

VAI TRÒ CỦA BAN ĐẦU HÓA XOÁY TRONG MÔ HÌNH HWRF ĐỐI VỚI MÔ PHÒNG CẤU TRÚC BÃO KETSANA (2009)

Nguyễn Thị Hoan⁽¹⁾, Hoàng Đức Cường⁽²⁾, Trương Bá Kiên⁽¹⁾, Nguyễn Văn Hiệp⁽¹⁾,
Kiều Quốc Chánh⁽³⁾, Vijay Tallapragada⁽³⁾, Đặng Hồng Như⁽¹⁾, Lê Thị Tuyết⁽¹⁾ và Mai Văn Khiêm⁽¹⁾

⁽¹⁾Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu

⁽²⁾Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn Trung ương

⁽³⁾Trung tâm Dự báo Môi trường Quốc gia (NCEP) Hoa Kỳ

Ban đầu hóa xoáy bão đã được chứng minh là một trong những cách tiếp cận đã mang lại hiệu quả tốt cho bài toán dự báo bão. Trong nghiên cứu này, phương pháp ban đầu hóa xoáy của mô hình HWRF được ứng dụng để nghiên cứu vai trò của ban đầu hóa xoáy đối với mô phỏng cấu trúc cơn bão Ketsana (2009). Bài báo xem xét về tính cân bằng và phù hợp của sơ đồ ban đầu hóa xoáy đối với mô hình thông qua nghiên cứu biến động trường áp và gió các giờ tích phân đầu của 53 trường hợp chạy thuộc 9 cơn bão mùa bão 2009. Số liệu đầu vào cho mô hình được lấy từ dự báo toàn cầu GFS của Hoa Kỳ với độ phân giải 1 độ kinh vĩ. Kết quả cho thấy sơ đồ ban đầu hóa xoáy giúp cải thiện đáng kể cấu trúc bão mô phỏng tại thời điểm ban đầu cũng như trong quá trình tích phân. Xoáy được tạo ra bằng sơ đồ ban đầu hóa xoáy của mô hình HWRF là phù hợp với mô hình thể hiện qua ổn định động lực của xoáy bão trong các giờ đầu tích phân mô hình.

1. Đặt vấn đề

Ban đầu hóa xoáy là bài toán được đưa ra để cải thiện điều kiện ban đầu cho mô hình dự báo bão bằng cách tái tạo một xoáy bão có cấu trúc và cường độ gần với xoáy bão thực [1, 2, 4, 5]. Trong thực tế, mô hình khu vực lấy điều kiện biên và điều kiện ban đầu từ số liệu dự báo của mô hình toàn cầu. Dù số liệu được nội suy về lưới mô hình khu vực với độ phân giải cao hơn, song chất lượng và cấu trúc xoáy bão trong điều kiện ban đầu vẫn chứa các sai số từ mô hình toàn cầu. Do đó, nghiên cứu về ban đầu hóa xoáy cho mô hình khu vực cho đến nay vẫn là một bài toán quan trọng.

Mô hình HWRF (The Hurricane Weather Research and Forecast System) sử dụng trong nghiên cứu này là mô hình đã được ứng dụng để dự báo cường độ và quỹ đạo bão trong nghiệp vụ tại Mỹ từ năm 2007, thay thế cho mô hình GFDL. HWRF có nhiều đặc tính ưu việt như phát triển kỹ thuật đồng hóa số liệu nhằm xác định tốt cấu trúc ban đầu của bão hay các quá trình vật lý liên quan chặt chẽ đến sự phát triển của bão. Cụ thể, Venkata và cộng sự (2011) đã tính toán so sánh kết quả mô phỏng siêu bão Katrina giữa mô hình HWRF với mô hình WRF cho hai phiên bản ARW và NMM. Kết quả chỉ ra rằng mô hình HWRF tạo ra xoáy bão ban đầu tốt

nhất và sai số dự báo cường độ và quỹ đạo bão đã được cải thiện đáng kể khi sử dụng mô hình này so với 2 mô hình còn lại [7]. Mô hình HWRF đã thể hiện nhiều ưu điểm trong ứng dụng nghiệp vụ ở Hoa Kỳ. Nghiên cứu này khảo sát khả năng ứng dụng mô hình HWRF trong mô phỏng cấu trúc bão trên Biển Đông thông qua nghiên cứu kỹ trường hợp bão Ketsana (2009) và đánh giá mức độ tính cân bằng động lực, sự phù hợp của sơ đồ ban đầu hóa xoáy đối với mô hình thông qua nghiên cứu biến động trường áp và gió các giờ tích phân đầu của 53 trường hợp chạy thuộc 9 cơn bão mùa bão 2009.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

Ban đầu hóa xoáy trong mô hình HWRF được thực hiện dựa trên nguyên tắc chung của một phương pháp ban đầu hóa xoáy, gồm 3 bước: tách xoáy, tạo xoáy giả và cài xoáy. Trong đó, bước tách xoáy được thực hiện thông qua phương pháp của Kurihara và cộng sự [5]. Xoáy giả trong mô hình HWRF được tạo ra bằng hai phương pháp "Cold-start" và "Warmstart". Trong bài báo này chỉ khảo sát sơ đồ Coldstart (sau đây được gọi là Bogus). Trong sơ đồ này, xoáy giả được tạo ra qua hai bước: (1) xây dựng xoáy nhân tạo đối xứng trục hai chiều xác định bằng cách lấy trung bình tổ hợp từ dự báo của mô hình trong quá khứ, và (2) hiệu chỉnh kích thước

NGHIÊN CỨU & TRAO ĐỔI

và cường độ xoáy nhân tạo cho phù hợp với cường độ, kích thước xoáy bão quan trắc và đưa vào vị trí tâm bão quan trắc [7].

Phương trình hiệu chỉnh cường độ xoáy giả được biểu diễn qua công thức 1 và 2:

$$u(x, y, z) = u_1^*(x, y, z) + \beta u_2(x, y, z) \quad (1)$$

$$v(x, y, z) = v_1^*(x, y, z) + \beta v_2(x, y, z) \quad (2)$$

Trong đó u, v là gió sau khi hiệu chỉnh, u_1^*, v_1^* là gió môi trường; u_2, v_2 là gió trước khi hiệu chỉnh. Xác định hệ số hiệu chỉnh bằng cách giải phương trình bậc hai tại vị trí gió cực đại của mô hình:

$$(u_1^* + \beta u_2)^2 + (v_1^* + \beta v_2)^2 = v_{obs}^2 \quad (3)$$

Trong đó V_{obs} là giá trị vận tốc gió cực đại quan

$$\beta = \frac{-u_1^* u_2 - v_1^* v_2 + \sqrt{v_{obs}^2 (u_2^2 + v_2^2) - (u_1^* v_2 - v_1^* u_2)^2}}{(u_2^2 + v_2^2)} \quad (4)$$

trắc.

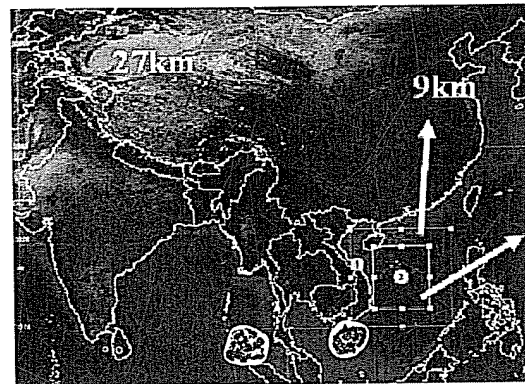
Giải phương trình bậc hai (3) với biến β thu được:

Sau đó thay β trở lại (1) và (2) tìm được giá trị gió bão sau khi hiệu chỉnh.

Mô hình HWRP được thiết kế chạy tương tác một chiều lưới lồng di động, gồm 3 miền tính với độ

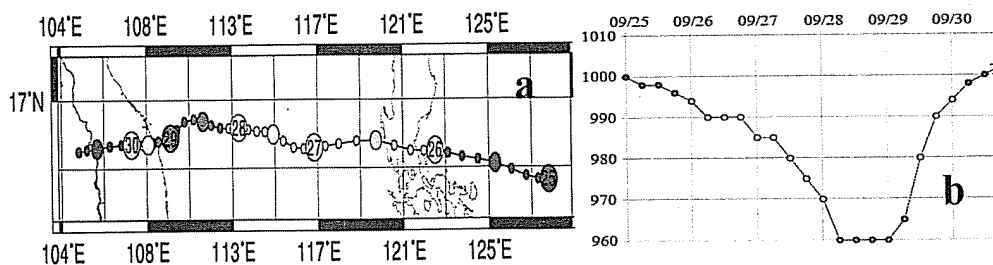
phân giải lần lượt là 27 km, 9 km và 3 km (hình 1). Thí nghiệm được tiến hành với hai phương án chạy là có ban đầu hóa xoáy (Bogus) và không sử dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy (Nobogus). Số liệu đầu vào lấy từ mô hình GFS (Global Forecast System) với độ phân giải 1 độ kinh vĩ.

3. Kết quả



Hình 1. Miền tính trong mô hình HWRP

Bài báo trước hết đánh giá khả năng mô phỏng cấu trúc bão bằng phương pháp Bogus qua thử nghiệm với các trường đặc trưng trong bão Ketsana (2009) tại thời điểm 12Z ngày 27/09/2009. Bão Ketsana được hình thành từ áp thấp ở phía đông vùng biển Philippines ngày 25/9 sau đó đi vào và phát triển mạnh hơn trên Biển Đông rồi đổ bộ vào khu vực tỉnh Quảng Nam - Quảng Ngãi (hình 2a). Bão



Hình 2. (a) Quỹ đạo besttrack bão Ketsana; (b) Khí áp nhất tại tâm bão

(Nguồn: <http://agora.ex.nii.ac.jp>)

Đối với trường hợp mô phỏng cơn bão Ketsana, các yếu tố lần lượt được xem xét là mặt cắt thẳng đứng dị thường nhiệt độ (chênh lệch giữa nhiệt độ không khí tại khu vực tâm bão và nhiệt độ không khí khu vực xa tâm bão), trường gió qua tâm bão, mặt cắt qua tâm bão trường gió mực 10m và khí áp nhất tại tâm bão.

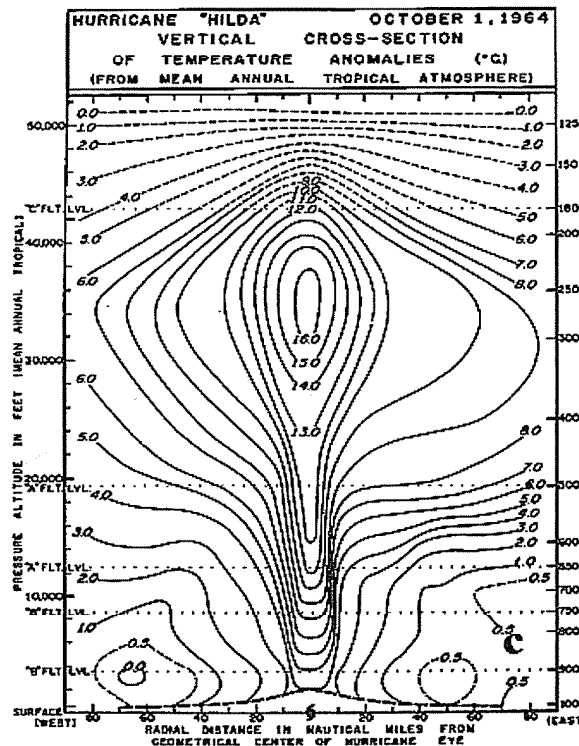
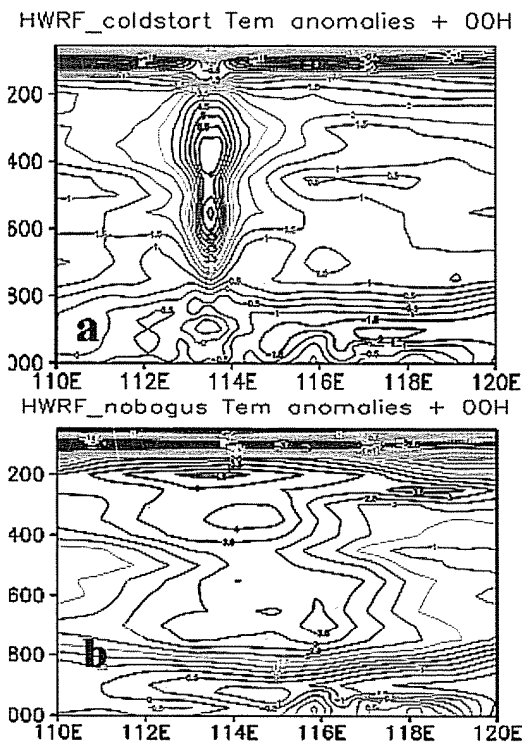
Xét mặt cắt thẳng đứng của dị thường nhiệt độ qua tâm bão Ketsana tại 12Z ngày 27/09/2009 với các phương án chạy có ban đầu hóa xoáy và không ban đầu hóa xoáy (hình 3). Trường dị thường nhiệt độ của cơn bão Hilda được coi là thông tin tham khảo cấu trúc bão quan trắc (hình 3c). Hình 3a cho thấy cấu trúc lõi nóng khi có sử dụng sơ đồ ban đầu

hóa xoáy với vị trí tâm lõi nóng ở tầng đối lưu trên (~350 hPa) là tương đối phù hợp với cấu trúc của bão quan trắc (hình 3c). Trong khi mặt cắt dị thường nhiệt độ đối với phương án chạy không ban đầu hóa xoáy tuy vẫn mô phỏng được cấu trúc lõi nóng của cơn bão nhưng với kích thước không gian của tâm nóng lớn hơn và độ lớn của dị thường nhiệt độ nhỏ hơn trường hợp có ban đầu hóa xoáy.

Hình 4 biểu diễn mặt cắt thẳng đứng trường dị thường nhiệt độ qua tâm bão Ketsana tại thời điểm 12Z ngày 27/09/2009 sau 6 giờ tích phân để khảo sát mức độ cân bằng và tính phù hợp động lực của sơ đồ ban đầu hóa xoáy trong mô hình HWRF. Từ các hình vẽ này có thể thấy rằng, sau 6 giờ tích phân cấu trúc trường nhiệt đã có sự thay đổi ở cả hai trường hợp mô phỏng. Đối với phương án chạy có ban đầu hóa xoáy, sau 6 giờ tích phân vẫn có thể thấy lõi nóng ở tâm bão và cấu trúc lõi nóng không thay đổi nhiều. Điều này cho thấy phương pháp

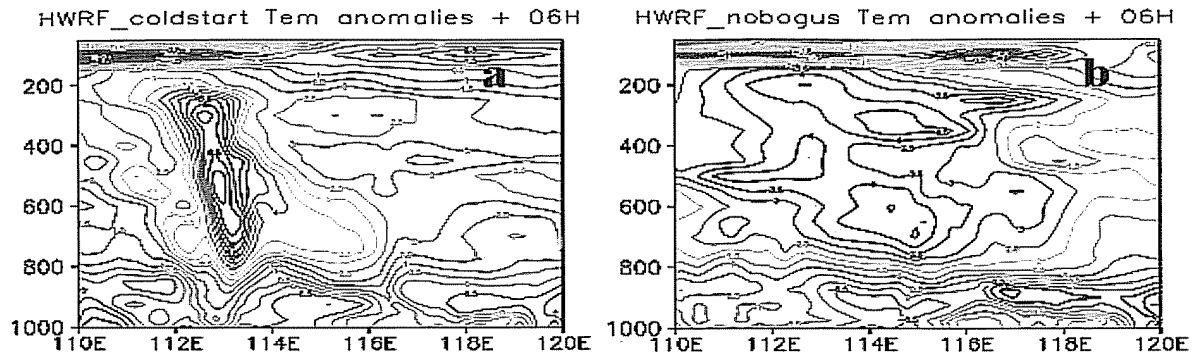
ban đầu hóa xoáy trong mô hình HWRF là khá phù hợp với mô hình. Ngược lại, cấu trúc lõi nóng sau 6 giờ tích phân khi không ban đầu hóa xoáy bị tản mạn, đồng thời không có cấu trúc rõ ràng, sự thay đổi cấu trúc lõi nóng trong trường hợp này cho thấy sự bất hợp lý trong mô phỏng xoáy.

Xét mặt cắt thẳng đứng trường gió qua tâm bão tại thời điểm 12Z ngày 27/09/2009. Theo số liệu quan trắc bán kính gió cực đại bởi JTWC (Joint Typhoon Warning Center) tại thời điểm 12Z ngày 27/09/2009 là khoảng 67 km. Trong mô phỏng trường gió khi chạy không ban đầu hóa xoáy bán kính gió cực đại lên đến khoảng 250 - 400 km (hình 5b). Khi có ban đầu hóa xoáy, trường gió mô phỏng cho bán kính gió cực đại sát với quan trắc hơn khoảng 50-80 km (hình 5a). Như vậy, phương án có ban đầu hóa xoáy mô phỏng bán kính gió cực đại tốt hơn trường hợp không sử dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy.

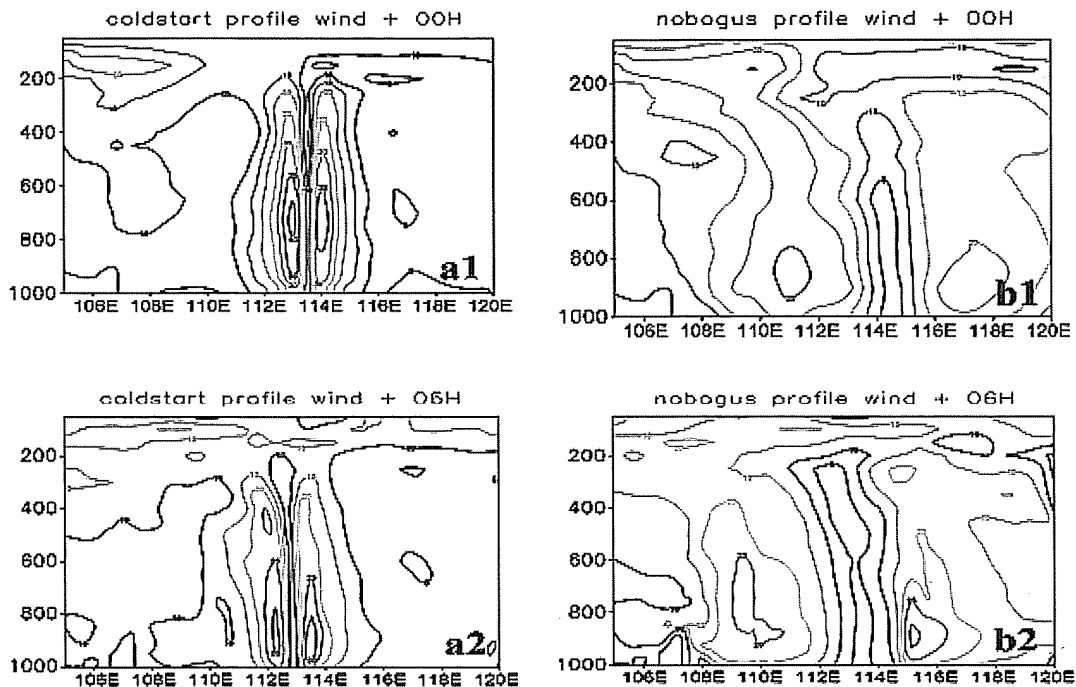


Hình 3. Mặt cắt thẳng đứng trường dị thường nhiệt độ qua tâm bão Ketsana 12Z 27/09/2009 tại thời điểm 00h (a) Bogus và (b) Nobogus; (c) Cấu trúc bão Hilda (1964) [3]

NGHIÊN CỨU & TRAO ĐỔI



Hình 4. Mặt cắt thẳng đứng trường dị thường nhiệt độ qua tâm bão Ketsana 12Z 27/09/2009 tại các thời điểm (a) Bogus+06h và (b) Nobogus+06h

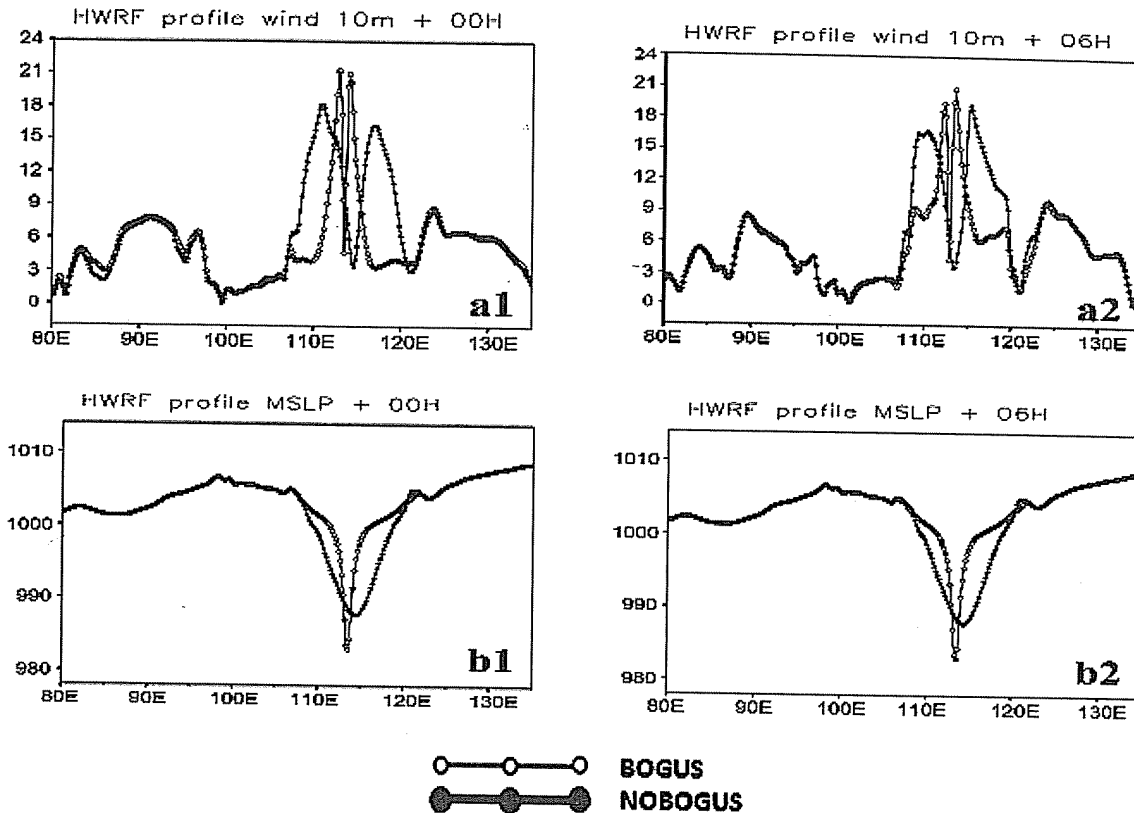


Hình 5. Mặt cắt trường gió qua tâm bão Ketsana 12Z 27/09/2009 khi có và không sử dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy tại thời điểm (a1) Bogus+00h; (a2) Bogus+06h; (b1) Nobogus+ 00h; (b2) Nobogus+06h

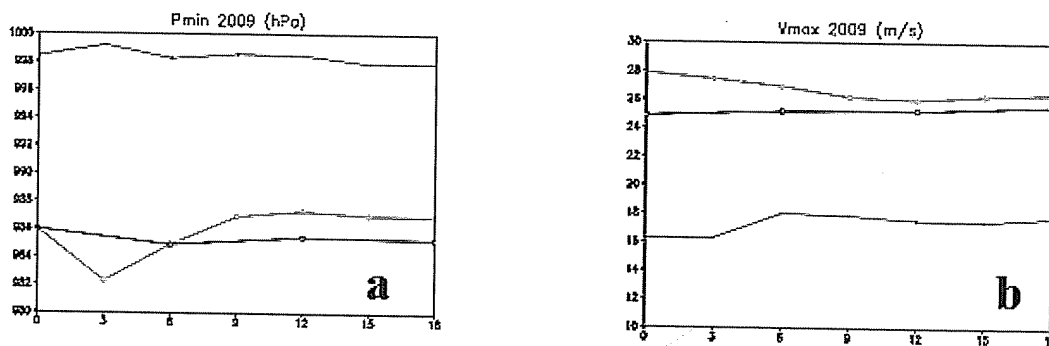
Hình 5 cũng cho thấy ở vùng xa tâm bão, xoáy bão có sử dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy lại mô phỏng trường gió tương đối yếu. Nguyên nhân có thể do trong quá trình lọc tách xoáy phân tích ra khỏi trường môi trường là quá mạnh, dẫn đến lấy mất một phần trường gió của trường môi trường làm trường gió ở khu vực xa tâm bão trở nên quá yếu. Ngược lại, gió khu vực xa tâm bão lại được mô tả phù hợp với thực tế hơn khi chạy không ban đầu hóa xoáy (hình 5). Sau 6 giờ tích phân vẫn thấy sự khác biệt khá rõ ràng về bán kính gió cực đại mô

phong giữa hai trường hợp chạy có và không ban đầu hóa xoáy.

Qua hai phương án chạy chúng ta thấy khả năng mô phỏng vùng bán kính gió cực đại của phương án có ban đầu hóa xoáy được cải thiện và sát với thực tế quan trắc hơn so với không ban đầu hóa xoáy. Kết quả này là phù hợp với những nghiên cứu đã được chỉ ra trước đây là bão mô phỏng với không ban đầu hóa xoáy thường có bán kính rộng hơn, như trong nghiên cứu của Kurihara và cộng sự (1993) [5].



Hình 6. Mặt cắt trường gió mực 10m qua tâm bão Ketsana 12Z 27/09/2009 tại các thời điểm (a1) 00h; (a2) 06h; và mặt cắt qua tâm bão trường khí áp cực tiểu tại các thời điểm (b1) 00h; (b2) 06h



Hình 7. Biến trình khí áp cực tiểu (a) và vận tốc gió cực đại (b) trung bình 53 trường hợp bão mùa bão 2009 từ 00-18h tích phân

Mặt cắt trường gió mực 10m và áp suất cực tiểu qua tâm bão Ketsana tại 12Z ngày 27/09/2009 mô phỏng bởi mô hình HWRf trong hai trường hợp có và không sử dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy sau 00h, 06h tích phân được thể hiện qua hình 6. Vận tốc gió cực đại mực 10m quan trắc của JTWC là 27,5 m s⁻¹ tại thời điểm 00h và 21,0 m s⁻¹ tại thời điểm 06h. Mặc dù cả hai phương án có và không có ban đầu hóa xoáy đều mô xoáy bão yếu hơn thực tế,

phương án có ban đầu hóa xoáy cho mô phỏng tốc độ gió cực đại và áp suất cực tiểu ở tâm gần thực tế hơn. Như vậy, khảo sát trường hợp cơn bão Ketsana cho thấy phương pháp Bogus có khả năng tạo ra xoáy bão có cấu trúc khá phù hợp với thực tế.

Một trong những điểm quan trọng của một phương pháp ban đầu hóa xoáy là xoáy bão tạo ra cần đảm bảo cân bằng động lực khi đưa vào mô hình. Để khảo sát mức độ cân bằng động lực của

NGHIÊN CỨU & TRAO ĐỔI

xoáy giả, khí áp cực tiểu và vận tốc gió cực đại trung bình được tính từ 53 trường hợp chạy thuộc 9 cơn bão của mùa bão 2009 từ 00-18h đối với trường hợp có và không và đầu hóa xoáy (hình 7). Trên hình cho thấy cả áp cực tiểu và gió cực đại của xoáy giả (hình 7, xanh lá cây) không có biến đổi mạnh trong 18 giờ tích phân đầu. Đây là ưu điểm quan trọng của phương pháp ban đầu hóa xoáy trong mô hình HWRF so với phương pháp ban đầu hóa xoáy mặc định trong mô hình WRF-ARW. Đối với phương pháp trong mô hình WRF-ARW, mô hình gần như không giữ được các thông tin xoáy giả chỉ sau 6 giờ tích phân [6].

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, phương pháp ban đầu hóa xoáy của mô hình HWRF được ứng dụng để nghiên cứu vai trò của ban đầu hóa xoáy đối với mô phỏng cấu trúc bão trên Biển Đông thông qua

nghiên cứu kỹ trường hợp bão Ketsana (2009). Kết quả cho thấy phương pháp ban đầu hóa xoáy trong mô hình HWRF có khả năng mô phỏng khá phù hợp cấu trúc và cường độ bão Ketsana, thể hiện qua khả năng tái tạo các đặc trưng quan trắc của bão như tâm nóng, bán kính gió cực đại, vận tốc gió cực đại mực 10 m, khí áp mực biển cực tiểu gần tâm.

Trung bình trường áp và gió các giờ tích phân đầu của 53 trường hợp chạy cho 9 cơn bão mùa bão 2009 cho thấy xoáy giả trong mô hình HWRF tương đối cân bằng về mặt động lực, thể hiện qua sự biến đổi không lớn và phù hợp với thực tế của khí áp cực tiểu và gió cực đại ở 18h tích phân đầu.

Lời cảm ơn: Bài báo này được hoàn thành từ đề tài cấp Bộ "Nghiên cứu ứng dụng mô hình HWRF (Hurricane Weather Research and Forecasting Model) dự báo quỹ đạo và cường độ bão ở Biển

Tài liệu tham khảo

1. Phan Văn Tân, Bùi Hoàng Hải (2004): Ban đầu hóa xoáy ba chiều cho mô hình MM5 và ứng dụng trong dự báo quỹ đạo bão, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số 526, tr.14-25.
2. Trần Tân Tiến, Lê Thị Hồng Vân (2009): Nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố cấu thành xoáy nhân tạo trong đồng hóa số liệu xoáy giả bằng mô hình WRF đối với cơn bão Lèkima, *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* 25, Số 3S 508 - 516.
3. Harry F. Hawkins and Daryl T. Rubsam (1968): Hurricane Hilda, 1964: II. Structure and budgets of the hurricane on october 1, 1964, *National Hurricane Research Laboratory, Research Laboratories, ESSA, Miami, Fla.*
4. Iwasaki, T., H. Nakano, and M. Sugi (1987): The performance of a typhoon track prediction model with convective parameterization, *Japan. Meteor. Soc. Japan*, 65.
5. Kurihara, M.A.B., Rebecca J. Ross (1993): An Initialization Scheme of Hurricane Models by Vortex Specification, *Mon. Wea. Rev.*, 121.
6. Nguyen, H. V and Yi.-Leng Chen (2011): High Resolution Initialization and Simulations of Typhoon Morakot (2009) *Mon. Wea. Rev.*
7. Sundararaman Gopalakrishnan, V.T., Qingfu Liu, Timothy Marchok, Mingjing Tong, (2012): Hurricane Weather Research and Forecasting (HWRF) Model: 2012 Scientific Documentation.