TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Nghiên cứu hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar phục vụ nâng cao chất lượng mô phỏng dòng chảy

Nguyễn Hoàng Minh[1*], Phùng Tiến Dũng[1], Vũ Thị Thanh Vân[1], Hoàng Văn Đại[1], Mai Văn Khiêm[1], Nguyễn Phương Nhung[2]

[1] Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; hoangminh281287@gmail.com; ptdung77@gmail.com; vtvan7702@gmail.com; daihydro2003@gmail.com; maikhiem77@gmail.com
[2] Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải; nguyenphuongnhung0302@gmail.com

*Tác giả liên hệ: hoangminh281287@gmail.com; Tel: +84–967519798

Ban Biên tập nhận bài: 8/10/2022; Ngày phản biện xong: 14/11/2022; Ngày đăng bài: 25/11/2022

Tóm tắt: Lượng mưa ước lượng từ radar đã được khai thác và ứng dụng ở rất nhiều nơi trên thế giới cho các mô phỏng thủy văn nhờ ưu điểm về mặt phân bố không gian so với lượng mưa quan trắc ở các trạm mặt đất. Ở Việt Nam, do hệ thống radar thời tiết mới được nâng cấp và xây dựng đủ tốt trong vài năm gần đây nên việc khai thác và ứng dụng cho thủy văn vẫn còn rất hạn chế. Bởi vì lượng mưa ước lượng từ radar thường bao gồm nhiều sai số đến từ các nguồn khác nhau nên trước khi sử dụng để mô phỏng và dự báo dòng chảy, việc thực hiện hiệu chỉnh để giảm thiểu sai số là rất cần thiết. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện để hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar nhằm mục đích cải thiện chất lượng đầu vào cho bài toán mô phỏng dòng chảy ở Việt Nam. Hai phương pháp khí hậu và kỹ thuật lọc Kalman được áp dụng liên tiếp nhau để nâng cao độ chính xác lượng mưa ước lượng từ radar. Kết quả áp dụng thử nghiệm cho lưu vực sông Mã cho thấy chất lượng lượng mưa ước lượng từ radar đã tăng lên đáng kể với sự cải thiện của các chỉ tiêu sai số trung bình, hệ số tương quan và sai số quân phương.

Từ khóa: Lượng mưa ước lượng từ radar; Hiệu chỉnh; Phương pháp khí hậu; Kỹ thuật lọc Kalman; Mô phỏng dòng chảy.

1. Đặt vấn đề

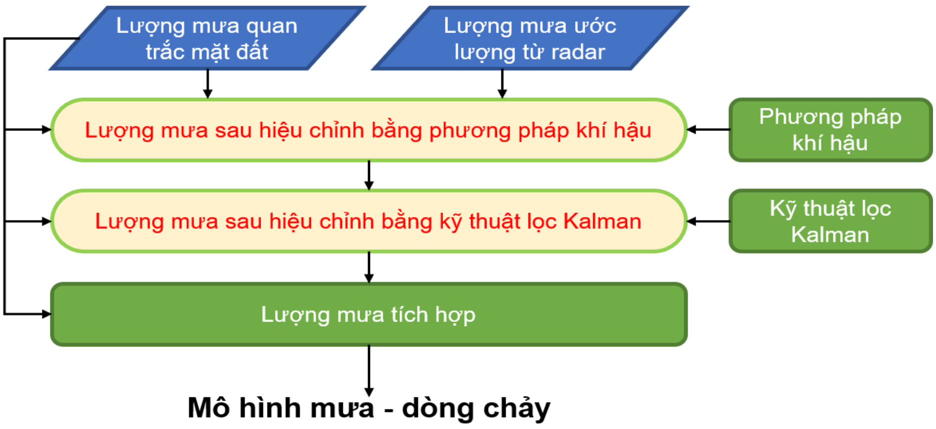
Lượng mưa là một trong những biến đầu vào quan trọng nhất trong mô hình mưa–dòng chảy [1–3]. Độ chính xác phân bố mưa theo không gian và thời gian đóng vai trò quyết định đến độ chính xác mô phỏng dòng chảy của các mô hình thủy văn. Trước đây, khi công nghệ viễn thám chưa phát triển, dữ liệu lượng mưa sử dụng làm đầu vào cho các mô hình thủy văn được lấy từ các trạm quan trắc mặt đất (sau đây gọi tắt là lượng mưa mặt đất). Ưu điểm của loại dữ liệu này là chúng có độ tin cậy cao ở tại hoặc trong phạm vi nhỏ xung quanh vị trí đặt trạm [4]. Tuy nhiên, do nhiều vấn đề khác nhau mà số lượng trạm quan trắc vẫn chưa được lắp đặt đủ dầy, đáp ứng được yêu cầu chi tiết phân bố không gian của các mô hình mô phỏng mưa–dòng chảy, đặc biệt là các mô hình thủy văn thông số phân bố. Để giải quyết vấn đề này, người ta thường sử dụng các phương pháp nội suy để tính toán giá trị lượng mưa ở những điểm không có trạm quan trắc. Điều này có thể dẫn đến những sai số đáng kể do sự phân hóa của lượng mưa theo không gian rất lớn, hệ quả có thể gây ra sai số trong mô phỏng dòng chảy. Để giảm thiểu sai số đến từ phân bố không gian của lượng mưa, việc khai thác dữ liệu mưa ước lượng gián tiếp qua viễn thám đã được nghiên cứu và ứng dụng thử nghiệm trên thế giới từ những năm 1980. Có thể kể đến một số hệ thống khai thác hiệu quả dữ liệu radar cho mô phỏng và dự báo lũ trên thế giới như Nimrod [5], GANDOLF [6] và các hệ thống đang vận hành ở Nhật Bản, Hàn Quốc, ... Ở Việt Nam, dữ liệu mưa ước lượng từ viễn thám gần đây đã được khai thác nhiều hơn, đặc biệt là từ vệ tinh. Một nguồn dữ liệu ước lượng mưa từ viễn thám khác là từ radar mặc dù đã nhận được nhiều sự chú ý nhưng gần như chưa được khai thác cho các mục đích thủy văn do hệ thống radar ở Việt Nam mới thực sự vận hành ổn định trong một vài năm gần đây. Dữ liệu mưa ước lượng từ radar (sau đây gọi tắt là lượng mưa radar) có nhiều ưu điểm nổi bật so với dữ liệu mưa ước lượng từ vệ tinh như 1) lượng mưa radar thường chính xác hơn lượng mưa vệ tinh (trong phạm vi quét hiệu quả của radar) [7–8]; 2) thời gian trễ ngắn rất nhiều cho với vệ tinh (radar thường trễ 5–10 phút trong khi vệ tinh trễ ngắn nhất là khoảng 30 phút). Vì vậy, khai thác dữ liệu mưa radar có tiềm năng lớn để giảm thiểu được sai số không gian của lượng mưa trong bài toán mô phỏng thủy văn.

Giống như dữ liệu mưa ước lượng từ vệ tinh, lượng mưa radar chứa đựng nhiều sai số đến từ các nguồn khác nhau [9–11]. Những nguồn sai số này được chia thành 2 nhóm bao gồm 1) nhóm ảnh hưởng đến độ phản hồi vô tuyến (ví dụ: địa hình, sự suy giảm của sóng điện từ trong không khí, ánh sáng mặt trời, sóng điện từ từ các nguồn phát khác, …) và 2) sự không phù hợp của quan hệ Z–R (độ phản hồi vô tuyến–lượng mưa). Vì vậy, trước khi sử dụng dữ liệu mưa radar cho mô phỏng mưa–dòng chảy, cần thiết phải hiệu chỉnh dữ liệu mưa radar để giảm thiểu sai số.

Có nhiều phương pháp đã được đề xuất, phát triển và ứng dụng trên thế giới để hiệu chỉnh lượng mưa radar. Mỗi phương pháp đều có những ưu và nhược điểm khác nhau [12–18], trong đó, phương pháp khí hậu (*climatology*) và kỹ thuật lọc Kalman là hai phương pháp có nhiều ưu điểm và được sử dụng phổ biến nhất trên thế giới. Nghiên cứu này sẽ áp dụng hai phương pháp khí hậu và kỹ thuật lọc Kalman để thử nghiệm hiệu chỉnh lượng mưa radar ở Việt Nam.

2. Phương pháp, khu vực nghiên cứu và số liệu sử dụng

Như đã đề cập, dữ liệu mưa radar chứa đựng nhiều sai số đến từ nhiều nguồn khác nhau. Vì vậy, trước khi sử dụng mục đích mô phỏng thủy văn, cần thiết phải hiệu chỉnh lượng mưa radar để giảm thiểu sai số. Quy trình hiệu chỉnh tổng thể các bước thực hiện được trình bày trong Hình 1. Lượng mưa mặt đất được sử dụng trong toàn bộ quá trình hiệu chỉnh bao gồm 1) tích hợp với lượng mưa ước lượng từ radar ban đầu để làm đầu vào cho phương pháp khí hậu (một phương pháp thống kê để khử sai số hệ thống); 2) tích hợp với lượng mưa đã hiệu chỉnh từ phương pháp khí hậu để làm đầu vào cho kỹ thuật lọc Kalman; và 3) tích hợp với lượng mưa đã hiệu chỉnh bằng kỹ thuật lọc Kalman để tạo ra lượng mưa "tốt nhất" để làm đầu vào cho mô hình mưa–dòng chảy.



Hình 1. Sơ đồ các bước hiệu chỉnh lượng mưa radar.

2.1. Phương pháp khí hậu

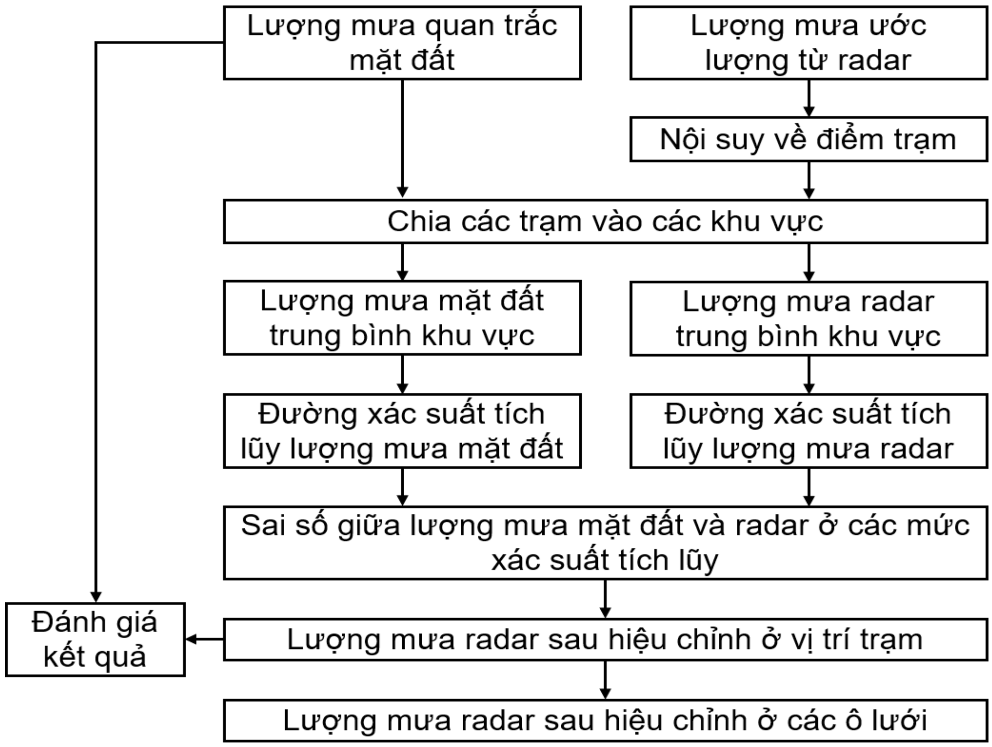
Sơ đồ các bước thực hiện hiệu chỉnh lượng mưa radar bằng phương pháp khí hậu được trình bày trong Hình 2. Đầu tiên, lượng mưa radar được nội suy về các điểm trạm bằng phương pháp nghịch đảo trọng số khoảng cách (*Inverse Distance Weighting – IDW*). Lượng mưa radar cùng với lượng mưa mặt đất tại các điểm trạm được chia vào các khu vực khác nhau để tính toán lượng mưa trung bình cho từng khu vực. Ở bước kế tiếp, các đường xác suất tích lũy (*Cummulative Distribution Function – CDF*) của lượng mưa radar và mặt đất được xây dựng cho từng khu vực. Từ kết quả xây dựng đường CDF, sai số giữa lượng mưa radar và lượng mưa mặt đất ở các mức xác suất tích lũy khác nhau ở từng khu vực được xác định (công thức 1) và sử dụng để hiệu chỉnh lượng mưa radar tại các ô lưới (công thức 2). Ngoài ra, do dữ liệu lượng mưa mặt đất chỉ có tại các vị trí trạm, lượng mưa radar tại các điểm trạm cũng được hiệu chỉnh để sử dụng cho đánh giá sự thay đổi của độ chính xác của lượng mưa radar sau khi áp dụng phương pháp khí hậu.

$$\text{Bias} = \frac{R_{\text{radar}}^{\text{CDF}_k}}{R_{\text{AWS}}^{\text{CDF}_k}} \tag{1}$$

Trong đó Bias là sai số; k là mức xác suất tích lũy có giá trị bằng 0,01, 0,05, 0,1, 0,15, 0,20, …, 1,00; radar và AWS tương ứng là ký hiệu cho lượng mưa radar và lượng mưa mặt đất. Cần lưu ý 1) giá trị Bias là giá trị trung bình các khu vực, giá trị này được sử dụng để tính toán lại cho từng trạm; 2) lượng mưa radar nằm trong khoảng giá trị thuộc mức xác suất tích lũy nào thì sẽ sử dụng giá trị Bias ở các mức xác suất tích lũy tương ứng.

$$R_{\text{cor,i}} = \text{Bias} * R_{\text{radar,i}} \tag{2}$$

Trong đó Rcor là lượng mưa sau hiệu chỉnh, i là khu vực thứ i.



Hình 2. Sơ đồ các bước hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar bằng phương pháp khí hậu.

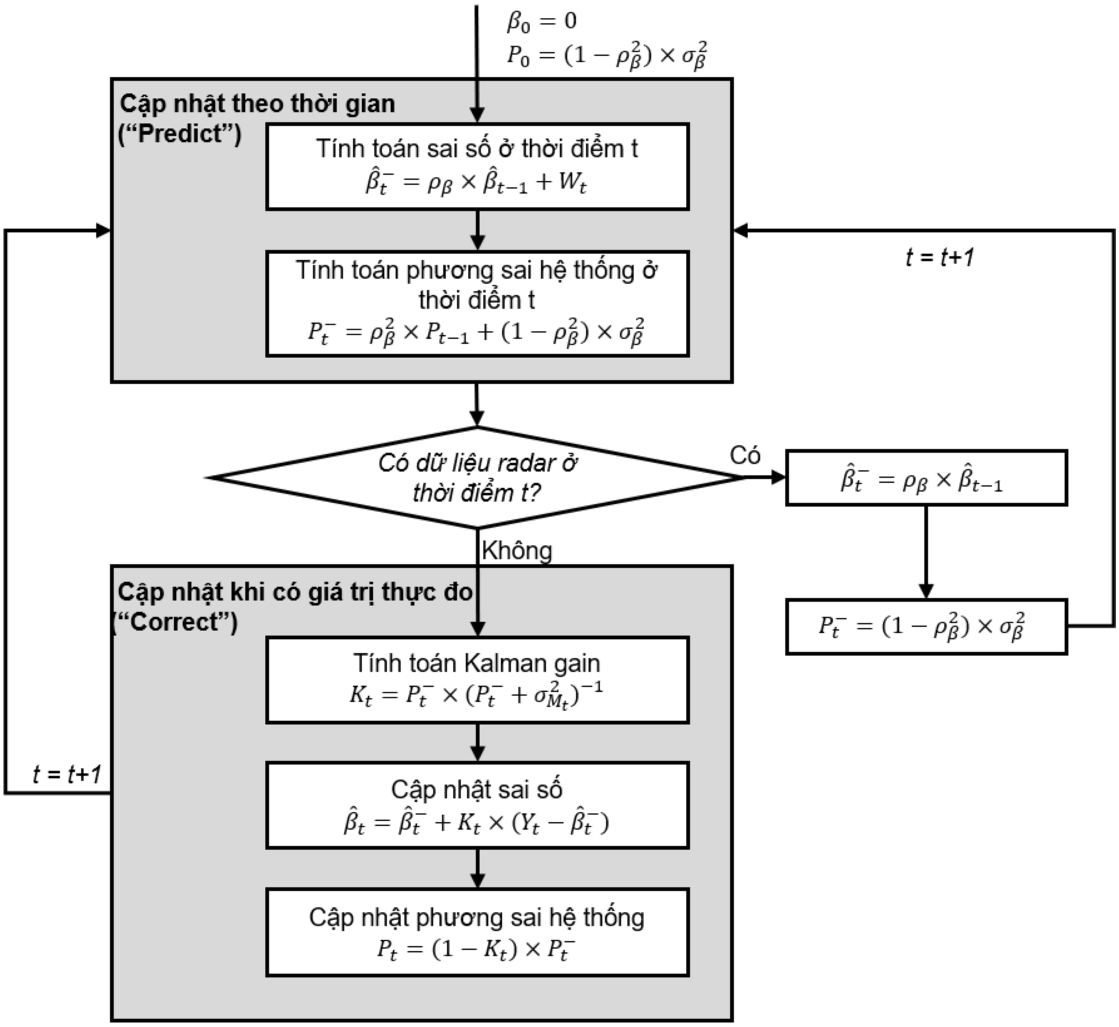
2.2. Kỹ thuật lọc Kalman

Kỹ thuật lọc Kalman được điều chỉnh lại cho phù hợp với bài toán hiệu chỉnh lượng mưa radar được phát triển bởi [18]. Phương pháp này gồm 2 bước, được tham khảo như "Cập nhật theo thời gian" và "cập nhật khi có giá trị thực đo". Ở bước thứ nhất, sai số trung bình của lượng mưa ước lượng từ radar β_t và hiệp phương sai của sai số hệ thống (*error covariance*)

P_t được dự đoán cho bước thời gian kế tiếp. Ở bước thứ hai, sai số dự đoán và hiệp phương sai được cập nhật khi có số liệu thực đo. βt được giả thiết tuân theo quá trình tự hồi quy bậc 1 (*the first–order autorgressive process, AR (1)*) [19]. Các bước thực hiện hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar bằng kỹ thuật lọc Kalman được trình bày trong Hình 3. Đầu tiên, sai số trung bình của lượng mưa radar (đầu ra của phương pháp khí hậu) được tính toán theo công thức:

$$\beta_t = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\log_{10}\left(\frac{G_{i,t}}{R_{i,t}}\right) \quad (3)$$

Trong đó β là sai số trung bình của lượng mưa radar; $G_{i,t}$ là lượng mưa quan trắc mặt đất tại trạm thứ i ở thời điểm t; $R_{i,t}$ là lượng mưa ước lượng từ radar tại trạm thứ i ở giờ thứ t; và n là số lượng trạm quan trắc mặt đất. Khí tính toán β_t cần lưu ý trường hợp $R_{i,t}$ tiến tới 0. Trong trường hợp này, β_t sẽ tiến tới vô cùng và sẽ được coi như là không có dữ liệu (*missing*).



Hình 3. Sơ đồ các bước hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar bằng kỹ thuật lọc Kalman.

Ở bước kế tiếp, sai số và phương sai hệ thống ở thời điểm t được tính toán như sau:

$$\hat{\beta}_t^- = \rho_\beta \times \hat{\beta}_{t-1} + W_t \quad (4)$$

$$P_t^- = \rho_\beta^2 \times P_{t-1} + (1-\rho_\beta^2)\times\sigma_\beta^2 \quad (5)$$

Trong đó ρ_β là hệ số tự tương quan (lag–1) của β; $W_t \sim (0, \sigma_W^2)$ là nhiễu (*white noise*), được xác định với giả thiết nó tuân theo phân bố chuẩn có giá trị trung bình là 0 và phương sai là $\sigma_W^2 = \left(1-\rho_\beta^2\right)\times\sigma_\beta^2$.

Ở giai đoạn cập nhật, giá trị Kalman gain được xác định theo công thức (6), các giá trị *β* và phương sai hệ thống *P* được cập nhật dựa trên giá trị của Kalman gain và dữ liệu thực đo tại các trạm mặt đất.

$$K_t = P_t^- \times (P_t^- + \sigma_{M_t}^2)^{-1} \tag{6}$$

$$\hat{\beta}_t = \hat{\beta}_t^- + K_t \times (Y_t - \hat{\beta}_t^-) \tag{7}$$

$$P_t = (1 - K_t) \times P_t^- \tag{8}$$

Trong đó $\sigma_{M_t}^2$ là phương sai của hiệu sai số thực đo và dự báo ($M_t = Y_t - \beta_t$); M_t được giả thiết tuân theo phân bố chuẩn có giá trị trung bình là 0 và phương sai $\sigma_{M_t}^2$ ($\sigma_{M_t}^2 = \sigma_{Y_t}^2 - \sigma_\beta^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sigma_{Y_{i,t}}^2 - \sigma_\beta^2$); Y_t là sai số thực đo.

Đầu ra của kỹ thuật lọc Kalman được sử dụng để chuyển lại từ định dạng logarit về dạng thường (công thức 9) trước khi được sử dụng để hiệu chỉnh lượng mưa radar (công thức 10).

$$B_t = 10^{[\beta_t + 0.5P_t]} \tag{9}$$

$$R_{cor} = R_{clim} * B_t \tag{10}$$

Trong đó β_t và P_t là đầu ra của kỹ thuật lọc Kalman.

2.3. Chỉ tiêu đánh giá

Do dữ liệu mưa thực đo chỉ có ở các điểm trạm nên việc đánh giá chỉ có thể thực hiện ở các điểm trạm. Nếu kết quả hiệu chỉnh ở các điểm trạm tốt hơn so với dữ liệu mưa radar ban đầu thì kết quả hiệu chỉnh ở các điểm lưới cũng được giả thiết là tốt hơn. Các chỉ tiêu sử dụng để đánh giá bao gồm ME (sai số trung bình), hệ số tương quan (CC) và RMSE (sai số quân phương). Công thức tính các chỉ tiêu này như sau:

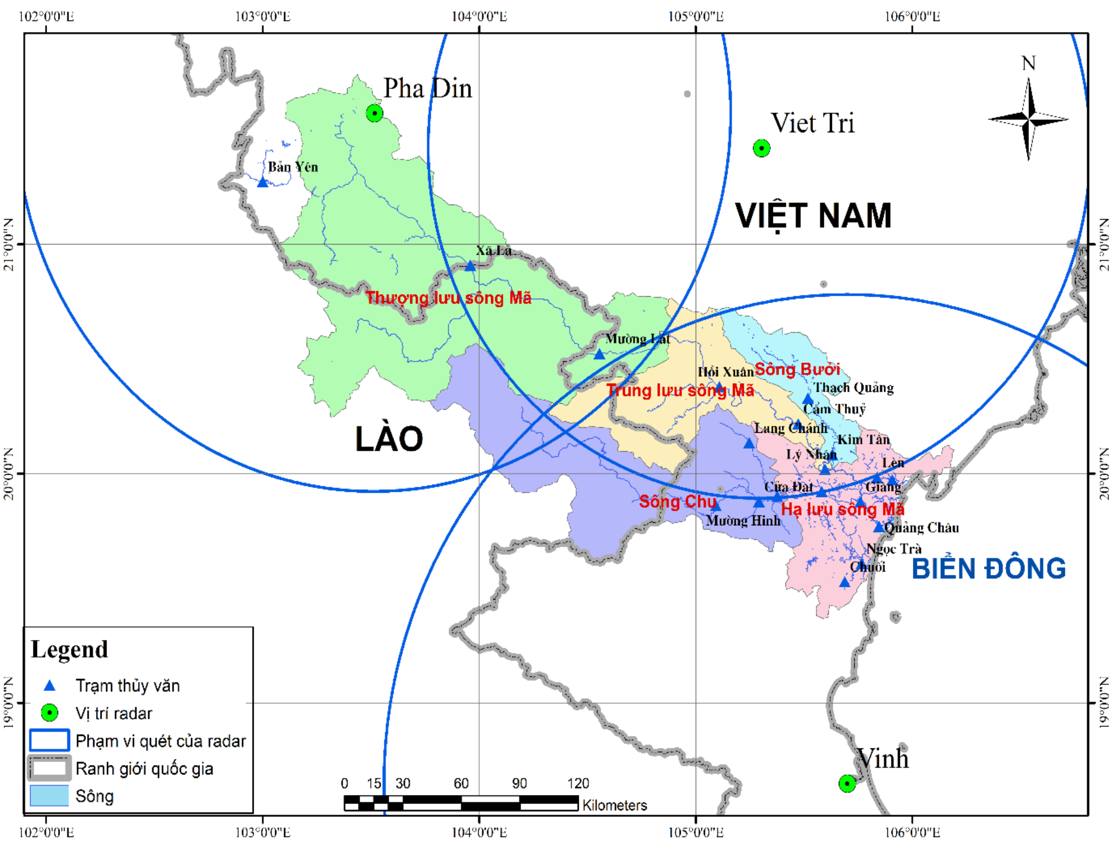
$$ME = \frac{\sum_{i=1}^{n}(R_{radar,i} - R_{AWS,i})}{n} \tag{11}$$

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^{n}(R_{radar,i} - \overline{R_{radar}})(R_{AWS,i} - \overline{R_{AWS}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(R_{radar,i} - \overline{R_{radar}})^2}\sqrt{(R_{AWS,i} - \overline{R_{AWS}})^2}} \tag{12}$$

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(R_{radar,i} - R_{AWS,i})^2} \tag{13}$$

2.4. Khu vực nghiên cứu và số liệu sử dụng

Lưu vực sông Mã được lựa chọn là khu vực thử nghiệm trong nghiên cứu này. Đây là lưu vực sông xuyên biên giới có diện tích khoảng 28.400 km^2 (khoảng 17.600 km^2 ở Việt Nam và 10.800 km^2 nằm trên lãnh thổ lào), bắt nguồn từ tỉnh Điện Biên, chảy qua tỉnh Huaphanh, Lào và tỉnh Thanh Hóa trước khi đổ ra Biển Đông. Ngoài dòng chính, sông Mã có hai phụ lưu lớn là sông Chu và sông Bưởi. Lưu vực sông Mã là một lưu vực sông lớn, nằm trong nhiều khu vực khí hậu khác nhau và nằm trong phạm vi quét của 3 radar Việt Trì, Vinh và Pha Đin. Do đó, trước khi thực hiện hiệu chỉnh, cần phải chia thành các khu vực có đặc điểm giống nhau để hiệu chỉnh. Dựa trên đặc điểm lưu vực sông Mã và phạm vi quét của các radar, lưu vực sông Mã được chia thành 5 khu vực bao gồm 1) Thượng lưu sông Mã: tính đến hồ chứa Trung Sơn, nằm trong phạm vi quét của radar Pha Đin; 2) Trung lưu sông Mã: từ hạ lưu hồ Trung Sơn đến trạm Lý Nhân, nằm trong phạm vi quét của radar Việt Trì và radar Vinh; 3) Lưu vực sông Bưởi: phần lưu vực sông Bưởi, nằm trong phạm vi quét của radar Việt Trì và radar Vinh; 4) Lưu vực sông Chu: phần lưu vực sông Chu tính đến trạm Xuân Khánh, nằm trong phạm vi quét của radar Vinh; và 5) Hạ lưu sông Mã: từ hạ lưu trạm Lý Nhân và Xuân Khánh đến cửa biển, nằm trong phạm vi quét của radar Vinh. Bản đồ lưu vực sông Mã và 5 khu vực hiệu chỉnh được thể hiện trong Hình 4, trong khi những đặc điểm chính của 3 radar Pha Đin, Việt Trì và Vinh được trình bày trong Bảng 1.



Hình 4. Bản đồ lưu vực sông Mã và 5 khu vực hiệu hỉnh.

Bảng 1. Đặc điểm chính của các radar quét tới lưu vực sông Mã.

Radar	Band	Kinh độ	Vĩ độ	Phân cực	Bán kính hiệu quả	Năm cài đặt/cập nhật
Vinh	S	105,6999	18,6473	Đơn cực	200	2017
Việt Trì	C	105,3048	21,4194	Lưỡng cực	120	2020
Pha Đin	C	103,5170	21,5713	Lưỡng cực	120	2018

Số liệu mưa thực đo từng giờ từ năm 2020 đến 2021 được thu thập từ 145 trạm trên hệ thống CDH (center data hub) của Tổng cục Khí tượng Thủy văn. Dữ liệu này được phân tích và xử lý tại từng trạm dựa trên các đánh giá về tổng lượng mưa năm, tổng số thời gian có dữ liệu và tổng số thời gian có mưa. Cuối cùng còn 72/145 trạm được giữ lại và sử dụng. Trong đó, khu vực thượng lưu sông Mã có 6 trạm, trung lưu sông Mã có 16 trạm, hạ lưu sông Mã có 27 trạm, sông Chu có 11 trạm và sông Bưởi có 12 trạm.

Số liệu mưa 10 phút ước lượng từ radar (CAPPI) cho lưu vực sông Mã từ 01/6/2020–31/12/2020 và từ 01/06/2021 đến 31/12/2021 cung cấp bởi Đài Khí tượng Cao không, Tổng cục Khí tượng Thủy văn được sử dụng để hiệu chỉnh. Dữ liệu mưa radar được ước lượng từ độ phản hồi vô tuyến thông quan mối quan hệ Z–R Marshall–Palmer [20] có độ phân giải 1km; các vấn đề về nhiễu, chồng chéo (*overlap*), … đã được xử lý bởi AMO. Số liệu mưa mặt đất và radar đều được tính về lượng mưa 6 giờ trước khi hiệu chỉnh để đồng bộ với lượng mưa quan trắc tại các trạm khí tượng (nhiều trạm chỉ có lượng mưa 6 giờ).

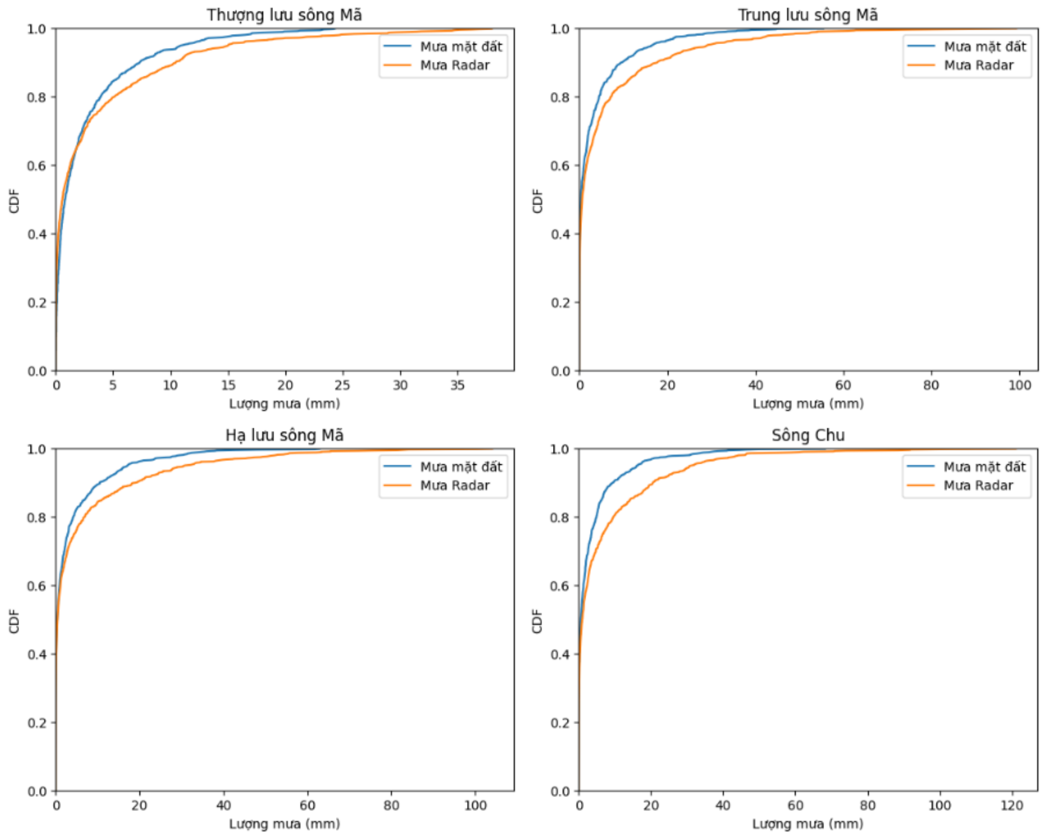
3. Kết quả và thảo luận

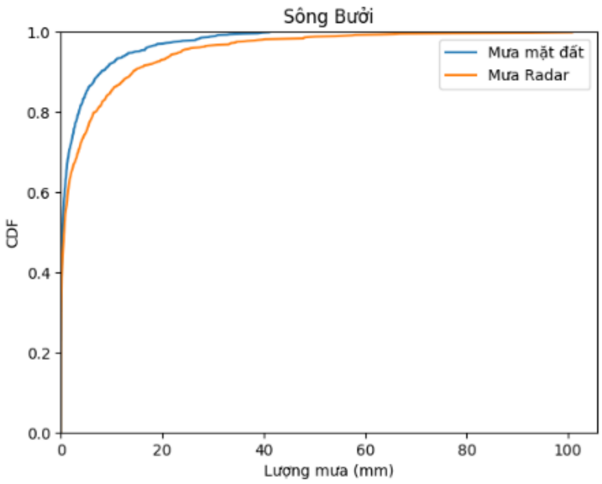
3.1. Kết quả hiệu chỉnh lượng mưa radar bằng phương pháp khí hậu

Kết quả xây dựng đường xác suất tích lũy (CDF) cho lượng mưa mặt đất và radar tích lũy trong 6 giờ ở các khu vực được thể hiện trong Hình 5. Nhìn chung, lượng mưa mặt đất và radar không có sự khác biệt đáng kể ở các mức CDF nhỏ hơn 0,5, riêng ở khu vực thượng lưu sông Mã, sự khác biệt rõ ràng chỉ xuất hiện từ mức CDF lớn hơn 0,65. Lượng mưa ước lượng từ radar có xu hướng thiên cao so với lượng mưa quan trắc mặt đất ở tất cả các khu vực. Lượng mưa quan trắc mặt đất lớn nhất ở khu vực thượng lưu, trung lưu, hạ lưu sông Mã, sông Chu và sông Bưởi lần lượt là 24,3 mm, 55,4 mm, 62,9 mm, 68,2 mm và 41,1 mm, trong khi đó lượng mưa radar lớn nhất ở các khu vực này lần lượt là 38,0 mm, 99,2 mm, 104,0 mm, 121,0 mm và 100,8 mm.

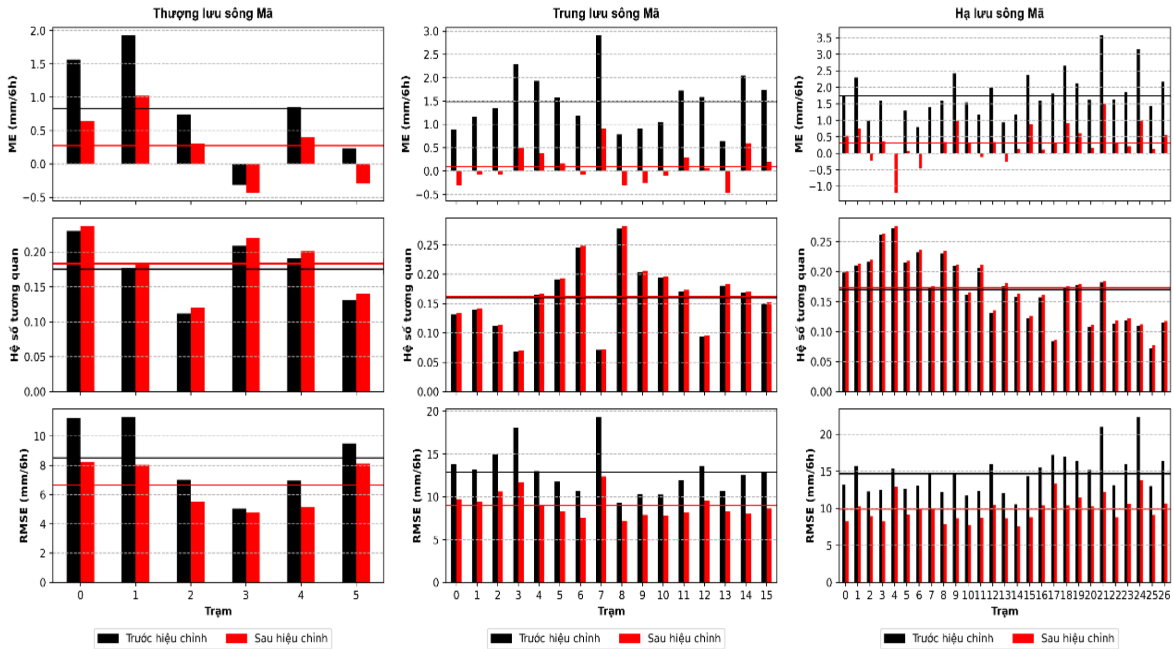
Kết quả hiệu chỉnh lượng mưa radar cho các khu vực được thể hiện qua sự thay đổi của các chỉ tiêu ME, hệ số tương quan và RMSE trước và sau khi áp dụng phương pháp khí hậu. Sự thay đổi của các chỉ tiêu đánh giá ở các khu vực được trình bày trong hình từ Hình 6. Kết quả cho thấy, độ chính xác của lượng mưa radar sau khi hiệu chỉnh ở tất cả các khu vực đã tăng lên đáng kể với ME và RMSE giảm mạnh, trong khi hệ số tương quan tăng nhẹ trừ khu vực sông Chu và sông Bưởi có hệ số tương quan giảm nhẹ. Giá trị trung bình các trạm của ME và RMSE tương ứng giảm mạnh từ 0,85 mm/6h xuống 0,25 mm/6h và từ 8,5 mm/6h xuống 6,5 mm/6h ở thượng lưu sông Mã; từ 1,5 mm/6h xuống 0,1 mm/6h và từ 13,0 mm/6h xuống 9,2 mm/6h ở trung lưu sông Mã; từ 1,75 mm/6h xuống 0,35 mm/6h và từ 14,7 mm/6h xuống 9,8 mm/6h ở hạ lưu sông Mã; từ 1,75 mm/6h xuống 0,1 mm/6h và từ 13,5 mm/6h xuống 9,0 mm/6h ở khu vực sông Chu; từ 0,8 mm/6h xuống –0,4 mm/6h và từ 12,0 mm/6h xuống 9,0 mm/6h ở khu vực sông Bưởi. Có thể dễ dàng nhận thấy đối với những trạm có giá trị ME âm (đặc biệt là ở khu vực sông Chu và sông Bưởi), sau khi hiệu chỉnh, ME ở những trạm này tiếp giảm xuống và kéo xa khỏi giá trị "tốt nhất" (ME bằng 0).

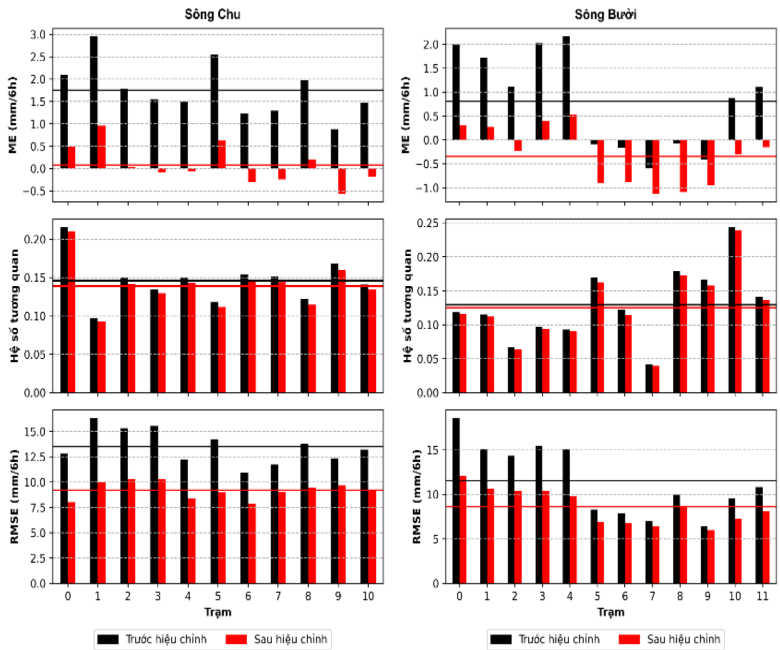
Từ những phân tích ở trên cho thấy hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar bằng phương pháp khí hậu có thể nâng cao được độ chính xác của lượng mưa radar với các chỉ tiêu ME, hệ số tương quan và RMSE được cải thiện ở hầu hết các khu vực. Tuy nhiên, do lượng mưa radar trung bình khu vực chưa hiệu chỉnh có xu hướng thiên cao, dẫn đến việc sau khi thực hiện hiệu chỉnh cho các trạm, lượng mưa ở các trạm có xu hướng thiên thấp tiếp tục thiên thấp hơn. Điều này là không thể tránh khỏi và cũng là một hạn chế của phương pháp khí hậu.





Hình 5. Kết quả xây dựng đường xác suất tích lũy mưa radar và mặt đất cho 5 khu vực.



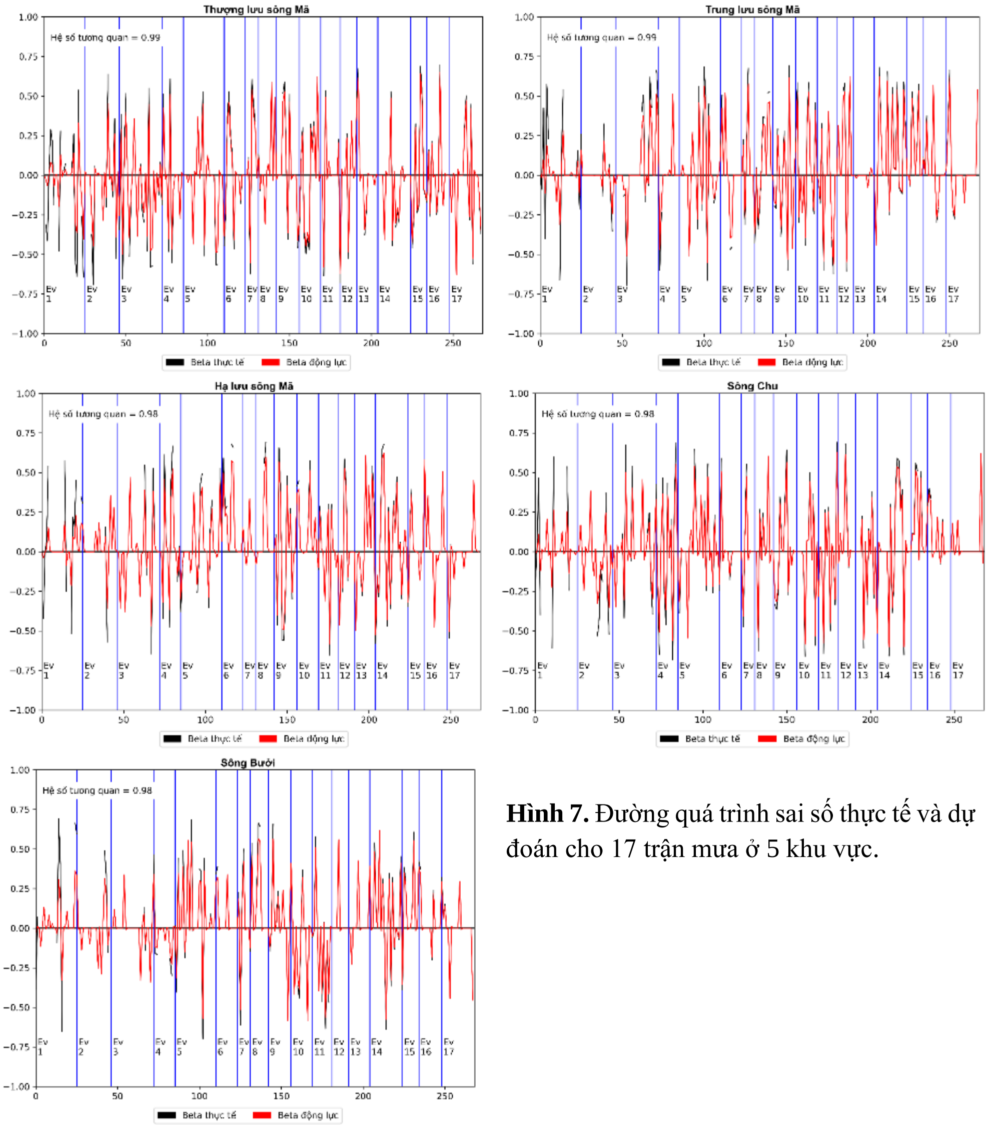


Hình 6. Sự thay đổi của các chỉ tiêu đánh giá trước và sau khi hiệu chỉnh bằng phương pháp khí hậu ở 5 khu vực.

3.2. Kết quả hiệu chỉnh lượng mưa radar bằng kỹ thuật lọc Kalman

Bảng 2. Các trận mưa sử dụng cho hiệu chỉnh bằng kỹ thuật lọc Kalman.

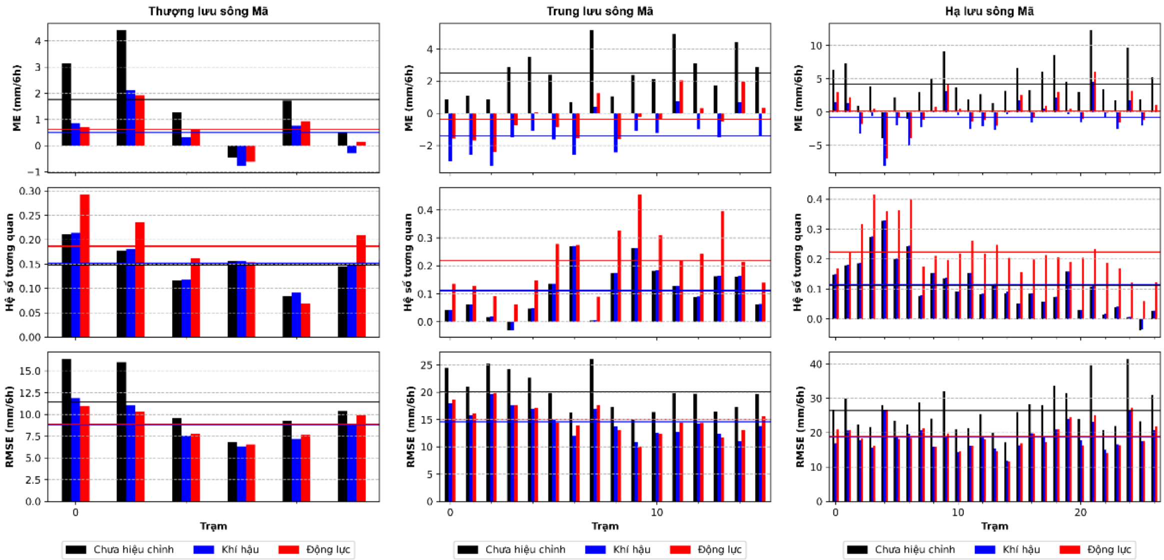
Ký hiệu	Trận mưa	Tổng lượng mưa trung bình khu vực (mm)				
		Hạ lưu sông Mã	Sông Chu	Trung lưu sông Mã	Sông Bưởi	Thượng lưu sông Mã
Ev1	2020/08/01/07 –2020/08/07/07	148,5	211,6	191,3	166,2	122,2
Ev2	2020/08/09/19 –2020/08/14/19	86,1	77,1	109,0	119,4	58,7
Ev3	2020/08/15/19 – 2020/08/22/01	103,1	143,7	199,2	178,4	134,6
Ev4	2020/09/17/13 – 2020/09/20/13	108,0	143,5	89,7	103,6	25,3
Ev5	2020/10/14/01 – 2020/10/20/01	243,3	293,7	219,6	225,2	45,2
Ev6	2020/10/28/19 – 2020/10/31/19	85,6	102,2	58,0	73,0	13,0
Ev7	2020/11/15/07 – 2020/11/17/01	58,2	43,4	29,3	35,5	5,7
Ev8	2021/06/11/13 – 2021/06/14/01	53,5	60,8	71,8	98,2	46,1
Ev9	2021/07/07/07 – 2021/07/10/13	86,5	41,8	71,4	92,0	15,5
Ev10	2021/07/21/19 – 2021/07/24/19	105,0	110,8	140,0	137,1	94,1
Ev11	2021/08/26/01 – 2021/08/28/19	87,5	55,8	51,7	40,0	22,3
Ev12	2021/09/07/13 – 2021/09/09/19	172,8	114,2	95,1	95,2	17,8
Ev13	2021/09/13/19 – 2021/09/16/19	108,9	96,9	31,8	32,2	19,2
Ev14	2021/09/22/13 – 2021/09/27/07	279,7	196,7	177,6	148,2	29,0
Ev15	2021/10/09/19 – 2021/10/12/01	80,0	64,3	89,3	126,3	24,5
Ev16	2021/10/13/19 – 2021/10/17/01	140,2	190,3	114,3	120,4	27,1
Ev17	2021/10/28/19 – 2021/11/02/13	58,8	53,8	44,8	52,6	39,9

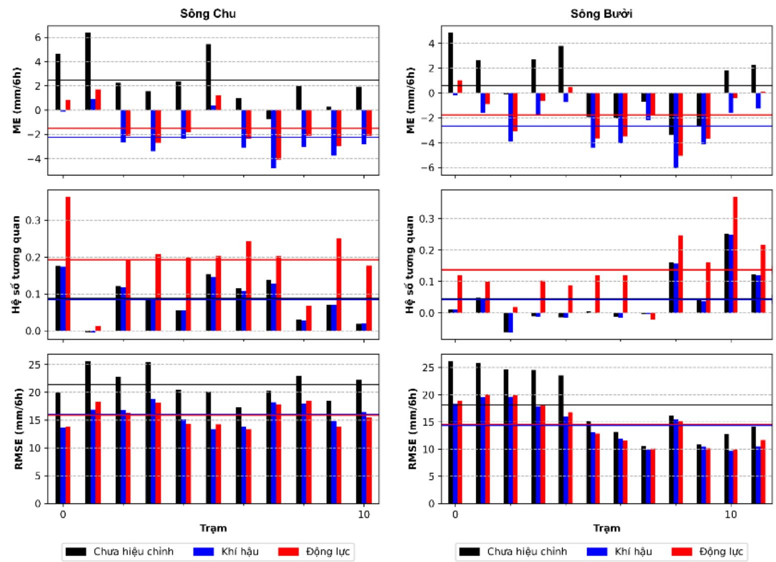


Hình 7. Đường quá trình sai số thực tế và dự đoán cho 17 trận mưa ở 5 khu vực.

Không giống với phương pháp khí hậu (sử dụng chuỗi dữ liệu trong thời gian dài để hiệu chỉnh), kỹ thuật lọc Kalman chỉ được áp dụng cho các trận mưa, nghĩa là chỉ khi có mưa lớn thì phương pháp này mới được kích hoạt. Chỉ tiêu để lựa chọn các trận mưa là có lượng mưa lớn và kéo dài. Chi tiết các trận mưa được lựa chọn trong 2 năm 2020 và 2021 để hiệu chỉnh bằng kỹ thuật lọc Kalman được trình bày ở Bảng 2, trong đó các Ev từ 1 đến 10 được sử dụng để hiệu chỉnh (*calibration*), các Ev từ 11 đến 17 được sử dụng để kiểm tra (*testing*).

Kết quả tính toán beta thực tế (bằng công thức 1) và beta dự đoán (đầu ra của kỹ thuật lọc Kalman) cho 5 khu vực được thể hiện trong các hình từ Hình 7. Các Ev từ 1 đến 17 là ký hiệu cho các trận mưa. Kết quả cho thấy đường quá trình sai số thực tế và dự đoán tương đối phù hợp với nhau với hệ số tương quan tại tất cả các khu vực đều trên 0,98. Điều này mở ra khả năng cao kỹ thuật lọc Kalman có khả năng nâng cao được độ tin cậy của lượng mưa ước lượng từ radar.





Hình 8. Biến đổi của các chỉ tiêu đánh giá trước và sau khi hiệu chỉnh bằng phương pháp khí hậu và kỹ thuật lọc Kalman ở 5 khu vực.

Mức độ hiệu quả của hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar bằng kỹ thuật lọc Kalman được thể hiện thông qua sự biến đổi của các chỉ tiêu đánh giá bao gồm ME, hệ số tương quan và RMSE. Độ tin cậy của lượng mưa radar sau hiệu chỉnh sẽ tăng lên nếu ME và RMSE tiến tới 0, hệ số tương quan tiến tới 1. Kết quả tính toán sự thay đổi của các chỉ tiêu cho tất cả các trận mưa ở 5 khu vực được thể hiện trong hình từ Hình 8. Các chỉ tiêu cho lượng mưa radar trước và sau khi hiệu chỉnh bằng phương pháp khí hậu và kỹ thuật lọc Kalman được thể hiện lần lượt bằng các đường màu đen, màu xanh và màu đỏ. Cần lưu ý rằng kết quả tính toán các chỉ số cho lượng mưa radar trước hiệu chỉnh và hiệu chỉnh bằng phương pháp khí hậu ở trong mục này có sự khác biệt so với kết quả trong mục 4.1 do kết quả tính toán các chỉ tiêu ở mục 4.1 là cho toàn bộ chuỗi dữ liệu (01/06/2020–31/12/2020 và 01/06/2021–31/12/2021) trong khi kết quả tính toán trong nội dung này chỉ cho 17 trận mưa. Có thể dễ dàng nhận thấy độ chính xác của lượng mưa radar đã tăng lên đáng kể sau khi áp dụng các phương pháp hiệu chỉnh với sự cải thiện của các chỉ số ME, hệ số tương quan và RMSE ở tất cả các khu vực, ngoại trừ trường hợp ở lưu vực sông Bưởi có giá trị ME kém hơn trước khi hiệu chỉnh (các chỉ số khác vẫn được cải thiện). Xét giá trị trung bình tất cả các trạm trong một khu vực, chỉ số ME ở thượng lưu sông Mã cho kỹ thuật lọc Kalman không tốt bằng phương pháp khí hậu (tăng từ 0,50 mm/6h lên 0,61 mm/6h). Tuy nhiên, đánh giá cho từng trạm thì chỉ số ME vẫn được cải thiện với 4/6 trạm có ME tiến gần tới 0 hơn. Các khu vực sông khác đều cho thấy sự cải thiện của chỉ tiêu ME: Trung lưu sông Mã tăng từ –1,40 mm/6h lên –0,35 mm/6h; Hạ lưu sông Mã tăng từ –0,80 mm/6h lên 0,17 mm/6h; Sông Chu tăng từ –2,26 mm/6h lên –1,51 mm/6h; Sông Bưởi tăng từ –2,66 mm/6h lên –1,76 mm/6h. Hệ số tương quan ở các khu vực đều tăng mạnh so với trước khi áp dụng kỹ thuật lọc Kalman (kết quả hiệu chỉnh bằng phương pháp khí hậu). Hệ số tương quan trung bình các trạm ở thượng lưu sông Mã tăng từ 0,15 lên 0,19; ở trung lưu sông Mã tăng từ 0,11 lên 0,22; ở hạ lưu sông Mã tăng từ 0,11 lên 0,22; ở khu vực sông Chu tăng từ 0,08 lên 0,19; và ở khu vực sông Bưởi tăng từ 0,04 lên 0,14. Xét cho từng trạm, hệ số tương quan ở hầu hết các trạm đều tăng lên, trừ 1 trạm ở thượng lưu sông Mã và 1 trạm ở khu vực sông Bưởi giảm xuống. Chỉ số RMSE gần như không có sự thay đổi so với kết quả hiệu chỉnh từ phương pháp khí hậu ở tất cả các khu vực.

Từ những phân tích ở trên cho 5 khu vực cho thấy hiệu chỉnh lượng mưa ước lượng từ radar bằng kỹ thuật lọc Kalman có thể tiếp tục nâng cao được độ chính xác của lượng mưa ước lượng từ radar sau khi đã hiệu chỉnh bằng phương pháp khí hậu với các chỉ tiêu ME, hệ số tương quan và RMSE được cải thiện ở hầu hết các khu vực, đặc biệt là hệ số tương quan. Tuy nhiên, kết quả hiệu chỉnh ở một số trạm lại có xu hướng kém chính xác hơn so với trước khi hiệu chỉnh. Điều này là không thể tránh khỏi và cũng là một hạn chế của kỹ thuật lọc Kalman.

5. Kết luận

Nghiên cứu này được thực hiện để hiệu chỉnh lượng mưa radar bằng phương pháp khí hậu và kỹ thuật lọc Kalman cho lưu vực sông Mã. Lượng mưa ước lượng từ radar được nội suy về các điểm trạm và được đặt vào 5 khu vực hiệu chỉnh khác nhau. Lượng mưa trung bình các trạm ở mỗi khu vực được loại bỏ giá trị 0 trước khi xây dựng đường xác suất tích lũy (CDF). Dựa trên đường CDF của radar và trạm quan trắc, sai số ở các mức xác suất khác nhau được tính toán và sử dụng để hiệu chỉnh lượng mưa radar cho các trạm và các điểm lưới ở các ngưỡng lượng mưa tương ứng. Kết quả hiệu chỉnh được đánh giá ở các điểm trạm sử dụng 3 chỉ tiêu ME, hệ số tương quan và RMSE. Kết quả cho thấy độ chính xác của lượng mưa ước lượng từ radar đã được cải thiện đáng kể ở tất cả các khu vực trên lưu vực sông Mã sau khi hiệu chỉnh bằng phương pháp khí hậu với giá trị ME có xu hướng tiến tới 0, hệ số tương quan tăng nhẹ và RMSE giảm xuống. Tuy nhiên, ở những điểm trạm có ME nhỏ hoặc âm, lượng mưa radar sau khi hiệu chỉnh có xu hướng tách xa khỏi giá trị "tốt nhất". Điều này có thể được giải thích là do lượng mưa radar trung bình khu vực chưa hiệu chỉnh có xu hướng thiên cao, dẫn đến việc sau khi thực hiện hiệu chỉnh cho các trạm, lượng mưa ở các trạm có xu hướng thiên thấp tiếp tục thiên thấp hơn. Đây là một hạn chế của phương pháp khí hậu. Để khắc phục được hạn chế của phương pháp khí hậu, kỹ thuật lọc Kalman tiếp tục được áp dụng để hiệu chỉnh. Sai số dạng logarit giữa lượng mưa radar và quan trắc mặt đất cho 17 trận mưa xảy ra vào năm 2020 và 2021 ở các khu vực được tính toán và làm đầu vào cho kỹ thuật lọc Kalman để liên tục dự đoán và cập nhật trong thời gian thực. Kết quả cho thấy độ chính xác của lượng mưa radar đã tiếp tục được nâng cao đáng kể ở tất cả các khu vực trên lưu vực sông Mã sau khi hiệu chỉnh kỹ thuật lọc Kalman với giá trị ME có xu hướng tiến tới 0, hệ số tương quan tăng mạnh và RMSE gần như không đổi. Kỹ thuật lọc Kalman cũng đã chứng minh được khả năng giải quyết nhược điểm của phương pháp khí hậu với việc các trạm có giá trị ME âm đã tiến gần về 0 và hệ số tương quan tăng lên đáng kể. Tuy nhiên, kết quả hiệu chỉnh ở một số trạm lại có xu hướng kém chính xác hơn so với trước khi hiệu chỉnh. Điều này là không thể tránh khỏi và cũng là một hạn chế của kỹ thuật lọc Kalman.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự hỗ trợ về mặt dữ liệu và phương pháp luận của đề tài "*Nghiên cứu công nghệ dự báo dòng chảy lũ hạn ngắn theo mô hình dự báo mưa số trị và số liệu radar thời tiết. Áp dụng thử nghiệm dự báo lũ hạn ngắn cho lưu vực Sông Mã*", mã số TNMT.2022.02.16, do Bộ Tài nguyên và Môi trường tài trợ.

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. Bae, D.H.; Trinh, H.L.; Nguyen, H.M. Uncertainty estimation of the SURR model parameters and input data for the Imjin River basin using the GLUE method. *J. Hydro–Environ. Res.* **2018**, *20*, 52–62.
2. Nguyen, H.M.; Bae, D.H. An approach for improving the capability of a coupled meteorological and hydrological model for rainfall and flood forecasts. *J. Hydrol.* **2019**, *577*, 124014.
3. Fabry, F. Obstacles to the greater use of weather radar information. In: Sixth International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar, Melbourne, 2004.
4. Harrison, D.L.; Driscoll, S.J.; Kitchen, M. Improving precipitation estimates from weather radar using quality control and correction techniques. *Meteorol. Appl.* **2000**, *6*, 135–144.
5. Golding, B.W. Nimrod: a system for generating automated very short range forecasts. *Meteorol. Appl.* **1998**, *5*, 1–16.
6. Pierce, C.; Hardaker, P.; Collier, C.; Haggett, C. GANDOLF: a system for generating automated nowcasts of convective precipitation. *Meteorol. Appl.* **2001**, *7*, 341–360.
7. Rabiei, E.; Haberlandt, U. Applying bias correction for merging rain gauge and radar data. *J. Hydrol.* **2015**, *522*, 544–557.
8. Chumchean, S.; Seed, A.; Sharma, A. An Integrated Approach to Error Correction for Real–Time Radar–Rainfall Estimation. *Am. Meteorol. Soc.* **2006**, *23*, 67–79.
9. Giarno, Hadi, M.P.; Suprayogi, S.; Herumurti, S. Bias correction of radar and satellite rainfall estimates and increasing its accuracy using modified merging. *Mausam* **2020**, *71(3)*, 277–390.
10. Hanchoowong, R.; Weesakul, U.; Chumchean, S. Bias correction of radar rainfall estimates based on a geostatistical technique. *Sci. Asia* **2012**, *38*, 373–385.
11. Kim, T.J.; Kwon, H.H.; Lima, C. A Bayesian partial pooling approach to mean field bias correction of weather radar rainfall estimates: Application to Osungsan weather radar in South Korea. *J. Hydrol.* **2018**, *565*, 14–26.
12. Na, W.; Yoo, C. A Bias Correction Method for Rainfall Forecasts Using Backward Storm Tracking. *Water* **2018**, *10*, 1728.
13. Ozkaya, A.; Akyurek, Z. Evaluating the use of bias-corrected radar rainfall data in three flood events in Samsun, Turkey. *Nat. Hazards* **2019**, *98*, 643–674.
14. Qi, Y.; Zhang, J.; Hong, Y.; Cao, Q. Correction of Radar QPE Errors for Non–Uniform VPRs in Mesoscale Convective Systems Using TRMM Observations. The seventh European conference on radar in meterology and hydrology, 2012.

15. Sahlaoui, Z.; Mordane, S. Radar Rainfall Estimation in Morocco: Quality Control and Gauge Adjustment. *Hydrology* **2019**, *6*, 41.
16. Quốc, P.K. Nghiên cứu xây dựng công cụ cảnh báo dông và định lượng mưa cho các khu vực ở Việt Nam trên cơ sở sử dụng số liệu ra đa thời tiết, định vị sét, ảnh mây vệ tinh Himawari và mưa bề mặt. Tổng cục Khí tượng Thủy văn, 2021.
17. Tĩnh, Đ.N. và cs. Nghiên cứu ứng dụng số liệu mưa vệ tinh, mưa dự báo số trị kết hợp số liệu bề mặt trong dự báo lũ hệ thống sông Hồng – Thái Bình. Đề tài nghiên cứu cấp Bộ, 2015.
18. Chumchean, S.; Seed, A.; Sharma, A. Correction of real–time radar rainfall bias using a Kalman filtering technique. *J. Hydrol.* **2006**, *317*, 123–137.
19. Smith, J.A.; Krajewski, W.F. Estimation of mean field bias of radar rainfall estimates. *J. Appl. Meteorol.* **1991**, *30*, 397–411.
20. Marshall, J.S.; Palmer, W.M. The distribution of raindrops with size. *J. Meteorol.* **1948**, *5*, 165–166.

Bias correction of radar rainfall estimates for improving hydrological simulation

Nguyen Hoang Minh[1*], Phung Tien Dung[1], Vu Thi Thanh Van[1], Hoang Van Dai[1], Mai Van Khiem[1], Nguyen Thi Phuong Nhung[2]

[1] National Centre for Hydro–Meteorological Forecasting, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; hoangminh281287@gmail.com; ptdung77@gmail.com; vtvan7702@gmail.com; daihydro2003@gmail.com; maikhiem77@gmail.com
[2] University of Transport Technology; nguyenphuongnhung0302@gmail.com

Abstract: Radar rainfall estimates have been exploited and widely used in the world for hydrological simulations thanks to the advantages of spatial distribution compared to observed rainfall at ground stations. In Vietnam, due to the weather radar system has been upgraded and installed in recent years, the exploitation and use for hydrology is still very limited. Because radar rainfall estimates often consist of many errors arising from various sources, before using for flow simulation and prediction, bias correction is very necessary to minize errors. Therefore, this study was conducted to correct the radar rainfall estimates in order to improve the input quality for runoff simulation in Vietnam. Two methods including climatology and Kalman filtering technique are applied consecutively to increase the accuracy of radar rainfall estimates. The results of applying to the Ma River basin show that the quality of radar rainfall estimates has increased significantly with the improvement of mean error, correlation coefficicent and root mean square error.

Keywords: Radar rainfall estimates; Bias correction, Climatology method; Kalman filtering technique; runoff simulation.