

KIỂM CHỨNG, ĐÁNH GIÁ SỐ LIỆU CHLOROPHYLL-A VÀ NHIỆT ĐỘ NƯỚC BIỂN BỀ MẶT TỪ DỮ LIỆU VIỄN THÁM MODIS TẠI VÙNG BIỂN VIỆT NAM

Nguyễn Ngọc Tuấn¹, Lê Thị Thu Hà²

¹Viện Nghiên cứu Hải sản

²Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt

Chlorophyll-a và nhiệt độ nước biển bề mặt có vai trò quan trọng trong hệ sinh thái biển. Số liệu chlorophyll-a và nhiệt độ nước biển bề mặt còn là dữ liệu đầu vào cho các mô hình dự báo, hoàn lưu khí quyển hay giám sát sinh thái môi trường biển. Để kiểm chứng, đánh giá sai số số liệu chlorophyll-a và nhiệt độ nước biển bề mặt từ dữ liệu viễn thám MODIS, bài báo đã sử dụng 1407 trạm thực đo (nhiệt độ và chlorophyll-a) trong giai đoạn 2015 - 2020 để đánh giá số liệu từ viễn thám. Kết quả cho thấy tại 207 trạm đồng bộ nhiệt độ nước biển, hệ số tương quan R đều lớn hơn 0,9, nhiệt độ nước biển từ viễn thám có xu hướng thấp hơn nhiệt độ thực đo nhưng không nhiều, sai số ME = -0,8°C, RMSE = 2,3%. Tại 57 trạm đồng bộ chlorophyll-a cho thấy hệ số tương quan rất cao (lớn hơn 0,9), xu hướng chlorophyll-a từ dữ liệu viễn thám cao hơn chlorophyll-a thực đo, sai số ME = MAE = 0,13mg/m³, RMSE = 1,5%. Qua kết quả kiểm chứng và đánh giá sai số, số liệu chlorophyll-a và nhiệt độ nước biển bề mặt từ dữ liệu MODIS cho độ tin cậy cao có thể sử dụng số liệu để nghiên cứu các lĩnh vực trong môi trường biển.

Từ khóa: Nhiệt độ bề mặt nước biển; Hàm lượng diệp lục; Kiểm chứng dữ liệu; Vùng biển Việt Nam; Viễn thám; Dữ liệu MODIS

Abstract

Evaluation and verification of chlorophyll-a and surface seawater temperature generating from MODIS remote sensing data at the East Vietnam Sea

Chlorophyll-a and surface seawater temperature play an important role in marine ecosystems. Chlorophyll-a and sea surface temperature are also used as input data for forecasting models, atmospheric circulation and ecological monitoring of the marine environment. In order to verify and evaluate the error of chlorophyll-a and surface seawater temperature generating from MODIS remote sensing data, chlorophyll-a and surface seawater temperature measured at 1407 studied sites in the East Vietnam Sea from 2015 - 2020 was used in this study. The results found that seawater temperature at 207 synchronized sites showed high correlation coefficients ($R > 0.9$). Seawater temperature generating from MODIS data was slightly lower than that of field measurement (the error ME = -0.8°C, RMSE = 2.3%). At 57 synchronized sites, chlorophyll-a showed high correlation coefficients ($R > 0.9$). Chlorophyll-a levels generating from MODIS data was higher than those of field measurement (the error ME = MAE = 0.13mg/m³, RMSE = 1.5%). Findings from this study suggested that chlorophyll-a and surface seawater temperature generating from MODIS data is highly reliable and can be used for further studies.

Keywords: Surface seawater temperature; Chlorophyll-a; Data verification; The East Sea; Remote sensing; MODIS Data.

1. Mở đầu

Chlorophyll-a là một sắc tố quang hợp được tìm thấy trong tảo, thực vật phù du,... và được sử dụng như thông số đại diện cho sinh khối cacbon của thực vật phù du [10]. Chlorophyll-a đóng vai trò quan trọng trong chu trình cacbon giữa khí quyển và biển; chu trình vật chất và chuyển đổi năng lượng; giám sát dòng hải lưu và quản lý nghề cá [11]. Bên cạnh đó, hàm lượng chlorophyll-a cũng được xem là một trong những chỉ số đánh giá hiện trạng sinh thái của môi trường biển [7, 8]. Nhiệt độ nước biển bề mặt là một đại lượng rất quan trọng trong nghiên cứu đại dương và khí quyển vì nó liên quan trực tiếp và là điều kiện trao đổi nhiệt, động lực, các loại khí giữa đại dương và khí quyển. Bản đồ trường nhiệt cực kỳ quan trọng cho các ngư dân đánh bắt cá cũng như các thông tin đầu vào cho các dòng thông lượng khí giữa đại dương và khí quyển. Số liệu nhiệt độ nước biển bề mặt và chlorophyll-a còn là dữ liệu đầu vào cho các mô hình dự báo, hoàn lưu khí quyển.

Ứng dụng khoa học, công nghệ viễn thám với ưu điểm dữ liệu thường xuyên và liên tục, quan sát bề mặt trái đất trong một vùng rộng lớn, dữ liệu viễn thám đã và đang được phát triển và ứng dụng mạnh mẽ trong nghiên cứu môi trường biển. Việc sử dụng nguồn dữ liệu viễn thám MODIS để nghiên cứu chlorophyll-a, nhiệt độ nước biển của một số nghiên cứu cho kết quả rất tốt [1, 2, 3, 9]. Tuy nhiên chưa tiếp cận được nghiên cứu nào về kiểm chứng độ chính xác, đánh giá sai số số liệu nhiệt độ và chlorophyll-a từ dữ liệu viễn thám MODIS tại toàn vùng biển rộng lớn của Việt Nam.

Trong nghiên cứu này sử dụng 1407 trạm đo khảo sát khắp vùng biển Việt Nam trong giai đoạn 2015 - 2020 để phân tích, kiểm chứng số liệu, đánh giá sai số số liệu từ dữ liệu viễn thám MODIS.

2. Tài liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguồn dữ liệu

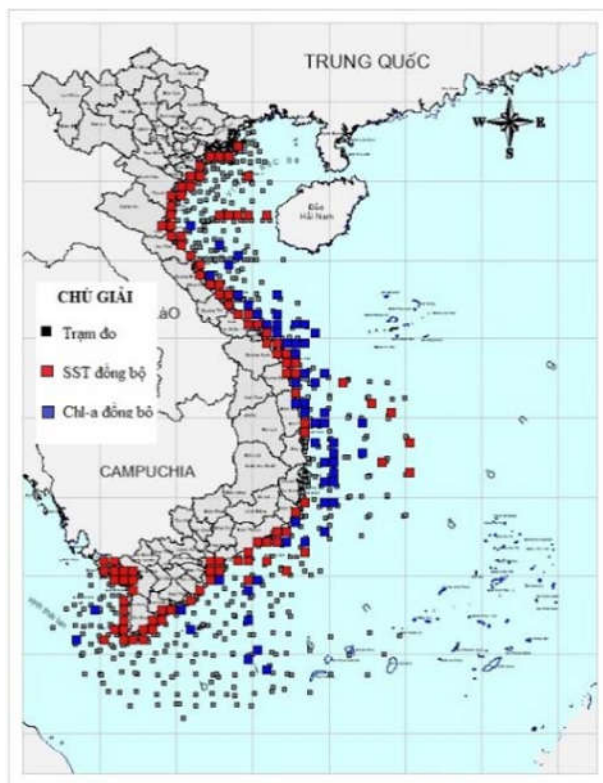
Ocean Color Web của NASA được hỗ trợ bởi nhóm xử lý sinh học Đại dương (OBPG) tại trung tâm chuyển bay không gian Goddard của NASA. Với tư cách là hệ thống xử lý do nhà điều tra khoa học (SIPS) lãnh đạo, trách nhiệm bao gồm việc thu thập, xử lý, hiệu chuẩn, xác nhận các sản phẩm liên quan đến đại dương từ một số lượng lớn các nhiệm vụ viễn thám dựa trên vệ tinh hoạt động, cung cấp màu đại dương, nhiệt độ bề mặt biển và dữ liệu độ mặn bề mặt biển cho cộng đồng nghiên cứu quốc tế. Dữ liệu MODIS thu nhận từ nguồn cung cấp của NASA được Ocean Color Web phân phối ở nhiều cấp độ khác nhau. Hệ thống thu nhận của NASA xử lý dữ liệu MODIS cho toàn cầu và tạo ra các sản phẩm chuẩn để lưu trữ cho các mục đích nghiên cứu và theo dõi tài nguyên môi trường bề mặt lục địa và đại dương toàn cầu.

Trong nghiên cứu này, sử dụng dữ liệu MODIS cấp độ 2 hàng ngày thu thập qua website: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>. Ở cấp độ này dữ liệu đã được xử lý lọc mây, tính toán bằng thuật toán của NASA chọn lọc ra kết quả giá trị tốt nhất trong ngày với từng ô ảnh (pixel). Trong giai đoạn 2015 - 2020 đã thu thập được 152 ngày, cảnh ảnh (nhiệt độ nước biển, chlorophyll-a) dữ liệu MODIS trùng với ngày có số liệu thực đo với độ phủ không gian bao trùm trạm khảo sát được tổng hợp, phân tích và xử lý.

Nghiên cứu

Số liệu thực đo nhiệt độ nước biển và chlorophyll-a thu thập bằng thiết bị tự ghi CTD - Conductivity Temperature Depth (Nhật Bản) với độ chính xác cao (sai số thiết bị đã được kiểm chứng: nhiệt độ là $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$; chlorophyll-a là $\pm 0,1\text{FS}$ ở dải nhiệt từ $0 - 35^{\circ}\text{C}$, độ sâu từ $0 - 600$

m). Số liệu thực đo được tổng hợp tất cả các chuyến khảo sát tại Viện Nghiên cứu Hải sản trong giai đoạn 2015 - 2020 với 1407 trạm đo nhiệt độ nước biển và chlorophyll-a. Thông tin về trạm đo và phạm vi thu thập được trình bày ở Hình 1, Bảng 1.



Hình 1: Mạng trạm thực đo và đồng bộ

Bảng 1. Thông tin trạm đo nhiệt độ, chlorophyll-a trong giai đoạn 2015 - 2020

Tháng	Giới hạn vùng thực đo				Số trạm thực đo
	Kinh độ trái	Kinh độ phải	Vĩ độ dưới	Vĩ độ trên	
2	105,59	107,47	9,05	20,74	53
3	104,11	109,40	8,42	20,07	204
4	104,10	109,40	8,43	20,72	192
5	104,13	107,52	9,79	20,77	116
6	104,10	109,44	8,43	20,94	157
7	106,94	112,03	8,79	18,26	71
8	102,77	111,07	6,39	12,03	58
9	106,30	112,01	7,06	20,31	101
10	103,34	109,63	6,70	21,25	265
11	103,48	109,31	6,71	20,96	190
Tổng số trạm đo					1407

Các dữ liệu thực đo thực hiện bằng thiết bị CTD với đơn vị đo hàm lượng chlorophyll-a là $\mu\text{g/l}$. Dữ liệu viễn thám MODIS đơn vị đo hàm lượng chlorophyll-a là mg/m^3 . Việc sử dụng các đơn vị đo hàm lượng chlorophyll-a có khác nhau trong các thiết bị đo, song trong văn bản kỹ thuật đo lường Việt Nam TCVN 6662:2000, các đơn vị đo hàm lượng chlorophyll-a là tương đương nhau:

$$1 \text{ mg/m}^3 = 1 \mu\text{g/l}$$

Vì vậy trong nghiên cứu này sử dụng đơn vị đo hàm lượng chlorophyll-a là mg/m^3 , nhiệt độ nước biển là $^{\circ}\text{C}$ để phân tích, tính toán.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1 Phương pháp trích xuất dữ liệu viễn thám

Dữ liệu ảnh MODIS sau khi thu thập về được định dạng mặc định đuôi netCDF - Network Common Data Form (phần tập tin mở rộng có dạng *.nc). Định dạng netCDF được xuất hiện lần đầu tiên vào cuối năm 1980 bởi Unidata Program Center với mục đích là xây dựng một định dạng tệp cho các tệp cho các nhà khoa học trong lĩnh vực khí quyển. Sử dụng phần mềm Envi để xử lý ảnh sau khi thu thập, bao gồm các bước sau:

- Dữ liệu viễn thám thu thập về ở dạng file *.nc với hệ quy chiếu ISIN (Integerized Sinusoidal) được hiệu chỉnh chuyển đổi về hệ quy chiếu VN2000 phù hợp với bản đồ hiện có.

- Đọc, cắt ảnh theo vùng biển nghiên cứu: vì ảnh MODIS có độ phủ lớn do đó ảnh được cắt trong phạm vi vùng biển để giảm tải dung lượng.

- Trích xuất giá trị chlorophyll-a và nhiệt độ nước biển bề mặt nằm trong vùng biển nghiên cứu. Các thông tin đi

kèm như thời gian (năm, tháng, ngày) và tọa độ (kinh, vĩ tuyến), đơn vị đo lường cũng được trích xuất song song với giá trị thông số. Sau đó các giá trị thông số này được lưu trữ trên cùng một tập tin dạng file *.csv để phục vụ phân tích tiếp theo.

2.2.2. Đồng bộ dữ liệu

Để đánh giá độ tin cậy của số liệu nhiệt độ, chlorophyll-a từ dữ liệu viễn thám MODIS so với số liệu thực đo, yêu cầu tiên quyết đối với hai loại số liệu là phải đồng bộ, nghĩa là phải cùng vị trí (tọa độ kinh, vĩ tuyến) và cùng thời gian (ngày, tháng, năm).

Trên thực tế các trạm đo khảo sát thường có sai khác ít nhiều so với các tâm ô lưới, do vậy cần phải đồng bộ số liệu thực đo với số liệu viễn thám để đánh giá độ tin cậy như sau:

Bước 1: Kiểm đếm, đánh giá, loại bỏ sai số của số liệu thực đo, biên tập và lưu vào file riêng.

Bước 2: Sau khi trích lọc dữ liệu viễn thám về file số *.csv độ phân giải $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ kinh vĩ tuyến cần lọc loại bỏ các sai số chlorophyll-a nằm ngoài khoảng (0, 20 mg/m^3) và lọc bỏ nhiệt độ nước biển nằm ngoài khoảng (10, 40 $^{\circ}\text{C}$) [12, 13].

Bước 3: Số liệu thực đo lọc ra giá trị ở độ sâu 1 mét, sau đó số liệu viễn thám với số liệu thực đo được tính trung bình tuần theo ngày tương ứng và đồng bộ theo tâm ô lưới 1/4 kinh vĩ độ (ô lưới $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ kinh vĩ tuyến). Trường hợp các vị trí nằm trên đường kinh, vĩ tuyến thì vị trí đó được tính cho cả hai ô lưới.

Bước 4: Quét tìm tâm ô lưới có vị trí trùng nhau rồi nhập vào chuỗi số liệu thực đo và viễn thám đã đồng bộ theo các bước trên vào cùng một tệp.

2.2.3. Kiểm chứng dữ liệu

Phân tích tương quan hồi quy là một phương pháp có hiệu quả cao trong phân tích quan hệ và kết hợp giữa các biến ngẫu nhiên. Phương pháp này ngày càng được dùng nhiều trong đánh giá mức độ tin cậy của các giá trị từ viễn thám và giá trị thực đo. Phương pháp tương quan hồi quy được sử dụng đối với các dữ liệu dạng điểm rời rạc, hệ số tương quan của các dữ liệu là cơ sở để đánh giá sự thống nhất và sai số giữa các dữ liệu.

Trong phân tích tương quan hồi quy, hệ số tương quan (R) Pearson là thước đo mức độ tuyến tính giữa hai biến. Trong khi đó, hệ số xác định (R^2) là một trong các chỉ tiêu dùng để đánh giá mức độ phù hợp của một mô hình thể hiện mối liên quan tuyến tính. Hệ số R^2 có giá trị giữa 0 và 1, R^2 càng cao là một dấu hiệu cho thấy mối liên hệ giữa biến độc lập và biến phụ thuộc càng chặt chẽ. Trong nghiên cứu này, hàm tương quan hồi quy được xây dựng dựa trên các số liệu thực đo và giá trị trên ảnh MODIS vào thời gian tương ứng. Hệ số xác định R^2 tính được từ hàm tương quan hồi quy tuyến tính cho biết độ chính xác của kết quả nghiên cứu [4, 5].

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

Trong đó :

- Y_i , X_i tương ứng là giá trị từ viễn thám và giá trị thực đo

- $n = 1, 2, \dots, n$ là dung lượng mẫu

Miền xác định R : $-1 \leq R \leq 1$

$R = \pm 1$: mối liên hệ chặt chẽ.

$R = 0$: không có mối liên hệ

$|R|$ càng gần 1: mối liên hệ càng chặt chẽ

❖ Nếu $|R| < 0,1$ thì tương quan rất yếu;

❖ Nếu $0,2 < |R| < 0,3$: yếu;

❖ Nếu $0,4 < |R| < 0,5$: trung bình;

❖ Nếu $0,6 < |R| < 0,7$: cao;

❖ Nếu $|R| > 0,8$: tương quan rất cao.

Ngoài ra sử dụng một số chỉ số sau đánh giá sai số số liệu từ viễn thám: (ME - Mean Error), (MAE - Mean Absolute Error) và (RMSE - Root Mean Square Error). Trong các công thức dưới đây Y_i là giá trị viễn thám, X_i là giá trị thực đo, n là dung lượng mẫu [6].

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i) \quad (2)$$

ME cho biết xu hướng lệch trung bình của giá trị viễn thám so với giá trị thực đo, nhưng không phản ánh độ lớn của sai số. ME dương cho biết giá trị viễn thám vượt quá giá trị thực đo và ngược lại. Mô hình được xem là “hoàn hảo” (không thiên lệch về một phía nào cả) nếu $ME = 0$, giá trị của ME nằm trong khoảng $(-\infty, +\infty)$.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - X_i| \quad (3)$$

MAE biểu thị biên độ trung bình của sai số mô hình nhưng không nói lên xu hướng lệch của giá trị viễn thám và thực đo. Khi $MAE = 0$, giá trị viễn thám hoàn toàn trùng khớp với giá trị thực đo, mô hình được xem là “lý tưởng”. Thông thường MAE được sử dụng cùng với ME để đánh giá độ tin cậy. Chẳng hạn, nếu MAE khác biệt hẳn so với ME thì việc hiệu chỉnh là hết sức mạo hiểm. Trong trường hợp ngược lại, khi mà MAE và ME tương đối “sát” với nhau thì có thể dùng ME để hiệu chỉnh dữ liệu viễn thám một cách đáng tin cậy, giá trị MAE nằm trong khoảng $(0, +\infty)$.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n}} \quad (4)$$

RMSE là một trong những đại lượng cơ bản và thường được sử dụng phổ biến cho việc đánh giá kết quả của mô hình dự báo số trị. Người ta thường hay sử dụng đại lượng sai số bình phương trung bình quân phương (RMSE) biểu thị độ lớn trung bình của sai số. Đặc biệt RMSE rất nhạy với những giá trị sai số lớn. Do đó nếu RMSE càng gần MAE sai số mô hình càng ổn định và có thể thực hiện việc hiệu chỉnh sản phẩm mô hình. Giống như MAE, RMSE không chỉ ra độ lệch giữa giá trị viễn thám và giá trị thực đo. Giá trị của RMSE nằm trong khoảng (0, +∞). Khi so sánh MAE và RMSE ta thấy: $RMSE \geq MAE$. Còn $RMSE = MAE$ khi

và chỉ khi tất cả các sai số có độ lớn như nhau: $RMSE = MAE = 0$.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Nhiệt độ nước biển

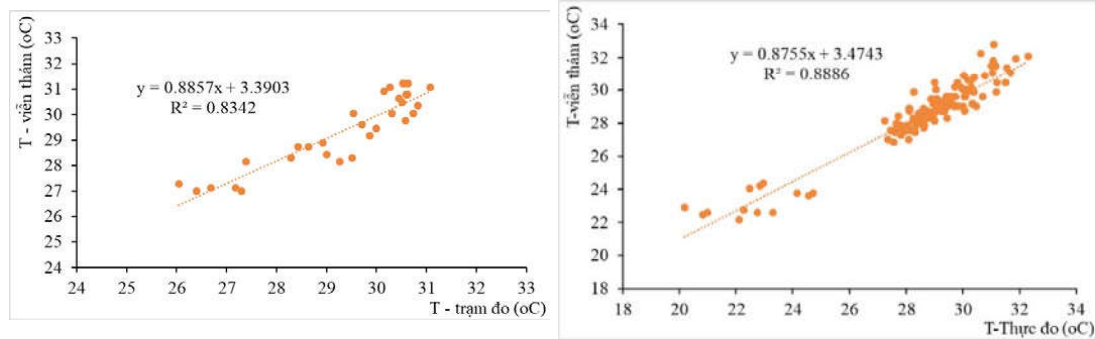
Với 1407 số liệu thực đo tầng mặt tại các trạm vùng ven biển được phân bố từ Quảng Ninh đến Kiên Giang đã đồng bộ được tổng số 207 trạm nhiệt độ nước biển với số liệu viễn thám trong suốt giai đoạn từ 2015 đến 2020. Cụ thể số trạm nhiệt độ nước biển đã đồng bộ như sau: tháng 7/2015 có 6 trạm từ dự án I9, tháng 6/2018 có 18 trạm, tháng 10 - 11/2018 có 112 trạm, tháng 3 - 4/2019 có 46 trạm thuộc dự án I8, tháng 4/2019 có 6 trạm thuộc dự án Việt - Trung, tháng 9/2020 có 19 trạm thuộc đề tài KC.09.19/16-20.

Bảng 2. Thống kê số liệu nhiệt độ nước biển thực đo và viễn thám

Tháng	Nhiệt độ bề mặt thực đo (°C)				Nhiệt độ bề mặt viễn thám (°C)			
	Nhỏ nhất	Trung bình	Lớn nhất	Độ lệch chuẩn	Nhỏ nhất	Trung bình	Lớn nhất	Độ lệch chuẩn
2	20,18	25,96	29,22	3,13	22,18	26,11	28,74	2,61
3	20,18	26,46	29,22	2,71	23,06	28,77	32,81	2,77
4	22,85	29,38	32,3	2,54	23,78	29,63	32,81	2,47
5	24,45	28,82	33,07	2,31	26,11	29,41	33,11	1,97
6	27,66	29,77	31,54	1,11	28,01	29,57	31,36	1,02
7	28,28	28,94	29,54	0,56	28,15	28,71	30,05	0,7
8	28,93	30,28	31,07	0,57	28,44	30,27	31,21	0,85
9	27,25	29,03	30,39	0,69	26,84	28,91	30,48	0,75
10	27,63	28,7	30,48	1,00	26,99	28,35	30,92	0,94
11	20,18	25,96	29,22	3,13	22,18	26,11	28,74	2,61

Tổng hợp kết quả phân tích tương quan giữa hai chuỗi số liệu nhiệt độ nước biển tại tất cả trạm đồng bộ cho thấy hệ số tương quan rất cao. Với 31 trạm đồng bộ của ba đề tài dự án I9, KC.09.19/16-20 và Việt - Trung trong ba năm 2015, 2019 và 2020 cho hệ số tương quan = 0,91 với hệ số xác định $R^2 = 0,8342$. Với 176 trạm đo được đồng bộ của dự án I8 trong hai

năm 2018 và 2019 cho hệ số tương quan = 0,94 với $R^2 = 0,8886$ (Hình 2). Kết quả tương quan này tương đồng với kết quả của Nguyễn Thị Hải (2013) đánh giá dữ liệu MODIS vùng vịnh Bắc Bộ [2]. Như vậy hệ số xác định R^2 của số liệu nhiệt độ đều lớn hơn 0,83 nghĩa là hai chuỗi số liệu từ viễn thám và thực đo gần đúng với nhau từ 83% trở lên.

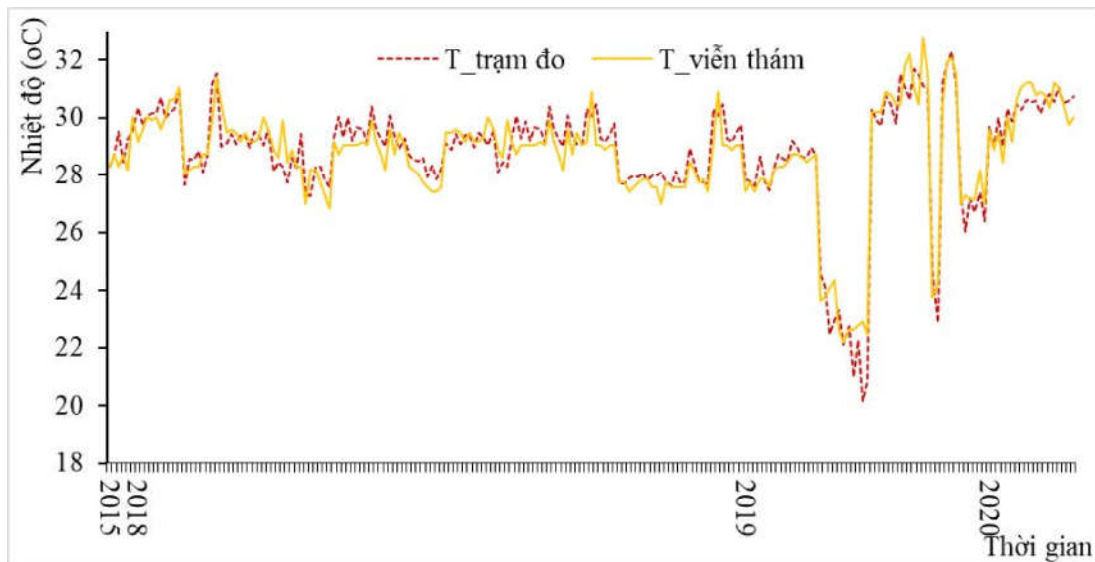


Hình 2: Tương quan nhiệt độ nước biển viễn thám và thực đo tại 31 điểm đồng bộ của dự án 19, KC.09.19/16-20, Việt - Trung và 176 điểm đo của dự án 18

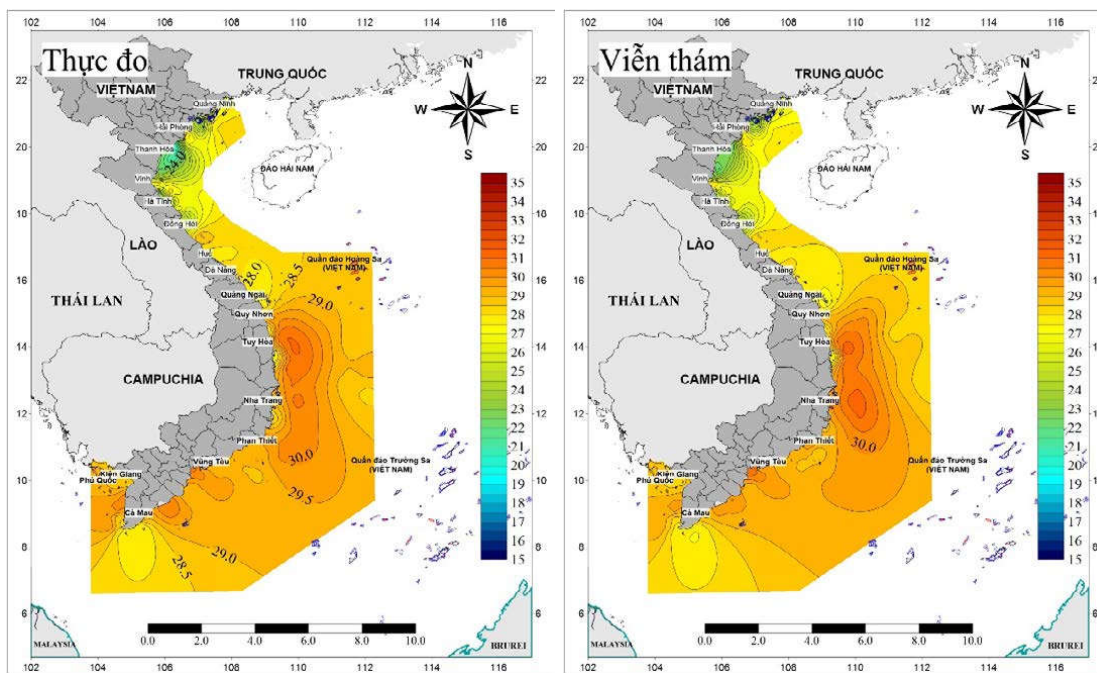
Tổng hợp 207 trạm đồng bộ nhiệt độ nước biển để đánh giá sai số số liệu từ viễn thám, chỉ số ME = -0,08, chỉ số MAE = 0,08 (0,27%) và chỉ số RMSE = 0,67 (2,3%). Như vậy theo công thức (2) và (3) xu hướng chung giá trị viễn thám thấp hơn giá trị thực đo, sai số trung bình ở khoảng 0,08°C. Theo công thức (4) độ lớn trung bình của sai số nhiệt độ từ viễn thám trong là 0,67°C. Như vậy qua các chỉ số được đánh giá có thể khẳng định số liệu nhiệt độ từ dữ liệu MODIS cho kết quả độ chính xác cao, có thể sử dụng nghiên cứu trong các lĩnh vực. Khoảng dao động giá trị nhiệt độ nước biển tại các trạm đồng bộ

của thực đo và viễn thám khá tương đồng. Trong hầu hết các trạm đo, nhiệt độ nước biển đều có xu hướng giống nhau, chênh lệch giá lớn nhất giữa thực đo và viễn thám tại các trạm đo là 2,7°C (Hình 3).

Phân bố nhiệt độ nước biển bề mặt trung bình cho toàn giai đoạn khu vực ven bờ từ số liệu thực đo và viễn thám cho thấy có sự tương đồng và đồng nhất giữa các vị trí trong vùng biển. Vùng ven biển Quảng Ninh, Thanh Hóa nhiệt độ tăng mặt thấp nhất cho toàn vùng, vùng ven biển Tuy Hòa (Phú Yên) đến Nha Trang có khối nước xoáy tăng cao nhất so với toàn vùng (Hình 4).



Hình 3: Biến động nhiệt độ nước biển (°C) tại các trạm đo



Hình 4: Phân bố nhiệt độ nước biển bề mặt (°C) từ 207 trạm đo đồng bộ giai đoạn 2015 – 2020

3.2. Hàm lượng chlorophyll-a

Từ nguồn số liệu trên đã đồng bộ được tổng số 57 trạm đo hàm lượng chlorophyll-a, phân bố các trạm đo đồng bộ phủ khắp vùng biển từ Nghệ An đến Cà Mau. Cụ thể, tháng 7 - 8/2017 đồng bộ được 31 trạm đo từ dự án SEAFDEC-II và tháng 9 - 10 đồng bộ được 26 trạm đo từ đề tài KC.09.19/16-20.

Phân tích tương quan giữa hai chuỗi số liệu chlorophyll-a tại tất cả các trạm đã đồng bộ cho thấy hệ số tương quan R rất cao. Với 26 trạm đo đã được đồng bộ từ đề tài KC.09.19/16-20 cho hệ số tương quan = 0,94 và với 31 trạm đo từ dự án

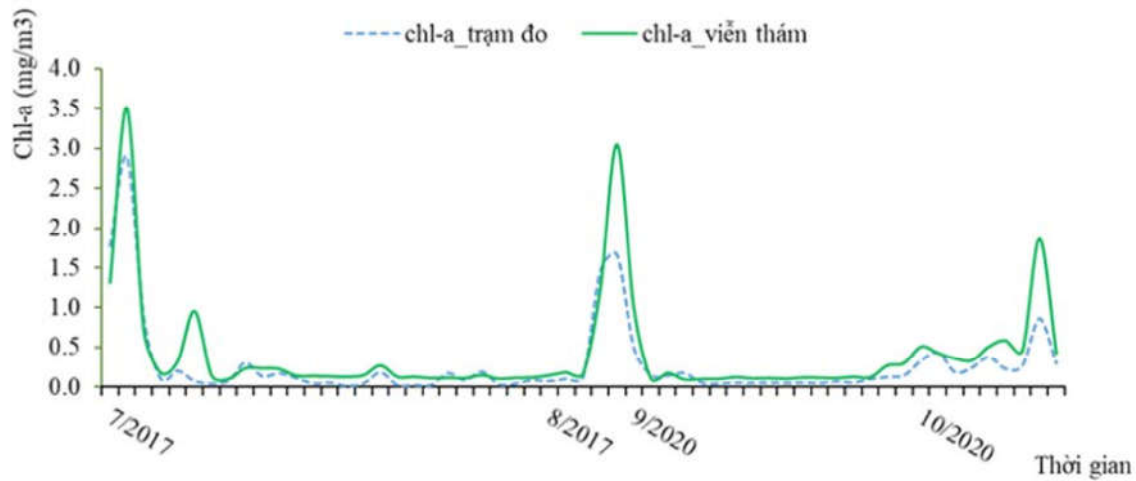
SEAFDEC-II cho hệ số tương quan = 0,92. Điều đó cho thấy chlorophyll-a từ dữ liệu viễn thám MODIS gần đúng với số liệu thực đo tại các trạm đo với đề tài KC.09.19/16-20 là 88,94% và dự án SEAFDEC-II là 84,98%.

Thống kê giá trị thực đo và giá trị viễn thám tại các trạm đồng bộ khá tương đồng, dao động chlorophyll-a thực đo tại các trạm đồng bộ trung bình từ 0,11 mg/m³ đến 0,68 mg/m³ còn viễn thám dao động từ 0,19 mg/m³ đến 0,96 mg/m³. Giá trị chlorophyll-a từ viễn thám có xu hướng cao hơn giá trị chlorophyll-a thực đo nhưng không nhiều, chênh lệch trung bình lớn nhất là 0,28 mg/m³ (Bảng 3).

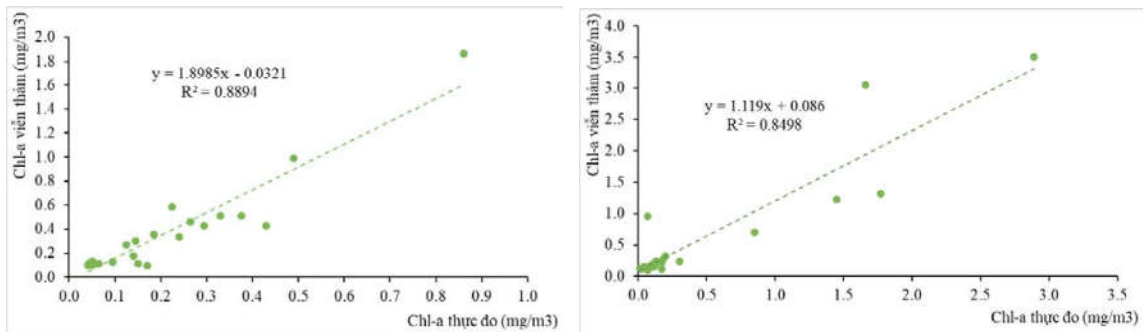
Bảng 3. Giá trị chlorophyll-a thực đo và viễn thám tại các trạm đồng bộ

Tháng	Chlorophyll-a thực đo (mg/m ³)				Chlorophyll-a viễn thám (mg/m ³)			
	Nhỏ nhất	Trung bình	Lớn nhất	Độ lệch chuẩn	Nhỏ nhất	Trung bình	Lớn nhất	Độ lệch chuẩn
7	0,01	0,30	2,89	0,64	0,10	0,38	3,51	0,70
8	0,07	0,68	1,66	0,80	0,15	0,96	3,05	1,26
9	0,04	0,11	0,49	0,11	0,09	0,19	0,99	0,22
10	0,19	0,36	0,86	0,20	0,33	0,61	1,87	0,48

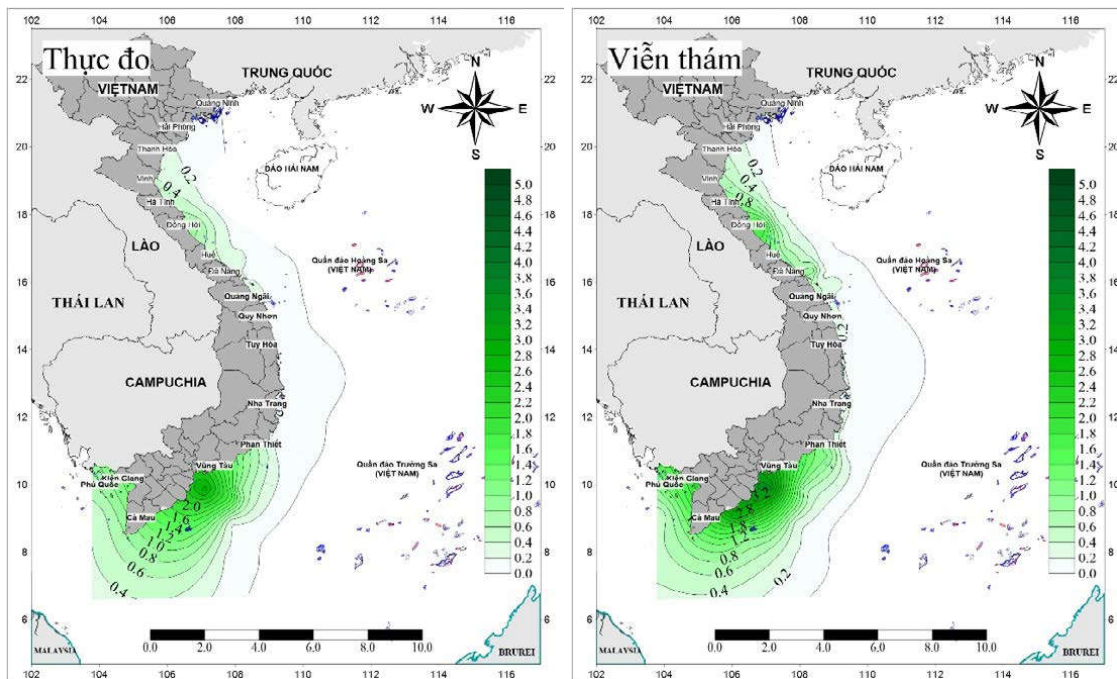
Nghiên cứu



Hình 5: Biến động chlorophyll-a tại các trạm đo dữ liệu thực đo và viễn thám



Hình 6: Tương quan chlorophyll-a viễn thám và thực đo tại 26 điểm đồng bộ của nghiên cứu



Hình 7: Phân bố chlorophyll-a (mg/m^3) tại 57 trạm đo đồng bộ giai đoạn 2015 - 2020

Tất cả 57 trạm đồng bộ hàm lượng chlorophyll-a được đưa vào tính các chỉ số sai số, theo công thức (2) và (3) thì $ME = MAE = 0,13 \text{ mg/m}^3$. Nghĩa là chlorophyll-a từ dữ liệu viễn thám có xu hướng cao hơn giá trị từ thực đo, sai số trung bình ở khoảng $0,13 \text{ mg/m}^3$. Theo công thức (4) chỉ số $RMSE = 0,008 \text{ mg/m}^3$ (1,5%) nghĩa là độ lớn sai số chlorophyll-a từ dữ liệu viễn thám trung bình ở khoảng $0,008 \text{ mg/m}^3$. Từ các chỉ số trên có thể khẳng định dữ liệu chlorophyll-a từ viễn thám MODIS là rất tốt, có thể sử dụng nghiên cứu nhiều lĩnh vực trong môi trường biển.

Phân bố chlorophyll-a khu vực ven bờ từ số liệu thực đo và viễn thám toàn giai đoạn cho thấy sự tương đồng và đồng nhất tại các vị trí trong vùng biển. Khu vực ven biển Trung Trung Bộ chlorophyll-a ở mức thấp khoảng $0,2 \text{ mg/m}^3$, khu vực ven bờ Bắc Trung Bộ chlorophyll-a ở mức khoảng $0,62 \text{ mg/m}^3$ đến $1,52 \text{ mg/m}^3$, chlorophyll-a tập trung cao nhất ở khu vực cửa sông Mekông và Bạc Liêu, Bến Tre (Hình 7).

4. Kết luận

Kiểm chứng số liệu nhiệt độ nước biển từ dữ liệu viễn thám MODIS cho hệ số tương quan rất cao ($R \geq 0,91$). Số liệu nhiệt độ từ dữ liệu viễn thám gần đúng với số liệu thực đo lên đến trên 83% và xu hướng chung giá trị nhiệt độ từ dữ liệu viễn thám thấp hơn giá trị thực đo nhưng không đáng kể. Các chỉ số sai số ở mức thấp, sai số tuyệt đối trung bình $MAE = 0,08^\circ\text{C}$, sai số bình phương trung bình quân phương $RMSE = 2,3\%$. Như vậy số liệu nhiệt độ nước biển từ dữ liệu viễn thám MODIS đủ độ tin cậy để sử dụng

số liệu phục vụ cho các nghiên cứu môi trường biển.

Kiểm chứng số liệu chlorophyll-a từ dữ liệu viễn thám MODIS cho hệ số tương quan cũng rất cao ($R \geq 0,92$). Số liệu chlorophyll-a từ dữ liệu viễn thám tương đồng với số liệu thực đo từ 84% trở lên và xu hướng chung giá trị chlorophyll-a từ dữ liệu viễn thám cao hơn giá trị thực đo nhưng không nhiều. Các chỉ số sai số ở mức thấp, sai số tuyệt đối trung bình $MAE = 0,13 \text{ mg/m}^3$, sai số bình phương trung bình quân phương $RMSE = 1,5\%$. Như vậy, số liệu chlorophyll-a từ dữ liệu viễn thám MODIS đủ độ tin cậy để sử dụng số liệu phục vụ cho các nghiên cứu sinh thái môi trường biển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lê Minh Sơn (2008). *Thành lập bản đồ nhiệt độ bề mặt nước biển và hàm lượng chlorophyll-a khu vực biển Đông từ ảnh MODIS*. Tạp chí Viễn thám và Địa tin học, Số 5.
- [2]. Nguyễn Thị Hải và cộng sự (2013). *Phân tích nhiệt độ nước biển tầng mặt từ ảnh MODIS*. Tạp chí Khí tượng thủy văn, 1, tr 32 - 37.
- [3]. Nguyễn Trịnh Đức Hiệu (2020). *Phân bố không gian - thời gian hàm lượng Chlorophyll-a, nhiệt độ nước biển tầng mặt vùng biển Nam Trung bộ từ dữ liệu MODIS Aqua năm 2017*. Tạp chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản, Số 3, tr 41 - 51.
- [4]. Nguyễn Hữu Khải (2008). *Phân tích thống kê trong thủy văn*. Nxb Đại học Quốc gia, Hà Nội.
- [5]. Nguyễn Văn Tuấn (2007). *Phân tích số liệu và tạo biểu đồ bằng R*. Nxb Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
- [6]. AgriMetSoft (2019). *Online Calculators*. Available on: <https://agrimetsoft.com>.
- [7]. Hakanson, L. and Blenckner, T (2008). *A review on operational bioindicators*

for sustainable coastal management-Criteria, motives and relationships. Ocean and Coastal Management, Số 51 (1), tr 43 - 72.

[8]. Jin Li and Andrew D.Heap (2008). *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists.* Australian Geological Survey Organisation, tr 154.

[9]. Saleh T. Daqamseh, A'kif Al-Fugara et al (2019). *MODIS Derived Sea Surface Salinity, Temperature, and Chlorophyll-a Data for Potential Fish ZoneMapping: West Red Sea Coastal Areas, Saudi Arabia.* Sensors. MDPI AG. doi: 10.3390/s19092069.

[10]. Samee Azmi et al (2015). *Indicator Based Ecological Health Analysis Using Chlorophyll and Sea Surface Temperature Along with Fish Catch Data off Mumbai Coast.* Turkish Journal of Fisheries and

Aquatic Sciences, tr 609 - 618.

[11]. Yupeng Liu, Danling Tang et al (2019). *Chlorophyll Concentration Response to the Typhoon Wind-Pump Induced Upper Ocean Processes Considering Air-Sea Heat Exchange.* Remote Sensing, Số 11(1825), tr 1 - 22.

[12]. Timothy P. Boyer, John I. Antonov et al (2009). *World Ocean Database 2009, NOAA Atlas NESDIS 66.* Sydney Levitus, Ed., tr 1 - 217.

[13]. Timothy P. Boyer, John I. Antonov et al (2013). *World Ocean Database 2013, NOAA Atlas NESDIS 72.* Sydney Levitus, Ed.; Alexey Mishonoc, Technical Ed., NOAA Atlas, tr1 - 209.

BBT nhận bài: 04/8/2021; Phản biện xong: 10/8/2021; Chấp nhận đăng: 22/9/2021