

NGHIÊN CỨU ĐỒNG HÓA DỮ LIỆU QUAN TRẮC TỪ RADAR BIỂN VÀ ẢNH VIỄN THÁM TRONG MÔ HÌNH THỦY ĐỘNG LỰC BIỂN QUY MÔ KHU VỰC ROMS

Nguyễn Thanh Trang⁽¹⁾, Phạm Văn Huấn⁽²⁾, Trần Mạnh Cường⁽¹⁾,
Vũ Tiến Thành⁽¹⁾, Lưu Quang Hải⁽¹⁾

⁽¹⁾Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam

⁽²⁾Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Ngày nhận bài: 05/5/2021; ngày chuyển phản biện: 06/5/2021; ngày chấp nhận đăng: 28/5/2021

Tóm tắt: Nghiên cứu này thử nghiệm đồng hóa dữ liệu quan trắc dòng chảy tầng mặt từ hệ thống Radar biển và trường nhiệt độ nước biển tầng mặt, độ cao bề mặt biển từ ảnh vệ tinh dựa trên sơ đồ đồng hóa biến phân 4 chiều kết hợp (4D-VAR) trong mô hình thủy động lực biển quy mô khu vực ROMS. Các kết quả nghiên cứu cho thấy việc đồng hóa dữ liệu góp phần làm tăng độ chính xác trong mô phỏng mực nước và dòng chảy bề mặt biển tại khu vực Vịnh Bắc Bộ. Khi đồng hóa dữ liệu, vận tốc dòng chảy mô phỏng tại khu vực ven biển Hà Tĩnh, Quảng Bình phổ biến dao động từ 0,7 - 0,9 m/s, tương đương với dữ liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, các chỉ số BIAS và RMSE giữa kết quả tính toán và thực đo giảm đi rõ rệt trong khi hệ số tương quan giữa chúng lại tăng lên đáng kể.

Từ khóa: Đồng hóa dữ liệu, mô hình số trị, vệ tinh, Radar biển.

1. Giới thiệu

Đồng hóa dữ liệu trong các mô hình hải dương học đang được các nhà khoa học quan tâm trong thời gian gần đây. Các hướng chính trong đồng hóa dữ liệu bao gồm phát triển các kỹ thuật đồng hóa 3DVAR, 4DVAR và lọc Kalman kết hợp với mô hình số trị để có được các trường tái phân tích các yếu tố hải dương học sát với thực tế nhất [5, 12].

Trong nước, các nghiên cứu ứng dụng đồng hóa số liệu cũng đã được quan tâm, các nghiên cứu này đã ứng dụng các sơ đồ đồng hóa số liệu khác nhau kết hợp với mô hình số trị trong việc dự báo các yếu tố khí tượng, hải văn. Trong lĩnh vực hải dương học, một số tác giả đã có những công trình nghiên cứu, ứng dụng kỹ thuật đồng hóa số liệu như lọc Kalman kết hợp với mô hình SWAN trong dự báo sóng, sơ đồ đồng hóa 4D-Var kết hợp với mô hình ROMS trong phân tích, dự báo hoàn lưu biển [2, 5].

Thời gian gần đây, cùng với sự phát triển của

khoa học công nghệ, ngày càng có nhiều số liệu quan trắc phi truyền thống như số liệu từ vệ tinh hay số liệu từ các trạm Radar biển. Nguồn số liệu này, nếu được kết hợp với các mô hình số trị có thể làm tăng độ chính xác của kết quả mô phỏng.

Nhằm khẳng định hiệu quả của việc đồng hóa dữ liệu trong mô phỏng các yếu tố hải dương học, nghiên cứu này tiến hành thử nghiệm đồng hóa dữ liệu dựa trên nghiên cứu của Moore và nnk [8] cho số liệu quan trắc dòng chảy tầng mặt từ hệ thống Radar biển và trường nhiệt độ nước biển tầng mặt, độ cao bề mặt biển từ ảnh vệ tinh dựa vào mô hình ROMS trên sơ đồ đồng hóa biến phân 4 chiều kết hợp (4D-VAR).

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

2.1. Hệ thống mô hình hoàn lưu đại dương (ROMS)

ROMS là mô hình hoàn lưu đại dương quy mô khu vực được xây dựng trên hệ phương trình xấp xỉ thủy tĩnh Boussinesq. Mô hình được xây dựng với tọa độ cong trực giao và lưới sigma theo phương thẳng đứng cho phép tăng độ phân

Liên hệ tác giả: Nguyễn Thanh Trang

Email: thanhtrang979@gmail.com

giải theo phương ngang và phương thẳng đứng tại khu vực nước nông, khu vực có đường bờ và địa hình phức tạp. Do các tính năng đặc biệt trong giải phương trình động lượng và khuếch tán cũng như việc lựa chọn tham số hóa cho giải các bài toán xáo trộn theo phương ngang và phương thẳng đứng nên mặc dù mô hình ROMS được xây dựng cho các bài toán mô phỏng thủy động lực tại khu vực ven biển nhưng cũng được áp dụng tốt ở các vùng nước sâu, quy mô lưu vực và toàn cầu. Cơ sở lý thuyết của mô hình có thể được tham khảo trong các nghiên cứu liên quan của Andrew M. Moore [8].

2.2. Sơ đồ đồng hóa biến phân bốn chiều kết hợp với mô hình ROMS

Sơ đồ đồng hóa biến phân bốn chiều các biến số tính toán trong mô hình ROMS là nhiệt ẩn (T), độ muối (S), vận tốc ngang (u, v) và dao động mực nước biển (ζ). Khi các phương trình được rời rạc hóa và sắp xếp trên lưới ROMS, các giá trị điểm lưới riêng lẻ tại thời điểm t_i xác định các thành phần của một véc tơ trạng thái $x(t_i) = (T, S, f, u, v)^T$ trong đó chỉ số trên T biểu thị chuyển vị véc tơ. Véc tơ trạng thái được tính toán về thời gian trước trong mô hình đại dương theo điều kiện biên bề mặt, ký hiệu là $f(t_i)$, cho động lượng, nhiệt thông lượng và các điều kiện biên mở bên, được ký hiệu là $b(t_i)$. Theo Daget và nnk. (2009) [11], các điều kiện biên bề mặt và biên hở có thể được viết như sau:

$$x(t_i) = M(t_i; t_{i-1})(x(t_{i-1}); f(t_i); b(t_i)) \quad (1)$$

Trong đó, $M(t_i; t_{i-1})$ là đại lượng phi tuyến trên $x(t_{i-1})$ và chịu sự ràng buộc của lực cưỡng bức $f(t_i)$ và các điều kiện biên $b(t_i)$ trong thời gian khoảng thời gian $[t_{i-1}, t_i]$. Phương trình (1) sẽ được gọi là NLROMS với điều kiện ban đầu $x(t_0)$, lực cưỡng bức bề mặt $f(t)$ và các điều kiện biên mở $b(t)$. Khoảng thời gian đang xét là $[t_0, t_N]$.

Để sử dụng 4D-VAR trong ROMS cần có ba công cụ được tích hợp trong mô hình phiên bản riêng biệt của NLROMS. Tất cả các thuật toán đồng hóa dữ liệu 4D-Var hiện tại được sử dụng trong ROMS đều dựa trên sự xuất phát của véc tơ trạng thái, lực cưỡng bức bề mặt và các điều kiện biên mở từ một tham chiếu phép giải cơ

bản, còn được gọi là giải pháp tiên quyết cụ thể như sau:

$$\begin{aligned} x(t_i) &= x^b(t_i) + \delta x(t_i) \\ f(t_i) &= f^b(t_i) + \delta f(t_i) \\ b(t_i) &= b^b(t_i) + \delta b(t_i) \end{aligned} \quad (2)$$

Trong đó $x^b(t_i)$, $f^b(t_i)$ và $b^b(t_i)$ lần lượt là các trường nền cho các điều kiện hoàn lưu, lực cưỡng bức bề mặt và biên mở tương ứng. Các gia số δx , δf và δb được giả thiết là nhỏ so với các trường nền, trong trường hợp đó, chúng được mô tả gần đúng bằng cách khai triển Taylor bậc nhất của NLROMS trong (1), cụ thể là:

$$x^b(t_i) + \delta x(t_i) = M(t_i; t_{i-1})(x^b(t_{i-1}) + \delta x(t_{i-1}), f^b(t_i) + \delta f(t_i); b^b(t_i) + \delta b(t_i)) \simeq M(t_i; t_{i-1})(x^b(t_{i-1}), f^b(t_i); b^b(t_i)) + M(t_i; t_{i-1}) \delta u(t_{i-1}) \quad (3)$$

Ở đây $\delta u(t_{i-1}) = (\delta x^T(t_{i-1}), \delta f^T(t_i), \delta b^T(t_i))^T$ và $M(t_i; t_{i-1})$ đại diện cho mô hình tuyến tính tiếp tuyến nhiễu loạn trong khoảng thời gian $[t_{i-1}, t_i]$, được tuyến tính hóa về $x^b(t_{i-1})$ phát triển theo thời gian với lực cưỡng bức $f^b(t_{i-1})$ và điều kiện biên $b^b(t_i)$. Phương trình (3) sau đây sẽ được gọi là TLROMS, và với các điều kiện ban đầu $\delta x(t_0)$, lực cưỡng bức $\delta f(t)$ và các điều kiện biên mở $\delta b(t)$.

Toán tử có tầm quan trọng trung tâm đối với 4D-Var là $M^T(t_{i-1}, t_i)$, sự chuyển vị ma trận của mô hình tuyến tính tiếp tuyến được tích hợp ngược lại, do đó thứ tự của các đối số thời gian cho M^T bị đảo ngược. Sự chuyển vị của TLROMS đại diện cho ma trận liên hợp đối với sản phẩm bên trong L2 và được kết hợp với phương trình liên hợp:

$$\delta u^*(t_{i-1}) = M^T(t_{i-1}, t_i) p(t_i) \quad (4)$$

Trong đó, $\delta u^*(t_{i-1}) = (p^T(t_{i-1}), \delta f^{*T}(t_i), \delta b^{*T}(t_i))^T$ với p là gia số véc tơ - trạng thái liên hợp và δf^* và δb^* là gia số liên hợp của lực cưỡng bức bề mặt và điều kiện biên mở. Phương trình (4) dưới đây được gọi là ADROMS, và tích hợp của ADROMS luôn bắt đầu với $p(t_N) = 0$.

Trong khi cách tiếp cận gia tăng đối với 4D-Var được mô tả sau này dựa vào NLROMS trong (1) để truyền x^b về phía trước theo thời

gian, đại diện là phương pháp của Bennett [9] sử dụng tuyến tính hóa biên độ hữu hạn của ROMS. Cụ thể, nếu x_k biểu thị thành viên thứ k của một chuỗi tuyến tính k lần lặp (được xác định là "vòng lặp ngoài"), thì:

$$x_k(t_i) = M(t_i, t_{i-1})(x_{k-1}(t_{i-1}), f_{k-1}(t_i), b_{k-1}(t_i)) + M_{k-1}(t_i, t_{i-1}) * (g_k(t_{i-1}) - g_{k-1}(t_{i-1})) \quad (5)$$

Trong đó, M_{k-1} là TLROMS tuyến tính hóa về x_{k-1} trong khoảng thời gian $[t_{i-1}, t_i]$. Phương trình (5) là tuyến tính theo $g_k = (x_k^T, f_k^T, b_k^T)^T$ và biểu thị tuyến tính tiếp tuyến biên độ hữu hạn của ROMS, sau đây được gọi là RPROMS. Chuỗi tuyến tính được mô tả bởi (5) cũng thường được gọi là lặp Picard và thường được sử dụng để thiết lập sự tồn tại của các phép giải phương trình vi phân phi tuyến. Nếu chúng ta biểu thị $(g_k(t_{i-1}) - g_{k-1}(t_{i-1}))$ là $\delta g_k(t_{i-1})$, thì số hạng thứ hai trên của (5) có dạng $M_{k-1}(t_i, t_{i-1}) \delta g_k(t_{i-1})$ tương đương về mặt toán học với TLROMS trong (3). RPROMS do đó khác với TLROMS bằng cách bổ sung số hạng đầu tiên trên của (5) đại diện cho các toán tử NLROMS được áp dụng cho lần lặp trước đó g_{k-1} . Chi tiết về RPROMS có thể được tìm thấy trong Di Lorenzo và cs. [10], Bennett [9].

TLROMS, ADROMS và RPROMS hiện đang tồn tại cho tất cả các tùy chọn số và vật lý thường được sử dụng trong ROMS. Các trường hợp ngoại lệ đáng chú ý bao gồm hầu hết là xáo trộn theo phương thẳng đứng và các sơ đồ khép kín rối trong đó một số số hạng tuyến tính tiếp tuyến phải được loại trừ để ngăn sự phát triển của các dao động không ổn định cao. Các phiên bản tuyến tính tiếp tuyến và liên hợp của công thức thông lượng gộp bề mặt cũng không ổn định tuyến tính trong nhiều trường hợp, do đó nói chung là không được sử dụng. TLROMS và ADROMS được mô tả chi tiết hơn bởi Moore và cs. [13].

2.3. Các số dữ liệu, dữ liệu

Dữ liệu địa hình khu vực Vịnh Bắc Bộ, khu vực Biển Đông và lân cận được thu thập từ

nguồn số liệu từ các bản đồ địa hình đáy biển bao gồm: 117 mảnh bản đồ tỷ lệ 1:50.000, 143 mảnh bản đồ tỷ lệ 1:5.000 do Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam kết hợp với số liệu ETOPO của NOAA với độ phân giải 1 x 1 phút [20].

Số liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt được phân tích từ nhiều nguồn ảnh vệ tinh (MODIS, Sentinel, AVHRR) có độ phân giải 1 km [21], số liệu cao độ bề mặt biển được phân tích từ vệ tinh TOPEX/JASON từ AVISO với độ phân giải 0,125° [21]; số liệu dòng chảy tầng mặt biển là số liệu từ hệ thống Radar biển của Trung tâm Hải văn, Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam từ năm 2011 đến năm 2020.

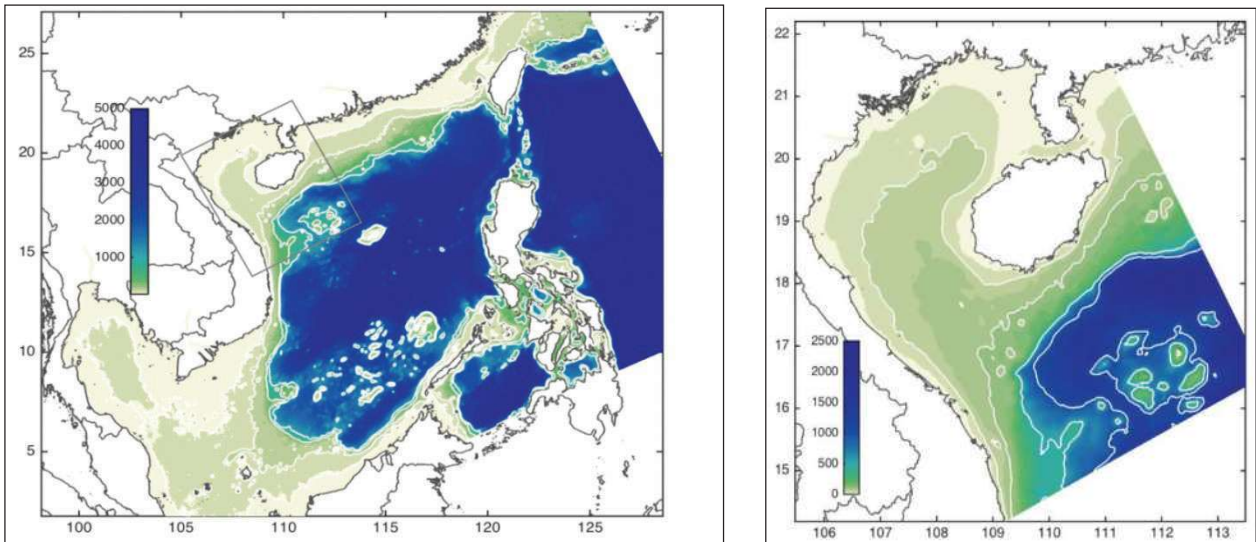
Số liệu khí tượng với các thông số về ứng suất gió, thông lượng nhiệt bề mặt, bức xạ mặt trời là sản phẩm của mô hình ERA của ECMWF với bước thời gian 3 giờ và độ phân giải xấp xỉ 14 km [22]; số liệu dòng chảy, nhiệt độ và độ muối được thu thập từ HyCom với bước thời gian 3 giờ và độ phân giải theo phương ngang xấp xỉ 9,2 km và 40 tầng chuẩn theo độ sâu [23]; dữ liệu về lưu lượng nước sông trung bình tháng được thu thập tại các trạm thủy văn của 4 sông chính bao gồm: Đá Bạch và Sông Cấm; Văn Úc; Sông Thái Bình; Sông Hồng từ năm 2000 đến 2018.

Số liệu để hiệu chỉnh, kiểm nghiệm, đánh giá mô hình là số mực nước được thu thập tại 17 trạm ven biển khu vực vịnh Bắc Bộ, số liệu dòng chảy được đo bằng ADCP, nhiệt độ và độ muối bằng thiết bị CTD trong thời gian tháng 8 năm 2016 [1].

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Miền tính, lưới tính

Mô hình ROMS được thiết lập để tính toán mô phỏng thủy động lực với 40 lớp theo phương thẳng đứng và độ phân giải theo phương ngang là 7 x 7 km cho toàn khu vực biển Đông và chi tiết 2,3 x 2,3 km cho khu vực ven biển Vịnh Bắc Bộ (Hình 1).



Hình 1. Miền tính khu vực Biển Đông và chi tiết cho khu vực Vịnh Bắc Bộ

3.2. Điều kiện biên, điều kiện ban đầu

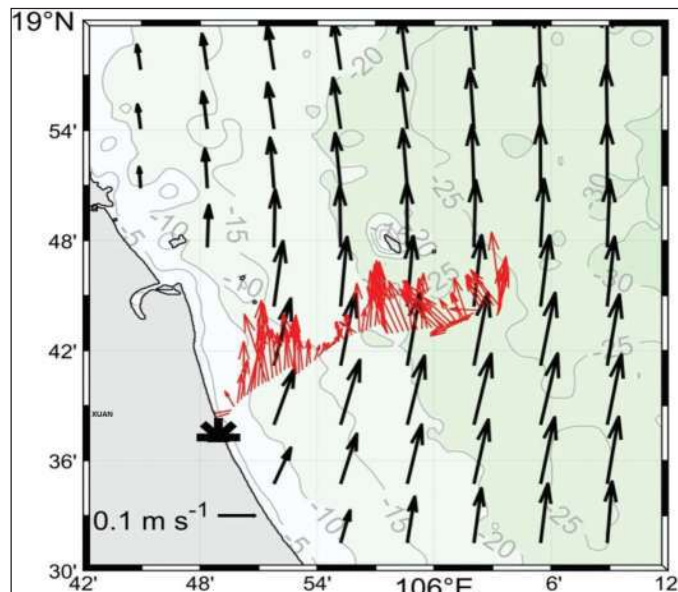
Điều kiện ban đầu và điều kiện biên lỏng được thu thập từ HyCom với độ phân giải theo phương ngang xấp xỉ 9,2 km và 40 tầng chuẩn theo độ sâu [23], điều kiện biên bề mặt là số liệu ứng suất gió, thông lượng nhiệt bề mặt, bức xạ mặt trời là sản phẩm của mô hình ERA của ECMWF với bước thời gian 3 giờ và độ phân giải xấp xỉ 14 km [22].

3.3. Kiểm nghiệm mô hình

Để kiểm nghiệm mô hình, mô hình số trị ROMS được thiết lập và tính toán trong khoảng thời gian từ ngày 13 đến 15 tháng 4 năm 2016,

thời gian có số liệu quan trắc bằng thiết bị ADCP.

Kết quả so sánh, đánh giá cho thấy có sự phù hợp về hướng và độ lớn của dòng chảy tính toán bằng mô hình và kết quả quan trắc trực tiếp bằng thiết bị ADCP trong ngày 13 tháng 4 năm 2016. Kết quả mô phỏng về hướng từ mô hình cho thấy sự tương đồng với số liệu đo đạc từ ADCP với hướng chính của dòng chảy tầng mặt có hướng từ Bắc đến Bắc Đông Bắc. Tuy nhiên, kết quả mô phỏng về độ lớn của vận tốc dòng chảy tầng mặt cho thấy, tại một số thời điểm triều xuống, số liệu đo bằng thiết bị ADCP cho giá trị vận tốc dòng chảy nhỏ hơn một chút so với kết quả mô phỏng từ mô hình (Hình 2).



Hình 2. So sánh vận tốc dòng chảy giữa số liệu thực đo (máy ADCP) và mô hình ngày 13 tháng 4 năm 2016

3.4. Thiết lập mô hình ROMS - 4D VAR

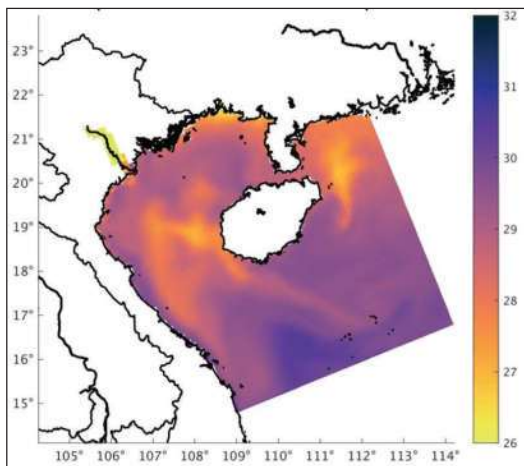
Để đánh giá hiệu quả của việc đồng hóa 4D-Var đến kết quả tính toán của mô hình, nghiên cứu đã thiết lập 2 thử nghiệm: 1) Thử nghiệm 1: Mô hình ROMS chạy độc lập trong thời gian 1 tháng với các thiết lập về điều kiện biên bề mặt và tại biển lỏng tại thời điểm tháng 10 năm 2015; 2) Thử nghiệm 2: Mô hình ROMS có sử dụng đồng hóa dữ liệu với SST và SSH từ số liệu vệ tinh và dòng chảy bề mặt biển từ số liệu Radar biển.

Nghiên cứu sử dụng các tham số đồng hóa 4D-Var của Moore và nnk [8] tại vùng biển đông Thái Bình Dương để lựa chọn các tham số tính toán, tham số về độ lệch chuẩn năm của các biến (ξ , U, V, T, S) dựa trên kết quả tính toán từ mô hình trong thời gian 10 năm (2008 - 2018). Do độ dài của cửa sổ đồng hóa trong các mô hình hải dương học cần phải đủ ngắn để đảm

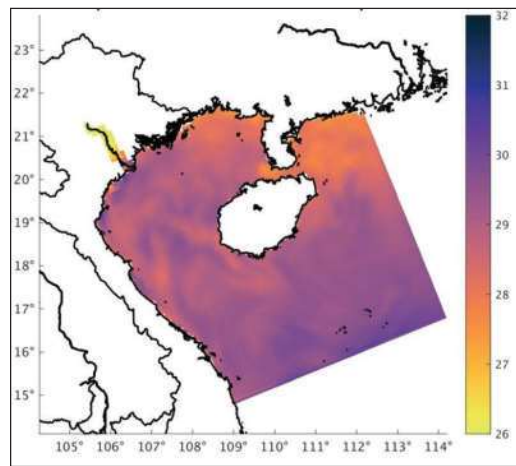
bảo sự biến động giữa kết quả mô phỏng từ mô hình và số liệu thực đo không quá lớn, bên cạnh đó cũng cần đảm bảo đủ dài để rút ngắn thời gian tính toán. Do vậy, cửa sổ đồng hóa được lựa chọn trong nghiên cứu này là 4 ngày.

3.5. Kết quả phân tích, đánh giá

Kết quả thể hiện trên Hình 3 đến Hình 5 cho thấy sự khác biệt của trường SST và trường dòng chảy tầng mặt trong hai Thử nghiệm 1 và Thử nghiệm 2. Đối với trường SST trong Thử nghiệm 2 sau khi đồng hóa dữ liệu có sự xâm lấn khá mạnh của khối nước lạnh từ phía cửa Vịnh Bắc Bộ vào phía trong với phân bố nhiệt độ tăng dần từ cửa vịnh, khu vực có nhiệt độ cao khác biệt với các khu vực xung quanh như ở giữa vịnh và phía Đông của eo Quỳnh Châu cho thấy sự liên tục, không còn mang tính cục bộ như trong trường hợp chưa đồng hóa tại Thử nghiệm 1.

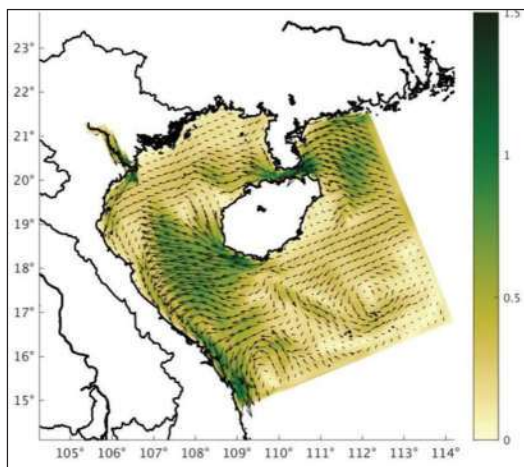


a) Thử nghiệm 1

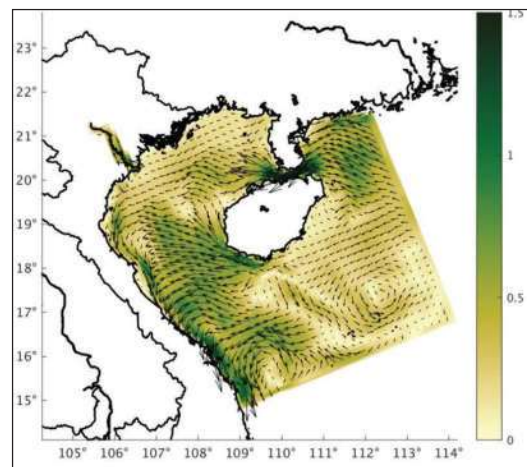


b) Thử nghiệm 2

Hình 3. So sánh trường SST trong trường hợp có và không có đồng hóa dữ liệu



a) Thử nghiệm 1



b) Thử nghiệm 2

Hình 4. So sánh trường dòng chảy bề mặt biển trong trường hợp có và không có đồng hóa dữ liệu

Đối với trường dòng chảy tầng mặt, khu vực ven biển từ Nghệ An đến Quảng Bình có sự khác biệt khá lớn về vận tốc dòng chảy. Trong thử nghiệm 1, vận tốc dòng chảy tầng mặt tại khu vực này dao động từ 0,4 - 0,5 m/s nhưng tại Thử nghiệm 2, sau khi đồng hóa, vận tốc dòng chảy khu vực này lên đến từ 0,7 - 0,9 m/s, thậm chí, khu vực ven biển Kỳ Anh, Hà Tĩnh, vận tốc dòng chảy có thể đạt tới trên 1 m/s. Kết quả này phù hợp với trường dòng chảy quan trắc từ hệ thống Radar biển được thể hiện trong Hình 5.

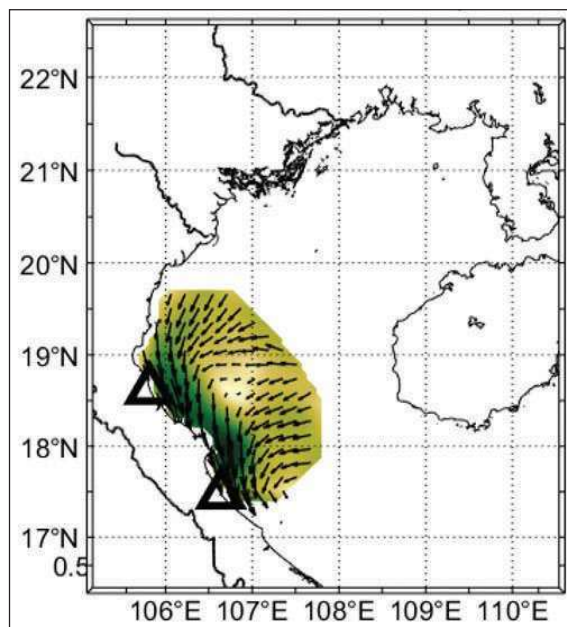
Để đánh giá hiệu quả của việc đồng hóa dữ liệu, chỉ số BIAS và RMSE được sử dụng trong so sánh giữa kết quả mô phỏng từ mô hình và dữ liệu quan trắc dòng chảy bằng Radar biển.

Kết quả thể hiện trong Hình 6 và Hình 7 cho thấy sai số BIAS của các thành phần vận tốc dòng chảy tầng mặt của Thử nghiệm 1 và Thử nghiệm 2. Trong đó, khi chưa đồng hóa, khu vực có sai số BIAS trên 0,1 m/s tập trung ở khu vực ven biển từ Nghệ An đến Quảng Bình và khu vực ngoài khơi Hà Tĩnh. Khu vực có sai số dưới -0,1 m/s tập trung ở khu vực ngoài khơi Thanh Hóa đến Nghệ An và khu vực ngoài khơi Quảng Bình. Sau khi đồng hóa, các khu vực có sai số BIAS trên 0,1 m/s

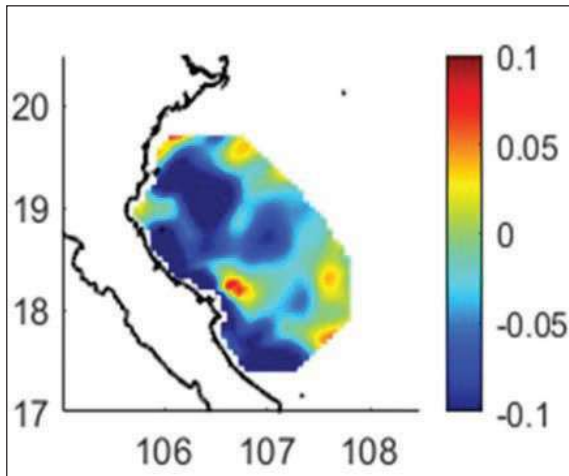
và dưới -0,1 m/s đã thu hẹp đáng kể, sai số BIAS trung bình ở khoản -0,05 đến + 0,05 m/s.

Kết quả thể hiện trong Hình 8 và Hình 9 cho thấy sai số RMSE của các thành phần vận tốc dòng chảy tầng mặt của hai trường hợp đồng hóa và không đồng hóa so với số liệu quan trắc bằng hệ thống Radar biển. Trong trường hợp chưa đồng hóa khu vực có sai số RMSE trên 0,2 m/s chiếm tỉ lệ lớn, trên 50%. Sau khi đồng hóa, các khu vực có sai số RMSE 0,2 m/s đã giảm rất nhiều, đặc biệt là khu vực biển từ Nghệ An đến Hà Tĩnh, sai số này chỉ dao động trong khoảng từ 0,1 đến 0,15 m/s.

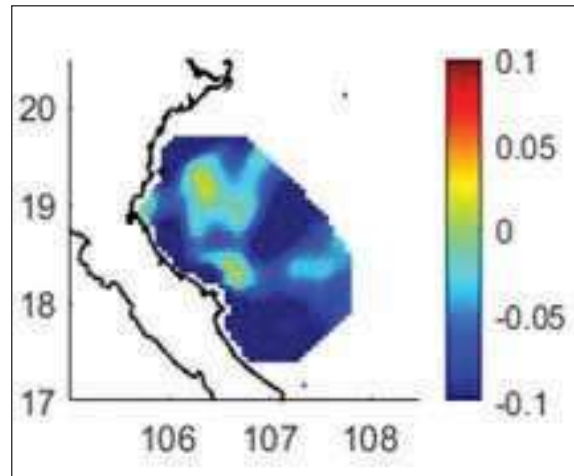
Kết quả thể hiện trong Hình 10 cho thấy, khi chưa đồng hóa, hệ số tương quan trung bình dưới 0,5, khu vực có hệ số tương quan cao nhất khoảng 0,8 nằm rải rác ở khu vực ven bờ biển Thanh Hóa và từ ven bờ Hà Tĩnh đến Quảng Bình, các khu vực khác có hệ số tương quan thấp, dưới 0,5. Sau khi đồng hóa, hầu hết các khu vực trong phạm vi có số liệu quan trắc bằng Radar biển có hệ số tương quan khoảng 0,5 trở lên. Trong đó, phạm vi có hệ số tương quan khoảng 0,7 đến dưới 1 chiếm tỉ lệ khá lớn trên 50%.



Hình 5. Trường dòng chảy tầng mặt quan trắc bằng Radar biển lúc 00 giờ ngày 11/10/2015

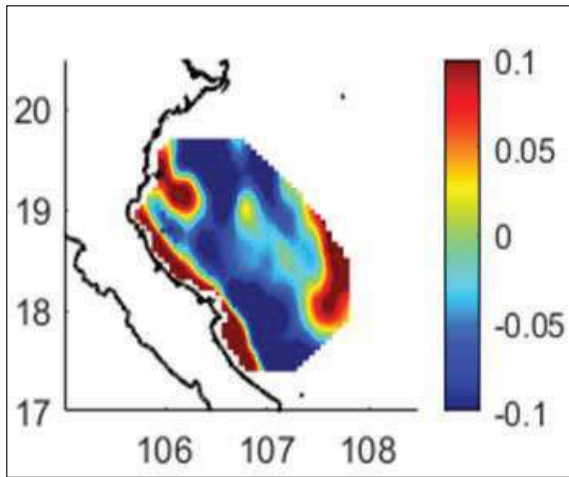


a) Thử nghiệm 1

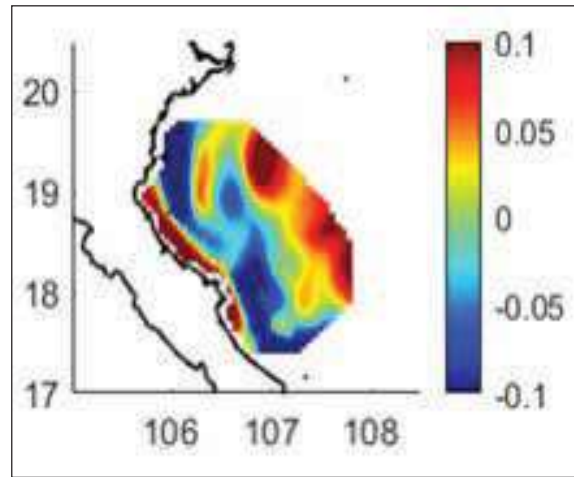


b) Thử nghiệm 2

Hình 6. So sánh chỉ số BIAS của dòng chảy bề mặt biển tính toán và thực đo (phương vĩ tuyến) trong trường hợp có và không có đồng hóa dữ liệu

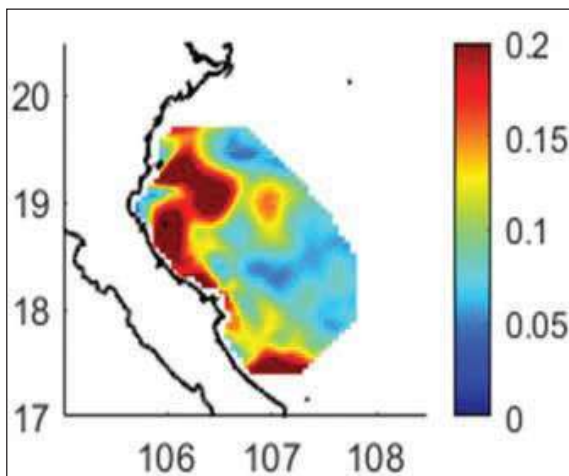


a) Thử nghiệm 1

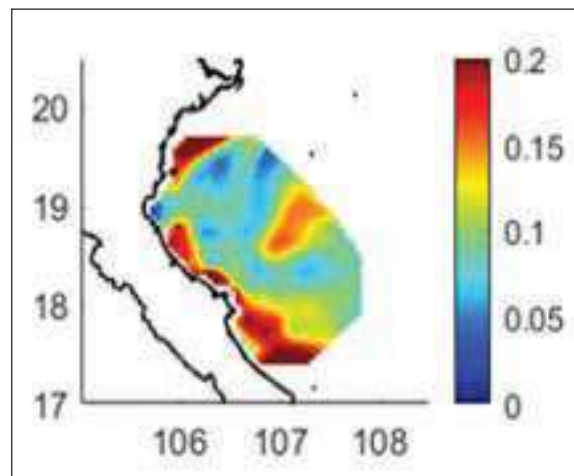


b) Thử nghiệm 2

Hình 7. So sánh chỉ số BIAS của dòng chảy bề mặt biển tính toán và thực đo (phương kinh tuyến) trong trường hợp có và không có đồng hóa dữ liệu

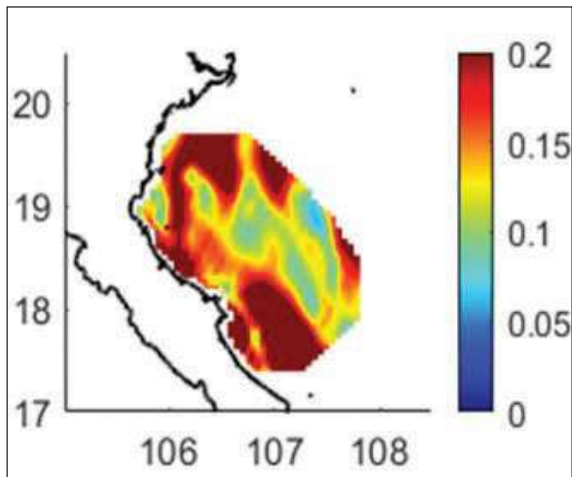


a) Thử nghiệm 1

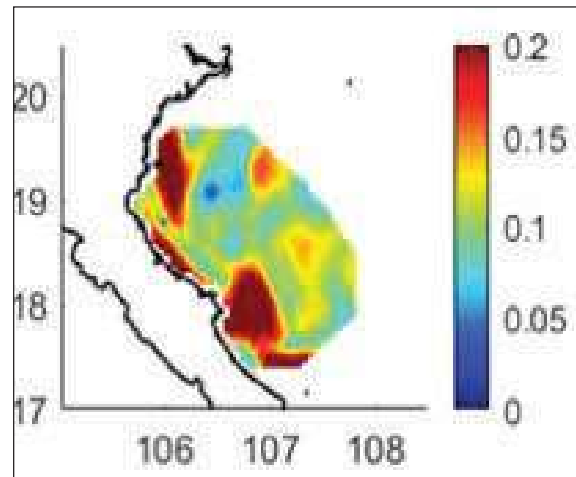


b) Thử nghiệm 2

Hình 8. So sánh chỉ số RMSE của dòng chảy bề mặt biển tính toán và thực đo (phương vĩ tuyến) trong trường hợp có và không có đồng hóa dữ liệu

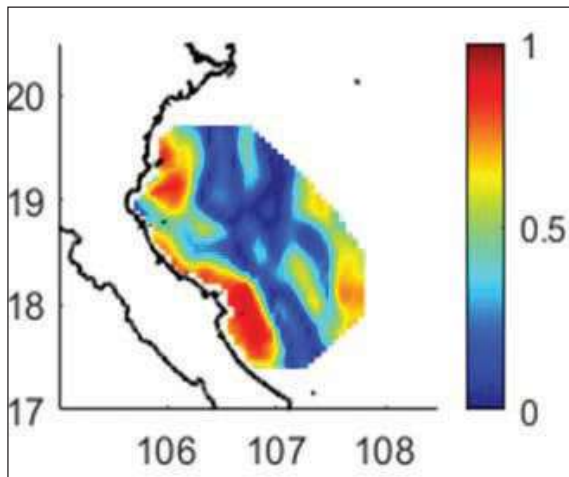


a) Thử nghiệm 1

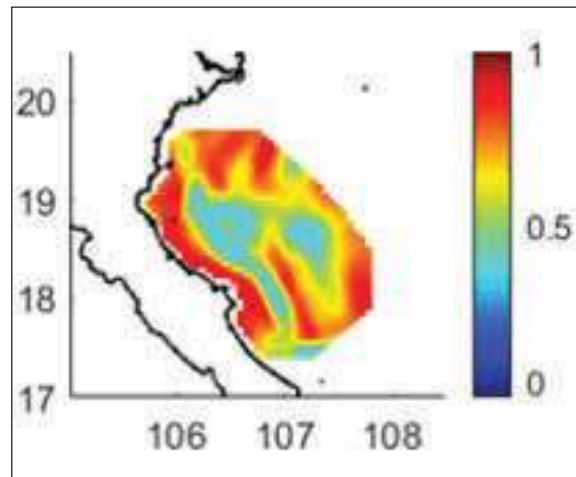


b) Thử nghiệm 2

Hình 9. So sánh chỉ số RMSE của dòng chảy bề mặt biển tính toán và thực đo (phương kinh tuyến) trong trường hợp có và không có đồng hóa dữ liệu



a) Thử nghiệm 1



b) Thử nghiệm 2

Hình 10. So sánh hệ số tương quan của vận tốc dòng chảy bề mặt biển tính toán và thực đo trong trường hợp có và không có đồng hóa dữ liệu

4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo đã sử dụng tham số đồng hóa 4D-Var của Moore và nnk [8] tại vùng biển Thái Bình Dương và lựa chọn cửa sổ đồng hóa 4 ngày để đồng hóa dữ liệu nhiệt độ bề mặt biển và cao độ bề mặt biển từ số liệu vệ tinh, trường dòng chảy bề mặt từ số liệu Radar biển trong mô hình ROMS cho khu vực Vịnh Bắc Bộ. Kết quả cho thấy, khi sử dụng đồng hóa dữ liệu cho thấy, việc mô phỏng trường nhiệt độ bề mặt nước biển và dòng chảy tại khu vực Vịnh Bắc Bộ cho thấy hiệu quả rõ rệt:

- Đối với trường nhiệt độ bề mặt nước biển, khi chưa đồng hóa, trường nhiệt độ bề mặt biển tồn tại những khu vực dị thường, không liên tục.

Khi sử dụng đồng hóa, sự phân bố nhiệt độ cho thấy sự liên tục và đồng nhất hơn.

- Đối với trường dòng chảy, khi chưa đồng hóa, vận tốc dòng chảy tại khu vực ven biển khu vực ven biển Hà Tĩnh, Quảng Bình phổ biến dao động từ 0,5 - 0,7 m/s; giá trị tuyệt đối của sai số BIAS của các thành phần vận tốc biến động với nhiều khu vực lớn hơn 0,1 m/s; giá trị của sai số RMSE của các thành phần vận tốc biến động với nhiều khu vực lớn hơn 0,2 m/s, hệ số tương quan giữa vận tốc dòng chảy tính toán và thực đo phổ biến < 0,5. Khi sử dụng đồng hóa, vận tốc dòng chảy tại khu vực ven biển khu vực ven biển Hà Tĩnh, Quảng Bình phổ biến dao động từ 0,7 - 0,9 m/s, tương đương với dữ liệu vận tốc dòng chảy quan trắc từ hệ thống Radar biển; giá

trị tuyệt đối của sai số BIAS của các thành phần vận tốc biến động giảm đi đáng kể, phổ biến nhỏ hơn 0,05 m/s; giá trị của sai số RMSE của các thành phần vận tốc biến động với nhiều khu vực lớn hơn phổ biến từ 0,1 đến 0,15 m/s, hệ số tương quan giữa vận tốc dòng chảy tính toán và thực đo phổ biến > 0,7.

Bài báo sử dụng các tham số đồng hóa của

Moore và nnk [8] xây dựng cho khu vực Đông Thái Bình Dương đã cho kết quả khá tích cực so với không đồng hóa. Tuy nhiên, để có thể có những kết luận rõ ràng hơn về hiệu quả của việc đồng hóa dữ liệu, các nghiên cứu sau cần thí nghiệm, xây dựng riêng các tham số đồng hóa phù hợp cho khu vực Biển Đông Việt Nam nói chung và Vịnh Bắc Bộ nói riêng.

Tài liệu tham khảo

Tài liệu tiếng Việt

1. Báo cáo kết quả thực hiện dự án (2016, 2017, 2018), “Điều tra, nghiên cứu ứng dụng các mô hình hải dương học để hiệu chỉnh số liệu radar biển (Radar HF) và dự báo sóng, dòng chảy ở Biển Đông và vùng biển phía Tây Vịnh Bắc Bộ”, Trung tâm Hải văn, Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam.
2. Nguyễn Kim Cương, “Nghiên cứu đồng hóa trường nhiệt mặt biển khu vực ven bờ miền Trung Việt Nam sử dụng mô hình ROMS”, *Tạp chí Khoa học Trái đất*.
3. Hoàng Đức Cường, Nguyễn Thị Thanh, Trần Thị Thảo (2012), “Nghiên cứu ứng dụng sơ đồ đồng hóa số liệu 3DVAR cho mô hình WRF nhằm dự báo quỹ đạo bão trên Biển Đông Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường”, *Hội thảo khoa học Quốc gia về Khí tượng Thủy văn, Môi trường và Biến đổi Khí hậu*.
4. Huỳnh Thị Hồng Ngự, La Thị Cang (2008), “Đồng hóa số liệu bằng phương pháp biến phân bốn chiều trong dự báo thời tiết bằng phương pháp số trị”, *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ*, tập 11, Số 12, 98 - 102.
5. Trần Tân Tiến, Nguyễn Thị Thanh (2011), “Đồng hóa dữ liệu vệ tinh modis trong mô hình WRF để dự báo mưa lớn ở khu vực Trung Bộ”, *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* 27, Số 3S, 90-95.
6. Nguyễn Trung Thành (2020), *Nghiên cứu ứng dụng phương pháp đồng hóa số liệu phục vụ mô hình dự báo sóng*, Luận án tiến sĩ, Trường đại học Khoa học Tự nhiên Hà Nội.
7. Vũ Văn Thăng, Trần Duy Thức, Nguyễn Quang Trung (2019), “Thử nghiệm đồng hóa số liệu bằng WRF 4D-var trong dự báo mưa ở khu vực nam bộ”, *Tạp chí Khí tượng thủy văn*, DOI:10.36335/VNJHM.2019(EME2).174-185.

Tài liệu tiếng Anh

8. Andrew M. Moore, Hernan G. Arango, Gregoire Broquet, Brian S. Powell, Anthony T. Weaver, Javier Zavala-Garay (2011), “The Regional Ocean Modeling System (ROMS) 4-dimensional variational data assimilation systems”, *journal homepage: www.elsevier.com/locate/pocean*.
9. Bennett, A.F., (2002), *Inverse Modeling of the Ocean and Atmosphere*, Cambridge University Press, Cambridge.
10. Di Lorenzo, E., Moore, A.M., Arango, H.G., Cornuelle, B.D., Miller, A.J., Powell, B., Chua, B.S., Bennett, A.F., (2007), “Weak and strong constraint data assimilation in the inverse Regional Ocean Modeling System (ROMS): development and application for a baroclinic coastal upwelling system”, *Ocean Modelling* 16, 160–187.
11. Daget, N., Weaver, A.T., Balmaseda, M.A., (2009), “Ensemble estimation of background error variances in a three-dimensional variational data assimilation system for the global ocean”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 135, 1071–1094.
12. Broquet, G., Moore, A.M., Arango, H.G., Edwards, C.A., Powell, B.S., (2009), “Ocean state and surface forcing correction using the ROMS-IS4DVAR data assimilation system”, *Mercator Ocean*

Quarterly Newsletter 34, 5-13.

13. Moore, A.M., Arango, H.G., Di Lorenzo, E., Cornuelle, B.D., Miller, A.J., Neilson, D.J., (2004), "A comprehensive ocean prediction and analysis system based on the tangent linear and adjoint of a regional ocean model", *Ocean Modelling* 7, 227-258.
14. Weaver, A.T., Deltel, C., Machu, E., Ricci, S., Daget, N., (2005), "A multivariate balance operator for variational ocean data assimilation", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 131, 3605-3625.
15. Kai H. Christensen (2013), *Assimilation of HF radar total current vectors in an idealised version of ROMS-4DVAR* in MET report no. 24/2013 Oceanography.
16. Ganesh Gopalakrishnan (2008), *Surface current observation using high frequency radar and its assimilation into the New York harbor observing and prediction system*, in a Dissertation Submitted to the Faculty of the Stevens Institute of Technology in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
17. Peng Yu, Alexander L. Kurapov, Gary D. Egbert, John S. Allen, P. Michael Kosro (2012), *Variational assimilation of HF radar surface currents in a coastal ocean model off Oregon*, elsevier.
18. Taekyun Kim, et al. (2018), "4DVAR data Assimilation with the Regional Ocean Modeling System (ROMS): Impact on the Water Mass Distributions in the Yellow Sea", *Ocean Science Journal*.
19. Oyvind Breivik, et al. (2001), "Real time assimilation of HF radar currents into a coastal ocean model", *Journal of Marine Systems*, PP 161-182.
20. <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/>
21. <https://www.aviso.altimetry.fr>
22. <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets>
23. <https://www.hycom.org/dataserver>

RESEACH ON THE DATA ASSIMILATION FROM HF RADAR AND SATELLITE DATA BASED ON THE REGIONAL OCEAN MODELING SYSTEM (ROMS)

Nguyen Thanh Trang⁽¹⁾, Pham Van Huan⁽²⁾, Tran Manh Cuong⁽¹⁾,
Vu Tien Thanh⁽¹⁾, Luu Quang Hai⁽¹⁾

⁽¹⁾Vietnam Administration of Seas and Islands

⁽²⁾VNU University of Science, Vietnam National University, Ha Noi

Received: 05/5/2021; Accepted: 28/5/2021

Abstract: *This study has conducted assimilation for a whole set of monitoring sea surface current from HF Radar, sea surface temperature and sea surface elevation from multiple satellites based on the Regional Ocean Modeling System (ROMS) 4-dimensional variational data assimilation (4D-VAR). Results reveal that the output of assimilation contributes to increasing the accuracy of simulation for surface elevation and sea surface currents in the Tonkin Gulf. During assimilating, the simulated velocity from Ha Tinh to Quang Binh coastal zones ranges 0.7 - 0.9 m/s commonly, equivalent to the marine flow radar data. The study also indicates that the difference of BIAS index and RMSE index between model and observation decreases significantly while its correlation coefficient increases considerably.*

Keywords: *Assimilation, Numerical Modeling, satellite data, HF Radar.*