

Bài báo khoa học

Ứng dụng mô hình ROMS mô phỏng trường dòng chảy khu vực vịnh Bắc Bộ

Nguyễn Thanh Trang^{1*}, Trần Hồng Lam¹, Trần Mạnh Cường¹, Nguyễn Anh Ngọc¹, Vũ Tiến Thành¹, Lưu Quang Hải¹

¹Trung tâm Hải văn, Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam; thanhtrang979@gmail.com, thlam@monre.gov.vn, trancuong205@gmail.com, henry150986@gmail.com, vutienthanh711@gmail.com, quanghai162@gmail.com

*Tác giả liên hệ: thanhtrang979@gmail.com; Tel.: +84-974238744

Ban Biên tập nhận bài: 6/8/2021; Ngày phản biện xong: 15/9/2021; Ngày đăng bài: 25/12/2021

Tóm tắt: Nghiên cứu trình bày kết quả mô phỏng và đánh giá trường dòng chảy khu vực vịnh Bắc Bộ dựa trên hệ thống hoàn lưu đại dương (ROMS) và kỹ thuật đồng hóa 4D-VAR từ nguồn số liệu Radar biển. Kết quả mô phỏng trường dòng chảy khu vực Vịnh Bắc Bộ cho thấy: 1) Vào thời kỳ gió mùa đông bắc thịnh hành, tồn tại hệ thống dòng chảy thịnh hành có vận tốc khá lớn (0,6 m/s) dọc theo ven bờ phía Tây đi ra cửa Vịnh, cùng với đó là sự tồn tại của xoáy nghịch ở khu vực cửa Vịnh và xoáy thuận tại khu vực Nam Vịnh Bắc Bộ; 2) Vào mùa hè, hệ thống dòng chảy ven biển phía Tây đi ra cửa Vịnh vẫn tồn tại nhưng có cường độ nhỏ hơn (0,3 m/s), khác với thời kỳ gió mùa đông bắc, chỉ khu vực Nam Vịnh Bắc Bộ xuất hiện xoáy thuận.

Từ khóa: 4D-VAR; Dòng chảy; Đồng hóa dữ liệu; Radar biển; ROMS; Vịnh Bắc Bộ.

1. Mở đầu

Trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu về trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ, trong đó, tập trung vào sử dụng phương pháp mô hình hóa đã đưa ra các nhận định, đánh giá. Các nghiên cứu về hoàn lưu vịnh Bắc Bộ đều cho thấy trong thời kỳ gió mùa đông bắc tạo ra một dòng chảy về hướng Nam ở tầng trên dọc theo ven bờ biển Việt Nam bù trừ với dòng chảy về hướng bắc ở phía đông vịnh dọc theo ven bờ đảo Hải Nam, tạo nên một xoáy thuận trên toàn bộ vịnh [1-5].

Tại Việt Nam có nhiều công trình nghiên cứu trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ thông qua các dữ liệu điều tra khảo sát hoặc bằng mô phỏng bằng mô hình số trị. Các nghiên cứu đều đưa ra một số đặc điểm chính của hoàn lưu trong vịnh Bắc Bộ là sự tồn tại trong cả năm của dòng chảy ven bờ tây vịnh và sự hiện diện của một xoáy nghịch trên vùng biển phía Bắc vịnh trong mùa hè [6-10]. Để có được những dữ liệu tin cậy trong việc nghiên cứu dòng chảy, ngoài phương pháp điều tra thực địa và sử dụng mô hình số trị, 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 [11-16].

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.

Ở Việt Nam, hệ thống Radar biển được đầu tư xây dựng từ năm 2011. Dữ liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển này có trường dòng chảy 2 chiều. Nghiên cứu [17] đã 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.

Nghiên cứu này sử dụng mô hình quy mô khu vực ROMS sau khi được kiểm nghiệm với số liệu thực đo và áp dụng kỹ thuật đồng hóa 4D-VAR trong đó sử dụng số liệu dòng chảy tầng mặt từ hệ thống Radar biển để mô phỏng, tái phân tích trường dòng chảy ba chiều khu vực vịnh Bắc Bộ trong thời gian 1 năm (năm 2015). Từ đó, thực hiện đánh giá và phân tích trường dòng chảy để đưa ra các nhận định về đặc điểm của bức tranh trường dòng chảy tại khu vực Vịnh Bắc Bộ trong 2 mùa gió đặc trưng là đông bắc và tây nam.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

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

ROMS là hệ thống 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 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 tài liệu [18].

2.2. Số liệu, dữ liệu

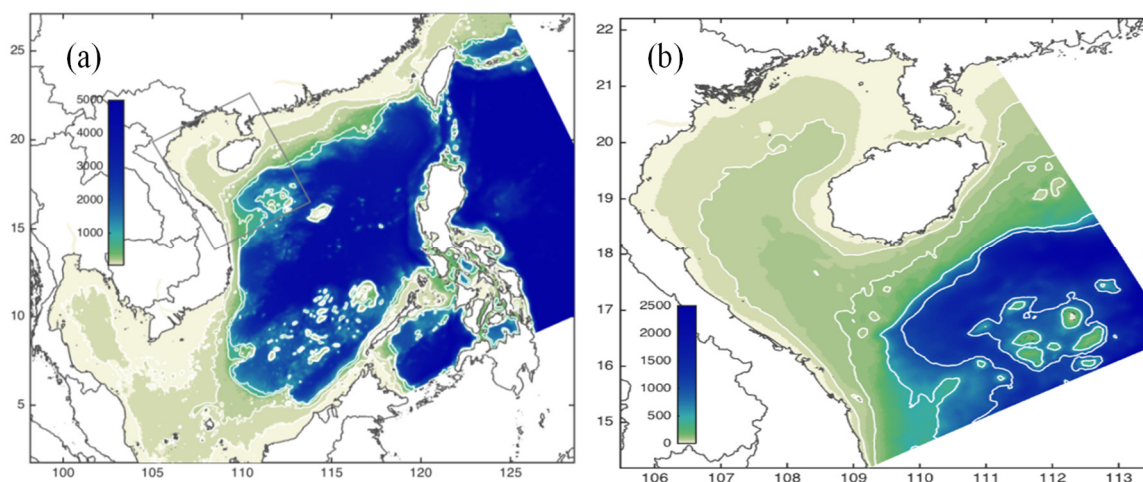
Dữ liệu địa hình khu vực vịnh Bắc Bộ, khu vực Biển Đông và lân cận được thu thập từ nguồn số liệu từ các bản đồ địa hình đáy biển bao gồm: 117 mảnh bản đồ tỷ lệ 1:50.000, 143 mảnh bản đồ tỷ lệ 1:5.000 do Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam kết hợp với số liệu ETOPO của NOAA với độ phân giải 1×1 phút [19].

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 [20], số liệu cao độ bề mặt biển được phân tích từ vệ tinh TOPEX/JASON từ AVISO với độ phân giải 0.125° [21–22]; 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 [23]; 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 [24]; 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 Bạc và Sông Cấm; Văn Úc; Sông Thái Bình; Sông Hồng từ năm 2000 đến 2018.

2.3. 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 7×7 km cho toàn khu vực biển Đông và chi tiết $2,3 \times 2,3$ km cho khu vực ven biển Vịnh Bắc Bộ (Hình 1).



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

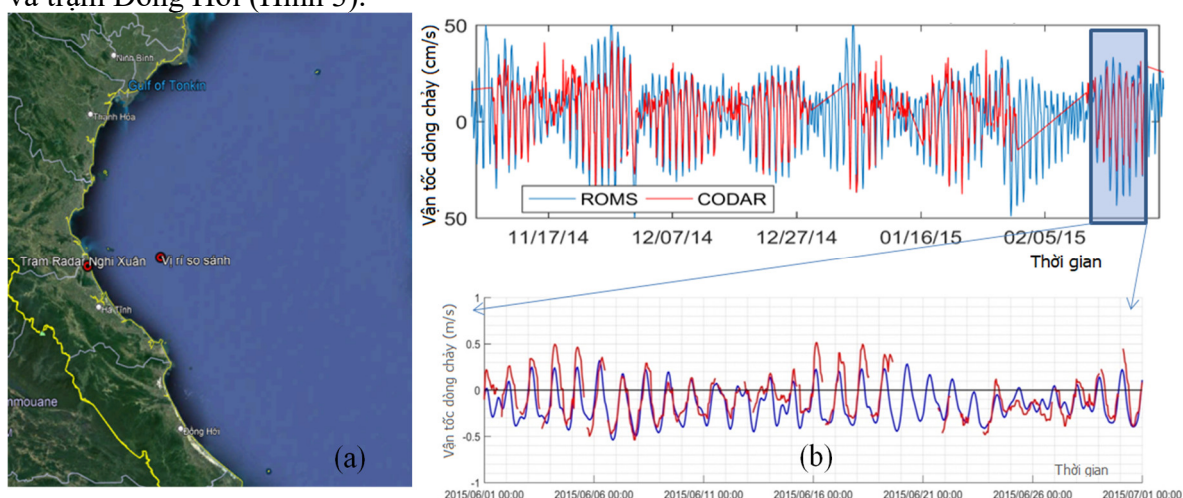
2.4. Điều kiện biên, điều kiện ban đầu

Điều kiện ban đầu và điều kiện biên lồng phía biển được thu thập từ HyCom với độ phân giải theo phương ngang xấp xỉ 9,2 km và 40 tầng chuẩn theo độ sâu, điều kiện biên lồng trong sông lưu lượng nước sông trung bình tháng tại các trạm thủy văn của 4 sông chính, 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.

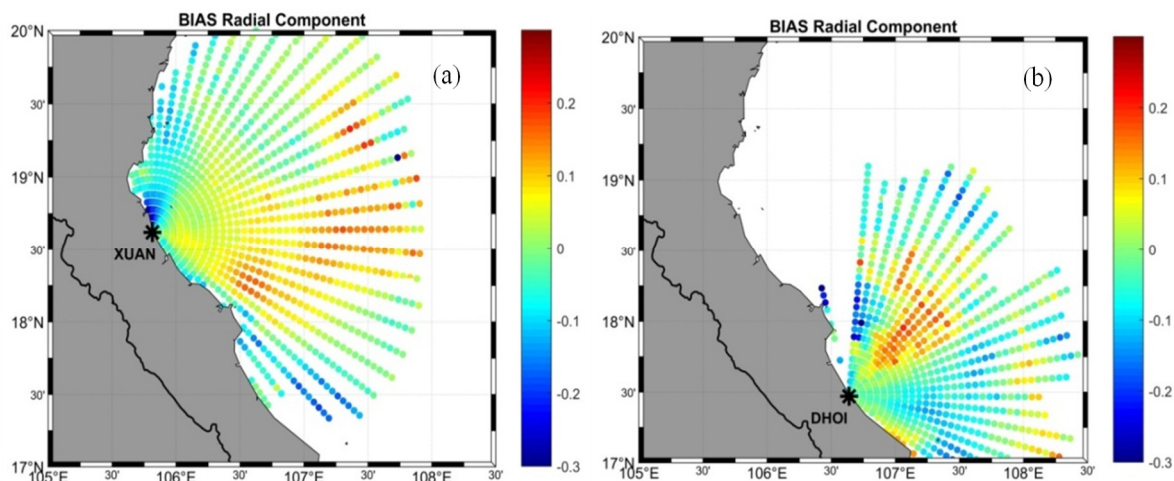
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kiểm nghiệm mô hình

Mô hình ROMS sau khi được đồng hóa, giá trị vận dòng chảy được trích xuất tại 1 điểm ở khu vực ngoài khơi trạm Radar Nghi Xuân để so sánh. Kết quả cho kết quả mô phỏng bằng mô hình có xu thế phù hợp với số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển (Hình 2). Ngoài ra, đánh giá độ chính xác của mô hình thông qua sai số trung bình (Bias) và sai số trung bình quân phương (RMSE) cho toàn khu vực có số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển. Kết quả hiệu chỉnh cho thấy, khu vực ven bờ từ Nghi Xuân đến Đồng Hới có sai số trung bình lớn nhất từ $-0,1$ đến $0,1$ m/s. Khi so sánh với vận tốc của từng trạm cho thấy sai số lớn nhất là khu vực ven bờ phía bắc của trạm Nghi Xuân và khu vực ngoài khơi ở giữa trạm Nghi Xuân và trạm Đồng Hới (Hình 3).

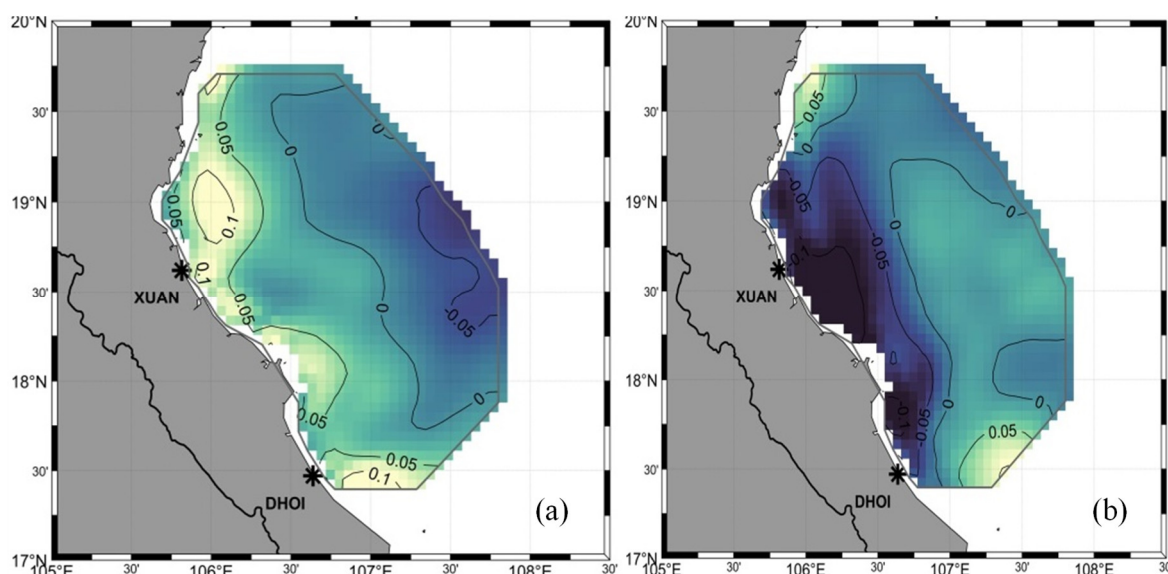


Hình 2. So sánh vận tốc dòng chảy giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển tại điểm ngoài khơi trạm Nghi Xuân tháng 12 năm 2014: (a) Vị trí điểm so sánh; (b) Thành phần vận tốc u.



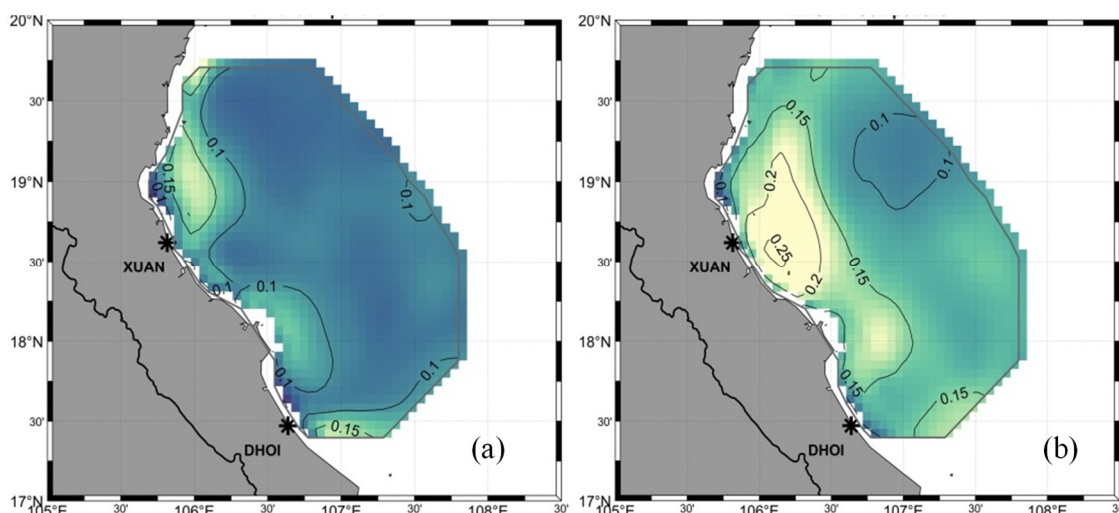
Hình 3. Sai số trung bình (BIAS) vận tốc dòng chảy giữa mô hình với số liệu quan trắc dòng chảy của từng trạm radar biển: (a) Trạm radar biển Nghi Xuân; (b) Trạm Radar biển Đồng Hới.

Đánh giá các chỉ số BIAS giữa số liệu quan trắc từ Radar biển và kết quả mô phỏng trên mặt rộng cho thấy, với thành phần vận tốc u , chỉ số BIAS dao động từ $-0,05$ đến $0,1$ m/s, khu vực có sai số lớn nhất là ngoài khơi vùng biển Nghi Xuân, trong khi với thành phần vận tốc v , chỉ số BIAS dao động từ 0 đến $0,1$ m/s, khu vực có sai số lớn nhất là ngoài khơi vùng biển Nghi Xuân (Hình 4).



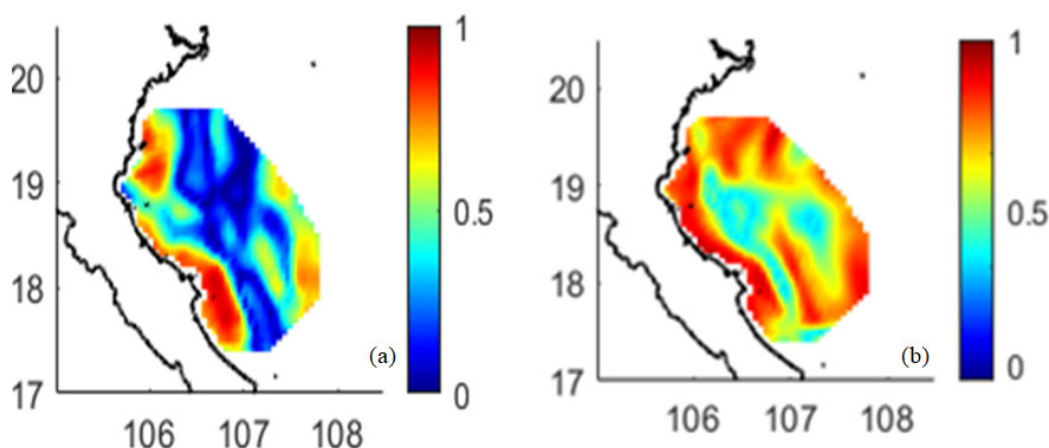
Hình 4. Sai số BIAS khi so sánh số liệu dòng chảy giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển: (a) Thành phần vận tốc u ; (b) Thành phần vận tốc v .

Đánh giá các chỉ số RMSE giữa số liệu quan trắc từ Radar biển và kết quả mô phỏng trên mặt rộng cho thấy, với thành phần vận tốc u , chỉ số RMSE dao động từ 0 đến $0,15$ m/s, khu vực có sai số lớn nhất là ngoài khơi vùng biển Nghi Xuân, trong khi với thành phần vận tốc v , chỉ số RMSE dao động từ 0 đến $0,25$ m/s, khu vực có sai số lớn nhất là ngoài khơi vùng biển Nghi Xuân (Hình 5).



Hình 5. Sai số RMSE khi so sánh số liệu dòng chảy giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển: (a) Thành phần vận tốc u ; (b) Thành phần vận tốc v .

Sau khi mô hình ROMS kết hợp với sơ đồ đồng hóa biến phân bốn chiều (4D-Var) kết quả tái phân tích trường dòng chảy tầng mặt so với số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển có sự phù hợp hơn khi so sánh với số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển thông quan hệ tổ tương quan (Hình 6). Kết quả đánh giá dựa trên hai chỉ số BIAS và RMSE cho thấy hiệu quả của việc đồng hóa dữ liệu đã tăng độ chính xác lên rõ rệt về định lượng. Với các đánh giá trên, Mô hình ROMS được kết hợp với sơ đồ đồng hóa 4D-Var được sử dụng để mô phỏng, phân tích các đặc điểm trường dòng chảy tại khu vực Vịnh Bắc Bộ.



Hình 6. Hệ số tương quan giữa số liệu dòng chảy tầng mặt quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán: (a) Chưa đồng hóa; (b) Sau khi đồng hóa.

3.2. Phân tích, đánh giá trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ

Điều kiện biên khí tượng với các thông số về ứng suất gió, thông lượng nhiệt bề mặt, bức xạ mặt trời là sản phẩm tái phân tích của mô hình ERA của ECMWF trong năm 2015. Mô hình ROMS mô phỏng cho cả năm và được lấy trung bình cho từng tháng để phân tích, đánh giá các đặc trưng trường dòng chảy tại khu vực Vịnh Bắc Bộ.

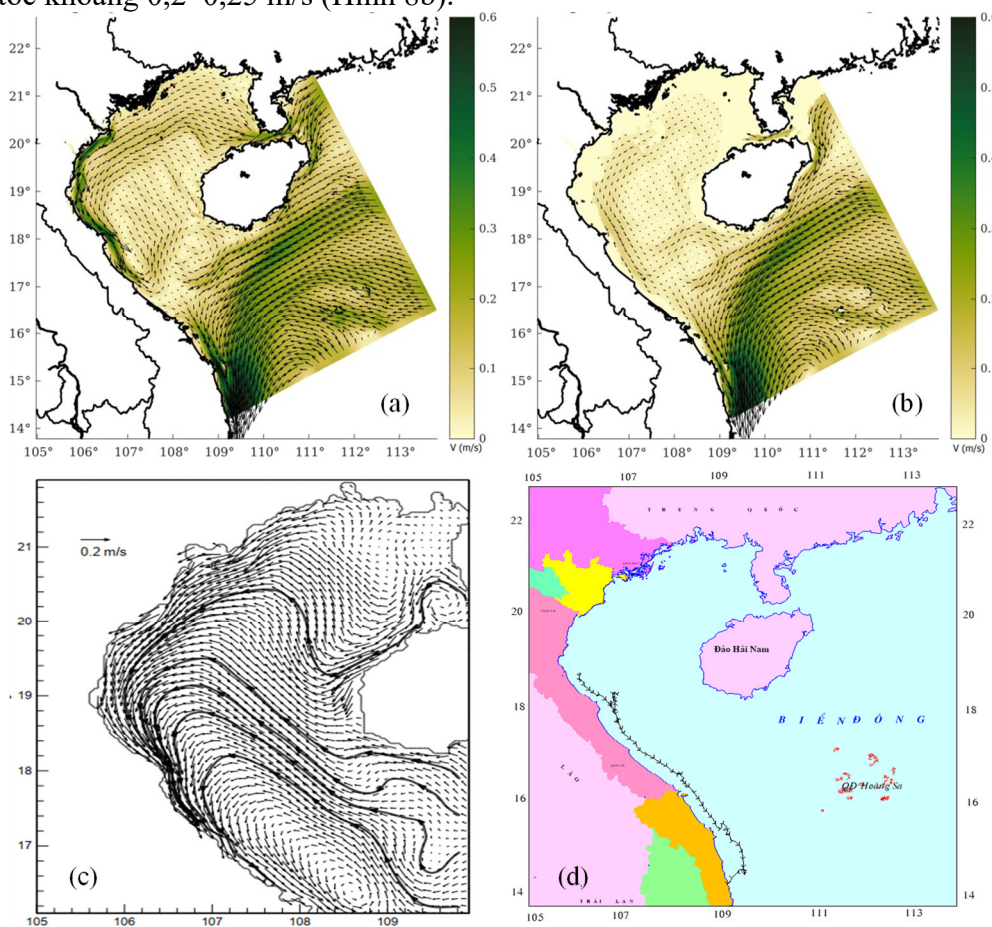
Trong thời kỳ gió mùa đông bắc thịnh hành (tháng 1), tại tầng mặt, khu vực Vịnh Bắc Bộ luôn tồn tại một hệ thống dòng chảy có vận tốc khá lớn, khoảng xấp xỉ 0,6 m/s dọc theo ven bờ biển phía Tây của vịnh Bắc Bộ và đi ra ngoài cửa vịnh, nhập vào dòng hoàn lưu lạnh phía tây của Biển Đông. Đây cũng là một trong những đặc điểm điển hình của dòng chảy vịnh Bắc Bộ trong thời kỳ gió mùa đông bắc tương tự như các nghiên cứu trước đây [25-31], cũng như quỹ đạo trôi của phao được thả trong tháng 2 năm 2017 (Hình 7d). Tại khu vực cửa Vịnh Bắc

Bộ, tồn tại một xoáy nghịch với quy mô không gian khoảng 150 km với vận tốc khoảng 0,3 m/s. Bên cạnh đó, tại khu vực giữa Vịnh Bắc Bộ, tồn tại một xoáy thuận với quy mô không gian khoảng 200–250 km với vận tốc khoảng 0,3 m/s (Hình 7a).

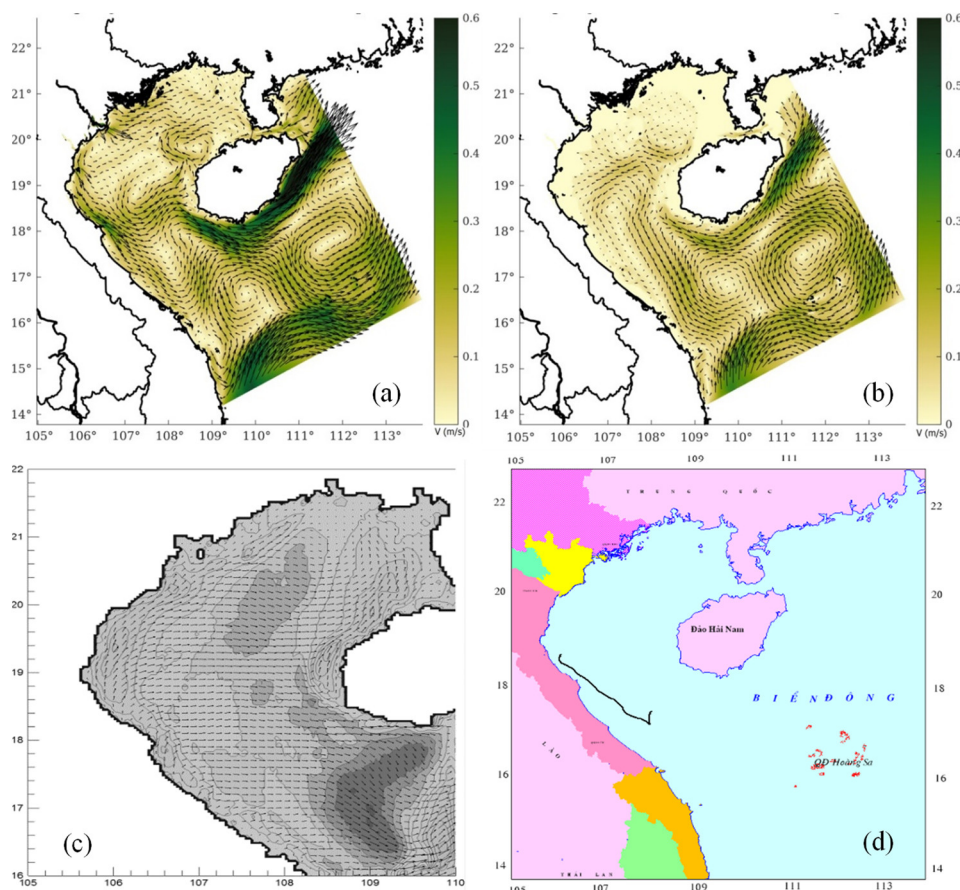
Tại tầng giữa (độ sâu 30 m), hệ thống dòng chảy ven bờ vẫn tồn tại nhưng với quy mô nhỏ hơn rất nhiều và vận tốc dòng chảy tại khu vực ven bờ khá nhỏ (dưới 0,2 m/s). Tại khu vực cửa Vịnh Bắc Bộ, tồn tại một xoáy nghịch với quy mô không gian như đối với tầng mặt nhưng với vận tốc nhỏ hơn, khoảng 0,1–0,15 m/s. Tại khu vực Nam Vịnh Bắc Bộ, vẫn tồn tại một xoáy thuận nhưng quy mô nhỏ hơn so với tầng mặt, đường kính khoảng 200 km và vận tốc khoảng 0,1–0,15 m/s (Hình 7b).

Trong thời kỳ gió mùa tây nam thịnh hành (tháng 7), tại tầng mặt, cũng giống như thời kỳ gió mùa đông bắc, luôn tồn tại một hệ thống dòng chảy ven bờ theo hướng từ Bắc xuống Nam nhưng với vận tốc nhỏ hơn (khoảng 0,3 m/s) và phạm vi xuất hiện chỉ từ khu vực ven biển từ Hà Tĩnh đến Đà Nẵng, đặc điểm này phù hợp với nghiên cứu của [25] và được minh chứng theo quỹ đạo trôi của phao được thả vào tháng 7 năm 2017 [26]. Tại vị trí tây cửa Vịnh Bắc Bộ hình thành hệ thống dòng chảy mạnh với vận tốc khoảng 0,6 m/s di chuyển về phía nam đảo Hải Nam và men theo đảo để đi lên phía bắc biển Đông. Cũng do hệ thống dòng chảy này, tại cửa Vịnh Bắc Bộ tồn tại một xoáy nghịch quy mô không gian khoảng 250 km với vận tốc khoảng 0,3–0,35 m/s (Hình 8a).

Tại tầng giữa (độ sâu 30 m), khác với tầng mặt, hệ thống dòng chảy ven bờ thể hiện không rõ ràng và vận tốc dòng chảy tại khu vực ven bờ khá nhỏ (dưới 0,1 m/s). Tuy nhiên, cũng giống tầng mặt, tại vị trí tây cửa Vịnh Bắc Bộ vẫn tồn tại hệ thống dòng chảy nhưng với quy mô nhỏ hơn tầng mặt, vận tốc dòng chảy lớn nhất khoảng 0,3 m/s. Xoáy nghịch của Vịnh Bắc Bộ ở tầng này cũng nhỏ hơn so với tầng mặt với quy mô không gian khoảng 200 km với vận tốc khoảng 0,2–0,25 m/s (Hình 8b).



Hình 7. Trường dòng chảy trung bình tháng 1 vùng biển vịnh Bắc Bộ: (a) Tầng mặt; (b) Tầng 30 mét; (c) Dòng chảy tầng mặt theo [25]; (d) Quỹ đạo phao trôi tháng 2 năm 2017 [26].



Hình 8. Trường dòng chảy trung bình tháng 7 vùng biển vịnh Bắc Bộ: (a) Tầng mặt; (b) Tầng 30 mét; (c) Dòng chảy tầng mặt theo [27]; (d) Quỹ đạo phao trôi thả tháng 7 năm 2017 [26].

4. Kết luận

Mô hình ROMS là công cụ đáp ứng được yêu cầu trong việc đánh giá chế độ dòng chảy theo các quy mô khác nhau. Kết quả tái phân tích trường dòng chảy 3 chiều với độ phân giải ngang ($2,3 \times 2,3$ km) với 40 lớp theo phương thẳng đứng cho thấy, khu vực ven biển từ Thanh Hóa đến Đà Nẵng luôn tồn tại dòng chảy ven bờ, tuy nhiên vận tốc và quy mô của dòng chảy phụ thuộc theo mùa. Trong các tháng mùa đông, hệ thống dòng chảy này đạt vận tốc lớn nhất khoảng 0,6 m/s và phạm vi mở rộng lên phía bắc có thể tới khu vực ven biển Hải Phòng. Trong các tháng còn lại dòng chảy ven biển bị thu hẹp về phạm vi chỉ còn thể hiện rõ từ khu vực ven biển từ Hà Tĩnh đến Đà Nẵng và vận tốc nhỏ hơn so với các tháng mùa đông và nhỏ nhất trong các tháng mùa hè, vận tốc trung bình khoảng 0,3 m/s.

Khu vực cửa vịnh Bắc Bộ luôn tồn tại một xoáy nghịch, tâm của xoáy nghịch này trong các tháng gió mùa đông bắc bị đẩy lùi vào khu vực nửa phía nam vịnh và có quy mô không gian khoảng 150 km, vận tốc khoảng 0,3 m/s. Trong các tháng gió mùa tây nam, tâm của xoáy nghịch này bị đẩy ra biên ngoài cửa vịnh, quy mô không gian 250 km với vận tốc khoảng 0,3–0,35 m/s.

Khu vực giữa Vịnh Bắc Bộ tồn tại một xoáy thuận, hoạt động của xoáy thuận này cũng thay đổi theo các mùa gió trong năm. Trong gió mùa đông bắc, xoáy thuận này có quy mô lớn, đường kính khoảng 200–250 km, vận tốc dòng chảy khoảng 0,3 m/s. Trong gió mùa tây nam, quy mô của xoáy thuận này giảm mạnh, đường kính khoảng 150 km và tâm của xoáy thuận có xu thế dịch chuyển lên phía bắc vịnh Bắc Bộ.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.T., T.H.L.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.T.T., T.H.L., T.M.C., N.N.T.; Xử lý số liệu: L.Q.H., N.A.N.; Mô hình hóa: T.M.C.; V.T.T., Phân tích kết quả: N.T.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.T., T.H.L.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự giúp đỡ, hỗ trợ của Đề tài cấp bộ Mã số TNMT.2021.02.02.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Xu, X.; Qui, Z.; Chen, H. Summary of the horizontal circumcurrent, 1980.
2. Zhuang, M. et al. The winds, waves and currents in the northern South China Sea (in Chinese with English abstract). Report of the Team of Comprehensive Research, Headquarters of South China Sea Geology Investigation, Department of Geology, Guangzhou, 1981.
3. Yu, M.G.; Liu, J.Z. Current system and circulation pattern in the South China Sea. *Marine Forecasts* **1993**, *B10*(2), 13–17.
4. Yuan, S.; Deng, J. A numerical study on circulation in the Beibu Gulf (in Chinese with English abstract). *Deep-Sea Res. I* **1999**, *B12*(2), 41–46.
5. Shaw, P.T.; Chao, S.Y. Surface circulation in the South China Sea. *Deep-Sea Res. I* **1994**, *B40*(11/12), 1663–1683.
6. Hương, H.T. Biến động cấu trúc hoàn lưu Vịnh Bắc Bộ. *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội* **2013**, *29*(1S), 80–88.
7. Chung, T.V.; Long, B.H. Một số kết quả tính toán dòng chảy trong vịnh Bắc Bộ bằng mô hình ba chiều phi tuyến. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2015**, *15*(4), 320–333.
8. Màu, L.Đ.; Thịnh, N.Đ.; Tuấn, N.V.; Công, N.C.; Hoàn, P.S.; Hội, N.T.T.; Anh, V.T.; Dung, N.T.T. Đặc điểm dòng chảy ven bờ Bắc Trung Bộ thời kỳ 4/2016. *Tạp chí Khoa học Công nghệ biển* **2017**, *4*(T.17), 7–15.
9. Cường, T.M.; Cương, N.K. Chế độ dòng chảy tầng mặt khu vực Vịnh Bắc Bộ dựa trên số liệu thu thập bằng radar biển, *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN – Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2016**, *32*(3S), 26–33.
10. Cuong, T.M.; Alexei, S.; Cuong, N.K. Seasonal variability of surface currents in the Gulf Of Tonkin derived from HF radar observations. *Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)* **2021**, 12–14.
11. Kai, H. Christensen. Assimilation of HF radar total current vectors in an idealised version of ROMS–4DVAR. *Int. MET report Oceanography*, **2013**, No. 24/2013.
12. Ganesh, G. Surface current observation using high frequency radar and its assimilation into the New York harbor observing and prediction system. *Dissertation Submitted to the Faculty of the Stevens Institute of Technology in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy* **2008**.
13. Yu, P.; Alexander, L.K.; Gary, D.E.; John, S.A.; Michael, P.K. Variational assimilation of HF radar surface currents in a coastal ocean model off Oregon. *Ocean Modell.* **2012**, *49–50*, 86–104.
14. Taekyun, K. 4DVAR data Assimilation with the Regional Ocean Modeling System (ROMS): Impact on the Water Mass Distributions in the Yellow Sea. *Ocean Sci. J.* **2018**, *53*, 165–178.

15. Oyvind, B. Real time assimilation of HF radar currents into a coastal ocean model. *J. Mar. Syst.* **2001**, 28(3–4), 161–182.
16. Thành, N.T. Nghiên cứu ứng dụng phương pháp đồng hoá số liệu phục vụ mô hình dự báo sóng. Luận án tiến sỹ, Trường đại học Khoa học Tự nhiên Hà Nội, 2020.
17. Trang, N.T.; Huân, P.V.; Cường, T.M.; Thành, V.T.; Hải, L.Q. 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. *Tạp chí Khoa học Biển đổi khí hậu* **2021**, 18(6), 35–44.
18. Technical Manual for a Coupled Sea–Ice/Ocean Circulation Model (Version 5). OCS Study BOEM 2016–037, U.S. Department of the Interior Bureau of Ocean Energy Management Alaska OCS Region Anchorage, Alaska Cooperative Agreement No. M15AC00011.
19. Daget, N.; Weaver, A.T.; Balmaseda, M.A. Ensemble estimation of background error variances in a three–dimensional variational data assimilation system for the global ocean. *Q. J. R. Meteorolog. Soc.* **2009**, 135, 1071–1094.
20. Andrew, M.M.; Hernan, G.A.; Gregoire, B.; Brian, S.P.; Anthony, T.W.; Zavala–Garay, J. The Regional Ocean Modeling System (ROMS) 4–dimensional variational data assimilation systems. *Prog. Oceanogr.* **2011**, 91(1), 34–49.
21. <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/>
22. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>
23. <https://resources.marine.copernicus.eu>
24. <https://www.aviso.altimetry.fr>
25. <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets>
26. <https://www.hycom.org/dataserver>
27. Hương, H.T. Nghiên cứu chế độ thủy văn và hoàn lưu vịnh bắc bộ. Luận án Tiến sỹ, Trường đại học Khoa học Tự nhiên Hà nội, **2017**.
28. Ưu, Đ.V. Nghiên cứu cấu trúc ba chiều (3D) thủy nhiệt động lực học Biển Đông và ứng dụng của chúng. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN-06-02, **2000**.
29. Trung tâm Hải văn. Báo cáo Khoa học kết quả thực hiện dự án hợp tác Việt – Mỹ: 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, 2016, 2017, 2018.
30. Cuong, T.M.; Alexei, S.; Cuong, N.K. Multi–scale variability of circulation in the Gulf of Tonkin from remote sensing of surface currents by High–Frequency radars. *Ocean Dyn.* **2021**, 71, 175–194.
31. Ưu, Đ.V.; Cương, N.K.; Hương, H.T.; Minh, N.N. Nghiên cứu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu lên trường dòng chảy lớp mặt Biển Đông. *Tạp chí ĐHQG HN: Khoa học Tự nhiên và công nghệ* **2015**, 31(3S), 269.
32. Nhà xuất bản Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam. Atlas Quốc gia Việt Nam, Hà Nội, 1999.
33. Manh, D.V.; Yanagi, T. A study on residual flow in the Gulf of Tongking. *J. Oceanogr.* **2000**, 56, 59–68.

Using Regional Ocean Modelling System (ROMS) to reproduce flow field in Tonkin Gulf

Nguyen Thanh Trang^{1*}, Tran Hong Lam¹, Tran Manh Cuong¹, Nguyen Anh Ngoc¹, Vu Tien Thanh¹, Luu Quang Hai¹

¹Center for Oceanography, VietNam Administration of Sea and Island;
thanhtrang979@gmail.com, thlam@monre.gov.vn, trancuong205@gmail.com,
henry150986@gmail.com, vutienthanh711@gmail.com, quanghai162@gmail.com

Abstract: This paper presents the characteristics of flow field in Tonkin Gulf assimilated by Regional Ocean Modelling System (ROMS) and 4-dimensional variational data assimilation (4D-Var) for observational radar HF data. The reproduction has revealed that there are a strong current system (0.6 m/s) along the western coast to the mouth of Tonkin Gulf and a pair of anticyclone (at the Tonkin Gulf's mouth) and cyclone (at southern of Tonkin Gulf's mouth) during the prevailing Northeast monsoon; In summer, flow field along western coast to the mouth still exists but less powerful (0.3 m/s) beside the survival of cyclone at southern of Tonkin Gulf's mouth.

Keywords: 4D-VAR; Current; Assimilation data; Radar HF; ROMS; Tonkin Gulf.