

Bài báo khoa học

## Dự báo quỹ đạo bão Molave năm 2020 bằng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu

Phạm Thị Minh<sup>1\*</sup>, Phạm Xuân Đáp<sup>2</sup>, Nguyễn Thị Hằng<sup>3</sup>, Trần Thị Hồng Tường<sup>4</sup>, Phạm Kim Thủy<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Sinh viên Khoa Khí tượng Thủy văn và Biến đổi Khí hậu; Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM; Phamdap18@gmail.com

<sup>3</sup> Khoa Đại cương, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM; hang.nguyen687@gmail.com; pkthuy.math@gmail.com

<sup>4</sup> Khoa hệ thống thông tin và Viễn thám; tthtuong@hcmunre.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: minhpt201@gmail.com; Tel.: +84-936069249

Ban Biên tập nhận bài: 12/6/2022; Ngày phản biện xong: 14/7/2022; Ngày đăng bài: 25/7/2022

**Tóm tắt:** Trong bài báo này nhóm tác giả dự báo quỹ đạo bão Molave năm 2020 bằng hệ thống dự báo tổ hợp được tạo ra từ mô hình WRF. Sau đó kết quả dự báo quỹ đạo được tính bằng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu (thành phần có sai số quỹ đạo hạn ngắn nhỏ hơn sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp). Kết quả thử nghiệm cho thấy, về hướng di chuyển, ở những hạn dự báo dài hơn 2 ngày khi độ tán tổ hợp của dự báo tổ hợp lớn thì TBTS (trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu) mô phỏng hướng cơn bão hiệu quả hơn so với TBTH (trung bình tổ hợp). Về sai số dự báo quỹ đạo TBTS cải thiện đáng kể so với sai số dự báo quỹ đạo của TBTH ở một số hạn dự báo. Cụ thể, sai số quỹ đạo bão của TBTS cải thiện từ 2% đến 15% ở các hạn dự báo trước 2 ngày, còn ở hạn dự báo sau 2 ngày chỉ cải thiện được 1% đến 6% so với phương pháp trung bình tổ hợp thông thường. Kết quả này bước đầu cho thấy ưu điểm của phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu.

**Từ khóa:** Trung bình trọng số; Dự báo tổ hợp; Dự báo có lựa chọn; Bão.

### 1. Mở đầu

Nước ta có đường bờ biển dài 3260 km giáp biển Đông nên là điều kiện thuận lợi cho việc phát triển kinh tế thông qua các ngành dịch vụ du lịch, ngành nuôi thủy hải sản và đánh bắt. Tuy nhiên, vị trí này cũng chính là nơi chịu ảnh hưởng nhiều của các cơn bão hình thành và di chuyển vào biển Đông nên Việt Nam chịu ảnh hưởng khá lớn từ các cơn bão. Những cơn bão hình thành trên biển Đông sau đó di chuyển đến gần bờ hoặc đổ bộ vào đất liền đe dọa đến tài sản và tính mạng của con người. Đặc biệt nước dâng do bão có thể cao đến hàng chục mét gây ngập lụt cho các tỉnh ven biển và gió giật, mưa lớn có thể phá hủy các công trình xây dựng, ruộng vườn thậm chí là gây chết người [1–2].

Vì vậy, việc dự báo chính xác quỹ đạo đóng vai trò rất lớn trong việc cảnh báo, phòng tránh và từ đó giảm thiểu những thiệt hại do bão gây ra. Trong các nghiên cứu gần đây trên thế giới chủ yếu đi theo các hướng: 1) Tập trung hiệu chỉnh các quá trình vật lý trong mô hình. Tuy nhiên quá trình này dường như tiệm cận đến một ngưỡng nhất định nên 20 năm gần

đây hầu như không cải thiện được nhiều kết quả của mô hình; 2) bài toán ban đầu hóa xoáy và đồng hóa số liệu. Một số kết quả đã chứng minh được hiệu quả; 3) hướng giải quyết liên quan đến hậu mô hình, trong đó phải kể đến phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu [3–4]. Một số nghiên cứu trước đây đã chứng minh được hiệu quả của việc loại bỏ các tổ hợp xấu trước khi tiến hành lấy trung bình tổ hợp thì sai số dự báo quỹ đạo giảm đi rất lớn [3, 5]. Cụ thể là trung tâm cảnh báo bão của hải quân Hoa Kỳ (JTWC) đã áp dụng một hệ thống được thiết kế nhằm loại bỏ sai số dự báo quỹ đạo bão thời hạn 72 giờ từ các thành phần tổ hợp thông qua việc nhận dạng các sai số hệ thống trong mô hình NWP [6–7]. Tuy nhiên kỹ thuật này có nhược điểm vẫn phụ thuộc vào khả năng nhận dạng sai số của các dự báo viên, và không thể tạo ra một tổ hợp tối ưu ổn định so với phương pháp tổ hợp không có lựa chọn. Vì vậy đối với bài toán nghiệp vụ, một số tác giả đã thực hiện phương pháp trung bình có trọng số của các tổ hợp tối ưu để cải thiện kết quả dự báo quỹ đạo bão ở thời hạn 96, 108, 120 giờ trên khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương, kết quả dự báo được cải thiện từ 5% đến 10% [8]. Và ở Việt Nam [10] đã giới thiệu phương pháp trung bình tổ hợp có lựa chọn cho dự báo quỹ đạo bão dựa trên sai số của các thành phần hệ thống dự báo tổ hợp tại các thời hạn dự báo ngắn (6–12 giờ) được đề xuất bởi [11] và thử nghiệm tính toán thực tế đối với 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. Kết quả cho thấy ở hạn dự báo 24–48 giờ và khi trường hợp các cơn bão có cường độ mạnh và quỹ đạo ổn định, phương pháp trung bình trọng số sẽ giảm thiểu được sai số dự báo quỹ đạo trung bình tổ hợp.

Ngoài ra mô hình WRF là mô hình hiện đại nhất hiện nay và được cộng đồng thế giới tham gia cải tiến và phát triển. Và hiện tại mô hình có đến 11 lựa chọn mô hình vật lý và có thể tạo ra 21 thành phần tổ hợp đa vật lý. Mỗi thành phần tổ hợp này đều có thể là thành phần tổ hợp tối ưu trong dự báo quỹ đạo bão (có sai số quỹ đạo thấp hơn sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp). Và có nhiều nghiên cứu sử dụng mô hình WRF để dự báo bão trên Biển Đông ảnh hưởng đến Việt Nam [11–15] đem lại kết quả khả quan. Tuy nhiên, về dự báo quỹ đạo vẫn còn tồn tại các sai số lớn. Do đó, trong nghiên cứu này nhóm tác giả thực hiện “dự báo quỹ đạo cơn bão Molave 2020 bằng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu”.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Cơ sở dữ liệu

Nguồn số liệu sử dụng trong nghiên cứu là số liệu GFS của trung tâm dự báo môi trường quốc gia Hoa Kỳ và trung tâm nghiên cứu khí quyển quốc gia Hoa Kỳ với độ phân giải ngang là  $0.5 \times 0.5$  độ kinh vĩ và định dạng grib2 [16].

Số liệu quan trắc được trình bày trong bảng 1 theo kinh–vĩ có nguồn từ Cổng thông tin dữ liệu hải dương thuộc Hải Quân Mỹ (*Navy Oceanography Portal*).

**Bảng 1.** Số liệu quan trắc kinh vĩ độ của cơn bão Molave [19].

Thời gian	Kinh độ (°E)	Vĩ độ (°N)
00z 25/10/2020	126.4	13.4
06z 25/10/2020	124.7	13.4
12z 25/10/2020	123.1	13.4
18z 25/10/2020	121.9	13.1
00z 26/10/2020	120.4	13.1
06z 26/10/2020	118.9	13.4
12z 26/10/2020	117.7	13.2

Thời gian	Kinh độ (°E)	Vĩ độ (°N)
18z 26/10/2020	115.8	13.3
00z 27/10/2020	114.5	13.5
06z 27/10/2020	113.3	13.5
12z 27/10/2020	111.9	13.9
18z 27/10/2020	111.3	14.2
00z 28/10/2020	109.8	14.7
06z 28/10/2020	108.4	15.2
12z 28/10/2020	107.3	15.4
18z 28/10/2020	106.3	15.5
00z 29/10/2020	105.4	15.5

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.2.1. Hệ thống dự báo tổ hợp tạo ra từ mô hình WRF

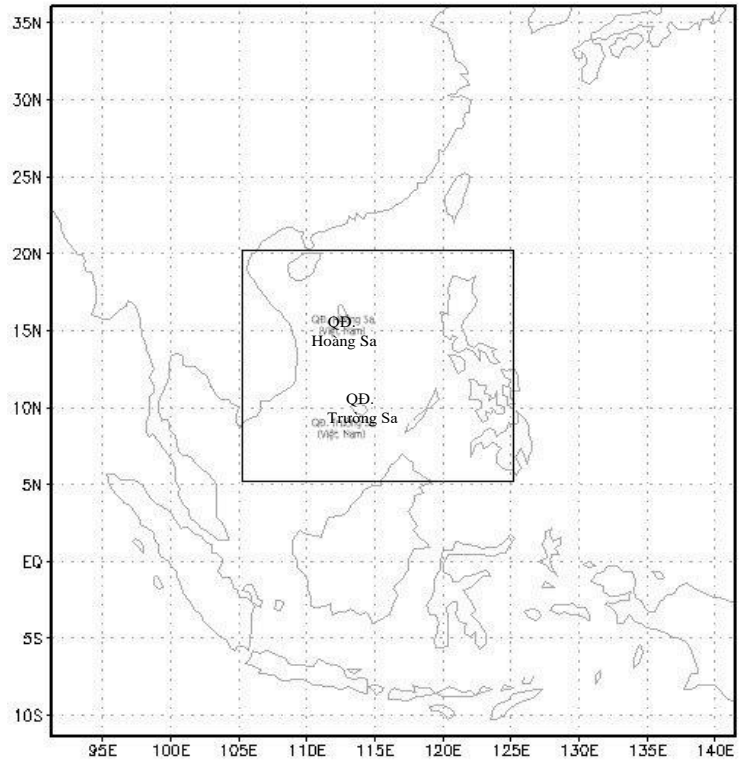
Dự báo tổ hợp đa vật lý được triển khai trong phiên bản V4.0 của mô hình WRF–ARW áp dụng phương pháp trung bình có trọng số của các tổ hợp tối ưu để tìm ra quỹ đạo bão tốt nhất. Mô hình WRF được lựa chọn kết hợp với một lưới lồng gồm hai miền tính sử dụng phép chiếu Mercator có độ phân giải ngang 36 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 11,2°N – 112,3°E) được khởi tạo với số liệu từ hệ thống NCEP/GFS. Miền không gian của mô hình có 31 mực theo phương thẳng đứng ( $\sigma$ ) 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 1). Giai đoạn thử nghiệm dự báo với các phiên dự báo 12UTC ngày 25/10/2020, 00UTC ngày 26/10/2020.

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 [15] 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 thu được tốt. Do đó trong nghiên cứu này cũng sử dụng các sơ đồ trên để tạo ra dự báo tổ hợp đa vật lý.

**Bảng 2.** Sơ đồ tham số hóa trong mô hình WRF ứng với các lựa chọn cụ thể [20].

Sơ đồ	Ký hiệu	Lựa chọn
Bức xạ sóng dài	ra_lw_physics	1. RRTM scheme
Bức xạ sóng ngắn	ra_sw_physics	1. Dudhia scheme 2. Goddard shortwave 1. Kessler scheme 2. Lin et al. scheme
Vi vật lý	mp_physics	3. WSM 3–class simple ice scheme 4. WSM 5–class scheme 5. Ferrier (new Eta) microphysics 6. WSM 6–class graupel scheme
Tham số hóa đối lưu	cu_physics	1. Kain–Fritsch scheme 2. Betts–Miller–Janjic scheme

Như vậy, tổng cộng có 21 kết hợp khác nhau của các sơ đồ vật lí được trong các thành phần tổ hợp khác nhau trong mô hình WRF theo một chuỗi các hoán vị của các sơ đồ vật lí 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 lí gồm các sơ đồ sau: (1) sơ đồ vi vật lí gồm sơ đồ của Kessler, sơ đồ của Lin [18], vi vật lí 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 3), và các tổ hợp kết hợp được đưa ra trong Bảng 3.



**Hình 1.** Bản đồ khu vực nghiên cứu.

**Bảng 3.** Thành phần tổ hợp tương ứng với các sơ đồ vật lí khác nhau [16].

Thành phần 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

Thành phần tổ hợp	Ra_lw_physics	Ra_sw_physics	mp_physics	cu_physics
019	1	2	5	2
020	1	1	6	1
021	1	2	6	1

### 2.2.2. Phương pháp trung bình có trọng số

Kỹ thuật trung bình tổ hợp có lựa chọn trong nghiên cứu sử dụng thông tin về sai số vị trí thời hạn dự báo ngắn từ mỗi thành phần tổ hợp để tạo ra một giá trị trung bình để dự báo quỹ đạo thời hạn dài hơn. Do đó tổ hợp được hiểu là một phương pháp tổng hợp dựa trên sai số dự báo hạn ngắn (*Short Lead Time-SLT*) với lý thuyết là các thành phần có sai số thấp ở SLT sẽ có sai số dự báo hạn dài (*Long Lead Time-LLT*) nhỏ hơn. Trong nghiệp vụ, các sản phẩm tổ hợp thường đến được với các dự báo viên với độ trễ thời gian nhất định, điều này xuất phát từ các nguyên nhân như năng lực tính toán và truyền tải số liệu. Đối với các hệ thống tổ hợp, thời gian trễ thường là hơn 6 giờ. Ví dụ, sản phẩm dự báo của phiên dự báo theo giờ quốc tế 00UTC sẽ đến được với dự báo viên lúc 06UTC hoặc thậm chí muộn hơn. Độ trễ này cho phép các dự báo viên có thể đánh giá kỹ năng dự báo trong SLT, từ đó ước lượng độ tin cậy trong dự báo LLT của các thành phần tổ hợp này. Trong nghiên cứu thời hạn dự báo ngắn được xác định là 12 giờ bởi các lý do: i) các hệ thống tổ hợp sử dụng đều chạy tại 02 phiên 00UTC và 12UTC và các sản phẩm tổ hợp nghiệp vụ luôn có độ trễ hơn 6 giờ và ii) các sản phẩm từ hệ thống tổ hợp chỉ được cung cấp trong khoảng thời gian 12 giờ. 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 2 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.

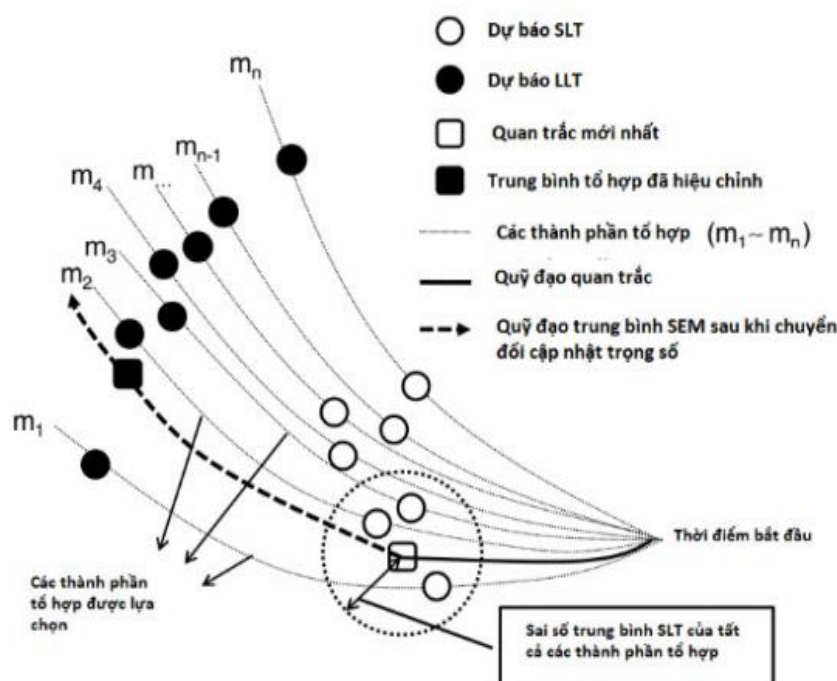
Sơ đồ trọng số được thiết kế để xác định trọng số dự báo quỹ đạo LLT bởi hệ số tỉ lệ nghịch với các sai số SLT tương ứng, được đặt tên là e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub>, e<sub>3</sub>. Khi đó, các trọng số được tính toán theo phương trình (1–3).

$$w_1 = \frac{1}{e_1}; w_2 = \frac{1}{e_2}; w_3 = \frac{1}{e_3} \tag{1}$$

$$x = (w_1 + w_2 + w_3) \tag{2}$$

$$W_1 = \frac{w_1}{x}; W_2 = \frac{w_2}{x}; W_3 = \frac{w_3}{x} \tag{3}$$

Với W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub> 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.



Hình 2. Sơ đồ minh họa kỹ thuật trung bình tổ hợp có lựa chọn [9].

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:

$$w_i = \frac{1}{e_i} \tag{4}$$

$$x = \sum_{i=1}^N w_i \tag{5}$$

$$W_i = \frac{w_i}{x} \tag{6}$$

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:

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

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. Ví dụ như sai số quỹ đạo đối với trung bình tổ hợp của ECMWF rơi vào khoảng 40–60 km đối với hạn dự báo 6–12 giờ và khoảng 60–100 km đối với hạn 12–24 giờ [11].

### 2.2.3. Phương pháp đánh giá

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

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

Trong đó  $R_e$  là bán kính trái đất (6378,16 km);  $\alpha_1, \alpha_2$  là vĩ độ của tâm bão thực tế và tâm bão do mô hình dự báo (đv radian);  $\beta_1, \beta_2$  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:

$$ATE_j = \frac{\sum_{i=1}^n PE_{i,j}}{n} \tag{9}$$

Trong đó TE 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 thành phần tổ hợp tối ưu

Sai số dự báo quỹ đạo hạn 12 giờ tại các phiên dự báo 00 giờ UTC ngày 25/10/2020, 12 giờ UTC ngày 25/10/2020, 00 giờ UTC ngày 26/10/2020 của từng thành phần tổ hợp so với các vị trí tâm bão quan trắc được thể hiện trong bảng 4. Các giá trị sai số này được áp dụng trong việc tìm số các thành phần sai số tối ưu theo các hạn ngắn 6 giờ và 12 giờ (kí hiệu DPE06 giờ và DPE12 giờ). Kí hiệu thành phần (TP) thứ 0 là mem00. Tùy vào sai số của từng thành phần mà các thứ tự (TT) sai số đã được sắp xếp lại từ nhỏ đến lớn. Tiếp theo nghiên cứu tìm các thành phần tổ hợp tối ưu là các thành phần có sai số dự báo 12 giờ nhỏ hơn sai số TBTH (Bảng 5).

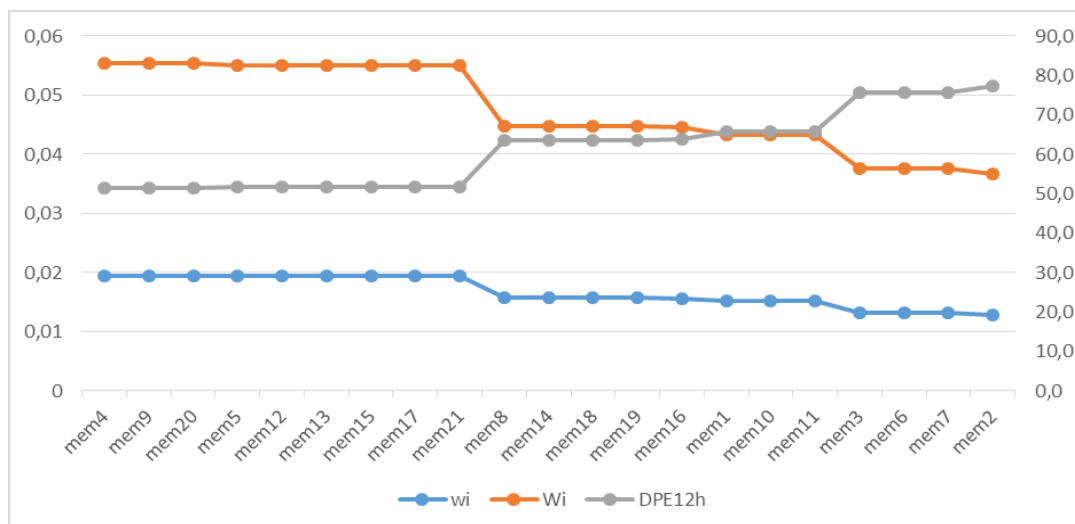
**Bảng 4.** Sai số khoảng cách quỹ đạo tại từng phiên dự báo (đơn vị km).

Phiên dự báo 00z 25–10–2020				Phiên dự báo 12z 25–10–2020				Phiên dự báo 00z 26–10–2020			
DPE06	TT	DPE12	TT	DPE06	TT	DPE12	TT	DPE06	TT	DPE12	
mem08	36,3	mem04	51,4	mem01	11,9	mem08	31,9	mem12	38,8	mem04	23,5
mem09	36,3	mem09	51,4	mem02	11,9	mem09	31,9	mem09	41,8	mem11	23,5
mem12	36,3	mem20	51,4	mem03	11,9	mem20	31,9	mem02	47,9	mem07	23,5
mem13	36,3	mem05	51,6	mem08	11,9	mem21	31,9	mem05	47,9	mem14	23,5
mem16	36,3	mem12	51,6	mem09	11,9	mem01	36,3	mem06	47,9	mem15	23,5
mem05	48,3	mem13	51,6	mem04	23,2	mem06	36,3	mem07	47,9	mem05	35,3
mem17	48,3	mem15	51,6	mem05	23,2	mem07	36,3	mem08	47,9	mem08	35,3
mem21	48,3	mem17	51,6	mem06	23,2	mem10	36,3	mem10	47,9	mem09	35,3
mem03	48,6	mem21	51,6	mem07	23,2	mem11	36,3	mem11	47,9	mem06	35,3
mem04	48,6	mem08	63,5	mem10	23,2	mem12	41,3	mem13	47,9	mem12	35,3
mem06	48,6	mem14	63,5	mem11	23,2	mem13	41,3	mem14	47,9	mem13	35,3
mem07	48,6	mem18	63,5	mem12	23,2	mem16	41,3	mem15	47,9	mem16	35,3
mem10	48,6	mem19	63,5	mem13	23,2	mem17	41,3	mem16	47,9	mem17	35,3
mem11	48,6	mem16	63,8	mem14	23,2	mem02	41,4	mem17	47,9	mem19	35,3
mem14	48,6	mem01	65,6	mem15	23,2	mem03	41,4	mem20	47,9	mem20	35,3
mem15	48,6	mem10	65,6	mem16	23,2	mem04	41,4	mem21	47,9	mem21	35,3
mem18	48,6	mem11	65,6	mem17	23,2	mem05	41,4	mem18	48,4	mem10	39,3
mem19	48,6	mem03	75,6	mem18	23,2	mem14	41,4	mem19	48,4	mem01	47,4
mem20	48,6	mem06	75,6	mem19	23,2	mem15	41,4	mem01	53,2	mem18	47,4
mem01	51,1	mem07	75,6	mem20	23,2	mem18	41,4	mem04	55,9	mem03	59,5
mem02	51,8	mem02	77,4	mem21	23,2	mem19	41,4	mem03	58,1	mem02	61,9
TB	45,9	TB	61,1	TB	20,5	TB	38,3	TB	48,3	TB	36,3

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

Phiên dự báo	Số thành phần < TB đạt ngưỡng hạn 6h	Số thành phần < TB đạt ngưỡng 12h
00UTC 25–10–2020	5	9
12UTC 25–10–2020	5	9
00UTC 26–10–2020	16	16

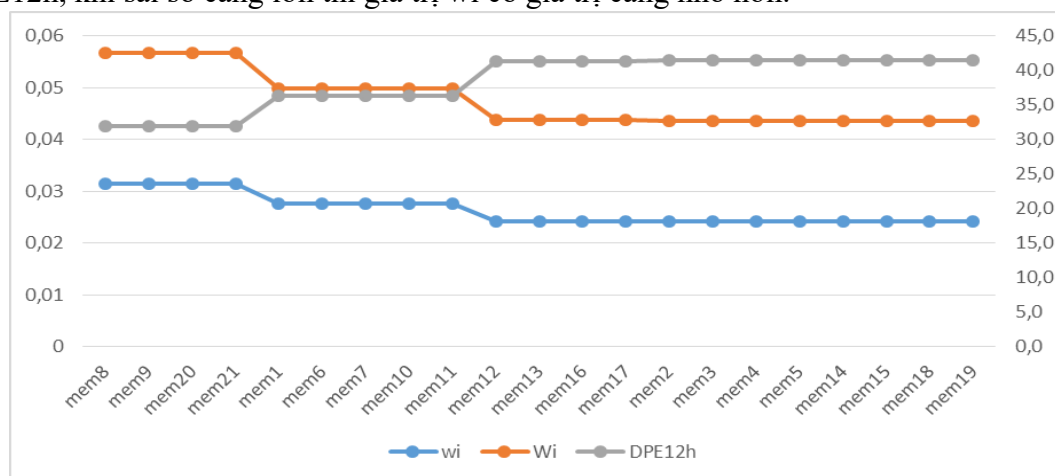




**Hình 3.** Biểu đồ chỉ số các trọng số của từng thành phần tổ hợp ứng với phiên dự báo 00UTC ngày 25/10/2020.

Từ dữ liệu bảng 4, tiến hành lấy số liệu các mem ngày 25/10/2020 lúc 00 UTC tại hạn dự báo 12 giờ so sánh với giá trị trung bình tổ hợp 21 mem tại hạn đó để lựa chọn ra được 9 thành phần tối ưu để dự đoán cho phiên dự báo tiếp theo 12 UTC ngày 25/10/2020. Các thành phần được thay vào các công thức (4), (6) để ra được các giá trị chỉ số dưới wi, tương tự là chỉ số dưới Wi đã thể hiện trên hình 3. Biểu đồ đã chỉ ra rằng Wi và DPE12h có tỉ lệ nghịch với nhau, biểu diễn bằng hai đường cam và xám, giá trị Wi có xu hướng giảm không đều, giảm khá mạnh tại các mem 8, mem 3. Tương ứng là giá trị DPE12h có sai số tăng không đều, có các sai số tăng khá mạnh tại mem 8 từ 51,6 lên 63,5 km, mem 3 từ 65,6 lên 75,6 km. Giá trị wi có xu hướng giảm tương tự với giá trị Wi và có tỉ lệ nghịch với DPE12h, khi sai số càng lớn thì giá trị wi có giá trị càng nhỏ hơn (Hình 3).

Trong hạn dự báo 12h của phiên dự báo 12 UTC ngày 25/10/2020 khi so sánh với giá trị trung bình tổ hợp 21 mem tại hạn dự báo đã chọn ra được 9 thành phần tối ưu để dự báo cho phiên dự báo tiếp theo 00 UTC ngày 26/10/2020. Biểu đồ hình 4 đã chỉ ra rằng Wi và DPE12h có tỉ lệ nghịch với nhau, biểu diễn bằng hai đường cam và xám, có tỉ lệ nghịch với nhau, giá trị Wi giảm đều, giảm khá mạnh tại mem 1, mem 12. Tương ứng là giá trị DPE12h có sai số tăng đều, tăng khá mạnh tại mem 1 từ 31,9 lên 36,3 km, mem 12 từ 36,3 lên 41,3 km. Giá trị wi có xu hướng giảm như Wi nhưng có mức độ giảm thấp hơn và tỉ lệ nghịch với DPE12h, khi sai số càng lớn thì giá trị wi có giá trị càng nhỏ hơn.

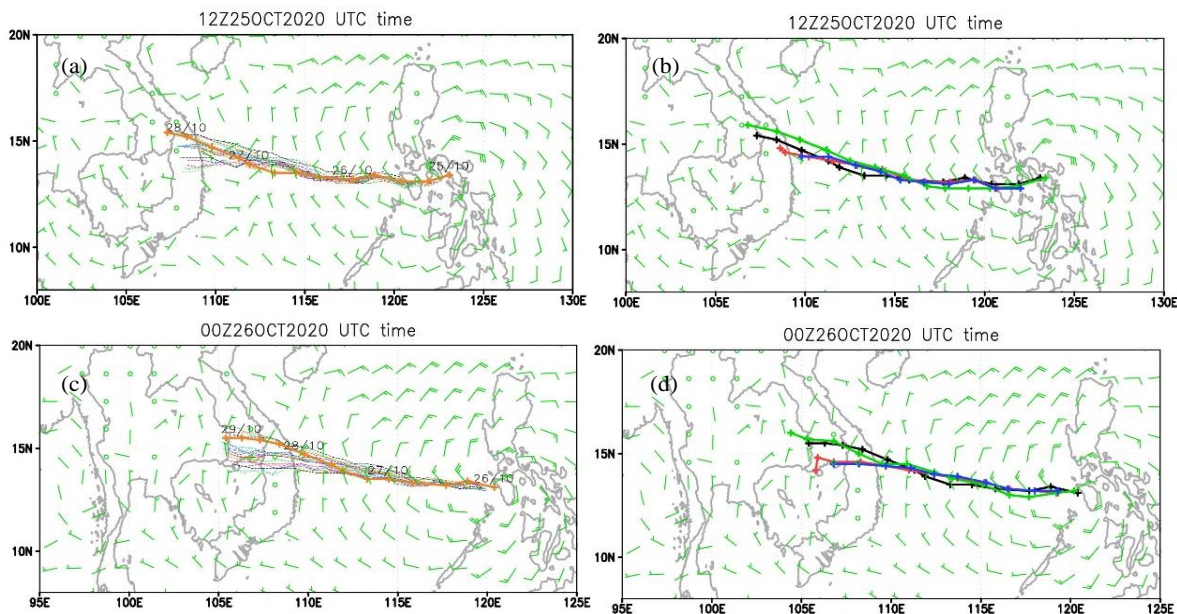


**Hình 4.** Biểu đồ chỉ số các trọng số của từng thành phần tổ hợp ứng với phiên dự báo 12UTC ngày 25/10/2020.



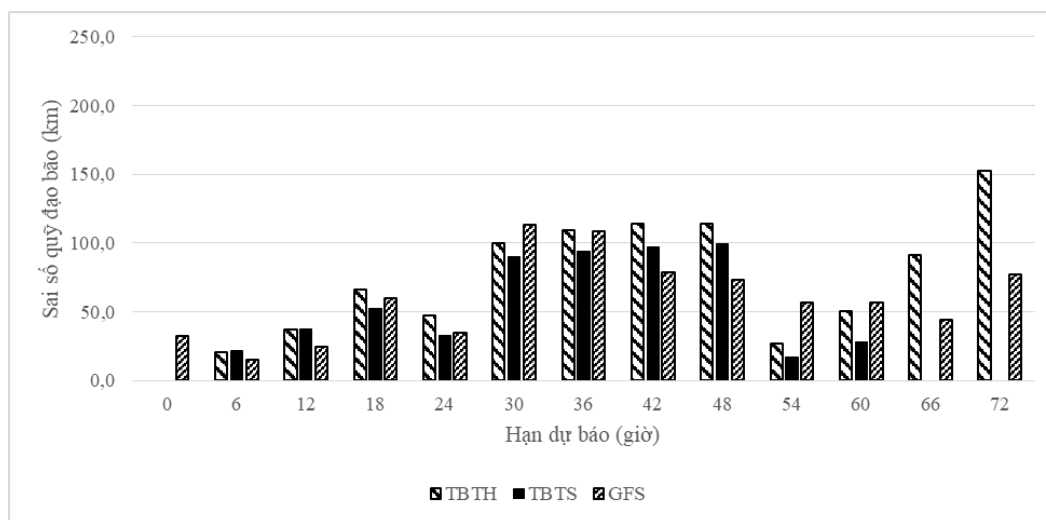
### 3.2. Hiệu chỉnh quỹ đạo dự báo

Từ các giá trị  $w_i$ ,  $W_i$  được tính từ phân (3.1) nhóm nghiên cứu thực hiện thay vào công thức (7), tính ra được quỹ đạo theo phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tối ưu và thể hiện qua hình ảnh quỹ đạo hiệu chỉnh hình 5. Để đánh giá được khả năng dự báo, nhóm nghiên cứu tính toán các sai số của các phương pháp theo công thức (8), kết quả thu được trình bày trong hình 6.



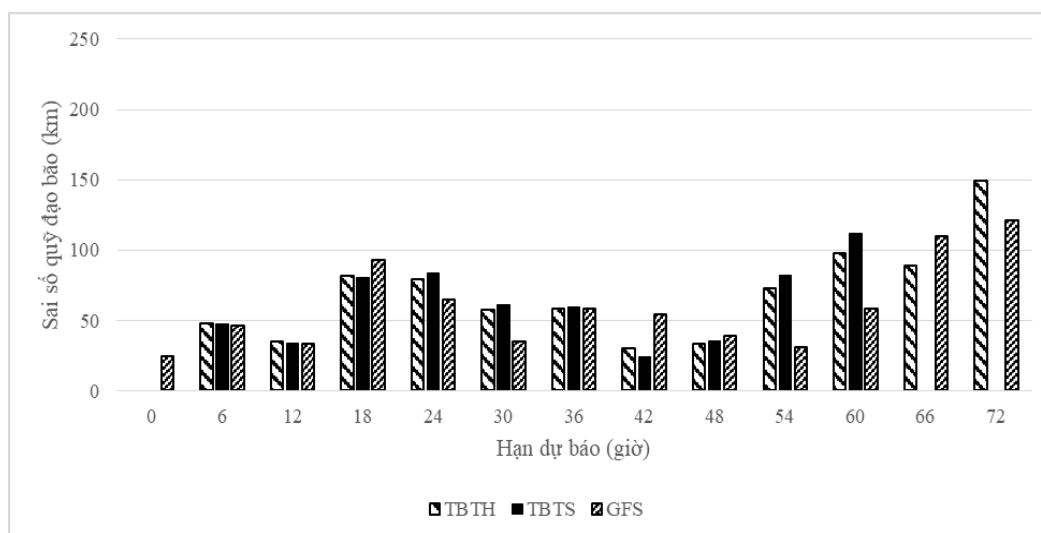
**Hình 5.** Quỹ đạo dự báo của các thành phần dự báo (a), (c) và quỹ đạo dự báo của các phương pháp dự báo khác (b), (d).

Hình 5a, 5c biểu diễn quỹ đạo thực bằng đường màu cam cùng với quỹ đạo của 21 mem bằng các đường đứt đoạn. Hình 5b, 5d biểu diễn quỹ đạo thực bằng đường màu đen và đường màu xanh lá biểu diễn GFS, màu xanh dương biểu diễn trung bình có trọng số, màu đỏ biểu diễn cho trung bình tổ hợp. Nhìn chung trong các phiên dự báo độ phân tán quỹ đạo dự báo nhỏ trong 24, 48 giờ đầu, độ phân tán tương đối lớn trong dự báo 72 giờ. Sai số quỹ đạo giữa các phương pháp dự báo cũng có độ sai số nhỏ trong dự báo 24, 48 giờ và sai số tương đối lớn trong dự báo 72 giờ. Số liệu về TBTH và TBTS bị thiếu dữ liệu hạn 00, 66, 72 do sau khi chạy mô hình dữ liệu được đưa ra từ 21 thành phần không có giá trị tại hạn 00, 66, 72 giờ.



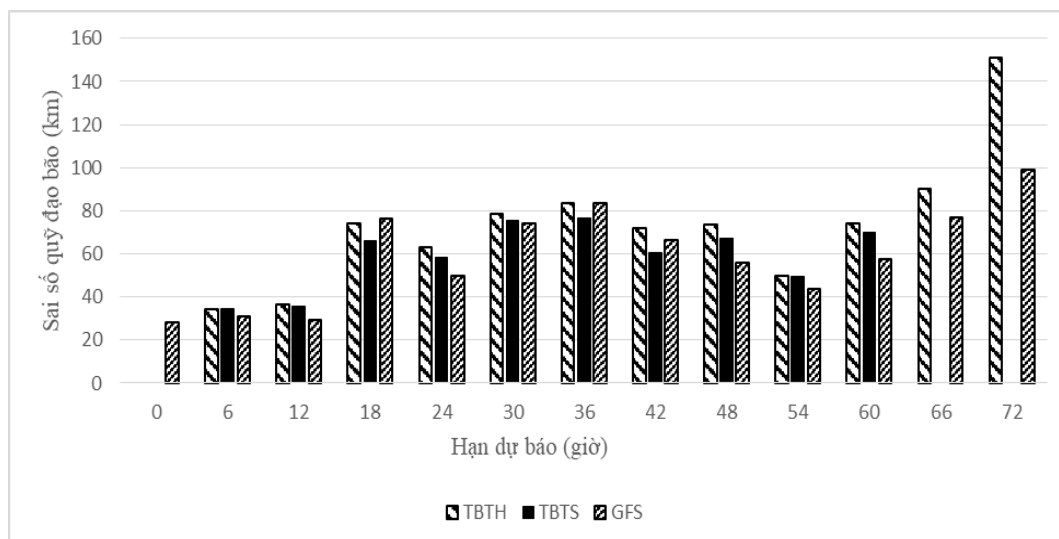
**Hình 6.** Sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp (TBTH), trung bình trọng số (TBTS) và GFS ở phiên dự báo 12z ngày 25/10/2020.

Quỹ đạo được tính bằng phương pháp TBTS tại phiên dự báo 12 UTC ngày 25/10/2020 từ các thành phần tối ưu được lựa chọn ra từ dự báo tại phiên 00 UTC trước đã dự báo tương đối chính xác hướng di chuyển của bão có hướng Tây trong 36 giờ đầu giống với hai phương pháp TBTH và GFS (5b). Từ hạn dự báo 42 đến 54 giờ cả ba phương pháp đều dự đoán bão sẽ đổi hướng di chuyển theo hướng Tây–Tây Bắc tuy nhiên hướng di chuyển của bão vẫn là hướng Tây (Hình 5b). Hạn 60 giờ, đã có sự khác biệt của ba phương pháp, trong đó GFS dự báo bão tiếp tục di chuyển hướng Tây–Tây Bắc đổ bộ vào tỉnh Quảng Nam, còn hai phương pháp TBTS, TBTH dự báo bão sẽ từ hướng Tây–Tây Bắc đổi sang hướng Tây đổ bộ vào tỉnh Bình Định (hình 5b). Sai số quỹ đạo của phương pháp TBTS so với phương pháp TBTH và GFS tại hạn dự báo 06, 12 giờ có sai số lớn hơn khoảng từ 0,3–12,8 km, tuy nhiên từ hạn dự báo 18–60 phương pháp TBTS có giá trị nhỏ hơn so với TBTH, GFS từ 2,0–39,6 km (Hình 6). Nhưng tại hạn dự báo 42–48 sai số của TBTS lại lớn hơn GFS từ 18,5–26,4 km (Hình 6). Điều này phù hợp với những nhận định của Trần Quang Năng rằng “ở các thời hạn ngắn 24–48 giờ và khi trường hợp các cơn bão có cường độ mạnh và quỹ đạo ổn định, phương pháp trung bình trọng số sẽ giảm thiểu được sai số dự báo quỹ đạo trung bình tổ hợp” [10]. Nhìn chung phương pháp TBTS đã cải thiện được khả năng dự báo quỹ đạo với khoảng 53,8% tổng các hạn dự báo có sai số nhỏ hơn so với TBTH.



**Hình 7.** Sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp (TBTH), trung bình trọng số (TBTS) và GFS ở phiên dự báo 00z ngày 26/10/2020.

Quỹ đạo dự báo tại phiên dự báo 00 UTC ngày 26/10, trong 30 giờ đầu, cả ba phương pháp đều dự báo bão di chuyển theo hướng Tây khá chính xác so với quỹ đạo thực. Tại hạn 36 giờ, bão đổi hướng từ Tây sang Tây–Tây Bắc, hai phương pháp TBTS và TBTH dự báo bão di chuyển theo hướng Tây, đổ bộ vào khu vực tỉnh Quảng Ngãi–Bình Định (hình 5d). Phương pháp GFS dự báo bão di chuyển theo hướng Tây và đổi hướng thành Tây–Tây Bắc tại hạn 48, đổ bộ vào khu vực Quảng Ngãi–Bình Định (Hình 5d). Sai số quỹ đạo của phương pháp TBTS chưa tối ưu hơn so với phương pháp TBTH và GFS vì có sai số nhỏ hơn chiếm tỉ lệ nhỏ trong các hạn dự báo, chỉ có sai số nhỏ hơn khoảng 0,4–5,5 km tại hạn 6, 12, 18 so với TBTH và có sai số nhỏ hơn khoảng 4,1–30,1 km tại hạn 18, 42, 48 so với GFS (Hình 7). Các hạn dự báo còn lại sai số của TBTS lớn hơn từ 1,1–13,8 km so với TBTH và 0,2–53,7 km so với GFS (Hình 7). Dù phương pháp TBTS đã cải thiện được quỹ đạo tại phiên dự báo trước tuy nhiên tại phiên dự báo này lại cho thấy rằng phương pháp TBTS cải thiện được khả năng dự báo với 26,9% tổng các hạn dự báo có sai số nhỏ hơn so với TBTH. Trường hợp này tuy kết quả không khả quan nhưng phù hợp với nhận định của [21–22] là phương pháp TBTS cải thiện hơn so với phương pháp TBTH trong hạn dự báo ngắn 6h và chưa cải thiện ở hạn 48 giờ trở lên.



**Hình 8.** Sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp (TBTH), trung bình trọng số (TBTS) và GFS của 2 phiên dự báo.

Từ hình 8, khi so sánh sai số của TBTS và TBTH trung bình trong 2 phiên cho thấy sai số quỹ đạo của phương pháp TBTS nhỏ hơn so với TBTH từ 0,5–11,3 km tại hạn 12 đến 60 giờ và lớn hơn 0,5 km tại hạn 6 giờ. So với phương pháp TBTS và GFS có sai số quỹ đạo nhỏ hơn từ 5,8–10,1 km tại hạn 18,36,42 và lớn hơn từ 1,3–12,5 km tại các hạn còn lại. Nhìn chung trong cả 2 phiên dự báo, phương pháp TBTS đã cải thiện được khả năng dự báo quỹ đạo bão so với hai phương pháp TBTH và GFS.

#### 4. Kết luận

Mục tiêu ứng dụng và thử nghiệm phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu để dự báo quỹ đạo bão Molave 2020. Nghiên cứu đã giới thiệu được phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu và áp dụng thử nghiệm với hệ thống dự báo tổ hợp được tạo ra từ mô hình WRF đối với cơn bão Molave tại 2 phiên dự báo: 12z ngày 25/10/2020, 00z ngày 26/10/2020. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy trong các hạn dự báo ngắn, phương pháp TBTS dự báo quỹ đạo bão cải thiện hơn so với TBTH khi có sai số nhỏ hơn từ 2,0–39,6 km tại hạn dự báo 18–60 h trong phiên 12z ngày 25/10 và sai số nhỏ hơn 0,4–5,5 km tại hạn dự báo 6, 12, 18 h của phiên 00z ngày 26/10. Khi so sánh trung bình trong 2 phiên, TBTS nhỏ hơn TBTH từ 0,5–11,3 km tại hạn 12–60 h.

Ngoài ra, trong phiên dự báo 12z ngày 25/10/2020, phương pháp TBTS chiếm 53,9% tổng các hạn dự báo có sai số nhỏ hơn so với TBTH. Trong phiên tiếp theo tỉ lệ giảm xuống chỉ còn 26,9%. Tuy nhiên trung bình trong cả 2 phiên dự báo tỉ lệ sai số nhỏ hơn của TBTS so với TBTH chiếm 52,2%.

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 hơn để đưa ra được nhận định tổng quan 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.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu P.T.M., P.X.Đ., N.T.H., P.K.T.; Xử lý số liệu: P.T.M., P.X.Đ., N.T.H., T.T.H.T., P.K.T.; Phân tích kết quả: P.T.M., N.T.H., T.T.H.T., P.K.T.; Viết bản thảo bài báo: P.T.M., P.X.Đ.; Chỉnh sửa bài báo: P.T.M., P.X.Đ.

**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. Toàn, P.N.; Đắc, P.T. Đặc điểm khí hậu Việt Nam. *NXB Khoa học và kỹ thuật Hà Nội*. 1992, 232, 201–206
2. Minh, T.C. Khí hậu và khí tượng đại cương. *NXB Đại học quốc gia Hà Nội*. **2007**.
3. Tsai, H.C.; Russell, L.E. Detection of tropical cyclone track changes from the ECMWF ensemble prediction system. *Geophys. Res. Lett.* **2013**, *40*, 797–801. <https://doi.org/10.1002/grl.50172>.
4. Goerss, J.S.; Sampson, C.R.; Gross, J.M. A history of western North Pacific tropical cyclone track forecast skill. *Weather Forecasting* **2004**, *19*, 633–638.
5. Elsberry, R.L.; Carr, L.E. Consensus of dynamical tropical cyclone track forecasts: Errors versus spread. *Mon. Weather Rev.* **2000**, *128*, 4131–4138. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2000\)129<4131:CODTCT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2000)129<4131:CODTCT>2.0.CO;2).
6. Carr, L.E.; Elsberry, R.L. Dynamical tropical cyclone track forecast errors. Part I:
7. Tropical region error sources. *Weather Forecasting* **2000**, *15*, 641–661.
8. Carr, L.E.; Elsberry, R.L.; Peak, J.E. Beta test of the systematic approach expert system prototype as a tropical cyclone track forecasting aid. *Weather Forecasting* **2001**, *16*, 355–368.
9. Elsberry, R.L.; Hughes, J.R.; Boothe, M.A. Weighted position and motion vector consensus of tropical cyclone track prediction in the western North Pacific. *Mon. Wea. Rea.* **2008**, *136*, 2478–2487. <https://doi.org/10.1175/2007MWR2262.1>.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Minh, P.T.; Hằng, N.T.; Thủy, P.K.; Gia, C.N.H. Ứng dụng phương pháp đa vật lý xác định sai số mô hình WRF mô phỏng quỹ đạo và cường độ cơn bão Usagi 2018. *Sci. Tech. Dev. J. Sci. Earth Environ.* **2021**, *5(1)*, 298–311.
17. <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs> .
18. 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.
19. <https://www.metoc.navy.mil/jtwc/jtwc.html?western-pacific>.
20. <http://homepages.see.leeds.ac.uk/~lecrb/wrf/aRWUsersGuide.pdf>.

21. Nishimura, M.; Yamaguchi, M. Selective ensemble mean technique for tropical cyclone track forecasts using multi-model ensembles. *Trop. Cyclone Res. Rev.* **2015**, *4*, 71–78.
22. Du, Y.; Qi, L.; Cao, X. Selective ensemble-mean technique for tropical cyclone track forecast by using time-lagged ensemble and multi-centre ensemble in the western North Pacific. *Q. J. R. Meteorolog. Soc.* **2016**, *142*, 2452–2462.

## **Forecasting the track Molave storm in 2020 by of the weighted average method of the optimal ensemble members**

**Minh Thi Pham<sup>1\*</sup>, Dap Xuan Pham<sup>2</sup>, Hang Thi Nguyen<sup>3</sup>, Tuong Hong Tran<sup>4</sup>, Thuy Kim Pham<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Department of Meteorology, Hydrology and Climate change, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; minhpt201@gmail.com

<sup>2</sup> Student of Department of Meteorology, Hydrology and Climate change, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; Phamdap18@gmail.com

<sup>3</sup> Department of General Science Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; hang.nguyen687@gmail.com; pkthuy.math@gmail.com

<sup>4</sup> Department of Information Systems and Remote Sensing, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; tthtuong@hcmunre.edu.vn

**Abstract:** In this paper, the authors forecast the track of Molave storm in 2020 using the ensemble prediction system created from the WRF model. Then the track prediction results are calculated by the weighted average method of the optimal ensemble members (the members with short-term track error are smaller than the ensemble average track error). Experimental results show that, in the direction of movement, at forecast periods longer than 2 days when the ensemble dispersion of the forecast tracks is large, the TBTS (weighted average of the optimal ensemble members) forecasted more effective than TBTH (ensemble mean). In terms of forecasting error, TBTS's track error is significantly improved compared to that of TBTH in some forecasting terms. Specifically, the storm track error of TBTS improved from 2% to 15% in the forecast period 2 days, and in the forecast term after 2 days, it only improved 1% to 6% compared to the ensemble average method. This result initially shows the advantage of the weighted average method of the optimal ensemble members.

**Keywords:** Weighted average; Ensemble forecasting; Selective forecasting; Storm.