VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, Vol. 41, No. 1 (2025) 104-115

VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences

Journal homepage: https://js.vnu.edu.vn/EES

Original Article

Assessment of the Seasonal Rainfall Forecast Skills of clWRF and RegCM Climate Models

Pham Ngoc Thanh*, Pham Quang Nam

VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

Received 10th September 2024
Revised 19th December 2024; Accepted 13rd February 2025

Abstract: This paper evaluates the ability to forecast monthly and seasonal rainfall in seven climatic regions of Vietnam using the dynamical downscaling method, employing two climate models, clWRF and RegCM, with input data from the global climate model (NCEP CFSv2). The results indicate that the models perform best in the northern regions. However, significant forecast errors occur in the Central Highlands and Southern regions during dry months. The RegCM model provides more accurate rainfall forecasts in the North Central, South Central, and Central Highlands regions, while the clWRF model performs better in the Southern region. Forecast quality varies with lead times. At 5-month lead time, the models show considerably larger errors compared to 1- and 3-month lead times, particularly in September, October, November, and December in the Northwest, Northeast, and Red River Delta regions. Similarly, higher errors happen in January, February, November, and December in the other regions, while in March, April, and May, the models using 5-month lead time exhibit the lowest errors in these regions. The correlation between forecasted and observed rainfall remains low, emphasizing the complexity of seasonal rainfall forecast. Therefore, exploring post-model correction methods is needed to improve forecast quality.

Keywords: clWRF model, RegCM model, seasonal rainfall forecast.

* Corresponding author.
E-mail address: thanhpn00@gmail.com

https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5239

Đánh giá kỹ năng dự báo mưa hạn mùa của các mô hình khí hậu clWRF và RegCM

Phạm Ngọc Thành*, Phạm Quang Nam

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 10 tháng 9 năm 2024
Chỉnh sửa ngày 19 tháng 12 năm 2024; Chấp nhận đăng ngày 13 tháng 02 năm 2025

Tóm tắt: Bài báo đánh giá khả năng dự báo lượng mưa tháng và mùa cho 7 vùng khí hậu Việt Nam bằng phương pháp hạ quy mô động lực, sử dụng các mô hình khí hậu clWRF và RegCM với dữ liệu từ mô hình khí hậu toàn cầu NCEP CFSv2. Hai mô hình dự báo tốt nhất trên các vùng khí hậu phía Bắc, nhưng sai số dự báo lớn ở Tây Nguyên và Nam Bộ trong các tháng mùa khô. RegCM dự báo gần với quan trắc hơn tại Bắc Trung Bộ, Nam Trung Bộ và Tây Nguyên, trong khi clWRF cho sai số nhỏ hơn tại Nam Bộ. Với hạn dự báo 5 tháng, sai số dự báo lớn hơn đáng kể so với hạn 1 và 3 tháng vào tháng 9, 10, 11, 12 tại Tây Bắc, Đông Bắc và Đồng bằng Bắc Bộ, và vào tháng 1, 2, 11, 12 tại bốn vùng khí hậu còn lại, trong khi vào tháng 3, 4, 5 với hạn 5 tháng, hai mô hình dự báo chính xác nhất cho bốn vùng này. Mối tương quan giữa lượng mưa dự báo và quan trắc còn thấp, phản ánh sự phức tạp trong dự báo mưa hạn mùa. Do đó, cần nghiên cứu áp dụng các phương pháp hiệu chỉnh lượng mưa sau mô hình để cải thiện chất lượng dự báo.

Từ khóa: mô hình clWRF, mô hình RegCM, dự báo mưa hạn mùa.

1. Mở đầu

Thông tin dự báo mưa có vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực kinh tế-xã hội, như nông nghiệp, sản xuất điện, hồ thuỷ lợi, sức khỏe con người,... Tùy vào các mục đích khác nhau, dự báo mưa có thể có nhiều hạn dự báo khác nhau với quy mô thời gian từ vài giờ cho đến vài tháng. Trong đó dự báo mưa hạn mùa cung cấp thông tin dự báo tổng lượng mưa tháng hoặc mùa với qui mô thời gian thường dưới 12 tháng [1]. Phương pháp dự báo thường được sử dụng để dự báo mưa hạn mùa là phương pháp thống kê và động lực. Những thập kỷ gần đây, dự báo bằng phương pháp động lực hay mô hình số đã có sự tiến bộ đáng kể nhờ vào sự hiểu biết tốt hơn các quá trình xảy ra trong hệ thống khí hậu, khả năng tính toán của máy tính, sự ra đời của dữ liệu vệ tinh và các thuật toán đồng hóa số liệu [2]. Ngoài ra, nhiều mô hình khí hậu khu vực (RCM) cũng đã được sử dụng để hạ quy mô động lực từ mô hình toàn cầu (GCM) nhằm tăng độ phân giải, xem xét đến các yếu tố bề mặt và địa hình của một khu vực cụ thể. Các mô hình khí hậu khu vực sử dụng dữ liệu từ mô hình toàn cầu hoặc số liệu tái phân tích làm điều kiện ban đầu và điều kiện biên [3].

Mô hình khí hậu khu vực giúp làm giảm sai số và tăng chất lượng dự báo mưa hạn mùa [4]. Vì vậy, bài toán dự báo mưa hạn mùa bằng các mô hình khí hậu khu vực, đặc biệt là mô hình Nghiên cứu và Dự báo Thời tiết (WRF) của Mỹ phiên bản khí hậu (clWRF) và mô hình Khí hậu

* Tác giả liên hệ.
Địa chỉ email: thanhpn00@gmail.com

https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5239

Khu vực của Ý (RegCM), đã và đang được nhiều tác giả nghiên cứu [3-10]. Một số nghiên cứu cho rằng mô hình WRF thường cho dự báo lượng mưa thiên cao hơn quan trắc. Chẳng hạn, trên Ấn Độ, trung bình lượng mưa các tháng 6, 7, 8, 9 giai đoạn 1982-2008 là 875 mm quan sát ở quan trắc và 928 mm của dự báo mô hình WRF [5]. Khu vực Tây Ban Nha, mô hình WRF mô phỏng tốt lượng mưa tháng trong thời gian mưa chịu tác động chính bởi các nhân tố địa phương (tháng 6-12). Ngoài thời gian này (tháng 1-5), lượng mưa mô hình lớn hơn lượng mưa quan trắc [6]. Ở Đức, với các độ phân giải 0,33°, 0,11° mô hình WRF mô phỏng lượng mưa trung bình tháng, mùa lớn hơn và nhiều ngày ẩm (>1 mm/ngày) hơn so với quan trắc [7]. Với mô hình RegCM, theo Hassan và cs (2014) [8] lượng mưa mô phỏng của mô hình nói chung vượt quá quan trắc trong hầu hết các tháng trong năm trên khu vực Bắc Pakistan, Ấn Độ và thấp hơn quan trắc trên khu vực vực vịnh Bengal. Khu vực Bangladesh, mô hình RegCM mô phỏng lượng mưa trung bình năm lớn hơn quan trắc ở hầu hết các năm giai đoạn 1991-2018. Kết quả đánh giá cũng cho thấy lượng mưa mô hình cao hơn quan trắc trong các tháng hoạt động gió mùa (tháng 6-9), thấp hơn quan trắc trong các tháng 3, 4, 5, 10, 11 và sai khác không đáng kể so với quan trắc trong các tháng 12, 1, 2 [3]. Ở Việt Nam, Nguyễn Thị Hạnh và cs (2016) [9] đã sử dụng mô hình clWRF với các sơ đồ tham số hóa đối lưu khác nhau để đánh giá khả năng dự báo mưa hạn mùa, kết quả cho thấy mô hình dự báo tốt hơn ở các vùng khí hậu phía Bắc và kém hơn ở vùng khí hậu Nam Bộ. Vũ Thanh Hằng và Nguyễn Thị Hạnh (2014) [10] đã dùng mô hình clWRF để thử nghiệm dự báo hạn mùa lượng mưa tháng với các hạn dự báo từ 1 đến 6 tháng, kết quả cho thấy với biến trình năm của lượng mưa tháng trung bình thời kỳ 1981-2000, mô hình clWRF luôn cho lượng mưa cao hơn thực tế, chênh lệch lớn tập trung từ tháng 4 đến tháng 8.

Như vậy, có thể nói kỹ năng dự báo mưa hạn mùa của các mô hình khí hậu khu vực vẫn đang còn nhiều hạn chế. Việc hiểu biết được những ưu, nhược điểm của các mô hình trong dự báo mưa hạn mùa là hết sức cần thiết, vì nó cho biết khả năng sử dụng thông tin dự báo của mô hình cho các vùng khác nhau, các thời gian khác nhau. Do đó nghiên cứu này sẽ trình bày kết quả đánh giá kỹ năng dự báo mùa lượng mưa của hai mô hình khí hậu khu vực clWRF và RegCM với các hạn dự báo 1, 3 và 5 tháng trên các vùng khí hậu Việt Nam (Nguyễn Đức Ngữ và Nguyễn Trọng Hiệu, 2004) [11] (Hình 1). Chi tiết về phương pháp, số liệu sẽ được trình bày trong mục 2 của bài báo. Các kết quả và thảo luận về kỹ năng dự báo tổng lượng mưa tháng và mùa được thể hiện trong mục 3. Mục 4 là một số kết luận và đề xuất.

2. Phương pháp và số liệu

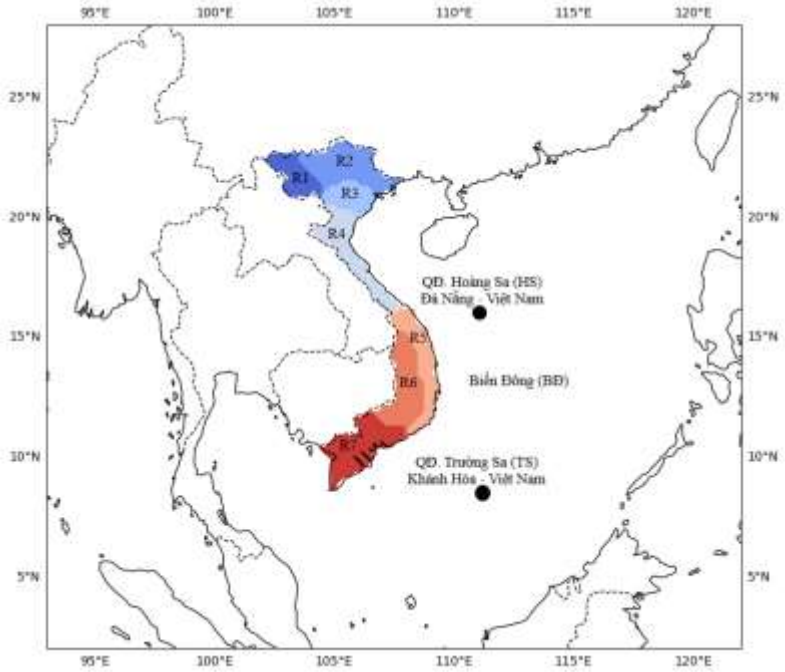
2.1. Số liệu

Nghiên cứu sử dụng hai nguồn số liệu gồm: i) Số liệu lượng mưa tháng của quan trắc, đã nội suy trên lưới 0,25 độ kinh vĩ, bao phủ toàn bộ lãnh thổ Việt Nam trong giai đoạn 1982-2020 [12, 13]; và ii) Số liệu dự báo lại của các mô hình khí hậu khu vực clWRF và RegCM trong giai đoạn 1982-2020.

Số liệu lượng mưa dự báo là sản phẩm từ hai mô hình khí hậu clWRF và RegCM, được thiết lập chạy với miền tính từ 2-28 độ vĩ Bắc, 93-121 độ kinh Đông và có phân giải ngang 20 km. Các sơ đồ tham số hóa được chọn sử dụng cho mô hình clWRF và RegCM sau khi đã tham khảo các nghiên cứu của Nguyễn Thị Hạnh và cs (2016) [9]; Ngô Đức Thành và Trịnh Tuấn Long (2023) [14]; thông tin các sơ đồ lần lượt bao gồm: bức xạ RRTMG và CCSM, bề mặt đất Noah và CLM 4,5, lớp biên YSU và Holtslag, tham số hóa đối lưu Betts-Miller-Janjic và Kain-Fritsch, vi vật lý WSM6 cho clWRF, và thông lượng đại dương Zeng cho RegCM.

Việc hạ quy mô động lực của các mô hình clWRF và RegCM, sử dụng dữ liệu đầu vào từ mô hình khí hậu toàn cầu CFS (Climate Forecast System) của NCEP (National Centers for Environmental Prediction), đã được chứng minh cải thiện chất lượng dự báo mưa hạn mùa so với sản phẩm thô từ mô hình toàn cầu [15, 16]. Vì vậy, trong nghiên cứu này, các tác giả đã tiến hành hai mô hình chạy dự báo từ tháng 1/1982

đến tháng 12/2020 với điều kiện ban đầu và điều kiện biên được cập nhật mỗi 6 giờ lấy từ dự báo của CFS với độ phân giải ngang 1×1 độ kinh vĩ (NCEP CFSv2), và hạn dự báo tới 5 tháng tiếp theo (trong giai đoạn quá khứ, từ 1982-3/2011) hoặc 6 tháng tiếp theo (trong giai đoạn hiện tại, từ 4/2011-nay). Năm 1982 được dùng cho thời gian khởi động mô hình (spin-up), do đó các phân tích đánh giá sẽ được thực hiện từ 1983-2020. Hơn nữa, để đồng nhất hạn dự báo giữa giai đoạn quá khứ và hiện tại, nghiên cứu sẽ đánh giá các hạn dự báo 1, 3 và 5 tháng trong giai đoạn 1983-2020. Kết quả lượng mưa tháng từ các mô hình được nội suy song tuyến tính về lưới 0,25 độ kinh vĩ, giống với lưới của số liệu quan trắc đã nội suy.



Hình 1. Miền tính và 7 vùng khí hậu Việt Nam
(R1-Tây Bắc Bộ, R2-Đông Bắc Bộ, R3-Đồng bằng Bắc Bộ
R4-Bắc Trung Bộ, R5-Nam Trung Bộ, R6-Tây Nguyên, R7-Nam Bộ).

2.2. Phương pháp đánh giá

Trung bình vùng lượng mưa của dự báo mô hình và quan trắc các tháng trong năm được lấy trung bình cho từng tháng trong giai đoạn từ 1/1983 đến 12/2020 (38 năm). Tương tự như lượng mưa tháng, lượng mưa mùa trung bình (trung bình lượng mưa mỗi ba tháng là tháng 12, 1, 2 (DJF), tháng 3, 4, 5 (MAM), tháng 6, 7, 8 (JJA), tháng 9, 10, 11 (SON) được lấy trung bình trong giai đoạn 12/1983-11/2020. Đối với trung bình vùng của lượng mưa tháng và mùa, kỹ năng dự báo của mô hình được đánh giá thông qua sai số tương đối trung bình tuyệt đối (RMAE).

Đánh giá cho mỗi điểm lưới, kỹ năng dự báo lượng mưa tháng của mô hình giai đoạn từ 01/1983 đến 12/2020 được đánh giá trên cơ sở phân bố không gian của các chỉ số bên dưới. Trong đó, pro_i-lượng mưa tháng i quan trắc, $\overline{pro}$-trung bình lượng mưa quan trắc của tháng i trong 38 năm, pr_i-lượng mưa tháng i dự báo, $\overline{pr}$-trung bình lượng mưa dự báo của tháng i trong 38 năm.

Sai số tương đối trung bình tuyệt đối (RMAE) thể hiện phần trăm sai số tuyệt đối của mô hình so với trung bình nhiều năm lượng mưa quan trắc. Chỉ số RMAE thấp cho thấy mô hình dự báo có độ chính xác cao, vì sai số dự báo là

nhỏ so với lượng mưa quan trắc trung bình. Ngược lại, RMAE cao cho thấy sai số dự báo có tỷ lệ lớn so với mức trung bình lượng mưa quan trắc, phản ánh sự không chính xác trong dự báo.

$$\mathrm{RMAE} = \frac{1}{n}\sum_1^n \left|\frac{pr_i - pro_i}{\overline{pro}}\right| \times 100\%$$

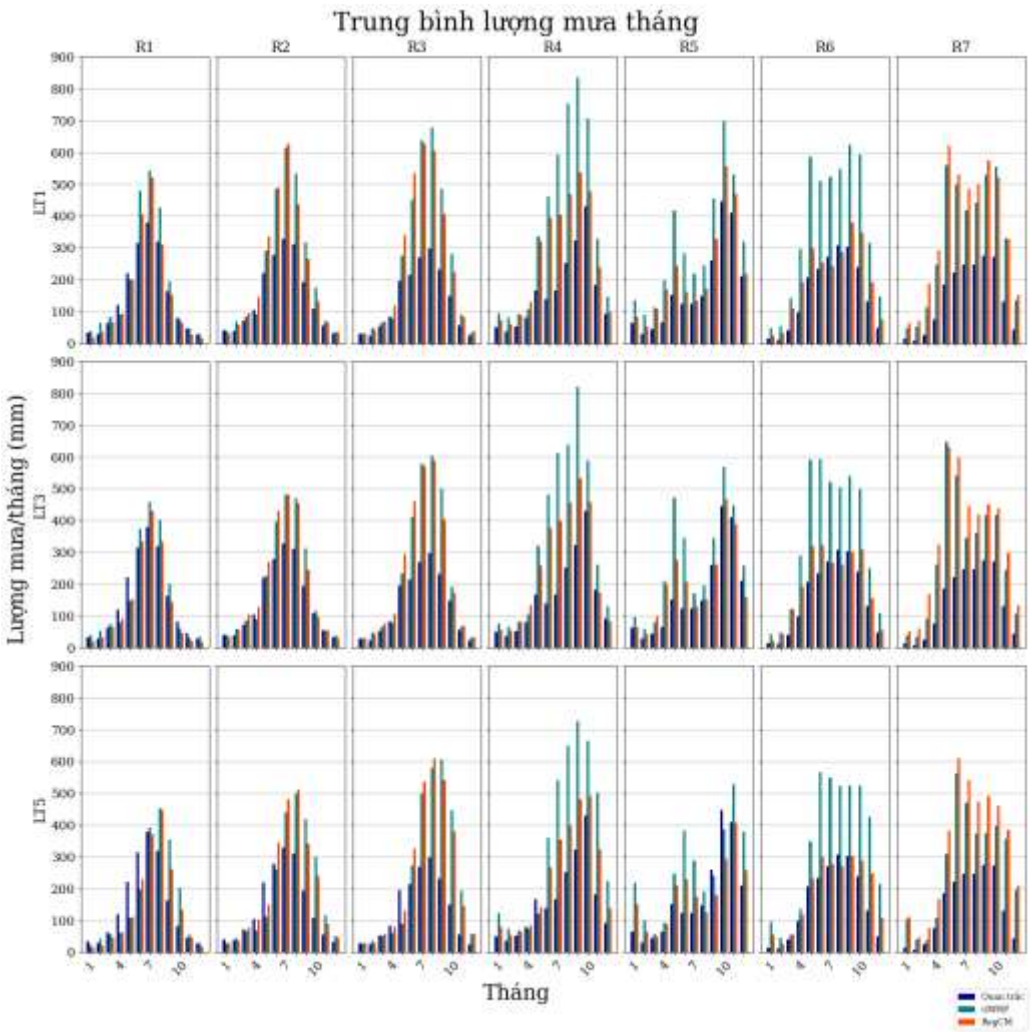
Hệ số tương quan được sử dụng để đánh giá mức độ tương quan tuyến tính giữa lượng mưa mô hình và lượng mưa quan trắc.

$$r = \frac{\sum_1^n (pr_i - \overline{pr})(pro_i - \overline{pro})}{\sqrt{\sum_1^n (pr_i - \overline{pr})^2}\sqrt{\sum_1^n (pro_i - \overline{pro})^2}}$$

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Lượng mưa tháng

Hình 2 thể hiện biến trình năm lượng mưa tháng của quan trắc và mô hình trên 7 vùng khí hậu ở ba hạn dự báo 1, 3 và 5 tháng. Vùng R1 và R2, lượng mưa quan trắc lớn nhất rơi vào tháng 6-8 (6, 7, 8), trong khi ở vùng R3 là tháng 7-9. Vùng R4, R5 các tháng có lượng mưa cực đại lùi dần về cuối năm, cụ thể là tháng 8-10 trên vùng R4 và tháng 9-11 trên vùng R5. Vùng R6, R7 thời gian có lượng mưa lớn nhất tương ứng là tháng 7-9 và 8-10. Lượng mưa dự báo của các mô hình về cơ bản phù hợp với số liệu quan trắc. Hai mô hình đều nắm bắt được biến trình năm của lượng mưa quan trắc. Mặc dù vậy, lượng mưa mô hình có xu hướng thiên cao hơn quan trắc trên hầu hết các vùng. Vùng R1 và R2, các mô hình dự báo tốt nhất giá trị và xu thế lượng mưa tháng ở hạn dự báo 1 và 3 tháng. Vùng R4-R6 (R4, R5, R6) lượng mưa dự báo của mô hình RegCM thường gần quan trắc hơn mô hình clWRF, trong khi ở R7 thì ngược lại. Chênh lệch giữa lượng mưa dự báo ở hạn 1 và 3 tháng không đáng kể. Tuy nhiên, kết quả ở hạn dự báo 5 tháng có sự khác biệt trong những tháng đầu và cuối năm so với các hạn dự báo còn lại.

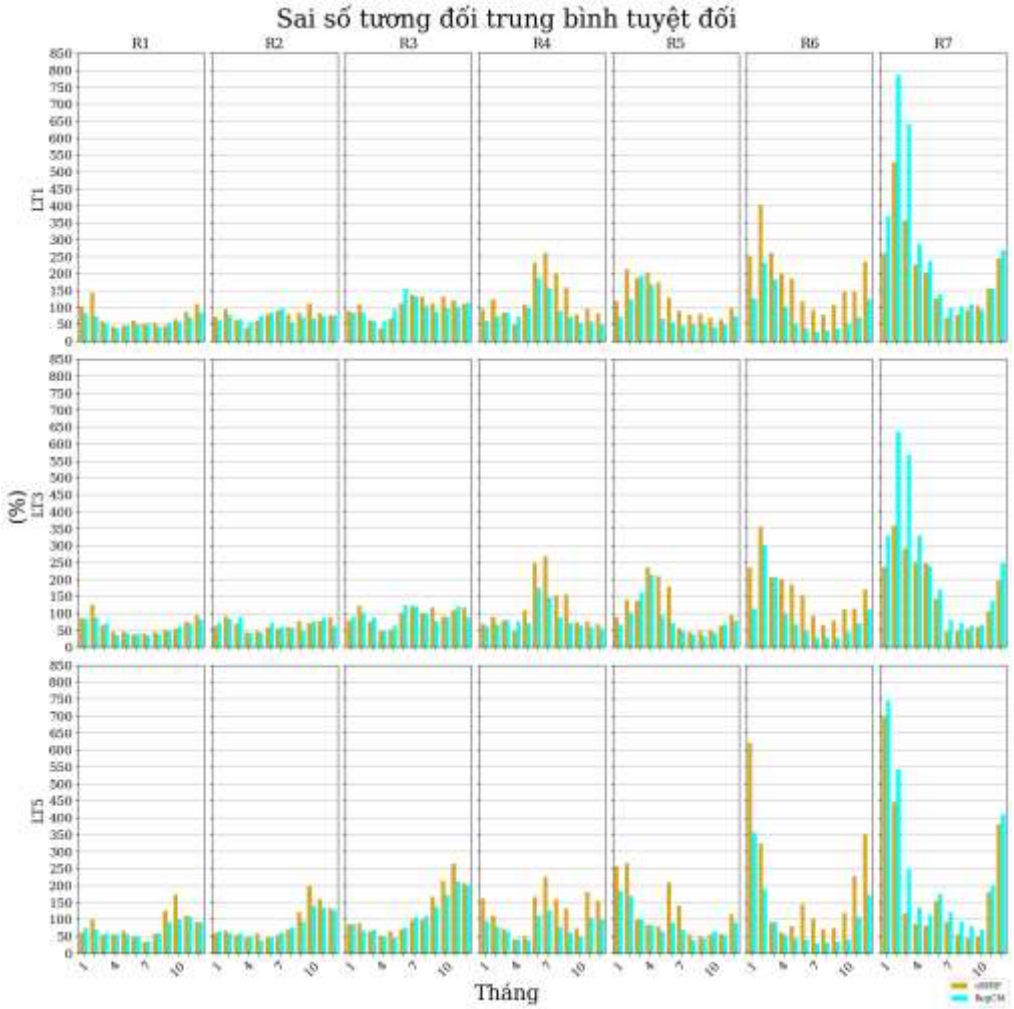


Hình 2. Biến trình năm lượng mưa tháng của quan trắc và mô hình trên 7 vùng khí hậu ở 3 hạn dự báo.

Hình 3 thể hiện sai số tương đối trung bình tuyệt đối của lượng mưa tháng trên 7 vùng khí hậu ở 3 hạn dự báo. Nhìn chung, RMAE hầu hết dưới 150% ở các hạn dự báo. Sai số của clWRF và RegCM nhỏ nhất và không khác biệt nhau đáng kể trên vùng R1-R3, đa số RMAE nhỏ hơn 100%, một số tháng thấp hơn 50%. Trên vùng R4-R6, RMAE phù hợp với Hình 2 khi mô hình RegCM dự báo tốt hơn mô hình clWRF về mặt sai số, rõ nhất trên vùng R6. Ngược lại, trên vùng R7, mô hình RegCM có sai số lớn hơn mô hình clWRF. Điều này phản ánh chất lượng dự báo của hai mô hình là khác nhau giữa các vùng khí hậu.

Trên 7 vùng khí hậu, mặc dù lượng mưa dự báo bởi hai mô hình có sự thiên dương lớn về lượng trong các tháng mùa mưa (Hình 2), nhưng phần trăm sai số phổ biến thấp nhất vào các tháng này. Mặt khác, các tháng đầu và cuối năm thường có RMAE cao nhất, ngoại trừ vùng R4 có RMAE lớn nhất vào tháng 6, 7 đây là thời gian chuẩn bị bước vào các tháng mưa lớn của vùng. Các tháng mùa đông (tháng 12, 1, 2), trùng với mùa khô ở R6-R7, giá trị RMAE thậm chí vượt quá 300%. Kết quả trên chỉ ra rằng sai số mô hình lớn nhất vào các tháng ngoài mùa mưa, đặc biệt là mùa khô trên vùng R6-R7. Mặc dù khu vực này có địa hình ít biến đổi hơn các vùng phía Bắc nhưng có thể do lượng mưa thường rất nhỏ vào mùa khô của vùng mà mô hình dự báo không nhiều khiến phần trăm sai số rất lớn.

Với hạn 1 và 3 tháng, sai số dự báo tương đối giống nhau. Tuy nhiên, ở hạn 5 tháng, RMAE đạt giá trị lớn nhất vào tháng 9-12 trên vùng R1-R3 và vào tháng 1, 2, 11, 12 trên vùng R4-R7. Dù vậy, hạn dự báo 5 tháng lại có giá trị RMAE thấp hơn so với các hạn dự báo khác vào tháng 3-5 trên vùng R4-R7. Qua đó nhận thấy khi tăng thời hạn dự báo, sai số mô hình thay đổi chủ yếu phụ thuộc vào vùng và tháng cần dự báo.

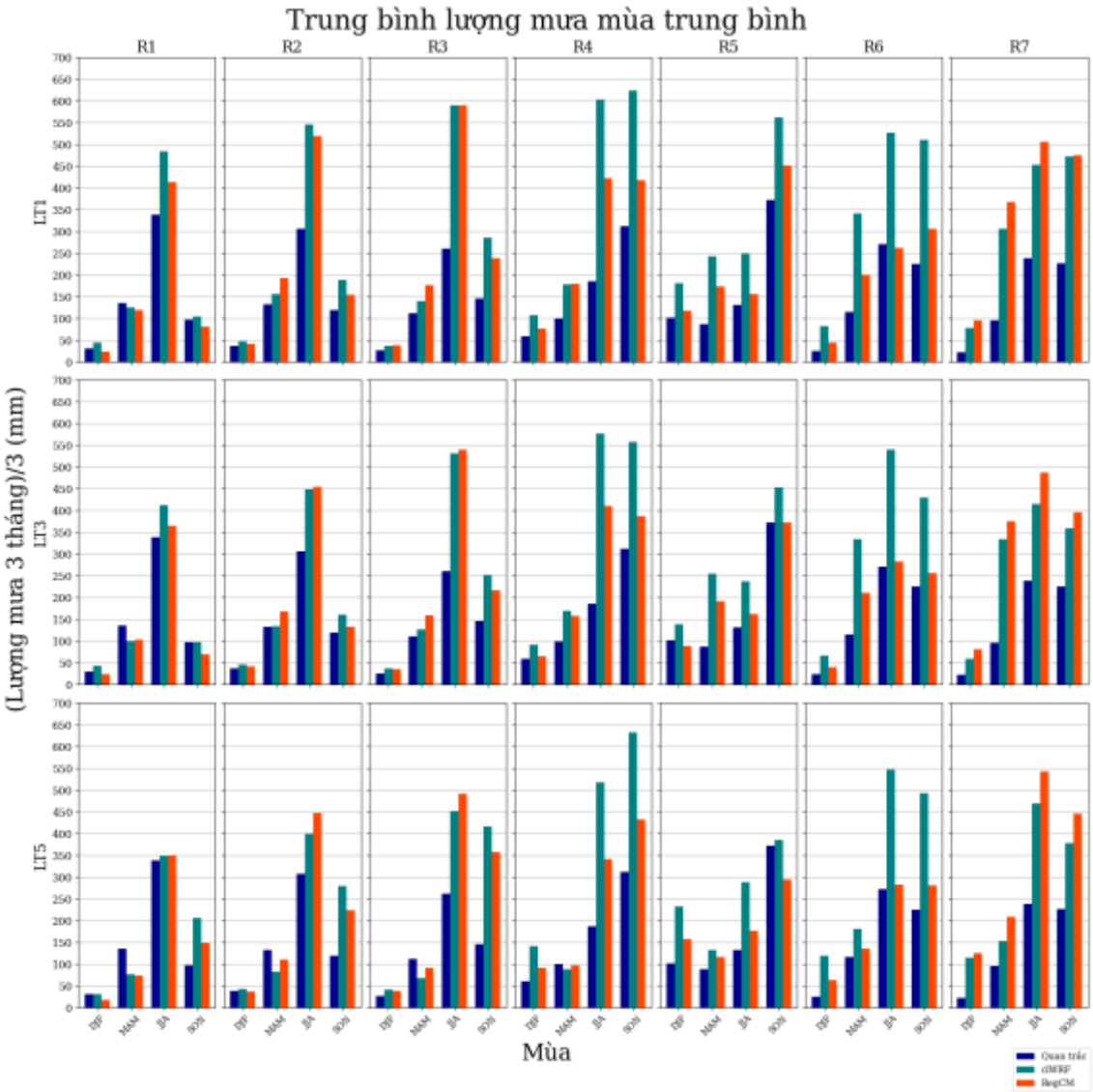


Hình 3. Sai số tương đối trung bình tuyệt đối giữa mô hình và quan trắc trên 7 vùng khí hậu ở 3 hạn dự báo.

3.2. Lượng mưa mùa

Hình 4 thể hiện giá trị lượng mưa mùa trung bình (lượng mưa mùa) của quan trắc và mô hình trên 7 vùng khí hậu ở 3 hạn dự báo. Lưu ý thời gian mỗi 3 tháng được lấy trung bình có thể không trùng với các tháng có lượng mưa lớn nhất trên các vùng đã được phân tích ở mục 1. Lượng mưa mùa quan trắc lớn nhất vào mùa JJA trên vùng R1-R3, mùa SON trên vùng R4-R5, mùa JJA và SON trên vùng R6-R7.

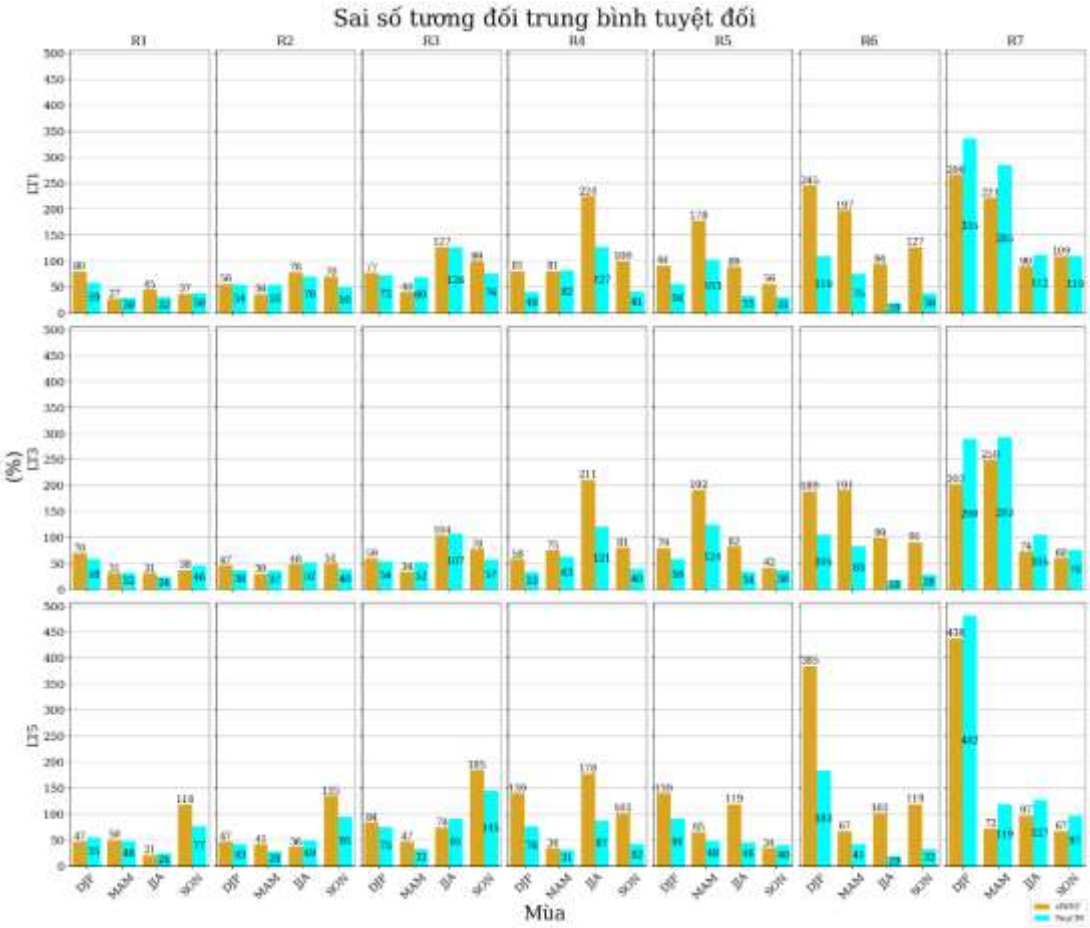
Nhìn chung, clWRF và RegCM đều nắm bắt tốt biến trình trong năm của lượng mưa mùa nhưng xu hướng dự báo thiên cao thể hiện khá rõ, đặc biệt vào mùa mưa. Trên vùng R1, lượng mưa mùa được thể hiện tốt bởi hai mô hình. Trong mùa JJA, lượng mưa dự báo của clWRF và RegCM gần với quan trắc nhất ở hạn dự báo 5 tháng, tương tự trên vùng R2, R3. Trên vùng R4-R6, mô hình RegCM dự báo gần với quan trắc hơn mô hình clWRF, rõ nhất trên vùng R6, trong khi trên vùng R7 thì ngược lại. Sự khác nhau giữa hạn dự báo 5 tháng so với hạn 1 và 3 tháng được nhận thấy rõ hơn khi đánh giá lượng mưa mùa. Cụ thể, trên vùng R1-R3, dự báo trước 5 tháng có sự thiên dương lớn trong mùa SON so với hạn 1 và 3 tháng, tương tự vùng R4-R7 vào mùa DJF. Mặt khác, lượng mưa mùa MAM trên vùng R4-R7, hai mô hình dự báo tốt nhất ở hạn 5 tháng.



Hình 4. Trung bình lượng mưa mùa trung bình của quan trắc và mô hình trên 7 vùng khí hậu với 3 hạn dự báo.

Hình 5 thể hiện giá trị sai số tương đối trung bình tuyệt đối lượng mưa mùa giữa mô hình và quan trắc trên 7 vùng khí hậu ở 3 hạn dự báo. Dự báo mùa có các giá trị RMAE nhỏ hơn so với dự báo tháng. Điều này cho thấy các mô hình dự báo lượng mưa mùa cho kết quả tốt hơn dự báo lượng mưa từng tháng. Các vùng khí hậu phía Bắc có các giá trị sai số nhỏ hơn các vùng khí hậu phía Nam. Hai mô hình cho sai số khác biệt không đáng kể trên vùng R1-R3 (RMAE hầu hết nhỏ hơn 100%). Vùng R4-R6 mô hình RegCM dự báo tốt hơn mô hình clWRF và ngược lại trên vùng R7.

Vào mùa khô DJF và MAM của vùng R6, R7, sai số của clWRF trên vùng R6 và hai mô hình trên vùng R7 có các giá trị lớn nhất (RMAE lớn hơn 200%). Như ở Hình 4 có thể thấy lượng mưa mùa quan trắc trong thời gian trên đều nhỏ hơn 25 mm, nhưng hai mô hình cho dự báo lớn hơn đáng kể dẫn đến RMAE lớn. Trên vùng R1-R3 vào mùa SON và trên vùng R4-R7 vào mùa DJF, RMAE ở hạn 1, 3 tháng chỉ khoảng một nửa so với hạn 5 tháng. Tuy nhiên, trên vùng R4-R7 vào mùa MAM ở hạn 5 tháng, RMAE thấp hơn nhiều so với các hạn dự báo còn lại.



Hình 5. Sai số tương đối trung bình tuyệt đối lượng mưa mùa giữa quan trắc và mô hình trên 7 vùng khí hậu ở 3 hạn dự báo.

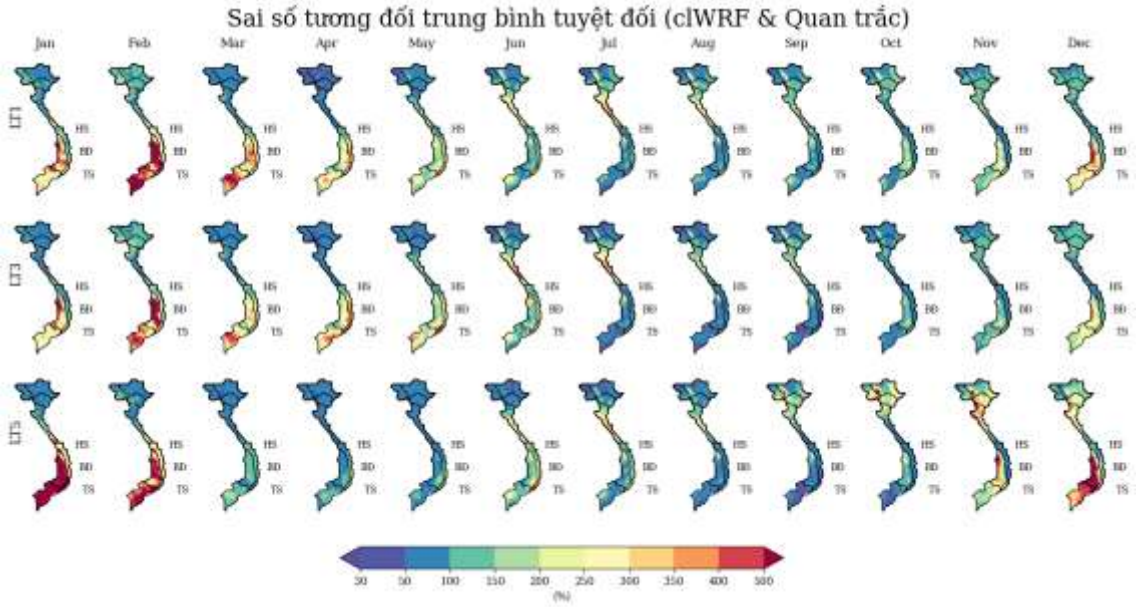
3.3. Phân bố không gian của sai số

3.3.1. Sai số tương đối trung bình tuyệt đối (RMAE)

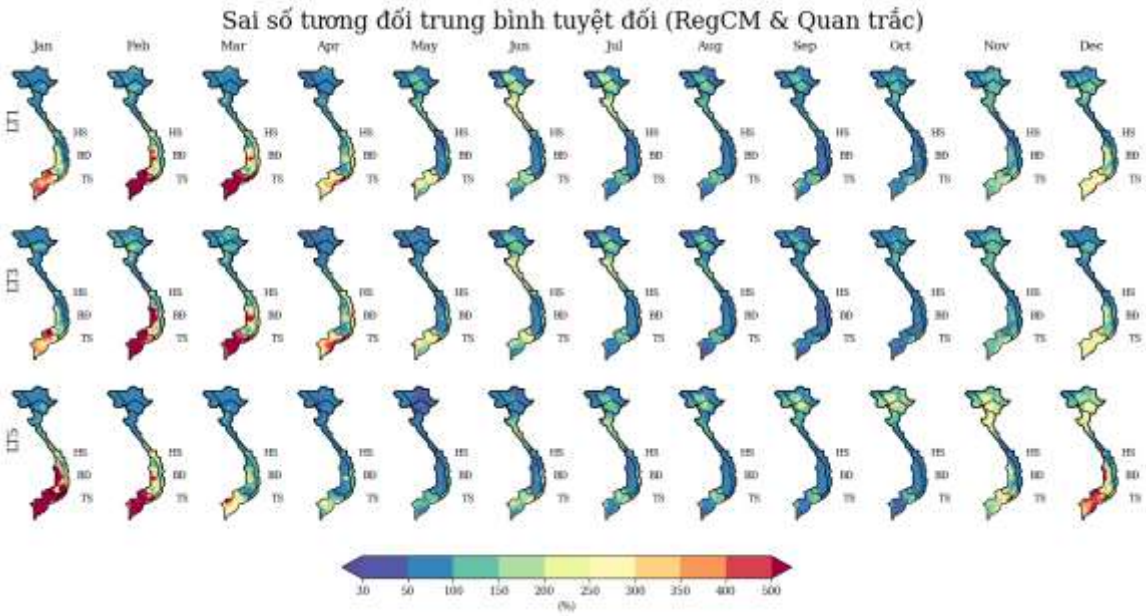
Hình 6, Hình 7 lần lượt thể hiện phân bố không gian của RMAE giữa dự báo của mô hình clWRF và RegCM so với quan trắc trên 7 vùng khí hậu ở 3 hạn dự báo. Kết quả này phù hợp với các giá trị RMAE khi tính toán cho trung bình vùng lượng mưa tháng được thể hiện trên Hình 3. Cả hai mô hình đều có RMAE tương đối nhỏ hơn trên các vùng khí hậu phía Bắc (R1-R3) so với các vùng khác, chủ yếu dưới 100%. Tuy nhiên, trên các vùng khí hậu phía Nam (R6-R7), sai số của hai mô hình khá lớn trong các tháng mùa khô, lớn hơn 300%.

Phân bố RMAE mang đến góc nhìn chi tiết hơn về mức độ chính xác của hai mô hình trên 7 vùng khí hậu. Trên vùng R1, trong một số trường hợp, khu vực phía Bắc có giá trị RMAE thấp hơn so với phía Nam. Đối với vùng R2, các giá trị RMAE cao nhất thường tập trung ở khu vực phía Tây. Riêng vùng R4, vào tháng 6-7, cả hai mô hình đều ghi nhận RMAE cao, chủ yếu phân bố tại khu vực trung tâm của vùng. Chất lượng dự báo của RegCM tại vùng R6 tốt hơn so với clWRF, điều này được minh họa rõ qua phân bố RMAE. Cụ thể, từ tháng 5 đến tháng 10, RegCM ghi nhận giá trị RMAE thấp trên toàn bộ khu vực (nhỏ hơn 100%), trong khi clWRF cho thấy sai số lớn hơn đáng kể.

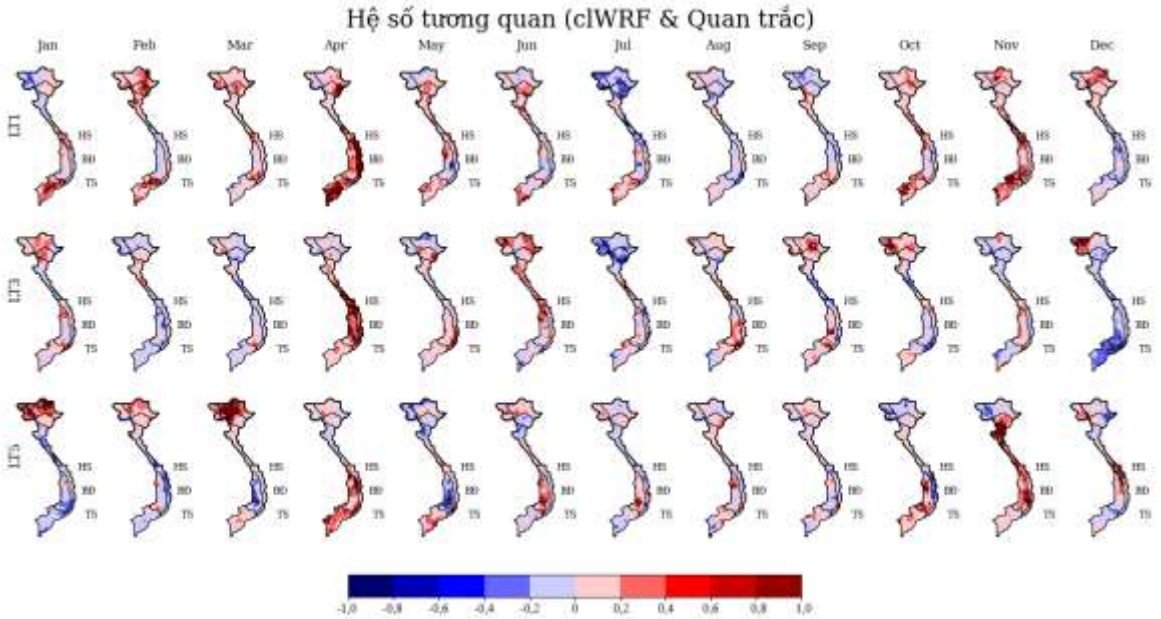
So với hạn dự báo 1 và 3 tháng, nhiều khu vực ở hạn dự báo 5 tháng có RMAE lớn hơn vào tháng 9-12 trên vùng R1-R3, tương tự vào tháng 1, 2, 11, 12 trên vùng R4-R7. Mặc dù vậy, vào tháng 3-5, hạn dự báo 5 tháng cho sai số nhỏ hơn các hạn dự báo còn lại trên toàn vùng R4-R7, rõ nhất ở mô hình clWRF.



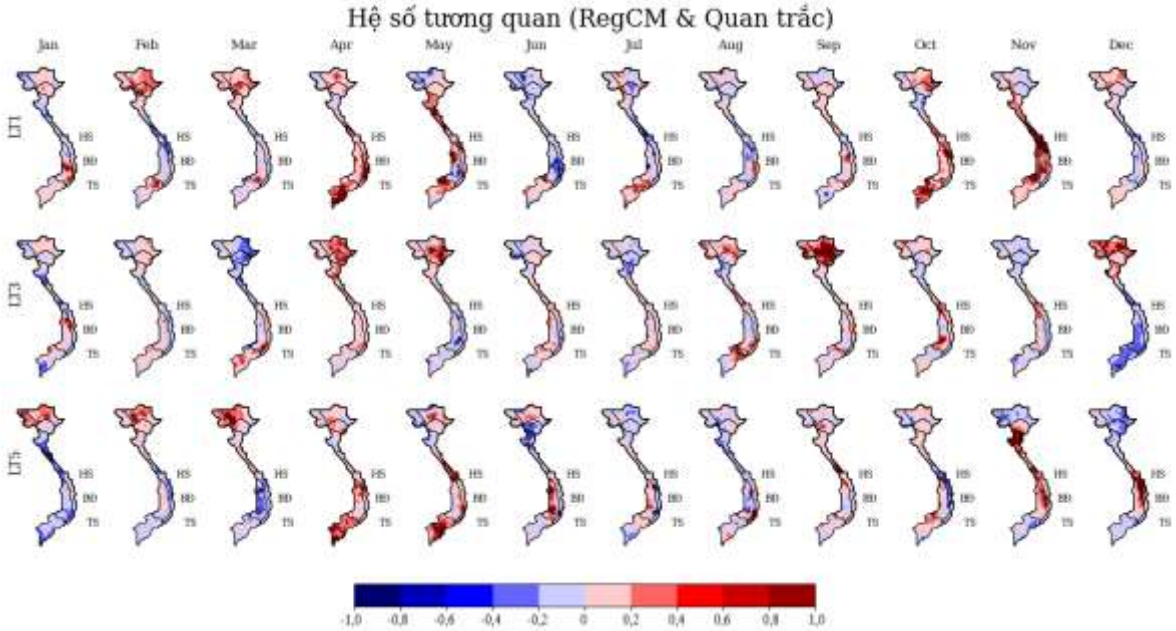
Hình 6. Sai số tương đối trung bình tuyệt đối giữa mô hình clWRF và quan trắc trên 7 vùng khí hậu với 3 hạn dự báo.



Hình 7. Sai số tương đối trung bình tuyệt đối giữa mô hình RegCM và quan trắc trên 7 vùng khí hậu với 3 hạn dự báo.



Hình 8. Hệ số tương quan giữa dự báo mô hình clWRF và quan trắc trên 7 vùng khí hậu với 3 hạn dự báo.



Hình 9. Hệ số tương quan giữa dự báo mô hình RegCM và quan trắc trên 7 vùng khí hậu với 3 hạn dự báo.

3.3.2. Hệ số tương quan (r)

Hình 8, Hình 9 lần lượt thể hiện hệ số tương quan lượng mưa tháng giữa dự báo của mô hình clWRF, RegCM và quan trắc trên 7 vùng khí hậu ở 3 hạn dự báo. Điểm lưới mà hệ số tương quan có ý nghĩa thống kê (p_value < 0,05) được đánh dấu bằng chấm đen. Nhìn chung, phân bố của hệ số tương quan không tuân theo một quy luật nhất quán. Dự báo của clWRF và RegCM có hệ số tương quan phổ biến trong khoảng -0,2 đến 0,39,

phản ánh mối quan hệ tuyến tính yếu giữa lượng mưa dự báo và lượng mưa quan trắc. Hai mô hình chỉ nắm bắt được sự biến thiên của lượng mưa theo thời gian trên một số khu vực với hệ số tương quan dao động từ 0,4 đến 0,8.

Mặc dù hai mô hình dự báo được biến trình năm của lượng mưa và sai số trong các tháng mùa mưa khá thấp, nhưng khả năng nắm bắt sự biến thiên của lượng mưa quan trắc trên các vùng qua các năm còn hạn chế. Hệ số tương quan gần bằng 0 hoặc âm chỉ ra rằng hai mô hình không dự báo được hoặc dự báo ngược với sự biến thiên của lượng mưa quan trắc.

4. Kết luận

Hai mô hình khí hậu khu vực, clWRF và RegCM, đã được áp dụng để dự báo lượng mưa hạn mùa trên toàn lãnh thổ Việt Nam với các quy mô thời gian khác nhau. Những kết quả đạt được từ nghiên cứu này cho thấy các mô hình đều nắm bắt được biến trình năm của lượng mưa tháng và mùa. Tuy nhiên, xu hướng dự báo thiên dương quan trắc thể hiện khá rõ. Sai số của mô hình phổ biến nhỏ hơn 150% và dự báo cho các tháng mùa mưa tốt hơn các tháng ngoài mùa mưa. Chất lượng dự báo vào các tháng mùa khô trên vùng R6 và R7 còn kém. Ngoài ra, hai mô hình dự báo tốt nhất cho các vùng R1-R3. Trên vùng R4-R6, dự báo của RegCM có độ chính xác cao hơn clWRF, trong khi điều ngược lại được nhận thấy ở vùng R7. Do đó, việc tinh chỉnh mô hình để phù hợp hơn với đặc điểm khí hậu của từng khu vực, đặc biệt là các vùng khí hậu phía Nam, là cần thiết. Kết quả dự báo với hạn 1 và 3 tháng khá giống nhau, nhưng lại có sự khác biệt đáng kể so với hạn 5 tháng. Khi tăng thời hạn dự báo, sai số mô hình thay đổi chủ yếu phụ thuộc vào vùng và tháng cần dự báo.

Mối tương quan tuyến tính giữa lượng mưa mô hình và quan trắc còn thấp, điều này phản ánh sự phức tạp trong dự báo lượng mưa hạn mùa, khi mô hình chưa thể nắm bắt được đầy đủ sự biến đổi của lượng mưa. Do đó, việc thực hiện thêm các nghiên cứu để hiệu chỉnh lượng mưa sau mô hình là thiết yếu nhằm nâng cao chất lượng dự báo. Các phương pháp hiệu chỉnh phi tuyến cũng nên được thử nghiệm và áp dụng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được thực hiện với sự hỗ trợ từ Quỹ VINIF mã số VINIF.2023.ThS.122. Các tác giả trân trọng gửi lời cảm ơn tới Ban biên tập cùng hai phản biện ẩn danh đã cung cấp những ý kiến chuyên môn có giá trị, góp phần quan trọng vào việc hoàn thiện chất lượng bài báo.

Tài liệu tham khảo

[1] W. Shaowu, Z. Jinhong, A Review On Seasonal Climate Prediction, Advances in Atmospheric sciences, Vol. 18, 2001, pp. 197, https://doi.org/10.1007/s00376-001-0013-5.

[2] A. W. Robertson, F. Vitart, Introduction: Why sub-Seasonal to Seasonal Prediction (S2S), Sub-Seasonal to Seasonal Prediction, Elsevier, United States, 2019, pp 3-15.

[3] M. T. Rahman, N. Ahasan, A. Mannan, M. Sigdel, D. Shrestha, A. Shrestha, D. Aryal, K. G. Rabbani, Simulation of Rainfall over Bangladesh Using Regional Climate Model (RegCM4.7), JALAWAAYU, Vol. 1, No. 2, 2021, pp. 2-17, htps://doi.org/10.3126/jalawaayu.v1i2.41007.

[4] M. R. Mohanty, U. C. Mohanty, Inter-Comparison of Two Regional Climate Model (RegCM and WRF) in Downscaling CFSv2 for the Seasonal Prediction of Indian Summer Monsoon, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 151, 2023, pp. 102, https://doi.org/10.1007/s00704-022-04278-z.

[5] M. R. Mohanty, U. C. Mohanty, Seasonal Prediction of Indian Summer Monsoon Using WRF: A Dynamical Downscaling Perspective, Scientific Research, Vol. 12, No. 1, 2024, pp. 11, https://doi.org/10.4236/ojmsi.2024.121001.

[6] D. Argüeso, J. M. H. Muñoz, S. R. G. Fortis, M. J. E. Parra, Y. C. Díez, Evaluation of WRF Mean and Extreme Precipitation over Spain: Present Climate (1970–99), American Meteorological Society, Vol. 25, 2012, pp. 4891-4896, https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00276.1.

[7] K. W. Sagi, T. Schwitalla, V. Wulfmeyer, H. S. Bauer, Evaluation of a Climate Simulation in Europe Based on the WRF–NOAH Model System: Precipitation in Germany, Climate Dynamics,

Vol. 41, 2013, pp. 762-767, https://doi.org/10.1007/s00382-013-1727-7.

[8] M. Hassan, D. Penfei, W. Iqbal, W. Can, F. Wei, W. Ba, Temperature and Precipitation Climatology Assessment over South Asia using the Regional Climate Model (RegCM4.3): An Evaluation of the Model Performance, Journal of Earth Science & Climatic Change, Vol. 5, No. 7, 2014, pp. 4-7, https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000214.

[9] N. T. Hanh, V. T. Hang, P. V. Tan, Seasonal Rainfall Forecast Using clWRF Model: The Sensitivity of the Convective Parameterization Schemes, VNU Journal of Science: Earth and Environmental Science, Vol. 32, No. 2, 2016, pp. 25-33, https://js.vnu.edu.vn/EES/article/view/1648 (in Vietnamese).

[10] V. T. Hang, N. T. Hanh, Monthly Temperature and Precipitation Seasonal Forecast over Vietnam Using clWRF Model, VNU Journal of Science: Earth and Environmental Science, Vol. 30, No. 1, 2014, pp. 31-40, https://js.vnu.edu.vn/EES/article/view/755 (in Vietnamese).

[11] N. D. Ngu, N. T. Hieu, Climate and Climate Resources of Vietnam, Agricultural Publishing House, Hanoi, 2004 (in Vietnamese).

[12] N. X. Thanh, N. D. Thanh, H. Kamimera, T. T. Long, J. Matsumoto, T. Inoue, P. V. Tan, The Vietnam Gridded Precipitation (VnGP) Dataset: Construction and Validation, SOLA, Vol. 12, 2016, pp. 291-296, https://doi.org/10.2151/sola.2016-057.

[13] T. A. Quan, N. D. Thanh, E. Espagne, T. T. Long, A High-Resolution Projected Climate Dataset for Vietnam: Construction and Preliminary Application in Assessing Future Change, Journal of Water and Climate Change, Vol. 13, No. 9, 2022, pp. 3379-3399, https://doi.org/10.2166/wcc.2022.144.

[14] N. D. Thanh, T. T. Long, Future Rainfall Projections in Vietnam Based on a CMIP6 Dynamical Downscaling Experiment, VNU Journal of Science: Earth and Environmental Science, Vol. 39, No. 4, 2023, pp. 1-15. https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4933 (in Vietnamese)

[15] P. V. Tan, N. X. Thanh, N. V. Hiep, P. Laux, P. T. Ha, N. D. Thanh, Evaluation of the NCEP Climate Forecast System and Its Downscaling for Seasonal Rainfall Prediction over Vietnam, Weather and Forecasting, Vol. 33, 2018, pp. 615–640, https://doi.org/10.1175/WAF-D-17-0098.1.

[16] J. Siegmund, J. Bliefernicht, P. Laux, and H. Kunstmann, Toward a Seasonal Precipitation Prediction System for West Africa: Performance of CFSv2 and High-Resolution Dynamical Downscaling, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol. 120, 2015, pp. 7316-7339, https://doi.org/10.1002/2014JD022692.