

ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA ĐỒNG BỘ HÓA SỐ LIỆU VÀ ĐIỀU KIỆN BIÊN ĐẾN KẾT QUẢ DỰ BÁO MƯA LỚN TỪ MÔ HÌNH WRF CHO KHU VỰC MIỀN TRUNG VÀ TÂY NGUYÊN

ThS. **Dư Đức Tiến**, TS. **Bùi Minh Tăng**, ThS. **Võ Văn Hòa**,
CN. **Phùng Thị Vui**, CN. **Trần Anh Đức**, CN. **Mai Khánh Hưng**, CN. **Nguyễn Mạnh Linh**
Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn Trung ương

Hai nguyên nhân trực tiếp ảnh hưởng đến chất lượng của dự báo từ mô hình khu vực bao gồm trường điều khiển từ mô hình toàn cầu và trường phân tích ban đầu. Bài báo sẽ đánh giá tác động của đồng bộ hóa số liệu và mô hình toàn cầu đến kết quả dự báo mưa lớn tại miền Trung và Tây Nguyên. Hệ thống mô hình khu vực và đồng bộ hóa số liệu được sử dụng trong nghiên cứu là mô hình WRFARW và hệ thống đồng bộ hóa WRFDA phiên bản 3.3. Số liệu được sử dụng trong đồng bộ hóa gồm số liệu quan trắc truyền thống và số liệu thám sát thẳng đứng từ vệ tinh cực NOAA. Số liệu điều kiện biên toàn cầu được sử dụng trong thử nghiệm gồm mô hình toàn cầu GFS của Mỹ và GSM của Nhật Bản. Các trường hợp thử nghiệm dựa trên 10 đợt mưa lớn điển hình trong 3 năm 2010-2012 tại khu vực miền Trung và Tây Nguyên. Kết quả đánh giá bước đầu cho thấy việc đưa vào đồng bộ hóa số liệu truyền thống và phi truyền thống đã giảm được rõ rệt sai số hệ thống của mô hình và tăng khả năng phát hiện được mưa lớn. Sự khác biệt của điều kiện biên từ hai mô hình toàn cầu đến kết quả dự báo là không lớn.

1. Mở đầu

Trong những nhiều năm trở lại đây, bên cạnh phương pháp dự báo thời tiết truyền thống như phương pháp synop hay phương pháp thống kê, việc sử dụng các sản phẩm dự báo từ các mô hình số trị đã góp phần nâng cao chất lượng dự báo thời tiết, đặc biệt là những thông tin dự báo mang tính chất định lượng. Có hai nguồn sản phẩm dự báo số chính được sử dụng để tham khảo gồm dự báo từ các mô hình toàn cầu và dự báo từ các mô hình khu vực. Các sản phẩm dự báo từ mô hình số trị toàn cầu ngoài việc cho phép các dự báo viên xem xét được biến đổi theo thời gian và không gian còn cho phép đưa ra được những dự báo mang tính định lượng như mưa, sự thay đổi nhiệt độ hay áp suất của các hiện tượng quy mô lớn (quy mô không gian cỡ 50km trở lên, quy mô thời gian từ vài giờ cho đến một vài ngày). Đối với các sản phẩm từ các mô hình khu vực quy mô vừa (quy mô không gian từ 10 - 30 km), đây là phương pháp hạ quy mô động để có thể tăng cường khả năng nắm bắt được các hiện tượng mà ở quy mô không gian của các mô hình toàn cầu không nắm bắt được như hiện tượng mây dông, đối lưu sâu hay đường tố,... Việc tham khảo sản phẩm từ những mô hình khu vực quy mô vừa song song với

sản phẩm mô hình toàn cầu sẽ cho phép các dự báo viên có cái nhìn mang tính hệ thống của sự biến đổi các hiện tượng thời tiết từ quy mô lớn xuống quy mô vừa, qua đó đưa ra được những cảnh báo, dự báo mang tính định lượng cho các hiện tượng từ quy mô lớn xuống quy mô vừa.

Một trong nhiều đặc điểm quan trọng khi sử dụng các sản phẩm dự báo từ các mô hình khu vực là các hiện tượng có quy mô vừa mà mô hình khu vực nắm bắt được liên quan trực tiếp các cơ chế gây ra mưa lớn như các hệ thống mây đối lưu có tổ chức, xoáy thuận nhiệt đới. Chính vì thế trong nhiều năm trở lại đây, việc sử dụng các sản phẩm dự báo từ các mô hình số đã góp phần tăng cường chất lượng dự báo thời tiết nói chung và các hiện tượng thời tiết nguy hiểm nói riêng, đặc biệt là hiện tượng mưa lớn. Như đã biết, trong những yếu tố tác động đến chất lượng của mô hình khu vực thì độ chính xác của trường điều khiển từ các mô hình toàn cầu (còn gọi là trường điều kiện biên) và độ chính xác của điều kiện ban đầu (còn gọi là trường phân tích) có vai trò hết sức quan trọng. Đối với việc tăng cường chất lượng của điều kiện ban đầu, các phương pháp đồng bộ hóa số liệu sẽ được sử dụng, trong đó trường phân tích sẽ được giảm sai số tối

đa bằng cách sử dụng các nguồn số liệu quan trắc khác nhau như số liệu truyền thống và số liệu phi truyền thống như thám sát vệ tinh, radar [1, 3, 4, 5].

Tại Việt Nam trong nhiều năm trở lại đây, việc tham khảo các sản phẩm dự báo số quy mô khu vực để tăng cường khả năng nắm bắt và định lượng hóa được các hiện tượng thời tiết nói chung và các hiện tượng thời tiết nguy hiểm nói riêng là không thể thiếu đối với các dự báo viên trong dự báo nghiệp vụ [2, 4, 6]. Tuy nhiên khi ứng dụng, hai vấn đề chính gây nên sai số cho các sản phẩm khu vực là sai số gây ra do trường điều kiện biên lấy từ các dự báo của mô hình toàn cầu và sai số do trường phân tích. Việc lựa chọn được dự báo toàn cầu tốt nhất làm điều kiện biên và tạo ra được trường phân tích tối ưu nhất luôn là bài toán phải thực hiện khi chạy nghiệp vụ các mô hình khu vực [1, 3, 4, 5]. Đây chính là mục tiêu của nghiên cứu này.

Nghiên cứu sẽ đánh giá tác động của đồng hóa số liệu và mô hình toàn cầu đến kết quả dự báo mưa lớn từ mô hình khu vực. Nghiên cứu sử dụng mô hình WRF với nhân động lực ARW (gọi tắt là WRFARW) và hệ thống đồng hóa WRFDA phiên bản 3.3 do NCAR (Trung tâm nghiên cứu khí quyển quốc gia Mỹ) và NCEP (Trung tâm dự báo môi trường quốc gia Mỹ) phát triển. Mô hình WRFARW và WRFDA là hệ thống đang sử dụng trong nghiệp vụ tại NCEP, chi tiết hơn có thể xem thêm tại các tham khảo [1, 3, 6]. Số liệu được sử dụng trong đồng hóa là số liệu truyền thống và số liệu phi truyền thống là thám sát thẳng đứng từ vệ tinh cực NOAA [5]. Số liệu điều kiện biên toàn cầu được sử dụng trong thử nghiệm gồm từ mô hình toàn cầu GFS của NCEP và GSM của JMA (Cơ quan khí tượng Nhật bản) [2, 6].

Về khu vực tập trung nghiên cứu, một trong những khu vực thường chịu nhiều hiện tượng thời tiết nguy hiểm như bão, mưa lớn, lũ lụt và hạn hán là khu vực miền Trung và Tây Nguyên. Những thiên tai gây hậu quả nghiêm trọng cho miền Trung chủ yếu gắn liền với các hiện tượng lũ lụt, mà nguyên nhân chính là mưa lớn và mưa lớn kéo dài tại miền Trung và Tây Nguyên. Với lý do trên, nghiên cứu sẽ lựa chọn khu vực miền Trung và Tây Nguyên làm miền tính toán thử nghiệm. Những trường hợp được thử nghiệm được lựa chọn gồm 10 đợt mưa lớn điển hình trong 3 năm 2010-2012 xảy ra tại Trung Bộ và Tây nguyên. Các kết quả bước đầu cho

thấy được khả năng cải thiện chất lượng dự báo mưa ngày cho khu vực miền Trung và Tây Nguyên bằng phương pháp đồng hóa số liệu.

2. Thiết kế thử nghiệm

a. Điều kiện biên và điều kiện ban đầu

Để đánh giá ảnh hưởng của điều kiện biên và điều kiện ban đầu lấy từ dự báo của các mô hình toàn cầu, trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng hai trường ban đầu từ mô hình toàn cầu GFS của NCEP (Mỹ) và GSM của JMA (Nhật Bản) trong đó mô hình GFS và GSM đều có độ phân giải ngang là 55km. Số mực áp suất thẳng đứng của mô hình GFS là 26 và của GSM là 21. Trường dự báo từ hai mô hình GFS và GSM sẽ được cập nhật làm điều kiện biên với chu kỳ 06 tiếng cho các thử nghiệm dự báo bằng mô hình khu vực WRFARW ở phần b.

b. Mô hình khu vực WRFARW

Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng mô hình WRFARW phiên bản 3.3. Chi tiết về cấu trúc mô hình WRFARW, nhiệt động lực học, tham số hóa vật lý và các phương pháp số sử dụng trong WRF, bạn đọc có thể tham khảo trong [6]. Một số đặc tính chính của hệ thống WRFARW được sử dụng trong nghiên cứu này gồm sơ đồ tham số tham số hóa đối lưu Kain-Fritsch, sơ đồ tham số tham số hóa vi vật lý mây của Lin, sơ đồ tham số tham số hóa lớp biên YSU và sử dụng lưới xen kẽ Arakawa-C.

c. Hệ thống đồng hóa số liệu WRFDA và quy trình cập nhật biên và điều kiện ban đầu cho mô hình khu vực WRFARW

Đồng hóa số liệu là quá trình tạo trường ban đầu tốt nhất có thể cho mô hình dự báo. Trong nghiên cứu này sử dụng hệ thống đồng hóa số liệu WRFDA phát triển bởi NCEP (Mỹ), chi tiết về lý thuyết cơ bản trong hệ thống đồng hóa WRFDA có thể tìm thấy trong các tham khảo [1, 3]. Về mặt tính toán, đầu vào cho hệ thống WRFDA gồm 3 loại số liệu là điều kiện ban đầu, điều kiện biên theo thời gian và số liệu thám sát quanh thời điểm phân tích. Dựa vào điều kiện ban đầu và số liệu thám sát, hệ thống WRFDA sẽ tính ra trường phân tích tối ưu và sau đó sẽ cập nhật sự thay đổi cho cả trường điều kiện biên [1, 3]. Để giảm thiểu hiệu ứng trễ (spin-up time) trong kết quả dự báo, quá trình dự báo sẽ được thực hiện trước 2 ngày trong từng trường hợp mưa lớn thử nghiệm tại bảng 2 nhằm lan truyền được hiệu ứng của đồng hóa số liệu đến trường

điều khiển cho mô hình. Cụ thể, tại mỗi ổ dự báo (00Z, 06Z, 12Z, 18Z) điều kiện ban đầu được lấy từ trường dự báo 06 giờ của ổ dự báo từ mô hình WRF-FARW liền kề trước đó. Điều kiện ban đầu này sẽ được hiệu chỉnh tối ưu hóa thông qua hệ thống đồng hóa số liệu WRFDA và số liệu quan trắc tương ứng với thời điểm của ổ dự báo đó. Điều kiện biên cập nhật theo thời gian được lấy từ các dự báo của mô hình toàn cầu GFS và GSM tại các ổ dự báo tương ứng. Như vậy điều kiện ban đầu chỉ được lấy từ mô hình toàn cầu tại duy nhất thời điểm thực hiện dự báo ban đầu, trường hợp này còn được gọi là "cold start". Trong nghiên cứu này chỉ đánh giá kết quả dự báo của ổ dự báo 00Z nên các ổ phụ như 06Z, 12Z và 18Z sẽ chỉ được chạy dự báo với thời đoạn là 06h nhằm phục vụ cung cấp điều kiện ban đầu cho các lần dự báo kế tiếp.

d. Số liệu sử dụng trong đồng hóa và phương pháp đánh giá kết quả

Số liệu đồng hóa được sử dụng trong nghiên cứu gồm hai loại là truyền thống và phi truyền thống. Đối với số liệu truyền thống, số liệu quan trắc các biến cơ bản như nhiệt độ, độ ẩm, gió và áp suất sẽ được lấy từ các trạm Synop, trạm thám không vô tuyến (PILOT, TEMP), số liệu phát báo từ máy bay (METAR) và số liệu từ các trạm phao trên biển (BOUY). Đối với số liệu phi truyền thống, trong nghiên cứu này sẽ sử dụng số liệu bức xạ từ các đầu đo AMSU-A, AMSU-B, HIRS-3, HIRS-4 của vệ tinh NOAA. Chi tiết về đặc tính các loại đầu đo bức xạ

này có thể tham khảo trong [5]. Hai loại số liệu truyền thống và phi truyền thống sử dụng trong hệ thống WRFDA được lưu dưới dạng mã BUFR theo chuẩn của NCEP và được cung cấp từ hệ thống đồng hóa số liệu toàn cầu GDAS (Global Data Assimilation System) của NCEP [1, 3].

Với mục đích đánh giá tác động của đồng hóa số liệu và trường ban đầu đến kết quả dự báo mưa lớn từ mô hình WRF cho khu vực tại miền Trung và Tây Nguyên, trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng số liệu mưa tích lũy 24 tiếng tại tất cả các trạm synop của khu vực miền Trung và Tây nguyên trong các thời kì mưa thử nghiệm tương ứng (tổng số trạm được sử dụng là 64 trạm trong đó tại Bắc Trung Bộ là 20 trạm, Trung Trung Bộ là 15 trạm, Nam Trung Bộ là 12 trạm và Tây Nguyên là 17 trạm). Phương pháp đánh giá dự báo định lượng mưa theo cấp sử dụng bảng phân loại (Contingency table) sẽ được sử dụng trong đó chỉ tập trung vào các chỉ số POD, FAR, BIAS và ETS. Quá trình đánh giá được thực hiện trên vị trí các điểm trạm.

e. Các trường hợp mưa lớn thử nghiệm

Trong bảng 1 đưa ra các thời điểm xảy ra từng đợt mưa trong các năm 2010, 2011 và 2012 của các khu vực miền Trung và Tây Nguyên. Các đợt mưa lớn được lựa chọn là những đợt mưa lớn điển hình cho khu vực miền Trung và Tây Nguyên và các hình thể gây ra mưa lớn tương ứng cũng là các hình thể điển hình. Chi tiết hơn về các đợt mưa có thể tham khảo trong [7].

Bảng 1. Các trường hợp mưa thử nghiệm tại khu vực miền Trung và Tây Nguyên

TT	Ngày Tháng	Cấp mưa	Khu vực mưa	Lượng mưa phổ biến (mm)
2010				
1	28/9 - 3/10	Đợt mưa vừa mưa to	Trung Bộ	200 – 400 mm
2	3/9 - 5/9	Đợt mưa vừa mưa to	Bắc và Trung Trung Bộ	300 – 500 mm
3	15/10 - 18/10	Đợt mưa vừa mưa to	Các tỉnh Trung Bộ	100- 300 mm
2011				
1	10/9-12/9	Đợt mưa vừa mưa to	Bắc và Trung Trung Bộ	300 – 500 mm
2	22/9-25/9	Đợt mưa vừa mưa to	Trung Trung Bộ và Nam Trung Bộ	200 – 300 mm ở TTB và 80 -120 mm ở NTB
3	16/10 - 20/10	Đợt mưa vừa mưa to	Trung Trung Bộ và các tỉnh ven biển Nam Trung Bộ	200 – 400 mm
4	4/11 - 9/11	Đợt mưa vừa mưa to	Các tỉnh ven biển Quảng Bình – Phú Yên	200 – 400 mm

2012				
1	3/9 – 8/9	Đợt mưa vừa mưa to	các tỉnh ven biển Bắc và Trung Trung Bộ	200 – 400 mm
2	14/9–15/9	Đợt mưa vừa mưa to	Từ phía Nam Hà Tĩnh đến Bình Thuận	50 – 120 mm, riêng Quảng Bình – Quảng Trị phổ biến 100 – 300 mm
3	6/10–8/10	Đợt mưa vừa mưa to	Ven biển Trung Trung Bộ, Nam Trung Bộ và khu vực Tây Nguyên	100–200 mm

f. Cấu hình tính toán và các phương án thử nghiệm

Miền tính toán trong nghiên cứu này được lựa chọn với tâm lưới tính toán có tọa độ 16,0°N và 110,0°E, số nút lưới theo vĩ hướng là 165 nút và kinh hướng là 209 nút. Độ phân giải ngang được lựa

chọn là 15 km, số mực thẳng đứng là 26 và bước thời gian tích phân là 60 giây. Mực áp suất cao nhất (biên trên của mô hình) có giá trị là 10hPa. Phép chiếu được chọn là Mercator với tọa độ điểm thấp nhất bên góc trái miền tính toán là 4,9°N và 95,9°E. Bốn phương án thử nghiệm được đưa ra trong bảng 2.

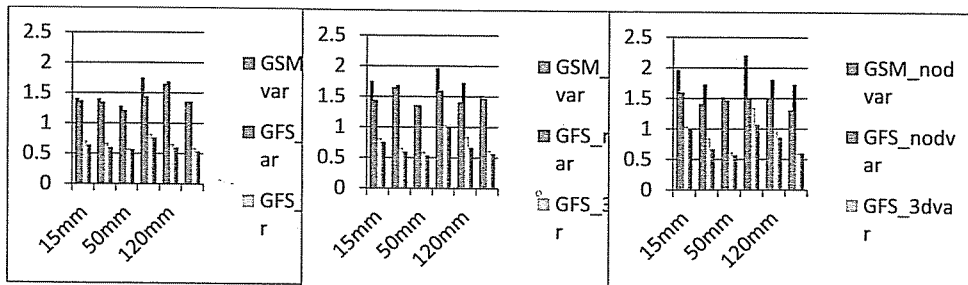
Bảng 2. Các phương án thử nghiệm

Phương án thử nghiệm	Điều kiện biên	Đồng hóa số liệu
GSM_nodvar	GSM	Không
GSM_3dvar	GSM	Có
GFS_nodvar	GFS	Không
GFS_3dvar	GFS	Có

3. Kết quả thử nghiệm

Các kết quả đánh giá dự báo lượng mưa tích lũy ngày cho các hạn dự báo 24h, 48h và 72h dựa trên các chỉ số đánh giá BIAS, POD, FAR và ETS được tính trung bình trên toàn khu vực Trung Bộ và Tây Nguyên cho các ngưỡng mưa 50 mm, 80 mm, 120 mm và 150 mm được đưa ra trong các hình 1 đến hình 4. Nhìn vào kết quả đánh giá ta thấy rằng sự khác biệt giữa có đồng hóa và không có đồng hóa là khá rõ rệt trong cả bốn chỉ số. Sự khác biệt giữa hai trường hợp có điều kiện biên toàn cầu khác nhau GSM_nodvar và GFS_nodvar là không lớn so với việc cập nhật trường ban đầu bằng đồng hóa. Trong hình 1 cho thấy hai xu thế khác biệt giữa

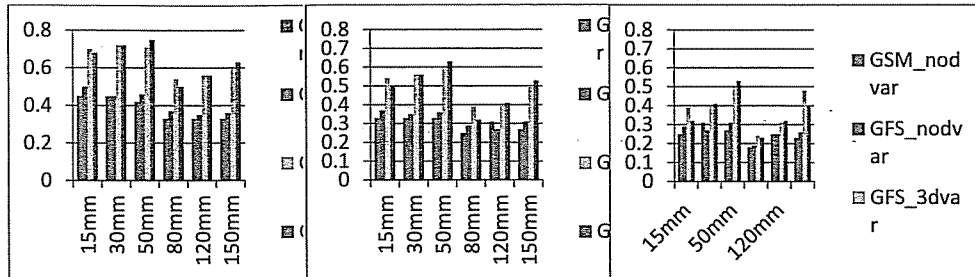
chưa có đồng hóa số liệu (chỉ số BIAS có giá trị lớn hơn 1) và trong các trường hợp có đồng hóa số liệu (chỉ số BIAS có giá trị nhỏ hơn 1). Như vậy ta thấy rằng trường hợp không có đồng hóa có xu hướng dự thiên cao, ngược lại trường hợp có đồng hóa cho xu hướng dự báo thiên thấp. Khi chưa có đồng hóa số liệu, kết quả dự báo cho thời đoạn 24h cho chỉ số BIAS tiến gần tới giá trị 1 nhất, tức là mô hình cho sai số hệ thống thấp nhất. Trong thời đoạn dự báo 48h và 72h, việc đưa đồng hóa số liệu vào đã giảm được sai số hệ thống đặc biệt cho các ngưỡng mưa 80 mm và 120 mm, điều này cho thấy ảnh hưởng của việc đồng hóa đến khả năng dự báo mưa lớn.



Hình 1. Chỉ số BIAS của lượng mưa tích lũy ngày đối với thời đoạn dự báo 24h (a), 48h (b) và 72h (c) cho toàn bộ khu vực Trung Bộ và Tây Nguyên

Ngược lại so với việc giảm có hệ thống của chỉ số BIAS, trong hình 2 cho thấy khi đưa đồng hóa số liệu vào xác suất phát hiện các hiện tượng mưa ở hầu hết các ngưỡng mưa đều được tăng lên một cách rõ rệt. Trong hình 2 cũng cho thấy giữa hai

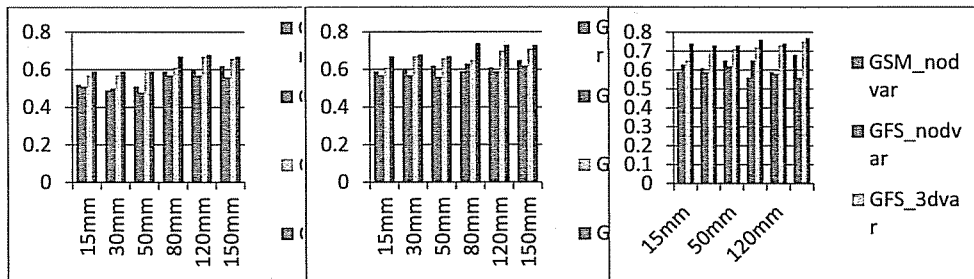
trường hợp khác điều kiện biên, trường hợp GFS cho kết quả tốt hơn. Giữa các thời đoạn dự báo khác nhau thì hai hạn dự báo 24h và 48h được cải thiện nhiều hơn so với hạn 72h khi đưa đồng hóa số liệu vào.



Hình 2. Chỉ số POD của lượng mưa tích lũy ngày đối với thời đoạn dự báo 24h (a), 48h (b) và 72h (c) cho toàn bộ khu vực Trung Bộ và Tây Nguyên

Đối với tỉ lệ dự báo các hiện tượng không xảy ra (hay còn gọi là dự báo khống) của mô hình đặc trưng thông qua chỉ số FAR, hình 3 cho thấy xác suất dự báo khống trong trường hợp chỉ sử dụng

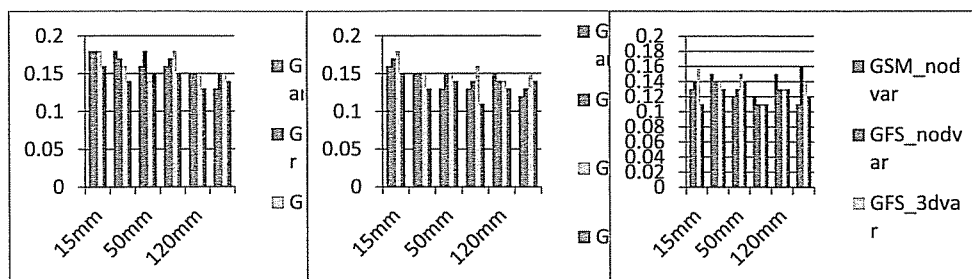
điều kiện biên GFS và không có đồng hóa số liệu là thấp nhất (GFS_nodvar). Việc đưa đồng hóa số liệu vào mặc dù làm tăng tỉ lệ phát hiện hiện tượng nhưng kèm theo đó là tăng tỉ lệ dự báo khống lên.



Hình 3. Chỉ số FAR của lượng mưa tích lũy ngày đối với thời đoạn dự báo 24h (a), 48h (b) và 72h (c) cho toàn bộ khu vực Trung Bộ và Tây Nguyên

Xem xét chỉ số ETS trong hình 4 cho thấy việc sử dụng điều kiện biên GFS (GFS_nodvar) và có đồng hóa (GFS_3dvar) cho kết quả tốt nhất giữa các trường hợp thử nghiệm. Xét về mặt giá trị, bảng 5 cho thấy chênh lệch giữa các trường hợp là rất nhỏ

(khác biệt từ 0,01 - 0,03) cho thấy chưa thể tăng được mức độ chính xác với việc tăng chất lượng của trường ban đầu hay thay đổi điều kiện biên cho mô hình khu vực.



Hình 4. Chỉ số ETS của lượng mưa tích lũy ngày đối với thời đoạn dự báo 24h (a), 48h (b) và 72h (c) cho toàn bộ khu vực Trung Bộ và Tây Nguyên

Dựa trên giá trị trung bình cũng như biến động của các chỉ số trong tất cả các ngưỡng mưa được sử dụng trong đánh giá, có thể nhận thấy giữa hai điều kiện biên toàn cầu khác nhau thì với đầu vào GFS cho kết quả tốt hơn. Các trường hợp có đồng hóa số liệu đã giảm được hẳn sai số hệ thống so với chưa có đồng hóa, tăng được xác suất phát hiện hiện tượng mưa trên từng ngưỡng mưa cho trước. Đối với trường hợp sử dụng trường điều kiện biên GFS và có đồng hóa, mức độ chính xác cũng được cải thiện hơn hẳn so với các trường hợp khác (chỉ số ETS). Mặc dù các trường hợp có đồng hóa số liệu đã cải thiện được xác suất phát hiện hiện tượng nhưng kèm vào đó là các vị trí có dự báo khổng cũng tăng lên (chỉ số FAR).

4. Kết luận

Nghiên cứu đã thử nghiệm và đánh giá kết quả dự báo mưa của 10 đợt mưa lớn điển hình trong năm 2010 -2012 cho khu vực Trung Bộ và Tây Nguyên bằng mô hình khu vực WRFARW. Các trường hợp thử nghiệm bao gồm việc sử dụng hai điều kiện biên từ mô hình toàn cầu GFS của Mỹ và GSM của Nhật. Tương ứng với việc sử dụng hai điều kiện biên từ hai mô hình toàn cầu GFS và GSM là việc tăng cường chất lượng trường phân tích bằng hệ thống đồng hóa số liệu WRFDA. Số liệu được sử dụng trong đồng hóa gồm số liệu truyền thống và số liệu vệ tinh.

Lời cảm ơn: Kết quả nghiên cứu được công bố trong bài báo này thuộc nội dung nghiên cứu ứng dụng lựa chọn các sản phẩm mô hình toàn cầu và sơ đồ đồng hóa số liệu để nâng cao chất lượng dự báo mưa lớn khu vực miền Trung và Tây Nguyên của đề tài nghiên cứu khoa học độc lập cấp Nhà nước “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”. Nhóm thực hiện xin gửi lời cảm ơn chân thành tới tập thể cán bộ thực hiện đề tài đã cung cấp thiết bị, số liệu và mô hình để hoàn thành bài báo khoa học này.

Tài liệu tham khảo

1. Barker, D., X.-Y. Huang, Z. Liu, T. Auligné, X. Zhang, S. Rugg, R. Ajjaji, A. Bourgeois, J. Bray, Y. Chen, M. Demirtas, Y.-R. Guo, T. Henderson, W. Huang, H.-C. Lin, J. Michalakes, S. Rizvi, and X. Zhang, 2012: The Weather Research and Forecasting Model's Community Variational/Ensemble Data Assimilation System: WRFDA. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 831–843.

2. Đỗ Lệ Thủy, 2002: Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu ứng dụng: “Nghiên cứu ứng dụng phương pháp dự báo lượng mưa dựa trên sản phẩm mô hình dự báo số trị của Nhật”, Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn Trung ương.

(Tiếp theo trang 61)