

PHÁT HIỆN NƯỚC MẶT RUỘNG LÚA TẠI TỈNH AN GIANG BẰNG DỮ LIỆU ẢNH VIỄN THĂM RADAR ALOS-2

Nguyễn Văn Hoàng^{1,*}, Lâm Đạo Nguyên², Hoàng Phi Phụng²

¹ Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam

² Trung tâm Vũ trụ Việt Nam, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

*Email: hoang.vkh@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày việc xây dựng và kiểm chứng phương pháp phát hiện nước ngập trên ruộng lúa tại tỉnh An Giang. Phương pháp nghiên cứu sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh radar ALOS - 2 với hai kênh phân cực HH (Horizontal - Horizontal) và HV (Horizontal - Vertical). Quy trình tiền xử lý gồm: Hiệu chỉnh bức xạ, hiệu chỉnh hình học, lọc nhiễu điểm, nhằm nâng cao chất lượng ảnh phục vụ cho quá trình phân loại ảnh. Thuật toán cây quyết định (Decision Tree) được áp dụng cho việc phân loại dựa trên các giá trị ngưỡng tối ưu xác định từ dữ liệu thực địa. Dữ liệu thực địa bao gồm 89 điểm mẫu được thu thập tại các huyện Châu Thành, Thoại Sơn và thành phố Long Xuyên thuộc tỉnh An Giang (đơn vị hành chính trước sáp nhập), được phân chia ngẫu nhiên với tỷ lệ 70% cho mẫu huấn luyện và 30% cho mẫu kiểm chứng. Kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng, kênh phân cực HV (thu nhận ngày 17/01/2025) đạt hiệu suất cao nhất với độ chính xác toàn cục là 74%. Những kết quả này chứng minh độ tin cậy của việc ứng dụng dữ liệu SAR trong giám sát chế độ nước mặt ruộng, cung cấp dữ liệu đầu vào quan trọng cho công tác tính toán phát thải khí metan trong canh tác lúa. Các nghiên cứu trong tương lai sẽ tập trung đánh giá ngập nước trên ruộng qua từng giai đoạn sinh trưởng khác nhau của lúa nhằm hỗ trợ hiệu quả hơn cho các cam kết giảm thiểu phát thải khí nhà kính của Chính phủ.

Từ khóa: Phát hiện ngập, canh tác lúa, ALOS-2, cây quyết định (Decision Tree), An Giang.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khí metan (CH_4) từ ruộng lúa là một nguồn khí nhà kính đáng kể, chiếm khoảng 10% lượng khí thải nông nghiệp toàn cầu [1, 2]. Metan là loại khí có khả năng giữ nhiệt gấp 25 lần CO_2 [3], do đó việc kiểm soát phát thải loại khí này đóng vai trò then chốt trong chiến lược ứng phó với biến đổi khí hậu. Cam kết của Việt Nam về biến đổi khí hậu theo đóng góp do quốc gia tự quyết định (NDC), đặt mục tiêu đến năm 2030 bảo đảm tổng lượng phát thải khí nhà kính quốc gia giảm 43,5% so với kịch bản phát triển thông thường (BAU - Business As Usual) và hướng tới tổng lượng phát thải khí nhà kính quốc gia đạt mức phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050 [4].

Trong canh tác lúa, chế độ nước là yếu tố quyết định đến lượng phát thải. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, môi trường ngập nước yếm khí tạo điều kiện cho vi sinh vật Methanogens tổng hợp CH_4 từ quá trình phân giải hợp chất hữu cơ [5 - 7].

Các cánh đồng ngập nước liên tục (Continuous Flooding - CF) phát thải lượng khí CH_4 cao hơn so với các cánh đồng áp dụng phương pháp tưới ngập khô xen kẽ (Alternate Wetting and Drying - AWD), điều đó cho thấy vai trò quan trọng của việc quản lý nước mặt ruộng trong việc giảm thiểu phát thải khí CH_4 [7]. Theo ước tính, ở đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) lượng khí thải CH_4 , dao động từ 1,41 - 2,68 kg CH_4 /ha/ngày, tùy thuộc vào chế độ nước [8]. Do đó, việc giám sát ruộng lúa ngập nước và không ngập nước giúp xác định chính xác chế độ ngập nước mặt ruộng (thời gian ngập, diện tích ngập), là tiền đề quan trọng để tính toán lượng phát thải và đánh giá hiệu quả của các quy trình canh tác bền vững.

Các phương pháp truyền thống trong giám sát lúa thường dựa vào viễn thám quang học (như MODIS, Landsat, Sentinel-2) [9, 10]. Tuy nhiên, hạn chế lớn nhất của dữ liệu quang học là sự phụ thuộc vào điều kiện thời tiết, đặc biệt tại khu vực

nhật đới thường xuyên có mây che phủ như ĐBSCL. Để khắc phục, công nghệ viễn thám Radar khẩu độ tổng hợp (SAR) với khả năng xuyên mây và hoạt động ngày đêm đang trở thành xu hướng chủ đạo. Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã ứng dụng SAR để giám sát lúa như: Dữ liệu Sentinel-1 được sử dụng tại Pháp để ước tính chiều cao cây lúa [11], sự kết hợp giữa dữ liệu RADARSAT-2 và số liệu đo đặc mật đất tại Trung Quốc để xác định giai đoạn sinh trưởng [12], ứng dụng dữ liệu ALOS-2 PALSAR-2 tại Nhật Bản và Việt Nam để phân biệt tình trạng ngập nước [13].

Mặc dù vậy, đa số các nghiên cứu sử dụng dữ liệu SAR hiện nay vẫn còn gặp thách thức trong việc xác định ngưỡng phân loại chính xác do thiếu hụt dữ liệu kiểm chứng thực địa đồng bộ [13 - 16]. Đặc biệt, đối với dữ liệu viễn thám băng tần L (như ALOS-2), loại sóng có khả năng xuyên thấu tốt qua tán lá để phát hiện nước dưới tán lúa, việc thiết lập thuật toán phân loại dựa trên mẫu thực nghiệm là rất cần thiết để đảm bảo độ tin cậy.

Xuất phát từ thực tiễn trên, nghiên cứu này tập trung vào việc xây dựng và kiểm chứng

phương pháp phát hiện nước mặt ruộng tại tỉnh An Giang sử dụng dữ liệu ALOS-2 đa phân cực. Khác với các tiếp cận mô hình hóa đơn thuần, nghiên cứu kết hợp chặt chẽ giữa xử lý ảnh viễn thám và số liệu quan trắc thực địa để xác định ngưỡng tối ưu thông qua thuật toán cây quyết định (Decision Tree), nhằm cung cấp cơ sở dữ liệu đầu vào chính xác cho công tác tính toán phát thải khí nhà kính, góp phần thực hiện các cam kết của Chính phủ.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Dữ liệu sử dụng

2.1.1. Dữ liệu ảnh vệ tinh

Ảnh vệ tinh ALOS-2 PALSAR-2 thu nhận ngày 17/01/2025 được sử dụng trong nghiên cứu này và được cung cấp bởi Cơ quan Hàng không Vũ trụ Nhật Bản (JAXA). Bộ dữ liệu ở chế độ Stripmap (SM), với độ phân giải không gian 6m, trong nghiên cứu này sử dụng hai phân cực HH và HV. Thời gian thu nhận là 11 giờ 40 phút theo giờ Hà Nội, với quỹ đạo bay xuống (descending). Khu vực nghiên cứu là tỉnh An Giang thuộc vùng ĐBSCL.



Phân cực HH (a)



Phân cực HV (b)

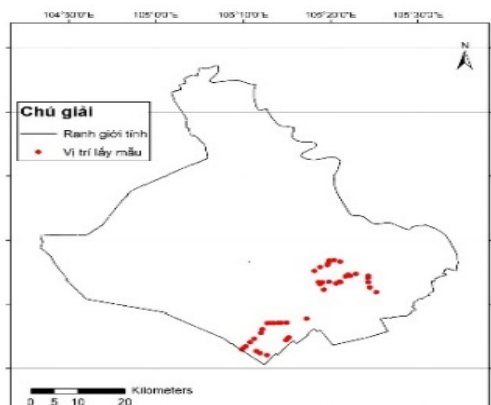
Hình 1. Hình ảnh trích xuất từ cảnh ảnh ALOS-2/PALSAR-2 thu thập ngày 17/01/2025 của phân cực (a) HH và (b) HV

2.1.2. Dữ liệu thực địa

Dữ liệu thực địa được thu thập tại tỉnh An Giang (cũ) trước khi sắp xếp đơn vị hành chính cấp tỉnh, nhằm phục vụ đánh giá hiện trạng ngập nước trên ruộng lúa. Bộ dữ liệu bao gồm 89 điểm quan trắc hiện trường (Hình 2), phân bố tại ba khu vực: Thành phố Long Xuyên (10 điểm), huyện Châu Thành (45 điểm) và huyện Thoại Sơn (34 điểm) (đơn vị hành chính trước sắp

nhập). Tại mỗi điểm quan trắc, các thông tin được ghi nhận bao gồm: Tọa độ địa lý, phạm vi thửa ruộng, tình trạng ngập nước, độ sâu ngập, tuổi lúa và giai đoạn sinh trưởng của cây lúa. Trong tổng số 89 mẫu thu thập, có 47 mẫu ruộng lúa ngập nước và 42 mẫu ruộng lúa không ngập nước. Dữ liệu giám sát nước trong ruộng lúa là loại dữ liệu dạng điểm (point data) là nguồn dữ liệu được ghi nhận tại ruộng, vị trí có tọa độ không gian (X, Y)

và biểu thị trạng thái (ngập/không ngập). Dữ liệu này được sử dụng làm dữ liệu huấn luyện và dữ liệu kiểm chứng kết quả phân loại từ ảnh viễn thám radar ALOS-2. Bộ mẫu được đảm bảo duy



Hình 2. Vị trí lấy mẫu thực địa thuộc tỉnh An Giang và phạm vi ruộng lúa tại vị trí lấy mẫu

2.1.3. Dữ liệu bản đồ tuổi lúa

Bản đồ tuổi lúa ngày 17/01/2025 sử dụng trong nghiên cứu này được cung cấp từ Trung tâm Ứng dụng Công nghệ Vũ trụ Thành phố Hồ Chí Minh, Trung tâm Vũ trụ Việt Nam, các dữ liệu này được thành lập từ dữ liệu Sentinel-1 đã được kiểm chứng về độ chính xác [17]. Dữ liệu SAR Sentinel-1 cung cấp ước tính tuổi lúa đáng tin cậy nhờ độ phân giải thời gian cao (chu kỳ lặp 6 hoặc 12 ngày), yếu tố quan trọng để ghi nhận các biến đổi vật lý trong quá trình phát triển của cây lúa. Qua đó, chứng minh hiệu quả của dữ liệu SAR trong việc theo dõi các giai đoạn sinh trưởng của lúa. Đặc biệt, kênh HV thể hiện rõ khả năng phân biệt các giai đoạn phát triển, bao gồm thời điểm cấy và thu hoạch [17].

Nghiên cứu đã sử dụng dữ liệu bản đồ tuổi lúa làm cơ sở đánh giá điều kiện phát thải khí nhà kính trong canh tác lúa. Dữ liệu tuổi lúa là loại dữ liệu không gian dạng raster (bản đồ), được sử dụng để phân vùng ruộng lúa theo giai đoạn sinh trưởng. Quá trình xử lý dữ liệu đối với bản đồ tuổi lúa gồm: Chuẩn hóa hệ tọa độ và kích thước pixel, cắt theo ranh giới khu vực nghiên cứu.

2.2. Phương pháp trích xuất dữ liệu từ ảnh vệ tinh và xây dựng mô hình

Dữ liệu ảnh ALOS-2 được thu thập và tiến hành tiền xử lý nhằm bảo đảm chất lượng ảnh đầu vào. Sau đó, ảnh được phân tích để trích xuất các đặc trưng phục vụ nhận dạng trạng thái ngập nước. Song song đó, dữ liệu thực địa được thu thập và chia thành hai nhóm: Dữ liệu huấn luyện

trì tỷ lệ đại diện giữa hai trạng thái ruộng lúa ngập nước và không ngập nước, nhằm phục vụ đánh giá độ tin cậy của kết quả phân tích.



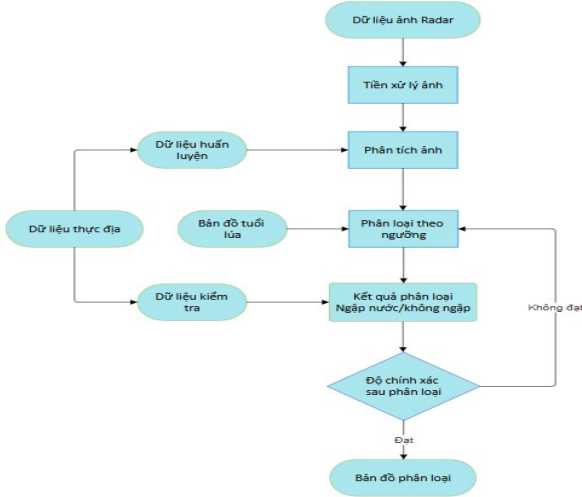
và dữ liệu kiểm tra; kết hợp với bản đồ tuổi lúa để hỗ trợ xác định ngưỡng phân loại phù hợp.

Trên cơ sở đó, dữ liệu ảnh ALOS-2 được phân loại theo ngưỡng để xác định tình trạng ngập nước và không ngập nước trong các ruộng lúa. Kết quả phân loại được đánh giá độ chính xác bằng dữ liệu kiểm tra. Nếu độ chính xác chưa đạt yêu cầu, quy trình quay lại bước phân loại để hiệu chỉnh ngưỡng. Khi độ chính xác đạt yêu cầu, kết quả cuối cùng được xuất thành bản đồ phân loại.

2.2.1. Tiền xử lý và xử lý dữ liệu ALOS-2 PALSAR-2

Quy trình tiền xử lý dữ liệu ALOS-2 PALSAR-2 trong nghiên cứu này được thực hiện bằng phần mềm SNAP, tuân theo các bước chuẩn nhằm đảm bảo chất lượng và độ tin cậy của sản phẩm đầu ra. Các bước bao gồm: (i) multilooking để cải thiện chất lượng tín hiệu; (ii) hiệu chuẩn bức xạ nhằm chuyển đổi giá trị số DN (digital number) sang hệ số tán xạ ngược sigma0; (iii) hiệu chỉnh tọa độ địa lý theo hệ quy chiếu WGS-84; (iv) lọc nhiễu đa thời gian bằng bộ lọc Lee kích thước 3x3; (v) chuyển đổi giá trị tuyến tính sang đơn vị decibel (dB). Sản phẩm cuối cùng là hệ số tán xạ ngược đã được hiệu chuẩn và chỉnh lưu, biểu diễn dưới dạng dB. Hệ số tán xạ ngược (sigma0) phản ánh năng lượng sóng radar phản xạ trở lại cảm biến từ một đơn vị diện tích mặt đất. Giá trị dB cao thể hiện tín hiệu phản xạ mạnh, thường gặp ở các khu vực đô thị hoặc rừng rậm, trong khi giá trị dB thấp cho thấy tín hiệu phản xạ

yếu, đặc trưng cho các bề mặt phẳng như mặt nước hoặc đường băng. Quy trình này đảm bảo dữ liệu đầu vào có độ chính xác cao, phục vụ cho các bước phân tích và phân loại tiếp theo trong nghiên cứu.



Hình 3. Sơ đồ các bước thực hiện để thành lập bản đồ ngập trên ruộng lúa sử dụng dữ liệu ALOS-2 PALSAR-2

2.2.2. Phương pháp xây dựng mô hình phân loại ruộng lúa ngập nước dựa trên dữ liệu thực địa

Bảng 1. Phân bố dữ liệu mẫu theo tập và lớp phân loại ngày 17/01/2025

Tập dữ liệu	Thời gian khảo sát	Tổng số	Ngập nước	Không ngập nước
Huấn luyện	17/01/2025	62	33	29
Kiểm chứng	17/01/2025	27	14	13
Tổng cộng		89	47	42

Quy trình xây dựng mô hình thực nghiệm được thiết kế theo nguyên tắc đảm bảo tính độc lập hoàn toàn giữa tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra, nhằm duy trì tính khách quan trong quá trình đánh giá [18]. Dữ liệu được phân chia thành hai tập độc lập, trong đó mỗi tập bao gồm 70% dữ liệu huấn luyện và 30% dữ liệu kiểm tra. Đối với ảnh vệ tinh ALOS-2 PALSAR-2 thu nhận ngày 17/01/2025, tổng cộng 89 điểm mẫu khảo sát thực địa cùng ngày đã được sử dụng, sau khi loại bỏ các điểm có giá trị tán xạ bất thường hoặc bị lỗi. Dữ liệu được chia thành: (i) tập huấn luyện gồm 62 điểm và (ii) tập kiểm tra gồm 27 điểm

(Bảng 1). Tập kiểm tra này hoàn toàn độc lập, chỉ được sử dụng cho bước đánh giá độ chính xác của kết quả phân loại ngập và không ngập trên ảnh ngày 17/01/2025 và tuyệt đối không tham gia vào quá trình huấn luyện mô hình.

2.2.3. Tích hợp mặt nạ (Masking)

Để xác định chính xác các ruộng lúa ngập nước/không ngập nước và loại bỏ nhiễu từ các đối tượng phi nông nghiệp, nghiên cứu thực hiện quy trình tích hợp qua các bước:

Bước 1: Chuẩn hóa dữ liệu

Tất cả các lớp dữ liệu raster (bản đồ tuổi lúa, bản đồ ngập từ ảnh ALOS-2) được đưa về cùng hệ tọa độ, kích thước pixel và phạm vi phủ.

Bước 2: Xây dựng các lớp mặt nạ nhị phân

- Mặt nạ lúa ($M_{lúa}$) (1): Trích xuất từ bản đồ tuổi lúa.

$$M_{lúa}(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } G(x,y) > 0 \\ 0 & \text{nếu } G(x,y) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: $G(x,y)$ là giá trị tuổi lúa tại điểm ảnh.

- Mặt nạ ngập nước ($M_{ngập}$): Xây dựng từ ảnh ALOS-2 dựa trên ngưỡng phân loại tối ưu (ví dụ: $HV < -25,7$ dB).

Bước 3: Chồng lớp tạo bản đồ kết quả

Các vùng ruộng lúa ngập: $L_{ngập}(x,y)$ và không ngập $L_{không_ngập}(x,y)$ được xác định bằng phép nhân ma trận điểm ảnh (2), (3):

$$L_{ngập}(x,y) = M_{lúa}(x,y) \times M_{ngập}(x,y) \quad (2)$$

$$L_{không_ngập}(x,y) = M_{lúa}(x,y) \times (1 - M_{ngập}(x,y)) \quad (3)$$

2.2.4. Đánh giá độ chính xác

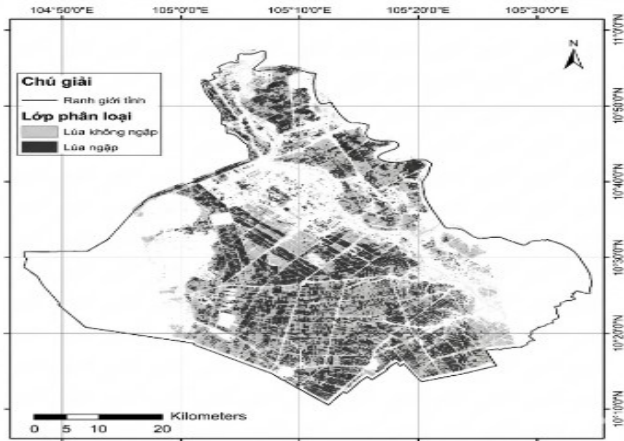
Độ chính xác của mô hình phân loại được đánh giá dựa trên ma trận nhầm lẫn (confusion matrix), một công cụ chuẩn trong phân tích kết quả phân lớp nhị phân. Ma trận này cho phép so sánh trực tiếp giữa dữ liệu thực địa và kết quả phân loại, từ đó xác định số lượng điểm được phân loại đúng và sai theo từng lớp. Cách tiếp cận này đảm bảo tính toàn diện và mức độ tin cậy trong việc kiểm chứng hiệu quả của mô hình phân loại [19, 20]. Sử dụng dữ liệu kiểm chứng, lập ma trận nhầm lẫn, tính độ chính xác toàn cục (Overall Accuracy - OA) để đánh giá kết quả phân loại ngập nước từ ảnh ALOS-2 PALSAR-2 theo công thức (4):

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{N} \times 100\% \quad (4)$$

Trong đó: n_{ii} là số mẫu phân loại đúng của lớp i (đường chéo chính ma trận nhầm lẫn); k là số lớp phân loại; N là tổng số mẫu kiểm chứng.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hiệu suất phân loại ngập nước và cơ chế tán xạ radar trong điều kiện sinh trưởng thực tế



Hình 4. Kết quả bản đồ phân loại hiện trạng ngập/không ngập của ruộng lúa tỉnh An Giang ngày 17/01/2025 sử dụng dữ liệu ALOS-2 PALSAR-2

Nghiên cứu đã tiến hành thiết lập và đánh giá ngưỡng phân loại tình trạng ngập nước ruộng lúa

dựa trên dữ liệu thực địa thu thập ngày 17/01/2025 tại 3 khu vực trọng điểm của tỉnh An Giang là thành phố Long Xuyên, huyện Châu Thành và huyện Thoại Sơn (đơn vị hành chính trước sáp nhập). Dựa trên phân tích thống kê giá trị trung bình tán xạ ngược của tập huấn luyện, nghiên cứu đã xác định ngưỡng phân loại tối ưu cho hai kênh phân cực tại thời điểm khảo sát: Ngưỡng cho phân cực HV được xác định ở mức -25,7 dB và ngưỡng cho phân cực HH là -14,5 dB. Việc áp dụng thuật toán cây quyết định (Decision Tree) dựa trên biến đơn lẻ (HV hoặc HH) nhằm mục tiêu cung cấp phương pháp ước tính nhanh, đảm bảo độ chính xác trong việc xác định phân bố lúa ngập và không ngập.

Kết quả kiểm chứng trên tập dữ liệu kiểm tra cho thấy, kênh phân cực chéo (HV) đạt hiệu suất phân loại cao hơn với độ chính xác toàn cục là 74%, trong khi kênh đồng phân cực (HH) chỉ đạt 67% (Bảng 2). Hình 4 cho thấy, bản đồ kết quả phân loại hiện trạng ngập/không ngập của ruộng lúa ngày 17/01/2025 thuộc vụ đông xuân năm 2025 ở tỉnh An Giang, sử dụng dữ liệu ALOS-2 PALSAR-2. Kết quả này phản ánh sự khác biệt rõ rệt về cơ chế tương tác giữa sóng radar băng tần L và cấu trúc sinh học của tán lúa trên các ruộng ngập nước và không bị ngập trong điều kiện canh tác thực tế.

Bảng 2. Ma trận sai số so sánh giữa kết quả phân loại ngập và dữ liệu thực địa

Phân loại sử dụng phân cực HV					Phân loại sử dụng phân cực HH				
		Lúa ngập	Lúa không ngập	Tổng			Lúa ngập	Lúa không ngập	Tổng
Thực địa	Lúa ngập	13	2	15	Thực địa	Lúa ngập	12	3	15
	Lúa không ngập	5	7	12		Lúa không ngập	6	6	12
	Tổng	18	9	27		Tổng	18	9	27
$OA = \frac{13+7}{27} = 74\%$					$OA = \frac{12+6}{27} = 67\%$				

Kết quả nghiên cứu của Arai và cs (2018) [13], Phan và cs (2019) [21], Phụng và cs (2020) [22] đều khẳng định tiềm năng to lớn của ảnh vệ tinh radar trong việc giám sát lúa và lũ lụt vì khả năng xuyên thấu mây, đặc biệt quan trọng trong mùa mưa tại Việt Nam. Việc sử dụng các thuật toán phân loại tiên tiến trên dữ liệu thời gian thực đã chứng minh độ chính xác cao trong việc tách

biệt các lớp phủ bề mặt phức tạp [13, 21]. Mặc dù dữ liệu SAR băng tần L của vệ tinh ALOS-2 mang cảm biến PALSAR-2 thường được đánh giá cao nhờ khả năng xuyên thấu qua tán thực vật tốt hơn so với băng tần C hoặc X [13], độ chính xác phân loại trong nghiên cứu này chưa đạt mức cao tuyệt đối. Điều này cho thấy, ngay cả với băng tần L, hiệu quả phân biệt trạng thái ngập/không

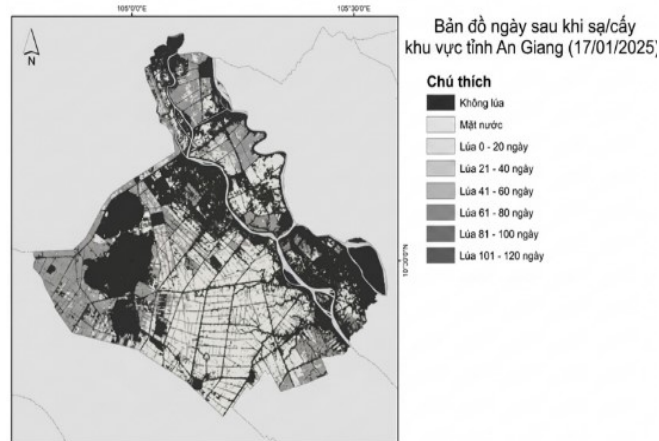
ngập vẫn chịu ảnh hưởng mạnh bởi đặc điểm sinh học của cây trồng và cấu trúc không gian của tán lá tại từng giai đoạn sinh trưởng.

Tại thời điểm tháng 1, lúa ở tỉnh An Giang đang ở nhiều giai đoạn sinh trưởng khác nhau (phần lớn diện tích là 20 - 60 ngày sau khi sạ cấy) (Hình 5), bao gồm giai đoạn đẻ nhánh mạnh và làm đòng. Trong giai đoạn này, sinh khối trên mặt đất tăng nhanh, mật độ tán lá dày, chiều cao cây gia tăng đáng kể. Sự phát triển này làm thay đổi cân bằng giữa các cơ chế tán xạ gồm: Tán xạ bề mặt (surface scattering), tán xạ khối (volume scattering) và tán xạ hai lần (double-bounce scattering).

Phân tích sâu hơn về nguyên nhân sự sụt giảm độ chính xác, đặc biệt ở kênh HH có thể bắt nguồn từ giai đoạn sinh trưởng của cây lúa. Đối với kênh HH, tín hiệu chủ đạo để nhận diện ngập nước thường dựa trên hiện tượng phản xạ gương (specular reflection) từ bề mặt nước, khiến năng lượng sóng radar bị phản xạ ra khỏi hướng thu nhận, làm giảm giá trị tán xạ ngược. Kết quả nghiên cứu của Arai và cs (2018) [13] chỉ ra rằng, đối với băng tần L (PALSAR-2), sự tương tác giữa mặt nước và thân cây lúa tạo ra cơ chế tán xạ hai lần cực mạnh. Chính hiện tượng này khiến giá trị tán xạ ngược HH ở ruộng ngập nước có thể cao hơn so với ruộng không ngập trong giai đoạn lúa 61 - 100 ngày tuổi. Tuy nhiên, khi sinh khối tăng mạnh, lớp tán lá dày đặc làm suy giảm đáng kể thành phần tán xạ bề mặt, đồng thời gia tăng thành phần tán xạ khối. Khi đó, sự khác biệt giữa ruộng ngập và ruộng có độ ẩm đất cao nhưng không ngập trở nên kém rõ ràng hơn trên kênh HH, có thể dẫn đến hiện tượng nhầm lẫn giữa hai lớp. Điều này cần có nghiên cứu với số lượng mẫu các ruộng lúa khảo sát lớn hơn, cùng các loại giống và phương pháp canh tác khác nhau ở ĐBSCL.

Đối với phân cực HV nhạy cảm hơn với cấu trúc hình học của tán lúa và tại thời điểm này, sự khác biệt về tán xạ khối giữa lúa trên nền ngập (tín hiệu bị phản xạ đi từ mặt nước không về lại bộ cảm, do sinh khối chưa phát triển lớn nhất) và lúa trên nền đất (tín hiệu tán xạ từ bề mặt đất và cây lúa) có thể đã tạo ra sự phân tách rõ ràng hơn so với phân cực HH, điều này có thể giải thích cho kết quả độ chính xác cao hơn ở kênh HV. Trong khi nghiên cứu tại tỉnh An Giang tập trung vào băng tần L (PALSAR-2), nghiên cứu của

Phan và cs (2019) [21] tại đồng bằng sông Hồng sử dụng kênh C (Sentinel-1A) với phân cực VV thường cho kết quả tốt hơn trong việc phát hiện mặt nước tĩnh (phản xạ gương), trong khi phân cực VH nhạy cảm hơn với cấu trúc thực vật và sự thay đổi bề mặt cây lúa khi bị ngập. Điều này cho thấy, các phân cực chéo nhạy với cấu trúc hình học và bề mặt dưới tán lúa cho kênh C và kênh L.



Hình 5. Bản đồ tuổi lúa của ruộng lúa tỉnh An Giang ngày 17/01/2025 sử dụng dữ liệu Sentinel-1

Ngoài ảnh hưởng của sinh trưởng lúa, một phần sai số có thể xuất phát từ tính không đồng nhất của các thửa ruộng. Trong thực tế sản xuất tại tỉnh An Giang, hệ thống bờ bao nhỏ, rãnh thoát nước và vi địa hình không đồng đều tạo ra biến thiên mực nước cục bộ trong cùng một thửa. Khi lấy mẫu huấn luyện và kiểm tra, các điểm gần ranh giới thửa có thể chịu ảnh hưởng trộn lẫn tín hiệu (mixed pixel), đặc biệt trong bối cảnh độ phân giải không gian của PALSAR-2 ở chế độ quan sát được sử dụng chưa đủ nhỏ để tách biệt hoàn toàn các cấu trúc vi mô. Điều này góp phần làm giảm độ chính xác toàn cục.

Bên cạnh đó, nhiễu đốm (speckle noise) vốn có của ảnh radar làm gia tăng sai số cho kết quả phân loại. Mặc dù các bước lọc nhiễu đã được áp dụng, quá trình làm mượt ảnh có thể đồng thời làm suy giảm độ tương phản cục bộ giữa các lớp ruộng lúa ngập và không ngập. Đây là một thách thức cố hữu trong xử lý ảnh SAR, đặc biệt khi áp dụng phương pháp phân loại ngưỡng đơn.

Với độ chính xác 74% khi sử dụng kênh phân cực HV trên các thửa lúa ở nhiều giai đoạn sinh trưởng khác nhau, nghiên cứu cho thấy, ngưỡng phân loại đơn biến có tiềm năng ứng dụng thực tế cao ở quy mô cấp tỉnh. Mặc dù kết

quả này ở mức chấp nhận được, việc phân loại vẫn đối mặt với khó khăn do sự tương đồng về đặc tính tán xạ giữa các lớp phủ bề mặt, gây ra hiện tượng lẫn lộn điểm ảnh giữa ruộng lúa ngập và không ngập nước. Kết quả độ chính xác phân loại tại vùng nghiên cứu cho thấy sự thách thức khi sử dụng ngưỡng đơn biến (single-threshold) so với phương pháp phân loại sử dụng dữ liệu toàn phân cực (quad-pol) vốn có khả năng đạt độ chính xác cao hơn [13]. Tuy nhiên, so với các nghiên cứu sử dụng phân tích đa thời gian hoặc tích hợp nhiều chỉ số phân cực, mức độ chính xác này còn dư địa cải thiện.

3.2. Hàm ý đối với kiểm kê phát thải metan và định hướng nâng cấp theo các cấp phương pháp IPCC

Mặc dù còn tồn tại những hạn chế về sai số phân loại, kết quả nghiên cứu đã khẳng định tiềm năng quan trọng của việc sử dụng dữ liệu ALOS-2 PALSAR-2 trong việc cung cấp thông tin phân bố không gian và thời gian của chế độ nước mặt ruộng - biến số đầu vào then chốt để tính toán phát thải khí metan. Việc giám sát hiện trạng ngập hay không ngập dưới tán cây lúa tạo tiền đề cho việc xây dựng bản đồ tần suất ngập nước ruộng lúa là bước quan trọng trong đánh giá phát thải metan. Tần suất ngập không chỉ giúp đánh giá thiệt hại nông nghiệp mà còn là dữ liệu đầu vào cốt yếu để xác định chế độ ngập - bao gồm ngập liên tục hoặc trạng thái khô ẩm xen kẽ. Sự xác định này hỗ trợ trực tiếp việc tính toán hệ số phát thải metan theo cấp độ Tier 2 và Tier 3 của IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) thay vì dùng các hệ số mặc định có độ chính xác thấp hơn. Theo hướng dẫn của IPCC [23], [2], thời gian ngập nước và chế độ tưới tiêu là yếu tố điều chỉnh chính trong tính toán hệ số phát thải metan. Việc xác định trạng thái ngập liên tục hay ngập khô xen kẽ thông qua viễn thám cho phép chuyển đổi từ việc sử dụng hệ số phát thải mặc định (Tier 1) sang hệ số đặc thù theo vùng và theo chế độ canh tác (Tier 2). Việc thay thế các yếu tố điều chỉnh (scaling factors) của IPCC sử dụng dữ liệu vệ tinh quan sát được (như lịch mùa vụ và tình trạng ngập) giúp tăng độ chính xác sử dụng phương pháp Tier 2 và Tier 3 [13]. Nghiên cứu của Arai và cs (2018) [13] chỉ ra rằng, tình trạng ngập trong thời gian nghỉ (fallow) ngay trước vụ canh tác ảnh hưởng lớn

đến khả năng oxy hóa của đất và lượng cơ chất (substrate) sẵn có, từ đó quyết định cường độ phát thải khi vào vụ mới. Việc giám sát liên tục bằng dữ liệu SAR ngay cả khi không có cây trồng là chìa khóa để nâng cao độ chính xác của Tier 3 [24], [13]. Thay vì đo đạc trực tiếp vốn tốn kém và khó triển khai diện rộng, việc giám sát gián tiếp qua thời gian ngập nước giúp định lượng chính xác khoảng thời gian mà tại đó vi khuẩn yếm khí hoạt động mạnh, từ đó hỗ trợ đánh giá hiệu quả của các biện pháp giảm phát thải.

Tuy nhiên, để nâng cao độ tin cậy của mô hình và hướng tới tiêu chuẩn IPCC Tier 3, các nghiên cứu tiếp theo cần khắc phục hạn chế về độ phân giải thời gian 14 ngày của dữ liệu ALOS-2. Việc tích hợp dữ liệu đa cảm biến là cần thiết nhằm giám sát chặt chẽ các chu kỳ tưới tiêu ngắn hạn. Do một ảnh vệ tinh đơn lẻ chỉ phản ánh trạng thái thủy văn tại thời điểm thu nhận, trong khi phát thải metan phụ thuộc vào tổng thời gian duy trì điều kiện yếm khí, việc xây dựng chuỗi quan sát đa thời gian có ý nghĩa quyết định để tính toán chính xác số ngày ngập thực tế trong một vụ. Với chu kỳ thu ảnh lặp lại của ALOS-2, các giai đoạn tháo nước ngắn ngày trong mô hình canh tác AWD có thể bị bỏ sót, dẫn đến đánh giá chưa đầy đủ hiệu quả giảm phát thải. Thách thức lớn nhất trong việc tính toán phát thải tại khu vực nghiên cứu nằm ở tập quán canh tác không đồng nhất, gây ra sự phân hóa về trạng thái sinh trưởng của lúa trên quy mô không gian nhỏ. Do đó, việc kết hợp đa nguồn dữ liệu (như ALOS-4, NISAR, SAOCOM...) là yêu cầu cấp thiết nhằm nâng cao độ phân giải thời gian để xác định hiện trạng ngập, từ đó tối ưu hóa các hệ số phát thải đặc thù cho khu vực. Đồng thời, việc cải tiến thuật toán phân loại từ ngưỡng đơn sang các phương pháp học máy (Machine Learning) hoặc sử dụng dữ liệu toàn phân cực (Full Pol) là cần thiết để giải quyết bài toán tán xạ phức tạp dưới tán lúa dày.

Song song đó, việc tích hợp dữ liệu không gian về thổ nhưỡng, giống lúa và phân bón, kết hợp với mạng lưới quan trắc mực nước IoT, sẽ tạo thành một hệ thống giám sát phát thải toàn diện. Trong bối cảnh ĐBSCL chịu áp lực kép từ biến đổi khí hậu và cam kết giảm phát thải quốc gia, việc xây dựng hệ thống giám sát ngập nước dựa trên SAR có thể trở thành nền tảng cho cơ

chế đo lường - báo cáo - thẩm tra (MRV) [25, 26] minh bạch. Hệ thống này không chỉ phục vụ kiểm kê khí nhà kính mà còn hỗ trợ quy hoạch thủy lợi, điều phối lịch thời vụ và đánh giá hiệu quả nhân rộng mô hình AWD. Như vậy, nghiên cứu này đóng vai trò bước khởi đầu trong việc chứng minh tính khả thi của phương pháp phân loại ngập bằng dữ liệu SAR băng tần L ở các giai đoạn sinh trưởng khác nhau trong vùng nghiên cứu. Tuy độ chính xác chưa đạt mức tối ưu, các phân tích đã làm rõ bản chất vật lý của sai số và chỉ ra lộ trình nâng cấp công nghệ. Việc chuyển từ phân loại ngưỡng đơn thời điểm sang mô hình tích hợp đa thời gian - đa nguồn dữ liệu sẽ là chìa khóa để nâng cao độ tin cậy, giảm bất định và đáp ứng yêu cầu kiểm kê phát thải ở cấp độ cao hơn trong tương lai.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thiết lập và kiểm chứng hiệu quả quy trình giám sát trạng thái ngập nước trên ruộng lúa tại tỉnh An Giang trong vụ đông xuân năm 2025, sử dụng dữ liệu SAR băng tần L từ vệ tinh ALOS-2. Dựa trên phân tích thống kê từ dữ liệu thực địa và áp dụng thuật toán phân loại dựa trên ngưỡng, nghiên cứu đã xác định giá trị ngưỡng tán xạ ngược tối ưu để tách biệt tình trạng ngập là -25,7 dB đối với kênh HV và -14,5 dB đối với kênh HH.

Kết quả thực nghiệm trên tập kiểm tra độc lập cho thấy, kênh phân cực chéo (HV) đạt hiệu suất phân loại cao hơn với độ chính xác toàn cục là 74%, vượt trội so với kênh đồng phân cực (HH) là 67%. Mặc dù độ chính xác chưa đạt mức tuyệt đối do ảnh hưởng của tán xạ khối và sự suy giảm tín hiệu radar bởi mật độ sinh khối lúa cao trong giai đoạn làm đòng, kết quả này đã khẳng định tiềm năng ứng dụng của dữ liệu ALOS-2 PALSAR-2 trong việc theo dõi chế độ ngập nước mặt ruộng không phụ thuộc điều kiện thời tiết.

Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học để xác định chế độ nước (ngập/khô), biến số đầu vào then chốt giúp chuyển đổi việc tính toán phát thải khí metan từ các hệ số mặc định sang các hệ số đặc thù theo vùng, đáp ứng yêu cầu của phương pháp IPCC bậc 2. Đây là bước tiến quan trọng hỗ trợ công tác kiểm kê khí nhà kính và đánh giá hiệu quả các giải pháp canh tác giảm phát thải tại ĐBSCL.

Để khắc phục các hạn chế hiện tại và hướng tới độ chính xác đáp ứng tiêu chuẩn IPCC bậc 3, các hướng nghiên cứu tiếp theo cần tập trung vào việc: (1) Tích hợp đa cảm biến để cải thiện độ phân giải thời gian, khắc phục chu kỳ lặp lại 14 ngày của ALOS-2; (2) Ứng dụng các thuật toán học máy (Machine Learning) và dữ liệu toàn phân cực để xử lý tốt hơn cơ chế tán xạ phức tạp dưới tán lúa dày; (3) Kết hợp dữ liệu viễn thám với mạng lưới quan trắc mực nước IoT nhằm xây dựng hệ thống giám sát phát thải toàn diện và chính xác hơn.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Cơ quan Hàng không Vũ trụ Nhật Bản (JAXA) đã cung cấp dữ liệu ảnh viễn thám ALOS-2 được sử dụng trong bài báo này. Trung tâm Ứng dụng Công nghệ Vũ trụ Thành phố Hồ Chí Minh, Trung tâm Vũ trụ Việt Nam đã cung cấp dữ liệu bản đồ giai đoạn sinh trưởng của lúa (tuổi lúa), đây là bộ dữ liệu phụ trợ thiết yếu cho việc phân loại và kiểm chứng. Dữ liệu khảo sát thực địa (do JAXA/RESTEC và GlobEO tài trợ) đã cung cấp thông tin thực tế quan trọng cho việc hiệu chỉnh mô hình và đánh giá độ chính xác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Conrad, R. (2009). The global methane cycle: Recent advances in understanding the microbial processes involved. *Environmental Microbiology Reports*, 1(5): 285 - 292. DOI: 10.1111/j.1758-2229.2009.00038.x.
- [2]. M. Stephen Olge *et al.* (2019). Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National greenhouse gas inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use: Cropland. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* 4.
- [3]. Olivier, B., Pierre, F., Bill, C. and Keith, P. S. (2009). The indirect global warming potential and global temperature change potential due to methane oxidation. *Environmental Research Letters*, 4(4), 044007. DOI. 10.1088/1748-9326/4/4/044007.
- [4]. Thủ tướng Chính phủ (2022). *Quyết định số 896/QĐ-TTg, ngày 26/7/2022 phê duyệt Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu giai đoạn đến năm 2050.*

- [5]. Chin, K. (1995). Intermediary metabolism in methanogenic paddy soil and the influence of temperature. *FEMS Microbiology Ecology*, 18(2): 85 - 102. DOI: 10.1016/0168-6496(95)00042-9.
- [6]. Conrad, R. (2002). Control of microbial methane production in wetland rice fields. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 64(1 - 2): 59 - 69. DOI: 10.1023/A:1021178713988.
- [7]. Rahmi, K. I. N. *et al.* (2025). Utilization of multisensor satellite data for developing spatial distribution of methane emission on rice paddy field in Subang, West Java. *Remote Sensing*, 17(13): 2154. DOI: 10.3390/rs17132154.
- [8]. Nguyễn Công Thuận, Huỳnh Văn Thảo, Huỳnh Công Khánh, Nguyễn Hữu Chiêm, Trần Sỹ Nam, Taro Izumi, Nguyễn Văn Công (2022). Kỹ thuật canh tác lúa tiết kiệm nước, giảm phát thải khí nhà kính và thích ứng biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khoa học, Đại học Cần Thơ*, 58(SDMD): 231 - 238. DOI: 10.22144/ctu.jvn.2022.209.
- [9]. Sudarmanian, N. S., Pazhanivelan, S. and Panneerselvam, A. S. (2019). Estimation of methane emission from paddy fields using sar and modis satellite data. *Agrometeorology*, 21(1): 102 - 109.
- [10]. Jang, S., Park, J., Lee, H., Gou, J. and Song, I. (2024). Assessing paddy methane emissions through the identification of rice and winter crop areas using Sentinel-2 imagery in Korea. *Paddy and Water Environment*. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10333-024-00974-w>.
- [11]. Ndikumana, E., Minh, D. H. T., Nguyen, H. T. D., Baghdadi, N., Courault, D., Hossard, L. and Moussawi, I. El. (2018). Estimation of rice height and biomass using multitemporal SAR Sentinel-1 for Camargue, Southern France. *Remote Sensing*, 10(9). DOI: 10.3390/rs10091394.
- [12]. Jia, M., Tong, L., Chen, Y., Tan, L. and Lu, Y. (2013). Methane emissions monitoring of rice fields using RADARSAT-2 data. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 3223 - 3226. DOI: 10.1109/IGARSS.2013.6723513.
- [13]. Arai, H., Takeuchi, W., Oyoshi, K., Nguyen, L.D. and Inubushi, K. (2018). Estimation of methane emissions from rice paddies in the mekong delta based on land surface dynamics characterization with remote sensing. *Remote Sensing*, 10(9). DOI: 10.3390/rs10091438.
- [14]. Kozicka, K., Orazalina, Z., Gozdowski, D. and Wójcik-Gront, E. (2023). Evaluation of temporal changes in methane content in the atmosphere for areas with a very high rice concentration based on Sentinel-5P data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 30, p. 100972. DOI: 10.1016/j.rsase.2023.100972.
- [15]. Yu, X., Millet, D. B., Henze, D. K., Turner, A. J., Delgado, A. L., Bloom, A. A. and Sheng, J. (2023). A high-resolution satellite-based map of global methane emissions reveals missing wetland, fossil fuel, and monsoon sources. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 23(5): 3325 - 3346. DOI: 10.5194/acp-23-3325-2023.
- [16]. Suthar, G., Singh, S., Kaul, N. and Khandelwal, S. (2024). Analyzing methane emissions in five Indian cities using TROPOMI data from sentinel-5 precursor satellite. *Urban Climate*, 58, 102174. DOI: 10.1016/j.uclim.2024.102174.
- [17]. Phung, H. P., Nguyen, L. D., Thong, N. H., Thuy, L. T. and Apan, A. A. (2020). Monitoring rice growth status in the Mekong Delta, Vietnam using multitemporal Sentinel-1 data. *Journal of Applied Remote Sensing*, 14(01), 1. Available at: <https://www.spiedigitallibrary.org/journals/journal-of-applied-remote-sensing/volume-14/issue-01/014518/Monitoring-rice-growth-status-in-the-Mekong-Delta-Vietnam-using/10.1117/1.JRS.14.014518.full>.
- [18]. Lyons, M. B., Keith, D. A., Phinn, S. R., Mason, T. J. and Elith, J. (2018). A comparison of resampling methods for remote sensing classification and accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 208, 145 - 153. DOI: 10.1016/J.RSE.2018.02.026.
- [19]. Congalton, R. G. and Green, K. (2019). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data*. CRC Press. DOI: 10.1201/9780429052729.
- [20]. Rainio, O., Teuho, J. and Klén, R. (2024). Evaluation metrics and statistical tests for machine learning. *Scientific Reports*, 14(1), 6086. DOI: 10.1038/s41598-024-56706-x.

[21]. Phan, A., Ha, D. N., Man, C. D., Nguyen, T. T., Bui, H. Q. and Nguyen, T. T. N. (2019). Rapid assessment of flood inundation and damaged rice area in Red river delta from Sentinel 1A imagery. *Remote Sensing*, 11(17). DOI: 10.3390/rs11172034.

[22]. Hoang-Phi, P., Lam-Dao, N., Pham-Van, C., Chau-Nguyen-Xuan, Q., Nguyen-Van-Anh, V., Gummadi, S. and Le-Van, T. (2020). Sentinel-1 SAR time series-based assessment of the impact of severe salinity intrusion events on spatiotemporal changes in distribution of rice planting areas in Coastal provinces of the Mekong Delta, Vietnam. *Remote Sensing*, 12(19), 3196. Available at: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/19/3196>.

[23]. IPCC (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report*

of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

[24]. Peter, C., Fiore, A., Nendel, C. and Xiloyannis, C. (2014). Improving the accounting of land-based emissions in carbon footprint of agricultural products: Comparison between IPCC Tier 1, Tier 2 and Tier 3 approaches. *Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2014)*, San Francisco, California, USA, 8-10 October, 2014 (2002).

[25]. Liu, Y. *et al.* (2023). Reconciling a national methane emission inventory with in-situ measurements. *Science of the Total Environment*, 901. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.165896.

[26]. Yang, H., Song, M., Son, H., Kim, R. and Choi, E. (2025). Evaluating REDD + readiness: High-potential countries based on MRV capacity. *Forests*, 16(1). DOI: 10.3390/f16010067.

DETECTING INUNDATED RICE PADDY FIELDS IN AN GIANG PROVINCE USING ALOS-2 RADAR REMOTE SENSING IMAGERY

Nguyen Van Hoang¹, Lam Dao Nguyen², Hoang Phi Phung²

¹ Southern Institute of Water Resources Research

² Vietnam National Space Center, Vietnam Academy Of Science Technology

Abstract

This study presents the development and validation of a method for detecting inundation in rice cultivation fields in An Giang province. The approach employs Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery from the ALOS-2 satellite with dual polarizations (HH and HV). The preprocessing process includes radiometric calibration, terrain correction and speckle noise filtering to enhance image quality for image classification. A Decision Tree algorithm was applied for classification, with optimal threshold values determined from field data. Ground truth data consisted of 89 sample points collected across Chau Thanh district, Thoai Son district and Long Xuyen city in An Giang province (administrative units before merger), randomly divided into 70% for training and 30% for validation. Experimental results indicate that the HV polarization image acquired on January 17, 2025, achieved the highest performance, with an overall accuracy of 74%. These findings demonstrate the reliability of SAR data in monitoring field-scale inundation status and provide essential input for methane emission estimation in rice cultivation. Future research should focus on assessing water inundation across different rice growth stages to further support national commitments to greenhouse gas mitigation.

Keywords: *Inundation detection, rice cultivation, ALOS-2, Decision Tree, An Giang.*

Ngày nhận bài: 4/3/2026

Ngày chuyển phản biện: 11/3/2026

Ngày thông qua phản biện: 9/4/2026

Ngày duyệt đăng: 23/4/2026