

Bài báo khoa học

Ứng dụng phương pháp trung bình có trọng số hiệu chỉnh quỹ đạo cơn bão Podul 2019

Phạm Thị Minh^{1*}, Trần Thị Hồng Tường², Hà Anh Đông³

¹ Khoa Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM; minhpt201@gmail.com

² Khoa hệ thống thông tin và Viễn thám; tthtuong@hcmunre.edu.vn

³ Khoa Đại cương, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM; hadong@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ptminh@hcmunre.edu.vn; Tel: +84-936069249

Ban Biên tập nhận bài: 15/9/2023; Ngày phản biện xong: 20/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Bài báo này trình bày kết quả ứng dụng phương pháp trung bình có trọng số (SEWE) của các thành phần tổ hợp tối ưu để hiệu chỉnh quỹ đạo cơn bão Podul 2019. Trong đó, các tổ hợp tối ưu chọn từ dự báo tổ hợp được tạo ra từ tổ hợp đa vật lý của mô hình WRF. Kết quả thử nghiệm cho thấy thử nghiệm SEWE cải thiện được chất lượng dự báo quỹ đạo ở hầu hết các hạn dự báo từ 12 giờ đến 48 giờ. Đặc biệt, đối với các hạn dự báo dài hơn 24 giờ chất lượng dự báo quỹ đạo của thử nghiệm SEWE cải thiện được từ 6% đến 10% so với sai số quỹ đạo của phương pháp trung bình tổ hợp thông thường. Kết quả này có thể là do ở hạn dự báo dài hơn 24 giờ cơn bão Podul 2019 di chuyển ổn định và đang mạnh lên do đó phương pháp trung bình có trọng số hiệu quả hơn. Kết quả của nghiên cứu có thể ứng dụng dự báo quỹ đạo bão ảnh hưởng đến Việt Nam.

Từ khóa: Trung Bình; Dự báo tổ hợp; Mô hình WRF; Bão Podul.

1. Giới thiệu

Bão là hiện tượng thời tiết nguy hiểm, những hậu quả do bão đem lại là rất lớn về mặt tài sản và con người. Do đó, dự báo quỹ đạo bão chính xác là bài toán được đặt ra cho ngành khí tượng từ nhiều năm nay. Trên thế giới có nhiều phương pháp áp dụng để dự báo quỹ đạo bão, và các nghiên cứu hiện tại thường đi theo các hướng: 1) Hiệu chỉnh các quá trình vật lý trong mô hình; 2) Ban đầu hóa xoáy và đồng hóa số liệu; 3) xử lý hậu mô hình - hiệu chỉnh sau mô hình. Với hướng 1, chủ yếu phát triển các mô hình số và ứng dụng để dự báo quỹ đạo bão [1–2]. Hướng 2 thường đi theo các phương pháp đồng hóa biến phân và phương pháp đồng hóa dây [3–6]. Ngoài ra, dự báo tổ hợp cũng được áp dụng để dự báo quỹ đạo bão trên các trung tâm lớn trên thế giới như trung tâm dự báo hạn vừa và hạn dài Châu Âu (ECMWF), trung tâm dự báo môi trường quốc gia Hoa Kỳ (NCEP) [7–10]. Hướng 3 thường được xử lý hậu mô hình, bằng cách hiệu chỉnh kết quả dự báo quỹ đạo bão bằng các phương pháp thống kê truyền thống hoặc hiện đại. Cụ thể trong các bài toán dự báo tổ hợp, thường sử dụng phương pháp trung bình đơn giản và phương pháp siêu tổ hợp để xác định quỹ đạo dự báo của bão [11]. Năm 2014, tác giả Qi và các cộng sự đã thử nghiệm phương pháp trung bình tổ hợp của các thành phần lựa chọn đối với sản phẩm từ các thành phần hệ thống dự báo tổ hợp (EPS) từ Trung tâm Dự báo Thời tiết hạn vừa Châu Âu (ECMWF), Cơ quan Khí tượng Nhật Bản (JMA), Trung tâm Quốc gia về Dự báo Môi trường (NCEP), và Cục Khí tượng Trung Quốc đối với 35 cơn bão ở Tây Bắc Thái Bình Dương vào năm 2010 và 2011, các tác giả đã chứng

minh rằng phương pháp trung bình có trọng số vượt trội hơn so với kết quả của phương pháp trung bình tổ hợp đơn giản ở thời hạn ngắn [12].

Ở Việt Nam, ứng dụng mô hình số và đồng hóa số liệu trong bài toán dự báo quỹ đạo bão cũng được nghiên cứu phổ biến [13–16]. Các kết quả nghiên cứu cải thiện sai số dự báo quỹ đạo từ 3 đến 5 ngày [13–16]. Ngoài ra, dự báo quỹ đạo bão bằng phương pháp tổ hợp cũng được nhiều tác giả nghiên cứu [14, 16], các kết quả nghiên cứu cho thấy dự báo tổ hợp cải thiện đáng kể sai số dự báo quỹ đạo bão [14, 16]. Mặt khác, dự báo bão tổ hợp quỹ đạo bão được tạo ra từ mô hình WRF được phát triển rất mạnh và đem lại kết quả khả quan [4–6]. Tuy nhiên, việc tổng hợp quỹ đạo dự bão cuối cùng bằng phương pháp trung bình tổ hợp thông thường hầu như chưa mang lại hiệu quả cao [4–6], do đó kết quả dự báo quỹ đạo bão còn sai lệch khá nhiều so với vị trí quan trắc. Năm 2020, một nghiên cứu đã ứng dụng phương pháp tổ hợp trung bình có lựa chọn và có trọng số được ứng dụng tính toán, đánh giá cụ thể đối với trường hợp dự báo cơn bão Damrey năm 2017 từ các sản phẩm tổ hợp gồm 51 thành phần dự báo của ECMWF. Kết quả cho thấy khả năng hiệu chỉnh rõ rệt của phương pháp lựa chọn các thành phần tổ hợp với sai số trong ngưỡng xem xét ở các hạn dự báo ngắn hạn [17]. Ngoài ra, một nghiên cứu khác cũng áp dụng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu được tạo ra từ mô hình WRF để hiệu chỉnh quỹ đạo cơn bão Molave năm 2020. Kết quả chỉ ra phương pháp cũng hiệu quả ở các hạn dự báo dưới 48 giờ [18]. Do đó, hướng giải quyết liên quan đến hậu mô hình để cải thiện kết quả dự báo quỹ đạo bão cũng được quan tâm.

Đối với cơn bão Podul năm 2019 là một cơn bão số 4 đã ảnh hưởng nghiêm trọng đến các tỉnh khu vực Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ và Nam Trung Bộ làm 4 người chết, 3 người mất tích, 4 người bị thương. Thiệt hại về nhà ở: 1.709 căn nhà bị phá hủy và hư hại, gây ngập lụt nhiều diện tích lúa và hoa màu, cây ăn quả, hư hại nhiều công trình đê điều, giao thông, ... Tổng thiệt hại ước tính khoảng 393,302 triệu đồng [19]. Do đó, Nghiên cứu chọn cơn bão Podul năm 2019 để ứng dụng phương pháp trung bình có trọng số hiệu chỉnh quỹ đạo dự báo.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu sử dụng

2.1. Tóm tắt hoạt động của cơn bão Podul

Bão nhiệt đới Podul hay còn gọi là Bão số 4 là cơn bão thứ 12 của mùa bão Tây Bắc Thái Bình Dương 2019. Podul tiến vào Biển Đông ngày 28 tháng 8 và đổ bộ vào tỉnh Hà Tĩnh, Quảng Bình ngày 30 tháng 8 (Hình 1). Diễn biến cụ thể của cơn bão Podul có thể tham khảo tại [19]. Riêng đối với Việt Nam, bão số 4 đã ảnh hưởng nghiêm trọng đến các tỉnh khu vực Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ và Nam Trung Bộ làm 4 người chết, 3 người mất tích, 4 người bị thương. Thiệt hại về nhà ở: 1.709 căn nhà bị phá hủy và hư hại, gây ngập lụt nhiều diện tích lúa và hoa màu, cây ăn quả, hư hại nhiều công trình đê điều, giao thông, Tổng thiệt hại ước tính khoảng 393,302 triệu đồng. Vì thế, nghiên cứu này lựa chọn cơn bão Podul để tiến hành thử nghiệm hiệu chỉnh quỹ đạo bão bằng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu [19].

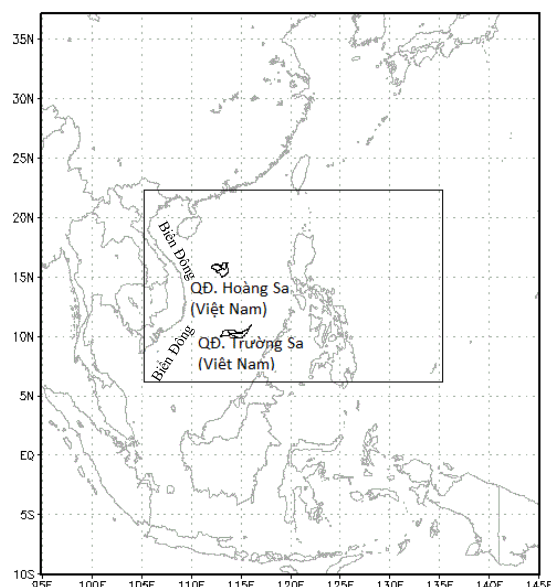


Hình 1. Quỹ đạo di chuyển của cơn bão Podul 2019 [19].

2.2. Thiết lập cơ sở cho mô hình

2.2.1. Mô hình và cấu hình tổ hợp đa vật lý

Dự báo tổ hợp đa vật lý được triển khai trong phiên bản V4.0 của mô hình WRF–ARW áp dụng phương pháp trung bình có trọng số của các tổ hợp tối ưu để tìm ra quỹ đạo bão tốt nhất. Mô hình WRF được lựa chọn kết hợp với một lưới lồng gồm hai miền tính sử dụng phép chiếu Mercator có độ phân giải ngang 36 km và 12 km tương ứng (miền lưới 1 gồm 151×151 điểm lưới và miền lưới 2 gồm 151×151 điểm lưới với tâm miền tính cố định 13,8°N - 122,9°E) được khởi tạo với số liệu từ hệ thống NCEP/GFS (Hình 2). Miền không gian của mô hình có 31 mực theo phương thẳng đứng (σ) với mực áp suất cao nhất (biên trên của mô hình) có giá trị là 10 hPa, và miền không gian này nằm ở gần trung tâm của biển Đông, về phía Đông của Việt Nam (Hình 2). Tổ hợp đa vật lý trong mô hình WRF gồm nhiều sơ đồ tham số mô tả các quá trình vật lý xảy ra trong khí quyển nhưng theo những nghiên cứu trước đây [4–6] đã sử dụng các sơ đồ được liệt kê trong bảng 2 để tạo ra dự báo tổ hợp đa vật lý trong mô hình WRF và có kết quả khả quan. Do đó trong nghiên cứu này cũng sử dụng các sơ đồ trên để tạo ra dự báo tổ hợp đa vật lý.



Hình 2. Miền lưới thử nghiệm.

Như vậy, tổng cộng có 21 kết hợp khác nhau của các sơ đồ vật lý được trong các thành phần tổ hợp khác nhau trong mô hình WRF theo một chuỗi các hoán vị của các sơ đồ vật lý đó, khi số lượng của các thành phần tổ hợp lớn hơn số lượng của các kết hợp, việc gán sẽ được lặp lại. Theo đó, 21 bộ mô hình vật lý gồm các sơ đồ sau: (1) sơ đồ vi vật lý gồm sơ đồ của Kessler, sơ đồ của Lin [20], vi vật lý Ferrier và các sơ đồ WSM3, WSM5, WSM6; (2) sơ đồ bức xạ sóng ngắn gồm sơ đồ của Dudhia và Goddard; (3) sơ đồ bức xạ sóng dài của RRTM và (4) hai sơ đồ tham số hóa đối lưu của Kain-Fritsch và Betts-Miller-Janjic (BMJ) (Bảng 1), và các tổ hợp kết hợp được đưa ra trong Bảng 2.

Bảng 1. Sơ đồ tham số hóa trong mô hình WRF ứng với các lựa chọn cụ thể.

Sơ đồ	Kí hiệu	Các lựa chọn
Vi vật lý	mp_physics	= 1, Kessler scheme
		= 2, Lin et al. scheme
		= 3, WSM 3-class simple ice scheme
		= 4, WSM 5-class scheme
		= 5, Ferrier (new Eta) microphysics

Sơ đồ	Kí hiệu	Các lựa chọn
		= 6, WSM 6-class graupel scheme
Bức xạ sóng ngắn	ra_sw_physics	= 1, Dudhia scheme = 2, Goddard short wave
Bức xạ sóng dài	ra_lw_physics	= 1, rrtm scheme
Đối lưu	cu_physics	= 1, Kain-Fritsch (new Eta) scheme = 2, Betts-Miller-Janjic scheme

Bảng 2. Thành phần tổ hợp tương ứng với các sơ đồ vật lý khác nhau.

Tổ hợp	Ra_lw_physics	Ra_sw_physics	mp_physics	cu_physics
001	1	2	1	1
002	1	1	1	2
003	1	2	1	2
004	1	1	2	1
005	1	2	2	1
006	1	1	2	2
007	1	2	2	2
008	1	1	3	1
009	1	2	3	1
010	1	1	3	2
011	1	2	3	2
012	1	1	4	1
013	1	2	4	1
014	1	1	4	2
015	1	2	4	2
016	1	1	5	1
017	1	2	5	1
018	1	1	5	2
019	1	2	5	2
020	1	1	6	1
021	1	2	6	1

2.3. Số liệu

Mô hình số thông thường cần số liệu đầu vào như điều kiện biên và điều kiện ban đầu để giải hệ phương trình cơ bản của khí tượng động lực bằng phương pháp số [21]. Tương tự mô hình WRF cũng cần số liệu đầu vào như điều kiện biên và điều kiện ban đầu. Số liệu này nghiên cứu sử dụng số liệu dự báo toàn cầu GFS của trung tâm dự báo môi trường quốc gia Hoa Kỳ [22]. Ngoài ra số liệu quan trắc về vị trí bão sử dụng để đánh giá hiệu quả của phương pháp trung bình có trọng số được lấy từ trang web [23], số liệu cụ thể đối với cơn bão Podul năm 2019 thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Số liệu quan trắc vị trí tâm bão.

Thời gian	Vị trí tâm bão	
	Vĩ độ	Kinh độ
2019082600	12.8N	133.7E
2019082606	13.3N	131.9E
2019082612	13.7N	129.6E
2019082618	14.3N	128.1E
2019082700	14.7N	126.7E
2019082706	15.2N	124.8E
2019082709	15.8N	124.0E
2019082712	16.0N	122.9E
2019082718	16.3N	120.6E
2019082800	16.7N	118.0E

Thời gian	Vị trí tâm bão	
	Vĩ độ	Kinh độ
2019082806	16.8N	116.4E
2019082812	17.1N	114.8E
2019082818	17.3N	113.2E
2019082900	17.5N	111.6E
2019082906	17.5N	109.7E
2019082912	17.7N	108.0E
2019082918	17.2N	106.4E
2019083000	16.5N	104.5E
2019083006	16.6N	103.6E
2019083012	16.8N	103.0E
2019083018	17.3N	102.5E
2019083100	17.9N	102.1E

2.4. Phương pháp trung bình tổ hợp có trọng số

Trung bình tổ hợp cuối cùng được xác định bởi các bước sau:

- Sai số vị trí SLT tại 12 giờ được tính toán cho các dự báo quỹ đạo từ tất cả các thành phần tổ hợp liên quan đến quan trắc;
- Sai số vị trí SLT trung bình của tất cả thành phần tổ hợp được tính toán;
- Các thành phần có sai số nhỏ hơn sai số SLT trung bình sẽ được lựa chọn;
- Hai giá trị trung bình tổ hợp sẽ được tính toán đơn giản bằng cách lấy trung bình cộng các thành phần được lựa chọn và tính trọng số các thành phần được lựa chọn với hệ số tỉ lệ nghịch với các thành phần tương ứng;
- Sai số trung bình và trọng số để tính toán quỹ đạo trung bình tổ hợp sẽ được điều chỉnh để khớp với vị trí SLT với các số liệu quan trắc mới nhất. Quỹ đạo được điều chỉnh cuối cùng ký hiệu là trung bình của các thành phần tổ hợp có lựa chọn (SEAV), trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp có lựa chọn (SEWE).

Hình 3a minh họa trường hợp tồn tại 3 thành phần tổ hợp (kí hiệu tương ứng là m1, m2, m3) được lựa chọn để xác định dự báo tổ hợp trọng số cuối cùng do đáp ứng chỉ tiêu sai số vị trí SLT nhỏ hơn so với sai số SLT trung bình của tất cả thành phần. Trong trường hợp này, dự báo LLT của 3 thành phần này sẽ được sử dụng để xác định dự báo SEAV hoặc dự báo SEWE cuối cùng.

Sơ đồ trọng số được thiết kế để xác định trọng số dự báo quỹ đạo LLT bởi hệ số tỉ lệ nghịch với các sai số SLT tương ứng, được đặt tên là e_1, e_2, e_3 . Khi đó, các trọng số được tính toán theo phương trình (1–3).

$$w_1 = \frac{1}{e_1}; w_2 = \frac{1}{e_2}; w_3 = \frac{1}{e_3} \quad (1)$$

$$x = (w_1 + w_2 + w_3) \quad (2)$$

$$W_1 = \frac{w_1}{x}; W_2 = \frac{w_2}{x}; W_3 = \frac{w_3}{x} \quad (3)$$

Trong đó W_1, W_2, W_3 là các hệ số trọng số của các thành phần tối ưu. Tuy nhiên, một số thành phần được chọn lại không có dự báo LLT, đặc biệt là khi xoáy thuận nhiệt đới bước vào giai đoạn suy yếu. Trong trường hợp này, quy trình tính trọng số vẫn được áp dụng cho các thành phần còn lại và vẫn tuân theo phương trình từ (1–3). Trong phương pháp trung bình trọng số này, cần có ít nhất 2 thành phần tổ hợp cho tất cả các thời hạn dự báo.

Như vậy, công thức tính trọng số của phương pháp này được mở rộng cho N thành phần tổ hợp, thành phần thứ i có sai số khoảng cách DPE (kí hiệu là e_i) ở hạn SLT, sẽ có dạng:

$$w_i = \frac{1}{e_i} \quad (4)$$

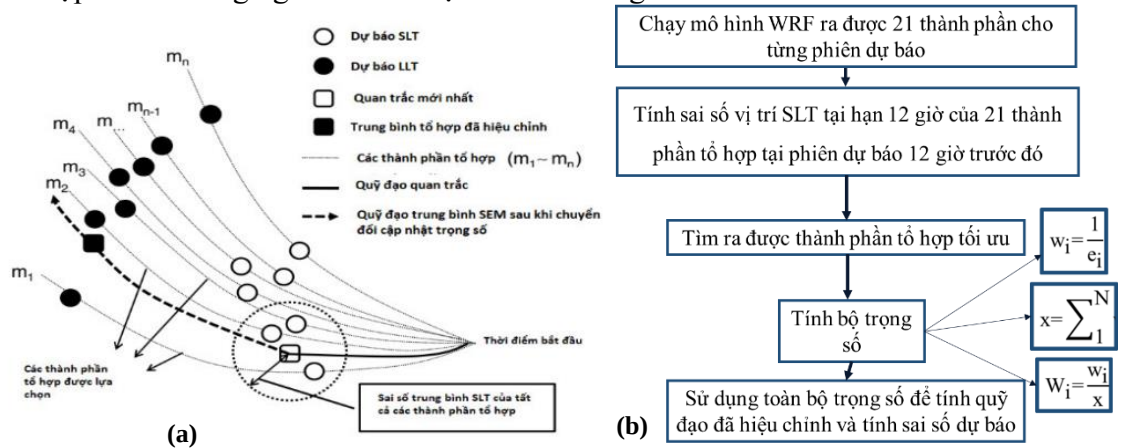
$$x = \sum_{i=1}^N w_i \quad (5)$$

$$W_i = \frac{w_i}{x} \quad (6)$$

Sau khi tính toán xong các hệ số trọng số, giá trị trung bình có trọng số SEWE của tổ hợp tối ưu sẽ được tính theo công thức:

$$SEWE = \sum_{i=1}^N (W_i e_i) \quad (7)$$

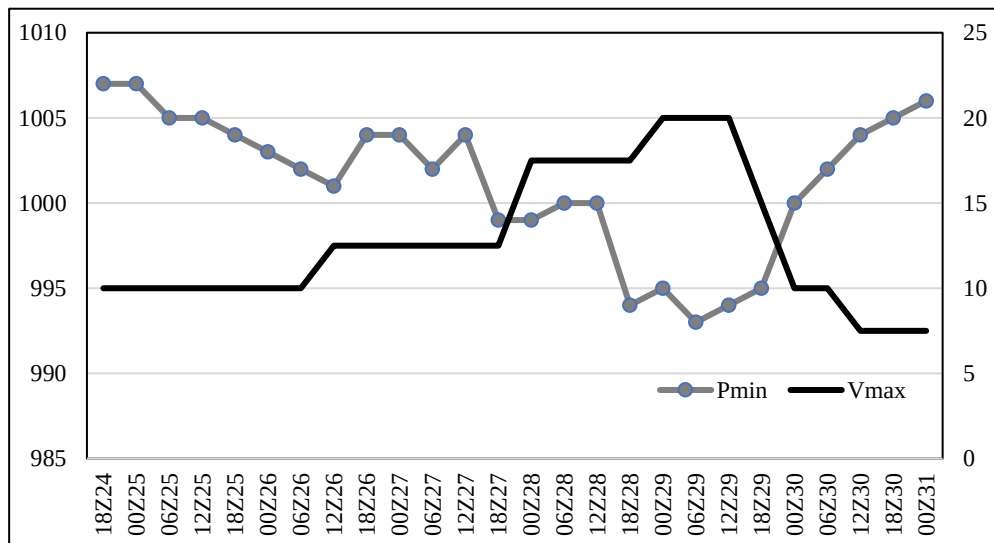
Các sai số đáp ứng ở hạn dự báo SLT liên quan đến chính mẫu thống kê của từng hệ thống dự báo tổ hợp. Các bước thực hiện phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu trong nghiên cứu được tóm tắt trong hình 3b.



Hình 3. Sơ đồ minh họa kỹ thuật trung bình tổ hợp có lựa chọn (a) [17]. Sơ đồ khối mô tả các bước tính toán (b).

2.5. Các trường hợp thử nghiệm

Cơn bão Podul 2019 tiến vào Biển Đông ngày 28 tháng 8 và đổ bộ vào tỉnh Hà Tĩnh, Quảng Bình ngày 30 tháng 8. Mật khác bão bắt đầu mạnh dần lên từ 12 UTC ngày 27 tháng 8 và mạnh nhất vào ngày 29 tháng 8 năm 2019, bão suy yếu dần bắt đầu từ 00 UTC ngày 30 tháng 8 năm 2019 (Hình 4). Do đó, trong nghiên cứu này sẽ thử nghiệm dự báo hạn 3 ngày với khoảng thời gian có thể dự báo được cơn bão bắt đầu mạnh dần lên, đó là từ thời điểm 12 UTC ngày 26 tháng 8 năm 2019 đến 12 UTC ngày 27 tháng 8 năm 2019 (hình 4). Trong đó, dự báo hạn ngắn 12 giờ được thực hiện lúc 00 UTC ngày 26/8, lúc 12 UTC ngày 26/8 và 00 UTC ngày 27/8, quỹ đạo hiệu chỉnh cho 3 phiên dự báo lúc 12 UTC ngày 26/8, 00 UTC ngày 27/8 và 12 UTC ngày 27/8/2019.



Hình 4. Biến trình Pmin và Vmax của cơn bão Podul 2019.

2.6. Phương pháp đánh giá

Sai số quỹ đạo tính theo công thức (8):

$$PE = R_e * \arccos [\sin(\alpha_1) * \sin(\alpha_2) + \cos(\alpha_1) * \cos(\alpha_2) * \cos(\beta_1 - \beta_2)] \quad (8)$$

Trong đó R_e là bán kính trái đất (6378.16 km); α_1, α_2 là vĩ độ của tâm bão thực tế và tâm bão do mô hình dự báo (đv radian); β_1, β_2 là kinh độ của tâm bão thực tế và tâm bão dự báo (đv radian). Sai số trung bình khoảng cách được tính như sau:

$$MPE_j = \frac{\sum_{i=1}^n PE_{i,j}}{n} \quad (9)$$

Trong đó PE là sai số khoảng cách của từng trường hợp dự báo; n là số trường hợp thử nghiệm; j là hạn dự báo.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Mối liên hệ giữa sai số dự báo hạn ngắn và trọng số của các tổ hợp tối ưu

Do khoảng thời gian nghiên cứu thực hiện hiệu chỉnh quỹ đạo bão là các phiên dự báo cách nhau 12 giờ, và trong khoảng thời gian 12 giờ số liệu quỹ đạo thực mới được cập nhật, do đó sai số dự báo hạn ngắn sử dụng trong nghiên cứu là sai số dự báo 12 giờ. Sai số dự báo này được tính tại các phiên dự báo 00 UTC, 12 UTC ngày 26/8 và 00 UTC ngày 27/8 theo công thức (8 và 9), kết quả được thể hiện trong bảng 4.

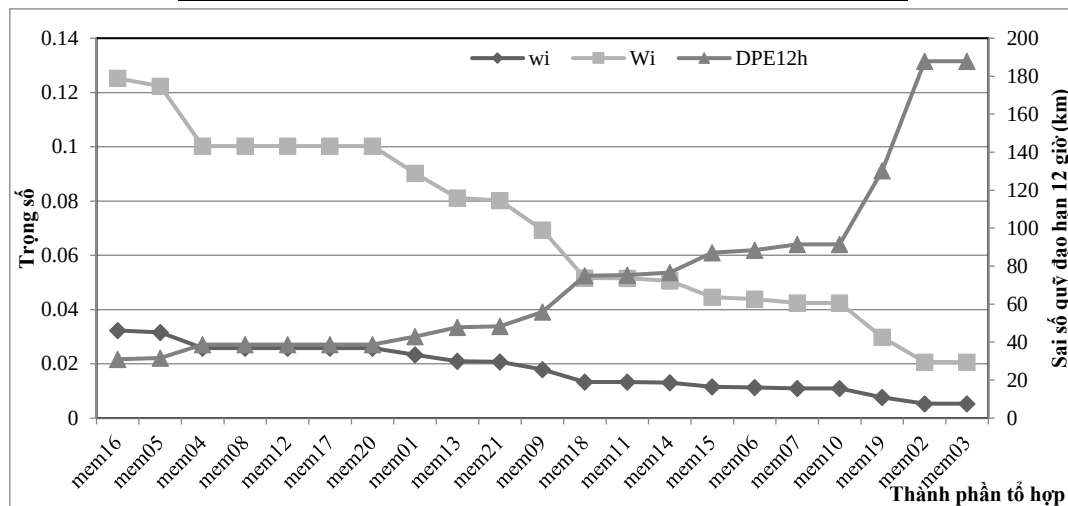
Trong bảng 4 sai số dự báo hạn 12 giờ (DPE12) ở từng phiên dự báo được sắp xếp từ nhỏ đến lớn. Từ kết quả sai số hạn 12 giờ nghiên cứu so sánh với sai số dự báo quỹ đạo trung bình tổ hợp (EM), nếu thành phần tổ hợp nào có DPE12 nhỏ hơn sai số dự báo quỹ đạo trung bình tổ hợp thì chọn thành phần đó là thành phần tổ hợp tối ưu. Như vậy, nghiên cứu đã chọn ra được các thành phần tổ hợp tối ưu cho từng phiên dự báo cần hiệu chỉnh quỹ đạo đưa ra trong bảng 5. Tiếp theo nghiên cứu tính các trọng số theo phương pháp của Qi thông qua sai số dự báo hạn ngắn 12 giờ (công thức 4 - 6).

Bảng 4. Sai số dự báo quỹ đạo hạn 12 giờ tại từng phiên dự báo (đơn vị km).

00Z26		12Z26		00Z27	
TT	DPE12	TT	DPE12	TT	DPE12
mem16	30,97	mem04	60,10	mem05	63,83
mem05	31,71	mem05	60,10	mem12	63,83
mem04	38,71	mem12	60,10	mem13	63,83
mem08	38,71	mem13	60,10	mem20	63,83
mem12	38,71	mem20	65,38	mem21	63,83
mem17	38,71	mem08	71,60	mem04	70,16
mem20	38,71	mem09	71,60	mem16	70,62
mem01	42,98	mem16	71,60	mem17	70,62
mem13	47,80	mem21	76,09	mem08	70,82
mem21	48,37	mem17	83,18	mem09	70,82
mem09	55,91	mem14	83,66	mem18	101,62
mem18	75,03	mem15	83,66	mem01	104,55
mem11	75,34	mem10	84,43	mem10	137,49
mem14	76,65	mem11	84,43	mem11	137,49
mem15	87,04	mem06	95,59	mem19	157,72
mem06	88,44	mem07	95,59	mem03	165,20
mem07	91,43	mem18	98,39	mem07	168,30
mem10	91,43	mem19	98,39	mem14	169,62
mem19	130,21	mem01	115,96	mem15	169,62
mem02	187,90	mem02	120,12	mem02	171,99
mem03	187,90	mem03	120,12	mem06	173,95

Bảng 5. Số các thành phần tổ hợp tối ưu được lựa chọn.

Phiên dự báo	Số thành phần đạt ngưỡng 12h
00UTC 26-8-2019	10
12UTC 26-8-2019	5
00UTC 27-8-2019	10

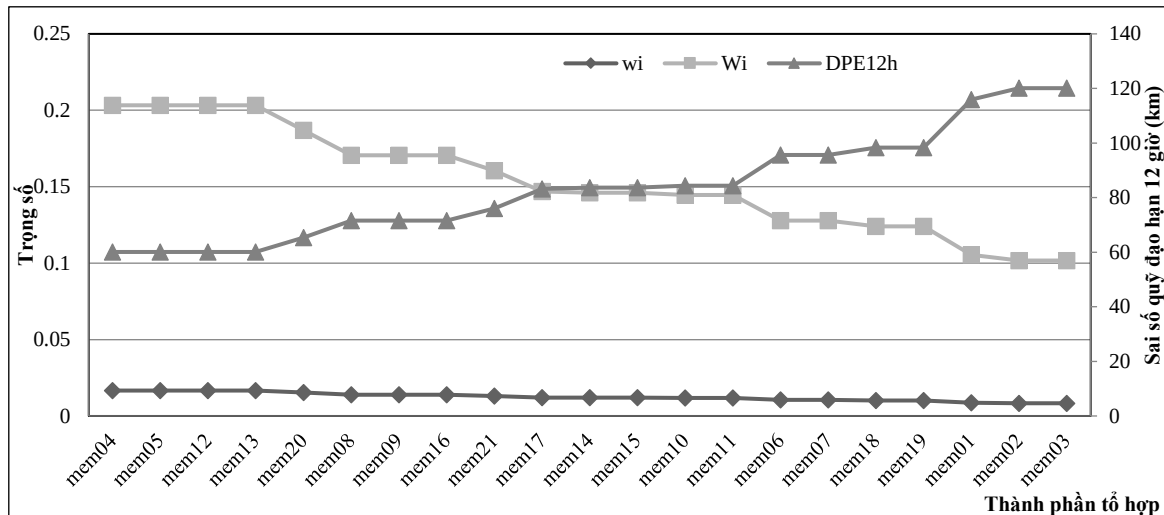


Hình 5. Biểu đồ biểu diễn trọng số của từng thành phần tổ hợp ứng với phiên dự báo 12UTC ngày 26/8/2019.

Cụ thể, từ kết quả sai số quỹ đạo dự báo hạn ngắn 12 giờ trong bảng 3.4 so sánh với sai số trung bình tổ hợp của 21 thành phần tại hạn dự báo đó để tìm ra từng thành phần tổ hợp tối ưu. Kết quả tính toán cho từng phiên dự báo như sau: Với phiên dự báo 00 UTC ngày 26/8/2019 có 10 thành phần tổ hợp được chọn để tính quỹ đạo dự báo cho tất cả các hạn dự báo của phiên dự báo 12 UTC ngày 26/8/2019; phiên dự báo 12 UTC ngày 26/8/2019 có 5 thành phần tổ hợp được chọn để dự báo quỹ đạo bão cho phiên dự báo 00UTC ngày 26/8/2019; phiên dự báo 00 UTC ngày 27/8/2019 có 10 thành phần tổ hợp được chọn để tính quỹ đạo dự báo cho tất cả các hạn dự báo của phiên dự báo 12 UTC ngày 27/8/2019 (bảng 3.5). Ngoài ra, các trọng số tương ứng với các thành phần tổ hợp (Bảng 4) được tính từ sai số dự báo quỹ đạo hạn 12 giờ theo các công thức (5 và 6). Kết quả được biểu diễn trên hình 5, hình 6 và hình 7.

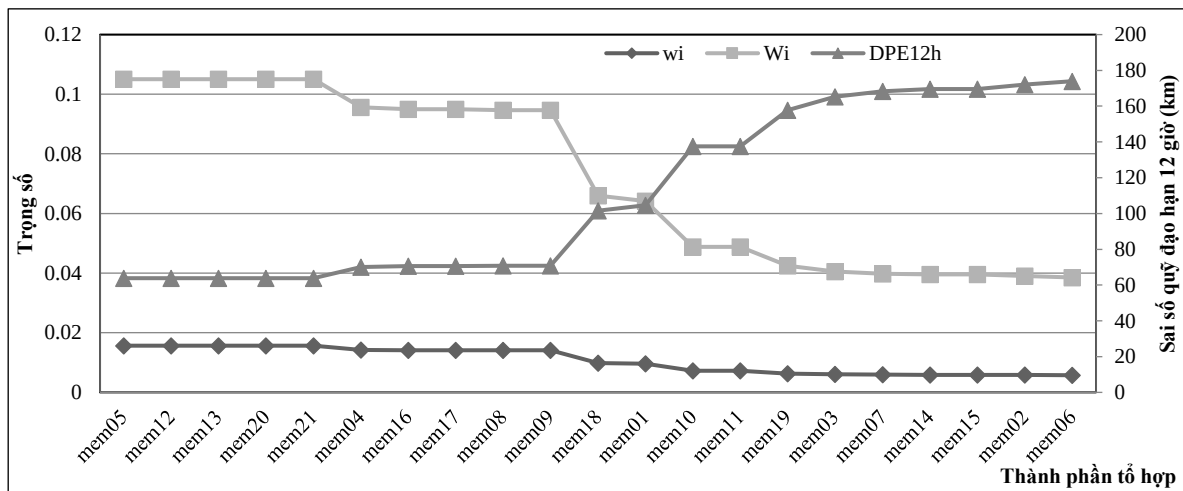
Hình 5, hình 6 và hình 7 là biểu đồ biểu diễn trọng số của từng thành phần tổ hợp ứng với phiên dự báo 12 UTC ngày 26/8, phiên dự báo lúc 00 UTC và 12 UTC ngày 27 tháng 8 năm 2019. Trong đó, trục tung ở bên trái là giá trị của trọng số W_i (đường màu xám vuông) và w_i (đường xám hình thoi); trục tung bên phải là sai số dự báo hạn 12 giờ (DPE12 - đường màu xám hình tam giác).

Từ hình 5, hình 6 và hình 7 cho thấy W_i (đường màu xám vuông) và w_i (đường màu xám hình thoi) đồng biến, tức giá trị w_i tăng (giảm) thì giá trị W_i cũng tăng (giảm) tương ứng. Trong khi đó, giá trị của sai số dự báo quỹ đạo hạn 12 giờ (DPE12- màu xám hình tam giác) của thành phần tổ hợp càng lớn thì W_i càng nhỏ, hoặc ngược lại nếu DPE12 càng nhỏ thì W_i càng lớn hay giữa W_i và DPE12 có quan hệ nghịch biến. Điều này có nghĩa là những thành phần tổ hợp nào có sai số DPE12 càng nhỏ thì tỷ lệ % tham gia vào phương trình (7) càng lớn. Đối với phiên dự báo 00 UTC ngày 26 tháng 8 năm 2019, các thành phần tổ hợp có DPE12 dưới 80 km thì có giá trị W_i dao động từ 0,06 đến 0,14, còn những tổ hợp còn lại có DPE12 trên 80 km đến 190 km thì tương ứng với giá trị W_i dao động từ 0,02 đến 0,06 (hình 5). Trong phiên dự báo 12 UTC ngày 26 tháng 8 năm 2019 các thành phần 4, 5, 12, 13, 20, 8, 9 và 21 có DPE12 dưới 80 km nên giá trị trọng số W_i dao động từ 0,15 đến 0,2. Trong khi đó các thành phần tổ hợp còn lại có W_i dao động từ 0,1 đến 0,15 ứng với DPE12 dao động từ 80 km đến 120 km (Hình 6).



Hình 6. Biểu đồ biểu diễn trọng số của từng thành phần tổ hợp ứng với phiên dự báo 00UTC ngày 27/8/2019.

Đối với phiên dự báo 00 UTC ngày 27 tháng 8 năm 2019 (hình 7), các thành phần tổ hợp có DPE12 nhỏ hơn 60 km thì trọng số W_i dao động từ 0.08 đến 0.12, còn những tổ hợp còn lại có DPE12 trên 60 km đến 180 km thì tương ứng với giá trị W_i dao động từ 0.04 đến 0.08 (hình 7). Như vậy đối với phiên dự báo được thực hiện lúc 12 UTC ngày 26/8, 00 UTC ngày 27/8 và 12 UTC ngày 27/8 các thành phần tối ưu tham gia vào phương trình (7) được thể hiện trong bảng 6.



Hình 7. Biểu đồ biểu diễn trọng số của từng thành phần tổ hợp ứng với phiên dự báo 12UTC ngày 27/8/2019.

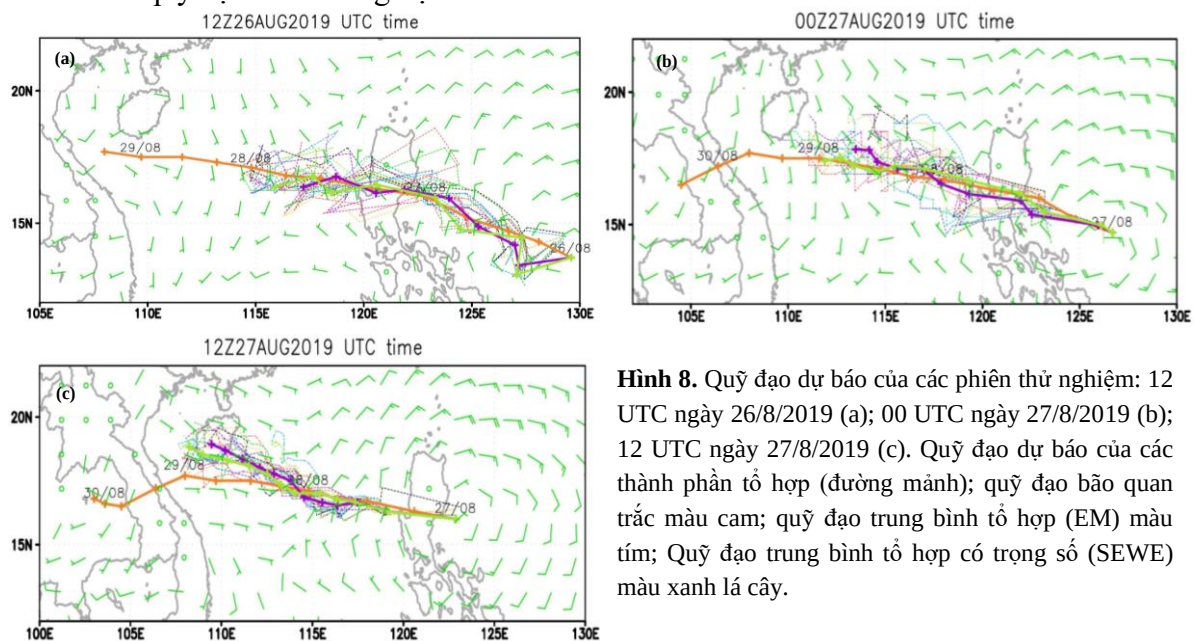
Bảng 6. Các thành phần tổ hợp tối ưu được lựa chọn.

Phiên dự báo	Thành phần tối ưu được chọn
12UTC 26-8-2019	16, 04, 05, 08, 17, 20, 01, 13, 21, 09
00UTC 27-8-2019	04, 05, 13, 12, 20
12UTC 27-8-2019	05, 12, 13, 20, 21, 04, 16, 17, 08, 09

Các thành phần tổ hợp tối ưu trong bảng 6 và các trọng số W_i tương ứng được đưa vào công thức (7) để xác định các vị trí bão dự báo của các phiên 12 UTC ngày 26/8, 00 UTC và 12 UTC ngày 27/8/2019. Các vị trí của cơn bão này được đưa vào phần mềm Grads để vẽ ra quỹ đạo bão cho từng phiên dự báo. Ngoài ra, sai số dự báo quỹ đạo tính bằng công thức (8 và 9) được thực hiện trong phần tiếp theo.

3.2. Hiệu chỉnh quỹ đạo

Từ hình 8a cho thấy một số thành phần tổ hợp được lựa chọn không bắt được vị trí tâm bão, do đó quỹ đạo trung bình có trọng số (SEWE) chỉ tính được tới hạn 48 giờ, tùy vào từng hạn dự báo mà quỹ đạo bão của thử nghiệm SEWE có thể gần hoặc xa quỹ đạo thực hơn thử nghiệm EM. Cụ thể, ở hạn dự báo 6 giờ vị trí tâm bão của cả 2 thử nghiệm đều nằm ở phía nam so với vị trí tâm bão quan trắc, tuy nhiên thử nghiệm SEWE dự báo vị trí tâm bão xa vị trí tâm bão quan trắc hơn so với thử nghiệm EM (Hình 8a). Ở hạn dự báo 12 giờ đến 18 giờ, dường như cả 2 thử nghiệm đều dự báo vị trí tâm bão ở phía nam vị trí bão quan trắc với sự sai khác không đáng kể. Ở hạn dự báo 24 giờ, thử nghiệm SEWE dự báo vị trí bão ở phía nam so với vị trí bão quan trắc, còn thử nghiệm EM dự báo vị trí bão ở phía bắc so với vị trí bão quan trắc. Từ hạn dự báo 30 giờ đến 48 giờ, thử nghiệm SEWE dự báo quỹ đạo bão đi nhanh hơn và gần quỹ đạo thực hơn so với quỹ đạo dự báo bão của thử nghiệm EM. Độ chính xác của kết quả dự báo quỹ đạo bão được xác định thông qua sai số khoảng cách giữa tâm bão dự báo và tâm bão quan trắc tính thông qua công thức (8 và 9). Kết quả sai số cho phiên dự báo lúc 12 UTC ngày 26 tháng 8 năm 2019 thể hiện trong Hình 9. Tại hạn dự báo 06 giờ thử nghiệm SEWE có sai số quỹ đạo cao hơn so với sai số quỹ đạo của thử nghiệm EM, sang hạn dự báo 12 giờ thử nghiệm SEWE vẫn có sai số quỹ đạo cao hơn so với sai số quỹ đạo của thử nghiệm EM, từ hạn dự báo 18 giờ đến hạn dự báo 24 giờ thử nghiệm SEWE có sai số quỹ đạo nhỏ hơn sai số quỹ đạo của thử nghiệm EM.

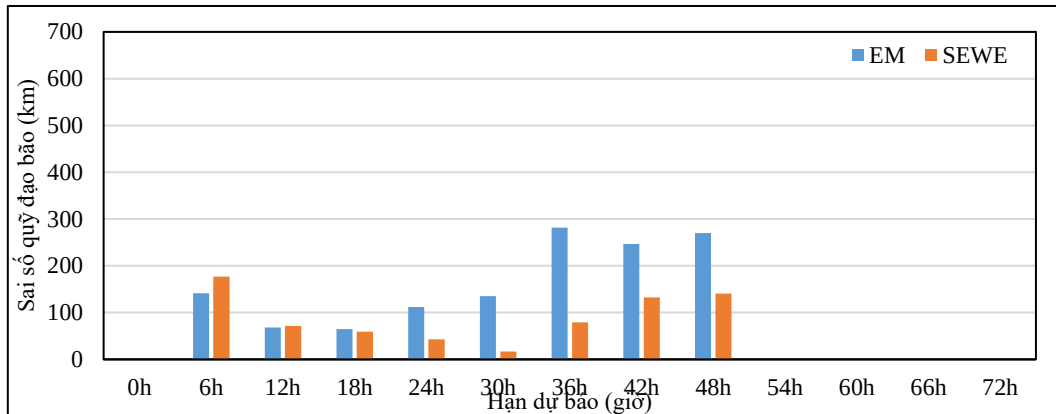


Hình 8. Quỹ đạo dự báo của các phiên thử nghiệm: 12 UTC ngày 26/8/2019 (a); 00 UTC ngày 27/8/2019 (b); 12 UTC ngày 27/8/2019 (c). Quỹ đạo dự báo của các thành phần tổ hợp (đường mảnh); quỹ đạo bão quan trắc màu cam; quỹ đạo trung bình tổ hợp (EM) màu tím; Quỹ đạo trung bình tổ hợp có trọng số (SEWE) màu xanh lá cây.

Đối với phiên dự báo lúc 00 UTC ngày 27/8/2019, từ Hình 8b cho thấy từ 00 giờ đến 30 giờ quỹ đạo bão dự báo của thử nghiệm SEWE nằm ở phía bắc quỹ đạo dự báo bão của thử nghiệm EM và quỹ đạo màu xanh lá này (SEWE) gần với quỹ đạo thực (màu cam) hơn so với thử nghiệm EM ngoại trừ hạn dự báo lúc 06 giờ. Từ hạn dự báo 36 giờ đến hạn dự báo 60 giờ quỹ đạo dự báo của thử nghiệm SEWE nằm ở phía nam so với quỹ đạo dự báo của thử nghiệm EM nhưng quỹ đạo của thử nghiệm vẫn nằm gần quỹ đạo thực hơn so với thử nghiệm EM. Tương tự như phiên dự báo lúc 12 UTC ngày 26/8, độ chính xác của kết quả dự báo quỹ đạo bão được xác định thông qua sai số khoảng cách giữa tâm bão dự báo và tâm bão quan trắc tính thông qua công thức (8 và 9). Sai số quỹ đạo của phiên dự báo lúc 00 UTC ngày 27/8/2019 được thể hiện trên hình 10.

Từ hình 10, cho thấy phiên dự báo lúc 00UTC ngày 27 tháng 8 năm 2019, ở hạn dự báo 6 giờ thử nghiệm SEWE có sai số dự báo quỹ đạo lớn hơn so với thử nghiệm EM. Còn ở hạn dự báo 12 giờ đến 60 giờ thử nghiệm SEWE có sai số dự báo quỹ đạo nhỏ hơn so với sai số dự báo quỹ đạo bão của thử nghiệm EM. Như vậy trong phiên dự báo lúc 00UTC ngày 27 tháng

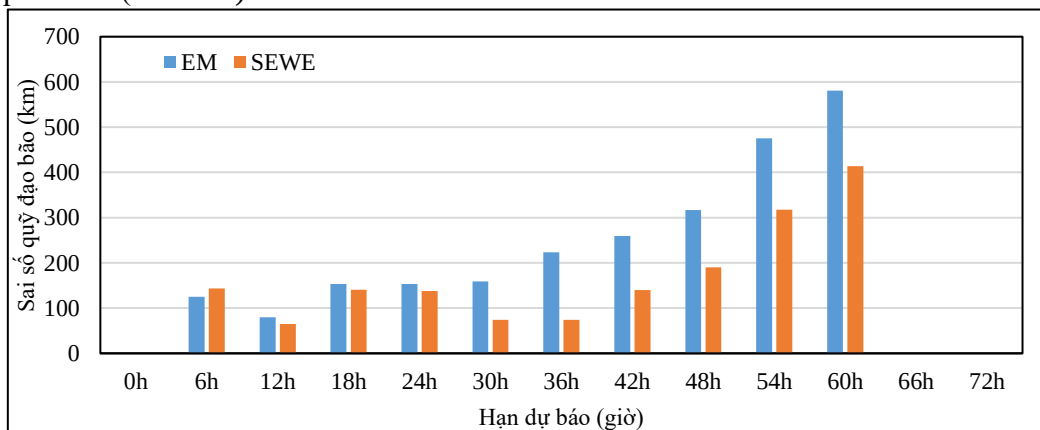
8 năm 2019, thử nghiệm SEWE dự báo quỹ đạo bão Podul 2019 hiệu quả ở hầu hết các hạn dự báo.



Hình 9. Sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp (EM), trung bình trọng số (SEWE) ở phiên dự báo 12Z ngày 26/8/2019.

Ở hạn dự báo lúc 12 UTC ngày 27/8/2019 quỹ đạo dự báo của các thành phần tổ hợp (đường màu tím), quỹ đạo dự báo của thử nghiệm SEWE (đường màu xanh lá) và quỹ đạo dự báo của thử nghiệm EM (đường màu tím) và quỹ đạo thực quan trắc (đường màu cam) được thể hiện trong hình 8c. Trong phiên dự báo này, kết quả của thử nghiệm SEWE tính được cho hạn 66 giờ vì các thành phần tham gia phương trình (7) chỉ dự báo được vị trí cơn bão ở hạn 66 giờ. Do đó, số liệu lấy trung bình tổ hợp (EM) cũng được tính đến hạn 66 giờ.

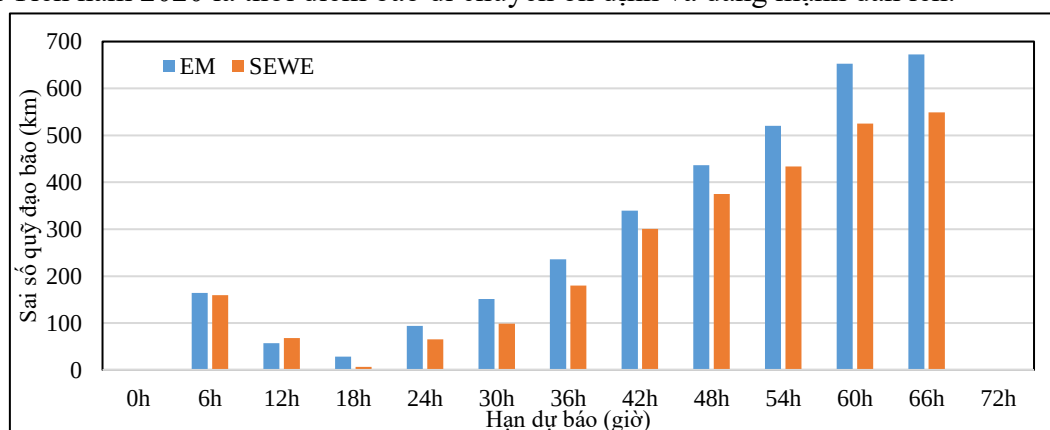
Từ hình 8c cho thấy, từ hạn dự báo 12 giờ đến hạn 24 giờ, đường màu xanh lá gần trùng với đường màu cam và nằm về phía bắc so với đường màu tím. Riêng hạn dự báo 6 giờ đường như 2 thử nghiệm đều dự báo vị trí của cơn bão gần nhau (không phân biệt giữa xanh lá và màu tím). Còn từ hạn dự báo 30 giờ đến 66 giờ quỹ đạo bão của thử nghiệm SEWE nằm ở giữa quỹ đạo thực và quỹ đạo dự báo của thử nghiệm EM. Như vậy, ở hạn dự báo từ 12 giờ đến 66 giờ thử nghiệm SEWE dự báo quỹ đạo cơn bão Podul 2019 khá sát với quỹ đạo thực. Kết quả này càng thể hiện rõ hơn thông qua sai số khoảng cách giữa tâm bão dự báo và tâm bão quan trắc (Hình 11).



Hình 10. Sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp (EM), trung bình trọng số (SEWE) ở phiên dự báo 00z ngày 27/8/2019.

Từ hình 11 cho thấy thử nghiệm SEWE cải thiện được chất lượng dự báo quỹ đạo bão ở hầu hết các hạn dự báo ngoại trừ hạn dự báo 12 giờ. Cụ thể, ở hạn dự báo 06 thử nghiệm SEWE cải thiện được 1.4% sai số khoảng cách so với thử nghiệm EM, ở dự báo 18 giờ SEWE cải thiện lên tới 61% sai số khoảng cách so với thử nghiệm EM; Còn từ hạn dự báo 24 giờ đến 36 giờ thử nghiệm SEWE cải thiện được từ 13% đến 20% sai số khoảng cách đối với

thử nghiệm EM; từ hạn dự báo 42 giờ đến 66 giờ, thử nghiệm SEWE cải thiện được từ 6% đến 10% sai số khoảng cách so với thử nghiệm EM. Như vậy đối với phiên dự báo lúc 12 UTC ngày 27/8/2019, phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu cải thiện được chất lượng dự báo quỹ đạo bão ở các hạn dài hơn 24 giờ. Kết quả này khá khác biệt với các nghiên cứu trước đây như kết quả của Trần Quang Năng và Trần Tân Tiến năm 2020 và kết quả của Phạm Thị Minh và các cộng sự năm 2022 và kết quả của nghiên cứu của M. Nishimura và M. Yamaguchi, 2015 chỉ ra được phương pháp này cải thiện được chất lượng dự báo ở các dự báo hạn ngắn. Tuy nhiên, thời điểm mà phương pháp SEWE cải thiện được chất lượng dự báo quỹ đạo lại khá tương đồng với nghiên cứu của Trần Quang Năng và Trần Tân Tiến năm 2020 là thời điểm bão di chuyển ổn định và đang mạnh dần lên.



Hình 11. Sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp (EM), trung bình trọng số (SEWE) ở phiên dự báo 12z ngày 27/8/2019.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã chỉ ra được mối liên hệ giữa sai số dự báo hạn 12 giờ với trọng số W_i được sử dụng để hiệu chỉnh quỹ đạo bão ở phiên dự báo kế tiếp có mối liên hệ nghịch biến, nghĩa là khi sai số hạn 12 giờ càng nhỏ thì giá trị W_i càng lớn, nghĩa là tỷ lệ % của thành phần tổ hợp đó trong phương trình (7) càng lớn.

Nghiên cứu đã áp dụng được phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu thử nghiệm thực tế đối với cơn bão Podul 2019 tại 3 phiên dự báo: 12UTC ngày 26/8/2019 và 00 UTC ngày 27/8/2019 và 12 UTC ngày 27/8/2019. Kết quả thử nghiệm cho thấy, ở hai phiên dự báo 12 UTC ngày 26/8 và 00 UTC ngày 27/8 ngoại trừ hạn dự báo 6 giờ thì thử nghiệm SEWE cải thiện được chất lượng dự báo quỹ đạo ở hầu hết các hạn dự báo. Đối với phiên dự báo lúc 12 UTC ngày 27/8/2019, các hạn dự báo dài hơn 24 giờ chất lượng dự báo quỹ đạo của thử nghiệm SEWE cải thiện được từ 6% đến 10% so với sai số của thử nghiệm EM. Kết quả này khác biệt với các kết quả nghiên cứu trước đây khi ứng dụng phương pháp trung bình có trọng số với cơn bão Damrey 2017 [17] và cơn bão Molave 2020 [18]. Kết quả này có thể là do ở hạn dự báo dài hơn 24 giờ cơn bão Podul 2019 di chuyển ổn định và đang mạnh lên [17] do đó phương pháp trung bình có trọng số hiệu quả hơn.

Các trường hợp thử nghiệm trong nghiên cứu chỉ áp dụng cho một cơn bão nên chỉ có kết luận cho một trường hợp cụ thể. Cần được thử nghiệm nhiều cơn bão trong nhiều phiên dự báo hơn để đưa ra được kết luận đầy đủ hơn về khả năng ứng dụng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu trong công tác dự báo quỹ đạo bão ảnh hưởng đến Việt Nam.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: P.T.M., T.T.H.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: P.T.M., T.T.H.T., H.A.Đ.; Xử lý số liệu: P.T.M., T.T.H.T., H.A.Đ.; Phân tích kết quả: P.T.M., T.T.H.T., H.A.Đ.; Viết bản thảo bài báo: P.T.M.; Chỉnh sửa bài báo: P.T.M.

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

Tài liệu tham khảo

1. Pattanayak, S.; Mohanty, U.C. A comparative study on performance of MM5 and WRF models in simulation of tropical cyclones over Indians seas. *Curr. Sci. New Delhi* **2008**, 95, 7.
2. Gu, J., Xiao, Q.; Kuo, Y.H.; Barker, D.M.; Jishan, X.; Xiaoxing, M. Assimilation and Simulation of Typhoon Rusa (2002) Using the WRF System. *Adv. Atmos. Sci.* **2005**, 22(3), 415–427.
3. Dale, M.B.; Huang, W.; Guo, Y.R.; Xiao, Q. A three-dimensional variational (3DVAR) data assimilation system for use with MM5: Implementation and initial results. *Mon. Wea. Rev.* **2005**, 132, 897–914.
4. Tien, D.D.; Thanh, N.D.; Mai, H.T.; Chanh, K. A study of the connection between tropical cyclone track and intensity errors in the WRF model. *Meteorol. Atmos. Phys.* **2013**, 121(3–4), 12.
5. Kieu, C.Q.; Truong, N.M.; Mai, H.T.; Ngo-Duc, T. Sensitivity of the Track and Intensity Forecasts of Typhoon Megi (2010) to Satellite-Derived Atmosphere Motion Vectors with the Ensemble Kalman filter. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **2012**, 29, 179–1810.
6. Chanh, K.; Minh, P.T.; Mai, H.T. An Application of the Multi-Physics Ensemble Kalman Filter to Typhoon Forecast. *Pure Appl. Geophys.* **2013**, 170, 745–954.
7. Toth, Z.; Kalnay, E. Ensemble forecasting at NCEP and the Breeding method. *Mon. Wea. Rev.* **1997**, 125, 3297–3319.
8. Palmer, T.N.; Monteni, F.; Mureau, R.; Buizza, R.; Chapelet, P.; Tribbia, J. Ensemble prediction. ECMWF Technical Memorandum, 1992, pp. 188.
9. Grijn, V.D. Tropical cyclone forecasting at ECMWF: New products and validation. ECMWF Tech. Memo. 2002, pp. 386.
10. Heming, J.T. Tropical cyclone ensemble forecast product development and verification at the Met Office. Proceeding of the 26th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Miami, FL. Amer. Meteor. Soc. 2004, 5C.6.
11. Carr, L.E.III.; Elsebery, R.L. Systematic and integrated approach to tropical cyclone track forecasting. Part I. Approach overview and description of meteorological basis. Tech. Rep. NPS-MR-94-002, Naval Postgraduate school, Monterey, CA 93943-5114. 1994, pp. 273.
12. Qi, L.B.; Yu, H.; Chen, P.Y. Selective ensemble-mean technique for tropical cyclone track forecast by using ensemble prediction systems. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **2014**, 140, 805–813.
13. Tan, P.V.; Dung, N.L. Thử nghiệm ứng dụng hệ thống WRF-VAR kết hợp với sơ đồ ban đầu hóa xoáy vào dự báo quỹ đạo bão trên Biển Đông. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2009**, 583, 1–9.
14. Tiến, T.T.; Mai, H.T.; Thanh, C. An Application of the Ensemble Kalman Filter on 5 days Forecasting Track and Intensity Tropical Cyclone. *VNU J. Sci.: Nat. Sci. Technol.* **2013**, 29(2S), 201–206.
15. Cường, H.D. Nghiên cứu ứng dụng sơ đồ đồng hóa số liệu 3DVAR cho mô hình WRF để dự báo thời tiết ở Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2011**, 610, 1–6.
16. Thanh, C.; Tien, T.T.; Thuy, T.P.; Nga, N.T. Thử nghiệm mô hình WRF đồng hóa LETKF trong dự báo sự hình thành của xoáy thuận nhiệt đới trên biển Đông giai đoạn 2013–2017. Nghiên cứu cơ bản trong “Khoa học Trái đất và Môi trường. *Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và công nghệ*, 2019, tr. 338–341.

17. Năng, T.Q.; Tiến, T.T. Phương pháp hiệu chỉnh dự báo quỹ đạo bão từ sản phẩm hệ thống dự báo tổ hợp thông qua lựa chọn thành phần tổ hợp tối ưu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 718, 1–10.
18. Minh, P.T.; Đáp, P.X.; Hằng, N.T.; Tường, T.T.H; Thủy, P.K. Dự báo quỹ đạo bão Molave năm 2020 bằng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 739, 46–58.
19. Bão Podul (2019). Wikipedia tiếng Việt. Wikipedia.org. Truy cập vào 11/05/2023. Từ [https://vi.wikipedia.org/wiki/B%C3%A3o_Podul_\(2019\)](https://vi.wikipedia.org/wiki/B%C3%A3o_Podul_(2019)).
20. Lin, Y.L.; Faley, D.; Orvilli, D. Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *J. Clim. Appl. Meteorol.* **1983**, 22, 1065–1092.
21. Holton, J.R. An introduction to dynamic meteorology, 2004.
22. Trục tuyên:
<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>.
23. Trục tuyên: <https://www.metoc.navy.mil/jtwc/jtwc.html?western-pacific>.

Application of weighted average method to correction orbit of storm Podul 2019

Minh Thi Pham^{1*}, Tuong Hong Thi Tran², Dong Anh Ha³

¹ Department of Meteorology, Hydrology and Climate change, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; ptminh@hcmunre.edu.vn

² Department of Information Systems and Remote Sensing, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; thtuong@hcmunre.edu.vn

³ Department of General Science Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; hadong@hcmunre.edu.vn

Abstract: This article presents the results of applying the weighted average method (SEWE) of the optimal ensemble components to correct the trajectory of storm Podul 2019. In which, the optimal ensembles are selected from the ensemble forecast which is created from the multiphysics ensemble of the WRF model. Experimental results show that the SEWE test improves orbit forecast quality at most forecast horizons from 12 hours to 48 hours. In particular, for forecast periods longer than 24 hours, the orbit forecast quality of the SEWE test improves from 6% to 10% compared to the orbit error of the conventional ensemble average method. This result may be due to the longer forecast period of 24 hours, storm Podul 2019 moves stably and is strengthening, so the weighted average method is more effective. The results of the study can be applied to forecast storm trajectories affecting Vietnam.

Keywords: Mean; Ensemble forecasting; WRF model; Podul Typhoon.