TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Đánh giá khả năng ứng dụng số liệu sóng tái phân tích cho khu vực Biển Đông

Nguyễn Xuân Hiển[1]*, Dương Ngọc Tiến[1], Vũ Thị Vui[1], Giáp Ngọc Ánh[1], Cao Hoàng Anh[1]

[1] Trung tâm Hải văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; nguyenxuanhien79@gmail.com; duongngoctienht@gmail.com; vuivt89@gmail.com; ngocanhgiap2001@gmail.com; hoanganhcao1991998@gmail.com

*Tác giả liên hệ: nguyenxuanhien79@gmail.com; Tel.: +84–912633863

Ban Biên tập nhận bài: 15/6/2024; Ngày phản biện xong: 23/7/2024; Ngày đăng bài: 25/1/2025

Tóm tắt: Bài báo đánh giá độ tin cậy và khả năng ứng dụng các nguồn số liệu độ cao sóng tái phân tích khác nhau của Trung tâm Dự báo Thời tiết hạn vừa Châu Âu (ECMWF) và Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia Mỹ (NOAA) tại khu vực biển Việt Nam. Số liệu quan trắc từ các trạm phao cố định tại khu vực biển Việt Nam được sử dụng để so sánh, đánh giá mức độ tương đồng với số liệu độ cao sóng tái phân tích. Kết quả đánh giá cho thấy cả hai nguồn dữ liệu độ cao sóng tái phân tích đều tương đồng cao với độ cao sóng đo đạc từ trạm phao nhưng mức độ tương đồng của ECMWF cao hơn. Cả hai nguồn số liệu độ cao sóng tái phân tích đều thấp hơn độ cao sóng thực đo tại trạm phao tại các thời điểm sóng lớn. Nghiên cứu cũng đề xuất phương án sử dụng hàm chuyển để hiệu chỉnh, ứng dụng số liệu sóng tái phân tích và đánh giá khả năng ứng dụng của các nguồn số liệu sóng tái phân tích.

Từ khóa: Sóng tái phân tích; Trạm phao; Hàm chuyển; ECMWF ERA5; NOAA WAVEWATCH III.

1. Mở đầu

Số liệu độ cao sóng rất quan trọng và cần thiết trong tính toán các đặc trưng sóng cũng như dự báo sóng phục vụ phát triển kinh tế biển và phòng tránh thiên tai nhưng thực tế số liệu sóng quan trắc thường chưa đáp ứng được yêu cầu theo không gian và thời gian. Theo thời gian, mô hình số trị đã dần từng bước nâng cao độ chính xác để đưa ra các số liệu sóng tương đối chi tiết về mặt không gian và thời gian nhằm khắc phục các nhược điểm của sóng quan trắc. Tái phân tích trường sóng là việc sử dụng mô hình số trị tính lại bộ số liệu sóng trong quá khứ chi tiết và đồng nhất. Hiện nay, có 02 nguồn dữ liệu sóng tái phân tích trên phạm vi toàn cầu thường được sử dụng là của Trung tâm Dự báo Thời tiết hạn vừa Châu Âu (ECMWF - ERA5) và Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia Mỹ (NOAA WAVE WATCH III). Về cơ bản, các mô hình sóng tái phân tích này đã được cải tiến, nâng cao dần mức độ chi tiết theo không gian và thời gian nhưng vẫn có sự khác biệt đáng kể khi so sánh với dữ liệu thực đo tại một số khu vực, đặc biệt tại các khu vực có các trạm quan trắc thưa như tại khu vực Biển Đông, Việt Nam.

Việc đánh giá dữ liệu sóng tái phân tích đóng vai trò quan trọng để cải thiện chất lượng và độ chính xác của dữ liệu sóng biển, tiêu chuẩn hóa phương pháp phân tích, và thúc đẩy nghiên cứu và phát triển công nghệ liên quan đến sóng biển. Các nghiên cứu tái phân tích sóng biển [1] và Trung tâm Dự báo Thời tiết Trung bình Châu Âu (ECMWF) với dự án ERA-

40 tập trung vào áp dụng mô hình sóng khí quyển và tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn như phao và đo độ cao vệ tinh nhằm tạo ra bộ dữ liệu sóng biển nhất quán và đáng tin cậy. Nghiên cứu [2] đã sử dụng dữ liệu tái phân tích để cải thiện hiệu suất của mô hình dự báo sóng biển và tập trung vào các khu vực như Thái Bình Dương và Bắc Đại Tây Dương, ven bờ biển nước Mỹ. Nghiên cứu [3, 4] đã đánh giá và hiệu chỉnh dữ liệu sóng biển từ nhiều nguồn khác nhau, nhằm cung cấp thông tin chính xác hơn về sóng biển cho các mục đích như dự báo thời tiết và đánh giá biến đổi khí hậu. Cuối cùng, nghiên cứu [5] đã tập trung vào việc đánh giá và mô hình hóa năng lượng sóng biển và độ cao sóng tối đa trên các đại dương, mang lại cái nhìn sâu rộng về ảnh hưởng của sóng biển và khí hậu đến môi trường và kỹ thuật ngoài khơi.

Từ khi xuất hiện đến nay, các mô hình sóng tái phân tích đã được nâng cao độ chính xác nhưng vẫn gặp nhiều khó khăn khi so sánh với dữ liệu thực [6–12]. Nguyên nhân có thể kể đến như độ phân giải mô hình thấp, dữ liệu gió làm đầu vào mô hình không tốt hoặc khuyết thiếu dữ liệu sóng để đồng hóa vào mô hình. Để khắc phục vấn đề này, việc hiệu chỉnh sóng bằng số liệu trạm phao được sử dụng trong một số nghiên cứu trước đây với nhiều phương pháp được tiến hành nhằm điều chỉnh sự chênh lệch độ cao sóng, có thể kể đến như phương pháp phi tham số [13], phương pháp hiệu chỉnh không gian [14], phương pháp dựa trên hướng trung bình [15, 16], phương pháp nhấn mạnh vai trò của độ dốc sóng trung bình và độ xiên, cũng như băng thông phổ [17].

Nhiều nghiên cứu sử dụng thông tin từ các trạm phao để đánh giá và phân tích lại chất lượng sóng [17–21]. Trong khuôn khổ nghiên cứu trước của nhóm tác giả [21], chúng tôi đã đánh giá, so sánh giữa số liệu độ cao sóng từ mô hình toàn cầu ERA5 của Trung tâm Dự báo Thời tiết hạn vừa Châu Âu với số liệu quan trắc từ trạm phao cố định để đề xuất, hiệu chỉnh số liệu tái phân tích ERA5 cho khu vực ven biển miền Trung, Việt Nam. Nghiên cứu này tiếp tục sử dụng số liệu quan trắc tại các trạm phao để đánh giá độ tin cậy của số liệu sóng tái phân tích tính toán từ mô hình WAVE WATCH III của NOAA, so sánh với số liệu sóng tái phân tích từ ECMWF, tham khảo phương pháp [4] và sử dụng hàm chuyển theo phương pháp [15] để hiệu chỉnh, cải tiến chất lượng độ cao sóng tái phân tích cho khu vực biển Việt Nam. Mục đích chính của nghiên cứu này là đánh giá và lựa chọn sản phẩm mô hình sóng tái phân tích toàn cầu thích hợp vào các nghiên cứu thống kê sóng trên không gian rộng với độ phân giải đủ lớn mà chỉ có mô hình sóng tái phân tích mới thực hiện được.

2. Phương pháp và số liệu

2.1. Phương pháp

Quy trình đánh giá chất lượng dữ liệu sóng tái phân tích và hiệu chỉnh dữ liệu đã được đưa ra trong nghiên cứu [21], được hiệu chỉnh và tiếp tục sử dụng trong nghiên cứu này theo sơ đồ trình bày trong Hình 1.

Để đánh giá chất lượng các nguồn số liệu sóng tái phân tích từ mô hình toàn cầu khi so sánh với số liệu sóng từ 07 trạm phao, nghiên cứu này sử dụng một số chỉ số so sánh với số liệu thực đo tại các trạm phao. Tham số độ cao sóng có nghĩa Hs được sử dụng để so sánh tại tất cả 07 trạm phao. 05 chỉ số thống kê được dùng để so sánh giữa số liệu thực đo (x) và số liệu mô hình (y) như sau (n là số số liệu so sánh) [4]:

Độ lệch hệ thống giữa hai chuỗi giá trị bất kỳ (BIAS):

$$BIAS = \bar{x} - \bar{y} \quad (1)$$

BIAS cho biết sự chênh lệch giữa giá trị trung bình của số liệu thực đo và số liệu mô hình. BIAS càng nhỏ thì số liệu mô hình càng tương đồng với thực đo và ngược lại.

Sai số bình phương trung bình gốc (RMSE):

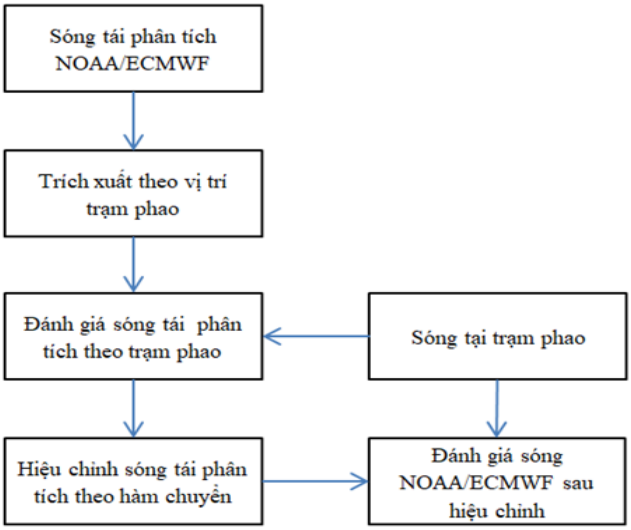
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

RMSE giúp đánh giá được sai số trung bình giữa số liệu thực đo và số liệu mô hình. RMSE càng nhỏ thì số liệu mô hình càng gần với số liệu thực đo và ngược lại.

Chỉ số phân tán (SI) đo sự phân tán liên quan đến đường x = y:

$$SI = \frac{RMSE}{\overline{x}} \quad (3)$$

SI cho biết mức độ phân tán của các giá trị mô hình và thực đo so với đường thẳng giả định giá trị mô hình và thực đo bằng nhau (đường x = y). SI càng nhỏ thì hai chuỗi số liệu thực đo và mô hình càng tương đồng.



Hình 1. Sơ đồ nghiên cứu.

Hệ số tương quan Pearson (ρ):

$$\rho = \frac{cov(x, y)}{\sigma_x . \sigma_y} \quad (4)$$

Trong đó cov(x,y) là hiệp phương sai giữa hai biến x, y và giá trị ρ nằm trong khoảng -1 đến 1. ρ đo lường mối tương quan tuyến tính giữa hai bộ số liệu mô hình và thực đo, là thước đo quan trọng để đánh giá sự tương đồng giữa hai chuỗi số liệu, ρ càng gần 1 thì hai chuỗi số liệu càng tương đồng và ngược lại. Tiêu chí đánh giá chất lượng các bộ số liệu tái phân tích dựa trên hệ số ρ được thể hiện trong bảng 1.

Tỷ lệ độ lệch chuẩn quan sát RMSE (RSR):

$$RSR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x_i})^2}} \quad (5)$$

RSR cho biết tỷ lệ chênh lệch giữa hai chuỗi số liệu mô hình và thực đo, giá trị RSR càng nhỏ thì hai bộ số liệu càng tương đồng và ngược lại. Tiêu chí đánh giá chất lượng các bộ số liệu tái phân tích dựa trên hệ số RSR được thể hiện trong bảng 1 [22, 23].

Bảng 1. Tiêu chuẩn đánh giá chất lượng số liệu tái phân tích dựa trên hai chỉ số [22, 23].

Chất lượng	ρ	RSR
Rất tốt	> 0,9	< 0,5
Tốt	0,7 - 0,9	0,5 - 0,6
Chấp nhận	0,5 - 0,7	0,6 - 0,7
Không tốt	< 0,5	> 0,7

Nghiên cứu này sử dụng hàm chuyển, một hàm tương quan tuyến tính đơn giản nhưng đem lại hiệu quả cao, đã được áp dụng và chứng minh trong các nghiên cứu trước đây [8, 10] để hiệu chỉnh dữ liệu độ cao sóng tái phân tích từ mô hình toán theo số liệu địa phương. Hàm chuyển có dạng:

$$H_{obs} = a \times H_{sim} + b \quad (6)$$

Trong đó H_{sim} là độ cao sóng tái phân tích NOAA; H_{obs} là độ cao sóng trạm phao; a và b là các hệ số.

2.2. Số liệu thu thập

a) Sóng tại trạm phao cố định

Số liệu thực đo độ cao sóng có nghĩa tại 07 trạm phao được sử dụng trong nghiên cứu. Số liệu sóng thu thập từ các trạm phao được cung cấp bởi dự án "Trạm phao phục vụ công tác dự báo và cảnh báo bão, nước dâng do bão" hợp tác giữa Trung tâm Hải văn và Na Uy (giai đoạn 1995-2001).

Các yếu tố sóng từ nguồn số liệu các trạm phao, được đo hoàn toàn tự động, liên tục từng giờ bằng các thiết bị hiện đại với độ tin cậy cao và truyền trực tiếp số liệu qua vệ tinh INMARSAT-C. Trong đó, chỉ có giá trị đo độ cao sóng có nghĩa Hs đảm bảo tin cậy và phù hợp để so sánh nên nghiên cứu này chỉ dùng Hs để so sánh giữa các bộ số liệu.

Tên trạm phao, tọa độ, vị trí, thời gian đo đạc như bảng 2 và hình 2, trong đó trạm phao VN-05 đo tại hai khoảng thời gian khác nhau nên có hai ký hiệu riêng (VN-05-T1 và VN-05-T2). Các trạm VN-05, VN-06, VN-07 là các trạm gần bờ chịu nhiều ảnh hưởng của địa hình cũng như tương tác biển - đất liền. Thời gian đo đạc tại các trạm phao tương đối ngắn (trạm VN-02, VN-04) là hạn chế khi so sánh với số liệu tái phân tích.

Bảng 2. Tọa độ và thời gian thu thập dữ liệu trạm phao.

TT	Tên trạm	Kinh độ (°E)	Vĩ độ (°N)	Thời gian đo
1	Trạm VN-01	107,00	18,15	28/12/1995 - 25/03/1996
2	Trạm VN-02	107,82	17,73	03/02/1996 - 26/03/1996
3	Trạm VN-03	109,28	16,80	08/02/1996 - 07/03/1996
4	Trạm VN-04	110,17	15,00	07/02/1996 - 17/02/1996
5	Trạm VN-05-T1	107,38	17,17	03/10/1999 - 21/10/1999
6	Trạm VN-05-T2	107,38	17,17	14/08/2000 - 19/12/2000
7	Trạm VN-06	105,80	18,80	03/10/1999 - 17/01/2000
8	Trạm VN-07	109,17	15,38	22/10/2000 - 09/04/2001

b) Sóng tái phân tích từ mô hình toàn cầu ERA5

Nguồn số liệu sóng tái phân tích toàn cầu ERA5 do Trung tâm Dự báo Thời tiết hạn vừa Châu Âu (ECMWF) tính toán, thời gian từ năm 1940 đến nay theo từng giờ, được cải thiện độ phân giải và hiệu suất không gian - thời gian so với các phiên bản trước đó (ERA-40 và ERA-Interim). ERA5 cung cấp các dữ liệu về khí quyển, bề mặt đất liền và sóng biển. Mô hình khí quyển kết hợp với WAM là mô hình phổ sóng thế hệ thứ ba (WAVEWATCH III) được phát triển bởi Tập đoàn WAMDI. ERA5 đồng hóa số liệu độ cao sóng vệ tinh (ERS1, ERS2, SARAL, CryoSat2, Jason1, Envisat) vào phổ sóng dự báo. Số liệu sóng ERA5 được cập nhật 2 lần/ngày với độ phân giải không gian đến ¼ độ. Dữ liệu sóng ERA5 được lấy từ Kho dữ liệu khí hậu Copernicus [24] là kết hợp của sóng gió và sóng lừng. Độ cao sóng có nghĩa Hs được sử dụng trong nghiên cứu này.

c) Sóng tái phân tích từ mô hình toàn cầu NOAA

Nguồn số liệu sóng tái phân tích của Trung tâm Mô hình hóa Môi trường thuộc Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia Mỹ (NOAA) được tính toán bằng mô hình WAVEWATCH III [25]. NOAA sử dụng bộ dữ liệu gió tái phân tích và tái dự báo đồng nhất

có độ phân giải cao hàng giờ của Hệ thống dự báo khí hậu NCEP (CFSRR) và trường gió toàn cầu đầu vào có độ phân giải ½ độ ở độ cao 10 m từ số liệu tái phân tích của Hệ thống Dự báo Khí hậu NCEP (CFSR) - kết hợp dữ liệu khí quyển, đại dương, băng biển và đất liền. Bộ số liệu sóng tái phân tích của NOAA đã được kiểm định với kết quả rất tốt khi so sánh với số liệu sóng thực đo tại 108 trạm phao tại vùng biển Caribe. Số liệu tái phân tích được đưa ra là trường sóng với các thông số (độ cao sóng có nghĩa, chu kỳ sóng chủ đạo, hướng sóng chủ đạo của cả sóng gió và sóng lừng) trên toàn cầu với độ phân giải ½ độ và có thể xuất theo điểm với bước thời gian 3 giờ/số liệu.

Hình 2. Vị trí các trạm phao.

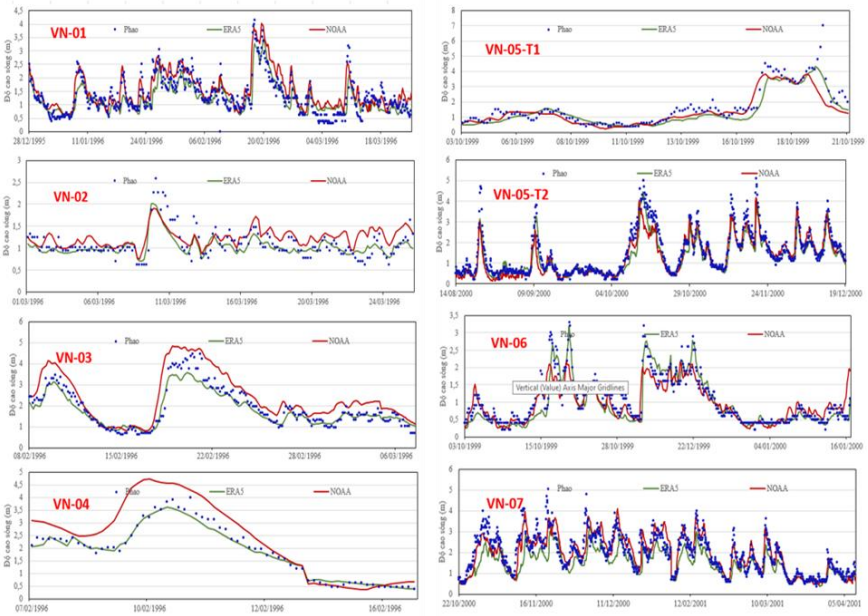
3. Kết quả nghiên cứu

3.1. So sánh số liệu sóng tái phân tích với số liệu quan trắc

Hình 3 thể hiện độ cao sóng có nghĩa quan trắc tại trạm phao (chấm tròn màu xanh biển), số liệu tái phân tích ERA5 (đường liền màu xanh lá) và số liệu tái phân tích NOAA (đường liền màu đỏ). Hình 3 cho thấy sự tương đồng cao giữa số liệu tái phân tích và trạm phao, trong đó độ cao sóng NOAA có xu thế lớn hơn độ cao sóng ERA5 và sóng thực đo tại các trạm ngoài khơi (VN-01, VN-02, VN-03, VN04). Tại các trạm phao gần bờ còn lại (VN-05, VN-06), xu thế độ cao sóng của NOAA không rõ ràng, điều này có thể do địa hình ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng từ mô hình tái phân tích. Ngược lại, tại tất cả các trạm, độ cao sóng ERA5 có xu thế nhỏ hơn số liệu sóng thực đo. Đáng lưu ý là cả hai nguồn số liệu tái phân tích đều thấp hơn số liệu thực đo đáng kể tại các thời điểm sóng lớn cực đại. Nguyên nhân của điều này là bởi sóng phụ thuộc chủ yếu vào gió, sóng trong bão chịu sự chi phối của đặc trưng gió bão, trong đó vị trí tương đối của điểm đo so với vị trí tâm bão là cực kỳ quan trọng. Mô hình sóng toàn cầu sử dụng trường gió toàn cầu với độ phân giải chưa đủ chi tiết để diễn tả xoáy trong bão. Vì lẽ đó, vận tốc gió trong mô hình trường gió toàn cầu thường không đủ tốt để phục vụ việc tính toán sóng trong bão, dẫn đến kết quả độ cao sóng tái phân tích nhỏ hơn thực đo rõ rệt trong các thời điểm sóng lớn cực đại.

Bảng 3 trình bày các thông tin thống kê của độ cao sóng có nghĩa khi so sánh giữa dữ liệu sóng tái phân tích và số liệu quan trắc tại các trạm phao. Độ phân giải về thời gian của ERA5 (một giờ một số liệu) cao hơn của NOAA (ba giờ một số liệu), dẫn đến số số liệu (N)

của chuỗi ERA5 lớn hơn rất nhiều so với chuỗi NOAA, đây là ưu điểm lớn của bộ số liệu ERA5, bên cạnh ưu điểm về độ phân giải không gian của ERA5 (1/4 độ) cũng cao hơn đáng kể so với NOAA (1/2 độ).



Hình 3. Độ cao sóng tái phân tích ERA5, NOAA và các trạm phao.

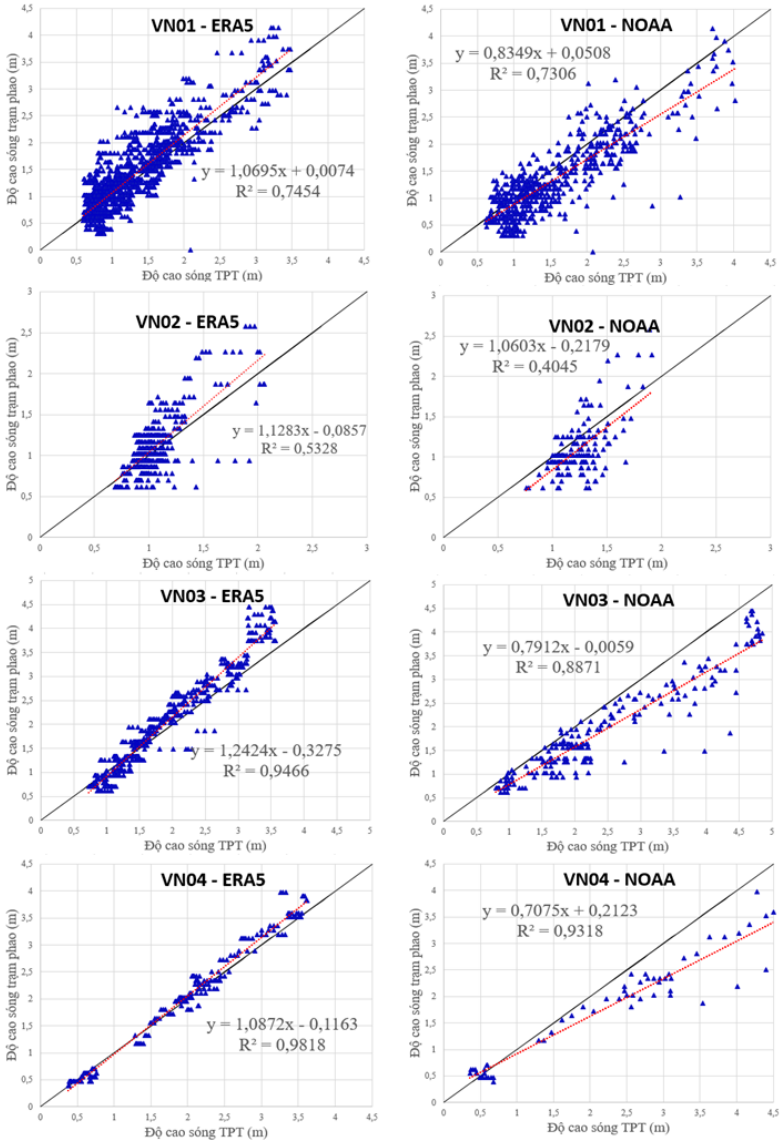
Bảng 3. Chỉ số thống kê so sánh giữa số liệu sóng tái phân tích ERA5 và NOAA với số liệu trạm phao.

Trạm	ERA5						NOAA					
	N	BIAS (m)	RMSE (m)	ρ	SI	RSR	N	BIAS (m)	RMSE (m)	ρ	SI	RSR
VN-01	1952	0,09	0,36	0,86	0,27	0,53	653	-0,20	0,42	0,85	0,32	0,62
VN-02	488	0,05	0,23	0,73	0,21	0,70	163	-0,14	0,29	0,64	0,27	1,17
VN-03	635	0,11	0,31	0,97	0,16	0,32	211	-0,51	0,65	0,94	0,34	0,67
VN-04	197	0,05	0,17	0,99	0,09	0,16	66	-0,49	0,71	0,97	0,37	0,66
VN-05-T1	421	0,26	0,52	0,94	0,32	0,41	141	0,23	0,68	0,86	0,42	0,54
VN-05-T2	2989	0,19	0,39	0,96	0,26	0,37	1001	0,15	0,48	0,91	0,32	0,45
VN-06	1524	0,07	0,27	0,93	0,26	0,41	506	0,05	0,34	0,86	0,34	0,52
VN-07	3078	0,42	0,66	0,84	0,35	0,74	1029	0,01	0,45	0,88	0,24	0,50

Kết quả thống kê cho thấy, độ lệch hệ thống (BIAS) giữa chuỗi số liệu quan trắc độ cao sóng có nghĩa tại các trạm phao với cả hai chuỗi số liệu tái phân tích đều nhỏ, thể hiện sự tương đồng tốt giữa số liệu tái phân tích và thực đo. Trong đó, BIAS của chuỗi số liệu ERA5 với số liệu quan trắc thấp hơn rõ rệt so với BIAS của chuỗi NOAA với số liệu quan trắc ở 4 trạm xa bờ (VN-01 đến VN-04). Ngược lại, các trạm gần bờ (VN-05 đến VN-07), BIAS của NOAA lại có giá trị tốt hơn, chênh lệch không đáng kể ở trạm VN-05, VN-06 và chênh lệch rõ rệt ở trạm VN-07. BIAS NOAA tại trạm VN-07 (0,1) là tốt nhất trong toàn bộ các chuỗi số liệu (Hình 4).

Tất cả các chỉ số BIAS của ERA5 đều nhỏ hơn 0,42 và đều dương, điều này cho thấy độ cao sóng tái phân tích ERA5 thiên thấp hơn so với số liệu sóng đo tại trạm phao. Còn nguồn số liệu NOAA, mặc dù giá trị tuyệt đối của các chỉ số BIAS đều thấp (nhỏ hơn 0,51) nhưng có sự khác biệt về giá trị âm-dương. Bốn trạm xa bờ (từ VN-01 đến VN-04) có chỉ số BIAS âm, cho thấy độ cao sóng tái phân tích NOAA tại các trạm này thiên cao hơn so với số liệu sóng tại trạm phao, các trạm còn lại có BIAS dương tương tự như với chuỗi số liệu của ERA5. Bảng 3 cũng chỉ ra sai số bình phương trung bình gốc (RMSE) của chuỗi ERA5 và NOAA

là nhỏ và chấp nhận được, trong đó chỉ số RMSE của ERA5 thấp hơn đáng kể so với NOAA (06/07 trạm), ngoại trừ trạm VN-07 RMSE của NOAA nhỏ hơn.

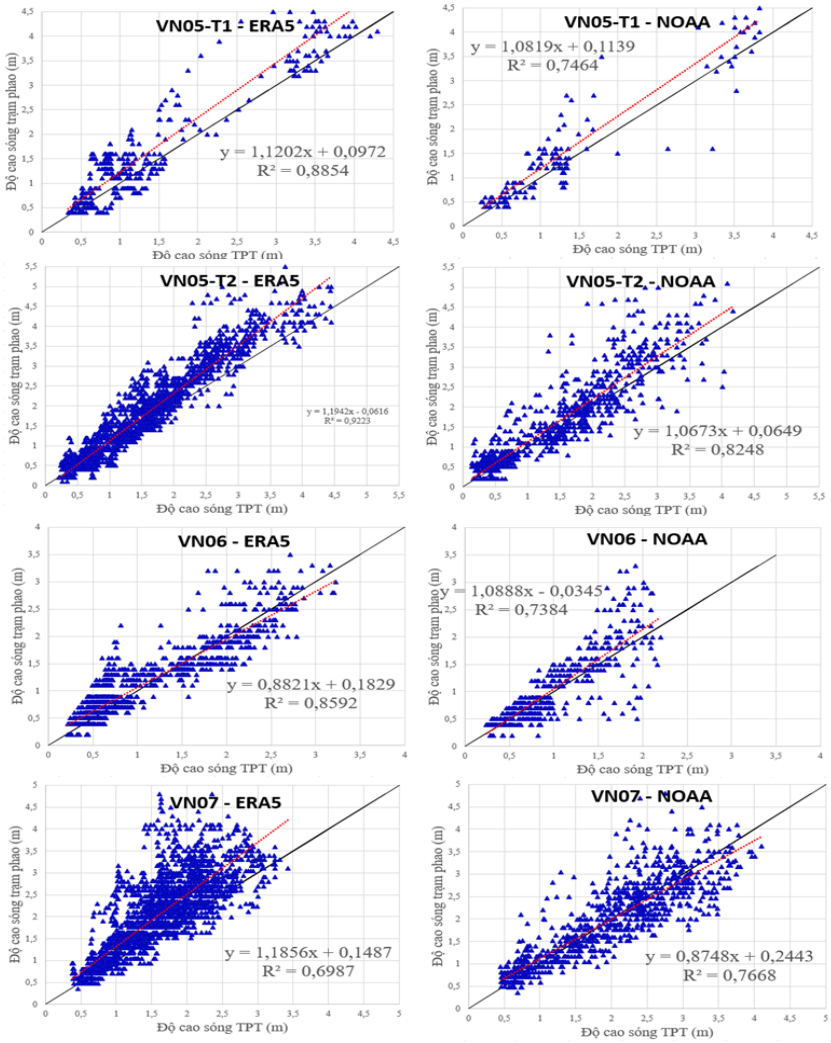


Hình 4. Tương quan giữa độ cao sóng tái phân tích ERA5 (trái) và NOAA (phải) với độ cao sóng quan trắc tại các trạm phao: VN-01, VN-02, VN-03, VN-04.

Hệ số tương quan Pearson (ρ) của ERA5 cao hơn rõ rệt NOAA tại 06/07 trạm ngoại trừ trạm VN-07, với các giá trị ρ ERA5 đạt mức tương quan cao, dao động trong khoảng (0,73-0,99), thể hiện sự tương đồng rất tốt của chuỗi ERA5 với thực đo. Theo tiêu chuẩn đánh giá chất lượng (Bảng 1), tại các trạm VN-03 và VN-04, chỉ số ρ vượt qua ngưỡng "rất tốt", vượt qua ngưỡng 0,9. Tuy nhiên, tại khu vực trạm phao VN-07, chỉ số ρ chỉ ở mức "chấp nhận".

Trong khi đó, các giá trị ρ của NOAA chỉ đạt 0,64 đến 0,97, dù ở mức chấp nhận và tốt nhưng vẫn kém chuỗi ERA5 rõ rệt. Theo tiêu chuẩn đánh giá chất lượng (Bảng 1), có thể thấy các khu vực trạm VN-03, VN-04, VN-05-T2, VN-07, ρ vượt qua ngưỡng "rất tốt", đặc biệt tại trạm VN-04, chỉ số ρ vượt qua ngưỡng 0,97, trạm VN-05-T2 cũng có ρ vượt qua ngưỡng 0,9. Tuy nhiên tại khu vực trạm phao VN-02, chỉ số ρ chỉ đạt mức "chấp nhận" (ρ = 0,64), đạt mức tương quan kém nhất trong toàn chuỗi.

Chỉ số phân tán SI của hai chuỗi số liệu tái phân tích cũng đều ở mức thấp, thể hiện sự tương đồng tốt thực đo, trong đó xu thế tương tự khi so sánh SI ERA5 với NOAA. Giá trị SI ERA5 nhỏ hơn NOAA tại 06/07 trạm, ngoại trừ tại trạm VN-07, SI NOAA thấp hơn ERA5.



Hình 5. Tương quan giữa độ cao sóng tái phân tích ERA5 (trái) và NOAA (phải) với độ cao sóng quan trắc tại các trạm phao: VN-05-T1, VN-05-T2, VN-06, VN-07.

Tương tự, giá trị RSR của chuỗi số liệu ERA5 cũng tốt hơn NOAA, với giá trị dao động trong khoảng 0,16-0,74, trong đó các trạm VN-03 đến VN-06 đều đạt chất lượng "rất tốt", trạm VN-01 đạt chất lượng "tốt", trạm VN-02 và VN-07 là "không tốt" (0,70 và 0,74). Trường hợp chuỗi số liệu NOAA, chỉ số RSR dao động trong khoảng 0,45-0,88, trong đó chỉ có trạm VN-05-T2 và VN-07 là RSR "rất tốt", trạm VN-05-T1 và VN-06 RSR đạt "tốt", còn lại đều chỉ ở mức chấp nhận, thậm chí trạm VN-02 còn ở mức "không tốt".

Hình 4, 5 thể hiện tương quan giữa độ cao sóng tái phân tích ERA5 và NOAA với độ cao sóng quan trắc tại 07 trạm phao. Dễ nhận thấy sự tương đồng tương đối tốt giữa số liệu mô hình và thực đo ở cả hai bộ số liệu tái phân tích, trong đó số liệu ERA5 thể hiện sự tương đồng tốt hơn NOAA. Sự tương đồng của cả hai chuỗi đạt mức tốt nhất với những giá trị sóng nhỏ, với các giá trị sóng lớn, sự phân tán càng rõ rệt, tức là mô hình không bắt được tốt các giá trị sóng lớn cực đại.

Khi so sánh với các trạm phao xa bờ (từ VN-01 đến VN-04), đường xu thế của chuỗi độ cao sóng của ERA5 nằm ở phía trên đường x = y, cho thấy giá trị độ cao sóng ERA5 nhỏ hơn thực đo. Ngược lại, đường xu thế tại 4 trạm này của chuỗi NOAA nằm dưới đường x = y, có nghĩa là giá trị độ cao sóng ERA5 lớn hơn thực đo (Hình 4). Trong khi đó, khi so sánh với các trạm phao gần bờ, đường xu thế của cả hai chuỗi tái phân tích đều nằm trên đường x = y, thể hiện giá trị mô hình nhỏ hơn giá trị thực đo. Trạm VN-07, đường xu thế của NOAA gần với đường x = y hơn so với ERA5, thể hiện mức tương quan của số liệu NOAA cao hơn ERA5 tại trạm phao này (Hình 5).

3.2. Hiệu chỉnh lại số liệu sóng tái phân tích theo hàm chuyển

Trên cơ sở mối tương quan giữa số liệu tái phân tích và số liệu quan trắc từ các trạm phao, hàm chuyển theo phương trình 1 được sử dụng để hiệu chỉnh lại số liệu độ cao sóng biển tái phân tích ERA5 và NOAA, được biểu thị trong bảng 4. Phương pháp sử dụng hàm chuyển tuyến tính là một phương pháp đơn giản về học thuật nhưng đã được áp dụng rất hiệu quả vào các nghiên cứu khoa học, trong đó có Khí tượng Thủy văn và Hải dương học. Nếu bộ cơ sở dữ liệu đủ chất lượng và số lượng đủ dài thì phương pháp vẫn có thể áp dụng tính sóng trong bão hoặc áp thấp nhiệt đới. Tuy nhiên, với hạn chế của mô hình sóng tái phân tích đã đề cập ở trên thì hiện tại số liệu sóng tái phân tích trong bão chưa đủ tốt. Nghiên cứu kiến nghị cần sử dụng phương pháp khác (sử dụng mô hình số trị cho địa phương) để mô phỏng, xác định sóng trong bão.

Bảng 4. Các hàm chuyển hiệu chỉnh độ cao sóng tái phân tích ERA5 và NOAA.

STT	Khu vực trạm phao	Hàm chuyển dùng cho nguồn số liệu ERA5	Hàm chuyển dùng cho nguồn số liệu NOAA
1	VN01	H_{sim2} = 1,0693 H_{sim1} + 0,0078	H_{sim2} = 0,8349 H_{sim1} + 0,0508
2	VN02	H_{sim2} = 1,1322 H_{sim1} - 0,0911	H_{sim2} = 1,0479 H_{sim1} - 0,2054
3	VN03	H_{sim2} = 1,2424 H_{sim1} - 0,3275	H_{sim2} = 0,7912 H_{sim1} - 0,0059
4	VN04	H_{sim2} = 1,0872 H_{sim1} - 0,1163	H_{sim2} = 1,0819 H_{sim1} + 0,2123
5	VN05-T1	H_{sim2} = 1,1202 H_{sim1} + 0,0972	H_{sim2} = 1.1202 H_{sim1} + 0,1139
6	VN05-T2	H_{sim2} = 1,1942 H_{sim1} - 0,0616	H_{sim2} = 1,0673 H_{sim1} + 0,0649
7	VN06	H_{sim2} = 0,8821 H_{sim1} + 0,1829	H_{sim2} = 1,0888 H_{sim1} - 0,0345
8	VN07	H_{sim2} = 1,1856 H_{sim1} + 0,1487	H_{sim2} = 0,8748 H_{sim1} + 0,2443

Trong đó: H_{sim1}: Độ cao sóng tái phân tích ban đầu; H_{sim2}: Độ cao sóng tái phân tích hiệu chỉnh.

Để đánh giá chất lượng của việc hiệu chỉnh, 05 chỉ số BIAS, RMSE, SI và RSR tiếp tục được sử dụng, cho thấy sự cải thiện đáng kể như được thể hiện trong bảng 5. Số liệu sóng tái phân tích của cả ERA5 và NOAA đã được cải thiện tốt hơn rõ rệt sau hiệu chỉnh. Ngoại trừ chỉ số tương quan không thay đổi, bốn chỉ số BIAS, RMSE, SI và RSR đều giảm, đặc biệt là chỉ số BIAS với hầu hết các trạm đều đạt xấp xỉ 0. Theo tiêu chí đánh giá chất lượng (Bảng 1), sau hiệu chỉnh tất cả các chỉ số RSR của chuỗi ERA5 đều đạt "tốt" đến "rất tốt", còn chuỗi NOAA vẫn có trạm RSR "không tốt" (VN-02), số trạm đạt "rất tốt" cũng ít hơn ERA5.

Bảng 5. Chỉ số thống kê so sánh giữa số liệu sóng tái phân tích ERA5 và NOAA với số liệu trạm phao trước-sau hiệu chỉnh.

Trạm	ERA5							NOAA						
	N	Trạng thái	BIAS (m)	RMSE (m)	ρ	SI	RSR	N	Trạng thái	BIAS (m)	RMSE (m)	ρ	SI	RSR
VN-01	1952	Trước	0,09	0,36	0,86	0,27	0.53	653	Trước	-0,20	0,42	0,85	0,32	0,62
		Sau	0,00	0,34	0,86	0,26	0,51		Sau	0,00	0,35	0,85	0,27	0,52
VN-02	488	Trước	0,05	0,23	0,73	0,21	0.70	163	Trước	-0,14	0,29	0,64	0,27	1,17
		Sau	0,00	0,22	0,73	0,20	0,68		Sau	0,00	0,26	0,64	0,23	0,92
VN-03	635	Trước	0,11	0,31	0,97	0,16	0.32	211	Trước	-0,51	0,65	0,94	0,34	0,67
		Sau	0,00	0,23	0,97	0,12	0,23		Sau	0,00	0,33	0,94	0,17	0,34
VN-04	197	Trước	0,05	0,17	0,99	0,09	0.16	66	Trước	-0,49	0,71	0,97	0,37	0,66
		Sau	0,00	0,14	0,99	0,08	0,17		Sau	0,00	0,28	0,97	0,15	0,26
VN-05-T1	421	Trước	0,26	0,52	0,94	0,32	0.41	141	Trước	0,23	0,68	0,86	0,42	0,54
		Sau	0,00	0,43	0,94	0,26	0,34		Sau	0,00	0,64	0,86	0,39	0,50
VN-05-T2	2989	Trước	0,19	0,39	0,96	0,26	0.37	1001	Trước	0,15	0,48	0,91	0,32	0,45
		Sau	-0,01	0,30	0,96	0,20	0,28		Sau	0,00	0,45	0,91	0,30	0,42
VN-06	1524	Trước	0,07	0,27	0,93	0,26	0.41	506	Trước	0,05	0,34	0,86	0,34	0,52
		Sau	0,00	0,24	0,93	0,24	0,38		Sau	0,00	0,34	0,86	0,33	0,51
VN-07	3078	Trước	0,42	0,66	0,84	0,35	0.74	1029	Trước	0,01	0,45	0,88	0,24	0,50
		Sau	0,00	0,49	0,84	0,26	0,55		Sau	0,00	0,44	0,88	0,23	0,48

Sự cải thiện sau hiệu chỉnh thể hiện rõ hơn ở chuỗi NOAA, nguyên nhân vì ngay từ ban đầu nguồn số liệu này không tốt bằng nguồn số liệu ERA5, ngoại trừ số liệu tại trạm VN-07.

Chuỗi số liệu ERA5 cải thiện tốt nhất tại trạm VN-07, với trước và sau hiệu chỉnh, chênh lệch chỉ số BIAS là 0,42, chênh lệch chỉ số RMSE là 0,17, chênh lệch chỉ số SI là 0,09, chênh lệch chỉ số RSR là 0,19, đây cũng là trạm được cải thiện tốt nhất của chuỗi ERA5. Còn chuỗi số liệu NOAA, trạm VN-03 và VN-04 được cải thiện tốt nhất. Tại trạm VN-03 và VN-04, trước và sau hiệu chỉnh, chênh lệch chỉ số BIAS lần lượt là 0,51 và 0,49, chênh lệch chỉ số RMSE lần lượt là 0,32 và 0,43, chênh lệch chỉ số SI lần lượt là 0,17 và 0,22, chênh lệch chỉ số RSR lần lượt là 0,33 và 0,40. Điều này cho thấy, các chuỗi số liệu sóng tái phân tích có mức tương đồng không tốt sẽ được cải thiện nhiều hơn so với các chuỗi có sự tương đồng tốt với thực đo, qua đó cũng thể hiện được hiệu quả cao của việc sử dụng hàm chuyển để hiệu chỉnh số liệu sóng tái phân tích từ mô hình.

Có thể thấy rằng, việc hiệu chỉnh sóng tái phân tích theo hàm chuyển đã đem lại kết quả khả quan trong việc cải thiện sự phù hợp với điều kiện địa phương. Sự cải thiện tốt nhất là ở khu vực trạm VN-07 với chuỗi số liệu ERA5 và ở khu vực trạm VN-03, VN-04 với chuỗi số liệu NOAA.

Nguồn số liệu độ cao sóng tái phân tích ERA5 và NOAA đạt độ tương đồng tốt với số liệu thực đo, đặc biệt sau khi hiệu chỉnh theo hàm chuyển. Sau quá trình so sánh và đánh giá, nguồn số liệu NOAA không đạt chất lượng tốt bằng nguồn số liệu ERA5. Trước hết, lượng số liệu so sánh từ nguồn số liệu ERA5 gấp 3 lần lượng số liệu từ nguồn số liệu NOAA, bởi số liệu của nguồn này được xuất 1 giờ 1 lần, tương ứng với số liệu xuất từ trạm phao, đây là một ưu thế lớn trước tiên của nguồn số liệu ERA5. Thêm vào đó, độ phân giải không gian của số liệu ERA5 (1/4 độ) cao hơn so với NOAA (1/2 độ), điều này dẫn đến sự phù hợp với điều kiện địa phương của số liệu sóng tái phân tích ERA5 tốt hơn so với NOAA. Kết quả cũng cho thấy, khi chưa hiệu chỉnh, nguồn số liệu ERA5 tốt hơn nguồn số liệu NOAA, thể hiện ở các chỉ số đánh giá hầu hết đều có giá trị tốt hơn, duy chỉ tại trạm VN-07, các chỉ số đánh giá cho thấy nguồn số liệu NOAA tốt hơn so với nguồn số liệu ERA5. Sau hiệu chỉnh theo hàm chuyển, tuy chất lượng số liệu độ cao sóng tái phân tích NOAA đã cao hơn nhưng vẫn kém so với số liệu ERA5 tại 06/07 trạm, trừ trạm VN-07.

4. Kết luận và kiến nghị

Kết quả nghiên cứu cho thấy sự tương đồng tương đối cao giữa độ cao sóng tái phân tích ERA5 và NOAA với độ cao sóng quan trắc tại các trạm phao tại Biển Đông, tuy nhiên cả hai nguồn số liệu tái phân tích đều thấp hơn số liệu thực đo đáng kể tại các thời điểm sóng lớn cực đại. Số liệu độ cao sóng ERA5 nhỏ hơn thực đo tại tất cả các trạm. Số liệu độ cao sóng NOAA có sự khác biệt giữa các trạm: 04 trạm xa bờ (từ VN-01 đến VN-04), độ cao sóng NOAA cao hơn thực đo, còn 03 trạm gần bờ (từ VN-05 đến VN-07), độ cao sóng NOAA nhỏ hơn thực đo, có thể yếu tố địa hình gây ra sự khác biệt này.

Sau hiệu chỉnh, số liệu sóng tái phân tích ERA5 và NOAA đã được cải thiện tốt hơn. Sự cải thiện tốt nhất là ở khu vực trạm VN-07 với chuỗi số liệu ERA5 và ở khu vực trạm VN-03, VN-04 với chuỗi số liệu NOAA. Qua đó, có thể kết luận việc hiệu chỉnh sóng theo hàm chuyển đã đem lại kết quả khả quan trong việc cải thiện sự phù hợp với điều kiện địa phương, đặc biệt tốt tại các khu vực xa bờ, nơi ít chịu ảnh hưởng của các yếu tố địa hình đến sóng. Việc sử dụng hàm chuyển để hiệu chỉnh thêm một lần cho thấy hiệu quả tốt trong nghiên cứu ứng dụng dữ liệu sóng tái phân tích.

So sánh trước và sau hiệu chỉnh giữa hai bộ số liệu độ cao sóng tái phân tích NOAA và ERA5 cho thấy, bộ số liệu ERA5 đạt chất lượng tốt hơn so với bộ số liệu NOAA, từ đó nhóm tác giả đưa ra khuyến nghị ưu tiên sử dụng bộ số liệu độ cao sóng ERA5 cho Biển Đông. Trong các nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả dự kiến nghiên cứu đánh giá nguồn số liệu sóng từ vệ tinh, ứng dụng công nghệ hiện đại AI, đồng hóa dữ liệu quan trắc vào mô hình sóng để có được bộ số liệu sóng tốt với độ phân giải cao và cập nhật thường xuyên cho khu vực biển Việt Nam.

Phương pháp hiệu chỉnh số liệu sóng theo hàm chuyển tuyến tính đã thể hiện giá trị tích cực, bên cạnh đó, đã có nhiều nghiên cứu sử dụng các mô hình số trị để tính lan truyền sóng. Ưu điểm của các mô hình số trị là nắm bắt được đặc trưng địa phương qua quá trình hiệu chỉnh/kiểm định. Tuy nhiên, các mô hình số trị cần đòi hỏi các điều kiện đầu vào, biên, hiệu chỉnh/kiểm định phức tạp (địa hình, trường gió,…) và cần có một lượng thời gian/công sức đáng kể. Trong khi đó, các mô hình toàn cầu đã và đang được vận hành bởi các tổ chức có uy tín. Hạn chế của các sản phẩm này là chưa phản ánh được các yếu tố địa phương nên cần được hiệu chỉnh. Trên thế giới thường có hai cách hiệu chỉnh là chi tiết hóa động lực (dùng mô hình số trị) hoặc thống kê (hồi quy, như nghiên cứu này). Trong giai đoạn tiếp theo, nhóm nghiên cứu sẽ hướng đến sử dụng cách hiệu chỉnh bằng phương pháp chi tiết hóa động lực.

Qua nghiên cứu, có thể thấy tồn tại hai lý do không nên sử dụng phương pháp hiệu chỉnh bằng hàm chuyển tuyến tính cho khu vực nước nông ven bờ: (1) Do độ phân giải không gian của mô hình sóng tái phân quy mô toàn cầu (WaveWatch III) là chưa đủ tốt nên không thể mô tả được sóng cho ven bờ; (2) Bản thân mô hình WaveWatch III cũng không có khả năng mô phỏng một số hiệu ứng sóng đặc biệt là sóng phản xạ. Tính toán sóng cho vùng nước nông ven bờ cần phải sử dụng phương pháp tiếp cận khác, có thể sử dụng mô hình SWAN, MIKE21_SW (nếu không cần quan tâm sóng phản xạ) hoặc MIKE Boussinesq, XBeach (các mô hình tính được yếu tố sóng phản xạ).

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ sự trợ giúp từ đề tài cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường "Nghiên cứu xây dựng hệ thống dữ liệu tái phân tích trường sóng dựa trên mô hình số trị, kỹ thuật đồng hóa và các số liệu quan trắc phục vụ dự báo, cảnh báo sóng biển tại khu vực biển Việt Nam", mã số TNMT.2023.06.13.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của mình, chưa từng công bố trước đó, không sao chép, đạo văn; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Sterl, A.; Komen, G.J. Fifteen years of global wave hincasts using winds from the European Centre for medium-range weather forecasts reanalysis: Validating the reanalyzed winds and assessing the wave climate. *J. Geophys. Res.* **1998**, *103*, 5477–5492.
2. Caires, S.; Sterl, A.; Bidlot, J.R.; Graham, N. Climatological assessment of reanalysis ocean data. *J. Clim.* **2002**, *17(10)*, 1893–1913.
3. Appendini, C.M.; Torres-Freyermuth, A.; Oropeza, F.; Salles, P.; López, J.; Mendoza, E.T. Wave modeling performance in the Gulf of Mexico and Western Caribbean: Wind reanalyses assessment. *Appl. Ocean Res.* **2013**, *39*, 20–30. https://doi.org/10.1016/j.apor.2012.09.004.
4. Reguero, B.G.; Menéndez, M.; Méndez, F.J.; Mínguez, R.; Losada, I. J. A Global Ocean Wave (GOW) calibrated reanalysis from 1948 onwards. *Coastal Eng.* **2012**, *65*, 38–55. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2012.03.003.
5. Barbariol, F.; Bidlot, J.R.; Cavaleri, L.; Sclavo, M.; Thomson, J.; Benetazzo, A. Maximum wave heights from global model reanalysis. *Prog. Oceanogr*. **2019**, *175*, 139–160. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.03.009.
6. Cavaleri, L.; Alves, J.; Ardhuin, F.; Babanin, A.; Banner, M.; Belibassakis, K.; Benoit, M.; Donelan, M.; Groeneweg, J.; Herbers, T.; Hwang, P.; Janssen, P.A.E.M.; Janssen, T.; Lavrenov, I.V.; Magne, R.; Monbaliu, J.; Onorato, M.; Polnikov, V.; Resio, D.; Rogers, W.E.; Sheremet, A.; McKee Smith, J.; Tolman, H.L.; van Vledder, G.; Wolf, J.; Young, I. Wave modelling. The state of the art. *Prog. Oceanogr.* **2007**, *75(4)*, 603–674.

7. Akpinar, A.; van Vledder, G.P.; Kömürcü, M.I.; Özger M.; Evaluation of the numerical wave model (SWAN) for wave simulation in the Black Sea. *Cont. Shelf Res*. **2012**, *50–51*, 80–99. https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.09.012.
8. Cavaleri, L.; Sclavo, M. The calibration of wind and wave model data in the Mediterranean sea. *Coastal Eng.* **2006**, *53*, 613–627.
9. Booij, N.; Ris, R.; Holthuijsen, L. A third generation wave model for coastal region, I: model description and validation. *J. Geophys. Res.* **1999**, *104*, 769–7666.
10. Cox, A.; Swail, V. A global wave hindcast over the period 1958–1997: Validation and climate assessment. *J. Geophys. Res*. **2001**, *106*, 2313–2329.
11. Dodet, G.; Bertin, X.; Taborda, R. Wave climate variability in the north-east Atlantic ocean over the last six decades. *Ocean Modell*. **2010**, *31*, 120–131.
12. Tolman, H.L.; Balasubramaniyan, B.; Burroughs, L.D.; Chalikov, D.V.; Chao, Y.Y.; Chen, H.S.; Gerald, V.M. Development and implementation of wind-generated ocean surface wave models at NCEP. *Weather Forecast*. **2002**, *17(2)*, 311–333. https://doi.org/10.1175/1520-0434(2002)017<0311:DAIOWG>2.0.CO.
13. Caires, S.; Sterl, A. A new nonparametric method to correct model data: Application to significant wave height from the ERA-40 re-analysis. *J. Atmos. Ocean. Technol.* **2005**, *22(4)*, 443–459. https://doi.org/10.1175/JTECH1707.1.
14. Tomas, A.; Mendez, F.J.; Losada, I.J. A method for spatial calibration of wave hindcast data bases. *Cont. Shelf Res.* **2008**, *28(3)*, 391–398. https://doi.org/10.1016/j.csr.2007.09.009.
15. Mínguez, R.; Espejo, A.; Tomás, A.; Méndez, F.J.; Losada, I.J. Directional calibration of wave reanalysis databases using instrumental data. *J. Atmos. Ocean. Technol.* **2011**, *28(11)*, 1466–1485. https://doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00008.1.
16. Mínguez, R.; Reguero, B.G.; Luceño, A.; Méndez, F.J. Regression models for outlier identification (Hurricanes and typhoons) in wave hindcast databases. *J. Atmos. Ocean. Technol.* **2012**, *29(2)*, 267–285. https://doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00059.1.
17. Christian M.A.; Alec, T.F.; Fernando, O.; Paulo, S.; Jose, L.; Mendozaa, E.T. Wave modeling performance in the Gulf of Mexico and Western Caribbean: Wind reanalyses assessment. *Appl. Ocean Res.* **2012**, *39*, 20–30. http://dx.doi.org/10.1016/j.apor.2012.09.004.
18. Cotton, P. A feasibility study for a global satellite buoy intercalibration experiment. Southampton Oceanography Centre Resolution Consultation Report 26, Southampton Oceanography Centre. Southampton Oceanography Centre, Southampton, UK, 1998, pp. 73.
19. Bidlot, J.R.; Holmes, D.J.; Wittmann, P.A.; Lalbeharry, R.; Chen, H.S. Intercomparison of the performance of operational ocean wave forecasting systems with buoy data. *Weather Forecast*. **2002**, *17(2)*, 287–310. https://doi.org/10.1175/1520-0434(2002)017<0287:IOTPOO>2.0.CO.
20. Stopa, J.E.; Cheung, K.F. Intercomparison of wind and wave data from the ECMWF reanalysis interim and the NCEP climate forecast system reanalysis. *Ocean Modell.* **2014**, *75*, 65–83. http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2013.12.006.
21. Hiển, N.X.; Tiến, D.N.; Trang, N.T.; Chinh, P.V. Nghiên cứu hiệu chỉnh số liệu sóng tái phân tích từ mô hình toàn cầu cho khu vực ven biển miền Trung Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Biến đổi Khí hậu* **2024**, *29*, 77–84.
22. Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Van Liew, M.W.; Bingner, R.L. Harmel, R.D.; Veith, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE* **2007**, *50(3)*, 885–900. https://doi.org/10.13031/2013.23153

23. Nga, P.T.T.; Huy, L.Q.; Tien, P.V.; Ha, D.T.T.; Thuy, T.T.; Anh, N.L; Han, B.T. Wave analysis for the development of Thien Nga - Hai Au oil field. *Tạp chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2023**, *27*, 11–22. https://doi.org/10.55659/2525-2496/27.85950
24. Trực tuyến: https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form/)
25. Trực tuyến: https://polar.ncep.noaa.gov/waves/hindcasts/nopp-phase1.php.

Evaluate the applicability of reanalyzed wave data for East Sea

Nguyen Xuan Hien[1]*, Duong Ngoc Tien[1], Vu Thi Vui[1], Giap Ngoc Anh[1], Cao Hoang Anh[1]

[1] Center for Oceanography; nguyenxuanhien79@gmail.com; duongngoctienht@gmail.com; vuivt89@gmail.com; ngocanhgiap2001@gmail.com; hoanganhcao1991998@gmail.com

Abstract: The study focuses on evaluating the reliability and applicability of different sources of reanalysis wave height data in Vietnam's sea. Observation data from 07 buoy stations in Vietnam's sea are used to compare and evaluate the similarity with reanalyzed wave height data of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) and of the US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Evaluation results show that although there is a high similarity between the wave heights measured from buoy stations and the reanalyzed wave heights, statistical analyzes show that the reanalyzed wave heights of ECMWF have high level of similarity than NOAA. Besides, there is a significant difference between the measured data and the reanalyzed data in the case of large waves and also depends on the sea area. The study also proposes a plan to use transfer functions to calibrate and apply reanalysis wave data and evaluate the applicability of reanalysis wave data sources.

Keywords: Reanalysis waves; Buoy station; Transfer function; ECMWF ERA5; NOAA WAVEWATCH III.