

**BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG
VIỆN KHOA HỌC
KHÍ TƯỞNG 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**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ HẢI DƯƠNG HỌC

Hà Nội - 2022

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

LUẬN ÁN TIẾN SĨ HẢI DƯƠNG HỌC

Tác giả luận án

Giáo viên hướng dẫn 1

Giáo viên hướng dẫn 2



Nguyễn Thanh Trang

PGS.TS. Phạm Văn Huân

TS. Trần Hồng Lam

Hà Nội - 2022

LỜI CAM ĐOAN

Tác giả xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của bản thân tác giả. Các kết quả nghiên cứu và các kết luận trong Luận án này là trung thực, không sao chép từ bất kỳ một nguồn nào và dưới bất kỳ hình thức nào. Việc tham khảo các nguồn tài liệu đã được thực hiện trích dẫn và ghi nguồn tài liệu tham khảo đúng quy định.

Tác giả Luận án

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Nguyễn Thanh Trang', written over a horizontal line.

Nguyễn Thanh Trang

LỜI CẢM ƠN

Trước tiên tác giả xin gửi lời cảm ơn đến Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi Khí hậu đã tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tác giả trong quá trình nghiên cứu và hoàn thành Luận án.

Với lòng kính trọng và biết ơn sâu sắc, tác giả xin gửi lời cảm ơn đặc biệt tới các thầy hướng dẫn là PGS.TS. Phạm Văn Huân và TS. Trần Hồng Lam đã tận tình giúp đỡ tác giả từ những bước đầu tiên xây dựng hướng nghiên cứu, cũng như trong suốt quá trình nghiên cứu và hoàn thiện Luận án. Các thầy luôn ủng hộ, động viên và hỗ trợ những điều kiện tốt nhất để tác giả hoàn thành Luận án.

Tác giả chân thành cảm ơn các chuyên gia, các nhà khoa học của Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi Khí hậu, đặc biệt là Bộ môn Hải dương học, Lãnh đạo và các đồng nghiệp tại Trung tâm Hải văn, các cơ quan hữu quan đã có những góp ý về khoa học cũng như hỗ trợ nguồn tài liệu, số liệu cho tác giả trong suốt quá trình thực hiện Luận án.

Cuối cùng, tác giả xin gửi lời cảm ơn tới những người thân yêu trong gia đình đã luôn ở bên cạnh, động viên cả về vật chất và tinh thần để tác giả hoàn thành tốt Luận án của mình.

TÁC GIẢ



Nguyễn Thanh Trang

MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH	iv
DANH MỤC BẢNG	xiii
DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT	xiv
MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết của đề tài nghiên cứu.....	1
2. Mục tiêu nghiên cứu	3
3. Nhiệm vụ và nội dung nghiên cứu	4
4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án	4
5. Phương pháp nghiên cứu	4
6. Luận điểm bảo vệ	5
7. Những điểm mới của luận án	5
8. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn.....	5
9. Cấu trúc luận án.....	6
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU VỀ ĐỒNG HÓA DỮ LIỆU VÀ DÒNG CHẢY VỊNH BẮC BỘ	7
1.1. Tổng quan các nghiên cứu về đồng hóa dữ liệu	7
1.1.1. Các nghiên cứu trên thế giới.....	7
1.1.2. Các nghiên cứu trong nước.....	11
1.2. Tổng quan các nghiên cứu về dòng chảy vịnh Bắc Bộ	15
1.2.1. Trên thế giới.....	15
1.2.2. Tại Việt Nam	19
1.2.3. Một số đặc điểm của các yếu tố khác có liên quan	24
1.3. Giới thiệu về hệ thống Radar biển tại Việt Nam	27

TIỂU KẾT CHƯƠNG 1	30
CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP, QUY TRÌNH THỰC HIỆN VÀ SỐ LIỆU SỬ DỤNG	32
2.1. Các phương pháp sử dụng	32
2.1.1 <i>Phương pháp đồng hóa dữ liệu</i>	32
2.1.2 <i>Phương pháp mô hình toán</i>	45
2.1.3 <i>Phương pháp phân tích thống kê</i>	51
2.2. Quy trình tính toán trường dòng chảy sử dụng số liệu Radar biển được đồng hóa trong mô hình số trị	51
2.3. Dữ liệu sử dụng.....	55
2.3.1. <i>Dữ liệu địa hình</i>	55
2.3.2. <i>Dữ liệu khí tượng, thủy văn, hải văn</i>	55
2.4. Xây dựng miền tính, lưới tính, các điều kiện đầu vào	64
2.4.1. <i>Xây dựng miền tính, lưới tính</i>	64
2.4.2. <i>Xây dựng các dữ liệu đầu vào</i>	66
TIỂU KẾT CHƯƠNG 2	67
CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU TRƯỜNG DÒNG CHẢY VỊNH BẮC BỘ SỬ DỤNG SỐ LIỆU RADAR BIỂN ĐƯỢC ĐỒNG HÓA TRONG MÔ HÌNH ROMS	67
3.1. Đánh giá mô hình ROMS	67
3.1.1. <i>So sánh giữa mô phỏng bằng mô hình ROMS và dữ liệu quan trắc bằng Radar biển</i>	68
3.1.2. <i>So sánh với số liệu quan trắc mực nước</i>	72
3.1.3. <i>So sánh với số liệu đo ADCP</i>	74
3.1.4. <i>Đánh giá mô hình khi tính đến tác động của dòng chảy mật độ</i>	76

3.2. Thiết lập mô hình ROMS – 4D VAR.....	78
3.2.1. Các dữ liệu cho bài toán đồng hóa dữ liệu	78
3.2.2. Thiết lập bài toán đồng hóa dữ liệu.....	78
3.3. Kết quả phân tích, đánh giá hiệu quả của đồng hóa số liệu	83
3.3.1. Đánh giá hiệu quả của đồng hóa dữ liệu.....	83
3.3.2. Tác động của đồng hóa số liệu	87
3.3.3. Đánh giá sai số sau khi đồng hóa số liệu.....	99
3.4. Nghiên cứu trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ	106
3.4.1. Đặc điểm trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ các tháng gió mùa đông bắc	106
3.4.2. Đặc điểm trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ các tháng chuyển từ gió mùa đông bắc sang gió mùa tây nam.....	116
3.4.3. Đặc điểm trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ các tháng gió mùa tây nam .	124
3.4.4. Đặc điểm trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ các tháng chuyển từ gió mùa tây nam sang gió mùa đông bắc	134
TIỂU KẾT CHƯƠNG 3.....	143
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	146
TÀI LIỆU THAM KHẢO	150

DANH MỤC HÌNH

Hình 1. 1: Trường dòng chảy trung bình theo độ sâu khu vực vịnh Bắc Bộ theo nghiên cứu của Gao và nnk (2013) [30]: (a) tháng 1, (b) tháng 7.	16
Hình 1. 2: Hoàn lưu tầng 2,5 mét vùng Biển Đông và vịnh Bắc Bộ theo nghiên cứu của Shaw và Chao (1994) [34]: (a) tháng 8, (b) tháng 12	17
Hình 1. 3: Hoàn lưu vịnh Bắc Bộ theo nghiên cứu của Ding và nnk [49]	18
Hình 1. 4. Sơ đồ dòng chảy vịnh Bắc Bộ trong mùa đông theo Báo cáo kết quả điều tra tổng hợp vịnh Bắc Bộ (1964) [1]	20
Hình 1. 5. Sơ đồ dòng chảy vịnh Bắc Bộ trong mùa hè theo Báo cáo kết quả điều tra tổng hợp vịnh Bắc Bộ (1964) [1]	20
Hình 1. 6. Trường dòng chảy tầng mặt khu vực Biển Đông	21
Hình 1. 7. Trường dòng chảy khu vực ven biển Bắc Trung Bộ và lân cận theo Lê Đình Mậu và nnk (2017) [12].	23
Hình 1. 8. Trường dòng chảy tầng mặt vịnh Bắc Bộ theo Đinh Văn Mạnh và nnk (2000) [36].	24
Hình 1. 9. Sơ đồ vị trí hệ thống trạm Radar đã thực hiện giai đoạn I và dự kiến trong giai đoạn tiếp theo	27
Hình 1. 10. Trường dòng chảy trong điều kiện thuận lợi.....	30
Hình 1. 11. Trường dòng chảy trong điều kiện không thuận lợi	30
Hình 2. 1. Minh họa thuật toán trong ROMS R4D-VAR.....	40
Hình 2. 2. Quy trình tính toán trường dòng chảy sử dụng số liệu Radar biển được đồng hóa trong mô hình số trị.....	54
Hình 2. 3. Dữ liệu vận tốc dòng chảy thành phần tầng mặt từ hệ thống Radar biển	56
Hình 2. 4. Phạm vi hoạt động của 3 trạm Radar	57
Hình 2. 5. Phân bố mật độ số liệu quan trắc dòng chảy tại trạm Radar Hòn Dấu.	58
Hình 2. 6. Phân bố mật độ số liệu quan trắc dòng chảy tại trạm Radar Nghi Xuân.	58
Hình 2. 7. Phân bố mật độ số liệu tại trạm Đồng Hới.....	58

Hình 2. 8. Phân bố mật độ số liệu giao thoa của 3 trạm Radar	58
Hình 2. 9. Tình trạng hoạt động và có số liệu của 3 trạm Radar biển	59
Hình 2. 10. Nguồn dữ liệu nhiệt độ nước biển bề mặt được phân tích từ ảnh MODIS	62
Hình 2. 11. Dữ liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt phân tích từ ảnh MODIS	62
Hình 2. 12. Nguồn dữ liệu độ cao mặt biển quan trắc bằng vệ tinh Jason	63
Hình 2. 13. Dữ liệu mực nước biển quan trắc bằng vệ tinh Jason.....	64
Hình 2. 14. Miền tính trên toàn Biển Đông.....	65
Hình 2. 15. Miền tính và lưới tính chi tiết cho vùng biển vịnh Bắc Bộ.....	65
Hình 3. 1. Các vị trí được trích xuất kết quả để so sánh, đánh giá.....	68
Hình 3. 2. So sánh vận tốc dòng chảy giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển tại điểm Nghi Xuân 1 tháng 8 năm 2015.....	69
Hình 3. 3. So sánh vận tốc dòng chảy giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển tại điểm Nghi Xuân 2 tháng 8 năm 2015.....	69
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 Nghi Xuân 1 tháng 12 năm 2014.....	70
Hình 3. 5. Sai số BIAS khi so sánh số liệu dòng chảy thành phần giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển.....	71
Hình 3. 6. Sai số RMSE khi so sánh số liệu dòng chảy thành phần giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển.....	71
Hình 3. 7. Sai số BIAS khi so sánh số liệu dòng chảy hướng tâm giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển.....	72
Hình 3. 8. So sánh số liệu quan trắc giữa mô hình và quan trắc tại trạm Cửa Đáy (từ ngày 8/9 đến ngày 8/10 năm 2011).....	73
Hình 3. 9. So sánh số liệu quan trắc giữa mô hình và quan trắc tại trạm Vũng Áng (từ ngày 14/9 đến ngày 13/12 năm 2012).....	73

Hình 3. 10. So sánh số liệu quan trắc giữa mô hình và quan trắc tại trạm Cửa Đại (từ ngày 14/9 đến ngày 13/12 năm 2012)	73
Hình 3. 11. Sơ đồ so sánh vận tốc dòng chảy giữa số liệu đo bằng ADCP và mô hình ngày 13 tháng 4 năm 2016 (từ 13giờ đến 21 giờ)	74
Hình 3. 12. Mặt cắt thể hiện thành phần vận tốc u quan trắc bằng ADCP	75
Hình 3. 13. Mặt cắt thể hiện thành phần vận tốc v quan trắc bằng ADCP	75
Hình 3. 14. Mặt cắt thể hiện nhiệt độ nước biển quan trắc bằng CTD	76
Hình 3. 15. Mặt cắt thể hiện độ mặn nước biển quan trắc bằng CTD	76
Hình 3. 16. Kết quả so sánh trường dòng chảy tầng mặt bằng mô hình trong trường hợp có đưa và không đưa điều kiện biên sông vào mô hình	77
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	77
Hình 3. 18. Độ lệch chuẩn của vận tốc dòng chảy.....	79
Hình 3. 19. Độ lệch chuẩn của nhiệt độ và độ muối nước biển.....	79
Hình 3. 20. Độ lệch chuẩn mực nước (mét)	80
Hình 3. 21. Sơ đồ quy trình đồng hóa số liệu kết hợp với mô hình số trị.....	81
Hình 3. 22. Trường nhiệt độ nước biển lúc 00 giờ ngày 11/10/2015	84
Hình 3. 23. Trường dòng chảy tầng mặt lúc 00 giờ ngày 11/10/2015	85
Hình 3. 24. Trường nhiệt độ nước biển tầng mặt quan trắc bằng vệ tinh và dòng chảy tầng mặt quan trắc bằng Radar biển lúc 00 giờ ngày 11/10/2015	85
Hình 3. 25. Trường nhiệt độ nước biển tầng mặt lúc 06 giờ ngày 26/10/2015	86
Hình 3. 26. Trường dòng chảy tầng mặt lúc 06 giờ ngày 26/10/2015	87
Hình 3. 27. Trường nhiệt độ nước biển tầng mặt quan trắc bằng vệ tinh và trường dòng chảy tầng mặt quan trắc bằng Radar biển lúc 06 giờ ngày 26/10/2021	87
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	88

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	89
Hình 3. 30. Chênh lệch của trường nhiệt độ nước biển tầng mặt trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015	90
Hình 3. 31. Chênh lệch của trường độ muối nước biển tầng mặt trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015	90
Hình 3. 32. Chênh lệch của trường mực nước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015.....	91
Hình 3. 33. Chênh lệch của trường thông lượng nhiệt trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015.....	92
Hình 3. 34. Chênh lệch của ứng suất gió bề mặt theo hướng x trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015	92
Hình 3. 35. Chênh lệch của ứng suất gió bề mặt theo hướng y trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015	93
Hình 3. 36. Chênh lệch của vận tốc dòng chảy tầng mặt theo hướng u trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015	94
Hình 3. 37. Chênh lệch của vận tốc dòng chảy tầng mặt theo hướng u trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015	94
Hình 3. 38. Chênh lệch của trường nhiệt độ nước biển tầng mặt trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015	95
Hình 3. 39. Chênh lệch của trường độ muối trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015.....	96
Hình 3. 40. Chênh lệch của trường mực nước trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015.....	97
Hình 3. 41. Chênh lệch của trường thông lượng nhiệt trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015.....	98

Hình 3. 42. Chênh lệch trường ứng suất gió bề mặt trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015	98
Hình 3. 43. Chênh lệch trường ứng suất gió bề mặt trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015	99
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	100
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	100
Hình 3. 46. Sai số BIAS giữa số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán của thành phần vận tốc v (m/s) khi chưa đồng hóa	101
Hình 3. 47. Sai số BIAS giữa số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán của thành phần vận tốc v (m/s) sau khi đồng hóa	101
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	102
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	103
Hình 3. 50. Sai số RMSE giữa số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán của thành phần vận tốc v (m/s) khi chưa đồng hóa	103
Hình 3. 51. Sai số RMSE giữa số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán của thành phần vận tốc v (m/s) sau khi đồng hóa	104
Hình 3. 52. Hệ số tương quan giữa số liệu dòng chảy tầng mặt quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán khi chưa đồng hóa.....	105
Hình 3. 53. Hệ số tương quan giữa số liệu dòng chảy tầng mặt quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán sau khi đồng hóa	106
Hình 3. 54. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 12 vùng biển vịnh Bắc Bộ	107

Hình 3. 55. Sơ đồ dòng chảy vịnh Bắc Bộ trong mùa đông theo Báo cáo kết quả điều tra tổng hợp vịnh Bắc Bộ (1964) [1]	107
Hình 3. 56. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 12 vùng biển vịnh Bắc Bộ	108
Hình 3. 57. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 12 vùng biển vịnh Bắc Bộ	108
Hình 3. 58. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 12 vùng biển vịnh Bắc Bộ	109
Hình 3. 59. Quỹ đạo di chuyển tháng 12 vùng biển vịnh Bắc Bộ [19].....	110
Hình 3. 60. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 1 vùng biển vịnh Bắc Bộ	110
Hình 3. 61. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 1 vùng biển vịnh Bắc Bộ	111
Hình 3. 62. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 1 vùng biển vịnh Bắc Bộ	111
Hình 3. 63. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 1 vùng biển vịnh Bắc Bộ	112
Hình 3. 64. Trường dòng chảy mặt mùa đông theo đề tài KC09.24 (2005).....	113
Hình 3. 65. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 2 vùng biển vịnh Bắc Bộ .	113
Hình 3. 66. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 2 vùng biển vịnh Bắc Bộ	114
Hình 3. 67. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 2 vùng biển vịnh Bắc Bộ	114
Hình 3. 68. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 2 vùng biển vịnh Bắc Bộ	115
Hình 3. 69. Quỹ đạo phao trôi tháng 2 [19].....	115
Hình 3. 70. Trường dòng chảy mặt trung bình tháng 3 vùng biển vịnh Bắc Bộ	116

Hình 3. 71. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 3 vùng biển vịnh Bắc Bộ	117
Hình 3. 72. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 3 vùng biển vịnh Bắc Bộ	117
Hình 3. 73. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 3 vùng biển vịnh Bắc Bộ	118
Hình 3. 74. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 4 vùng biển vịnh Bắc Bộ.	119
Hình 3. 75. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 4 vùng biển vịnh Bắc Bộ	119
Hình 3. 76. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 4 vùng biển vịnh Bắc Bộ	120
Hình 3. 77. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 4 vùng biển vịnh Bắc Bộ	120
Hình 3. 78. Quỹ đạo phao trôi tháng 4 [19].....	121
Hình 3. 79. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 5 vùng biển vịnh Bắc Bộ.	122
Hình 3. 80. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 5 vùng biển vịnh Bắc Bộ	122
Hình 3. 81. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 5 vùng biển vịnh Bắc Bộ	123
Hình 3. 82. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 5 vùng biển vịnh Bắc Bộ	123
Hình 3. 83. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 6 vùng biển vịnh Bắc Bộ.	124
Hình 3. 84. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 6 vùng biển vịnh Bắc Bộ	125
Hình 3. 85. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 6 vùng biển vịnh Bắc Bộ	125

Hình 3. 86. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 6 vùng biển vịnh Bắc Bộ	126
Hình 3. 87. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 7 vùng biển vịnh Bắc Bộ .	127
Hình 3. 88. Quỹ đạo phao trôi tháng 7 [19]	128
Hình 3. 89. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 7 theo đề tài KC09.17.....	128
Hình 3. 90. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 7 vùng biển vịnh Bắc Bộ	129
Hình 3. 91. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 7 vùng biển vịnh Bắc Bộ	130
Hình 3. 92. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 7 vùng biển vịnh Bắc Bộ	130
Hình 3. 93. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 8 vùng biển vịnh Bắc Bộ .	131
Hình 3. 94. Sơ đồ dòng chảy vịnh Bắc Bộ trong mùa hè theo Báo cáo kết quả điều tra tổng hợp vịnh Bắc Bộ (1964) [1]	132
Hình 3. 95. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 8 vùng biển vịnh Bắc Bộ	133
Hình 3. 96. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 8 vùng biển vịnh Bắc Bộ	133
Hình 3. 97. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 8 vùng biển vịnh Bắc Bộ	134
Hình 3. 98. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 9 vùng biển vịnh Bắc Bộ .	135
Hình 3. 99. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 9 vùng biển vịnh Bắc Bộ	135
Hình 3. 100. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 9 vùng biển vịnh Bắc Bộ	136
Hình 3. 101. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 9 vùng biển vịnh Bắc Bộ	136

Hình 3. 102. Quỹ đạo phao trôi tháng 9 vùng biển vịnh Bắc Bộ [19].....	137
Hình 3. 103. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 10 vùng biển vịnh Bắc Bộ	138
Hình 3. 104. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 10 vùng biển vịnh Bắc Bộ.....	138
Hình 3. 105. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 10 vùng biển vịnh Bắc Bộ.....	139
Hình 3. 106. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 10 vùng biển vịnh Bắc Bộ.....	139
Hình 3. 107. Quỹ đạo phao trôi thả tháng 10 vùng biển vịnh Bắc Bộ [19]	140
Hình 3. 108. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 11 vùng biển vịnh Bắc Bộ	141
Hình 3. 109. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 11 vùng biển vịnh Bắc Bộ	141
Hình 3. 110. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 11 vùng biển vịnh Bắc Bộ	142
Hình 3. 111. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 11 vùng biển vịnh Bắc Bộ	142
Hình 3. 112. Quỹ đạo phao trôi thả tháng 11 vùng biển vịnh Bắc Bộ [19]	143

DANH MỤC BẢNG

Bảng 3. 1. Sai số Bias và RMSE của dòng chảy dòng chảy thành phần	72
Bảng 3. 2. Sai số Bias và RMSE của mô hình khi so sánh mực nước.....	74
Bảng 3. 3. Chênh lệch của dòng chảy thành phần trước và sau đồng hóa	88
Bảng 3. 4. Chênh lệch nhiệt độ và độ muối nước biển tầng mặt trước và sau đồng hóa tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015	89
Bảng 3. 5. Chênh lệch thông lượng nhiệt và ứng suất gió bề mặt trước và sau đồng hóa.....	91
Bảng 3. 6. Chênh lệch của dòng chảy thành phần trước và sau đồng hóa tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015.....	93
Bảng 3. 7. Chênh lệch nhiệt độ và độ muối nước biển tầng mặt trước và sau đồng hóa tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015	95
Bảng 3. 8. Chênh lệch thông lượng nhiệt và ứng suất gió bề mặt trước và sau đồng hóa tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015	97
Bảng 3. 9. Sai số Bias của dòng chảy dòng chảy thành phần trước và sau khi đồng hóa số liệu	102
Bảng 3. 10. Sai số RMSE của dòng chảy dòng chảy thành phần trước và sau khi đồng hóa.....	104
Bảng 3. 11. Hệ số tương quan của dòng chảy dòng chảy thành phần trước và sau khi đồng hóa.....	105

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

Chữ viết tắt	Giải thích
3D-Var	Phương pháp biến phân ba chiều (Three-Dimensional Variational)
4D-Var	Phương pháp biến phân bốn chiều (Four -Dimensional Variational)
ADCP	Thiết bị đo dòng chảy siêu âm (acoustic Doppler current profilers)
BIAS	Sai số trung bình
CTD	Thiết bị đo nhiệt độ và độ muối (Conductivity Temperature Depth profiler)
ECMWF	Trung tâm dự báo hạn vừa Châu Âu
EKF	Phương pháp lọc Kalman mở rộng (The Extended Kalman Filter)
EnKF	Phương pháp lọc Kalman tổ hợp (The Ensemble Kalman Filter)
ERA	Mô hình tái phân tích của Trung tâm dự báo hạn vừa Châu Âu (ECMWF Reanalysis)
GHER	Mô hình hoàn lưu 3 chiều (Geo-Hydrodynamic Environment Research)
HF	Tần số cao (High-frequency)
IO	Phương pháp nội suy tối ưu (Optimal Interpolation)
KF	Phương pháp lọc Kalman (<i>Kalman Filter</i>)
MODIS	Bộ cảm biến hình ảnh độ phân giải trung bình (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)
RMSE	Chỉ số sai số bình phương trung bình quân phương (Root

Chữ viết tắt**Giải thích**

	mean square Error)
ROMS	Hệ thống Regional Ocean Modeling System
SST	Nhiệt độ nước biển tầng mặt (Sea Surface Temperature)
SWAN	Mô hình Tính toán sóng ven bờ (Simulating Waves Nearshore)
TPXO	Mô hình thủy triều toàn cầu
WRF	Mô hình nghiên cứu và dự báo khí hậu (Weather Research and Forecasting)

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài nghiên cứu

Vịnh Bắc Bộ là khu vực biển có nhiều hoạt động về kinh tế cũng như an ninh quốc phòng. Với diện tích khoảng 126.250 km² và địa hình tương đối phức tạp, bao gồm trên ba nghìn đảo lớn nhỏ và được thông qua Biển Đông qua eo biển Quỳnh Châu và cửa chính từ đảo Cồn Cỏ, tỉnh Quảng Trị tới mũi Oanh Ca, Hải Nam, Trung Quốc nên trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ có đặc điểm mang đặc trưng của những vùng biển nửa kín và khá đặc biệt. Vì vậy, nghiên cứu về dòng chảy tại vịnh Bắc Bộ có ý nghĩa quan trọng cho các hoạt động về kinh tế - xã hội và an ninh - quốc phòng.

Đã có nhiều công trình khoa học nghiên cứu về dòng chảy tại khu vực vịnh Bắc Bộ trong các chương trình hợp tác nghiên cứu khoa học biển với Trung Quốc, Liên Xô cũng như các chương trình, dự án, đề tài trong nước thực hiện. Có hai phương pháp chính trong nghiên cứu, đánh giá về trường dòng chảy. Thứ nhất là sử dụng phương pháp thống kê dựa trên các số liệu điều tra, khảo sát; thứ hai là sử dụng các mô hình số trị để mô phỏng dòng chảy theo không gian và thời gian. Phương pháp thứ nhất có ưu điểm là phản ánh được trung thực đặc điểm của dòng chảy tại khu vực nghiên cứu trong thời gian khảo sát. Nhược điểm của phương pháp này là cần có nguồn số liệu đủ dài, đủ chi tiết và đồng bộ nên thường chỉ được thực hiện trong các chương trình nghiên cứu khoa học quy mô lớn. Các chương trình khoa học trước đây đã được triển khai tại khu vực vịnh Bắc Bộ đã có những thành tựu nhất định nhưng do nhiều nguyên nhân khác nhau, các số liệu điều tra khảo sát tại khu vực này vẫn chưa thực sự đáp ứng yêu cầu về tính đồng bộ, chi tiết theo không gian và thời gian. Cách tiếp cận thứ hai thường được sử dụng trong các nghiên cứu gần đây là việc sử dụng các mô hình số trị, do sự phát triển về công nghệ máy tính cũng như tiến bộ trong việc xây dựng các thuật toán, kỹ thuật hiện đại. Ưu điểm của phương pháp này là có thể mô phỏng được trường dòng chảy 2 chiều hoặc 3 chiều chi tiết theo không gian và thời gian. Hạn chế của phương pháp này chính là phụ thuộc vào độ chính xác của mô hình trong việc thiết lập mô hình, các điều kiện biên,

điều kiện ban đầu cũng như việc tham số hóa các quá trình vật lý trong mô hình và việc hiệu chỉnh, kiểm nghiệm mô hình.

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 3D-Var, 4D-Var 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 [24], [26].

Trong nước, các nghiên cứu ứng dụng đồng hóa số liệu 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 [14], [16], sơ đồ đồng hóa 4D-Var kết hợp với mô hình ROMS trong phân tích, dự báo hoàn lưu biển [3].

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 (2011) [22] cho số liệu quan trắc dòng chảy tầng mặt từ hệ thống Radar biển và trường nhiệt độ nước biển tầng mặt, mực nước phân tích từ ảnh vệ tinh vào mô hình ROMS kết hợp với sơ đồ đồng hóa biến phân 4 chiều 4D-Var.

Ngoài ra, các nghiên cứu của Breivik and Sætra [23], G Gopalakrishnan [27], Hoteit [28], Johannes Schulz-Stellenfleth [31], Julien Marmain [32], Paduan [40], Xavier Couvelard [46] cũng đã có cùng 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, từ năm 2011 hệ thống Radar biển đã thiết lập được 3 trạm quan trắc trực tiếp tại Hòn Dấu, Nghi Xuân và Đòng Hới, đã tiến hành quan trắc liên tục đến nay với tần suất 1 giờ/ lần. Phạm vi quan trắc dòng chảy lớn nhất là 300 km tính từ vị trí đặt trạm Radar với bước lưới không gian là 5,825 km. Các dữ liệu quan trắc dòng chảy từ hệ thống Radar biển là trường dòng chảy 2 chiều trong phạm vi hoạt động của Radar và được cập nhật tự động liên tục về trạm trung tâm thông qua đường truyền internet. Đây là nguồn dữ liệu quan trọng trong nghiên cứu về dòng chảy biển cũng như phục vụ công tác nghiên cứu khoa học và quản lý nhà nước về biển hải đảo, phòng chống thiên tai và bảo vệ tài nguyên môi trường. Tuy nhiên, dữ liệu này vẫn chưa được khai thác và sử dụng một cách hiệu quả nhất, đặc biệt dữ liệu này chưa được sử dụng trong việc làm đầu vào cho việc đồng hóa dữ liệu của các mô hình số trị tại Việt Nam.

Trường dòng chảy tại vịnh Bắc Bộ đã được nghiên cứu, mô phỏng khá nhiều trong các nghiên cứu trước đây. Các nghiên cứu tập trung vào việc đánh giá trường dòng chảy bề mặt theo các mùa đặc trưng [1], [5] và một số các nghiên cứu đã đưa ra những đánh giá về cấu trúc dòng chảy tại các tầng sâu [8], [17], [21].

Với các kết quả nghiên cứu trước đây cho thấy, trong nghiên cứu trường dòng chảy khu vực vịnh Bắc Bộ chỉ sử dụng một trong hai phương pháp: 1) Mô hình hóa; 2) Quan trắc trực tiếp. Với 2 phương pháp trên đều có những hạn chế nhất định như đã phân tích ở trên. 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 để 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. 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.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Thiết lập và ứng dụng được mô hình ROMS với kỹ thuật đồng hóa dữ liệu dòng chảy quan trắc từ Radar biển trong mô phỏng dòng chảy tại khu vực vịnh Bắc Bộ;

Phân tích, đánh giá được đặc điểm của trường dòng chảy theo không gian và thời gian cho khu vực vịnh Bắc Bộ từ số liệu tái phân tích là kết quả của mô hình số trị sau khi đã sử dụng kỹ thuật đồng hóa dữ liệu.

3. Nhiệm vụ và nội dung nghiên cứu

- Tổng quan các nghiên cứu về dòng chảy tại khu vực vịnh Bắc Bộ, các nghiên cứu về ứng dụng kỹ thuật đồng hóa dữ liệu kết hợp với mô hình số trị;

- 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 quan trắc bằng vệ tinh; số liệu địa hình, đường bờ; số liệu khí tượng, thủy văn, hải văn và các tài liệu có liên quan đến đề tài;

- Thiết lập và ứng dụng kỹ thuật đồng hóa 4D-Var để đồng hóa dữ liệu dòng chảy từ Radar biển, nhiệt độ nước biển bề mặt và mực nước quan trắc từ vệ tinh vào mô hình ROMS;

- Đánh giá hiệu quả của mô hình ROMS sau khi đã sử dụng kỹ thuật đồng hóa dữ liệu;

- Mô phỏng và đánh giá trường dòng chảy chi tiết theo không gian và thời gian bằng mô hình ROMS có sử dụng kỹ thuật đồng hóa dữ liệu.

4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

- *Đối tượng nghiên cứu*: trường dòng chảy theo không gian và thời gian tại khu vực vịnh Bắc Bộ.

- *Phạm vi nghiên cứu*: vùng biển vịnh Bắc Bộ.

5. Phương pháp nghiên cứu

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

- Phương pháp mô hình toán: Mô hình ROMS được sử dụng để mô phỏng trường thủy động lực 3 chiều khu vực vịnh Bắc Bộ.

- Phương pháp đồng hóa dữ liệu: Phương pháp 4D-Var được sử dụng để đồng hóa các dữ liệu quan trắc vào mô hình ROMS như: dòng chảy quan trắc từ hệ thống Radar biển, dữ liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt, mực nước quan trắc từ vệ tinh.

- Phương pháp phân tích thống kê: Trường dòng chảy trung bình vịnh Bắc Bộ theo tháng được phân tích từ dữ liệu tái phân tích là kết quả của mô hình ROMS sau khi đã được đồng hóa dữ liệu.

6. 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.

7. Những điểm 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.

8. 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.

9. Cấu trúc 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 đồng hóa dữ liệu và dòng chảy vịnh Bắc Bộ.

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 CÁC NGHIÊN CỨU VỀ ĐỒNG HÓA DỮ LIỆU VÀ DÒNG CHẢY VỊNH BẮC BỘ

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

1.1.1. Các nghiên cứu trên thế giới

Trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu, ứng dụng kỹ thuật đồng hóa số liệu kết hợp với mô hình số trị để tái phân tích các trường thủy động lực biển cũng như ứng dụng trong các bài toán dự báo biển và đạt được các những thành công nhất định. Trong đó, các dữ liệu phục vụ cho bài toán đồng hóa chủ yếu là các dữ liệu quan trắc tự động và trên phạm vi rộng, điển hình như dữ liệu mực nước biển được quan trắc từ vệ tinh, số liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt được phân tích từ ảnh vệ tinh MODIS, dữ liệu quan trắc trường dòng chảy từ các hệ thống Radar biển. Dưới đây là một số công trình nghiên cứu, ứng dụng kỹ thuật đồng hóa số liệu kết hợp với mô hình số trị trong các nghiên cứu về thủy động lực học biển.

Tác giả Hoteit và cộng sự đã có công trình nghiên cứu đánh giá hiện trạng về dữ liệu hải dương học và phương hướng mới trong lĩnh vực dữ liệu hải dương học. Trong công trình này, nhóm tác giả đã đánh giá hiệu quả của các phương pháp đồng hóa: 3DVAR, phương pháp nội suy tối ưu, phương pháp lọc Kalman và phương pháp 4DVAR trong việc tái phân tích dữ liệu hải dương học. Trong đó, nghiên cứu đã đưa ra các thảo luận tầm quan trọng của những luận điểm giải quyết những hạn chế đối với dữ liệu được mô phỏng bằng mô hình và đưa ra các phương pháp tiếp cận trong việc kết hợp giữa đồng hóa số liệu với mô hình để có được các dữ liệu tốt nhất trong lĩnh vực hải dương học [28]

Tác giả Dr. James A và cộng sự đã có công trình nghiên cứu, mô phỏng tái phân tích dữ liệu hải dương học toàn cầu trong thời gian 46 năm (từ năm 1950 đến 1995) trong đó sử dụng đồng hóa dữ liệu nhiệt độ và độ mặn nước biển từ bản đồ thế giới 1994 và dữ liệu mực nước biển từ vệ tinh Topex. Gói dữ liệu này hiện nay đang được công bố và cho phép cộng đồng khai thác miễn phí. Đây cũng là một trong những nguồn dữ liệu được nhiều nhà khoa học tham khảo, khai thác và sử dụng [25]

Tác giả Paduan, Jeffrey & Shulman, Igor đã sử dụng phương pháp đồng hóa lọc

Kalman kết hợp với mô hình ICON được phát triển từ mô hình hoàn lưu hải dương POM để tái phân tích trường dòng chảy khu vực vịnh Monterey thuộc bang California, Hoa kỳ. Trong nghiên cứu này, tác giả đã sử dụng số liệu dòng chảy quan trắc từ hệ thống Radar tần số cao (hãng CoDar) để phân tích tương quan giữa dòng chảy được dự đoán theo mô hình và dòng chảy quan trắc thực tế cho thấy sự thay đổi không gian và thời gian giữa các đối tượng được mô hình hóa và quan trắc. Sự cải thiện đáng kể trong mối tương quan giữa mô hình và quan trắc sau khi số liệu được đồng hóa sử dụng phương pháp lọc Kalman [40]

Công trình nghiên cứu của tác giả Xavier Couvelard cùng cộng sự trong việc đánh giá lợi ích của số liệu dòng chảy tầng mặt đối với hoàn lưu khu vực biển Nam Phi. Trong nghiên cứu này tác giả đã sử dụng số liệu quan trắc dòng chảy tầng mặt thu được từ hệ thống Radar biển tần số cao được đồng hóa trong mô hình ROMS với phương pháp nội suy tối ưu. Các kết quả sau khi đồng hóa đã được đánh giá so sánh với số liệu quan trắc bằng thiết bị ADCP cho thấy: số liệu dự báo trong thời gian 48 giờ được cải thiện rõ rệt và chủ yếu trong khu vực thuộc phạm vi độ phủ của hệ thống Radar biển. Tuy nhiên sự điều chỉnh theo xu thế của 48 giờ đó vẫn còn tồn tại trong thời gian sau 48 giờ [46]

Tác giả Julien Marmain và cộng sự đã có công trình nghiên cứu đồng hóa số liệu dòng chảy bề mặt từ hệ thống Radar tần số cao để tối ưu hóa lực tác động bề mặt đối với vùng biển Địa Trung Hải. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã sử dụng sơ đồ lọc Kalman để đồng hóa số liệu quan trắc dòng chảy kết hợp với mô hình hoàn lưu khu vực ROMS để tái phân tích trường dòng chảy khu vực bờ tây biển Địa Trung Hải. Kết quả nghiên cứu cho thấy, sau khi đồng hóa, ứng suất gió bề mặt được trả lại sau các bước lặp được hiệu chỉnh đáng kể cùng với đó là những cải tiến đáng kể đối với dòng tầng mặt được tái phân tích bằng mô hình khi so sánh với số liệu quan trắc thực tế thu được [32].

Tác giả G Gopalakrishnan & A F Blumberg đã nghiên cứu đồng hóa dữ liệu thu được từ hệ thống Radar biển được lắp đặt cho Vịnh Raritan và vùng biển ven biển của New York và New Jersey. Phương pháp nội suy tối ưu được áp dụng kết hợp

với mô hình hoàn lưu đại dương ba chiều POM đã cho ra các kết quả đồng hóa kết hợp với dự báo hằng ngày trong khoảng thời gian 40 ngày tại khu vực vịnh Raritan trong thời gian quan trắc đồng thời bằng thiết bị ADCP và thiết bị đo biển tự hành Glider. Bài toán được xây dựng với cửa sổ đồng hóa là 2 ngày, thời gian đồng hóa từ -24 giờ đến 0 giờ và dự báo từ 0 đến +24 giờ. Qua kết quả thử nghiệm cho thấy hiệu quả của đồng hóa dữ liệu đáng kể khi sai số đối với dòng chảy trong thời gian đồng hóa giảm 24% và trong thời gian dự báo giảm 14%. Đối với nhiệt độ con số này tương đương với 33% và 25%, còn đối với độ mặn là 38% và 30% [27].

Tác giả Breivik và Sætra đã có công trình nghiên cứu đồng hóa dữ liệu thời gian thực của số liệu dòng chảy từ hệ thống Radar tần số cao vào trong mô hình hoàn lưu đại dương. Các tác giả đã sử dụng sơ đồ lọc Kalman kết hợp với mô hình hoàn lưu đại dương POM để đồng hóa thời gian thực trường dòng chảy tầng mặt cho khu vực bờ biển NaUy. Hệ thống đồng hóa và dự báo thời gian thực nhằm cung cấp các phân tích và dự báo hiện tại dựa trên việc đồng hóa các số liệu quan trắc dòng chảy tầng mặt bằng Radar tần số cao. Công tác giám sát giao thông của hai bên chuyên vận chuyển dầu ở bờ biển Na Uy đã nhận được các phân tích và dự báo trong thời gian thực. Hệ thống này cung cấp nhanh chóng các phân tích và dự báo với tần suất sáu giờ/lần được cập nhật sau 45 phút khi có số liệu thu được từ hệ thống quan trắc dòng chảy bằng Radar biển [23].

Công trình nghiên cứu tối ưu hóa tham số trong mô hình hoàn lưu sử dụng sơ đồ đồng hóa dữ liệu 4D-Var số liệu quan trắc dòng chảy và mực nước do tác giả Johannes Schulz-Stellenfleth và cộng sự đã khai thác các số liệu quan trắc dòng chảy tầng mặt từ hệ thống Radar tần số cao (HF) được sử dụng kết hợp với các quan trắc bằng thiết bị ADCP và các quan trắc mực nước làm đầu vào cho sơ đồ đồng hóa 4D-VAR đối với khu vực biển phía bắc nước Đức. Trọng tâm của nghiên cứu là sai số hệ thống của mô hình với véc tơ điều khiển bao gồm các tham số đo độ sâu, độ nhám đáy, các điều kiện biên mở, lực bề mặt cũng như mô hình tham số hóa rôi. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình được tối ưu hóa có sự phù hợp tốt hơn với dữ liệu quan trắc từ hệ thống Radar HF và các quan trắc mực nước cả trong giai đoạn thử

nghiệm hai tuần và giai đoạn thực hiện 1 tháng sau đó [31]

Tác giả Daget và cộng sự đã phát triển hệ thống 3D-Var kết hợp với mô hình hoàn lưu đại dương để thực hiện đồng hóa các trường thủy động lực cho vùng biển Thái Bình Dương. Trong nghiên cứu này, tác giả đã ứng dụng sơ đồ đồng hóa biến phân 3 chiều để hiệu chỉnh lại các trường đầu vào như ứng suất gió bề mặt, thông lượng nhiệt bề mặt để đưa vào mô hình, kết hợp sử dụng các số liệu quan trắc về nhiệt độ và độ muối sử dụng trong quá trình đồng hóa dữ liệu [24].

Tác giả Ganesh Gopalakrishnan đã thực hiện đề tài luận án tiến sĩ về sử dụng số liệu quan trắc dòng chảy bề mặt từ Radar tần số cao (hệ thống Radar Codar gồm 4 trạm) đồng hóa vào hệ thống dự báo và quan trắc khu vực cảng New York [26]. Trong nhiệm vụ này, tác giả đã sử dụng nhiều sơ đồ đồng hóa (3D-Var, 4D-Var và lọc Kalman) kết hợp với mô hình nước nông POM (Princeton ocean model) để thực hiện dự báo và giám sát trường dòng chảy cảng New York.

Công trình nghiên cứu đồng hóa thời gian thực của dòng chảy từ Radar tần số cao vào mô hình biên ven bờ do tác giả Oyvind Breivik (2011) [39] đã sử dụng số liệu quan trắc dòng chảy từ hệ thống Radar biển để đồng hóa vào mô hình POM dựa trên sơ đồ nội suy tối ưu. Mục đích của công trình này là cung cấp các phân tích và dự báo hiện trạng trường dòng chảy, hoạt động của dịch vụ giao thông hàng hải cho khu vực cảng của NaUy. Hệ thống dự báo mang lại các kết quả phân tích và dự báo tốt hơn đối với dự báo hạn ngắn được cải thiện đáng kể so với mô hình không đồng hóa.

Tác giả Peng Yu và nnk đã có nghiên cứu về đồng hóa dữ liệu dòng chảy tầng mặt từ hệ thống Radar tần số cao vào mô hình cho khu vực ngoài khơi Oregon [41]. Trong nghiên cứu này các tác giả không chỉ sử dụng số liệu dòng chảy từ hệ thống Radar biển tần số cao (kết hợp của 6 trạm phạm vi rộng và 5 trạm phạm vi tiêu chuẩn) mà còn sử dụng số liệu về nhiệt độ nước biển tầng mặt phân tích từ ảnh vệ tinh MODIS, số liệu mực nước phân tích từ sản phẩm của vệ tinh Jason1. Các dữ liệu này được sử dụng đồng hóa vào mô hình ROMS bằng phương pháp nội suy tối ưu để tái phân tích lại trường dòng chảy cho khu vực ngoài khơi Oregon.

Công trình nghiên cứu của nhà khoa học Kai H. Christensen đã đồng hóa dữ liệu dòng chảy tầng mặt vào phiên bản lý tưởng của mô hình ROMS-4Dvar [33]. Trong công trình này tác giả đã sử dụng sơ đồ đồng hóa biến phân 4 chiều để đồng hóa dữ liệu quan trắc dòng chảy tổng cộng tầng mặt từ hệ thống Radar biển (hệ thống Codar-Radar) tại khu vực biển phía tây NaUy vào mô hình ROMS.

Tác giả Taekyun Kim và nnk đã có công trình nghiên cứu đồng hóa dữ liệu biến phân bốn chiều với hệ thống mô hình hoàn lưu đại dương quy mô khu vực (ROMS) để đánh giá sự phân bố các khối nước trong Biển Vàng, đảo Jeju. Trong nghiên cứu này, tác giả đánh giá hiệu quả của đồng hóa dữ liệu dựa trên sơ đồ biến phân 4 chiều với hệ thống mô hình ROMS [44]. Hai thí nghiệm đồng hóa được so sánh: đồng hóa nhiệt độ bề mặt biển quan trắc từ vệ tinh và kết hợp với dữ liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt và dữ liệu đo CTD bởi các thuyền nhỏ trong khu vực từ tháng 1 đến tháng 12 năm 2011. Kết quả chỉ ra rằng sau khi đồng hóa dữ liệu các cấu trúc của các khối nước thể hiện rõ và chính xác hơn, nhất là đối với trường hợp kết hợp với số liệu quan trắc CTD bằng các tàu nhỏ.

Đi sâu vào nghiên cứu đồng hóa biến phân bốn chiều kết hợp với mô hình ROMS, nhà khoa học Andrew M. Moore và cộng sự đã có một số công trình được công bố như: Hệ thống đồng hóa biến phân bốn chiều được kết hợp với mô hình hải dương học khu vực [22]. Trong nghiên cứu này, tác giả đã trình bày các phương pháp và thuật toán đồng hóa dữ liệu được sử dụng trong ROMS dựa trên việc tìm kiếm ước tính hoàn lưu tốt nhất trong một không gian được mở rộng bởi vectơ điều khiển hoặc trong không gian kép bao trùm bởi các số liệu quan trắc. Việc tìm kiếm ước tính hoàn lưu tốt nhất được tạo điều kiện bằng cách sử dụng công thức Lanczos của phương pháp gradient liên hợp. Với các thuật toán giải mô hình của các ma trận hiệp phương sai số nên và điều kiện trước dựa trên thuật toán Lanczos.

1.1.2. Các nghiên cứu trong nước

Việc áp dụng kỹ thuật đồng hóa số liệu ở Việt Nam được nghiên cứu, ứng dụng nhiều trong dự báo khí tượng cụ thể như sau:

Tác giả. Nguyễn Kim Cương [3] đã có công trình “Nghiên cứu đồng hóa trường

nhệt mặt biển khu vực ven bờ miền Trung Việt Nam sử dụng mô hình ROMS”, trong đó bài báo đã áp dụng mô hình hải dương học khu vực (ROMS) và kỹ thuật đồng hóa 4D-Var để nghiên cứu thử nghiệm đồng hóa trường nhiệt mặt biển khu vực ven bờ miền Trung Việt Nam. Các kết quả nghiên cứu cho thấy trường nhiệt mặt biển đã được đồng hóa tốt cả về định lượng cũng như đảm bảo được các đặc trưng vật lý của các trường thủy động lực. Trong nghiên cứu này các dữ liệu nhiệt độ quan trắc từ vệ tinh khá đầy đủ tuy nhiên chỉ có tại tầng mặt. Vì vậy, có thể hạn chế trong các kết quả mô phỏng đối với các tầng sâu đặc biệt là khu vực biển Trung bộ có độ sâu lớn..

Nghiên cứu ứng dụng sơ đồ đồng hóa số liệu 3D-Var cho mô hình WRF nhằm dự báo quỹ đạo bão trên Biển Đông tại Hội thảo khoa học Quốc gia về Khí tượng Thủy văn, Môi trường và Biến đổi Khí hậu, (2012) của Hoàng Đức Cường, Nguyễn Thị Thanh, Trần Thị Thảo, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường [4]. Kết quả dự báo thử nghiệm đối với cơn bão NEOGURI, trong hai trường hợp có và không đồng hóa số liệu cho trường ban đầu cho thấy, sai số khoảng về tâm bão khi có đồng hóa số liệu giảm đáng kể trong 30 giờ dự báo đầu tiên, sai số dọc và sai số ngang cũng có những cải thiện nhất định. Tổng hợp kết quả thử nghiệm đối với 18 cơn bão hoạt động trên Biển Đông năm 2008, 2009 cũng cho thấy hiệu quả sử dụng của sơ đồ đồng hóa số liệu cho mô hình WRF, nhằm dự báo quỹ đạo bão, nhất là trong khoảng 42 giờ dự báo đầu tiên. Đối với phương pháp này, dữ liệu phục vụ đồng hóa bao gồm số liệu về nhiệt độ, nhiệt độ điểm sương, áp suất, hướng gió tại các trạm cao không của Việt Nam. Các số liệu này có ưu điểm là quan trắc được nhiều tầng theo các số liệu thám không, tuy nhiên mật độ số liệu rời rạc. Vì vậy, để nâng cao độ chính xác có thể bổ sung thêm các số liệu quan trắc có mật độ phủ dày theo không gian như số liệu gió từ quan trắc từ vệ tinh, ...

Đồng hóa số liệu bằng phương pháp biến phân bốn chiều trong dự báo thời tiết bằng phương pháp số trị (2008) của Huỳnh Thị Hồng Ngự [10], tác giả đã đánh giá đồng hóa số liệu trong dự báo thời tiết bằng phương pháp số trị là một quy trình phức tạp và ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng dự báo. Trong quy trình này, các số

liệu quan trắc được kết hợp với kết quả dự báo ngắn hạn trước đây của mô hình để tạo ra điều kiện ban đầu cho một phiên bản dự báo mới. Bài báo giới thiệu: kỹ thuật đồng hóa biến phân bốn chiều 4D-Var là phương pháp đồng hóa số liệu tiên tiến nhất hiện nay; xem xét khả năng áp dụng đồng hóa số liệu trong dự báo thời tiết bằng các mô hình số trị và hướng phát triển trong tương lai của kỹ thuật này ở Việt Nam. Số liệu sử dụng trong sơ đồ đồng hóa này là số liệu mưa từ các trạm tự động và số liệu mưa phân tích từ ảnh Radar. Các số liệu này khá đa dạng và tương đối đầy đủ. Vì vậy, kết quả mang lại sẽ góp phần điều chỉnh tốt hơn các biến cơ bản của trường ban đầu (ví dụ như nhiệt độ, độ ẩm) dù chỉ có sự thay đổi nhỏ của lượng mưa được đồng hóa (bài toán dự báo mưa). Đối với nghiên cứu này sẽ bị hạn chế trong dự báo bão vì các biến khác như gió và áp suất không đưa vào trường đầu vào đối với sơ đồ đồng hóa biến phân bốn chiều 4D-Var.

Đồng hóa dữ liệu nhiệt độ nước biển từ ảnh vệ tinh MODIS vào trong mô hình WRF để dự báo mưa lớn ở khu vực Trung Bộ (2011) của Trần Tân Tiến, Nguyễn Thị Thanh, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường [13]. Nghiên cứu sử dụng số liệu vệ tinh MODIS để đồng hóa trường ban đầu cho mô hình WRF bằng phương pháp 3D-var để dự báo mưa lớn cho khu vực Trung Bộ trong hai mùa mưa 2007, 2008. Kết quả nghiên cứu cho thấy, đồng hóa số liệu từ ảnh MODIS đã cải thiện đáng kể cả về diện mưa và lượng mưa dự báo trong 30 giờ đầu. Tuy nhiên, ở hạn dự báo từ 30 giờ đến 54 giờ việc đồng hóa số liệu từ ảnh MODIS không cho kết quả vượt trội so với trường hợp không đồng hóa.

Các nghiên cứu áp dụng kỹ thuật đồng hoá số liệu trong dự báo khí tượng cũng đã đạt được một số kết quả nhất định, việc áp dụng kỹ thuật này vào dự báo trong hải dương học đặc biệt là dự báo sóng sẽ gia tăng độ chính xác và xây dựng được bộ công nghệ dự báo sóng phù hợp, tiến tới phát triển trở thành nghiệp vụ dự báo.

Bên cạnh đó, việc nghiên cứu áp dụng kỹ thuật đồng hoá số liệu cũng bắt đầu được các nhà khoa học quan tâm và tiến hành nghiên cứu trong các đề tài khoa học công nghệ, cụ thể:

Trong khuôn khổ đề tài “Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ dự báo

quỹ đạo chuyển động trôi trên mặt nước của vật thể phục vụ công tác tìm kiếm cứu hộ, cứu nạn trên Biển Đông”, tác giả Nguyễn Minh Huấn [7] đã khai thác một số sơ đồ đồng hóa IO, KF và 4D-Var kết hợp với mô hình thủy động để tạo ra trường nền phục vụ cho bài toán dự báo quỹ đạo chuyển động trôi của các vật thể phục vụ công tác tìm kiếm cứu hộ, cứu nạn trên khu vực Biển Đông. Đề tài đã so sánh, đánh giá hiệu của các phương pháp đồng hoá số liệu trên để lựa chọn phương pháp đồng hoá số liệu phù hợp có thể tích hợp với mô hình số trị trong việc dự báo sóng và dòng chảy.

Đề tài "Nghiên cứu hoàn thiện công nghệ dự báo sóng tác nghiệp cho vùng biển vịnh Bắc Bộ có sử dụng số liệu ra đa biển" của TS. Trần Quang Tiến đã sử dụng số liệu quan trắc sóng từ Radar biển để nghiên cứu, tính toán thử nghiệm đồng hoá số liệu bằng mô hình SWAN kết hợp với kỹ thuật đồng hoá lọc Kalman áp dụng cho khu vực vịnh Bắc Bộ [16]. Trong nghiên cứu này, tác giả mới chỉ đưa số liệu độ cao sóng quan trắc từ hệ thống Radar biển gồm 3 trạm (Hòn Dấu, Nghi Xuân và Đòng Hới) với phạm vi từ bờ ra ngoài khơi khoảng 30 km vào đồng hóa. Mỗi trạm có từ 4 – 5 vị trí được quan trắc sóng. Vì vậy, kết quả mới chỉ mang tính nghiên cứu thử nghiệm. Số liệu rời rạc lên kết quả sau khi đồng hóa chưa được cải thiện rõ rệt.

Trong khuôn khổ luận án của TS. Nguyễn Trung Thành “Nghiên cứu ứng dụng phương pháp đồng hoá số liệu phục vụ mô hình dự báo sóng” đã nghiên cứu, thử nghiệm thành công phương pháp đồng hóa bằng sơ đồ lọc Kalman trong mô hình SWAN nhằm nâng cao độ chính xác trong công tác dự báo sóng [14]. Tác giả đã sử dụng 2 nguồn số liệu: 1) số liệu quan trắc sóng từ các trạm phao; 2) số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển. Kết quả nghiên cứu cho thấy quá trình đồng hoá số liệu bằng phương pháp lọc Kalman tổ hợp với số liệu quan trắc độ cao sóng nhưng kết quả cho thấy việc đồng hoá số liệu cũng làm thay đổi cả chu kỳ và hướng sóng. Trong khoảng thời gian dự báo từ 1 đến 24 giờ, đồng hóa làm giảm đáng kể sai số tính toán và giảm dần độ chính xác trong khoảng từ 25 đến 48 giờ dự báo so với khi không đồng hoá số liệu. Tuy nhiên, hiện nay tại Việt Nam số lượng trạm phao quan trắc sóng còn rất hạn chế, một số trạm xây dựng từ những năm 2000 không còn hoạt

động. Ngoài ra, số liệu quan trắc sóng từ hệ thống Radar biển không ổn định. Vì vậy, để kết quả của nghiên cứu này được áp dụng để thử nghiệm trong dự báo cần có hệ thống quan trắc sóng phù hợp để cung cấp các dữ liệu sóng kịp thời, trên diện rộng phục vụ cho công tác dự báo biển.

Tác giả Vũ Văn Thăng, Trần Duy Thức, Nguyễn Quang Trung [15] đã có công trình “Thử nghiệm đồng hóa số liệu bằng WRF 4D-Var trong dự báo mưa ở khu vực Nam Bộ”, công trình giới thiệu việc thử nghiệm áp dụng phương pháp 4D-Var thông qua mô hình WRF trong dự báo mưa ở Việt Nam, cụ thể là khu vực Nam Bộ. Các thí nghiệm đồng hóa số liệu mưa tự động và số liệu Radar trong dự báo đợt mưa ngày 25 và ngày 26/11/2018. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy phương pháp 4D-Var đã điều chỉnh các biến cơ bản của trường ban đầu (như nhiệt độ, độ ẩm), dù chỉ có sự thay đổi nhỏ của lượng mưa được đồng hóa. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng chỉ ra yêu cầu về mặt tài nguyên tính toán của phương pháp 4D-Var lớn hơn đáng kể so với phương pháp biến phân ba chiều.

Trong các nghiên cứu về đồng hóa ở Việt Nam, phần lớn tập trung vào việc áp dụng các sơ đồ đồng hóa được các tác giả trên thế giới xây dựng và phát triển vào điều kiện của Việt Nam. Trong đó, đối với các trường khí tượng sơ đồ đồng hóa được áp dụng nhiều là sơ đồ biến phân bốn chiều cho mô hình WRF, đối với các biến hải dương học sơ đồ biến phân bốn chiều được kết hợp với mô hình hoàn lưu khu vực ROMS, phương pháp lọc Kalman được áp dụng đối với mô hình sóng SWAN. Các kết quả nghiên cứu đã đạt được thành công trong dự báo thử nghiệm, đang từng bước tiến tới ứng dụng trong dự báo tác nghiệp cũng như các ứng dụng thực tiễn khác.

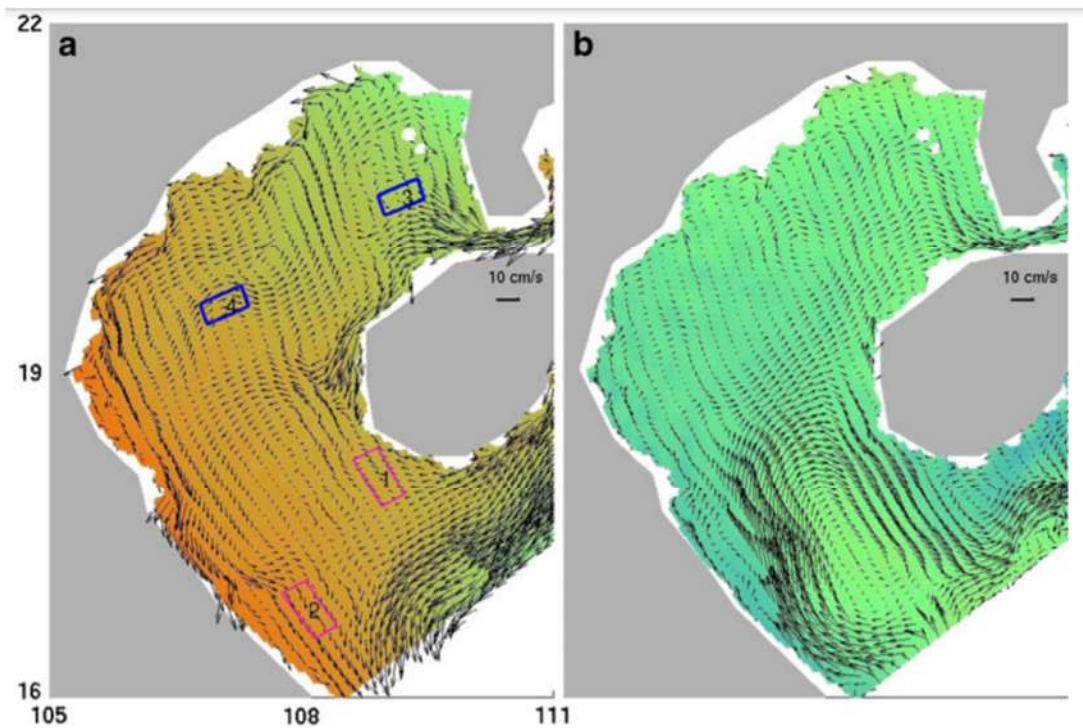
Ngoài ra, còn một số nghiên cứu độc lập khác của các nhà khoa học thuộc các Trường Đại học và Viện Nghiên cứu thực hiện nhưng chưa công bố.

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

1.2.1. Trên thế giới

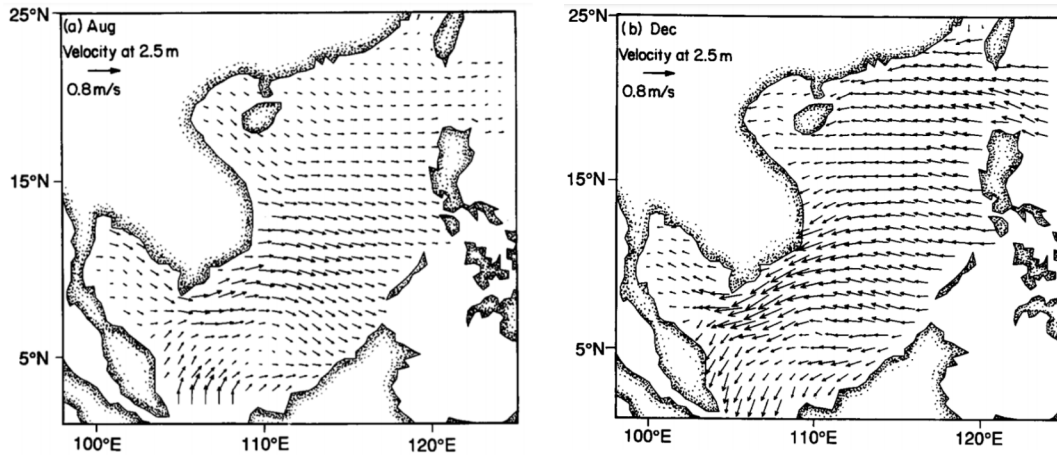
Trên thế giới đã có một số tác giả nghiên cứu về dòng chảy vịnh Bắc Bộ, trong đó tập trung vào sử dụng phương pháp mô hình hóa đã đưa ra các nhận định, đánh

giá. Theo nghiên cứu của Gao và nnk (2013) [30], hoàn lưu ở vịnh Bắc Bộ được tác giả nghiên cứu bằng cách sử dụng mô hình POM. Trong nghiên cứu này chỉ ra rằng ở phía nam vịnh Bắc Bộ, hoàn lưu trung bình theo độ sâu tạo thành xoáy nghịch vào mùa hè và chuyển thành xoáy thuận vào mùa đông. Các dòng chảy ở eo biển Quỳnh Châu cũng đóng một vai trò quan trọng trong việc làm sự thay đổi hoàn lưu ở phía đông bắc của vịnh Bắc Bộ (Hình 1. 1).



Hình 1. 1: Trường dòng chảy trung bình theo độ sâu khu vực vịnh Bắc Bộ theo nghiên cứu của Gao và nnk (2013) [30]: (a) tháng 1, (b) tháng 7.

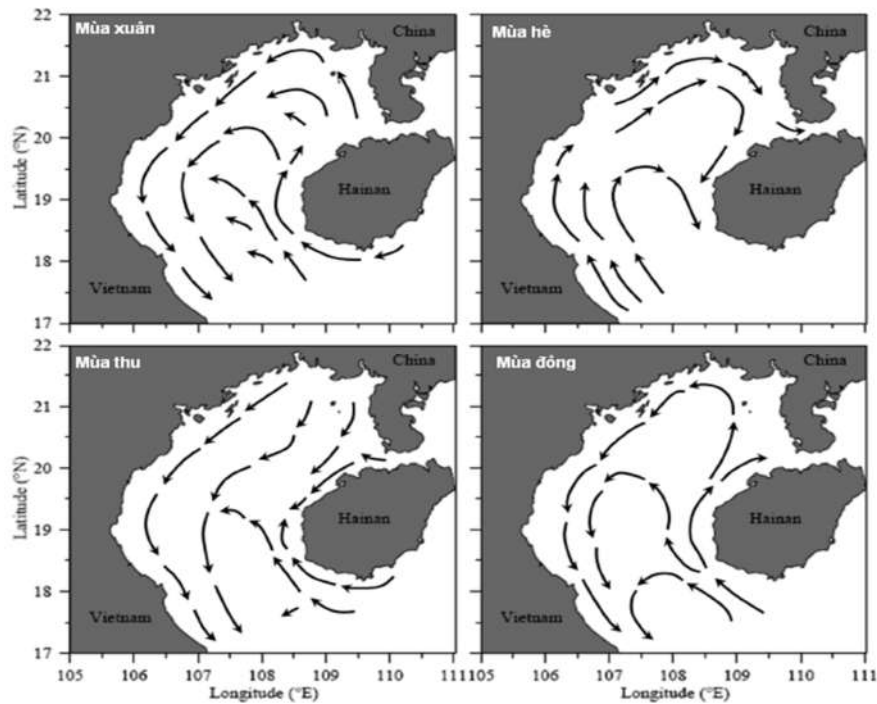
Trong nghiên cứu của Shaw và Chao (1994) [43] đã đưa ra nhận định về đặc điểm của dòng chảy tại độ sâu 2,5m có hướng đông nam vào tháng 8 và tây nam vào tháng 12 (Hình 1. 2).



Hình 1. 2: Hoàn lưu tầng 2,5 mét vùng Biển Đông và vịnh Bắc Bộ theo nghiên cứu của Shaw và Chao (1994) [34]: (a) tháng 8, (b) tháng 12

Xue và nnk (2004) [44] cũng bằng cách dùng điều kiện gió khí hậu trung bình tháng để tìm ra được sự biến đổi khí hậu hàng năm của hoàn lưu Biển Đông, trong đó với độ phân giải ngang khoảng 10km ở thềm phía bắc, dòng chảy trung bình theo độ sâu trong vịnh Bắc Bộ biến đổi từ hoàn lưu xoáy thuận mở trong mùa thu và mùa đông thành hoàn lưu xoáy nghịch mở từ cuối mùa xuân đến mùa hè.

Trong nghiên cứu của Ding và nnk [49] (Hình 1. 3), hoàn lưu tầng mặt vịnh Bắc Bộ trong các tháng mùa xuân, mùa thu và mùa đông tương tự như nhau. Trong các mùa này, nước từ phía nam đảo Hải Nam đi vào trong vịnh, men theo phía tây đảo Hải Nam đi ngược lên phía bắc vịnh rồi vòng lại theo bờ đông của các tỉnh Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ thoát ra ngoài vịnh Bắc Bộ. Trong các tháng mùa hè, hoàn lưu có hướng ngược lại với 3 mùa còn lại của năm. Trong nghiên cứu này, hoàn lưu các xoáy thuận và xoáy nghịch ở trung tâm và phía bắc vịnh không được thể hiện rõ. Nguyên nhân dẫn đến sự thiếu vắng của các hoàn lưu này có thể do số liệu thu thập về dòng chảy, số liệu chưa đủ để phân tích ra các đặc trưng quy mô nhỏ của hoàn lưu vùng biển này.



Hình 1. 3: Hoàn lưu vịnh Bắc Bộ theo nghiên cứu của Ding và nnk [49]

Tác giả Yu and Liu (1993) [50] đã có nhận định về tồn tại một hệ thống dòng chảy ven bờ phía tây vịnh Bắc Bộ từ phía bắc xuống phía nam và song song với nó là dòng chảy dòng chảy từ phía nam ngược lên phía bắc tại bờ phía đông vịnh Bắc Bộ trong các tháng gió mùa đông bắc. Trong các tháng mùa hè hoàn lưu khu vực vịnh Bắc Bộ thường yếu hơn mùa đông và có hướng ngược lại với các tháng mùa đông.

Theo tác giả Yuan and Deng (1999) [51], dựa trên số liệu quan trắc dòng chảy ở phía bắc vịnh Bắc Bộ trong khoảng 1 năm trong giai đoạn 1988-1989 đã có một số nhận định về chế độ dòng chảy khu vực vịnh Bắc Bộ. Trong đó, tại các tháng mùa hè ở phía bắc vịnh Bắc Bộ hình thành một hoàn lưu xoáy thuận là kết quả của sự kết hợp giữa hoàn lưu do gió và dòng chảy được bổ sung từ eo biển Quỳnh Châu. Sự tương tác giữa gió mùa tây nam và dòng chảy từ sông Hồng có thể tăng cường đáng kể hoàn lưu xoáy thuận này. Tuy nhiên, đối với các tầng sâu, sự tác động của các yếu tố trên không đáng kể.

Công trình nghiên cứu của Wu, C. R., P. T. Shaw và S. Y. Chao (1998) [52], đã

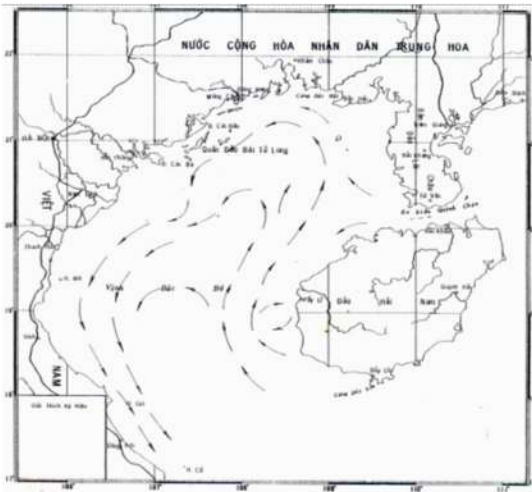
sử dụng mô hình hoàn lưu 3 chiều để mô phỏng sự thay đổi của mực nước biển và hoàn lưu ở Biển Đông trong giai đoạn 1992–1995. Tác giả sử dụng điều kiện gió trung bình ngày của NCEP/NCAR mô phỏng và đánh giá chế độ dòng chảy 3 chiều khu vực Biển Đông và vùng biển vịnh Bắc Bộ. Trong nghiên cứu này, tác giả đã đưa ra nhận định trong thời gian mùa đông tồn tại một dòng chảy ven bờ phía tây vịnh Bắc Bộ có hướng từ bắc xuống nam và nhập vào hoàn lưu xoáy thuận trên quy mô toàn Biển Đông tại khu vực ven bờ tây của Biển Đông. Trong các tháng mùa hè hoàn lưu xoáy nghịch tồn tại ở phía bắc vịnh Bắc Bộ do xoáy nước mạnh đổ từ eo biển Quỳnh Châu vào vịnh. Ngoài ra, các nghiên cứu của một số tác giả như Xu và nnk (1980) [48], Zhuang và nnk (1981) [53] cũng có những nhận định tương tự.

1.2.2. Tại Việt Nam

Nghiên cứu tổng quan có hệ thống đầu tiên về vịnh Bắc Bộ là chương trình hợp tác giữa Trung Quốc và Việt Nam trong những năm 60 là một trong những chương trình có quy mô lớn nghiên cứu về hoàn lưu vịnh Bắc Bộ. Trong nghiên cứu này đã chỉ ra những hoàn lưu không khép kín có xoáy nghịch vào mùa hè và xoáy thuận vào mùa đông [1]. Ngoài ra, nghiên cứu này còn cho thấy khối nước của vịnh Bắc Bộ chủ yếu giao lưu với Biển Đông qua cửa phía nam của vịnh rộng chừng 230 km và sâu hơn 100 m. Một phần nhỏ nước được trao đổi qua eo biển hẹp (18 km) và không sâu (20 m) Quỳnh Châu. Do độ sâu khu vực này không lớn nên hoàn lưu trong vịnh Bắc Bộ được hình thành chủ yếu do tác động của trường gió thịnh hành trên mặt biển. Tuy nhiên, với sự liên kết tương đối chặt chẽ với Biển Đông, quá trình trao đổi nước qua cửa vịnh cũng gây nên tính đa dạng trong phân bố và biến động của hoàn lưu mùa trong vịnh. Tính đa dạng này còn bị chi phối bởi sự khác biệt của quá trình tương tác biển khí, chủ yếu là tương tác nhiệt trên vịnh phụ thuộc vào vị trí địa lý của chúng.

Đặc điểm quan trọng của hoàn lưu trong vịnh Bắc Bộ là sự tồn tại trong cả năm của dòng chảy ven bờ tây vịnh Bắc Bộ. Điều này đã được khẳng định không những bằng các kết quả phân tích số liệu khảo sát từ những năm 1960 **Error! Reference source not found.** mà còn được mô phỏng bằng kết quả mô hình hoá 3D trong một

số công trình thuộc các đề tài cấp bộ và cấp nhà nước. Bên cạnh hoàn lưu trong xoáy thuận nêu trên, các kết quả nghiên cứu từ số liệu thực tế cũng như mô hình hoá đều cho thấy sự hiện diện của một xoáy nghịch trên vùng biển phía bắc vịnh trong mùa hè **Error! Reference source not found.**

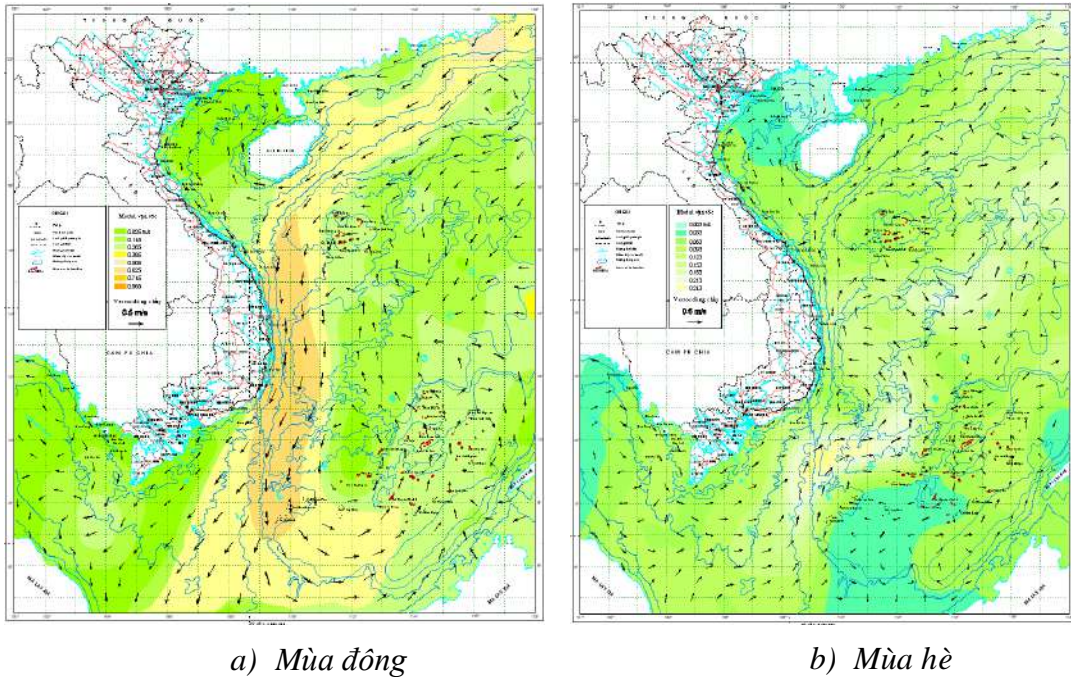


Hình 1. 4. Sơ đồ dòng chảy vịnh Bắc Bộ trong mùa đông theo Báo cáo kết quả điều tra tổng hợp vịnh Bắc Bộ (1964) [1] *Hình 1. 5. Sơ đồ dòng chảy vịnh Bắc Bộ trong mùa hè theo Báo cáo kết quả điều tra tổng hợp vịnh Bắc Bộ (1964) [1]*

Nguyên nhân hình thành bức tranh hoàn lưu trong mùa hè trên vịnh Bắc Bộ được mô tả trên đây, có thể lý giải bằng sự phân hoá về hướng gió trên vịnh, do hoạt động kết hợp của các hệ thống khí áp và dải hội tụ nhiệt đới của khu vực. Với hướng gió thịnh hành là đông và đông nam từ Bạch Long Vỹ đến Hải Phòng, Quảng Ninh, sự hình thành hai xoáy đối lập dấu nằm hai phía bắc và nam hoàn toàn khẳng định vai trò của gió trong mùa hè. Trong mùa đông, sự xâm nhập của dòng chảy Biển Đông góp phần làm tăng cường dòng chảy đi về phía nam ven bờ phía tây vịnh.

Đề tài KC09.24 (2005) đã xuất bản tập bản đồ biển Việt Nam đưa ra cấu trúc hoàn lưu Biển Đông trong đó có khu vực vịnh Bắc Bộ trên lưới tính 0,25 độ kinh vĩ tại bề mặt và các độ sâu 50m, 150m khá chi tiết và được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực có liên quan. Trong đó, các tháng mùa đông vịnh Bắc Bộ hình thành một hoàn lưu với nguồn nước được nhập vào trong vịnh từ ven theo bờ phía tây của đảo Hải

Nam đi ngược lên phía bắc vịnh Bắc Bộ sau đó ven theo bờ phía tây của vịnh đi xuống phía nam và nhập vào hoàn lưu lạnh từ phía bắc Biển Đông tại khu vực biển Trung Bộ (Hình 1. 6).



Hình 1. 6. Trường dòng chảy tầng mặt khu vực Biển Đông

(Nguồn: Đề tài KC09.24 (2005))

Trong khuôn khổ đề tài KC09.17 “Điều tra tổng hợp điều kiện tự nhiên, tài nguyên và môi trường vịnh Bắc Bộ” của TS. Nguyễn Thế Tường là chủ nhiệm [20]; Tác giả Đinh Văn Ưu (2004) và cộng sự đã chủ trì chuyên đề về nghiên cứu cấu trúc 3 chiều của nhiệt muối và hoàn lưu vịnh Bắc Bộ với lưới tính 1/12 độ kinh vĩ chỉ ra tồn tại xoáy nghịch trong mùa hè [17].

Một số kết quả tính toán dòng chảy trong vịnh Bắc Bộ bằng mô hình ba chiều phi tuyến do tác giả Trần Văn Chung, Bùi Hồng Long (2015) [2]. Công trình đã đưa ra một số nhận xét: Eo Quỳnh Châu đóng vai trò khá quan trọng trong trao đổi nước giữa vịnh Bắc Bộ và Biển Đông. Dòng chảy do gió đóng vai trò quan trọng bên trong vịnh Bắc Bộ, còn dòng chảy mật độ (nhiệt - muối), dòng thường kỳ đóng vai trò quan trọng ở vùng cửa chính và bên ngoài cửa chính của vịnh; trong vịnh Bắc

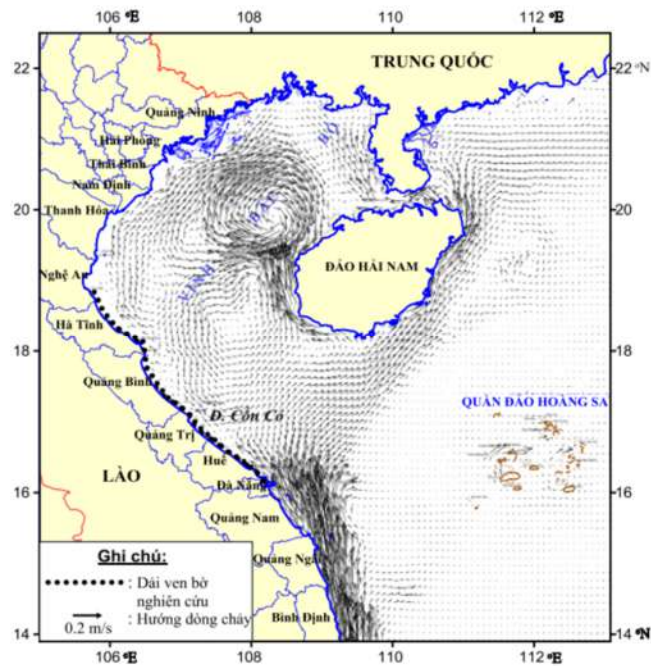
Bộ, tồn tại dòng chảy mạnh thường kỳ (trong cả năm thể hiện rõ trong hai mùa gió) đi từ phía bắc xuống phía nam qua cửa vịnh (điều này đã được xác nhận từ một số kết quả nghiên cứu trước đây) mà nguyên nhân chính là do dòng mật độ; trong vịnh, hình thành các xoáy thuận vào mùa gió đông bắc và xoáy nghịch vào mùa gió tây nam.

Hà Thanh Hương đã thực hiện luận án tiến sỹ “Nghiên cứu mô phỏng chế độ thủy văn và hoàn lưu vịnh Bắc Bộ” [8]. Trong luận án này, tác giả đã sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu có trọng số địa phương (LOWESS), để xây dựng mặt cong phân bố nhiệt độ theo từng độ sâu cho từng điểm, phục vụ cho dữ liệu đầu vào của mô hình hoàn lưu 3 chiều GHER. Công trình đã khẳng định, hoàn lưu mùa hè có sự phân hóa về hướng ngang vĩ tuyến 19°N , đồng thời chỉ ra hoàn lưu mùa hè tồn tại cả xoáy thuận ở nửa phía bắc và xoáy nghịch trên nửa phía nam vịnh, sự tồn tại quy mô của các xoáy cục bộ trên vịnh đã chỉ ra được sự tranh chấp của dòng chảy tuân theo hướng dòng chảy mùa đông ở phía bắc vịnh với dòng chảy hướng đi lên theo hướng dòng chảy mùa hè ở phía nam vịnh vào tháng 5 và ngược lại, với các tháng chuyển tiếp từ mùa hè sang đông (tháng 9) khi mà có sự phân hóa gió rất phức tạp trên vùng vịnh này.

Dựa trên các số liệu quan trắc dòng chảy bằng hệ thống Radar biển, tác giả Trần Mạnh Cường, Nguyễn Kim Cương [5] đã phân tích chế độ dòng chảy tầng mặt khu vực vịnh Bắc Bộ dựa trên số liệu thu thập bằng Radar biển. Trong nghiên cứu này, tác giả chỉ ra trong các tháng mùa đông, khu vực biển phía Nam Thanh Hóa và Bắc Quảng Bình tồn tại một dòng gần bờ có vận tốc lớn đạt 25 – 30 cm/s. Vào thời kỳ mùa hè hoàn lưu vùng biển vịnh Bắc Bộ có sự thay đổi khá lớn so với các mùa khác, khu vực giữa vịnh Bắc Bộ hình thành một hoàn lưu xoáy nghịch, nước duy trì hoàn lưu này được đưa lên từ vùng biển Trung Bộ.

Theo tác giả Lê Đình Mậu và nnk (2017) [12], đã đưa ra các đánh giá về đặc điểm dòng chảy ven bờ Bắc Trung Bộ (từ Hà Tĩnh đến Thừa Thiên Huế). Trong đó, thời kỳ tháng 4/2016 dưới tác dụng của trường gió có hướng nam đông nam dòng chảy gió có hướng bắc đông bắc từ vùng biển ven bờ phía nam (Quảng Ngãi - Đà

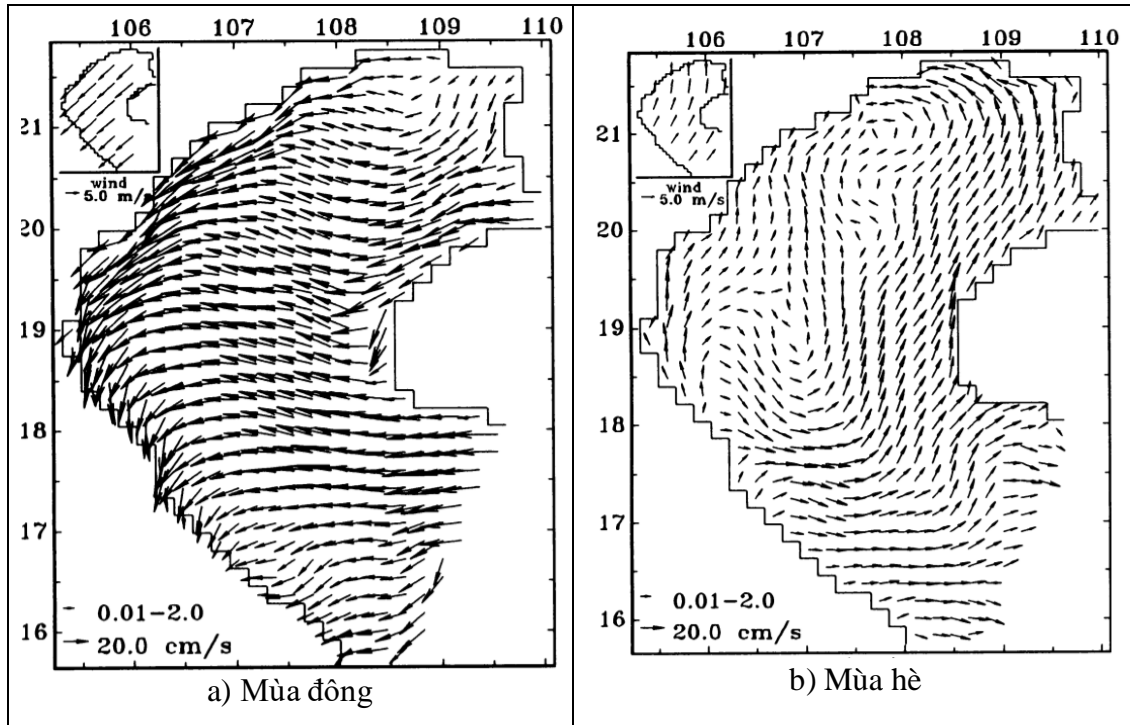
Năng) và cửa vịnh Bắc Bộ chảy vào vịnh Bắc Bộ về hướng đảo Hải Nam (Trung Quốc) hình thành hoàn lưu xoáy thuận. Dải ven biển Hà Tĩnh - Thừa Thiên Huế tồn tại dòng ven bờ chảy từ phía bắc xuống phía nam. Tuy nhiên, khi đến khu vực Nam Thừa Thiên Huế hệ dòng chảy ven bờ này bị mũi Lăng Cô chặn lại. Mặt khác, hệ dòng chảy theo hướng bắc - nam này cũng khó vượt sang vùng biển Đà Nẵng, vì ngoài mũi Lăng Cô ngăn chặn chúng còn bị hệ dòng chảy ven bờ khu vực Đà Nẵng - Nam Thừa Thiên Huế có hướng từ phía nam lên phía bắc tác động (Hình 1. 7).



Hình 1. 7. Trường dòng chảy khu vực ven biển Bắc Trung Bộ và lân cận theo Lê Đình Mậu và nnk (2017) [12].

Tác giả Đình Văn Mạnh và nnk (2000) [36], trên cơ sở số liệu quan trắc quan sát nhiệt độ nước, độ mặn và gió trong mùa đông (tháng 12 đến tháng 2) và mùa hè (tháng 6 đến tháng 8) ở vịnh Bắc Bộ kết hợp với mô hình hoàn lưu 3 chiều đã cho thấy sự thay đổi theo mùa của dòng chảy dư, bao gồm: dòng do gió, dòng mật độ và dòng do thủy triều. Trong đó, dòng chảy do gió đóng vai trò quan trọng nhất trong sự biến đổi theo mùa của trường dòng dư. Trong thời kỳ mùa đông, hướng chủ đạo là hướng tây hoặc tây nam. Trong thời kỳ chuyển mùa, hướng dòng chảy gần như bị

đảo ngược lại so với thời kỳ mùa đông. Trong thời kỳ mùa đông, vận tốc dòng chảy có vận tốc lớn hơn so với mùa hè do trong mùa đông, dòng chảy chịu tác động của gió mùa đông bắc có vận tốc lớn (trung bình khoảng 9 m/s). Trong khi đó, vào thời kỳ mùa hè, gió có hướng thịnh hành là đông nam có vận tốc nhỏ hơn (khoảng 6 m/s) (Hình 1. 8).



Hình 1. 8. Trường dòng chảy tầng mặt vịnh Bắc Bộ theo Đinh Văn Mạnh và nnk (2000) [36].

1.2.3. Một số đặc điểm của các yếu tố khác có liên quan

a. Tổng quan về đặc điểm của chế độ gió

Theo Báo cáo kết quả điều tra tổng hợp vịnh Bắc Bộ [1], chế độ gió tại khu vực biển vịnh Bắc Bộ được phản ánh qua các trạm như Bạch Long Vĩ, Cồn Cỏ, Cô Tô, Hòn Dấu và Hòn Ngự. Khu vực này mang đặc điểm của chế độ gió mùa, thời điểm mùa hè, gió thường xuất hiện theo hướng đông nam và mùa đông theo hướng đông bắc. Đồng thời tại các khu vực ngoài khơi gió có vận tốc lớn hơn khu vực ven bờ, cụ thể như sau:

Tại khu vực phía bắc vịnh (trạm Cô Tô) gió theo hướng đông bắc quan trắc

được xuất hiện nhiều tháng trong năm. Một năm có đến 8 tháng xuất hiện gió theo hướng đông bắc (từ tháng 9 năm trước đến tháng 4 năm sau). Trong các tháng mùa hè vận tốc gió nhỏ hơn (khoảng 4,25 m/s) và hướng gió chủ đạo là hướng nam đến đông.

Khu vực giữa vịnh (trạm Bạch Long Vỹ) hướng gió thịnh hành trong mùa đông là hướng đông bắc và bắc đông bắc, vận tốc gió trung bình trong thời kỳ này khá lớn, đạt 6,72 m/s. Các tháng mùa hè, gió có hướng thịnh hành là hướng nam và có vận tốc nhỏ hơn so với thời kỳ mùa đông.

Khu vực ven bờ như các trạm Hòn Dấu, Hòn Ngư, trong thời kỳ mùa đông, gió có hướng thịnh hành là hướng bắc đến đông. Thời kỳ mùa hè, gió có hướng chủ đạo là hướng đông nam đến nam. Tại trạm Hòn Ngư trong tháng 7 còn xuất hiện một số thời điểm có hướng tây nam. Trong thời gian này vận tốc gió trung bình tại Hòn Dấu chỉ đạt 4,54 m/s, trạm Hòn Ngư chỉ đạt 2,5 m/s.

b. Tổng quan về đặc điểm của nhiệt độ nước và độ mặn nước biển

Nhiệt độ: Tại tầng mặt, biên độ năm của nhiệt độ nước biển trung bình tháng tại vịnh Bắc Bộ đạt vào khoảng 2-4 °C. Nhiệt độ cao nhất thường xảy ra vào tháng 9 và đạt giá trị vào khoảng 29-31 °C, thấp nhất thường xảy ra vào tháng 2, đạt khoảng 18-20 °C. Nhiệt độ nước biển tại vịnh Bắc Bộ tương đối đồng nhất theo không gian, giữa các vùng có sự chênh lệch vào khoảng 1-3 °C. Giống như nhiệt độ không khí, nhiệt độ nước biển cũng tăng dần từ bắc xuống nam. Do ảnh hưởng của lục địa, nhiệt độ nước biển tại các vùng ven bờ thường cao hơn ngoài khơi khoảng 1-2 °C [1].

Độ mặn: Chênh lệch độ mặn nước biển tại vịnh Bắc Bộ giữa các tháng trong năm tại khu vực xa bờ chỉ vào khoảng 1-2 ‰. Độ muối đạt giá trị cao nhất vào tháng 1, khoảng 31-33 ‰ và thấp nhất vào tháng 8, 9 khoảng 24-26 ‰. Tại khu vực ven bờ, sự biến đổi độ mặn nước biển khá lớn, vào khoảng 12-15 ‰, tháng cao nhất lên tới 27-28 ‰, tháng thấp nhất có vùng xuống tới 5-7 ‰, nguyên nhân do sự ảnh hưởng của nước sông từ lục địa đổ ra biển tại các cửa sông lớn.

Độ mặn nước biển biến đổi theo không gian tại tầng mặt tại vịnh Bắc Bộ có sự khác biệt lớn giữa các vùng ven bờ và ngoài khơi. Trong thời kỳ mùa mưa, sự chênh lệch này lên tới 20 ‰. Nguyên nhân do sự tác động của nguồn nước từ lục địa đổ ra biển [1].

c. Tổng quan về đặc điểm của mực nước và thủy triều

Thủy triều tại vùng biển phía bắc vịnh bao gồm cả ven bờ và ngoài khơi đều mang tính chất triều là nhật triều đều. Hầu hết các ngày trong tháng mực nước triều lên, xuống một lần, chỉ có khoảng từ 1-3 ngày mực nước lên, xuống 2 lần (vào thời kỳ nước sinh). Vùng biển từ nam Thanh Hóa đến Hà Tĩnh, thủy triều mang tính chất nhật triều không đều, trong đó khoảng 1/3 số ngày trong tháng có thủy triều lên, xuống hai lần/ngày. Khu vực biển từ Quảng Bình, Quảng Trị và cửa vịnh Bắc Bộ thủy triều mang tính chất bán nhật triều không đều, trong tháng chỉ có khoảng từ 1-3 ngày mực nước triều lên, xuống 2 lần/ngày.

Độ lớn triều ở phía tây vịnh Bắc Bộ giảm dần từ phía bắc xuống phía nam, dao động từ 3,5 đến 4,5 mét ở phía bắc và từ 2,4 đến 3,4 mét ở phía nam. Độ lớn triều lớn nhất thường xảy ra vào tháng 7. Khu vực ven biển thuộc đảo Hải Nam, độ lớn triều có thể lên tới 6 mét.

Mực nước biển tại khu vực này biến động mạnh do tác động của các điều kiện khí tượng, thủy văn như gió mùa, bão và lũ. Mực nước biển có giá trị lớn nhất ở đỉnh vịnh và giảm dần xuống cửa vịnh. Khu vực biển ngoài khơi thường có giá trị mực nước nhỏ hơn các khu vực biển ven bờ. Trong các tháng 10 và tháng 11 mực nước trung bình đạt giá trị cao nhất và thấp nhất vào các tháng 3 và tháng 4 [1].

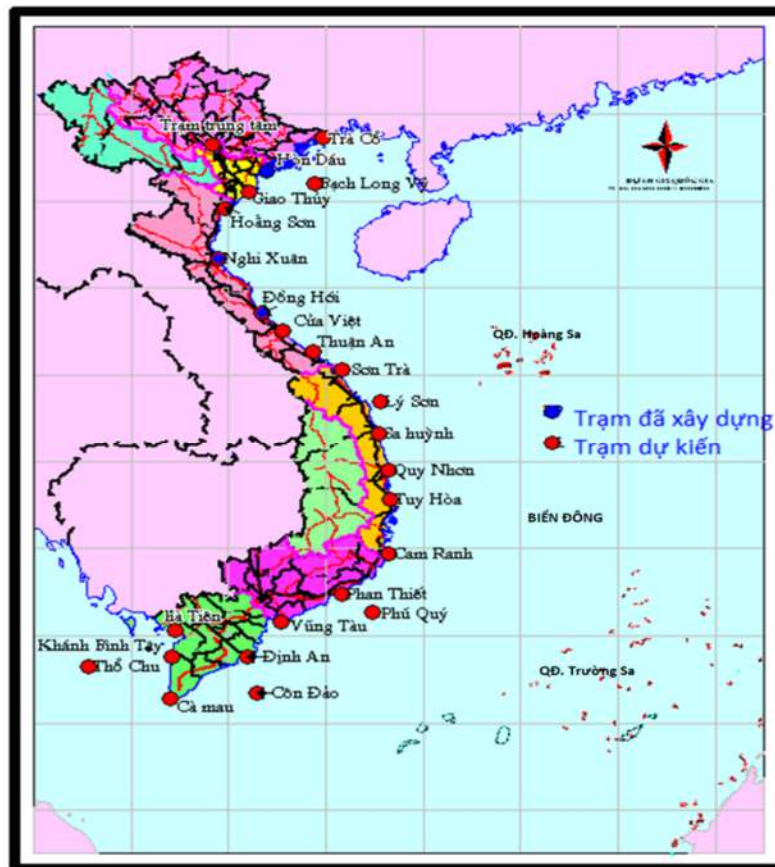
d. Tổng quan về đặc điểm địa hình

Hầu hết diện tích đáy biển vịnh Bắc Bộ có hành lang rộng và độ dốc thoải khoảng 2-5 độ. Độ dốc và độ sâu của địa hình tăng dần về phía đông nam vịnh. Đặc điểm chung là địa hình thoải dần tạo thành những trũng sâu khép kín kếp dài. Trũng sâu nhất nằm ở phía ngoài khơi trên độ sâu khoảng 108 mét (khu vực phía bắc và đông bắc đảo Côn Cỏ). Trũng kéo dài theo phương tây bắc - đông nam, là phần kéo

dài của bồn trũng Sông Hồng từ phía lục địa. Phía bắc trũng này là một trũng có quy mô nhỏ hơn với độ sâu lớn nhất đạt 75 mét và kéo dài theo phương đông bắc - tây nam, trùng với phương cấu tạo chung của các cấu trúc rìa miền đông bắc Việt Nam [1].

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

Hệ thống Radar biển bao gồm 4 trạm: 2 trạm ven bờ, 1 trạm đảo và 1 trạm điều hành trung tâm, hiện đang được Trung tâm Hải văn, Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam quản lý. Theo quy hoạch được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt, hệ thống Radar biển dự kiến gồm 25 trạm trải đều dọc ven biển và đảo của Việt Nam, nhằm đáp ứng công tác quản lý nhà nước và hoạt động điều tra cơ bản về biển theo đúng chức năng, nhiệm vụ của Trung tâm Hải văn. Cụ thể là công tác điều tra cơ bản về trạng thái tự nhiên của mặt biển, bao gồm sóng và dòng chảy bề mặt biển.



Hình 1. 9. Sơ đồ vị trí hệ thống trạm Radar đã thực hiện giai đoạn I và dự kiến trong

giai đoạn tiếp theo

Các ứng dụng của hệ thống Radar biển này rất lớn, nó phục vụ cho nhiều mục đích khác nhau, dưới đây là một số ứng dụng điển hình:

- Dự báo các điều kiện thời tiết trên biển: Số liệu Radar biển có thể được sử dụng trong việc dự báo điều kiện thời tiết biển (kết hợp với dự báo thời tiết nói chung) cũng như nghiên cứu các điều kiện, trạng thái bề mặt biển trong bão, điều mà trước đây với các thiết bị hải văn đã gặp rất nhiều khó khăn trong việc quan trắc hoặc không thể thực hiện được.

- Phục vụ cho công tác đánh bắt thủy sản: Trên cơ sở số liệu từ Radar biển, chúng ta có được bản đồ về hướng và tốc độ dòng chảy biển với những vùng nước xoáy. Kinh nghiệm cho thấy, tâm của những vùng nước xoáy này hội tụ rất nhiều cá và các loại hải sản khác. Vị trí của những tâm xoáy nước này được xác định bằng kinh độ và vĩ độ và sẽ được dự báo để phục vụ cho ngư dân trong việc đánh bắt hải sản. Tại Mỹ và một số nước khác trên thế giới đã thực hiện dự báo vùng tập trung cá cho thấy, đánh bắt cá tại tâm xoáy nước cho sản lượng nhiều gấp 7-8 lần so với những vùng nước lân cận.

- Phục vụ cho đánh giá ô nhiễm và lan truyền ô nhiễm biển: Một ví dụ cho thấy, tác dụng của số liệu Radar biển trong việc cảnh báo ô nhiễm biển do chất thải ra biển. Năm 2003, thành phố Santa Rosa (Mỹ) dự kiến thải nước thải ra biển tại vịnh Bodega. Các nhà khoa học đã sử dụng số liệu thu được từ 3 trạm Radar biển trong một tuần để mô hình hóa sự lan truyền của chất thải ra biển. Từ kết quả tính toán lan truyền của chất thải cho thấy, thay vì chất thải đi thẳng ra biển nó lại di chuyển dọc theo bờ biển, đến khu vực bảo tồn sinh thái biển nơi có nhiều dải san hô, như thế sẽ có nguy cơ tàn phá khu vực sinh thái vùng biển này. Từ kết quả nghiên cứu trên, chính quyền thành phố đã cho đình chỉ dự án thải nước thải ra biển như ban đầu dự kiến. Mô hình này cũng được áp dụng để đánh giá sự lan truyền của dầu tràn trên biển.

- Ứng dụng trong cứu hộ cứu nạn trên biển: Một ví dụ khác cho thấy, ứng dụng

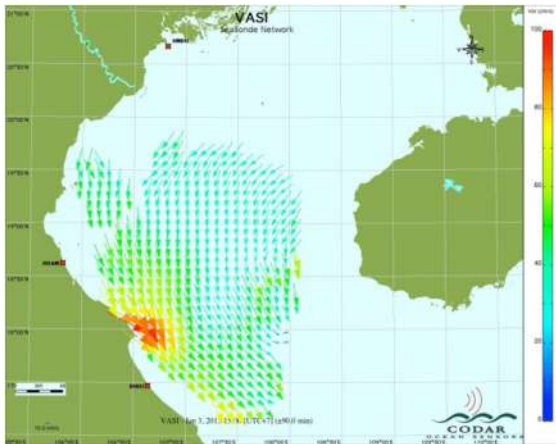
hữu hiệu của Radar biển trong cứu hộ cứu nạn trên biển. Trên bản đồ, hướng và vận tốc dòng chảy từ số liệu quan trắc từ Radar biển đã xác định vị trí một con thuyền bị tai nạn và phát tín hiệu cấp cứu. Sau 30 giờ con thuyền đã trôi đi một quãng xa so với vị trí ban đầu và cần phải xác định hiện tại con thuyền đang ở vị trí nào để có thể cứu hộ. Như vậy, với số liệu dòng chảy và sóng thu được từ Radar biển, tiến hành xác định hướng và dòng chảy bề mặt biển cùng với phần mềm của Radar biển sẽ xác định được vị trí gần sát với thực tế di chuyển của con thuyền và việc cứu hộ cứu nạn trên biển dễ dàng hơn.

- Ứng dụng trong điều hành tàu thuyền qua lại eo biển, cảng: Tại vùng Tokyo và vịnh Sagami, dòng chảy biển rất mạnh và thay đổi liên tục, trong khi có đến 90% tàu thuyền phải qua lại khu vực này. Nếu không có chỉ dẫn và điều hành hàng hải thì sẽ gây nguy hiểm cho tàu bè qua lại. Sử dụng 02 Radar biển được lắp đặt tại đây, cung cấp số liệu thời gian thực về tốc độ và hướng dòng chảy biển, từ đó có sự điều hành tàu bè qua lại đảm bảo an toàn và hiệu quả cao nhất. Nhiều cảng biển và căn cứ hải quân trên thế giới đã sử dụng Radar biển vào mục đích này.

- Ứng dụng trong phối hợp để tăng độ chính xác dự báo số trị: Số liệu Radar biển được sử dụng kết hợp với mô hình số trị trong việc đồng hóa số liệu để tạo trường ban đầu cho các mô hình động lực. Các trường ban đầu có độ chính xác cao góp phần tăng độ chính xác của các kết quả dự báo từ mô hình số trị.

Thực trạng số liệu Radar biển tại vịnh Bắc Bộ hiện nay.

Hiện nay, hệ thống Radar biển cho sản phẩm là trường dòng chảy tầng mặt có độ phân giải 6 x 6 km với bước thời gian 1 giờ và độ dài số liệu từ tháng 6 năm 2011 đến nay. Độ phủ của dữ liệu này phụ thuộc rất nhiều vào các yếu tố môi trường như: trạng thái bề mặt biển, độ ồn của môi trường. Trong điều kiện trạng thái mặt biển có sóng lớn, độ ồn thấp (tần số của các loại thiết bị khác trong phạm vi hoạt động của Radar biển) thì dữ liệu dòng chảy thu được tương đối phủ đầy trong giới hạn giao thoa các tia quét của 3 trạm Radar biển khu vực vịnh Bắc Bộ (Hình 1. 10). Tuy nhiên trong những trường hợp trạng thái mặt biển không có sóng, độ ồn môi trường lớn thì dữ liệu dòng chảy thu được hạn chế (Hình 1. 11).



Hình 1. 10. Trường dòng chảy trong điều kiện thuận lợi



Hình 1. 11. Trường dòng chảy trong điều kiện không thuận lợi

Để khai thác nguồn dữ liệu từ hệ thống Radar biển trong việc nghiên cứu hoàn lưu vịnh Bắc Bộ, cần thiết phải phủ đầy dữ liệu dòng chảy tại những khu vực không quan trắc được dòng chảy do những nguyên nhân nói trên. Để thực hiện được điều này, phương pháp đồng hóa dữ liệu được áp dụng để đồng hóa dữ liệu Radar biển vào mô hình số trị nhằm tạo ra trường dòng chảy trên toàn khu vực vịnh Bắc Bộ, góp phần có được nguồn dữ liệu đầy đủ, có độ tin cậy tốt hơn phục vụ cho việc nghiên cứu hoàn lưu trên vịnh Bắc Bộ.

Xuất phát từ thực tiễn về thực trạng cùng những lý do đã nêu ở trên, việc lựa chọn đề tài luận án "Nghiên cứu hoàn lưu vịnh Bắc Bộ sử dụng số liệu quan trắc dòng chảy từ hệ thống Radar biển và đồng hóa trong mô hình số trị" sẽ góp một phần đánh giá về chế độ dòng chảy vùng biển vịnh Bắc Bộ dựa trên nguồn dữ liệu tin cậy từ hệ thống Radar biển và đồng hóa trong mô hình số trị.

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 (1 giờ/lần từ năm 2011 đến nay), tuy nhiên chưa được khai thác, ứng dụng triệt để 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

Như đã đề cập ở trên, có hai cách tiếp cận cơ bản cho bài toán đồng hoá số liệu. Cách tiếp cận thứ nhất sử dụng "quan trắc động lực học" trong đó đưa ra một sơ đồ đồng hoá số liệu tuần tự và cách tiếp cận thứ hai sử dụng "quan trắc trực tiếp", trong đó đưa ra một sơ đồ đồng hoá số liệu bốn chiều. Trong trường hợp thứ nhất, các quan trắc được phản hồi vào trong mô hình tại mỗi bước thời gian và một đánh giá tốt nhất được tạo ra dùng để dự báo các trạng thái tương lai. Trong trường hợp thứ hai, quỹ đạo trạng thái khả thi thể hiện sự phù hợp nhất giữa số liệu quan trắc trên mỗi khung thời gian và các trạng thái đã đánh giá tại thời điểm kết thúc mỗi khung thời gian đó được sử dụng để tạo ra dự báo tiếp theo. Dưới các giả thiết toán học chắc chắn các quá trình này giải cùng một bài toán đánh giá trạng thái tối ưu. Trong các hệ thống hoạt động thì việc giải bài toán tối ưu thời gian thực thường không hiệu quả và người ta sử dụng xấp xỉ khác nhau cho các sơ đồ đồng hoá cơ bản.

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 3D-Var, 4D-Var 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 [24], [26].

Trong nước, các nghiên cứu ứng dụng đồng hóa số liệu 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 [14], [16], sơ đồ đồng hóa 4D-Var kết hợp với mô hình ROMS trong phân tích, dự báo hoàn lưu biển [3], [7].

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 (2011) [22] 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.

Sự kết hợp mô hình ROMS với sơ đồ đồng hóa biến phân 4 chiều được thông qua việc xác định thành phần của véc tơ trạng thái (được trình bày trong phần a) để hiệu chỉnh các điều kiện biên của mô hình dựa trên việc tìm kiếm, xác định quỹ đạo ước tính tốt nhất hoặc phân tích hậu nghiệm (*được trình bày tại phần b và c*). Công cụ hỗ trợ cho việc tìm kiếm, xác định quỹ đạo ước tính tốt nhất hoặc phân tích hậu nghiệm là thuật toán gradient kết hợp và thuật toán Lanczos (*được trình bày tại phần d*). Để thực hiện các thuật toán trên cần có một số đánh giá để điều chỉnh các kết quả tính toán bằng cách sử dụng các kết quả quan trắc và các trường nền trong miền tính cũng như việc xác định các điều kiện cho trước nhằm hạn chế sai số giữa số liệu tính toán và số liệu quan trắc (*các nội dung này được trình bày tại phần e và phần f*).

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

Sơ đồ đồng hóa biến phân bốn chiều có 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 vector 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) [24], các điều kiện biên bề mặt và biên hờ có thể được viết như sau:

$$x(t_i) = M(t_i; t_{i-1})(x(t_{i-1}); f(t_i); b(t_i)) \quad (2.1)$$

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 khoảng thời gian $[t_{i-1}, t_i]$. Phương trình (2.1) 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 vector 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:

$$\begin{aligned} x(t_i) &= x^b(t_i) + \delta x(t_i) \\ f(t_i) &= f^b(t_i) + \delta f(t_i) \\ b(t_i) &= b^b(t_i) + \delta b(t_i) \end{aligned} \quad (2.2)$$

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 (2.1), cụ thể là:

$$\begin{aligned} x^b(t_i) + \delta x(t_i) &= M(t_i; t_{i-1})(x^b(t_{i-1}) + \delta x(t_{i-1})), \\ f^b(t_i) + \delta f(t_i); b^b(t_i) + \delta b(t_i) &\simeq M(t_i; t_{i-1})(x^b(t_{i-1}), \\ & f^b(t_i); b^b(t_i)) + M(t_i; t_{i-1}) \delta u(t_{i-1}) \end{aligned} \quad (2.3)$$

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 (2.3) 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 và được kết hợp với phương trình liên hợp:

$$\delta u^*(t_{i-1}) = M^T(t_{i-1}, t_i)p(t_i) \quad (2.4)$$

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 vectơ-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 (2.4) 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 (2.1) để truyền x^b về phía trước theo thời gian 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:

$$x_k(t_i) = M(t_i, t_{i-1})(x_{k-1}(t_{i-1}), f_{k-1}(t_i), b_{k-1}(t_i)) + M_{k-1}(t_i, t_{i-1})^*(g_k(t_{i-1}) - g_{k-1}(t_{i-1})) \quad (2.5)$$

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 (2.5) 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 (2.5) 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 (2.5) 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 (2.3) RPROMS do đó khác với TLROMS bằng cách bổ sung số hạng đầu tiên trên của (2.5) đại diện cho các toán tử NLROMS được áp dụng cho lần lặp trước đó g_{k-1} .

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 rói

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. (2004) [22].

b. Sơ đồ đồng hóa 4D-Var gia tăng

Mục tiêu của 4D-Var là xác định quỹ đạo ước tính tốt nhất hoặc phân tích hậu nghiệm, gọi là $x^a(t)$, nhằm tìm ra sự khác biệt nhỏ nhất số liệu mô hình (số liệu nền và số liệu quan trắc bằng phương pháp bình phương tối thiểu thông qua các giả thuyết về lỗi và các ràng buộc bổ sung. Phép giải, $x(t_i)$, của NLROMS mô tả x^a sẽ phụ thuộc vào sự lựa chọn các điều kiện ban đầu, $x(t_0)$, các lực tác động bề mặt $f(t)$ và các điều kiện biên $b(t)$, tất cả đều có sai số và không ổn định. Như vậy, $x(t_0)$, $f(t)$ và $b(t)$ được gọi là các biến điều khiển và vấn đề trong 4D-Var được rút gọn thành việc xác định sự kết hợp của các biến điều khiển mang lại ước tính tốt nhất $x^a(t)$.

Để đánh giá các lỗi mô hình, vector của gia số du trong (2.3) được tăng lên để $\delta u(t_{i-1}) = (\delta x(t_{i-1})^T, \delta f^T(t_i), \delta b^T(t_i), \eta^T(t_i))^T$ tiến gần đến giá trị $M(t_i, t_{i-1})$ và giả thiết một hiệu chỉnh nền $\eta^b(t_i) = 0$ để nâng cao việc hiệu chỉnh lỗi mô hình chuyển tiếp theo thời gian. Tương tự, vector liên hợp liên kết với (2.4) được cho bởi $\delta u^*(t_{i-1}) = (p^T(t_{i-1}), \delta f^{*T}(t_i), \delta b^{*T}(t_i), \eta^{*T}(t_i))^T$.

Sự phát triển của 4D-Var gia tăng mở rộng, trong đó sự không ổn định trong lực tác động bề mặt và các điều kiện biên bên đã được xác định. Cách tiếp cận gia tăng đối với 4D-Var bao gồm giảm thiểu một hàm mục tiêu, J , được cho bởi:

$$\begin{aligned}
 & J(\delta x(t_0), \delta f(t_1), \dots, \delta f(t_k), \dots, \delta b(t_1), \dots, \delta b(t_k), \dots, \eta(t_1), \dots, \eta(t_k), \dots) \\
 & = (1/2) \delta x^T(t_0) B_x^{-1} \delta x(t_0) + \\
 & (1/2) \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^N \{ \delta f^T(tk) B_f^{-1}(tk, tj) \delta f(t_j) \\
 & \quad + \delta b^T(tk) B_b^{-1}(tk, tj) \delta b(t_j) + \eta^T(tk) Q^{-1}(tk, tj) \eta(t_j) \}
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

$$+ (1/2) \sum_{i=0}^n \sum_{l=0}^n (H_i \delta x(t_i) - d_i)^T R_{i,l}^{-1} (H_l \delta x(t_l) - d_l)$$

trong đó từ (2.2) giá số $\delta x(t_k) = x(t_k) - x^b(t_k)$ và t_i được xác định ở đây là n lần quan trắc. Các vector mới $d_i = y_i^o - H_i(x^b(t_i))$ đại diện cho sự khác biệt giữa vector của các quan trắc y_i^o tại thời điểm t_i và mô hình tương tự các quan trắc được tính toán từ hoàn lưu nền $x^b(t_i)$ theo toán tử quan trắc H_i . Nói chung, H_i phi tuyến và phức vụ cho việc chuyển đổi vector trạng thái mô hình thành các biến quan trắc và nội suy chúng vào các điểm quan trắc trong không gian và thời gian. Các lỗi phát sinh từ H_i được bao gồm trong R và toán tử H_i là sự tuyến tính hóa tiếp tuyến của H_i . Trong chuỗi thời gian t_k và t_j liên quan đến điều kiện lực cưỡng bức, điều kiện biên và lỗi mô hình, nói chung, tương ứng với mỗi bước thời gian mô hình N kéo dài khoảng thời gian đồng hóa, trong thực tế t_k và t_j thường được đánh giá ít thường xuyên hơn so với mọi bước thời gian.

Hàm mục tiêu J trong (2.6) được gọi là hàm tiêu hao và được trình bày rút gọn bằng cách việc gán vector $\delta z = (\delta x(t_0)^T, \delta f^T(t_1), \dots, \delta f^T(t_k), \dots, b^T(t_1), \dots, \delta b^T(t_k), \dots, \eta^T(t_1), \dots, \eta^T(t_k), \dots)^T$ mô tả tất cả các giá số của biến điều khiển.

Vector giá số δz khác với $\delta u(t)$ được giới thiệu trước đó trong δz đó bao gồm tất cả các phần tử của vector điều khiển, trong khi $\delta u(t)$ chỉ mô tả một tập con của các phần tử vector điều khiển. Hơn nữa, các giá số được nội suy hoặc biến đổi $H_i \delta x(t_i)$ có thể được diễn đạt dưới dạng $H_i M(t_i, t_0) \delta z = G_i \delta z$, trong đó $M(t_i, t_0)$ là một dạng thay thế của toán tử tuyến tính tiếp tuyến tách biệt giá số vector trạng thái. Đặt ma trận $G = (\dots, G_i^T \dots)^T$; $d = (\dots, d_i^T \dots)^T$ là vector biến đổi của chuỗi dữ liệu N_{obs} ; ma trận đường chéo khối R với các khối R_i ; và ma trận đường chéo khối D với các khối B_x, B_f, B_b và Q . Hàm tiêu hao được viết dưới dạng sau:

$$J(\delta z) = (1/2) \delta z^T D^{-1} \delta z + (1/2) (G \delta z - d)^T R^{-1} (G \delta z - d). \quad (2.7)$$

Giá số phân tích kỳ vọng, δz^a , giảm thiểu (2.7) tương ứng với nghiệm của phương trình $\partial J / \partial \delta z = 0$ và được cho bởi:

$$dz^a = (D^{-1} + G^T R^{-1} G^{-1})^{-1} G^T R^{-1} d \quad (2.8)$$

$$dz^a = DG^T (GDG^T + R)^{-1} d. \quad (2.9)$$

Phương trình (2.9) tương đương về mặt đại số với phép nội suy tối ưu và được gọi là dạng kép, trong khi (2.8) là một số lần gọi là dạng nguyên thủy. Nếu vector $z^b = (x^{bT}, f^b(t_1)^T, \dots, f^b(t_k)^T, \dots, b^b(t_1)^T, \dots, b^b(t_k)^T, \dots, 0^T)^T$ đại diện cho vector điều khiển nền, sau đó ước tính quỹ đạo tốt nhất được đưa bởi $z = z^b + \delta z^a$.

Để tìm kiếm ước tính quỹ đạo tốt nhất có thể sử dụng một trong ba phương pháp: 4D-Var ràng buộc mạnh gia tăng (I4D-Var), Hệ thống phân tích thống kê không gian vật lý (4D-PSAS) và Phương pháp đại diện (R4D-Var). Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng phương pháp đại diện R4D-Var

c. Phương pháp đại diện (R4D-Var)

Nhà khoa học Bennett (1992) mô tả một cách tiếp cận thay thế cho 4D-Var kép trong đó vector trạng thái x^a ước tính tốt nhất được biểu thị như sau:

$$x^a(t) = x^b(t) + R(t)\beta \quad (2.10)$$

trong đó mỗi cột của ma trận $R(t)$ là một hàm đại diện được ký hiệu là $r_m(t)$, với một hàm đại diện được liên kết với mỗi qua trắc $m = 1, \dots, N_{obs}$ và β là vector ($N_{obs} \times 1$) của hệ số đại diện. Nếu $\tilde{x}(t)$ biểu thị phản ứng của mô hình đến lực cưỡng bức ngẫu nhiên với thống kê phù hợp giả thuyết cho trước, thì mỗi đại diện $r_m(t)$ mô tả hiệp phương sai giữa hoàn lưu $\tilde{x}(t)$ được lấy mẫu theo vị trí không gian-thời gian của quan trắc thứ m và trường $\tilde{x}(t)$ tại tất cả các vị trí và thời điểm khác. Véc tơ của hệ số đại diện β là nghiệm của:

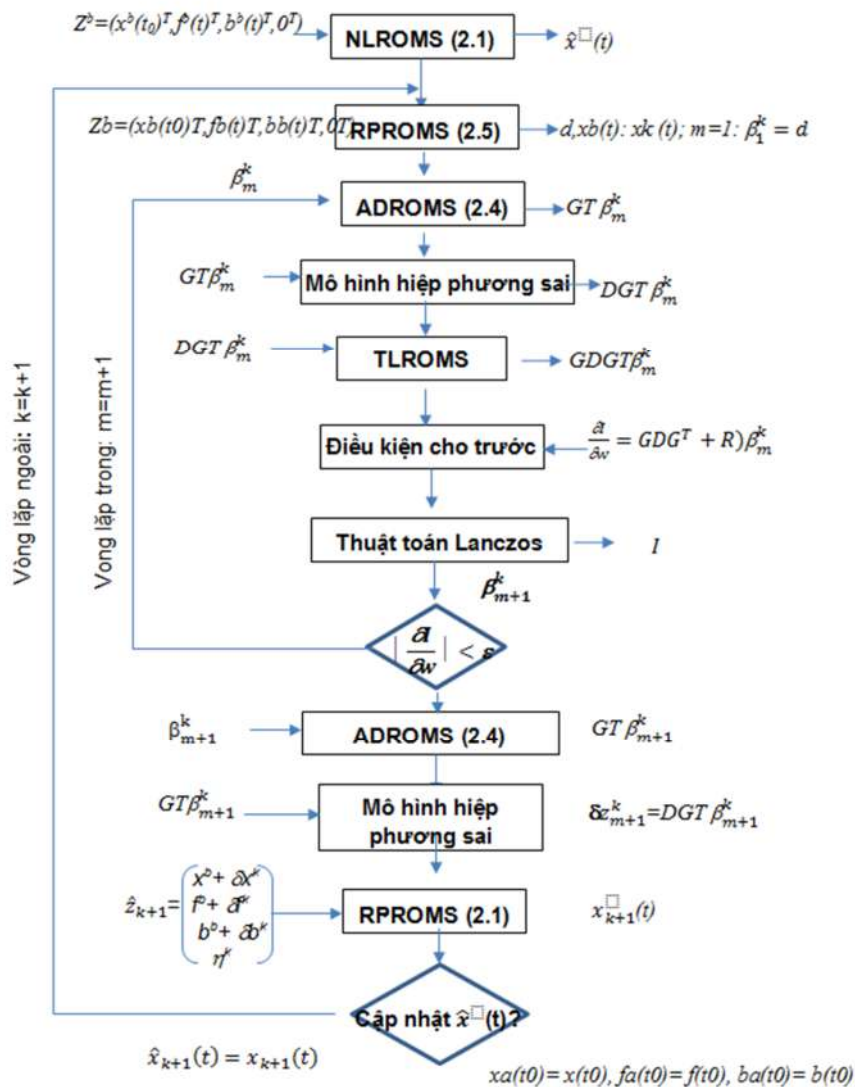
$$(GDG^T + R) \beta = d \quad (2.11)$$

Công thức (2.3) cho thấy rằng RPROMS được chạy ở bước (ii) và bước (x) đánh dấu điểm bắt đầu và kết thúc của mỗi vòng lặp ngoài, k . Phép giải RPROMS ở bước (ii) luôn đạt được bằng cách sử dụng điều kiện ban đầu nền, $x^b(t_0)$, lực tác động bề mặt, $f^b(t)$, và các điều kiện biên, $b^b(t)$. Do đó trong thời gian vòng lặp ngoài đầu tiên ($k = 1$) phép giải RPROMS ở bước (ii) và phép giải NLROMS $\hat{x}(t)$ ở bước (i) (bước (ii) được tuyến tính hóa khi $k = 1$) là giống nhau, trong trường hợp (2.11)

là tương đương và 4D-PSAS cũng như R4D-Var mang đến các phép giải vòng lặp trong giống nhau. Do đó, trong thời gian vòng lặp ngoài đầu tiên, bước (ii) là dư thừa, nhưng được bao gồm trong công thức (2.3) để hoàn chỉnh. Ngược lại, ở bước (x) trong công thức (2.3), các số gia được tính ở cuối vòng lặp trong cuối cùng được áp dụng cho RPROMS, mang lại ước tính hoàn lưu vòng lặp ngoài mới $x_k(t)$ theo đến (2.5). Tại thời điểm này, các phép giải của R4D-Var và 4D-PSAS khác nhau. Trong thời gian các vòng lặp ngoài $k > 1$, RPROMS ở các bước (ii) và (x) được tuyến tính hóa về vòng tuần hoàn $\hat{x}_k(t) = x^b(t) + \delta x^k(t)$ được xác định tại kết thúc của vòng lặp trong trước đó, chịu tác động bởi $f_k(t) = f^b(t) + df^k(t)$ và tuân theo $b_k(t) = b^b(t) + db^k(t)$.

Ma trận GDG^T được gọi là ma trận đại diện và là hiệp phương sai giữa các trường mô hình được lấy mẫu tại mỗi vị trí không gian - thời gian quan trắc. Đối với các quan trắc không gian gần, chẳng hạn như dữ liệu vệ tinh, GDG^T có thể được điều chỉnh kém trong trường hợp đó việc bổ sung ma trận hiệp phương sai lỗi quan trắc R cải thiện việc điều chỉnh (2.11) và $(GDG^T + R)$ được gọi là ma trận đại diện ổn định.

Ước tính quỹ đạo tốt nhất $x^a(t)$ do phương trình (2.10) đưa ra thỏa mãn phương trình Euler – Lagrange phi tuyến và thuật toán R4D-Var được tóm tắt ở trên đại diện cho cách tiếp cận lặp tuyến tính để giải các phương trình Euler – Lagrange phi tuyến cho ROMS. Các vòng lặp ngoài của R4D-Var dựa trên các phép lặp Picard, thường được sử dụng để thiết lập sự tồn tại của một nghiệm cho một phương trình vi phân phi tuyến và về cơ bản R4D-Var khác với 4D-PSAS. Trong khi R4D-Var chạy, cả vòng lặp trong và vòng lặp ngoài đều là tuyến tính và trong thời gian chạy các vòng ngoài thông tin được chuyển tải bằng RPROMS. Sự tuyến tính hóa hoàn toàn của bài toán là điều cần thiết để xác định ước tính hoàn lưu tối ưu thực sự. Điều này trái ngược với 4D-PSAS trong đó NLROMS được sử dụng trong các vòng lặp ngoài, trong trường hợp đó sẽ dẫn đến kết quả là một ước tính dưới mức tối ưu. Quy trình thực hiện của phương pháp R4D-Var được mô tả trong Hình 2. 1 dưới đây.



Hình 2. 1. Minh họa thuật toán trong ROMS R4D-VAR.

Trong đó:

Ký hiệu	Định nghĩa
b, b^b, b^a	Các điều kiện biên lỏng. Chỉ số trên biểu thị (b) nền và (a) phân tích
$\delta b, \delta b^*$	Gia số của các điều kiện biên lỏng. Chỉ số trên (*) biểu thị các gia số liền kề
d	Vector điều kiện mới
f, f^b, f^a	Lực cưỡng bức bề mặt (ứng suất gió, thông lượng nhiệt, thông lượng nước ngọt). Các chỉ số trên biểu thị (b) nền/tiền và (a) phân tích/hậu

Ký hiệu	Định nghĩa
$\delta f, \delta f^*$	Gia số của lực cưỡng bức bề mặt. Chỉ số trên (*) chỉ thị gia số liên hợp
G	Toán tử phép giải mô hình tuyến tính tiếp xúc tới các điểm quan trắc
G^T	Toán tử liên hợp của G
J	Hàm tiêu hao
R	Ma trận hiệp phương sai lỗi quan trắc
x, x^b, x^a, x^f, x^t	Vectơ trạng thái $(T, S, \zeta, u, v)^T$. Chỉ số trên biểu thị (b) nền, (a) phân tích, (f) dự báo và (t) giá trị quan trắc
δx	Gia số của vectơ trạng thái
z^b	Vectơ điều khiển của các biến nền
\hat{z}	Vectơ điều khiển của các biến phân tích
$\delta z, \delta z^a$	Gia số của vectơ điều khiển. Chỉ số trên biểu thị của biến phân tích

Các số Ả Rập trong dấu () là thứ tự của phương trình được sử dụng.

d. Thuật toán gradient kết hợp và thuật toán Lanczos

Các phương pháp được sử dụng để tính toán hoàn lưu chính xác nhất là phương pháp I4D-Var, 4D-PSAS và R4D-Var liên quan đến nghiệm của phương trình bình phương tối thiểu tuyến tính. Mỗi thuật toán 4D-Var sẽ giải một phương trình tuyến tính bằng cách giảm thiểu vai trò của hàm J trong (2.7). Trong I4D-Var J được giảm thiểu hóa trực tiếp trong không gian được mở rộng hoàn toàn bằng véc-tơ kiểm soát trong khi 4D-PSAS và R4D-Var thì J được tối thiểu hóa bằng xác định gián tiếp thông qua tối thiểu hàm chức năng bổ trợ I qua (2.10) hoặc (2.12) trong không gian nghiệm cứu. Cả J và I có thể được biết thành công thức bậc hai như sau: $I(s)I(s) = \frac{1}{2}s^T A s - s^T h + c$. Tối thiểu của I tương đương với điều kiện $\frac{\partial I}{\partial s} = 0$ trong đó s thỏa mãn phương trình $As=h$. Đối với I4D-Var, Công thức (2.7) cho thấy $s=s = \delta z, h = G^T R^{-1}d, c = \frac{1}{2}d^T R^{-1}d$ và $A = H = (D^{-1} + G^T R^{-1}d)$ Hessian của J .

Các phương trình (2.10) và (2.12) cho thấy rằng đối với phương pháp 4D-PSAS và R4D-Var, s bằng nghiệm trung gian trong miền tính được cho bằng đại lượng w và β tương ứng, và trong cả hai trường hợp $c=0$ và $h=d$ và $A = (GDG^T + R)$, ma trận đại diện được ổn định.

Trong mô hình ROMS, phương pháp giảm gradient kết hợp cho phép viết lại thuật toán Lanczos để giải $As=H$ trong mọi trường hợp tính ba chiều. Mối liên hệ chặt chẽ giữa phương pháp giảm gradient kết hợp và thuật toán Lanczos lần đầu được đề xuất bởi Paige và Saunders (1975) và được phát triển bởi Golub và Van Loan (1989).

Hạng thừa số giảm đối xứng cho ma trận hạn định dương A có thể được tính bằng công thức sau:

$$AV_m = V_m^T m + \gamma_m e_m^T q_{m+1} \quad (2.12)$$

Trong đó $V_m = (\dots, q_i, \dots)$, $i = 1, \dots, m$, là ma trận bao gồm vectơ trực chuẩn q_i , được gọi là vectơ Lanczos. Ma trận T là một ma trận tam giác đối xứng kích thước $(m \times m)$ với các phần tử nằm trên đường chéo bằng δ_i , $i = 1, \dots, m$ và các phần tử nằm ngoài đường chéo γ_i , $i = 1, \dots, m - 1$ và véc-tơ $e_m = (0, 0, \dots, 1)^T$ là vector đơn nhất có chiều dài m . Phương trình (2.13) cũng có thể được viết là:

$$Aq_m = \gamma_m q_{m+1} + \delta_m q_m + \gamma_{m-1} q_{m-1} \quad (2.13)$$

Với tính chất trực chuẩn của vectơ Lanczos, $q_i^T q_j = \delta_{i,j}$, từ phương trình (2.13) thì $\delta_m = q_m^T Aq_m$ và $\gamma_m = (a_m^T a_m)$ trong đó $a_m = Aq_m - \delta_m q_m - \gamma_{m-1} q_{m-1}$ thay q_{m-1} và q_m vào phương trình (2.14) có thể tính toán kết quả của q_{m+1} . Nếu s_0 là điều kiện ban đầu của phương trình $As=h$ thì kết quả đầu tiên của chuỗi véc-tơ Lanczos bằng $q_1 = (As_0 - h)/|As_0 - h|$, và số hạng tiếp theo bằng $q_2 = (Aq_1 - \delta_1 q_1)/\gamma_1$.

Trong phương pháp 4D-PSAS và R4D-Var, toán tử Aq_m trong phương trình (2.13) được tính qua một vòng lặp đơn bên trong của thuật toán tương ứng trong khi đối với phương pháp I4D-Var, phương trình (2.7) cho thấy $Aq_m \equiv Hq_m = \nabla J(q_m) - \nabla J(0)$, vì vậy phải trừ đi gradient hàm $\nabla J(0)$ ban đầu trong mỗi vòng lặp trong tiếp theo. Hiển nhiên mỗi vòng lặp bên trong sẽ tạo ra một phần tử bổ sung cho chuỗi vectơ Lanczos, để sau m vòng lặp trong sẽ có $m + 1$ véc-tơ Lanczos, khi đó phương trình $As=h$ sẽ được cho bằng $s_m = s_0 - V_m T_m^{-1} V_m^T (As_0 - h)$

Trong đó: $I(s_m) = I(s_0) + \frac{1}{2}(As_0 - h)^T(s_m - s_0)$, kết quả của các vòng lặp trong sẽ được thực hiện tới khi I và/hoặc $\partial I/\partial s$ đạt tới các giá trị nhỏ đến mức có thể chấp nhận được.

e. Mô hình sai số hiệp phương sai

Các ma trận sai số hiệp phương sai B_x, B_f, B_b và Q trong (2.6) là khai báo về những giả định trước đó liên quan đến các trường nền và cũng dùng để điều chỉnh các kết quả tính toán bằng cách sử dụng các kết quả quan trắc và các trường nền trong miền tính.

Việc định rõ và mô hình của sai số hiệp phương sai nền là một trong những thách thức lớn nhất của phương pháp 4D-Var. Trong mô hình ROMS, mỗi ma trận sai số hiệp phương sai nền được thừa số hóa bằng công thức như sau:

$$B = K_b R C \Sigma^T K_b^T \quad (2.14)$$

Trong đó K_b là các thành phần được cân bằng của sai số nền. Cụ thể, gia số của véc-tơ trạng thái trong (2.14) được phân tách thành $\delta x = \delta x_B + \delta x_U = K_b \delta x_U$ trong đó chỉ số B và U lần lượt biểu thị các thành phần được cân bằng và bất cân bằng tương ứng. Giả định cơ bản ở đây là các biến trạng thái của một hoàn lưu cân bằng (ví dụ như dòng địa chuyển) sẽ tương quan lẫn nhau, trong khi các dòng dư không cân bằng thì không tương quan lẫn nhau. Một vấn đề được đặt ra là tính chính xác của giả định này có phụ thuộc vào bản chất của chế độ hoàn lưu hay không, các ví dụ thực tế đã chỉ ra rằng giả định nêu trên là chấp nhận được. Toán tử cân bằng K_b trong (2.14) được xác định, khi đó các thành phần bất cân bằng δx_U hầu như không tương quan lẫn nhau, trong trường hợp đó ma trận tương quan C của sai số các thành phần bất cân bằng trong (2.14) là các khối đường chéo đơn biến, với độ lệch chuẩn được cho bởi ma trận đường chéo.

Ở quy mô đại dương hoặc lớn hơn, các cân bằng động lực chi phối đối với các gia số điều kiện ban đầu của hoàn lưu $\delta x(t_0) = x(t_0) - x^b(t_0)$, là cân bằng địa chuyển và cân bằng thủy tĩnh, trong khi đặc điểm của khối nước phục thuộc vào giá trị của T và S. Qua đó có thể tính toán cho K_b cho ma trận của các sai số hiệp

phương sai nên điều kiện ban đầu B_x . Từ (2.14), các yêu cầu cân bằng tương tự nhau có thể áp dụng công thức gia số $\delta b(t) = b(t) - b^b(t)$ với B_b tại điều kiện biên mở vì các điều kiện biên mở được lấy từ kết quả từ các mô hình khác trong miền tính lớn hơn. Lực bề mặt thường được lấy từ các mô hình dự báo khí tượng với sai số được đánh giá thông qua các sai số thống kê $\delta f(t) = f(t) - f^b(t)$, được thể hiện qua B_f . Tương tự, các cân bằng động lực chi phối của lớp biên ổn định giữa khí quyển và đại dương nơi kiểm soát của dòng động lượng, nhiệt hoặc trao đổi nước trên bề mặt biển-không khí có thể được thực hiện tính toán trước đối với thành phần K_b của B_f . Trong mô hình ROMS 4D-Var hiện nay chỉ sử dụng các cân bằng bắt buộc tại điều kiện ban đầu và gia số sai số mô hình.

f. Điều kiện cho trước

Các dạng nguyên thủy và kép của 4D-Var là tương đương nhau để hạn chế vai trò của hàm $I(s) = (1/2) sTAs - sTh + c$. Đối với I4D-Var, I là hàm bị hạn chế vai trò, hàm I đồng thời là hàm hỗ trợ cho 4D-PSAS và R4D-Var. Trong cả hai trường hợp, A là ma trận đối xứng, hạn định dương với các ký tự riêng trực tiếp biểu thị các hướng độc lập tuyến tính trong không gian được xác định bởi A. Trong cả miền nghiên cứu và không gian quan trắc, I(s) đại diện cho một parabol với tỷ lệ mặt parabol được xác định bởi các giá trị riêng của A. Nếu các giá trị riêng được phân biệt rõ ràng, thì I(s) sẽ được đặc trưng bởi một parabol có mặt dốc theo một số hướng và có độ dốc nhẹ ở những hướng khác. Trong trường hợp đó, A được gán các điều kiện không thuận, đại lượng gradient liên hợp nói chung sẽ hội tụ nhanh chóng theo các hướng liên quan đến các giá trị riêng lớn nhất của A, và chậm theo các hướng khác, đặc biệt nếu các giá trị riêng lớn nhất và nhỏ nhất khác nhau theo nhiều bậc độ lớn.

Nếu A là một ma trận cỡ $(N \times N)$ thì thuật toán gradient liên hợp được đảm bảo với số học chính xác để hội tụ đến giá trị nhỏ nhất của I trong N lần lặp. Mục đích của việc đưa điều kiện trước là đạt được sự hội tụ trong N lần lặp, điều này có thể đạt được bằng cách biến đổi A thành một ma trận mới XTA mà có cùng nghiệm tối thiểu cho I nhưng có các cụm giá trị riêng và một số điều kiện nhỏ hơn (tức là tỷ lệ

của giá trị lớn nhất đến giá trị riêng nhỏ nhất của XTA). Trong trường hợp này tỉ lệ mặt parabol I sẽ giống nhau theo rất nhiều hoặc tất cả các hướng. Ma trận điều kiện trước X là ma trận đối xứng, hạn định dương và có thể tham số hóa khi $X = UUT$ trong đó U được xác định bằng căn bậc hai của điều kiện trước. Việc xác định giá trị nhỏ nhất của I(s) tương ứng với việc giải hệ tuyến tính $As = h$ bằng cách xác định sự thay đổi của biến $s = U\hat{s}$, hệ thống được gán trước điều kiện có thể được viết lại như sau $UTA\hat{s} = UTh$.

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 đã được phát triển và hỗ trợ bởi các nhà nghiên cứu tại Đại học Rutgers, Đại học California Los Angeles và những người đóng góp trên toàn thế giới. Mô hình có tính năng mô phỏng các quá trình thủy động lực quy mô khu vực có tính đến dao động thủy triều, ứng suất gió, thông lượng nhiệt, ... 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. Đây là mô hình mã nguồn mở, dễ tiếp cận và đã có công cụ tích hợp ROMS-4Dvar sẵn có trong bộ mô hình được chuyển giao từ chuyên gia Hoa Kỳ trong dự án Hợp tác Việt – Mỹ [19]. Vì vậy, Luận án lựa chọn sử dụng để thực hiện tái phân tích trường dòng chảy trên vùng biển vịnh Bắc Bộ phục vụ cho việc nghiên cứu đặc điểm của dòng chảy tại đây.

a. Hệ phương trình và các điều kiện biên

- Hệ phương trình

Trong nghiên cứu này, hệ phương trình được thiết lập hệ trên hệ tọa độ Đề Các

với x tăng theo hướng đông, y tăng theo hướng bắc và z tăng theo hướng thẳng đứng từ dưới lên. Bề mặt tự do của biển được xác định tại vị trí $z = \zeta(x, y, t)$ và đáy tại vị trí $z = -H(x, y)$. Nếu \vec{v} là vector vận tốc theo phương ngang với các thành phần (u, v) và ∇ là toán tử gradient theo phương ngang, thì phương trình liên tục và động lượng được viết như sau:

Phương trình liên tục đối với chất lỏng không nén được:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.15)$$

Các phương trình động lượng Reynolds:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla u + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{\partial \phi}{\partial x} + F_u + D_u \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla v + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{\partial \phi}{\partial y} + F_v + D_v \quad (2.17)$$

Phương trình động lượng theo phương thẳng đứng:

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = -\frac{\rho g}{\rho_0} \quad (2.18)$$

Phương trình trạng thái $\rho = \rho(S, T, P)$ và giả thiết thủy tĩnh:

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \rho g \quad (2.19)$$

Các phương trình khuếch tán nhiệt muối:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T = F_T + D_T \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla S = F_S + D_S \quad (2.21)$$

Trong đó: u, v, w các thành phần vận tốc theo trục x, y, z trong hệ tọa độ Đề Các;

f : tham số Coriolis; T: nhiệt độ, S: độ muối, $\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x}$ và $\frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y}$;

$D_u = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right)$ và $D_v = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right)$ là các thành phần nhớt và khuếch tán rối theo phương thẳng đứng.

Các số hạng F_u , F_v , F_T và F_S có dạng như sau:

$$F_u = A_M \nabla^2 u, \quad F_v = A_M \nabla^2 v \quad (2.22)$$

$$F_T = A_M \nabla^2 T, \quad F_S = A_M \nabla^2 S \quad (2.23)$$

$$\text{và } \vec{v} = (u, v, w); \quad \nabla = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}; \quad \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2};$$

K_M – Hệ số khuếch tán rối thẳng đứng.

A_M – Hệ số khuếch tán rối nằm ngang.

- Điều kiện biên

Các điều kiện biên thẳng đứng

Tại bề mặt biển $z = \zeta(x, y, t)$

$$\begin{aligned} K_m \frac{\partial u}{\partial z} &= \tau_s^x(x, y, t), \quad K_m \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_s^y(x, y, t), \quad K_s \frac{\partial S}{\partial z} = (E - P)S, \\ K_T \frac{\partial T}{\partial z} &= \frac{Q_T}{\rho_0 c_p} + \frac{1}{\rho_0 c_p} \frac{dQ_T}{dT} (T - T_{ref}), \quad w = \frac{\partial \zeta}{\partial t} \end{aligned} \quad (2.24)$$

Trong đó: $(E - P)$ là hiệu số của bốc hơi và mưa; Q_T thông lượng nhiệt bề mặt; τ_s^x , τ_s^y là ứng suất gió bề mặt; τ_b^x , τ_b^y , ứng suất đáy; T_{ref} nhiệt độ bề mặt biển, $z = -h(x, y)$; dao động bề mặt biển, K_m – Hệ số khuếch tán rối thẳng đứng; K_s , K_T - Hệ số trao đổi rối nhiệt – muối thẳng đứng.

Tại đáy biển $z = -H(x, y)$

$$\begin{aligned} K_M \frac{\partial u}{\partial z} &= \tau_b^x(x, y, t), \quad K_M \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_b^y(x, y, t), \quad K_M \frac{\partial S}{\partial z} = 0, \\ K_M \frac{\partial T}{\partial z} &= 0, \quad -w + \vec{v} \Delta h = 0 \end{aligned} \quad (2.25)$$

Các điều kiện biên theo phương nằm ngang

Các điều kiện biên bậc cao được sử dụng đối với u là:

Ở sát các biên phía đông và phía tây

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h\nu}{mn} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) = 0 \quad (2.26)$$

Ở sát các biên phía bắc và phía nam

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{h\nu}{mn} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (2.27)$$

Trong đó : h là độ sâu; m, n là mối hệ giữa độ dài của dx, dy trong cùng một hệ tọa độ theo phương z.

Ở phía bắc và phía nam điều kiện biên cho các thành phần nhiệt muối cũng tương tự như với điều kiện biên của thành phần u.

Biên cứng G_1 , sử dụng điều kiện là vận tốc pháp tuyến bằng không :

$$\overline{V}_n = 0 \quad (2.28)$$

Trong đó : n kí hiệu hướng pháp tuyến đường bờ.

Điều kiện biên lỏng: Được chọn lựa từ các hằng số điều hòa thủy triều lấy từ TPXO7.2 với 8 sóng triều chính: K1, O1, P1, Q1, M2, N2, K2, S2.

- Tham số hóa

+ *Xáo trộn rối theo phương thẳng đứng*

Mô hình sử dụng sơ đồ Mellor-Yamada bậc $2^{1/2}$ [45] để tham số hóa các hệ số khuếch tán động lượng K_M và nhiệt K_H theo phương thẳng đứng, đặc trưng cho quá trình rối bởi các phương trình động năng rối và quy mô rối:

$$\begin{aligned} K_M &= lqS_M \\ K_H &= lqS_H \end{aligned} \quad (2.29)$$

Trong đó, q là động năng rối, l là kích thước rối, S_M và S_H là hàm số Richardson Rr.

Trong sơ đồ M-Y bậc $2^{1/2}$, q được tính từ phương trình dừng của động năng rối:

$$S_M \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right] + S_H \frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} = \frac{q^2}{B_l l^2} \quad (2.30)$$

Trong đó $B_l = 15$ và l được tính từ lớp biên:

$$l = \gamma \int_{z=-h}^{z=\zeta} |z| q dz \left[\int_{z=-h}^{z=\zeta} q dz \right]^{-1} \quad (2.31)$$

Với $g = 0,2$

ROMS sử dụng sơ đồ M-Y bậc $2^{1/2}$ trong đó q và l là nghiệm của các phương trình sau:

$$\frac{Dq^2}{Dt} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + 2K_M \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{2g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \tilde{p}}{\partial z} - 2\varepsilon + F_q \quad (2.32)$$

$$\frac{Dq^2 l}{Dt} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_q \frac{\partial q^2 l}{\partial z} \right) + E_1 l \left\{ K_M \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right] l + E_3 \frac{g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \tilde{p}}{\partial z} \right\} \tilde{W} - l\varepsilon + F_l \quad (2.33)$$

Trong các phương trình trên, gia tốc của q và l cân bằng với khuếch tán rối theo phương thẳng đứng, phát sinh do ma sát, lực nổi, tiêu hao và khuếch tán theo phương ngang. \tilde{W} là hàm xấp xỉ hiệu ứng biên cứng, E_1 và E_3 là hằng số không thứ nguyên. Các hệ số khuếch tán K_M và K_H thường được cộng thêm $2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

Các quan trắc thực nghiệm cho thấy rối, trong chất lỏng phân tầng bị phân rã tương tự chất lỏng không phân tầng cho tới khi đạt tới trị số Richardson tới hạn và khi đó quá trình phân rã gần như dừng lại. Trên cơ sở này, công thức nguyên bản

của M-Y $\varepsilon = \frac{q^3}{B_1 l}$ với $B_1 = 16.6$ được thay thế bằng:

$$\varepsilon = \frac{q^3}{B_1 l} \begin{cases} 1.0 & G_{Hc} \geq 0 \\ 1.0 - 0.9(G_H / G_{Hc})^{3/2} & G_{Hc} < G_H < 0 \\ 0.1 & G_H \leq G_{Hc} \end{cases} \quad (2.34)$$

Trong đó $G_{Hc} \approx -0.25 \div -2.5$ là giá trị tới hạn của số Richardson G_H

+ *Xáo trộn rối theo phương ngang*

Các hệ số xáo trộn theo phương ngang đối với động lượng được sử dụng để tham số hoá toàn bộ các quá trình không giải quyết được trên lưới tính. Do lưới tính có thể không đều, các hệ số xáo trộn phải rất phù hợp để duy trì số Reynold như lưới đều. Các tham số được đề xuất bởi Smagorinsky (1963) phụ thuộc vào khoảng

cách lưới theo phương ngang đã được sử dụng trong mô hình. Những đại lượng liên quan đến các quá trình xáo trộn quy mô nhỏ không giải quyết trực tiếp bởi mô hình được tham số hoá như các giá trị khuếch tán theo phương ngang và tính theo:

$$A_M = \alpha \Delta_x \Delta_y \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.35)$$

Hệ số α thường lấy bằng 0,1 và nằm trong phạm vi từ 0,01 tới 0,5 trong các ứng dụng khác nhau

- Xáo trộn do bất ổn định động học

Các profile mật độ theo phương thẳng đứng cho thấy lớp mặt mang tính ổn định trung tính (lớp xáo trộn) và phía dưới là lớp nhảy vọt nhiệt độ. Các lớp xáo trộn này rất dễ bị phá vỡ do ứng suất bề mặt, lực đẩy nổi và do đó ảnh hưởng của các quá trình tương tác giữa mặt nước và khí quyển nhanh chóng được phân bố lại trong lớp xáo trộn. ROMS sử dụng phương pháp xáo trộn bất ổn định để tiếp cận độ dày lớp xáo trộn. Phương pháp này giả thiết rằng mật độ và vận tốc tại mặt nước bị xáo trộn theo phương thẳng đứng cho tới khi thỏa mãn 3 tiêu chuẩn ổn định sau:

+ Ổn định tĩnh học:

$$-\frac{\partial \rho}{\partial z} \geq 0 \quad (2.36)$$

Bất ổn định tĩnh học thường gây ra bởi các quá trình lạnh bề mặt như khi bắt đầu mùa thu và mùa đông trong chu trình mùa, hay ban đêm trong chu trình ngày.

+ Ổn định xáo trộn:

$$R_b = \frac{-g \Delta \rho h_m}{\rho_0 (\Delta u^2 + \Delta v^2)} \geq 0.65 \quad (2.37)$$

Trong đó h_m là độ dày lớp xáo trộn, Δ là khoảng cách giữa lớp xáo trộn và lớp bên dưới. R_b là số Richardson tổng quát. Quá trình này thể hiện sự nhập lưu vào lớp xáo trộn và tăng cường quá trình chìm xuống của lớp xáo trộn.

+ Ổn định dòng ma sát:

$$R_g = \frac{-g \frac{\partial \rho}{\partial z}}{\rho_0 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right]} \geq 0.25 \quad (2.38)$$

Trong đó R_g là số Richardson gradient. Khác với hai quá trình trên làm chìm lớp xáo trộn, quá trình này gây giảm các đột biến trong lớp chuyển tiếp. Tiêu chuẩn ổn định dòng ma sát gây ra sự xáo trộn đáng kể trong lớp chuyển tiếp khi tại đáy của lớp xáo trộn có sự dịch chuyển đáng kể theo phương thẳng đứng.

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 tổng 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.

Với phương pháp tính toán như trên sẽ thể hiện được đặc điểm xu thế đặc trưng cho từng tháng dưới tác động của các yếu tố khí tượng, thủy văn và loại được dòng chảy (tuần hoàn) do thủy triều gây lên để đáp ứng mục đích nghiên cứu của Luận án.

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

Như phân tích tại Chương I, đồng hóa dữ liệu là phương pháp đang được quan tâm nghiên cứu và ứng dụng phục vụ cho việc tái lập lại các trường động lực biển điển hình như mực nước, nhiệt độ và dòng chảy biển. Kèm theo với sự phát triển ngày càng cao của công nghệ viễn thám trong quan trắc hải dương, trong đó phải kể

đến là công nghệ Radar biển. Công nghệ này cho phép quan trắc các yếu tố bề mặt biển như vận tốc và hướng gió; độ cao, chu kỳ và hướng sóng, vận tốc và hướng dòng chảy tầng mặt với diện rộng và trong những điều kiện thời tiết khắc nghiệt như giông, tố, biển động và bão mà các phương pháp quan trắc truyền thống không thực hiện được. Ngoài ra việc phát triển về công nghệ máy tính cũng cho phép giải các bài toán cần đến việc xử lý với tốc độ nhanh đáp ứng về xử lý những thuật toán phức tạp cũng như dung lượng lớn trong thời gian ngắn.

Hiện nay, tại Việt Nam đã từng bước hiện đại hóa trong lĩnh vực quan trắc các yếu tố khí tượng, thủy văn và hải văn. Trong thời gian qua, Bộ Tài nguyên và Môi trường đã đầu tư xây dựng hệ thống quan trắc biển bằng hệ thống Radar Sea-Sonde, đây là hệ thống quan trắc viễn thám sử dụng công nghệ tiên tiến trên thế giới đã được nhiều quốc gia triển khai áp dụng mang lại hiệu quả thiết thực. Với nguồn số liệu quan trắc được triển khai tại 3 trạm Radar biển trên vùng biển vịnh Bắc Bộ từ năm 2011 đến nay, đã thu được một lượng lớn dữ liệu quan trắc dòng chảy và sóng biển.

Để khai thác có hiệu quả nguồn dữ liệu này, Luận án đã nghiên cứu đánh giá các dữ liệu hiện có của hệ thống Radar biển và thực hiện áp dụng phương pháp đồng hóa dữ liệu sử dụng dữ liệu quan trắc dòng chảy tầng mặt kết hợp với mô hình ROMS để từ đó có được các dữ liệu tái phân tích trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ, đánh giá các đặc điểm chính dựa trên các phân tích về đặc điểm của trường dòng chảy 3 chiều trên vịnh Bắc Bộ theo từng tháng.

Ngoài ra, trong đồng hóa dữ liệu có hai cách tiếp cận. Các tiếp cận thứ nhất sử dụng "quan trắc động lực học", trong đó đưa ra một sơ đồ đồng hoá số liệu tuần tự và cách tiếp cận thứ hai sử dụng trong đó đưa ra một sơ đồ đồng hoá số liệu bốn chiều. Trong sơ đồ đồng hóa biến phân bốn chiều có 3 phương pháp để tìm kiếm ước tính quỹ đạo tốt nhất của trường trạng thái nền với quan trắc. Trong đó, phương pháp 4D-Var ràng buộc mạnh gia tăng (I4D-Var) sử dụng không gian véc tơ điều khiển và hai phương pháp sử dụng không gian véc tơ quan trắc là phương pháp phân tích thống kê không gian vật lý (4D-PSAS) và phương pháp đại diện (R4D-

Var). Trong nghiên cứu này, sử dụng cách tiếp cận thứ hai sử dụng “quan trắc trực tiếp” và phương pháp đại diện R4D-Var. Dưới đây là quy trình thực hiện các bước nghiên cứu của Luận án:

1) Thu thập các số liệu phục vụ cho công tác nghiên cứu bao gồm 3 nhóm dữ liệu chính:

- Dữ liệu phục vụ xây dựng lưới tính mô hình ROMS bao gồm:

Dữ liệu về địa hình đáy biển được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau trong đó có hai nguồn chính là dữ liệu từ bản đồ địa hình đáy biển tỉ lệ 1:50.000 khu vực ven bờ và nguồn dữ liệu từ NOAA.

- Dữ liệu phục vụ xây dựng điều kiện ban đầu và điều kiện cho mô hình ROMS:

Dữ liệu biên bề mặt: là vận tốc gió, thông lượng nhiệt từ trung tâm dự báo hạn vừa Châu Âu (ECMWF); dữ liệu biên lỏng phía biển là vận tốc dòng chảy, nhiệt độ và độ muối từ mô hình HyCom; dữ liệu biên lỏng trong sông là lưu lượng nước sông của 4 sông chính khu vực vịnh Bắc Bộ.

- Dữ liệu phục vụ cho đồng hóa dữ liệu bao gồm: số liệu dòng chảy tầng mặt quan trắc từ hệ thống Radar biển, dữ liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt phân tích từ ảnh MODIS, dữ liệu mực nước từ vệ tinh Topex. Nghiên cứu này tập trung vào sử dụng số liệu dòng chảy quan trắc từ hệ thống Radar biển, số liệu nhiệt độ và mực nước biển được bổ sung để hỗ trợ làm tăng tính ưu việt của phương pháp đồng hóa dữ liệu.

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

Để triển khai bước nghiên cứu này, Luận án đã thiết lập bài toán đồng hóa dữ liệu ứng dụng mô hình ROMS và sơ đồ đồng hóa biến phân 4 chiều, trong đó đã đánh giá tác động của việc đồng hóa so với kết quả mô phỏng của mô hình ROMS khi chưa đồng hóa dựa trên đánh giá các sai số BIAS, RMSE và hệ số tương quan.

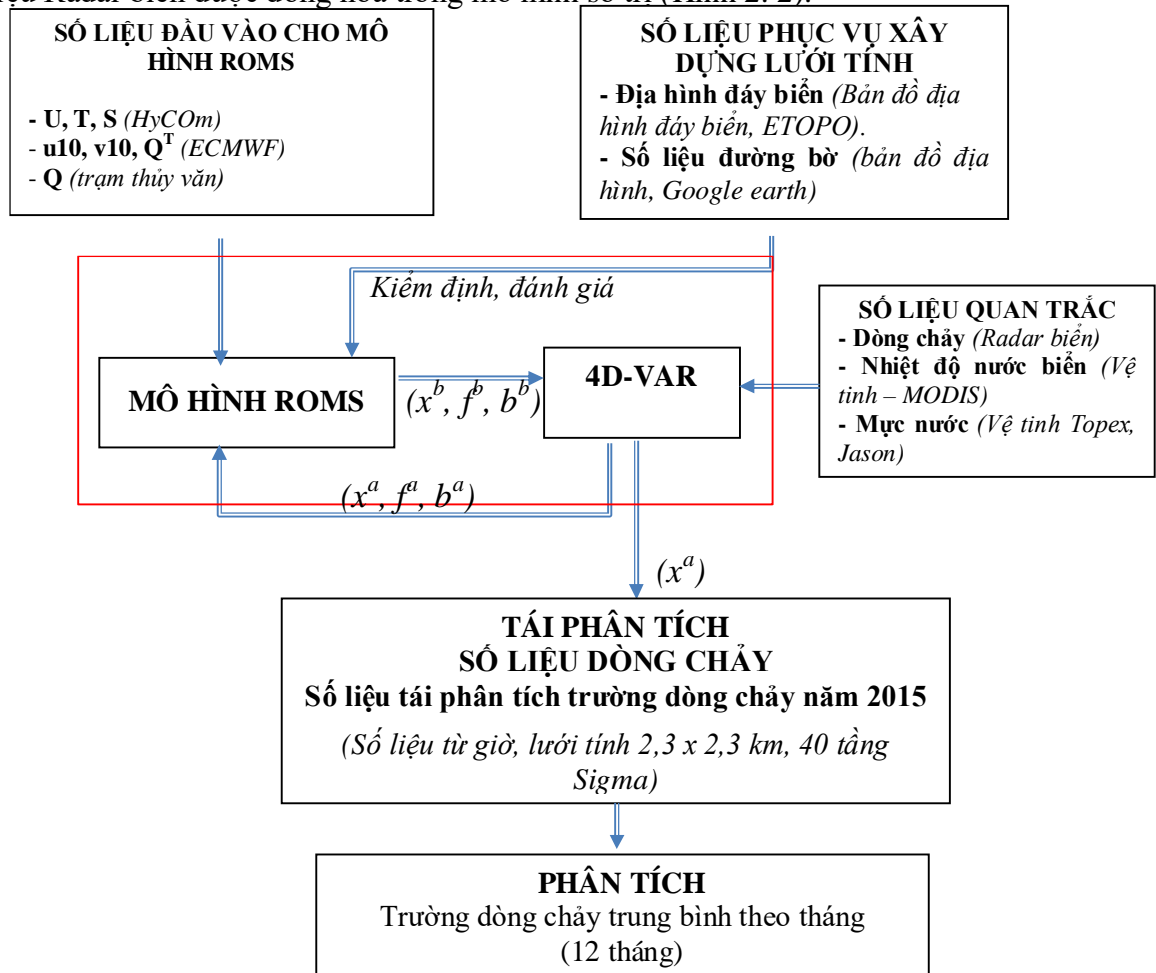
3) Tái phân tích trường dòng chảy 3 chiều khu vực vịnh Bắc Bộ

Dựa trên các số liệu đầu vào đã chuẩn bị tại bước 1 và bài toán đã thiết lập tại bước 2, thực hiện tái phân tích trường dòng chảy 3 chiều khu vực vịnh Bắc Bộ trong thời gian 1 năm (2015).

4) Thực hiện phân tích các đặc điểm trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ

Dựa trên các số liệu tái phân tích trường dòng chảy 3 chiều vùng biển vịnh Bắc Bộ xây dựng các sơ đồ trường dòng chảy các tầng theo độ sâu trung bình tháng (12 tháng) để nhận định đặc điểm điển hình của bức tranh trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ theo tháng.

Dưới đây là sơ đồ quy trình thực hiện tính toán trường dòng chảy sử dụng số liệu Radar biển được đồng hóa trong mô hình số trị (Hình 2. 2).



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 địa hình khu vực vịnh Bắc Bộ, khu vực Biển Đông và lân cận được thu thập để xây dựng lưới tính trên toàn khu vực Biển Đông và chi tiết cho vùng biển vịnh Bắc Bộ bao gồm:

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 tỉ 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 [54] 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

Dữ liệu khí tượng bao gồm: vận tốc gió thành phần theo kinh hướng và vĩ hướng tầng 10 mét; thông lượng nhiệt bề mặt; bức xạ mặt trời. Các dữ liệu này được thu thập từ sản phẩm của mô hình ERA của ECMWF, miền thu thập từ 0⁰N đến 30⁰N và từ 99⁰E đến 135⁰E phủ trùm miền tính của mô hình. Bước thời gian 3 giờ và độ phân giải theo phương ngang xấp xỉ 13,75 km x 13,75 km trong năm 2015. Các dữ liệu này phục vụ cho việc xây dựng điều kiện biên bề mặt cho mô hình ROMS.

b. Số liệu thủy văn

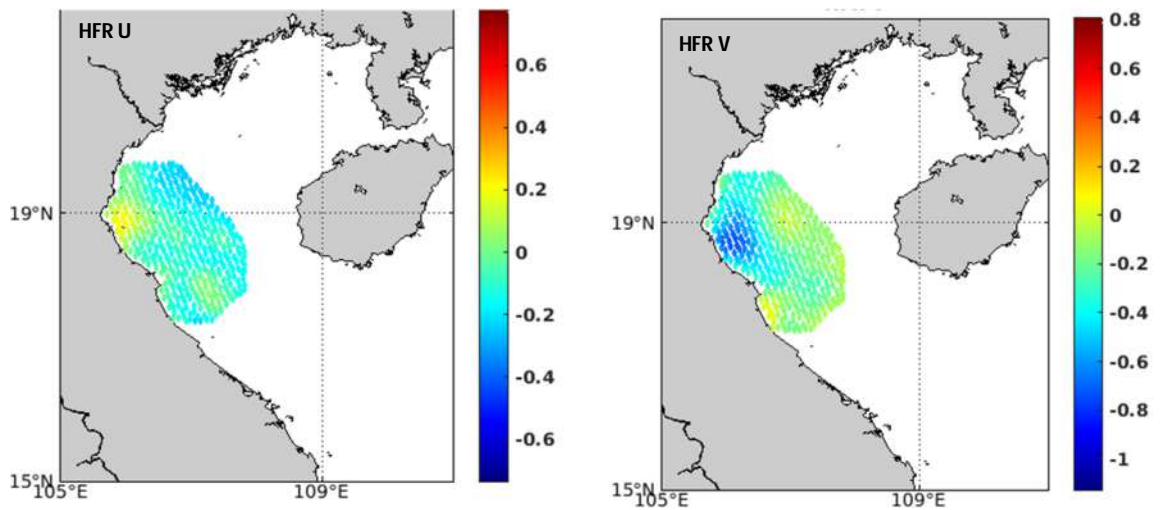
Khu vực Vịnh Bắc Bộ có một số sông lớn đổ ra, trong đó có hệ thống sông Hồng, Sông Thái Bình, Sông Mã. Qua đánh giá, cho thấy lưu lượng dòng chảy của các sông sông Đá Bạch và sông Cẩm; sông Văn Úc; sông Thái Bình; sông Hồng chiếm tỉ trọng lớn đổ ra biển khu vực vịnh Bắc Bộ. Ngoài ra, tại các sông này đã thu thập được lưu lượng nước sông trung bình tháng từ năm 2000 đến 2009 [19]. Vì vậy, Luận án đã sử dụng dữ liệu lưu lượng nước sông trung bình tháng tại các trạm

thủy văn của 4 sông này phục vụ cho việc xây dựng điều kiện biên lỏng phía trong sông của mô hình ROMS.

c. Số liệu hải văn

- Số liệu quan trắc dòng chảy tầng mặt từ hệ thống Radar biển:

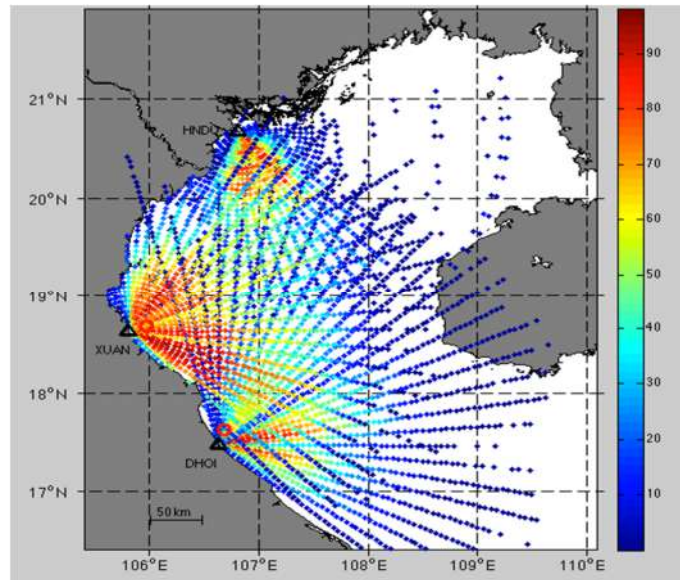
Số liệu dòng chảy quan trắc bởi hệ thống Radar biển được thu thập từ Trung tâm Hải văn từ năm 2011 đến năm 2020. Dữ liệu này bao gồm giá trị thành phần vận tốc dòng chảy theo kinh hướng và vĩ hướng tại tầng mặt và được hệ thống tự động tổng hợp từ dữ liệu của ba trạm Radar biển: Hòn Dấu, Nghi Xuân và Đồng Hới. Độ phân giải theo không gian là 6 km x 6 km (Hình 2. 3) trong phạm vi quét của các trạm Radar biển lớn nhất là 300 km tính từ vị trí đặt trạm (Hình 2. 4). Tần suất số liệu 1 giờ, trong đó độ phủ của số liệu phụ thuộc vào trạng thái mặt biển và độ ồn của môi trường nền.



a) Thành phần vận tốc dòng chảy tầng mặt theo hướng u

b) Thành phần vận tốc dòng chảy tầng mặt theo hướng v

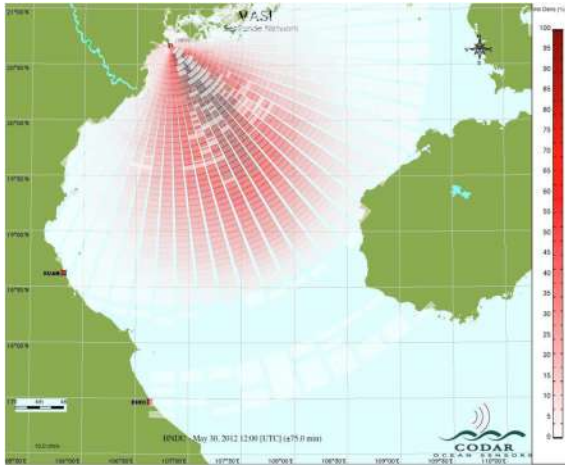
Hình 2. 3. Dữ liệu vận tốc dòng chảy thành phần tầng mặt từ hệ thống Radar biển



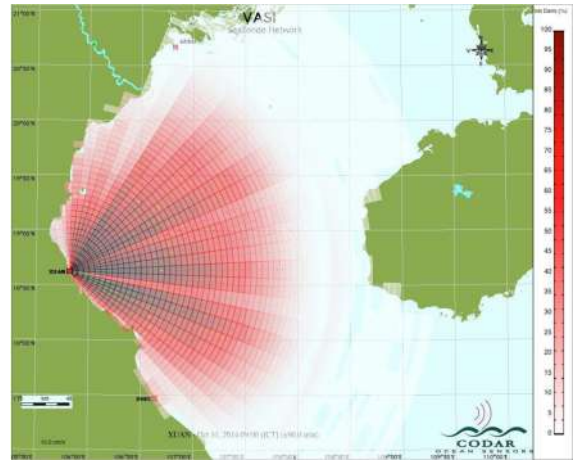
Hình 2. 4. Phạm vi hoạt động của 3 trạm Radar

+ Đánh giá mức độ đầy đủ của số liệu quan trắc dòng chảy theo không gian

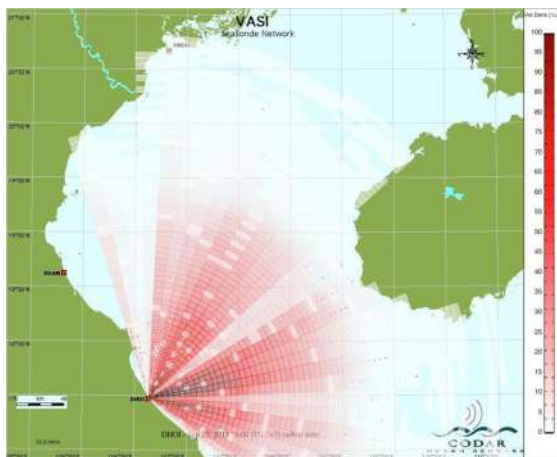
Đánh giá mức độ đầy đủ của nguồn dữ liệu quan trắc bằng Radar biển tác giả đã tiến hành phân tích tính toán mật độ dữ liệu quan trắc được trong thời gian từ năm 2011 đến nay với bước thời gian 1 giờ tại 03 trạm Radar và dữ liệu giao thoa của 3 trạm. Các kết quả phân tích phân bố mật độ số liệu quan trắc dòng chảy tại 03 trạm Radar biển trên các Hình 2. 5, Hình 2. 6, Hình 2. 7 và Hình 2. 8 cho thấy số liệu quan trắc dòng chảy tại 03 trạm Radar biển có mật độ chưa đồng đều. Số liệu tại trạm Nghi Xuân có phân bố đồng đều nhất, mật độ trung bình 70 - 75%, trong khi đó trạm Hòn Dấu và Đồng Hới có mật độ số liệu đạt được 55 - 60%.



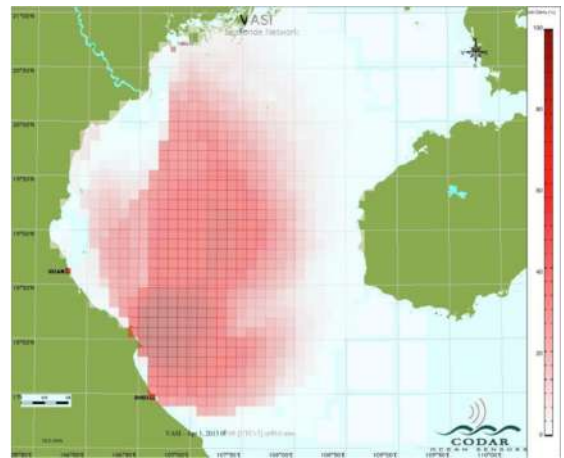
Hình 2. 5. Phân bố mật độ số liệu quan trắc dòng chảy tại trạm Radar Hòn Dấu.



Hình 2. 6. Phân bố mật độ số liệu quan trắc dòng chảy tại trạm Radar Nghi Xuân



Hình 2. 7. Phân bố mật độ số liệu tại trạm Đồng Hới



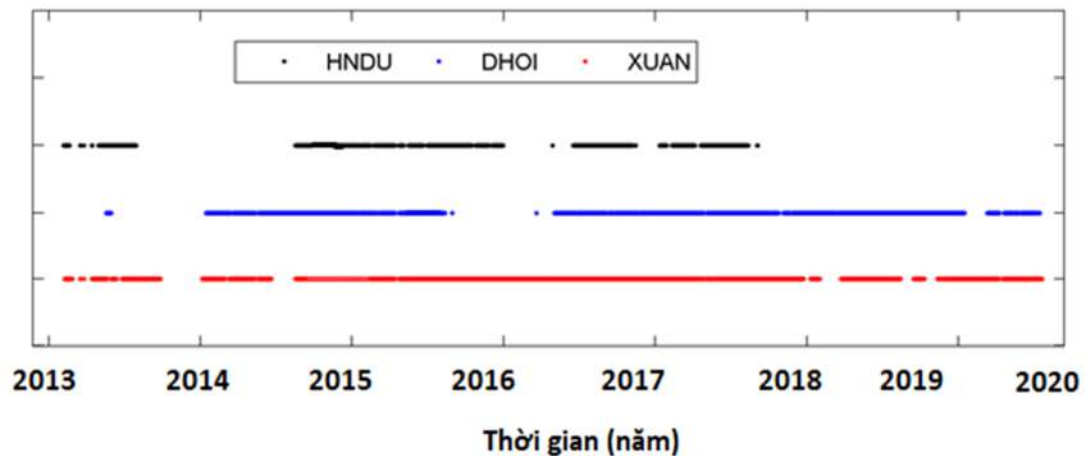
Hình 2. 8. Phân bố mật độ số liệu giao thoa của 3 trạm Radar

Các phân tích trên cho thấy rằng các dữ liệu quan trắc dòng chảy tầng mặt tổng hợp vùng biển vịnh Bắc Bộ có thể phục vụ cho việc đồng hóa dữ liệu dòng chảy vào mô hình ROMS sử dụng sơ đồ đồng hóa biến phân 4 chiều.

+ Đánh giá mức độ đầy đủ của số liệu quan trắc dòng chảy tại các trạm Radar biển theo thời gian

Các trạm Radar biển được đặt tại các vùng ven biển và trên đảo chịu ảnh hưởng của điều kiện thời tiết khắc nghiệt, vì vậy trong thời gian hoạt động, việc thu thập số

liệu bị gián đoạn tại một số thời điểm. Số liệu thống kê được thể hiện trên hình 2.9 cho thấy, trong 3 trạm Radar biển đang vận hành, trạm Nghi Xuân có thời gian thu thập số liệu đầy đủ nhất, trừ một số thời gian trạm bị mất điện. Trạm Hòn Dấu có thời gian vận hành kém ổn định nhất, thời gian hoạt động chỉ đạt khoảng 50%. Trong thời gian từ năm 2011 đến năm 2020, năm 2015 là thời gian ba trạm Radar biển hoạt động ổn định nhất. Vì vậy, số liệu sẽ đầy đủ nhất vì có diện tích giao thoa của 3 trạm Radar biển là lớn nhất. Luận án sẽ lựa chọn năm 2015 là thời gian thực hiện sử dụng số liệu dòng chảy tầng mặt từ hệ thống Radar biển để đồng hóa số liệu.



Hình 2. 9. Tình trạng hoạt động và có số liệu của 3 trạm Radar biển

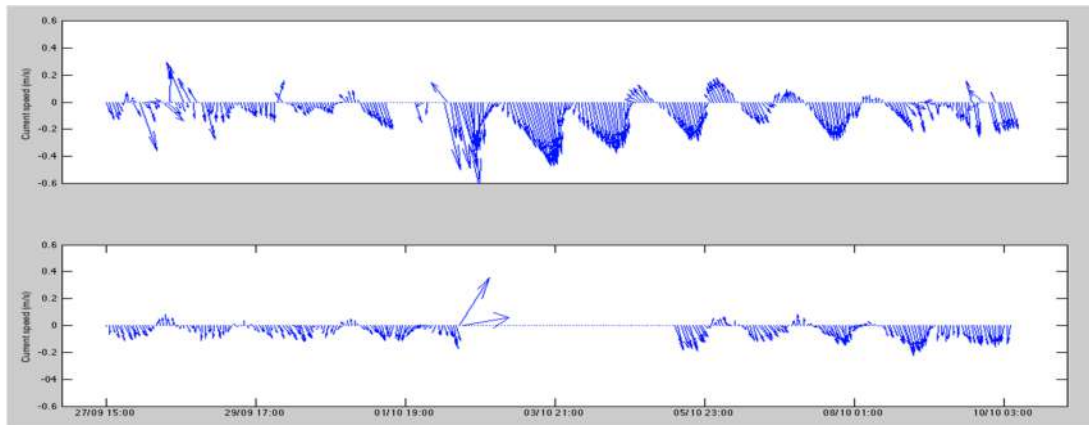
+ Đánh giá về chất lượng của dữ liệu dòng chảy quan trắc bằng Radar biển

Số liệu Radar biển trong quan trắc dòng chảy tầng mặt có độ chính xác phụ thuộc vào môi trường trong phạm vi hoạt động của Radar biển. Với môi trường bình thường sai số trung bình của vận tốc dòng chảy < 7 cm/s và hướng < 10 độ.

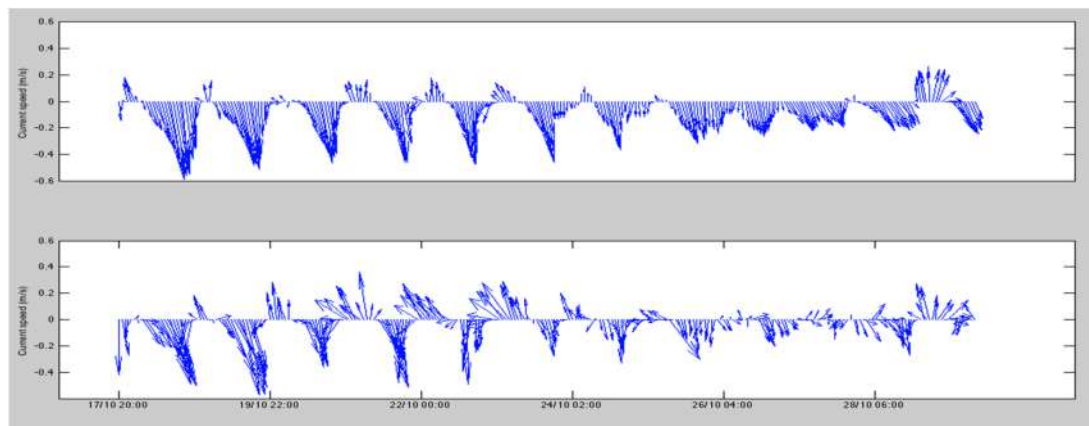
Theo một nghiên cứu của tác giả Lee et al. (2014) [33], về đánh giá độ chính xác của số liệu Radar biển khu vực biển của sông Keum (Hàn Quốc) trong hai mùa đông và mùa hè với số liệu quan trắc từ máy ADCP đưa ra kết luận: Sai số trung bình quân phương của dòng chảy mùa đông $< 5,4$ cm/s và mùa hè < 10 cm/s.

Theo Báo cáo tổng kết nhiệm vụ Đánh giá độ chính xác giữa số liệu quan trắc sóng, dòng chảy bằng máy với Radar các trạm Nghi Xuân, Đồng Hới do Trung tâm

Hải văn thực hiện [20]. Trong nhiệm vụ này đã thực hiện quan trắc dòng chảy tại 2 vị trí tại vùng biển Nghi Xuân – Hà Tĩnh và Đồng Hới Quảng Bình bằng thiết bị AWAC để đánh giá, kiểm nghiệm số liệu Radar biển. Kết quả cho thấy sự tương đồng tốt về xu thế giữa 2 nguồn số liệu, trong đó, tương quan giữa dòng chảy thu thập từ Radar và AWAC tại khu vực Nghi Xuân cho thấy độ tương quan tốt hơn là 0.82. Kết quả tính toán từ giá trị góc α cũng cho thấy dòng chảy quan trắc từ Radar có xu hướng quay ngược chiều kim đồng hồ so với dòng chảy quan trắc từ AWAC, cụ thể là 25.81° tại trạm Đồng Hới và 8.58° tại trạm Nghi Xuân.



Hình 2. 9. Biến trình dòng chảy mặt giữa Radar (trên) và AWAC (dưới) tại trạm Đ. Hới



Hình 2. 9. Biến trình dòng chảy mặt giữa Radar (trên) và AWAC (dưới) tại trạm N.

Xuân

Ngoài ra, theo kết quả nghiên cứu của Manh Cuong Tran và cộng sự [34], trong nghiên cứu này đã phân tích, đánh giá dòng chảy mùa vịnh Bắc Bộ dựa trên số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển, trong đó đã có các phân tích đánh giá độ tin cậy của nguồn số liệu này cũng như đặc điểm dòng chảy theo mùa của vịnh Bắc Bộ.

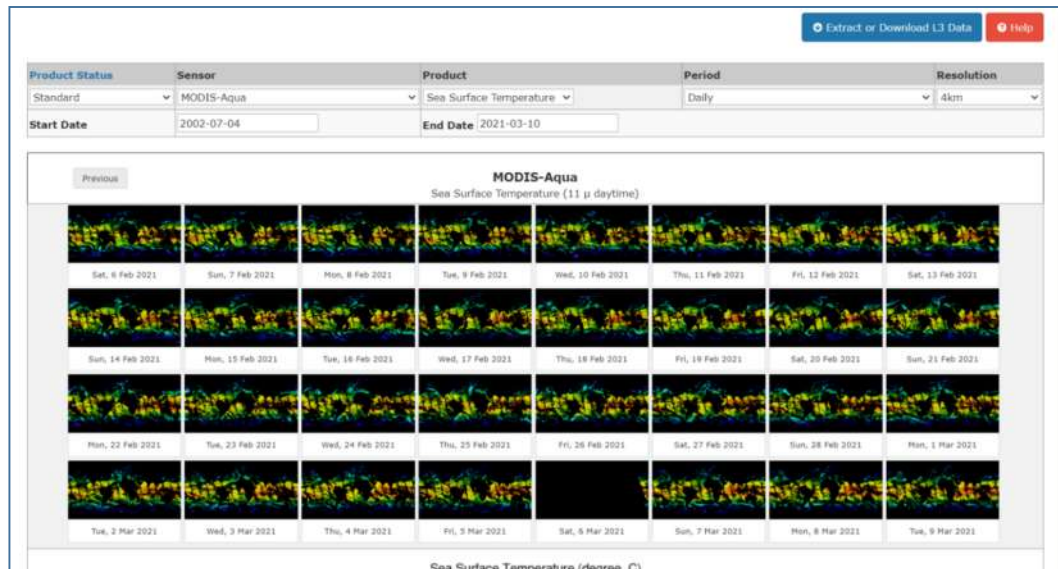
- Dữ liệu dòng chảy, nhiệt-muối từ mô hình HyCom

Dữ liệu dòng chảy, nhiệt độ và độ muối được thu thập từ mô hình HyCom. Mô hình HyCom là sản phẩm của Chương trình hợp tác Đại dương Quốc gia (NOPP) do Hoa Kỳ tài trợ. Mục tiêu là mô tả ba chiều về các trạng thái đại dương ở độ phân giải cao trong thời gian thực, để cung cấp các điều kiện biên cho các mô hình ven biển và mô hình khu vực, cũng như cung cấp các điều kiện biên cho mô hình dự báo đại dương-khí quyển gắn kết toàn cầu. Số liệu này, được thu thập từ 0°N đến 30°N và từ 99°E đến 135°E phủ trùm miền tính của mô hình. Bước thời gian 3 giờ và độ phân giải theo phương ngang xấp xỉ $9,2 \text{ km} \times 9,2 \text{ km}$. Theo độ sâu gồm 40 tầng chuẩn: 0; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 60; 70; 80; 90; 100; 125; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 4000; 5000 mét. Các dữ liệu này phục vụ cho công việc xây dựng dữ liệu điều kiện ban đầu, điều kiện trên các biên lỏng phía biển của mô hình ROMS. Hiện nay, đối với dữ liệu toàn cầu về hải dương thì nguồn dữ liệu từ HyCom là một nguồn dữ liệu đầy đủ nhất về các biển, thời gian tái phân tích dài nhất, độ phân giải không gian theo phương ngang và phương thẳng đứng chi tiết nhất đáp ứng được yêu cầu để sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho các lưới tính khu vực đối với mô hình biển. Vì vậy, Luận án đã lựa chọn nguồn dữ liệu này để làm phục vụ xây dựng điều kiện biên trên lưới tính của mô hình ROMS đối với lưới tính Biển Đông.

- Số liệu đo dòng chảy bằng ADCP, nhiệt độ và độ muối bằng thiết bị CTD trong thời gian tháng 4 năm 2016. Số liệu này phục vụ cho việc đánh giá, kiểm nghiệm mô hình ROMS.

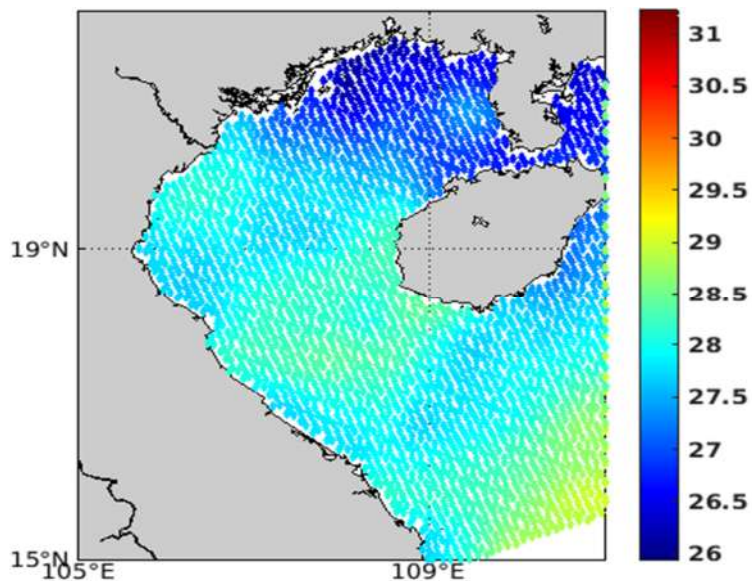
- Dữ liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt được phân tích từ ảnh MODIS. Phạm vi

không gian từ 15°N đến 23°N và từ 105°E đến 111°E được khai thác tại trang <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/> thể hiện trên Hình 2. 10 và Hình 2. 11 được sử dụng để đồng hóa dữ liệu [55].



Nguồn: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/> [55]

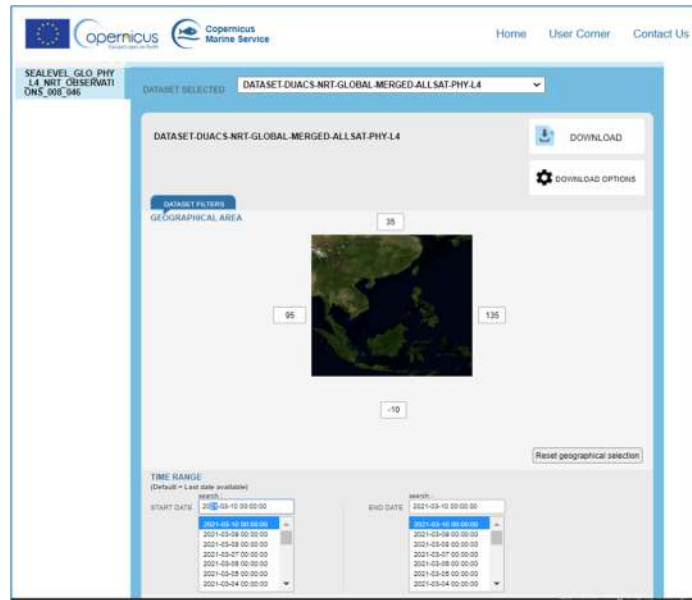
Hình 2. 10. Nguồn dữ liệu nhiệt độ nước biển bề mặt được phân tích từ ảnh MODIS



(Nguồn: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/> [45])

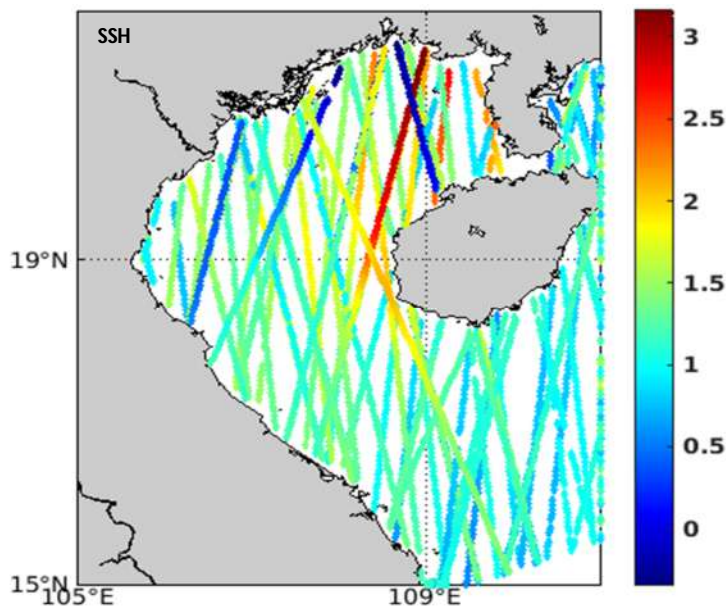
Hình 2. 11. Dữ liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt phân tích từ ảnh MODIS

- Dữ liệu mực nước biển là sản phẩm của vệ tinh Jason, Envisat, Saral. Phạm vi không gian từ 15°N đến 23°N và từ 105°E đến 111°E được khai thác tại trang <https://resources.marine.copernicus.eu> [56] được sử dụng để đưa vào đồng hóa dữ liệu (Hình 2. 12, Hình 2. 13).



(Nguồn: <https://resources.marine.copernicus.eu> [56])

Hình 2. 12. Nguồn dữ liệu độ cao mặt biển quan trắc bằng vệ tinh Jason



(Nguồn: <https://resources.marine.copernicus.eu> [46])

Hình 2. 13. Dữ liệu mực nước biển quan trắc bằng vệ tinh Jason

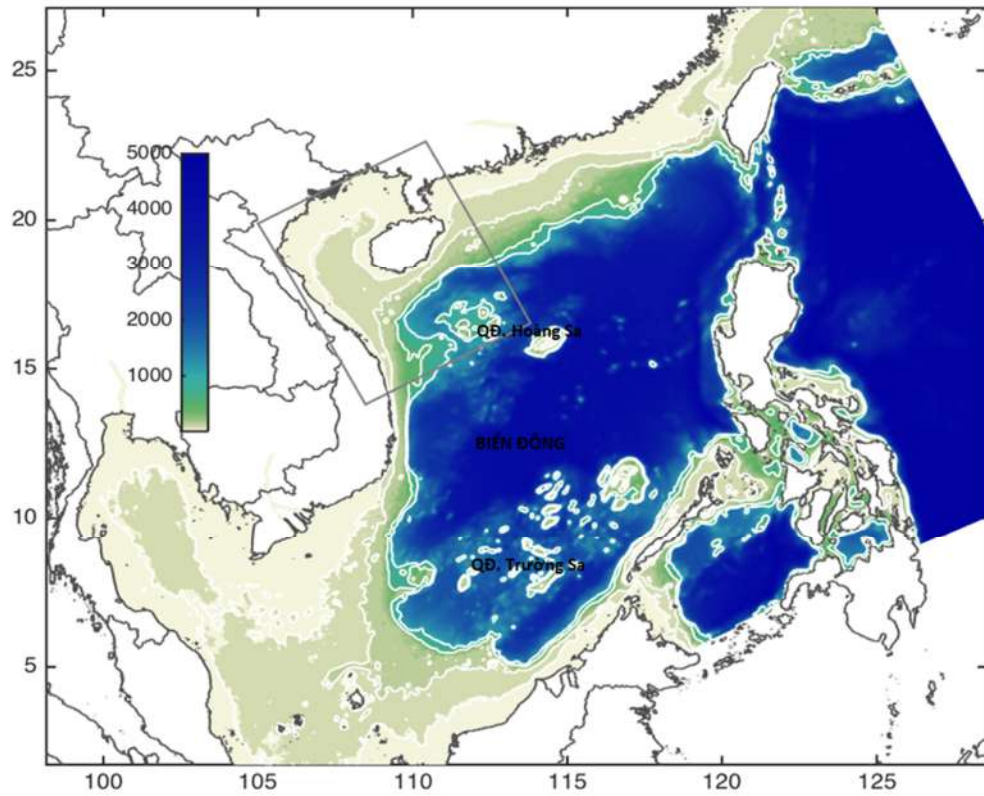
Các nguồn số liệu đã thu thập trên là đầy đủ cho việc xây dựng lưới tính, kiểm định mô hình ROMS. Đặc biệt trong khuôn khổ luận án này, tác giả chú trọng đến việc sử dụng số liệu quan trắc dòng chảy tầng mặt từ hệ thống Radar biển để đồng hóa dữ liệu vào mô hình ROMS, bên cạnh đó có bổ sung thêm số liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt và mực nước từ vệ tinh trong quá trình đồng hóa số liệu.

2.4. Xây dựng miền tính, lưới tính, các điều kiện đầu vào

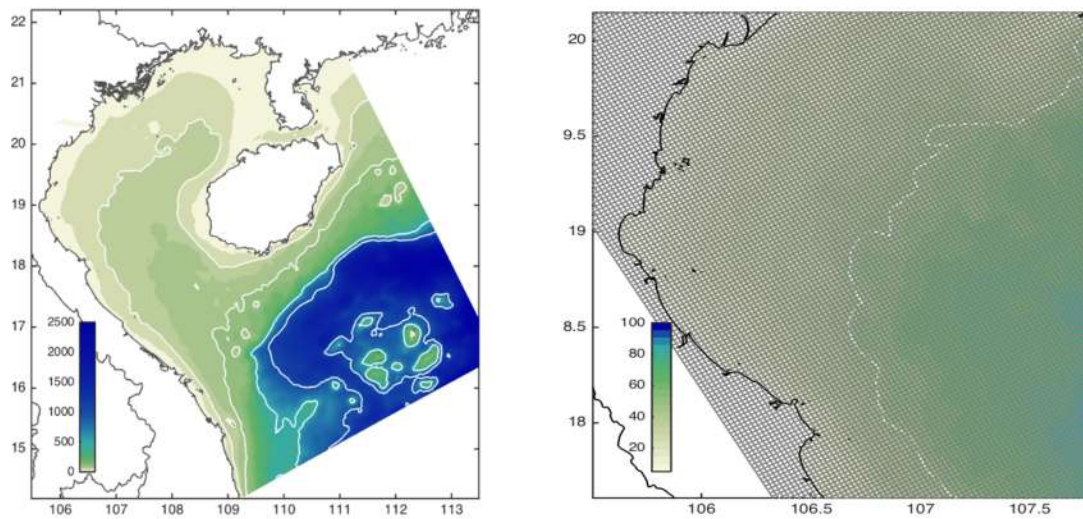
2.4.1. Xây dựng miền tính, lưới tính

Lưới tính được xây dựng là lưới vuông theo phương ngang gồm 2 lưới, lưới tính toán cho toàn Biển Đông có độ phân giải ngang là 7 km x 7 km (Hình 2. 14), lưới lồng chi tiết cho khu vực vịnh Bắc Bộ có độ phân giải ngang là 2,3 km x 2,3 km (Hình 2. 15).

Lưới theo độ sâu được chia thành 40 tầng theo hệ tọa độ sigma với các tham số sau: $\text{Theta}_s = 7$; $\text{Theta}_b = 2$; $\text{Tcline} = 250$.



Hình 2. 14. Miền tính trên toàn Biển Đông



a) Miền tính chi tiết khu vực vịnh
Bắc Bộ

b) Lưới tính chi tiết khu vực vịnh
Bắc Bộ

Hình 2. 15. Miền tính và lưới tính chi tiết cho vùng biển vịnh Bắc Bộ

2.4.2. Xây dựng các dữ liệu đầu vào

a. Dữ liệu điều kiện biên

- Dữ liệu biên bề mặt:

Dữ liệu khí tượng bao gồm: ứng suất gió bề mặt, thông lượng nhiệt, bức xạ mặt trời là sản phẩm tái phân tích của mô hình ERA từ ECMWF độ phân giải không gian 14x 14 km, bước thời gian 3 giờ.

- Dữ liệu tại biên sông:

Dữ liệu lưu lượng trung bình tháng của 4 sông chính: từ năm 2000 đến 2020 được thu thập từ sản phẩm của dự án “*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*” [19] do Trung tâm Hải văn thu thập.

- Dữ liệu tại biên biển

Sử dụng số liệu mực dòng chảy thành phần phần u, v, số liệu nhiệt độ và độ muối theo các tầng sâu được thu thập từ mô hình HyCom [59].

Đối với lưới lồng trong mô hình được sử dụng tính toán đồng thời với lưới tính mẹ theo từng bước thời gian tính toán. Trong đó, với mỗi bước thời gian tính toán giá trị của các biến của nút lưới trên lưới tính mẹ tại vị trí biên lồng của lưới tính con được nội suy về nút lưới trên biên lồng của lưới tính con để làm điều kiện biên của lưới tính con.

b. Dữ liệu phục vụ cho phần mềm đồng hóa dữ liệu

- 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 [55].

- Dữ liệu độ cao mực nước biển của vệ tinh Jason -2 [56].

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 [55];

- 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.

TIỂU 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

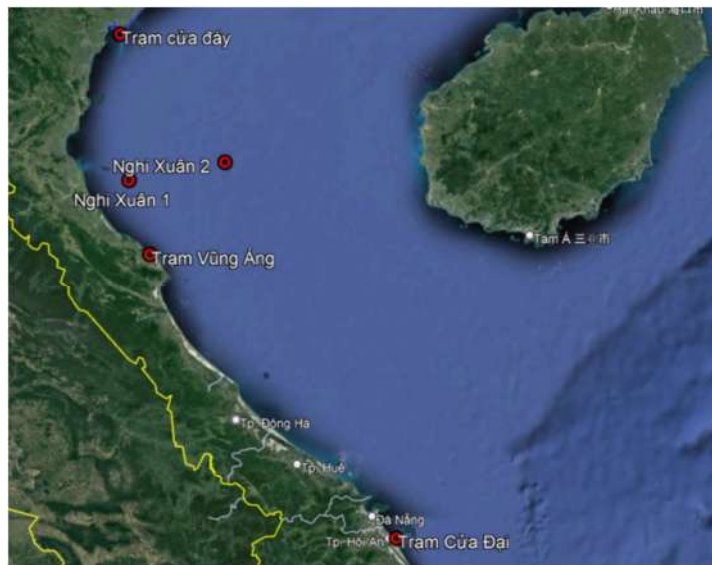
3.1. Đánh giá mô hình ROMS

Trước khi đồng hóa số liệu, mô hình ROMS được đánh giá, kiểm định độ tin cậy của mô hình dựa trên việc lựa chọn bộ tham số của mô hình. Sau đó tiến hành

tính toán mô phỏng trường thủy lực 3 chiều trong thời gian có số liệu quan trắc dòng chảy bằng hệ thống Radar biển, số liệu quan trắc mực nước tại một số trạm quan trắc mực nước ven bờ và số liệu quan trắc dòng chảy bằng thiết bị đo ADCP tại vùng biển Nghi Xuân để so sánh, đánh giá. Dưới đây là kết quả đạt được.

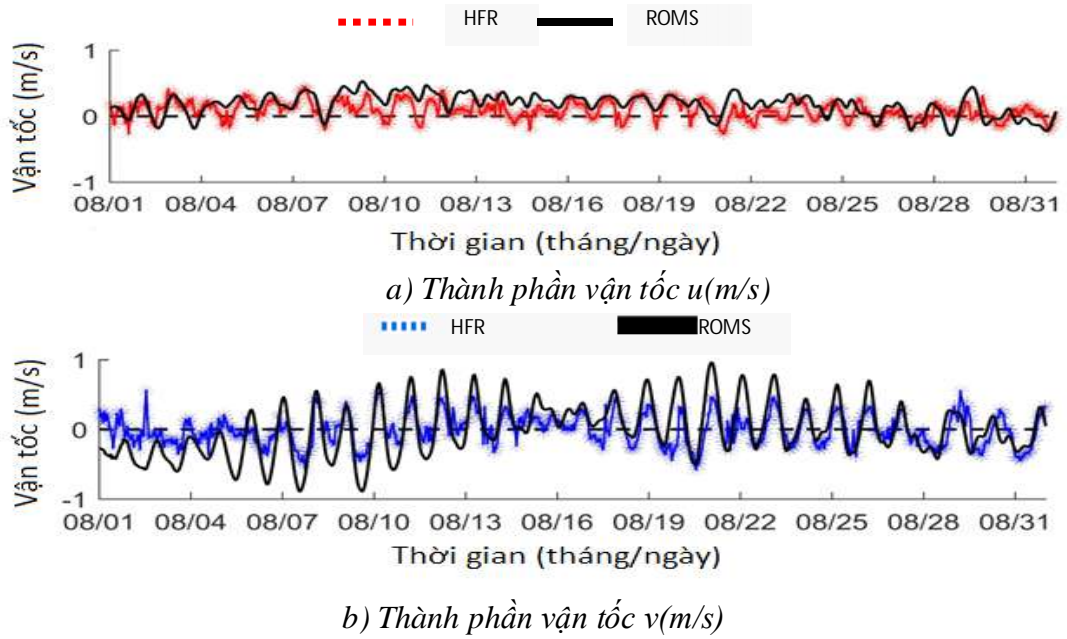
3.1.1. So sánh giữa mô phỏng bằng mô hình ROMS và dữ liệu quan trắc bằng Radar biển

Để đánh giá mô hình ROMS, nghiên cứu đã thực hiện trích xuất các kết quả tính toán từ mô hình tại các điểm được thể hiện trong Hình 3. 1 dưới đây để so sánh. Trong đó, các vị trí ven bờ bao gồm trạm Cửa Đáy, trạm Vũng Áng, trạm Cửa Đại được sử dụng để so sánh số liệu mực nước. Điểm Nghi Xuân 1 và điểm Nghi Xuân 2 được sử dụng để so sánh số liệu dòng chảy.

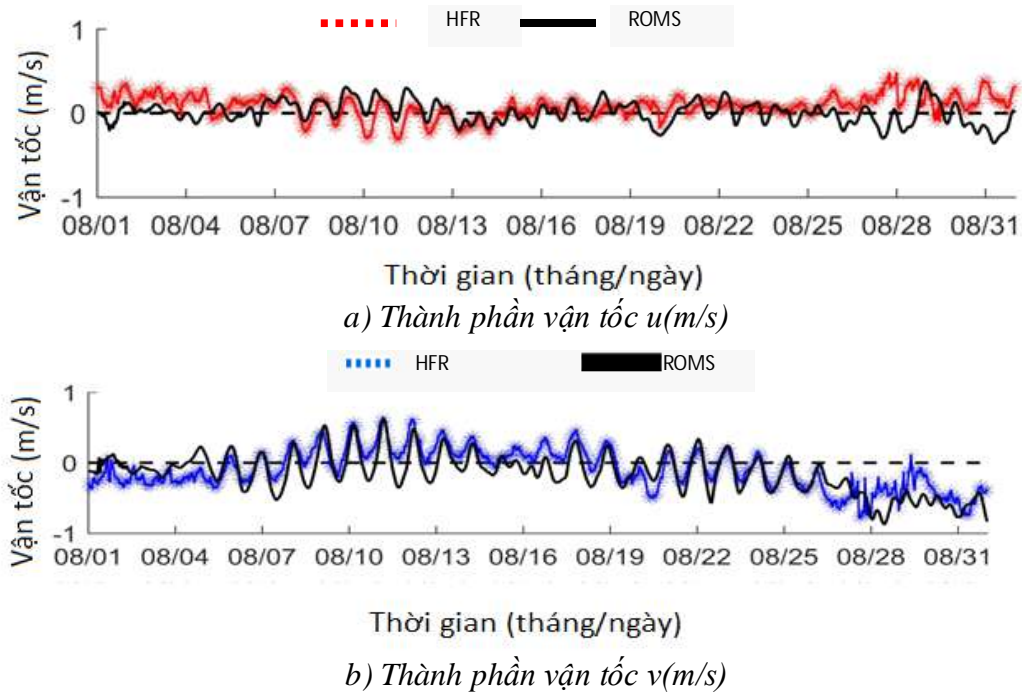


Hình 3. 1. Các vị trí được trích xuất kết quả để so sánh, đánh giá

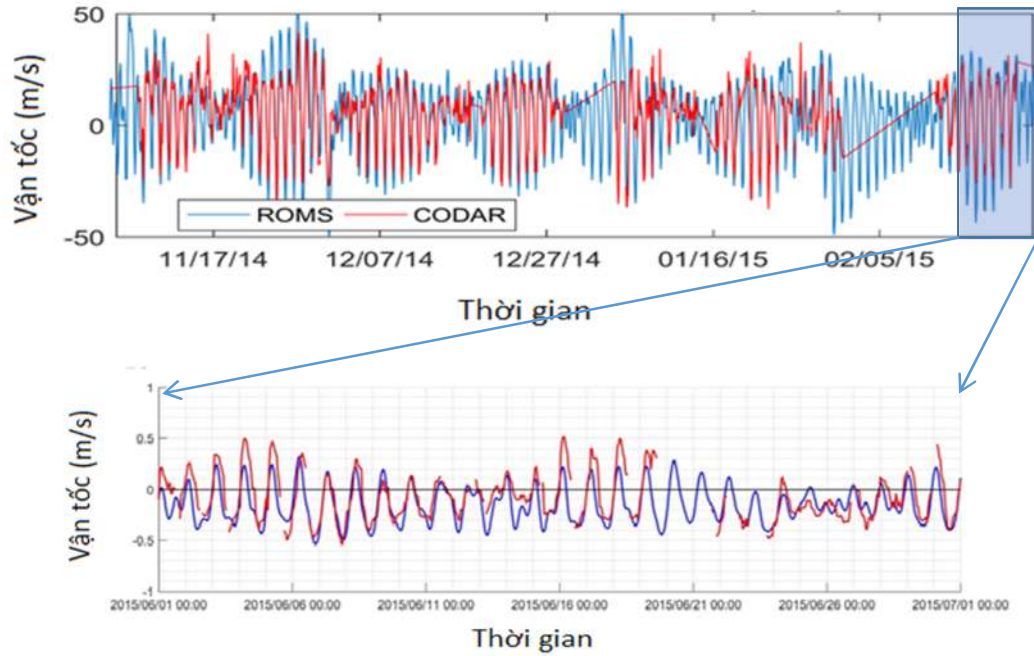
Việc so sánh trực quan kết quả mô phỏng bằng mô hình với số liệu quan trắc bằng hệ thống Radar biển tại các Hình 3. 2 đến Hình 3.4 cho thấy sự phù hợp về pha và giá trị của vận tốc thành phần cũng như giá trị tốc độ dòng chảy của số liệu tính toán và quan trắc khá tốt.



Hình 3. 2. So sánh vận tốc dòng chảy giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển tại điểm Nghi Xuân 1 tháng 8 năm 2015

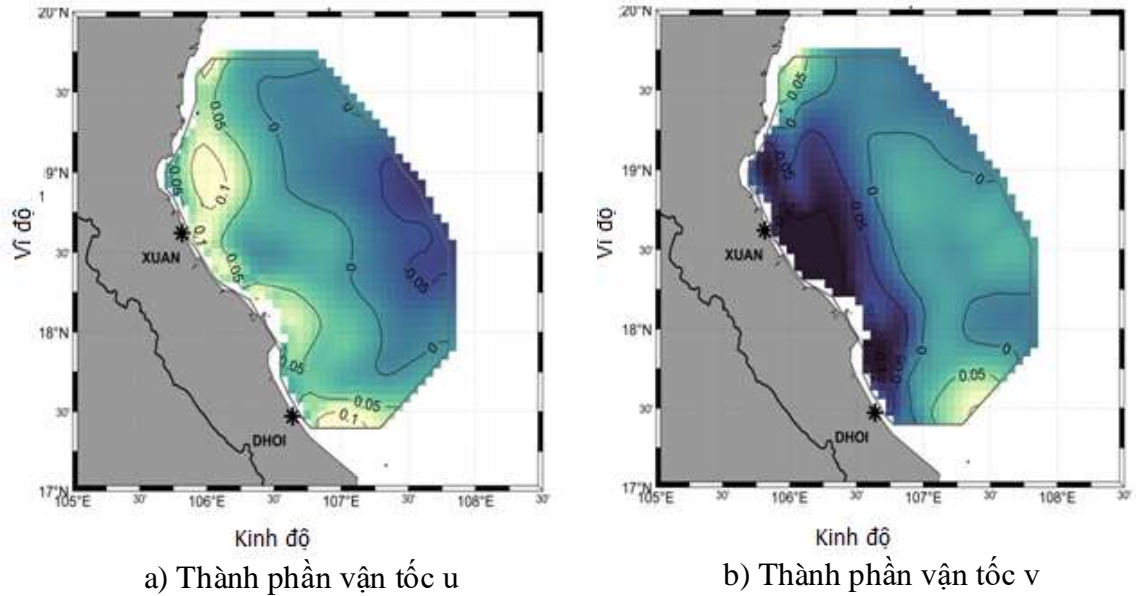


Hình 3. 3. So sánh vận tốc dòng chảy giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển tại điểm Nghi Xuân 2 tháng 8 năm 2015

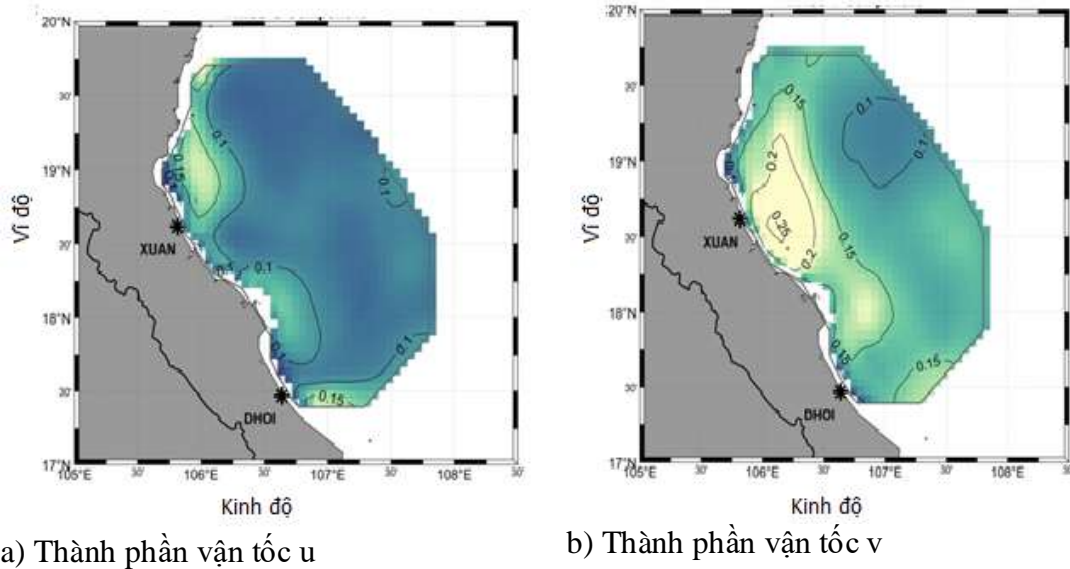


Hình 3. 4. So sánh vận tốc dòng chảy giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển tại điểm Nghi Xuân 1 tháng 12 năm 2014

Việc so sánh giữa số liệu mô phỏng và số liệu quan trắc bằng hệ thống Radar biển cho ta có được đánh giá độ chính xác của mô hình trên diện rộng. Sai số trung bình giữa số liệu tính toán và số liệu Radar dao động từ -0,1 đến 0,25 m/s (Hình 3. 6 đến Hình 3. 7).



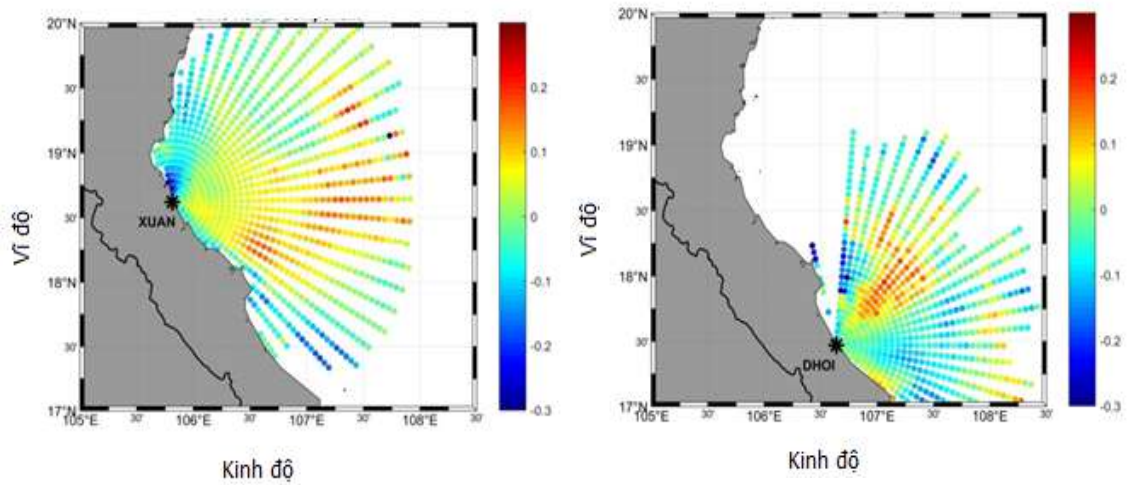
Hình 3. 5. Sai số BIAS khi so sánh số liệu dòng chảy thành phần giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển



Hình 3. 6. Sai số RMSE khi so sánh số liệu dòng chảy thành phần giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển

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.

Đánh giá về sai số trung bình quân phương giữa hai số liệu này cho thấy sai số từ 0 đến 0,25m/s, khu vực có sai số lớn nhất là ngoài khơi vùng biển Nghi Xuân. Điều này cũng được thể hiện khi so sánh tại 2 vị trí gần bờ và xa bờ khu vực biển Nghi Xuân (Hình 3. 7), trong đó tại điểm gần bờ sai số Bias đối với thành phần vận tốc theo hướng u và v lần lượt là 0,05 và -0,1 m/s, tại điểm khu vực ngoài khơi sai số Bias đối với thành phần vận tốc theo hướng u và v lần lượt là -0,03 và 0,04 m/s.



Hình 3. 7. Sai số BIAS khi so sánh số liệu dòng chảy hướng tâm giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển

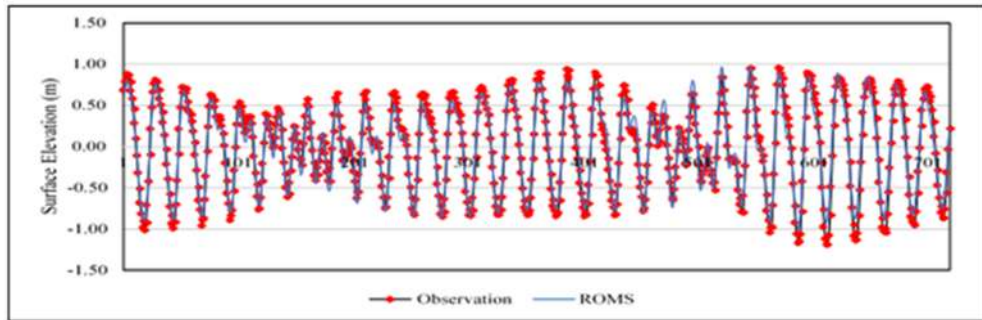
Bảng 3. 1. Sai số Bias và RMSE của dòng chảy dòng chảy thành phần

STT	Tên điểm	Sai số Bias (m/s)		Sai số RMSE (m)	
		Thành phần vận tốc u	Thành phần vận tốc v	Thành phần vận tốc u	Thành phần vận tốc v
1	Nghi Xuân 1	0,05	-0,10	0,15	0,25
2	Nghi Xuân 2	-0,03	0,04	0,10	0,10

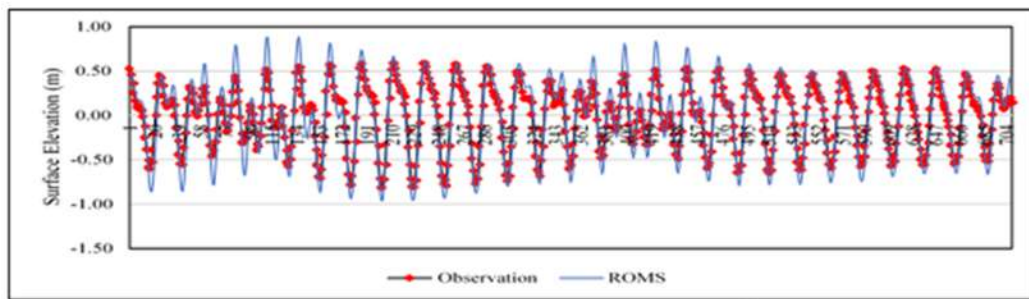
3.1.2. So sánh với số liệu quan trắc mực nước

Kết quả thể hiện trong Hình 3. 8 đến Hình 3. 10 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

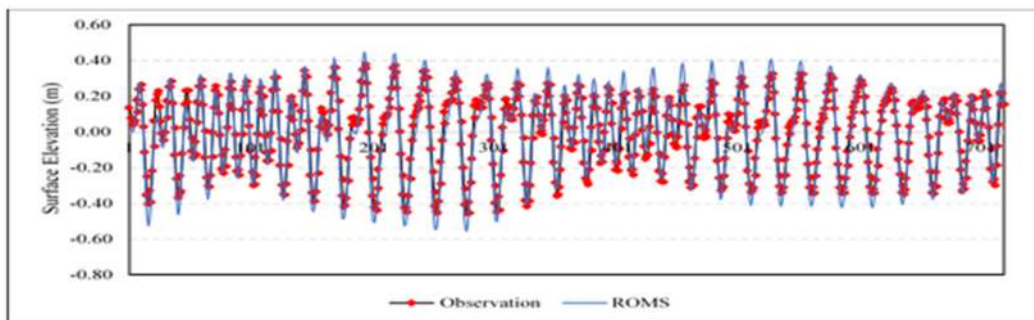
chính xác rất tốt trong thời kỳ triều cường và hạn chế hơn trong thời kỳ kém.



Hình 3. 8. So sánh số liệu quan trắc giữa mô hình và quan trắc tại trạm Cửa Đáy (từ ngày 8/9 đến ngày 8/10 năm 2011)



Hình 3. 9. So sánh số liệu quan trắc giữa mô hình và quan trắc tại trạm Vũng Áng (từ ngày 14/9 đến ngày 13/12 năm 2012)



Hình 3. 10. So sánh số liệu quan trắc giữa mô hình và quan trắc tại trạm Cửa Đại (từ ngày 14/9 đến ngày 13/12 năm 2012)

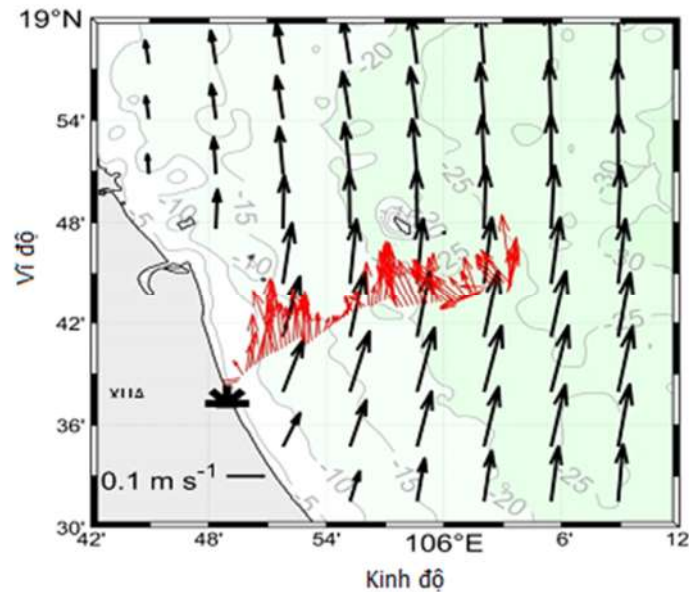
Trong đánh giá sai số Bias và RMSE cho thấy tại trạm Cửa Đáy số liệu mô phỏng thiên nhỏ so với số liệu quan trắc trong khi đó trạm Vũng Áng và Cửa Hội mô phỏng thiên lớn so với số liệu quan trắc. Tuy nhiên sự sai khác không lớn, giá trị tuyệt đối sai số trung bình này chỉ dao động từ 1 ÷ 3 cm (Bảng 3. 2).

Bảng 3. 2. Sai số Bias và RMSE của mô hình khi so sánh mực nước

STT	Tên trạm	Sai số Bias (cm)	Sai số RMSE (cm)
1	Cửa Đáy	-1,15	2,47
2	Vũng Áng	2,29	6,94
3	Cửa Hội	2,01	5,93

3.1.3. So sánh với số liệu đo ADCP

Số liệu đo dòng chảy tầng được thực hiện bằng máy đo ADCP mặt cắt vuông góc với bờ khu vực biển Nghi Xuân với tần số 1.2 Mhz trong ngày 13 tháng 4 năm 2016. Đồng thời trong thời gian này số liệu profile nhiệt độ và độ muối nước biển cũng được thực hiện bởi thiết bị CTD.

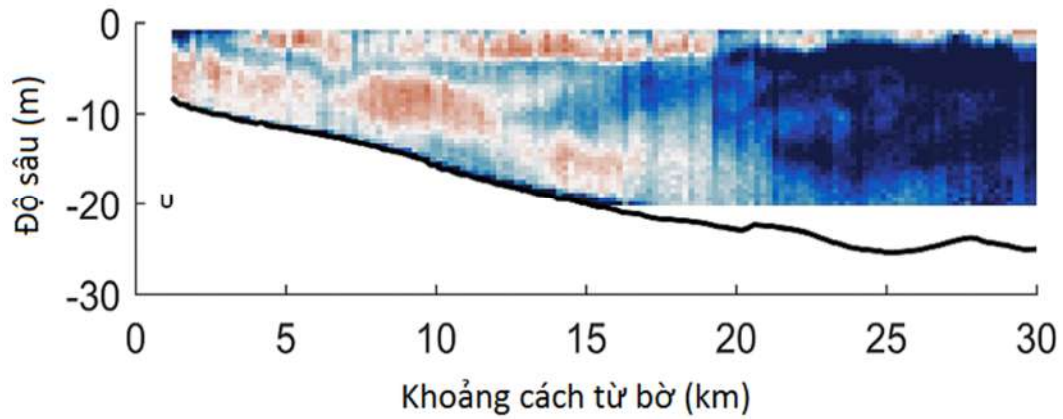


Hình 3. 11. Sơ đồ so sánh vận tốc dòng chảy giữa số liệu đo bằng ADCP và mô hình ngày 13 tháng 4 năm 2016 (từ 13giờ đến 21 giờ)

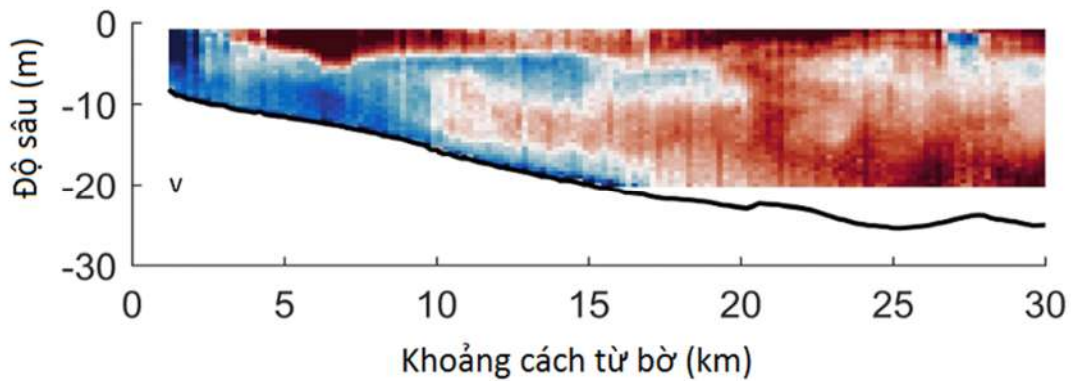
Kết quả thể hiện trong Hình 3. 11 cho thấy sự phù hợp về hướng và độ lớn của dòng chảy tính toán bằng mô hình và kết quả quan trắc trực tiếp bằng thiết bị ADCP trong ngày 13 tháng 4 năm 2016. Về hướng, hai nguồn số liệu đều mô tả hướng dòng chảy tầng mặt có hướng bắc đến bắc đông bắc. Tuy nhiên, trong 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.

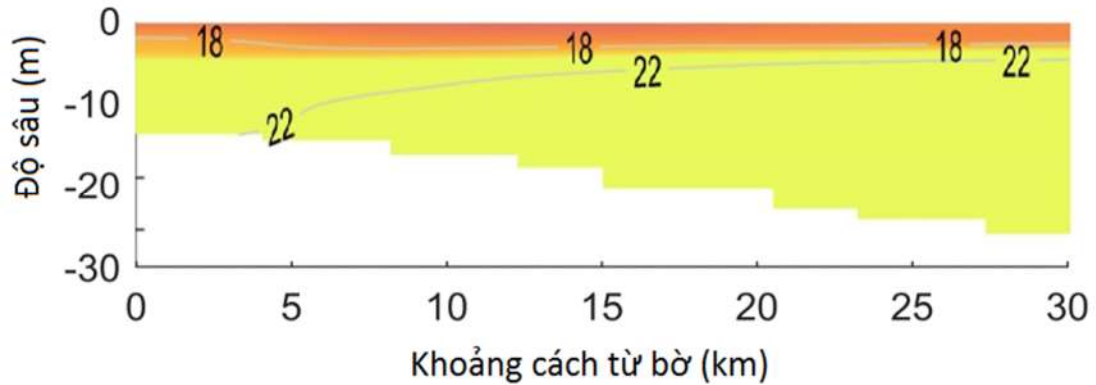
Trên Hình 3. 12 đến Hình 3. 15 mô tả phân bố về giá trị của các thành phần vận tốc theo hướng u, hướng v, nhiệt độ và độ muối từ thiết bị đo ADCP và CTD cho thấy sự phân tầng của các khối nước dưới sự chi phối của các hoàn lưu đang tồn tại ở phía nam vịnh Bắc Bộ



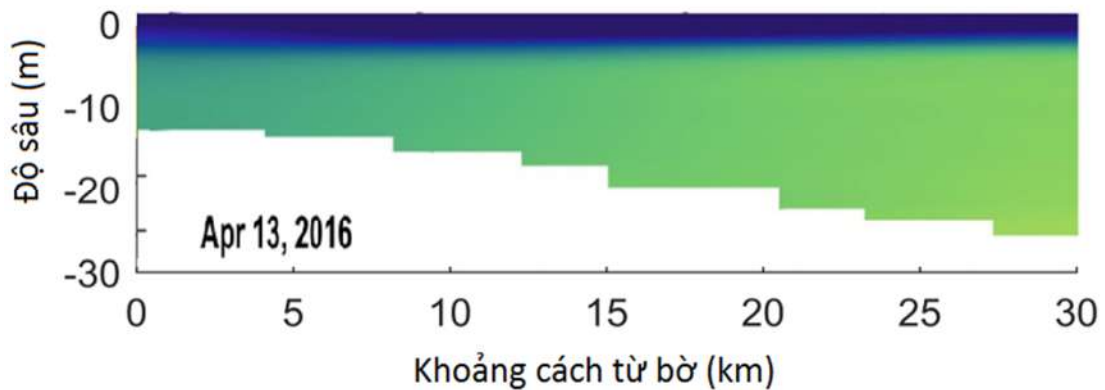
Hình 3. 12. Mặt cắt thể hiện thành phần vận tốc u quan trắc bằng ADCP



Hình 3. 13. Mặt cắt thể hiện thành phần vận tốc v quan trắc bằng ADCP



Hình 3. 14. Mặt cắt thể hiện nhiệt độ nước biển quan trắc bằng CTD



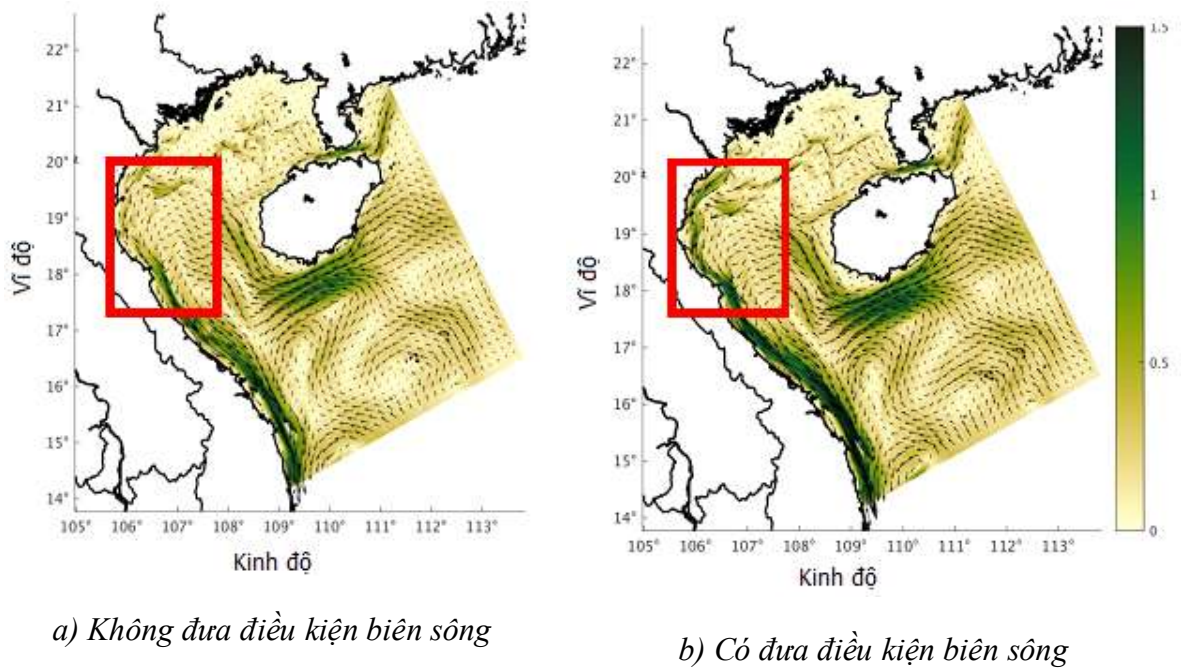
Hình 3. 15. Mặt cắt thể hiện độ mặn nước biển quan trắc bằng CTD

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

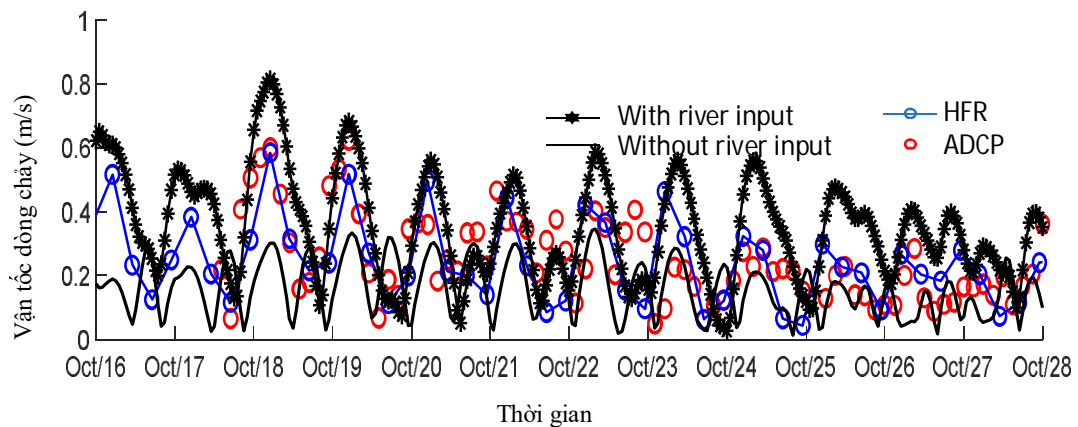
Đối với trường hợp có tính đến tác động của dòng chảy mật độ, luận án đã đưa điều kiện lưu lượng nước sông trung bình tháng của 4 sông chính trong khu vực đó là các sông: sông Đá Bạch và Sông Cẩm; sông Văn Úc; sông Thái Bình; sông Hồng.

Kết quả thể hiện trong Hình 3. 16 và Hình 3. 17 cho thấy sự đóng góp của các thành phần dòng chảy sông chính trong khu vực đổ ra biển. Trong trường hợp đưa điều kiện biên sông vào mô hình, trường dòng chảy có sự thay đổi lớn ở phạm vi khu vực ven biển (Hình 3. 18). Qua so sánh với các kết quả quan trắc bằng thiết bị ADCP và số liệu từ hệ thống Radar biển cho thấy 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, sau khi đưa số liệu điều kiện biên sông vào mô hình, tốc độ dòng chảy khu vực ven biển tính toán thiên lớn hơn so với số liệu thực đo (Hình 3. 19).



Hình 3. 16. Kết quả so sánh trường dòng chảy tầng mặt bằng mô hình trong trường hợp có đưa và không đưa điều kiện biên sông vào mô hình



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

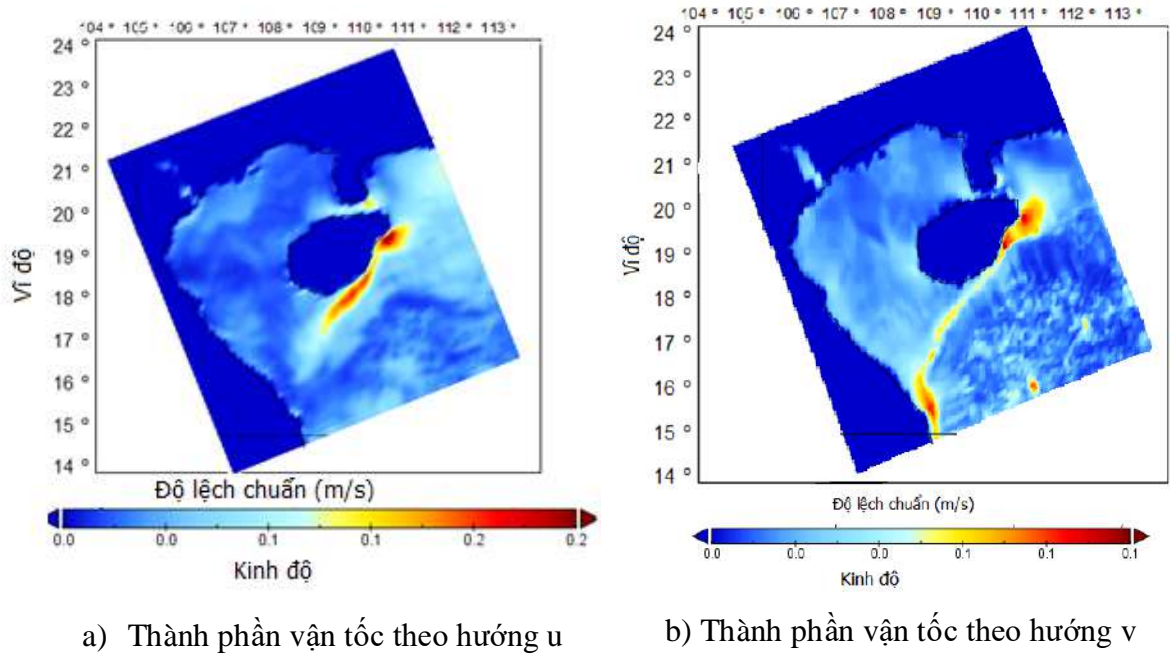
Dữ liệu quan trắc phục vụ bài toán đồng hóa bao gồm dữ liệu dòng chảy tầng mặt từng giờ từ hệ thống Radar biển; dữ liệu nhiệt độ nước biển và độ cao mực nước biển quan trắc từ vệ tinh. Các dữ liệu này được thống kê mô tả chi tiết trong **mục 2.2. Chương 2.**

3.2.2. Thiết lập bài toán đồng hóa dữ liệu

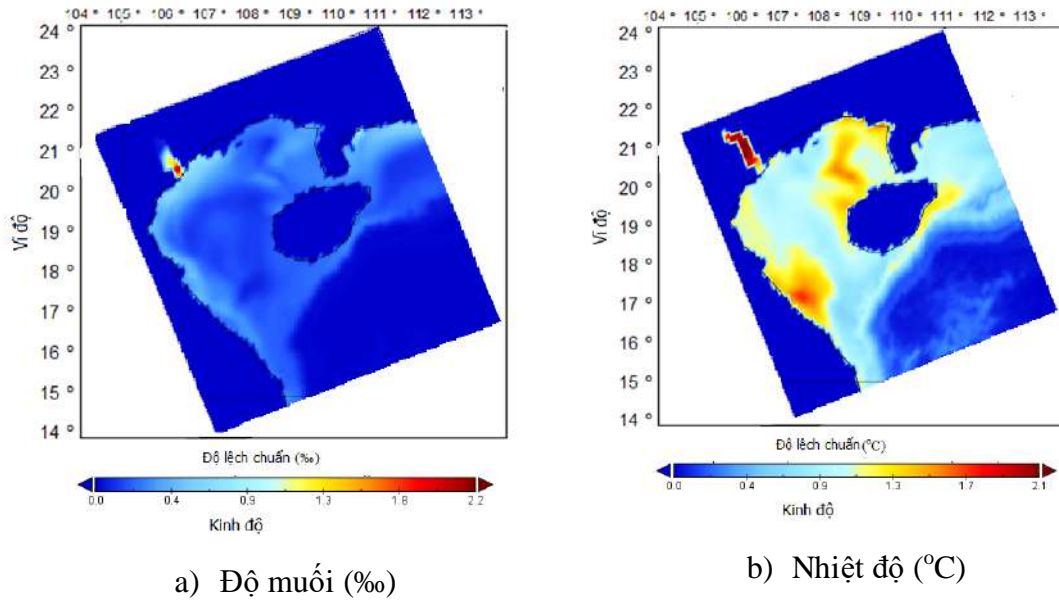
Để kiểm nghiệm sự ảnh hưởng của phương pháp đồng hóa 4D-Var đến kết quả tính toán của mô hình, Luận án đã thiết lập hai thử nghiệm trong nghiên cứu này. Tại thử nghiệm thứ nhất, mô hình được chạy độc lập trong thời gian 1 tháng với các thiết lập về điều kiện biên bề mặt và tại biên lỏng như trên. Tiếp theo đó tại thử nghiệm thứ hai, thực hiện thiết lập đồng hóa với các tham số nhiệt độ bề mặt biển, dao động mực nước bề mặt và số liệu dòng chảy bề mặt thu thập từ Radar biển.

Đối với số liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt, Luận án sử dụng nguồn số liệu GHRSSST L4 (GHRSSST – The Group for High Resolution Sea Surface Temperature) là số liệu nhiệt độ bề mặt biển được tổng hợp từ nhiều vệ tinh khác nhau (MODIS, Sentinel, AVHRR etc.) có độ phân giải 1 km [45]. Tương tự như vậy, với số liệu dao động mực nước biển, sử dụng nguồn số liệu tổng hợp AVISO (<https://www.aviso.altimetry.fr>) với độ phân giải 0,125°.

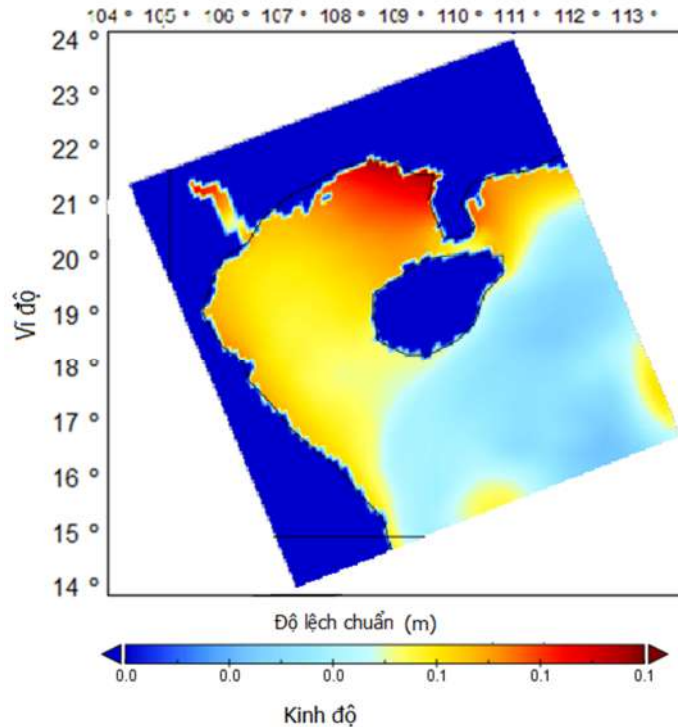
Đối với các tham số sử dụng trong đồng hóa 4D-Var đã tham chiếu đến báo cáo của Moore và nnk (2011) [22] tại vùng biển đông Thái Bình Dương để lựa chọn các tham số tính toán. Trong nghiên cứu trên, tác giả đã sử dụng các tham số về độ dài tương quan của các biến là 50 km đối với phương ngang và 30 m cho phương thẳng đứng. Bên cạnh đó, để xác định các tham số về độ lệch chuẩn của 5 biến sử dụng trong quá trình đồng hóa (ζ , U , V , T , S), thực hiện dựa trên kết quả tính toán từ mô hình trong thời gian 10 năm, từ năm 2009 đến năm 2018 (Hình 3. 18 đến Hình 3. 20).



Hình 3. 18. Độ lệch chuẩn của vận tốc dòng chảy

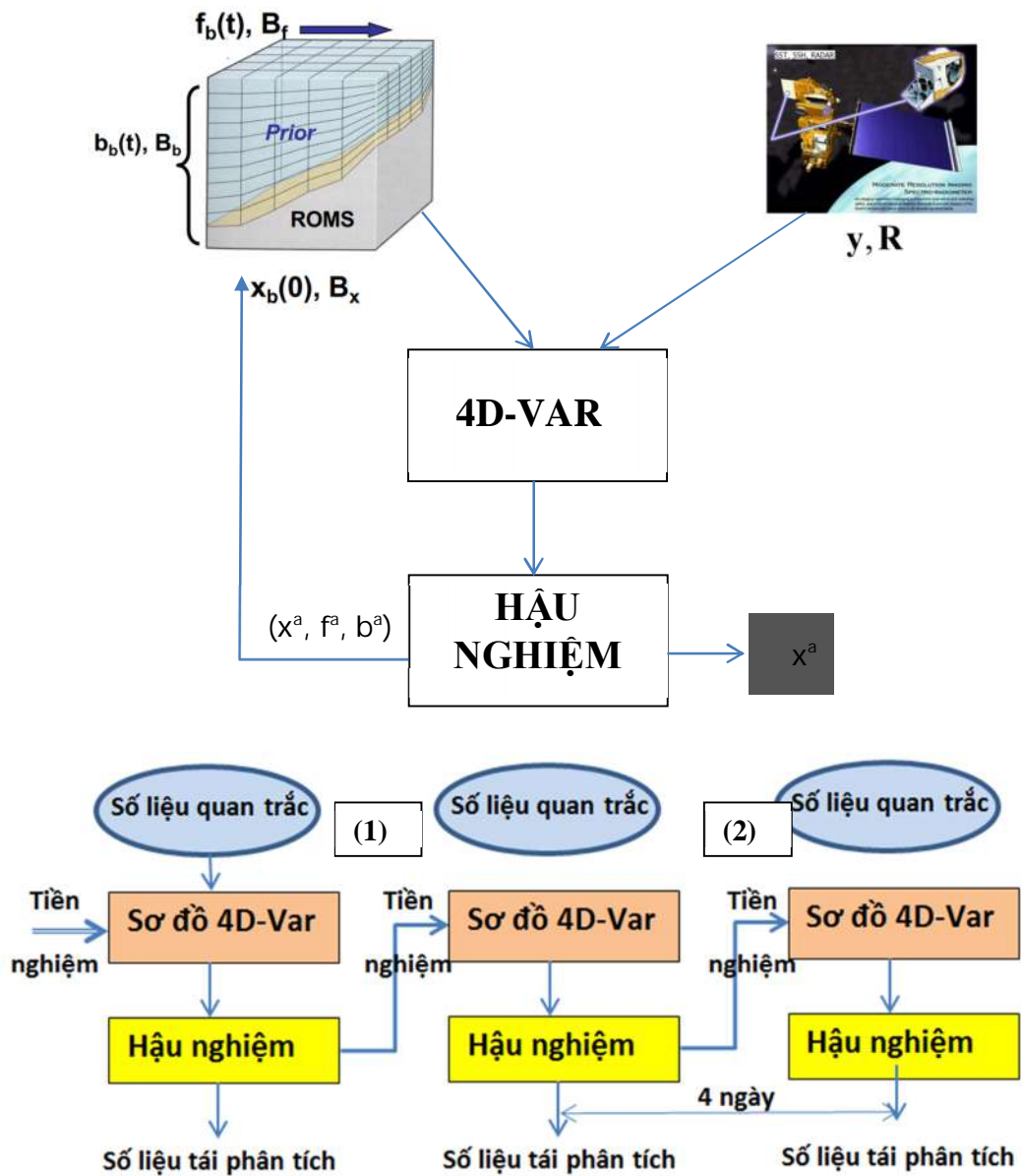


Hình 3. 19. Độ lệch chuẩn của nhiệt độ và độ muối nước biển



Hình 3. 20. Độ lệch chuẩn mực nước (mét)

Trong các nghiên cứu trước đây về đánh giá phương pháp đồng hóa 4D-Var cho dự báo thời tiết tại Việt Nam, cửa sổ đồng hóa thường được lựa chọn ở ngưỡng từ 12 giờ đến dưới 1 ngày. Theo nghiên cứu của Moore và cộng sự về hệ thống dòng chảy của vùng biển California đã đưa ra 3 lựa chọn về cửa sổ đồng hóa bao gồm 4 ngày, 7 ngày và 14 ngày [38]. Trong đó, độ dài của cửa sổ đồng hóa lựa chọn cần phải đủ ngắn để đảm bảo sự biến động giữa mô hình tính toán và số liệu thực đo không quá lớn (dẫn đến sai số trong quá trình tính toán) và cũng đảm bảo đủ dài để tăng tốc quá trình tính toán. Vì lý do đó, trong nghiên cứu này, Luận án lựa chọn cửa sổ đồng hóa là 4 ngày. Luận án đã thiết lập quy trình để thực hiện quá trình đồng hóa số liệu như sau (Hình 3. 21).



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

Các bước thực hiện:

- Tại chu kỳ đồng hóa trong cửa sổ đồng hóa số (1), mô hình ROMS được thiết lập với các trường ban đầu bao gồm các số liệu: nhiệt độ, độ muối, độ cao mực nước, vận tốc dòng chảy theo hướng u và hướng v được lấy từ mô hình HyCom [59]; số liệu các điều kiện biên bề mặt bao gồm: ứng suất gió theo hướng x và

hướng y, thông lượng nhiệt [58]; số liệu điều kiện biên lỏng phía biển là: nhiệt độ, độ muối, độ cao mực nước, vận tốc dòng chảy thành phần theo hướng u và hướng v được lấy từ mô hình HyCom [59]; số liệu điều kiện biên lỏng trong sông là lưu lượng nước sông trung bình tháng [19]. Đối với lưu lượng nước sông, tốt nhất là có số liệu lưu lượng giờ, obs hoặc ngày, các số liệu này đều không có. Tuy nhiên, mục tiêu của Luận án là đánh giá được đặc điểm trường dòng chảy theo tháng, vì vậy dữ liệu lưu lượng sông trung bình tháng có thể được đưa vào làm điều kiện biên, ngoài ra các dữ liệu này có thể tiếp cận và thu thập được.

Mô hình sẽ được chạy với thời gian tính toán là 4 ngày, dữ liệu đầu ra của mô hình ROMS là trường các biến trạng thái: gồm mực nước, vận tốc dòng chảy thành phần u và v, nhiệt độ và độ muối trên toàn bộ lưới tính với bước thời gian 1 giờ; các lực bề mặt gồm: ứng suất gió theo hướng x và hướng y, thông lượng nhiệt trên miền tính với bước thời gian 1 giờ; điều kiện biên phía gồm: nhiệt độ, độ muối, độ cao mực nước, vận tốc dòng chảy theo hướng u và hướng v trên biên với bước thời gian 1 giờ (dữ liệu mô phỏng của mô hình tại bước đồng hóa thứ (1)).

Dữ liệu quan trắc tại bước tại bước đồng hóa thứ (1), bao gồm: dòng chảy thành phần theo hướng u và hướng v từ hệ thống Radar biển, số liệu mực nước và nhiệt độ nước biển từ vệ tinh trong khoảng thời gian 4 ngày, trùng với thời gian tính toán của mô hình tại cửa sổ đồng hóa số (1).

Số liệu mô hình và số liệu quan trắc tại bước đồng hóa thứ (1) được đưa vào sơ đồ đồng hóa dữ liệu 4D-Var với điều kiện để so sánh, đồng hóa là bộ số liệu về độ lệch chuẩn của các yếu tố (ζ , U , V , T , S) như đã thể hiện trên Hình 3. 18 đến Hình 3. 20.

Quá trình đồng hóa giữa số liệu nền (từ mô hình) và số liệu quan trắc sẽ được thực hiện trong cửa sổ đồng hóa 4 ngày, kết quả thu được bao gồm:

+ Số liệu tái phân tích của các biến trạng thái, bao gồm: ζ , U , V , T , S trên toàn bộ lưới tính trong khoảng thời gian 4 ngày với bước thời gian 1 giờ. Số liệu này sẽ được xuất ra để lưu trữ vào bộ dữ liệu tái phân tích;

+ Số liệu tái phân tích của các biến trạng thái, bao gồm: ζ , U , V , T , S của bước thời gian cuối cùng sẽ được đưa vào làm điều kiện ban đầu cho mô hình ROMS của cửa sổ đồng hóa lần thứ (2);

+ Số liệu hiệu chỉnh của các biến điều kiện biên bề mặt của bước thời gian cuối cùng sẽ được đưa vào làm điều kiện biên cho mô hình ROMS tại bước thời gian đầu tiên của cửa sổ đồng hóa lần thứ (2);

+ Số liệu hiệu chỉnh của các biến điều kiện biên lòng của thời gian cuối cùng sẽ được đưa vào làm điều kiện biên cho mô hình ROMS tại bước thời gian đầu tiên của cửa sổ đồng hóa lần thứ (2);

- Chu trình thực hiện tại thời gian cửa sổ đồng hóa số liệu thứ (2) và tiếp theo sẽ được lặp lại quy trình như trên.

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

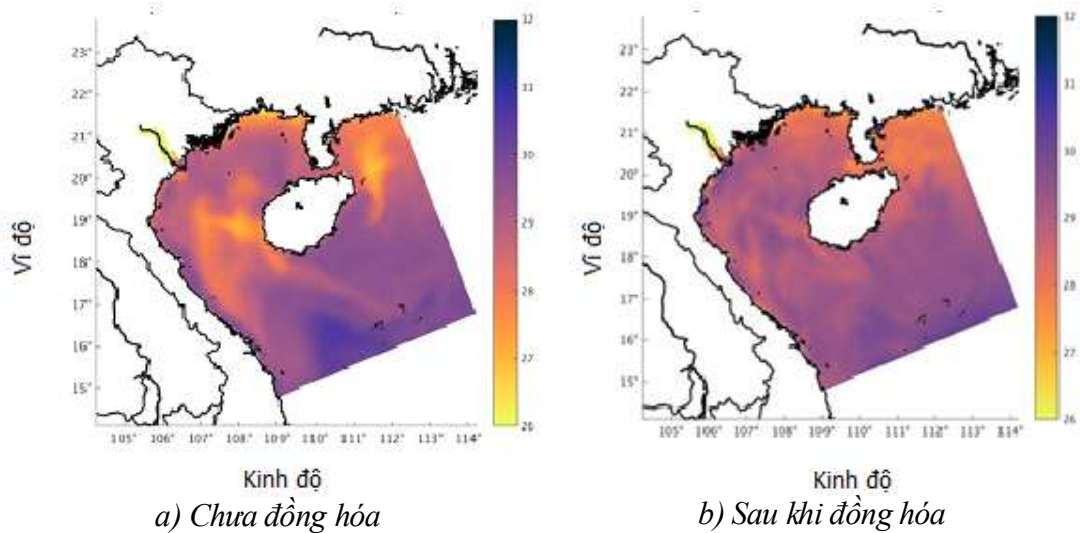
Để đánh giá hiệu quả của việc đồng hóa dữ liệu vào mô hình, mô hình được thiết lập để tính toán trường nhiệt độ và dòng chảy trong hai trường có và không đồng hóa dữ liệu. Nghiên cứu này đã thực hiện trong hai cửa sổ đồng hóa có thời gian gần nhau để đưa ra các đánh giá sự phù hợp của các tham số chính được lựa chọn trong sơ đồ đồng hóa dữ liệu bao gồm: thời gian của cửa sổ đồng hóa; các tham số về độ dài tương quan của các biến theo phương ngang và phương thẳng đứng; độ lệch chuẩn của các biến trạng thái. Thời gian thực hiện cho cửa sổ đồng hóa thứ nhất từ ngày 8 đến ngày 11 tháng 10 năm 2015; thời gian thực hiện cho cửa sổ đồng hóa thứ hai từ ngày 23 đến ngày 26 tháng 10 năm 2015.

- *Đánh giá hiệu quả của việc đồng hóa dữ liệu vào mô hình trong cửa sổ đồng hóa thứ nhất*

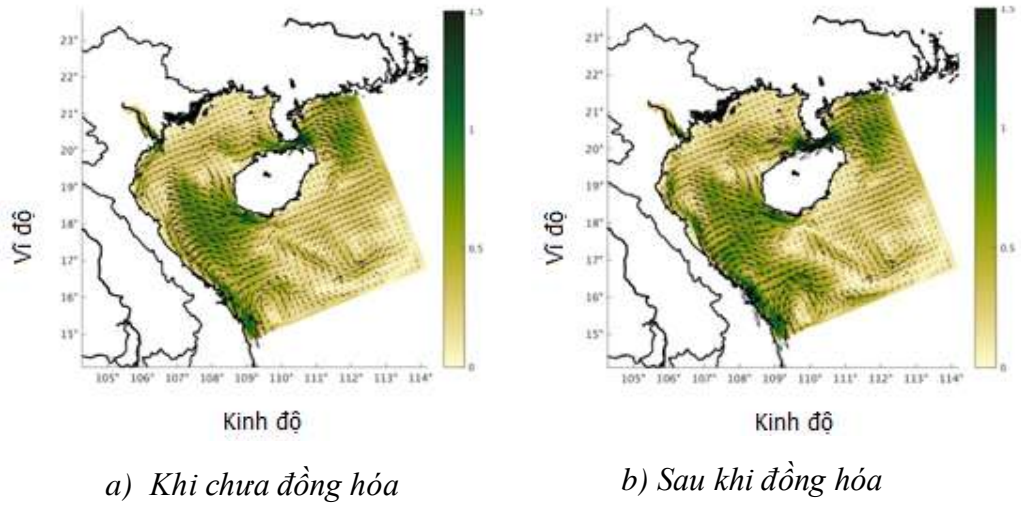
Kết quả thể hiện trên Hình 3. 22 và Hình 3. 23 cho thấy sự khác biệt của dữ liệu đối với trường nhiệt độ nước biển và trường dòng chảy tầng mặt trong hai trường hợp chưa đồng hóa và sau khi đồng hóa dữ liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11 tháng 10 năm 2015. Đối với trường nhiệt độ nước biển sau khi đồng hóa dữ liệu ta

thấy có sự xâm lấn khá mạnh của khối nước lạnh từ phía cửa vịnh vào trong vịnh với phân bố nhiệt độ tăng dần từ cửa vịnh lên phía đỉnh vịnh Bắc Bộ. Trong khi đó 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 trong trường hợp chưa đồng hóa được làm trơn, sự hiện diện của chúng không còn mang tính cục bộ. Kết quả này phù hợp với trường nhiệt độ nước biển tầng mặt quan trắc từ ảnh vệ tinh thể hiện trên Hình 3. 24(a).

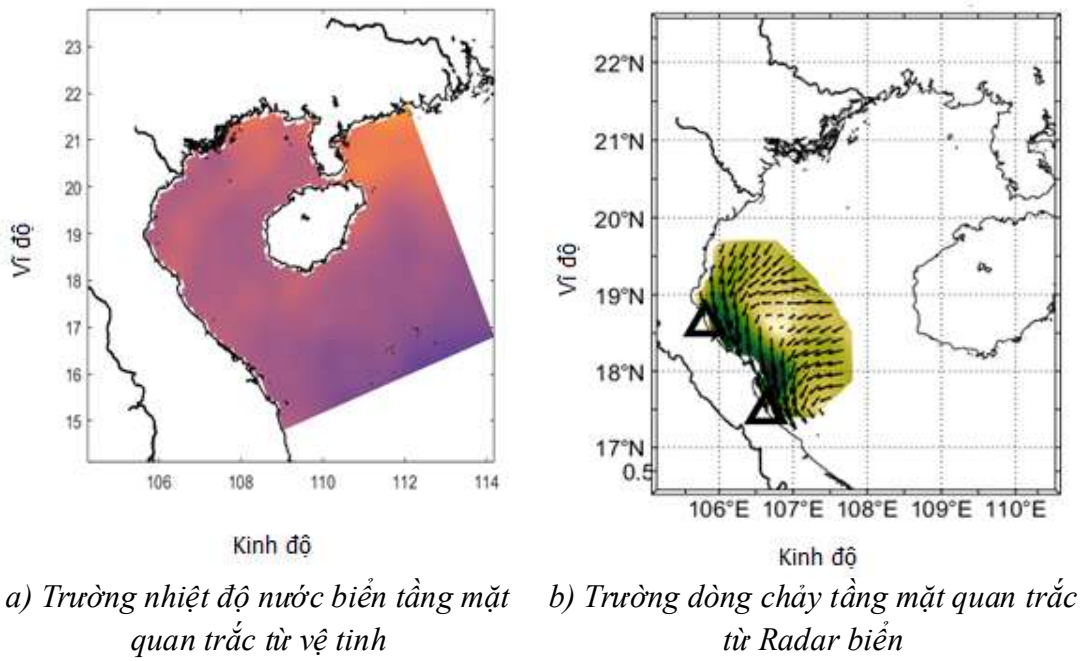
Đối với trường dòng chảy tầng mặt, khu vực ven biển từ Nghệ An đến Quảng Bình có sự khác biệt khá lớn về vận tốc dòng chảy. Khi chưa đồng hóa, vận tốc dòng chảy tầng mặt khu vực này từ 0,4 – 0,5 m/s, sau khi đồng hóa, vận tốc dòng chảy khu vực này đạt từ 0,7 – 0,9 m/s, khu vực ven biển Kỳ Anh, Hà Tĩnh vận tốc dòng chảy lên 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. 24(b).



Hình 3. 22. Trường nhiệt độ nước biển lúc 00 giờ ngày 11/10/2015



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

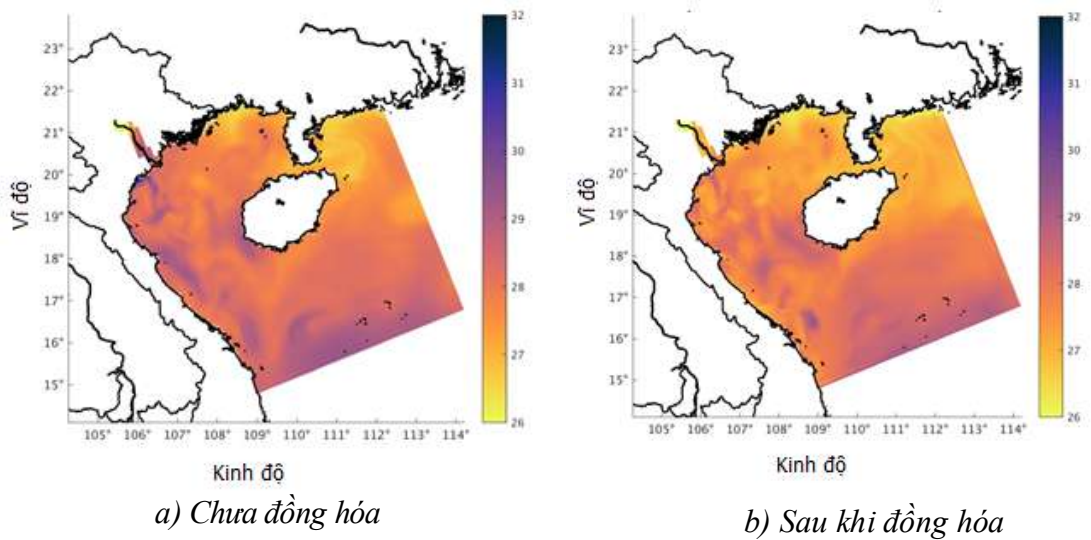


Hình 3. 24. Trường nhiệt độ nước biển tầng mặt quan trắc bằng vệ tinh và dòng chảy tầng mặt quan trắc bằng Radar biển lúc 00 giờ ngày 11/10/2015

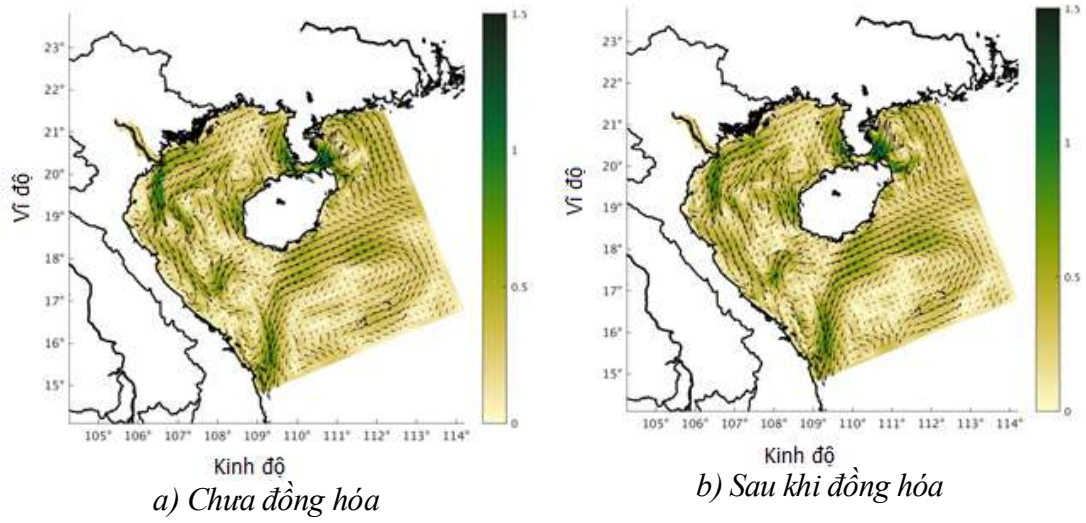
- *Đánh giá hiệu quả của việc đồng hóa dữ liệu vào mô hình trong cửa sổ đồng hóa thứ hai*

Kết quả thể hiện trên Hình 3. 25 và Hình 3. 26 cho thấy các kết quả trường nhiệt độ nước biển và dòng chảy tầng mặt tính toán bằng mô hình của hai trường hợp chưa đồng hóa và sau khi đồng hóa dữ liệu; số liệu quan trắc bằng vệ tinh và Radar biển tại thời điểm lúc 06 giờ ngày 26 tháng 10 năm 2015. Đối với trường nhiệt độ nước biển tầng mặt sau khi đồng hóa dữ liệu cho thấy, được hiệu chỉnh gần sát so với số liệu quan trắc từ ảnh vệ tinh. Trong đó, khu vực ngoài cửa vịnh trường nhiệt độ gần tương đồng với số liệu quan trắc, khu vực bên trong vịnh, có sự khác biệt về nhiệt độ so với khu vực xung quanh được điều chỉnh gần với trường quan trắc nhưng vẫn giữ được bức tranh và sự phân bố của kết quả tính toán từ mô hình khi chưa đồng hóa số liệu (Hình 3. 27a).

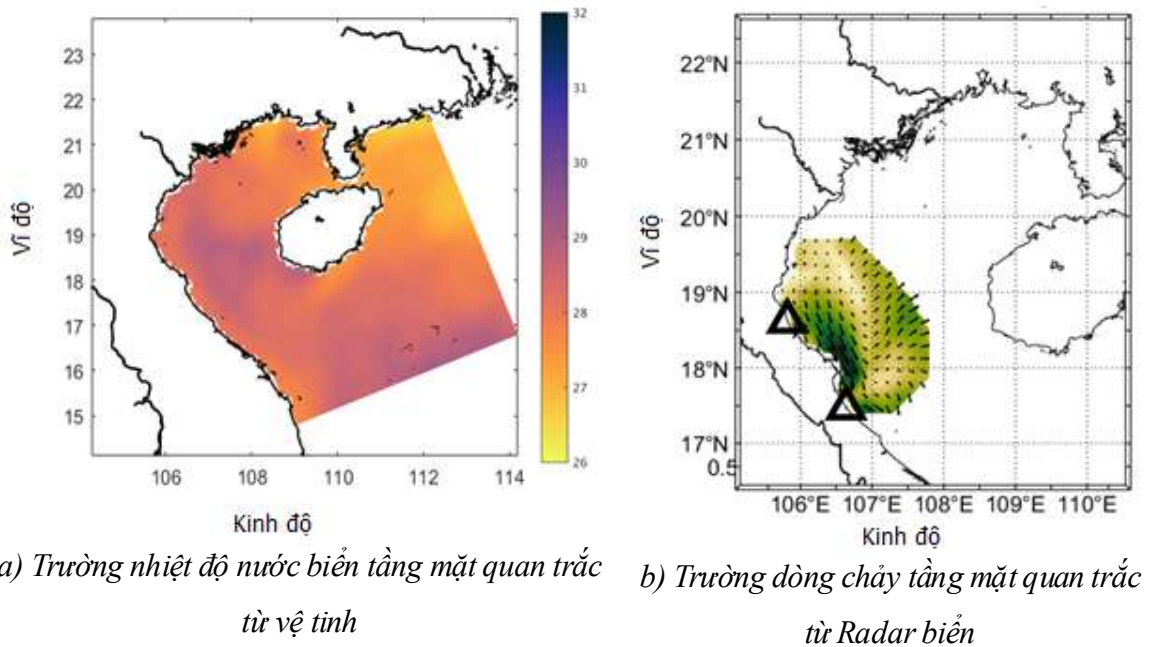
Đối với trường dòng chảy tầng mặt sau khi đồng hóa dữ liệu cho thấy, dòng chảy khu vực ven biển từ Nghệ An đến Quảng Bình đã được điều chỉnh khá nhiều và phù hợp với trường dòng chảy quan trắc từ hệ thống Radar biển được thể hiện trong Hình 3. 27b.



Hình 3. 25. Trường nhiệt độ nước biển tầng mặt lúc 06 giờ ngày 26/10/2015



Hình 3. 26. Trường dòng chảy tầng mặt lúc 06 giờ ngày 26/10/2015



Hình 3. 27. Trường nhiệt độ nước biển tầng mặt quan trắc bằng vệ tinh và trường dòng chảy tầng mặt quan trắc bằng Radar biển lúc 06 giờ ngày 26/10/2021

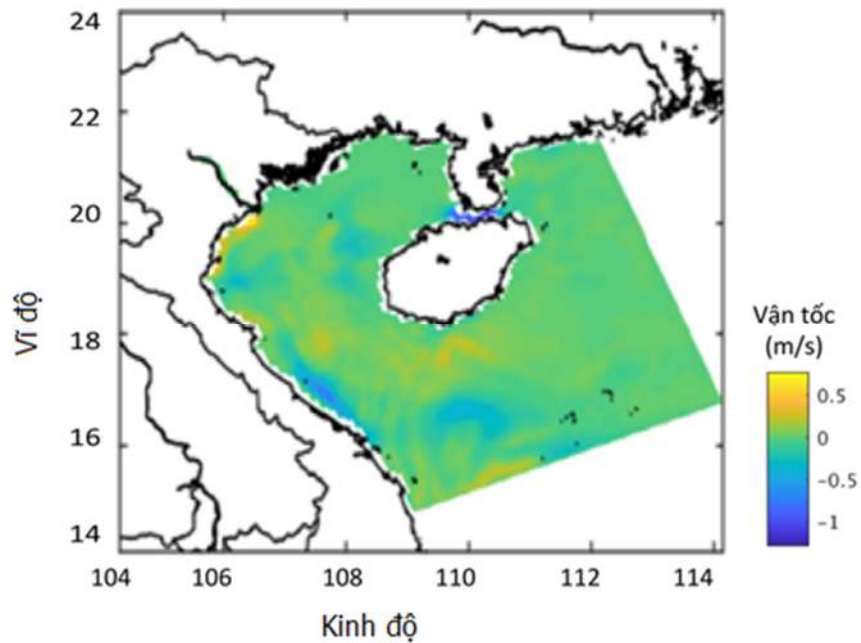
3.3.2. Tác động của đồng hóa số liệu

Để đánh giá tác động của đồng hóa số liệu, Luận án đã thực hiện tính toán chênh lệch của giá trị các yếu tố dòng chảy, nhiệt độ, độ muối và mực nước trong hai trường hợp trước và sau khi đồng hóa số liệu. Kết quả thể hiện trên các Hình 3.

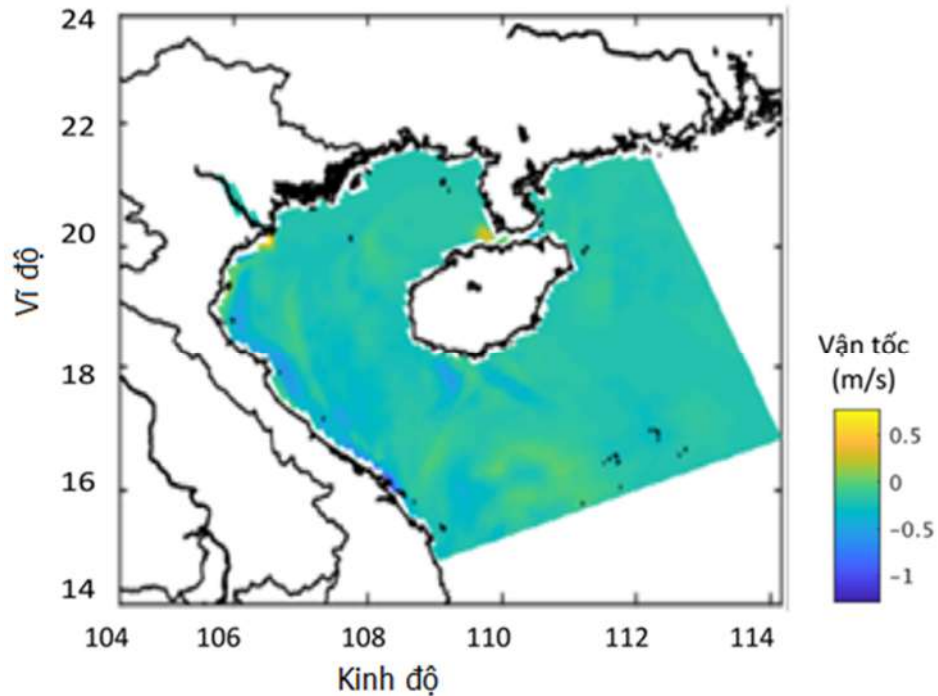
28 và Hình 3. 29 cho thấy sự chênh lệch giữa số liệu sau khi đồng hóa với số liệu chưa đồng hóa của các yếu tố dòng chảy, nhiệt độ và độ muối nước biển tầng mặt; mực nước; thông lượng nhiệt bề mặt và ứng suất gió bề mặt tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11 tháng 10 năm 2015. Trong đó, vận tốc tầng mặt có 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.

Bảng 3. 3. Chênh lệch của dòng chảy thành phần trước và sau đồng hóa

STT	Tên điểm	Thành phần vận tốc u (m/s)	Thành phần vận tốc v (m/s)
1	Nghi Xuân 1	-0,15	-0,27
2	Nghi Xuân 2	-0,10	-0,06



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

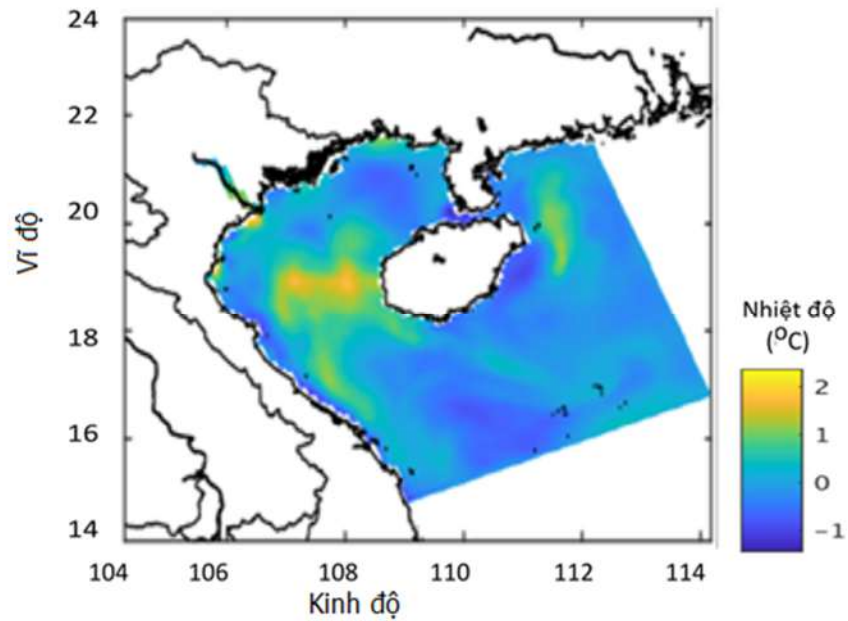


Hình 3. 29. Chênh lệch của vận tốc dòng chảy theo hướng v trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015

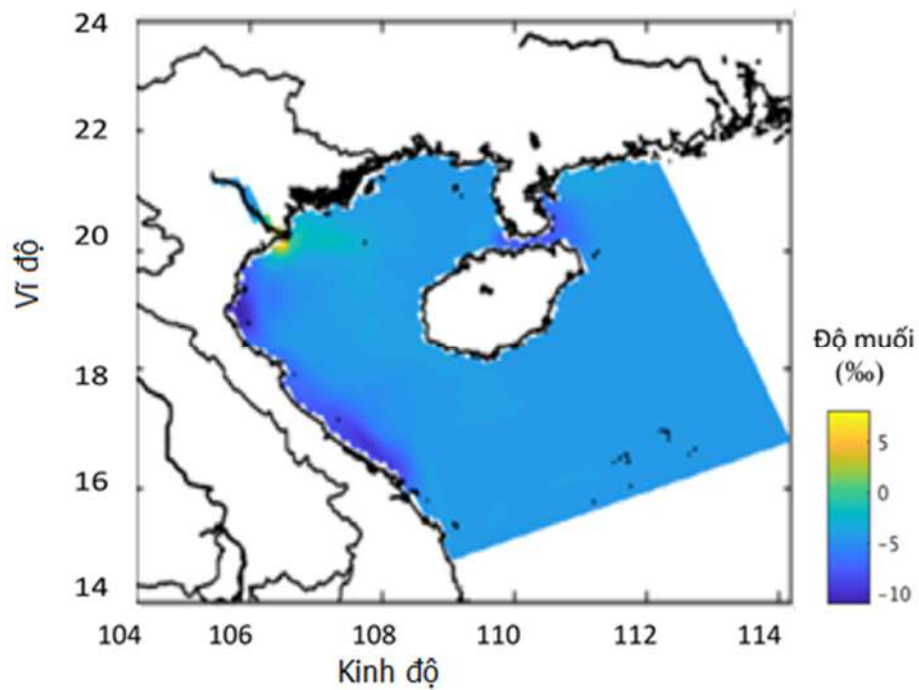
Nhiệt độ nước biển có sự chênh lệch trung bình từ $0,5^{\circ}$ đến $1,0^{\circ}$, khu vực có chênh lệch lớn nhất là khu vực giữa vịnh Bắc Bộ, lên đến gần 2° . Độ mặn nước biển các khu vực ngoài khơi hầu như không có chênh lệch giữa số liệu sau khi đồng hóa và chưa đồng hóa (Hình 3. 30). Khu vực ven bờ có sự chênh lệch khá lớn, khu vực cửa sông hầu như có sự chênh lệch dương đặc biệt là tại cửa sông Hồng, chênh lệch lên tới 10 %, khu vực ven biển từ Thanh Hóa đến Thừa Thiên Huế có chênh lệch âm từ 2 - 5%. Mực nước sau khi đồng hóa có sự chênh lệch không lớn, chỉ dao động từ -0.1 đến +0.1 m và tập trung ở khu vực ven bờ cửa sông (Hình 3. 31).

Bảng 3. 4. Chênh lệch nhiệt độ và độ muối nước biển tầng mặt trước và sau đồng hóa tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015

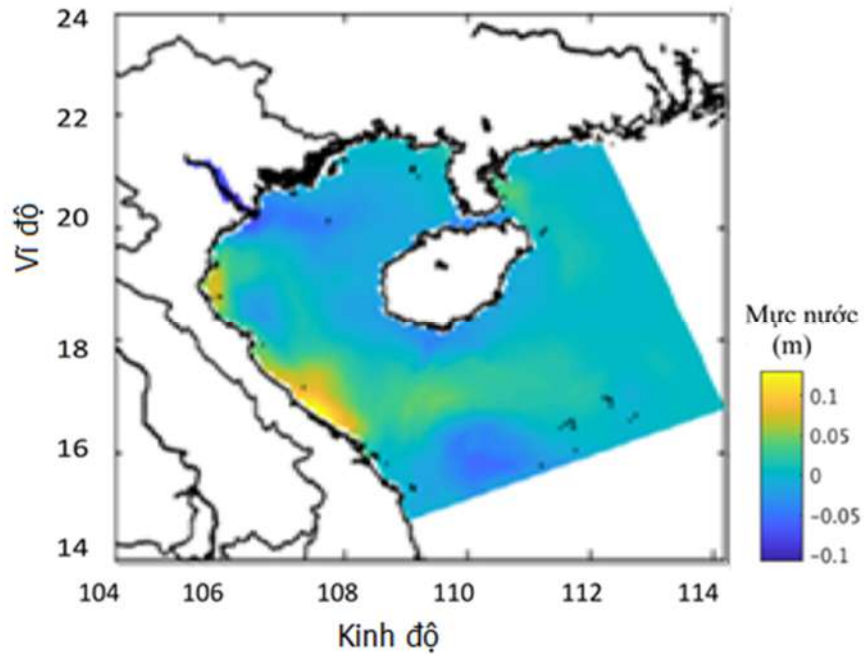
STT	Tên điểm	Nhiệt độ ($^{\circ}\text{C}$)	Độ muối (‰)
1	Nghi Xuân 1	-0,5	-6,0
2	Nghi Xuân 2	0,2	-2,0



Hình 3. 30. Chênh lệch của trường nhiệt độ nước biển tầng mặt trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015



Hình 3. 31. Chênh lệch của trường độ muối nước biển tầng mặt trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015

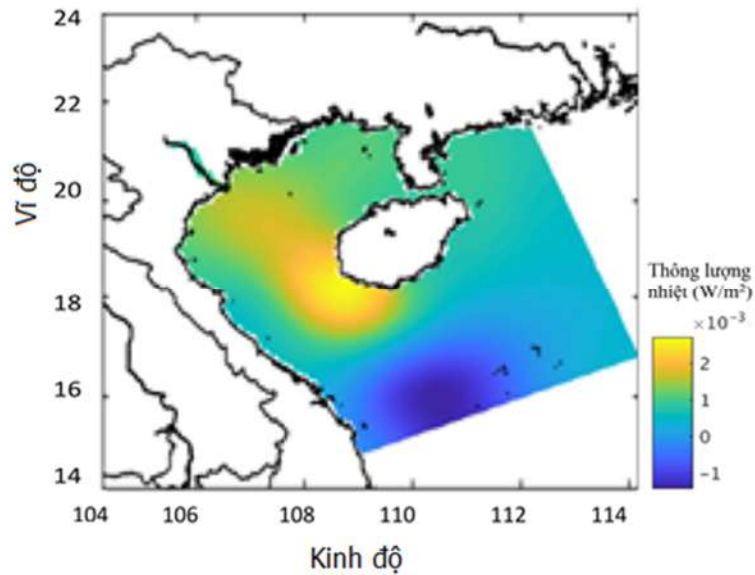


Hình 3. 32. Chênh lệch của trường mực nước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015

Ngoài ra, tác động của đồng hóa số liệu cũng sẽ đưa ra sự hiệu chỉnh một số điều kiện đầu vào như trường thông lượng nhiệt bề mặt và ứng suất gió bề mặt tạo ra sự chênh lệch giữa các dữ liệu này trong hai trường hợp có và không có đồng hóa. Thông lượng nhiệt bề mặt được hiệu chỉnh với giá trị dao động từ -5×10^4 đến $+5 \times 10^4 \text{ W/m}^2$, trong đó khu vực ngoài khơi cửa vịnh Bắc Bộ thông lượng nhiệt được hiệu chỉnh giảm và khu vực biển phía tây nam đảo Hải Nam và giữa vịnh được hiệu chỉnh tăng (Hình 3. 33).

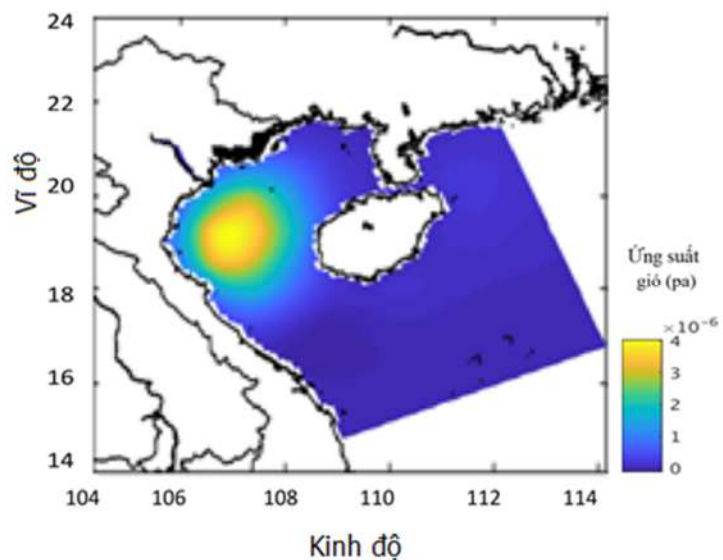
Bảng 3. 5. Chênh lệch thông lượng nhiệt và ứng suất gió bề mặt trước và sau đồng hóa

STT	Tên điểm	Thông lượng nhiệt ($\times 10^{-3} \text{ W/m}^2$)	Ứng suất gió bề mặt ($\times 10^{-6} \text{ Pa}$)	
			Thành phần theo hướng x	Thành phần theo hướng y
1	Nghi Xuân 1	1,2	1,1	2,1
2	Nghi Xuân 2	1,8	3,3	3,2

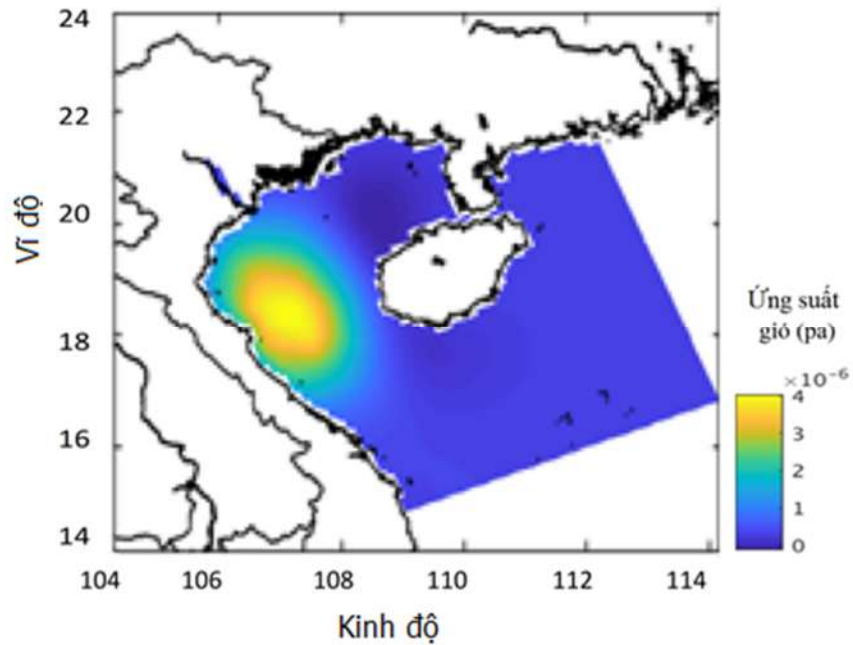


Hình 3. 33. Chênh lệch của trường thông lượng nhiệt trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015

Thành phần ứng suất gió tầng mặt được hiệu chỉnh có xu hướng tăng và chỉ tập trung ở khu vực biển từ Thanh Hóa đến Quảng Bình (đây cũng là khu vực mật độ số liệu quan trắc dòng chảy bằng hệ thống Radar biển cao nhất) được thể hiện trên Hình 3. 34 và Hình 3. 35.



Hình 3. 34. Chênh lệch của ứng suất gió bề mặt theo hướng x trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015

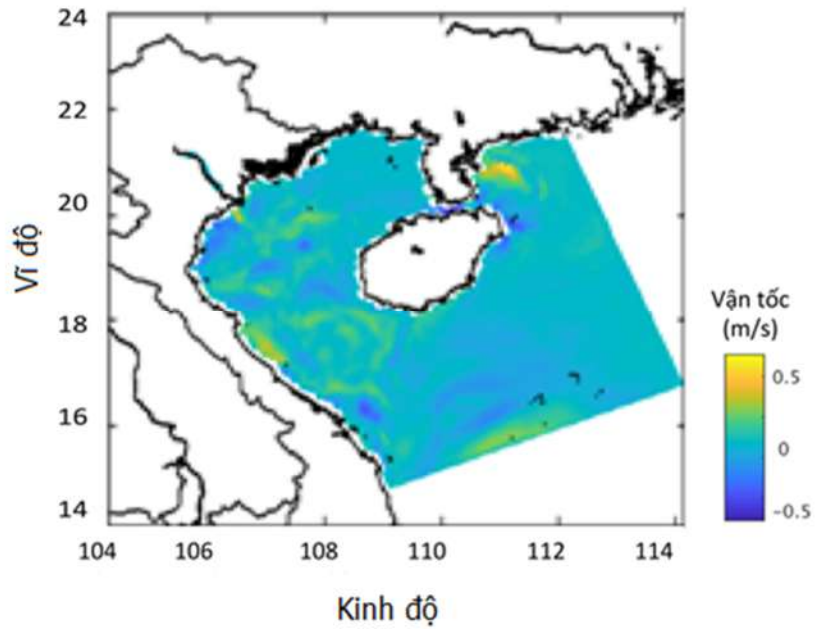


Hình 3. 35. Chênh lệch của ứng suất gió bề mặt theo hướng y trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 11/10/2015

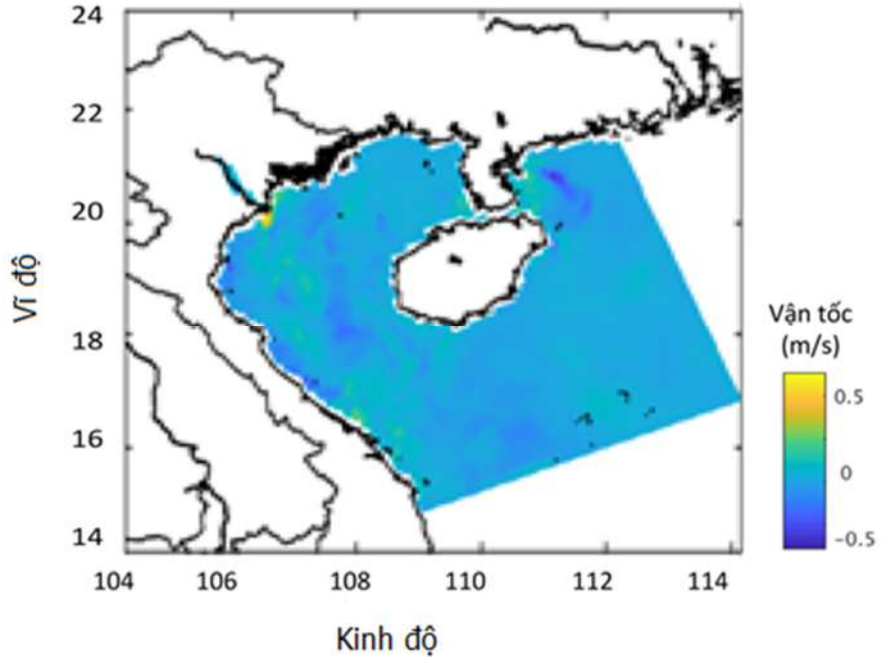
Kết quả thể hiện trên Hình 3. 36 và Hình 3. 37 cho thấy sự chênh lệch giữa số liệu sau khi đồng hóa với số liệu chưa đồng hóa của các yếu tố dòng chảy thành phần tại thời điểm lúc 06 giờ ngày 26 tháng 10 năm 2015. Trong đó, vận tốc tầng mặt có sự chênh lệch từ -0,2 đến +0,2 m/s, một số khu vực có chênh lệch lớn như khu vực cửa sông Hồng, khu vực ven biển Quảng Bình và khu vực biển tại eo biển Quỳnh Châu và lân cận, chênh lệch dao động từ -0,4 đến + 0,4 m/s.

Bảng 3. 6. Chênh lệch của dòng chảy thành phần trước và sau đồng hóa tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015

STT	Tên điểm	Thành phần vận tốc u (m/s)	Thành phần vận tốc v (m/s)
1	Nghi Xuân 1	-0,21	-0,25
2	Nghi Xuân 2	-0,20	-0,18



Hình 3. 36. Chênh lệch của vận tốc dòng chảy tầng mặt theo hướng u trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015

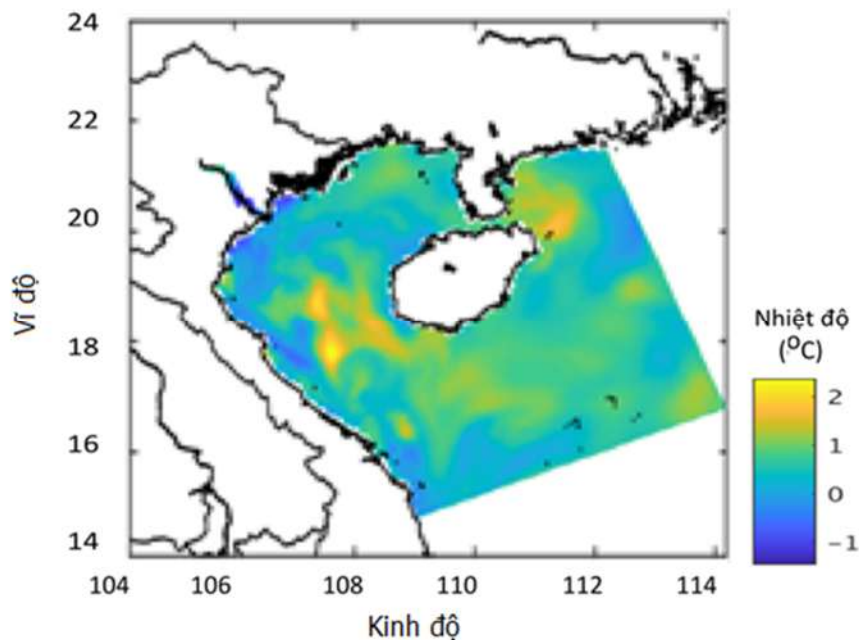


Hình 3. 37. Chênh lệch của vận tốc dòng chảy tầng mặt theo hướng u trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015

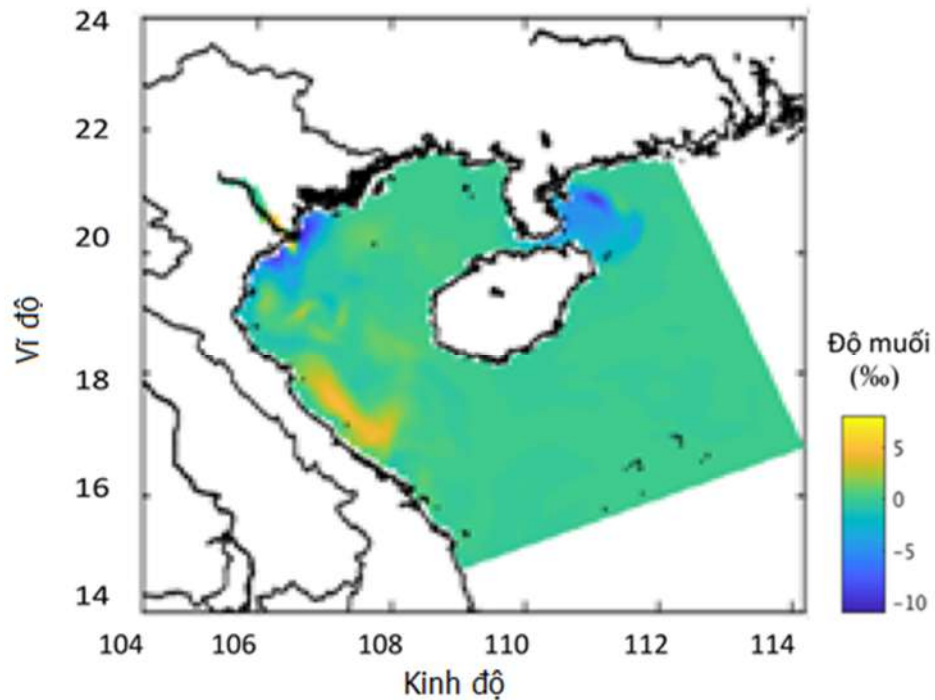
Nhiệt độ nước biển có sự chênh lệch trung bình từ $-0,5^{\circ}$ đến $+0,5^{\circ}$, khu vực có chênh lệch dương lớn nhất là khu vực giữa vịnh Bắc Bộ, lên đến trên $1,00^{\circ}$. Khu vực có chênh lệch âm lớn nhất là khu vực cửa sông và ven bờ, khoảng $-0,5^{\circ}$ đến $-1,0^{\circ}$. Độ mặn nước biển các khu vực ngoài khơi hầu như không có chênh lệch giữa số liệu sau khi đồng hóa và chưa đồng hóa (Hình 3. 38). Khu vực ven bờ có sự chênh lệch khá lớn, khu vực cửa sông Hồng và phía đông eo Quỳnh Châu có chênh lệch âm từ -5 đến -10% . Khu vực biển từ Hà Tĩnh đến Thanh Hóa có chênh lệch khoảng 5% . Mực nước sau khi đồng hóa có sự chênh lệch không lớn, chỉ dao động từ $-0,02$ đến $+0,06$ m và tập trung ở khu vực ven bờ cửa sông (Hình 3. 39).

Bảng 3. 7. Chênh lệch nhiệt độ và độ muối nước biển tầng mặt trước và sau đồng hóa tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015

STT	Tên điểm	Nhiệt độ ($^{\circ}\text{C}$)	Độ muối (‰)
1	Nghi Xuân 1	-0,6	-1,2
2	Nghi Xuân 2	-0,5	1,0

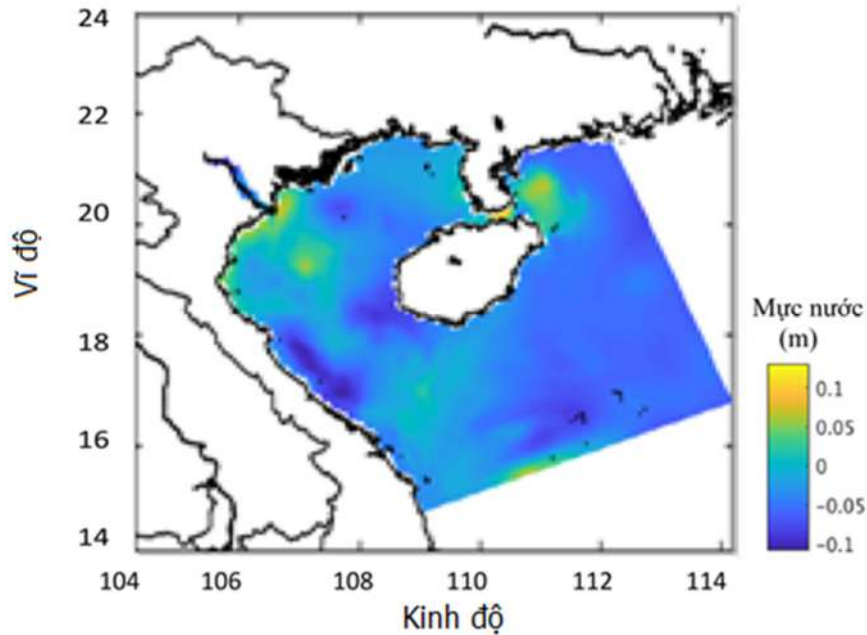


Hình 3. 38. Chênh lệch của trường nhiệt độ nước biển tầng mặt trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015



Hình 3. 39. Chênh lệch của trường độ muối trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015

Trong thời điểm này, tác động của đồng hóa số liệu cũng đã đưa ra hiệu chỉnh một số điều kiện đầu của cho mô hình. Trong đó, thông lượng nhiệt bề mặt các khu vực ngoài khơi hầu như ít được hiệu chỉnh, khu vực ven bờ và bên trong vịnh Bắc Bộ thông lượng nhiệt được điều chỉnh với giá trị dao động từ -1×10^4 đến $+2,5 \times 10^4 \text{ W/m}^2$, trong đó khu vực biển từ Thanh Hóa đến Nghệ An được hiệu chỉnh tăng, khu vực ngoài khơi cửa vịnh Bắc Bộ thông lượng nhiệt được hiệu chỉnh giảm và khu vực biển phía tây nam đảo Hải Nam và giữa vịnh được hiệu chỉnh tăng từ $2 \times 10^4 \text{ W/m}^2$ đến $+2,5 \times 10^4 \text{ W/m}^2$ (Hình 3. 41).

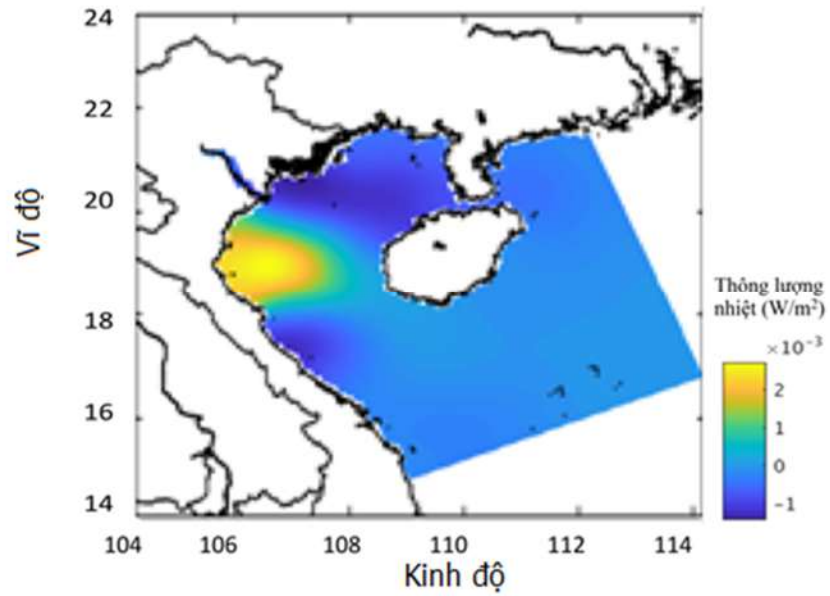


Hình 3. 40. Chênh lệch của trường mực nước trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015

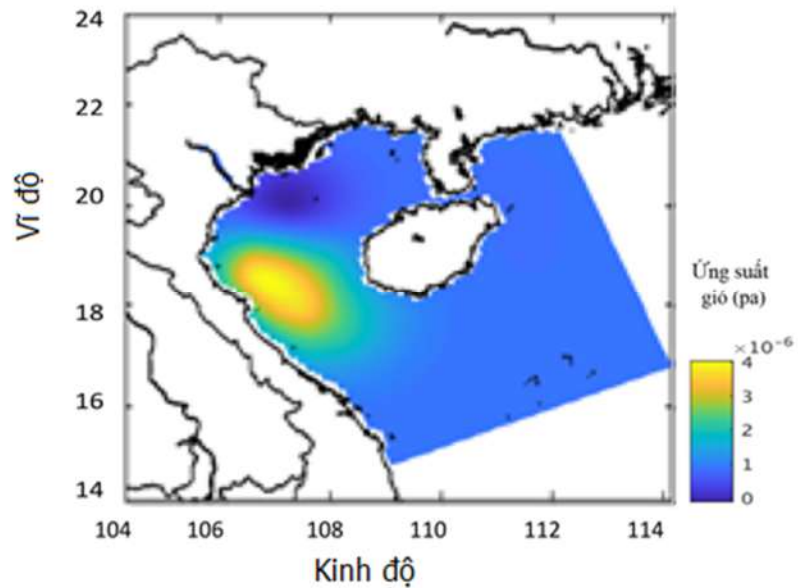
Bảng 3. 8. Chênh lệch thông lượng nhiệt và ứng suất gió bề mặt trước và sau đồng hóa tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015

STT	Tên điểm	Thông lượng nhiệt ($\times 10^{-3}$ W/m ²)	Ứng suất gió bề mặt ($\times 10^{-6}$ Pa)	
			Thành phần theo hướng x	Thành phần theo hướng y
1	Nghi Xuân 1	2,2	1,9	1,5
2	Nghi Xuân 2	2,0	2,5	1,1

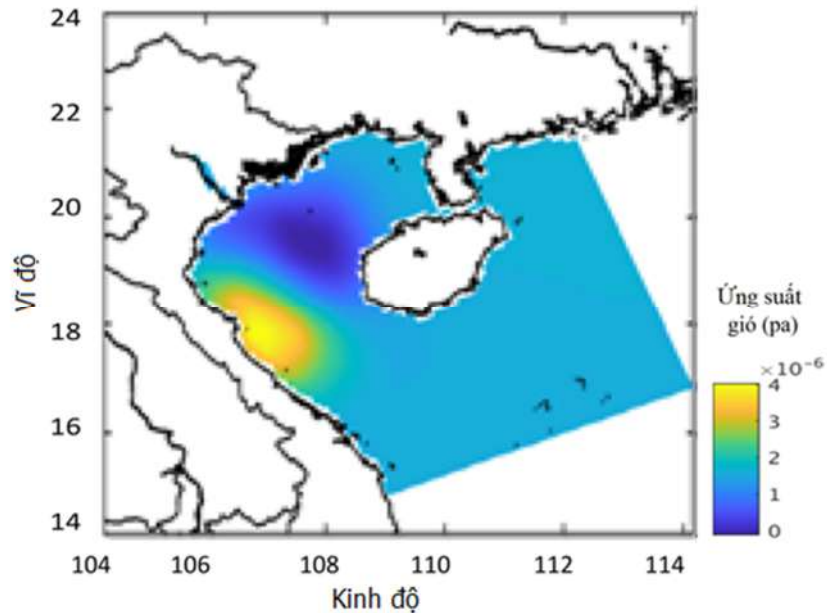
Thành phần ứng suất gió tầng mặt được hiệu chỉnh có xu hướng tăng ở khu vực biển từ Thanh Hóa đến Quảng Bình, khu vực ven bờ biển từ Hải Phòng đến Thái Bình và khu vực giữa vịnh Bắc Bộ ứng suất gió được hiệu chỉnh giảm từ 1×10^{-6} Pa đến 4×10^{-6} Pa (Hình 3. 42 và Hình 3. 43).



Hình 3. 41. Chênh lệch của trường thông lượng nhiệt trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015



Hình 3. 42. Chênh lệch trường ứng suất gió bề mặt trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015

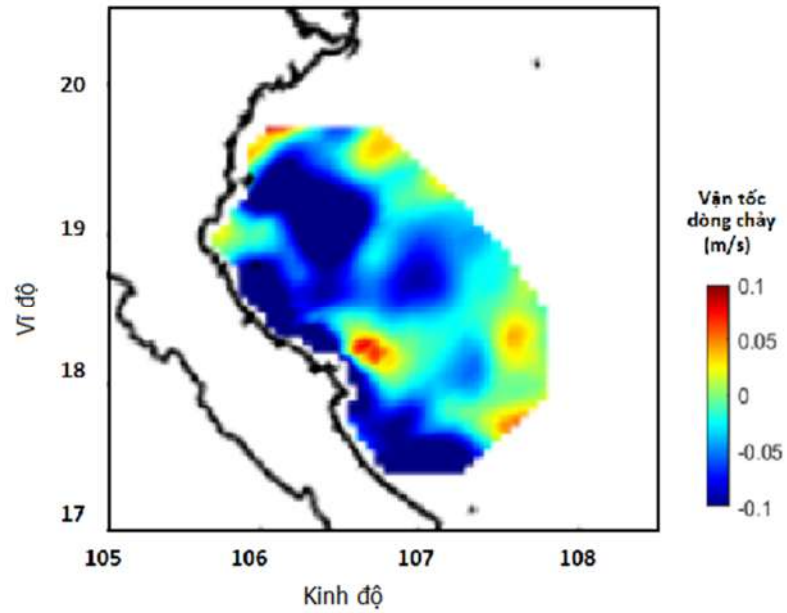


Hình 3. 43. Chênh lệch trường ứng suất gió bề mặt trước và sau khi đồng hóa số liệu tại thời điểm lúc 00 giờ ngày 26/10/2015

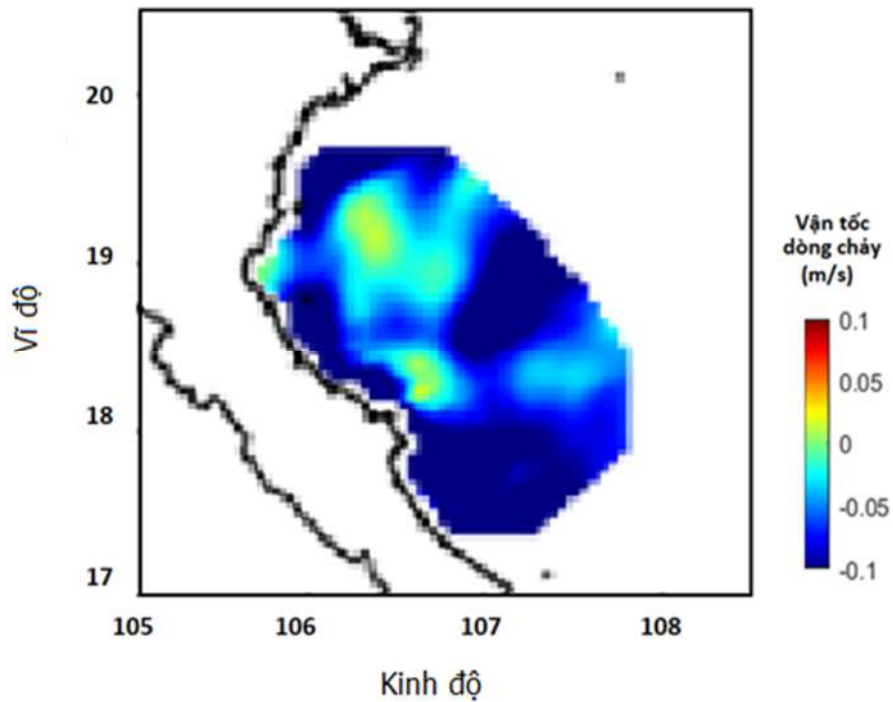
3.3.3. Đánh giá sai số sau khi đồng hóa số liệu

Sau khi so sánh số liệu giữa trường hợp chưa đồng hóa với trường hợp sau khi đồng hóa số liệu, Luận án thực hiện đánh giá sai số của số liệu trường dòng chảy của hai trường hợp trên với số liệu quan trắc bằng hệ thống Radar biển ứng với hai chỉ tiêu là BIAS và RMSE, dưới đây là các kết quả đánh giá.

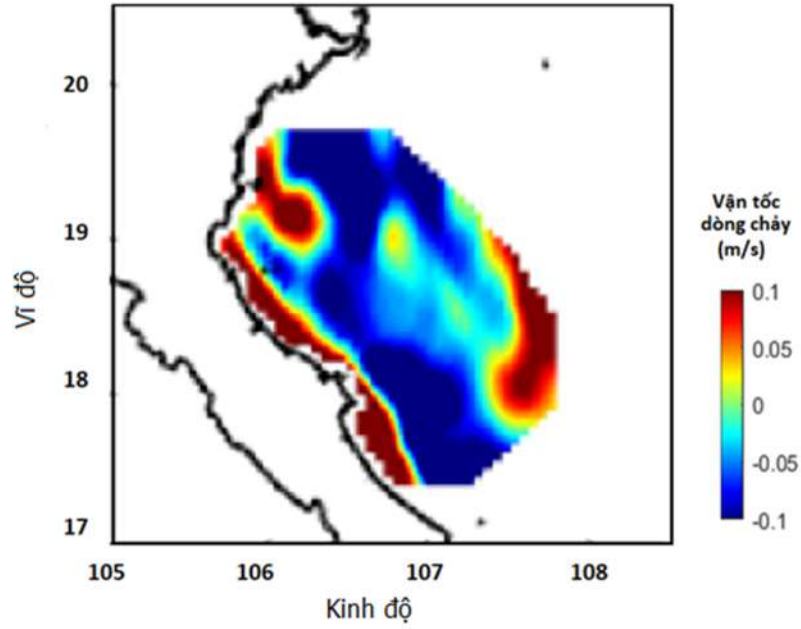
Kết quả thể hiện trong Hình 3. 44 đến Hình 3. 47 cho thấy sai số BIAS của các thành phần vận tốc dòng chảy tầng mặt của hai trường hợp đồng hóa và không đồng hóa so với số liệu quan trắc bằng hệ thống Radar biển. Trong đó, khi chưa đồng hóa khu vực có sai số BIAS trên 0,1 m/s và dưới -0,1 m/s chiếm tỉ 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.



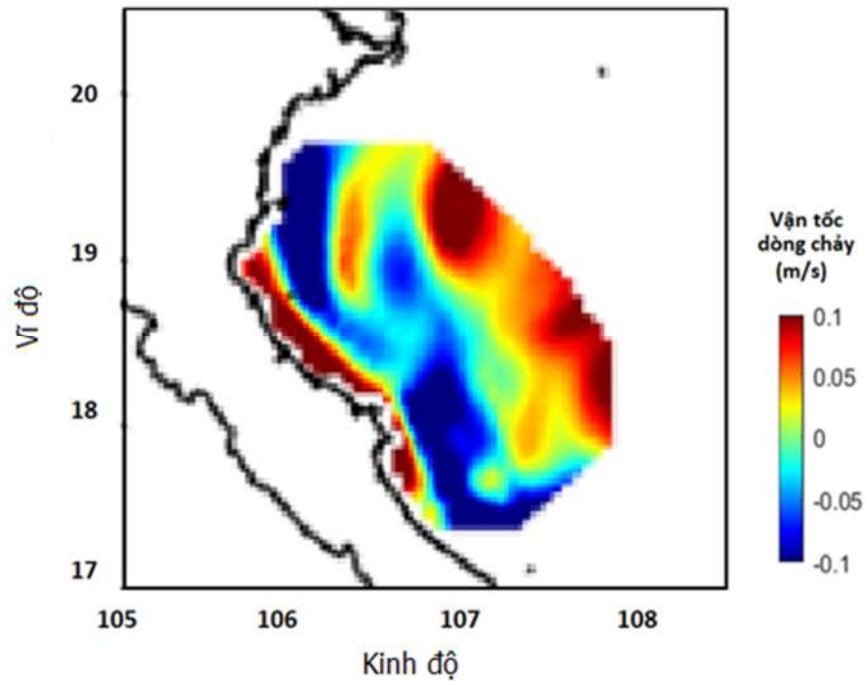
Hình 3. 44. Sai số BIAS giữa số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán của thành phần vận tốc u (m/s) khi chưa đồng hóa



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

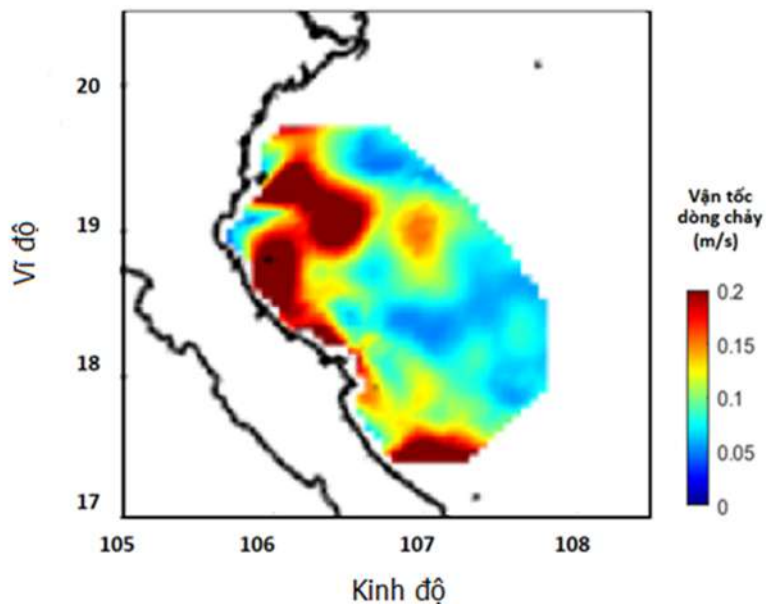


Hình 3. 47. Sai số BIAS giữa số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán của thành phần vận tốc v (m/s) sau khi đồng hóa

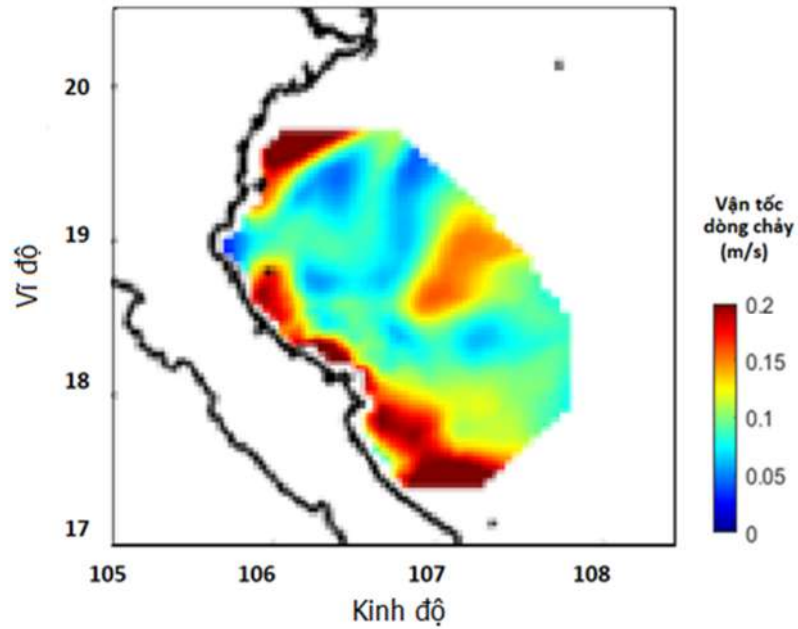
Bảng 3. 9. Sai số Bias của dòng chảy dòng chảy thành phần trước và sau khi đồng hóa số liệu

STT	Tên điểm	Thành phần vận tốc u		Thành phần vận tốc v	
		Trước khi đồng hóa	Sau khi đồng hóa	Trước khi đồng hóa	Sau khi đồng hóa
1	Nghi Xuân 1	-0,05	-0,04	0,10	0,08
2	Nghi Xuân 2	-0,10	-0,02	-0,05	0,04

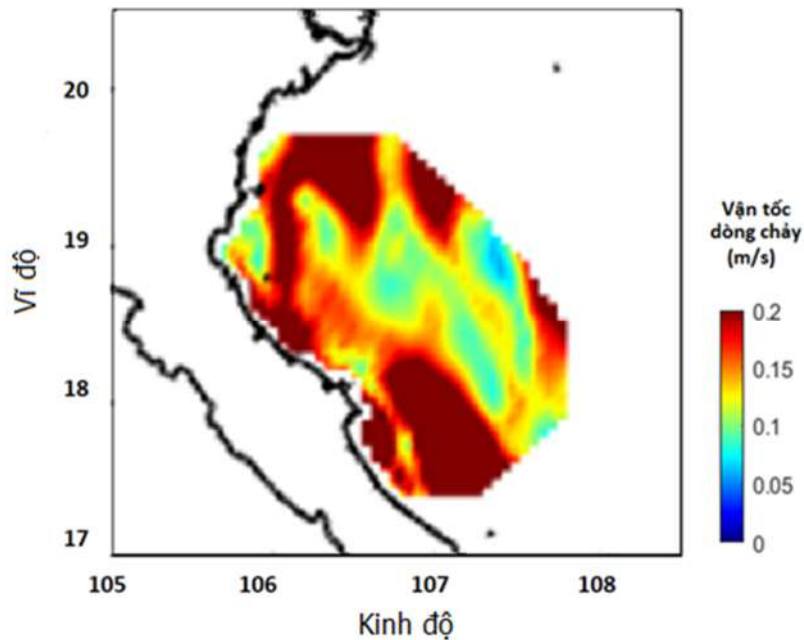
Kết quả thể hiện trong Hình 3. 48 đến Hình 3. 51 cho thấy sai số RMSE của các thành phần vận tốc dòng chảy tầng mặt của hai trường hợp đồng hóa và không đồng hóa so với số liệu quan trắc bằng hệ thống Radar biển. Trong trường hợp chưa đồng hóa khu vực có sai số RMSE trên 0,2 m/s chiếm tỉ lệ lớn, trên 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.



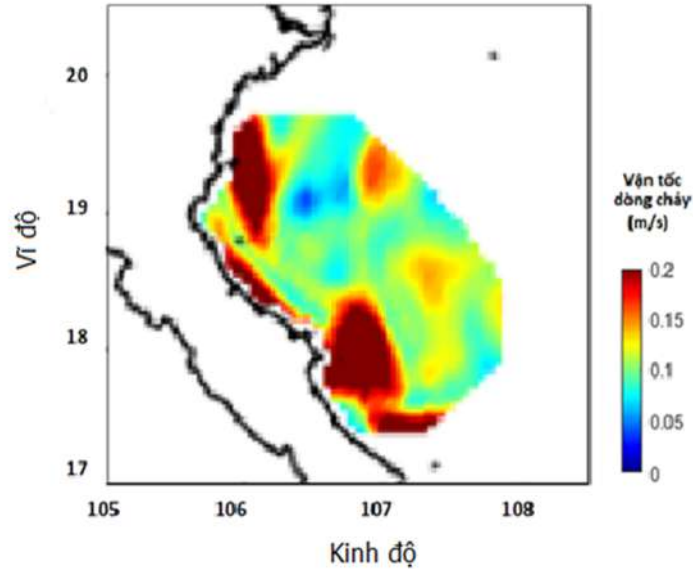
Hình 3. 48. Sai số RMSE giữa số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán của thành phần vận tốc u (m/s) khi chưa đồng hóa



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



Hình 3. 50. Sai số RMSE giữa số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán của thành phần vận tốc v (m/s) khi chưa đồng hóa



Hình 3. 51. Sai số RMSE giữa số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán của thành phần vận tốc v (m/s) sau khi đồng hóa

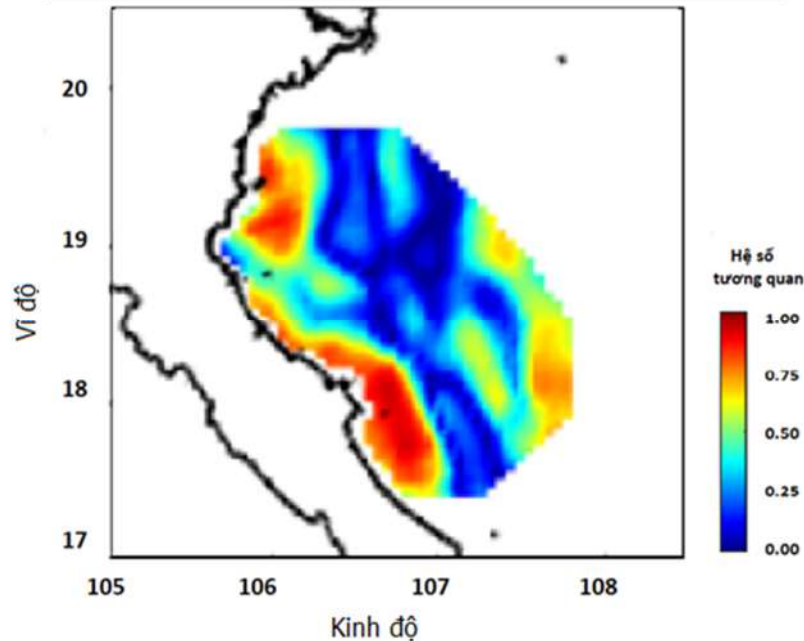
Bảng 3. 10. Sai số RMSE của dòng chảy dòng chảy thành phần trước và sau khi đồng hóa

STT	Tên điểm	Thành phần vận tốc u (m/s)		Thành phần vận tốc v (m/s)	
		Trước khi đồng hóa	Sau khi đồng hóa	Trước khi đồng hóa	Sau khi đồng hóa
1	Nghi Xuân 1	0,15	0,13	0,17	0,10
2	Nghi Xuân 2	0,20	0,08	0,20	0,07

Kết quả thể hiện trong Hình 3. 52 cho thấy hệ số tương quan giữa số liệu tính toán và số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển của giá trị vận tốc dòng chảy tổng cộng tầng mặt, trong đó hệ số tương quan trung bình trên toàn miền dưới 0,5. Trong đó, khu vực có hệ số tương quan cao nhất khoảng 0,8 chỉ 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 trở lên chiếm tỉ lệ khá lớn trên 50% (Hình 3. 53).

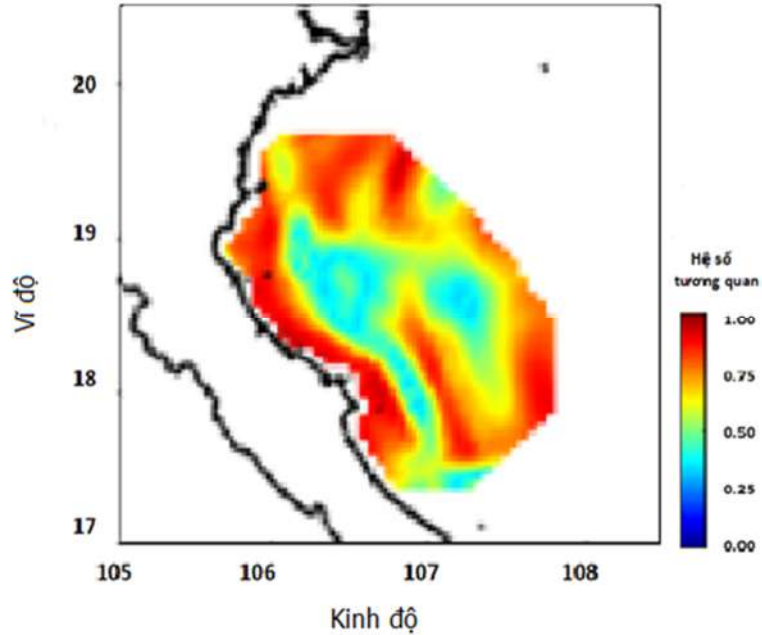
Bảng 3. 11. Hệ số tương quan của dòng chảy dòng chảy thành phần trước và sau khi đồng hóa

STT	Tên điểm	Trước khi đồng hóa	Sau khi đồng hóa
1	Nghi Xuân 1	0,52	0,91
2	Nghi Xuân 2	0,25	0,76



Hình 3. 52. Hệ số tương quan giữa số liệu dòng chảy tầng mặt quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán khi chưa đồng hóa

Qua kết quả đánh giá số liệu sau khi đồng hóa cho thấy, sự phù hợp giữa kết quả mô phỏng với số liệu thực đo từ hệ thống radar biển tốt trên diện rộng và đặc biệt là khu vực có mật độ số liệu quan trắc bằng hệ thống radar biển lớn. Đây tính từ việc của việc đồng hóa số liệu mang lại mà đối với các công trình nghiên cứu trước đây khi sử dụng mô hình để mô phỏng trường dòng chảy chỉ đánh giá được một số vị trí đơn lẻ và rời rạc do nguồn số liệu phục vụ hiệu chỉnh và kiểm định mô hình còn hạn chế. Ngoài ra, việc đồng hóa số liệu là một bước tối ưu hóa các tham số đầu vào của mô hình như việc điều chỉnh các điều kiện biên, các lực bề mặt mà các nghiên cứu khác không sử dụng đồng hóa số liệu không thể thực hiện được.



Hình 3. 53. Hệ số tương quan giữa số liệu dòng chảy tầng mặt quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán sau khi đồng hóa

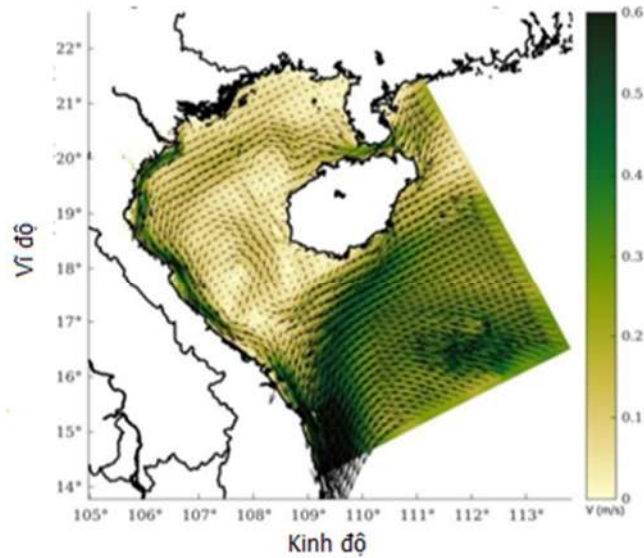
3.4. Nghiên cứu trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ

Sau khi thu thập các dữ liệu có liên quan đặc biệt là dữ liệu quan trắc dòng chảy tầng mặt bằng hệ thống Radar biển cho thấy năm 2015 là thời gian trạng thái hoạt động của 03 trạm Radar biển: Hòn Dấu, Nghi Xuân và Đồng Hới là tốt nhất. Vì vậy, Luận án triển khai tính toán, tái phân tích các trường động lực biển khu vực vịnh Bắc Bộ cho từng tháng trong năm 2015 để từ đó tính toán, phân tích đặc điểm của trường dòng chảy theo tháng tại các tầng khác nhau. Các dữ liệu đầu vào của mô hình là các trường khí tượng bề mặt; vận tốc dòng chảy, nhiệt độ và độ muối tại biên lỏng của mô hình; lưu lượng nước sông trung bình tháng của 4 con sông chính; dữ liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt và độ cao mực nước từ ảnh vệ tinh; số liệu dòng chảy quan trắc từ hệ thống Radar biển. Toàn bộ các dữ liệu trên được đưa vào hệ thống để tái phân tích các trường động lực biển khu vực vịnh Bắc Bộ trong năm 2015.

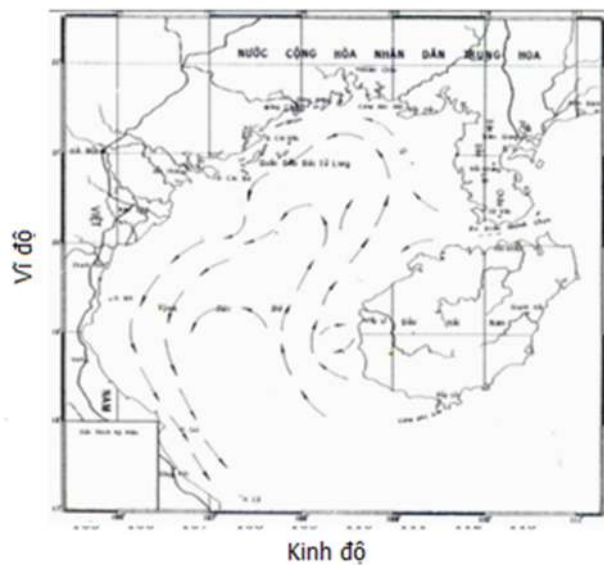
3.4.1. Đặc điểm trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ các tháng gió mùa đông bắc

Trường dòng chảy mùa đông vùng biển vịnh Bắc, dưới tác động của gió mùa

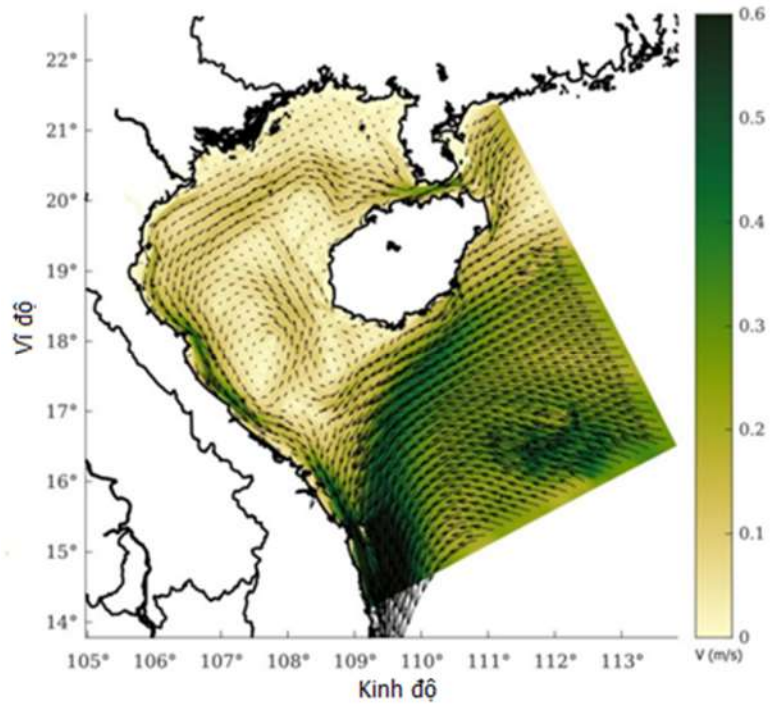
đông bắc và ảnh hưởng của đặc điểm vịnh Bắc Bộ là vịnh nửa kín nên đã tạo ra những xoáy cục bộ. Khi mới bước vào mùa đông (tháng 12), khu vực phía nam vịnh xuất hiện một xoáy thuận có quy mô nhỏ. Bên cạnh đó do có khối nước lạnh xâm nhập vào cửa vịnh lên đã tạo ra một xoáy nghịch ở nửa phía đông khu vực cửa vịnh (Hình 3. 54 đến Hình 3. 58).



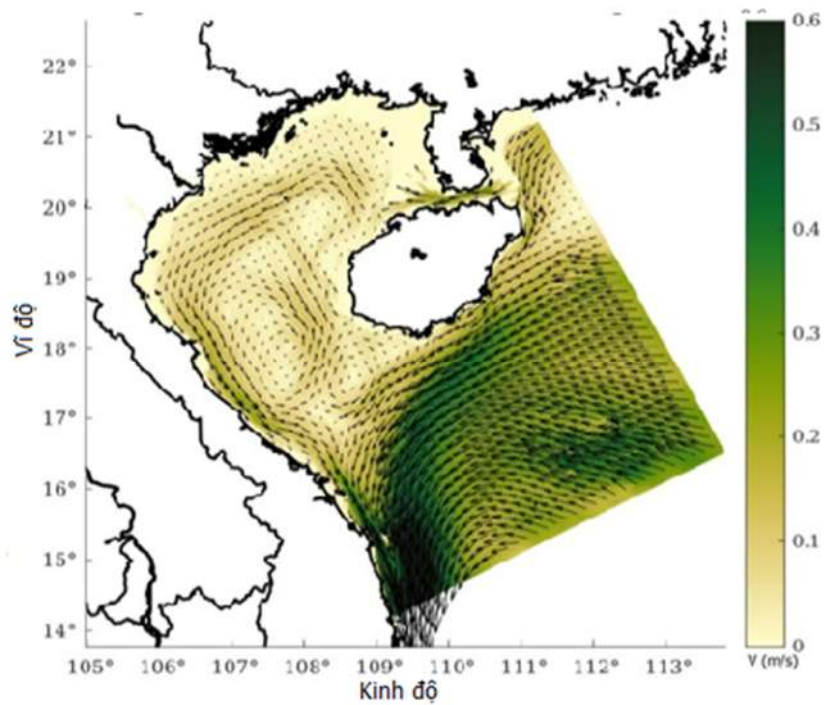
Hình 3. 54. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 12 vùng biển vịnh Bắc Bộ



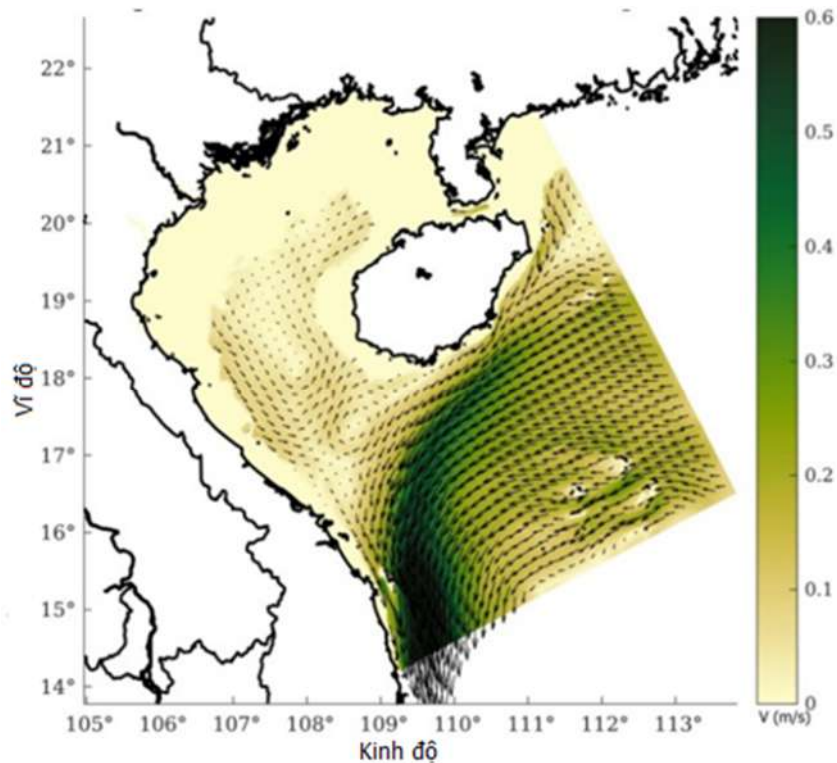
Hình 3. 55. Sơ đồ dòng chảy vịnh Bắc Bộ trong mùa đông theo Báo cáo kết quả điều tra tổng hợp vịnh Bắc Bộ (1964) [1]



Hình 3. 56. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 12 vùng biển vịnh Bắc Bộ



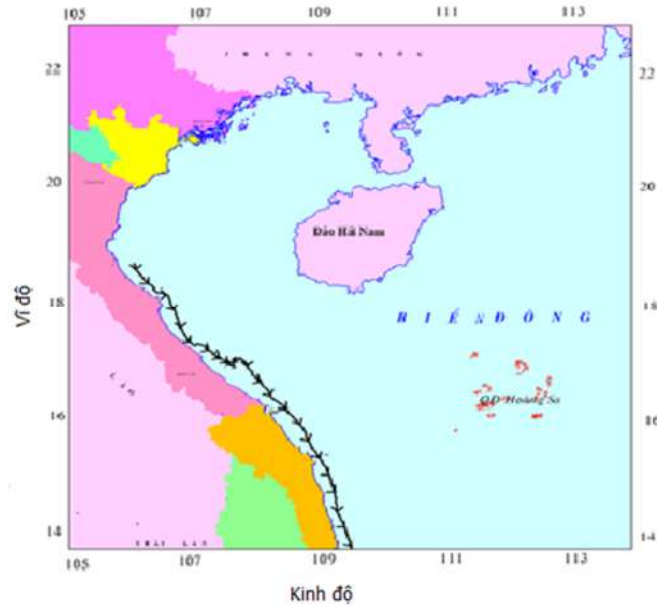
Hình 3. 57. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 12 vùng biển vịnh Bắc Bộ



Hình 3. 58. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 12 vùng biển vịnh Bắc Bộ

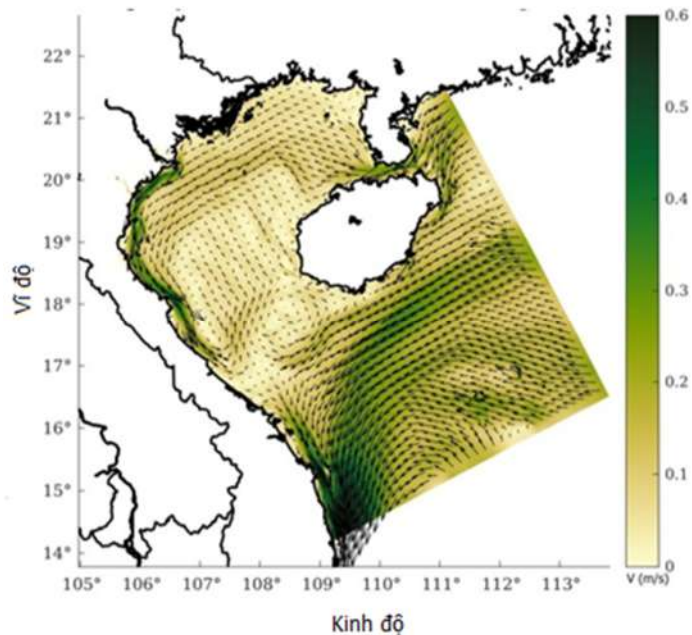
Ngoài ra, quỹ đạo trôi của phao trôi được thả tháng 12 năm 2017 (Hình 3. 59) trong khuôn khổ dự án Hợp tác Việt – Mỹ [19] đã thể hiện khi phao được thả tại vị trí cách bờ biển Nghi Xuân – Hà Tĩnh 20 km đã theo hướng dòng chảy trôi song song với bờ xuống phía nam. Điều này chứng minh quỹ đạo trôi của phao đã chịu tác động của dòng ven bờ phía tây vịnh Bắc Bộ trong thời kỳ gió mùa Đông Bắc.

Hoàn lưu của vịnh Bắc Bộ trong tháng này có một số nét tương đồng với kết quả trong Báo cáo kết quả điều tra tổng hợp vịnh Bắc Bộ (1964) [1]: tại phía đông cửa vịnh có khối nước ven theo bờ phía tây của đảo Hải Nam xâm nhập vào trong vịnh, bên cạnh đó nước xâm nhập vào trong vịnh còn đóng góp của một phần từ eo Quỳnh Châu vào phía bắc vịnh. Hai dòng nước này kết hợp với nhau và ven theo bờ phía tây từ đỉnh vịnh chảy xuống phía nam và nhập với dòng lạnh của bờ tây Biển Đông tại khu vực biển Trung Bộ.

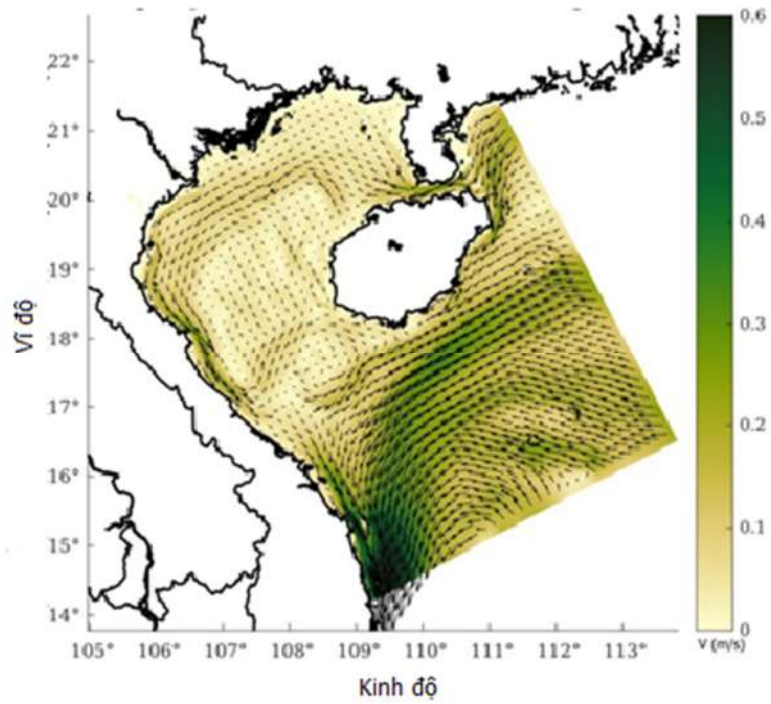


Hình 3. 59. Quỹ đạo di chuyển tháng 12 vùng biển vịnh Bắc Bộ [19]

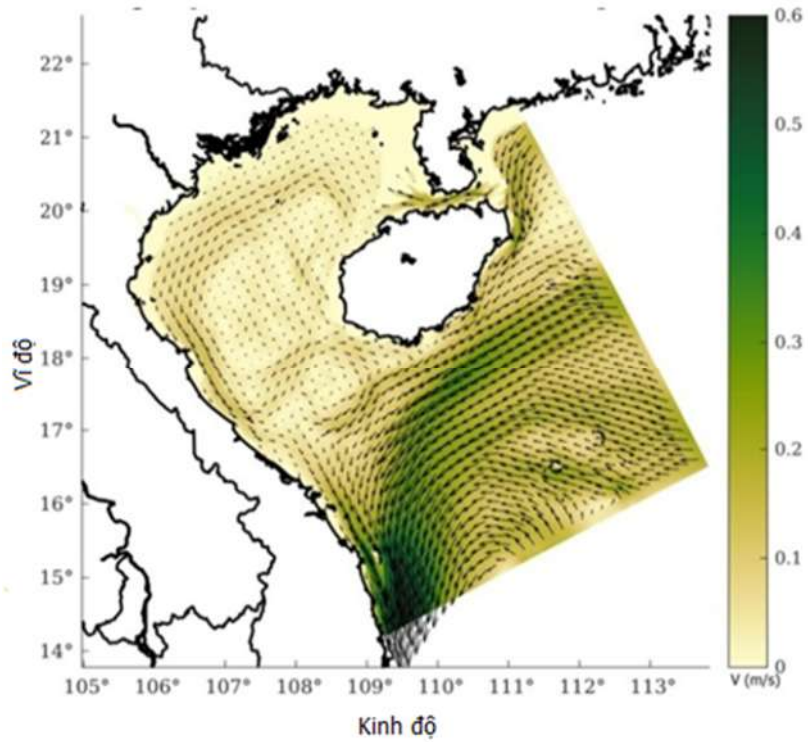
Trong các tháng tiếp theo xoáy thuận phía nam vịnh có xu thế mở rộng và dịch chuyển dần về phía bắc và tạo ra một hoàn lưu xoáy nghịch ở phía nam vịnh, xoáy nghịch tại phía đông khu vực cửa vịnh vẫn tồn tại trong suốt các tháng mùa đông điển hình là trường dòng chảy trong tháng 1 (Hình 3. 60 đến Hình 3. 63).



Hình 3. 60. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 1 vùng biển vịnh Bắc Bộ



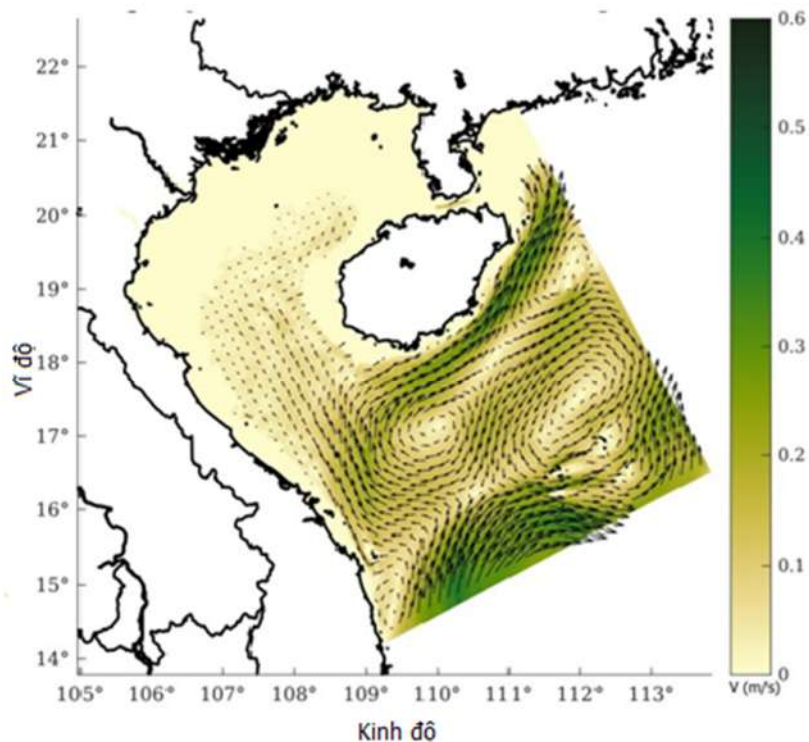
Hình 3. 61. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 1 vùng biển vịnh Bắc Bộ



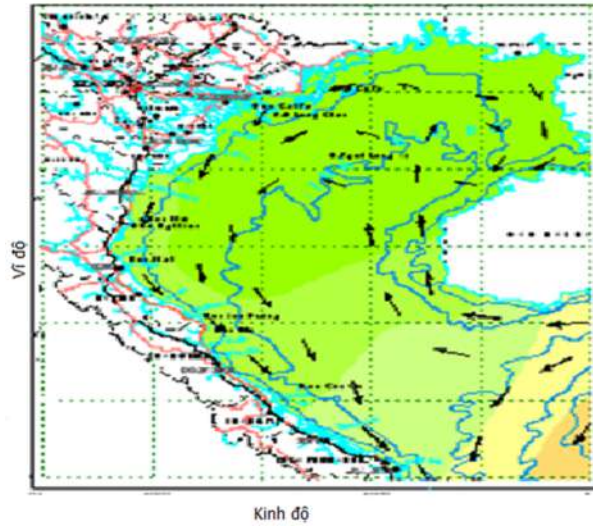
Hình 3. 62. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 1 vùng biển vịnh Bắc Bộ

Tại tầng các tầng sâu dưới 20 mét, 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. 63).

Trong thời kỳ này luôn tồn tại một dòng chảy có cường độ khá lớn dọc theo ven bờ biển phía tây của vịnh Bắc Bộ và đi ra ngoài cửa vịnh và nhập vào dòng hoàn lưu lạnh phía tây của Biển Đông. Đây cũng là đặc điểm điển hình của dòng chảy vịnh Bắc Bộ trong các tháng mùa đông do nhiều công trình nghiên cứu trước đây chỉ ra như công trình của đề tài KC09.24 (Hình 3. 64).

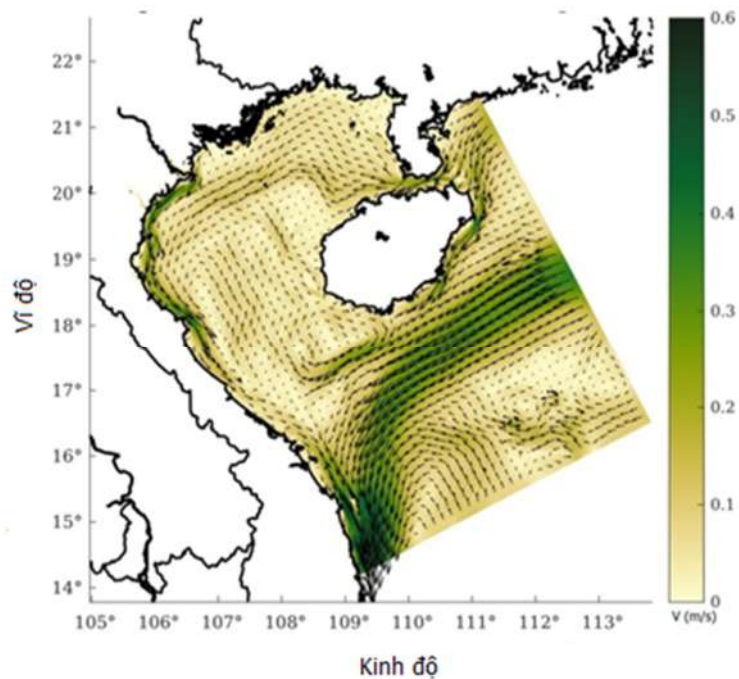


Hình 3. 63. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 1 vùng biển vịnh Bắc Bộ

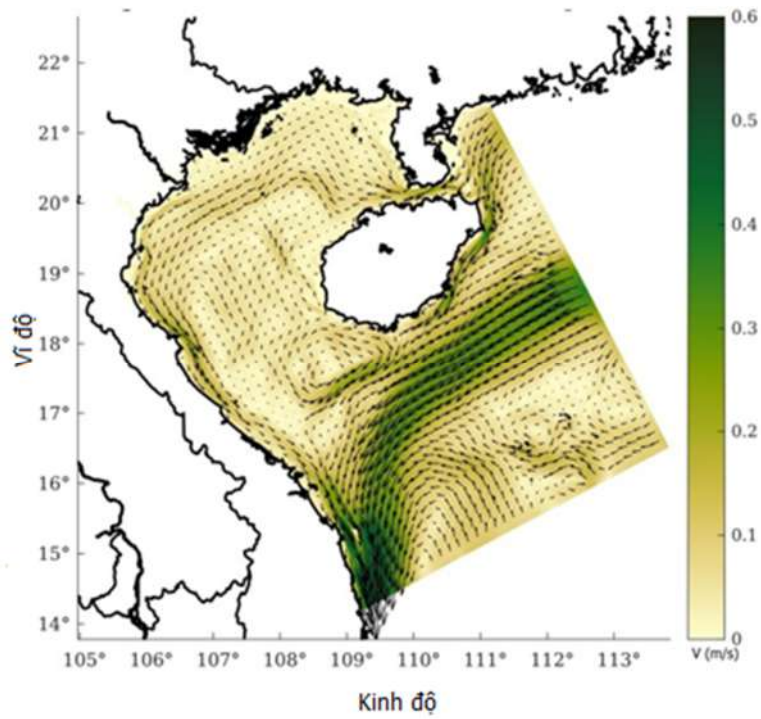


Hình 3. 64. Trường dòng chảy mặt mùa đông theo đề tài KC09.24 (2005)

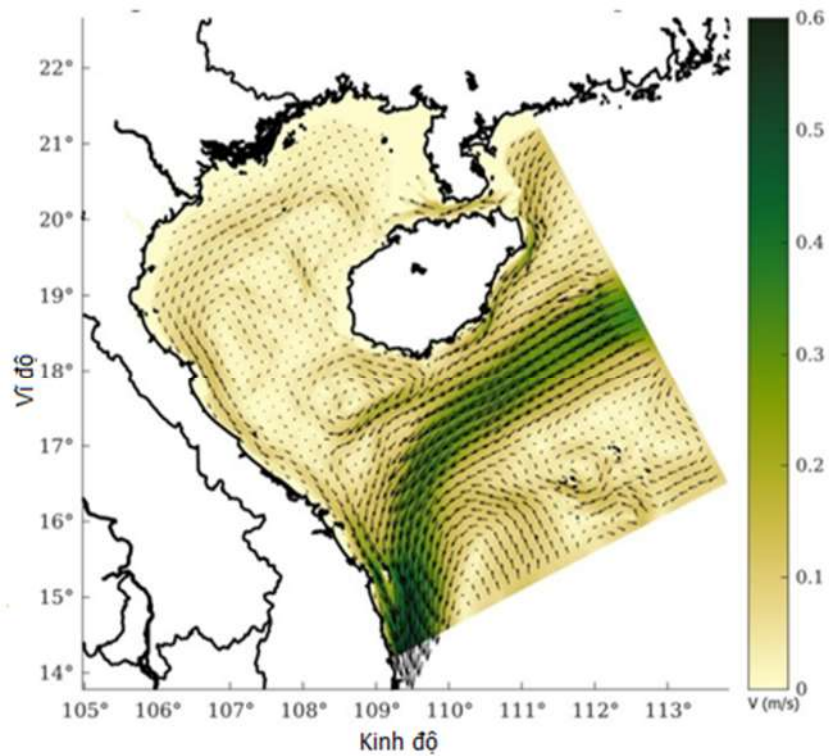
Vào tháng 2, cuối thời kỳ gió mùa đông bắc (Hình 3. 65 đến Hình 3. 68), đặc điểm của trường dòng chảy vẫn giữ các nét chính đặc trưng của thời kỳ này. Tuy nhiên, về vận tốc dòng chảy bắt đầu suy yếu. Diễn hình là vận tốc của dòng ven bờ của khu vực phía tây vịnh Bắc Bộ (Hình 3. 65 đến hình Hình 3. 68).



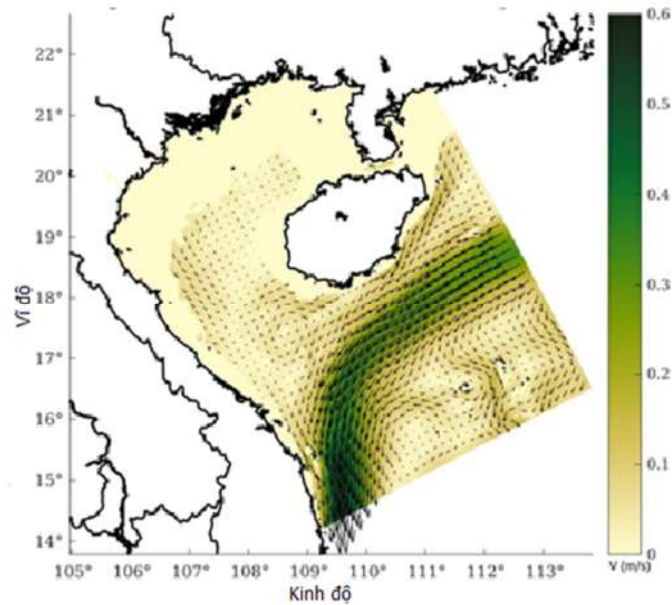
Hình 3. 65. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 2 vùng biển vịnh Bắc Bộ



Hình 3. 66. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 2 vùng biển vịnh Bắc Bộ

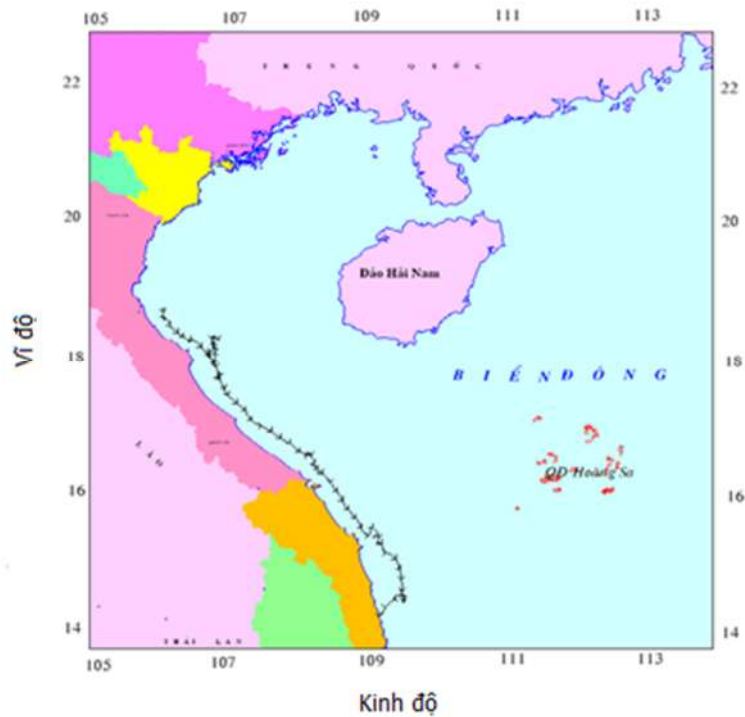


Hình 3. 67. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 2 vùng biển vịnh Bắc Bộ



Hình 3. 68. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 2 vùng biển vịnh Bắc Bộ

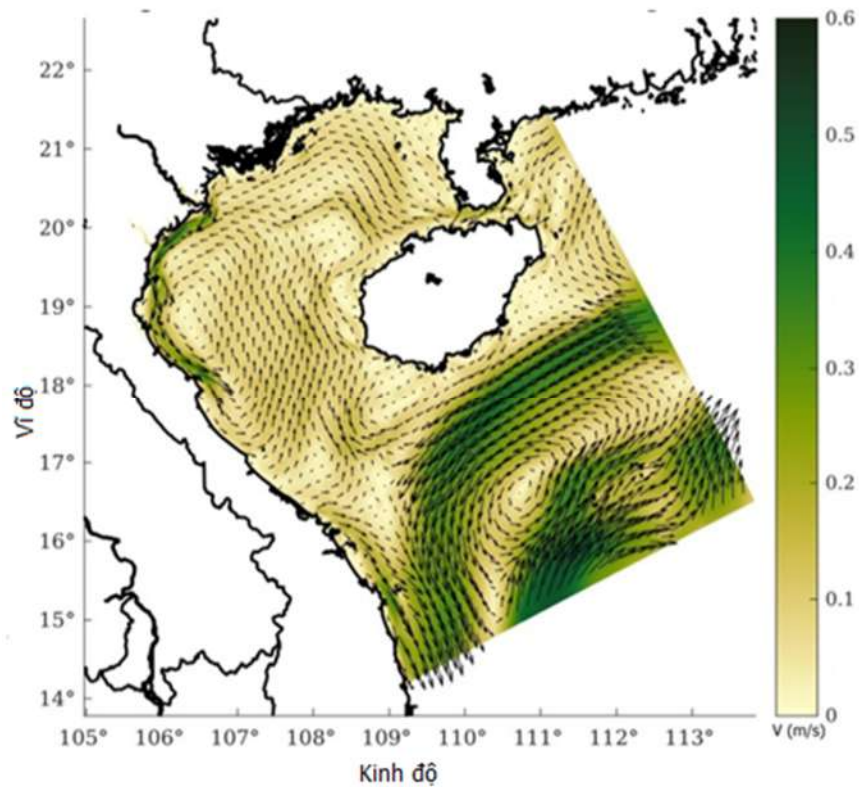
So sánh với quỹ đạo trôi của phao thả trong tháng 2 cho thấy sự phù hợp giữa đặc điểm của dòng chảy ven bờ tại tầng mặt trong thời gian này với quỹ đạo trôi của phao khi thả thả ở khu vực ven bờ biển Nghi Xuân (Hình 3. 69).



Hình 3. 69. Quỹ đạo phao trôi tháng 2 [19]

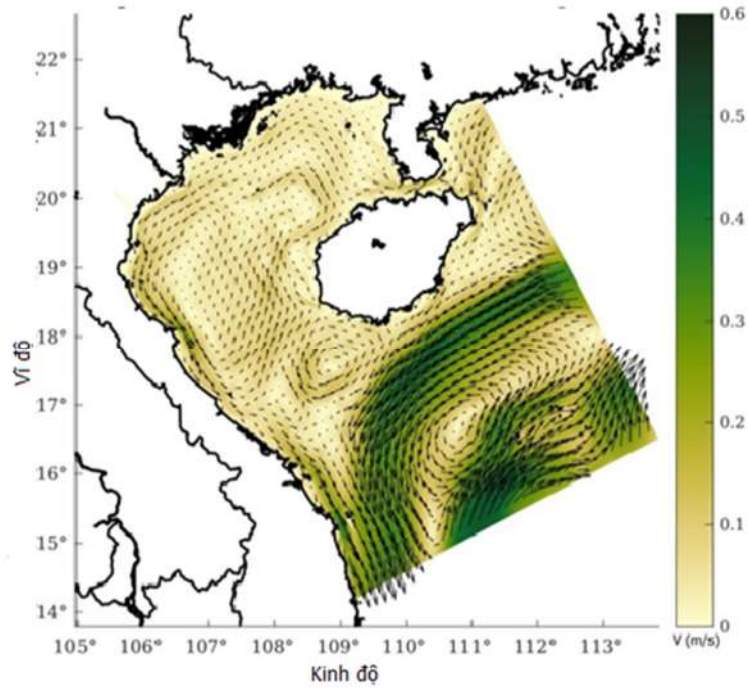
3.4.2. Đặc điểm trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ các tháng chuyển từ gió mùa đông bắc sang gió mùa tây nam

Trong các tháng mùa hè (từ tháng 3 đến tháng 5) cho thấy hoàn lưu không có sự ổn định trong thời gian này. Trong tháng 3, bức tranh trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ vẫn mang nhiều đặc điểm như trong thời kỳ mùa đông, điển hình là xoáy nghịch phía tây khu vực cửa vịnh và xoáy thuận phía nam vịnh Bắc Bộ vẫn tồn tại, tuy nhiên quy mô và cường độ đã giảm rõ rệt (Hình 3. 70 đến Hình 3. 73).

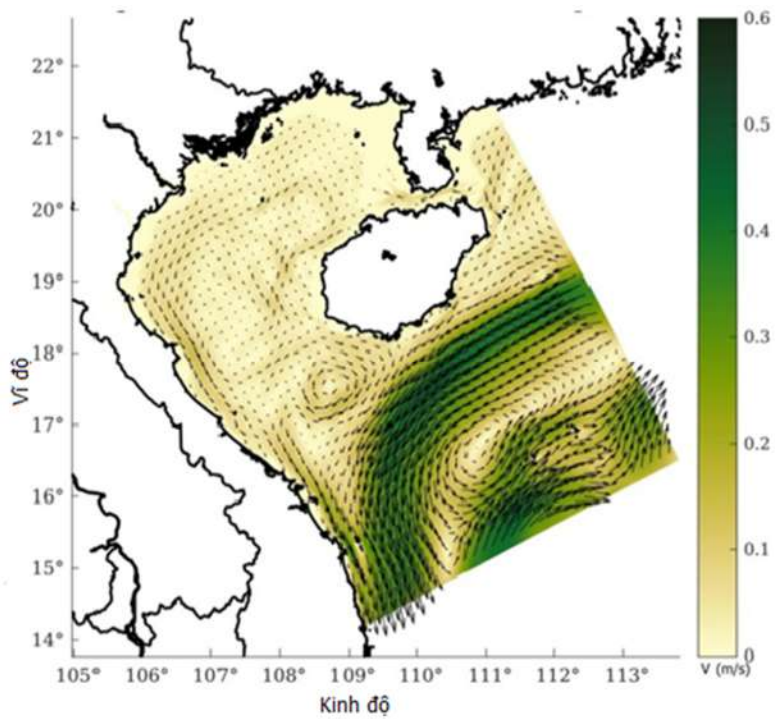


Hình 3. 70. Trường dòng chảy mặt trung bình tháng 3 vùng biển vịnh Bắc Bộ

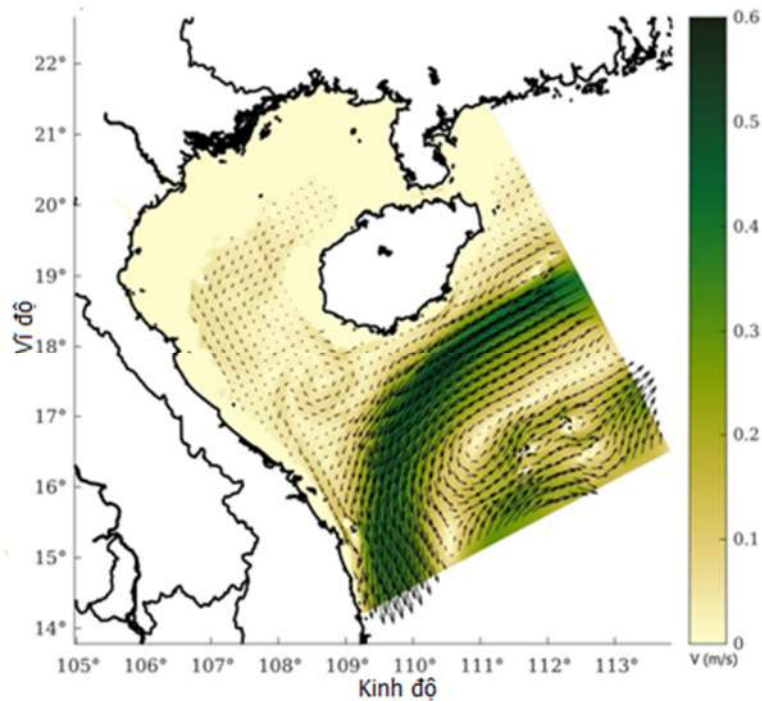
Đối với các tầng sâu (tầng 50 mét) chỉ còn tồn tại một xoáy nhỏ cục bộ ở phía đông cửa vịnh, vận tốc dòng chảy của xoáy này cũng rất nhỏ, chỉ khoảng 0,1 đến 0,15 m/s (Hình 3. 73).



Hình 3. 71. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 3 vùng biển vịnh Bắc Bộ



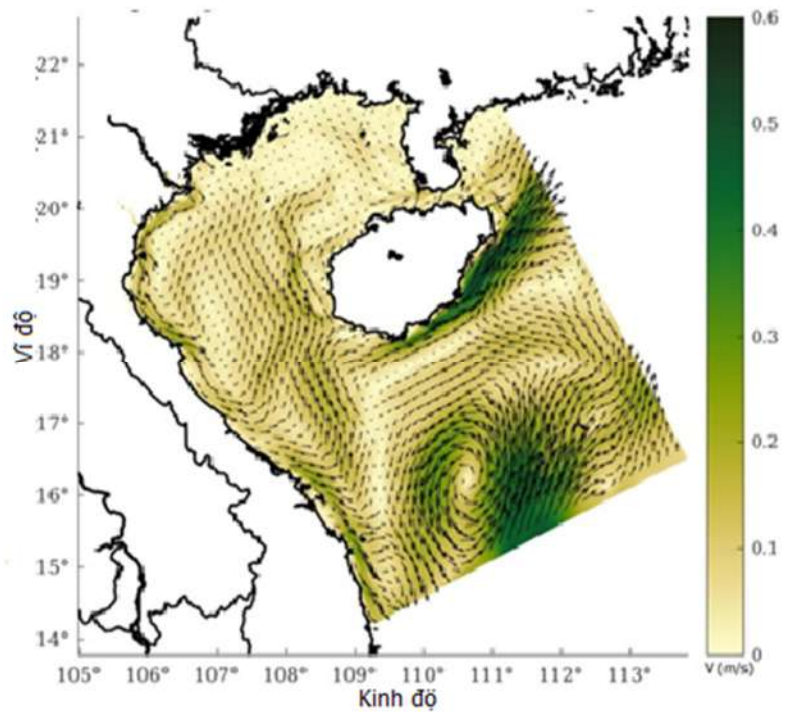
Hình 3. 72. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 3 vùng biển vịnh Bắc Bộ



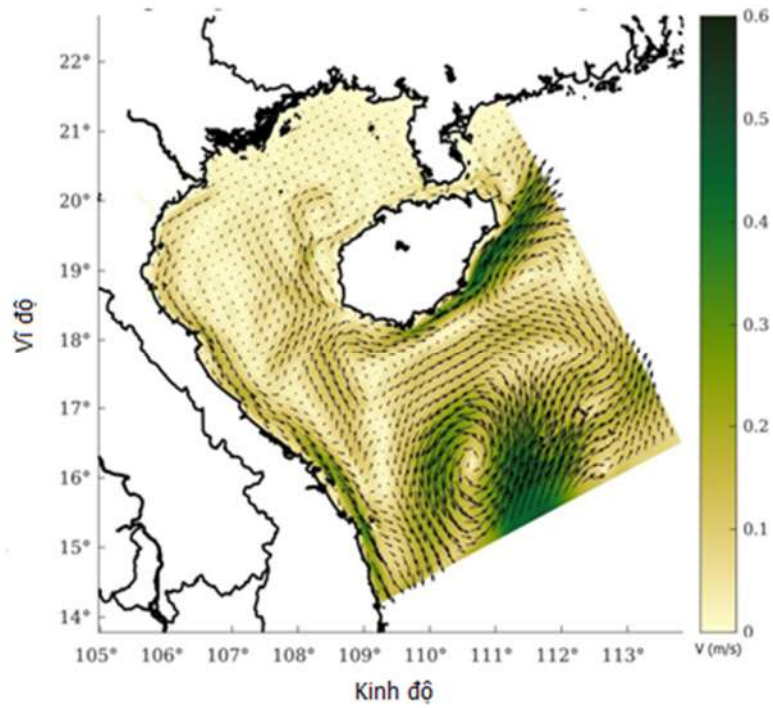
Hình 3. 73. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 3 vùng biển vịnh Bắc Bộ

Trong tháng 4, 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 đến Hình 3. 77).

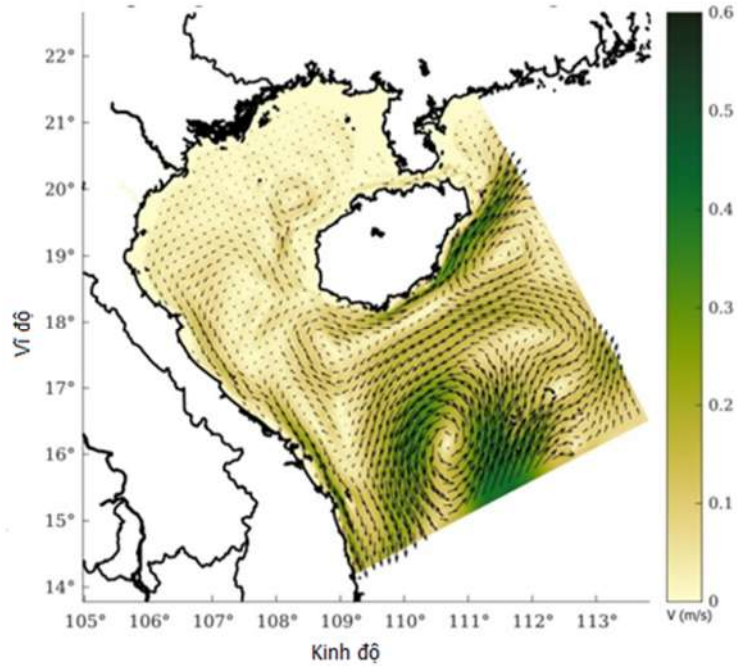
Tại các tầng sâu, xoáy nghịch nhỏ cục bộ ở phía đông cửa vịnh vẫn tồn tại trong tháng 4 và mờ nhạt dần vào tháng 5 (Hình 3. 82). Trong khi đó, xoáy thuận phía ngoài cửa vịnh có xu thế lệch về phía nam, mở rộng bán kính nhưng vận tốc dòng chảy có xu thế giảm dần.



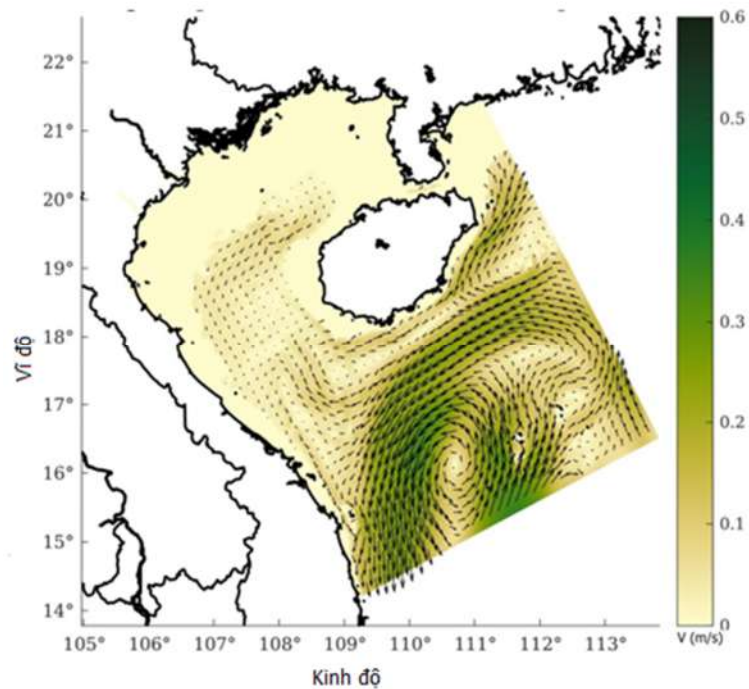
Hình 3. 74. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 4 vùng biển vịnh Bắc Bộ



Hình 3. 75. Trường dòng chảy tầng 10 mét 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

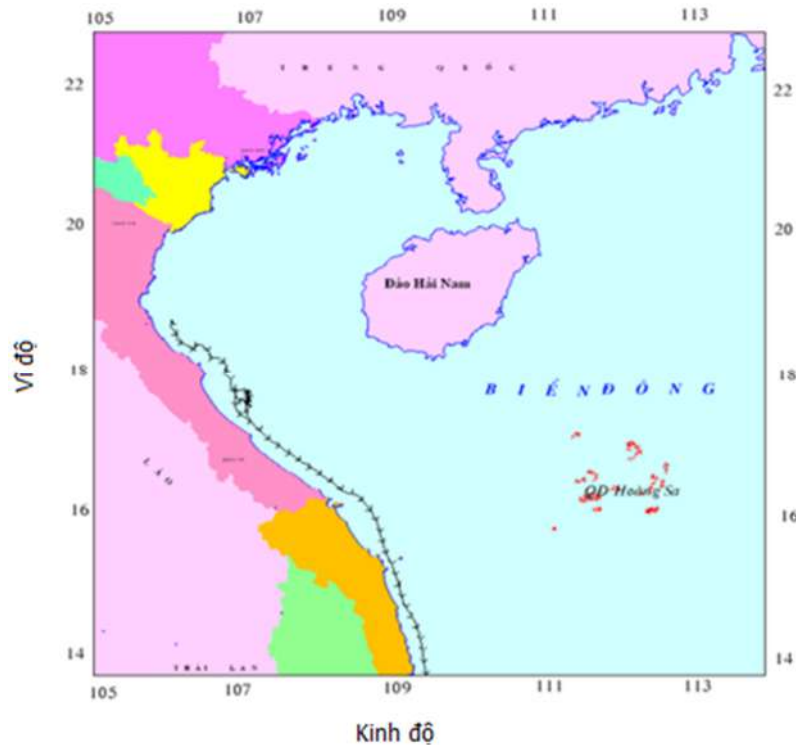


Hình 3. 77. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 4 vùng biển vịnh Bắc Bộ

Trong thời gian này, khu vực ven biển từ Nghệ An đến Đà Nẵng vẫn tồn tại dòng chảy dọc bờ nhưng với cường độ nhỏ hơn nhiều so với thời kỳ mùa đông điều

này cho thấy sự phù hợp so với các kết quả nghiên cứu, khảo sát trong sự cố Formosa Hà Tĩnh tháng 4 năm 2016 và phù hợp với quỹ đạo trôi của phao trôi được thả vào tháng 4 năm 2017 trong khuôn khổ dự án Việt Mỹ [19].

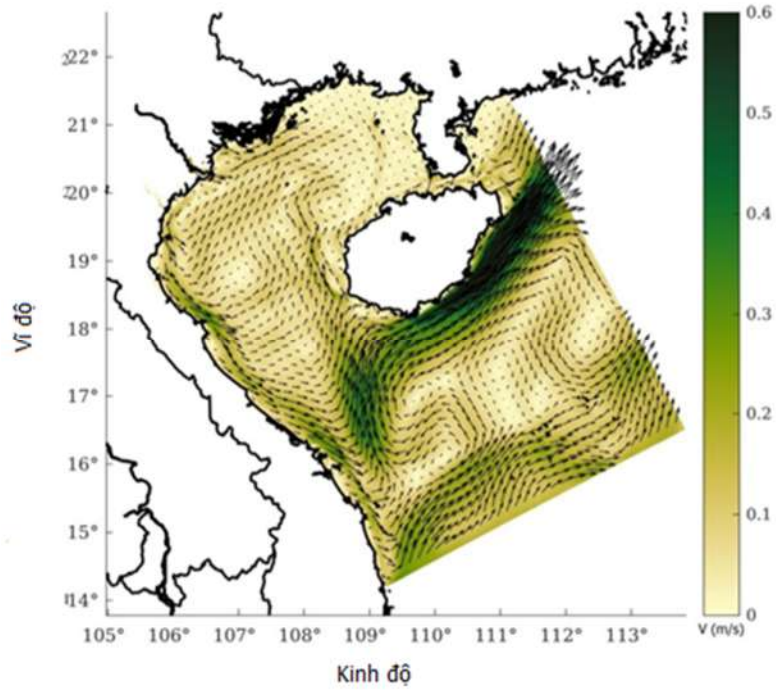
Trên Hình 3. 78 khi so sánh trường dòng chảy tầng mặt tái phân tích với quỹ đạo phao trôi còn cho thấy, khi phao trôi đến vùng biển Đông Hới - Quảng Bình có một thời gian phao trôi bị đẩy ra ngoài rồi vòng ngược lên, sau đó rồi mới tiếp tục trôi xuống phía nam, điều này phù hợp với đặc điểm của dòng chảy ven bờ khu vực này trong tháng 4 một phần bị tách ra để di chuyển ra ngoài khơi theo hướng vuông góc với bờ rồi ngược lên phía bắc theo hoàn lưu chung của vịnh và một phần vẫn tiếp tục chảy dọc bờ về phía nam.



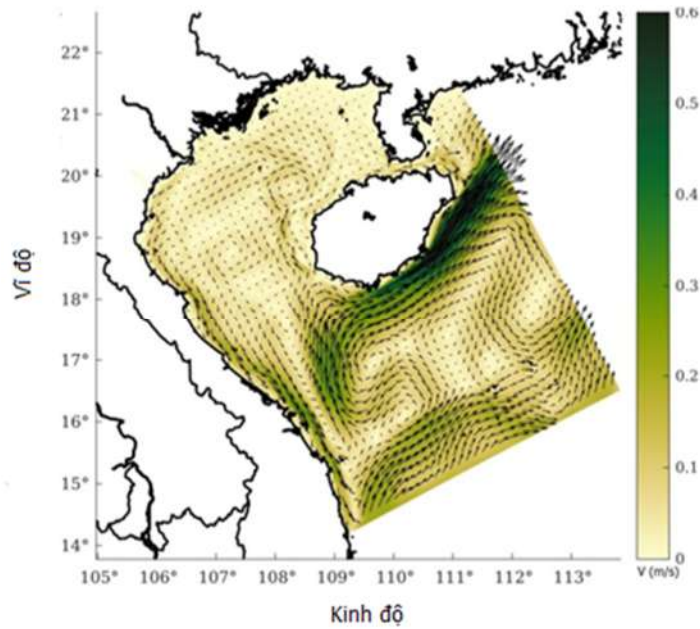
Hình 3. 78. Quỹ đạo phao trôi tháng 4 [19]

Trong thời gian tháng 5, các xoáy lớn trên vịnh Bắc Bộ bị phá vỡ. Nửa phía bắc vịnh Bắc Bộ có hướng chủ đạo bắc đông bắc. Tại nửa phía nam vịnh Bắc Bộ, khu vực ven biển từ Nghi Xuân đến Đà Nẵng vẫn tồn tại dòng ven có vận tốc khoảng 0,3 m/s. Tuy nhiên dòng ven này khi đi đến khu vực biển Quảng Ngãi sẽ

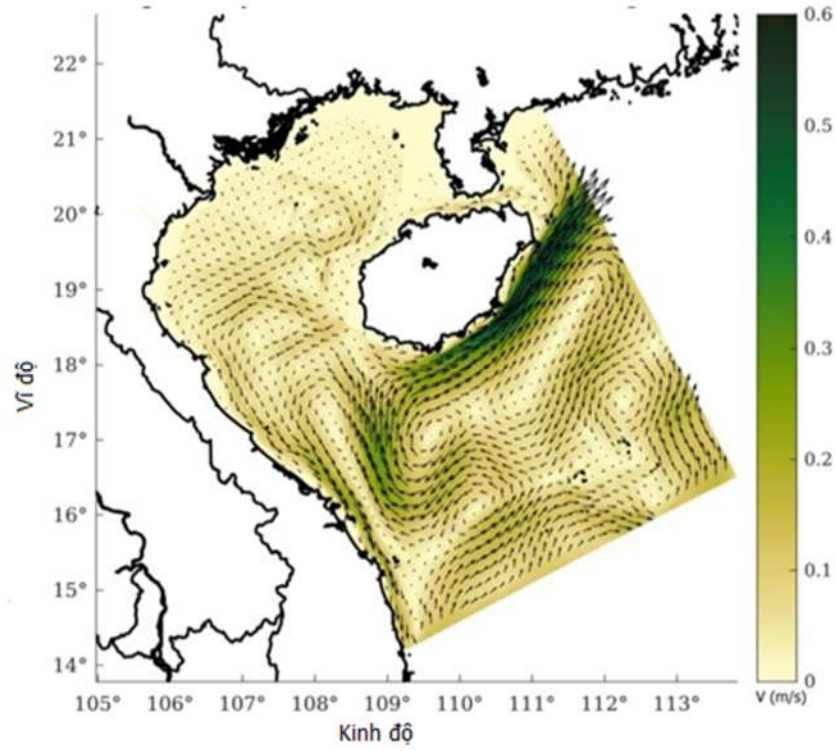
tách bờ và nhập với hoàn lưu ven biển Trung Bộ đi ngược từ phía nam lên (Hình 3. 79 đến Hình 3. 82)



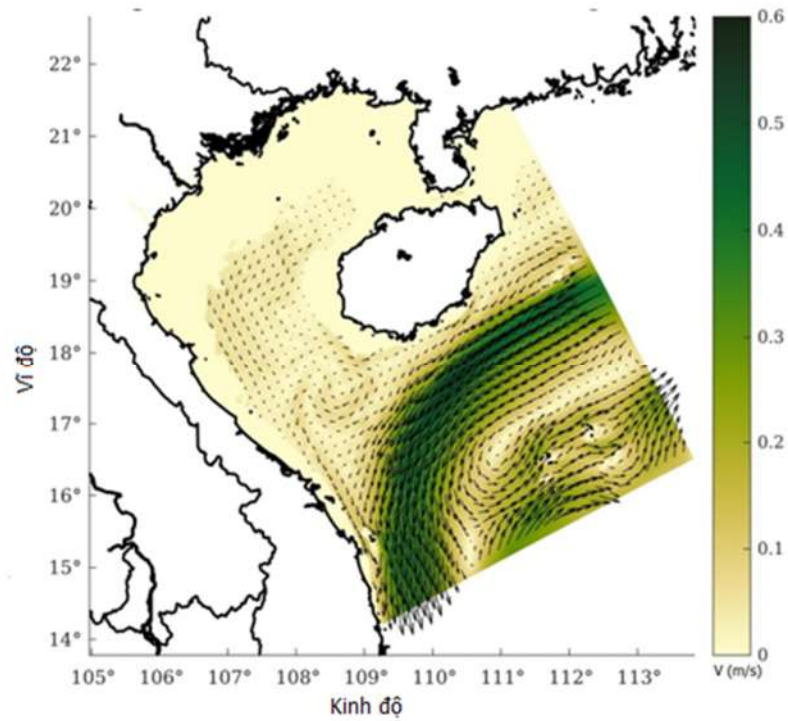
Hình 3. 79. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 5 vùng biển vịnh Bắc Bộ



Hình 3. 80. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 5 vùng biển vịnh Bắc Bộ



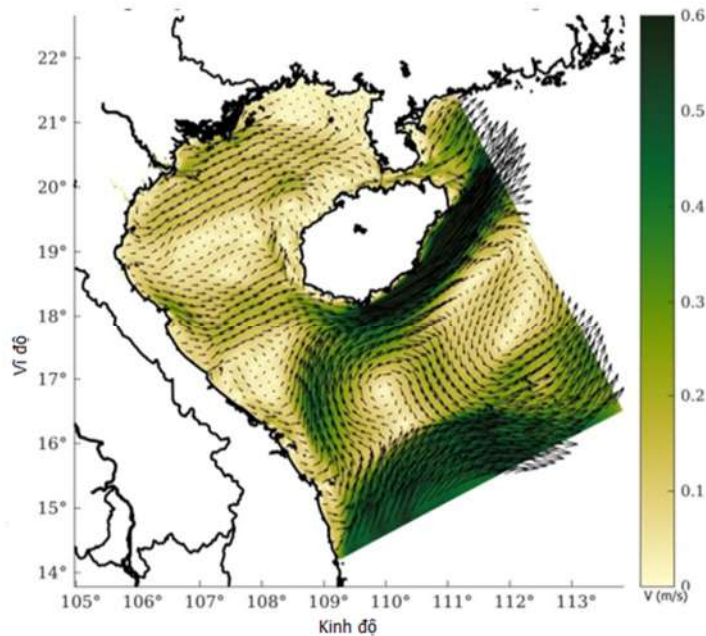
Hình 3. 81. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 5 vùng biển vịnh Bắc Bộ



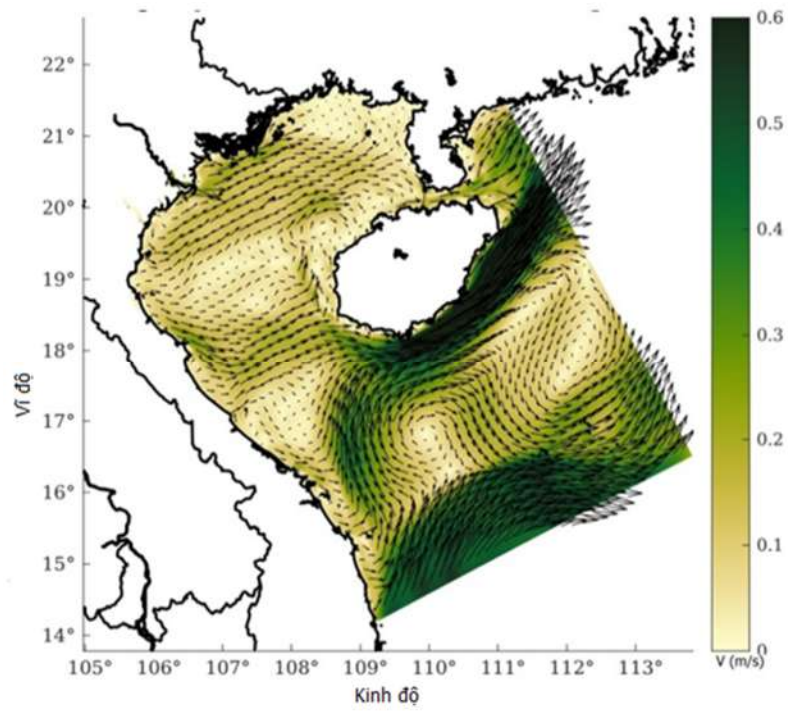
Hình 3. 82. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 5 vùng biển vịnh Bắc Bộ

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

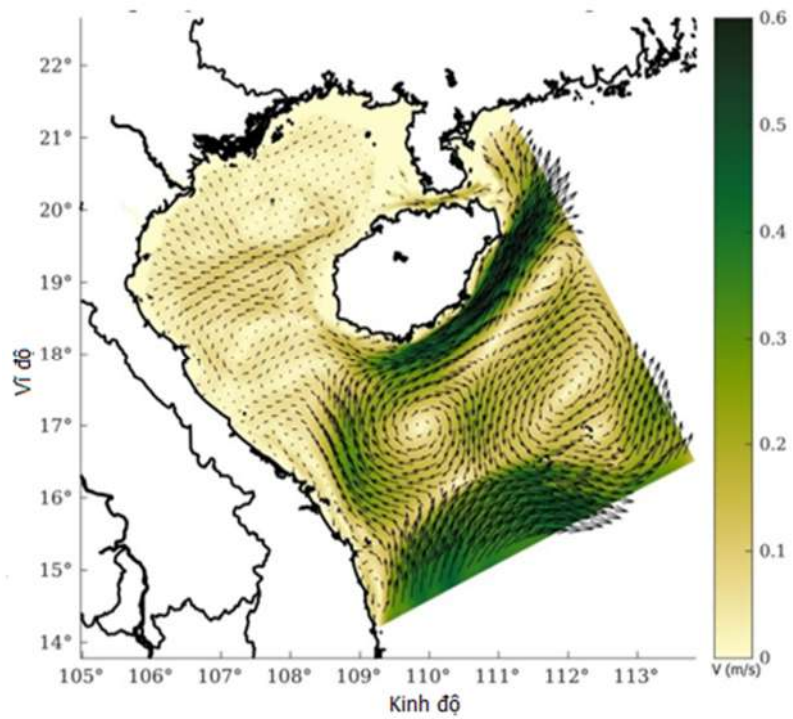
Đặc điểm chính của trường dòng chảy trong các tháng gió mùa tây nam là tồn tại một xoáy thuận ở giữa vịnh, phía bắc vịnh tồn tại một xoáy nghịch được hình thành trong các tháng chuyển từ mùa đông sang mùa hè và phát triển và thể hiện rõ ràng hơn. Trong suốt thời kỳ mùa hè, phía đông của vịnh luôn luôn có một khối nước xâm nhập vào trong vịnh ở nửa phía tây cửa vịnh và đi vào trong vịnh rồi thoát ra ở phía đông cửa vịnh đã tạo ra một xoáy nghịch lớn ở phía nam của vịnh Bắc Bộ. Xoáy nghịch này đã bắt đầu hình thành trong thời kỳ chuyển từ mùa đông sang mùa hè điển hình là trong đầu tháng 6 (Hình 3. 83 đến Hình 3. 86). Tuy nhiên, tâm của xoáy nghịch này được đẩy sâu hơn vào trong vịnh trong thời kỳ mùa hè do cường độ xâm thực mạnh mẽ của khối nước nóng men theo ven biển phía tây Biển Đông tạo nên.



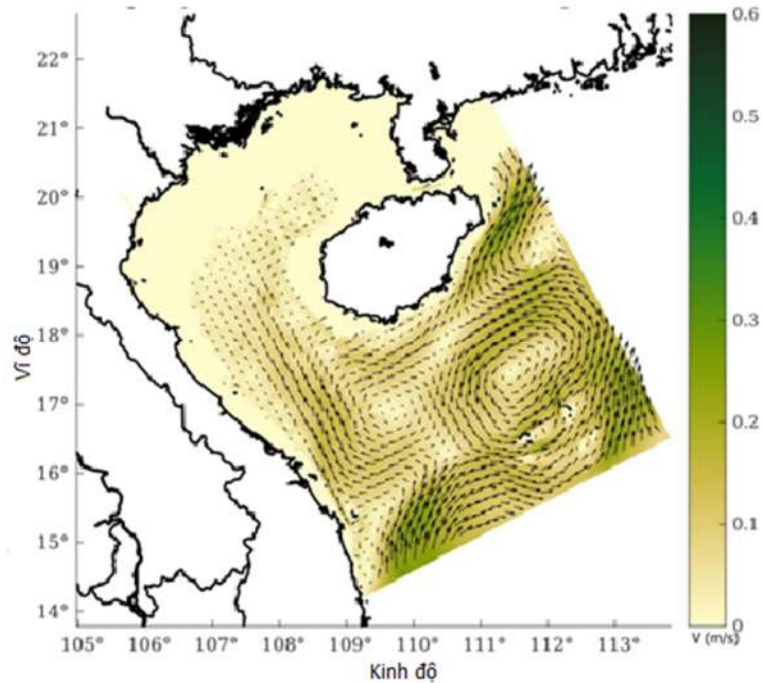
Hình 3. 83. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 6 vùng biển vịnh Bắc Bộ



Hình 3. 84. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 6 vùng biển vịnh Bắc Bộ

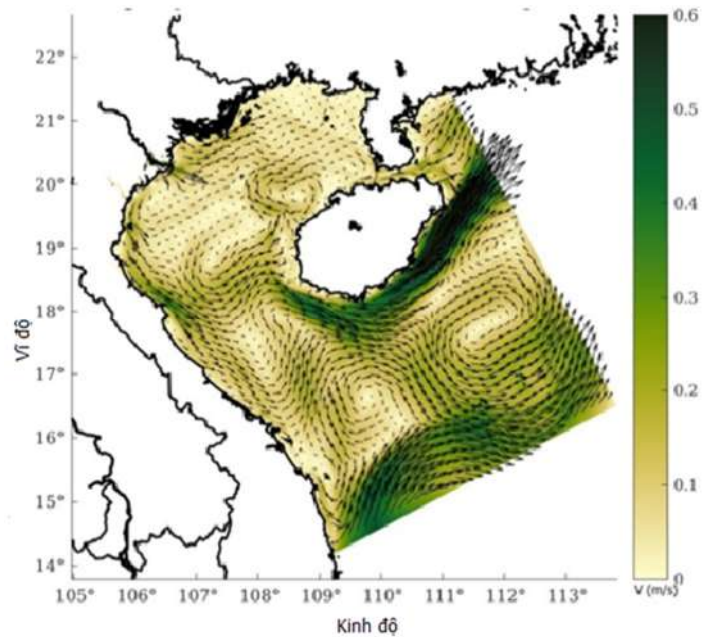


Hình 3. 85. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 6 vùng biển vịnh Bắc Bộ



Hình 3. 86. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 6 vùng biển vịnh Bắc Bộ

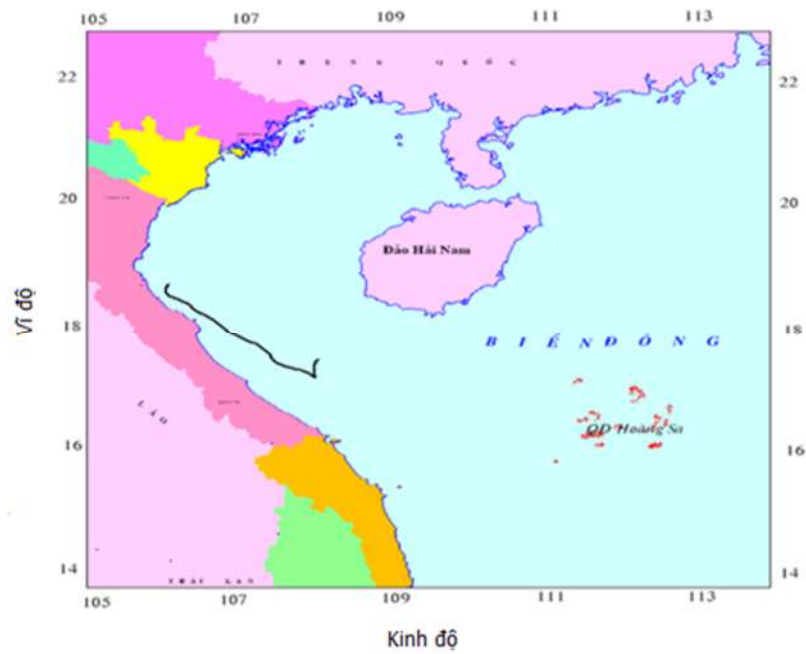
Trong thời gian kỳ gió mùa tây nam hoạt động mạnh (tháng 7), tại tầng mặt, cũng giống như thời kỳ gió mùa đông bắc, luôn tồn tại một hệ thống dòng chảy ven bờ theo hướng từ bắc xuống nam nhưng với vận tốc nhỏ hơn (khoảng 0,3 m/s) và phạm vi xuất hiện chỉ từ khu vực ven biển từ Hà Tĩnh đến Đà Nẵng **Error! Reference source not found.**, điều này được minh chứng theo quỹ đạo trôi của phao được thả vào tháng 7 năm 2017 [22]. 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 **Error! Reference source not found.**



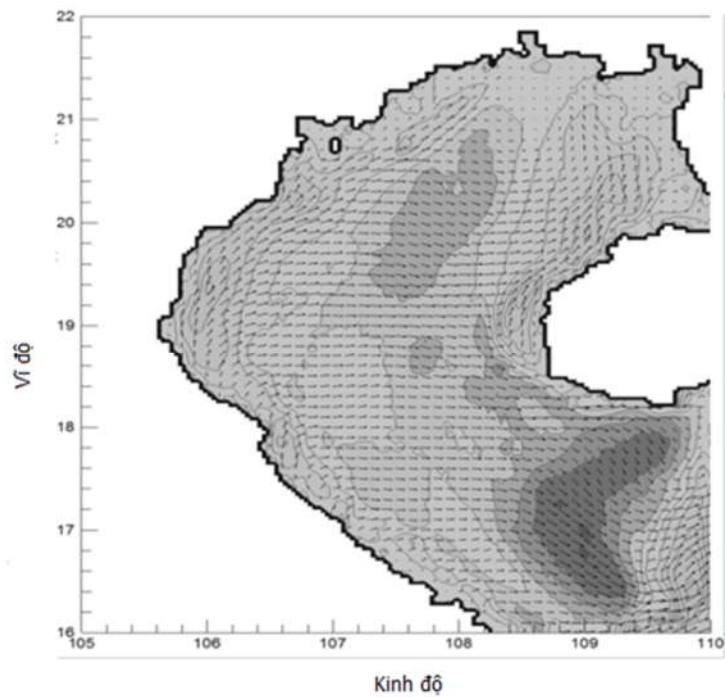
Hình 3. 87. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 7 vùng biển vịnh Bắc Bộ

Xu thế chung của trường dòng chảy tầng mặt tháng 6 (Hình 3. 83) cho thấy sự phù hợp với một số nghiên cứu trước đây như đề tài KC09.17 (Hình 3. 89) là tồn tại trường dòng chảy có xu thế xuất phát từ phía ven bờ phía tây vịnh (khu vực Thanh Hóa đến Hà Tĩnh), chia thành hai luồng dòng chảy phân tách tại khu vực giữa vịnh đi về phía đông vịnh sang bờ phía tây đảo Hải Nam, một phần ven theo bờ phía tây đảo Hải Nam ngược lên phía bắc và thoát ra ngoài Biển Đông qua eo Quỳnh Châu. Một phần men theo bờ phía tây đảo Hải Nam đi xuống phía nam và thoát ra ngoài cửa vịnh nhập vào hoàn lưu chung của bờ tây Biển Đông đi lên phía bắc. Tuy nhiên, khu vực bắc vịnh Bắc Bộ trong nghiên cứu này đã thể hiện được một số xoáy nhỏ tồn tại mà trong một số nghiên cứu khác không thể hiện được. Bên cạnh đó, khu vực biển từ Hà Tĩnh đến Đà Nẵng luôn tồn tại một dòng chảy ven bờ theo hướng từ bắc xuống nam với vận tốc nhỏ. Khi đến vùng biển Đà Nẵng thì hệ thống dòng chảy này tách bờ và chảy ra ngoài khơi, nhập với hoàn lưu ven bờ phía tây Biển Đông xâm nhập vào cửa vịnh từ phía bờ đông và đi ra ngoài vịnh ở bên phía bờ tây. Điều này cũng phù hợp khi so sánh với quỹ đạo trôi của phao được thả vào tháng 7 năm 2017 của dự án Hợp tác Việt – Mỹ [19] (Hình 3. 88) và nghiên cứu của đề tài

KC09.17 (Hình 3. 89).

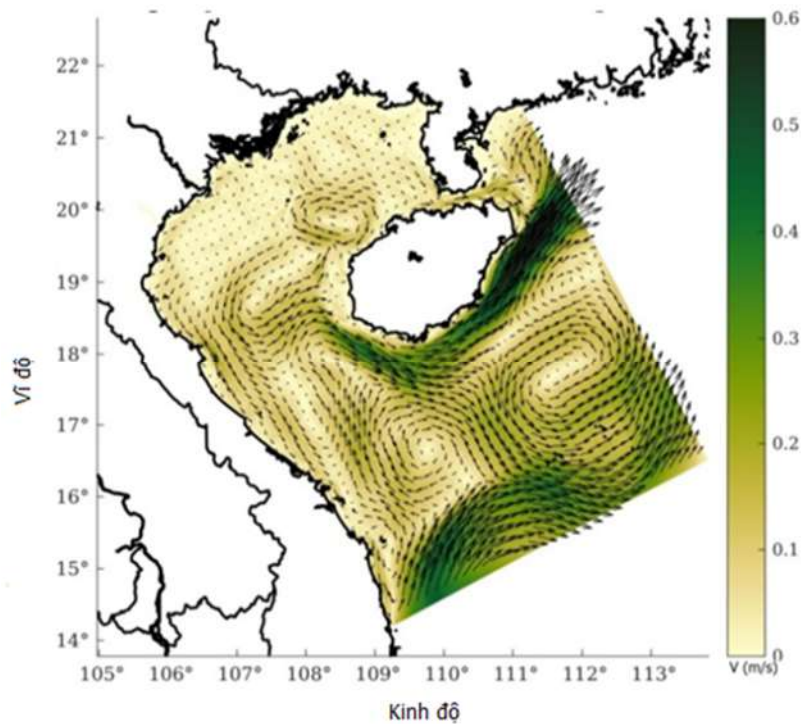


Hình 3. 88. Quỹ đạo phao trôi tháng 7 [19]

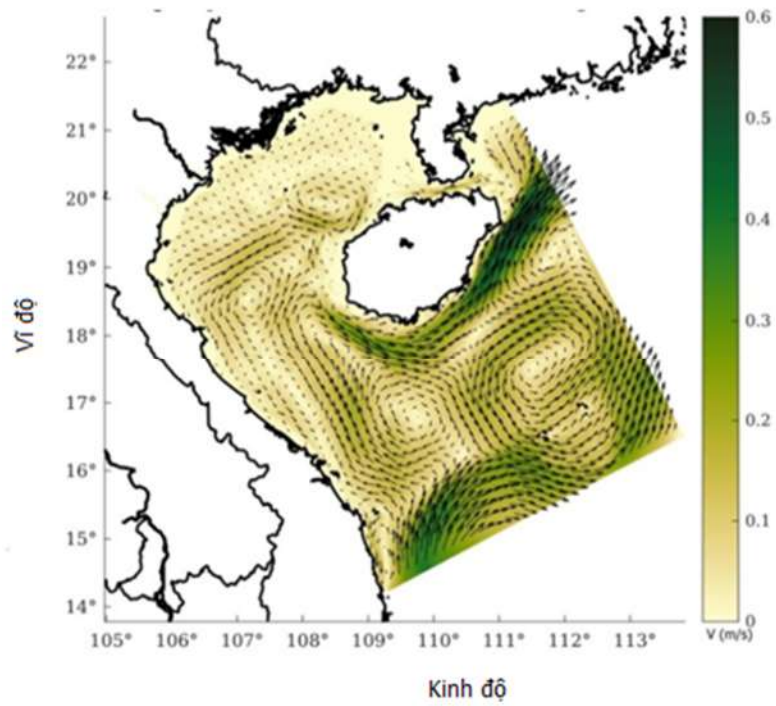


Hình 3. 89. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 7 theo đề tài KC09.17
 Tại tầng các tầng sâu trên 20 mét, khác với tầng mặt, hệ thống dòng chảy ven

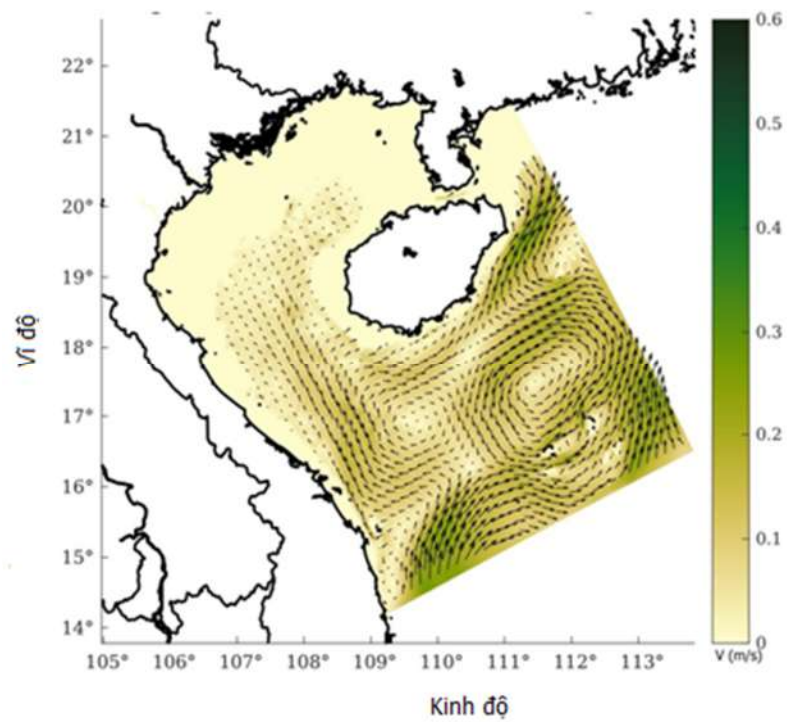
bờ thể hiện không rõ ràng và vận tốc dòng chảy tại khu vực ven bờ khá nhỏ (dưới 0,1 m/s). Đến tầng 30 mét, dòng ven này thể hiện rất mờ nhạt và hầu như không còn tồn tại. Tuy nhiên, cũng giống tầng mặt, tại vị trí tây cửa vịnh Bắc Bộ vẫn tồn tại hệ thống dòng chảy nhưng với quy mô nhỏ hơn tầng mặt, vận 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 3. 91 đến Hình 3. 92).



Hình 3. 90. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 7 vùng biển vịnh Bắc Bộ



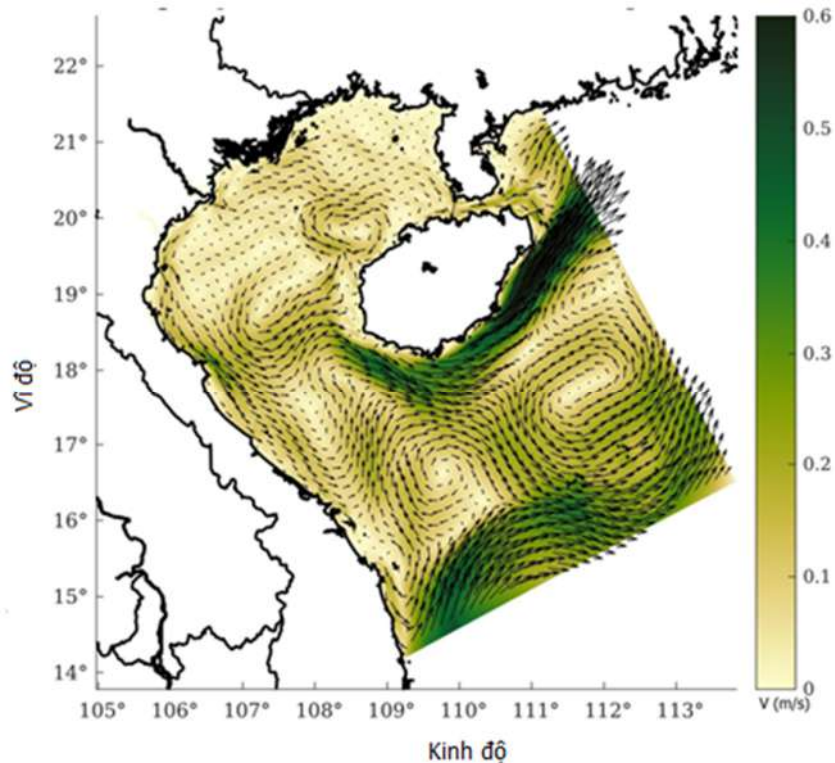
Hình 3. 91. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 7 vùng biển vịnh Bắc Bộ



Hình 3. 92. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 7 vùng biển vịnh Bắc Bộ

Trong tháng 8, đặc điểm của trường dòng chảy trên vịnh Bắc Bộ vẫn phản ánh các đặc điểm chính trong thời kỳ gió mùa tây nam. Tuy nhiên, tâm của xoáy nghịch ở khu vực cửa vịnh Bắc Bộ đã bị đẩy ra ngoài cửa vịnh và hoàn lưu ảnh hưởng của dòng ven phía tây Biển Đông từ khu vực Trung Trung Bộ đi lên không còn rõ ràng như trong thời gian tháng 7 (Hình 3. 93 đến Hình 3. 97).

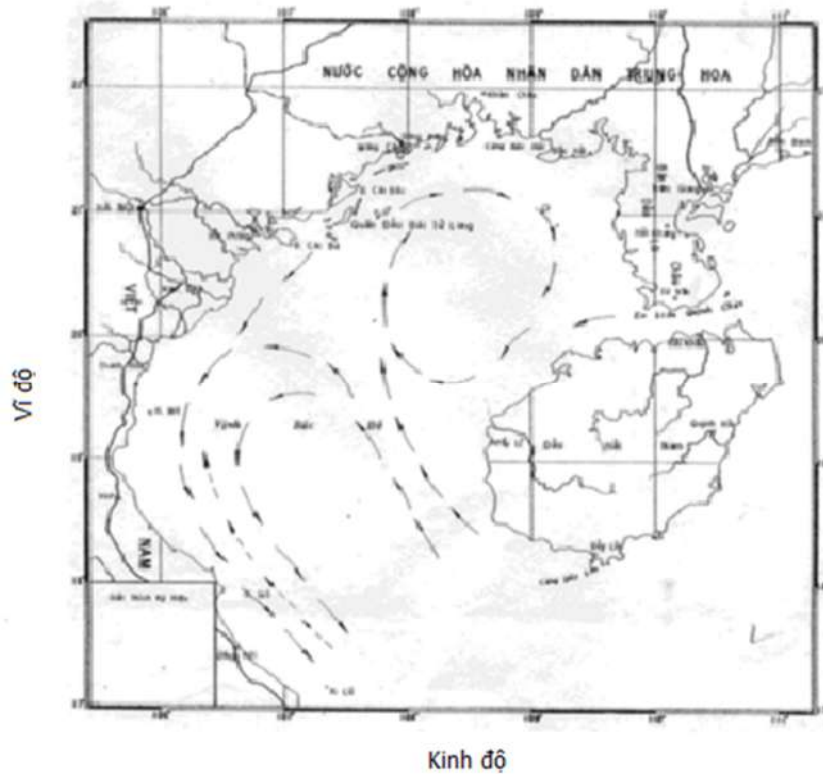
Tại các tầng sâu từ 30 mét trở xuống, xoáy thuận ở giữa vịnh xuất hiện (Hình 3. 86, Hình 3. 92 và Hình 3. 97). Chỉ thể hiện rõ các xoáy nghịch ở ngoài cửa vịnh với vận tốc dao động từ 0,15 – 0,2 m/s.



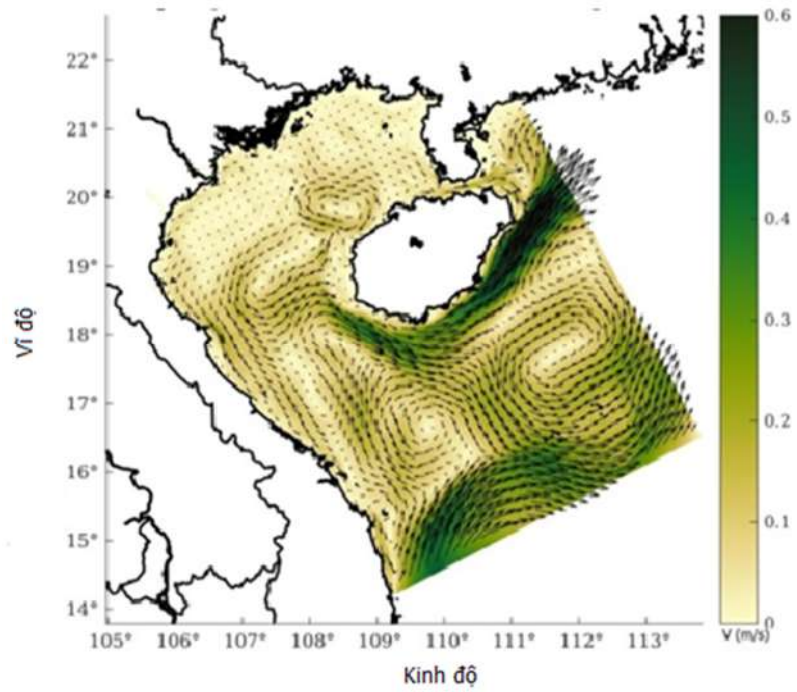
Hình 3. 93. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 8 vùng biển vịnh Bắc Bộ

Khi so sánh trường dòng chảy tầng mặt tháng 8 (Hình 3. 93) và trường dòng chảy theo [1] (Hình 3. 94) cho thấy có một số nét tương đồng sau: khu vực phía bắc vịnh cả hai nghiên cứu đều thể hiện có một xoáy nghịch với quy mô khoảng 150 km tồn tại và có một dòng ven có hướng từ bắc xuống nam ven theo bờ phía tây ra ngoài cửa vịnh. Ngoài ra, từ cửa vịnh có một dòng chảy đi ngược vào trong vịnh,

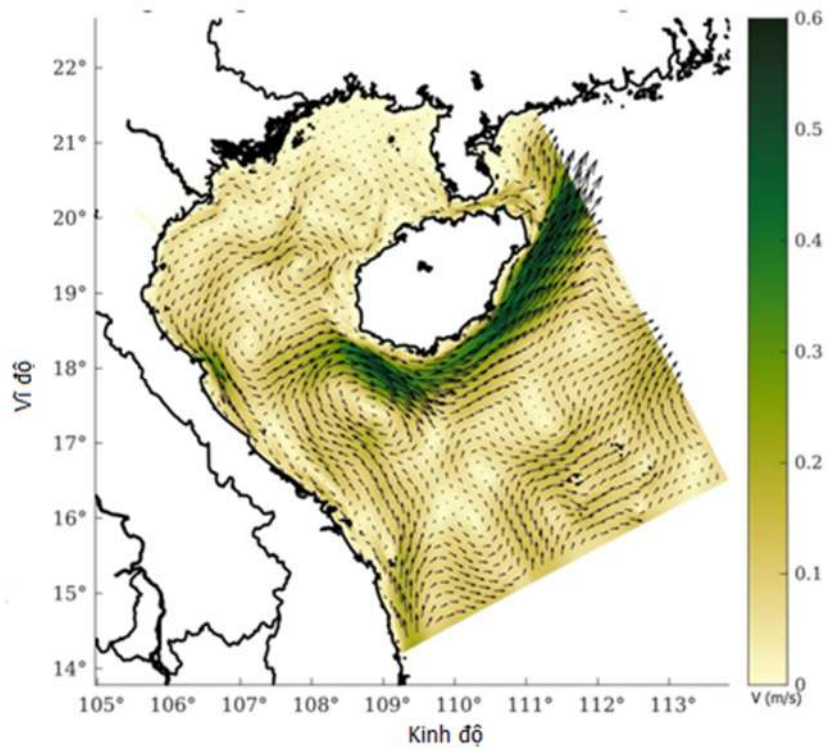
tuy nhiên trong nghiên cứu này, dòng chảy này đến giữa vịnh rồi nhập vào dòng từ phía tây vịnh chảy sang phía đông, đến đảo Hải Nam sẽ ven theo bờ đảo đi ngược trở ra ngoài Biển Đông. Trong khi đó, theo [1] thì dòng chảy này sẽ tiếp tục đi lên phía bắc, một phần nhập vào hoàn lưu xoáy nghịch phía bắc vịnh, một phần đi sang phía tây vịnh rồi ven theo bờ tây đổ ra ngoài cửa vịnh.



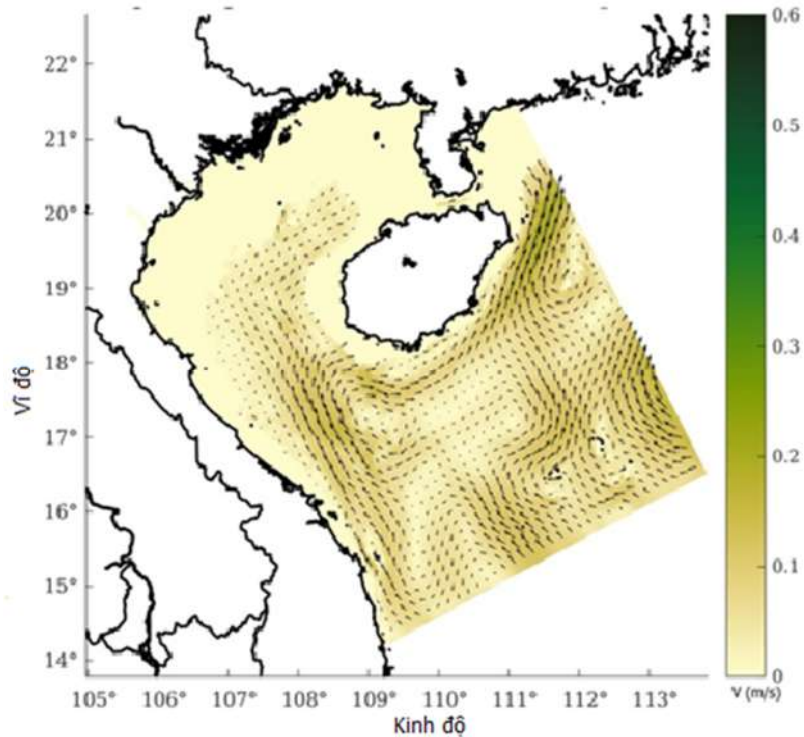
Hình 3. 94. Sơ đồ dòng chảy vịnh Bắc Bộ trong mùa hè theo Báo cáo kết quả điều tra tổng hợp vịnh Bắc Bộ (1964) [1]



Hình 3. 95. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 8 vùng biển vịnh Bắc Bộ



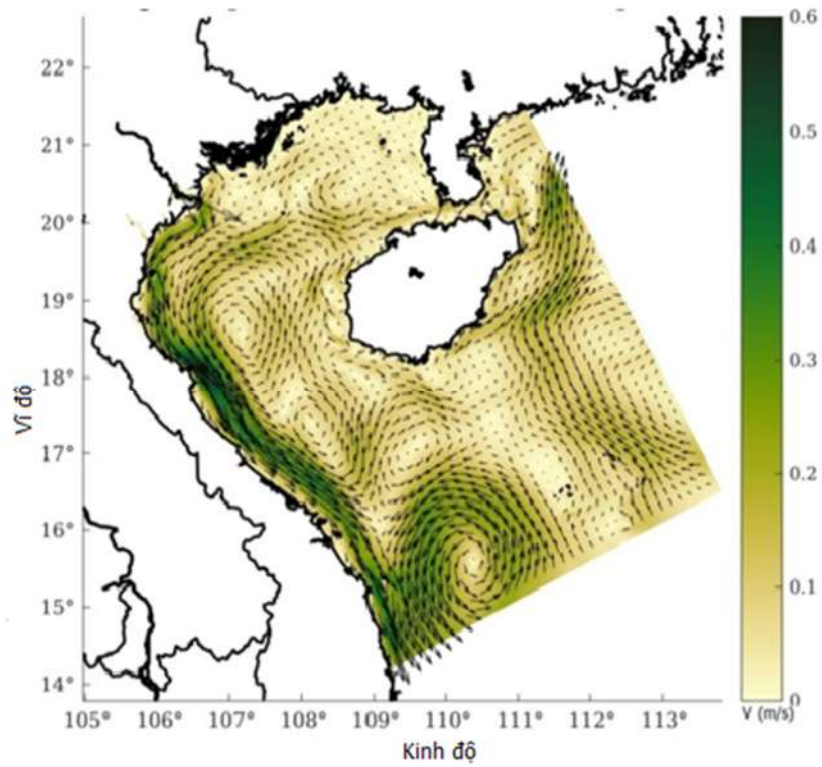
Hình 3. 96. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 8 vùng biển vịnh Bắc Bộ



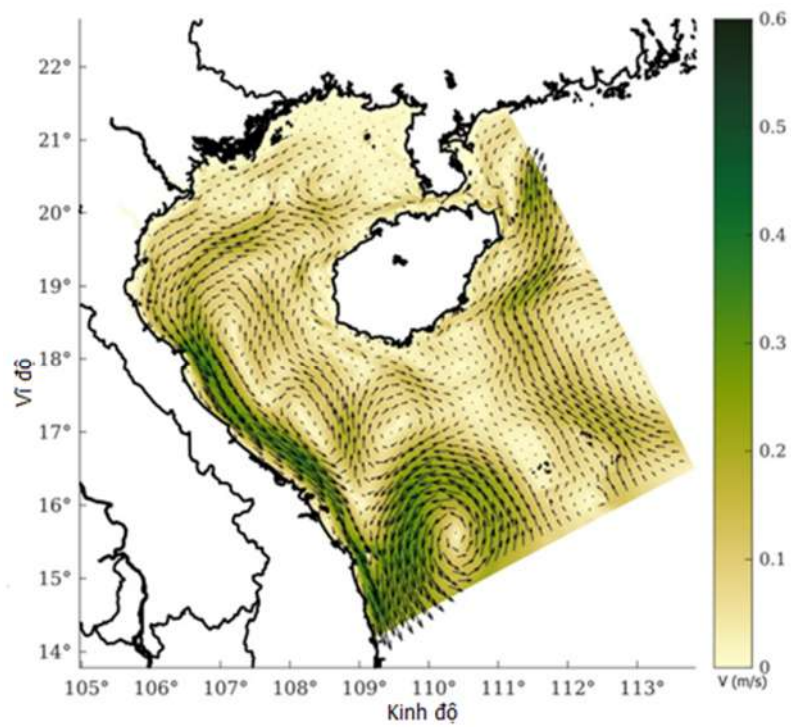
Hình 3. 97. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 8 vùng biển vịnh Bắc Bộ

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

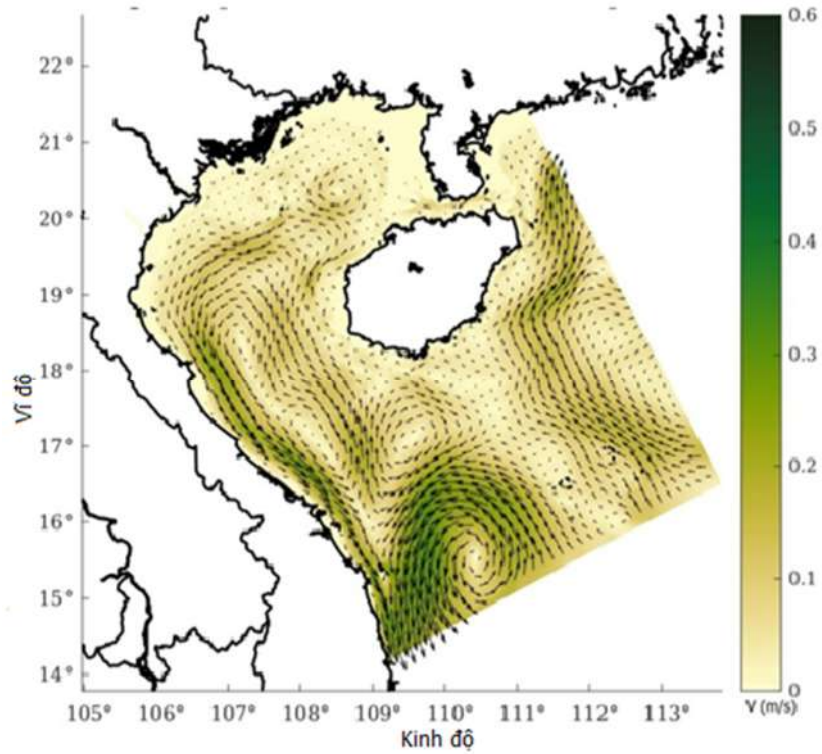
Trong thời kỳ chuyển tiếp từ mùa hè sang mùa đông (tháng 9 đến tháng 11), trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ cho thấy khu vực phía nam vịnh Bắc Bộ, trong đó, bắt đầu từ tháng 9 xoáy thuận dần dần được hình thành (Hình 3. 98 đến Hình 3. 18). Nhận định này được khẳng định khi so sánh với quỹ đạo của phao trôi khi được thả vào tháng 9 năm 2017 tại vùng biển Nghi Xuân – Hà Tĩnh. Trên Hình 3. 102 cho thấy, sau khi được thả, phao trôi theo một vòng khép kín tương ứng với quy mô của xoáy thuận tồn tại trong tháng 9 sau đó mới trôi về phía nam khi gặp dòng chảy dọc bờ.



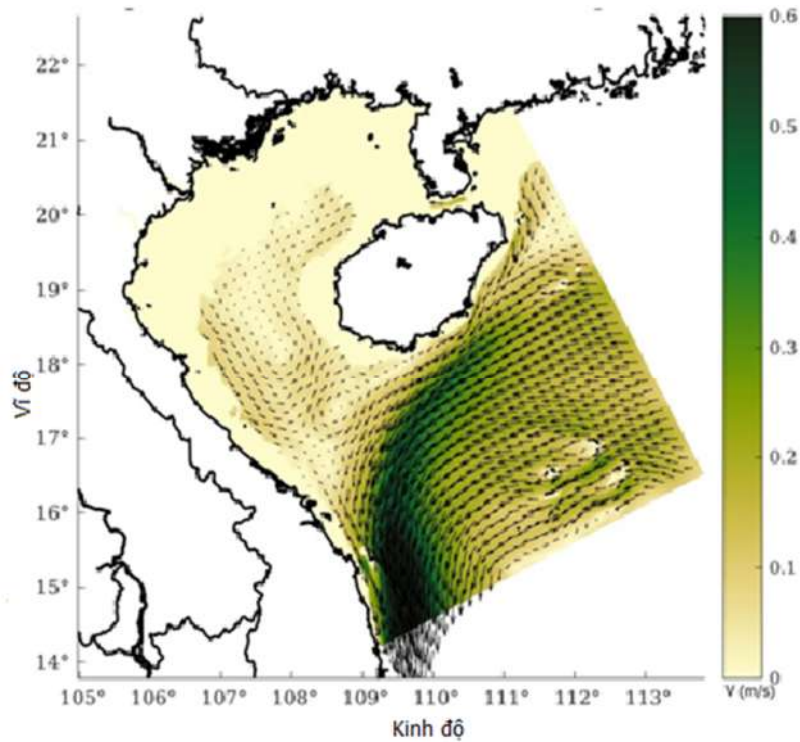
Hình 3. 98. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 9 vùng biển vịnh Bắc Bộ



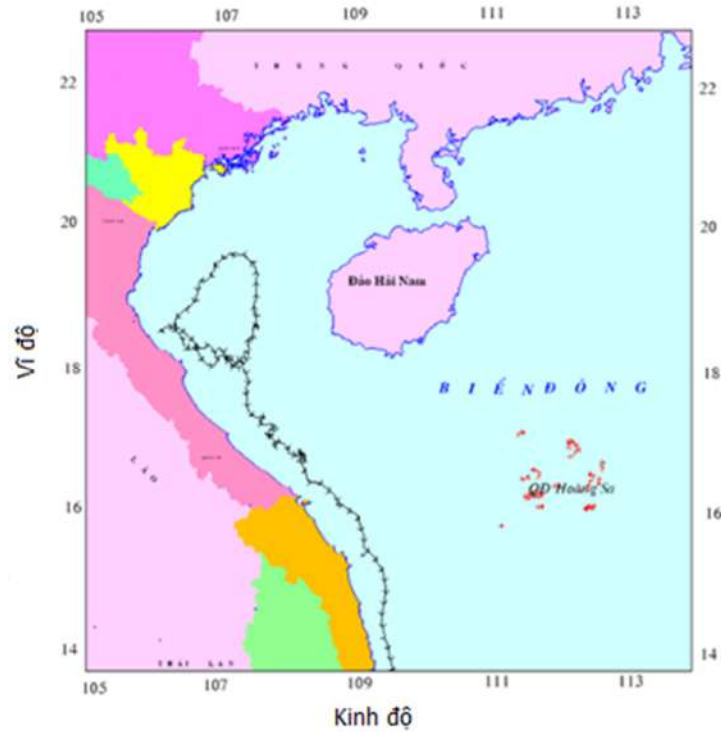
Hình 3. 99. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 9 vùng biển vịnh Bắc Bộ



Hình 3. 100. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 9 vùng biển vịnh Bắc Bộ

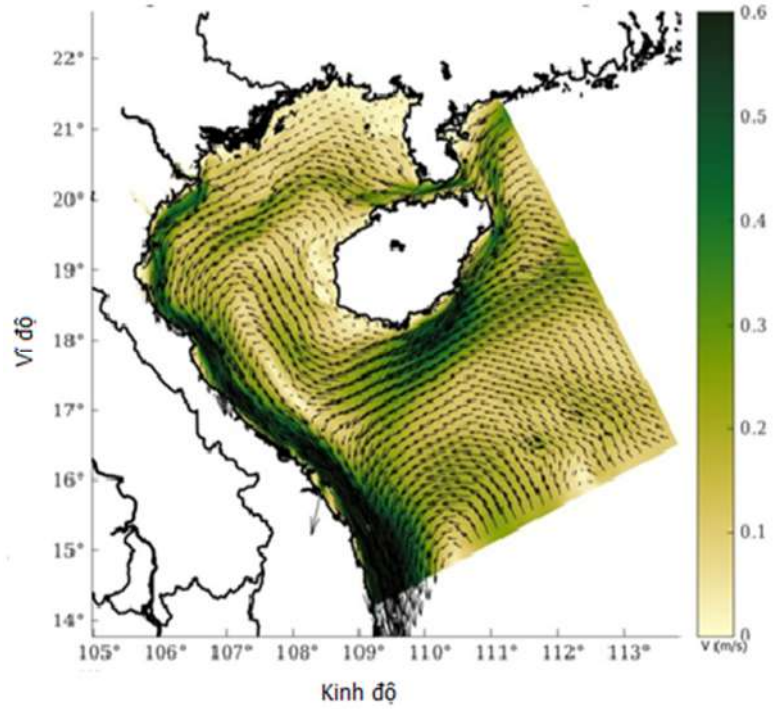


Hình 3. 101. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 9 vùng biển vịnh Bắc Bộ

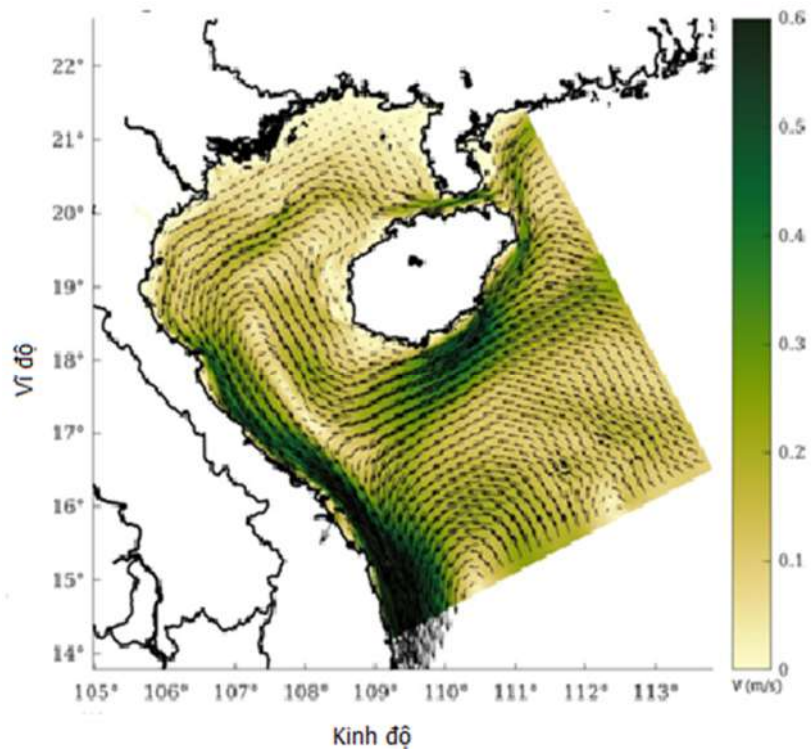


Hình 3. 102. Quỹ đạo phao trôi tháng 9 vùng biển vịnh Bắc Bộ [19]

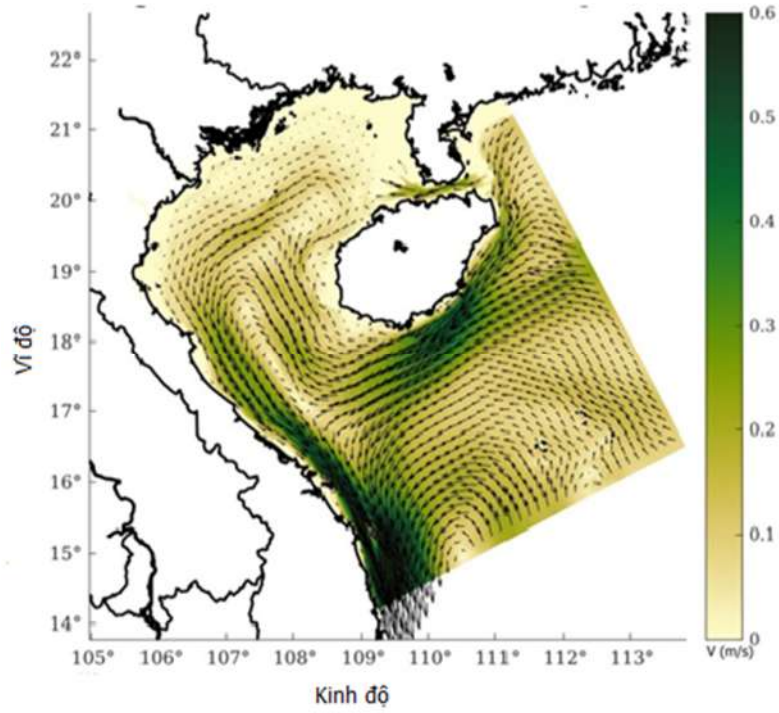
Khu vực phía ngoài cửa vịnh xoáy nghịch trong các tháng mùa hè đã được thay thế bằng một xoáy thuận có quy mô lớn trong các tháng 9 và tháng 10, đến tháng 11 xoáy nghịch này không còn tồn tại và thay vào đó là một hoàn lưu lạnh từ phía bắc Biển Đông xâm nhập vào khu vực ven biển miền Trung, điển hình là trong tháng 10 (Hình 3. 103 đến Hình 3. 106). Trong thời kỳ này cũng luôn tồn tại dòng chảy từ phía Bắc xuống phía nam dọc theo ven biển phía tây vịnh Bắc Bộ. Điều này phù hợp với quỹ đạo của phao trôi được thả trong tháng 10 (Hình 3. 107).



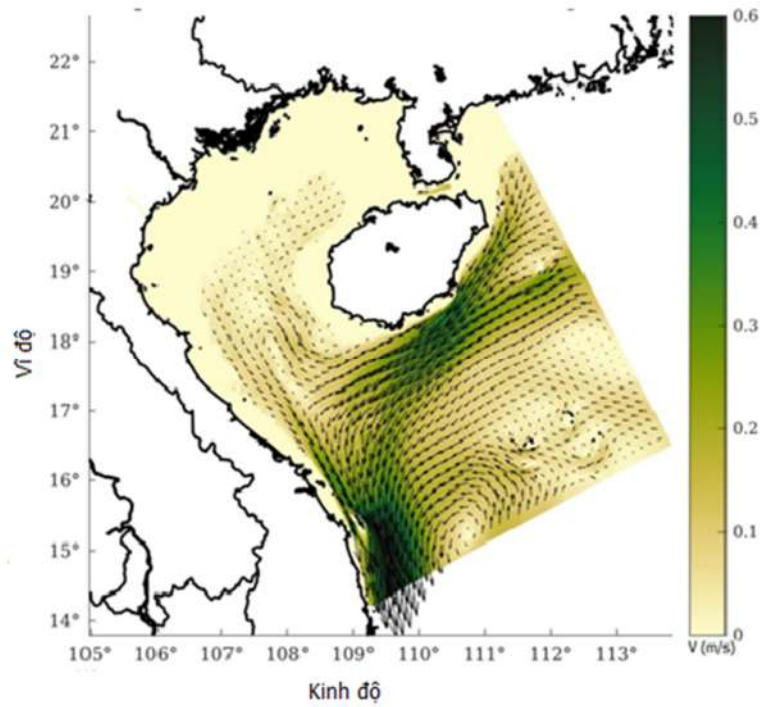
Hình 3. 103. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 10 vùng biển vịnh Bắc Bộ



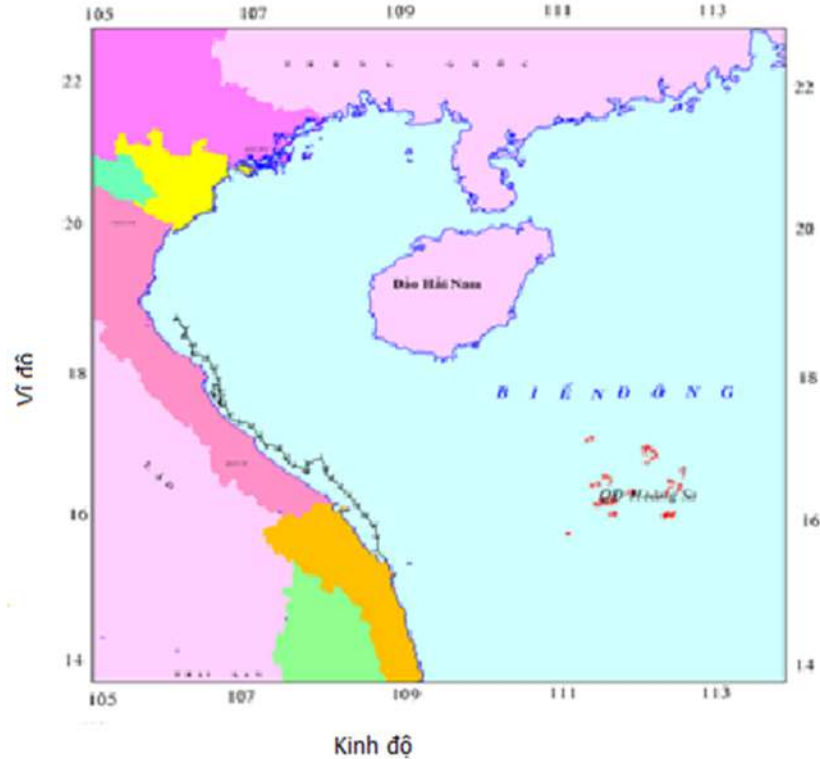
Hình 3. 104. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 10 vùng biển vịnh Bắc Bộ



Hình 3. 105. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 10 vùng biển vịnh Bắc Bộ

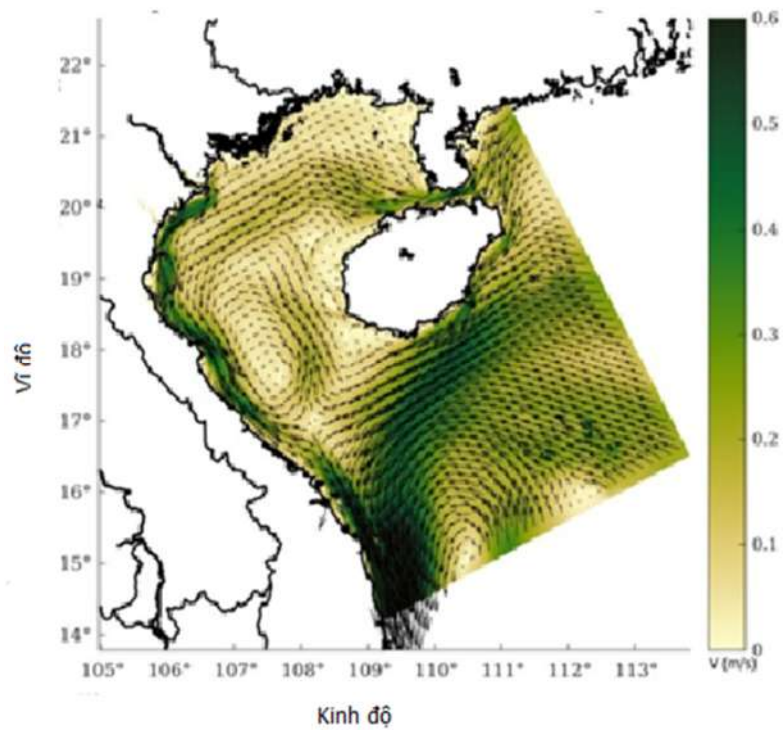


Hình 3. 106. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 10 vùng biển vịnh Bắc Bộ

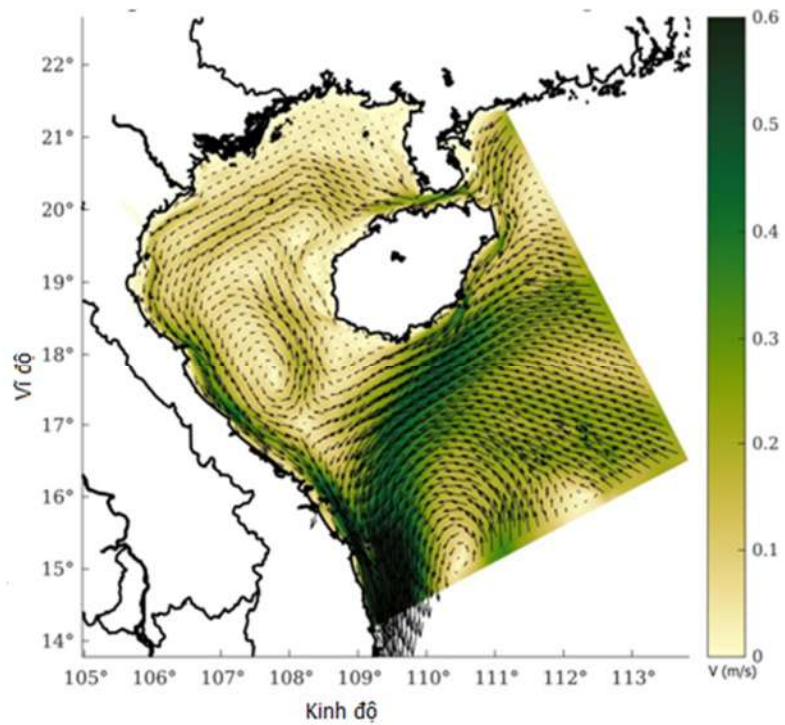


Hình 3. 107. Quỹ đạo phao trôi thả tháng 10 vùng biển vịnh Bắc Bộ [19]

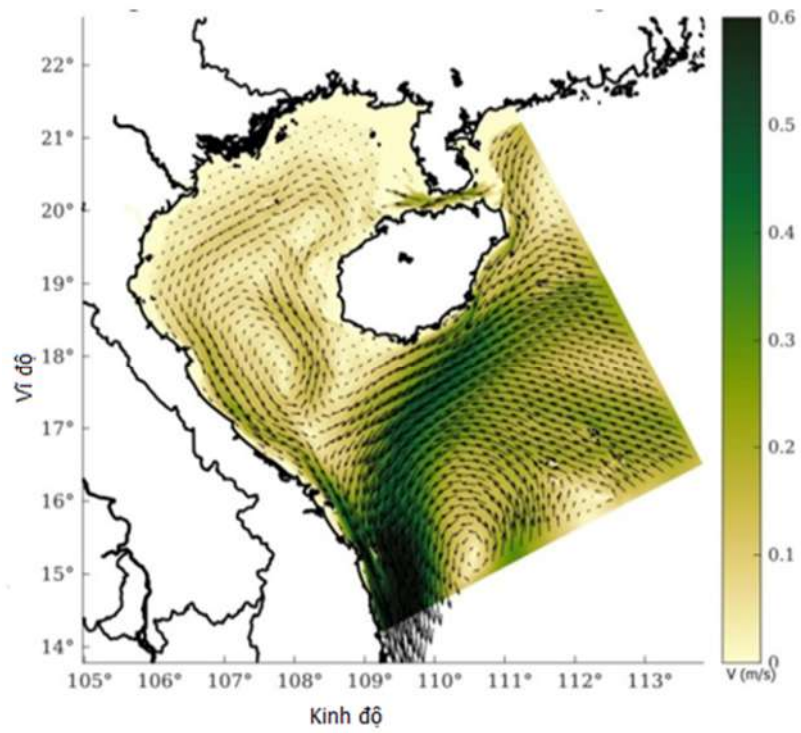
Đến tháng 11, bức tranh hoàn lưu trên vịnh Bắc Bộ đã mang đặc điểm như trong thời kỳ gió mùa đông bắc, điển hình là hoàn lưu xoáy nghịch có quy mô lớn ở nửa phía nam của vịnh Bắc Bộ. Hệ thống dòng chảy ven bờ đã mở rộng từ khu vực ven biển Hải Phòng xuống phía nam và nhập với hoàn lưu chung phía tây từ phía bắc Biển Đông ven theo rìa phía nam của đảo Hải Nam xâm nhập vào vùng biển Trung Trung Bộ (Hình 3. 108 đến hình Hình 3. 111).



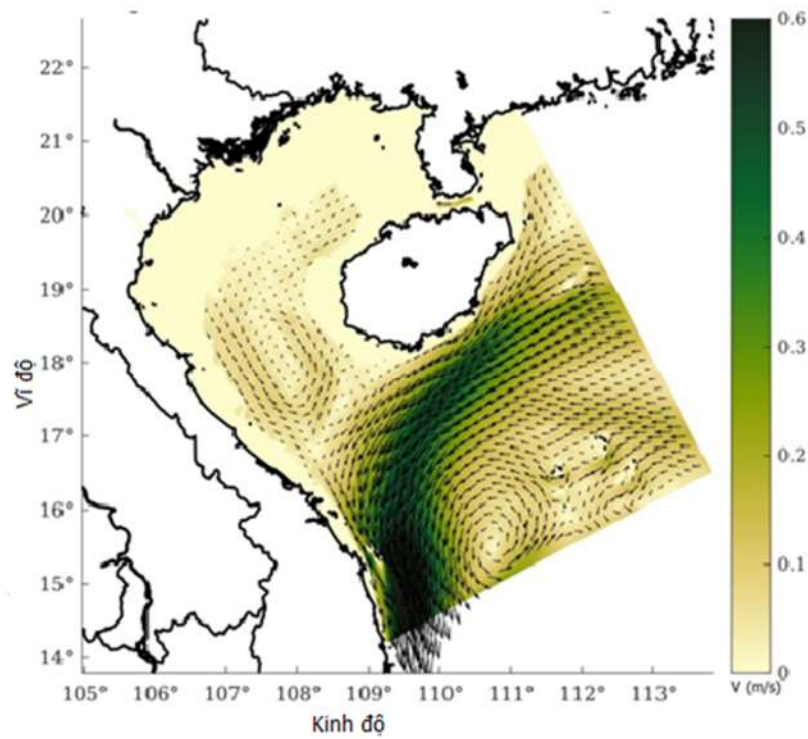
Hình 3. 108. Trường dòng chảy tầng mặt trung bình tháng 11 vùng biển vịnh Bắc Bộ



Hình 3. 109. Trường dòng chảy tầng 10 mét trung bình tháng 11 vùng biển vịnh Bắc Bộ

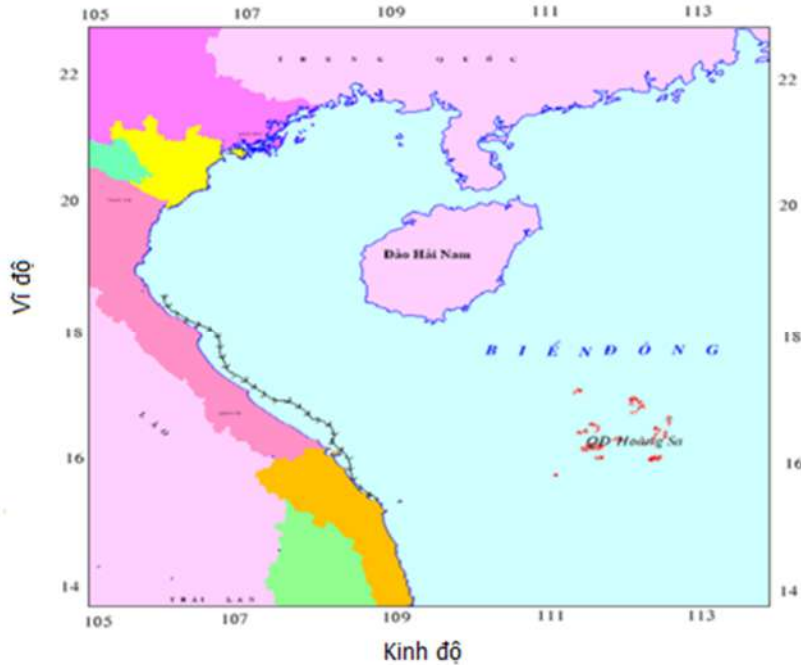


Hình 3. 110. Trường dòng chảy tầng 20 mét trung bình tháng 11 vùng biển vịnh Bắc Bộ



Hình 3. 111. Trường dòng chảy tầng 50 mét trung bình tháng 11 vùng biển vịnh Bắc Bộ

Hoàn lưu ven bờ trong thời kỳ này cũng được chứng minh bởi quỹ đạo trôi của phao khi thả ở vùng biển ven bờ Nghi Xuân trong thời tháng 11 [19] (Hình 3. 112).



Hình 3. 112. Quỹ đạo phao trôi thả tháng 11 vùng biển vịnh Bắc Bộ [19]

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 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 thềm 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 thềm 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 Huấn, 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, tr. 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, tr. 28-37.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng việt

1. Bộ Tài Nguyên Môi trường (1964), *Báo cáo kết quả điều tra tổng hợp Vịnh Bắc Bộ*, Chương trình hợp tác Việt – Trung điều tra tổng hợp vịnh Bắc Bộ.
2. Trần Văn Chung, Bùi Hồng Long (2015), “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* T. 15(4), tr. 320-333.
3. Nguyễn Kim Cương (2021), “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*.
4. 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.
5. Trần Mạnh Cường, Nguyễn Kim Cương (2016), “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*, Tập 32, Số 3S, tr. 26 - 33.
6. Nguyễn Minh Huân (2010), *Nghiên cứu phát triển và ứng dụng công nghệ dự báo ngắn hạn trường các yếu tố thủy văn biển khu vực Biển Đông*, Đề tài cấp nhà nước KC.09.16/06-10.
7. Nguyễn Minh Huân (2015), *Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ dự báo quỹ đạo chuyển động trôi trên mặt nước của vật thể phục vụ công tác tìm kiếm cứu hộ, cứu nạn trên Biển Đông*, Đề tài KC.09.27/11-15, 2011, Chương trình Khoa học công nghệ cấp Nhà nước KC.09/11-15.
8. Hà Thanh Hương (2017), *Nghiên cứu mô phỏng chế độ thủy văn và hoàn lưu Vịnh Bắc*, Luận án tiến sỹ, Trường đại học Khoa học Tự nhiên Hà nội.
9. Hà Thanh Hương (2016), “Xác định cấu trúc nhiệt độ Vịnh Bắc Bộ”, *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các khoa học trái đất và môi trường* tập 32 (3S), tr.109-115.
10. 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.
11. Nhà xuất bản Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam (1999). *Atlas Quốc gia Việt Nam*, Hà Nội.
12. Lê Đình Mậu, Nguyễn Đức Thịnh, Nguyễn Văn Tuấn, Nguyễn Chí Công, Phạm Sỹ Hoàn, Nguyễn Trương Thanh Hội, Vũ Tuấn Anh, Nguyễn Thị Thùy Dung (2017), “Đặc điểm dòng chảy ven bờ Bắc Trung Bộ thời kỳ 4/2016”, *Tạp chí Khoa*

học Công nghệ biển, tập 17, Số 4, 364-372.

13. 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.*
14. Nguyễn Trung Thành (2020), *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.
15. Vũ Văn Thăng, Trần Duy Thúc, Nguyễn Quang Trung (2019), “Thử nghiệm đồng hóa số liệu băng 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.
16. Trần Quang Tiến, Nguyễn Thanh Trang (2014), “Thử nghiệm đồng hóa số liệu độ cao sóng biển quan trắc bằng radar biển trong mô hình SWAN”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số 647 tr.31-35.
17. Đinh Văn Ưu (2000), *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.
18. Đinh Văn Ưu, Nguyễn Kim Cương, Hà Thanh Hương và Nguyễn Nguyệt Minh (2015). “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*, T. 31(3S), tr. 269.
19. Trung tâm Hải văn, Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam (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*, Báo cáo kết quả thực hiện dự án.
20. Trung tâm Hải văn, Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam (2015), Báo cáo tổng kết nhiệm vụ Đánh giá độ chính xác giữa số liệu quan trắc sóng, dòng chảy bằng máy với radar các trạm Nghi Xuân, Đông Hới.
21. Trung tâm khí tượng Thủy văn biển (2006), *Điều tra tổng hợp điều kiện tự nhiên, tài nguyên môi trường Vịnh Bắc Bộ*, Báo cáo Tổng kết đề tài KC.09-17.

Tiếng Anh

22. Andrew M. Moore, Hernan G. Arango, Gregoire Broquet, Brian S. Powel, 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*
23. Breivik and Sætra (2001), Real time assimilation of HF radar currents into a coastal ocean model, *Journal of Marine Systems*, 28 (3-4), pp 161-182, doi:10.1016/S0924-7963(01)00002-1.
24. 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

25. Dr. James A. Carton (2000), A Simple Ocean Data Assimilation Analysis of the Global Upper Ocean 1950–95, *Journal of Physical Oceanography* 30(2):294-309, DOI:10.1175/1520-0485(2000)030<0294:ASODAA>2.0.CO;2

26. Ganesh Gopalakrishnan (2008), 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*.

27. G Gopalakrishnan & A F Blumberg (2012) Assimilation of HF radar-derived surface currents on tidal-timescales, *Journal of Operational Oceanography*, 5:1, 75-87, DOI: 10.1080/1755876X.2012.11020133.

28. Hoteit, I., et al., 2018: Data assimilation in oceanography: Current status and new directions. In "New Frontiers in Operational Oceanography", E. Chassignet, A. Pascual, J. Tintoré, and J. Verron, Eds., GODAE OceanView, 465-512, doi:10.17125/gov2018.ch17

29. Javier Zavala-garay, John Wilkin, Cuong Nguyen Kim and Duc Dang Dinh (2020), Towards the development of a regional observing/modeling system in Vietnam: Lessons from a short-term training in the use of the Regional Ocean Modeling System (ROMS), *Ocean Science Meeting*, San Diego, CA, USA.

30. Jingsong Gao & Huijie Xue & Fei Chai & Maochong Shi (2013), Modeling the circulation in the Gulf of Tonkin, South China Sea, *Ocean dynamics*, august.

31. Johannes Schulz-Stellenfleth, Silvia Foerderreuther, Jochen Horstmann and Joanna Staneva (2021), Optimisation of Parameters in a German Bight Circulation Model by 4DVAR Assimilation of Current and Water Level Observations, *Original research article*, Sci. 8:648266. doi: 10.3389/fmars.2021.648266

32. Julien Marmain, Anne Molcard, Philippe Forget, Alexander Barth, Yann Ourmieres (2014), Assimilation of HF radar surface currents to optimize forcing in the northwestern Mediterranean Sea. *Nonlinear Processes in Geophysics*, European Geosciences Union (EGU), 21, pp.659-675. ff10.5194/npg21-659-2014ff. fhal-01237202

33. Sang-Ho Lee, Chang-Soo Kim, Moon-Jin Kim and Kuh Kim (2014), Effects of wind and runoff on subtidal surface currents off the Kuwum river estuary, South Korea: HF radar observation, *ORCA2014, Kaohsiung*, TW.

34. Manh Cuong Tran, Alexei Sentchev, Kim Cuong Nguyen (2021), Seasonal variability of surface currents in the Gulf Of Tonkin derived from HF radar

observations, *Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Jul. 12-14, Brussels.

35. Manh Cuong Tran, Alexei Sentchev, Kim Cuong Nguyen(2021), Multi-scale variability of circulation in the Gulf of Tonkin from remote sensing of surface currents by High-Frequency radars, *Ocean Dynamics*, Vol. 71, pp. 175 – 194.

36. Manh, D. V., and T. Yanagi (2000). A study on residual flow in the Gulf of Tongking, *J. Oceanogr*, 56, pp. 59– 68.

37. 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

38. Moore A.M., Hernan G. Arango, Gregoire Broquet, Chris Edwards, Milena Veneziani, Brian Powell, ... The Regional Ocean Modeling System (ROMS) 4-dimensional variational data assimilation systems, Part II – Performance and application to the California Current System, *Progress in Oceanography* 91 (2011) 50–73

39. Oyvind Breivik, et al (2001). Real time assimilation of HF radar currents into a coastal ocean model, *Journal of Marine Systems*, PP 161-182.

40. Paduan, Jeffrey & Shulman, Igor. (2004). HF radar data assimilation in the Monterey Bay area. *J. Geophys. Res.* 109. 10.1029/2003JC001949.

41. 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

42. Kai H. Christensen (2013). Assimilation of HF radar total current vectors in an idealised version of ROMS-4DVAR, *In MET report Oceanography*, no. 24/2013

43. Shaw, P. T. and S. Y. Chao (1994), Surface circulation in the South China Sea, *Deep-Sea Res. I*, B40(11/12), pp. 1663–1683

44. 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*.

45. 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.

46. Xavier Couvelard, Christophe Messenger, Pierrick Penven, Sébastien Smet & Philippe Lattes (2021), Benefits of radar-derived surface current assimilation for South of Africa ocean circulation, *Geoscience Letters*, Article number: 5

47. Xue, H., Chai, F., Pettigrew, N., Xu, D., Shi, M., & Xu, J. (2004), Kuroshio intrusion and the circulation in the South China Sea, *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), B109(C2).
48. Xu, X., Z. Qui, and H. Chen (1980), Summary of the horizontal circumcurrent.
49. Yang Ding, Changsheng Chen Robert C. Beardsley Xianwen Bao, Maochong Shi, Yu Zhang, Zhigang Lai, Ruixiang Li, Huichan Lin, and Nguyen T. Viet (2013), Observational and model studies of the circulation in the Gulf of Tonkin, South China Sea, *Journal of Geophysical Research Ocean*, VOL. 118, 1–16, doi:10.1002/2013JC009455.
50. Yu, M. G. and J. Z. Liu (1993), Current system and circulation pattern in the South China Sea. *Marine Forecasts*, B10(2), pp. 13–17
51. Yuan, S., and J. Deng (1999), A numerical study on circulation in the Beibu Gulf (in Chinese with English abstract), *Nanhai Yanjiu Yu Fazhan*, B12(2), pp. 41–46.
52. Wu, C. R., P. T. Shaw and S. Y. Chao (1998), Seasonal and interannual variations in the velocity field of the South China Sea, *J. Oceanogr.*, B54(4), pp. 361–372
53. Zhuang, M., et al. (1981), The winds, waves and currents in the northern South China Sea (in Chinese with English abstract), *In Report of the Team of Comprehensive Research, Headquarters of South China Sea Geology Investigation, Department of Geology, Guangzhou.*
54. <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/>
55. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>
56. <https://resources.marine.copernicus.eu>
57. <https://www.aviso.altimetry.fr>
58. <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets>
59. <https://www.hycom.org/dataserver>