình.Ngoài ra, dữ liệu mưa dự báo từ các mô hình số trị khí tượng được sử dụng làm đầu vào cho các thử nghiệm dự báo dòng chảy đến hồ. Đồng thời, các thông số vận hành hồ chứa như mực nước dâng bình thường, mực nước lũ thiết kế và quy trình vận hành cũng được tích hợp nhằm phục vụ đánh giá khả năng vận hành hồ trong điều kiện dự báo.



Hình 5. Sơ đồ khối phương pháp nghiên cứu và cấu trúc tích hợp MIKE NAM - MIKE 11 trong bài toán dự báo dòng chảy đến hồ và lan truyền lũ hạ du

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Hệ thống mô hình dự báo lũ trong nghiên cứu được xây dựng theo hướng tích hợp giữa mô hình thủy văn và mô hình thủy lực nhằm mô phỏng đồng thời quá trình hình thành dòng chảy trên lưu vực và quá trình lan truyền lũ trong hệ thống sông và hồ chứa [8]. Cách tiếp cận này được lựa chọn trên cơ sở phân tích điều kiện dữ liệu khí tượng thủy văn thực tế, đặc điểm địa hình - thủy văn lưu vực và yêu cầu dự báo phục vụ vận hành hồ theo thời gian thực.

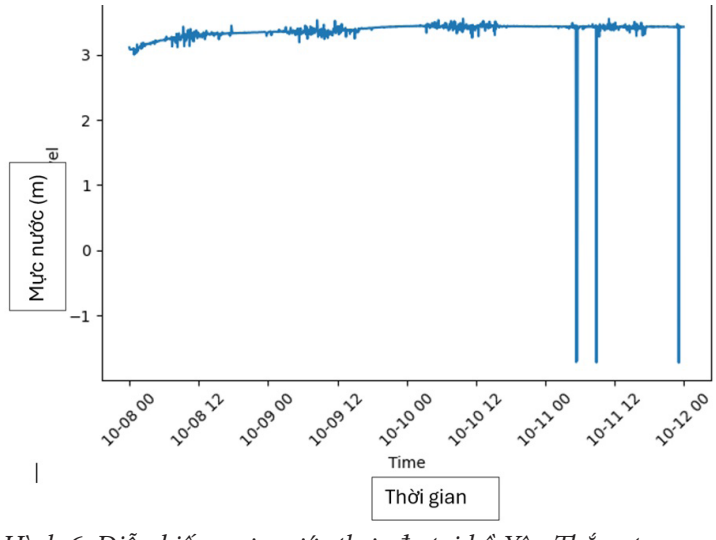
Trong hệ thống mô hình tích hợp, mô hình MIKE NAM được sử dụng để mô phỏng quá trình mưa – dòng chảy trên các lưu vực hồ chứa [9]. Mô hình được thiết lập riêng cho từng lưu vực hồ trên cơ sở số liệu mưa, bốc hơi, đặc trưng địa hình lưu vực và các đặc trưng thủy văn cơ bản.

Đối với mô hình thủy lực, MIKE 11 được sử dụng để mô phỏng quá trình lan truyền lũ trong hệ thống sông suối dựa trên hệ phương trình Saint-Venant một chiều [10] (Hình 4).

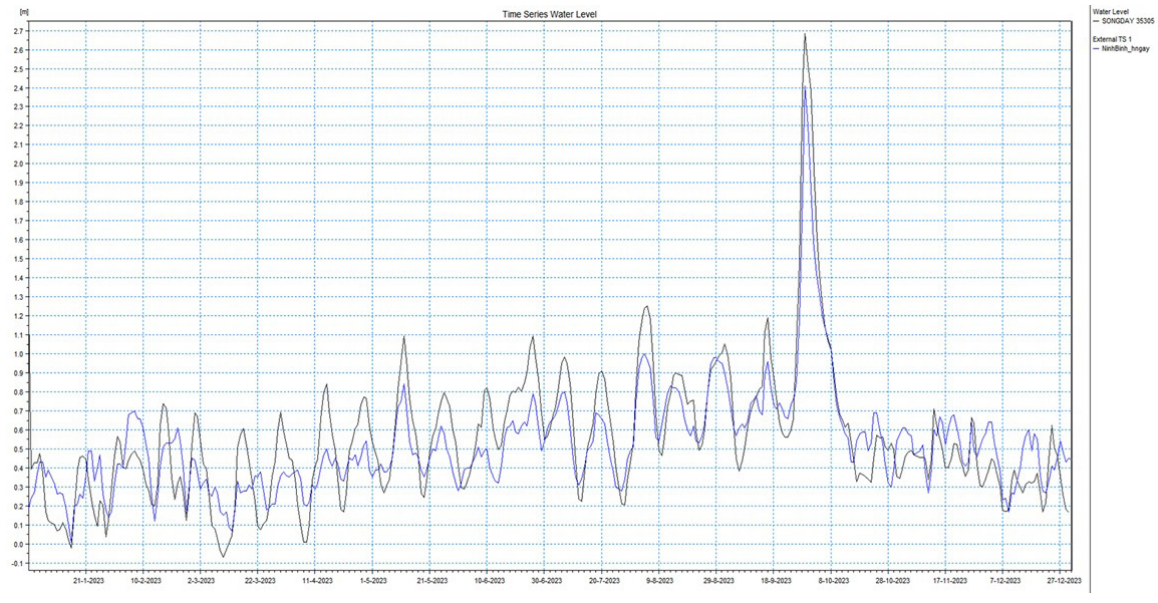
Quy trình xây dựng hệ thống mô hình được thực hiện theo chuỗi bước kỹ thuật thống nhất… phù hợp với các quy trình xây dựng hệ thống flood forecasting hiện đại [8], bao gồm: thu thập và xử lý số liệu khí tượng thủy văn, địa hình và công trình; thiết lập mô hình thủy văn; thiết lập mô hình thủy lực; hiệu chỉnh; kiểm định; và ứng dụng mô hình trong dự báo lũ và hỗ trợ vận hành hồ chứa theo thời gian thực (Hình 5).

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Hệ thống mô hình tích hợp MIKE NAM - MIKE 11 được xây dựng, hiệu chỉnh và kiểm định trên cơ sở số liệu khí tượng thủy văn thực đo tại khu vực 5 hồ chứa chính của tỉnh Ninh Bình, bao gồm Yên Thắng, Đồng Thái, Đá Lải, Đồng Chương và Yên Quang. Việc hiệu chỉnh mô hình MIKE NAM riêng cho từng lưu vực hồ chứa là cần thiết do tính không đồng nhất theo không gian của các đặc trưng thủy văn lưu vực [2], [6]. Hệ thống mô hình cho phép mô phỏng đồng thời quá trình hình thành dòng chảy trên lưu vực và lan truyền lũ trong hệ thống sông – hồ chứa (Hình 6).



Hình 6. Diễn biến mực nước thực đo tại hồ Yên Thắng trong sự kiện mưa tháng 10/2025



Hình 7. So sánh lưu lượng thực đo và lưu lượng mô phỏng MIKE NAM tại lưu vực hồ Yên Thắng

Kết quả quan trắc cho thấy, mực nước hồ Yên Thắng tăng nhanh sau khi xuất hiện mưa lớn, với thời gian phản ứng lũ khoảng 10-12 giờ sau khi mưa đạt cường độ lớn.

3.1. Hiệu chỉnh mô hình thủy văn MIKE NAM

Quá trình hiệu chỉnh mô hình trong nghiên cứu này được thực hiện trên cơ sở số liệu quan trắc năm 2023, là năm có chuỗi số liệu tương đối đầy đủ và phản ánh rõ các đặc trưng mưa – lũ điển hình trên lưu vực.

Việc hiệu chỉnh mô hình MIKE NAM riêng cho từng lưu vực hồ chứa là cần thiết do sự khác biệt về diện tích lưu vực, độ dốc địa hình, đặc điểm đất và thảm phủ, các yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình mưa – dòng chảy trên lưu vực [2], [6]. Trong nghiên cứu này, hồ Yên Thắng được lựa chọn làm lưu vực đại diện cho quá trình hiệu chỉnh do có chuỗi số liệu quan trắc dài, liên tục và chất lượng tốt (Hình 7).

Kết quả hiệu chỉnh cho thấy hệ số Nash-Sutcliffe (NSE) của các lưu vực dao động từ 0,76 đến 0,84, trong đó hồ Yên Thắng và Đồng Chương đạt khoảng 0,80-0,84; hồ Đồng Thái và Yên Quang đạt 0,76-0,80; hồ Đá Lải đạt 0,76-0,78. Theo các tiêu chuẩn đánh giá mô hình thủy văn quốc tế, giá trị NSE lớn hơn 0,65 được xem là mô hình có chất lượng tốt và lớn hơn 0,75 được xem là có độ tin cậy cao [7].

Sai số đỉnh lũ tại các hồ nhỏ hơn 10%, trong đó hồ Yên Thắng và Đồng Chương thường nhỏ hơn 8%, còn các hồ Đồng Thái, Yên Quang và Đá Lải dao động trong khoảng 8-10%. Sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ nhìn chung nhỏ hơn 3 giờ. Các kết quả này cho thấy mô hình MIKE NAM có khả năng mô phỏng hợp lý quá trình hình thành dòng chảy trên lưu vực và đáp ứng yêu cầu kỹ thuật cho hệ thống dự báo dòng chảy đến 5 hồ chứa phục vụ vận hành theo thời gian thực.

3.2. Kiểm định mô hình thủy lực MIKE 11

Sau khi hiệu chỉnh, mô hình được kiểm định độc lập bằng số liệu năm 2022 nhằm đánh giá khả năng tái hiện của hệ thống mô hình trên một tập dữ liệu khác với giai đoạn hiệu chỉnh.

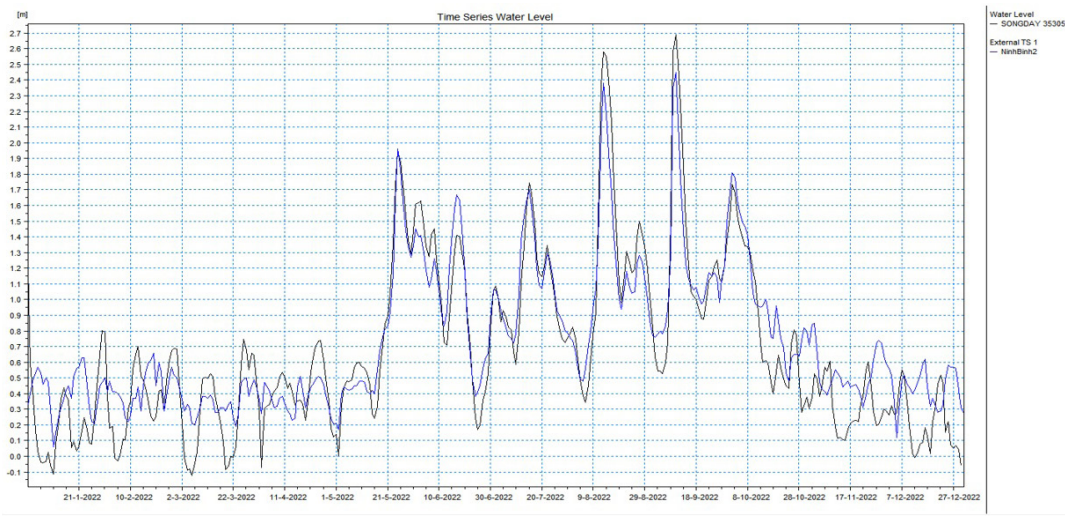
Sau khi thiết lập và hiệu chỉnh mô hình thủy văn MIKE NAM cho các lưu vực hồ Yên Thắng, Đồng Thái, Đá Lải, Đồng Chương và Yên Quang, mô hình thủy lực MIKE 11 được sử dụng để mô phỏng quá trình lan truyền lũ trên hệ thống sông chịu ảnh hưởng vận hành của các hồ chứa này. Mô hình được kiểm định bằng số liệu mực nước và lưu lượng thực đo tại các trạm thủy văn chính, trong đó trạm Ninh Bình trên sông Đáy được lựa chọn làm điểm kiểm tra đại diện do đây là vị trí tổng hợp dòng chảy từ nhiều lưu vực thượng nguồn.

Kết quả kiểm định cho thấy mô hình MIKE 11 mô phỏng tốt quá trình lan truyền sóng lũ trong hệ thống sông. Hệ số Nash–Sutcliffe (NSE) đạt từ 0,78 đến 0,86, sai số biên độ mực nước nhỏ hơn 10% và sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ nhỏ hơn 3 giờ. Các đường quá trình mực nước mô phỏng bám sát số liệu thực đo trong cả pha lên lũ và rút lũ, cho thấy mô hình có khả năng tái hiện hợp lý động học lan truyền lũ trong hệ thống sông chịu ảnh hưởng vận hành của năm hồ chứa (Bảng 1).

Trong khuôn khổ bài báo này, các chỉ tiêu NSE, sai số đỉnh lũ và sai số thời gian đỉnh được sử dụng như các chỉ tiêu chính để đánh giá chất lượng mô hình. Các chỉ tiêu bổ sung như RMSE và Pbias sẽ tiếp tục được xem xét trong các nghiên cứu mở rộng khi hoàn thiện đầy đủ chuỗi đánh giá cho toàn bộ các hồ chứa và các

Bảng 1. Chỉ tiêu đánh giá chất lượng mô hình theo từng hồ chứa

Hồ chứa	NSE (MIKE NAM)	NSE (MIKE 11)	Sai số đỉnh lũ (%)	Sai số thời gian đỉnh (giờ)
Yên Thắng	0.82	0.84	8	2.5
Đồng Thái	0.80	0.83	9	2.2
Đá Lải	0.78	0.82	9	2.8
Đồng Chương	0.77	0.81	10	2.6
Yên Quang	0.76	0.80	10	2.9



Hình 8. So sánh mực nước thực đo và mực nước mô phỏng MIKE 11 tại trạm thủy văn Ninh Bình

thời đoạn dự báo khác nhau. Kết quả trong Bảng 1 cho thấy hệ số NSE của mô hình MIKE NAM dao động trong khoảng 0,76–0,82 và của mô hình MIKE 11 đạt 0,80–0,84, với sai số đỉnh lũ nhỏ hơn 10% và sai số thời gian đỉnh lũ nhỏ hơn 3 giờ. Các chỉ tiêu này cho thấy hệ thống mô hình đạt độ chính xác tốt và đáp ứng yêu cầu kỹ thuật đối với hệ thống dự báo lũ phục vụ vận hành hồ chứa theo thời gian thực.

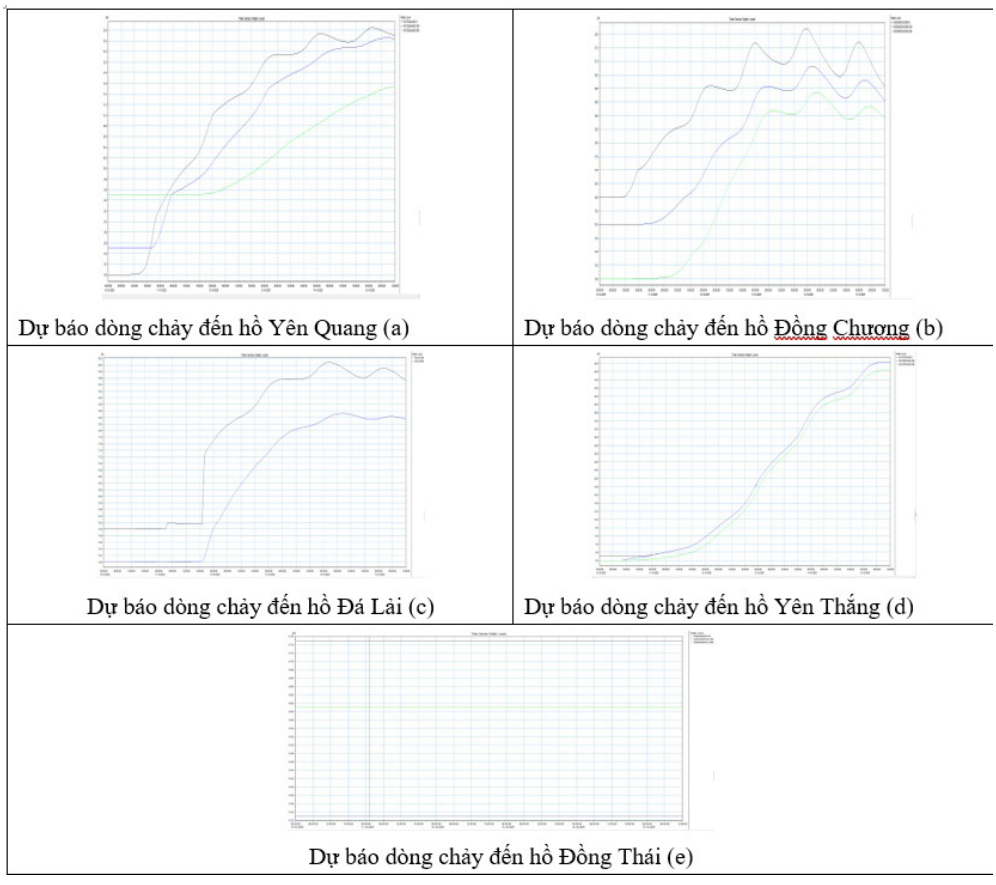
Hình 8 minh họa kết quả so sánh giữa mực nước thực đo và mực nước mô phỏng tại trạm thủy văn Ninh Bình. Các đường quá trình mô phỏng bám sát số liệu quan trắc trong cả pha lên lũ và rút lũ, cho thấy mô hình thủy lực MIKE 11 có khả năng mô phỏng hợp lý quá trình lan truyền lũ trên hệ thống sông chịu ảnh hưởng vận hành của năm hồ chứa Yên Thắng, Đồng Thái, Đá Lải, Đồng Chương và Yên Quang (Hình 8).

Nhìn chung, kết quả kiểm định cho thấy hệ thống mô hình tích hợp MIKE NAM - MIKE 11 có khả năng mô phỏng tốt cả quá trình hình thành dòng chảy trên lưu vực và lan truyền lũ trong hệ thống sông, phù hợp với các nghiên cứu ứng dụng mô hình thủy lực một chiều trong mô phỏng lũ sông [3], [4], [10], đồng thời đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của hệ thống dự báo lũ phục vụ vận hành năm hồ chứa tại tỉnh Ninh Bình.

3.3. Đánh giá tổng thể hệ thống mô hình tích hợp

Việc tích hợp mô hình thủy văn MIKE NAM và mô hình thủy lực MIKE 11 cho phép mô phỏng liên tục quá trình từ mưa - dòng chảy trên lưu vực đến lan truyền lũ trong hệ thống sông – hồ chứa, qua đó giảm sai số tích lũy khi sử dụng các mô hình riêng lẻ [8]. Cách tiếp cận này được áp dụng cho 5 hồ chứa chính của tỉnh Ninh Bình gồm Yên Thắng, Đồng Thái, Đá Lải, Đồng Chương và Yên Quang, cho phép đánh giá đồng thời ảnh hưởng của mưa, đặc trưng lưu vực và vận hành hồ đến chế độ dòng chảy hạ du (Hình 9).

Trong hệ thống này, mô hình MIKE NAM được thiết lập riêng cho từng lưu vực để tính toán dòng chảy đến hồ, sau đó kết quả được sử dụng làm đầu vào cho MIKE 11 nhằm mô phỏng lan truyền lũ trên hệ thống sông chịu ảnh hưởng vận hành hồ. Kết quả kiểm định tổng thể cho thấy hệ số Nash lớn hơn 0,75 tại các vị trí kiểm tra chính, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của hệ thống dự báo lũ phục vụ vận hành 5 hồ chứa theo thời gian thực. Hình 10 trình bày một trường hợp thử nghiệm dự báo điển hình cho hồ Yên Thắng, trong đó mô hình được khởi chạy từ trạng thái đầu xác định tại thời điểm bắt đầu dự báo và sử dụng dữ liệu mưa dự báo làm đầu vào. Kết quả dự báo được so sánh với chuỗi quan trắc



Hình 9. Kết quả dự báo dòng chảy đến các hồ chứa theo các thời hạn dự báo 24 giờ, 48 giờ và 72 giờ bằng hệ thống mô hình MIKE NAM - MIKE 11

thực đo để đánh giá khả năng tái hiện quá trình lũ.

Hình 10 cho thấy, đường quá trình lưu lượng dự báo bám tương đối sát xu thế biến đổi của lưu lượng thực đo tại hồ Yên Thắng trong sự kiện mưa lũ từ ngày 08–11/10/2025. Sai số chủ yếu xuất hiện tại pha lên lũ và thời điểm đỉnh lũ, khi mô hình có xu hướng dự báo thấp hơn giá trị thực đo. Tuy nhiên, hình dạng tổng thể của hydrograph và thời điểm chuyển pha giữa lên lũ và rút lũ vẫn được tái hiện hợp lý. Điều này cho thấy hệ thống mô hình MIKE NAM – MIKE 11 có khả năng ứng dụng trong dự báo lũ ngắn hạn với thời hạn dự báo 24–72 giờ phục vụ vận hành hồ chứa.

Kết quả so sánh giữa lưu lượng thực đo và lưu lượng dự báo cho thấy, mô hình có khả năng tái hiện tương đối tốt diễn biến dòng chảy đến hồ Yên Thắng trong sự kiện mưa lớn tháng 10/2025. Sai số đỉnh lũ trong thử nghiệm dự báo khoảng 6–8%, sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ nhỏ hơn 3 giờ. Hệ số Nash–Sutcliffe đạt khoảng 0.80, cho thấy mô hình đạt độ tin cậy tốt đối với bài toán dự báo lũ ngắn hạn với thời hạn dự báo từ 24 đến 72 giờ.

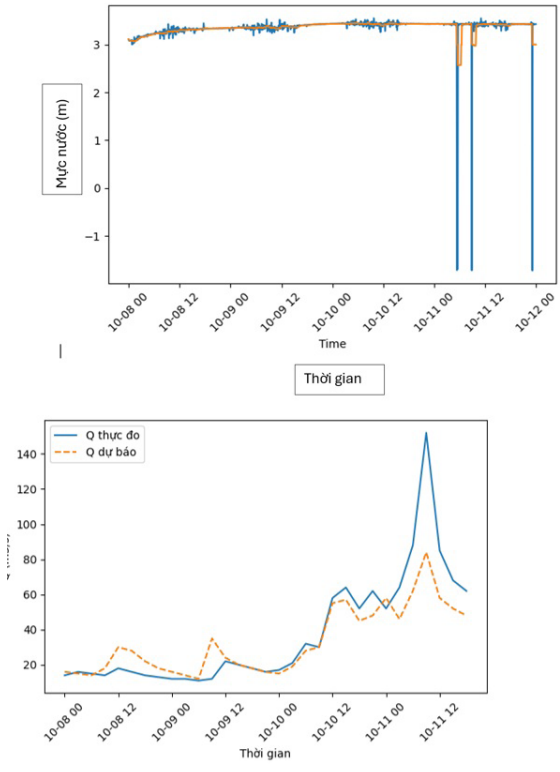
3.4. Xây dựng phương án dự báo dòng chảy đến hồ

Trên cơ sở hệ thống mô hình MIKE NAM – MIKE 11 đã được hiệu chỉnh và kiểm định, nghiên cứu tiến hành xây dựng phương án dự báo dòng chảy đến hệ thống 5 hồ chứa chính của tỉnh Ninh Bình gồm Yên Thắng, Đồng Thái, Đá Lải, Đồng Chương và Yên Quang. Phương án dự báo được xây dựng theo nguyên tắc dự báo ngắn hạn dựa trên dữ liệu mưa dự báo và trạng thái thủy văn hiện tại của lưu vực. Trong nghiên cứu này, phương án dự báo được hiểu là tổ hợp các bước kỹ thuật từ cập nhật trạng thái ban đầu của lưu vực và hồ chứa tại thời điểm bắt đầu dự báo, thu nhận dữ liệu mưa dự báo từ các mô hình số trị khí tượng, chạy mô hình MIKE NAM để dự báo dòng chảy đến hồ, sau đó truyền kết quả sang mô hình MIKE 11 để mô phỏng lan truyền lũ trên hệ thống sông. Trạng thái ban đầu của mô hình được xác định từ số liệu quan trắc mưa, mực nước và lưu lượng gần thời điểm bắt đầu dự báo. Cơ chế cập nhật được thực hiện theo chu kỳ phát hành bản tin, phù hợp với yêu cầu vận hành hồ chứa và cảnh báo lũ ngắn hạn.

Tại thời điểm bắt đầu dự báo, dữ liệu mưa dự báo từ các mô hình dự báo số trị khí tượng được sử dụng làm đầu vào cho mô hình MIKE NAM để tính toán dòng chảy đến từng hồ chứa. Kết quả dòng chảy dự báo sau đó được truyền sang mô hình MIKE 11 nhằm mô phỏng quá trình lan truyền lũ trên hệ thống sông

Bảng 2. Các chỉ tiêu đánh giá thử nghiệm dự báo lũ tại hồ Yên Thắng trong thời hạn dự báo 72 giờ

Chỉ tiêu	Giá trị
Lưu lượng đỉnh thực đo	~120 m^3/s
Lưu lượng đỉnh dự báo	~112 m^3/s
Sai số đỉnh lũ	6–8 %
Sai số thời gian đỉnh	< 3 giờ
NSE	~0.80



Hình 10. So sánh lưu lượng thực đo và lưu lượng dự báo đến hồ Yên Thắng trong thử nghiệm dự báo lũ 72 giờ từ ngày 08-11/10/2025

và đánh giá ảnh hưởng của vận hành hồ đến chế độ dòng chảy hạ du.

Thời hạn dự báo được lựa chọn trong khoảng 24-72 giờ, phù hợp với yêu cầu vận hành hồ chứa và cảnh báo lũ ngắn hạn.

3.5. Thử nghiệm dự báo dòng chảy đến hồ

Trên cơ sở hệ thống mô hình thủy văn – thủy lực đã được hiệu chỉnh và kiểm định, nghiên cứu tiến hành thử nghiệm dự báo dòng chảy đến các hồ chứa chính của tỉnh Ninh Bình gồm Yên Thắng, Đồng Thái, Đá Lải, Đồng Chương và Yên Quang. Hệ thống mô hình được vận hành theo chuỗi tính toán tích hợp, trong đó dữ liệu mưa dự báo từ các mô hình số trị khí tượng được sử dụng làm đầu vào cho mô hình thủy văn MIKE NAM nhằm tính toán dòng chảy đến hồ. Kết quả dòng chảy sau đó được truyền sang mô hình thủy lực MIKE 11 để mô phỏng quá trình lan truyền lũ trên hệ thống sông và đánh giá ảnh hưởng đến khu vực hạ du.

Để đánh giá khả năng ứng dụng của hệ thống mô hình trong dự báo lũ, nghiên cứu tiến hành thử nghiệm dự báo đối với một số sự kiện mưa lớn điển hình trên lưu vực.

Các thử nghiệm dự báo được thực hiện theo phương pháp kết hợp giữa hindcast và thử nghiệm dự báo trên cơ sở dữ liệu đầu vào dự báo. Trong đó, dữ liệu mưa dự báo từ các mô hình số trị khí tượng được sử dụng làm đầu vào cho mô hình nhằm đánh giá khả năng dự báo dòng chảy đến hồ trong điều kiện gần với thực tế.. Trong đó, dữ liệu mưa dự báo từ các mô hình số trị khí tượng được sử dụng làm đầu vào cho mô hình nhằm đánh giá khả năng dự báo dòng chảy đến hồ trong điều kiện tương tự vận hành thực tế.

Cách tiếp cận này cho phép đánh giá độ chính xác của hệ thống mô hình không chỉ trong mô phỏng mà còn trong điều kiện dự báo thực tế, phù hợp với yêu cầu của các hệ thống dự báo lũ phục vụ vận hành hồ chứa. Xu thế giảm độ chính xác theo thời hạn dự báo phản ánh sự tích lũy bất định của dữ liệu mưa dự báo và điều kiện trạng thái ban đầu của mô hình. Đối với dự báo 24 giờ, mô hình vẫn bám khá sát quá trình lũ thực đo do sai số đầu vào còn nhỏ. Khi thời hạn dự báo tăng lên 48 giờ và 72 giờ, sai số có xu hướng tăng rõ hơn, đặc biệt đối với các hồ có lưu vực nhỏ và thời gian tập trung lũ ngắn như Đá Lải và Yên Quang. Điều này cho thấy hệ thống mô hình phù hợp nhất cho dự báo ngắn hạn 24-48 giờ, trong khi dự báo 72 giờ vẫn có giá trị tham khảo phục vụ chuẩn bị phương án vận hành.

Hình 10 trình bày kết quả so sánh giữa lưu lượng dự báo và lưu lượng thực đo tại các hồ chứa trong quá trình thử nghiệm dự báo lũ. Nhìn chung, các đường quá trình lưu lượng dự báo bám khá sát xu thế biến đổi của lưu lượng thực đo, đặc biệt trong pha lên lũ và thời điểm xuất hiện đỉnh lũ.

Kết quả so sánh lưu lượng đỉnh lũ giữa số liệu thực đo và dự báo được trình bày trong Bảng 3. Sai số đỉnh lũ tại các hồ chứa dao động trong khoảng 5–11%, trong khi sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ chủ yếu nhỏ hơn 3–4 giờ. Điều này cho thấy hệ thống mô hình có khả năng tái hiện tương đối tốt quá trình hình thành và phát triển đỉnh lũ trong các sự kiện mưa lớn trên lưu vực (Bảng 3).

Bên cạnh việc so sánh lưu lượng đỉnh lũ, độ chính xác của phương án dự báo còn được đánh giá thông qua các chỉ tiêu thống kê của chuỗi dòng chảy dự báo. Kết quả đánh giá được trình bày trong Bảng 4.

Kết quả cho thấy, độ chính xác của dự báo có xu

Bảng 3. So sánh lưu lượng dự báo và lưu lượng thực đo tại các hồ chứa trong thử nghiệm dự báo lũ

Hồ chứa	Qđỉnh thực đo (m^3/s)	Qđỉnh dự báo (m^3/s)	Sai số đỉnh (%)	Thời gian đỉnh thực đo	Thời gian đỉnh dự báo	Sai số thời gian (giờ)
Yên Thắng	118	110	6.8	12/10 – 08h	12/10 – 10h	2
Đồng Thái	95	90	5.3	12/10 – 10h	12/10 – 12h	2
Đá Lải	82	75	8.5	12/10 – 13h	12/10 – 16h	3
Đồng Chương	120	112	6.7	12/10 – 09h	12/10 – 11h	2
Yên Quang	88	78	11.4	12/10 – 14h	12/10 – 18h	4

Bảng 4. Đánh giá sai số dự báo dòng chảy đến các hồ chứa

Hồ chứa	Lead time (h)	NSE forecast	Sai số đỉnh (%)	Sai số thời gian (h)
Yên Thắng	24	0.82	9	2
Đồng Chương	24	0.80	10	2
Đồng Thái	48	0.78	11	3
Đá Lải	72	0.76	12	3
Yên Quang	72	0.74	12	4

hướng giảm dần khi thời hạn dự báo tăng lên. Hệ số Nash-Sutcliffe (NSE) đạt khoảng 0,80-0,82 đối với dự báo 24 giờ, 0,76-0,80 đối với dự báo 48 giờ và 0,74-0,78 đối với dự báo 72 giờ. Mặc dù độ chính xác giảm theo thời hạn dự báo, các giá trị NSE vẫn nằm trong phạm vi chấp nhận được đối với các hệ thống dự báo lũ trên lưu vực vừa và nhỏ.

3.5.1. Chỉ tiêu đánh giá sai số dự báo

Để đánh giá độ chính xác của phương án dự báo dòng chảy đến hồ, nghiên cứu sử dụng một số chỉ tiêu thống kê thường được áp dụng trong các nghiên cứu dự báo lũ, bao gồm: độ lệch quân phương của chuỗi sai số dự báo (S), tỷ số sai số chuẩn hóa (S/σ), hệ số tương quan (r) và mức đảm bảo của phương án dự báo P(%).

Độ lệch quân phương của chuỗi sai số dự báo được xác định theo công thức:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_{di} - Q_{ti})^2}$$

trong đó:

Q_{di}: lưu lượng dự báo tại thời điểm I;

Q_{ti}: lưu lượng thực đo tại thời điểm I;

n: số bước thời gian của chuỗi dự báo.

Tỷ số sai số chuẩn hóa S/σ được xác định bằng cách so sánh độ lệch quân phương của chuỗi sai số với độ lệch chuẩn của chuỗi số liệu thực đo. Giá trị S/σ càng nhỏ thì độ chính xác của phương án dự báo càng cao.

Hệ số tương quan r được sử dụng để đánh giá mức độ phù hợp giữa chuỗi lưu lượng dự báo và chuỗi lưu lượng thực đo. Ngoài ra, mức đảm bảo của phương án dự báo P(%) được sử dụng để đánh giá tần suất các thời điểm dự báo đạt yêu cầu sai số cho phép. Chỉ tiêu này được xác định theo công thức:

$$P = \frac{m}{n} \times 100$$

trong đó:

m: số thời điểm dự báo đạt yêu cầu sai số cho phép;

n: tổng số thời điểm dự báo.

Giá trị P(%) càng lớn thì phương án dự báo càng có độ tin cậy cao.

Nhìn chung, kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống mô hình tích hợp MIKE NAM – MIKE 11 có khả năng mô phỏng và dự báo tương đối tốt quá trình dòng chảy đến các hồ chứa trong điều kiện mưa lớn. Sai số dự báo đỉnh lũ nhỏ hơn 12% và sai số thời gian đỉnh lũ chủ yếu dưới 3–4 giờ. Điều này cho thấy hệ thống mô hình có tiềm năng ứng dụng trong dự báo lũ ngắn hạn (24–72 giờ) và hỗ trợ xây dựng phương án vận hành hồ chứa trong điều kiện mưa lớn trên địa bàn tỉnh Ninh Bình (Bảng 5).

Kết quả đánh giá cho thấy phương án dự báo dòng chảy đến các hồ chứa đạt mức độ phù hợp tương đối tốt. Tỷ số S/σ dao động trong khoảng 0.18–0.31, cho thấy sai số dự báo nhỏ hơn đáng kể so với độ biến động của chuỗi số liệu thực đo. Hệ số tương quan r đạt từ 0.84 đến 0.93, phản ánh sự phù hợp khá tốt giữa quá trình lưu lượng dự báo và quá trình lưu lượng thực đo. Mức đảm bảo của phương án dự báo P(%) đạt từ 76% đến 86%, cho thấy phương án dự báo có khả năng đáp ứng yêu cầu trong phần lớn các thời điểm của quá trình lũ.

3.6. Mô phỏng các kịch bản Mưa - Lũ

Các kịch bản mưa được xây dựng trên cơ sở tham khảo số liệu mưa thực đo trong các sự kiện mưa lớn đã

Bảng 5. Chỉ tiêu đánh giá tổng hợp phương án dự báo

Hồ chứa	S	S/σ	r	P (%)
Yên Thắng	12.4	0.18	0.93	86
Đồng Chương	14.1	0.21	0.91	84
Đồng Thái	16.8	0.25	0.88	80
Đá Lải	18.5	0.29	0.86	78
Yên Quang	19.2	0.31	0.84	76

ghi nhận trên lưu vực nghiên cứu, kết hợp với các mức mưa đặc trưng có ý nghĩa vận hành. Trong đó, kịch bản 120 mm/3 ngày đại diện cho điều kiện mưa lớn thường gặp; kịch bản 180 mm/3 ngày phản ánh điều kiện mưa rất lớn; và kịch bản 250 mm/3 ngày đại diện cho trường hợp mưa cực đoan có khả năng gây áp lực lớn đối với vận hành hồ chứa. Mặc dù bài báo chưa đi sâu phân tích tần suất thiết kế, việc lựa chọn các mức mưa này nhằm tạo ra các kịch bản vận hành có ý nghĩa thực tiễn đối với công tác điều tiết hồ. Để đánh giá khả năng ứng dụng của hệ thống mô hình trong hỗ trợ vận hành hồ chứa, nghiên cứu tiến hành mô phỏng các kịch bản mưa điển hình bao gồm: mưa lớn (120 mm/3 ngày), mưa rất lớn (180 mm/3 ngày) và mưa cực đoan (250 mm/3 ngày) (Bảng 6).

Kết quả mô phỏng dòng chảy đến hồ được xem xét đồng thời với các ngưỡng vận hành hồ chứa, bao gồm mực nước dâng bình thường và mực nước lũ thiết kế. Trên cơ sở đó, hệ thống mô hình cho phép đánh giá khả năng vận hành hồ trong các kịch bản mưa khác nhau, từ điều kiện vận hành bình thường đến các tình huống cần điều tiết hoặc xả lũ nhằm đảm bảo an toàn công trình và giảm thiểu rủi ro hạ du.

Kết quả mô phỏng cho thấy lưu lượng đỉnh đến các hồ tăng rõ rệt theo mức độ gia tăng của lượng mưa. Trong kịch bản mưa lớn (120 mm/3 ngày), lưu lượng đỉnh tại các hồ dao động 58–72 m^3/s và hệ thống hồ vẫn có thể vận hành trong điều kiện bình thường. Khi lượng mưa tăng lên 180 mm/3 ngày, lưu lượng đỉnh tăng lên khoảng 78–95 m^3/s, đòi hỏi xem xét các phương án điều tiết nhằm đảm bảo an toàn công trình và giảm thiểu nguy cơ ngập lụt hạ du. Trong kịch bản mưa cực đoan (250 mm/3 ngày), lưu lượng đỉnh có thể đạt 105–128 m^3/s, đặc biệt tại các hồ Yên Thắng và Đồng Chương, cho thấy nguy cơ mực nước hồ tiến gần đến ngưỡng mực nước lũ thiết kế.

Giá trị NSE của mô hình thủy văn đạt 0,76-0,84, tương đương với nhiều nghiên cứu ứng dụng MIKE NAM tại Việt Nam và khu vực Đông Nam Á, nơi NSE thường dao động 0,70-0,85 đối với các lưu vực có địa hình phức tạp [8], [12]. Đối với mô hình thủy lực, NSE trên 0,80 cho thấy khả năng mô phỏng tốt quá trình lan truyền lũ và phù hợp với các nghiên cứu sử dụng mô hình thủy lực một chiều, trong đó giá trị 0,75-0,90 thường được xem là đạt yêu cầu [3], [4], [15].

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc tích hợp mô hình thủy văn MIKE NAM và mô hình thủy lực MIKE 11 cho phép mô phỏng đồng thời dòng chảy đến hồ và lan truyền lũ hạ du, qua đó nâng cao khả năng đánh giá và hỗ trợ vận hành hệ thống nhiều hồ chứa trong điều kiện mưa lớn và lũ.

3.7. Thảo luận kết quả

Kết quả đánh giá cho thấy, hệ thống mô hình tích hợp MIKE NAM - MIKE 11 có khả năng mô phỏng và dự báo tương đối tốt quá trình hình thành và lan truyền lũ cho hệ thống 5 hồ chứa Yên Thắng, Đồng Thái, Đá Lải, Đồng Chương và Yên Quang. Hệ số Nash-Sutcliffe (NSE) đạt trong khoảng 0,76-0,84, sai số đỉnh lũ nhỏ hơn 10% và sai số thời gian đỉnh lũ nhỏ hơn 3 giờ, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của hệ thống flood forecasting phục vụ vận hành hồ chứa theo thời gian thực.

Kết quả chi tiết theo từng hồ cho thấy độ chính xác cao hơn tại các lưu vực Yên Thắng và Đồng Chương (NSE khoảng 0,80–0,84), trong khi các hồ Đồng Thái và Yên Quang đạt khoảng 0,76–0,80. Sự khác biệt này chủ yếu phản ánh tính không đồng nhất của đặc trưng thủy văn lưu vực và chất lượng dữ liệu mưa đầu vào, vốn là nguồn bất định quan trọng trong các mô hình thủy văn lưu vực [2], [6]. Đối với lưu vực Đá Lải, do diện tích lưu vực nhỏ và thời gian tập trung lũ ngắn nên sai số thời gian đỉnh lũ có thể lớn hơn trong một số trận mưa cực đoan.

Bảng 6. Kết quả mô phỏng dòng chảy đến hồ theo các kịch bản mưa

Kịch bản	Mưa 3 ngày (mm)	Yên Thắng (m^3/s)	Đồng Thái (m^3/s)	Đá Lải (m^3/s)	Đồng Chương (m^3/s)	Yên Quang (m^3/s)	Nhận định
KB1 – Mưa lớn	120	72	65	58	70	62	Hồ vận hành bình thường
KB2 – Mưa rất lớn	180	95	88	78	92	85	Cần chuẩn bị điều tiết
KB3 – Mưa cực đoan	250	128	118	105	125	115	Nguy cơ áp sát mực nước lũ thiết kế

Nhìn chung, các chỉ tiêu mô hình đạt được trong nghiên cứu này nằm trong khoảng giá trị thường gặp của các nghiên cứu flood forecasting trên lưu vực nhỏ vùng nhiệt đới, nơi hệ số NSE thường dao động 0,70–0,85. Điều này cho thấy cách tiếp cận tích hợp mô hình thủy văn – thủy lực là phù hợp cho việc xây dựng hệ thống dự báo lũ ngắn hạn phục vụ vận hành hồ chứa tại tỉnh Ninh Bình.

Tuy nhiên, độ chính xác của hệ thống dự báo vẫn phụ thuộc đáng kể vào chất lượng và độ phân giải không gian của dữ liệu mưa đầu vào. Trong các nghiên cứu tiếp theo, việc tích hợp dữ liệu radar mưa hoặc mưa vệ tinh độ phân giải cao, cùng với việc áp dụng mô hình thủy lực hai chiều cho các khu vực ngập trọng điểm, có thể giúp cải thiện khả năng mô phỏng lan truyền lũ và hỗ trợ hiệu quả hơn công tác điều hành hồ chứa và quản lý rủi ro ngập lụt [4], [15].

Các kết quả đạt được trong nghiên cứu này nằm trong khoảng giá trị thường gặp của các nghiên cứu dự báo lũ trên lưu vực nhỏ vùng nhiệt đới, nơi hệ số NSE thường dao động trong khoảng 0,70–0,85. Điều này cho thấy hệ thống mô hình có độ tin cậy phù hợp với các tiêu chuẩn quốc tế.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng và kiểm định hệ thống mô hình dự báo lũ tích hợp MIKE NAM - MIKE 11 cho hệ thống năm hồ chứa chính của tỉnh Ninh Bình gồm Yên Thắng, Đồng Thái, Đá Lải, Đồng Chương và Yên Quang. Hệ thống mô hình cho phép mô phỏng liên tục quá trình mưa – dòng chảy trên lưu vực và lan truyền lũ trong hệ thống sông - hồ chứa, phục vụ dự báo lũ và hỗ trợ vận hành hồ theo thời gian thực.

Kết quả đánh giá cho thấy mô hình đạt NSE từ 0,76-0,82 đối với MIKE NAM và 0,80-0,84 đối với MIKE 11, với sai số đỉnh lũ nhỏ hơn 10% và sai số thời gian đỉnh lũ nhỏ hơn 3 giờ. Các chỉ tiêu này đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của hệ thống flood forecasting phục vụ vận hành hồ chứa đối với các lưu vực vừa và nhỏ ở miền Bắc Việt Nam.

Kết quả nghiên cứu khẳng định cách tiếp cận tích hợp mô hình thủy văn - thủy lực có khả năng mô phỏng tốt quá trình hình thành và lan truyền lũ trong hệ thống nhiều hồ chứa, góp phần nâng cao độ tin cậy của dự báo lũ và hỗ trợ xây dựng phương án vận hành hồ hợp lý nhằm giảm thiểu nguy cơ ngập lụt hạ du. Bên cạnh các kết quả đạt được, nghiên cứu vẫn còn một số hạn chế, bao gồm sự phụ thuộc vào chất lượng dữ liệu mưa đầu vào và chưa tích hợp các nguồn dữ liệu mưa có độ phân giải cao như radar hoặc vệ tinh. Ngoài ra, mô hình thủy lực một chiều chưa phản ánh đầy đủ quá trình ngập chi tiết tại các khu vực trũng thấp. Trong các nghiên cứu tiếp theo, việc tích hợp mô hình hai chiều và các nguồn dữ liệu mới sẽ góp phần nâng cao độ chính xác và khả năng ứng dụng của hệ thống.

Trong các nghiên cứu tiếp theo, hệ thống có thể được hoàn thiện bằng cách tích hợp dữ liệu mưa radar hoặc vệ tinh độ phân giải cao, kết hợp mô hình thủy lực hai chiều cho các khu vực ngập trọng điểm và phát triển hệ thống hỗ trợ ra quyết định vận hành hồ theo thời gian thực, nhằm nâng cao độ chính xác dự báo và hiệu quả quản lý tài nguyên nước trong điều kiện biến đổi khí hậu.

Lời cảm ơn: *Kết quả nghiên cứu này được hỗ trợ bởi Đề tài "Ứng dụng công nghệ thông tin trong giám sát mưa, mực nước, cảnh báo thiên tai tại khu vực các hồ chứa trên địa bàn tỉnh Ninh Bình phục vụ công tác bảo đảm nguồn nước, phòng chống thiên tai và phát triển nông nghiệp".*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models. Part I: A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10(3), 282–290.

2. Beven, K. (2012). Rainfall–Runoff Modelling: The Primer (2nd Edition). Wiley-Blackwell.

3. Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill.

4. Maidment, D.R. (Editor) (1993). Handbook of Hydrology. McGraw-Hill.

5. Refsgaard, J.C., Storm, B. (1995). MIKE SHE. In: Singh, V.P. (Ed.), Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications.

6. Todini, E. (2007). Hydrological modelling: Past, present and future. Hydrology and Earth System Sciences, 11, 468–482.

7. Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, 50(3), 885–900.

8. World Meteorological Organization (2011). Manual on Flood Forecasting and Warning. WMO-No. 1072, Geneva.

9. DHI (2017). MIKE NAM – User Guide. Danish Hydraulic Institute, Denmark.

10. DHI (2017). MIKE 11 – Reference Manual. Danish Hydraulic Institute, Denmark.

11. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2021). Báo cáo hiện trạng tài nguyên nước quốc gia. Hà Nội.

12. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2020). Quy trình vận hành liên hồ chứa trên các lưu vực sông. Hà Nội.

13. Nguyễn Văn Tuấn, Trần Văn Hùng, Lê Quang Minh (2020). Ứng dụng mô hình MIKE 11 trong mô phỏng lũ hệ thống sông Hồng. Tạp chí Khoa học Thủy lợi.

14. Hồ Việt Cường, Trần Ngọc Anh, Nguyễn Bách Tùng (2020). Ứng dụng mô hình MIKE trong nghiên cứu thủy động lực vùng ven biển Việt Nam. Tạp chí Khoa học Thủy lợi.

15. Nguyễn Minh Trung, Lại Đức Ngân, Mạc Văn Dân (2020). Ứng dụng mô hình số trị trong nghiên cứu lan truyền bùn cát. Tạp chí Môi trường.

NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG KẾT TINH TẠO HẠT THU HỒI VIVIANITE TRONG NƯỚC THẢI XI MẠ

NGUYỄN TRƯỜNG HUYNH[1], LÊ PHÚ ĐÔNG[2], LÊ VĂN GIANG[1], LƯU THẾ ANH [1,*]

[1]Viện Tài nguyên và Môi trường, Đại học Quốc gia Hà Nội

[2]Khoa Khoa học và Công nghệ thực phẩm, Trường Đại học Lạc Hồng

Tóm tắt

Trong nghiên cứu này, thiết bị kết tinh tầng sôi (Fluidized Bed Crystallization, FBC) được áp dụng để thu hồi phốt pho (P) trong nước thải giàu P phát sinh từ quá trình đánh bóng bề mặt kim loại sản xuất màn hình tinh thể lỏng transistor màng mỏng (TFT-LCD), với nồng độ phốt pho tổng khoảng 620 ± 10 mg/L. Việc kết hợp thêm Fe trong nước thải xi mạ để làm chất phản ứng với P tạo thành vivianite là một giải pháp mới, tận dụng được 2 nguồn phát thải. Ảnh hưởng của pH và tỷ lệ mol $[Fe]_0/[P]_0$, và tải trọng bề mặt cắt ngang (L) đến khả năng thu hồi vivianite ($Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$) được khảo sát vận hành chính bằng hệ FBC. Sản phẩm thu hồi được phân tích bằng nhiễu xạ tia X (XRD), kính hiển vi điện tử quét (SEM) và quang phổ tán xạ tia X năng lượng (EDS). Kết quả cho thấy, việc kiểm soát pHe là yếu tố chính để tối đa hóa đồng thời hiệu suất loại bỏ (PR%) và tỷ lệ kết tinh phốt pho (CR%). Ở giá trị pHe = 6,0, tỷ lệ mol $[Fe]_0/[P]_0$ = 1,5 và duy trì tải trọng theo tiết diện là 1,25 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, cho thấy hiệu quả loại bỏ P (PR) đạt 97% và tỷ lệ kết tinh P (CR) đạt 86%. Dưới điều kiện thủy lực tối ưu, quá trình FBC chứng minh tính khả thi trong xử lý nước thải thực tế bằng cách chuyển hóa chất ô nhiễm thành tinh thể, thu hồi dưới dạng pha vivianite tinh khiết cao.

Từ khóa: *Nước thải mạ điện, hạt vivianite, thu hồi phốt pho, kết tinh tạo hạt, kết tinh tầng sôi.*

Ngày nhận bài: *8/2/2026; Ngày sửa chữa: 19/2/2026; Ngày duyệt đăng: 29/3/2026.*

Study on the application of granulation crystallization for vivianite recovery from electroplating wastewater

Abstract

In this study, fluidized bed crystallization (FBC) was applied to treat phosphorus rich wastewater generated from the metal surface polishing step in thin-film transistor liquid-crystal display (TFT-LCD) manufacturing, with a phosphorus concentration of approximately 620 ± 10 mg/L. The effects of pHe, the initial molar ratio $[Fe]_0/[P]_0$, and the cross-sectional surface loading rate (L) on the recovery of vivianite ($Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$) were systematically investigated using the FBC system. The recovered solids were characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS). The results demonstrated that controlling the effluent pHe was critical for simultaneously maximizing phosphorus removal (PR%) and the crystallization ratio (CR%). At pHe = 6.0, with $[Fe]_0/[P]_0$ = 1.5 and a cross-sectional loading rate of 1.25 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, the reactor operated within the metastable supersaturation regime, achieving PR = 97% and CR = 86%. Under these optimal hydraulic conditions, the FBC process proved viable for treating real wastewater by transforming dissolved phosphorus into crystalline solids recoverable as a high purity vivianite phase. .

Key words: *AElectroplating wastewater, vivianite, phosphorus recovery, granulation crystallization, fluidized-bed crystallization.*

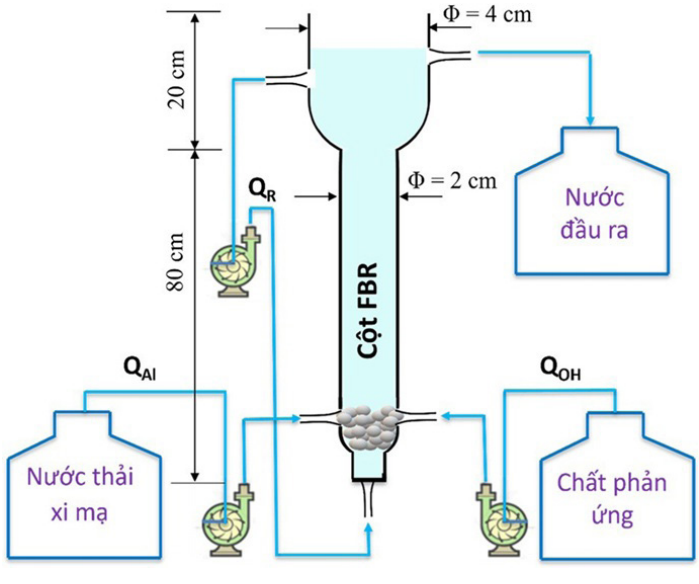
JEL Classifications: *O13, O44, Q53.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phốt pho (P) là nguyên tố không thể thiếu đối với sản xuất nông nghiệp và nhiều lĩnh vực công nghiệp, đồng thời giữ vai trò dinh dưỡng cốt lõi của hệ sinh thái. Tuy vậy, khi P được đưa vào thủy vực vượt quá nhu cầu hấp thu tự nhiên, hệ quả thường gặp là gây ra hiện tượng phú dưỡng, gia tăng sinh khối thực vật thủy sinh trong môi trường tiếp nhận [1]. Bên cạnh rủi ro môi trường, P còn là tài nguyên hữu hạn, và có thể suy giảm mạnh trong khoảng một thế kỷ tới dưới tác động của tiêu thụ và thất thoát do con người [2]. Do đó, phát triển các giải pháp thu hồi P từ nước thải theo hướng hiệu quả và bền vững là nhu cầu cấp bách. Nước thải giàu P xuất hiện phổ biến trong các hoạt động đô thị, công nghiệp và nông nghiệp [3]. Ở Việt Nam, giới hạn xả thải đối với tổng P được quy định ở mức 2.0 mg/L (Cột A, QCVN 40:2025/BTNMT). Đáng chú ý, ngành sản xuất TFT-LCD sử dụng axit phosphoric trong công đoạn khắc và tạo ra lượng nước thải lớn chứa phosphate ở nồng độ cao, có thể dao động từ vài trăm đến xấp xỉ một nghìn mg-P/L [4].

Nhiều đề xuất công nghệ đã được nghiên cứu để loại bỏ P, bao gồm phương pháp sinh học, kết tủa hóa học, hấp phụ [5], keo tụ điện hóa [6], trao đổi ion [7], và kết tinh [8]. Xử lý sinh học thường phù hợp với nước thải có phosphate thấp và đòi hỏi thời gian vận hành dài, trong khi kết tủa hóa học thường cho hiệu suất loại bỏ cao hơn. Các tác nhân Mg/NH_4^+, Ca và Al có thể dẫn đến hình thành các pha rắn như struvite, brushite, hydroxyapatite, và berlinite [2, 9]. Tuy nhiên, hạn chế của phương pháp này là phát sinh ra bùn thải có hàm lượng nước cao, do đó kéo theo chi phí xử lý bùn thường chiếm tỷ trọng lớn trong tổng chi phí vận hành hệ thống xử lý nước thải [10].

Từ thập niên 1990, công nghệ FBC được phát triển như một hướng tiếp cận nhằm giảm nhược điểm "bùn ẩm" của kết tủa truyền thống bằng cách chuyển P sang dạng tinh thể dễ tách pha rắn lỏng. Hiệu quả của FBC phụ thuộc đồng thời vào điều kiện thủy lực và trạng thái quá bão hòa của sản phẩm thu hồi, vốn quyết định động lực tăng trưởng tinh thể [10]. Trong thực tế, sản phẩm phosphate thu hồi thường hướng đến ứng dụng làm phân bón như struvite, hoặc hydroxyapatite. Trong đó, vivianite vừa có thể dùng làm phân bón nhả chậm, và dùng làm tiền chất liên quan đến tổng hợp lithium iron phosphate, vật liệu catot được sử dụng rộng rãi trong pin Li-ion [11]. So với các dạng kết tủa khác, thu hồi P dưới dạng vivianite mang ý nghĩa tiềm năng về tái sử dụng tài nguyên theo hướng bền vững. Hiện nay, số lượng nghiên cứu về khai thác muối Fe(II) để kết tinh trực tiếp tạo thành vivianite từ nước thải vẫn còn rất hạn chế. Trong nghiên cứu này, nước thải giàu phốt pho phát sinh từ quá trình đánh bóng bề mặt kim loại sản xuất màn hình TFT-LCD được dùng làm nguồn nguyên liệu đầu vào phản ứng trong thiết bị FBC để thu hồi tinh thể vivianite. Các thông số vận hành gồm pH dòng ra, tỷ lệ mol [Fe]0/[P]0 và tải trọng



Hình 1. Mô hình FBC thu hồi vivianite trong nước thải thực tế

Bảng 1. Thành phần nước thải TFT-LCD và xi mạ sử dụng trong nghiên cứu này

Thành phần	Đơn vị	Nồng độ ± S.D.*
pH	mg/L	6,7 ± 0,5
Cu	mg/L	96 ± 2,5
Fe	mg/L	120 ± 0,5
Ca	mg/L	55,4 ± 2,5
Al	mg/L	6.3 ± 0,6
Zn	mg/L	22,8 ± 1,8
TP	mg/L	630 ± 25
Na	mg/L	1040 ± 15

**độ lệch chuẩn (S.D.) của n = 3 mẫu nước thải thực tế thu thập từ Nhà máy.*

bề mặt ($kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$) được khảo sát nhằm thiết lập vùng quá bão hòa phù hợp cho quá trình kết tinh vivianite trong FBC, và đánh giá hiệu quả thông qua tổng hiệu quả loại bỏ sắt (PR%) và tỷ lệ kết tinh sắt (CR%).

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nước thải thực tế từ nhà máy

Mẫu nước thải trong nghiên cứu này được thu thập từ một nhà máy đánh bóng bề mặt kim loại sản xuất màn hình tinh thể lỏng transistor màng mỏng tại tỉnh Thái Nguyên; các đặc tính của nước thải được trình bày trong Bảng 1. Ngoài ra, để hiệu chỉnh các thông số khảo sát liên quan, các hóa chất bổ sung được sử dụng như: sắt(II) sulfat ngậm nước ($FeSO_4 \cdot 8H_2O$, Sigma-Aldrich Co. LLC., Hoa Kỳ), natri hydroxit (NaOH, Merck KGaA, Đức), và axit nitric (HNO_3, Sigma-Aldrich, Hoa Kỳ). Nước dùng để xử lý và pha loãng mẫu đi phân tích được lấy từ hệ thống RO ultrapure cấp phòng thí nghiệm với điện trở suất > 18,3 MΩ (Bảng 1).

2.2. Thiết kế mô hình cột phản ứng FBR

Thiết bị phản ứng tầng sôi là một cột hình trụ bằng thủy tinh Pyrex với dung tích tổng 500 mL (bao gồm thân chính và đường ống), như thể hiện ở Hình 1. Thân phản ứng gồm hai đoạn cột nối với nhau bằng một khớp nối mở rộng đột ngột: đoạn dưới có đường kính trong 2 cm và chiều cao 80 cm, đoạn trên có đường kính trong 4 cm và chiều cao 20 cm. Cấu hình mở rộng đột ngột này giúp giảm tải trọng thủy lực và hạn chế cuốn trôi các hạt mịn ra khỏi hệ. Hai bơm nhu động được sử dụng để cấp dòng vào gồm dung dịch chất phản ứng và nước thải từ nhà máy, trong khi một bơm nhu động khác

dùng để điều khiển lưu lượng hoàn lưu. Lớp hạt thủy tinh được thêm vào nhằm phân phối ổn định dòng chảy lên với chiều cao lớp hạt khoảng 5 cm. Việc lấy mẫu và theo dõi pH được thực hiện tại dòng ra ở phần cột phía trên (Hình 1).

Các điều kiện thí nghiệm được tối ưu hóa bằng cách thay đổi nồng độ và pH dung dịch. Hiệu suất xử lý được đánh giá thông qua: (i) hiệu suất loại bỏ tổng (total iron temoval, PR%) là phần trăm tổng lượng sắt được loại bỏ khỏi nước thải, và (ii) tỷ lệ kết tinh (crystallization ratio, CR%) là phần trăm sắt kết tinh và lưu lại trong cột phản ứng dưới dạng hạt thu hồi. Các thông số thủy lực khác gồm thời gian lưu thủy lực (HRT), tỷ lệ mol của $[Fe]_0/[P]_0$, tải trọng tiết diện ngang (L), TR và CR được tính toán theo các phương trình chuẩn.

$$HRT = \frac{V}{Q_{kl}+Q_{CO_3}} \quad (1)$$

$$U = \frac{Q_{kl}+Q_{CO_3}+Q_R}{A} \quad (2)$$

$$L_{kl} = \frac{C_{kl\ vào}\times Q_{vào}-C_{kl}\times Q_{ra}}{C_{kl\ vào}\times Q_{vào}} \quad (3)$$

$$TR = \frac{C_{kl\ vào}\times Q_{vào}-C_{kl}\times Q_{ra}}{C_{kl\ vào}\times Q_{vào}}\times 100\% \quad (4)$$

$$CR = \frac{C_{kl\ vào}\times Q_{vào}-C_{kl\ tổng\ số}\times Q_{ra}}{C_{kl\ vào}\times Q_{vào}}\times 100\% \quad (5)$$

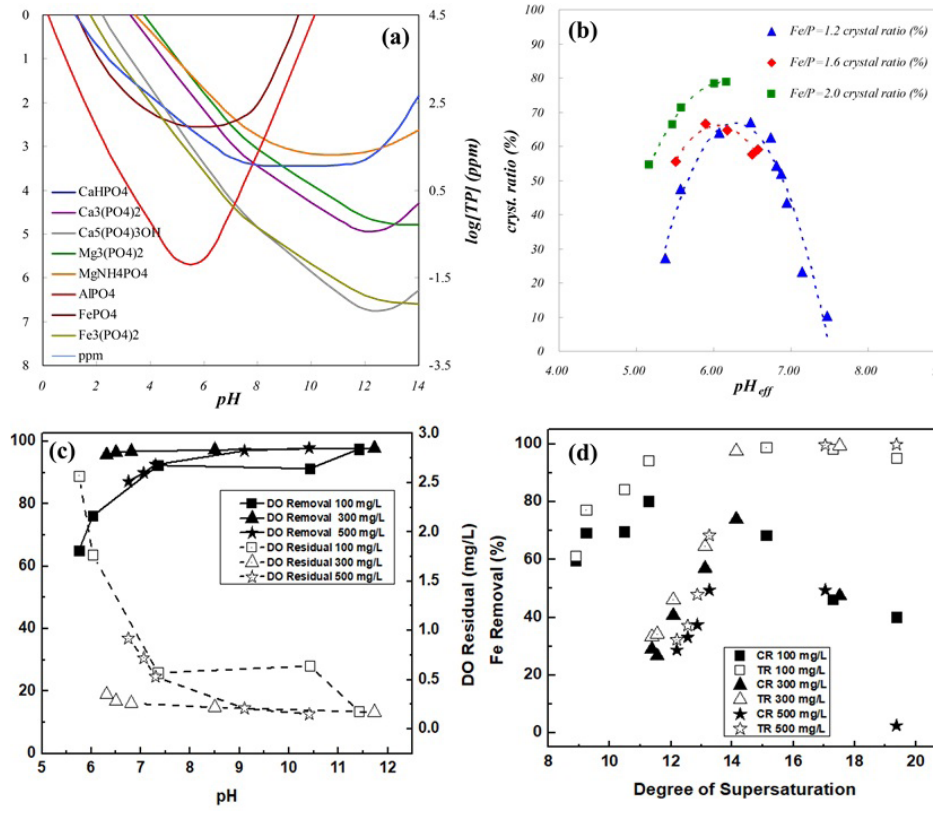
2.3. Phương pháp xử lý và định lượng một số kim loại trong mẫu

Các mẫu rắn được xử lý sơ bộ tại phòng thí nghiệm bằng phương pháp hong khô tự nhiên. Các mẫu kết tủa vivianite được phân hủy trong dung dịch axit nitric đậm đặc và sau đó được pha loãng đến 200 mL để phân tích. Nồng độ các ion kim loại được phân tích bằng máy quang phổ phát xạ Plasma ICP/MS (iCAP RQ, Thermo Scientific, Đức). Độ pH, thế oxy hóa khử và nồng độ oxy hòa tan được xác định tại chỗ bằng máy đo pH/ORP cầm tay đa kênh AZ8601 và máy đo DO (WTW Profi Line Oxi 3210, Thụy Điển). Cấu trúc tinh thể được xác định bằng máy nhiễu xạ tia X (XRD, DX III, Rigaku Co., Nhật Bản) trong điều kiện vận hành: nguồn bức xạ CuKa, λ = 1,5406 A, tốc độ quét 0,06°/s-1 ở góc 10-70° (2θ). Hình thái và thành phần hóa học bề mặt của pha rắn được phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM, JOEL JXA-840, HITACHI S4100, Nhật Bản) và máy quang phổ tán xạ năng lượng (EDS, LINKS AN10000/85S, Nhật Bản). Các mẫu rắn được sấy chân không ở 60 °C trong 8 giờ trước khi tiến hành phân tích. Trong quá trình thực hiện nghiên cứu, giới hạn phát hiện (LOD) và giới hạn định lượng (LOQ), mẫu lặp và mẫu thêm chuẩn được thực hiện để đánh giá độ tin cậy của phương pháp phân tích theo đúng yêu cầu quy định tại Thông tư số 10/2021/TT-BTNMT với tối thiểu 10% số mẫu, mẫu được lặp lại 02 lần để tính RPD và độ thu hồi.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của các điều kiện đến quá trình kết tinh hạt vivianite

Ảnh hưởng của pH, tỷ lệ mol $[Fe]_0/[P]_0$, oxy hòa tan (DO) và mức độ quá bão hòa tới quá trình kết tinh vivianite được thể hiện rõ trong Hình 2. Phân tích hệ số hòa tan (Hình 2a) cho thấy miền ưu thế của các pha rắn phosphate thay đổi mạnh theo pH: trong khoảng axit nhẹ đến gần trung tính, sự tạo kết tủa phosphate sắt (Fe(II)–P) thuận lợi hơn, trong khi khi pH tăng về phía kiềm, các pha phosphate Ca/Mg (và có thể cả phosphate/hiđroxit Fe(III), Al) có xu hướng cạnh tranh mạnh hơn. Điều này cung cấp cơ sở cơ chế cho việc lựa chọn một "giá trị pH" thích hợp nhằm tạo vivianite có chọn lọc thay vì hình thành hỗn hợp kết tủa không mong muốn. Phù hợp với dự đoán trên, hiệu quả kết tinh thực nghiệm thể hiện phụ thuộc rõ rệt vào pH (Hình 2b): tỷ lệ tinh thể tăng và đạt cực đại tại pHe ≈ 6.0–6.5, sau đó giảm khi pH lệch khỏi khoảng tối ưu này. Điều này hàm ý rằng điều kiện quá axit có thể ức chế sự phát triển hiệu quả của tinh thể, trong khi pH cao hơn thúc đẩy các phản ứng cạnh tranh và làm suy giảm khả năng tạo hạt có kiểm soát. Khi tăng tỷ lệ mol $[Fe]_0/[P]_0$, vùng pH cho kết tinh hiệu quả được mở rộng và tỷ lệ kết tinh đạt được cũng cao hơn; cụ thể $[Fe]_0/[P]_0$ = 2.0 duy trì mức kết tinh cao trong dải pHe rộng hơn so với $[Fe]_0/[P]_0$ = 1.2–1.6 (Hình 2b), phù hợp với cơ chế tăng trưởng bề mặt nhờ nguồn Fe(II) được cung cấp dồi dào hơn. Sự biến thiên của DO cũng nhấn mạnh yêu cầu kiểm soát chặt pH (Hình 2c): mức loại bỏ DO tăng mạnh khi pH tăng, đồng thời DO dư giảm xuống rất thấp ở pH cao, cho thấy quá trình oxi hóa Fe(II) diễn ra nhanh hơn trong điều kiện kiềm. Sự oxi hóa này không chỉ tiêu hao khả năng khử mà còn làm tăng nguy cơ hình thành Fe(III) hydroxide và/hoặc phức Fe(III)–P, từ đó làm giảm độ tinh khiết sản phẩm và dễ dẫn đến tạo hạt mịn/bùn lơ lửng thay vì tinh thể tạo hạt. Cuối cùng, khi quy đổi kết quả theo mức độ quá bão hòa (Hình 2d), có thể thấy tổng loại bỏ và tỷ lệ thu hồi dạng kết tinh phụ thuộc mạnh vào quá bão hòa: quá bão hòa mức vừa phải giúp đồng thời đạt TR và CR cao, trong khi quá bão hòa quá lớn thường làm "tách rời" hiệu quả loại bỏ khỏi khả năng thu hồi dưới dạng tinh thể tạo hạt (do thúc đẩy nảy mầm đồng thể tạo nhiều hạt mịn, làm giảm phần rắn được giữ lại dưới dạng viên/hạt). Tổng hợp các xu thế này cho thấy, để tối ưu tạo hạt vivianite trong FBHG, cần vận hành trong một "cửa sổ quá trình" tương đối hẹp được xác định bởi pHe (~6–6.5), $[Fe]_0/[P]_0$ đủ nhưng không quá cao, điều kiện DO thấp/giảm oxi hóa, và kiểm soát quá



Hình 2. Ảnh hưởng của điều kiện hóa học đến quá trình kết tinh vivianite và hành vi Fe(II) (a) tác động của pH đến sự hình thành các muối chứa phosphate; (b) ảnh hưởng của pH dòng ra (pHe) đến khả năng kết tinh vivianite; (c) mối quan hệ giữa pH và nồng độ oxy hòa tan (DO) trong nước thải và (d) ảnh hưởng của mức độ quá bão hòa đến hiệu quả loại bỏ/thu hồi Fe(II).

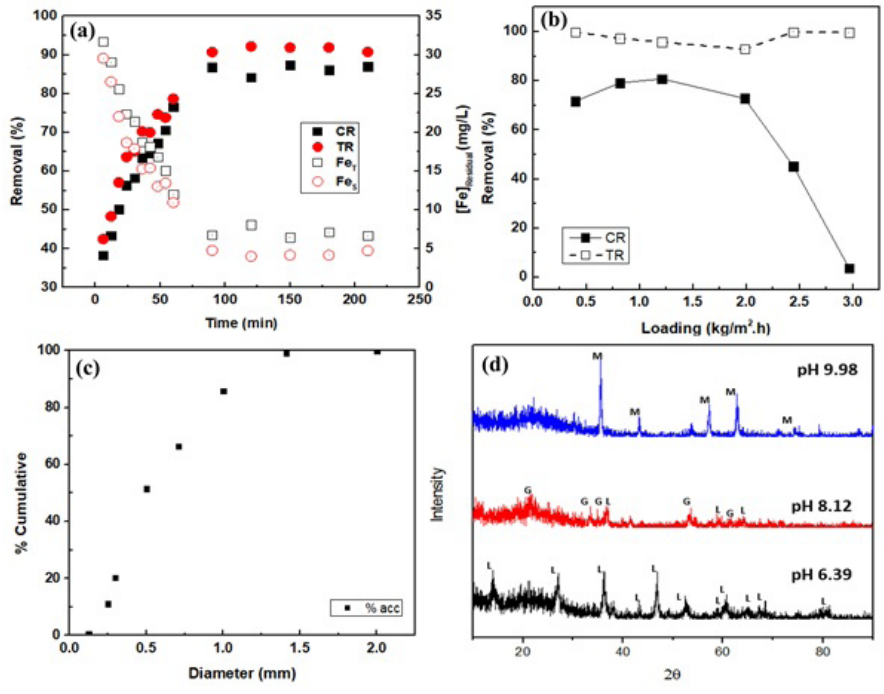
bão hòa, nhằm tối đa hóa thu hồi P vào pha tinh thể dạng hạt và tối thiểu hóa hình thành bùn ẩm lơ lửng.

3.2. Ảnh hưởng của các yếu tố đến hiệu suất thu hồi hạt vivianite trong cột phản ứng FBR

Dựa trên Hình 3, hiệu quả thu hồi P dưới dạng hạt kết tinh và tổng loại bỏ thể hiện động học và "cửa sổ vận hành" rất rõ. Trước hết, trong giai đoạn khởi động theo thời gian (Hình 3a), cả TR và CR tăng nhanh trong ~0–100 phút và sau đó tiến tới trạng thái gần ổn định: TR đạt khoảng ~90% và CR đạt ~80–88%, đồng thời nồng độ sắt dư trong dòng ra giảm mạnh từ mức cao ban đầu xuống mức thấp xấp xỉ vài mg/L, phản ánh quá trình kết tinh đã chuyển từ ưu thế "nảy mầm" sang trạng thái tăng trưởng và giữ hạt ổn định trong cột. Khi tăng tải trọng thủy lực (Hình 3b), TR vẫn duy trì rất cao và ít biến thiên (xấp xỉ ~95–100%), nhưng CR chỉ đạt cực đại ở vùng tải trọng trung bình (khoảng ~1.0–1.5 $kg{\cdot}m^{-2}{\cdot}h^{-1}$) rồi giảm mạnh khi tải trọng tăng cao (đến ~2.5–3.0 $kg{\cdot}m^{-2}{\cdot}h^{-1}$), cho thấy tại tải trọng lớn, phần P bị loại bỏ có xu hướng chuyển sang hạt mịn/khó giữ trong tầng sôi hoặc bị trôi theo dòng ra, làm suy giảm tỷ lệ "thu hồi dạng tinh thể". Phân bố kích thước hạt (Hình 3c) cho thấy sản phẩm chủ yếu nằm trong khoảng 0,15 mm đến ~0,5 mm, với đường tích lũy tăng nhanh ở vùng đường kính nhỏ và tiệm cận 100% khi đường kính tăng đến khoảng ~1.5–2 mm, phù hợp với cơ chế tạo hạt nhờ va chạm, kết dính và tăng trưởng lớp trên bề mặt hạt tuần hoàn. Cuối cùng, phổ XRD theo giá trị pH (Hình 3d) cho thấy thành phần pha tinh thể thay đổi đáng kể: ở pH 6.39 các đỉnh đặc trưng chủ yếu thuộc một pha "L", tại pH 8.12 xuất hiện hỗn hợp "G/L", và ở pH 9.98 các đỉnh "M" trở nên chi phối, hàm ý rằng pH cao thúc đẩy các phản ứng cạnh tranh (đặc biệt liên quan đến oxi hóa/hydrolysis của sắt và hình thành các pha không mong muốn), từ đó làm giảm tính chọn lọc và hiệu quả thu hồi P dưới dạng tinh thể/hạt. Tổng hợp lại, bộ dữ liệu này nhấn mạnh rằng để tối ưu hóa CR (thu hồi dạng hạt) chứ không chỉ TR (loại bỏ), cần vận hành ở tải trọng vừa phải và trong vùng pH ưu tiên cho pha mục tiêu, nhằm hạn chế tạo mầm đồng thể hạt mịn và/hoặc chuyển pha do điều kiện kiềm/oxi hóa.

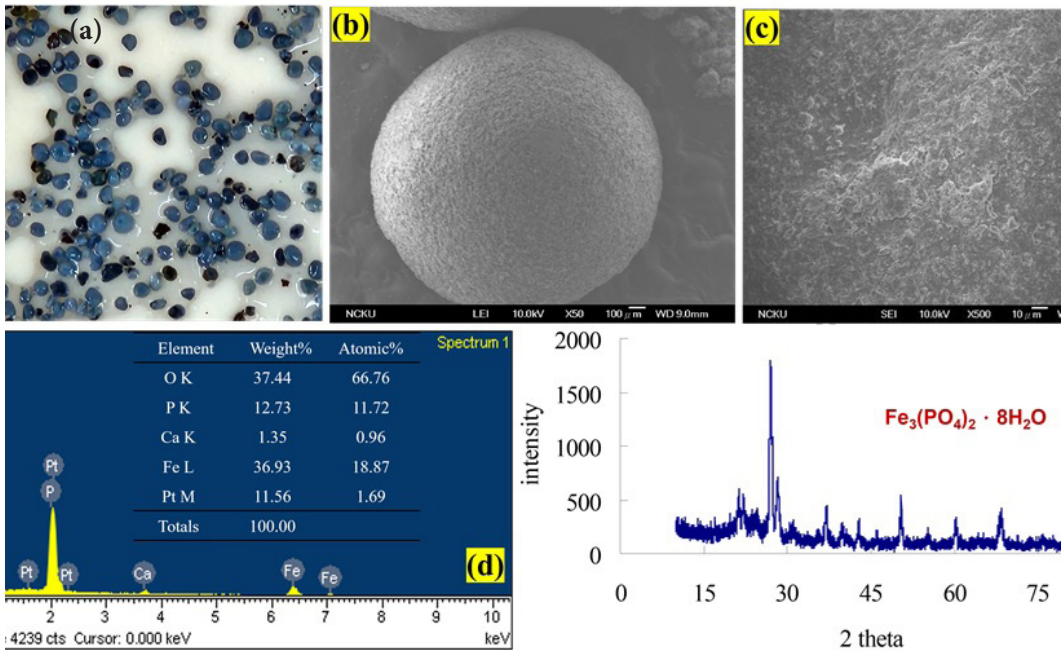
3.3. Đặc điểm hình thái của hạt vivianite

Các kết quả trong Hình 4 cho thấy sản phẩm thu hồi có đặc trưng điển hình của vivianite dạng hạt với cấu trúc tinh thể và thành phần hóa học phù hợp. Ở mức quan sát trực quan (Hình 4a), vật liệu thu được có màu xanh lam và tồn tại dưới dạng hạt rời, gợi ý



Hình 3. Ảnh hưởng của điều kiện vận hành đến quá trình thu hồi vivianite (a) biến thiên theo thời gian của hiệu suất thu hồi Fe(II); (b) ảnh hưởng của tải trọng bề mặt đến hiệu suất thu hồi Fe(II); (c) phân bố kích thước hạt của sản phẩm thu hồi; và (d) phổ nhiễu xạ tia X của sản phẩm tại các giá trị pH khác nhau.

sự hình thành khoáng phosphate sắt(II) ngậm nước và khả năng tách, thu gom thuận lợi so với bùn mịn. Ảnh SEM phóng đại thấp (Hình 4b) cho thấy hạt có hình thái gần cầu, bề mặt tương đối đồng nhất, với kích thước điển hình ở bậc ~0.8–1.0 mm (ước lượng theo thước chuẩn 100 µm), phản ánh quá trình tạo hạt trong tầng sôi với cơ chế làm tròn nhờ va chạm và tăng trưởng bề mặt. Ở phóng đại cao (Hình 4c), bề mặt thể hiện cấu trúc nhám, vi tinh thể, gồm các cụm tinh thể kích thước micromet liên kết chặt, phù hợp với tăng



Hình 4. Đặc trưng sản phẩm hạt vivianite thu hồi từ cột FBR (a) ảnh chụp hạt sau thu hồi; (b–c) ảnh SEM ở độ phóng đại ×50 và ×500; (d) phổ EDS; (e) phổ nhiễu xạ tia X của sản phẩm $Fe_3(PO_4)2{\cdot}8H_2O$.

trưởng theo kiểu kết tinh dị thể và bồi lắng lớp trên bề mặt hạt tuần hoàn. Phân tích SEM–EDS (Hình 4d) xác nhận thành phần chủ đạo là Fe–P–O (Fe 36.93 wt%, P 12.73 wt%, O 37.44 wt%), chỉ xuất hiện Ca vết (1.35 wt%), trong khi tín hiệu Pt (11.56 wt%) là do phủ dẫn điện khi đo SEM và không đại diện cho thành phần pha rắn. Từ phần trăm nguyên tử, tỷ lệ Fe/P ≈ 18.87/11.72 ≈ 1.61, nhìn chung tiệm cận với tỷ lệ lý thuyết của vivianite (Fe/P = 1.5), lưu ý rằng EDS là bán định lượng và O chịu ảnh hưởng bởi nước cấu trúc/ngậm nước cũng như độ nhám bề mặt. Cuối cùng, phổ XRD (Hình 4e) thể hiện các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng của pha $Fe_3(PO_4)_2{\cdot}8H_2O$, củng cố khẳng định rằng sản phẩm chủ yếu là vivianite tinh thể; kết hợp với hình thái gần cầu và vi cấu trúc bề mặt nhám kết tụ, các dữ liệu này cho thấy hệ tầng sôi đã không chỉ loại bỏ P mà còn chuyển hóa P thành sản phẩm tinh thể dạng hạt có độ thu hồi cao, hạn chế xu hướng tạo bùn mịn phân tán thường gặp trong kết tủa quá bão hòa không được kiểm soát.

4. KẾT LUẬN

Việc loại bỏ và thu hồi vivianite bằng thiết bị kết tinh đồng thể tầng sôi đã được khảo sát. Ba biến vận hành gồm pH, tỷ lệ mol $[Fe]_0/[P]_0$ và tải trọng bề mặt được chứng minh có ảnh hưởng đáng kể đến PR% và CR%. Kết quả thực nghiệm cho thấy pH = 6,0 ± 0,2 cho giá trị CR% lớn nhất. Khi tăng vận tốc dòng hướng lên, lượng tinh thể tạo thành tăng tương ứng. Trong nghiên cứu này, tải trọng theo tiết diện được duy trì trong khoảng 1,25 $kg{\cdot}m^{-2}{\cdot}h^{-1}$ nhằm đảm bảo tần suất va chạm giữa các hạt đủ lớn và thúc đẩy kết tủa đồng thể của phosphate sắt(II). Khi xử lý nước thải thực có nồng độ khoảng 620 mg-P/L, với tỷ lệ mol ban đầu $[Fe]_0/[P]_0 > 1,5$, hiệu suất PR và CR đạt tối ưu lần lượt là 97% và 86%. Phân tích SEM, EDS, và XRD xác nhận sản phẩm thu hồi ngoài pha vivianite là pha chủ đạo, một số vùng/hạt màu xanh đen có thể liên quan đến sản phẩm oxy hóa một phần của vivianite. Hạt vivianite có kích thước trung bình 0,75 mm sau 120 giờ vận hành FBC. Mặc dù quá trình oxi hóa Fe(II) có thể ảnh hưởng đến độ tinh khiết của vivianite cũng như tiềm năng ứng dụng tiếp theo (ví dụ làm tiền chất tổng hợp $LiFePO_4$). Việc thu hồi tinh thể vivianite trong nghiên cứu này nhấn mạnh tính khả thi của xử lý nước thải giàu phosphorus bằng công nghệ FBC.

Lời cảm ơn: *Nghiên cứu này được tài trợ bởi nhiệm vụ khoa học QG.23.78 của Đại học Quốc gia Hà Nội*■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. V.G. Le, D.V.N. Vo, C.T. Vu, X.T. Bui, Y.J. Shih, Y.H. Huang, Applying a novel sequential double-column fluidized bed crystallization process to the recovery of nitrogen, phosphorus, and potassium from swine wastewater, ACS ES&T Water, 1 (2020) 707-718.

2. V.-G. Le, D.-V.N. Vo, N.-H. Nguyen, Y.-J. Shih, C.-T. Vu, C.-H. Liao, Y.-H. Huang, Struvite recovery from swine wastewater using fluidized-bed homogeneous granulation process, Journal of Environmental Chemical Engineering, 9 (2021) 105019.

3. V.G. Le, T.A. Luu, N.T. Bui, M. Mofijur, H.T. Van, C. Lin, H.T. Tran, M.B. Bahari, C.T. Vu, Y.H. Huang, Fluidized–bed homogeneous granulation for potassium and phosphorus recovery: K-struvite release kinetics and economic analysis, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 139 (2022) 104494.

4. C.-C. Su, C.-M. Chen, J. Anotai, M.-C. Lu, Removal of monoethanolamine and phosphate from thin-film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) wastewater by the fluidized-bed Fenton process, Chemical engineering journal, 222 (2013) 128-135.

5. S. Moharami, M. Jalali, Removal of phosphorus from aqueous solution by Iranian natural adsorbents, Chemical Engineering Journal, 223 (2013) 328-339.

6. D.D. Nguyen, H.H. Ngo, W. Guo, T.T. Nguyen, S.W. Chang, A. Jang, Y.S. Yoon, Can electrocoagulation process be an appropriate technology for phosphorus removal from municipal wastewater?, Science of the total Environment, 563 (2016) 549-556.

7. S. Guida, G. Rubertelli, B. Jefferson, A. Soares, Demonstration of ion exchange technology for phosphorus removal and recovery from municipal wastewater, Chemical Engineering Journal, 420 (2021) 129913.

8. H. Zou, Y. Wang, Phosphorus removal and recovery from domestic wastewater in a novel process of enhanced biological phosphorus removal coupled with crystallization, Bioresource technology, 211 (2016) 87-92.

9. R. Priambodo, Y.-J. Shih, Y.-H. Huang, Phosphorus recovery as ferrous phosphate (vivianite) from wastewater produced in manufacture of thin film transistor-liquid crystal displays (TFT-LCD) by a fluidized bed crystallizer (FBC), RSC advances, 7 (2017) 40819-40828.

10. C.-S. Chen, Y.-J. Shih, Y.-H. Huang, Remediation of lead (Pb(II)) wastewater through recovery of lead carbonate in a fluidized-bed homogeneous crystallization (FBHC) system, Chemical Engineering Journal, 279 (2015) 120-128.

11. S.-P. Chen, D. Lv, J. Chen, Y.-H. Zhang, F.-N. Shi, Review on defects and modification methods of LiFePO4 cathode material for lithium-ion batteries, Energy & Fuels, 36 (2022) 1232-1251.

NGHIÊN CỨU, ĐÁNH GIÁ BIẾN ĐỘNG LỚP PHỦ MẶT ĐẤT KHU VỰC BIÊN GIỚI CỦA TỈNH ĐẮK LẮK

VŨ THỊ KIM DUNG[1], LÊ THỊ KIM THOA[1], PHÍ THỊ THU HOÀNG[1], ĐÀO THỊ LƯU[1], DƯƠNG THỊ HỒNG YẾN[1], NGÔ THỊ BÍCH HỒNG[1]

[1] Viện các Khoa học Trái đất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Tóm tắt

Nghiên cứu đã sử dụng tư liệu ảnh Sentinel-2 kết hợp với thuật toán phân loại Random Forest theo dõi sự thay đổi của các loại hình lớp phủ mặt đất tại khu vực biên giới tỉnh Đắk Lắk giai đoạn 2016 - 2023. Kết quả giải đoán ảnh cho độ chính xác OA là 77,3%, Kappa là 0,8 (năm 2016) và OA là 80,2%, Kappa là 0,82 (năm 2023). Trong giai đoạn 2016 - 2023, các lớp phủ đã có sự chuyển đổi mạnh mẽ; diện tích đất trồng cây hàng năm, đất trồng lúa, đất khu dân cư đất xây dựng tăng; diện tích rừng, đất trồng cây lâu năm, đất trống cây bụi giảm. Đặc biệt, đất trồng cây lâu năm giảm mạnh nhất (giảm 15.716 ha), đất trồng cây hàng năm tăng nhiều nhất (tăng 15.850 ha). Kết quả của nghiên cứu này góp phần cung cấp dữ liệu và cơ sở khoa học trong việc hoạch định các chính sách hỗ trợ sản xuất nông nghiệp, chuyển đổi cơ cấu cây trồng cũng như lập quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất tại địa phương.

***Từ khóa**: Sentinel-2A, biến động lớp phủ, random forest.*

***Ngày nhận bài**: 11/2/2026; **Ngày sửa chữa:** 17/2/2026; **Ngày duyệt đăng:** 29/3/2026.*

Researching and assessing land cover change in the border area of Dak Lak province

Abstract

This study used Sentinel-2 imagery combined with the Random Forest classification algorithm to track changes in land cover types in the border area of Dak Lak province (four communes: Ia Lop, Ia Rve, Ea Bung, Buon Don) during the period 2016-2023. Image interpretation results showed an accuracy of OA of 77.3% and Kappa of 0.8 (2016) and OA of 80.2% and Kappa of 0.82 (2023). During the period 2016-2023, land cover underwent significant changes; the area of land used for annual crops, rice paddies, and residential/construction land increased; while the area of forests, land used for perennial crops, and barren/shrubland decreased. Notably, land used for perennial crops decreased most significantly (by 15,716 ha), while land used for annual crops increased the most (by 15,850 ha). This research results contribute to providing data and a scientific basis for formulating policies to support agricultural production, restructuring crop patterns, and developing land use plans at the local level.

***Key words:** Sentinel-2A, land cover change, random forest.*

***JEL Classifications:** Q15, Q51, Q50.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lớp phủ mặt đất là lớp phủ (sinh học) vật lý quan sát được trên bề mặt trái đất [2]. Nó bao gồm thảm thực vật và các đặc điểm do con người tạo ra. Việc đánh giá và theo dõi sự thay đổi của lớp phủ đất là nền tảng cho việc quản lý bền vững tài nguyên thiên nhiên, bảo vệ môi trường, an ninh lương thực [2,6].

Hệ thống dữ liệu, bản đồ lớp phủ mặt đất và biến động lớp phủ mặt đất đã được thành lập ở nhiều cấp độ khác nhau từ quy mô toàn cầu cho đến cấp vùng, cấp quốc gia và địa phương. Các hệ thống dữ liệu, bản đồ được thành lập từ nhiều loại dữ liệu ảnh vệ tinh (Modis, Landsat, Sentinel, Envisat/Meris…) cùng với nhiều phương pháp giải đoán ảnh khác nhau đã thu được các kết quả đáng tin cậy. Ở cấp quy mô toàn cầu, một số hệ thống, mạng lưới về hiện trạng lớp phủ mặt đất và biến động lớp phủ đất toàn cầu đã được thành lập, ra mắt.[15,17,19] cùng với đó cũng có nhiều nghiên cứu cho Châu lục và tại các quốc gia như Châu Phi [16], Ấn Độ [10], Singapo [12], Trung Quốc [18]...

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về ứng dụng viễn thám trong theo dõi, đánh giá những biến động của các loại hình lớp phủ đất để phục vụ công tác quản lý, sử dụng hợp lý tài nguyên; định hướng quy hoạch phát triển kinh tế - xã hội đã được thực hiện tại nhiều địa phương và đã đem lại những kết quả nhất định [4].

Hiện nay, đã có nhiều phương pháp được sử dụng để xây dựng bản đồ lớp phủ mặt đất từ tư liệu ảnh vệ tinh; bao gồm phương pháp có kiểm định, không kiểm định và cả phương pháp tham số, phi tham số.

Cùng với sự xuất hiện và phát triển mạnh mẽ của Trí tuệ nhân tạo (Artificial Intelligence - AI) và Học máy (Machine Learning) đã trở thành hướng tiếp cận mới và đã mang lại nhiều đột phá trong nghiên cứu về lớp phủ mặt đất. Các thuật toán, bao gồm mạng nơ-ron nhân tạo (NN), Random Forest (RF), và Support Vector Machine (SVM), phân loại cây hồi quy (Classification and Regression Tree - CART) … đang đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao độ chính xác phân loại, đòi hỏi sự kết hợp dữ liệu vệ tinh với khảo sát thực địa nhằm đảm bảo độ tin cậy [8]. Một trong những thuật toán học máy có giám sát mang tính khả thi được đánh giá cao là rừng ngẫu nhiên (Random Forest - RF). Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng sử dụng thuật toán Random Forest – RF trong giải đoán ảnh cho kết quả có độ chính xác cao hơn một số phương pháp phân loại khác [3,8,9].

Tỉnh Đắk Lắk có đường biên giới dài 71,972 km tiếp giáp với tỉnh Mondulkiri - Vương quốc Campuchia. Tỉnh có hai huyện biên giới là Buôn Đôn và Ea Súp giáp với huyện Ko Nhét và một phần huyện Pachchanđa thuộc tỉnh Mondulkiri – Vương quốc Campuchia (trước 7/2025). Sau khi sắp xếp chính quyền địa phương 2 cấp, khu vực biên giới của Đắk Lắk gồm 4 xã: Ia Lốp, Ia Rvê, Ea Bung và Buôn Đôn. Khu vực nghiên cứu có khí hậu nhiệt đới gió mùa, có tiểu vùng khí hậu cá biệt, chịu ảnh hưởng trực tiếp của khí hậu nhiệt đới lục địa cao nguyên, nhiệt độ cao, nắng nóng; có hệ sinh thái rừng khộp điển hình chiếm phần lớn diện tích đất tự nhiên. Đây cũng là nơi có trình độ dân trí còn hạn chế, tỷ lệ đồng bào dân tộc thiểu số cao, vì vậy việc phát triển kinh tế vùng biên luôn đối mặt với nhiều khó khăn, thách thức.

Mục tiêu của việc nghiên cứu biến động lớp phủ bề mặt tại khu vực biên giới tỉnh Đắk Lắk là: (1) Thành lập được bản đồ lớp phủ mặt đất trong 8 năm (năm 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023) và bản đồ biến động lớp phủ mặt đất (2016-2023) của khu vực biên giới tỉnh Đăk Lắk từ ảnh vệ tinh Sentinel-2; (2) Đánh giá biến động lớp phủ bề mặt đất (2016-2023) của khu vực biên giới tỉnh Đăk Lắk.

Việc nghiên cứu biến động lớp phủ bề mặt của khu vực biên giới tỉnh Đắk Lắk là cơ sở phục vụ quản lý và giám sát tài nguyên và môi trường, góp phần ứng phó tốt hơn với biến đổi khí hậu, quản lý rủi ro thiên tai. Từ đó không chỉ đóng góp vào việc quy hoạch hạ tầng, xây dựng cơ cấu ngành nông nghiệp hợp lý, bền vững mà còn có ý nghĩa quan trọng trong đảm bảo an ninh - quốc phòng tại các xã biên giới của Đắk Lắk (giám sát, xây dựng địa bàn tác chiến, an ninh - trật tự,…).

Với các thách thức về suy thoái tài nguyên rừng, chuyển đổi cây trồng một cách tự phát của người dân tại khu vực các xã biên giới và để đạt được mục tiêu "Phát triển kinh tế gắn với bảo vệ môi trường sinh thái, quản lý chặt chẽ, sử dụng hợp lý, hiệu quả tài nguyên đất, nước, rừng và các loại tài nguyên khác; bảo vệ, cải thiện môi trường; chủ động, tích cực triển khai các giải pháp thích ứng với biến đổi khí hậu, phòng chống thiên tai" của tỉnh Đắk Lắk [11], việc nghiên cứu biến động lớp phủ bề mặt đất tại khu vực biên giới tỉnh Đắk Lắk là thiết yếu. Ứng dụng viễn thám trong thành lập bản đồ biến động lớp phủ mặt đất sẽ cung cấp những dữ liệu cụ thể, cơ sở khoa học vững chắc cho việc ra quyết định trong quản lý tài nguyên và chính sách phát triển, đồng thời góp phần vào bảo tồn hệ sinh thái và phát triển bền vững trong tương lai.

Kết quả của việc nghiên cứu biến động lớp phủ bề mặt của khu vực biên giới tỉnh Đắk Lắk là một trong các kết quả quan trọng của đề tài mà nhóm tác giả đang thực hiện: "Nghiên cứu ứng dụng viễn thám và hệ thông tin địa lý (GIS) trong quản lý, giám sát khu vực biên giới của tỉnh Đắk Lắk phục vụ phát triển kinh tế - xã hội và đảm bảo quốc phòng - an ninh"(2024-2026).

2. DỮ LIỆU PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Giới hạn khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu gồm các xã trên địa bàn tỉnh Đắk Lắk: xã Buôn Đôn, Ea Wer, Ea Nuôl, Ea Bung, Ea Rốk, Ia Lốp, Ia Rvê, Ea Súp.

Các xã này trước ngày 01/07/2025 thuộc 2 huyện biên giới là huyện Buôn Đôn và Ea Súp (cũ) của tỉnh Đắk Lắk.

2.2. Dữ liệu sử dụng

Nghiên cứu sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2 Level-2A (đã được hiệu chỉnh khí quyển); được thu thập trong giai đoạn 2016-2023 để phân tích biến động lớp phủ tại khu vực biên giới tỉnh Đắk Lắk, Việt Nam. Ảnh Sentinel-2 thu thập vào ngày 18/3/2023 và 23/2/2016, đảm bảo vùng nghiên cứu không có mây che phủ hoặc mức độ che phủ mây dưới 5% và được tiền xử lý để loại bỏ các nhiễu ảnh hưởng đến kết quả phân loại.

2.3. Quy trình thực hiện

Quy trình thực hiện tuần tự theo các bước lần lượt bao gồm: (1) Trích xuất dữ liệu ảnh vệ tinh của khu vực nghiên cứu; (2) Tiền xử lý dữ liệu: Bao gồm loại bỏ mây và bóng mây, đồng nhất độ phân giải của các kênh ảnh vệ tinh Sentinel-2 về độ phân giải 10m, quá trình đồng nhất độ phân giải không gian này giúp đảm bảo rằng mọi dữ liệu thu được từ các kênh ảnh đều có cùng một mức độ chi tiết và khả năng phản ánh, tạo điều kiện thuận lợi cho việc phân tích và đánh giá chính xác. Ghép ảnh (do khu vực nghiên cứu được bao trùm bởi hai cảnh ảnh) và cắt ảnh theo ranh giới khu vực nghiên cứu. Kết quả của bước tiền xử lý ảnh là tạo

ra bình đồ ảnh viễn thám (ảnh đã được cắt theo ranh giới nghiên cứu, được tổ hợp màu và làm nét …) (Hình 2); (3) Lấy mẫu và huấn luyện mẫu để cho chương trình học và ghi nhận các thông tin về các mẫu cho từng loại lớp phủ. Việc tạo các điểm mẫu phân loại được thực hiện kết hợp từ dữ liệu khảo sát thực địa, dữ liệu các bản đồ thu thập và dữ liệu ảnh Google Earth. Các điểm mẫu được lấy đảm bảo phân bố đều trên các loại hình lớp phủ và trên toàn bộ vùng nghiên cứu. Các điểm mẫu được tạo sau đó được mở rộng ra 20 m bằng hàm mở rộng (buffer), việc này sẽ tạo ra các vùng mẫu có bán kính 20 m xung điểm mẫu, giá trị phổ của vùng mẫu là giá trị trung bình của các pixel nằm trong vùng mẫu được tạo, điều này đảm bảo dung lượng mẫu để mô hình RF huấn luyện và kiểm tra. Tập mẫu được tạo ra được chia thành hai phần (80% được dùng để huấn luyện, 20% dùng để kiểm tra). Đưa dữ liệu mẫu dùng để huấn luyện vào mô hình để máy học cách phân biệt các lớp đối tượng trên ảnh vệ tinh; (4) Phân loại các lớp phủ theo mẫu đã huấn luyện: Mô hình đã huấn luyện được áp dụng để phân loại ảnh vệ tinh trên toàn bộ khu vực nghiên cứu để tạo ra bản đồ lớp phủ mặt đất; (5) Đánh giá độ chính xác phân loại: Độ chính xác của phân loại được đánh giá thông qua ma trận nhầm lẫn (Confusion Matrix), độ chính xác tổng thể (OA), hệ số Kappa; (6) Theo dõi, phân tích biến động: Các lớp dữ liệu sau khi giải đoán được tiến hành chồng xếp không gian để tìm ra các thay đổi tổng thể của giai đoạn 2016-2023. Hình 1 minh họa tổng quan quy trình thực hiện nghiên cứu.

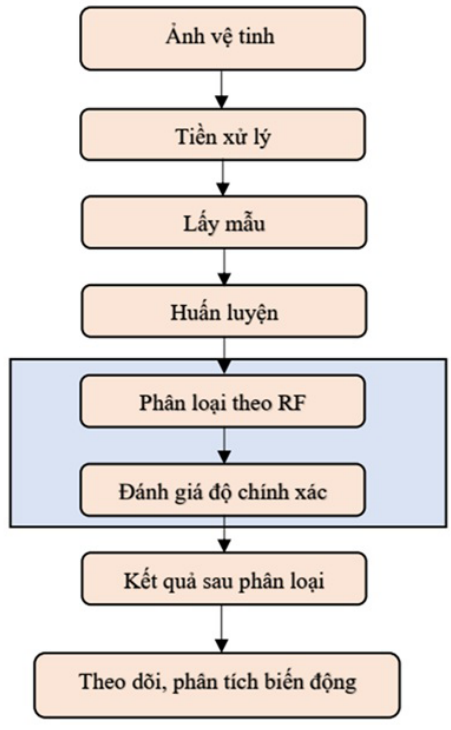
2.4. Phương pháp nghiên cứu

2.4.1. Phương pháp thu thập tài liệu, số liệu

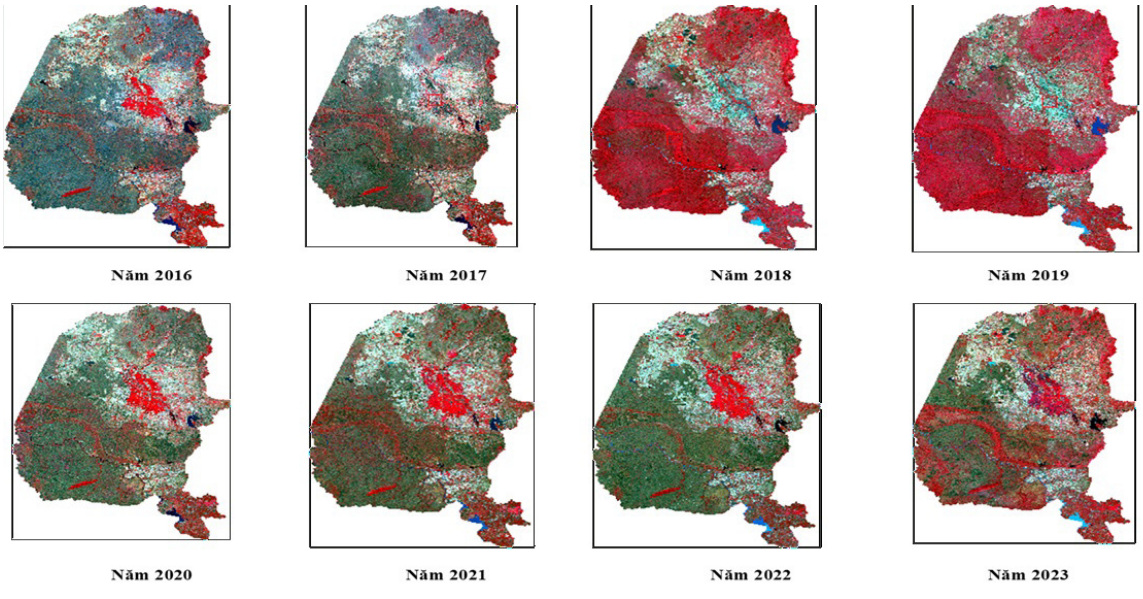
Việc kế thừa các kinh nghiệm nghiên cứu trên thế giới và trong nước góp phần xây dựng phương pháp luận vận dụng vào các nội dung của nghiên cứu. Bài báo này sử dụng các số liệu thống kê hàng năm (từ 2016) và mới nhất (2023) của toàn tỉnh Đắk Lắk, các huyện/xã biên giới tỉnh Đắk Lắk, các dữ liệu, bản đồ chuyên đề về hiện trạng sử dụng đất, bản đồ hiện trạng rừng đồng thời kế thừa các kết quả nghiên cứu của các đề tài, dự án, đề án liên quan.

2.4.2. Phương pháp điều tra, khảo sát thực địa

Nhóm tác giả đã tiến hành thu thập đo đạc, lấy mẫu, chụp ảnh, giải đoán ảnh mô



Hình 1. Quy trình nghiên cứu



Hình 2. Bình đồ ảnhSentinel 2 các năm 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 của khu vực biên giới tỉnh Đắk Lắk

tả các đối tượng nghiên cứu thuộc khu vực biên giới cần giám sát và quản lý nhằm thu thập nguồn tài liệu, số liệu để xây dựng một hệ thống cơ sở dữ liệu đầy đủ, chi tiết và có độ tin cậy cao.

Qua quá trình thực hiện đề tài, nhóm tác giả đã tiến hành 4 đợt khảo sát thực địa để khảo sát lấy mẫu giải đoán ảnh vệ tinh. Đề tài đã thu thập được 357 điểm mẫu ngoài thực địa đại diện cho các loại hình lớp phủ (286 điểm được sử dụng để huấn luyện mô hình, 71 điểm dùng để đánh giá độ chính xác). Các điểm lấy mẫu được lấy tại trung tâm của đối tượng giải đoán có gắn toạ độ và được mô tả chi tiết (loại lớp phủ, loại cây trồng, tuổi cây trồng…), phản ánh đúng đặc điểm thực tế của từng đối tượng trên toàn bộ khu vực nghiên cứu. Các điểm mẫu thực địa phân bố đều trên các loại hình lớp phủ và phủ rộng trên toàn bộ khu vực nghiên cứu, góp phần tạo nền tảng dữ liệu thực tế tin cậy cho quá trình huấn luyện.

2.4.3. Phương pháp ứng dụng thuật toán học máy

Random Forest (RF) là một thuật toán học máy thuộc nhóm học có giám sát, dựa trên cây quyết định, nổi bật với khả năng xử lý và phân tích các dữ liệu phức tạp. RF hoạt động bằng cách xây dựng nhiều cây quyết định trong quá trình huấn luyện và kết hợp kết quả của chúng để cải thiện độ chính xác và kiểm soát tình trạng quá khớp. Với khả năng xử lý dữ liệu phức tạp, kỹ thuật bootstrap và phương pháp bỏ phiếu đa số, RF cung cấp các dự đoán chính xác và đáng tin cậy cho các nghiên cứu về giải đoán ảnh viễn thám. Số lượng cây trong nghiên cứu được đặt là 100 với độ sâu tối đa của cây là 10, nhằm cân bằng giữa độ chính xác và hiệu suất tính toán. [3,8,9]

2.4.4. Phương pháp ứng dụng công nghệ viễn thám, bản đồ và GIS

Kết quả giải đoán ảnh vệ tinh Sentinel-2 năm 2016, 2023 được đưa vào phần mềm Arcgis 10.8 để biên tập bản đồ, sử dụng chức năng phân tích không gian chồng ghép bản đồ để thành lập bản đồ biến động và thống kê mức độ biến động của từng loại lớp phủ.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hệ thống phân loại lớp phủ mặt đất

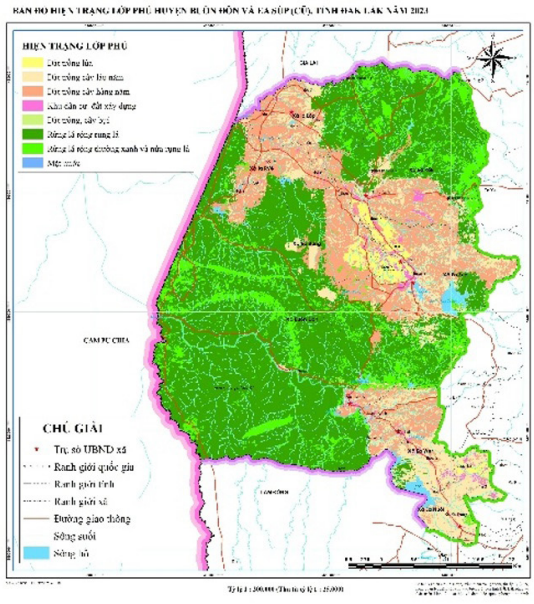
Nghiên cứu đã tham khảo các hệ thống phân loại lớp phủ mặt đất trên thế giới [1,2] và kết hợp với các quy định về lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất và bản đồ kiểm kê rừng tại Việt Nam [13,14]; cùng với dữ liệu ảnh Sentinel-2 có độ phân giải 10m. Trong khuôn khổ nghiên cứu này nhóm tác giả đã đề xuất các đơn vị lớp phủ mặt đất như sau: (1) Rừng lá rộng rụng lá; (2) Rừng lá rộng thường xanh và nửa rụng lá; (3) Đất trống cây bụi; (4) Đất trồng lúa; (5) Đất trồng cây lâu năm; 6) đất trồng cây hàng năm; (7) Khu dân cư, đất xây dựng; (8) Mặt nước (sông, suối, hồ, ao…)

3.2. Kết quả phân loại

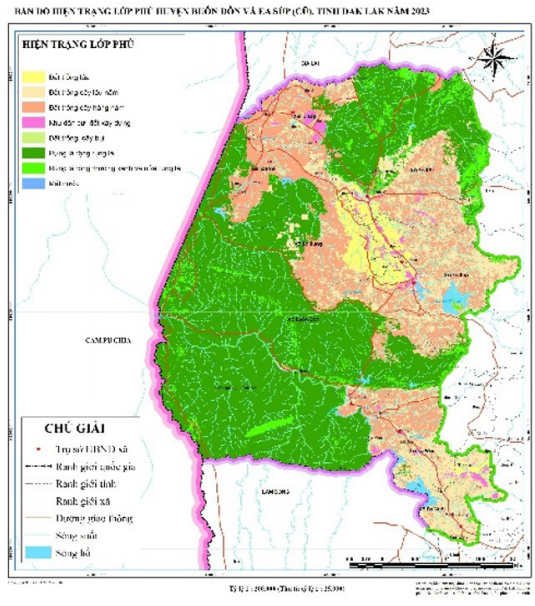
Ảnh vệ tinh Sentinel-2 (năm 2016 và 2023) khu vực biên giới tỉnh Đắk Lắk được giải đoán, phân loại cho 8 đối tượng. Sau khi tiến hành phân loại, sử dụng số liệu thực địa để kiểm tra và đánh giá độ chính xác kết quả phân loại. Kết quả độ chính xác phân loại cho ảnh năm 2016 với OA là 77,3%, Kappa là 0,8 trong đó lớp phủ mặt nước có độ chính xác cao nhất đạt 89 %, lớp phủ rừng lá rộng rụng lá đạt 85 %; có sự nhầm lẫn cao giữa đất khu dân cư, đất xây dựng (độ chính xác 71%) và đất trồng cây hàng năm (độ chính xác 73 %). Độ chính xác phân loại cho ảnh năm 2023 với OA là 80,2%, Kappa là 0,82 trong đó lớp phủ mặt nước có độ chính xác cao nhất đạt 91 %, lớp phủ rừng lá rộng thường xanh và nửa rụng lá đạt 87 %; có sự nhầm lẫn cao giữa đất

Bảng 1. Thống kê diện tích lớp phủ và thay đổi diện tích lớp phủ giai đoạn 2016-2023

TT	Lớp phủ	Diện tích (ha)		Thay đổi diện tích (ha)
		2016	2023	
1	Đất trồng lúa	12.205	15.966	3.761
2	Đất trồng cây lâu năm	49.695	33.979	-15.716
3	Đất trồng cây hàng năm	41.102	56.952	15.850
4	Rừng lá rộng thường xanh và nửa rụng lá	21.552	21.309	-243
5	Rừng lá rộng rụng lá	159.451	155.013	-4.438
6	Khu dân cư. đất xây dựng	10.362	15.091	4.729
7	Đất trống, cây bụi	17.236	11.857	-5.379
8	Mặt nước	5.912	7.348	1.436
	Tổng	**317.515**	**317.515**	**0**



Hình 3. Bản đồ lớp phủ năm 2016



Hình 4. Bản đồ lớp phủ năm 2023

Bảng 2. Biến động diện tích lớp phủ giai đoạn 2016-2023

TT	Lớp phủ	Diện tích chuyển đổi (ha)
1	Đất trồng cây lâu năm - đất trồng lúa	2.362
2	Đất trồng cây lâu năm - đất trồng cây hàng năm	10.975
3	Đất trồng cây lâu năm – khu dân cư, đất xây dựng	1.961
4	Đất trồng cây hàng năm - đất trồng cây lâu năm	385
5	Rừng lá rộng rụng lá - đất trồng cây lâu năm	452
6	Rừng lá rộng rụng lá - đất trồng cây hàng năm	6.168
7	Rừng lá rộng rụng lá - đất trống, cỏ, cây bụi	529
8	Rừng lá rộng thường xanh - đất trồng cây hàng năm	37
9	Đất trồng lúa - đất trồng cây ngắn ngày	71
10	Đất trồng cây hàng năm - đất trồng lúa	2.517
11	Đất trồng cây hàng năm – khu dân cư, đất xây dựng	973
12	Đất trồng lúa - đất trồng cây lâu năm	721
13	Đất trồng lúa - đất trồng cây hàng năm	1.105
14	Đất trồng lúa - khu dân cư, đất xây dựng	137
15	Đất trồng lúa - mặt nước	21
16	Đất trống, cỏ, cây bụi - đất trồng lúa	251
17	Đất trống, cỏ, cây bụi - đất trồng cây lâu năm	623
18	Đất trống, cỏ, cây bụi - khu dân cư, đất xây dựng	35

trồng lúa (độ chính xác 77 %) và đất trồng cây hàng năm (độ chính xác 75 %).

Hiện trạng lớp phủ mặt đất khu vực biên giới tỉnh Đắk Lắk năm 2016, 2023 được phân loại từ dữ liệu ảnh Sentinel-2 bằng thuật toán RF được trình bày ở Hình 3 và Hình 4 và thống kê diện tích trong Bảng 1.

Biến động lớp phủ mặt đất tại khu vực nghiên cứu giai đoạn 2016-2023 được thể hiện trong Hình 5 và bảng thống kê thay đổi diện tích (Bảng 2).

Từ Hình 5 và kết quả Bảng 2 có thể thấy trong giai đoạn 2016-2023, với các mục đích sử dụng, các hình thức hoạt động, khai thác khác nhau của con người phục vụ cho phát triển kinh tế, mà các loại lớp phủ đã có những thay đổi: diện tích đất trồng cây hàng năm, đất trồng lúa, đất khu dân cư hoặc đất xây dựng tăng lên. Diện tích đất trồng cây lâu năm, rừng lá rộng rụng lá, rừng lá rộng thường xanh và nửa rụng lá, đất trống, cỏ, cây bụi có xu hướng giảm. Cụ thể:

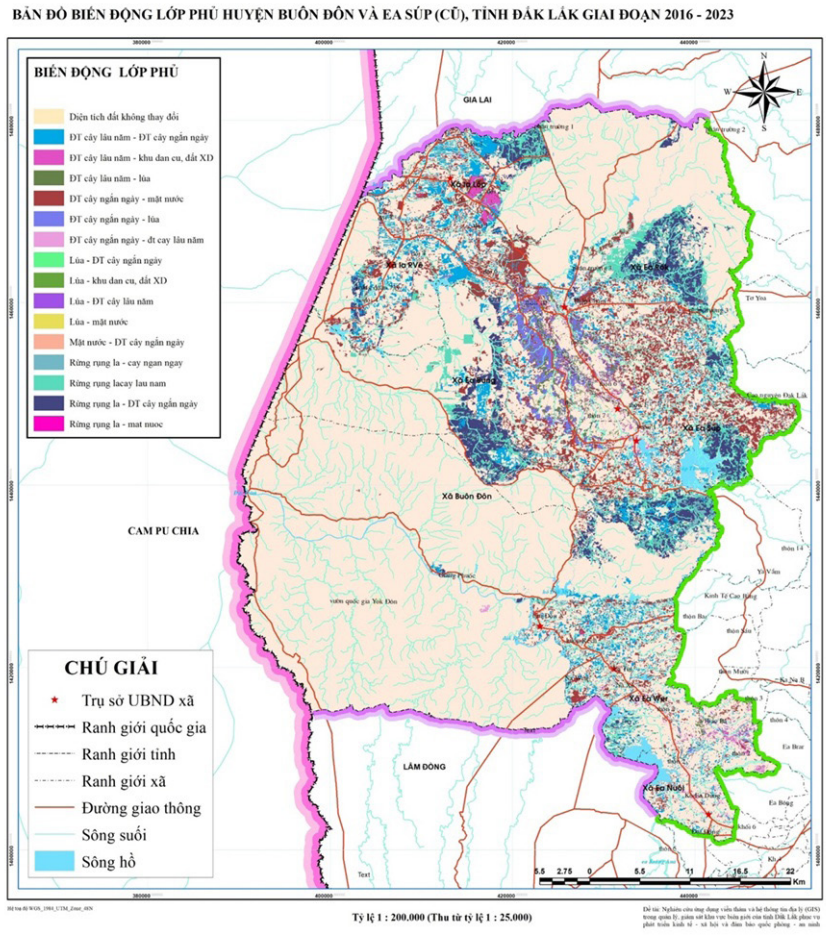
Diện tích đất trồng cây lâu năm giảm nhiều nhất giảm

15.716 ha (giảm 31,6 %), đất trồng cây hàng năm tăng mạnh nhất với 15.850 ha (tăng 38,6 %); diện tích tăng lên là do chuyển đổi từ đất trồng cây lâu năm sang và một phần là chuyển đổi từ đất rừng. Tuy nhiên đất trồng cây hàng năm và đất trồng cây lâu năm có sự biến động diễn ra phức tạp và biến đổi qua lại với nhau nhiều nhất. Đất trồng cây lâu năm và đất trồng cây hàng năm luôn có sự biến đổi qua lại theo thời gian. Sự chuyển dịch các loại đất này chủ yếu là do tự phát của người dân.

Diện tích đất trồng lúa tăng 3.761 ha, diện tích mặt nước tăng 1.436 ha, diện tích đất tăng do trong giai đoạn 2016-2023 địa phương đã được cấp kinh phí để xây dựng hồ đập; sửa chữa, nâng cấp các công trình thủy lợi; hệ thống kênh mương dẫn nước được kiên cố hoá đến tận các cánh đồng.

Diện tích rừng lá rộng rụng lá giảm 4.438 ha (giảm 2,8 %). Diện tích đất rừng bị mất xảy ra ở hầu hết các xã trong khu vực đặc biệt là các xã Ea Súp, Ea Bung, Ya Tơ Mốt, Ea Rốk. Rừng bị mất được xác định phần lớn là ở các khu vực đất rừng sản xuất, diện tích rừng được giao cho các công ty lâm nghiệp, các hộ gia đình ... Mục đích phá rừng chủ yếu là để lấy đất để trồng cây lương thực, cây công nghiệp. Việc lấn chiếm đất rừng để lấy đất trồng cây nông nghiệp diễn ra hàng năm và rải rác như da báo. Tuy nhiên, diện tích rừng rụng lá cũng có tăng thêm từ diện tích đất trống, cây bụi là 351 ha.

Diện tích đất khu dân cư hoặc đất xây dựng tăng 4.729 ha. Phần lớn diện tích đất tăng này là do xây dựng nhà máy điện mặt trời tại các xã như Ia Lốp, Ia Rvê điển hình là dự án điện mặt trời quy mô lớn như cụm dự án Xuân Thiện. Diện tích đất chuyển đổi chủ yếu là từ đất trồng cây hàng năm và đất trồng cây lâu năm.



Hình 5. Bản đồ biến động lớp phủ giai đoạn 2016-2023

Qua sự chuyển đổi của các loại hình thực phủ với nhau ta thấy. Sự chuyển đổi của các loại đất tập trung chủ yếu ở khu vực đất nông nghiệp, khu vực lớp phủ rừng phần lớn là không có sự biến đổi. Tuy nhiên, diện tích rừng đã bị mất do phá rừng lấy đất làm nông nghiệp vẫn diễn ra hàng năm.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã sử dụng thuật toán Random Forest (RF) để phân loại ảnh vệ tinh Sentinel-2 trong giai đoạn 2016-2023, từ đó đánh giá sự biến động lớp phủ tại khu vực biên giới tỉnh Đắk Lắk. Kết quả giải đoán ảnh cho độ chính xác OA là 77,3%, Kappa là 0,8 (năm 2016) và OA là 80,2%, Kappa là 0,82 (năm 2023).

Sự phát triển kinh tế - xã hội, phát triển ngành công nghiệp năng lượng, đã làm thay đổi lớp phủ đất ở một số nơi trong khu vực nghiên cứu. Đặc biệt, khi phân tích, theo dõi lớp phủ từ dữ liệu Sentinel-2 kết hợp với ranh giới của bản đồ quy hoạch 3 loại rừng và bản đồ quy hoạch sử dụng đất trong giai đoạn nghiên cứu 2016-2023, thấy rằng diện tích đất lâm nghiệp bị lấn chiếm là khá lớn, nhiều khu vực đất nông nghiệp và đất lâm nghiệp bị sử dụng sai mục đích. Rừng tự nhiên bị mất đi hàng năm khá cao và tập trung ở các khu vực giáp ranh giữa đất nông nghiệp và đất lâm nghiệp.

Diện tích rừng bị mất hàng năm là khá lớn, do đó địa phương cần có các chính sách để hỗ trợ sinh kế, đồng thời tuyên truyền về pháp luật, vai trò của rừng cho người dân để người dân không phá rừng lấy đất canh tác, bên cạnh đó cần thu hồi đất của công ty lâm nghiệp, những dự án yếu kém đã để xảy ra mất rừng và sử dụng đất sai mục đích được giao. Ngoài

ra, để sớm phát hiện các khu vực rừng bị tác động địa phương cần sử dụng ảnh vệ tinh và thiết bị bay không người lái để sớm dự báo, phát hiện các điểm cháy rừng hoặc các khu vực rừng mới bị phá, giúp can thiệp kịp thời.

Kết quả của nghiên cứu này có thể là cơ sở cho các ứng dụng tiếp theo trong giám sát tài nguyên thiên nhiên và hỗ trợ ra quyết định trong quản lý (chuyển đổi cơ cấu cây trồng cũng như lập quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất và xây dựng các hệ thống, công trình thủy lợi phục vụ tưới tại địa phương), góp phần hướng đến phát triển bền vững.

***Lời cảm ơn**: Bài báo này là một phần kết quả nghiên cứu của Đề tài "Nghiên cứu ứng dụng viễn thám và hệ thông tin địa lý (GIS) trong quản lý, giám sát khu vực biên giới của tỉnh Đắk Lắk phục vụ phát triển kinh tế - xã hội và đảm bảo quốc phòng - an ninh". Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn sự phối hợp của Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Đắk Lắk, UBND xã Buôn Đôn (xã Krông Na cũ), UBND xã Ea Bung, UBND xã Ia Lốp, UBND xã Ia Rvê và các bên liên quan trong quá trình thực hiện đề tài và bài báo*■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Anderson, J.F., E.E. Hardy, J.T. Roach, and R.E. Witmer. (1976). A land use and land cover classification system for use with remote sensor data, U.S. Geological Survey Professional Paper 964, U.S. Geological Survey, Washington, DC, 28 pp.

2. Antonio Di Gregorio, et al (2016), Land cover Classification System, FAO, Rome, Italy.

3. Belgiu, M. and L. Dragu (2016), Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 2016. 114: p. 24-31.

4. Hồ Đình Bảo, (2025), So sánh hiệu quả phân loại thảm phủ tỉnh Đắk Lắk từ dữ liệu ảnh viễn thám bằng thuật toán học máy, Tạp chí KHLN Số 1/2025: 61 – 75.

5. Jie Yang, Xin Huang, (2021). The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019. Supplement of Earth Syst, 13, pp. 3907–3925.

6. John Latham, Renato Cumani, Ilaria Rosati and Mario Bloise (2014), Global Land Cover SHARE (GLC-SHARE), FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100, Rome, Italy.

7. Jun Chen , et al (2015), Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 103, pp. 7-27.

8. Mutale B., Withanage N.C., Mishra P.K., Shen J., Abdelrahman K., Fnais M.S., (2024). A performance evaluation of random forest, artificial neural network, and support vector machine learning algorithms to predict spatio-temporal land use-land cover dynamics: a case from lusaka and colombo. Frontiers in Environmental Science, 12, pp. 1-18.

9. Pal, M., (2025), Random forest classifier for remote sensing classification. International journal of remote sensing, 26(1): p. 217-222.

10. Pande C.B., (2022), Land use/land cover and change detection map-ping in Rahuri watershed area (MS), India using the Google Earth Engine and machine learning approach. Geocarto Int 37(26):13860 - 13880.

11. Quyết định số 1747/QĐ-TTg ngày 30 tháng 12 năm 2023 của Thủ tướng Chính phủ về phê duyệt quy hoạch tỉnh Đắk Lắk thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050.

12. Sidhu N., Pebesma E., Camara G., (2018). Using Google earth engine to detect land cover change: Singapore as a use case. Eur J Remote Sens 51(1):486 - 500

13. Thông tư số 16/2023/TT-BNNPTNT ngày 15/12/2023 sửa đổi, bổ sung một số điều của thông tư số 33/2018/TT-BNNPTNT ngày 16/11/2028 của bộ trưởng bộ NN&PTNT quy định về điều tra, kiểm kê và theo dõi diễn biến rừng.

14. Thông tư số 08/2024/TT-BTNMT ngày 31/07/2024 quy định về thống kê, kiểm kê đất đai và lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất.

15. Tsendbazar, N., Linlin, L., Koopman, M., Carter, S., Herold, M., Georgieva, I., & Lesiv, M. (2021b). WorldCover 2020: Product Validation Report.

16. Tsendbazar, N.E., Herold, M., de Bruin, S., Lesiv, M., Fritz, S., Van De Kerchove, R., Buchhorn, M., Duerauer, M., Szantoi, Z., & Pekel, J.F. (2018). Developing and applying a multi-purpose land cover validation dataset for Africa. Remote Sensing of Environment, 219, 298-309.

17. Tyukavina, A., Stehman, S. V., Foody, G. M., Bontemps, S., See, L., Olofsson, P., Tsendbazar, N. E., Radoux, J., Komarova, A., Serre, B. M., de Bruin, S., Herold, M., & Reiche, J. (2025), Land Cover and Change Map Accuracy Assessment and Area Estimation Good Practices Protocol. Good Practices for Satellite Derived Land Product Validation, (p. 188): Land Product Validation Subgroup (WGCV/CEOS).

18. Weng Quihao (2002), "Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modeling", Journal of Environmental Management, 64, pp. 273-284.

19. Zanaga, D., Van De Kerchove, R., De Keersmaecker, W., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R., Wevers, J., Grosu, A., Paccini, A., Vergnaud, S., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Georgieva, I., Lesiv, M., Carter, S., Herold, M., Li, Linlin, Tsendbazar, N.E., Ramoino, F., Arino, O., (2021). ESA WorldCover 10 m 2020 v100.

ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG NỒNG ĐỘ BỤI VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH BỔ KHUYẾT SỐ LIỆU QUAN TRẮC BỤI TẠI KHU KINH TẾ VŨNG ÁNG, TỈNH HÀ TĨNH

ĐỖ HỮU TUẤN[1*], TRẦN BIÊN GIỚI[1], PHAN THỊ LAN ANH[1], NGUYỄN TIẾN DŨNG[2], NGUYỄN MAI LÂM[3]

[1]Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội
[2]Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội
[3]Trường Quản trị và Kinh doanh, Đại học Quốc gia Hà Nội

Tóm tắt

Quan trắc, đánh giá hiện trạng môi trường là nhiệm vụ quan trọng của hoạt động quản lý môi trường. Trong hoạt động quan trắc môi trường (QTMT), dữ liệu bị thiếu là điều khó tránh khỏi. Trong điều kiện đó, các phương pháp mô hình toán và thống kê là phương pháp hữu hiệu để bổ khuyết các số liệu quan trắc. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp trung bình hóa mô hình kiểu Bayes để xây dựng mô hình bổ khuyết số liệu trong trường hợp thiếu dữ liệu quan trắc cho 4 thông số bụi, bao gồm PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10}, TSP. Các mô hình được thiết lập dựa trên mối quan hệ giữa các thông số bụi, cho phép ước tính giá trị bị khuyết từ các biến còn lại. Kết quả nghiên cứu cho thấy, nồng độ bụi tại khu vực nghiên cứu đều nằm dưới giới hạn của QCVN 05:2023/BTNMT. Các mô hình bổ khuyết số liệu quan trắc đạt hiệu quả cao với hệ số xác định R^2 dao động từ 0,944 - 0,992, cùng với các chỉ số sai số (MAE, RMSE, MAPE) ở mức thấp, chứng tỏ độ tin cậy và khả năng ứng dụng của phương pháp. Kết quả nghiên cứu khẳng định tiềm năng của BMA trong việc nâng cao chất lượng và tính liên tục của dữ liệu QTMT không khí. Phương pháp đề xuất có thể được áp dụng rộng rãi cho các hệ thống quan trắc tự động nhằm hỗ trợ công tác quản lý và đánh giá chất lượng môi trường không khí (MTKK) một cách hiệu quả hơn.

Từ khóa: *Mô hình bổ khuyết số liệu quan trắc, BMA, ô nhiễm không khí, ô nhiễm bụi.*
Ngày nhận bài: *10/2/2026;* ***Ngày sửa chữa:*** *17/3/2026;* ***Ngày duyệt đăng:*** *25/3/2026.*

Assessment of concentration and development of data gap-filling models for particulate matter monitoring data in Vung Ang economic zone, Ha Tinh province

Abstract

Environmental monitoring and assessment play a crucial role in environmental management. In practice, missing data in environmental monitoring is unavoidable. Under such conditions, mathematical and statistical modeling approaches are effective tools for filling gaps in monitoring datasets. This study applies the Bayesian Model Averaging (BMA) method to develop gap-filling models for missing air quality data, focusing on four particulate matter parameters: PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10}, and TSP. The models are constructed based on the relationships among these particulate parameters, allowing the estimation of missing values from the remaining observed variables. The results indicate that particulate matter concentrations in the study area are consistently below the limits specified in QCVN 05:2023/BTNMT. The developed gap-filling models demonstrate high performance, with coefficients of determination (R^2) ranging from 0.944 to 0.992, along with low error metrics (MAE, RMSE, and MAPE), confirming the reliability and applicability of the approach. The findings highlight the potential of BMA in improving the quality and continuity of air quality monitoring data. The proposed method can be widely applied to automatic monitoring systems, thereby supporting more effective environmental management and air quality assessment.

Keywords: *Data gap-filling models, BMA, air pollutant, particulate matter.*
JEL Classifications: *O13, O44, Q55, Q56, R11.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

QTMT là một trong những hoạt động quan trọng của công tác bảo vệ môi trường. Đối với hoạt động QTMT không khí, việc xuất hiện các khoảng trống dữ liệu do sự cố thiết bị, bảo trì định kỳ hoặc lỗi truyền nhận là điều khó tránh khỏi [1], [2], [3]. Trong bối cảnh đó, các mô hình toán học và thống kê đóng vai trò quan trọng trong việc bổ khuyết số liệu [4], [5]. Nghiên cứu về bổ khuyết số liệu quan trắc đã được thực hiện với các phương pháp tiếp cận khác nhau,

bao gồm phương pháp thống kê và nội suy truyền thống [6], [7], [8], [9] là các phương pháp về mô hình toán học và học máy nâng cao [10], [11], [12].

Trung bình hóa mô hình kiểu Bayes (Bayesian Model Averaging - BMA) là phương pháp thống kê dựa trên lý thuyết Bayes nhằm xử lý vấn đề bất định trong lựa chọn mô hình. Thay vì lựa chọn một mô hình duy nhất, BMA kết hợp kết quả dự báo của nhiều mô hình khác nhau thông qua việc gán trọng số xác suất hậu nghiệm cho từng mô hình [13]. BMA có khả năng giảm sai số dự báo và cải thiện độ tin cậy của mô hình so với việc sử dụng một mô hình riêng lẻ [13], [14]. Baran et al., 2014 đã nghiên cứu sử dụng BMA để hiệu chỉnh các dự báo tốc độ gió từ mô hình khí tượng số. Kết quả cho thấy, BMA giúp tạo ra các dự báo xác suất có độ tin cậy cao hơn [14]. Nghiên cứu của Kim et al., 2020 đã sử dụng phương pháp BMA được áp dụng trong dự báo lưu lượng dòng chảy, kết quả là mô hình BMA cải thiện độ chính xác dự báo từ 3 - 9% so với các mô hình học máy riêng lẻ [15].

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu ứng dụng phương pháp thống kê và học máy để xử lý, bổ khuyết số liệu quan trắc chất lượng không khí (CLKK), phần lớn nghiên cứu hiện nay tập trung vào dự báo nồng độ chất ô nhiễm hoặc bổ khuyết dữ liệu dựa trên từng mô hình riêng lẻ. Một số phương pháp như hồi quy tuyến tính [16], rừng ngẫu nhiên (Random Forest - RF) [17], láng giềng gần nhất (Nearest Neighbour Method - NNM) [18], K láng giềng gần nhất (K-Nearest Neighbors - KNN) [19] hoặc nội suy thống kê tuy cho kết quả nhất định nhưng thường chưa xem xét đầy đủ tính bất định trong lựa chọn mô hình, dẫn đến sai số dự báo vẫn còn đáng kể khi dữ liệu bị khuyết. Bên cạnh đó, các nghiên cứu ứng dụng BMA trong bổ khuyết số liệu quan trắc bụi, nhất là thông số PM_1, $PM_{2,5}$, PM_{10}, TSP tại các trạm quan trắc tự động vẫn còn khá hạn chế. Do đó, việc áp dụng phương pháp BMA nhằm kết hợp thông tin từ nhiều biến quan trắc để xây dựng mô hình bổ khuyết dữ liệu được xem là một hướng tiếp cận tiềm năng, giúp nâng cao độ chính xác, độ tin cậy của bộ dữ liệu quan trắc. Từ khoảng trống đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm xây dựng, đánh giá các mô hình bổ khuyết số liệu quan trắc bụi dựa trên phương pháp BMA cho khu vực nghiên cứu.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thu thập và phân tích số liệu quan trắc

Số liệu quan trắc của 4 thông số bụi PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10}, TSP được thu thập từ trạm quan trắc tự động tại khu công nghiệp (KCN) Vũng Áng, tỉnh Hà Tĩnh với tọa độ điểm quan trắc tại 18o05'06.2N 106o24'56.4"E. Số liệu quan trắc được thu thập trong vòng 1 năm, từ tháng 11/2023 - 10/2024 làm dữ liệu cơ sở xây dựng mô hình.

Dữ liệu sau đó được xử lý thống kê bằng phần mềm thống kê R trước khi được sử dụng để phân tích chuyên sâu. Dữ liệu quan trắc được so sánh với quy chuẩn về chất lượng MTKK xung quanh QCVN 05:2023/BTNMT.

2.2. Phương pháp trung bình hóa mô hình kiểu Bayes

Phương pháp trung bình hóa mô hình kiểu Bayes (BMA) tính toán dựa trên thiết lập biến phụ thuộc y được giải thích bởi các biến giải thích x1, x2, x3 … xk theo công thức:

$$y=\alpha_0 + \alpha_1x_1 + \alpha_2x_2 + \alpha_3x_3 + \ldots + \alpha_kx_k + \varepsilon \quad (1)$$

Trong đó:

α_0, α_1, α_3 … α_k: Hệ số hồi quy;

ε: Phần dư.

Xem xét có n mô hình với θ thông số mô hình và dữ liệu, y mô hình được tạo ra, khi đó BMA dựa trên phân phối [20]:

$$P(\theta|y) = \sum_n P(\theta|y,n_j)P(n_j|y) \quad (2)$$

Trong đó

$$P(\theta|y,n_j) = \frac{P(y|\theta)P(\theta|n_j)}{P(y|n_j)} \quad (3)$$

$P(n_j|y)$ xác xuất hậu định của mô hình n:

$$P(n_j|y) = \frac{P(y|n_j)P(n_j)}{P(y)} = P(y|n_j)\frac{P(n_j)}{\sum_{i=1}^{2^k} P(y|n_j)P(n_j)} \quad (4)$$

$P(y|n_j)$ là xác suất của dữ liệu dựa trên mô hình:

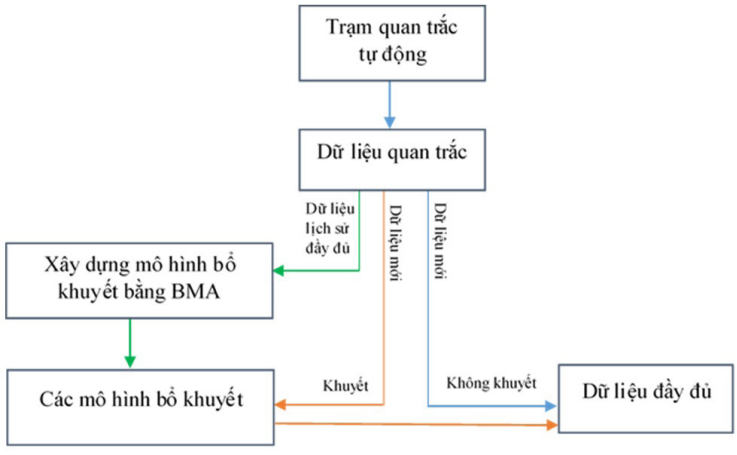
$$P(y|n_j) = \int P(y|\beta^i, n_j)P(\beta^i, n_j)d\beta^i \quad (5)$$

β^i là vectơ tham số từ mô hình; n_j, $P(\beta^i,n_j)$ là phân bố xác suất tiên nghiệm được gán cho các tham số của mô hình nj; P(nj) là xác suất tiên nghiệm của mô hình n_j.

Để xây dựng các mô hình bổ khuyết, nghiên cứu sử dụng phần mềm thống kê R với gói mở rộng BMA. Các thông số quan trắc được gắn với các biến tương ứng trong mô hình như sau: PM_1 = x1, $PM_{2.5}$ = x2, PM_{10} = x3 và TSP = x4. Khi một trong 4 thông số quan trắc bị khuyết thì thông số khuyết sẽ được tính toán dựa trên mô hình khuyết để cho dữ liệu đầy đủ (Hình 1), với giả định các mô hình không có đa cộng tuyến cực đoan và dữ liệu phù hợp với giả định xác suất (Hình 1).

2.3. Kiểm định mô hình

Để kiểm định tính toán hiệu quả của mô hình bổ khuyết, nghiên cứu tiến hành so sánh giữa các giá trị quan trắc thực bằng thiết bị quan trắc từ ngày 1/4 - 30/4/2024 và giá trị do mô hình tính toán. Các chỉ số



Hình 1. Sơ đồ nghiên cứu

được dùng để đo lường khả năng của mô hình bao gồm:

a) Sai số tuyệt đối trung bình MAE (Mean Absolute Error) [17], [18]:

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|O_i - P_i| \quad (6)$$

Trong đó Oi là giá trị quan trắc; P_i là giá trị dự đoán của mô hình.

b) Sai số trung bình bình phương gốc RMSE (Root Mean Square Error) [17], [19]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2} \quad (7)$$

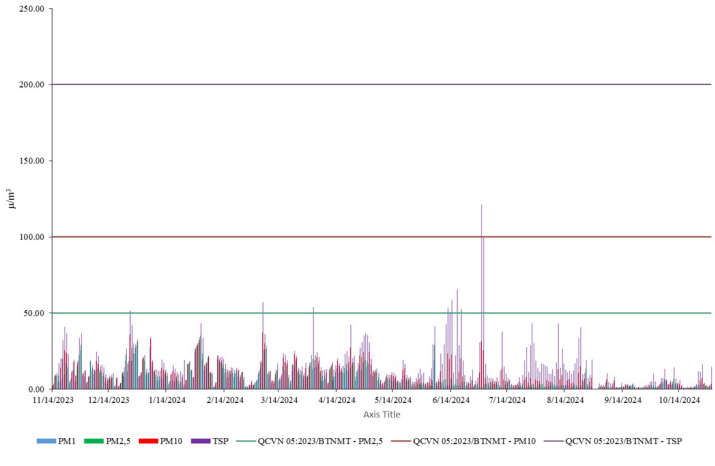
c) Sai số phần trăm tuyệt đối trung bình MAPE (Mean Absolute Percentage Error) để đo lường sai số phần trăm giữa giá trị của mô hình và giá trị quan trắc được [16], [18]:

$$MPAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|O_i - P_i|}{O_i} \times 100\% \quad (8)$$

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Diễn biến nồng độ bụi tại KCN Vũng Áng, tỉnh Hà Tĩnh

Nồng độ trung bình 24h của PM1 tại khu vực nghiên cứu giao động trong khoảng từ 0,2 - 31 µg/m³, giá trị trung bình đạt 6,17 µg/m³ (Hình 2). Kết quả cho thấy, nồng độ PM1 trong khu vực biến động lớn với nồng độ cao tập trung từ tháng 11 đến hết tháng 4, trùng vào mùa khô của khu vực nghiên cứu, trong đó nồng độ giảm vào mùa mưa (từ tháng 5 - tháng 10). Nồng độ PM_1 tập trung ở các giá trị ≤ 10 µg/m³ chiếm 78,51% số ngày quan trắc, trong đó nồng độ ≤ 4 µg/m³ chiếm 51% số ngày quan trắc (Hình 3a).



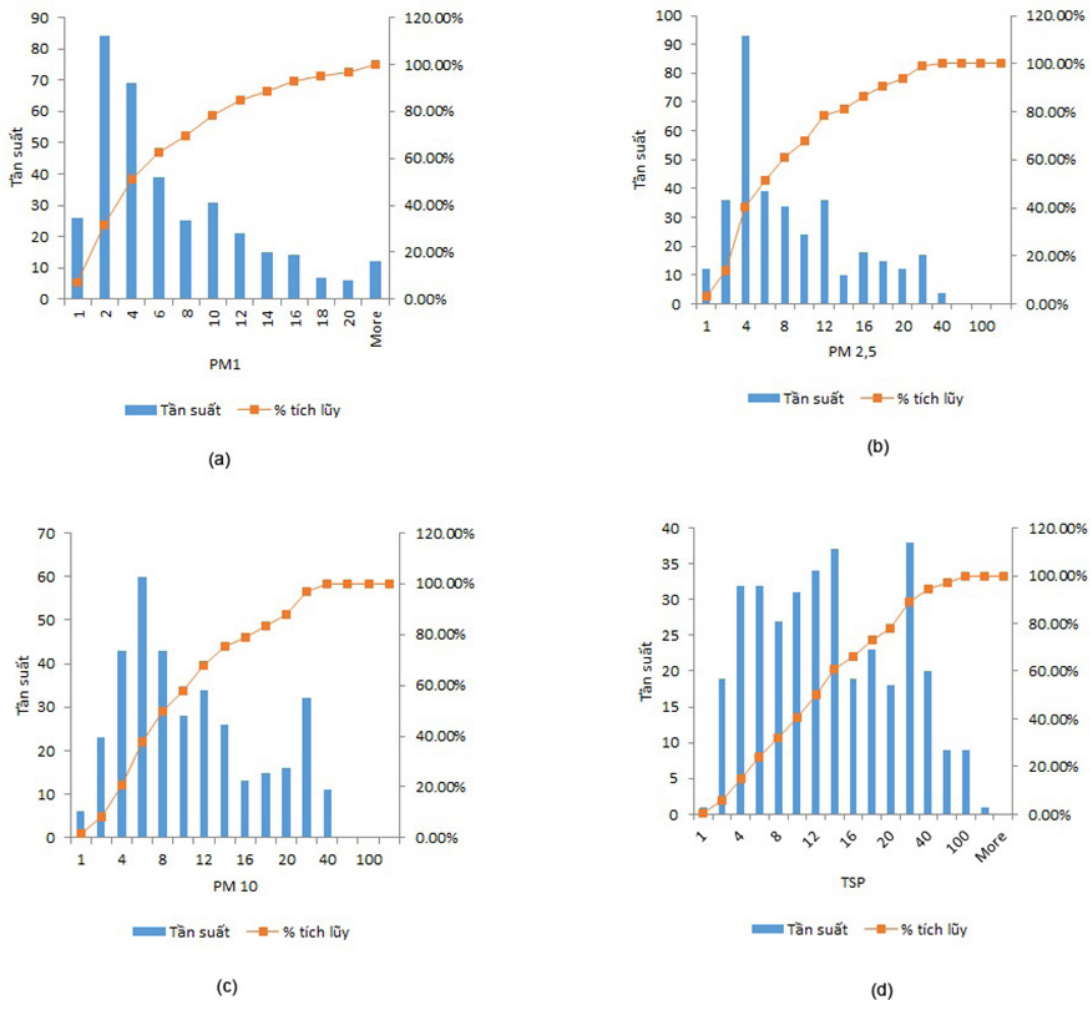
Hình 2. Nồng độ trung bình 24 giờ của bụi PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10} và TSP tại khu vực nghiên cứu

Nồng độ $PM_{2.5}$ trung bình đạt 8,02 µg/m³, giao động từ 0,31 - 35,26 µg/m³. So sánh với QCVN 05:2023/BTNMT quy định nồng độ trung bình 24h của $PM_{2.5}$ là 50 µg/m³, cho thấy nồng độ $PM_{2.5}$ tại khu vực nghiên cứu đều thấp hơn đáng kể so với quy chuẩn. Trong đó có tới 51,43% số ngày quan trắc nồng độ $PM_{2.5}$ ≤ 6 µg/m³ (Hình 3b); nồng độ $PM_{2.5}$ biến động khá lớn theo mùa trong năm với độ lệch chuẩn là 6,79 và sai số chuẩn là 0,36; nồng độ $PM_{2.5}$ cao hơn vào các tháng mùa khô và thấp hơn vào các tháng mùa mưa.

Nồng độ PM_{10} trung bình đạt 10,35 µg/m³, thấp hơn khá nhiều so với QCVN 05:2023/BTNMT là 100 µg/m³. Các giá trị PM_{10} đo được giao động khá lớn, từ 0,47 - 38,75 µg/m³. Tất cả các giá trị quan trắc tính theo trung bình 24h đều nằm dưới QCVN 05:2023/BTNMT. Với 58% số ngày quan trắc được nồng độ PM_{10} ≤ 10 µg/m³ (Hình 3c).

Nồng độ bụi tổng số TSP tại khu vực nghiên cứu trung bình đạt 15 µg/m³. So với QCVN 05:2023/BTNMT là 200 µg/m³, nồng độ bụi TSP rất thấp. Tuy nhiên, nồng độ bụi TSP cũng biến động theo mùa với mức độ dao động lớn, từ 0,99 -121 µg/m³. Với nồng độ ≤ 100 µg/m³ chiếm 99,7%, nồng độ TSP tập trung ở mức thấp.

Kết quả quan trắc cho thấy, nồng độ các thông số bụi PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10} và TSP tại khu vực KCN Vũng Áng nhìn chung ở mức thấp và đều nằm dưới giới hạn cho phép của QCVN 05:2023/BTNMT. Giá trị trung bình 24 giờ của 4 thông số lần lượt đạt 8,02 µg/m³, 10,35 µg/m³ và 15 µg/m³, thấp hơn đáng kể so với quy chuẩn quốc gia, phản ánh chất lượng MTKK tại khu vực nghiên cứu vẫn đang được duy trì ở mức tốt. Phân tích phân bố tần suất cũng chỉ ra, phần lớn số ngày quan trắc có nồng độ bụi ở mức thấp, với hơn một nửa số ngày ghi nhận nồng độ PM_1 ≤ 4 µg/m³ và $PM_{2.5}$ ≤ 6 µg/m³. Tuy nhiên, kết quả cũng cho thấy sự biến động rõ rệt theo mùa, khi nồng độ bụi có xu hướng tăng cao vào các tháng mùa khô (từ tháng 11 - tháng 4) và giảm vào mùa mưa (từ tháng 5 - tháng 10). Xu hướng



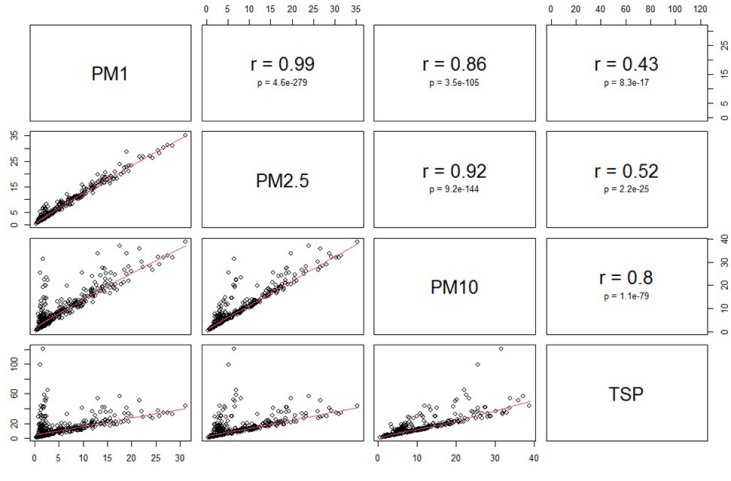
Hình 3. Biểu đồ nồng độ của PM_1, $PM_{2.5}$ (b), PM_{10} (c), TSP (d) tại khu vực nghiên cứu

này có thể liên quan đến yếu tố khí tượng như lượng mưa, độ ẩm, khả năng khuếch tán của khí quyển. Vào mùa mưa, lắng đọng ướt giúp giảm nồng độ bụi trong không khí, trong khi điều kiện khô và ít mưa vào mùa khô có thể làm gia tăng sự tích tụ bụi. Mặc dù vậy, ngay cả những giai đoạn có nồng độ cao hơn, các giá trị quan trắc vẫn thấp hơn nhiều so với ngưỡng quy chuẩn, cho thấy hoạt động công nghiệp tại khu vực hiện chưa gây ra áp lực đáng kể đối với MTKK xung quanh (Hình 3).

3.2. Mô hình bổ khuyến số liệu quan trắc bụi tại KCN Vũng Áng, tỉnh Hà Tĩnh

3.2.1. Phân tích tương quan

Để xây dựng mô hình bổ khuyến số liệu quan trắc, nhóm nghiên cứu phân tích tương quan giữa các thông số nhằm tìm ra mối liên hệ và mức độ ý nghĩa của các mối tương quan. Kết quả nghiên cứu cho thấy, tương quan giữa các thông số bụi PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10} và TSP khá mạnh với các giá trị $p < 0,05$, điều này cho thấy các tương quan đều có ý nghĩa (Hình 4).



Hình 4. Tương quan giữa các thông số PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10}, TSP

Trong đó có tương quan rất mạnh như giữa PM_1 và $PM_{2.5}$ ($r = 0,99$); $PM_{2.5}$ với PM_{10} ($r = 0,92$).

3.2.2. Mô hình bổ khuyết số liệu quan trắc

Trong trường hợp dữ liệu quan trắc bị khuyết 1 thông số, thông số bị khuyết sẽ được tính toán dựa trên mô hình từ 3 thông số còn lại (Bảng 1). Các mô hình bổ khuyết đều cho kết

Bảng 1. Các mô hình bổ khuyết số liệu quan trắc xây dựng bởi BMA

TT	Thông số có	Thông số bị khuyết	Mô hình bổ khuyết	R^2
1	$PM_{2.5}$, PM_{10}, TSP	PM_1	x1 = 1,172x2 - 0,3761x3 - 0,04741x4 - 0,06886	0,982
2	PM_1, PM_{10}, TSP	$PM_{2.5}$	x_2= 0,7443x1 + 0,4215x3 - 0,06735x4 + 0,05514	0,992
3	PM_1, $PM_{2.5}$, TSP	PM_{10}	x3 = -0,9191x1 + 1,622x2 + 0,1978x4 + 0,08282	0,985
4	PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10}	TSP	x4 = 2,571x1 - 5,752x2 + 4,391 x3 - 0,3822	0,944

quả dự báo dữ liệu khuyết rất cao với R2 từ 9,44 - 0.982 (Bảng 1).

Kết quả xây dựng các mô hình bổ khuyết số liệu quan trắc cho thấy phương pháp BMA có khả năng xây dựng phương trình bổ khuyết giá trị của các thông số bụi với độ chính xác cao. Khi một thông số bị khuyết, giá trị của nó được ước tính dựa trên mối quan hệ tuyến tính với ba thông số còn lại, phản ánh sự phụ thuộc chặt chẽ giữa các phân đoạn kích thước hạt bụi trong không khí. Những mô hình thu được đều có hệ số xác định R2 cao, dao động từ 0,944 - 0,992, cho thấy phần lớn biến thiên của biến phụ thuộc được giải thích bởi các biến độc lập trong mô hình. Đặc biệt, mô hình bổ khuyết cho $PM_{2.5}$ đạt R2 = 0,992, chứng tỏ khả năng dự báo tốt khi sử dụng các thông số PM_1, PM_{10} và TSP làm biến đầu vào. Tương tự, các mô hình dự báo PM_1, PM_{10} cũng đạt độ phù hợp cao với R2 lần lượt là 0,982 và 0,985. Mặc dù mô hình bổ khuyết cho TSP có giá trị R2 thấp hơn (0,944), mức độ giải thích này vẫn được xem là tốt đối với các mô hình môi trường thực nghiệm. Nhìn chung, kết quả này cho thấy các thông số bụi có mối tương quan mạnh với nhau và phương pháp BMA có thể khai thác hiệu quả mối quan hệ đó để bổ khuyết dữ liệu quan trắc bị thiếu, góp phần đảm bảo tính liên tục và độ tin cậy của chuỗi số liệu quan trắc CLKK.

3.3. Kiểm định mô hình

Kết quả kiểm định giá trị mô hình tính toán với số liệu quan trắc cho thấy, đối với thông số PM_1, độ chính xác của mô hình dự báo bình đạt 83% (Hình 5a). Kết quả kiểm định mô hình của thông số $PM_{2.5}$ cho kết quả tốt với độ chính xác trung bình đạt 97% (Hình 5b). Thông số PM_{10} cho độ chính xác của dự báo trung bình đạt 96% (Hình 5c). Độ chính xác của nồng độ TSP trung bình đạt 89% (Hình 5d).

Kết quả mô hình cũng cho thấy hệ số xác định cao (R^2 = 0,944 - 0,992) đối với các mô hình dự báo nồng độ PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10}, TSP, chứng tỏ các mô hình có khả năng giải thích phần lớn biến thiên của dữ liệu trong giai đoạn xây dựng. Cụ thể, mô hình đạt R^2 lần lượt là 0,982; 0,992; 0,985 và 0,944 cho PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10}, TSP, cho thấy mối quan hệ thống kê chặt chẽ giữa các biến đầu vào và biến dự báo. Tuy nhiên, khi kiểm định với dữ liệu quan trắc độc lập, độ chính xác trung bình của các mô hình đạt 83%, 97%, 96% , 89%. Sự chênh lệch này là hiện tượng thường gặp trong các nghiên cứu mô hình hóa môi trường và có thể được giải thích bởi sự khác biệt giữa chỉ tiêu đánh giá mức độ phù hợp của mô hình, hiệu năng dự báo thực tế. Cụ thể, R^2 phản ánh mức độ tương quan giữa giá trị dự báo, giá trị quan sát trong tập dữ liệu huấn luyện, trong khi độ chính xác khi kiểm định phản ánh khả năng tổng quát hóa của mô hình đối với dữ liệu mới. Trong các nghiên cứu dự báo CLKK, nồng độ bụi chịu ảnh hưởng mạnh của nhiều yếu tố biến động như điều kiện khí tượng, nguồn phát thải cục bộ và sai số thiết bị quan trắc, do đó có thể làm giảm độ chính xác khi áp dụng mô hình cho tập dữ liệu kiểm định.

Ma trận tương quan cho thấy các hạt bụi mịn có mối quan hệ tuyến tính rất mạnh, đặc biệt giữa PM_1 và $PM_{2.5}$ (r = 0,99) cũng như giữa $PM_{2.5}$ và PM_{10} (r = 0,92). Điều này giải thích vì sao các mô hình dự báo cho $PM_{2.5}$, PM_{10} đạt độ chính xác cao trong quá trình kiểm định. Ngược lại, TSP có hệ số tương quan thấp hơn với các hạt bụi mịn (r = 0,43 - 0,52), cho thấy sự khác biệt về nguồn phát sinh và thành phần kích thước hạt. Do đó, mô hình dự báo TSP có độ chính xác thấp hơn so với các hạt bụi mịn.

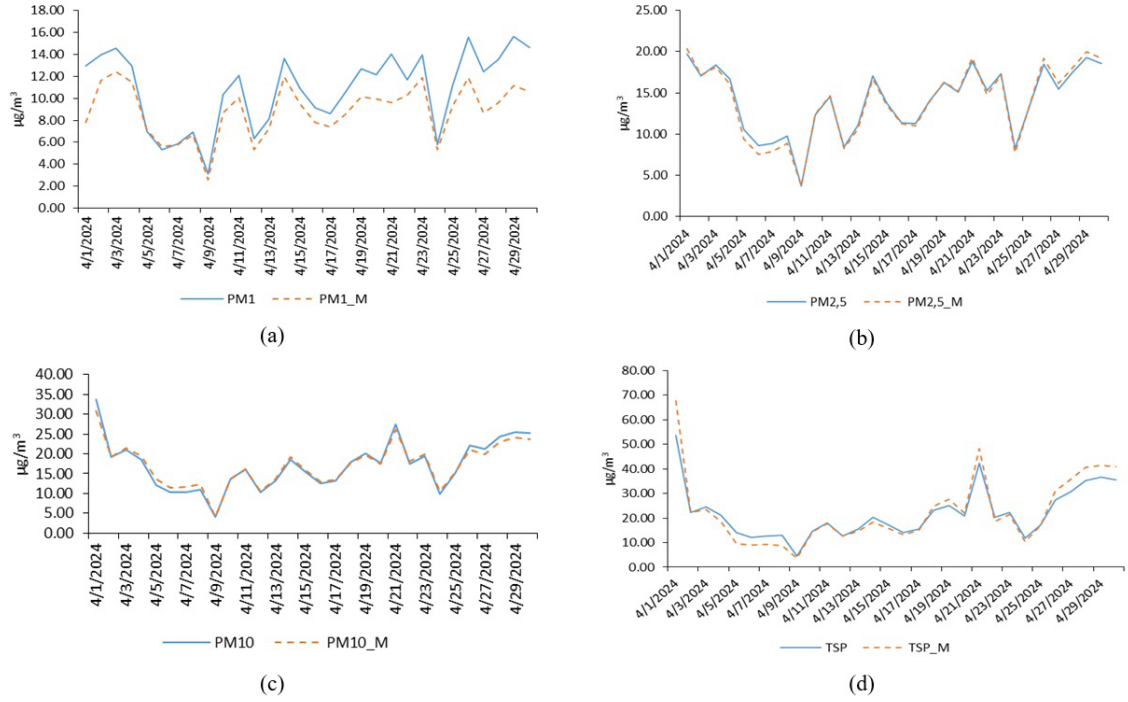
Kết quả đánh giá hiệu năng mô hình cho thấy các mô hình dự báo tốt đối với cả 4 thông số bụi. Cụ thể, các chỉ số sai số như MAE, RMSE, MAPE đều có giá trị thấp, sai lệch giữa giá trị dự báo và giá trị quan trắc là không đáng kể. Trong đó, mô hình dự báo $PM_{2.5}$ thể hiện hiệu năng cao nhất với MAE = 0,42; RMSE = 0,53; MAPE = 0,03 và R^2 = 0,992, phản ánh khả năng dự báo tốt của mô hình đối với phân đoạn bụi mịn này. Tương tự, mô hình PM_{10} cũng đạt kết quả tốt với các giá trị sai số thấp (MAE = 0,75; RMSE = 0,99; MAPE = 0,04) và R^2 = 0,985. Đối với PM1, mặc dù các chỉ số sai số cao hơn so với $PM_{2.5}$ và PM_{10} (MAE = 2,02; RMSE = 2,46; MAPE = 0,17), mô hình vẫn đạt R^2 = 0,982, phản ánh khả năng mô phỏng tốt xu hướng biến động của dữ liệu. Trong khi đó, mô hình dự báo TSP có sai số lớn hơn (MAE = 2,63; RMSE = 3,82; MAPE = 0,11) và R^2 thấp hơn (0,944) so với các phân đoạn bụi mịn, điều này có thể liên quan đến sự biến động phức tạp của

Bảng 2. So sánh kết quả nghiên cứu này với các nghiên cứu khác

Nghiên cứu	Thông số	Phương pháp	MAE	RMSE	MAPE (%)	R^2	Tài liệu tham khảo
Nghiên cứu này	PM_1	BMA	2,02	2,46	17	0,982	
	$PM_{2.5}$	BMA	0,42	0,53	3	0,992	
	PM_{10}	BMA	0,75	0,99	4	0,985	
	TSP	BMA	2,63	3,82	11	0,944	
Rumaling et al., 2020	PM_{10}	NNM	<7,526	<10,72	24,93	0,632	[18]
Arowosegbe et al., 2021	PM_{10}	RF	8,69-11,38	12,1-16,76	-	0,77-0,79	[17]
Flores et al., 2024	$PM_{2.5}$	Kết hợp trung bình trượt, làm mượt và nội suy tuyến tính	-	4,05	20,47	0,733	[16]
Lee et al., 2025	$PM_{2.5}$	KNN	3,70	5,65 (6h)	-	0,96	[19]

các hạt kích thước lớn cũng như sự khác biệt về nguồn phát thải (Bảng 2).

So sánh kết quả nghiên cứu với các nghiên cứu khác cho thấy, phương pháp BMA được áp dụng tại nghiên cứu này đạt hiệu quả cao trong việc bổ khuyết số liệu quan trắc bụi (Bảng 2). Cụ thể, các giá trị sai số MAE, RMSE đều ở mức thấp đối với tất cả thông số PM, đồng thời, hệ số xác định R2 đạt giá trị rất cao (0,944 - 0,992), thể hiện mức độ phù hợp tốt giữa dữ liệu dự đoán và dữ liệu quan trắc. Đối với $PM_{2.5}$, PM_{10}, sai số MAE lần lượt chỉ đạt 0,42; 0,75, thấp hơn đáng kể so với các nghiên cứu trước đây. Chẳng hạn, nghiên cứu của Rumaling et al., 2020 sử dụng phương pháp Nearest Neighbour Method cho PM_{10}, ghi nhận MAE < 7,526 và RMSE < 10,72 với R2 chỉ đạt 0,632. Tương tự, nghiên cứu của Arowosegbe et al., 2021 áp dụng mô hình Random Forest cho PM_{10}, kết quả MAE dao động từ 8,69 -11,38 và RMSE từ 12,1 - 16,76. Đối với PM2.5, phương pháp kết hợp trung bình trượt, làm mượt, nội suy tuyến tính của Anibal Flores et al., 2024 cho RMSE 4,05 và MAPE 20,47%, cao hơn đáng kể so với kết quả của nghiên cứu này. Mặc dù phương pháp



Hình 5. Biểu đồ so sánh giữa giá trị quan trắc (màu xanh) và giá trị tính toán bởi mô hình (màu cam) cho các thông số PM1 (a), $PM_{2.5}$ (b), PM_{10} (c), TSP (d)



Hình 6. Khu kinh tế Vũng Áng, Hà Tĩnh

K-Nearest Neighbors được đề xuất bởi Ju-Yong Lee et al., 2025 đạt R2 khá cao (0,96), các giá trị sai số MAE và RMSE vẫn lớn hơn so với mô hình BMA trong nghiên cứu hiện tại. Nhìn chung, kết quả so sánh chỉ ra phương pháp BMA có khả năng cải thiện độ chính xác trong bổ khuyết dữ liệu quan trắc bụi, đặc biệt là đối với PM2.5, PM_{10}, đồng thời cung cấp chuỗi số liệu có độ tin cậy cao phục vụ phân tích CLKK.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đánh giá hiện trạng CLKK tại KCN Vũng Áng thông qua các thông số bụi PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10}, TSP. Kết quả cho thấy, nồng độ các thông số bụi đều thấp hơn đáng kể so với quy chuẩn QCVN 05:2023/BTNMT, phản ánh chất lượng MTKK tại khu vực nghiên cứu nhìn chung còn tốt và chưa ghi nhận dấu hiệu ô nhiễm bụi.

Bên cạnh đó, nghiên cứu đã xây dựng, đánh giá thành công các mô hình bổ khuyết số liệu quan trắc dựa trên phương pháp trung bình hóa mô hình Bayes (BMA). Các mô hình thể hiện hiệu năng cao với hệ số xác định R^2 dao động từ 0,944 - 0,992, cho thấy khả năng giải thích phần lớn biến thiên của dữ liệu. Trong đó, mô hình bổ khuyết $PM_{2.5}$ đạt hiệu quả tốt nhất (R^2 = 0,992), tiếp theo là PM_{10} (R^2 = 0,985) và PM1 (R^2 = 0,982), trong khi TSP cũng đạt mức độ phù hợp tốt (R^2 = 0,944). Các chỉ số sai số (MAE, RMSE, MAPE) đều ở mức thấp, chứng tỏ mô hình có khả năng tái tạo, bổ khuyết dữ liệu quan trắc một cách tin cậy. Kết quả này khẳng định tiềm năng của phương pháp BMA trong việc nâng cao tính liên tục, chất lượng của chuỗi số liệu QTMT không khí.

Mặc dù đạt được những kết quả tích cực, nghiên cứu vẫn tồn tại một số hạn chế: (i) Dữ liệu được sử dụng chỉ giới hạn trong một khu vực và khoảng thời gian nhất định, chưa tính đến biến động theo mùa, do đó các mô hình bổ khuyết được xây dựng, sử dụng đặc trưng cho khu vực nghiên cứu, khả năng khái quát và áp dụng cho khu vực khác cần phải được nghiên cứu sâu hơn; (ii) Các mô hình được xây dựng chủ yếu dựa trên mối quan hệ giữa thông số bụi mà chưa xem xét đến ảnh hưởng của yếu tố khí tượng (như nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ, hướng gió), vốn có thể tác động đáng kể đến sự biến động nồng độ bụi. Ngoài ra, phương pháp BMA trong nghiên cứu được triển khai dưới dạng mô hình tuyến tính, nên có thể chưa phản ánh đầy đủ các mối quan hệ phi tuyến phức tạp trong môi trường thực tế.

Trong thời gian tới, cần mở rộng phạm vi nghiên cứu bằng cách tích hợp dữ liệu từ nhiều khu vực và thời gian dài hơn để nâng cao tính đại diện, khả năng tổng quát của mô hình. Đồng thời, việc kết hợp thêm các biến khí tượng và yếu tố phát thải sẽ giúp cải thiện độ chính xác cũng như khả năng dự báo của mô hình.

Bên cạnh đó, có thể nghiên cứu kết hợp phương pháp BMA với kỹ thuật học máy hoặc mô hình phi tuyến nhằm khai thác tốt hơn mối quan hệ phức tạp giữa các biến môi trường.

Lời cảm ơn: *Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn Công ty TNHH Nhiệt điện Vũng Áng II đã cung cấp số liệu quan trắc cho nghiên cứu này*■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hadeed, S.J.; O'Rourke, M.K.; Burgess, J.L.; Harris, R.B.; Canales, R.A. (2020). Imputation methods for addressing missing data in short-term monitoring of air pollutants. Science of The Total Environment, 730, 139140.

2. Quinteros, M.E.; Lu, S.; Blazquez, C.; Cárdenas-R, J.P.; Ossa, X.; Delgado-Saborit, J.-M.; Harrison, R.M.; Ruiz-Rudolph, P. (2019). Use of data imputation tools to reconstruct incomplete air quality datasets: A case-study in Temuco, Chile. Atmospheric Environment, 200, 40-49.

3. Gómez-Carracedo, M.P.; Andrade, J.M.; López-Mahía, P.; Muniategui, S.; Prada, D. (2014). A practical comparison of single and multiple imputation methods to handle complex missing data in air quality datasets. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 134, 23-33.

4. Xu, C.; Wang, J.; Hu, M.; Wang, W. (2022). A new method for interpolation of missing air quality data at monitor stations. Environment International, 169, 107538.

5. Junninen, H.; Niska, H.; Tuppurainen, K.; Ruuskanen, J.; Kolehmainen, M. (2004). Methods for imputation of missing values in air quality data sets. Atmospheric Environment, 38(18), 2895-2907.

6. Ottosen, T.-B.; Kumar, P. (2019). Outlier detection and gap filling methodologies for low-cost air quality measurements. Environmental Science: Processes & Impacts, 21(4), 701-713.

7. Juhan, N.; Jamaludin, S.N.; Zubairi, Y.Z.; Ag Isha, D.S.N.S.; Khaliludin, N.I.A. (2025). Comparative Analysis of Imputation Methods for Missing Environmental Data: A Case Study on Ozone Concentrations. Journal of Advanced Research Design, 134(1), 63-76.

8. Xiao, Q.; Geng, G.; Cheng, J.; Liang, F.; Li, R.; Meng, X.; Xue, T.; Huang, X.; Kan, H.; Zhang, Q.; He, K. (2021). Evaluation of gap-filling approaches in satellite-based daily $PM_{2.5}$ prediction models. Atmospheric Environment, 244, 117921.

9. Lv, B.; Hu, Y.; Chang, H.H.; Russell, A.G.; Bai, Y. (2016) Improving the Accuracy of Daily $PM_{2.5}$ Distributions Derived from the Fusion of Ground-Level Measurements with Aerosol Optical Depth Observations, a Case Study in North China. Environmental Science & Technology, 50(9), 4752-4759.

10. Chen, F.; Wang, D.; Lei, S.; He, J.; Fu, Y.; Lu, C.T. (2022). Adaptive graph convolutional imputation network for environmental sensor data recovery. Frontiers in Environmental Science, 10, 1025268.

11. Decorte, T.; Mortier, S.; Lembrechts, J.J.; Meysman, F.J.R.; Latré, S.; Mannens, E.; Verdonck, T. (2024). Missing Value Imputation of Wireless Sensor Data for Environmental Monitoring. Sensors (Basel), 24(8), 2416.

12. Krishnappa, L.; Devatha, C.P. (2019). Machine Learning Approaches for the Estimation of Particulate Matter ($PM_{2.5}$) Concentration Levels: A Case Study in the Hyderabad City, India. Soft Computing for Problem Solving. Singapore: Springer Singapore.

13. Do, H.T.; Phan, T.L.A. (2025). Biological oxygen demand forecasting for reservoir water quality monitoring: a new approach. Environmental Engineering and Management Journal, 24(5), 1139-1150.

14. Baran, S. (2014). Probabilistic wind speed forecasting using Bayesian model averaging with truncated normal components. Computational Statistics & Data Analysis, 75, 227-238.

15. Kim, S.; Alizamir, M.; Kim, N.; Kisi, O. (2020). Bayesian Model Averaging: A Unique Model Enhancing Forecasting Accuracy for Daily Streamflow Based on Different Antecedent Time Series. Sustainability, 12, 7920.

16. Flores, A.; Tito-Chura, H.; Cuentas-Toledo, O.; Yana-Mamani, V.; Centty-Villafuerte, D. (2024). $PM_{2.5}$ Time Series Imputation with Moving Averages, Smoothing, and Linear Interpolation. Computers, 13, 312.

17. Arowosegbe, O.O.; Röösli, M.; Künzli, N.; Saucy, A.; Adebayo-Ojo, T.C.; Jeebhay, M.F.; Dalvie, M.A.; de Hoogh, K. (2021). Comparing Methods to Impute Missing Daily Ground-Level PM(10) Concentrations between 2010-2017 in South Africa. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(7), 3374.

18. Rumaling, M.I.; Chee, F.P.; Dayou, J.; Chang, J.H.W.; Kong, S.S.K.; Sentian, J. (2020). Missing Value Imputation for PM_{10} Concentration in Sabah using Nearest Neighbour Method (NNM) and Expectation-Maximization (EM) Algorithm. Asian Journal of Atmospheric Environment, 14(1), 62-72.

19. Lee, J.Y.; Han, S.H.; Kang, J.G.; Lee, C.Y.; Lee, J.B.; Kim, H.S.; Yun, H.Y.; Choi, D.R.J.A. (2025). Comparison of Models for Missing Data Imputation in PM-2.5 Measurement Data. Atmosphere, 16, 438.

20. Penny, W.D.; Mattout, J.; Trujillo-Barreto, N. (2007). Chapter 35 - Bayesian model selection and averaging, in Statistical Parametric Mapping, K. Friston, et al., Editors., Academic Press: London, pp. 454-467.

NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT CHÍNH SÁCH PHÁT TRIỂN NÔNG NGHIỆP KẾT HỢP ĐIỆN MẶT TRỜI TẠI VIỆT NAM

TRẦN THỊ THANH NHÀN[1], VŨ HUY PHÚC[1]
[1]Viện Chiến lược, Chính sách nông nghiệp và môi trường

Tóm tắt
Trong bối cảnh chuyển dịch năng lượng và yêu cầu phát triển nông nghiệp bền vững, mô hình nông nghiệp kết hợp điện mặt trời (Agrivoltaics – APV) được xem là giải pháp tiềm năng nhằm tối ưu hóa sử dụng đất và giảm phát thải. Nghiên cứu phân tích khung chính sách hiện hành liên quan đến phát triển APV tại Việt Nam, bao gồm các lĩnh vực đất đai, nông nghiệp, năng lượng và môi trường; đồng thời đánh giá các rào cản trong quá trình triển khai. Phương pháp nghiên cứu kết hợp phân tích tài liệu và khảo sát 35 đơn vị, cá nhân liên quan nhằm làm rõ các vấn đề thực tiễn, tính khả thi của chính sách. Kết quả cho thấy các rào cản chính tập trung ở việc thiếu định nghĩa pháp lý chính thống về APV, thiếu quy định về sử dụng đất đa mục đích nói chung và kết hợp APV nói riêng, thiếu các tiêu chuẩn kỹ thuật trong sử dụng đất nông nghiệp kết hợp điện mặt trời, cũng như sự chưa đồng bộ trong thực thi chính sách phát triển APV. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất các định hướng hoàn thiện chính sách nhằm thúc đẩy phát triển APV theo hướng bền vững tại Việt Nam.
Từ khóa: *Nông nghiệp kết hợp điện mặt trời; Agrivoltaics; chính sách năng lượng; sử dụng đất đa mục đích; năng lượng tái tạo; nông nghiệp bền vững, APV, năng lượng mặt trời.*
Ngày nhận bài: *20/2/2026****; Ngày sửa chữa:*** *15/3/2026****; Ngày duyệt đăng:*** *25/3/2026.*

Research on proposing policies for developing agriculture integrated with solar power in Vietnam

Abstract
In the context of energy transition and the requirements for sustainable agricultural development, the Agrivoltaics (APV) model is considered a potential solution for optimizing land use and reducing emissions. This study analyzes the current policy framework related to APV development in Vietnam, covering the sectors of land, agriculture, energy, and the environment, while also assessing the barriers during implementation. The research methodology combines document analysis with a survey of 35 relevant entities and individuals to clarify practical issues and the feasibility of policies. The results indicate that the main barriers center on the lack of a formal legal definition for APV, the absence of regulations regarding multi-purpose land use in general and APV integration in particular, the lack of technical standards for agricultural land use combined with solar power, and the lack of synchronization in the implementation of APV development policies. Based on these findings, the study proposes directions for policy improvement to promote sustainable APV development in Vietnam.
Kewords: *Agrivoltaics; solar-agriculture integration; renewable energy policy; multi-purpose land use; sustainable agriculture; energy transition, APV; solar energy.*
JEL Classifications: *O13, P18, P48.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh chuyển dịch năng lượng toàn cầu và yêu cầu phát triển bền vững, năng lượng tái tạo, đặc biệt là điện mặt trời, đang đóng vai trò ngày càng quan trọng trong chiến lược phát triển của nhiều quốc gia. Tuy nhiên, việc mở rộng điện mặt trời quy mô lớn đang đặt ra thách thức về cạnh tranh sử dụng đất với sản xuất nông nghiệp, nhất là tại các quốc gia có mật độ dân số cao và quỹ đất hạn chế như Việt Nam.

Mô hình nông nghiệp kết hợp điện mặt trời (Agrivoltaics – APV) được xem là một giải pháp tiềm năng nhằm giải quyết đồng thời bài toán năng lượng và an ninh lương thực thông qua việc sử dụng đất đa mục đích. Mô hình này cho phép tích hợp sản xuất nông nghiệp và phát điện trên cùng một diện tích đất, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên, tăng thu nhập cho người sản xuất và giảm phát thải khí nhà kính. Trên thế giới, APV đã được triển khai tại nhiều quốc gia với các cách tiếp cận khác nhau, từ các mô hình quy mô nhỏ đến các dự án quy mô lớn gắn với chính sách năng lượng và nông nghiệp.

Trên thế giới, APV vẫn đang ở giai đoạn phát triển nhanh nhưng chưa hoàn toàn trưởng thành, với quy mô thị trường tăng mạnh từ khoảng 5 MWp năm 2012 lên khoảng 14 GWp vào năm 2021. Sự mở rộng này chủ yếu được thúc đẩy bởi các chính sách hỗ trợ

tại một số quốc gia tiên phong như Nhật Bản, Trung Quốc, Pháp, Mỹ và Đức, cùng với nhu cầu giải quyết đồng thời bài toán sử dụng đất, an ninh lương thực và chuyển dịch năng lượng (IEA, 2025). Tại Việt Nam theo Quy hoạch điện VIII điện mặt trời đạt 46 - 73 nghìn MW đến năm 2030, tính đến năm 2022 công suất đạt 18,5 nghìn MWp chủ yếu là điện áp mái. Đối với APV mới chỉ dừng lại ở mô hình, chưa có thống kê chính thức (EVN).

Tại Việt Nam, mặc dù chưa có định nghĩa chính thức trong hệ thống pháp luật, APV bước đầu đã được đề cập gián tiếp trong các quy định về sử dụng đất đa mục đích, phát triển năng lượng tái tạo và nông nghiệp bền vững. Các chính sách như Luật Đất đai năm 2024, Luật Điện lực năm 2024, Quy hoạch điện VIII và Luật BVMT năm 2020 đã tạo nền tảng bước đầu cho việc triển khai các mô hình tích hợp. Tuy nhiên, hệ thống chính sách hiện hành vẫn được xây dựng theo cách tiếp cận đơn ngành, chưa theo kịp yêu cầu quản lý của các mô hình tích hợp như APV.

Thực tiễn cho thấy còn tồn tại nhiều khoảng trống và rào cản trong phát triển APV, bao gồm: Thiếu định nghĩa pháp lý và phân loại dự án; chưa có quy định cụ thể về sử dụng đất và tiêu chí kỹ thuật trong sản xuất nông nghiệp dưới hệ thống điện mặt trời; thiếu cơ chế đấu nối, giá điện và tiêu chuẩn môi trường phù hợp; cũng như sự thiếu thống nhất trong quá trình thực thi giữa các địa phương. Những hạn chế này không chỉ làm gia tăng rủi ro pháp lý mà còn hạn chế khả năng thu hút đầu tư và triển khai mô hình trên thực tế.

Trong bối cảnh đó, việc nghiên cứu, đánh giá một cách hệ thống khung chính sách hiện hành và nhận diện các khoảng trống thể chế là cần thiết nhằm đề xuất các giải pháp phù hợp cho phát triển APV tại Việt Nam. Nghiên cứu tập trung phân tích các chính sách liên quan đến đất đai, nông nghiệp, năng lượng và môi trường; đồng thời tổng hợp ý kiến từ các bên liên quan để làm rõ các rào cản và đề xuất định hướng hoàn thiện chính sách, góp phần thúc đẩy phát triển mô hình APV theo hướng bền vững trong thời gian tới.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phạm vi nghiên cứu

a) Nội dung

- Phân tích các chính sách hiện hành trong khung pháp lý về phát triển điện mặt trời, đánh giá vai trò của các chính sách này đối với sự phát triển điện mặt trời nói chung và phát triển mô hình APV nói riêng.

- Phỏng vấn các bên liên quan chủ chốt về tình hình thực tiễn của các mô hình APV nhằm xác định những khoảng trống trong khung pháp lý cần được hoàn thiện để phát triển APV một cách bền vững.

- Phân tích chính sách để đề xuất các chính sách cần thiết phục vụ phát triển APV tại Việt Nam.

b) Địa điểm nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại Hà Nội và một số tỉnh, thành phố đang triển khai các mô hình APV như: An Giang, Đồng Tháp, Cần Thơ, Cà Mau, Đắk Lắk.

c) Thời gian nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện từ tháng 11/2025 đến tháng 4/2026.

2.2. Phương pháp thực hiện

Nghiên cứu sử dụng kết hợp phương pháp phân tích tài liệu và tham vấn chuyên gia. Trước hết, các tài liệu thứ cấp được thu thập và hệ thống hóa, bao gồm báo cáo quốc tế, nghiên cứu khoa học và hệ thống văn bản pháp luật liên quan đến đất đai, nông nghiệp, năng lượng, môi trường nhằm đánh giá khung chính sách, kinh nghiệm phát triển APV.

Bên cạnh đó, nghiên cứu thực hiện phỏng vấn và khảo sát 35 bên liên quan, bao gồm cơ quan quản lý, doanh nghiệp, chuyên gia và địa phương, nhằm thu thập thông tin về thực tiễn triển khai, các rào cản và khoảng trống chính sách. Dữ liệu thu thập được xử lý thông qua phân tích định tính theo chủ đề, kết hợp với phân tích chính sách nhằm đánh giá tính đầy đủ, mức độ chồng chéo và khả năng thực thi của hệ thống chính sách hiện hành (Bảng 1).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tổng hợp các khái niệm liên quan tới APV

Điện mặt trời nông nghiệp (Agrivoltaics - APV) là

Bảng 1. Số lượng mẫu đã tham vấn

TT	Nhóm	Số lượng	Hình thức
1	Cơ quan Trung ương	4	Phỏng vấn trực tuyến bằng bảng hỏi
2	Cơ quan địa phương (An Giang, Đồng Tháp, Cần Thơ, Cà Mau, Đắk Lắk), gồm các cán bộ của : Sở NN và MT, Sở Công thương	20	Gửi phiếu giấy và nhập số liệu
3	Công ty điện lực (EVN và điện mặt trời tư nhân)	9	Phỏng vấn trực tuyến bằng bảng hỏi
4	Nhà nghiên cứu, chuyên gia	2	Phỏng vấn trực tuyến bằng bảng hỏi
	Tổng	**35**	

mô hình kết hợp sản xuất điện mặt trời với sản xuất nông nghiệp trên cùng một diện tích đất, nhằm tối ưu hóa hiệu quả sử dụng đất, vừa tạo ra năng lượng tái tạo vừa duy trì hoặc nâng cao năng suất nông nghiệp (Fraunhofer, 2024). Đây là một trong những định nghĩa được dùng rộng rãi nhất. Theo FAO, hệ thống điện mặt trời kết hợp nông nghiệp là hình thức đa mục đích sử dụng đất, trong đó hạ tầng điện mặt trời được thiết kế để không cản trở sản xuất nông nghiệp, đồng thời cung cấp năng lượng sạch phục vụ tưới tiêu, chế biến hoặc đưa vào lưới (FAO, 2023).

Các yếu tố đặc trưng xác định một hệ thống là APV bao gồm: (i) Đảm bảo hai chức năng đồng thời là sản xuất nông nghiệp được duy trì ổn định và sản xuất điện từ năng lượng mặt trời; (ii) Không chuyển mục đích sử dụng đất, đất vẫn được công nhận là đất nông nghiệp, sản xuất nông nghiệp là chính, phát điện là hoạt động kết hợp trong khuôn khổ đất nông nghiệp được phép sử dụng đa mục đích; (iii) Thiết kế phù hợp với từng loại cây trồng, vật nuôi (chiều cao khung > 2,5 - 5 m (tùy cây), mật độ che bóng ≤ 40 - 50% đối với cây trồng, ≤ 30% đối với lúa, khoảng cách hàng đảm bảo máy móc vận hành); (iv) Tác động kép tích cực (Giảm bốc hơi nước, giảm nhiệt độ đất, giảm rủi ro thời tiết, tăng chất lượng nông sản, tăng hiệu quả kinh tế/ha) (MAFF, 2020).

Chính sách hỗ trợ phát triển điện mặt trời kết hợp nông nghiệp là hệ thống các cơ chế, quy định, ưu đãi và công cụ quản lý nhà nước nhằm khuyến khích việc triển khai các mô hình kết hợp sản xuất điện mặt trời với sản xuất nông nghiệp trên cùng một diện tích đất, bảo đảm giữ nguyên hoặc nâng cao chức năng đất nông nghiệp, đồng thời thúc đẩy hiệu quả sử dụng đất, tăng thu nhập cho nông dân, giảm phát thải và phát triển năng lượng tái tạo (Fraunhofer, 2024).

Chính sách hỗ trợ điện mặt trời kết hợp nông nghiệp gồm các nội dung: Ưu đãi về đất đai (cho phép đất nông nghiệp đa mục đích, không chuyển mục đích sử dụng đất khi triển khai APV); Cơ chế đấu nối và giá điện phù hợp; Hỗ trợ khoa học, công nghệ, tiêu chuẩn kỹ thuật; Cơ chế tín dụng xanh, tài chính carbon; Hướng dẫn về quy hoạch, thủ tục đầu tư, an toàn, môi trường; Chương trình đào tạo, chuyển giao, khuyến nông, khuyến công; Hỗ trợ Hợp tác xã (HTX), doanh nghiệp, nông dân triển khai mô hình (IEA Task 13, 2025).

Như vậy, mặc dù chưa có định nghĩa chính thống trong các văn bản pháp lý về điện mặt trời nông nghiệp ở Việt Nam nhưng có thể thấy điện mặt trời trong nông nghiệp được xem là hệ thống sản xuất điện từ năng lượng mặt trời được bố trí trên đất, mặt nước hoặc công trình phục vụ sản xuất nông nghiệp, nhằm cung cấp điện hoặc kết hợp đồng thời với canh tác, chăn nuôi, thủy sản, trong đó không làm mất chức năng sử dụng đất nông nghiệp.

3.2. Tổng quan các chính sách liên quan tới APV

3.2.1. Chính sách đất đai

Chính sách đất đai của Việt Nam được quy định chủ yếu trong Luật Đất đai năm 2024 và các văn bản hướng dẫn như Nghị định số 102/2024/NĐ-CP và Nghị định số 123/2024/NĐ-CP. Luật tiếp tục khẳng định nguyên tắc phân loại đất theo mục đích sử dụng và kiểm soát chặt chẽ việc chuyển mục đích sử dụng đất. Điểm mới quan trọng là cho phép sử dụng đất nông nghiệp kết hợp đa mục đích (Điều 218), trong đó có thể bao gồm hoạt động điện mặt trời mà không cần chuyển mục đích sử dụng đất, với điều kiện không làm thay đổi chức năng đất, bảo đảm khả năng quay lại mục đích chính và tuân thủ các yêu cầu về môi trường, xây dựng, nghĩa vụ tài chính.

Tuy nhiên, việc sử dụng đất đa mục đích bị giới hạn bởi các quy định cụ thể về tỷ lệ diện tích (không quá 50%), điều kiện công trình (có thể tháo dỡ) và yêu cầu phù hợp quy hoạch. Việc phê duyệt phương án sử dụng đất kết hợp thuộc thẩm quyền của UBND cấp tỉnh hoặc cấp cơ sở, tùy theo đối tượng sử dụng đất.

Mặc dù đã mở ra cơ sở pháp lý cho mô hình APV, hệ thống chính sách hiện hành vẫn tồn tại nhiều rủi ro và khoảng trống, bao gồm: Thiếu hướng dẫn kỹ thuật cụ thể; nguy cơ bị coi là chuyển mục đích sử dụng đất; sự không thống nhất trong áp dụng giữa các địa phương; và chưa có quy định rõ về quyền tài sản đối với công trình điện mặt trời trên đất nông nghiệp. Bên cạnh đó, việc chưa tích hợp APV vào quy hoạch sử dụng đất và thiếu văn bản hướng dẫn chuyên ngành đang hạn chế khả năng triển khai mô hình trong thực tiễn.

3.2.2. Chính sách nông nghiệp

Chính sách nông nghiệp Việt Nam được hình thành từ hệ thống đa ngành gồm các luật chuyên ngành như Luật Trồng trọt năm 2018, Luật Chăn nuôi năm 2018, Luật Thủy sản năm 2017, Luật Lâm nghiệp năm 2017, cùng các Nghị định và Chiến lược liên quan, tạo nên khung pháp lý định hướng sử dụng đất, tổ chức sản xuất, phát triển nông nghiệp bền vững. Mặc dù chưa trực tiếp đề cập đến mô hình APV, các quy định này đặt ra nguyên tắc cốt lõi như duy trì chức năng sản xuất, bảo vệ tài nguyên đất và đảm bảo an toàn môi trường, là cơ sở quan trọng để đánh giá tính phù hợp của APV.

Ở cấp chiến lược, Nghị quyết số 39/2021/QH15, Nghị quyết số 99/NQ-CP (2025) và Nghị quyết số 66.3/2025/NQ-CP điều chỉnh quy hoạch sử dụng đất và tạo dư địa cho các mô hình thí điểm, trong khi Quyết định số 150/QĐ-TTg (2022) và Quyết định số 858/QĐ-TTg (2022) thúc đẩy nông nghiệp bền vững,

cơ giới hóa và ứng dụng công nghệ cao. Các chính sách này tạo nền tảng thuận lợi để tích hợp APV thông qua yêu cầu về sử dụng đất hiệu quả, thích ứng khí hậu và hiện đại hóa sản xuất.

Về hỗ trợ sản xuất và tổ chức, các văn bản như Nghị định số 98/2018/NĐ-CP, Nghị định số 57/2018/NĐ-CP, Luật HTX năm 2023 và Nghị quyết số 26/NQ-CP (2023) thúc đẩy liên kết chuỗi giá trị, thu hút doanh nghiệp và nâng cao vai trò của hợp tác xã. Đồng thời, các chính sách tín dụng và đầu tư như Nghị định số 55/2015/NĐ-CP, Nghị định số 116/2018/NĐ-CP và các chương trình tín dụng nông nghiệp công nghệ cao tạo điều kiện tiếp cận vốn cho mô hình sản xuất tiên tiến.

Tuy nhiên, hệ thống chính sách hiện hành vẫn tồn tại khoảng trống quan trọng đối với APV, bao gồm: Chưa công nhận APV là một hình thức sản xuất hợp lệ; chưa có tiêu chuẩn kỹ thuật, cơ chế hỗ trợ hoặc tiêu chí tiếp cận ưu đãi; thiếu tích hợp mô hình này trong quy hoạch, chính sách hạ tầng, bảo hiểm và tiêu chuẩn sản xuất. Điều này dẫn đến việc APV chưa thể tiếp cận đầy đủ các chính sách hỗ trợ hiện có, dù có tiềm năng đóng góp vào mục tiêu nông nghiệp xanh, thích ứng biến đổi khí hậu và phát triển bền vững.

3.2.3. Chính sách năng lượng

Chính sách năng lượng của Việt Nam được định hình tương đối toàn diện thông qua các Nghị quyết, Chiến lược và hệ thống pháp luật, với định hướng chuyển dịch sang năng lượng sạch và phát triển năng lượng tái tạo. Nghị quyết số 55-NQ/TW (2020) xác định năng lượng tái tạo là trụ cột của hệ thống năng lượng quốc gia, được cụ thể hóa bởi Quyết định số 2068/QĐ-TTg (2015) và Quy hoạch tổng thể năng lượng quốc gia (Quyết định số 893/QĐ-TTg, 2023). Trên cơ sở đó, Quy hoạch điện VIII (Quyết định số 500/QĐ-TTg, 2023; điều chỉnh tại Quyết định số 768/QĐ-TTg, 2025) đóng vai trò trung tâm trong phân bổ nguồn điện, ưu tiên phát triển điện mặt trời và các nguồn năng lượng tái tạo gắn với nâng cấp lưới điện đồng bộ .

Về khung pháp lý, Luật Điện lực năm 2024 thiết lập cơ chế phát triển điện theo hướng thị trường cạnh tranh, thay thế dần cơ chế hỗ trợ trực tiếp (FIT), đồng thời khuyến khích năng lượng tái tạo tham gia thị trường điện. Các nghị định hướng dẫn như Nghị định số 56/2025/NĐ-CP, số 57/2025/NĐ-CP (cơ chế mua bán điện trực tiếp – DPPA) và số 58/2025/NĐ-CP hoàn thiện cơ chế quy hoạch, đầu tư, thị trường và tiêu thụ điện năng lượng tái tạo. Đặc biệt, cơ chế DPPA và các dự thảo sửa đổi gần đây mở rộng khả năng tiêu thụ điện trực tiếp, tăng tỷ lệ điện dư được bán lên lưới và tạo điều kiện cho mô hình năng lượng trong nông nghiệp công nghệ cao, qua đó gián tiếp tạo cơ hội cho APV.

Về cơ chế hỗ trợ, giai đoạn 2017–2020 được thúc đẩy bởi các chính sách giá FIT (Quyết định số 11/2017/QĐ-TTg, 13/2020/QĐ-TTg), tạo làn sóng đầu tư mạnh vào điện mặt trời. Tuy nhiên, giai đoạn sau chuyển sang cơ chế khung giá, đấu thầu và thị trường điện cạnh tranh nhằm khắc phục các hạn chế về quá tải lưới và mất cân đối hệ thống. Đồng thời, các thông tư và quy chuẩn kỹ thuật (như Thông tư số 18/2020/TT-BCT, Thông tư số 41/2025/TT-BCT) thiết lập yêu cầu về đấu nối, vận hành và an toàn điện.

Tuy nhiên, đối với mô hình nông nghiệp kết hợp điện mặt trời (APV), hiện chưa có khung pháp lý chuyên biệt. APV đang được điều chỉnh gián tiếp bởi các quy định về điện lực, đất đai và môi trường, dẫn đến sự không rõ ràng trong phân loại dự án, cơ chế đầu tư và tiêu thụ điện. Việc thiếu định nghĩa pháp lý và cơ chế riêng khiến APV gặp khó khăn trong triển khai thực tiễn, đặc biệt đối với các mô hình ngoài mái (trên đồng ruộng), và đặt ra yêu cầu cấp thiết về xây dựng chính sách tích hợp trong thời gian tới.

3.2.4. Chính sách môi trường

Giai đoạn 2024 - 2025 đánh dấu bước chuyển quan trọng trong tư duy và khung thể chế phát triển năng lượng tại Việt Nam, được định hình từ cấp chiến lược đến triển khai thực tiễn. Nền tảng chính trị của toàn bộ hệ thống là Nghị quyết số 55-NQ/TW ngày 11/2/2020, định hướng phát triển năng lượng quốc gia đến năm 2030, tầm nhìn 2045, với trọng tâm chuyển từ cơ chế bao cấp sang thị trường cạnh tranh, khuyến khích khu vực tư nhân tham gia đầu tư và đảm bảo mục tiêu kép: an ninh năng lượng và phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050 .

Ở cấp quy hoạch, Quyết định số 500/QĐ-TTg ngày 15/5/2023 (Quy hoạch Điện VIII – PDP8) là văn bản trung tâm, thiết lập cấu trúc phát triển nguồn và lưới điện quốc gia theo hướng động và mở, cho phép linh hoạt đối với các nguồn điện tự sản tự tiêu và các mô hình năng lượng phân tán. Việc triển khai được cụ thể hóa thông qua Quyết định số 768/QĐ-TTg ngày 15/4/2025, đồng bộ với Luật Điện lực năm 2024 nhằm đảm bảo tính pháp lý cho cơ chế đấu thầu và lựa chọn nhà đầu tư . Đồng thời, Nghị định số 56/2025/NĐ-CP (3/3/2025) đã phân định rõ các dự án thuộc diện quy hoạch quốc gia, quy hoạch tỉnh và đặc biệt là nhóm miễn trừ quy hoạch (như điện tự sản tự tiêu quy mô nhỏ), qua đó giảm mạnh thủ tục hành chính và thúc đẩy phát triển điện phân tán .

Ở cấp luật, hệ thống pháp lý được hoàn thiện với ba trụ cột chính. Thứ nhất, Luật Điện lực năm 2024 (có hiệu lực từ ngày 1/2/2025) tạo bước đột phá khi luật hóa thị trường điện cạnh tranh, cho phép cơ chế mua

bán điện trực tiếp (DPPA), đồng thời đưa vào khái niệm năng lượng mới (hydro xanh, amoniac xanh), mở đường cho các mô hình Power-to-X. Thứ hai, Luật Đất đai năm 2024 (có hiệu lực từ ngày 1/8/2024), đặc biệt tại Điều 218, đã hợp pháp hóa cơ chế sử dụng đất đa mục đích, cho phép kết hợp sản xuất nông nghiệp với điện mặt trời mà không cần chuyển đổi mục đích sử dụng đất, tạo nền tảng pháp lý quan trọng cho mô hình Agrivoltaics (APV). Thứ ba, Luật BVMT năm 2020 áp dụng cơ chế trách nhiệm mở rộng của nhà sản xuất (EPR), yêu cầu các dự án điện mặt trời phải có phương án thu hồi và tái chế tấm pin, đảm bảo tiếp cận kinh tế tuần hoàn.

Hệ thống nghị định hướng dẫn đóng vai trò then chốt trong vận hành thị trường. Nghị định số 56/2025/NĐ-CP thiết lập cơ chế đấu thầu thay thế FIT, với tiêu chí giá chiếm ưu thế (80 - 90%) và áp dụng cơ chế giá trần. Nghị định số 80/2024/NĐ-CP và Nghị định số 57/2025/NĐ-CP hoàn thiện cơ chế DPPA, cho phép hai mô hình: Đấu nối trực tiếp và qua thị trường điện cạnh tranh. Đặc biệt, Nghị định số 58/2025/NĐ-CP quy định về hệ thống tự sản tự tiêu, cho phép bán điện dư tối đa 20% công suất và khuyến khích tích hợp lưu trữ (BESS) thông qua cơ chế ưu tiên huy động . Song song, Nghị định số 102/2024/NĐ-CP hướng dẫn chi tiết sử dụng đất đa mục đích, quy định rõ thẩm quyền phê duyệt thuộc UBND cấp huyện đối với dự án quy mô nhỏ, giúp rút ngắn thời gian thực hiện .

Ở tầng kỹ thuật và giá, các quy định như Thông tư số 09/2025/TT-BCT và Thông tư số 54/2025/TT-BCT thiết lập khung giá trần phát điện (ví dụ điện mặt trời mặt đất khoảng 1.184,9 VND/kWh), thấp hơn đáng kể so với cơ chế FIT trước đây, buộc nhà đầu tư tối ưu chi phí. Thông tư số 41/2025/TT-BCT quy định tiêu chuẩn an toàn điện là điều kiện bắt buộc để đấu nối và vận hành, đồng thời hỗ trợ cơ chế hậu kiểm trong quản lý.

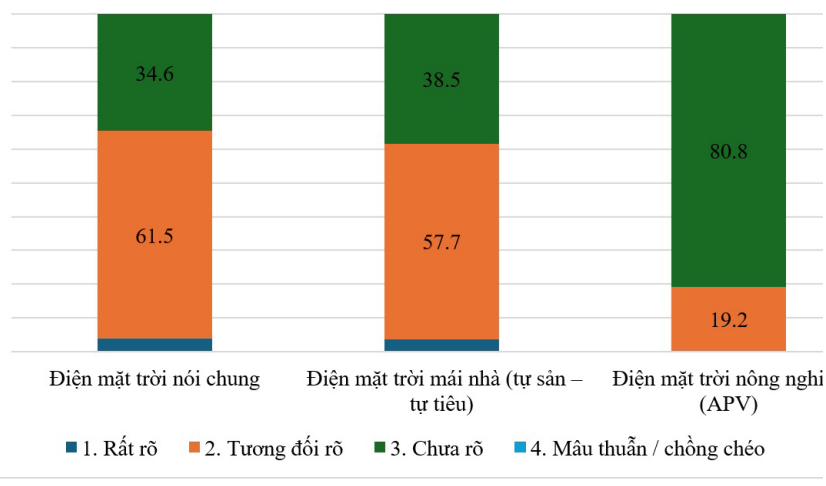
Tổng thể, chính sách năng lượng của Việt Nam đã chuyển dịch rõ rệt từ cơ chế trợ giá sang cơ chế thị trường, với trọng tâm là mở rộng quyền tiếp cận thị trường (DPPA), ưu đãi đầu vào (đất đai, lưu trữ) và kiểm soát thông qua quy hoạch, giá trần và hậu kiểm. Đối với mô hình nông nghiệp kết hợp điện mặt trời (APV), hành lang pháp lý đã được hoàn thiện với ba trụ cột: (i) hợp pháp hóa sử dụng đất đa mục đích theo Luật Đất đai 2024 và Nghị định số 102/2024/NĐ-CP; (ii) quy định kỹ thuật và cơ chế vận hành theo Nghị định số 58/2025/NĐ-CP; và (iii) cơ chế thị trường điện theo Luật Điện lực năm 2024 và DPPA. Tuy nhiên, hiệu quả kinh tế của APV phụ thuộc lớn vào khả năng tự tiêu thụ điện, tối ưu chi phí, tiếp cận tài chính xanh, trong bối cảnh giá điện bị khống chế và tỷ lệ bán điện dư bị giới hạn .

Bên cạnh đó, hệ thống chính sách hiện hành vẫn tồn tại khoảng trống đáng kể đối với điện mặt trời và APV, bao gồm: Chưa có quy định chuyên biệt về quản lý vòng đời tấm pin, thiếu tiêu chuẩn tái chế và phân loại chất thải quang điện, chưa hoàn thiện cơ chế trách nhiệm mở rộng của nhà sản xuất (EPR), chưa có hướng dẫn cụ thể về quản lý nước thải, hóa chất trong vận hành hệ thống. Đặc biệt, chưa có tiêu chí môi trường và hướng dẫn ĐTM riêng cho mô hình APV, dẫn đến khó khăn trong đánh giá và quản lý tích hợp giữa sản xuất nông nghiệp, phát điện. Điều này cho thấy nhu cầu cấp thiết phải hoàn thiện khung chính sách theo hướng quản lý vòng đời, kinh tế tuần hoàn và tích hợp liên ngành nhằm bảo đảm phát triển bền vững trong dài hạn.

3.3. Kết quả tham vấn các bên liên quan về hiện trạng chính sách APV của Việt Nam

Kết quả khảo sát cho thấy môi trường chính sách và điều kiện triển khai đối với mô hình nông nghiệp kết hợp điện mặt trời (APV) tại Việt Nam còn tồn tại nhiều rào cản mang tính hệ thống, trải rộng từ khung pháp lý, quy trình thực thi đến yêu cầu kỹ thuật và thị trường năng lượng. Các phát hiện chính được tổng hợp và trình bày trong Hình 1.

Hình 1 cho thấy mức độ rõ ràng của khung chính sách hiện hành đối với các loại hình điện mặt trời có sự khác biệt đáng kể. Trong khi điện mặt trời truyền thống và điện mặt trời mái nhà được đánh giá ở mức tương đối



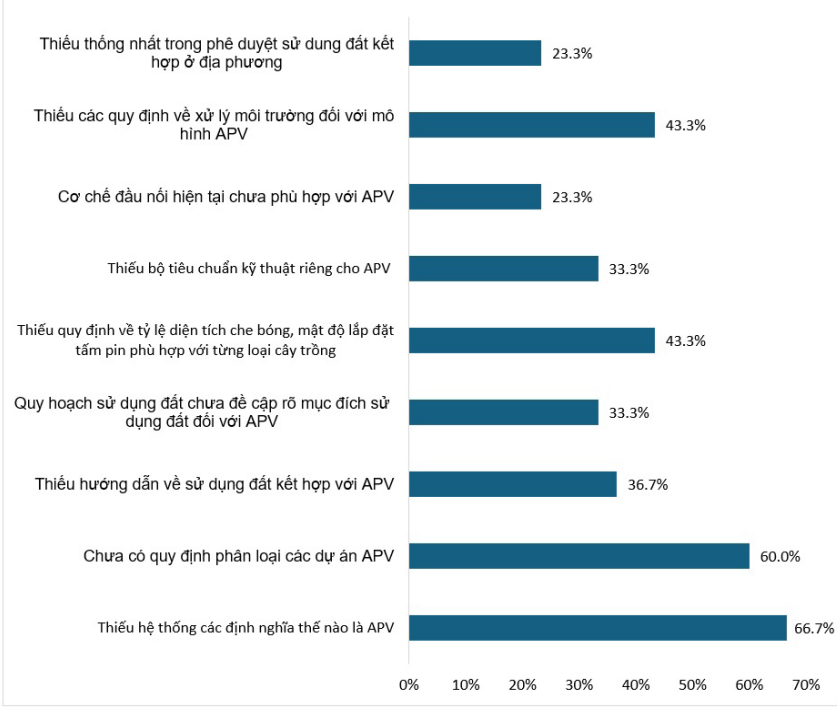
Hình 1. Tỷ lệ đánh giá mức độ rõ ràng của khung chính sách điện mặt trời hiện nay *Nguồn: Khảo sát của ISPAE, 2025*

rõ, thì đối với mô hình APV, phần lớn ý kiến (80,8%) cho rằng chính sách hiện nay còn chưa rõ ràng. Điều này phản ánh thực tế rằng hệ thống chính sách hiện hành chủ yếu được thiết kế cho các mô hình điện mặt trời đơn mục tiêu, chưa đáp ứng yêu cầu quản lý đối với các mô hình tích hợp đa mục tiêu như APV.

Bên cạnh đó, các khoảng trống chính sách được xác định tập trung vào ba nhóm chính: (i) Thiếu định nghĩa pháp lý và phân loại dự án APV; (ii) thiếu quy định về sử dụng đất và tiêu chí kỹ thuật trong sản xuất nông nghiệp; (iii) thiếu tiêu chuẩn kỹ thuật, hướng dẫn môi trường và cơ chế đấu nối phù hợp. Cụ thể, việc thiếu định nghĩa pháp lý về APV được ghi nhận với tỷ lệ cao nhất (66,7%), tiếp theo là thiếu quy định phân loại dự án (60%), cho thấy khoảng trống cốt lõi nằm ở khâu định danh thể chế (Hình 2).

Ở nhóm liên quan đến sử dụng đất và sản xuất nông nghiệp, 43,3% ý kiến cho rằng chưa có quy định về tỷ lệ che bóng và mật độ lắp đặt phù hợp với cây trồng, đồng thời cũng có 43,3% ý kiến phản ánh thiếu hướng dẫn môi trường cho APV. Bên cạnh đó, 36,7% ý kiến cho rằng chưa có hướng dẫn cụ thể về sử dụng đất đa mục đích, trong khi khoảng 33,3% cho rằng thiếu tiêu chuẩn kỹ thuật riêng và quy hoạch sử dụng đất chưa làm rõ mục đích cho APV.

Các vấn đề liên quan đến vận hành và thể chế địa phương tuy có tỷ lệ thấp hơn nhưng vẫn đáng chú ý, với khoảng 23,3% ý kiến phản ánh sự thiếu thống nhất trong phê duyệt tại địa phương và cơ chế đấu nối chưa phù hợp. Tổng thể, các số liệu cho thấy khoảng trống chính sách tập trung chủ yếu ở cấp độ khung pháp lý và phân loại, trong khi các vấn đề kỹ thuật, vận hành đóng vai trò bổ trợ nhưng vẫn là rào cản đáng kể trong triển khai thực tiễn.

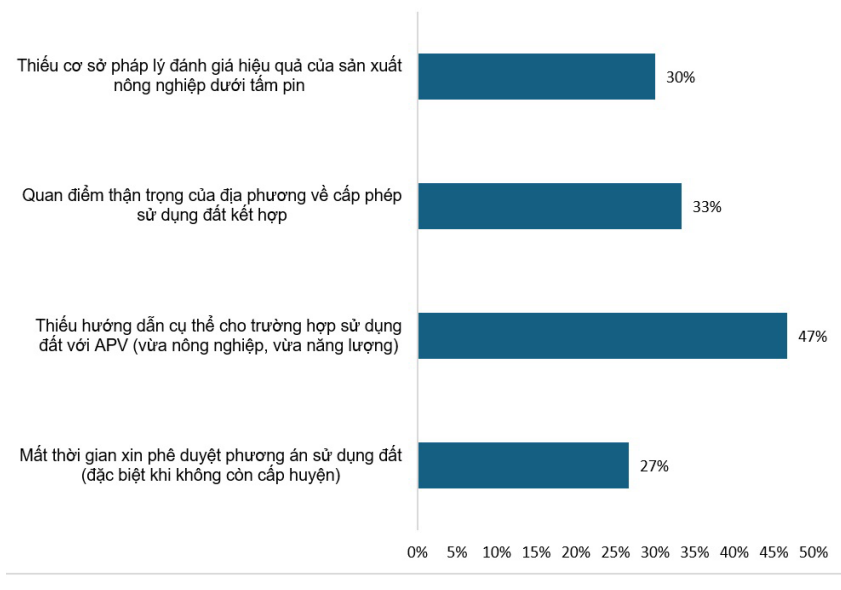


Hình 2. Tỷ lệ đánh giá về khoảng trống/hạn chế của chính sách phát triển APV

Nguồn: Khảo sát của ISPAE, 2025

Hình 3 cho thấy các nút thắt chính trong quy trình phê duyệt và cấp phép đối với mô hình APV chủ yếu mang tính thể chế và hướng dẫn thực thi. Trong đó, thiếu hướng dẫn cụ thể cho trường hợp sử dụng đất kết hợp nông nghiệp - năng lượng là rào cản lớn nhất, được 47% ý kiến lựa chọn, phản ánh khoảng trống rõ rệt trong khung pháp lý hiện hành.

Bên cạnh đó, 33% ý kiến cho rằng quan điểm thận trọng của chính quyền địa phương trong cấp phép sử dụng đất kết hợp là



Hình 3. Những nút thắt chính trong quy trình phê duyệt sử dụng đất, xây dựng và xin cấp cấp phép *Nguồn: Khảo sát của ISPAE, 2025*

một trở ngại đáng kể, cho thấy sự thiếu thống nhất trong cách hiểu và áp dụng chính sách. Đồng thời, 30% ý kiến phản ánh thiếu cơ sở pháp lý để đánh giá hiệu quả sản xuất nông nghiệp dưới hệ thống điện mặt trời, làm hạn chế khả năng thẩm định và phê duyệt dự án.

Ngoài ra, vấn đề thủ tục hành chính cũng được ghi nhận, với 27% ý kiến cho rằng thời gian phê duyệt phương án sử dụng đất còn kéo dài, đặc biệt trong bối cảnh thay đổi cấp quản lý. Tổng thể, các số liệu cho thấy rào cản lớn nhất không nằm ở kỹ thuật mà ở sự thiếu rõ ràng và đồng bộ của hướng dẫn chính sách trong quá trình thực thi.

4. KẾT LUẬN VÀ MỘT SỐ ĐỀ XUẤT CHÍNH SÁCH

Nghiên cứu cho thấy mô hình nông nghiệp kết hợp điện mặt trời (APV) là một hướng tiếp cận tiềm năng nhằm giải quyết đồng thời các mục tiêu về chuyển dịch năng lượng, sử dụng đất hiệu quả và phát triển nông nghiệp bền vững tại Việt Nam. Mặc dù khung chính sách hiện hành đã bước đầu tạo nền tảng thông qua các quy định về đất đai, năng lượng, nông nghiệp và môi trường, song vẫn tồn tại nhiều khoảng trống và rào cản như: (i) Chính sách về đất đai vẫn chưa có hướng dẫn cụ thể về sử dụng đất đa mục đích dẫn đến nguy cơ bị coi là chuyển mục đích sử dụng đất khi làm APV; (ii) Chính sách về nông nghiệp: Chưa công nhận APV là một hình thức sản xuất hợp lệ; chưa có tiêu chuẩn kỹ thuật, cơ chế hỗ trợ hoặc tiêu chí tiếp cận ưu đãi; (iii) Chính sách năng lượng: hiện chưa có khung pháp lý chuyên biệt cho APV dẫn đến sự không rõ ràng trong phân loại dự án, cơ chế đấu tư và tiêu thụ điện; (iv) Chính sách về môi trường: chưa có tiêu chí môi trường và hướng dẫn ĐTM riêng cho mô hình APV dẫn đến khó khăn trong đánh giá và quản lý tích hợp giữa sản xuất nông nghiệp và phát điện. Kết quả khảo sát cũng cho thấy các rào cản chủ yếu mang tính thể chế và thực thi, trong đó nổi bật là thiếu thiếu định nghĩa pháp lý về APV được ghi nhận với tỷ lệ cao nhất (66,7%), tiếp theo là thiếu quy định phân loại dự án (60%), thiếu cơ sở đánh giá hiệu quả nông nghiệp (30%) và sự chưa thống nhất trong quá trình cấp phép.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất một số hàm ý chính sách nhằm thúc đẩy phát triển APV tại Việt Nam.

- *Trước hết*, cần xây dựng và ban hành định nghĩa pháp lý chính thức về APV, đồng thời xác lập cơ chế phân loại rõ ràng trong hệ thống pháp luật.
- *Thứ hai*, cần hoàn thiện quy định về sử dụng đất nông nghiệp đa mục đích, bao gồm hướng dẫn cụ thể về tỷ lệ che bóng, tiêu chí duy trì sản xuất và quy trình phê duyệt thống nhất giữa các cấp.
- *Thứ ba*, cần phát triển bộ tiêu chuẩn kỹ thuật và môi trường riêng cho APV, làm cơ sở cho thiết kế, vận hành và đánh giá tác động.
- *Thứ tư*, cần hoàn thiện cơ chế thị trường điện phù hợp, bao gồm cơ chế đấu nối, tiêu thụ điện tại chỗ và xử lý điện dư.
- *Cuối cùng*, thúc đẩy cơ chế phối hợp liên ngành và triển khai các mô hình thí điểm theo vùng sinh thái nhằm tạo cơ sở thực tiễn cho việc hoàn thiện chính sách trong dài hạn■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. FAO. (2023). Agrivoltaics: Opportunities for sustainable agriculture and energy.

2. Fraunhofer ISE. (2024). Agrivoltaics: Opportunities for agriculture and energy transition.

3. IEA Task 13. (2025). Agrivoltaics: International guidelines and best practices.

4. MAFF. (2020). Guidelines for agrivoltaic systems in Japan.

5. Quốc hội. (2020). Luật BVMT.

6. Quốc hội. (2024). Luật Đất đai.

7. Quốc hội. (2024). Luật Điện lực.

8. Quốc hội. (2018). Luật Trồng trọt.

9. Quốc hội. (2018). Luật Chăn nuôi.

10. Quốc hội. (2017). Luật Thủy sản.

11. Quốc hội. (2017). Luật Lâm nghiệp.

12. Chính phủ. (2018). Nghị định số 98/2018/NĐ-CP về liên kết sản xuất và tiêu thụ nông sản.

13. Chính phủ. (2015). Nghị định số 55/2015/NĐ-CP về tín dụng nông nghiệp, nông thôn.

14. Chính phủ. (2018). Nghị định số 116/2018/NĐ-CP sửa đổi Nghị định số 55/2015/NĐ-CP.

15. Chính phủ. (2024). Nghị định số 102/2024/NĐ-CP hướng dẫn thi hành Luật Đất đai.

16. Chính phủ. (2025). Nghị định số 56/2025/NĐ-CP về phát triển điện lực.

17. Chính phủ. (2025). Nghị định số 57/2025/NĐ-CP về cơ chế mua bán điện trực tiếp (DPPA).

18. Chính phủ. (2025). Nghị định số 58/2025/NĐ-CP về điện tự sản, tự tiêu.

19. Thủ tướng Chính phủ. (2023). Quyết định số 500/QĐ-TTg phê duyệt Quy hoạch điện VIII.

20. Thủ tướng Chính phủ. (2025). Quyết định số 768/QĐ-TTg điều chỉnh Quy hoạch điện VIII.

21. Bộ Công Thương. (2025). Thông tư số 41/2025/TT-BCT về tiêu chuẩn kỹ thuật điện lực.

22. ISPAE. (2025). Báo cáo khảo sát và đề xuất chính sách phát triển Agrivoltaics tại Việt Nam, GIZ-Dự án canh tác nông nghiệp kết hợp điện mặt trời cho nông thôn Việt Nam (Agri-PV).

NGHIÊN CỨU LOẠI BỎ NITRITE TRONG NƯỚC AO NUÔI THỦY SẢN BẰNG HỆ THỐNG LỌC SINH HỌC

PHẠM MINH TUẤN[1], TRẦN ĐỨC THẢO[1,*], ĐẶNG HOÀNG DUY ANH[1]
[1]Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

Tóm tắt
Việc duy trì nồng độ nitrite thấp trong ao nuôi thủy sản đóng vai trò quan trọng, nhằm giảm nguy cơ vật nuôi bị ngộ độc cấp, mãn tính và hệ vi sinh đường ruột được ổn định. Ở nghiên cứu này, vi khuẩn nitrate hóa được sử dụng trong hệ thống lọc sinh học nhằm loại bỏ nitrite trong nước ao nuôi trồng thủy sản. Hệ thống gồm bể dạng cột có thể tích làm việc 4 lít, giá thể chiếm 20% thể tích làm việc, thời gian lưu nước 1,3h, tốc độ sục khí 0,5 lít/lít/phút, hàm lượng nitrite đầu vào 116,65 ± 1,90 mg/L. Thí nghiệm cho thấy, 95% nitrite được xử lý sau 24h với độ mặn và pH của nước đầu vào tương ứng là 10‰ và 8,0. Độ mặn và pH ảnh hưởng đến hiệu quả xử lý. Tỷ lệ nitrite được chuyển hóa có thể đạt 90% trong 8h với độ mặn là 10‰ và giảm dần khi độ mặn cao. Ngược lại, hiệu quả xử lý tăng khi pH tăng và đạt hiệu quả cao nhất ở pH = 8 (90% nitrite được oxy hóa tiếp sau 8h). Nghiên cứu chứng minh với vi khuẩn nitrate hóa cố định trên giá thể trong hệ thống lọc sinh học có tiềm năng xử lý nitrite nước ao nuôi thủy sản. Đồng thời tốc độ oxy hóa nitrite tuân theo phương trình bậc nhất với k = 0,13 h-1 và mô hình Monod với rmax = 9,47 mg/L.h và Ks = 51,53 mg/L. Tuy nhiên, cần thiết có thêm các nghiên cứu tiếp theo để làm rõ vai trò của cộng đồng vi sinh vật và điều kiện vận hành như nhiệt độ, thời gian lưu nước, tải trọng ô nhiễm đến hiệu quả xử lý của hệ thống.
Từ khóa: *Lọc sinh học, vi khuẩn nitrate hóa, nuôi trồng thủy sản, nước ao nuôi, nitrite.*
Ngày nhận bài: *29/2/2026;* ***Ngày sửa chữa:*** *17/3/2026;* ***Ngày duyệt đăng:*** *29/3/2026.*

Study on nitrite treatment of aquacultural pond water using biofilter

Abstract
Maintaining low nitrite concentrations in aquaculture ponds is crucial for reducing the risk of acute and chronic poisoning in animals and stabilizing the gut microbiota. In this study, nitrifying bacteria were used in a biological filtration system to remove nitrite from aquaculture pond water. The system consisted of a column-type tank with a working volume of 4 liters, a substrate occupying 20% of the working volume, a water retention time of 1.3 hours, an aeration rate of 0.5 liters/liter/minute, and an influent nitrite content of 116.65 ± 1.90 mg/L. The experiment showed that 95% of nitrite was removed after 24 hours with influent salinity and pH of 10‰ and 8.0, respectively. Salinity and pH affect treatment efficiency. The nitrite conversion rate can reach 90% in 8 hours at a salinity of 10‰ and decreases with increasing salinity. Conversely, the treatment efficiency increases with increasing pH and reaches its highest efficiency at pH = 8 (90% of nitrite is oxidized after 8 hours). The study demonstrates that nitrifying bacteria immobilized on a substrate in a biological filtration system have the potential to treat nitrite in aquaculture pond water. Simultaneously, the nitrite oxidation rate follows a first-order equation with k = 0.13 h-1 and the Monod model with rmax = 9.47 mg/L.h and Ks = 51.53 mg/L. Nevertheless, further research is needed to clarify the role of microbial communities and operating conditions such as temperature, hydraulic retention time, and pollutant load on the treatment performance.
Keywords: *Biofilter, nitrifying bacteria, aquaculture, pond water, nitrite.*
Jel Classifications: O13, Q51, Q53, Q56.

1. GIỚI THIỆU

Nuôi tôm thẻ (Penaeus vannamei) là một trong những ngành nuôi trồng thủy sản phát triển trong giai đoạn gần đây (Nguyen et al., 2025). Các mô hình nuôi liên tục được phát triển, theo xu hướng siêu thâm canh nhằm nâng cao năng suất và đáp ứng nhu cầu của thị trường (Iber & Kasan, 2021; Md et al., 2011). Việc duy trì môi trường nước trong ao nuôi như nhiệt độ, độ mặn, độ oxy hòa tan (DO), pH có ý nghĩa quan trọng trong quá trình nuôi (Srinivasan et al., 2025). Tuy nhiên, mật độ nuôi cao cùng lượng thức ăn sử dụng gia tăng trong các mô hình siêu thâm canh thường dẫn đến khả năng tích lũy các sản phẩm trao đổi chất trong môi trường nước ao, trong đó đặc biệt nguy hiểm là sự hình thành của nitrite (NO_2), vì hợp chất này có tác động tiêu cực mạnh tới sức khỏe vật nuôi (Hagopian & Riley, 1998; Iber & Kasan, 2021; Kocour Kroupová et al., 2005).

Nitrite là sản phẩm trung gian của quá trình nitrate hóa (Kocour Kroupová et al., 2005; Lewis, 1986), được

hình thành từ quá trình oxy hóa Amoni (NH_4^+) bởi vi khuẩn Nitrosomonas trong điều kiện hiếu khí. Nitrite có thể gây ra bệnh methemoglobinemia (ở cá) hoặc bệnh methemocyaninemia (ở loài giáp xác), làm suy giảm khả năng vận chuyển oxy trong máu, dẫn đến tình trạng vật nuôi bị chết hàng loạt kể cả khi vẫn duy trì tốt nồng độ oxy hòa tan trong ao nuôi (Kocour Kroupová et al., 2005).

Trong hệ thống tuần hoàn nước (RAS) hiện nay, quá trình nitrate hóa đóng vai trò quan trọng trong chuyển hóa các hợp chất nitơ nhờ quần thể vi sinh vật bám dính trên giá thể. Tuy nhiên, quá trình này thường bị gián đoạn, dẫn đến hiện tượng tích lũy nitrite (nitrite accumulation) xảy ra. Nguyên nhân do vi khuẩn oxy hóa Nitrite (vi khuẩn Nitrobacter) có tốc độ sinh trưởng chậm hơn vi khuẩn oxy hóa Amoni (Gonzalez-Silva et al., 2016), đặc biệt trong môi trường có thay đổi lớn về độ mặn hoặc pH (Cortés-Lorenzo et al., 2015).

Hệ thống lọc sinh học ứng dụng trong RAS và ao nuôi thâm canh thực tế được xem như một giải pháp xử lý nitơ hiệu quả (Aquamonitrix, 2021; Jiang et al., 2025; Preena, 2021; Rusten et al., 2006), nhờ duy trì mật độ vi sinh (vi khuẩn nitrate hóa) cao và ổn định (Lewandowski & Boltz, 2011; Rusten et al., 2006; Saini et al., 2023). Gần đây, một số nghiên cứu tập trung tìm kiếm các loại giá thể mới có bề mặt riêng lớn, bền và ổn định hay kiểm soát tỷ lệ C/N nhằm nâng cao hiệu suất xử lý của hệ thống. Ngoài ra, các kỹ thuật cố định vi sinh trong vật liệu polimer như PVA/Alginate cũng được nghiên cứu nhằm tăng khả năng chống chịu của vi sinh trước các điều kiện bất lợi (Geetha et al., 2021; Zan et al., 2022).

Mặc dù có nhiều nghiên cứu tập trung vào quá trình nitrate hóa, phần lớn đánh giá TAN (Total Ammoniac Nitrogen) hoặc TN (Total Nitrogen) trong khi quá trình chuyển hóa nitrite - một bước trung gian quan trọng trong nitrate hóa - chưa được nghiên cứu chi tiết, đặc biệt ở môi trường chịu ảnh hưởng của độ mặn và pH.

Xuất phát từ vấn đề trên, nghiên cứu này tập trung đánh giá khả năng loại bỏ Nitrite của hệ thống lọc sinh học trong ao nuôi tôm thẻ (Penaeus vannamei) ở các điều kiện pH và độ muối khác nhau. Đồng thời, nghiên cứu xây dựng phương trình động học nhằm mô tả, dự đoán quá trình xử lý, nâng cao khả năng ứng dụng thực tế của hệ thống.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

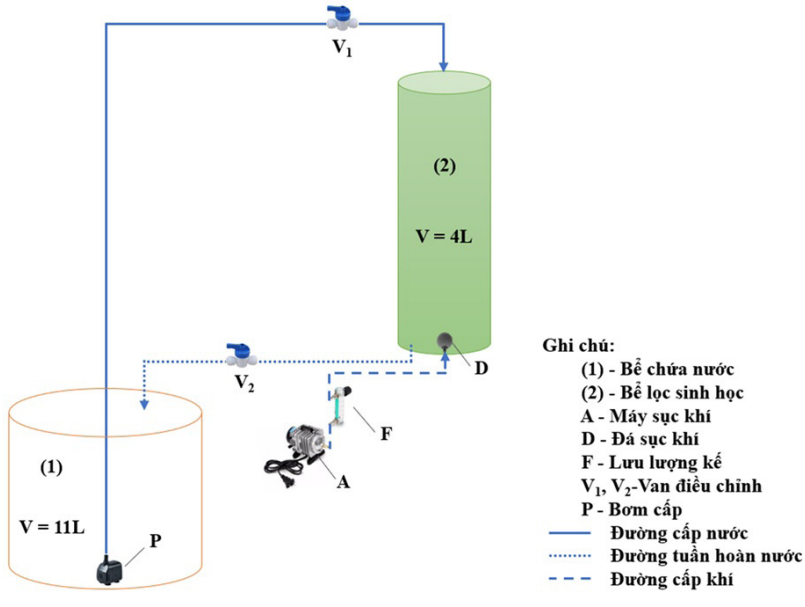
2.1. Vật liệu

Hệ vi sinh dùng nghiên cứu bao gồm chủng vi khuẩn nitrate hóa tự dưỡng (do Công ty Cổ phần Công nghệ sinh học Tiên Phong, lô 23 đường Tân Tạo, KCN Tân Tạo, P. Bình Tân, TP. Hồ Chí Minh cung cấp), bao gồm: Vi khuẩn Nitrosomonas và Nitrobacter, mật độ khoảng 108 CFU/mL (xác định theo phương pháp trải đĩa đếm khuẩn lạc), được bổ sung một lần vào thời điểm bắt đầu mỗi thí nghiệm theo tỷ lệ 5% (v/v, so với thể tích bể) để nuôi thích nghi (3 - 4 ngày) trước khi khảo sát.

Giá thể Biochip 22 TM có sẵn trên thị trường (Bảng 1).

Bảng 1. Thông số giá thể Biochip 22 TM

Thông số kỹ thuật	Giá trị	Hình ảnh
Diện tích bề mặt riêng (m^2/m^3)	3.000	
Vật liệu	PE/HDPE	
Đường kính (mm)	22	
Độ dày (mm)	0,8 – 1,2	
Khối lượng riêng (kg/m3)	170	



Hình 2. Sơ đồ mô hình thí nghiệm

Nước thải tổng hợp được pha để mô phỏng nước ao nuôi tôm với các hóa chất sau: $FeSO_4.7H_2O$ (0,2 g/L), EDTA (0,4 g/L), KH_2PO_4 (0,1 g/L), $K_2HPO_4.7H_2O$ (0,9 g/L), NaCl (10 g/L), $MgSO_4.7H_2O$ (0,5 g/L), CH_3COONa (7 g/L), $NaNO_2$ (0,167 g/L) (Cortés-Lorenzo et al., 2015).

2.2. Mô hình nghiên cứu

Hệ thống lọc sinh học được thiết kế gồm một bể dạng cột đứng (2) bằng nhựa PVC (Ø114 mm, cao 700 mm), có thể tích làm việc 4 L (bể lọc sinh học), bên trong có bố trí hệ thống sục khí ở đáy (7) và giá thể Biochip 12 TM (20% thể tích bể). Ngoài ra còn có bể chứa (1) có thể tích 11 L dùng chứa nước đầu vào (Hình 2).

Nước thải ở bể (1) được cấp vào bể sinh học (2) bằng bơm chìm (3) với vận tốc 50 mL/phút. Không khí được cấp liên tục vào bể sinh học (2) nhờ máy sục khí (4) với vận tốc 2 L/phút nhằm duy trì DO ≥ 2 mg/L. Mô hình vận hành với thời gian lưu nước trung bình 1,33h, ở nhiệt độ phòng (30 - 35^{0}C). Nước sau xử lý được dẫn tuần toàn về bể (1) và tiếp tục được bơm vào bể (2) để xử lý (Cortés-Lorenzo et al., 2015).

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Sau khi nuôi thích nghi 3 - 5 ngày để vi sinh ổn định và bám dính lên giá thể sẽ tiến hành khảo sát.

Khảo sát khả năng xử lý nitrite

Nước thải ban đầu được pha vào bể (1) với thể tích 11 L với nồng độ nitrite khoảng 116 mg/L, pH = 8 và độ mặn 10‰. Hệ thống vận hành 24h và tần suất lấy mẫu 4 h/lần. Mỗi thí nghiệm lặp lại 3 lần.

Khảo sát ảnh hưởng của độ mặn

Pha nước thải vào bể (1) với nồng độ nitrite khoảng 116 mg/L, thay đổi độ mặn lần lượt 5, 10, 15, 20, 25, 30 và 35‰ (dùng NaCl điều chỉnh). Hệ thống vận hành 8h và tần suất lấy mẫu 4 h/lần. Mỗi thí nghiệm lặp lại 3 lần.

Khảo sát ảnh hưởng của pH ban đầu

Pha nước thải vào bể (1) với nồng độ nitrite khoảng 116 mg/L, độ mặn 10‰ và thay đổi pH lần lượt 4, 5, 6, 7, 8 và 9. Điều kiện vận hành lấy mẫu tương tự khảo sát độ mặn.

2.4. Phân tích và xử lý số liệu

Nồng độ nitrite được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 7257 - 2003.

Hiệu suất xử lý (η) được xác định:

$$\eta\ (\%) = \frac{(C_{vào} - C_{ra})}{C_{vào}} . 100\ \% \qquad (1)$$

Động học oxy hóa nitrite được đánh giá sơ bộ bằng mô hình bậc nhất (2) và mô hình Monod biểu kiến (3).

Mô hình bậc nhất (Lin & Gu, 2020):

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -k . t \qquad (2)$$

Trong đó:

C là nồng độ nitrite theo thời gian, mg/L.

C_0 là nồng độ nitrite ban đầu, mg/L.

k là hằng số tốc độ biểu kiến, xác định từ phương trình hồi quy tuyến tính (2), h-1.

Mô hình Monod (Liwarska-Bizukojc & Bizukojc, 2012):

$$r = \frac{r_{max} . S_i}{K_s + S_i} \qquad (3)$$

Trong đó:

r là tốc độ oxy hóa nitrite, mg/L.h

r được xác đinh:

$$r = \frac{C_i - C_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \qquad (4)$$

Với: Ci+1, Ci là nồng độ nitrite tại thời điểm ti+1 và ti, mg/L

rmax là tốc độ cực đại, mg/L.h

Si là nồng độ nitrite đại diện từ ti đến ti+1, mg/L

Si được xác định:

$$S_i = \frac{C_i + C_{i+1}}{2} \qquad (5)$$

Ks là hằng số bão hòa, mg/L

Các thông số động học được xác định bằng phương pháp hồi quy và tối ưu hóa bằng phần mềm Microsoft Excel.

Số liệu phân tích được xử lý thống kê bằng phần mềm Microsoft Excel, biểu diễn dưới dạng trung bình ± độ lệch chuẩn (SD) với 3 lần lặp lại. Sự khác biệt các nghiệm thức được đánh giá bằng ANOVA một nhân tố ($p < 0,05$).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Khảo sát xử lý nitrite

Nồng độ nitrite khảo sát được thống kê ở Bảng 2. Kết quả cho thấy, nồng độ nitrite giảm mạnh theo thời gian. Trong giai đoạn đầu từ 0 -12h, hiệu suất xử lý nitrite không cao, chỉ đạt 58% sau 12h vận hành. Sau 24h vận hành hiệu suất xử lý đạt 95% (nồng độ nitrite chỉ còn 6,11 ± 1,31 mg/L) (Hình 2), chứng tỏ hệ thống có khả năng xử lý hiệu quả nitrite ở điều kiện khảo sát. Điều này là do giai đoạn đầu (sau 12h vận hành) vi sinh vật thích nghi với điều kiện môi trường, sau đó tốc độ xử lý tăng nhanh nhờ sự phát triển của vi sinh vật và hình thành lớp màng biofilm ổn định (Bảng 2).

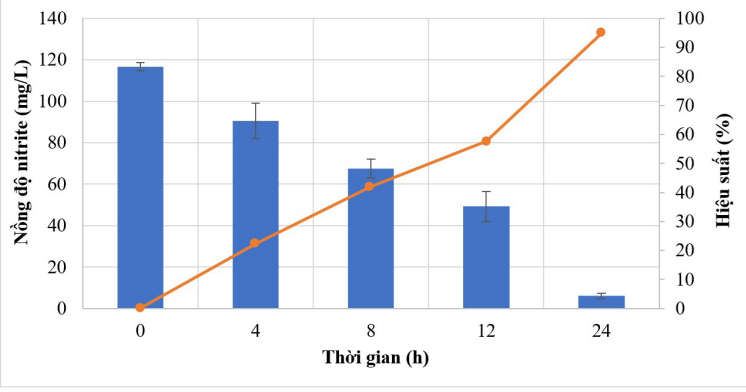
Kết quả khảo sát phù hợp với nghiên cứu của Peirong và cộng sự với hiệu quả xử lý nitrite trên 80% (Peirong & Wei, 2013); cao hơn so với nghiên cứu của Aurelio và cộng sự khi hiệu suất xử lý nitrite chỉ đạt 51% (delos Reyes & Lawson, 1996) (Hình 2).

3.2. Ảnh hưởng của độ mặn

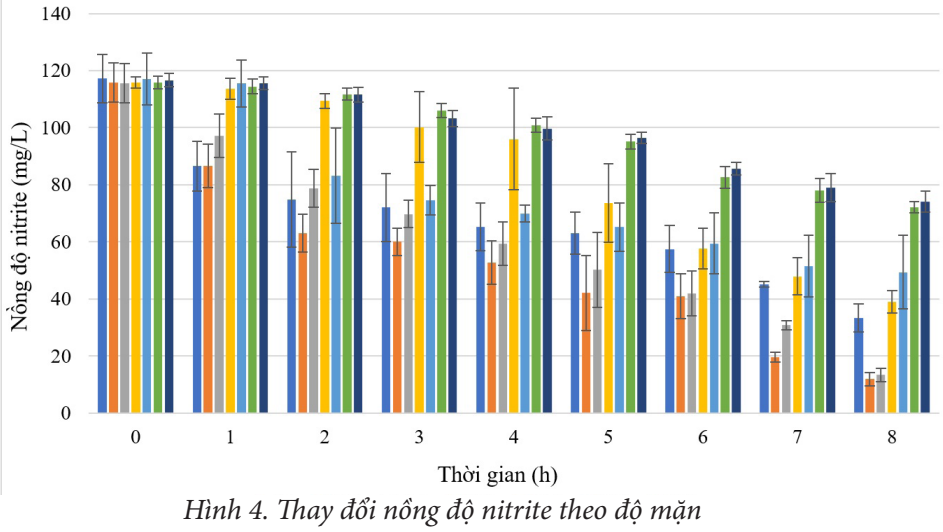
Độ mặn ảnh hưởng lớn đến hiệu quả xử lý nitrite (Bảng 3). Hiệu suất cao nhất đạt 90% sau 8h xử lý ở độ muối 10‰ (nitrite giảm còn 11,92 ± 3,31 mg/L). Khi độ mặn tăng, hiệu suất giảm, khi độ mặn tăng trên 25‰ hiệu suất giảm mạnh, chỉ còn khoảng 36 - 38% ở độ mặn 30 - 35% (Hình 3 và Hình 4). Nguyên nhân có thể do khi tăng độ muối kéo theo áp

Bảng 2. Nồng độ nitrite và hiệu suất xử lý theo thời gian

Thời gian (h)	Nồng độ NO_2- (mg/L)	Hiệu suất (%)
0	116,65 ± 1,90	0
4	90,58 ± 8,47	22
8	67,62 ± 4,62	42
12	49,28 ± 7,34	58
24	6,11 ± 1,31	95



Hình 3. Nồng độ và hiệu suất xử lý nitrite



Hình 4. Thay đổi nồng độ nitrite theo độ mặn

suất thẩm thấu tăng cao, làm suy giảm hoạt động enzyme và ức chế sự phát triển của vi khuẩn nitrate. Ngoài ra, độ mặn cao còn có thể ảnh hưởng đến khả năng bám dính và ổn định của biofilm (Zhang et al., 2020).

Cortés-Lorenzo et al., cũng có kết quả gần tượng tự khi chứng minh được quá trình nitrate hóa giảm khi tăng độ muối lên trên 24,1‰ (Cortés-Lorenzo et al., 2015). Đồng thời, Bakke et al., chứng minh được khi độ muối trên 22‰ sẽ ức chế vi khuẩn nitrat hóa (Bakke et al., 2017).

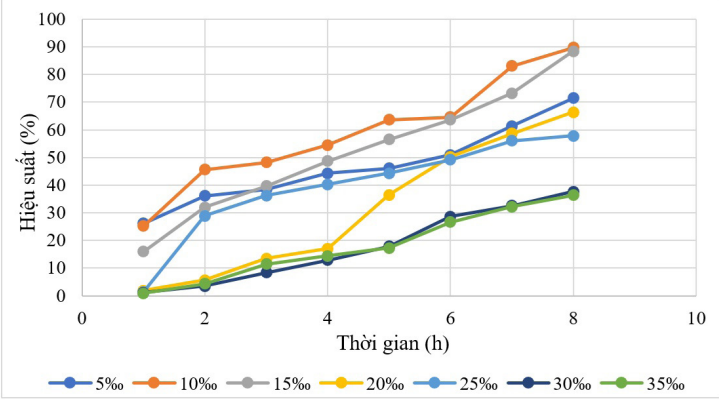
Kết quả phân tích Anova cho thấy độ mặn có ảnh hưởng và có ý nghĩa thống kê đến hiệu suất xử lý nitrite sau 8 h vận hành ($p < 0,001$) (Hình 5).

3.3. Ảnh hưởng của pH ban đầu

pH cũng ảnh hưởng lớn đến hiệu quả xử lý nitrite (Bảng 4). Hiệu quả xử lý cao nhất đạt 90% ở pH = 8 sau 8h (nitrite giảm còn 11,38 ± 6,49 mg/L), phù hợp với nghiên cứu của Grunditz et al., (Grunditz & Dalhammar, 2001) (pH tối ưu đối với vi khuẩn Nitrosomonas là 8,1, với vi khuẩn nitrobacter là 8,2) và nghiên cứu của Forster (Forster, 1974) (nitrate hóa diễn ra tốt ở pH = 7,5 - 8,0; khi pH dưới 5,5 quá trình bị ức chế hoàn toàn). Nguyên nhân là do khi pH thấp hoặc cao hơn 8 sẽ xảy ra hiện tượng tích tụ nitrite khi vi khuẩn nitrate hóa

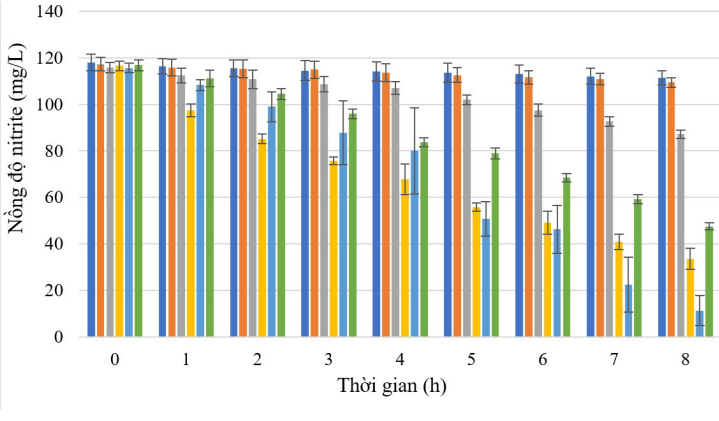
Bảng 3. Nồng độ nitrite (mg/L) ở độ muối khác nhau theo thời gian

Thời gian (h)	Độ muối (‰)						
	5	10	15	20	25	30	35
0	117,18 ± 8,39	115,87 ± 1,90	115,59 ± 6,84	115,82 ± 2,04	117,09 ± 9,01	115,78 ± 2,20	116,62 ± 2,32
1	86,50 ± 8.78	86,59 ± 7,10	97,16 ± 7,57	113,62 ± 3,58	115,50 ± 8,22	114,37 ± 2,57	115,50 ± 2,19
2	74,90 ± 16,68	63,02 ± 6,35	78,69 ± 6,63	109,32 ± 2,68	83,18 ± 16,66	111,75 ± 2,02	111,52 ± 2,57
3	72,05 ± 11,92	60,03 ± 5,20	69,75 ± 4,80	100,20 ± 12,37	74,57 ± 5,19	106,09 ± 2,41	103,24 ± 2,90
4	65,26 ± 8,35	52,78 ± 7,74	59,32 ± 7,55	96,04 ± 17,82	69,89 ± 2,92	100,81 ± 2,39	99,73 ± 4,13
5	63,11 ± 7,32	42,16 ± 2,69	50,20 ± 13,14	73,54 ± 13,70	65,17 ± 8,53	95,10 ± 2,62	96,41 ± 1,91
6	57,50 ± 8,21	41,02 ± 1,24	42,02 ± 7,84	57,59 ± 7,11	59,46 ± 10,74	82,62 ± 3,89	85,56 ± 2,18
7	45,20 ± 0,93	19,59 ± 3,59	30,85 ± 1,65	47,91 ± 6,46	51,47 ± 10,78	78,13 ± 4,14	79,06 ± 4,86
8	33,37 ± 4,92	11,92 ± 3,31	13,40 ± 2,36	38,98 ± 4,00	49,36 ± 12,92	72,14 ± 1,92	74,20 ± 3,65



Hình 5. Hiệu suất xử lý nitrite theo độ mặn

không thể xử lý nitrite (Thomsen et al., 1994). Cũng theo Thomsen et al., ở môi trường có tính acid nguồn cơ chất không được sử dụng để hoạt động, một loạt các chất trung gian được tích lũy và phần lớn màng sinh học trên giá thể còn lại rất ít, không còn khả năng bám dính và chuyển hóa các ảnh hưởng đến hoạt tính emzyme và cấu trúc tế bào (Thomsen et al., 1994). pH thấp cũng ảnh hưởng đến khả năng phục hồi của vi khuẩn nitrate qua đó ảnh hưởng đến hiệu quả xử lý của hệ thống (Forster, 1974).



Hình 6. Nồng độ nitrite ở pH khác nhau

Kết quả phân tích ANOVA cho thấy pH có ảnh hưởng, có ý nghĩa thống kê đến hiệu quả xử lý nitrite sau 8 h vận hành ($p < 0,001$).

3.4. Động học nitrite

Phương trình hồi quy tuyến tính bậc nhất của nitrite có dạng:

$$\ln(C/C_o) = -0,1245.t + 0,2738$$

Với $R^2 = 0,95$ và $k = 0,13\ h^{-1}$ (Hình 7). Giá trị R2 cao phản ánh xu hướng giảm nitrite tuân theo phương trình bậc nhất theo thời gian trong hệ lọc sinh học. Như vậy, quá trình oxy hóa nitrite trong hệ lọc sinh học bị chi phối bởi nồng độ cơ chất (Lin & Gu, 2020) (Hình 8).

Phương trình Monod có dạng:

$$r = \frac{9,47.S_i}{51,533 + S_i}$$

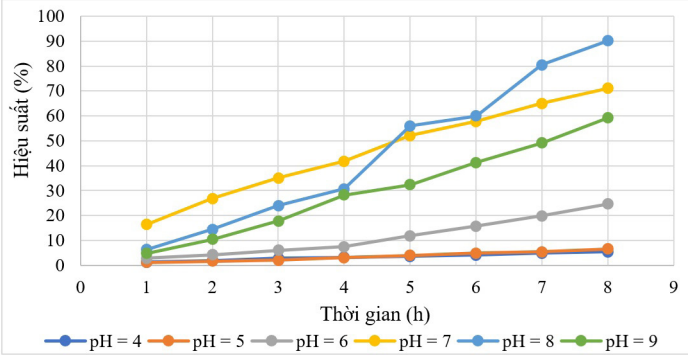
Với $R^2 = 0,94$, $r_{max} = 9,47$ mg/L.h và $K_s = 51,53$ mg/L. Giá trị K_s tương đối cao chứng tỏ ái lực của vi sinh vật đối với nitrite thấp, có thể do độ mặn và pH tác động làm ức chế hoặc giảm hoạt tính của enzyme, ảnh hưởng đến khả năng oxy hóa nitrite. Kết quả tính toán cho thấy K_s cao hơn công bố của Boric et al., [26] và Tangkitjawisut et al., [27],

Đồ thị Monod cho thấy tốc độ oxy hóa nitrite và nồng độ nitrite có dạng đường cong bão hòa (Hình 8). Lúc đầu, ở nồng độ nitrite thấp, tốc độ oxy hóa nitrite tăng nhanh, sau đó giảm dần ở giá trị rmax khi nitrite tăng, phù hợp với mô hình Monod trong các hệ vi sinh vật bám dính.

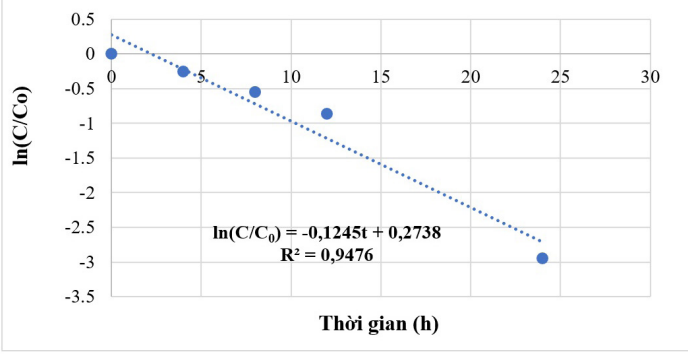
Tốc độ oxy hóa theo mô hình thực nghiệm (ri) và mô hình Monod (r) được thể hiện ở Bảng 5, cho thấy tốc độ oxy hóa nitrite có sự sai lệch thấp, chứng tỏ mô hình Monod có khả

Bảng 4. Nồng độ nitrite (mg/L) ở độ muối khác nhau theo thời gian

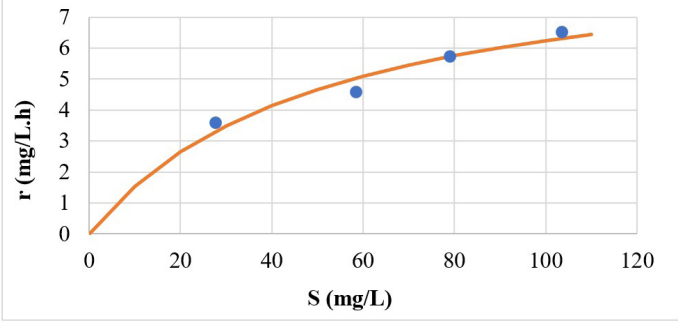
Thời gian (h)	pH					
	4	5	6	7	8	9
0	117,93 ± 3,61	117,27 ± 2,87	115,78 ± 2,24	116,52 ± 2,00	**115,64 ± 2,07**	116,76 ± 2,25
1	116,38 ± 3,27	115,92 ± 3,58	112,45 ± 3,14	97,39 ± 2,65	**108,29 ± 2,32**	111,10 ± 3,65
2	115,54 ± 3,61	115,26 ± 3,85	110,82 ± 4,01	85,19 ± 2,03	**98,94 ± 6,53**	104,50 ± 2,32
3	114,47 ± 4,26	114,84 ± 3,73	108,67 ± 3,21	75,65 ± 1.66	**87,85 ± 13,73**	95,94 ± 1,98
4	114,05 ± 4,13	113,58 ± 3,74	107,03 ± 2,76	67,74 ± 6,54	**80,09 ± 18,46**	83,69 ± 1,85
5	113,53 ± 4,17	112,55 ± 3,13	102,07 ± 2,04	55,86 ± 1,83	**50,81 ± 7,32**	78,92 ± 2,37
6	113,06 ± 3,89	111,57 ± 2,96	97,54 ± 2,50	49,17 ± 4,83	**46,27 ± 10,21**	68,49 ± 1,83
7	112,08 ± 3,45	110,82 ± 2,39	92,67 ± 2,13	40,80 ± 3,29	**22,61 ± 11,80**	59,32 ± 1,96
8	111,43 ± 3,02	109,46 ± 2,03	87,15 ± 1,80	33,65 ± 4,59	**11,38 ± 6,49**	47,63 ± 1,54



Hình 7. Hiệu suất xử lý nitrite ở pH khác nhau



Hình 8. Phương tình động học oxy hóa nitrite



Hình 9. Đồ thị động học nitrite theo Monod

Bảng 5. Tốc độ oxy hóa nitrite thực nghiệm và mô hình

Thời gian (h)	S_i (mg/L)	r_i (mg/L.h)	r (mg/L.h)
0 - 4	103,62	6,52	6,32
4 - 8	79,10	5,74	5,73
8 - 12	58,45	4,58	5,03
12 - 24	27,70	3,60	3,31

năng mô tả tốt dữ liệu thực nghiệm. Như vậy, quá trình nitrite hóa trong hệ lọc sinh học bị chi phối bởi vi sinh vật (Hình 9).

Bên cạnh đó, khi nồng độ nitrite giảm từ 103,62 xuống 27,70 mg/L, tốc độ oxy hóa giảm tương ứng từ 6,52 xuống 3,60 mg/L.h. Xu hướng này cho thấy hệ thống chuyển từ vùng bão hòa sang vùng giới hạn cơ chất, làm giảm tốc độ phản ứng theo thời gian.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã chứng tỏ vi khuẩn nitrate hóa cố định trên giá thể xử lý hiệu quả nitrite trong hệ thống lọc sinh học (hiệu suất đạt 95% sau 24h). Nghiên cứu cũng chứng minh được hiệu quả xử lý bị ảnh hưởng bởi độ mặn và pH.

Độ mặn 10‰ cho hiệu quả xử lý cao nhất (90% nitrite bị loại bỏ sau 8h). Khi tăng độ muối trên 25‰ hiệu quả xử lý giảm mạnh. pH = 8 cho hiệu quả xử lý cao nhất (90% nitrite bị loại bỏ sau 8h).

Bên cạnh đó, phân tích động học cho thấy oxy hóa nitrite trong hệ thống tuân theo phương trình bậc nhất trong giai đoạn đầu và tiến tới trạng thái bão hòa theo mô hình Monod, làm tiền đề để thiết kế và tối ưu quá trình lọc sinh học trong thực tế.

Nghiên cứu phần nào cung cấp cơ sở để giải thích hoặc vận dụng khi vận hành hệ thống tuần hoàn nước hoặc hệ thống ao nuôi tôm thẻ (Penaeus vannamei) trong thực tế. Tuy nhiên, nghiên cứu này vẫn chưa đề cập đến một số vấn đề, cần được làm sáng tỏ ở các nghiên cứu tiếp theo như phân tích cộng đồng vi sinh vật trong hệ thống, ảnh hưởng của một số thông số như nhiệt độ, thời gian lưu nước đến hiệu quả xử lý.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Aquamonitrix. (2021, August). Nitrite & Nitrate in RAS Aquaculture. https://aquamonitrix.com/nitrate-and-nitrite-aquaculture/

2. Bakke, I., Åm, A. L., Kolarevic, J., Ytrestøyl, T., Vadstein, O., Attramadal, K. J. K., & Terjesen, B. F. (2017). Microbial community dynamics in semi-commercial RAS for production of Atlantic salmon post-smolts at different salinities. Aquacultural Engineering, 78, 42–49. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2016.10.002

3. Boris, N., Holger, D., & Eva, S. (2015). Comparison of Oxidation Kinetics of Nitrite-Oxidizing Bacteria: Nitrite Availability as a Key Factor in Niche Differentiation. Applied and Environmental Microbiology, 81(2), 745–753. https://doi.org/10.1128/AEM.02734-14

4. Cortés-Lorenzo, C., Rodríguez-Díaz, M., Sipkema, D., Juárez-Jiménez, B., Rodelas, B., Smidt, H., & González-López, J. (2015). Effect of salinity on nitrification efficiency and structure of ammonia-oxidizing bacterial communities in a submerged fixed bed bioreactor. Chemical Engineering Journal, 266, 233–240. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.12.083

5. Delos Reyes, A. A., & Lawson, T. B. (1996). Combination of a bead filter and rotating biological contactor in a recirculating fish culture system. Aquacul-

tural Engineering, 15(1), 27–39. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0144-8609(95)00005-Y.

6. Forster, J. R. M. (1974). Studies on nitrification in marine biological filters. Aquaculture, 4, 387–397. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0044-8486(74)90067-2.

7. Geetha, P., Rejish Kumar, V. J., & Singh, I. (2021). Nitrification and denitrification in recirculating aquaculture systems: the processes and players. Reviews in Aquaculture, 13. https://doi.org/10.1111/raq.12558

8. Gonzalez-Silva, B. M., Jonassen, K. R., Bakke, I., Østgaard, K., & Vadstein, O. (2016). Nitrification at different salinities: Biofilm community composition and physiological plasticity. Water Research, 95, 48–58. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.02.050

9. Grunditz, C., & Dalhammar, G. (2001). Development of nitrification inhibition assays using pure cultures of Nitrosomonas and Nitrobacter. Water Research, 35(2), 433–440. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00312-2

10. Hagopian, D. S., & Riley, J. G. (1998). A closer look at the bacteriology of nitrification. Aquacultural Engineering, 18(4), 223–244. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0144-8609(98)00032-6.

11. Iber, B. T., & Kasan, N. A. (2021). Recent advances in Shrimp aquaculture wastewater management. Heliyon, 7(11), e08283. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08283

12. Jiang, W., Liu, T., Li, S., Li, L., Xu, K., Wang, G., & Guo, E. (2025). The Different Spatial Distribution Patterns of Nitrifying and Denitrifying Microbiome in the Biofilters of the Recirculating Aquaculture System. Microorganisms, 13(8). https://doi.org/10.3390/microorganisms13081833

13. Kocour Kroupová, H., Máchová, J., & Svobodova, Z. (2005). Nitrite influence on fish: a review. Veterinární Medicína, 50, 461–471. https://doi.org/10.17221/5650-VETMED

14. Lewandowski, Z., & Boltz, J. (2011). Biofilms in Water and Wastewater Treatment. In Treatise on Water Science (Vol. 4, pp. 529–570). https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53199-5.00095-6.

15. Lewis, W. M. , Jr. and M. D. P. (1986). Toxicity of Nitrite to Fish: A Review. Transactions of the American Fisheries Society, 115(2), 183–195. https://doi.org/10.1577/1548-8659(1986)115<183:TONTF>2.0.CO;2

16. Lin, Y.-H., & Gu, Y.-J. (2020). Denitrification Kinetics of Nitrate by a Heterotrophic Culture in Batch and Fixed-Biofilm Reactors. Processes, 8(5). https://doi.org/10.3390/pr8050547

17. Liwarska-Bizukojc, E., & Bizukojc, M. (2012). A new approach to determine the kinetic parameters for nitrifying microorganisms in the activated sludge systems. Bioresource Technology, 109, 21–25. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.01.011

18. Md, F., Yusoff, F., Sanjoy, bullet, bullet, B., Khatoon, H., & Shariff, M. (2011). Biological Approaches in Management of Nitrogenous Compounds in Aquaculture Systems. Dynamic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology.

19. Nguyen, V. C. N., Nguyen, V. C., Nguyen, H. H., & Ly, T. H. (2025). Wastewater from Aquaculture and Aquatic Products Processing: Current Situation and Treatment Suggestions in Shrimp Capital Bac Lieu Province, Vietnam. In W. Boonpook, Z. Lin, N. K. Downes, & Q. C. Truong (Eds.), Applied Geography and Geoinformatics for Sustainable Development (pp. 71–96). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84308-2_6

20. Peirong, Z., & Wei, L. (2013). Use of fluidized bed biofilter and immobilized Rhodopseudomonas palustris for ammonia removal and fish health maintenance in a recirculation aquaculture system. Aquaculture Research, 44. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03038.x

21. Preena, P. G. and R. K. V. J. and S. I. S. B. (2021). Nitrification and denitrification in recirculating aquaculture systems: the processes and players. Reviews in Aquaculture, 13, 2053–2075. https://doi.org/10.1111/raq.12558

22. Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y., & Lygren, E. (2006). Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. Aquacultural Engineering, 34(3), 322–331. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.04.002

23. Saini, S., Tewari, S., Dwivedi, J., & Sharma, V. (2023). Biofilm-mediated wastewater treatment: a comprehensive review. Materials Advances, 4(6), 1415–1443. https://doi.org/https://doi.org/10.1039/d2ma00945e

24. Srinivasan, V., Kumar, D., Thirunavukkarasu, N., Nesakumari, C., & Yuvaraj, D. (2025). Water Quality Dynamics And Their Impact On Growth Performance Of Litopenaeus Vannamei In Semi-Intensive Farms Along Southeast Coast Of India. International Journal of Environmental Sciences, 2167–2179. https://doi.org/10.64252/arrvqb33

25. Tangkitjawisut, W., Limpiyakorn, T., Powtongsook, S., Pornkulwat, P., & Suwannasilp, B. B. (2016). Differences in nitrite-oxidizing communities and kinetics in a brackish environment after enrichment at low and high nitrite concentrations. Journal of Environmental Sciences, 42, 41–49. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.07.014

26. Thomsen, J., Geest, T., & Cox, R. (1994). Mass Spectrometric Studies of the Effect of pH on the Accumulation of Intermediates in Denitrification by Paracoccus denitrificans. Applied and Environmental Microbiology, 60, 536–541. https://doi.org/10.1128/AEM.60.2.536-541.1994

27. Zan, F., Ma, H., Xiao, C., Chen, G., & Wu, D. (2022). Moving-bed biofilm reactor for saline wastewater treatment: Different types of carriers, versatile nitrifying reactions, and functional microbial groups. Journal of Water Process Engineering, 50, 103274. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103274

28. Zhang, H., Wang, H., Jie, M., Zhang, K., Qian, Y., & Ma, J. (2020). Performance and microbial communities of different biofilm membrane bioreactors with pre-anoxic tanks treating mariculture wastewater. Bioresource Technology, 295, 122302. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122302

GIẢI PHÁP QUẢN LÝ TỔNG HỢP TÀI NGUYÊN VÀ BẢO VỆ MÔI TRƯỜNG HỆ THỐNG VỊNH VEN BỜ VIỆT NAM: NGHIÊN CỨU ĐIỂN HÌNH TẠI VỊNH XUÂN ĐÀI (TỈNH ĐẮK LẮK)

HOÀNG TRƯỞNG[1]*, NGUYỄN KHẮC ĐOÀN[1], DƯ VĂN TOÁN[1]
[1]Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn, Môi trường và Biển - Bộ Nông nghiệp và Môi trường

Tóm tắt
Hệ thống vịnh ven bờ Việt Nam là những thực thể địa lý đặc thù, vừa giữ vai trò chiến lược trong phát triển kinh tế biển, quốc phòng và đời sống cộng đồng ven biển, vừa là các khu vực nhạy cảm về sinh thái với đa dạng sinh học cao và khả năng cung cấp các dịch vụ hệ sinh thái thiết yếu, như: Bảo vệ bờ biển, duy trì nguồn lợi thủy sản và hỗ trợ các hoạt động kinh tế - xã hội. Tuy nhiên, dưới áp lực gia tăng của các hoạt động khai thác tài nguyên đơn ngành, như nuôi trồng thủy sản lồng bè, phát triển du lịch và đô thị hóa ở vùng ven biển, nhiều vịnh đang đối mặt với hiện tượng suy giảm chất lượng môi trường, ô nhiễm cục bộ và xung đột lợi ích trong sử dụng không gian biển. Điều đó khẳng định tính tất yếu của việc chuyển đổi sang cơ chế quản lý tổng hợp vùng bờ - nơi các quyết định quản trị được thực thi trên nền tảng tiếp cận hệ sinh thái và điều phối đa ngành. Trên cơ sở phân tích hiện trạng tài nguyên, rủi ro ô nhiễm môi trường và các xung đột lợi ích diễn ra tại các vịnh ven bờ, bài báo đề xuất khung giải pháp quản lý tổng hợp vùng bờ dựa trên tiếp cận hệ sinh thái, trong đó nhấn mạnh nguyên tắc phát triển bền vững, kiểm soát ô nhiễm, giám sát môi trường và tăng cường sự tham gia của cộng đồng với vịnh Xuân Đài, tỉnh Đắk Lắk được lựa chọn làm trường hợp điển hình để kiểm chứng và minh họa các giải pháp, góp phần phát triển bền vững kinh tế biển theo tinh thần Nghị quyết số 36-NQ/TW.
Từ khóa: *Vịnh, quản lý tổng hợp vùng bờ (ICM), tiếp cận hệ sinh thái, ô nhiễm môi trường biển, phát triển bền vững.*
Ngày nhận bài*: 25/2/2026;* ***Ngày sửa chữa:*** *26/3/2026****; Ngày duyệt đăng****: 1/4/2026.*

Integrated resource management and environmental protection solutions for Vietnam's coastal bay systems: A case study of Xuan Dai bay (Dak Lak province)

Abstract
The coastal bay systems of Vietnam constitute distinct geographical entities that serve critical strategic functions in maritime economic development, national defense, and the livelihoods of coastal communities. Concurrently, these systems are ecologically sensitive areas characterized by high biodiversity and the capacity to provide essential ecosystem services, including coastal protection, maintenance of aquatic resources, and support for socio-economic activities. However, driven by escalating pressure from single-sector resource exploitation-such as cage aquaculture, tourism development, and coastal urbanization-many of these bays are currently confronting environmental degradation, localized pollution, and spatial use conflicts. This situation underscores the imperative for transitioning toward an Integrated Coastal Management (ICM) framework, wherein governance decisions are grounded in an ecosystem-based approach and multi-sectoral coordination. Based on an analysis of current resource conditions, environmental pollution risks, and sectoral conflicts within these coastal bays, this paper proposes an ecosystem-based ICM framework. This framework emphasizes principles of sustainable development, pollution control, environmental monitoring, and the strengthening of community engagement. Xuan Dai Bay is selected as a case study to validate and illustrate these proposed solutions, thereby contributing to the sustainable development of the marine economy, in alignment with the spirit of Resolution 36-NQ/TW.
Keywords: *Bays, Integrated Coastal Management (ICM), Ecosystem-based approach, Marine environmental pollution, Sustainable development.*
JEL Classifications: *O13, P18, P48, Q53.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong xu thế phát triển bền vững kinh tế biển toàn cầu, quản lý tổng hợp vùng bờ đã trở thành khung pháp lý và kỹ thuật tất yếu. Các hệ thống vịnh, với tư cách là những cấu trúc địa mạo đặc thù, sở hữu giá trị đa dạng sinh học vượt trội và đóng vai trò là "vùng đệm" cung cấp các dịch vụ hệ sinh thái trọng yếu [5]. Trên phạm vi quốc tế, nhiều nghiên cứu điển hình tại các khu vực như vùng ven biển Địa Trung Hải hay các vịnh ở Đông Nam Á đã chỉ ra rằng các hệ thống này đang chịu áp lực cộng dồn (cumulative impacts) từ sự kết hợp giữa gia tăng dân số, ô nhiễm xuyên biên giới và biến đổi khí hậu [6,8]. Đặc biệt, các mô hình quản lý dựa trên hệ sinh thái (Ecosystem-based approach) tại các vịnh bị chia cắt bởi hoạt động kinh tế đã được chứng minh là chiến lược tối ưu nhằm giải quyết bài toán "thắt chặt không gian ven bờ" và cân bằng giữa khai thác thủy sản với bảo tồn đa dạng sinh học. Việc áp dụng cách tiếp cận này không chỉ là giải pháp bảo tồn thụ động mà còn là chiến lược chủ động để duy trì sức khỏe của đại dương trước áp lực phát triển.

Tại Việt Nam, vịnh Xuân Đài được ghi nhận là một trong những hệ thống vịnh tiêu biểu với diện tích mặt nước lớn và cảnh quan địa hình đặc sắc, đã được xếp hạng Danh thắng quốc gia. Với định hướng trở thành Khu du lịch quốc gia, vịnh không chỉ là biểu tượng văn hóa - tự nhiên mà còn là "trung tâm" kinh tế thủy sản, đóng góp tỷ trọng lớn vào sinh kế cộng đồng và GRDP của tỉnh. Tuy nhiên, về mặt thủy văn, đây là không gian tiếp nhận trực tiếp dòng vật chất từ các lưu vực sông và hoạt động phát triển từ đất liền ra biển. Đặc điểm này tạo nên một hệ sinh thái có tính nhạy cảm cao, nơi mọi biến động từ thượng nguồn hay ven bờ đều có thể dẫn đến những hệ lụy môi trường nghiêm trọng.

Thực trạng tại vịnh Xuân Đài phản ánh một thách thức chung mà nhiều vịnh ven bờ trên thế giới đang đối mặt: Sự mất cân bằng giữa khả năng phục hồi của hệ sinh thái và cường độ khai thác của con người. Những năm gần đây, hoạt động nuôi trồng thủy sản phát triển tự phát, có nguy cơ vượt quá sức chịu tải của môi trường (Carrying capacity) theo quy hoạch, kết hợp với việc xả thải trực tiếp chất thải hữu cơ và rác thải nhựa đã dẫn đến hiện tượng phú dưỡng, suy giảm chất lượng nước và gia tăng rủi ro dịch bệnh [2]. Tương tự như các mô hình quản trị thất bại tại một số vịnh ven bờ ở các nước đang phát triển, sự chồng lấn trong sử dụng không gian giữa du lịch và nuôi trồng thủy sản tại Xuân Đài đang tạo ra các xung đột lợi ích gay gắt. Công tác quản lý hiện nay vẫn bộc lộ những hạn chế về: Thiếu tính liên ngành, thiếu các công cụ kiểm soát ô nhiễm hữu hiệu dựa trên mô hình mô phỏng môi trường, và đặc biệt là chưa phát huy tối đa vai trò giám sát của cộng đồng tại chỗ theo cơ chế đồng quản lý (Co-management) đã thành công ở nhiều quốc gia.

Xuất phát từ những vấn đề nêu trên, việc nghiên cứu đề xuất các giải pháp quản lý tổng hợp tài nguyên và BVMT cho vịnh Xuân Đài là hết sức cần thiết, có ý nghĩa cả về khoa học và thực tiễn. Kết quả nghiên cứu này không chỉ góp phần nâng cao hiệu quả quản lý tại vịnh Xuân Đài mà còn là tài liệu tham khảo giá trị cho việc quản lý các hệ thống vịnh ven bờ khác ở Việt Nam trong bối cảnh phát triển bền vững kinh tế biển. Bài báo tập trung phân tích các đặc điểm tự nhiên, hiện trạng khai thác sử dụng tài nguyên và các vấn đề môi trường tại vịnh Xuân Đài, đối sánh với kinh nghiệm quốc tế. Trên cơ sở đó, nhóm tác giả đề xuất khung giải pháp quản lý vịnh phù hợp, có tính khả thi và gợi mở khả năng nhân rộng cho các trường hợp tương tự.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu trong bài báo là vịnh Xuân Đài, tỉnh Đắk Lắk, kết hợp tham khảo một số kinh nghiệm quốc tế để gợi ý cho khả năng tham khảo nhân rộng ra các vịnh ven bờ tương tự ở nước ta.

2.2. Nguồn dữ liệu

- Dữ liệu sơ cấp: Kết quả quan trắc chất lượng nước, trầm tích vịnh Xuân Đài thuộc dự án: Điều tra, đánh giá hiện trạng khai thác, sử dụng một số vũng vịnh ven biển Việt Nam phục vụ công tác hoạch định chính sách quản lý và sử dụng bền vững của Bộ Tài nguyên và Môi trường (2021).

- Dữ liệu thứ cấp: Các báo cáo hiện trạng môi trường tỉnh Đắk Lắk, quy hoạch phát triển kinh tế - xã hội địa phương và hệ thống văn bản quy phạm pháp luật (Luật Tài nguyên, môi trường biển và hải đảo 2015, Luật BVMT năm 2020, Nghị quyết số 139/2024/QH15, Luật Quy hoạch 2017).

2.3. Phương pháp nghiên cứu

- Tổng hợp có chọn lọc kinh nghiệm quốc tế về tiếp cận quản lý tổng hợp vùng bờ, thông qua việc lựa chọn, phân tích và hệ thống hóa các mô hình quản lý tiêu biểu trên thế giới, kết hợp đánh giá khả năng áp dụng trong điều kiện Việt Nam. Trên nền tảng đó, các kinh nghiệm phù hợp được chắt lọc và áp dụng, như các nguyên tắc quản lý dựa vào hệ sinh thái và cơ chế phối hợp đa ngành cho vịnh Xuân Đài và các vịnh ven bờ Việt Nam.

- Phương pháp xây dựng và đề xuất giải pháp quản lý tích hợp dựa trên kết quả phân tích hiện trạng và các bài học từ kinh nghiệm quốc tế,… nói trên. Nghiên cứu tập trung xây dựng một hệ thống giải pháp đa chiều, tích hợp giữa các công cụ kỹ thuật, cơ chế điều phối liên ngành và giải pháp công nghệ tiên tiến (như hệ thống giám sát thời gian thực). Các đề xuất được

thiết lập theo lộ trình từ ngắn hạn đến dài hạn, đảm bảo tính khả thi về mặt tài chính và phù hợp với năng lực quản trị của địa phương. Đặc biệt, phương pháp này chú trọng đến việc thiết lập các mô hình đồng quản lý, đảm bảo sự hài hòa giữa mục tiêu bảo tồn đa dạng sinh học và nhu cầu sinh kế bền vững của cộng đồng người dân địa phương, góp phần nâng cao hiệu lực, hiệu quả của công tác quản lý tài nguyên vịnh trong bối cảnh mới.

- Phương pháp tổng hợp, phân tích và hệ thống hóa dữ liệu đóng vai trò chủ đạo trong việc xử lý các nguồn thông tin thứ cấp, bao gồm các dữ liệu quan trắc môi trường, báo cáo kinh tế - xã hội và các công trình nghiên cứu đã công bố liên quan đến khu vực vịnh Xuân Đài. Quá trình phân tích được thực hiện thông qua việc bóc tách các mối quan hệ nhân quả giữa hoạt động phát triển kinh tế (như nuôi trồng thủy sản, du lịch) và sự biến đổi của chất lượng hệ sinh thái. Bằng cách sử dụng các bộ chỉ thị đánh giá mức độ rủi ro ô nhiễm, nghiên cứu tiến hành tổng hợp các mâu thuẫn trong khai thác tài nguyên. Việc hệ thống hóa dữ liệu theo các lớp thông tin giúp nhận diện rõ rệt những lỗ hổng trong công tác quản lý hiện tại, từ đó xác lập các luận cứ khoa học tin cậy để làm nền tảng cho việc thiết lập các ưu tiên BVMT trong dài hạn.

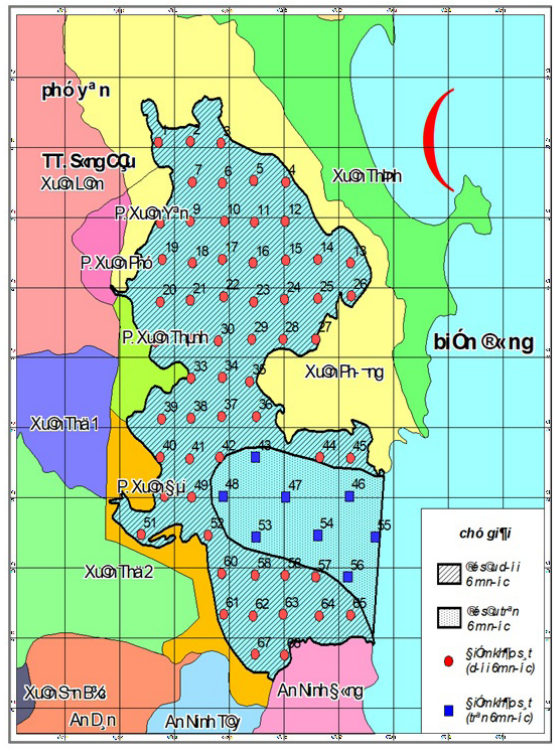
Để tính toán rủi ro ô nhiễm tại vịnh Xuân Đài, bài báo tiến hành xây dựng bộ chỉ thị đánh giá mức độ rủi ro ô nhiễm môi trường cho vịnh Xuân Đài dựa trên khung lý thuyết DPSIR (Động lực - Áp lực - Trạng thái - Tác động - Đáp ứng), nhằm liên kết các yếu tố kinh tế - xã hội với biến đổi môi trường tại khu vực. Dựa vào số liệu quan trắc mẫu nước, mẫu trầm tích tại vịnh Xuân Đài năm 2019 [1], bộ chỉ thị tập trung phân tích các rủi ro phát sinh từ sự xung đột lợi ích giữa hoạt động nuôi trồng thủy sản lồng bè và phát triển du lịch sinh thái, làm cơ sở khoa học cho công tác quản lý tài nguyên và BVMT hệ sinh thái vịnh (Hình 1).

a) Nhóm chỉ thị về áp lực và nguồn thải

Nhóm chỉ thị áp lực đóng vai trò là "biến độc lập" trong mô hình quản lý, định lượng trực tiếp các tác nhân gây nhiễu loạn hệ sinh thái từ hoạt động nhân sinh. Tại vịnh Xuân Đài, áp lực lớn nhất đến từ mật độ lồng bè nuôi trồng thủy sản và lượng thức ăn dư thừa phát tán ra môi trường. Việc định lượng tải lượng ô nhiễm từ nitơ và phốt pho trong nước thải sinh hoạt, du lịch (m^3/ngày đêm) và từ lưu vực sông suối đổ vào vịnh trong mùa mưa là cơ sở để xác định ngưỡng chịu tải của vùng nước. Đặc biệt, sự hiện diện của rác thải nhựa trôi nổi và rác thải đáy không chỉ gây ô nhiễm vật lý mà còn là vật chủ trung gian cho các vi sinh vật gây bệnh, tạo ra áp lực kép lên sức khỏe môi trường biển.

b) Nhóm chỉ thị về trạng thái và chất lượng môi trường

Nhóm chỉ thị trạng thái phản ánh "phản ứng hóa học và sinh học" của môi trường trước các áp lực thải lượng, được minh chứng qua các thông số lý - hóa trong nước và trầm



Hình 1. Sơ đồ trạm quan trắc và vị trí lấy mẫu tại vịnh Xuân Đài (nguồn: Bộ Tài nguyên và Môi trường (2021), Báo cáo tổng kết dự án: Điều tra, đánh giá hiện trạng khai thác, sử dụng một số vũng vịnh ven biển Việt Nam phục vụ công tác hoạch định chính sách quản lý và sử dụng bền vững, Hà Nội, 2021)

tích. Kết quả quan trắc cho thấy nồng độ dinh dưỡng như NH_4^+, NO_3^- và PO_4^{3-} đang ở ngưỡng cần kiểm soát, là chỉ dấu cho quá trình tích tụ hữu cơ tầng đáy. Sự biến đổi cấu trúc thành phần loài thực vật phù du và mật độ vi khuẩn gây bệnh là những "cảm biến sinh học" nhạy cảm, cho phép phát hiện sớm hiện tượng tảo nở hoa hoặc suy thoái rạn san hô. Đồng thời, hàm lượng kim loại nặng tích tụ trong trầm tích (Cu, Zn, Pb) đóng vai trò là ngân hàng lưu giữ ô nhiễm, có khả năng giải phóng ngược lại cột nước khi điều kiện môi trường thay đổi.

c) Nhóm chỉ thị về mức độ rủi ro và tác động

Nhóm chỉ thị tác động là thước đo về mức độ tổn thương của hệ thống, chuyển đổi các biến đổi môi trường thành những thiệt hại cụ thể về kinh tế và đa dạng sinh học. Tần suất bùng phát dịch bệnh trên tôm hùm có mối liên hệ mật thiết với sự suy giảm oxy hòa tan (DO) và gia tăng khí độc từ bùn đáy, gây ra những tổn thất trực tiếp cho cộng đồng ngư dân. Việc suy giảm chỉ số đa dạng sinh học và thu hẹp diện tích các thảm cỏ biển không chỉ làm mất đi nơi cư trú của các loài thủy

sinh mà còn làm yếu đi khả năng tự làm sạch của vịnh. Đây chính là hồi chuông cảnh báo về sự mất cân bằng giữa phát triển kinh tế và bảo tồn thiên nhiên.

d) Nhóm chỉ thị về năng lực đáp ứng và quản lý

Nhóm chỉ thị đáp ứng thể hiện tính chủ động của con người trong việc điều chỉnh hành vi và chính sách nhằm giảm thiểu rủi ro môi trường. Hiệu quả quản lý được đánh giá qua tỷ lệ bao phủ của hệ thống quan trắc (tự động hoặc định kỳ) và mức độ tuân thủ quy hoạch lồng bè của người dân. Năng lực thu gom, xử lý rác thải nhựa và nước thải ven bờ đạt chuẩn chính là chìa khóa để cắt giảm "áp lực" đầu vào, tạo điều kiện cho "trạng thái" môi trường phục hồi. Một hệ thống đáp ứng logic và kịp thời sẽ giúp chuyển dịch từ quản lý sự cố sang quản lý rủi ro chủ động, đảm bảo sự phát triển bền vững cho vịnh Xuân Đài.

Để cụ thể hóa bộ chỉ thị DPSIR cho khu vực vịnh Xuân Đài, bài báo thiết kế bảng tính toán trọng số (Wi) dựa trên phương pháp phân tích thứ bậc đơn giản hóa. Việc xác định trọng số này giúp bạn ưu tiên các nguồn lực quản lý vào những nhóm chỉ thị có tác động lớn nhất đến rủi ro môi trường.

Bước 1: Lập ma trận so sánh cặp

Bài báo tiến hành lập ma trận so sánh tầm quan trọng của từng cặp chỉ thị theo thang điểm từ 1 (quan trọng bằng nhau) đến 9 (quan trọng tuyệt đối).

Chỉ thị	Áp lực (P)	Trạng thái (S)	Tác động (I)	Đáp ứng (R)
Áp lực (P)	1	2	3	4
Trạng thái (S)	1/2	1	2	3
Tác động (I)	1/3	1/2	1	2
Đáp ứng (R)	1/4	1/3	1/2	1
Tổng	**2.08**	**3.83**	**6.50**	**10.00**

Giải thích logic: Áp lực (P) được đánh giá quan trọng hơn Trạng thái (S) vì tại Xuân Đài, việc kiểm soát nguồn thải từ lồng bè là ưu tiên hàng đầu để ngăn chặn ô nhiễm.

Bước 2: Chuẩn hóa ma trận và tính trọng số W_i

Chia mỗi giá trị trong ô cho tổng cột tương ứng, sau đó tính trung bình cộng theo hàng để tìm W_i

$$Wi=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{aij}{\sum_{i=0}^{n} aij}$$

Bước 3: Kiểm tra tính nhất quán

Để đảm bảo việc gán điểm ở Bước 1 không bị cảm tính, ta tính Chỉ số nhất quán (C_I) và Tỷ số nhất quán (C_R).

Nếu $C_R < 0.1$ trọng số được chấp nhận.

Nếu $C_R \leq 0.1$ phải thực hiện đánh giá lại ma trận so sánh cặp.

Bước 4: Áp dụng vào chỉ số rủi ro tổng hợp (R)

Sau khi có W_i, chỉ số rủi ro môi trường tổng thể cho từng trạm được tính theo công thức:

$$R = \sum(I_i - W_i)$$

Trong đó I_i là giá trị chuẩn hóa của từng chỉ thị (ví dụ: nồng độ Cu, TP, TN đã được quy đổi về thang điểm 0-1).

Để tính toán cụ thể Chỉ số rủi ro tổng hợp (ERI - Environmental Risk Index) cho khu vực vịnh Xuân Đài, cần thực hiện theo công thức:

$$ERI = \sum_{i=1}^{n}(W_i \times q_i)$$

ERI: Chỉ số rủi ro tổng hợp.

W_i: Trọng số của nhóm chỉ thị thứ i (đã tính bằng phương pháp AHP ở bước trước).

q_i: Giá trị rủi ro đã chuẩn hóa của nhóm chỉ thị thứ i (thang điểm 0 - 1).

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Chất lượng môi trường và rủi ro ô nhiễm môi trường

3.1.1. Chất lượng môi trường

Chất lượng môi trường tại các vịnh ven bờ Việt Nam nhìn chung vẫn được duy trì, song đã xuất hiện xu hướng suy giảm cục bộ dưới tác động của các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội. Sự gia tăng tải lượng chất dinh dưỡng, chất hữu cơ và vi sinh vật tại các khu vực nuôi trồng thủy sản tập trung và vùng ven bờ đô thị đã làm gia tăng nguy cơ phú dưỡng và suy thoái chất lượng nước. Cùng với đó, sự suy giảm diện tích và chất lượng của các hệ sinh thái nhạy cảm phản ánh rõ nét tác động tích lũy của ô nhiễm, khai thác quá mức và biến đổi khí hậu, cho thấy tính dễ tổn thương cao của các hệ thống vịnh khi vượt quá ngưỡng chịu tải sinh thái [6].

Về chất lượng môi trường tại vịnh Xuân Đài nhìn chung vẫn duy trì ở mức tương đối tốt, tuy nhiên đã xuất hiện các dấu hiệu suy giảm cục bộ dưới tác động của các hoạt động kinh tế. Kết quả nghiên cứu cho thấy tại các khu vực nuôi trồng thủy sản lồng bè và vùng ven bờ dân cư, hàm lượng chất hữu cơ, chất dinh dưỡng (N, P) và Tổng Coliform (TC) có xu hướng gia tăng, làm gia tăng nguy cơ phú dưỡng cục bộ [3,4]. Theo [6], các hệ sinh thái biển ven bờ trên toàn cầu, bao gồm các vịnh kín, thường rất nhạy cảm với áp lực nhân sinh và dễ bị suy giảm chất lượng môi trường khi vượt quá sức tải. Bên cạnh đó, một số nghiên cứu trong nước cũng ghi nhận xu hướng suy giảm độ phủ rạn san hô và chất lượng thảm cỏ biển tại các khu vực chịu tác động mạnh của hoạt động nuôi trồng và khai thác ven

bờ, phản ánh tác động tổng hợp của ô nhiễm, biến đổi môi trường và khai thác quá mức.

3.1.2. Tính toán và đánh giá rủi ro ô nhiễm môi trường

Kết quả tính toán tính trọng số W_i:

W_P (Áp lực): (1/2.08 + 2/3.83 + 3/6.50 + 4/10.00)/4 ≈0.46

W_S (Trạng thái): (0.5/2.08 + 1/3.83 + 2/6.50 + 3/10.00)/4 4 ≈0.28

W_I (Tác động): (0.33/2.08 + 0.5/3.83 + 1/6.50 + 2/10.00)/4 4 ≈0.16

W_R (Đáp ứng): (0.25/2.08 + 0.33/3.83 + 0.5/6.50 + 1/10.00)/4 4 ≈0.10.

Với trọng số Áp lực (W_P) cao nhất (0.46), mô hình khẳng định rằng rủi ro tại Xuân Đài chịu chi phối mạnh mẽ nhất bởi các nguồn thải từ nuôi trồng thủy sản (T_P đạt 0,459 mg/l) và nước thải sinh hoạt (Amoni đạt 0,121 mg/l). Việc tập trung nguồn lực vào nhóm "Đáp ứng" (hạ tầng xử lý) sẽ mang lại hiệu quả cải thiện "Trạng thái" nhanh nhất.

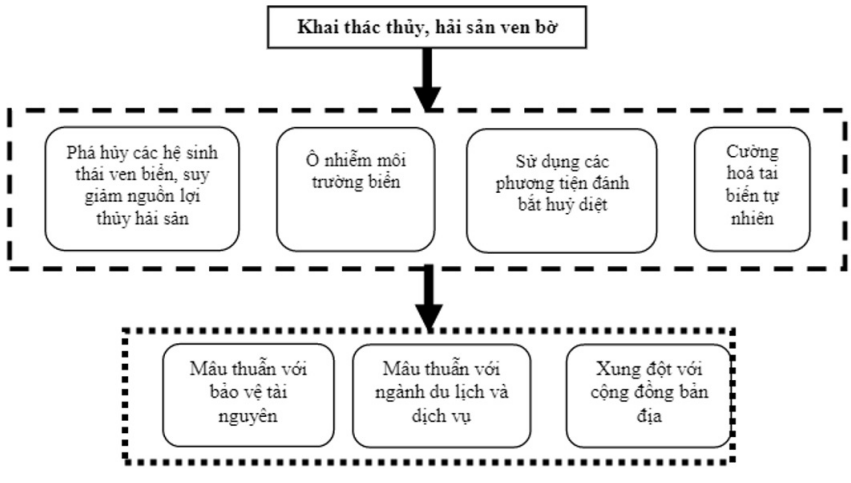
Kết quả tính toán chỉ số rủi ro tổng hợp tại vịnh Xuân Đài

Sau tính toán chỉ số rủi ro tổng hợp ERI = 0.768.

Có thể khẳng định rằng chất lượng môi trường tại vịnh Xuân Đài đang nằm trong phân khúc rủi ro cao, với những dấu hiệu suy thoái mang tính hệ thống và cục bộ rõ rệt.

3.2. Đánh giá sự xung đột trong khai thác tài nguyên

Hiện nay, các vịnh ven bờ đang đối mặt với những bất cập đáng kể về thể chế và quản lý, đặc biệt là sự phân tán trong chức năng quản lý, thiếu phối hợp liên ngành và hạn chế trong kiểm soát sức chịu tải của môi trường. Việc phát triển kinh tế thiếu quy hoạch không gian tổng thể đã dẫn đến chồng lấn trong sử dụng tài nguyên và gia tăng xung đột lợi ích giữa các ngành, lĩnh vực. Những áp lực này, cùng với tác động ngày càng gia tăng của biến đổi khí hậu và phát triển hạ tầng ven biển, đặt ra yêu cầu cấp thiết phải chuyển đổi sang mô hình quản lý tổng hợp vùng bờ dựa trên tiếp cận hệ sinh thái, nhằm đảm bảo hài hòa giữa khai thác, sử dụng và bảo vệ tài nguyên, hướng tới mục tiêu phát triển bền vững.



Hình 2. Sơ đồ mô phỏng mâu thuẫn giữa khai thác thủy sản với các ngành khác trong quá trình sử dụng vùng biển ven bờ vịnh Xuân Đài

Mặc dù hội tụ nhiều điều kiện thuận lợi và tiềm năng phát triển dồi dào, vịnh Xuân Đài hiện đang đối mặt với những thách thức đáng kể trong công tác quản lý, khai thác và tối ưu hóa hiệu quả sử dụng nguồn tài nguyên thiên nhiên [1].

Bất cập trong công tác quản lý và kiểm soát cường lực khai thác sự gia tăng tự phát và thiếu kiểm soát về số lượng tàu thuyền công suất nhỏ đang đặt áp lực nặng nề lên nguồn lợi thủy sản ven bờ vịnh Xuân Đài. Hiện nay, việc thực thi các quy định về quản lý nghề cá - bao gồm kích thước mắt lưới tiêu chuẩn, phân vùng khai thác và các mốc thời gian cấm đánh bắt-vẫn chưa đạt được hiệu quả mong muốn. Tình trạng di chuyển ngư trường tự do không theo quy hoạch đã xâm phạm trực tiếp vào các bãi đẻ tự nhiên, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến chu trình tái tạo quần đàn và chất lượng môi trường sống của các loài tôm, cá trong khu vực.

Hệ lụy kinh tế - xã hội từ phương thức khai thác tận diệt Dưới áp lực sinh kế, một bộ phận lớn ngư dân đã sử dụng các ngư cụ thiếu tính chọn lọc như lưới kéo và lưới rê ba lớp, dẫn đến tình trạng cạn kiệt nguồn tài nguyên thiên nhiên. Phương thức khai thác mang tính tận thu này không chỉ phá vỡ sự cân bằng sinh thái mà còn đe dọa trực tiếp đến an ninh lương thực và sự ổn định kinh tế của hàng nghìn hộ dân ven vịnh. Đặc biệt, đối với nhóm ngư dân thiếu nguồn vốn để trang bị phương tiện đánh bắt xa bờ, sự suy thoái của ngư trường ven bờ sẽ trở thành tác nhân chính đẩy các cộng đồng này vào vòng xoáy nghèo đói và mất an ninh dân sinh.

Tác động tiêu cực của hoạt động tàu thuyền đến hệ sinh thái nhạy cảm Việc sử dụng các công cụ khai thác có tính hủy diệt như cào tầng đáy và lưới mắt nhỏ không chỉ làm suy giảm trữ lượng hải sản mà còn gây biến đổi cấu trúc môi trường nước, làm gia tăng độ đục và nhiễu loạn các hệ sinh thái quan trọng như rạn san hô, thảm cỏ biển và rong tảo. Song song đó, tình trạng xả thải trực tiếp dầu máy, nước dằn tàu và rác thải sinh hoạt từ các phương tiện đánh bắt đã khiến môi trường nước và

trầm tích bị ô nhiễm hữu cơ nghiêm trọng. Hoạt động cung ứng nhiên liệu thiếu cơ chế kiểm soát ô nhiễm còn làm gia tăng nguy cơ tích tụ kim loại nặng và các hợp chất độc hại (PCBs), gây tổn hại lâu dài đến sức khỏe hệ sinh thái vịnh.

Quá tải chất thải từ hoạt động nuôi trồng thủy sản lồng bè Sự phát triển ồ ạt của các lồng bè nuôi trồng thủy sản ngoài quy hoạch đang tạo ra thách thức lớn cho các cơ quan quản lý trong việc kiểm soát tải lượng chất thải đổ ra vịnh. Trung bình mỗi ô lồng phát thải một lượng đáng kể thức ăn dư thừa và chất thải hữu cơ từ quá trình chăn nuôi, kết hợp với rác thải sinh hoạt và túi nilon được thải trực tiếp xuống biển. Quá trình tích tụ hữu cơ này đã và đang làm biến đổi đặc tính lý - hóa của nguồn nước, gây hiện tượng ô nhiễm lớp nước mặt, gia tăng nhiệt độ tầng đáy và phát sinh mùi khó chịu, làm suy giảm khả năng tự làm sạch tự nhiên của môi trường vịnh.

Xung đột lợi ích đa ngành và sự suy giảm giá trị du lịch Tình trạng suy thoái môi trường và thiếu quy hoạch rõ ràng đã làm phát sinh các mâu thuẫn xã hội phức tạp, đặc biệt là sự xung đột lợi ích giữa ngành khai thác thủy sản và ngành du lịch - dịch vụ. Việc tranh chấp ngư trường giữa các nhóm cộng đồng ngư dân địa phương và ngoại tỉnh, kết hợp với sự xuống cấp của cảnh quan thiên nhiên, đã làm giảm đáng kể sức hấp dẫn du lịch của vịnh Xuân Đài. Hệ quả tất yếu là lượng khách tham quan sụt giảm, gây thiệt hại về kinh tế và cản trở mục tiêu phát triển bền vững đa ngành mà địa phương đang hướng tới.

Việc phát triển các ngành kinh tế như nuôi trồng thủy sản, du lịch và khai thác ven bờ còn thiếu quy hoạch không gian tổng thể, dẫn đến chồng lấn trong sử dụng không gian và gia tăng xung đột lợi ích giữa các nhóm khai thác. Theo [7], việc thiếu cơ chế quản lý tổng hợp và phối hợp liên ngành là một trong những nguyên nhân chính làm suy giảm hiệu quả quản lý vùng bờ. Ngoài ra, hệ thống thể chế hiện nay còn phân tán, chưa có công cụ đánh giá sức chịu tải của môi trường và kiểm soát nguồn thải hiệu quả, trong khi áp lực từ gia tăng dân số, phát triển hạ tầng ven biển và biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng. Những tồn tại này cho thấy sự cần thiết cấp bách của việc áp dụng mô hình quản lý tổng hợp vùng bờ dựa trên hệ sinh thái, nhằm giảm thiểu xung đột, kiểm soát ô nhiễm và đảm bảo phát triển bền vững cho vịnh Xuân Đài cũng như các vịnh ven bờ Việt Nam.

4. GIẢI PHÁP QUẢN LÝ TỔNG HỢP TÀI NGUYÊN VÀ BVMT HỆ THỐNG VỊNH VEN BỜ VIỆT NAM

4.1. Cơ sở đề xuất

Hệ thống vịnh ven bờ Việt Nam là những vùng nhạy cảm về sinh thái, có giá trị kinh tế, quốc phòng và văn hóa cao, đồng thời chịu tác động mạnh mẽ từ các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội. Các nghiên cứu quốc tế và trong nước (UNEP, 2006; IOC-UNESCO, 2009; Barbier et al., 2011) chỉ ra rằng, các hệ sinh thái ven biển như rừng ngập mặn, cỏ biển và rạn san hô đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì đa dạng sinh học, bảo vệ bờ biển và cung cấp dịch vụ hệ sinh thái. Tuy nhiên, hoạt động phát triển kinh tế đơn ngành, khai thác không gian ven bờ chưa được quy hoạch hợp lý, đã dẫn đến hiện tượng suy thoái cục bộ các hệ sinh thái, ô nhiễm nước và xung đột lợi ích trong sử dụng tài nguyên (Halpern et al., 2008). Đây là cơ sở khoa học quan trọng để đề xuất một phương thức quản lý tổng hợp vùng bờ dựa trên hệ sinh thái, nhằm điều hòa mục tiêu phát triển kinh tế và BVMT.

Thực trạng quản lý hiện nay tại nhiều vịnh còn bộc lộ những hạn chế cơ bản. Trách nhiệm quản lý bị phân tán giữa nhiều cơ quan, thiếu cơ chế phối hợp liên ngành, chưa có hệ thống đánh giá và giám sát sức chịu tải của môi trường toàn diện. Việc áp dụng cách tiếp cận theo ngành riêng lẻ dẫn đến hiệu quả quản lý chưa cao và tiềm ẩn nhiều rủi ro đối với chất lượng môi trường, đa dạng sinh học và lợi ích cộng đồng. Các nghiên cứu [7,9] nhấn mạnh rằng quản lý tổng hợp vùng bờ (Integrated Coastal Management – ICM) dựa trên hệ sinh thái là cách tiếp cận hiệu quả, khi tích hợp các yếu tố môi trường, kinh tế và xã hội, đồng thời huy động sự tham gia của các bên liên quan.

Cơ sở khoa học để triển khai quản lý tổng hợp vùng bờ tại Việt Nam cũng được củng cố bởi các văn bản chính sách quan trọng. Nghị quyết số 36-NQ/TW của Ban Chấp hành Trung ương Đảng 2018 xác định rõ mục tiêu phát triển bền vững kinh tế biển, nhấn mạnh yêu cầu quản lý tổng hợp, liên ngành và dựa trên cơ sở hệ sinh thái. Bộ Nông nghiệp và Môi trường cũng đã ban hành các hướng dẫn kỹ thuật về lập quy hoạch không gian biển, kiểm soát nguồn thải và bảo tồn đa dạng sinh học, cung cấp cơ sở pháp lý và công cụ khoa học để triển khai giải pháp quản lý tổng hợp tại các vịnh ven bờ.

Vịnh Xuân Đài được lựa chọn làm trường hợp nghiên cứu điển hình bởi hội tụ các đặc trưng tiêu biểu của hệ thống vịnh ven bờ Việt Nam: đa dạng sinh học cao, cường độ khai thác tài nguyên lớn, phân bố dày đặc các hoạt động nuôi trồng thủy sản lồng bè, du lịch ven biển và khai thác khoáng sản. Các nghiên cứu thực địa và phân tích mẫu môi trường tại vịnh Xuân Đài cho thấy, mặc dù đa dạng sinh học vẫn duy trì ở mức tương đối cao, nhiều khu vực cận bờ đã xuất hiện hiện tượng ô nhiễm hữu cơ, gia tăng nồng độ chất dinh dưỡng và suy giảm chất lượng nước cục bộ [4]. Đồng thời, xung đột trong sử dụng không gian biển giữa các hoạt động kinh tế đơn ngành đang ngày càng rõ nét,

làm tăng nguy cơ suy thoái hệ sinh thái nếu không có cơ chế quản lý tổng hợp và liên ngành.

Dựa trên kết quả tính toán Chỉ số rủi ro môi trường tổng hợp (ERI = 0.745) cho khu vực vịnh Xuân Đài, có thể khẳng định chất lượng môi trường tại đây đang nằm trong phân khúc rủi ro cao, với những dấu hiệu suy thoái mang tính hệ thống và cục bộ rõ rệt. Sự logic của chỉ số này phản ánh một thực trạng đáng quan ngại: Mặc dù các chỉ tiêu vật lý cơ bản như độ trong (TSS thấp) tạo ra diện mạo nước biển khá sạch, nhưng các biến số "ẩn" về hóa học lại đang tiệm cận hoặc vượt ngưỡng chịu tải sinh thái. Đặc biệt, sự cộng hưởng giữa nồng độ Phốt pho tổng số duy trì ở mức cao (0.3 - 0.4 mg/l) và sự đột biến của kim loại nặng như Đồng (Cu) tại trạm XĐ-69 (0.041 mg/l) đã tạo ra một kịch bản rủi ro kép. Về mặt khoa học, điều này cho thấy hệ thống tự làm sạch của vịnh đang bị quá tải bởi áp lực từ hoạt động nuôi trồng thủy sản lồng bè và nước thải sinh hoạt ven bờ. Chỉ số ERI vượt ngưỡng 0.7 là một minh chứng cho việc môi trường đang chuyển dịch từ trạng thái "tích tụ" sang trạng thái "phát lộ" ô nhiễm, đe dọa trực tiếp đến tính bền vững của các hệ sinh thái nhạy cảm và an toàn sinh học cho đối tượng nuôi trồng chủ lực như tôm hùm trong khu vực.

Trên cơ sở các phân tích nêu trên, có thể khẳng định rằng việc áp dụng cách tiếp cận quản lý tổng hợp dựa trên hệ sinh thái, kết hợp với các công cụ hiện đại như: khả năng bao quát không gian của công nghệ viễn thám với độ chính xác thời gian thực của mạng lưới quan trắc thông minh (IoT) tạo tiền đề cho việc xây dựng một hệ thống cảnh báo sớm, cho phép các nhà quản lý dự báo và can thiệp kịp thời trước khi các biến động môi trường trở thành những thảm họa sinh thái không thể đảo ngược..., là hướng đi phù hợp nhằm nâng cao hiệu quả quản lý tài nguyên và BVMT tại các vịnh ven bờ Việt Nam. Đây cũng là cơ sở khoa học và thực tiễn quan trọng để đề xuất các giải pháp cụ thể cho vịnh Xuân Đài nói riêng và hệ thống vịnh ven bờ nói chung.

4.2. Giải pháp quản lý tổng hợp tài nguyên và BVMT vịnh ven bờ Việt Nam

Công tác quản lý tổng hợp tài nguyên và BVMT tại hệ thống vịnh ven bờ Việt Nam đòi hỏi một lộ trình triển khai dựa trên sự đồng bộ hóa chặt chẽ với hệ thống pháp luật hiện hành. Về mặt thể chế, việc quản trị cần lấy Luật Tài nguyên, môi trường biển và hải đảo (2015) và Luật BVMT (2020) làm nền tảng cốt lõi, trong đó đặc biệt nhấn mạnh nguyên tắc quản lý tổng hợp, liên ngành và phương thức tiếp cận dựa trên hệ sinh thái (Ecosystem-based Approach).

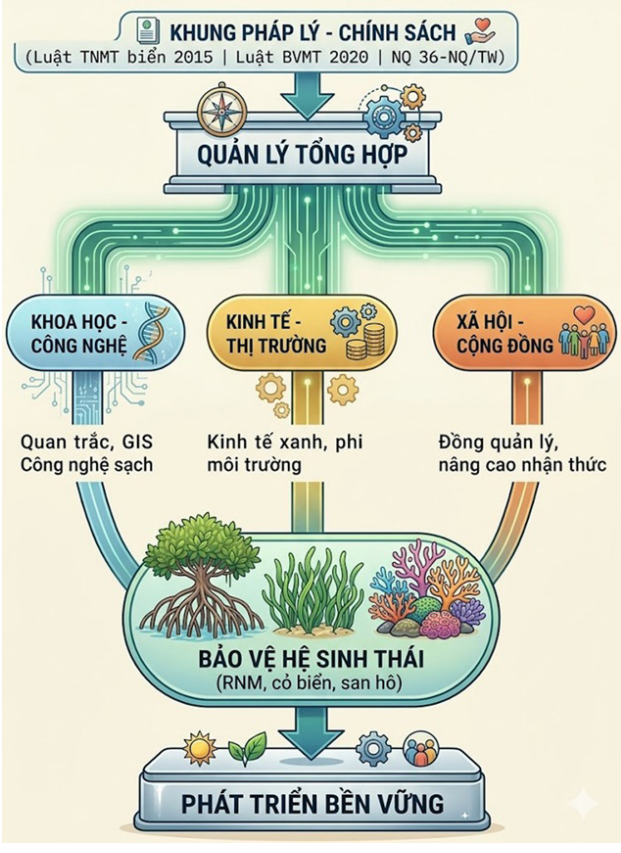
Trọng tâm của tiến trình này là việc cụ thể hóa các quy định về Quy hoạch không gian biển (Marine Spatial Planning - MSP) ở cấp vùng và địa phương, nhằm hiện thực hóa các mục tiêu chiến lược tại Nghị quyết số 139/2024/QH15 về Quy hoạch không gian biển quốc gia thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050 và tuân thủ các nguyên tắc của Luật Quy hoạch (2017). Việc phân bổ hợp lý các hoạt động kinh tế trong không gian vịnh thông qua công cụ quy hoạch sẽ giúp giảm thiểu các xung đột lợi ích giữa bảo tồn và khai thác. Đồng thời, việc triển khai các chương trình Quản lý tổng hợp vùng bờ cần bám sát các giá trị cốt lõi của Nghị quyết 36-NQ/TW về Chiến lược phát triển bền vững kinh tế biển Việt Nam. Đây là cơ sở pháp lý quan trọng để đảm bảo sự hài hòa giữa tăng trưởng kinh tế biển và bảo vệ tính nguyên vẹn của các hệ sinh thái, hướng tới mục tiêu phát triển bền vững trong dài hạn.

Trên nền tảng thể chế đó, các giải pháp khoa học – công nghệ cần được triển khai theo định hướng chuyển đổi số và tăng cường năng lực giám sát môi trường, phù hợp với các nội dung trong Luật BVMT năm 2020 về quan trắc và công khai thông tin môi trường. Cụ thể, cần xây dựng hệ thống quan trắc tự động chất lượng nước biển, tích hợp với cơ sở dữ liệu quốc gia về tài nguyên môi trường biển. Đồng thời, việc áp dụng công nghệ nuôi biển tiên tiến và các giải pháp xử lý chất thải phải tuân thủ các quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về môi trường (QCVN), góp phần kiểm soát tải lượng ô nhiễm trong các vịnh có cường độ khai thác cao.

Về mặt kinh tế, việc áp dụng các công cụ điều tiết cần được thực hiện theo nguyên tắc của Luật BVMT 2020, đặc biệt là cơ chế "người gây ô nhiễm phải trả tiền". Các chính sách ưu đãi đầu tư vào kinh tế xanh, kinh tế tuần hoàn cần được cụ thể hóa thông qua các chương trình phát triển kinh tế biển địa phương, phù hợp với định hướng của Nghị quyết số 36-NQ/TW về Chiến lược phát triển bền vững kinh tế biển Việt Nam. Điều này sẽ tạo động lực chuyển đổi từ các mô hình khai thác truyền thống sang các mô hình bền vững hơn như nuôi biển công nghệ cao và du lịch sinh thái.

Song song với đó, việc tăng cường sự tham gia của cộng đồng cần được thể chế hóa thông qua các quy định về đồng quản lý tài nguyên trong Luật Thủy sản năm 2017. Các mô hình tổ chức cộng đồng trong khai thác và nuôi trồng thủy sản cần được phát triển, tạo cơ chế để người dân tham gia giám sát môi trường và thực hiện các quy định pháp luật. Đây là yếu tố quan trọng nhằm nâng cao hiệu quả quản lý và giảm thiểu vi phạm trong sử dụng tài nguyên.

Cuối cùng, các giải pháp bảo vệ và phục hồi hệ sinh thái cần được triển khai phù hợp với các chiến lược và kế hoạch hành động quốc gia về đa dạng sinh học và biến đổi khí hậu. Việc phục hồi rừng ngập mặn, cỏ biển và rạn san hô cần gắn với các chương trình của Bộ Nông nghiệp và Môi



Hình 3. Mô hình quản lý tổng hợp tài nguyên và BVMT các vịnh ven bờ Việt Nam

trường, đồng thời đảm bảo tuân thủ các quy định về bảo tồn trong Luật Đa dạng sinh học năm 2008. Những giải pháp này không chỉ cải thiện chất lượng môi trường mà còn góp phần nâng cao khả năng chống chịu của các hệ sinh thái vịnh trước tác động của biến đổi khí hậu (Hình 3).

4.3. Giải pháp cụ thể cho vịnh Xuân Đài

Đối với vịnh Xuân Đài, các giải pháp quản lý cần được triển khai trên cơ sở cụ thể hóa các quy định của Trung ương và bám sát các quy hoạch, kế hoạch phát triển của tỉnh Đắk Lắk.

Trước hết, việc quản lý không gian và tài nguyên vịnh cần được tích hợp đồng bộ vào Quy hoạch tỉnh Phú Yên (nay là Đắk Lắk) thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050. Quy hoạch cấp tỉnh đóng vai trò là khung pháp lý cao nhất tại địa phương, đảm bảo sự thống nhất giữa mục tiêu phát triển kinh tế và bảo tồn hệ sinh thái. Bằng cách định hình rõ các "vùng ưu tiên bảo tồn" (vùng lõi) và "vùng phát triển kinh tế" (vùng đệm) trong quy hoạch, tỉnh tạo ra một chiến lược không gian minh bạch, giảm thiểu xung đột giữa các ngành kinh tế và hạn chế tình trạng phát triển tự phát, chồng chéo. Đây là nền tảng cốt lõi để các quyết định quản trị tại vịnh Xuân Đài có tính hệ thống và sự gắn kết chặt chẽ với hạ tầng chung của toàn tỉnh.

Song song với quy hoạch tổng thể, việc sắp xếp lại hoạt động nuôi trồng thủy sản cần căn cứ vào Quyết định số 2127/QĐ-TTg phê duyệt quy hoạch tổng thể phát triển Khu du lịch quốc gia vịnh Xuân Đài, trong đó xác định rõ định hướng phát triển du lịch sinh thái gắn với BVMT. Theo đó, cần tiến hành phân vùng chức năng, giảm mật độ lồng nuôi và kiên quyết di dời các khu nuôi không phù hợp ra khỏi khu vực nhạy cảm về môi trường và cảnh quan.

Bên cạnh đó, công tác kiểm soát ô nhiễm cần được tăng cường thông qua việc thực hiện nghiêm túc Luật BVMT năm 2020. Tỉnh Đắk Lắk cần cụ thể hóa các quy định này thành kế hoạch quản lý môi trường vịnh Xuân Đài, trong đó quy định rõ trách nhiệm của các hộ nuôi trong việc thu gom chất thải, sử dụng thức ăn thân thiện với môi trường và tuân thủ các quy trình nuôi an toàn. Việc kiểm tra, giám sát và xử lý vi phạm cần được thực hiện thường xuyên nhằm đảm bảo tính răn đe và hiệu quả thực thi.

Đồng thời, việc chuyển đổi mô hình nuôi trồng thủy sản cần được lồng ghép vào các chương trình phát triển kinh tế biển của địa phương, phù hợp với định hướng của Nghị quyết số 36-NQ/TW về Chiến lược phát triển bền vững kinh tế biển Việt Nam. Các mô hình nuôi bền vững như nuôi đa tầng, nuôi công nghệ cao cần được thí điểm và nhân rộng, kết hợp với hỗ trợ kỹ thuật và tài chính từ nhà nước nhằm giảm gánh nặng cho người dân trong quá trình chuyển đổi.

Vai trò của cộng đồng địa phương trong quản lý vịnh Xuân Đài cần được củng cố thông qua việc áp dụng các quy định về đồng quản lý trong Luật Thủy sản năm 2017. Các tổ chức cộng đồng nuôi trồng thủy sản cần được thành lập và trao quyền tham gia vào quá trình quản lý, từ lập kế hoạch đến giám sát môi trường. Việc đăng ký, đánh số và kiểm soát lồng bè cần được thực hiện đồng bộ, tạo cơ sở dữ liệu số phục vụ công tác quản lý hiện đại.

Ngoài ra, phát triển kinh tế đa ngành là giải pháp quan trọng nhằm giảm áp lực lên môi trường vịnh. Căn cứ vào Quyết định số 2127/QĐ-TTg, cần thúc đẩy phát triển du lịch sinh thái, du lịch cộng đồng và các dịch vụ biển, qua đó tạo thêm sinh kế cho người dân và giảm phụ thuộc vào nuôi trồng thủy sản. Sự kết hợp hài hòa giữa các ngành kinh tế sẽ góp phần nâng cao giá trị sử dụng của tài nguyên vịnh mà vẫn đảm bảo yêu cầu BVMT.

Cuối cùng, việc thiết lập hệ thống quan trắc và cảnh báo môi trường tại vịnh Xuân Đài cần được ưu tiên triển khai, phù hợp với các quy định về quan trắc môi trường trong Luật BVMT năm 2020. Hệ thống này sẽ cung cấp dữ liệu kịp thời về chất lượng nước và các yếu tố môi trường, giúp cơ quan quản lý và người dân chủ động ứng phó với các sự cố như ô nhiễm, dịch bệnh hoặc hiện tượng tảo nở hoa (Hình 4).



Hình 4. Mô hình quản lý tổng hợp tài nguyên và BVMT vịnh Xuân Đài

5. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu đã làm sáng tỏ tính tất yếu của việc chuyển dịch mô hình quản trị tại các vịnh ven bờ, từ tiếp cận đơn ngành sang quản lý tổng hợp vùng bờ (ICM) dựa trên nền tảng hệ sinh thái. Thông qua việc ứng dụng mô hình DPSIR và xác định Chỉ số rủi ro môi trường (ERI) tại vịnh Xuân Đài, bài báo đã cung cấp những luận cứ khoa học thực chứng về sự mất cân bằng giữa cường độ khai thác nhân sinh và khả năng phục hồi tự nhiên của hệ sinh thái vịnh. Với giá trị ERI ở ngưỡng rủi ro cao, Xuân Đài không chỉ là trường hợp điển hình phản ánh những thách thức môi trường trong bối cảnh phát triển kinh tế nóng, mà còn là minh chứng thuyết phục cho thấy các phương thức quản trị truyền thống đang bộc lộ những hạn chế trong việc kiểm soát các áp lực cộng dồn. Điều này khẳng định rằng, nếu không có sự can thiệp đồng bộ từ các công cụ kỹ thuật dự báo đến cơ chế điều tiết kinh tế, các hệ thống vịnh ven bờ khó có thể duy trì được giá trị dịch vụ hệ sinh thái vốn là nền tảng cốt lõi cho sự phát triển bền vững kinh tế biển.

Từ những kết quả đạt được, bài báo nhấn mạnh rằng giải pháp quản lý bền vững không thể tách rời sự kết hợp hài hòa giữa thể chế, công nghệ và sự tham gia của cộng đồng. Việc thể chế hóa cơ chế đồng quản lý, kết hợp cùng hệ thống giám sát môi trường dựa trên nền tảng công nghệ số, chính là "chìa khóa" chiến lược để giải quyết các xung đột lợi ích đa ngành và nâng cao hiệu lực kiểm soát sức chịu tải của môi trường biển. Các đề xuất rút ra từ vịnh Xuân Đài không chỉ dừng lại ở phạm vi địa phương mà còn hàm chứa giá trị tham khảo chiến lược cho việc nhân rộng mô hình quản trị tổng hợp tại hệ thống vịnh ven bờ trên cả nước, bám sát tinh thần Nghị quyết số 36-NQ/TW. Để hiện thực hóa mục tiêu này, đòi hỏi sự phối hợp liên ngành chặt chẽ và quyết tâm chính trị cao độ trong việc chuyển hóa các mô hình lý thuyết thành hành động thực tiễn, nhằm bảo đảm đại dương mãi là nguồn lực sống động, phục vụ cho sự thịnh vượng lâu dài và an ninh sinh thái của quốc gia trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2021). Báo cáo tổng kết dự án: Điều tra, đánh giá hiện trạng khai thác, sử dụng một số vũng vịnh ven biển Việt Nam phục vụ công tác hoạch định chính sách quản lý và sử dụng bền vững. Hà Nội.

2. Nguyễn Tác An (2008). Nghiên cứu đặc điểm hải văn và môi trường các vũng vịnh ven bờ miền Trung. (Nguồn tài liệu bổ sung bối cảnh nghiên cứu).

3. Nguyễn Thị Thu Hà và nnk. (2019). "Nghiên cứu đánh giá trạng thái dinh dưỡng vùng lõi vịnh Xuân Đài, Phú Yên bằng mô hình chỉ số Assets". Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, Số 65, tr. 102–110.

4. Nguyễn Hữu Huân, Phan Minh Thụ và nnk. (2020). "Đánh giá khả năng tiếp nhận chất dinh dưỡng và sức tải môi trường vùng lõi vịnh Xuân Đài, tỉnh Phú Yên". Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển, tập 20, số 3, tr. 301–312.

5. Cicin-Sain, B., & Knecht, R.W. (1998). Integrated Coastal and Ocean Management: Concepts and Practices. Island Press.

6. Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'Agrosa, C., et al. (2008). "A global map of human impact on marine ecosystems". Science, 319(5865), 948–952.

7. Kay, R., & Alder, J. (2005). Coastal Planning and Management (2nd ed.). London: Taylor & Francis.

8. UNEP (2006). Marine and Coastal Ecosystems and Human Well-being. United Nations Environment Programme.

9. Ehler, C., & Douvere, F. (2009). Marine Spatial Planning: a step-by-step approach toward ecosystem-based management. Intergovernmental Oceanographic Commission and Man and the Biosphere Programme. UNESCO Manual and Guides No. 53, ICAM Dossier No. 6. Paris: UNESCO.

PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CÁC GIẾNG TRÀN NƯỚC MƯA (CSO) PHÙ HỢP VỚI HỆ THỐNG THOÁT NƯỚC CÁC ĐÔ THỊ VIỆT NAM

TRẦN ĐỨC MINH HẢI[1*], TRẦN ĐỨC HẠ[1]
[1]Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Tóm tắt
Hầu hết các đô thị Việt Nam đều có hệ thống thoát nước chung và giếng tràn nước mưa CSO là công trình cần thiết phải có để tách nước thải dẫn về nhà máy/trạm xử lý nước thải tập trung. Cấu tạo các loại giếng CSO phụ thuộc vào đặc điểm mạng lưới thoát nước và vị trí của giếng trên đó, vào chế độ thủy văn các sông hồ và đặc điểm khí hậu thời tiết… khu vực. Các loại giếng CSO phải phù hợp để hệ thống thoát nước đảm bảo yêu cầu cả về xử lý ô nhiễm nước thải cũng như thoát nước mưa. Vì vậy nội dung của bài báo này đề cập đến bố trí và chỉ số đặc trưng của các loại giếng CSO trên hệ thống thoát nước đô thị, các phương pháp tính toán thiết kế để xác định các kích thước và cấu tạo hợp lý các loại giếng để từ đấy có cơ sở đề xuất nguyên tắc hoạt động, vận hành các công trình này.
Từ khóa: *Giếng CSO, hệ thống thoát nước đô thị, mạng lưới thoát nước, xử lý nước thải, tính toán thủy lực.*

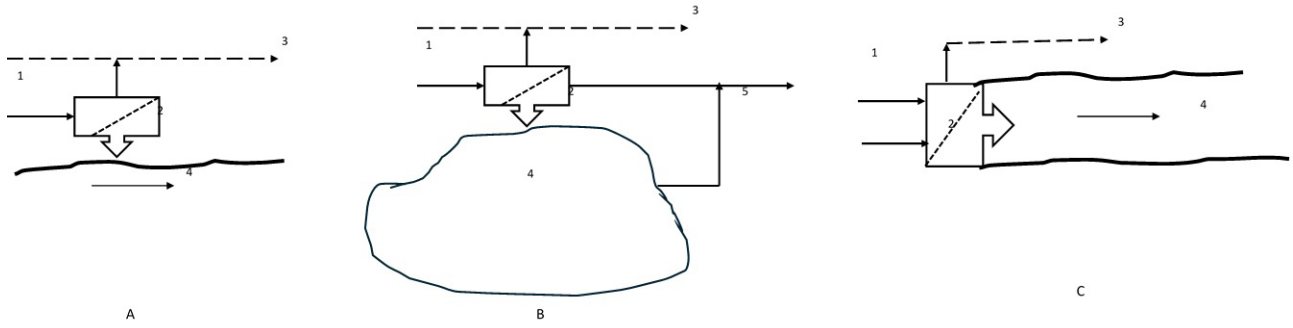
Method for design calculating of combined sewer overflow wells (CSO) suitable for urban drainage systems in Vietnam

Abstract
Most cities in Vietnam have combined sewer systems, and CSO (Combined Sewer Overflow) wells are essential structures to separate wastewater to be sent to centralized wastewater treatment plants/stations. The construction of different types of CSO depends on the characteristics of the sewer network and the location of the wells on it, the hydrological regime of rivers and lakes, and the climatic and weather characteristics of the area. CSOs must be suitable to ensure that the drainage system meets the requirements for both wastewater pollution treatment and stormwater drainage. Therefore, this article discusses the arrangement and installation of wells, the characteristic working indices of different types of CSOs in urban drainage systems, and the calculation and design methods to determine reasonable dimensions and structures of the wells, thereby providing a basis to propose operating and management principles for these structures.
Keywords: *CSO wells, urban drainage systems, sewer network, wastewater treatment, hydraulic calculation.*
JEL Classifications: *Q52, Q53, Q55, Q56.*

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Hệ thống thoát nước chung (HTTN) là hệ thống trong đó nước thải và nước mưa của các hộ (đối tượng) thoát nước được thu gom và vận chuyển chung trong một tuyến cống. Ngoài cống bao (hoặc cống gom) để đưa nước thải và phần nước mưa bị ô nhiễm về trạm bơm của nhà máy/trạm xử lý nước thải (XLNT) tập trung của đô thị và hồ điều hòa để điều tiết lưu lượng nước mưa, trên HTTN chung truyền thống phải có công trình đặc thù là giếng tràn nước mưa (Combined Sewer Overflow - CSO). Đây là công trình dùng để xả bớt hỗn hợp nước thải và nước mưa ra sông khi mưa lớn, nhằm tránh quá tải hệ thống cống thoát nước và trạm/nhà máy XLNT tập trung. Giếng CSO sẽ tự động tách một phần hỗn hợp nước mưa và nước thải đã pha loãng ra sông hồ, làm giảm kích thước cống và công trình phía sau trên HTTN, giảm dung tích trạm bơm chính và trạm/nhà máy XLNT đến mức độ cần thiết [1]. Tuy nhiên khi xả hỗn hợp nước mưa và nước thải qua giếng CSO ra nguồn nước mặt (sông, mương, kênh, hồ,...) trong đô thị, sẽ nguy cơ ô nhiễm các thủy vực này do tiếp nhận một phần nước thải chưa qua xử lý. Vì vậy mỗi giếng CSO trên HTTN chung đều phải có hệ số pha loãng đặc trưng của nước thải với nước mưa (n0) khi tính toán thủy lực để xác định cấu tạo và kích thước của nó. Việc tính toán thủy lực giếng CSO phụ thuộc vào nhiều yếu tố: cấu tạo cống thoát nước chung, vị trí giếng trên HTTN, loại giếng, lưu lượng nước mưa và nước thải đến giếng, chế độ thủy văn nguồn tiếp nhận [2], giá trị hệ số pha loãng n0 lựa chọn...

Trong điều kiện các đô thị Việt Nam, các sông kênh mương hồ đóng vai trò quan trọng trong hệ thống thoát nước (đặc biệt là tiêu thoát nước mưa), đồng thời là một khung sinh thái đô thị tạo môi trường cảnh quan và điều hòa vi khí hậu. Vì vậy việc tính toán thủy lực để



Hình 1. Sơ đồ bố trí các nhóm giếng CSO trên HTTN chung đô thị

A.Giếng CSO nhóm 1; B.Giếng CSO nhóm 2; C.Giếng CSO nhóm 3.
1.Cống thoát nước chung; 2.Giếng CSO; 3. Cống bao/ cống gom về nhà máy XLNT;
4.Nguồn tiếp nhận hỗ hợp nước mưa, nước thải xả tràn; 5.Sông (mương) thoát nước.

xác định cấu tạo và kích thước các giếng CSO rất quan trọng và cần thiết để đảm bảo giải quyết úng ngập đô thị, ngăn ngừa ô nhiễm sông hồ cũng như giảm kinh phí đầu tư và chi phí vận hành cho hệ thống XLNT tập trung của đô thị và khu dân cư. Tuy nhiên hầu hết các dự án thoát nước đô thị hiện nay đều không tính toán thiết kế các giếng CSO mà chỉ đề xuất cấu tạo để có thể bố trí được giếng này trên HTTN.

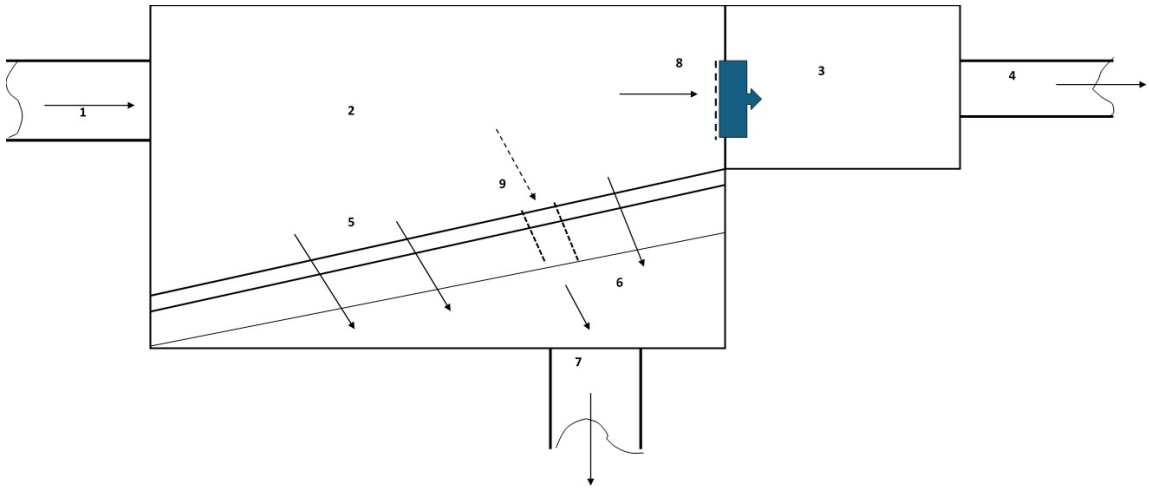
Mục đích của nghiên cứu này là xác định các chỉ số hoạt động của giếng CSO với các hệ số pha loãng n0 phù hợp với các loại giếng và vị trí của nó trên HTTN, xây dựng các phương pháp tính toán thủy lực để từ đấy xác định cấu tạo và kích thước phù hợp đối với các loại giếng CSO và đề xuất nguyên tắc hoạt động, vận hành các giếng này.

2.CẤU TẠO, BỐ TRÍ VÀ CHỈ SỐ ĐẶC TRƯNG CỦA CÁC LOẠI GIẾNG CSO

Chức năng của giếng CSO là xả hỗn hợp nước mưa và nước thải khi chất lượng đảm bảo yêu cầu xả ra nguồn tiếp nhận mà không gây ô nhiễm môi trường nước. Dựa vào đặc điểm của hệ thống thoát nước, cấu tạo mạng lưới thoát nước và nguồn tiếp nhận nước mưa tại các đô thị Việt Nam, các giếng CSO có thể được phân nhóm như sau:

-Nhóm số 1: Các giếng CSO bố trí dọc các thủy vực có dòng chảy như: sông, kênh, mương,..

-Nhóm số 2: Các giếng CSO lắp đặt để đưa lượng nước mưa điều tiết vào hồ điều hòa (hồ đô thị).



Hình 2. Sơ đồ cấu tạo giếng CSO

1. Cống thoát nước chung; 2. Khoang tiếp nhận nước mưa và nước thải; 3. Khoang dẫn nước thải và nước mưa đợt đầu về cống bao/cống gom; 4. Đường dẫn nước thải và nước mưa đợt đầu về cống bao/ cống gom; 5. Đập tràn nước mưa; 6. Khoang ổn định (tiêu năng) để xả nước mưa vào sông hồ; 7. Đường cống dẫn nước mưa sau đập tràn; 8. Thiết bị tách rác; 9. Đường ống xả nước mưa khẩn cấp.

-Nhóm số 3: Các giếng CSO bố trí thu gom nước thải đầu sông, kênh mương thoát nước (Hình 1).

Về nguyên tắc, cấu tạo giếng CSO gồm có khoang tiếp nhận nước mưa và nước thải, khoang dẫn nước thải và nước mưa đợt đầu đã tách vào cống gom hoặc cống bao để dẫn về nhà máy/trạm XLNT tập trung; đập tràn để xả hỗn hợp nước thải và nước mưa đạt chất lượng yêu cầu xả vào nguồn tiếp nhận; và khoang ổn định dòng tràn trước khi xả vào sông, hồ (Hình 2).

Khoang tách nước thải (khoang số 2) có cấu tạo phù hợp để tách sơ bộ cát và cặn lắng trong nước mưa đợt đầu cũng như bố trí được thiết bị chắn rác thô (số 8) trong đó. Để xả khẩn cấp nước mưa khi cường độ mưa vượt ngưỡng thiết kế của HTTN, cần thiết phải bố trí ống (số 9) hoặc phai điều tiết từ khoang này (số 2) xuyên qua đập tràn (số 5) dẫn nước mưa xả ra sông hồ. Các trang thiết bị của giếng CSO có thể vận hành tự động nhờ việc bố trí các senso như senso chênh mực nước giữa khoang tiếp nhận và khoang dẫn nước thải về cống gom để điều khiển song chắn rác thô, senso mực nước trên đập tràn để điều khiển đóng mở van xả khẩn cấp nước mưa,...

Các thông số đặc trưng cho hoạt của các giếng CSO phụ thuộc vào các loại (nhóm) giếng, vị trí của giếng trên mạng lưới thoát nước, chế độ thủy văn và yêu cầu chất lượng nước của nguồn tiếp nhận nước mưa sau đập tràn. Đó là các hệ số pha loãng nước thải với nước mưa n_0 khi xả qua đập tràn, số lần làm việc (xả nước qua đập tràn) của giếng trong 1 năm m0, Thời gian làm việc trung bình của giếng trong năm t, tổng lượng nước thải đưa từ giếng về trạm/ nhà máy XLNT trong 1 năm Wth, tổng lượng nước mưa và nước thải xả ra nguồn tiếp nhận trong 1 năm Wx.

Hệ số pha loãng nước mưa với nước thải n0 tại giếng tràn đại lượng quan trọng để tính toán thiết kế giếng cũng như tuyến cống thoát nước phía sau. Dựa vào đặc điểm thủy văn, khả năng tự làm sạch của sông hồ và điều kiện của nhà máy XLNT hệ số n0 được chọn theo Điều 4.3.1 của TCVN 7957:2023. phụ thuộc vào diện tích của lưu vực, thường lấy bằng 2 đến 3 đối với các giếng tràn trên đầu tuyến cống bao, 1 đến 2 ở đoạn giữa tuyến cống bao và bằng 0,5 đến 1 ở giếng tràn cuối cùng của tuyến cống. Đối với các giếng CSO thu nước thải về cống gom, lưu lượng lớn nhất từ giếng đưa về cống bằng 2 đến 2,5 lần lưu lượng nước thải về mùa khô trên toàn tuyến cống, có nghĩa là hệ số pha loãng n0 của tất cả các giếng trên tuyến cống gom có thể là như nhau, bằng 1÷2[3].

Số lần hoạt động của giếng tràn trong 1 năm m0 được xác định theo công thức sau đây:

$$m_0 = \frac{1}{\left[(1-\tau)\left(\frac{n_0}{S}\right)^{0,833}(1+C\lg P)+\tau\right]^3} \quad (1)$$

trong đó:

S - Tỷ lệ giữa lưu lượng giữa mùa mưa và mùa khô $\frac{Q_m}{Q_k}$

C - Hệ số cường độ mưa tính toán phụ thuộc vùng khí hậu;

P - Chu kỳ tràn cống, năm;

τ - Hệ số khí hậu phụ thuộc C, khi C = 0,85 – 0,9 thì τ = 0,2, khi C = 1 thì τ = 0,24 và khi C = 1,2 thì τ = 0,27.

Bảng 1. Các hệ số K', K" và Kx để xác định các thông số làm việc của giếng CSO

m_0	K'	K"	K_x	m_0	K'	K"	K_x
1	1,26	0,03	0,012	**55**	94,5	7,37	1,94
2	2,56	0,07	0,027	**60**	107	8,98	2,25
3	3,84	0,11	0,043	**65**	120	11	2,6
4	5,2	0,15	0,059	**70**	134	13,3	3
5	6,55	0,2	0,076	**75**	150	16,4	3,48
7	9,31	0,29	0,113	**80**	166	19,7	3,94
10	13,5	0,47	0,177	**85**	188	24,5	4,6
15	20,9	0,79	0,287	**90**	212	31,6	5,52
20	28,4	1,19	0,416	**95**	239	40,6	6,6
25	36,5	1,72	0,581	**100**	275	53,6	8,05
30	45	2,3	0,748	**105**	322	74,9	10,3
35	53,2	2,92	0,927	**110**	388	104	13,8
40	63,2	3,82	1,15	**115**	491	180	20,2
45	72,9	4,81	1,38	**120**	714	400	40
50	82,5	5,74	1,58				

Thời gian làm việc trung bình của giếng trong năm t, phút:

$$t = K'. t_0 \quad (2)$$

trong đó: t_0 - Thời gian dòng chảy mưa tính toán đến giếng tràn CSO, phút.

Tổng lượng nước thải xả vào sông hồ trung bình trong 1 năm W_{th}: (m^3):

$$W_{th} = Q_k . t_0. K_x \quad (3)$$

trong đó:

Q_k - Tổng lưu lượng nước thải về mùa khô của lưu vực thoát nước trước CSO.

Tổng lượng nước mưa và nước thải xả vào sông hồ trung bình trong 1 năm W_x, m^3:

$$Wx = n0 . Qk . t0. K" \quad (4)$$

Các hệ số *K', K" và* K_x phụ thuộc vào giá trị m0 và xác định theo Bảng 1 [4]

3. TÍNH TOÁN THỦY LỰC CÁC GIẾNG CSO

Mục đích tính toán thủy lực giếng CSO là xác định được kích thước cơ bản của đập tràn bố trí trong giếng cũng như các kích thước liên quan khác để đảm bảo được thoát nước mưa cho lưu vực tính toán với trận mưa thiết kế cũng như thu gom được nước thải và nước mưa nhiễm bẩn ứng với hệ số pha loãng n_0. Các bước tính toán thủy lực giếng CSO đã được nhóm tác giả thực hiện trong Dự án thoát nước lưu vực S1 của thành phố Hà Nội như sau:

- Xác định tổng lưu lượng nước thải và nước mưa trước giếng tràn CSO: Q_{tg}

- Lưu lượng nước mưa vào nước thải chảy vào tuyến cống sau giếng tràn Q2:

$$Q_2 = Q_{sh} + Q_{sx} + Q_m \quad (5)$$

trong đó:

Q_{sh} - Lưu lượng trung bình của nước thải sinh hoạt;

Q_{sx} - Lưu lượng trung bình của nước thải sản xuất;

Q_m - Lưu lượng nước mưa:

$$Q_m = (Q_{sh} + Q_{sx})\times n_0 = Q_k \times n \quad (6)$$

như vậy:

$$Q_2 = Q_k \times (1+ n_0) \quad (7)$$

- Lưu lượng hỗn hợp nước mưa và nước thải xả qua đập tràn vào nguồn:

$$Q = Q_{tg} - Q_2 \quad (8)$$

- Lựa chọn hệ số pha loãng n_0

- Xác định đường kính d_1 và độ dốc i_1 tuyến cống dẫn nước trước đập tràn và đường kính d_2 và độ dốc i2 của tuyến cống sau đập tràn.

- Xác định cao độ đáy cống tuyến phía trước và phía sau đập tràn.

- Xác định mực nước cao nhất trong sông hồ.

Để nước sông, hồ không tràn vào cống gom nước thải cả mùa khô và mùa mưa cao độ ngưỡng (đập) tràn giếng CSO phải lớn hơn hoặc bằng cao độ mực nước khống chế sông hồ thoát nước về mùa mưa.

Để thu toàn bộ nước thải lưu vực vào cống gom hoặc cống bao về nhà máy XLNT tập trung, cao độ đáy giếng CSO phải thấp hơn hoặc bằng cao độ đáy cống thấp nhất chảy vào giếng.

Tuần tự tính toán thiết kế giếng tràn một phía như sau. Đầu tiên là xác định chiều sâu lớp nước trong các tuyến cống:

a) Tuyến cống dẫn nước phía trước đập tràn

Chiều sâu h_{tg} ứng với lưu lượng Q_{tg};

Chiều sâu *h2'* ứng với lưu lượng Q_2.

b) Tuyến cống phía sau đập tràn

Chiều sâu h_2 ứng với lưu lượng Q_2

Tỷ số h_2/d_2 phải đảm bảo điều kiện nhỏ hơn 1.

Chiều cao đập tràn được xác định sao cho lưu lượng nước xả qua đập lớn hơn lưu lượng của tuyến cống phía sau:

$$Q > Q_k (1 + n) \quad (9)$$

Như vậy, chiều cao của đập tràn sẽ là:

$p = h_2'$ nếu $h_2' > h_2$ hoặc: $p = h_2$ nếu $h_2 > h_2'$

Thông thường đối với hệ thống thoát nước các đô thị, cao độ đập tràn không thấp hơn mức nước khống chế trong sông hồ (mức nước cao nhất tương ứng với trận mưa tính toán) để nước sông hồ không chảy vào tuyến cống dẫn nước về nhà máy XLNT, nhưng cũng không quá cao để đảm bảo tiêu thoát nước mưa lưu vực giếng CSO.

Để khống chế lưu lượng trong tuyến cống phía sau đập tràn khi $Q > Q_k (1 + n_0)$, phía trên đập tràn có thể đặt phao điều chỉnh ở độ cao h2 tính từ đáy tuyến cống này.

Chiều cao cột nước tính toán phía trên mặt đập tràn xác định theo công thức:

$$H_{tt} = h_{tg} - p \quad (10)$$

Hệ số lưu lượng của đập tràn m:

$$m = 0,38 + 0,30\frac{H_{tt}}{p} \quad (11)$$

Chiều dài của đập tràn được xác định dựa vào công thức thủy lực [5]:

$$l = \frac{Q}{\sigma . m . \sqrt{2g} H_{tt}^{3/2}} \quad (12)$$

trong đó:

σ - Hệ số ngập của đập tràn.

g - Gia tốc trọng trường bằng 9,81 m/s2.

Trong trường hợp đập tràn không bị ngập (mép tràn cao hơn vòm cống xả nước xả ra sông hồ), hệ số ngập của đập tràn σ = 1, nếu đập tràn bị ngập (mép đập tràn thấp hơn vòm cống xả nước ra sông hồ), σ phụ thuộc vào độ chênh cao độ giữa vòm cống xả và mép ngập tràn hn và vào độ chênh cao độ giữa vòm

cống dẫn nước vào mép tràn vào vòm cống xả ra sông hồ. Giá trị σ trong trường hợp này xác định theo biểu đồ nêu trong các sổ tay tính toán thủy lực công trình.

Chiều dài đập tràn không ngập l được xác định theo công thức (12). Tuy nhiên, trong thiết kế thoát nước với độ sâu cho phép, l có thể xác định theo công thức sau đây:

$$l = 0,75\frac{Q}{H_{tt}^{3/2}} \quad (13)$$

Tuyến cống xả nước ra sông hồ được thiết kế chảy đầy. Nguyên tắc tính toán thiết kế tuyến cống xả tương tự như đối với cống xả nước mưa ra sông, hồ.

Trong trường hợp mưa lớn, cao độ mực nước trên đập tràn có thể vượt độ cao h2 thì có thể xả khẩn cấp nước mưa từ giếng ra sông bằng cách bố trí ống xả qua đập tràn. Đường ống xả khẩn cấp đặt ở đáy khoang tách nước thải. Lượng nước xả khẩn cấp qua đập Qkc, m^3/s, được xác định như lưu lượng nước vận chuyển qua đoạn ống ngắn [5]:

$$Q_{kc} = \mu \times \frac{\pi \times d^2}{4} \times \sqrt{2 \times g \times Z_0} \quad (14)$$

trong đó:

Z_0 - Chiều cao mực nước cần xả sự cố, thường lấy bằng H_{tt}, *m*

Hệ số lưu lượng μ trong (14) được xác định như sau:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum \varepsilon + \frac{\delta \times l}{d}}} \quad (15)$$

trong đó:

∑ε -Tổng hệ số tổn thất áp lực;

δ - Hệ số ma sát thủy lực, với ống đường kính lớn thì lấy 0,025 (không phụ thuộc vật liệu đường ống);

l - Chiều dài xả dưới chân đập;

d - Đường kính ống xả khẩn cấp.

Một ví dụ tính toán giếng CSO đầu sông Sét để thu gom nước thải về nhà máy XLNT Yên Sở thuộc lưu vực thoát nước S1 của vùng nội đô thành phố Hà Nội [6] với các dữ liệu như sau:

- Diện tích lưu vực tuyến cống: 86,2 ha
- Lưu lượng nước thải trung bình từ lưu vực: 70,68 l/s
- Lưu lượng nước mưa qua cống ứng với trận mưa tính toán: 19.222,6 l/s (19,222 m^3/s)
- Mực nước khống chế về mùa mưa của sông sau cống xả: +2,90 m
- Cao độ đáy sông: +1,80 m
- Kích thước cống (cống hộp): BxH=3mx3m
- Cao độ đáy cống: +.2,14m
- Cao độ đỉnh cống: +5,14m

Lựa chọn hệ số pha loãng của giếng n_0=1,5. Lưu lượng hỗn hợp nước mưa nhiễm bẩn và nước thải được thu gom từ giếng CSO này về nhà máy XLNT Yên Sở là 176,71 l/s và lưu lượng nước xả qua đập tràn vào sông ứng với trận mưa tính toán là 19 100 l/s (19,1 m^3/s). Trên cơ sở này xác định được các thông số của giếng là:

- Chiều dài đập tràn: 15,2 m
- Cao độ đỉnh đập tràn : +2,90 m
- Chiều cao đập tràn: 1,1 m
- Chiều cao lớp nước trên đập tràn ứng với trận mưa tính toán: 0,6 m
- Trong trường hợp trận mưa vượt cường độ trận mưa tính toán, lưu lượng nước mưa xả khẩn cấp vào sông qua đường ống D800 chiều dài l=3m đặt dưới chân đập tràn là 1,56 m^3/s.

4. KẾT LUẬN

Giếng tràn nước mưa (CSO) là một công trình không thể thiếu được trên HTTN chung. Giếng CSO phải hoạt động để tách và thu gom được đầy đủ nước thải, nước mưa nhiễm bẩn về nhà máy XLNT, đồng thời đảm bảo cho việc tiêu thoát nước mưa để không gây úng ngập trong lưu vực thoát nước. Đặc thù HTTN chung các đô thị Việt Nam không những dẫn đến thay đổi hình thức thu gom nước thải (cống bao hoặc cống gom) về nhà máy XLNT tập trung mà còn thay đổi vị trí xây dựng và cấu tạo các loại công trình giếng CSO. Trong điều kiện các đô thị Việt Nam do bối cảnh biến đổi khí hậu, chế độ thủy văn các sông hồ tiếp nhận nước mưa rất phức tạp nên cần phải lựa chọn giá trị các thông số, phương pháp tính toán thủy lực và thiết kế giếng CSO phù hợp, đảm bảo yêu cầu cả về xử lý ô nhiễm nước thải cũng như thoát nước mưa■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hoàng Văn Huệ và những người khác. Thoát nước, tập 1: Mang lưới thoát nước. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2002.

2. Roland K Price, Zoran Vojinovic. Urban Hydroinformatics: Data, Models and Decision Support for Integrated Urban Water Management. IWA Publishing, 2011.

3. TCVN 7957:2023-Thoát nước: Mạng lưới bên ngoài và công trình – Các yêu cầu thiết kế.

4. Trần Đức Hạ, Trần Đức Minh Hải. Các công trình thoát nước và xử lý nước thải đô thị. Nhà xuất bản Xây dựng, 2024.

5. Kixêlep P.G. và những người khác. Sổ tay tính toán thủy lực (dịch từ tiếng Nga). Nhà xuất bản Xây dựng, 2012.

6. Trung tâm quản lý hạ tầng kỹ thuật thành phố Hà Nội. Báo cáo nghiên cứu khả thi dự án: Xây dựng hệ thống thu gom nước thải (lưu vực S1) về nhà máy xử lý nước thải Yên Sở. Hà Nội, 2025.

ĐỀ XUẤT CHIẾN LƯỢC ESG CHO AGRIBANK GIAI ĐOẠN 2026 - 2030 VÀ TẦM NHÌN ĐẾN NĂM 2050

NGUYỄN XUÂN PHI[1], HOÀNG VIẾT THẮNG[2], NGUYỄN THỊ LIÊN[3]
[1]*Văn phòng đại diện Agribank khu vực miền Nam*
[2]*Ngân hàng nhà nước Chi nhánh khu vực 2*
[3]*Agribank Training School*

Tóm tắt
Ngân hàng Nông nghiệp và Phát triển nông thôn Việt Nam (Agribank) là ngân hàng thương mại chủ lực trong lĩnh vực nông nghiệp - nông thôn, với hơn 70 % dư nợ cho vay tập trung vào khu vực này. Thời gian gần đây, Agribank đã triển khai mạnh mẽ các chính sách quản lý môi trường - xã hội (ESG) theo hướng sàng lọc và hạn chế cấp tín dụng cho các ngành nghề gây hại. Nhờ đó, danh mục cho vay xanh tăng nhanh, phục vụ hàng chục nghìn khách hàng và dư nợ hàng tỷ đô la. Năm 2024, Agribank và AFD kí kết gói tín dụng xanh trị giá 50 triệu EUR nhằm tài trợ nông nghiệp sạch và xây dựng hệ thống quản lý rủi ro môi trường - xã hội. Tuy nhiên, tỷ trọng cho vay nông nghiệp cao khiến ngân hàng đối mặt rủi ro môi trường lớn, trong khi đó nông nghiệp Việt Nam lạm dụng phân bón và thuốc trừ sâu. Bài viết này tổng hợp và phân tích toàn diện các chính sách ESG của Agribank, cập nhật các gói tín dụng xanh và kết quả cho vay, đồng thời đánh giá điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội và thách thức và đưa ra mục tiêu cùng giải pháp cho giai đoạn 2026.
Từ khóa: *ESG, tín dụng xanh, nông nghiệp bền vững, quản trị rủi ro, Agribank, gói tín dụng ưu đãi, an sinh xã hội.*

ESG strategy proposal for Agribank period 2026 - 2030 and vision to 2050

Abstract
Agribank maintains its pivotal role as the leading commercial bank in the agricultural and rural sectors, with over 70% of its total loan portfolio dedicated to these areas. Recently, the bank has aggressively implemented Environmental, Social, and Governance (ESG) policies, adopting rigorous screening processes to restrict credit for environmentally harmful industries. This strategic shift has catalyzed a rapid expansion of its green loan portfolio, now serving tens of thousands of customers with an outstanding balance reaching billions of dollars. A landmark development in 2024 saw Agribank secure a €50 million green credit line from the French Development Agency (AFD) to finance clean agriculture and establish a robust Environmental and Social Risk Management (ESRM) system. Despite these advancements, the bank's high concentration in agriculture exposes it to significant environmental risks, particularly as Vietnamese farming continues to rely heavily on chemical fertilizers and pesticides.
This article provides a comprehensive analysis of Agribank's ESG policies, updates the performance of its green credit packages, and evaluates the institution's current standing through a SWOT analysis. Finally, the study outlines strategic objectives and actionable solutions for the 2026 period and beyond.
Keywords: *ESG, Green Credit, Sustainable Agriculture, Risk Management, Agribank, Preferential Loan Packages, Social Welfare.*
JEL Classifications: *Q55, Q56, Q57, Q58.*

1. BỐI CẢNH ESG TOÀN CẦU VÀ TRONG NƯỚC

Trên phạm vi quốc tế, ESG trong ngân hàng đang trở thành chuẩn mực mới; nhiều ngân hàng lớn cam kết phát thải ròng "0" vào 2050 theo Thỏa thuận Paris. Tiêu biểu, Liên minh Ngân hàng Net Zero - NZBA thành lập năm 2021 với gần 150 tổ chức tài chính (JPMorgan Chase, HSBC, UBS, Barclays…) nhằm định hướng danh mục đầu tư theo lộ trình Net Zero 2050 dựa trên mục tiêu khoa học và chuẩn mực minh bạch khí thải [1]. Ngân hàng HSBC đặt mục tiêu Net Zero cho toàn bộ danh mục khách hàng đến 2050, đồng thời công bố dành 750 tỷ - 1.000 tỷ USD tài trợ chuyển đổi xanh đến 2030; ngân hàng cũng đặt mốc trung gian như giảm 40% phát thải nội bộ vào 2030 và Net Zero vận hành vào 2030 [2]. Song song, chuẩn mực báo cáo/đánh giá ESG ngày càng hoàn thiện (GRI, SASB/ISSB, TCFD) và bổ sung IFRS S1–S2 (ISSB, 2023) về công bố thông tin bền vững và khí hậu [3]. Nhiều ngân hàng tiên phong áp dụng, như HDBank và VPBank đã phát hành báo cáo bền vững theo GRI và được kiểm toán độc lập [3]. Toàn cầu cũng chuyển dịch sang các mảng tài chính bền vững mới (tài chính đa dạng sinh học, trái phiếu xanh/xã hội) và ứng dụng AI/Blockchain để minh bạch dữ liệu ESG.

Việt Nam cam kết Net Zero 2050 tại COP26 - 28, kéo theo yêu cầu thúc đẩy ESG trong mọi ngành, đặc biệt là ngân hàng - kênh dẫn vốn của nền kinh tế [4]. Ngân hàng Nhà nước (NHNN) đã sớm định hướng chuyển đổi xanh: Chỉ thị 03/CT-NHNN (2015) yêu cầu tăng trưởng tín dụng xanh và xây dựng ESMS trong cấp tín dụng [6]; tiếp đó Quyết định số 1604/2018 và chiến lược ngành ngân hàng đến 2025, tầm nhìn 2030 nhấn mạnh tích hợp phát triển bền vững [4]. Đáng chú ý, Thông tư 17/2022 (hiệu lực 6/2023) bắt buộc tất cả tổ chức tín dụng triển khai hệ thống quản lý rủi ro môi trường - xã hội, nhất là với khoản vay rủi ro môi trường cao. Song song, khung chính sách tăng trưởng xanh (Quyết định số 1658/2021-2030) và kế hoạch hành động ngành ngân hàng (Quyết định số 1408/2023) thúc đẩy ESMS, sản phẩm tài chính xanh và công bố ESG định kỳ. Các quy định về mục tiêu phát triển bền vững, kiểm kê khí nhà kính (Luật BVMT 2020) và công bố báo cáo bền vững đối với doanh nghiệp niêm yết cũng tạo áp lực để ngân hàng giám sát phát thải khách hàng và nâng minh bạch ESG [3].

Mới đây, Quyết định số 21/2025/QĐ-TTg về tiêu chí dự án xanh và thống kê tín dụng xanh, cùng đề xuất hỗ trợ lãi suất 2%/năm cho dự án xanh/kinh tế tuần hoàn, tiếp tục tạo động lực mở rộng tín dụng xanh. Nhờ đó, tín dụng xanh tăng nhanh: tính đến ngày 30/9/2023 đạt trên 564 nghìn tỷ đồng (~4,4% tổng dư nợ) ; quý I/2025 đạt 704.244 tỷ đồng (~4,3%), tăng trưởng bình quân 21,2%/năm giai đoạn 2017 - 2024 . Tuy tỷ trọng mới quanh ~4,3 - 4,4%, nhưng nhu cầu vốn xanh tăng rõ, nhất là năng lượng tái tạo, nông nghiệp tuần hoàn, sản xuất sạch [6]. Về quản trị rủi ro, đến cuối năm 2024 đã có 57 tổ chức tín dụng triển khai đánh giá rủi ro môi trường với dư nợ được đánh giá khoảng 3,62 triệu tỷ đồng, NHNN đã phối hợp cùng Tổ chức Tài chính quốc tế (IFC) ban hành sổ tay hướng dẫn ESMS theo thông lệ quốc tế [3].

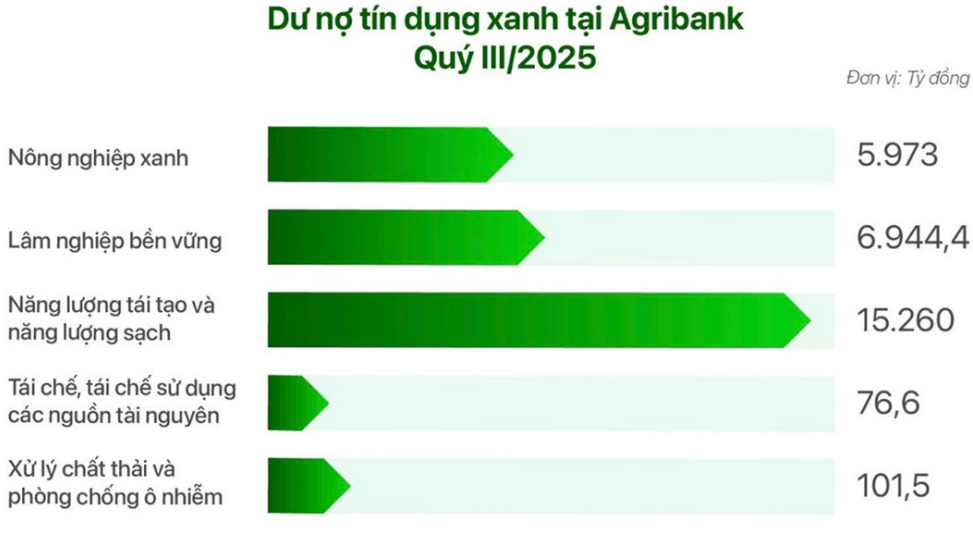
ESG đã trở thành yêu cầu bắt buộc: ngành ngân hàng phải tích hợp bền vững vào chiến lược, tái cấu trúc danh mục tín dụng và nâng chuẩn quản trị rủi ro, minh bạch để đáp ứng mục tiêu Net-Zero 2050 và định hướng tăng trưởng xanh của Chính phủ [6].

2. THỰC TRẠNG TRIỂN KHAI ESG TẠI AGRIBANK

Agribank với vai trò chủ lực trong tín dụng "Tam nông", đã bắt đầu thực thi ESG đồng bộ trong những năm gần đây. Agribank đã xác định ESG trên cả 3 trụ cột Môi trường, Xã hội, Quản trị và có những bước đi cụ thể ban đầu.

2.1. Trụ cột Môi trường (E)

Agribank đẩy mạnh tín dụng xanh và "xanh hóa" hoạt động. Ngân hàng đã ban hành quy định quản lý rủi ro môi trường trong cấp tín dụng, hướng dẫn chi nhánh nhận diện - đánh giá - kiểm soát rủi ro khi cho vay. Nhờ đó, dư nợ xanh tăng nhanh: tính đến ngày 30/9/2023 đạt hơn 12.000 tỷ đồng (~1% tổng dư nợ, ~42.000 khách hàng) và quý III/2025 ước ~29.000 tỷ đồng (1,7% tổng dư nợ), tăng mạnh so với 0,9% năm 2020 [3]. Danh mục tập trung vào năng lượng tái tạo (~15.000 tỷ; 54%), lâm nghiệp bền vững (~6.800 tỷ; 24,3%) và nông nghiệp xanh (~5.800 tỷ; 20,8%). Agribank triển khai gói "nông nghiệp sạch" với lãi suất giảm 0,5 - 1,5%/năm, đồng thời hợp tác các tổ chức tài chính quốc tế để nhận vốn ủy thác cho các dự án môi trường (nông nghiệp các-bon thấp, khí sinh học, nước sạch nông thôn, điện gió/điện mặt trời…). Bên cạnh tín dụng, Agribank chú trọng hoạt động nội bộ vì môi trường: phát động phong trào "Vì tương lai xanh" tới gần 40.000 cán bộ, hoàn thành trồng 1 triệu cây xanh, và lan tỏa các chiến dịch giảm rác



Hình 1. Kết quả triển khai các gói tín dụng xanh của Agribank đến Quý III/2025

thải nhựa, làm sạch môi trường, tặng túi vải/bình giữ nhiệt cho khách hàng [3] (Hình 1).

Qua đó, Agribank vừa thực hành ESG vừa đóng vai trò "cầu nối xanh" giữa chính sách và khu vực doanh nghiệp–nông nghiệp, hướng tới mục tiêu "Ngân hàng vì tương lai xanh của Việt Nam".

2.2. Trụ cột Xã hội (S)

Là ngân hàng gắn với "Tam nông", Agribank giữ vai trò then chốt trong tài chính toàn diện và an sinh xã hội. Ngân hàng triển khai 07 chương trình tín dụng chính sách và 02 chương trình mục tiêu quốc gia hỗ trợ vốn cho nông thôn, vùng sâu vùng xa; phối hợp các tổ chức đoàn thể (Hội Nông dân, Hội Phụ nữ…) xây dựng mô hình tổ vay vốn đến tận thôn bản, giúp người dân tiếp cận vốn nhanh, hiệu quả, dẫn vốn tới hàng triệu hộ với nợ xấu rất thấp, đồng thời hỗ trợ phụ nữ phát triển kinh tế hộ, góp phần thúc đẩy bình đẳng giới. Trên nền tảng công nghệ, Agribank mở rộng dịch vụ ngân hàng số (Internet/Mobile Banking, thanh toán không tiền mặt, ví liên kết…) để người dân vùng xa tiếp cận dịch vụ hiện đại.

Về cộng đồng, riêng năm 2022, Agribank dành hơn 600 tỷ đồng cho an sinh: Hỗ trợ huyện nghèo, xây 2.000 căn nhà tình nghĩa/đại đoàn kết, tài trợ trường học, trạm y tế, khám chữa bệnh miễn phí và cứu trợ thiên tai. Với người lao động, ngân hàng đảm bảo phúc lợi đầy đủ (BHXH, BHYT, BHTN; tiêm vắc-xin; khám sức khỏe định kỳ), thu nhập ổn định (quỹ lương 2022 khoảng 13.828 tỷ, bình quân ~29,8 triệu đồng/người/tháng) và thúc đẩy môi trường làm việc công bằng, trong đó ~54% nhân sự là nữ với nhiều nữ lãnh đạo và cán bộ quản lý. Tổng thể, Agribank thực thi tốt trách nhiệm xã hội với khách hàng, cộng đồng và nhân viên.

2.3. Trụ cột Quản trị (G)

Về quản trị, Agribank đang từng bước tích hợp ESG vào hệ thống quản trị doanh nghiệp. Hiện tại Ngân hàng chưa có phòng ban chuyên trách về ESG, tuy nhiên đã thành lập Ban Chỉ đạo và Tổ giúp việc ESG từ ngày 27/07/2023, với sự tham gia của lãnh đạo cấp cao và các đơn vị liên quan tại Trụ sở chính, hướng tới hình thành đầu mối phát triển bền vững chuyên trách. Ban này chịu trách nhiệm xây dựng Đề án ESG và giám sát triển khai ESG ngắn - dài hạn. Về minh bạch, Agribank công bố thông tin qua website, báo cáo tài chính kiểm toán, báo cáo thường niên và báo cáo định kỳ cho NHNN/cơ quan hữu quan; đồng thời thiết lập cơ chế nội bộ như tách bạch quản trị - điều hành, các tuyến phòng ngừa rủi ro, công khai thu nhập lãnh đạo, kê khai tài sản và tuân thủ phòng chống tham nhũng. Ngân hàng cũng tăng cường quản trị rủi ro bằng cách lồng ghép rủi ro môi trường - xã hội vào khung quản trị rủi ro chung, hạn chế/không cấp tín dụng mới cho các lĩnh vực thuộc danh mục loại trừ hoặc rủi ro ô nhiễm cao.

Đáng chú ý, Agribank đang thí điểm chấm điểm rủi ro ESG dựa trên AI tại một số chi nhánh trọng điểm, giúp rút ngắn 40% thời gian xét duyệt khoản vay xanh và giảm 18% rủi ro nợ xấu ở dự án nông nghiệp. Về báo cáo, Agribank hiện lồng ghép nội dung bền vững trong Báo cáo thường niên và dự kiến phát hành báo cáo bền vững độc lập theo chuẩn GRI năm 2026 để chuẩn hóa công bố thông tin [3]. Song song, tiêu chí phát triển bền vững đã được xác lập như giá trị cốt lõi ("Vì tương lai xanh") và các nỗ lực bước đầu được ghi nhận qua các danh hiệu, giải thưởng năm 2025.

Agribank đã khởi động ESG với kết quả ban đầu tích cực (tín dụng xanh, khung quản trị rủi ro môi trường - xã hội, hoạt động cộng đồng), tạo nền tảng để xây dựng chiến lược ESG 2026-2030 bài bản hơn, hướng tới vị thế ngân hàng xanh, phát triển bền vững hàng đầu.

3. ĐỀ XUẤT CHIẾN LƯỢC ESG AGRIBANK GIAI ĐOẠN 2026–2030

Để trở thành ngân hàng tiên phong phát triển bền vững, Agribank cần chiến lược ESG giai đoạn 2026-2030 tham vọng nhưng khả thi, bám sát định hướng Chính phủ và thông lệ quốc tế; triển khai theo 3 trụ cột E-S-G với mục tiêu, sáng kiến chủ đạo, KPI và lộ trình rõ ràng.

3.1 Trụ cột Môi trường (Environmental)

E1 – Tăng tỷ trọng tín dụng xanh & tài trợ bền vững

• Sáng kiến: Phát triển sản phẩm tín dụng xanh (năng lượng tái tạo, nông nghiệp công nghệ cao giảm phát thải, công trình xanh…), mở rộng gói ưu đãi từ "nông nghiệp sạch"; phát hành trái phiếu xanh (tham khảo BIDV 100 triệu USD năm 2023 [3]); hợp tác IFC/ADB huy động vốn ưu đãi; xây danh mục dự án xanh trọng điểm (điện gió, mặt trời, giao thông xanh…).

• KPI: Nâng tỷ trọng tín dụng xanh từ ~1,7% (2025) lên 5% (2028) và ≥7% (2030); dư nợ xanh ~40-50 nghìn tỷ (2028) và ~70-80 nghìn tỷ (2030); phát hành 1-2 đợt trái phiếu xanh tổng tối thiểu 5.000 tỷ đồng; tăng trưởng dư nợ xanh >20%/năm [3].

• Lộ trình: Năm 2026 hoàn thiện chính sách & chuẩn danh mục dự án; Năm 2027 phát hành trái phiếu xanh lần 1; Năm 2028 đạt 5% & đo hiệu quả CO_2/MW; 2029 mở rộng kinh tế tuần hoàn; 2030 dư nợ xanh ≥7%, vào nhóm dẫn đầu.

E2 - Quản lý rủi ro khí hậu & giảm phát thải vận hành

• Sáng kiến: triển khai ESMS toàn hệ thống theo yêu cầu NHNN; đến năm 2030, 100% khoản

vay mới (đặc biệt khoản lớn) phải thẩm định ESG; công bố khí hậu theo TCFD (stress test danh mục nông nghiệp); chương trình "Ngân hàng xanh" giảm điện, giấy, nhựa, tăng tái chế, năng lượng mặt trời áp mái… hướng tới trung hòa các-bon vận hành trước năm 2040.

• KPI: từ năm 2027, 100% khoản vay trung-dài hạn >50 tỷ được thẩm định MT–XH; tiến tới 100% khoản vay mới vào 2030. Giảm ≥20% phát thải nội bộ năm 2030 so với năm 2025; xây bộ chỉ số rủi ro khí hậu trước năm 2028; kiểm soát tổn thất thiên tai <5% danh mục nông nghiệp.

• Lộ trình: Năm 2026 đào tạo & stress test; Năm 2027 tích hợp ESG vào phê duyệt tín dụng; Năm 2028 công bố báo cáo TCFD; Năm 2029 rà soát ESMS; Năm 2030 tích hợp rủi ro khí hậu vào khung quản trị rủi ro và sẵn sàng đo chỉ số financed emissions (lượng khí nhà kính CO_2, CH_4,…phát sinh từ các hoạt động mà ngân hàng/tổ chức tài chính cấp vốn, phát thải tài chính).

E3 – Đồng hành Net Zero 2050

• Sáng kiến: Ban hành danh mục loại trừ/hạn chế môi trường; ngừng cấp tín dụng mới cho nhiệt điện than từ 2026; ưu tiên vốn cho lĩnh vực các-bon thấp (≥70% tín dụng xanh vào năng lượng tái tạo, nông nghiệp thông minh khí hậu, giao thông sạch…); cân nhắc tham gia PRB/ NZBA khi điều kiện phù hợp; áp dụng "climate lens – lăng kính khí hậu" trong quyết định tài trợ [2].

• KPI: Giảm 30% cường độ phát thải danh mục tín dụng đến 2030 so 2025; 100% dự án điện mới tài trợ sau năm 2025 là năng lượng tái tạo; dư nợ năng lượng tái tạo tăng từ ~15.000 tỷ lên đến hơn 30.000 tỷ vào 2030 [3]. Công bố cam kết Net Zero 2050 cho danh mục cho vay, kèm mốc 2030-2040 (ví dụ 50% khách hàng doanh nghiệp có kế hoạch chuyển đổi năng lượng sạch đến năm 2030).

• Lộ trình: Năm 2026 công bố không tài trợ than mới và danh mục loại trừ [4]; Năm 2027 xây phương pháp đo phát thải danh mục (tham khảo PCAF); Năm 2028 thử nghiệm công bố financed emissions; Năm 2029 rà soát cắt giảm dư nợ ngành phát thải cao và hỗ trợ SME xanh hóa; Năm 2030 thể chế hóa mục tiêu Net Zero 2050 và đạt các chỉ tiêu trung gian.

3.2 Trụ cột Xã hội (Social)

S1. Thúc đẩy tài chính toàn diện, hỗ trợ nhóm yếu thế

• Sáng kiến: Mở rộng 07 chương trình tín dụng chính sách; phối hợp NHCSXH tránh bỏ sót đối tượng; phát triển gói Agribank Digital Rural (tài khoản miễn phí, ví, vay online nhỏ); tăng xe giao dịch lưu động cho vùng sâu; mở rộng mô hình tổ vay vốn với Hội Nông dân/Hội Phụ nữ tới 100% xã, kèm tập huấn quản lý vốn.

• KPI: Tăng thêm 500.000 khách hàng yếu thế vay vốn giai đoạn 2026-2030; duy trì dư nợ nông nghiệp - nông thôn ≥70%; Năm 2028, 100% huyện nghèo có điểm cung ứng dịch vụ; Đến năm 2030 mỗi xã có tối thiểu 1 đại lý/tổ vay vốn hoạt động; nợ xấu chương trình chính sách <1%.

• Lộ trình: Năm 2026 rà soát và đề xuất tăng hạn mức/chương trình mới; Năm 2027 mở rộng xe lưu động tại 10 tỉnh khó khăn; Năm 2028 phủ dịch vụ tới mọi huyện nghèo; Năm 2029 kết nối Fintech để mở rộng bảo hiểm vi mô/thanh toán số; đến năm 2030 đóng góp lớn nhất cho mục tiêu bao phủ tài chính quốc gia.

S2. Đóng góp cộng đồng, phát triển nông thôn bền vững

• Sáng kiến: duy trì/tăng ngân sách CSR (nhà tình nghĩa, trường - trạm, đường nông thôn, cứu trợ thiên tai…); gắn CSR với sản phẩm (tín dụng giáo dục + học bổng, nhà ở xã hội); chương trình "Agribank - Đồng hành cùng nông thôn mới"; giáo dục tài chính cộng đồng cho thanh niên, phụ nữ, nhóm yếu thế.

• KPI: trích 1-2% lợi nhuận trước thuế/năm cho CSR; 2026-2030 xây/cải tạo 10.000 nhà tình nghĩa, xây 50 trường học & trạm y tế, tài trợ 100 km đường nông thôn; chỉ số hài lòng cộng đồng >90%; đào tạo tài chính ≥20.000 người/năm.

• Lộ trình: Năm 2026 công bố chương trình 5 năm (ưu tiên miền núi phía Bắc, Tây Nguyên); Năm 2027 đánh giá giữa kỳ & điều chỉnh ngân sách; Năm 2028 tổng kết đóng góp Nông thôn mới; Năm 2029 hoàn thiện các hạng mục cam kết; Năm 2030 hoàn thành mục tiêu, ngân sách an sinh tăng ≥50% so với 5 năm trước.

S3. Phát triển nguồn nhân lực & văn hóa trách nhiệm

• Sáng kiến: chính sách đa dạng & hòa nhập (D&I), giữ tỷ lệ nữ ~50%, phấn đấu ≥20% lãnh đạo cấp cao là nữ vào 2030; đãi ngộ cạnh tranh (đặc biệt nhân sự công nghệ/ESG); đào tạo ESG bắt buộc ≥8 giờ/năm/người, đào tạo chuyên sâu cho quản lý (IFC/ACCA…); đưa tiêu chí trách nhiệm xã hội vào đánh giá hiệu suất, khuyến khích sáng kiến ESG tại chi nhánh.

• KPI: nữ lãnh đạo ≥20% (2030); hài lòng nhân viên >90%; 100% nhân viên hoàn thành đào tạo ESG cơ bản trước 2028, ≥70% được đào tạo nâng cao (≥12 giờ) [3]; 2027 100% nhân viên có KPI ESG; 100% ký cam kết đạo đức hằng năm; nghỉ việc <5%/năm.

• Lộ trình: 2026 ban hành chính sách D&I và đào tạo ESG toàn hệ thống; 2027 gắn ESG vào thi đua–khen thưởng và thưởng cuối năm [3]; 2028 tăng mentoring/quy hoạch cán bộ nữ nếu lệch mục tiêu; 2029 khảo sát

độc lập văn hóa & cam kết ESG; 2030 hoàn thành mục tiêu nhân sự và văn hóa bền vững.

3.3. Trụ cột Quản trị (Governance)

G1. Hoàn thiện cơ cấu ESG và minh bạch thông tin

• Sáng kiến: thành lập bộ phận chuyên trách ESG trực thuộc Ban Điều hành từ 2026; nâng Ban Chỉ đạo ESG lên Ủy ban Phát triển bền vững trực thuộc HĐTV; cập nhật quy chế giám sát ESG và cơ chế báo cáo định kỳ. Công bố Báo cáo PTBV hằng năm theo GRI từ báo cáo năm 2026, tiến tới tích hợp IFRS S1/S2 khi Việt Nam chấp nhận; thuê kiểm toán độc lập (Big4) và công bố đầy đủ trên website, đáp ứng yêu cầu thị trường vốn khi cổ phần hóa/niêm yết [3].

• KPI: lập bộ phận ESG trước Q2/2026, Ủy ban ESG họp tối thiểu hàng quý; 100% năm từ 2026 có báo cáo phát triển bền vững riêng theo GRI/ tương đương, đến 2030 tích hợp IFRS S1/S2; xếp hạng ESG thuộc Top 5 ngân hàng Việt Nam (nếu tham gia MSCI/ Sustainalytics); 100% phản hồi ESG được xử lý; duy trì Top 10 CSI hằng năm.

• Lộ trình: 2026 phê duyệt cơ cấu, bổ nhiệm lãnh đạo ESG và công bố báo cáo theo GRI [3]; 2027 nghiên cứu báo cáo tích hợp; 2028 kiểm toán độc lập & bổ sung phụ lục TCFD; 2029 so sánh hệ thống ESG của Agribankvới các chuẩn quốc tế như TCFD, GRI, ngân hàng tiên tiến,…sau đó điều chỉnh lại quy trình, chỉ số cho đạt chuẩn và cập nhật theo chuẩn mới; 2030 xuất bản báo cáo PTBV đạt chuẩn quốc tế.

G2. Tăng cường quản trị rủi ro và tuân thủ gắn với ESG

• Sáng kiến: Nhúng rủi ro ESG vào khung quản trị rủi ro tổng thể; tích hợp tiêu chí ESG vào hệ thống chấm điểm/xếp hạng tín dụng doanh nghiệp; mở rộng AI chấm điểm rủi ro ESG toàn quốc sau thí điểm (giảm 18% rủi ro nợ xấu) [3]; củng cố chống tham nhũng (kênh tố giác ẩn danh, xoay vòng vị trí nhạy cảm) và ứng dụng AI phát hiện giao dịch bất thường/AML.

• KPI: 2027: 100% khoản vay ≥50 tỷ có báo cáo đánh giá ESG [3]; 2030: sàng lọc ESG cho toàn bộ cấp tín dụng (kể cả SME) qua công cụ tự động; nợ xấu danh mục tín dụng xanh <1%; giảm >15% nợ xấu nông nghiệp đến 2030; 100% CBNV ký cam kết tuân thủ và được tập huấn hằng năm; 0 vụ vi phạm lớn; duy trì/nâng xếp hạng tín nhiệm, không bị ảnh hưởng do ESG [4].

• Lộ trình: 2026 tích hợp ESG vào quy trình tín dụng trên CoreBanking & phát hành sổ tay nội bộ; 2027 ra mắt AI ESG cho nông nghiệp kết nối dữ liệu thời tiết; 2028 mở rộng AI cho DN và kiểm toán nội bộ chuyên đề; 2029 xây CSDL tổn thất/rủi ro ESG; 2030 "nhúng ESG trong mọi quyết định".

G3. Đổi mới sáng tạo và hợp tác quốc tế thúc đẩy ESG

• Sáng kiến: xây kho dữ liệu ESG tập trung (ESG data warehouse) kết nối core banking/QTRR và nguồn dữ liệu ngoài (thậm chí IoT) [3]; dùng Big Data/AI tự động hóa thu thập - phân tích - báo cáo; thí điểm Blockchain truy xuất dòng tiền xanh cho khoản vay/ trái phiếu xanh [3]; mở rộng hợp tác huy động vốn và hỗ trợ kỹ thuật từ IFC, ADB, GIZ, AFD…

• KPI: đến 2028 65% dữ liệu ESG được thu thập tự động; thời gian lập báo cáo ESG giảm còn <1 tháng; blockchain thí điểm ≥5 dự án; huy động vốn xanh quốc tế ≥500 triệu USD giai đoạn 2026–2030; nhận hỗ trợ kỹ thuật từ ≥3 tổ chức [3].

• Lộ trình: 2026 chọn nhà cung cấp & thiết kế kiến trúc kho dữ liệu; 2027 hoàn thiện giai đoạn 1 và kết nối thử nguồn ngoài; 2028 vận hành AI báo cáo & thí điểm blockchain cho lô trái phiếu xanh; 2029 mở rộng cho dự án >100 tỷ và thúc đẩy quỹ/hợp tác ESG; 2030 số hóa toàn bộ dữ liệu - quy trình ESG, Agribank đóng vai trò trung tâm hợp tác tài chính xanh quốc tế.

Trụ cột G tập trung "đóng khung" ESG bằng tổ chức - minh bạch - quản trị rủi ro - công nghệ, với KPI định lượng và lộ trình theo mốc 2026–2030, nhằm nâng năng lực cạnh tranh và đáp ứng yêu cầu pháp lý/ kỳ vọng xã hội về phát triển bền vững [3]

4. TẦM NHÌN ESG ĐẾN NĂM 2050

Nhìn về dài hạn, tầm nhìn ESG của Agribank đến 2050 là trở thành ngân hàng dẫn đầu trong phát triển bền vững, gắn kết hài hòa giữa tăng trưởng kinh doanh và bảo vệ môi trường, phát triển xã hội. Năm 2050 cũng là cột mốc Việt Nam hướng tới nền kinh tế trung hòa các-bon, Agribank xác định sẽ đóng vai trò nòng cốt trong việc tài trợ nền kinh tế xanh và nông nghiệp bền vững (Hình 2).

Thứ nhất, danh mục tín dụng trung hòa các-bon: Đến 2050, toàn bộ danh mục đầu tư và cho vay của Agribank đạt phát thải ròng bằng 0, đồng nghĩa ngân hàng không còn tài trợ cho các hoạt động phát thải ròng CO_2 (hoặc phát thải nào còn lại sẽ được bù đắp hoàn toàn). Danh mục khách hàng của Agribank khi đó sẽ bao gồm các doanh nghiệp đã chuyển đổi sang công nghệ sạch, năng lượng tái tạo chiếm tỷ trọng áp đảo trong ngành năng lượng Việt Nam. Ngân hàng hướng đến hình mẫu một tổ chức tài chính "không phát thải" tương tự cam kết của các ngân hàng tiên tiến trên thế giới [2].

Thứ hai, tiên phong tài trợ phát triển bền vững nông nghiệp: Với sứ mệnh ngành nông nghiệp, đến 2050 Agribank đặt mục tiêu tạo dựng một hệ sinh thái tài chính xanh cho nông thôn, hỗ trợ nông dân ứng



Hình 2. Tín dụng hướng tới nền kinh tế xanh và nông nghiệp bền vững của Agribank

phó hoàn toàn với biến đổi khí hậu. Ngân hàng sẽ tài trợ mạnh cho các mô hình nông nghiệp thông minh, tuần hoàn (ví dụ: nông nghiệp các-bon thấp, trồng trọt hữu cơ kết hợp năng lượng mặt trời, chăn nuôi tuần hoàn chất thải). Agribank trở thành "ngân hàng của nông dân thời 4.0", cung cấp cả tín dụng, bảo hiểm nông nghiệp, dịch vụ tư vấn rủi ro khí hậu cho khách hàng. Đến 2050, Agribank phấn đấu góp phần biến nền nông nghiệp Việt Nam thành bền vững và thích ứng hàng đầu thế giới.

Thứ ba, hoạt động vận hành xanh và có trách nhiệm: Vào 2050, mọi hoạt động nội bộ Agribank sẽ 100% sử dụng năng lượng tái tạo, trụ sở, chi nhánh đạt chuẩn "công trình xanh". Ngân hàng ứng dụng triệt để công nghệ (AI, IoT, blockchain thế hệ mới) trong quản trị, giảm thiểu lãng phí tài nguyên. Văn hóa doanh nghiệp Agribank năm 2050 thấm nhuần ý thức bảo vệ môi trường, "xanh hóa" từ những việc nhỏ nhất. Agribank cũng duy trì vai trò trụ cột an sinh xã hội, là đối tác đáng tin cậy của Chính phủ trong các chương trình phát triển bền vững (giảm nghèo bền vững, xây dựng nông thôn mới nâng cao, đô thị xanh).

Thứ tư, đáp ứng chuẩn mực quốc tế cao nhất: Đến 2050, Agribank sẽ tuân thủ đầy đủ các chuẩn mực quốc tế về báo cáo và quản trị ESG. Báo cáo phát triển bền vững của Agribank sẽ ở đẳng cấp toàn cầu, được các tổ chức quốc tế ghi nhận. Các thông lệ tiên tiến như đo lường tác động ESG, định giá rủi ro khí hậu sẽ ăn sâu vào mọi quyết định kinh doanh. Agribank phấn đấu nằm trong danh sách những ngân hàng bền vững hàng đầu khu vực châu Á - Thái Bình Dương.

Thứ năm, đổi mới và thích ứng liên tục: Tầm nhìn 2050 cũng bao hàm việc Agribank liên tục học hỏi và đổi mới suốt chặng đường dài. Những xu hướng mới như tài chính cho đa dạng sinh học, tài chính khí hậu thông minh (ứng dụng AI ra quyết định đầu tư xanh)… sẽ được Agribank đón bắt sớm. Ngân hàng cũng chủ động thích ứng với các biến động (như đã chứng kiến NZBA thay đổi, xu hướng mới nổi về tài chính sinh thái thông minh [1]) để luôn đi đầu. Agribank năm 2050 sẽ là một tổ chức học tập về ESG, nơi mọi thực tiễn tốt nhất đều được nội địa hóa và triển khai hiệu quả.

Nhìn chung, tầm nhìn ESG 2050 của Agribank phù hợp với định hướng quốc gia và xu thế toàn cầu. Ngân hàng đặt mục tiêu không chỉ theo kịp mà còn dẫn dắt sự chuyển đổi xanh trong ngành tài chính nông thôn. Bằng cách kiên định lộ trình đã đề ra đến 2030 và tiếp tục cập nhật chiến lược cho các thập niên sau, Agribank có thể hiện thực hóa viễn cảnh một ngân hàng phát triển bền vững hàng đầu, trụ cột của nền kinh tế xanh Việt Nam vào năm 2050 [6].

4.1 So sánh chiến lược ESG của Agribank với các ngân hàng khác và bài học kinh nghiệm

Để hoàn thiện chiến lược ESG, Agribank có thể học hỏi kinh nghiệm từ các ngân hàng thương mại cổ phần

lớn trong nước cũng như các ngân hàng quốc tế đã đi trước trong lĩnh vực này.

Các ngân hàng lớn toàn cầu có chiến lược ESG rất bài bản và thường đi trước một bước. Chẳng hạn, HSBC (Anh) ngoài cam kết Net Zero 2050 còn đặt mục tiêu cung cấp $750 tỷ – $1.000 tỷ tài chính bền vững đến 2030 để hỗ trợ khách hàng chuyển đổi [2]. HSBC cũng đã đạt giảm 30% phát thải danh mục cho vay ở một số lĩnh vực vào 2025 và sử dụng công cụ đánh giá chuyển đổi (PACTA) để báo cáo tiến độ. Standard Chartered (Anh) thì ban hành chính sách rất chặt chẽ: ngừng hoàn toàn tài trợ nhiệt điện than mới, sẽ loại bỏ dần dư nợ than hiện hữu trước 2030 ở nhiều thị trường [7], [8]. Họ thậm chí tài trợ các dự án đóng cửa nhà máy than sớm (như tại Indonesia) để giảm phát thải. Nhiều ngân hàng phương Tây đã áp dụng TCFD từ sớm, công bố chi tiết mức cho vay theo ngành và cường độ phát thải. Họ cũng đầu tư mạnh vào năng lực stress test khí hậu, thậm chí mô phỏng tác động biến đổi khí hậu đến tỷ lệ tổn thất tín dụng trong 30 năm tới. Ngoài ra, các ngân hàng tiên tiến còn chú ý đến tài chính đa dạng sinh học (ví dụ như hỗ trợ dự án bảo tồn rừng, nông nghiệp tái sinh) – một xu hướng mới nổi sau khí hậu [1].

Một số bài học kinh nghiệm sau:

(1) Chính sách tín dụng chọn lọc: Ngân hàng Standard Chartered có lộ trình thoái giảm dư nợ ở những ngành này trước 2040. Điều này sẽ sớm trở thành yêu cầu từ phía các nhà đầu tư và định chế xếp hạng.

(2) Minh bạch và chuẩn hóa báo cáo: Tuân thủ các chuẩn quốc tế (GRI, ISSB) là xu hướng tất yếu. Khi Việt Nam hội nhập sâu, các báo cáo ESG của ngân hàng cần "nói cùng ngôn ngữ" với thế giới.

(3) Đổi mới sản phẩm: Ngân hàng nước ngoài rất sáng tạo: phát hành nhiều loại trái phiếu bền vững, khoản vay liên kết bền vững (lãi suất ưu đãi nếu khách hàng đạt mục tiêu ESG), tín dụng các-bon...

Đề xuất hành động cụ thể cho Agribank:

Ngắn hạn (2026 -2030): Đẩy nhanh xây dựng năng lực nội bộ (thành lập bộ phận ESG, đào tạo nhân sự chuyên sâu) và hoàn thiện quy chế (ESMS, danh mục loại trừ). Song song, bắt đầu tham gia thị trường vốn xanh: cân nhắc phát hành trái phiếu xanh hoặc trái phiếu bền vững trong 1-2 năm tới khi điều kiện thuận lợi [3]. Tận dụng lợi thế là ngân hàng thương mại 100% vốn nhà nước để kết nối với Bộ Tài chính, NHNN tranh thủ chính sách hỗ trợ (như gói tái cấp vốn lãi suất ưu đãi cho tín dụng xanh nếu có).

Tham gia các sáng kiến toàn cầu có chọn lọc: PRB (Principles for Responsible Banking) của Liên Hợp Quốc là bước đầu tốt, sau đó có thể là Net Zero Banking Alliance khi bối cảnh pháp lý cho phép. Xây dựng uy tín quốc tế qua việc minh bạch và đạt thành tựu (ví dụ: lượng phát thải giảm, số hộ nghèo được vay vốn...) để có tiếng nói trong các diễn đàn.

Dài hạn (2040 -2050): Duy trì vị thế dẫn đầu trong nước và vươn ra khu vực. Agribank có thể hướng tới vai trò ngân hàng chủ lực về tài chính xanh trong ASEAN mảng nông nghiệp. Hợp tác với các ngân hàng phát triển nông nghiệp các nước (như BRI của Indonesia, BAAC của Thái Lan) chia sẻ kinh nghiệm ESG, hình thành mạng lưới hỗ trợ kỹ thuật lẫn nhau. Đồng thời, không ngừng cập nhật xu hướng mới (ví dụ tài chính khí hậu thiên về thích ứng, quỹ đầu tư thiên nhiên,...) để tích hợp vào mô hình kinh doanh.

So sánh đối chiếu cho thấy, Agribank có nhiều dư địa để học hỏi: từ nội địa (BIDV, Vietcombank, VPBank…) đến quốc tế (HSBC, Standard Chartered…). Mỗi bài học đều đã được lồng ghép vào chiến lược đề xuất cho Agribank. Thực thi tốt chiến lược ESG 2026 - 2030 sẽ giúp Agribank bắt kịp các ngân hàng tiên tiến, tạo nền móng vững chắc cho tầm nhìn 2050. Đây là một chặng đường dài và đòi hỏi tầm nhìn dài hạn cùng cam kết mạnh mẽ từ ban lãnh đạo đến từng nhân viên - đúng như chuyên gia đã nhận định: Để tiên phong ESG, ngân hàng cần tầm nhìn dài hạn và chiến lược bài bản, cụ thể [4].

Agribank hội tụ đủ điều kiện và sứ mệnh để thực hiện điều đó, góp phần đưa hệ thống ngân hàng Việt Nam tiến tới một tương lai phát triển bền vững, thịnh vượng■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. VnEconomy (2025), Liên minh Ngân hàng Net Zero sụp đổ và cuộc chuyển hóa tái cấu trúc, cách tiếp cận "tài chính xanh, VnEconomy

2. HSBC (2020), Cam kết Net Zero 2050 và kế hoạch tài trợ 1 nghìn tỷ USD pe-insights.com.

3. Tạp chí Ngân hàng (2025), Thực thi ESG và báo cáo PTBV trong ngành Ngân hàng VN: Thực trạng, thách thức và giải pháp, tapchinganhang.gov.vn.

4. Agribank (2023), Agribank trong hành trình thực thi ESG và phát triển bền vững, agribank.com.vn.

5. Ngân hàng Nhà nước (2023), Quyết định 1408/QĐ-NHNN – Kế hoạch hành động ngành NH thực hiện Chiến lược tăng trưởng xanh 2021–2030, tapchinganhang.gov.vn.

6. Báo Nhân dân (2025), Xanh hóa vận hành vì mục tiêu Net Zero – Báo Nhân Dân, nhandan.vn.

7. Standard Chartered (2021), Uganda and Standard Chartered join a global coalition to accelerate coal phase-out at COP29, poweringpastcoal.org.

8. Reuters (2022), StanChart to phase out direct coal financing by 2032, reuters.com

THỂ LỆ VIẾT VÀ ĐĂNG BÀI TRÊN TẠP CHÍ MÔI TRƯỜNG

Tạp chí Môi trường trực thuộc Viện Chiến lược, Chính sách nông nghiệp và môi trường, Bộ Nông nghiệp và Môi trường có chức năng chính là giới thiệu, công bố các thông tin khoa học; công trình nghiên cứu khoa học về chiến lược, chính sách thuộc lĩnh vực nông nghiệp và môi trường. Hiện nay, Tạp chí được Hội đồng chức danh Giáo sư nhà nước công nhận tính điểm công trình cho 05 Hội đồng ngành, liên ngành (Hóa học - Công nghệ thực phẩm; Xây dựng - kiến trúc; Sinh học; Thủy lợi; Nông nghiệp – Lâm nghiệp) tạo điều kiện xét công nhận đạt tiêu chuẩn Giáo sư, Phó Giáo sư, nghiên cứu sinh với số điểm quy đổi từ 0,25 - 0,5 điểm công trình.

I. YÊU CẦU CHUNG

Bài viết gửi đăng Tạp chí Môi trường phải là bài viết chưa từng được công bố trên bất kỳ tạp chí khoa học nào trước đó. Tác giả có trách nhiệm không gửi đăng bản thảo bài viết trên tạp chí khác khi chưa có quyết định từ chối của Ban biên tập Tạp chí. Tác giả phải chịu trách nhiệm về nội dung bài gửi đăng, tính chính xác của các trích dẫn trong bài viết, tính hợp pháp và bản quyền của bài viết.

Các bài viết gửi đăng phải được viết bằng ngôn ngữ tiếng Việt nếu gửi đăng trên Tạp chí bản tiếng Việt và là ngôn ngữ tiếng Anh nếu gửi đăng trên Tạp chí bản tiếng Anh. Bài viết phải được soạn thảo bằng phần mềm Microsoft Word, font chữ Times New Roman, cỡ chữ 13, giãn dòng 1.5; lề trên 2,5 cm; lề dưới 2,5 cm; lề trái 3 cm; lề phải 2 cm; có độ dài bài viết không quá 6.000 từ đối với bài nghiên cứu khoa học của bản tiếng Việt và tiếng Anh; không quá 3.000 từ đối với bài ở các mục Diễn đàn - Chính sách; Nhìn ra thế giới; Chính sách - Cuộc sống.

Bài viết gửi về Tòa soạn dưới dạng file mềm và bản in, có thể gửi trực tiếp tại Tòa soạn hoặc gửi qua hộp thư điện tử. Cuối bài tác giả ghi rõ thông tin về tác giả gồm: Họ tên, học hàm, học vị, chức vụ, địa chỉ cơ quan làm việc, thông tin liên lạc của tác giả (điện thoại, email) để Tạp chí tiện liên hệ.

II. NỘI DUNG BÀI ĐĂNG TRÊN TẠP CHÍ MÔI TRƯỜNG

- Tóm tắt bài viết (Abstract): Tác giả viết ngắn gọn thành một đoạn văn (từ 100 đến 150 từ), phản ánh khái quát những nội dung chính trong bài viết và thể hiện đầy đủ các mặt: (i) Tầm quan trọng và mục đích của nghiên cứu; (ii) Phương pháp nghiên cứu sử dụng; (iii) Những kết quả chính của nghiên cứu. Đối với các bài viết tiếng Việt, tác giả cung cấp thêm tên bài và phần tóm tắt (bao gồm cả từ khóa) dịch sang tiếng Anh (yêu cầu không sử dụng công cụ dịch tự động) và được trình bày ngay dưới phần tóm tắt tiếng Việt.

- Từ khóa (Keywords): Tác giả cần đưa ra 3 đến 5 từ khóa của bài viết theo thứ tự alphabet và thể hiện đặc trưng cho chủ đề của bài viết.

- Giới thiệu hoặc đặt vấn đề (Introduction): Phần này cần thể hiện: (i) Lý do thực hiện nghiên cứu này và tầm quan trọng của chủ đề nghiên cứu (có ý nghĩa như thế nào về mặt lý luận và thực tiễn); (ii) Xác định vấn đề nghiên cứu, đặc biệt làm rõ tính mới của nghiên cứu; (iii) Nội dung chính mà bài viết sẽ tập trung giải quyết; (iv) Mục tiêu nghiên cứu.

- Đối tượng và phương pháp nghiên cứu (Theoretical framework and Methods): (i) Trình bày rõ tổng quan nghiên cứu và cơ sở lý thuyết liên quan; (ii) Khung lý thuyết hoặc khung phân tích sử dụng trong bài viết (nếu có); (iii) phương pháp nghiên cứu; (iv) mô tả địa điểm nghiên cứu (nếu có).

- Kết quả và thảo luận (Results and discussion): (i) Diễn giải, phân tích các kết quả phát hiện mới; (ii) Rút ra mối quan hệ chung, mối liên hệ giữa kết quả nghiên cứu của tác giả với những phát hiện khác trong các nghiên cứu trước đó.

Đối với một số bài viết mang tính chất tư vấn, phản biện chính sách, ý kiến chuyên gia cần tập trung đánh giá thực trạng vấn đề nghiên cứu (đánh giá thành tựu, hạn chế và nguyên nhân...).

- Kết luận hoặc (và) khuyến nghị giải pháp (Conclusions or/and policy implications): Tùy theo mục tiêu nghiên cứu, một kết luận tổng hợp cần phải đảm bảo các nội dung: (i) Kết quả nghiên cứu; (ii) Những mặt hạn chế của nghiên cứu; (iii) Mở ra hướng nghiên cứu mới; (iv) Đưa ra giải pháp hay khuyến nghị cho các nhà quản lý doanh nghiệp và/hoặc các nhà hoạch định chính sách xuất phát từ kết quả nghiên cứu.

- Lời cảm ơn (nếu có)....

- Tài liệu tham khảo (Reference): Việc thể hiện các trích dẫn tài liệu tham khảo có ý nghĩa quan trọng trong việc đánh giá độ chuyên sâu và tính nghiêm túc của nghiên cứu. Vì vậy, trích dẫn tài liệu tham khảo phải được trình bày đúng quy chuẩn. Trích dẫn tài liệu tham khảo được chia làm 2 dạng chính: Trích dẫn trong bài (in-textreference) và Danh mục tài liệu tham khảo (reference list). Danh mục tài liệu tham khảo được đặt cuối cùng bài viết, mỗi trích dẫn trong bài viết (intextreference) nhất thiết phải tương ứng với danh mục nguồn tài liệu được liệt kê trong danh sách tài liệu tham khảo.

TẠP CHÍ Môi trường

MỌI CHI TIẾT XIN LIÊN HỆ:
- **Địa chỉ: Tầng 1, Nhà B6, Số 2 Phố Ngọc Hà, Phường Ba Đình, Thành phố Hà Nội**
- **Điện thoại: 0339326556 - DĐ: 0904163630**
- **Email: tapchimoitruong@mae.gov.vn**
- **Website: tapchimoitruong.vn**

ISPAE VIỆN CHIẾN LƯỢC, CHÍNH SÁCH NÔNG NGHIỆP VÀ MÔI TRƯỜNG
Institute of Strategy and Policy on Agriculture and Environment

- **Địa chỉ:** 16 Thụy Khuê - Tây Hồ - Hà Nội
- **Điện thoại:** (84-4) 3972 2067
- **Email:** vclcs@mae.gov.vn/vienclcsnnmt@gmail.com
- **Website:** https://ispae.vn
- **Viện trưởng:** TS. Trần Công Thắng
- **Phó Viện trưởng:** PGS.TS Nguyễn Đình Thọ, TS. Hoàng Vũ Quang, TS. Mai Thanh Dung, TS. Nguyễn Trung Thắng, TS. Nguyễn Minh Trung, TS. Nguyễn Anh Phong, TS. Trương Thị Thu Trang

Viện Chiến lược, Chính sách nông nghiệp và môi trường được thành lập theo Quyết định số 305/QĐ-BNNMT ngày 01/3/2025 của Bộ trưởng Bộ Nông nghiệp và Môi trường. Theo đó, Viện có vị trí và chức năng là đơn vị sự nghiệp khoa học và công nghệ công lập phục vụ công tác quản lý nhà nước, trực thuộc Bộ Nông nghiệp và Môi trường, có chức năng giúp Bộ trưởng nghiên cứu, đề xuất, xây dựng chiến lược, chính sách về các lĩnh vực thuộc phạm vi quản lý nhà nước của Bộ; thực hiện nghiên cứu khoa học, cung cấp các dịch vụ công, tư vấn, đào tạo trong các lĩnh vực phát triển nông nghiệp, nông thôn, giảm nghèo, quản lý tài nguyên, bảo vệ môi trường (BVMT) và ứng phó với biến đổi khí hậu (BĐKH) theo quy định của pháp luật.

Viện Chiến lược, Chính sách nông nghiệp và môi trường có tư cách pháp nhân, có con dấu và tài khoản riêng; có trụ sở tại Thành phố Hà Nội; hoạt động theo cơ chế của tổ chức khoa học và công nghệ công lập.

CƠ CẤU TỔ CHỨC

- Văn phòng
- Phòng Kế hoạch - Tài chính
- Phòng Khoa học và Hợp tác quốc tế
- Ban Thể chế nông thôn
- Ban Tổng hợp và Dự báo chiến lược
- Ban Kinh tế tài nguyên và môi trường
- Ban Thị trường và Ngành hàng
- Ban Môi trường và Phát triển bền vững
- Ban Biến đổi khí hậu
- Ban Tài nguyên thiên nhiên
- Trung tâm Thông tin và Dịch vụ nông nghiệp và môi trường
- Trung tâm Phát triển và Ứng dụng khoa học công nghệ về đất đai
- Trung tâm Phát triển nông thôn
- Trung tâm Tư vấn chính sách nông nghiệp
- Tạp chí Môi trường

NHIỆM VỤ VÀ QUYỀN HẠN

1. Chủ trì, tham gia xây dựng chiến lược, quy hoạch, kế hoạch, chương trình, đề án, dự án; đề xuất cơ chế, chính sách trong lĩnh vực phát triển nông nghiệp, nông thôn, giảm nghèo, quản lý tài nguyên, bảo vệ môi trường và ứng phó với biến đổi khí hậu theo phân công của Bộ trưởng.

2. Nghiên cứu cơ sở lý luận, tổng kết thực tiễn, kinh nghiệm trong nước và quốc tế về chiến lược, chính sách phát triển nông nghiệp, nông thôn, giảm nghèo, quản lý tài nguyên, bảo vệ môi trường, ứng phó với biến đổi khí hậu và các vấn đề kinh tế, xã hội có liên quan phục vụ công tác xây dựng chiến lược, chính sách đối với các lĩnh vực thuộc phạm vi quản lý nhà nước của Bộ.

3. Cập nhật các vấn đề mới, tổng kết, phát hiện các bất cập về chiến lược, chính sách liên quan đến phát triển nông nghiệp, nông thôn, giảm nghèo, quản lý tài nguyên, bảo vệ môi trường và ứng phó với biến đổi khí hậu theo phân công của Bộ trưởng.

4. Đề xuất, xây dựng, thử nghiệm các cách tiếp cận mô hình, công cụ, cơ chế, chính sách mới trong phát triển nông nghiệp, nông thôn, giảm nghèo, quản lý tài nguyên, bảo vệ môi trường và ứng phó với biến đổi khí hậu.

5. Đánh giá, phản biện chính sách, tổng kết thực tiễn phát triển ngành; dự báo xu hướng, diễn biến đối với các lĩnh vực thuộc phạm vi quản lý của Bộ theo phân công của Bộ trưởng.

6. Tổ chức thực hiện các chương trình, đề án, dự án, nhiệm vụ khoa học và công nghệ về phát triển nông nghiệp, nông thôn, giảm nghèo, quản lý tài nguyên, bảo vệ môi trường và ứng phó với biến đổi khí hậu theo phân công của Bộ trưởng.

7. Chủ trì hoặc tham gia xây dựng văn bản quy phạm pháp luật, tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật, định mức kinh tế - kỹ thuật, hướng dẫn kỹ thuật về các lĩnh vực quản lý của Bộ theo phân công của Bộ trưởng.

8. Hoạt động tư vấn, đào tạo và dịch vụ khoa học và công nghệ

a) Thực hiện các hoạt động dịch vụ, sản xuất, kinh doanh theo quy định của pháp luật;

b) Liên doanh, liên kết với các tổ chức, triển khai các dịch vụ khoa học và chuyển giao công nghệ, đào tạo, bồi dưỡng về phát triển nông nghiệp, nông thôn, giảm nghèo, quản lý tài nguyên, bảo vệ môi trường và ứng phó với biến đổi khí hậu theo quy định của pháp luật;

c) Cung cấp các dịch vụ, tư vấn, thẩm định, đánh giá tác động, phản biện chiến lược, chính sách, kế hoạch, quy hoạch, chương trình, đề án, dự án theo quy định của pháp luật.

9. Thực hiện các hoạt động hợp tác quốc tế trong nghiên cứu khoa học, chuyển giao công nghệ và đào tạo về chiến lược, chính sách theo các lĩnh vực thuộc phạm vi quản lý nhà nước của Bộ; tiến hành hợp tác, đối thoại chính sách với các đối tác quốc tế và triển khai các chương trình, dự án hợp tác quốc tế theo phân công của Bộ trưởng.

10. Thu thập, tổng hợp, xử lý, xây dựng cơ sở dữ liệu, cung cấp thông tin về các lĩnh vực của ngành; thông tin về thị trường, thương mại, đầu tư, hội nhập kinh tế quốc tế và các hoạt động liên quan đến chuyển đổi số trong các lĩnh vực thuộc phạm vi quản lý của Bộ.

11. Biên soạn, biên tập, phát hành các kết quả nghiên cứu của Viện, các ấn phẩm thông tin khoa học, các ấn phẩm liên quan đến chiến lược, chính sách về các lĩnh vực thuộc phạm vi quản lý của Bộ theo quy định của pháp luật.

12. Quản lý tổ chức, vị trí việc làm, số lượng người làm việc; viên chức, người lao động thuộc Viện theo quy định của pháp luật và theo phân cấp của Bộ; quản lý tài chính, tài sản; thực hiện trách nhiệm của đơn vị dự toán đối với các đơn vị trực thuộc Viện theo quy định của pháp luật; tổ chức sơ kết, tổng kết, thống kê, báo cáo định kỳ và đột xuất về tình hình thực hiện nhiệm vụ được giao.

13. Thực hiện các nhiệm vụ khác do Bộ trưởng giao.