

BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG
VIỆN KHOA HỌC
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU



Nguyễn Thanh Trang

NGHIÊN CỨU TRƯỜNG DÒNG CHẢY VỊNH BẮC BỘ SỬ
DỤNG DỮ LIỆU QUAN TRẮC TỪ HỆ THỐNG RADAR BIỂN
VÀ ĐỒNG HÓA TRONG MÔ HÌNH SỐ TRỊ

Ngành: Hải dương học

Mã số: 9440228

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ HẢI DƯƠNG HỌC

Hà Nội, 2022

Công trình được hoàn thành tại:

Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS. Phạm Văn Huân

2. TS. Trần Hồng Lam

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp Viện
hợp tại: Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu

Vào hồi giờ ngày tháng năm

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Đề nghiên cứu dòng chảy vịnh Bắc Bộ, đã có nhiều công trình khoa học thực hiện từ những năm 60 trong các chương trình hợp tác với Trung Quốc và những năm 90 hợp tác với Liên Xô và sau đó là các chương trình, dự án, đề tài nghiên cứu cho đến nay. Để có được các nhận định về dòng chảy vịnh Bắc Bộ, các công trình nghiên cứu trước đây dựa trên 2 phương pháp chính. Phương pháp thứ nhất: sử dụng số liệu điều tra khảo sát để đánh giá đặc điểm của dòng chảy, tuy nhiên phương án này đòi hỏi kinh phí lớn, ngoài ra, các số liệu điều tra khảo sát mang tính rời rạc, không thống nhất về thời gian cũng như hạn chế về số lượng mẫu quan trắc. Phương pháp thứ 2 là sử dụng mô hình số trị để tính toán, mô phỏng trường dòng chảy 2 chiều và 3 chiều để đánh giá mô phỏng bức tranh về hoàn lưu và cấu trúc nhiệt độ và độ muối chi tiết cho khu vực nghiên cứu. Đối với phương pháp này sẽ có được bức tranh tổng thể về trường dòng chảy 2 chiều hoặc 3 chiều với độ phân giải cao cũng như có thể tính toán trong thời gian dài. Tuy nhiên, hạn chế của phương pháp này chính là có sự sai số nhất định phụ thuộc vào các điều kiện đầu vào cũng như việc tham số hóa trong mô hình.

Trong các quy trình tính toán, đặc biệt là mô phỏng, phân tích các biến động lực trên thế giới đã sử dụng phương pháp đồng hóa dữ liệu mang lại kết quả khả quan. Bên cạnh đó, hiện nay tại Việt Nam, hệ thống Radar biển được đầu tư xây dựng bao gồm xây dựng 03 trạm quan trắc Radar biển HF ở vịnh Bắc Bộ và đi vào hoạt động từ năm 2011 đến nay. Hệ thống Radar biển đang vận hành với chế độ thu dữ liệu 1 giờ/ lần quan trắc. Phạm vi quan trắc dòng chảy lớn nhất là 300 km với bước lưới không gian là 5.825 km, tần số phát 4.65 Mhz. Các dữ liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển này bao gồm số liệu trường dòng chảy 2 chiều và số liệu quan trắc sóng trong phạm vi hoạt động

của Radar và được cập nhật tự động liên tục về trạm trung tâm thông qua đường truyền internet. Mặt khác, chưa có công trình nào nghiên cứu về trường dòng chảy sử dụng phương pháp đồng hóa số liệu và mô hình số trị khu vực Biển Đông nói chung và vùng biển vịnh Bắc Bộ nói riêng. Xuất phát từ các lý do trên, việc lựa chọn **“Nghiên cứu trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ sử dụng dữ liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển và đồng hóa trong mô hình số trị”** có tính cấp thiết về mặt khoa học cũng như thực tiễn. Mục tiêu nghiên cứu

- Ứng dụng được kỹ thuật đồng hóa dòng chảy quan trắc từ Radar biển vào mô hình ROMS;

- Phân tích được các chế độ dòng chảy vùng biển vịnh Bắc Bộ trên cơ sở dữ liệu quan trắc từ Radar biển và đồng hóa vào mô hình ROMS.

3. Nội dung nghiên cứu

- Tổng quan các nghiên cứu về trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ, các nghiên cứu về phương pháp đồng hóa dữ liệu;

- Thu thập, phân tích, đánh giá các tài liệu: số liệu quan trắc dòng chảy bằng hệ thống Radar biển; số liệu quan trắc nhiệt độ nước biển bề mặt, mực nước phân tích từ ảnh vệ tinh; số liệu địa hình, đường bờ; khí tượng, hải văn và các tài liệu có liên quan đến đề tài;

- Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật đồng hóa để đồng hóa dữ liệu quan trắc dòng chảy từ hệ thống Radar biển, số liệu quan trắc nhiệt độ nước biển bề mặt, mực nước phân tích từ ảnh vệ tinh vào mô hình ROMS;

- Mô phỏng trường dòng chảy 3D bằng mô hình ROMS có sử dụng đồng hóa dữ liệu quan trắc dòng chảy từ hệ thống Radar biển, số liệu quan trắc nhiệt độ nước biển bề mặt, mực nước phân tích từ ảnh vệ tinh.

- Đánh giá trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ dựa trên kết quả phân tích, mô phỏng từ dữ liệu tái phân tích từ mô hình ROMS và dữ liệu quan trắc viễn thám.

4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- **Phạm vi không gian:** vùng biển vịnh Bắc Bộ.

- **Đối tượng nghiên cứu:** trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ dựa trên số liệu Radar biển được đồng hóa trong mô hình ROMS

5. Phương pháp nghiên cứu

Để đạt được mục tiêu và nội dung nghiên cứu, luận án đã sử dụng tổng hợp các phương pháp nghiên cứu hiện đại, bao gồm:

- Phương pháp mô hình toán;
- Phương pháp đồng hóa dữ liệu;
- Phương pháp phân tích thống kê.

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

- **Ý nghĩa khoa học:** Ứng dụng kỹ thuật đồng hóa dữ liệu dòng chảy từ hệ thống Radar biển Việt Nam.

- **Ý nghĩa thực tiễn:** Nâng cao hiệu quả trong việc khai thác và sử dụng dữ liệu dòng chảy quan trắc từ Radar biển. Số liệu tái phân tích dòng chảy biển có ý nghĩa quan trọng trong nghiên cứu các đặc trưng thủy động lực học vùng biển vịnh Bắc Bộ phục vụ phát triển kinh tế - xã hội, quốc phòng - an ninh và phòng chống thiên tai, bảo vệ môi trường biển.

7. Luận điểm bảo vệ

- **Luận điểm 1:** Số liệu tái phân tích dòng chảy khu vực vịnh Bắc Bộ có độ tin cậy cao hơn khi áp dụng kỹ thuật đồng hóa 4D-Var và mô hình ROMS sử dụng số liệu Radar biển Việt Nam.

- **Luận điểm 2:** Dữ liệu tái phân tích trường dòng chảy từ mô hình số trị sau khi được đồng hóa số liệu quan trắc dòng chảy từ Radar biển sẽ đưa ra các đánh giá chi tiết và khách quan hơn về đặc điểm trường dòng chảy 3 chiều vùng biển vịnh Bắc Bộ.

8. Các đóng góp mới của luận án

- Sử dụng kỹ thuật đồng hóa 4D-Var và mô hình ROMS để nâng cao hiệu quả sử dụng số liệu Radar biển Việt Nam và cải thiện độ tin cậy của kết quả tái phân tích dòng chảy khu vực vịnh Bắc Bộ

- Đã đánh giá đặc điểm chi tiết trường dòng chảy tái phân tích 3

chiều trung bình tháng theo không gian khu vực vịnh Bắc Bộ

9. Bố cục của luận án

Ngoài các phần mở đầu; kết luận và kiến nghị; tài liệu tham khảo, luận án bao gồm 3 chương:

Chương 1. Tổng quan tình hình nghiên cứu về dòng chảy và đồng hóa dữ liệu.

Chương 2. Phương pháp, quy trình thực hiện và số liệu sử dụng

Chương 3. Nghiên cứu trường dòng chảy vịnh bắc bộ sử dụng số liệu Radar biển được đồng hóa trong mô hình ROMS.

Chương 1. Tổng quan tình hình nghiên cứu về dòng chảy và đồng hóa dữ liệu

1.1. Tổng quan các nghiên cứu về đồng hóa dữ liệu

1.1.1. Các nghiên cứu trên thế giới

Có nhiều công trình nghiên cứu về đồng hóa dữ liệu trên thế giới, trong đó việc sử dụng số liệu quan trắc dòng chảy từ hệ thống Radar biển được nhiều nhà khoa học quan tâm khi áp dụng sơ đồ đồng hóa 3D-Var, 4D-Var và lọc Kalman kết hợp với mô hình POM và mô hình ROMS để tái phân tích các yếu tố hải dương học cho các khu vực biển. Một số công trình đã được áp dụng vào thực tiễn trong việc dự báo và giám sát trường dòng chảy biển.

1.1.2. Các nghiên cứu trong nước

Đồng hóa trong nước còn nhiều hạn chế, nguyên nhân chủ yếu hệ thống quan trắc chưa được đầu tư đúng mức. Có một số công trình nghiên cứu tập trung vào việc áp dụng sơ đồ đồng hóa 3D-Var hoặc phương pháp lọc tối ưu trong các bài toán khí tượng và sử dụng sơ đồ đồng hóa lọc Kalman kết hợp với mô hình SWAN trong dự báo sóng.

1.2. Tổng quan các nghiên cứu về dòng chảy Vịnh Bắc Bộ

1.2.1. Trên thế giới

Một số tác giả đã đi sâu nghiên cứu trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ chủ yếu sử dụng phương pháp mô hình toán để mô phỏng và đánh giá đặc điểm trường dòng chảy theo mùa trong năm.

1.2.2. Tại Việt Nam

Từ những thập niên 60 đã có nhiều công trình nghiên cứu hoàn lưu vịnh Bắc Bộ thông qua các chuyến điều tra khảo sát tổng hợp. Những năm gần đây, có nhiều công trình nghiên cứu trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ sử dụng mô hình toán 2 chiều và 3 chiều. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào kết hợp số hình số trị và sử dụng phương pháp đồng hóa số liệu để đánh giá trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ.

1.2. Giới thiệu về hệ thống Radar biển tại Việt Nam

Hệ thống Radar biển bao gồm 4 trạm, bao gồm: 2 trạm ven bờ, 1 trạm đảo và 1 trạm điều hành trung tâm. Hiện nay, phạm vi hoạt động của hệ thống Radar này cho phép thu thập được dữ liệu trường dòng chảy tầng mặt khu vực từ Thanh Hóa đến Quảng trị, tầm quét lớn nhất khoảng 250 đến 300 km. Với số liệu trường dòng chảy quan trắc 1 giờ/lần kể các trong điều kiện thời tiết bất lợi sẽ là nguồn số liệu vô cùng quý giá phục vụ cho nhiều lĩnh vực có liên quan.

Tiểu kết chương 1

Trong Chương 1, Luận án đã tổng quan các nghiên cứu trong nước và trên thế giới về ứng dụng kỹ thuật đồng hóa dữ liệu trong mô phỏng dòng chảy bằng mô hình số trị và các nghiên cứu về dòng chảy tại khu vực vịnh Bắc Bộ với các kết luận chính sau:

Nghiên cứu sử dụng kỹ thuật đồng hóa dữ liệu vào mô hình số trị để mô phỏng dòng chảy được sự quan tâm của cộng đồng khoa học và đã được nghiên cứu từ khá lâu trên thế giới. Các hướng nghiên cứu chính bao gồm: 1) Phát triển các kỹ thuật để đồng hóa dữ liệu (3D-Var, 4D-Var,...) trong các mô hình số trị; 2) Ứng dụng các kỹ thuật đồng hóa dữ liệu với các loại dữ liệu khác nhau (số liệu đo đạc, số liệu viễn thám,...) trong các bài toán mô phỏng và dự báo trường dòng chảy. Các nghiên cứu của nhà khoa học trên thế giới đều có chung nhận định về hiệu quả của việc đồng hóa số liệu kết hợp với mô hình số trị có kết quả phù hợp và sát với thực tế hơn so với số liệu chỉ mô phỏng bằng mô hình số trị.

Tại Việt Nam nói chung và khu vực vịnh Bắc Bộ nói riêng, nghiên cứu mô phỏng, dự báo về dòng chảy cũng đã nhiều các nghiên cứu có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong phân tích và đánh giá trường dòng chảy bề mặt theo các mùa đặc trưng cũng như cấu trúc dòng chảy theo các tầng sâu. Bên cạnh đó, cũng đã có một số công trình nghiên cứu sử dụng kỹ thuật đồng hóa trong các bài toán mô phỏng và dự báo khí tượng và một số các yếu tố hải văn như sóng, nhiệt độ nước biển.

Ngoài ra, với hệ thống Radar biển tại khu vực này đã có được bộ số liệu khá lớn với tần suất khá dày (1giờ/lần từ năm 2011 đến nay), tuy nhiên chưa được khai thác, ứng dụng triệt có hiệu quả. Mặt khác, chưa có công trình nào nghiên cứu về trường dòng chảy sử dụng phương pháp đồng hóa số liệu và mô hình số trị khu vực Biển Đông nói chung và vùng biển vịnh Bắc Bộ nói riêng. Vì vậy, việc Nghiên cứu trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ sử dụng dữ liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển và đồng hóa trong mô hình số trị có tính cấp thiết về mặt khoa học cũng như thực tiễn.

Chương 2. Phương pháp, quy trình thực hiện và số liệu sử dụng

2.1. Các phương pháp sử dụng

2.1.1 Phương pháp đồng hóa dữ liệu

Trong nghiên cứu này, luận án áp dụng sơ đồ đồng hóa biến phân 4 chiều được kết hợp với mô hình ROMS để thực hiện tái phân tích trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ. Trong sơ đồ 4Dvar, sử dụng phương pháp R-4DVAR để xử lý tính toán.

2.1.2 Phương pháp mô hình toán

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 trục 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.

2.1.3. Phương pháp phân tích thống kê

Phương pháp phân tích thống kê được sử dụng để tính toán dòng chảy

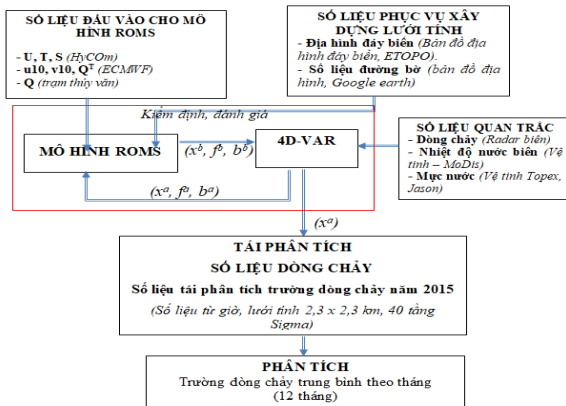
trung bình theo tháng. Dòng chảy trung bình tháng được tính như sau :

Tách dòng chảy thành các thành phần theo phương kinh hướng và thành phần theo phương vĩ hướng tại từng điểm lưới và từng bước thời gian. Tính trung bình của từng thành phần vận tốc theo phương kinh hướng và vĩ hướng cho từng tháng. Lấy trung bình cộng của thành phần vận tốc theo phương kinh hướng và vĩ hướng. Tổng hợp vận tốc của hai thành phần vận tốc theo phương kinh hướng và vĩ hướng để có được giá trị vận tốc dòng chảy và hướng dòng chảy đối với từng điểm lưới.

2.2. Quy trình tính toán trường dòng chảy sử dụng số liệu radar biển được đồng hóa trong mô hình số trị

Quy trình thực hiện nghiên cứu của luận án gồm 4 bước chính sau:

- 1) Thu thập các số liệu phục vụ cho công tác nghiên cứu
- 2) Ứng dụng sơ đồ đồng hóa dữ liệu 4D-Var kết hợp mô hình ROMS để tái phân tích trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ
- 3) Tái phân tích trường dòng chảy 3 chiều khu vực vịnh Bắc Bộ:
- 4) Thực hiện phân tích các đặc điểm trường dòng chảy vịnh Bắc bộ.



Hình 2. 2. Quy trình tính toán trường dòng chảy sử dụng số liệu Radar biển được đồng hóa trong mô hình số trị

2.3. Dữ liệu sử dụng

2.3.1. Dữ liệu địa hình

Dữ liệu toàn bộ Biển Đông và lân cận được thu thập từ nguồn số

liệu ETOPO của NOAA với độ phân giải 1 x 1 phút. Các khu vực vịnh Bắc Bộ và ven biển Việt Nam được tổng hợp 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 xuất bản. Khu vực ngoài khơi Biển Đông và lân cận được thu thập từ mô hình ETOPO1 với độ phân giải 1 phút x 1 phút, tương đương 1,8 km x 1,8 km.

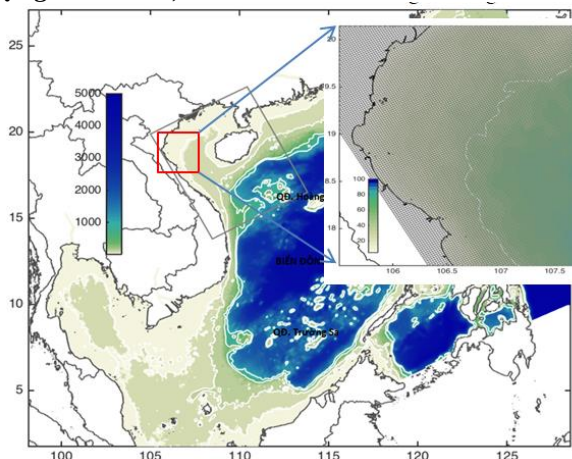
2.3.2. Dữ liệu khí tượng, thủy văn, hải văn

a. *Dữ liệu khí tượng*: vận tốc gió tầng 10 mét; thông lượng nhiệt bề mặt; bức xạ mặt trời.

b. *Số liệu thủy văn*: 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 Cẩm; Văn Úc; Sông Thái Bình; Sông Hồng.

c. *Số liệu hải văn*: Số liệu quan trắc dòng chảy tầng mặt từ hệ thống Radar biển; Dữ liệu dòng chảy, nhiệt-muối từ mô hình HyCom; Số liệu đo dòng chảy bằng ADCP, nhiệt độ và độ muối bằng thiết bị CTD; Dữ liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt được phân tích từ ảnh Modis; Dữ liệu mực nước biển là sản phẩm của vệ tinh Jason, Envisat.

2.4.1. Xây dựng miền tính, lưới tính



Hình 2.14. Miền tính trên toàn Biển Đông

Lưới tính được xây dựng là lưới vuông theo phương ngang gồm 2 lưới, lưới toán cho toàn Biển Đông có độ phân giải ngang là 7 km x 7 km lưới lồng chi tiết cho khu vực vịnh Bắc Bộ có độ phân giải ngang là 2,3 km x 2,3 km. Lưới được chi thành 40 tầng theo sigma.

2.4.2. Xây dựng các dữ liệu đầu vào

a. *Dữ liệu điều kiện biên*: gồm biên bề mặt, biên lòng phía biển và biên lòng trong sông được xây dựng từ nguồn thu thập tại mục 2.3.2

b. *Dữ liệu phục vụ cho phần mềm đồng hóa dữ liệu bao gồm*: Dữ liệu vận tốc dòng chảy tầng mặt từng giờ quan trắc từ hệ thống Radar biển; Dữ liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt phân tích từ ảnh vệ tinh; Dữ liệu độ cao mực nước biển của vệ tinh Jason -2.

c. *Dữ liệu sử dụng để đánh giá, so sánh*: Dữ liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt được lấy từ cơ sở dữ liệu của NODC/UKMO; Dữ liệu mực nước tại các trạm nghiệm triều ven bờ; Số liệu quan trắc dòng chảy bằng thiết bị ADCP tại vùng biển Nghi Xuân.

Tiêu kết chương 2

Trong chương 2, Luận án đã đề xuất sơ đồ và quy trình nghiên cứu, đề xuất phương pháp và số liệu với các kết luận chính sau:

Có nhiều mô hình mô phỏng thủy động lực đã và đang được sử dụng. Tuy nhiên, mô hình mã nguồn mở ROMS với các ưu điểm trong mô phỏng thủy động lực biển quy mô vừa và nhỏ, phù hợp với bài toán ứng dụng kỹ thuật đồng hóa dữ liệu và đã được ứng dụng nhiều trong các nghiên cứu gần đây được lựa chọn trong nghiên cứu.

Có nhiều kỹ thuật và phương pháp khác nhau trong đồng hóa dữ liệu. Kỹ thuật đồng hóa 4D-Var với phương pháp R4D-Var với các ưu điểm đã được phân tích, đánh giá từ các nghiên cứu trước đây được lựa chọn trong việc đồng hóa dữ liệu dòng chảy từ Radar biển vào mô hình ROMS.

Số liệu được sử dụng trong luận án bao gồm: 1) Các số liệu về địa hình, điều kiện khí tượng, hải văn phục vụ bài toán thiết lập và kiểm

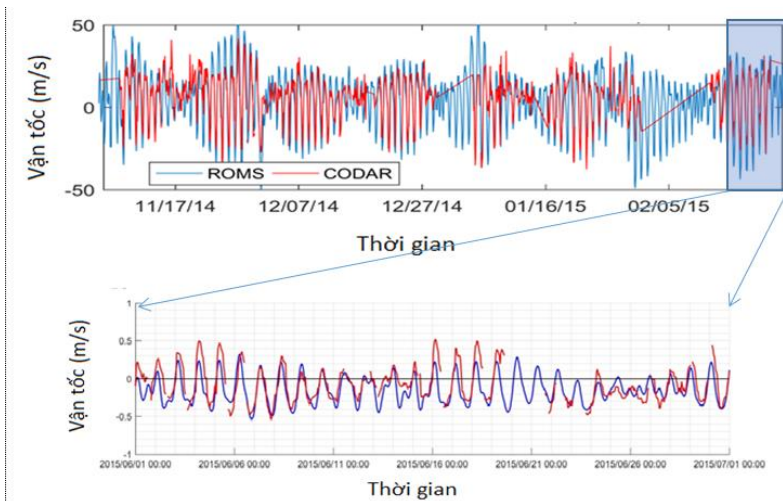
nghiệm mô hình số trị; 2) Các số liệu quan trắc dòng chảy từ Radar biển, số liệu nhiệt độ bề mặt nước biển và mực nước từ vệ tinh phục vụ bài toán đồng hóa dữ liệu. Số liệu được sử dụng trong Luận án có nguồn gốc rõ ràng và có độ tin cậy cao.

Chương 3. Nghiên cứu trường dòng chảy vịnh bắc bộ sử dụng số liệu Radar biển được đồng hóa trong mô hình Roms

3.1. Đánh giá mô hình ROMS

3.1.1. So sánh giữa mô phỏng bằng mô hình ROMS và dữ liệu quan trắc bằng Radar biển

Từ so sánh trực quan kết quả mô phỏng bằng mô hình với số liệu quan trắc bằng hệ thống Radar biển cho thấy sự phù hợp về pha và giá trị của vận tốc thành phần cũng như giá trị tốc độ dòng chảy của số liệu tính toán và quan trắc khá tốt. Sai số trung bình giữa số liệu tính toán và số liệu Radar dao động từ -0.1 đến 0.25 m/s. Trong đó 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.



Hình 3. 4. 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 1 tháng 12 năm 2014

3.1.2. So sánh với số liệu quan trắc mực nước

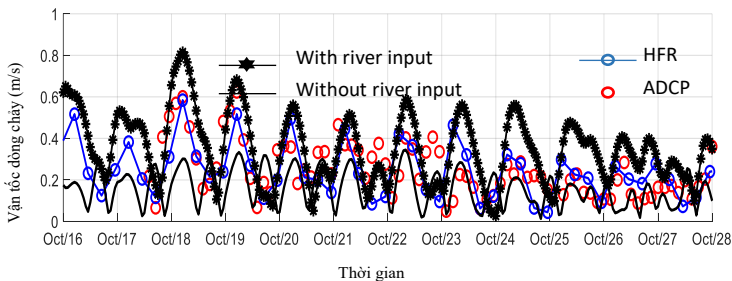
Kết quả tính toán cho thấy mô hình ROMS mô phỏng mực nước rất tốt cả về pha và độ lớn. Mô hình đã bắt được toàn bộ các pha triều ngay cả trong thời kỳ nước sinh. Về độ lớn triều, mô hình tính toán cho độ chính xác rất tốt trong thời kỳ triều cường và hạn chế hơn trong thời kỳ kém.

3.1.3. So sánh với số liệu đo ADCP

Kết quả so sánh cho thấy 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. Về hướng, hai nguồn số liệu đều mô tả hướng dòng chảy tầng mặt có hướng bắc đến bắc đông bắc. Tuy nhiên, trong một số thời điểm, số liệu đo bằng thiết bị ADCP cho giá trị dòng chảy nhỏ hơn so với mô hình tại các thời kỳ triều xuống.

3.1.4. Đánh giá mô hình khi tính đến tác động của dòng chảy mật độ

Khi đưa điều kiện biên sông vào mô hình, giá trị về độ lớn của dòng chảy khu vực ven biển đã được cải thiện và sát với số liệu thực đo bằng thiết bị ADCP và hệ thống Radar biển trong các thời kỳ triều cường. Tuy nhiên trong thời kỳ triều kém, tốc độ dòng chảy khu vực ven biển tính toán thiên lớn hơn so với số liệu thực đo (hình 3.17).



Hình 3. 17. So sánh vận tốc dòng chảy trong các trường hợp có và không có điều kiện biên sông tại điểm Nghi Xuân 1

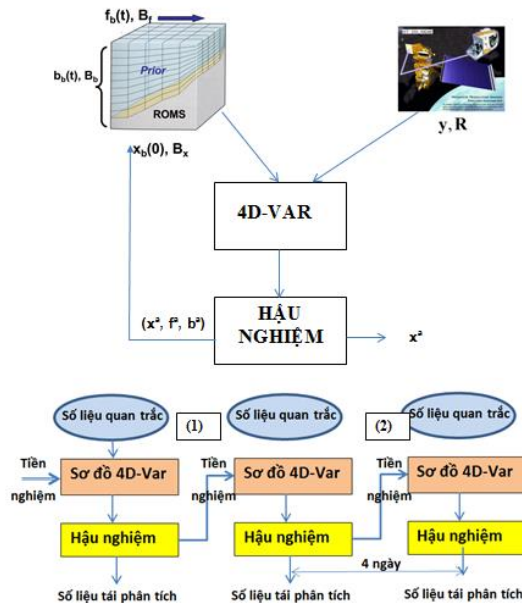
3.2. Thiết lập mô hình ROMS – 4D VAR

3.2.1. Các dữ liệu cho bài toán đồng hóa dữ liệu

Dữ liệu quan trắc phục vụ bài toán đồng hóa bao gồm dữ liệu dòng chảy tầng mặt từng giờ từ hệ thống Radar biển; dữ liệu nhiệt độ nước biển và độ cao mực nước biển quan trắc từ vệ tinh. Các dữ liệu này được mô tả chi tiết trong mục 2.3. Chương 2.

3.2.2. Thiết lập bài toán đồng hóa dữ liệu

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.



Hình 3. 21. Sơ đồ quy trình đồng hóa số liệu kết hợp với mô hình số trị

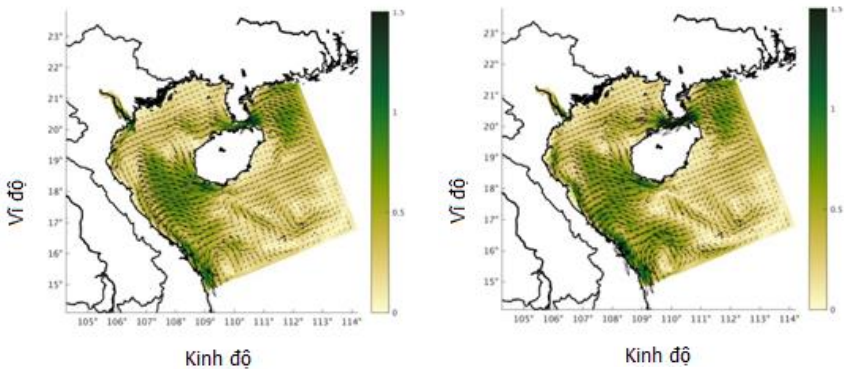
Nghiên cứu sử dụng các tham số đồng hóa 4D-Var của Moore và nmk (2011b) tại vùng biển đông Thái Bình Dương để lựa chọn các

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). Cửa sổ đồng hóa được lựa chọn trong nghiên cứu này là 4 ngày.

3.3. Kết quả phân tích, đánh giá hiệu quả của đồng hóa số liệu

3.3.1. Đánh giá hiệu quả của đồng hóa dữ liệu

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) Khi chưa đồng hóa

b) Sau khi đồng hóa

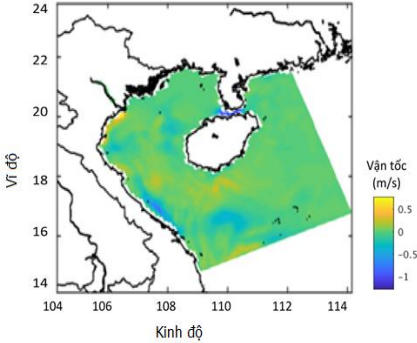
Hình 3. 23. Trường dòng chảy tầng mặt lúc 00 giờ ngày 11/10/2015

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

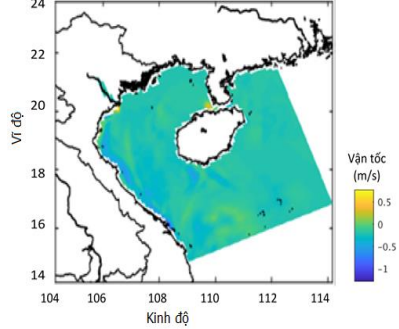
được thể hiện trong hình 3.23.

3.3.2. Tác động của đồng hóa số liệu

Sau khi đồng hóa vận tốc tầng mặt có sự chênh lệch từ -0.2 đến $+0.2$ m/s, khu vực có chênh lệch lớn ở dải ven bờ đặc biệt là dải ven bờ biển từ Thanh Hóa đến Thừa Thiên Huế và khu vực biển tại eo biển Quỳnh Châu từ -0.5 đến $+0.5$ m/s.



Hình 3.28. Chênh lệch của vận tốc dòng chảy theo hướng u trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015



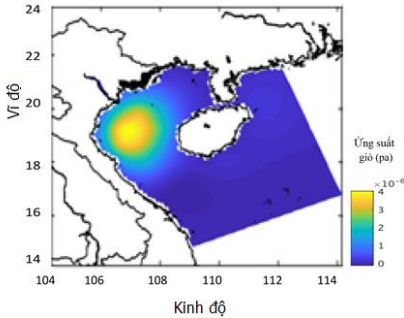
Hình 3.29. Chênh lệch của vận tốc dòng chảy theo hướng v trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015

3.3.3. Đánh giá sai số sau khi đồng hóa số liệu

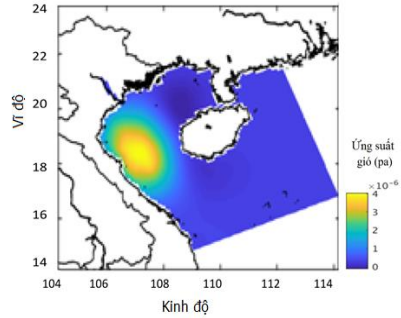
Khi chưa đồng hóa khu vực có sai số BIAS trên 0.1 m/s và dưới -0.1 m/s chiếm tỉ lệ khá lớn. Khu vực có sai số BIAS trên 0.1 m/s tập trung ở khu vực ven biển từ Nghệ An đến Quảng Bình và Khu vực ngoài khơi Hà Tĩnh. Khu vực có sai số dưới -0.1 m/s tập trung ở khu vực ngoài khơi từ Thanh Hóa đến Quảng Bình. 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 khoảng -0.05 đến $+0.05$ m/s.

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

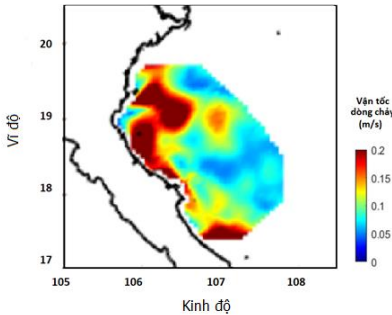
đến Hà Tĩnh, sai số này chỉ dao động trong khoảng từ 0,1 đến 0.15 m/s (hình 3.44, hình 3.45).



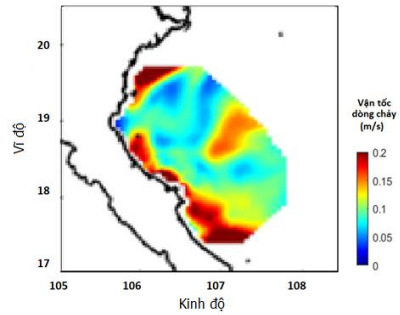
Hình 3.44. Sai số BIAS giữa số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán của thành phần vận tốc u (m/s) khi chưa đồng hóa



Hình 3.45. Sai số BIAS giữa số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán của thành phần vận tốc u (m/s) sau khi đồng hóa



Hình 3.48. Sai số RMSE giữa số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán của thành phần vận tốc u (m/s) khi chưa đồng hóa



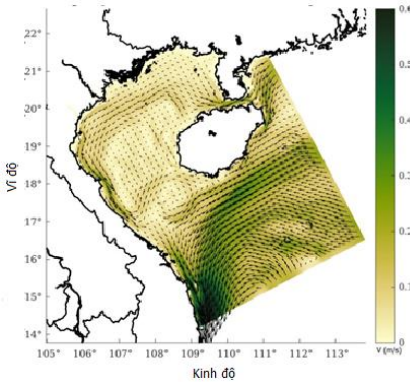
Hình 3.49. Sai số RMSE giữa số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán của thành phần vận tốc u (m/s) sau khi đồng hóa

3.4. Nghiên cứu trường dòng chảy vịnh bắc bộ

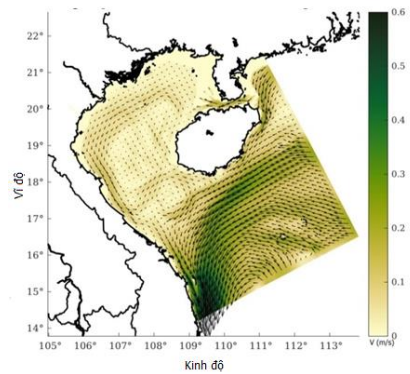
3.4.1. Đặc điểm trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ các tháng gió mùa đông bắc

Trong thời kỳ gió mùa đông bắc thịnh hành, 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. 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 3.60).



Hình 3.60. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 1 vùng biển vịnh Bắc Bộ

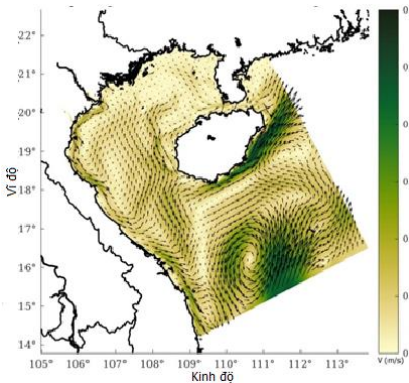


Hình 3.62. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 1 vùng biển vịnh Bắc Bộ

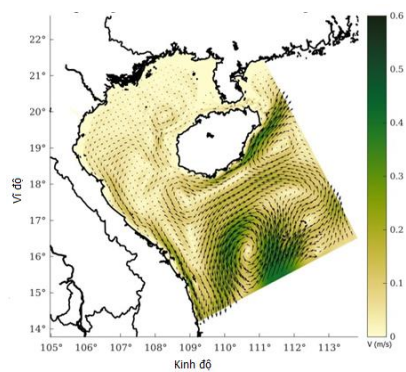
Tại tầng giữa (độ sâu 20m), hệ thống dòng chảy ven bờ vẫn tồn tại nhưng với quy mô nhỏ hơn rất nhiều và vận tốc dòng chảy tại khu vực ven bờ khá nhỏ (dưới 0,2 m/s). Tại khu vực cửa Vịnh Bắc Bộ, tồn tại một xoáy nghịch với quy mô không gian như đối với tầng mặt nhưng với vận tốc nhỏ hơn, khoảng 0,1 - 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 3.62)

3.4.2. Đặc điểm trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ các tháng chuyển từ gió mùa đông bắc sang gió mùa tây nam

Trong các tháng mùa hè (tháng 3 đến tháng 5) cho thấy hoàn lưu không có sự ổn định trong thời gian này. Trong các tháng này, do sự thay đổi của hướng gió thịnh hành chuyển dần từ Đông Bắc sang Tây Nam, bức tranh dòng chảy vịnh Bắc Bộ có sự thay đổi lớn. Xoáy thuận phía Nam vịnh bị phá vỡ và không còn tồn tại xoáy nghịch ở phía Tây khu vực cửa vịnh. Thay vào đó là xu hướng trường dòng chảy trên vịnh Bắc Bộ có hướng chủ đạo là đông bắc, đến cuối tháng 4 và đầu tháng 5, khu vực nửa phía đông của vịnh Bắc Bộ xuất hiện một xoáy thuận có quy mô nhỏ (hình 3.74, 3.76).



Hình 3.74. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 4 vùng biển vịnh Bắc Bộ



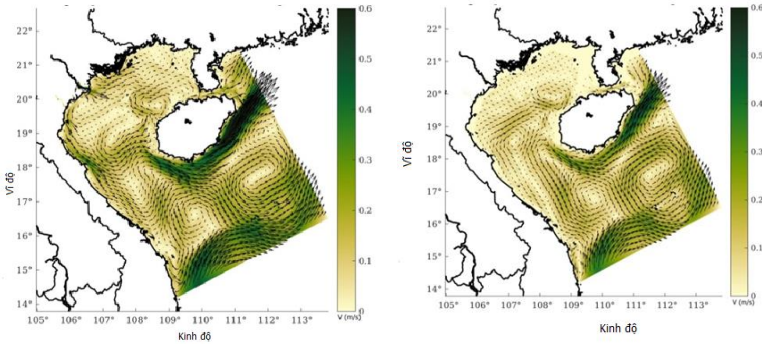
Hình 3.76. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 4 vùng biển vịnh Bắc Bộ

3.4.3. Đặc điểm trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ các tháng gió mùa tây nam

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. Tại phía 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 3.87).

Tại tầng giữa (độ sâu 20 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). 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 3.91).



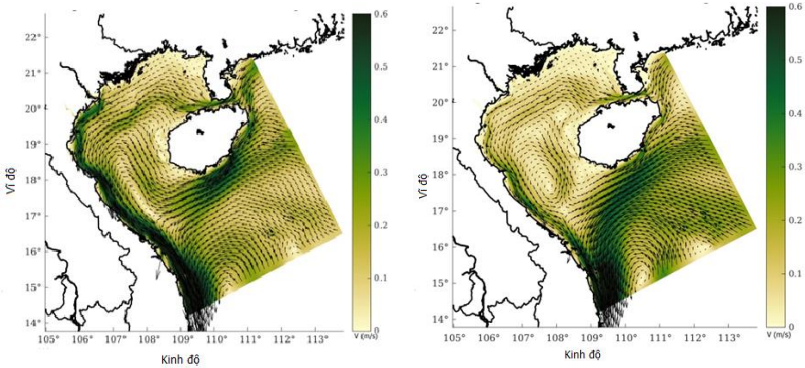
Hình 3.87. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 7 vùng biển vịnh Bắc Bộ

Hình 3.91. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 7 vùng biển vịnh Bắc Bộ

3.5.4. Đặc điểm trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ các tháng chuyển từ gió mùa tây nam sang gió mùa đông bắc

Trong thời kỳ chuyển tiếp từ mùa hè sang mùa đông (tháng 9 đến tháng 11), khu vực phía Nam vịnh Bắc Bộ xoáy thuận dần dần được hình thành và đến tháng 11 quy mô của xoáy thuận này tương đương với xoáy thuận trong các tháng mùa đông. Khu vực phía ngoài cửa vịnh xoáy nghịch trong các tháng mùa hè đã được thay thế bằng một xoáy thuận có quy mô lớn trong các tháng 9 và tháng 10, đến tháng 11 xoáy nghịch này không còn tồn tại và thay vào đó là một hoàn lưu lạnh từ phía bắc Biển Đông xâm nhập vào khu vực ven biển miền trung.

Trong thời kỳ này cũng luôn tồn tại dòng chảy từ Bắc xuống Nam dọc theo ven biển phía Tây vịnh Bắc Bộ (hình 3.103 và hình 3.105).



Hình 3.103. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 10 vùng biển vịnh Bắc Bộ

Hình 3.105. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 10 vùng biển vịnh Bắc Bộ

Tiểu kết chương 3

Trong chương 3, Luận án đã đưa ra kết quả kiểm nghiệm mô hình, đánh giá hiệu quả trong việc ứng dụng kỹ thuật đồng hóa biến phân bốn chiều R4D-DVar vào mô hình ROMS và ứng dụng kỹ thuật và mô hình này để tái phân tích, đánh giá trường dòng chảy chi tiết theo không gian và thời gian tại khu vực vịnh Bắc Bộ với các kết luận chính sau:

Mô hình số trị ROMS được thiết lập và kiểm nghiệm với số liệu thực đo về mực nước và dòng chảy, kết quả đánh giá cho thấy có sự tương đồng cao giữa tính toán và thực đo.

Hiệu quả của việc đồng hóa số liệu được thể hiện rất rõ sau khi so sánh các kết quả trước và sau khi đồng hóa với các số liệu thực đo: 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, giá trị tuyệt đối của

sai số BIAS 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 tái phân tích có sự tương quan tốt 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 $> 0,7$.

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 x 2,3 km) với 40 lớp theo phương thẳng đứng đứng sau khi đã đồng hóa số liệu cho thấy:

Tại tầng mặt, 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.

Tại các tầng sâu hơn, hệ thống dòng chảy ven biển tồn tại trong mùa đông tại hầu hết các tầng sâu nhưng với vận tốc giảm dần theo độ sâu chỉ đạt dưới 0,2 m/s khi đến độ sâu 30 mét. Tuy nhiên, trong các tháng còn lại, theo độ sâu, hệ thống này suy yếu và biến mất từ độ sâu trên 30 mét. Các hệ thống xoáy nghịch tại cửa vịnh và tại khu vực giữa vịnh Bắc Bộ vẫn tồn tại nhưng quy mô bị thu hẹp và vận tốc giảm dòng chảy dần theo độ sâu chỉ đạt 0,1 - 0,15 m/s khi đến độ sâu 30 mét. Đối với độ sâu 50 mét trở lên phía trong khu vực vịnh Bắc Bộ, đặc điểm dòng chảy thể hiện mờ nhạt, tuy nhiên khu vực cửa vịnh lại thể hiện khá rõ nét, đặc biệt là khu vực có độ sâu lớn, là khu vực sườn thêm lục địa tiếp giáp với khu vực lòng của Biển Đông. Các đặc điểm của các tầng phía trên vẫn được duy trì về đặc điểm, nhưng cường độ dòng chảy đã giảm đáng kể.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

I. Kết luận

Luận án đã ứng dụng kỹ thuật đồng hóa dữ liệu để đồng hóa dữ liệu Radar biển vào mô hình ROMS để mô phỏng và phân tích trường dòng chảy tại khu vực vịnh Bắc Bộ với các kết luận chính sau:

Đã lựa chọn, thiết lập và ứng dụng phương pháp R4D-Var kết hợp với mô hình ROMS. Các số liệu đưa vào đồng hóa là dữ liệu quan trắc dòng chảy tầng mặt từ hệ thống radar biển, ngoài ra có bổ sung thêm số liệu nhiệt độ vào mực nước quan trắc từ vệ tinh. Các tham số trong sơ đồ đồng hóa được lựa chọn để phù hợp với nguồn dữ liệu đầu vào, yêu cầu của bài toán cũng như năng lực máy tính hiện có. Mô hình ROMS sau khi sử dụng kỹ thuật đồng hóa dữ liệu đã làm tăng độ chính

xác trong mô phỏng dòng chảy bề mặt biển tại khu vực vịnh Bắc Bộ, các chỉ số BIAS (phổ biến nhỏ hơn 0,05 m/s) và RMSE (phổ biến từ 0,1 đến 0,15 m/s) 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 (phổ biến > 0.7), có sự tương đồng cao giữa vận tốc dòng chảy mô phỏng với dòng chảy quan trắc từ Radar biển.

Kết quả tái phân tích trường dòng chảy 3 chiều với độ phân giải ngang (2,3 x 2,3 km) với 40 lớp theo phương thẳng đứng sau khi ứng dụng kỹ thuật đồng hóa số liệu cho thấy:

Tại tầng mặt, khu vực ven biển từ Thanh Hóa đến Đà Nẵng luôn tồn tại hệ thống dòng chảy ven bờ. Trong các tháng mùa đông, quy mô hệ thống này có thể mở rộng tới khu vực ven biển Hải Phòng, vận tốc dòng chảy tại khu vực này có thể đạt khoảng 0,6 m/s. Trong các tháng còn lại, quy mô hệ thống này bị thu hẹp và chỉ còn thể hiện rõ từ khu vực ven biển từ Hà Tĩnh đến Đà Nẵng, vận tốc dòng chảy cũng giảm đáng kể và nhỏ nhất trong các tháng mùa hè chỉ còn 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 sâu khu vực nửa phía Nam vịnh và có quy mô nhỏ (khoảng 150 km) với vận tốc khoảng 0,3 m/s. Trong các tháng gió mùa Tây Nam, tâm của xoáy nghịch này bị đẩy ra bên ngoài cửa vịnh và có quy mô lớn hơn (khoảng 250 km) và vận tốc lớn hơn (khoảng 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.

Tại các tầng sâu hơn, hệ thống dòng chảy ven biển tồn tại trong mùa đông tại hầu hết các tầng sâu với vận tốc giảm dần theo độ sâu.

Tuy nhiên, trong các tháng còn lại, theo độ sâu, hệ thống này suy yếu và biến mất từ độ sâu trên 30 mét. Các hệ thống xoáy nghịch tại cửa vịnh và tại khu vực giữa vịnh Bắc Bộ vẫn tồn tại nhưng quy mô bị thu hẹp và vận tốc dòng chảy giảm dần theo độ sâu.

Đối với độ sâu 50 mét trở lên phía trong khu vực vịnh Bắc Bộ, đặc điểm dòng chảy thể hiện mờ nhạt, tuy nhiên khu vực cửa vịnh lại thể hiện khá rõ nét, đặc biệt là khu vực có độ sâu lớn, là khu vực sườn thêm lục địa tiếp giáp với khu vực lòng của Biển Đông. Các đặc điểm của các tầng phía trên vẫn được duy trì về đặc điểm, nhưng cường độ dòng chảy đã giảm đáng kể.

II. Kiến nghị

1. Trên các kết quả thu được, có thể thấy việc đồng hóa dữ liệu nói chung và đồng hóa dữ liệu dòng chảy Radar biển nói riêng vào mô hình ROMS đã tạo ra trường dòng chảy tái phân tích mang tính chi tiết, sát với thực tế hơn. Vì vậy, để tạo ra trường ban đầu cho các mô hình dự báo biển cần được tiếp tục nghiên cứu, áp dụng kỹ thuật đồng hóa này nhằm nâng cao độ chính xác của các mô hình dự báo môi trường biển trong tương lai. Tuy nhiên, để đáp ứng được hiệu quả trong việc ứng dụng đồng hóa dữ liệu cần có mở rộng phạm vi quan trắc dòng chảy bằng radar biển cũng như có hệ thống tài nguyên máy tính đủ mạnh để có thể đáp ứng được yêu cầu thực tiễn.

2. Tiếp tục khai thác, ứng dụng các số liệu quan trắc các yếu tố hải dương học để xây dựng bộ dữ liệu tái phân tích nhiều năm về trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ dựa trên cơ sở đồng hóa các dữ liệu quan trắc dòng chảy từ hệ thống Radar biển, các dữ liệu quan trắc các yếu tố hải văn từ nhiều nguồn khác nhau kết hợp với mô hình ROMS để phục vụ cho các nghiên cứu, ứng dụng trong các lĩnh vực có liên quan đến môi trường biển của khu vực vịnh Bắc Bộ.

**DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN
QUAN ĐẾN LUẬN ÁN**

1. **Nguyễn Thanh Trang**, Phạm Văn Huân, Trần Mạnh Cường, Vũ Tiến Thành, Lưu Quang Hải (2021), “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 Biến đổi khí hậu*, 2021, Số 18 tháng 6/2021, trang 35-44.
2. **Nguyễn Thanh Trang**, Trần Hồng Lam, Trần Mạnh Cường, Nguyễn Anh Ngọc, Vũ Tiến Thành, Lưu Quang Hải (2021), “Ứng dụng mô hình ROMS mô phỏng trường dòng chảy khu vực vịnh Bắc Bộ”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, Tập 12, số 732, trang 28-37.

