

Bài báo khoa học

Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật hoà hợp cải thiện trường ban đầu cho mô hình WRF dự báo bão trên biển Đông

Nguyễn Thanh Bằng^{1*}, Trương Bá Kiên¹, Nguyễn Đức Nam¹, Trần Duy Thức¹

¹ Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; bangnt29@gmail.com; kien.cbq@gmail.com; ducnam.mi@gmail.com; tranduythuc1@gmail.com

*Tác giả liên hệ: bangnt29@gmail.com; Tel.: +84-838734488

Ban Biên tập nhận bài: 28/10/2024; Ngày phản biện xong: 18/12/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2025

Tóm tắt: Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật hòa hợp (blending) cải thiện trường ban đầu cho mô hình WRF trong dự báo bão trên Biển Đông, với thử nghiệm trên 4 cơn bão năm 2023 (Talim, Saola, Koinu, Sanba). Các cơn bão không đổ bộ trực tiếp vào Việt Nam nhưng gây ảnh hưởng gián tiếp như mưa lớn và gió mạnh trên biển. Kết quả cho thấy, về quỹ đạo, bão Talim có sai số tăng theo hạn thời gian, với CTL (*No-blending*) luôn tốt hơn blending, sai số lớn nhất 320 km ở hạn 60h. Bão Saola có blending dự báo tốt hơn ở hạn 20-40h, trong khi các hạn khác có sai số tương đương. Bão Koinu có sai số hướng di chuyển ở cả hai phương án, với CTL nhỉnh hơn. Bão Sanba có sai số nhỏ nhưng hướng di chuyển không chính xác. Về cường độ, cả hai phương án dự báo bão Talim mạnh hơn thực tế, sai số khí áp lớn nhất 25 mb ở hạn 42h, blending kém hơn CTL. Với Saola, dự báo yếu hơn thực tế ở hạn đầu nhưng mạnh hơn ở 36-48h, sai số tương đương nhau. Bão Koinu bị dự báo yếu hơn thực tế, sai số lớn nhất 30 mb ở hạn 6h. Bão Sanba mạnh hơn thực tế trong 36h đầu nhưng yếu hơn sau đó, CTL có sai số nhỏ hơn. Kỹ thuật hòa hợp cho thấy tiềm năng cải thiện dự báo quỹ đạo và cường độ bão trong một số tình huống cụ thể.

Từ khóa: Kỹ thuật hoà hợp; Dự báo bão; Mô hình WRF.

1. Giới thiệu

Xoáy thuận nhiệt đới (XTNĐ), bao gồm bão và áp thấp nhiệt đới (ATNĐ), là những hiện tượng thiên tai nguy hiểm, gây ra nhiều hệ quả nghiêm trọng như gió mạnh, mưa lớn, lũ lụt, sóng cao và nước biển dâng. Những tác động này không chỉ gây thiệt hại nặng nề về người và tài sản mà còn làm gián đoạn sâu sắc các hoạt động kinh tế và xã hội ở nhiều khu vực trên thế giới. Do đó, việc nâng cao độ chính xác trong dự báo quỹ đạo, cường độ, cấu trúc, và các hệ quả kèm theo của XTNĐ như mưa lớn và gió mạnh là một nhiệm vụ ưu tiên và mang tính toàn cầu, thách thức cả các quốc gia phát triển lẫn đang phát triển.

Trong những thập kỷ gần đây, Tổ chức Khí tượng Thế giới (WMO) cùng các nhà khoa học quốc tế đã triển khai nhiều hướng nghiên cứu nhằm nâng cao chất lượng dự báo XTNĐ. Các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào ba hướng: dự báo quỹ đạo và cấu trúc bão, dự báo cường độ và năng lượng bão, cũng như đánh giá các hệ quả của XTNĐ như mưa lớn và gió mạnh [1-4]. Đồng hóa số liệu đã được áp dụng rộng rãi nhằm cải thiện trường ban đầu của mô hình dự báo, vốn là yếu tố quan trọng quyết định chất lượng dự báo số trị. Các nghiên cứu đã cho thấy rằng việc kết hợp các nguồn dữ liệu quan trắc phi truyền thống như radar, vệ tinh, và định vị sét vào quá trình đồng hóa có thể cải thiện đáng kể chất lượng dự báo [5, 6]. Các kỹ thuật hiện đại như biến phân ba chiều (3DVAR), biến phân bốn chiều (4DVAR), và lọc Kalman tổ hợp (EnKF) đã chứng minh hiệu quả trong nâng cao dự báo quỹ đạo, cường

độ và các hệ quả của XTNĐ [7–9]. Nghiên cứu [10] chỉ ra rằng đồng hóa các số liệu bán kính gió và khí áp mực biển cực tiểu đã cải thiện đáng kể dự báo quỹ đạo bão Talas (2011). Tương tự, việc đồng hóa số liệu radar Doppler và sét đã mang lại những kết quả vượt trội trong dự báo lượng mưa và cường độ mưa lớn cho các hệ thống đổi lưu mạnh [11–13].

Kỹ thuật ban đầu hóa xoáy cũng đã được áp dụng để tái tạo cấu trúc và cường độ bão thực tế hơn trong các mô hình. Các nghiên cứu [14, 15] đã chứng minh rằng việc chèn các xoáy lý tưởng ba chiều hoặc xoáy thực nghiệm vào trường ban đầu có thể cải thiện đáng kể dự báo quỹ đạo và cường độ bão.

Gần đây, các kỹ thuật hòa hợp (*blending techniques*) đã được nghiên cứu nhằm kết hợp thông tin quy mô lớn từ các mô hình toàn cầu với thông tin quy mô nhỏ tạo ra bởi các mô hình độ phân giải cao [17–19]. Tại Đài Loan, các kỹ thuật này đã được ứng dụng để cải thiện chất lượng dự báo quỹ đạo và cường độ bão trên khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông [16]. Cụ thể, nghiên cứu [20] chỉ ra rằng việc tích hợp thông tin quy mô nhỏ từ mô hình WRF với trường phân tích toàn cầu từ GFS đã cải thiện đáng kể chất lượng dự báo bão. Tương tự, tại châu Âu, các nghiên cứu [21, 22] đã sử dụng bộ lọc không gian gia tăng để kết hợp phân tích quy mô lớn từ ECMWF với các trường quy mô nhỏ từ HIRLAM. Phương pháp này đã được triển khai tại Viện Khí tượng Đan Mạch từ năm 2006 và mang lại kết quả khả quan trong việc cải thiện dự báo [23]. Mặc dù đã đạt được những tiến bộ đáng kể, việc cải thiện chất lượng trường ban đầu trong mô hình dự báo XTNĐ vẫn đối mặt với nhiều thách thức [24, 25]. Sự thiếu hụt thông tin quy mô lớn trong khởi tạo của các mô hình khu vực là một trở ngại lớn, đòi hỏi các nghiên cứu tiếp tục tập trung vào việc kết hợp thông tin đa quy mô để nâng cao độ chính xác của dự báo.

Bài báo này tập trung nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật hòa hợp nhằm cải thiện trường ban đầu cho mô hình WRF, với mục tiêu nâng cao chất lượng dự báo bão trên Biển Đông.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Thiết kế thí nghiệm

Mô hình WRF phiên bản V4 được sử dụng với kỹ thuật blending technique với hai miền tính, độ phân giải 27 km, 9 km, 160×110, 124×208. Số mực thẳng đứng: 34, p_top: 5000. Bước thời gian tích phân: 45s.

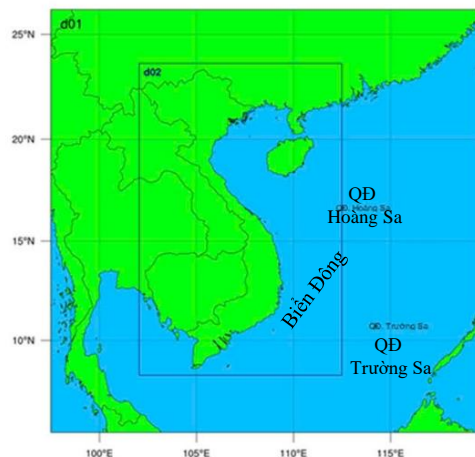
Sơ đồ vi vật lý	mp_physics	7	WRF Single-Moment 6-Class (WSM6)
Sơ đồ bức xạ sóng dài	ra_lw_physics	1	Rapid Radiative Transfer Model (RRTM)
Sơ đồ bức xạ sóng ngắn	ra_sw_physics	1	Dudhia
Sơ đồ lớp bề mặt	sf_sfclay_physics	1	MM5 similarity
Sơ đồ bề mặt đất	sf_surface_physics	2	Noah Land Surface Model
Sơ đồ lớp biên	bl_pbl_physics	1	Yonsei University (YSU)
Sơ đồ đổi lưu	cu_physics	1	Kain-Fritsch

thực của hệ thống mô hình toàn cầu (GFS) của Trung tâm Dự báo môi trường quốc gia (NCEP) với độ phân giải 25 km, bước thời gian là 06h với 26 mực thẳng đứng. Dữ liệu bão được lấy từ dữ liệu của JTWC (*Joint Typhoon Warning Center*) dùng để đánh giá sai số cường độ và quỹ đạo bão.

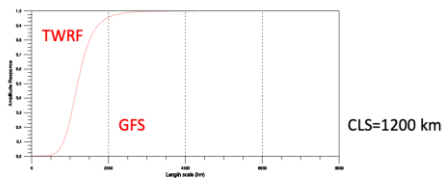
2.2. Phương pháp kỹ thuật hoà hợp trường

Việc cải thiện trường ban đầu thông qua kết hợp thông tin trường quy mô lớn từ mô hình toàn cầu với thông tin trường quy mô nhỏ tạo ra bởi mô hình độ phân giải cao giúp cải thiện chất lượng dự báo bão, đặc biệt là cường độ bão và mưa lớn gây ra do bão.

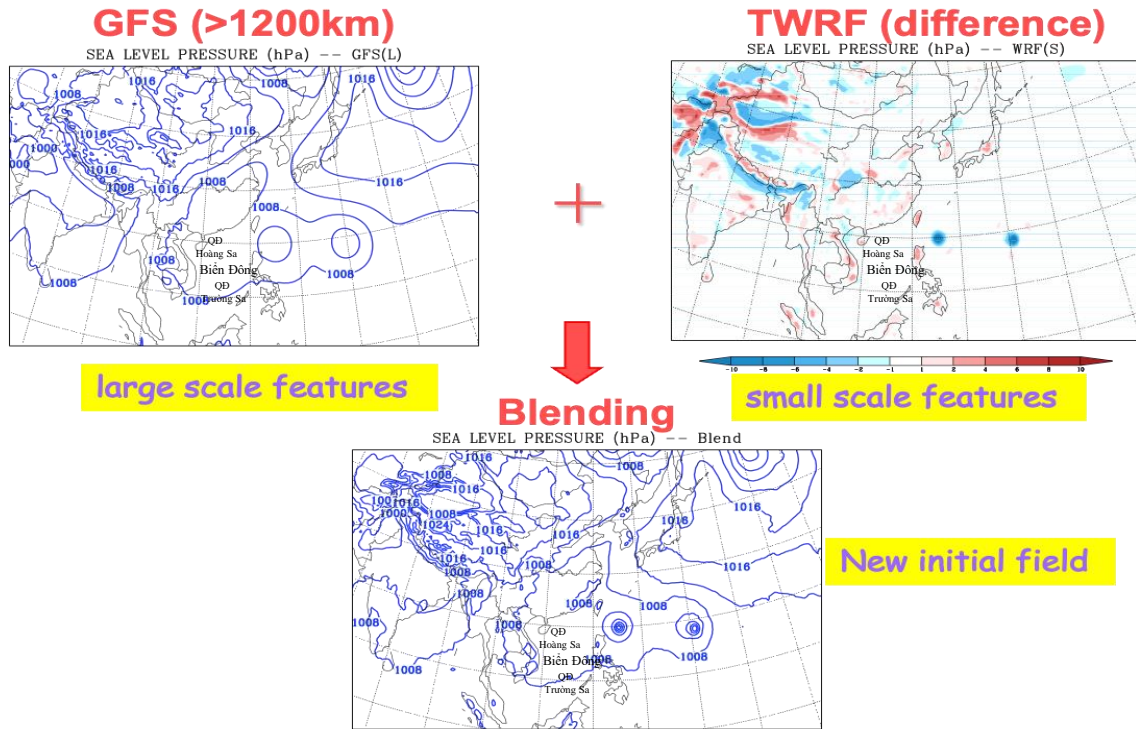
Điều kiện biên trong mô được sử dụng các phân tích và dự báo thời gian



$$BLD_{ana} = \underbrace{TWRF_{ana}}_{\text{Small scale from TWRF}} - \overline{TWRF_{ana}}^{RF} + \underbrace{GFS_{ana}}_{\text{Large scale from GFS}}$$

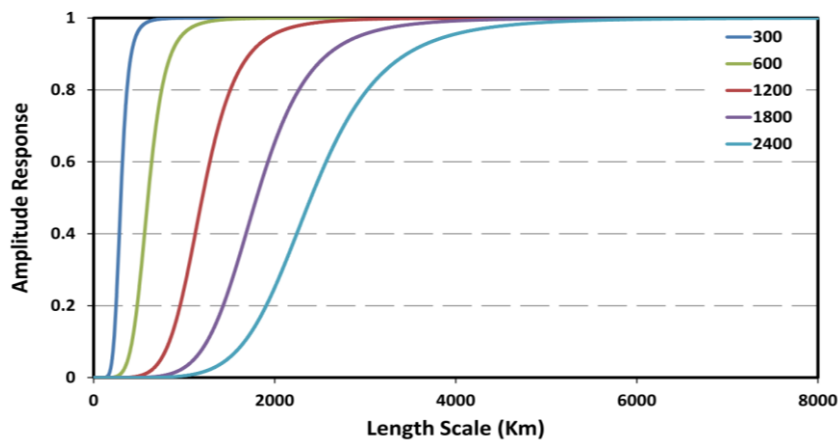


Blending the GFS analysis with TWRF to improve the IC



Hình 1. Kỹ thuật xây dựng trường ban đầu từ mô hình TWRF [12].

Kỹ thuật này sử dụng phương pháp của Yang (2005), sử dụng phương pháp lọc thông thấp tiếp tuyến bậc 6 (*low-pass filter*) theo nghiên cứu [26].



Hình 2. Biên độ của bộ phương pháp lọc thông thấp tiếp tuyến 6 bậc (*low-pass filter*) theo nghiên cứu [26] cho 300, 600, 1200, 1800 và 2400 km.

Sử dụng bộ lọc thông thấp (*LPF: Low Pass Filter*) để tính của các trường cơ bản gió (u_L, v_L), nhiệt độ thế vị θ_L , tỉ số xáo trộn hơi nước γ_L , khí áp bề mặt p_{sL} từ trường

phòng đoán ban đầu u, v, θ, γ và p_s với điều kiện nhiễu động có bước sóng nhỏ hơn 1200 km trong phạm vi 4000 km quanh tâm XTNĐ. Sau đó, trường nhiễu động toàn phần được tính bằng hiệu số giữa trường toàn cầu với trường mô phỏng của WRF. Nghiên cứu [20] thì lọc hiệu quả sóng có bước sóng 1200km là phù hợp nhất. Trường ban đầu tại vị trí mới của xoáy được tạo ra trong module WRF-3DVAR, các biến dịch chuyển bao gồm gió (u_g, v_g), nhiệt độ thể vị θ_g , tỉ số xáo trộn hơi nước γ_g , khí áp bề mặt p_{sg} được tính theo công thức:

$$u_g = u - u_t + u_{td} = u + \tilde{u}$$

$$v_g = v - v_t + v_{td} = v + \tilde{v}$$

$$\theta_g = \theta - \theta_t + \theta_{td} = \theta + \tilde{\theta}$$

$$\gamma_g = \gamma - \gamma_t + \gamma_{td} = \gamma + \tilde{\gamma}$$

$$p_{sg} = p_s - p_{st} + p_{std} = p_s + \tilde{p}_s$$

Trong đó giá trị thay đổi do dịch chuyển xoáy là:

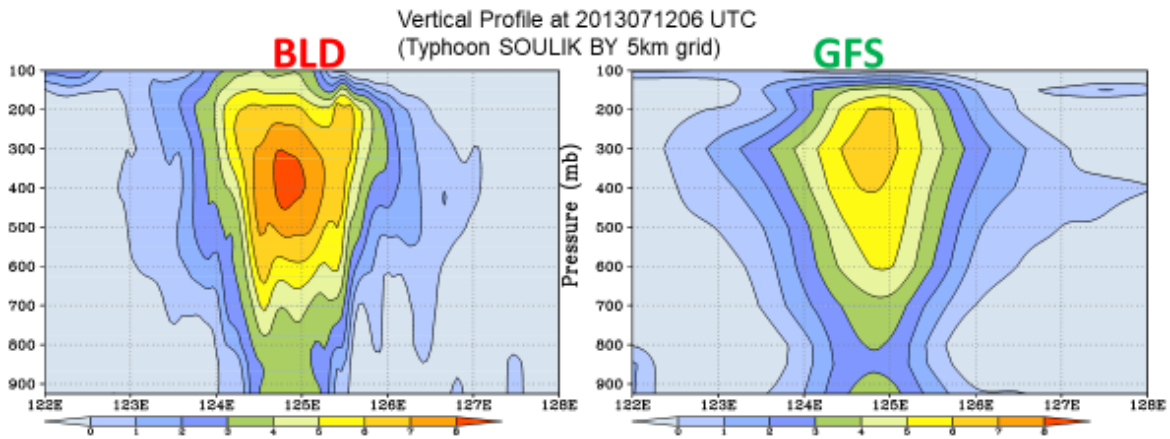
$$\tilde{u} = u_{td} - u_t$$

$$\tilde{v} = v_{td} - v_t$$

$$\tilde{\theta} = \theta_{td} - \theta_t$$

$$\tilde{\gamma} = \gamma_{td} - \gamma_t$$

$$\tilde{p}_s = p_{std} - p_{st}$$



Hình 3. So sánh cấu trúc lõi nóng của bão Soulik giữa trường ban đầu GFS và trường ban đầu mô hình TWRf (5km) được hòa hợp, cho thấy lõi nóng của bão trong TWRf cao hơn hẳn [20].

3. Kết quả và thảo luận

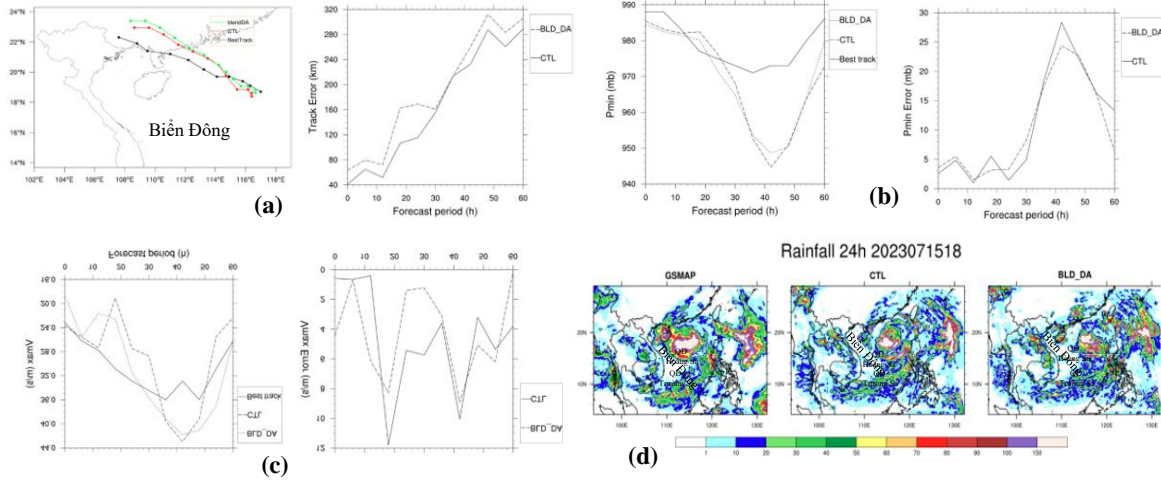
3.1. Kết quả đánh giá độ chính xác và kiểm định thực tế

Nghiên cứu đã chạy thử nghiệm cho 4 cơn bão trong mùa bão năm 2023 thông qua so sánh giữa phương pháp đồng hóa (BLD_DA), không đồng hóa (CTL).

Bảng 1. Danh sách các cơn bão chạy thử nghiệm.

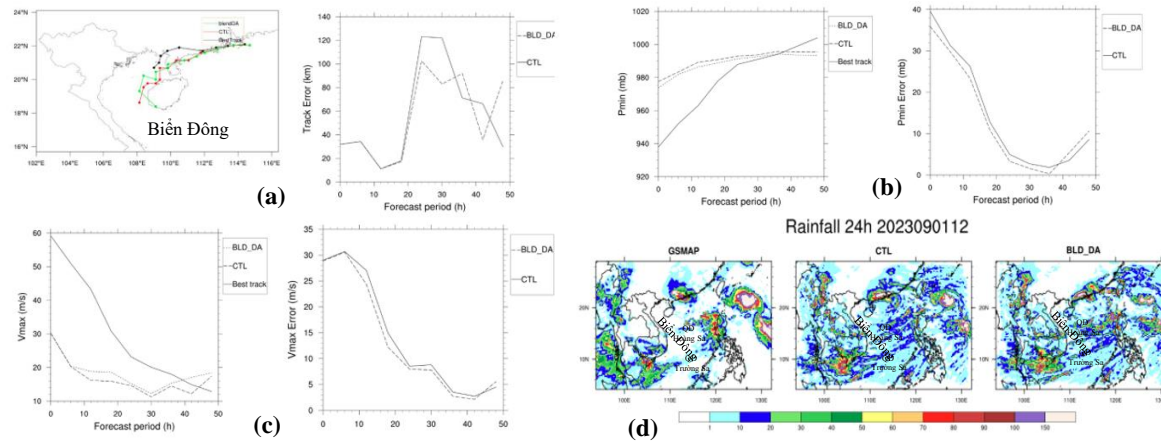
TT	Tháng	Tên quốc tế	Số hiệu VN	P_{min}	V_{max}	Bắt đầu	Kết thúc
1	7	TALIM	Bão số 1	970	65	13h/15/7	13h/18/7
2	8	SAOLA	Bão số 3	935	100	13h/24/8	22h/02/9
3	9	KOINU	Bão số 4	940	90	01h/30/9	16h/09/10
4	10	SANBA	Bão số 5	1000	40	11h/18/10	10h/20/10

Với bão TALIM, Phương pháp BLD_DA cho thấy khả năng dự báo quỹ đạo bão tốt hơn phương pháp CTL, đặc biệt là trong giai đoạn cuối. Đường dự báo của BLD_DA gần sát với quỹ đạo thực tế hơn.

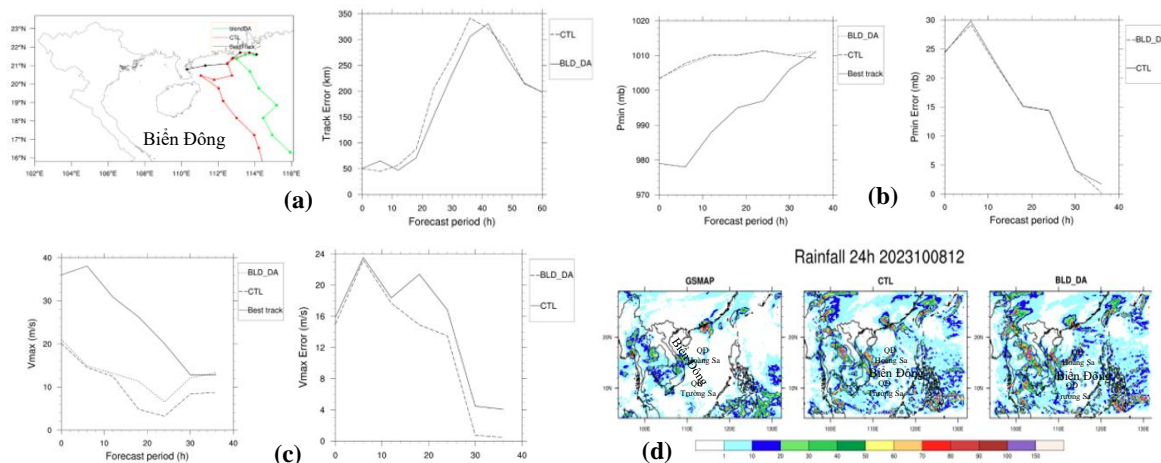


Hình 4. Kết quả thử nghiệm bão Talim: (a) Quỹ đạo bão và sai số dự báo; (b) Dự báo áp suất cực tiểu tại tâm bão; (c) Dự báo vận tốc gió cực đại V_{max} ; (d) Mô phỏng lượng mưa tích lũy 24h.

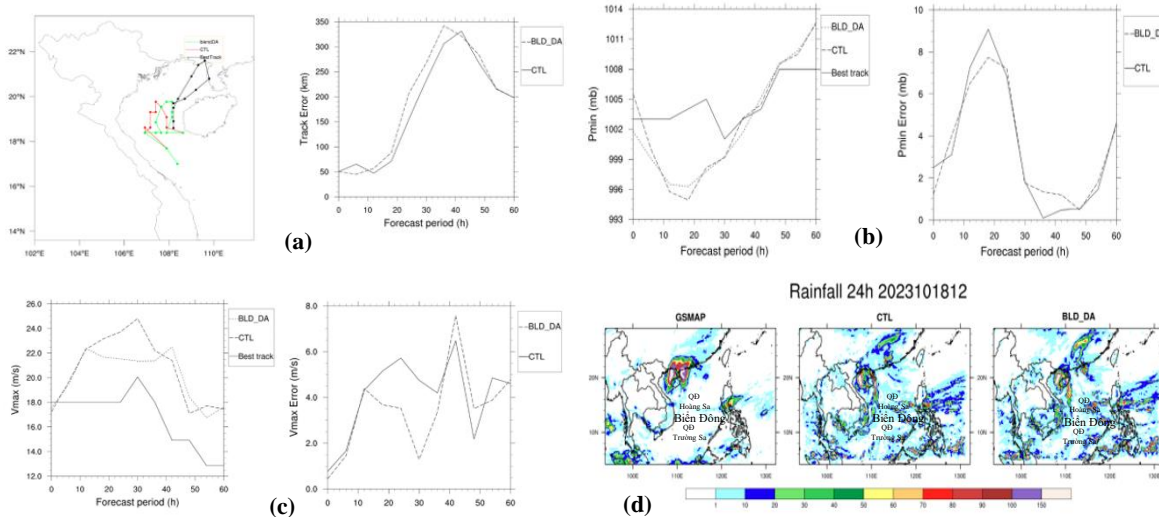
Phương pháp BLD_DA cho thấy khả năng dự báo áp suất cực tiểu, vận tốc gió cực đại tốt hơn phương pháp CTL. Đường dự báo của BLD_DA gần sát với đường thực tế (best track) hơn, đặc biệt là trong giai đoạn đầu. Về mô phỏng mưa tích lũy 24h, BLD_DA có sự tương đồng cao hơn với dữ liệu vệ tinh (GSMAP) so với hình ảnh CTL, cho thấy việc đồng bộ hóa dữ liệu đã giúp cải thiện đáng kể độ chính xác của mô hình. Khi tiến hành chạy với bão Saola, bão Koinu và bão Sanba cũng cho kết quả tương quan hoàn toàn tương tự với bão Talim.



Hình 5. Kết quả thử nghiệm bão Saola: (a) Quỹ đạo bão và sai số dự báo; (b) Dự báo áp suất cực tiểu tại tâm bão; (c) Dự báo vận tốc gió cực đại V_{max} ; (d) Mô phỏng lượng mưa tích lũy 24h.



Hình 6. Kết quả thử nghiệm bão Koinu: (a) Quỹ đạo bão và sai số dự báo; (b) Dự báo áp suất cực tiểu tại tâm bão; (c) Dự báo vận tốc gió cực đại V_{max} ; (d) Mô phỏng lượng mưa tích lũy 24h.



Hình 7. Kết quả thử nghiệm bão Sanba: (a) Quỹ đạo bão và sai số dự báo; (b) Dự báo áp suất cực tiểu tại tâm bão; (c) Dự báo vận tốc gió cực đại V_{max} ; (d) Mô phỏng lượng mưa tích lũy 24h.

Có thể thấy rằng phương pháp BLD_DA (đồng hóa dữ liệu) cho kết quả dự báo tốt hơn phương pháp CTL (không đồng hóa dữ liệu) về cả quỹ đạo, vận tốc gió cực đại, áp suất cực tiểu và lượng mưa của bão.

4. Kết luận

Kết quả dự báo thử nghiệm và đánh giá được thể qua chất lượng mô phỏng dự báo đối với 4 cơn bão hoạt động trên Biển Đông trong năm 2023 gồm Talim, Saola, Koinu và Sanba. Đây đều là các cơn bão không đổ bộ trực tiếp vào Việt Nam mà chỉ ảnh hưởng gián tiếp, gây mưa lớn, gió mạnh hoặc thời tiết xấu trên biển.

a) Về quỹ đạo dự báo

Với mỗi cơn bão kết quả đánh giá có những điểm khác nhau. Với Talim, sai số dự báo quỹ đạo tăng dần theo hạn dự báo, phương án CTL (*No-blending*) luôn cho sai số nhỏ hơn hoặc bằng phương án Blending, sai số lớn nhất khoảng 300-320 km ở hạn dự báo 60h, sai số nhỏ nhất 30-80 km ở những thời điểm đầu. Bão Saola, sai số dự báo quỹ đạo lớn nhất đều ở hạn dự báo 20-40h trong đó CTL cho sai số lớn hơn (120 km), trong khi Blending cho sai số khoảng 80-100 km. Sai số ở các hạn dự báo đầu (dưới 20h) dao động trong khoảng 10-40 km và hai phương án cho sai số xấp xỉ nhau về giá trị. Ở hạn dự báo sau 48h, trong khi CTL cho sai số giảm thì Blending lại cho sai số có chiều hướng tăng. Với bão Koinu, phương án CTL cho sai số nhỏ hơn tuy nhiên cả hai phương án chưa dự báo đúng về hướng di chuyển. Bão Sanba, sai số tuy không quá lớn nhưng hướng di chuyển của bão, cả hai phương án đều không dự báo tốt.

b) Về dự báo cường độ

Kết quả dự báo cường độ bão Talim cho thấy cả hai phương án CTL và đồng hóa BlendingDA đều dự báo cường độ bão mạnh hơn so với thực tế (*best-track*). Sai số khí áp lớn nhất ở hạn dự báo 42h, khoảng 25mb, nhìn chung BlendingDA cho sai số Pmin lớn hơn CTL, tuy nhiên hơn ở mức xấp xỉ. Đối với Saola, hai phương án đều dự báo cường độ bão Saola yếu hơn so với thực tế ở hạn dự báo 36h, từ hạn dự báo 36-48h, hai phương án lại cho kết quả dự báo cường độ bão mạnh hơn thực tế. Cả hai phương án đều cho sai số Pmin khá tương đương nhau, giảm dần đến hạn dự báo 36h, sau đó tăng. Với bão Koinu, hai phương án CTL đều cho cường độ bão yếu hơn thực tế. Giá trị sai số thể hiện lớn nhất khoảng 30mb ở hạn dự báo 6h. Với bão Sanba hai phương án đều cho kết quả khá tương đồng, cường độ mạnh hơn thực tế trong 36h đầu, có cường độ tương đương từ 36-48h và có cường độ yếu hơn thực tế sau hạn 48h. CTL cho sai số nhỏ hơn.

c) Về dự báo gió mạnh

Với bão Talim, nhìn chung trường hợp CTL dự báo V_{max} lớn hơn trường hợp đồng hóa BlendingDA ở hạn dự báo 18-42h. Sai số V_{max} lớn nhất khoảng 12 m/s ở hạn 18h theo CTL. Với bão Saola, hai phương án cho kết quả V_{max} báo khá tương đương nhau về giá trị, sai số V_{max} tăng từ hạn 0-6h, sau đó giảm dần đến hạn 42h và lại tăng nhẹ. Giá trị sai số lớn nhất xấp xỉ 30 m/s ở hạn 6h, và nhỏ nhất là dưới 5 m/s ở hạn dự báo 42h. Trong bão Koinu, hai phương án đều cho kết quả dự báo V_{max} nhỏ hơn so với thực tế ở hạn dự báo 30h đầu, sau đó gần tương đương ở hạn 30-36 đối với trường hợp BlendingDA, và thấp hơn thực tế ở trường hợp CTL. Sai số dự báo trường hợp CTL luôn lớn hơn so với BlendingDA. Sai số V_{max} lớn nhất khoảng 23 m/s ở hạn dự báo 8h, và nhỏ nhất, từ 1-5 m/s ở hạn dự báo 30-36h. Bão Sanba, trong 12h đầu hai phương án có sai số tương đương, tăng theo hạn dự báo. Từ 12-36h, CTL cho sai số V_{max} lớn hơn khá nhiều so với BlendingDA. Từ 36-48h, hai phương án có sai số tương đương, giá trị sai số tăng lên 6-8 m/s rồi giảm còn 2-4 m/s.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.B., T.B.K.; Xử lý số liệu: N.Đ.N., T.D.T.; Viết bản thảo bài báo: T.B.K.; Chính sửa bài báo: N.T.B.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của Đề tài khoa học và công nghệ “Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật hoà hợp (blending techniques) kết hợp đồng hoá dữ liệu độ phân giải cao dự báo cường độ, quỹ đạo bão, gió mạnh và mưa lớn trong bão trên khu vực Biển Đông và Việt Nam”, Mã số TNMT.2023.06.05.

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. Bui, H.H.; Smith, R.K.; Montgomery, M.T.; Peng, J.Y. Balanced and unbalanced aspects of tropical cyclone intensification. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* **2009**, *135*, 1715–1731.
2. Stunder, B.J. An assessment of the quality of forecast trajectories. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* **1996**, *35*(8), 1319–1331.
3. Leroux, M.D.; Wood, K.; Elsberry, R.L.; Cayan, E.O.; Hendricks, E.; Kucas, M.; Otto, P.; Rogers, R.; Sampson, B.; Yu, Z. Recent advances in research and forecasting of tropical cyclone track, intensity, and structure at landfall. *Trop. Cyclone Res. Rev.* **2018**, *7*(2), 85–105.
4. Heming, J.; Goerss, J. Track and structure forecasts of tropical cyclones. *Global Perspectives on Tropical Cyclones: From Science to Mitigation*, 2010, pp. 287–323.
5. Bennett, K.J.; Olsen, J.M.; Harris, S.; Mekar, S.; Livinski, A.A.; Brownstein, J.S. The perfect storm of information: combining traditional and non-traditional data sources for public health situational awareness during hurricane response. *PLoS Currents* **2013**, *5*.
6. Quon, H.; Jiang, S. Decision making for implementing non-traditional water sources: a review of challenges and potential solutions. *NPJ Clean Water* **2023**, *6*(1), 56.
7. Li, C.Y.R.; Zhou, W.; Lee, T.C. Climatological characteristics and observed trends of tropical cyclone-induced rainfall and their Influences on long-term rainfall variations in Hong Kong. *Mon. Wea. Rev.* **2015**, *143*, 2192–2206.
8. Tiwari, G.; Kumar, P. Predictive skill comparative assessment of WRF 4DVar and 3DVar data assimilation: An Indian Ocean tropical cyclone case study. *Atmos. Res.* **2022**, *277*, 106288.
9. Peng, Y.; Wang, T.; Wang, H.; Wang, L.; Zhang, H.; Wu, S. Impact of digital filtering as a weak constraint on 4DVar to predict and perturb typhoons in WRF model. *Atmos. Res.* **2023**, *284*, 106578.

10. Kunii, M.; Otsuka, M.; Shimoji, K.; Seko, H. Ensemble data assimilation and forecast experiments for the September 2015 heavy rainfall event in Kanto and Tohoku regions with atmospheric motion vectors from Himawari-8. *SOLA 12*, **2016**, 209–214.
11. Chen, L.S. Research progress on the structure and intensity change for the landfalling tropical cyclones. *J. Trop. Meteorol.* **2012**, *18*(2), 113–118.
12. Chang S.W.; Madala R.V. Numerical simulation of the influence of sea surface temperature on translating tropical cyclones. *J. Atmos. Sci.* **1980**, *37*, 2617–2630.
13. Zhang, Y.; Chen, Z.; Xiao, X.; Qie, X.; Chen, M.; Lu, J.; Liu, D. Combined assimilation of radar and lightning data for the short-term forecast of severe convection system. *Atmos. Res.* **2023**, *283*, 106562.
14. Kurihara.; Yoshio.; Morris A. Bender.; Ross, R.J. An initialization scheme of hurricane models by vortex specification. *Mon. Weather Rev.* **1993**, *121*(7), 2030–2045.
15. Kwon, I. H.; Cheong, H.B. Tropical cyclone initialization with a spherical high-order filter and an idealized three-dimensional bogus vortex. *Mon. Weather Rev.* **2010**, *138*(4), 1344–1367.
16. Chiang Yeh, T.; Feng Hsiao, L.; Chen, D.S.; Huang, K.N. A study on terrain-induced tropical cyclone looping in East Taiwan: case study of Typhoon Haitang in 2005. *Nat. Hazards* **2012**, *63*, 1497–1514.
17. Chevuturi, A.; Tanguy, M.; Facer-Childs, K.; Martínez-de la Torre, A.; Sarkar, S.; Thober, S.; Blyth, E. Improving global hydrological simulations through bias-correction and multi-model blending. *J. Hydrol.* **2023**, *621*, 129607.
18. Wang, H.; Huang, X.Y.; Xu, D.; Liu, J. A scale-dependent blending scheme for WRFDA: impact on regional weather forecasting. *Geosci. Model Dev.* **2014**, *7*(4), 1819–1828.
19. Li, Z.; Yang, D.; Hong, Y. Multi-scale evaluation of high-resolution multi-sensor blended global precipitation products over the Yangtze River. *J. Hydrol.* **2013**, *500*, 157–169.
20. Hsiao, L.F.; Huang, X.Y.; Kuo, Y.H.; Chen, D.S.; Wang, H.; Tsai, C.C.; Lee, C.S. Blending of global and regional analyses with a spatial filter: Application to typhoon prediction over the western North Pacific Ocean. *Weather Forecasting* **2015**, *30*(3), 754–770.
21. Durand, Y.; Bougeault, P. L'analyse objective PERIDOT. Dir. de la Meteorologie Nationale, 1987.
22. Ajjaji, R.; Issara, S. Introduction de l'analyse canari du modèle global arpège dans le modèle à domaine limité aladin. Master's Thesis, Ecole Nationale de la Météorologie, Toulouse, France, 1994.
23. Madsen, H.; Arnbjerg-Nielsen, K.; Mikkelsen, P.S. Update of regional intensity–duration–frequency curves in Denmark: Tendency towards increased storm intensities. *Atmos. Res.* **2009**, *92*(3), 343–349.
24. Marks, F.D.; Shay, L.K.; PDT-5. Landfalling tropical cyclones: Forecast problems and associated research opportunities. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **1998**, *79*(2), 305–323.
25. Ebert, E.; Wilson, L.; Weigel, A.; Mittermaier, M.; Nurmi, P.; Gill, P.; Watkins, A. Progress and challenges in forecast verification. *Meteorol. Appl.* **2013**, *20*(2), 130–139.
26. Raymond, W.H.; Garder, A. A review of recursive and implicit filters. *Mon. Weather Rev.* **1991**, *119*(2), 477–495.

Application of blending techniques to improve the initial conditions for the wrf model in typhoon forecasting over the bien dong sea

Nguyen Thanh Bang^{1*}, Truong Ba Kien¹, Nguyen Duc Nam¹, Tran Duy Thuc¹

¹ Vietnam institute of meteorology, Hydrology and Climate change;
bangnt29@gmail.com; kien.cbg@gmail.com; ducnam.mi@gmail.com;
tranduythuc1@gmail.com

Abstract: This study investigates the application of blending techniques to improve the initial conditions for the WRF model in tropical cyclone forecasting over the South China Sea, with experiments conducted on four typhoons in 2023 (Talim, Saola, Koinu, and Sanba). Although these typhoons did not make direct landfall in Vietnam, they caused indirect impacts such as heavy rainfall and strong winds offshore. For track forecasts, results show that Typhoon Talim exhibited increasing errors with forecast lead time, with the control run (CTL, no blending) outperforming the blending approach. The largest error reached 320 km at the 60-hour lead time. For Typhoon Saola, the blending technique provided better forecasts between 20-40 hours, while errors were comparable at other lead times. Typhoon Koinu showed track errors in both methods, with CTL performing slightly better. Typhoon Sanba had small track errors but exhibited significant direction inaccuracies. Regarding intensity forecasts, both methods overestimated Typhoon Talim's strength, with the largest pressure error reaching 25 mb at 42 hours, and the blending approach performing worse than CTL. For Typhoon Saola, forecasts underestimated intensity at early lead times but overestimated it between 36-48 hours, with similar errors in both methods. Typhoon Koinu was forecasted to be weaker than observed, with the largest error of 30 mb at the 6-hour lead time. For Typhoon Sanba, the forecast overestimated intensity during the first 36 hours but underestimated it afterward, with CTL showing smaller errors. The blending technique demonstrates potential for improving tropical cyclone track and intensity forecasts in specific scenarios.

Keywords: Blending technique; Typhoon forecasting; WRF model.