

Bài báo khoa học

Đánh giá chất lượng dự báo mưa định lượng của mô hình WRF cho khu vực Việt Nam

Trương Bá Kiên¹, Phạm Thị Thanh Nga¹, Trần Duy Thức¹, Phùng Thị Mỹ Linh¹, Vũ Văn Thăng^{1*}

¹ Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; kien.cbg@gmail.com; pttnga.monre@gmail.com; tranduythuc1@gmail.com; phungmylinh165@gmail.com; vvthang26@gmail.com

*Tác giả liên hệ: vvthang26@gmail.com; Tel.: +84–986 464 599

Ban Biên tập nhận bài: 5/2/2022; Ngày phản biện xong: 10/3/2022; Ngày đăng bài: 25/4/2022

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả đánh giá chất lượng dự báo mưa định lượng cho 150 trạm khu vực Việt Nam của mô hình WRF trong hai năm 2019–2020. Sử dụng lượng mưa của 150 trạm quan trắc để đánh giá chất lượng dự báo định lượng mưa ở các hạn dự báo 24h, 48h và 72h, thông qua các chỉ số thống kê ME, MAE, RMSE và các chỉ số FBI, POD, FAR, BIAS, CSI. Kết quả cho thấy, mô hình WRF có xu thế dự báo thiên thấp về lượng ở hầu hết các ngưỡng mưa và hạn dự báo. Tính chung trên phạm vi cả nước, ở cả 3 hạn dự báo, chất lượng dự báo mưa định lượng trong hai năm của mô hình WRF với khoảng 30–40% thành công ở ngưỡng có mưa (1 mm/ngày) và giảm dần theo các ngưỡng mưa, đạt khoảng 20% ở ngưỡng mưa vừa (16 mm/ngày) và khoảng 15% ở ngưỡng mưa to (50 mm/ngày) và chất lượng dự báo không tốt ở hạn dự báo 72h. Kết quả dự báo về diện cho thấy, mô hình dự báo diện mưa lớn hơn thực tế ở ngưỡng mưa nhỏ nhưng lại dự báo nhỏ hơn so với thực tế ở ngưỡng mưa vừa và mưa to ở cả 3 hạn dự báo.

Từ khóa: Mô hình WRF; Dự báo mưa định lượng; Việt Nam.

1. Giới thiệu

Trong lịch sử phát triển của dự báo thời tiết nghiệp vụ cho thấy có ba phương pháp chính được sử dụng để dự báo định lượng mưa, đặc biệt mưa lớn bao gồm: (1) Phương pháp syn-ôp, (2) Phương pháp số trị và (3) Phương pháp thống kê (truyền thống và thống kê hiện đại trong bối cảnh dữ liệu lớn và trí tuệ nhân tạo (AI)). Trong đó, phương pháp dự báo số trị được đặc biệt quan tâm trong vài thập kỷ gần đây, nhờ khả năng dự báo định lượng mưa chi tiết theo không gian và thời gian. Trong rất nhiều các mô hình số trị quy mô khu vực được phát triển và ứng dụng, mô hình WRF là một trong những mô hình được cộng đồng khoa học phát triển theo hướng đa dạng tùy chọn. WRF là một trong những hệ thống mô hình mở được hỗ trợ một cách đầy đủ nhất hiện nay và mô hình WRF được ứng dụng một cách rộng rãi trong nghiên cứu và nghiệp vụ. Với việc đa dạng trong việc lựa chọn các sơ đồ vật lý, sơ đồ mây, lớp biên hành tinh luôn được cập nhật trong mô hình WRF, qua đó, cho phép các nghiên cứu thử nghiệm một cách dễ dàng cho từng vùng địa phương khác nhau trên thế giới [1]. Bên cạnh đó mô hình WRF có các biến thể rất đa dạng như WRF–DA đồng hóa biến phân 3 chiều (3D–Var), 4 chiều (4D–Var) và các biến thể lọc Kalman tổ hợp (EnKF) [2–4], đồng hóa cập nhật nhanh dữ liệu quan trắc truyền thống và phi truyền thống RUC/RAP [5–6]. Mô hình WRF–Hydro được nghiên cứu ứng dụng trong các bài toán dự báo thủy văn, đặc biệt là dự báo ngập

lục đô thị. Hiện nay, mô hình WRF đang được sử dụng rộng rãi trong dự báo thời tiết nghiệp vụ cũng như trong nghiên cứu ở trên 150 tổ chức khoa học về khí quyển trên thế giới và cũng được nhiều quốc gia trên thế giới, như tại Trung tâm dự báo Môi trường Hoa Kỳ–NCEP (từ năm 2004) và Cơ quan khí tượng hàng không Hoa Kỳ–AFWA (từ tháng 7/2006), tại Cơ quan khí tượng Hàn Quốc–KMA (2006), tại Ấn Độ, Đài Loan và Israel (từ năm 2007).

Tại Việt Nam, cho đến nay dự báo mưa bằng mô hình số khu vực đã được nghiên cứu phát triển và ứng dụng từ thập niên 2000 [7–22]. Hiện nay, mô hình như WRF và các sản phẩm mô hình toàn cầu được sử dụng nghiệp vụ hoặc bán nghiệp vụ dự báo mưa cho nước ta. Tuy nhiên, mặc dù các hệ thống mô hình số trị đã có những bước tiến vượt bậc nhưng vẫn đề dự báo mưa của mô hình số trị vẫn chứa đựng nhiều sai số, và việc ứng dụng trực tiếp giá trị mưa định lượng dự báo từ mô hình số trên các khu vực nhiệt đới và gió mùa còn hạn chế [23]. Trong các hiện tượng cực đoan, mưa lớn được liệt vào hàng các hiện tượng thời tiết khó dự báo nhất. Trong nước, cơ bản có nhiều đánh giá kỹ năng dự báo mưa của mô hình WRF cho từng khu vực địa lý và hình thế gây mưa khác nhau cho thấy rằng về kỹ năng dự báo lượng mưa của mô hình WRF thường thiên cao hơn so với lượng mưa thực tế đo được cả về diện mưa và lượng mưa và chỉ ra rằng các mô hình có kỹ năng trung bình khoảng 30–40% ở ngưỡng có mưa và giảm dần ở ngưỡng mưa vừa với chất lượng khoảng 15–20% và gần như không có kỹ năng ở ngưỡng trên 50mm/ngày [24–27]. Các nghiên cứu này cũng đã đánh giá riêng rẽ cho các vùng địa lý nước ta Bắc Bộ, Nam Bộ và Trung Bộ với các tháng mùa mưa và các hình thế gây mưa khác nhau, chưa đánh giá đối với cả nước và tập mẫu nghiệp vụ.

Nhìn chung các nghiên cứu và đánh giá kỹ năng dự báo mưa cho Việt Nam về cơ bản cho từng vùng địa lý khác nhau, hình thế cụ thể khác nhau và mang tính thử nghiệm thay vì đánh giá ở chế độ nghiệp vụ. Gần đây nhất, Dư Đức Tiến và cộng sự đã nghiên cứu đã đánh giá kỹ năng dự báo mưa nghiệp vụ đối với mô hình dự báo toàn cầu GFS (*Global Forecast System*), mô hình dự báo phổ toàn cầu của Cơ quan khí tượng GSM và khu vực WRF trong giai đoạn 2010–2014 tại Trung tâm dự báo khí tượng thủy văn Quốc gia thấy rằng ngưỡng mưa nhỏ trên 16mm/ngày các mô hình có kỹ năng rất thấp [19].

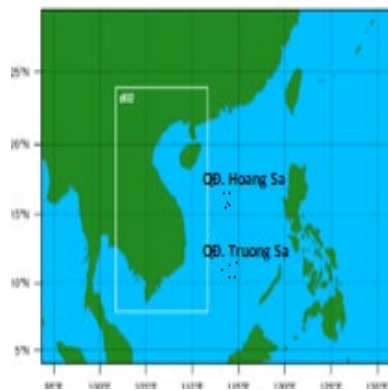
Để cung cấp thông tin về kỹ năng dự báo mưa bằng mô hình WRF ở chế độ nghiệp vụ, bài báo này sẽ trình bày kết quả đánh giá chất lượng dự báo mưa định lượng của mô hình WRF cho Việt Nam trong hai năm 2019–2020 tại Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu (sau đây xin được gọi tắt là Viện).

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu sử dụng

Số liệu quan trắc: Số liệu quan trắc lượng mưa ngày được tính từ 19h hôm trước đến 19h ngày hôm sau của 150 trạm khí tượng trên khu vực Việt Nam.

Số liệu mô hình: Số liệu mưa dự báo từ mô hình được trích xuất trực tiếp từ sản phẩm mô hình GFS 0,5°×0,5° độ kinh vĩ và từ sản phẩm dự báo động lực bằng mô hình WRF với độ phân giải 9 km đối với miền tính thứ 2 bao phủ toàn bộ Việt Nam (Hình 1) với điều kiện ban đầu và điều kiện biên của GFS nêu trên. Được kế thừa từ các nghiên cứu của Viện và các thử nghiệm khác, hệ thống dự báo nghiệp vụ WRF tại Viện từ 2016 được cấu hình cụ thể như sau: Sơ đồ vi vật lý mây Goddard; Sơ đồ tham số hóa đối lưu Kain–Fritsch; sơ đồ bức xạ sóng ngắn/ dài RRTMG; Sơ đồ lớp biên hành tinh Yonsei và 37 mực thẳng đứng. Bộ số liệu mưa dự



Hình 1. Miền tính dự báo mưa của WRF 27km (ngoài) và miền 9km (trong).

báo trích xuất cho 150 trạm trên cả nước được sử dụng đánh giá so sánh các kỹ năng dự báo với số liệu quan trắc. Trong bài báo này cũng so sánh kỹ năng dự báo mưa của mô hình WRF với mô hình GFS trên cơ sở sử dụng các chỉ số được trình bày ở phần dưới đây.

2.2. Phương pháp đánh giá sai số

Đánh giá sai số trung bình:

$$\text{Sai số trung bình (ME): } ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)$$

$$\text{Sai số MAE: } MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i|$$

$$\text{Sai số RMSE: } RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}$$

$$\text{Sai số tương đối (RE): } RE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(F_i - O_i)}{O_i} \times 100$$

Trong đó F là dự báo; O là quan trắc; N là tổng số trường hợp

Đánh giá dự báo pha:

Hits (H) = dự báo có + quan trắc có

False alarms (F) = dự báo có + quan trắc không

Misses (M) = dự báo không + quan trắc có

$$\text{- Chỉ số FBI (Bias score): } FBI = \frac{H+F}{H+M}$$

$$\text{- Chỉ số xác suất phát hiện POD: } POD = \frac{H}{H+M}$$

$$\text{- Chỉ số FAR: } FAR = \frac{F}{H+F}$$

$$\text{- Điểm số thành công CSI: } CSI = TS = \frac{H}{M+F+H}$$

- Giảm đồ hiệu suất (*performance diagram*) tổ hợp 4 chỉ số về pha cùng một lúc như POD (trục tung), 1-FAR (trục hoành), FBI/BS (đường chéo nét đứt) và chỉ số CSI/TS (phần đường cong được đổ màu).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá kết quả dự báo mưa của mô hình WRF năm 2019 và 2020

Dưới đây là kết quả đánh giá dự báo mưa định lượng hạn 24–72h của mô hình WRF trong hai năm 2019 và 2020 qua các chỉ số thống kê ME, MAE, RMSE và chỉ số dự báo pha FBI, POD, FAR, CSI.

a) Đánh giá sai số trung bình

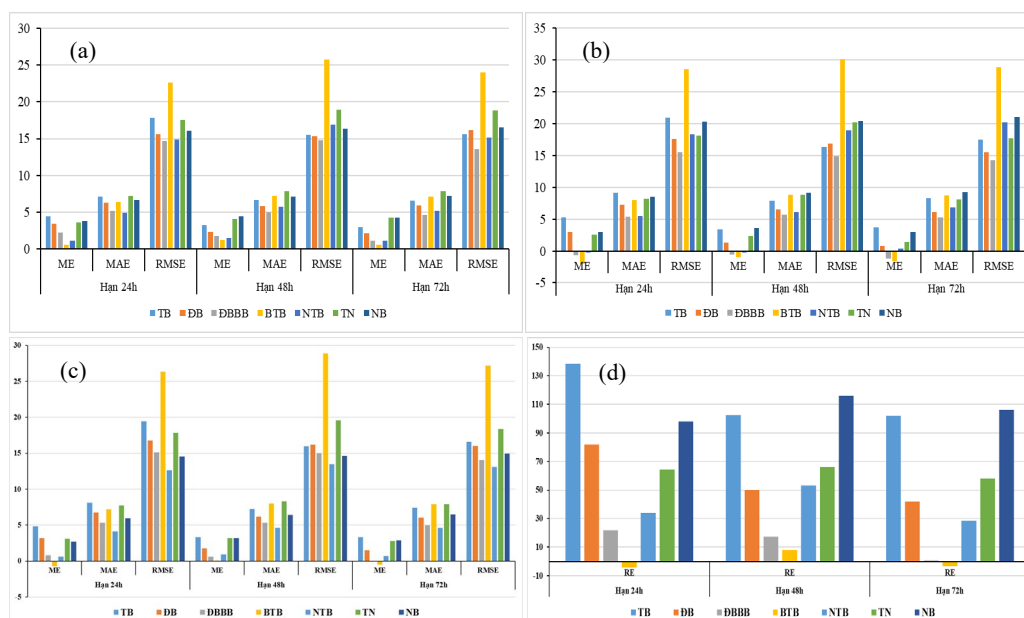
Trong năm 2019, Viện thực hiện 353 bản tin dự báo nghiệp vụ hay tương đương với dung lượng mẫu 353 cho mỗi hạn dự báo 24h, 48h, 72h ứng với các ngưỡng có mưa (1 mm), mưa vừa (16 mm/ngày) và mưa to (50 mm/ngày) thấy rằng mô hình WRF có xu hướng dự báo lượng mưa lớn hơn thực tế trên phạm vi cả nước (Hình 2a). Đối với cả 3 hạn dự báo, mô hình dự báo mưa tốt nhất cho khu vực Đồng Bằng Bắc Bộ (ĐBBB), Nam Trung Bộ (NTB). Cụ thể, đối với hạn 24h, chỉ số MAE trên cả 7 vùng khí hậu có giá trị từ 4,5–7,5 mm, nhỏ nhất ở ĐBBB, NTB và lớn nhất ở Tây Nguyên (TN); chỉ số RMSE có giá trị từ 14,5 đến 22,6 mm. Đối với hạn 48h, sai số MAE có giá trị từ 5,0–8,0 mm, nhỏ nhất ở ĐBBB, NTB và lớn nhất ở TN; chỉ số RMSE có giá trị từ 14,5 đến 26,0 mm. Đối với hạn 72h, sai số MAE có giá trị từ 4,5–8,0 mm, nhỏ nhất ở ĐBBB, NTB và lớn nhất ở TN; chỉ số RMSE từ 13,5–24,0 mm.

Trong năm 2020 (Hình 2b), với dung lượng mẫu 346 cho mỗi hạn dự báo cho kết quả dự báo mưa khá tốt tại các khu vực TB, ĐB, TN và NB với chỉ số ME có giá trị dương trên cả 4 vùng khí hậu chứng tỏ mô hình có xu hướng dự báo lượng mưa lớn hơn so với thực tế. Riêng đối với khu vực ĐBB, BTB, NTB mô hình có xu hướng dự báo lượng mưa thấp hơn so với thực tế đối với cả 3 hạn dự báo. Đối với cả 3 hạn dự báo, mô hình dự báo mưa tốt nhất cho khu vực ĐBBB, NTB. Riêng hạn 72h, mô hình dự báo mưa tốt nhất cho khu vực ĐBBB,

ĐB. Cụ thể, đối với hạn 24h, chỉ số MAE trên cả 7 vùng khí hậu có giá trị từ 5,4–9,1 mm, nhỏ nhất ở ĐBBB, NTB và lớn nhất ở Tây Bắc (TB); chỉ số RMSE có giá trị từ 17,6 đến 28,6 mm. Đối với hạn 48h, sai số MAE có giá trị từ 6,0–8,8 mm, nhỏ nhất ở ĐBBB, NTB và lớn nhất ở BTB; chỉ số RMSE có giá trị từ 14,8 đến 30,0 mm. Đối với hạn 72h, sai số MAE có giá trị từ 5,3–9,2 mm, nhỏ nhất ở ĐBBB, ĐB và lớn nhất ở NB; chỉ số RMSE từ 14,3–29,0 mm.

Tính chung trên phạm vi cả nước, ở cả 3 hạn dự báo, sai số dự báo ME trong năm 2019 đều lớn hơn so với năm 2020, chênh lệch rõ nhất ở hạn dự báo 72h. Điều này có thể đến từ việc các hình thế sự kiện gây mưa trong 2 năm khác nhau và năm 2020 có thể mô hình nắm bắt ngẫu nhiên tốt hơn năm 2020 và một nguyên nhân quan trọng là từ tháng 6/2019 mô hình làm điều kiện biên và ban đầu GFS đã chuyển sang mô hình GFS FV3 tốt hơn (Sai phân hữu hạn thể tích khối (*Finite-Volume Cubed-Sphere Dynamical Core*) (<https://www.gfdl.noaa.gov/fv3/>).

Hình 2c cho thấy rằng trong 2 năm 2019–2020, mô hình dự báo định lượng tốt nhất ở khu vực BTB với sai số tương đối RE cho cả ba hạn dự báo tương ứng –4,4%, 8% và –3,5%; tiếp đến ĐBBB, NTB và khu ĐB, TN khoảng 50–60%; đặc biệt sai số lên đến hơn 100% ở TB và NB. Khu vực ĐBBB hạn 72h mô hình dự báo tốt hơn hạn 24h và 48h. Trong năm 2020 mô hình có sai số trung bình ME âm ở BTB.



Hình 2. Các chỉ số đánh giá dự báo ME, MAE, RMSE cho 7 vùng khí hậu năm 2019 (a), 2020 (b) và gộp 2019–2020 (c) gồm cả RE (%) (d).

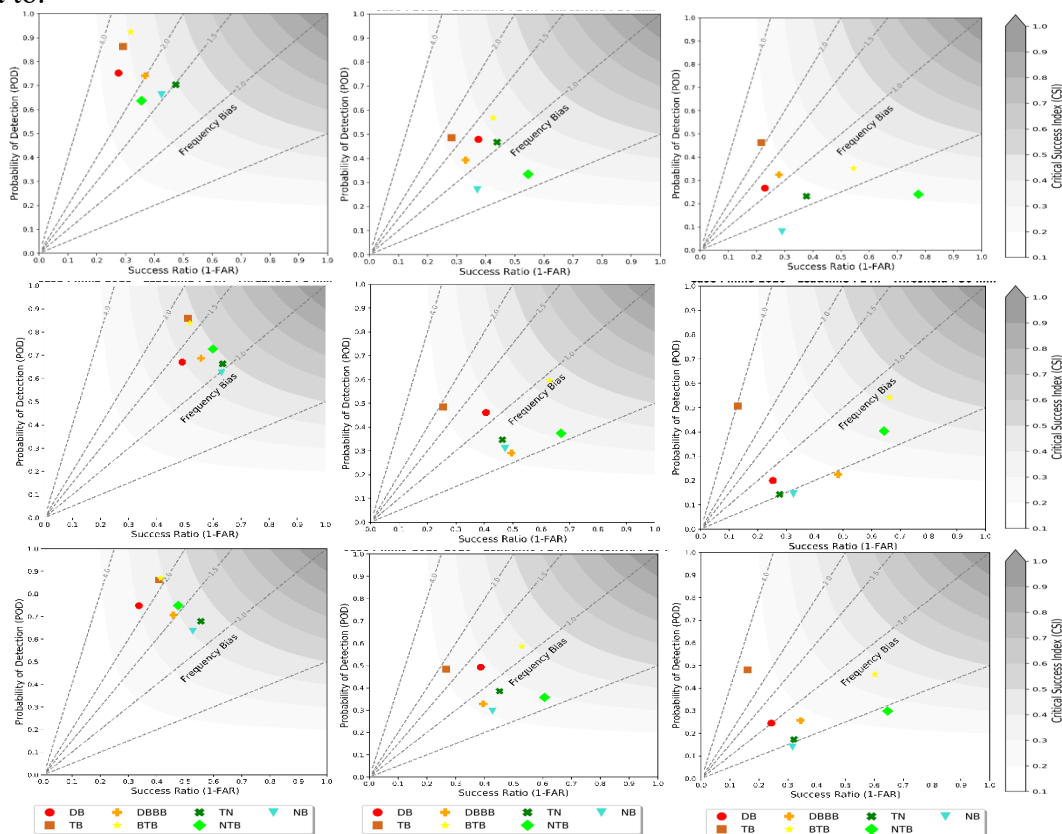
b) Đánh giá dự báo pha

Hình 3, 4, 5 biểu diễn các chỉ số đánh giá mưa hạn dự báo 24h, 48h, 72h cho 7 vùng khí hậu trong năm 2019 và 2020. Trong năm 2019, đối với cả 3 ngưỡng mưa, hầu hết chỉ số FBI ở các vùng đều lớn hơn 1, tức là diện mưa dự báo thường lớn hơn so với diện mưa thực tế. Riêng khu vực NTB, BTB, mô hình nhìn chung dự báo diện mưa thấp hơn so với thực tế ở ngưỡng mưa to với giá trị FBI nhỏ hơn 1.

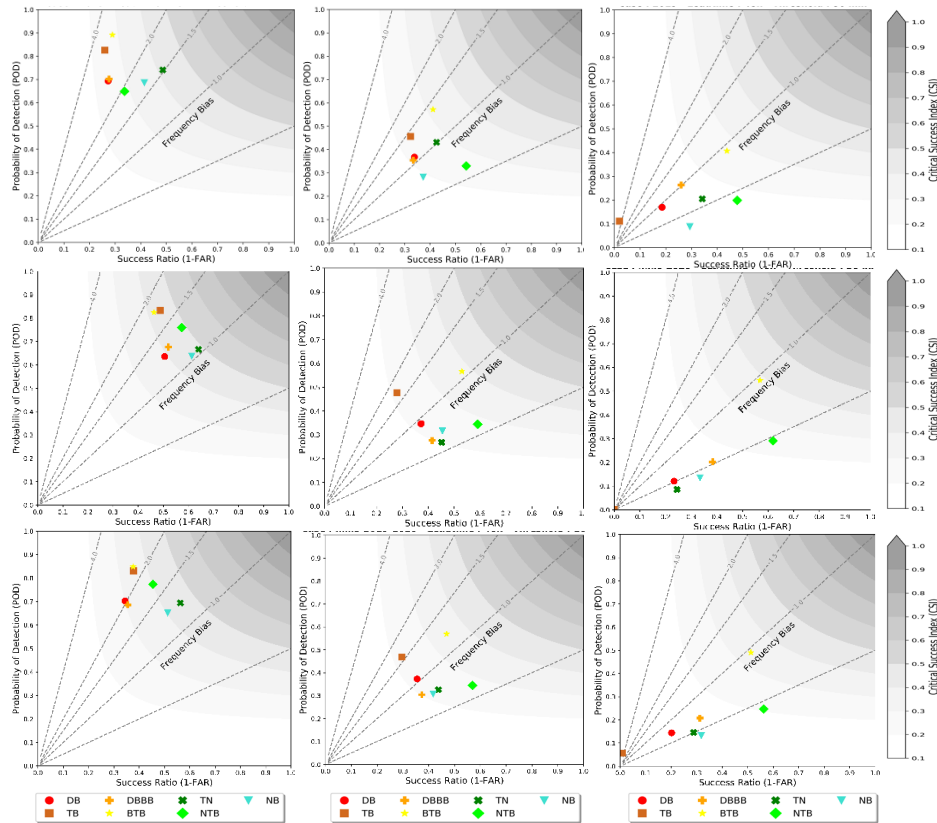
Về chỉ số POD, ở cả 3 hạn dự báo đối với ngưỡng mưa nhỏ, mưa vừa, mưa to cho thấy trên các vùng khí hậu, kỹ năng của mô hình phát hiện đúng hiện tượng không tốt ở ngưỡng mưa vừa ($POD \leq 0,6$), mưa to ($POD \leq 0,6$) nhưng lại khá tốt với ngưỡng mưa nhỏ ($0,6 \leq POD \leq 0,9$). Đặc biệt, hạn dự báo càng xa, kỹ năng phát hiện chính xác hiện tượng mưa to của mô hình càng kém với chỉ số POD ở hạn 24h, 48h, 72h lần lượt là: 0,1–0,5; 0,1–0,4 và 0,1–0,3. Có thể thấy, kỹ năng phát hiện đúng hiện tượng mưa to của mô hình gần như bằng không ở hạn dự báo 72h.

Về tỷ lệ dự báo không của mô hình (FAR) có thể thấy trong hầu hết các trường hợp ở các vùng khí hậu và các hạn dự báo khác nhau, chỉ số FAR tăng theo ngưỡng mưa. Ở hạn 24h, chỉ số FAR giảm theo ngưỡng mưa ở khu vực Bắc Trung Bộ và Nam Trung Bộ, hay nói cách khác, mô hình dự báo không thấp nhất ở ngưỡng mưa to và cao nhất ở ngưỡng mưa nhỏ ở 2 khu vực này. Kết quả về các chỉ số CSI cũng cho thấy, ngưỡng mưa càng lớn thì điểm số thành công càng giảm trong hầu hết các trường hợp. Đối với ngưỡng mưa nhỏ, điểm số thành công CSI từ 0,2–0,3 đối với cả 3 hạn dự báo. Đối với ngưỡng mưa vừa, chỉ số CSI từ 0,2–0,3 đối với hạn 24h, 48h; từ 0,1–0,3 đối với hạn 72h. Đối với ngưỡng mưa to, điểm số thành công CSI ở cả 3 hạn dự báo đều rất thấp, từ 0–0,3 đối với hạn 24h, 48h và từ 0–0,2 đối với hạn 72h.

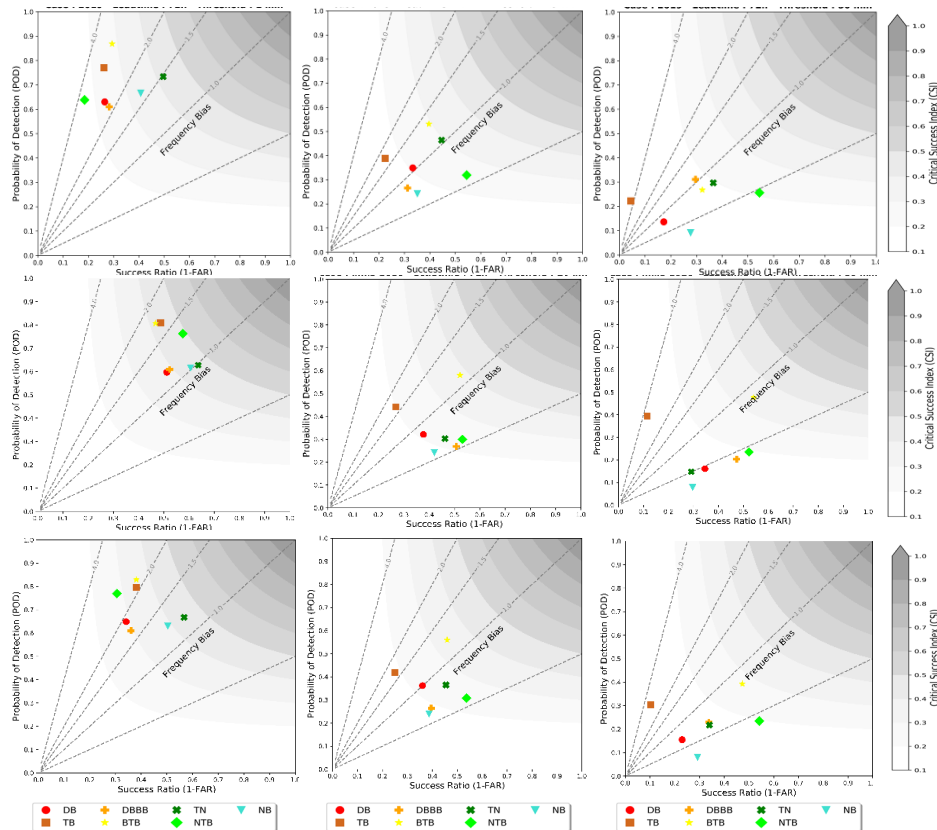
Năm 2020, chỉ số FBI trên các vùng lớn hơn 1 ở cả 3 hạn dự báo trong phần lớn các trường hợp, tức là diện mưa dự báo thường lớn hơn so với diện mưa thực tế; tuy nhiên chỉ số FBI nhỏ hơn 1 trong một số trường hợp ở ngưỡng mưa vừa và mưa lớn. Ở ngưỡng mưa vừa ứng với hạn dự báo 48h, chỉ số FBI nhỏ hơn 1 ở khu vực ĐB, ĐBBB, NTB, TN. Ở ngưỡng mưa to, chỉ số FBI nhỏ hơn 1 ở khu vực BTB, NTB ứng với hạn 24h; ở các khu vực ĐB, ĐBBB, BTB, NTB ứng với hạn 72h. Đặc biệt, mô hình dự báo rất tốt diện mưa cho các khu vực ĐB, ĐBB, TN, NB ở ngưỡng mưa nhỏ với giá trị FBI dao động quanh ngưỡng 1. Về chỉ số POD, ở cả 3 hạn dự báo đối với ngưỡng mưa nhỏ, mưa vừa, mưa to cho thấy trên các vùng khí hậu, kỹ năng của mô hình phát hiện đúng hiện tượng không tốt ở ngưỡng mưa vừa ($POD \leq 0,6$), mưa to ($POD \leq 0,55$) nhưng lại khá tốt với ngưỡng mưa nhỏ ($0,6 \leq POD < 0,9$). Ở cả 3 hạn dự báo, kỹ năng phát hiện đúng hiện tượng của mô hình rất tốt ở vùng TB, BTB đối với ngưỡng mưa nhỏ với chỉ số POD lớn hơn 0,8; và gần như bằng không ở các vùng ĐB, TN, NB đối với ngưỡng mưa to. Về tỷ lệ dự báo không của mô hình (FAR) có thể thấy ở cả 3 hạn dự báo, chỉ số FAR tăng theo ngưỡng mưa trên hầu hết các vùng (trừ Bắc Trung Bộ) hay nói cách khác mô hình dự báo không thấp nhất ở ngưỡng mưa nhỏ và cao nhất ở ngưỡng mưa to.



Hình 3. Các chỉ số đánh giá mưa hạn 24h cho 7 vùng khí hậu với các ngưỡng 1mm (trái), 16 mm (giữa), 50 mm (phải) cho năm 2019 (hàng trên cùng), 2020 (hàng giữa) và gộp 2019–2020 (hàng dưới cùng) của WRF.



Hình 4. Các chỉ số đánh giá mưa hạn 48h cho 7 vùng khí hậu với các ngưỡng 1mm (trái), 16mm (giữa), 50mm (phải) cho năm 2019 (hàng trên cùng), 2020 (hàng giữa) và gộp 2019–2020 (hàng dưới cùng) của WRF.



Hình 5. Các chỉ số đánh giá mưa hạn 72h cho 7 vùng khí hậu với các ngưỡng 1mm (trái), 16mm (giữa), 50mm (phải) cho năm 2019 (hàng trên cùng), 2020 (hàng giữa) và gộp 2019–2020 (hàng dưới cùng) của WRF.

Cụ thể: Ở hạn dự báo 24h, chỉ số FAR từ 0,35–0,5 ở ngưỡng mưa nhỏ, từ 0,3–0,75 ở ngưỡng mưa vừa và từ 0,3–0,87 ở ngưỡng mưa to. Ở hạn 48h, chỉ số FAR từ 0,35–0,55 ở ngưỡng mưa nhỏ, từ 0,4–0,72 ở ngưỡng mưa vừa và từ 0,4–1,0 ở ngưỡng mưa to. Ở hạn 72h, FAR từ 0,35–0,5 ở ngưỡng mưa nhỏ, từ 0,45–0,75 ở ngưỡng mưa vừa và từ 0,45–0,9 ở ngưỡng mưa to.

Kết quả về các chỉ số CSI cho thấy, ngưỡng mưa càng lớn thì điểm số thành công càng giảm trong hầu hết các trường hợp. Đối với ngưỡng mưa nhỏ, điểm số thành công CSI cao nhất ở hạn 24h: CSI từ 0,35–0,5 ở hạn 24h và từ 0,3 đến 0,45 ở các hạn 48h, 72h. Đối với ngưỡng mưa vừa, chỉ số CSI từ 0,15–0,45 ở với hạn 24h, từ 0,15–0,4 ở hạn 48h và từ 0,1–0,4 ở hạn 72h. Đối với ngưỡng mưa to, điểm số thành công CSI ở cả 3 hạn dự báo đều rất thấp, từ 0,1–0,4 (Bảng 1).

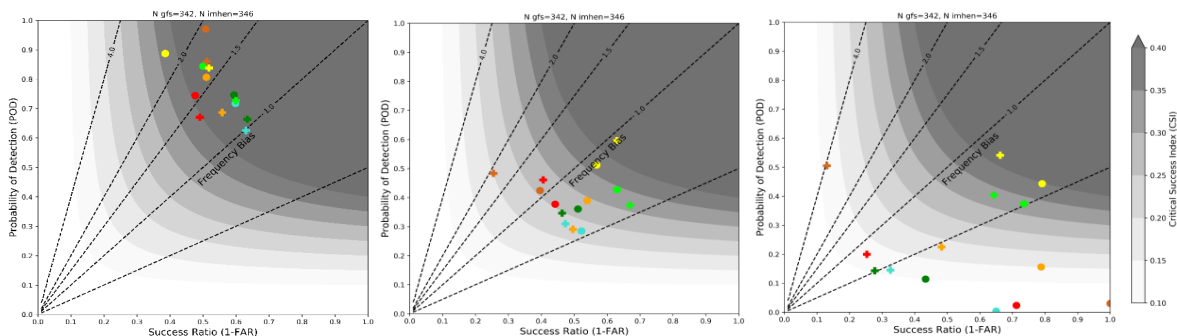
Bảng 1. Các chỉ số đánh giá về pha dự báo mưa hạn 24h, 48h, 72h cho Việt Nam năm 2019 và 2020 đối với 3 ngưỡng mưa.

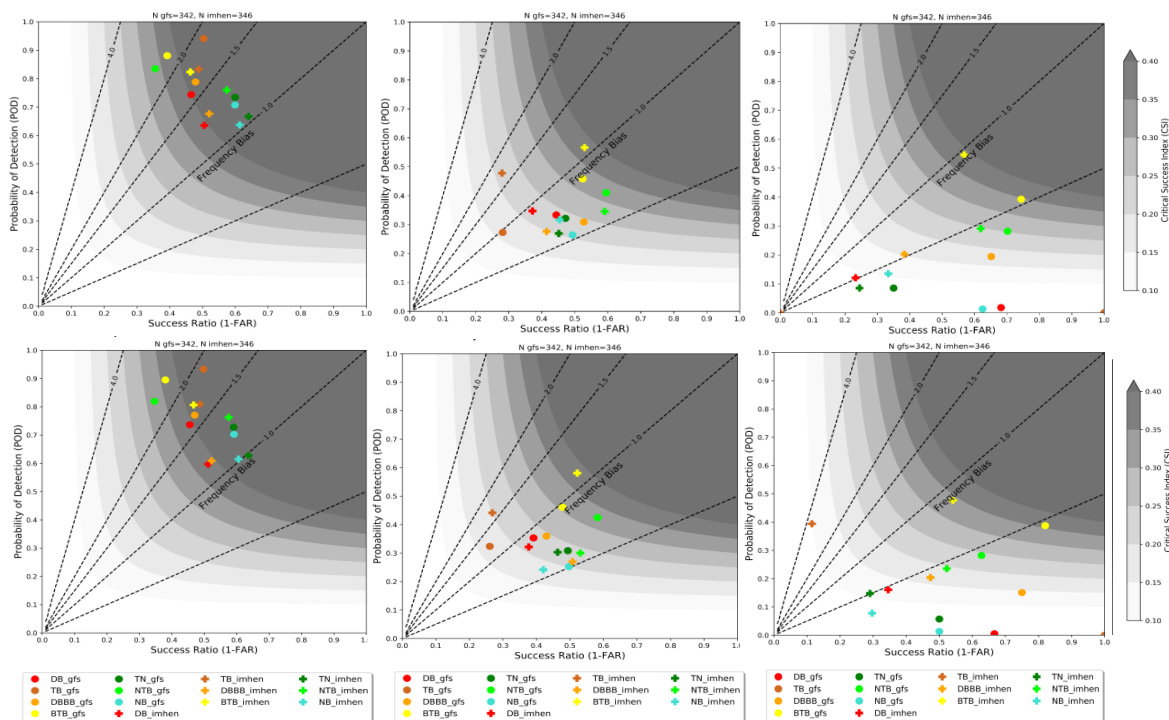
Hạn/CS đánh giá	> 1mm				> 16mm				> 50mm				
	FBI	POD	FAR	CSI	FBI	POD	FAR	CSI	FBI	POD	FAR	CSI	
24h	2019	2,66	0,75	0,64	0,25	1,58	0,43	0,60	0,20	2,07	0,28	0,61	0,14
	2020	1,44	0,72	0,44	0,41	1,11	0,41	0,52	0,24	1,68	0,31	0,60	0,16
	2019–2020	1,93	0,75	0,55	0,33	1,30	0,42	0,56	0,22	1,67	0,29	0,62	0,15
48h	2019	2,76	0,74	0,67	0,24	1,58	0,40	0,61	0,19	1,91	0,21	0,71	0,10
	2020	1,50	0,72	0,46	0,39	1,10	0,37	0,56	0,21	1,51	0,20	0,66	0,13
	2019–2020	2,00	0,74	0,57	0,32	1,27	0,38	0,58	0,20	1,56	0,20	0,68	0,11
72h	2019	2,63	0,70	0,69	0,23	1,51	0,37	0,63	0,17	1,90	0,23	0,71	0,10
	2020	1,44	0,69	0,46	0,38	1,06	0,35	0,56	0,20	1,47	0,24	0,63	0,13
	2019–2020	1,91	0,71	0,59	0,31	1,23	0,36	0,59	0,19	1,52	0,23	0,67	0,12

Bảng 1 thấy rằng kỹ năng dự báo mưa của mô hình WRF với khoảng 30–40% thành công ở ngưỡng có mưa và giảm dần khoảng 15–20% ở ngưỡng mưa vừa và khoảng 10–12% ở ngưỡng mưa to và hạn càng xa thì kỹ năng càng giảm. Về cơ bản kỹ năng dự báo mưa định lượng nghiệp vụ trên lãnh thổ của Việt Nam bằng mô hình WRF tại Viện ngang bằng với các đánh giá trước đây, đặc biệt là nghiên cứu [19] và kỹ năng dự báo của mô hình WRF năm 2020 tốt hơn 2019.

3.2. So sánh kết quả mưa của mô hình WRF–GFS trong năm 2020

Theo phân tích đánh giá ở trên, kỹ năng dự báo của mô hình WRF năm 2020 tốt hơn 2019. Tuy nhiên để có thêm thông tin về việc mô hình WRF có chi tiết hóa tốt hơn so với mô hình GFS trong việc dự báo mưa nên trong mục này sẽ so sánh kỹ năng của GFS và WRF trong dự báo định lượng mưa cho Việt Nam tại Viện trong năm 2020. Dưới đây là phần đánh giá, so sánh về chất lượng dự báo của hai mô hình GFS và WRF qua các chỉ số pha trên cơ sở tính trung bình cả nước.





Hình 6. Các chỉ số đánh giá mưa hạn 24–72h của mô hình GFS và WRF cho 7 vùng khí hậu năm 2020 với 3 ngưỡng mưa.

Ở hạn dự báo 24h cho thấy, đối với ngưỡng mưa nhỏ, cả hai mô hình GFS và WRF đều dự báo diện mưa lớn hơn so với thực tế. Đối với ngưỡng mưa vừa và mưa to GFS dự báo diện mưa nhỏ hơn thực tế, trong khi WRF thì ngược lại, điều này có chứng tỏ vai trò tham số mưa đối lưu trong WRF đã khếch đại diện mưa lên so với trường đầu vào từ GFS. Về độ chính xác mô hình, cho thấy GFS tốt hơn WRF ở ngưỡng mưa nhỏ, xấp xỉ ở ngưỡng mưa vừa và kém WRF ở ngưỡng mưa lớn. Đặc biệt mô hình WRF có kỹ năng hơn ở khu vực nhỏ và địa hình phức tạp như Trung Bộ. Việc cải thiện ở kỹ năng ở ngưỡng mưa lớn tuy không thật sự nhiều về trị số nhưng cho ta thấy giá trị và kỹ năng dự báo mưa lớn hay mưa cực trị trên của WRF tốt hơn sử dụng mưa trực tiếp từ GFS, đồng thời cho ta thấy rằng việc sử dụng mô hình khu vực WRF độ phân giải cao đã mang lại lợi ích đáng kể. Tỷ lệ dự báo không của GFS ở các ngưỡng mưa vừa và nhỏ tương đương WRF tuy nhiên lại dự báo không hơn WRF ở ngưỡng mưa lớn. Chỉ số thành công của hai mô hình đối với các ngưỡng mưa là tương đương nhau, và đều xa với chỉ số hoàn hảo.

Ở hạn dự báo 48h, và hạn dự báo 72h, cũng tương tự như các hạn dự báo 24h. Tóm lại, ở cả 3 hạn dự báo 24h, 48h, 72h đều cho thấy cả hai mô hình đều dự báo diện mưa lớn hơn thực tế ở ngưỡng mưa nhỏ, GFS dự báo diện mưa nhỏ hơn thực tế ở ngưỡng mưa vừa và mưa to, WRF ngược lại. GFS và WRF dự báo khá tốt ở ngưỡng mưa nhỏ, GFS dự báo không tốt ở ngưỡng mưa vừa, mưa to và đều kém đi khi ngưỡng mưa tăng lên trong khi đó WRF có cải thiện hơn. Tỷ lệ dự báo không của hai mô hình tương đương nhau ở ngưỡng mưa nhỏ, mưa vừa; ở ngưỡng mưa to GFS cho tỷ lệ không thấp hơn. Chỉ số thành công của hai mô hình đối với cả 3 ngưỡng mưa là tương đương nhau, và đều thấp hơn nhiều so với giá trị hoàn hảo.

4. Kết luận

Tính chung trên phạm vi cả nước, ở cả 3 hạn dự báo, chất lượng dự báo mưa định lượng của mô hình WRF đạt khoảng 30–40% thành công ở ngưỡng có mưa, đạt khoảng trung bình 20% ở ngưỡng mưa vừa và khoảng 15% ở ngưỡng mưa to và hạn càng xa thì kỹ năng càng giảm. Đối với hạn mưa to đến rất to mô hình WRF không có kỹ năng. Mô hình dự báo định lượng tốt nhất ở khu vực BTB, tiếp đến ĐBBB, NTB và khu ĐB, TN và không tốt ở TB và NB, riêng khu vực ĐBBB hạn 72h mô hình dự báo tốt hơn hạn 24h và 48h. So sánh về kỹ

năng dự báo mưa định lượng nghiệp vụ trên lãnh thổ của Việt Nam thì mô hình WRF tại Viện ngang bằng với các đánh giá trước đây, đặc biệt là của Du Đức Tiến 2016. Kỹ năng dự báo của mô hình WRF năm 2020 tốt hơn 2019, điều này đến từ nhiều nguyên nhân nhưng nguyên nhân chủ đạo có thể là sự thay đổi chất lượng số liệu đầu vào GFS.

So sánh kỹ năng dự báo mưa ở hạn dự báo 24h cho thấy, đối với ngưỡng mưa nhỏ, cả hai mô hình GFS và WRF đều dự báo diện mưa lớn hơn so với thực tế. Đối với ngưỡng mưa vừa và mưa to GFS dự báo diện mưa nhỏ hơn thực tế, trong khi WRF thì ngược lại, điều này có chứng tỏ vai trò tham số mưa đối lưu trong WRF đã khếch đại diện mưa lên so với trường đầu vào từ GFS. Đặc biệt mô hình WRF có kỹ năng hơn ở khu vực nhỏ và địa hình phức tạp như Trung Bộ. Về độ chính xác mô hình, cho thấy GFS tốt hơn WRF ở ngưỡng mưa nhỏ, xấp xỉ ở ngưỡng mưa vừa và kém WRF ở ngưỡng mưa lớn. Việc cải thiện ở kỹ năng ở ngưỡng mưa lớn tuy không thật sự nhiều về trị số nhưng cho ta thấy giá trị và kỹ năng dự báo mưa lớn hay mưa cực trị trên của WRF tốt hơn sử dụng mưa trực tiếp từ GFS, đồng thời cho ta thấy rằng việc sử dụng mô hình khu vực WRF độ phân giải cao đã mang lại lợi ích đáng kể.

Đối với cả 3 hạn dự báo 24h, 48h, 72h đều cho thấy cả mô hình WRF và GFS đều dự báo diện mưa lớn hơn thực tế ở ngưỡng mưa nhỏ, GFS dự báo diện mưa nhỏ hơn thực tế ở ngưỡng mưa vừa và mưa to trong khi WRF cho kết quả ngược lại. Ở ngưỡng mưa nhỏ mô hình WRF và mô hình GFS cho kết quả dự báo gần giống nhau, nhưng ở ngưỡng mưa vừa, mưa to thì mô hình WRF dự báo tốt hơn so với mô hình GFS. Chỉ số thành công của hai mô hình đối với cả 3 ngưỡng mưa là tương đương nhau tuy nhiên WRF có cải thiện hơn so với GFS nhưng không nhiều. Tuy nhiên mô hình WRF có kỹ năng hơn ở khu vực nhỏ và địa hình phức tạp như Trung Bộ.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của nhiệm vụ: “Nghiên cứu đánh giá một số hiện tượng khí hậu cực đoan và cung cấp các bản tin dự báo thời tiết, mưa lớn, xoáy thuận nhiệt đới, khí hậu và nhận định xu thế một số thiên tai”.

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. Zittis, G.; Hadjinicolaou, P.; Lelieveld, J. Comparison of WRF Model Physics Parameterizations over, 2014.
2. Skamarock, W.C.; Klemp, J.B.; Dudhia, J.; Gill, D.O.; Barker, D.M.; Wang, W.; Powers, J.G. A description of the advanced research WRF version 2. NCAR Tech. Note NCAR/TN-468+STR, 2005, pp. 88.
3. Barker, D.M.; Sugimoto, S.; Crook, N.A.; Sun, J.; Xiao, Q. An Examination of WRF 3DVAR Radar Data Assimilation on Its Capability in Retrieving Unobserved Variables and Forecasting Precipitation through Observing System Simulation Experiments. *Mon. Wea. Rev.* **2009**, *137*, 4011–4029.
4. Wang, X.; Parrish, D.; Kleist, D.; Whitaker, J. GSI 3DVar-Based Ensemble-Variational Hybrid Data Assimilation for NCEP Global Forecast System: Single-Resolution Experiments. *Mon. Wea. Rev.* **2013**, *141*, 4098–4117.
5. Benjamin, S.G.; Dévényi, D.; Weygandt, S.S.; Brundage, K.J.; Brown, J.M.; Grell, G.A.; Kim, D.; Schwartz, B.E.; Smirnova, T.G.; Smith, T.L.; Manikin, G.S. An Hourly Assimilation Forecast Cycle: The Ruc. *Mon. Wea. Rev.* **2014**, *132*, 495–518.
6. Benjamin, et al. A North American Hourly Assimilation and Model Forecast Cycle: The Rapid Refresh. *Mon. Wea. Rev.* **2016**, *144*, 1669–1694. <https://doi.org/10.1175/mwr-d-15-0242.1>.

7. Tiến, T.T và cs. Xây dựng mô hình dự báo các trường khí tượng thủy văn vùng biển Đông. Báo cáo tổng kết đề tài cấp nhà nước KC.09.04, 2014.
8. Tiến, T.T. Xây dựng công nghệ dự báo liên hoàn bão, nước dâng và sóng ở Việt Nam bằng mô hình số với thời gian dự báo trước 3 ngày. Báo cáo tổng kết đề tài cấp nhà nước KC.08.05, 2010.
9. Tiến, T.T. Xây dựng qui trình công nghệ dự báo quỹ đạo và cường độ bão trên khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông hạn 5 ngày. Báo cáo tổng kết đề tài cấp nhà nước KC.08.05, 2014.
10. Xin, K.T và cs. Nghiên cứu ứng dụng bộ mô hình số trị khu vực cho dự báo chuyển động của bão ở Việt nam. Báo cáo kết quả thực hiện đề tài KHCN độc lập cấp Nhà nước, Mã số: ĐTDL-02/2000, 2002.
11. Xin, K.T và cs. Nghiên cứu dự báo mưa lớn diện rộng bằng công nghệ hiện đại phục vụ phòng chống lũ lụt ở Việt Nam. Báo cáo kết quả thực hiện đề tài KHCN độc lập cấp Nhà nước, Mã số: ĐTDL-02/2002, 2005.
12. Cường, H.Đ. Nghiên cứu thử nghiệm dự báo mưa lớn ở Việt Nam bằng mô hình MM5. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ TN&MT, 2008.
13. Cường, H.Đ và cs. Nghiên cứu xây dựng hệ thống nghiệp vụ dự báo mưa lớn cho khu vực Bắc Bộ Việt Nam” thuộc Chương trình KC08/16-20, 2016.
14. Đức, L.; Thủy, Đ.L.; Trung, L.H.. Xây dựng trường ẩm cho mô hình HRM từ số liệu vệ tinh địa tĩnh dựa trên phương pháp biến phân ba chiều (3D-VAR) (Phần 2). *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2007**, 558, 43-49.
15. Hòa, V.V và cs. Nghiên cứu ứng dụng dự báo tổ hợp một số trường dự báo bão. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ, 2007.
16. Hằng, V.T.; Xin, K.T. Dự báo mưa lớn khu vực Trung Bộ sử dụng sơ đồ tham số hóa đối lưu Heise trong mô hình HRM. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2007**, 560, 49-54.
17. Tăng, B.M và cs. Nghiên cứu, thử nghiệm dự báo định lượng mưa từ sản phẩm mô hình HRM và GSM. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ, 2009.
18. Tăng, B.M và cs. Nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo mưa lớn thời hạn 2-3 ngày phục vụ công tác cảnh báo sớm lũ lụt khu vực Trung Bộ Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Nhà nước, 2014.
19. Du, D.T.; Hole, L.R.; Tran, A.D.; Hoang, D.C.; Thuy, N.B. Verification of forecast weather surface variables over Vietnam using the National Numerical Weather Prediction System. *Adv. Meteorol.* **2016**, 8152413, pp. 11.
20. Thăng, V.V.; Anh, V.T.; Thúc, T.D.; Kiên, T.B.; Hiệp, N.V. Đánh giá khả năng dự báo mưa mùa hè của mô hình WRF đối với khu vực Nam Bộ và Nam Tây Nguyên khi có bão trên Biển Đông. *Tap chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2017**, 2(6), 43-51.
21. Thăng, V.V. và cs. Nghiên cứu xây dựng hệ thống nghiệp vụ dự báo định lượng mưa khu vực Nam Bộ và cảnh báo mưa lớn hạn cực ngắn cho Thành phố Hồ Chí Minh, 2020.
22. Dung, N.T.; Toàn, N.T.; Thanh, C. Ứng dụng phần mềm TITAN trong dự báo dông trên khu vực Trung Trung Bộ. *VNU J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2021**, 37(4), 1-8.
23. Kato, T.; Goda, H. Formation and maintenance processes of a stationary band-shaped heavy rainfall observed in Niigata on 4 August 1998. *J. Meteor. Soc. Japan* **2001**, 79, 899-294.
24. Thanh, C. Đánh giá khả năng dự báo mưa cho khu vực Quảng Ngãi thời hạn từ 1 đến 2 ngày. *Tap chí Khoa học: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2015**, 31(3S), 231-237.
25. Toàn, N.T và cs. Đánh giá khả năng dự báo mưa lớn của mô hình WRF do hình thể không khí lạnh kết hợp với gió đông trên cao cho khu vực Trung Trung Bộ. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2018**, 34(1S), 132-136.
26. Ngọc, L.A và cs. Đánh giá khả năng dự báo thời tiết của mô hình WRF cho khu vực Nam Bộ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 708, 55-63.

27. Nga, N.T.; Thanh, C.; Hung, M.K.; Tiến, D.Đ. Đánh giá kỹ năng dự báo mưa định lượng từ mô hình quy mô toàn cầu và khu vực phân giải cao cho khu vực Bắc Bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* 2021, 730, 79–92.

Verification of quantitative rainfall forecast over Vietnam by using the weather research and forecasting model

Truong Ba Kien¹, Pham Thi Thanh Nga¹, Tran Duy Thuc¹, Phung Thi My Linh¹, Vu Van Thang^{1*}

¹ Vietnam institute of meteorology, Hydrology and Climate change; kien.cbg@gmail.com; pttnga.monre@gmail.com; tranduythuc1@gmail.com; phungmylinh165@gmail.com; vvthang26@gmail.com

Abstract: This paper presents the evaluation of the rainfall forecast skill for Vietnam by using the WRF model in the period of 2019–2020. The observed rainfall data of 150 surface meteorological stations are used to verify the skills of the rainfall forecast at the 24h, 48h, and 72h leading–times based on using the ME, MAE, RMSE and FBI, POD, FAR, BIAS, CSI indices. The results show that the WRF model tends to under–forecast in most rainfall thresholds and leadtimes. On the national–wide scale, at all forecasting leadtimes, the WRF model's skill is about 30–40% for the light rainfall threshold (1 mm/day), 20%, and 15 % at the moderate rainfall threshold (16 mm/day) and heavy threshold (50mm/day), respectively. There is not much–improved forecasting skill at the 72h leadtime. The WRF model tends to be overforecasting at the light rainfall threshold for the spatial distribution rainfall forecast but underforecasting for other thresholds at all 3 forecasting leadtimes.

Keywords: WRF model; Quantitative rainfall forecast; Vietnam.