

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC

VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

NGUYỄN AN BÌNH

**NGHIÊN CỨU GIÁM SÁT CHẤT LƯỢNG MÔI TRƯỜNG
NƯỚC BIỂN VEN BỜ PHÍA NAM BẰNG CÔNG NGHỆ
VIỄN THÁM**

Chuyên ngành: Bản đồ, viễn thám và hệ thống tin địa lý

Mã số: 9440214

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHOA HỌC TRÁI ĐẤT

TP. HỒ CHÍ MINH – 2023

Công trình được hoàn thành tại: Học viện Khoa học và Công nghệ
- Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS. TS. Phạm Việt Hòa

Người hướng dẫn khoa học 2: TS. Hồ Đình Duẩn

Phản biện 1: PGS. TS. Doãn Minh Chung

Phản biện 2: GS.TS. Võ Chí Mỹ

Phản biện 3: PGS.TS. Nguyễn Văn Trung

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện, họp tại Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam vào hồi 9 giờ 00', ngày 26 tháng 5 năm 2023

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Khoa học và Công nghệ
- Thư viện Quốc gia Việt Nam

PHẦN MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Vùng biển ven bờ có vai trò quan trọng và vị thế chiến lược trong phát triển kinh tế và xã hội tại các quốc gia ven biển. Khu vực được dự báo sẽ là tâm điểm cho sự tăng trưởng mạnh mẽ trong vòng 50 năm tiếp theo. Kéo theo đó sẽ là sự gia tăng những xung đột về môi trường và xã hội, đòi hỏi cần phải có những kế hoạch và giải pháp phù hợp. Nghị quyết số 36-NQ/TW về Chiến lược phát triển bền vững kinh tế biển ở Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045, đã xác định bảo vệ môi trường biển là một nội dung xuyên suốt.

Giám sát chất lượng môi trường nước biển ven bờ bằng công nghệ viễn thám tận dụng ưu thế của các bộ cảm biến thám quang học trong dải quang phổ nhìn thấy để nhận diện màu sắc của nước biển và ước tính một loạt các chỉ số môi trường biển. Giải pháp giám sát theo mô hình không gian – thời gian được xem là công cụ đắt giá để có thể thấu hiểu được các phản ứng của hệ sinh thái môi trường biển đối với sự thay đổi của khí hậu cũng như các tác động của con người.

Tại Việt Nam, mặc dù là quốc gia có đường bờ biển trải dài gần như toàn lãnh thổ (trên 3000 km) nhưng những nghiên cứu về chất lượng môi trường nước biển bằng công nghệ viễn thám mới chỉ phát triển gần đây với số lượng chưa tương xứng. Nguyên nhân là do các thách thức liên quan đến việc thu thập dữ liệu trên thực địa, giải pháp công nghệ mới, điều kiện thời tiết, và chất lượng của ảnh vệ tinh.

Xuất phát từ các luận điểm trên, có thể thấy việc lựa chọn đề tài “Nghiên cứu giám sát chất lượng môi trường nước biển ven bờ phía Nam bằng công nghệ viễn thám” là cấp thiết cần phải được thực hiện.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu chung:

- Xác lập cơ sở khoa học, mô hình tính toán yếu tố chất lượng môi trường nước biển ven bờ bằng công nghệ viễn thám .

Mục tiêu cụ thể:

- Xác lập quy trình ước tính chỉ số chlorophyll-a trong nước biển vùng ven bờ bằng công nghệ viễn thám có đầy đủ cơ sở khoa học, chứng minh bằng thực nghiệm và đánh giá độ chính xác.

- Đánh giá khả năng của vệ tinh viễn thám môi trường biển trong việc giám sát vùng biển ven bờ Việt Nam dưới ảnh hưởng của khí hậu nhiệt đới gió mùa đồng thời xác lập các giải pháp tăng cường khả năng giám sát cả trên quy mô không gian rộng lớn và tần suất thời gian liên tục hàng ngày.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: tập trung vào bài toán ước tính hàm lượng chlorophyll-a trên ảnh vệ tinh Sentinel 3.

- Phạm vi nghiên cứu: Vùng biển ven bờ Khánh Hòa đến Ninh Thuận.

4. Nội dung nghiên cứu

- Các cơ sở khoa học trong lĩnh vực viễn thám môi trường biển.

- Các phương pháp hiệu chỉnh khí quyển dữ liệu viễn thám môi trường biển.

- Các thuật toán ước tính yếu tố chất lượng môi trường nước biển vùng ven bờ từ dữ liệu viễn thám.

- Các phương pháp xử lý số liệu sau tính toán, kết hợp nguồn dữ liệu tăng cường khả năng giám sát theo mô hình không gian – thời gian

CHƯƠNG 1. CƠ SỞ KHOA HỌC, TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

1.1. Tầm quan trọng của vùng ven biển

Suy giảm chất lượng môi trường vùng ven biển sẽ trầm trọng hơn dưới tác động của con người. Một loạt các nguyên nhân đã được nhận định từ những năm 1995 gồm (1) khu vực tập trung đông dân cư, (2) tốc độ tăng dân số lớn, (3) du lịch, (4) 90% các nguồn ô nhiễm từ đất liền thải ra vùng ven biển, (5) thay đổi sử dụng đất mạnh mẽ (6) tỷ lệ nguồn thải vượt mức cho phép, (7) tỷ lệ trầm tích giảm do xây dựng các đập và công trình thủy lợi, và (8) tỷ lệ các chất dinh dưỡng hòa tan, nguyên nhân chính của phú dưỡng đã vượt quá mức độ cho phép.

Vùng biển Việt Nam đóng vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế xã hội. Do đó, môi trường ven biển chịu ảnh hưởng rất lớn bởi các hoạt động con người cũng như các tác động của tự nhiên. Các chương trình giám sát chất lượng môi trường nước quốc gia với hệ thống trạm quan trắc không đủ sức giám sát trên quy mô rộng lớn và liên tục. Các kết quả quan trắc thường chưa thể đáp ứng được nhu cầu cảnh báo các sự cố bất thường của môi trường biển, tiêu biểu là sự cố ở Vịnh Vân Phong cuối năm 2016 hoặc Formosa vào đầu năm 2016.

1.2. Đặc trưng quang học của nước biển

Từ góc độ quan sát sơ bộ màu nước biển dựa trên các sản phẩm ảnh vệ tinh, có thể thấy trong khi nước ngoài khơi xa bờ có màu tương đối đồng nhất thì các vùng nước ven bờ ở các khu vực khác nhau lại có màu sắc khác nhau. Nước nằm trong nhóm case-1 có sự đóng góp của thực vật phù du vào tổng mức hấp thụ và phân tán của ánh sáng cao hơn so với các chất khác. Trong khi đó, nước case-2 có sự đóng góp đáng kể của vật chất lơ lửng và chất hữu cơ hòa tan trong nước.

Vùng nước case-1 thường có xu hướng phân bố trên các đại dương xa bờ, trong khi vùng nước case-2 thuộc về phần còn lại của đại dương hay chính là các vùng biển ven bờ. Mặc dù vậy, cần lưu ý rằng không phải bất cứ vùng biển ven bờ nào cũng thuộc nhóm case-2. Khoảng

98% diện tích đại dương và các vùng nước ven biển trên thế giới được coi là case-1, trong khi phần còn lại thuộc về case-2. Tuy nhiên, mối quan tâm trong nghiên cứu tập trung vào các vùng nước case-2 do bởi đây là các khu vực vùng biển ven bờ, cửa sông, cửa biển, có liên quan tới các hoạt động của con người

Để tiến hành phân loại nước biển thành case-1 hoặc case-2, các nghiên cứu tập trung vào việc phân biệt các đặc tính quang học của nước biển. Các đặc tính quang học của nước biển được chia thành 2 nhóm là (1) nhóm các đặc tính bên trong (inherent optical properties - IOP) và (2) nhóm các đặc tính bên ngoài (apparent optical properties - AOP). Các đặc tính bên trong IOP là các đặc tính vốn có của nước biển, không phụ thuộc vào trường ánh sáng môi trường. Trong khi đó các đặc tính biểu thị ra bên ngoài có thể quan sát được AOP là những đặc tính biến thiên dựa vào các đặc tính vốn có IOP cũng như sự thay đổi của môi trường truyền ánh sáng, trở thành những đặc tính riêng để mô tả một vùng nước. Giá trị phổ phản xạ của nước biển là đặc tính AOP quan trọng nhất trong lĩnh vực viễn thám.

1.3. Hiệu chỉnh khí quyển

Mục tiêu của thuật toán hiệu chỉnh khí quyển tập trung vào các quá trình loại bỏ các thành phần phản xạ của sol khí aerosol, phản xạ Rayleigh, ảnh hưởng của sóng biển, cũng như xác định các hệ số lan truyền sóng nhằm thu về giá trị phổ phản xạ gốc của nước p_w .

Cho đến nay, một loạt các thuật toán hiệu chỉnh khí quyển đã được phát triển và vấn đề này vẫn tiếp tục được nghiên cứu. Các thuật toán hiệu chỉnh khí quyển được sử dụng phổ biến hiện nay như SeaDAS, C2RCC, EXP và DSF tích hợp trong Acolite, iCOR và Polymer, và SeaWiFS. Các vấn đề khác liên quan đến độ chính xác của mô hình hiệu chỉnh khí quyển có thể kể đến như hiệu ứng liền kề, mây và bóng

mây trên ảnh viễn thám, tia nắng mặt trời, sóng biển, cũng như vấn đề đồng bộ dữ liệu thực địa và vệ tinh phục vụ đánh giá độ chính xác

1.4. Giải đoán các yếu tố môi trường biển từ dữ liệu viễn thám

Trong lĩnh vực viễn thám màu đại dương, chỉ số được quan tâm nghiên cứu nhiều nhất có thể kể đến bao gồm chlorophyll-a, độ đục, vật chất lơ lửng, nhiệt độ bề mặt biển, hữu cơ không tan POC, chất hữu cơ hòa tan có màu CDOM, và độ mặn. Chlorophyll-a vẫn là một trong những chỉ số hóa sinh được quan tâm nhất, do liên quan đến cả việc giám sát phú dưỡng cũng như phục vụ làm đầu vào cho các mô hình tính toán năng suất đại dương. Các thuật toán quang sinh học biển được xác lập phục vụ ước tính cho từng chỉ số nước biển cụ thể tận dụng ưu thế của các kênh phổ trên bộ cảm vệ tinh màu đại dương.

1.5. Tổng quan nghiên cứu trong lĩnh vực viễn thám môi trường biển

1.5.1. Trên thế giới

Công nghệ viễn thám mang lại một loạt các ưu thế bao gồm: (1) nguồn dữ liệu duy nhất cho phép giám sát quy mô rộng, các khu vực khó tiếp cận (2) chuỗi thời gian dài cho phép theo dõi các quá trình và phân tích xu hướng (3) cơ sở dữ liệu nhất quán quy mô toàn cầu (4) kế thừa cho các nghiên cứu khác nhau (5) so sánh và bổ sung với dữ liệu thực địa (6) Hầu hết nguồn dữ liệu truy cập mở và miễn phí dễ tiếp cận

Nghiên cứu có liên quan đến lĩnh vực viễn thám môi liên kết bốn vấn đề chính: (1) khả năng của các thế hệ vệ tinh trong việc thu nhận thông tin nước biển, độ phân giải không gian và thời gian, (2) thuật toán kết nối thông tin thu được từ vệ tinh với các biến số môi trường biển bao gồm đặc tính quang học, chỉ số hóa sinh cũng như chất lượng nước, (3) quy trình phương pháp thực địa bao gồm cách thức thu mẫu, lưu trữ và phân tích, đồng bộ với dữ liệu vệ tinh để hiệu chỉnh và kiểm

định mô hình tính toán, và (4) khả năng ứng dụng cho các mục đích cụ thể bao gồm tính sẵn có của dữ liệu, phần mềm xử lý, đào tạo.

1.5.2. Nghiên cứu trong nước

Nghiên cứu trong lĩnh vực viễn thám màu đại dương tại Việt Nam đã được quan tâm nhiều hơn trong khoảng 10 năm trở lại đây, do sự sẵn có và truy cập mở của các nguồn dữ liệu. Bước đầu, các nghiên cứu đã tiếp cận giải pháp không gian và công nghệ viễn thám nhằm tạo lập một cơ sở dữ liệu các yếu tố môi trường biển trên phạm vi quan sát rộng lớn, tần suất liên tục. Hầu hết các nghiên cứu đều đề cập tới vấn đề mây che phủ dẫn tới thất bại trong việc đánh giá độ chính xác của mô hình ước tính cũng như thành lập các bản đồ đầy đủ thông tin không gian. Mặc dù vậy, có thể khẳng định rằng đây là những nghiên cứu quan trọng, là cơ sở khoa học và căn cứ thực tiễn cho việc phát triển các mô hình tính toán mới phục vụ ước tính chính xác các yếu tố chất lượng nước ven biển, đánh giá nguyên nhân và tác động, tăng dày bộ dữ liệu địa không gian trong lĩnh vực môi trường biển.

CHƯƠNG 2. ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Là sắc tố chính của thực vật phù du, chl-a được coi là chất đại diện cho sinh khối trong nước, có liên quan trực tiếp đến quá trình phú dưỡng và năng suất sơ cấp đại dương. Chl-a là biến số quan trọng nhất trong lĩnh vực môi trường biển, cũng như là biến số được quan tâm hàng đầu trong lĩnh vực viễn thám màu đại dương.

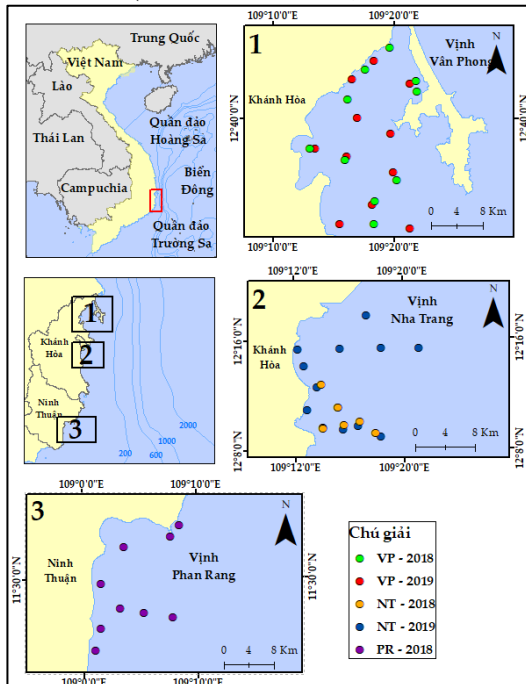
2.2. Khu vực nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

Khu vực nghiên cứu nằm ở vùng biển phía Nam Việt Nam, kéo dài từ 11°20' đến 12°53' vĩ độ Bắc, với một diện tích vùng biển ven

bờ khoảng 5848.7 km². Chạy dọc gần 600km đường bờ biển khu vực nghiên cứu, có năm vịnh với các đặc trưng quang học của nước biển khác nhau: các Vịnh Vân Phong, Nha Phu, Nha Trang, Cam Ranh (Khánh Hòa), và Vịnh Phan Rang (Ninh Thuận)

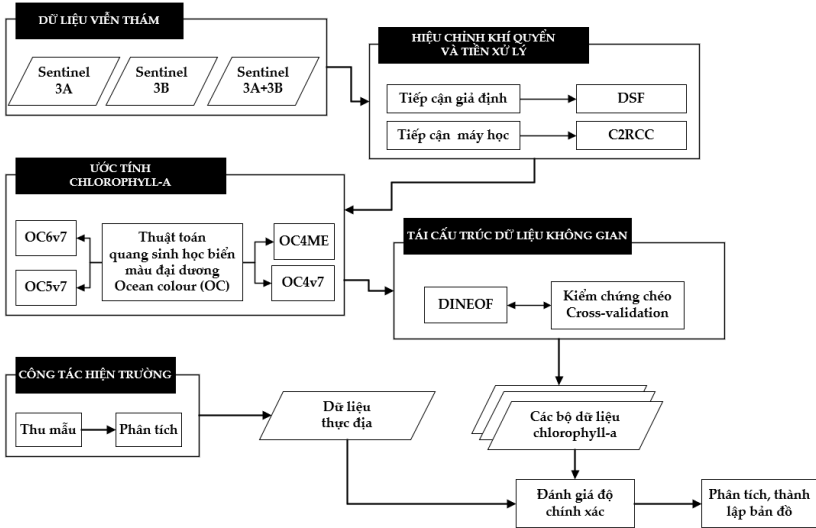
Dữ liệu thực địa được thu thập từ năm đợt thực địa khác nhau bao gồm: bốn đợt thực địa tại vịnh Vân Phong và Nha Trang năm 2018, 2019 và một đợt tại vịnh Phan Rang năm 2018 với tổng số 49 điểm.

Ảnh vệ tinh Sentinel 3 độ phân giải 300m bao gồm 46 ảnh từ ngày 1/10 - 30/11/2018 (22 cảnh ảnh S-3A, 24 cảnh ảnh S-3B) và 56 cảnh ảnh từ 1/7 - 31/8/2019 (26 cảnh ảnh S-3A, 30 cảnh ảnh S-3B).



Hình 2.1. Khu vực nghiên cứu và vị trí thu mẫu thực địa

2.3. Quy trình



Hình 2.2. Quy trình ước tính

2.4. Đánh giá độ chính xác

Kiểm định chéo (Cross-validation) cho mô hình DINEOF

Quy trình tái cấu trúc dữ liệu trên DINEOF được thực hiện bao gồm việc kiểm định chéo (cross-validation) với 3% (lựa chọn ngẫu nhiên) các pixel gốc sẽ được so sánh với các pixel sau khi tái cấu trúc. Sai số RMSE (Root mean square error) được tính theo công thức dưới đây:

$$RMSE_{DINEOF} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i^{ref} - x_i^{org})^2}{n}} \quad (2.3)$$

trong đó n là số lượng pixel được sử dụng để đánh giá, x_i^{ref} và x_i^{org} tương ứng thể hiện cho giá trị chl-a tại pixel sau quá trình tái cấu trúc dữ liệu và pixel gốc

Độ chính xác của mô hình dựa trên dữ liệu thực địa

Các sai số của mô hình được tính toán theo công thức

$$R_{\text{Pearson}} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.4)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{n}} \quad (2.5)$$

$$\text{MAPE} = 100 \times \text{median} \left(\frac{|y_i - x_i|}{x_i} \right) \quad (2.6)$$

$$\text{MAE} = 10^{\wedge} \left(\frac{\sum_{i=1}^n |\log_{10} y_i - \log_{10} x_i|}{n} \right) \quad (2.7)$$

$$\text{bias} = 10^{\wedge} \left(\frac{\sum_{i=1}^n (\log_{10} y_i - \log_{10} x_i)}{n} \right) \quad (2.8)$$

trong đó, n là số lượng cặp điểm (n=49), y_i là giá trị chl-a ước tính và x_i là giá trị chl-a đo đạc trên thực địa.

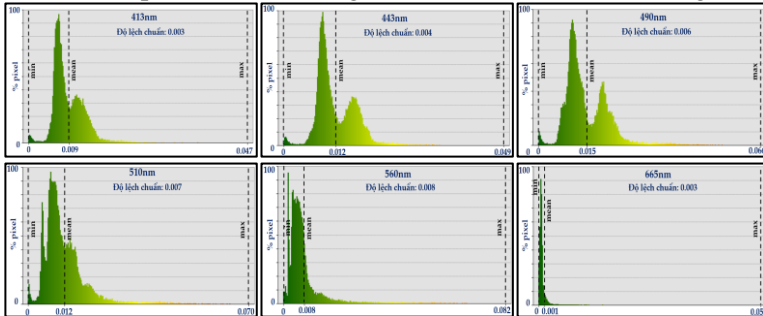
Ngoài ra, để thể hiện sự so sánh giữa các quy trình tính toán khác nhau trên biểu đồ trực quan, nghiên cứu sử dụng thêm sơ đồ Taylor

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả

3.1.1. Hiệu chỉnh khí quyển

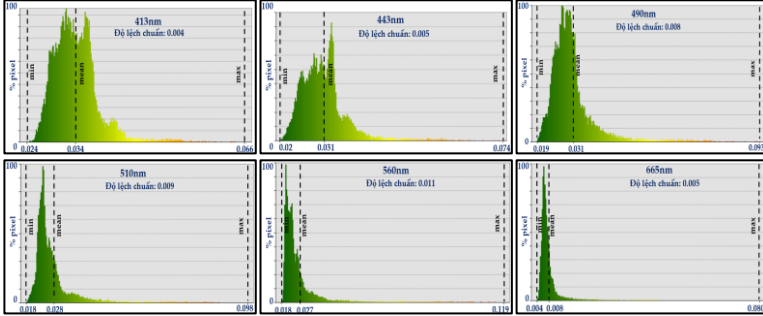
Với bộ hiệu chỉnh C2RCC, giá trị phổ phản xạ lớn nhất trong số các kênh ảnh quan tâm là 0.082 ghi nhận tại kênh có bước sóng 560nm



Hình 3.2. Histogram phân bố giá trị phổ phản xạ tại các bước sóng 413nm, 443nm, 490nm, 510nm, 560nm, 665nm theo thuật toán

C2RCC trong khu vực nghiên cứu

Biến thiên về giá trị phổ phản xạ rời mặt nước từ bộ hiệu chỉnh DSF ghi nhận tại kênh 560nm (độ lệch chuẩn 0,011) trong khi kênh có ít sự biến thiên nhất là 413nm (độ lệch chuẩn 0,004)



Hình 3.4. Histogram phân bố giá trị phổ phản xạ tại các bước sóng 413nm, 443nm, 490nm, 510nm, 560nm, 665nm theo thuật toán

DSF trong khu vực nghiên cứu (ảnh S-3B ngày 05/07/2019)

3.1.2. Tái cấu trúc dữ liệu không gian bộ dữ liệu sản phẩm chl-a

Bảng 3.1. Thông tin các bộ dữ liệu và sai số $RMSE_{DINEOF}$ (tối ưu) sau quá trình kiểm định chéo khi sử dụng mô hình DINEOF theo các thuật toán khác nhau. Phương pháp hiệu chỉnh khí quyển C2RCC

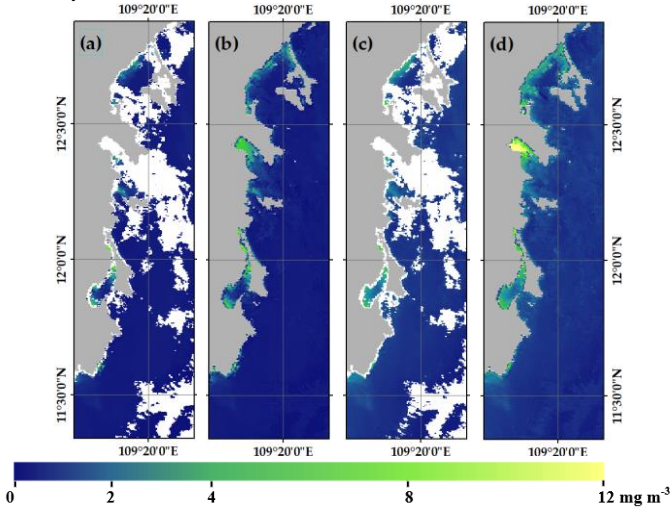
Giai đoạn	Vệ tinh	Kích thước	Dữ liệu thiếu(%)	$RMSE_{DINEOF}$ (mg m ⁻³)			
				OC4ME	OC4	OC5	OC6
2018	S-3A	179 x 537 x 21	61,17	0,815	0,786	0,785	0,864
	S-3B	179 x 537 x 24	66,25	0,795	0,805	0,769	0,797
	Tổng	179 x 537 x 28	60,58	0,715	0,708	0,714	0,755
2019	S-3A	179 x 537 x 26	50,87	0,522	0,540	0,498	0,550
	S-3B	179 x 537 x 30	49,17	0,667	0,669	0,686	0,644
	Tổng	179 x 537 x 49	46,80	0,507	0,550	0,501	0,639

Thuật toán OC5 cũng cho các giá trị sai số thấp nhất khi xem xét trên từng vệ tinh S-3A, S-3B, S-3A+S-3B hay theo các phương pháp hiệu chỉnh khí quyển C2RCC và DSF. Trong số các thuật toán OC6 luôn là thuật toán cho thấy hiệu suất của mô hình tái cấu trúc dữ liệu thấp nhất trong hầu hết các trường hợp

Bảng 3.2. Thông tin các bộ dữ liệu và sai số $RMSE_{DINEOF}$ (tối ưu) sau quá trình kiểm định chéo khi sử dụng mô hình DINEOF theo các thuật toán khác nhau. Phương pháp hiệu chỉnh khí quyển DSF

Giai đoạn	Vệ tinh	Kích thước	Dữ liệu thiếu(%)	$RMSE_{DINEOF}$ (mg m ⁻³)			
				OC4ME	OC4	OC5	OC6
2018	S-3A	178 x 37 x 22	66,95	0,634	0,556	0,619	0,699
	S-3B	177 x 37 x 24	67,34	0,669	0,650	0,775	0,832
	Tổng	178 x 37 x 31	65,70	0,535	0,552	0,546	0,662
2019	S-3A	177 x 37 x 20	57,31	0,507	0,547	0,508	0,646
	S-3B	178 x 34 x 24	53,94	0,462	0,452	0,476	0,565
	Tổng	178 x 37 x 42	53,38	0,423	0,408	0,387	0,552

Một điểm đáng lưu ý khác là kích thước của bộ dữ liệu sử dụng, đặc biệt là chiều thời gian khi kết hợp hai nguồn dữ liệu vệ tinh S-3A và S-3B do sự trùng lặp về quỹ đạo, dẫn tới số lượng cảnh ảnh trong các bộ dữ liệu năm 2018 và 2019 khác nhau.



Hình 3.6. So sánh kết quả tái cấu trúc dữ liệu dựa trên bộ dữ liệu tổng hợp hai vệ tinh S-3A và S-3B năm 2019 theo hai phương pháp hiệu chỉnh khí quyển C2RCC và DSF: (a) Dữ liệu gốc C2RCC, (b) Dữ liệu tái cấu trúc C2RCC, (c) Dữ liệu gốc DSF, (d) Dữ liệu tái cấu trúc DSF

3.1.3. Đánh giá độ chính xác dựa trên dữ liệu thực địa

Đánh giá độ chính xác tổng thể của quy trình đối với các sản phẩm tính toán dựa trên bộ hiệu chỉnh khí quyển C2RCC được trình bày trong bảng 3.3, với ước tính trên vệ tinh S-3B tốt hơn S-3A, thuật toán OC6 cho thấy sai số cao nhất.

Bảng 3.3. Thống kê sai số của bốn thuật toán ước tính nồng độ chl-a từ dữ liệu ảnh vệ tinh S-3A và S-3B, phương pháp hiệu chỉnh khí quyển C2RCC (p value < 0.00001)

	R ²	slope	intercept	RMSE	MAPE	MAE	bias
S-3A							
OC4ME	0,58	0,552	0,494	1,021	41,2	1,693	0,916
OC4	0,57	0,618	0,401	1,037	48,6	1,871	0,807
OC5	0,58	0,586	0,421	1,018	49,4	1,762	0,848
OC6	0,56	0,508	0,503	1,056	35,9	1,657	0,921
S-3B							
OC4ME	0,74	0,728	0,401	0,785	40,5	1,634	1,027
OC4	0,74	0,809	0,377	0,803	38,1	1,650	1,069
OC5	0,75	0,730	0,419	0,776	37,3	1,618	1,060
OC6	0,46	0,496	0,687	1,139	44,0	1,690	1,009

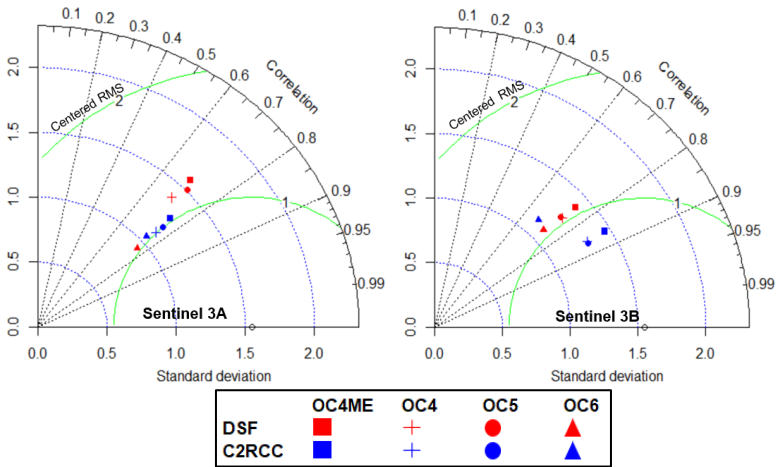
Độ chính xác của quy trình ước tính chl-a dựa trên phương pháp hiệu chỉnh DSF được cung cấp trong bảng 3.4. Rõ ràng nhận thấy rằng, bộ hiệu chỉnh C2RCC thể hiện quá trình hiệu chỉnh khí quyển tốt hơn DSF khi áp dụng trên cả hai nguồn dữ liệu vệ tinh 3A và 3B.

Bảng 3.4. Thống kê sai số của bốn thuật toán ước tính nồng độ chl-a từ dữ liệu ảnh vệ tinh S-3A và S-3B, phương pháp hiệu chỉnh khí quyển DSF (p value < 0.00001)

	R ²	slope	intercept	RMSE	MAPE	MAE	bias
S-3A							
OC4ME	0,49	0,713	1,692	1,755	110,5	2,324	2,246
OC4	0,48	0,624	1,674	1,608	99,1	2,287	2,177
OC5	0,51	0,697	1,531	1,586	98,9	2,156	2,060
OC6	0,58	0,464	1,817	1,451	112,8	2,337	2,223
S-3B							
OC4ME	0,56	0,670	1,825	1,706	130,5	2,422	2,357

OC4	0,56	0,610	1,696	1,526	118,8	2,257	2,185
OC5	0,54	0,601	1,714	1,541	108,5	2,269	2,194
OC6	0,53	0,519	1,997	1,666	145,8	2,528	2,433

Biểu đồ Taylor cho thấy hiệu suất ưu thế hơn hẳn khi áp dụng dữ liệu phổ phản xạ ước tính từ mô hình hiệu chỉnh C2RCC. Xét riêng đối với thuật toán, mô hình OC5 và OC4ME dựa trên phương pháp C2RCC đạt được độ chính xác cao nhất trong tất cả các trường hợp.



Hình 3.15. Biểu đồ Taylor thể hiện hiệu suất và độ chính xác của các thuật toán ước tính chl-a dựa trên hai phương pháp hiệu chỉnh khí quyển C2RCC và DSF, trong đó với dữ liệu S-3A (trái) và S-3B (phải)

3.2. Thảo luận

3.2.1. Hiệu chỉnh khí quyển

Kết quả cho thấy khả năng vượt trội của phương pháp hiệu chỉnh khí quyển C2RCC so với DSF đối với cả hai trường hợp dữ liệu S-3A và S-3B. C2RCC là thuật toán hiệu chỉnh khí quyển dựa trên phương pháp tiếp cận máy học, sử dụng thuật toán mạng nhân tạo (Neural

Network) có thể tùy chỉnh thông số phù hợp với từng khu vực nghiên cứu cụ thể. Trong khi đó, DSF sử dụng kênh 1020 nm trên ảnh Sentinel 3 với tiếp cận giả định phổ phản xạ rời mặt nước được cho là không đáng kể.

3.2.2. Độ chính xác của các thuật toán quang sinh học biển

Thông kê sai số đã chỉ rõ thuật toán OC4ME và OC5 đạt được độ chính xác cao nhất trong mọi trường hợp đối sánh. Thuật toán OC4ME được thiết kế dành riêng cho bộ cảm vệ tinh MERIS, sau đó được đề xuất chuyển đổi áp dụng lên vệ tinh Sentinel 3 do các đặc tính kỹ thuật tương đồng của hai vệ tinh này. Thuật toán còn lại, OC5, cũng được xác nhận là thuật toán có độ chính xác cao. Đáng chú ý, thuật toán OC5 cũng đã được kiểm định và xác nhận là thuật toán tốt nhất cho khu vực vùng biển ven bờ Việt Nam dựa trên dữ liệu vệ tinh MERIS.

3.2.3. Khắc phục nhược điểm của tư liệu ảnh vệ tinh quang học khi quan sát các khu vực có nền khí hậu nhiệt đới gió mùa phục vụ giám sát môi trường biển ven bờ Việt Nam

DINEOF mang lại một phương pháp tin cậy trong việc xử lý một bộ dữ liệu theo mô hình không gian - thời gian như đã được chứng minh trong nghiên cứu này với hai ưu điểm vượt trội tăng cường thông tin không gian khi kết hợp các nguồn dữ liệu khác nhau đồng thời tăng cường độ phân giải thời gian

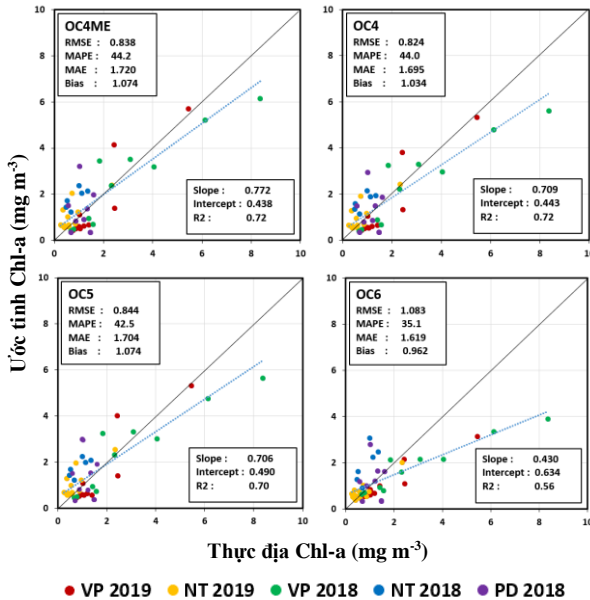
3.2.4. Khả năng của nguồn dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel 3 phục vụ giám sát môi trường biển ven bờ Việt Nam

Nghiên cứu này thực hiện đánh giá khả năng của vệ tinh Sentinel 3, là nghiên cứu đầu tiên thử nghiệm dữ liệu ảnh thu nhận từ bộ cảm OLCI trên cả hai vệ tinh 3A và 3B trên một khu vực nghiên cứu thuộc phạm vi vùng biển ven bờ Việt Nam. Với minh chứng độ chính xác đạt được, nguồn dữ liệu môi trường biển độ phân giải cao này sẽ tiếp

nổi được chuỗi dữ liệu quan sát liên tục môi trường biển Việt Nam, phục vụ cho các mục đích nghiên cứu chuyên sâu hơn.

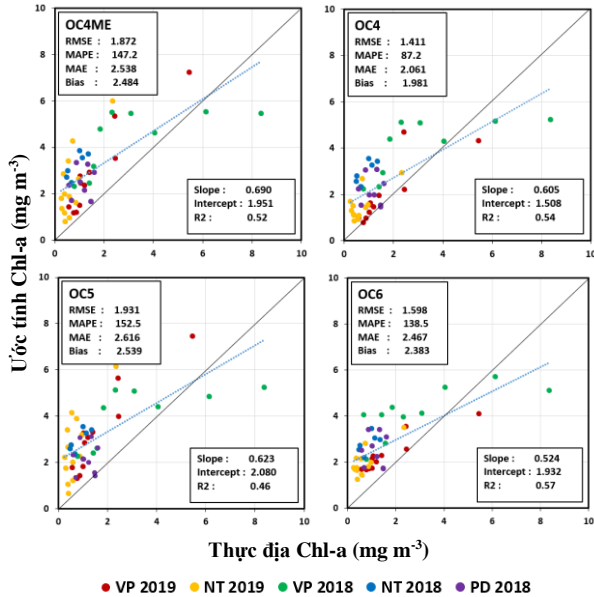
3.2.5. Nâng cao khả năng bổ sung nguồn thông tin không gian và tăng cường độ phân giải thời gian khi kết hợp các nguồn dữ liệu viễn thám môi trường biển khác nhau

Kết hợp của hai nguồn dữ liệu Sentinel 3A và 3B, độ phân giải thời gian khi quan sát cho một khu vực nghiên cứu cụ thể có thể tăng lên 1-2 ngày. Thêm vào đó, đối với các khu vực nghiên cứu bị ảnh hưởng bởi mây thường xuyên như vùng biển ven bờ Việt Nam, việc kết hợp hai vệ tinh mang lại khả năng cung cấp một quan sát đầy đủ trên toàn bộ một phạm vi địa lý rộng lớn.

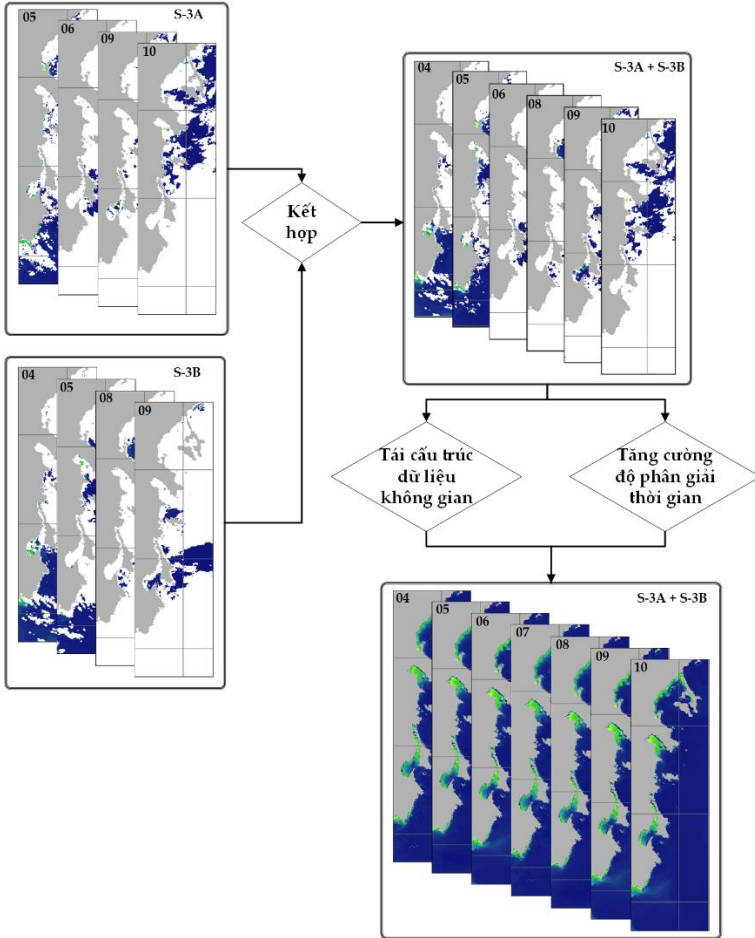


Hình 3.23. Hiệu suất của các mô hình ước tính chl-a dựa trên các sản phẩm hiệu chỉnh khí quyển C2RCC khi kết hợp hai nguồn dữ liệu S-3A and S-3B. (p value < 0.00001)

So sánh theo hai phương pháp hiệu chỉnh khí quyển, C2RCC cho kết hợp tốt hơn so với DSF trong cả bốn thuật toán ước tính chl-a. Phương pháp hiệu chỉnh khí quyển C2RCC, các thuật toán OC4ME và OC5 đạt được độ chính xác cao nhất, và có thể sử dụng khi kết hợp dữ liệu từ hai vệ tinh S-3A và S-3B. Ngoài ra, với thuật toán OC5 cũng cho các kết quả ước tính chl-a đạt được độ phù hợp hơn khi xem xét trong mối quan hệ không gian.



Hình 3.24 Thống kê sai số và đánh giá tương quan giữa các sản phẩm chl-a ước tính theo các thuật toán quang sinh học biển khác nhau khi kết hợp dữ liệu của hai vệ tinh S-3A and S-3B. (p value < 0.00001)



Hình 3.25. Giải pháp xử lý dữ liệu không gian bị ảnh hưởng bởi mây che phủ đồng thời tăng cường độ phân giải thời gian khi kết hợp hai vệ tinh S-3A và S-3B, cùng mô hình tái cấu trúc dữ liệu DINEOF. Ví dụ cho tập dữ liệu ảnh chụp từ ngày 04/08 đến ngày 10/08 năm 2019.

3.2.6. Định hướng các nghiên cứu tiếp theo trong tương lai

Nghiên cứu mở ra một hướng ứng dụng mới trong tương tại trong việc ước tính một loạt các chỉ số địa sinh hóa môi trường biển quan

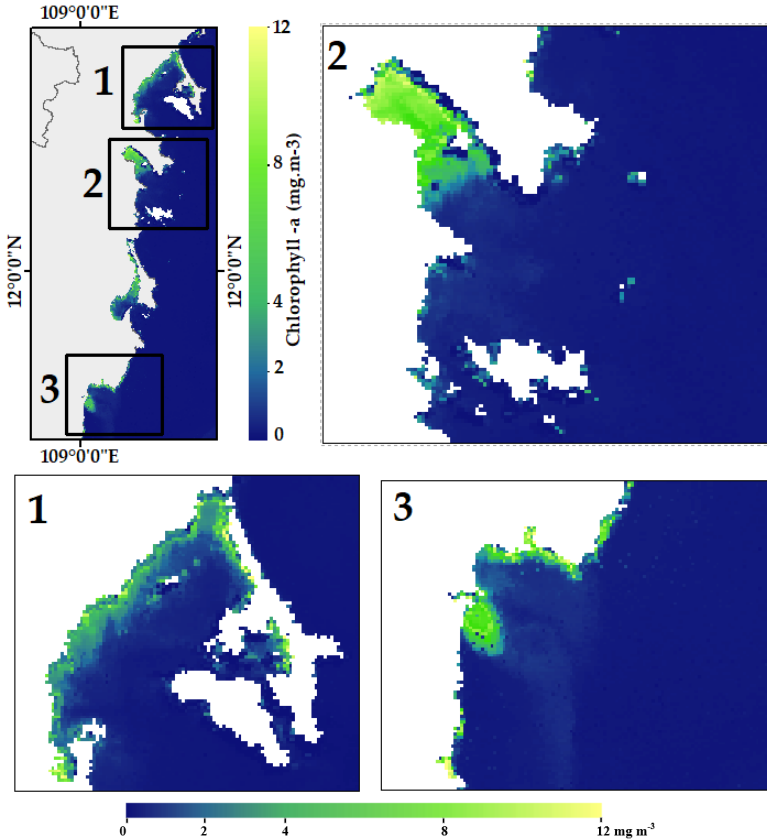
trọng như chl-a, độ đục, vật chất lơ lửng cho vùng biển ven bờ, hướng tới việc tăng cường hiểu biết và kiến thức trong lĩnh vực viễn thám màu đại dương trên vùng biển Việt Nam.

Các bước tiền xử lý (pre-processing) và hậu xử lý (post-processing) trong quy trình ước tính chl-a có thể dẫn đến việc tích lũy sai số. Các bước xử lý này đều là các bước cần thiết khi áp dụng cho vùng biển Việt Nam do bởi ảnh hưởng của các yếu tố thời tiết đến chất lượng ảnh viễn thám trên khu vực nghiên cứu. Vì vậy mà từng bước trong quy trình cần được đánh giá riêng biệt nhằm giảm thiểu việc tích lũy sai số cũng như khẳng định tính tin cậy của từng bước xử lý, giúp tăng cường độ chính xác tổng thể của mô hình ước tính. Liên quan đến vấn đề này, ngoài việc thử nghiệm các phương pháp xử lý dữ liệu mới, cần bổ sung thêm nguồn dữ liệu thực địa.

Nghiên cứu trong việc ước tính nồng độ chl-a ở đây nhằm mục đích đánh giá hiệu suất của các mô hình tính toán. Vì vậy, nghiên cứu chỉ sử dụng một tệp dữ liệu ảnh trong một giai đoạn thời gian ngắn, bao gồm dữ liệu các tháng 10-11/2018 và tháng 7-8/2019. Với kết quả kiểm định đã được chứng minh thông qua các sai số ước tính, quy trình có thể áp dụng trong việc xây dựng chuỗi sản phẩm bản đồ các yếu tố môi trường biển khác nhau, cho phép giám sát liên tục theo tần suất dày. Các ứng dụng này giúp thấu hiểu được các chế độ của vùng biển, xu hướng biến động chất lượng nước biển, sự thay đổi theo mùa, ảnh hưởng của các chế độ nhiệt đới gió mùa trên vùng biển Việt Nam.

Mây vẫn sẽ là yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng ảnh vệ tinh vùng biển ven bờ Việt Nam. Giải pháp hoàn chỉnh thông tin không gian trên các sản phẩm ảnh vệ tinh chắc chắn sẽ còn được sử dụng cho các nghiên cứu trong tương lai. Khi nguồn dữ liệu ảnh vệ tinh trở thành nguồn dữ liệu địa không gian lớn, các giải pháp tái cấu trúc dữ liệu

không gian dựa trên thuật toán học máy, học sâu có thể được áp dụng với độ chính xác cao. Vì vậy, trong tương lai, việc kết hợp các nguồn tư liệu ảnh viễn thám không những gia tăng cho số lượng và chất lượng ảnh viễn thám phục vụ giám sát môi trường biển, mà còn mở ra khả năng áp dụng các thuật toán độ chính xác cao từ giải pháp trí tuệ nhân tạo và nguồn dữ liệu lớn.



Hình 3.26. Kết hợp hai vệ tinh S-3A and S-3B trong việc ước tính nồng độ chl-a, phương pháp hiệu chỉnh khí quyển C2RCC, thuật toán OC5, ảnh chụp ngày 31/07/2019

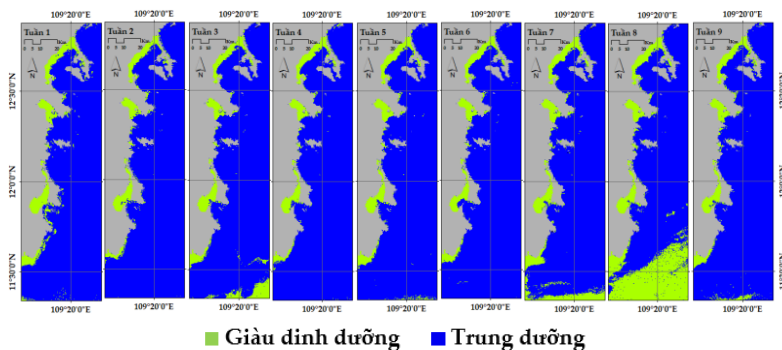
3.2.7. Hướng tới giám sát phú dưỡng vùng biển ven bờ bằng các giải pháp địa không gian

Bộ sản phẩm bản đồ chl-a tháng 7, 8 năm 2019 được sử dụng làm đầu vào để thử nghiệm thành lập bản đồ phân ngưỡng phân vùng mức độ dinh dưỡng khu vực nghiên cứu theo các ngưỡng giá trị được cung cấp trong bảng 3.5.

Bảng 3.5. Phân ngưỡng mức độ dinh dưỡng nước biển ven bờ

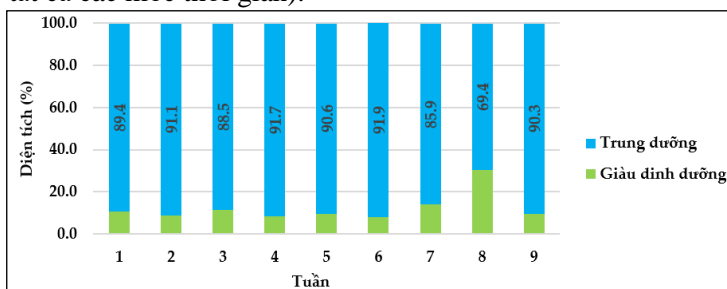
Chỉ số	Nghèo dinh dưỡng	Trung dưỡng	Giàu dinh dưỡng
Chl-a	$Chl-a \leq 0,1$	$0,1 < Chl-a < 1,67$	$Chl-a \geq 1,67$

Dựa trên ngưỡng giá trị đã được xác định. Bộ bản đồ chl-a trung bình tuần được phân ngưỡng theo các mức nghèo dinh dưỡng, trung dưỡng, và giàu dinh dưỡng. Hình 3.28 thể hiện các bản đồ theo thang mức độ dinh dưỡng khác nhau trên khu vực nghiên cứu. Trong khi vịnh Vân Phong khu vực nước có mức độ dinh dưỡng cao tập trung tại vùng biển giới hạn cách đường bờ biển khoảng 5km đổ lại, các vịnh Nha Phu, Cam Ranh thuộc Khánh Hòa và Phan Rang thuộc Ninh Thuận đều được coi là các khu vực có mức độ dinh dưỡng cao. Vịnh Nha Trang là vịnh duy nhất có nước biển với mức độ dinh dưỡng trung bình. Xét theo sự biến đổi theo thời gian, thay đổi lớn nhất xảy ra tại vùng biển gần khu vực vịnh Phan Rang với một số tuần ghi nhận hiện tượng gia tăng mức độ dinh dưỡng. Điều này cho thấy, sự thay đổi các yếu tố môi trường biển có thể xảy ra rất nhanh và biến đổi không ngừng, dẫn đến việc cần có những giải pháp giám sát với cường độ quan sát liên tục hàng ngày.



Hình 3.28. Bản đồ phân vùng mức độ dinh dưỡng trung bình tuần giai đoạn 01/07 đến 31/08/2019

Hình 3.29 thống kê diện tích ảnh hưởng bởi các mức độ dinh dưỡng khác nhau cho thấy các mức độ dinh dưỡng cũng lên xuống thất thường tại khu vực quan sát có diện tích nhỏ (5000 km²). Lưu ý rằng nhóm đối tượng nước biển nghèo dinh dưỡng được gộp vào nhóm đối tượng trung dưỡng do bởi có số liệu thống kê diện tích nhỏ (dưới 0,2% cho tất cả các mốc thời gian).



Hình 3.29. Thống kê mức độ dinh dưỡng theo cơ cấu diện tích (%) vùng biển khu vực nghiên cứu. Cơ cấu diện tích của nhóm đối tượng nghèo dinh dưỡng (< 0,2%) được gộp vào nhóm đối tượng trung dưỡng.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Thông qua nghiên cứu tổng hợp các kiến thức trong lĩnh vực viễn thám màu đại dương, luận đã xác lập được các vấn đề liên quan đến cơ sở khoa học, phương pháp và mô hình tính toán yếu tố chất lượng nước vùng biển ven bờ bằng công nghệ viễn thám. Từ những hiểu biết này, luận án đã đặt ra được các vấn đề cần nghiên cứu.

Luận án đã xác lập một quy trình đầy đủ bao gồm các bước xử lý số liệu cần thiết là hiệu chỉnh khí quyển, thuật toán quang sinh học phục vụ ước tính chỉ số môi trường biển, và tái cấu trúc dữ liệu không gian khắc phục nhược điểm của mây che phủ đối với vùng biển ven bờ Việt Nam. Các kết quả và sai số ước tính đã chứng minh cho độ chính xác của quy trình đề xuất.

Luận án đã chứng minh được khả năng của thể hệ vệ tinh viễn thám môi trường biển trong việc giám sát chất lượng nước vùng biển ven bờ Việt Nam dưới ảnh hưởng của khí hậu nhiệt đới gió mùa, thông qua việc kết hợp ảnh vệ tinh mới nhất Sentinel 3 và mô hình tái cấu trúc dữ liệu không gian để khắc phục nhược điểm mây che phủ dưới điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa đặc trưng của khu vực. Đồng thời, luận án cũng đã xác lập được việc tăng cường khả năng giám sát trên quy mô rộng lớn với tần suất thời gian liên tục hàng ngày khi tiến hành thực nghiệm kết hợp hai nguồn ảnh vệ tinh Sentinel 3A và 3B.

Lĩnh vực viễn thám màu đại dương được đánh giá là khó khăn hơn so với các nghiên cứu trên đất liền. Luận án đóng góp cho lĩnh vực viễn thám màu đại dương tại Việt Nam trong bối cảnh số lượng nghiên cứu vẫn còn hạn chế trong khi cố gắng giải quyết các thách thức, mở ra các hướng nghiên cứu tiếp theo trong tương lai nhằm thúc đẩy các nghiên cứu về môi trường biển và hải dương học nói chung cũng như viễn thám môi trường biển nói riêng, hướng tới xuất bản và công bố

thông tin quốc tế, góp phần khẳng định vị thế và chủ quyền vùng biển Việt Nam.

Kiến nghị

Hoàn toàn có thể tùy chỉnh thiết lập một quy trình tính toán tương tự với các tùy chỉnh về thuật toán phục vụ ước tính cho một loạt các chỉ số môi trường biển quan trọng khác như độ đục, vật chất lơ lửng, nhiệt độ, carbon, hướng tới mô hình hóa năng suất sơ cấp, lưu trữ carbon, cũng như giám sát các hiện tượng như tảo nở hoa và phú dưỡng.

Các nghiên cứu trong tương lai cần tiếp tục được thực hiện, từ việc đánh giá từng bước xử lý riêng biệt, cho đến việc xác nhận các quy trình tính toán tổng thể, thử nghiệm các cách thức tiếp cận mới nhằm bổ sung các phương pháp tính toán tự động hóa và độ chính xác cao.

Tăng cường quy mô xử lý cho phép tăng dày bộ sản phẩm các yếu tố môi trường biển theo một chuỗi thời gian dài cũng như trên một phạm vi rộng lớn, tạo tiền đề cho việc xây dựng một bộ cơ sở dữ liệu địa không gian lớn và đa dạng các yếu tố môi trường nước biển. Bộ cơ sở dữ liệu cho phép nhìn nhận lại các hiện tượng trong quá khứ, đánh giá hiện trạng, dự báo tương lai, hướng tới việc giải thích các quá trình động lực học của biển và đại dương trên quy mô toàn cầu, tăng cường hiểu biết trong lĩnh vực khoa học trái đất.

NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

- Đã xác định được mô hình hiệu chỉnh khí quyển, phương pháp ước tính chỉ số chlorophyll-a thể hiện chất lượng môi trường nước biển, mô hình tái cấu trúc dữ liệu viễn thám môi trường biển khắc phục nhược điểm mây che phủ trên vùng biển ven bờ phía Nam Việt Nam.

- Đã thực hiện giải pháp giám sát chất lượng môi trường nước biển với việc đưa vào áp dụng lần đầu tiên nguồn dữ liệu vệ tinh Sentinel 3 cho vùng biển ven bờ phía Nam Việt Nam. Đồng thời, giải pháp kết hợp hai vệ tinh Sentinel 3A và 3B đã được thử nghiệm thành công để tăng cường tần suất giám sát đối với khu vực nghiên cứu còn hạn chế nhiều về số lượng và chất lượng vệ tinh viễn thám môi trường biển.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ

1. **Nguyen An Binh**, Pham Viet Hoa, Giang Thi Phuong Thao, Ho Dinh Duan, Phan Minh Thu. *Evaluation of Chlorophyll-a estimation using Sentinel 3 based on various algorithms in southern coastal Vietnam*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. ISSN 1569-8432. Volume 112 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102951> (SCIE, Q1, IF: 7.672)

2. **Nguyễn An Bình**, Phạm Việt Hồng, Phan Minh Thụ, Phạm Việt Hòa, Giang Thị Phương Thảo. *Hướng tới giám sát phú dưỡng vùng biển ven bờ bằng công nghệ viễn thám: Trường hợp nghiên cứu điển hình tại tỉnh ven biển Khánh Hòa và Ninh Thuận*. Tạp chí Tài nguyên và Môi trường. ISSN 1859-1477 (2022).

3. **Nguyen Binh**. *Synergy of OLCI Sentinel 3A and 3B satellites for filling the gaps in chlorophyll-a products over in southern coastal Viet Nam*. NASA Ocean Optics Conference XXV. Quy Nhon, Binh Dinh, Vietnam (2022). <https://oceanopticsconference.org>

4. **Nguyễn An Bình**, Phạm Việt Hòa, Hồ Đình Duẩn, Phan Minh Thụ. *Đánh giá khả năng ước tính nồng độ chlorophyll-a dựa trên dữ liệu viễn thám màu đại dương Sentinel – 3B*. Kỷ yếu Hội thảo Quốc Gia về Khoa học và Công nghệ vũ trụ (2021). ISBN 978-604-9988-47-9. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ.

5. Hồ Đình Duẩn, **Nguyễn An Bình**, Phan Minh Thụ. *Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS trong giám sát và quản lý môi trường biển từ Khánh Hòa đến Cà Mau*. Kỷ yếu hội thảo Ứng dụng công nghệ vũ trụ (2021). ISBN 978-604-9988-47-9. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ.

6. **Nguyễn An Bình**, Phan Minh Thụ, Hồ Đình Duẩn, Phạm Việt Hòa. *Đánh giá khả năng của vệ tinh Sentinel 3A trong ước tính nồng độ chlorophyll-a vùng biển ven bờ Việt Nam: nghiên cứu điển hình tại Vịnh Vân Phong, Nha Trang và Phan Rang*. Kỷ yếu Hội thảo Ứng dụng GIS toàn quốc (2022). ISBN 9786046724872. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.

7. **Nguyễn An Bình**, Phạm Việt Hòa, Giang Thị Phương Thảo. *Thành lập bản đồ hàm lượng chlorophyll-a vùng biển Nam Trung Bộ từ ảnh vệ tinh Landsat 8*. Kỷ yếu Hội nghị Khoa học Địa lý toàn quốc lần thứ XIII (2022). ISBN 978-604-357-113-4. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ.