

Bài báo khoa học

Nghiên cứu tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar và mô hình số trị để nâng cao độ chính xác dự báo lũ

Nguyễn Hoàng Minh^{1*}, Phùng Tiến Dũng¹, Vũ Thị Thanh Vân¹, Đoàn Văn Hải¹, Mai Văn Khiêm¹

¹ Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn;
hoangminh281287@gmail.com; ptdung77@gmail.com; vtvn7702@gmail.com;
hai110684@gmail.com; maikhiem77@gmail.com

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

Ban Biên tập nhận bài: 15/6/2023; Ngày phản biện xong: 13/7/2023; Ngày đăng bài: 25/7/2023

Tóm tắt: Nghiên cứu này được thực hiện để tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị (NWP) phục vụ nâng cao chất lượng dự báo lũ. Lượng mưa tích hợp cho 6 giờ kế tiếp được tạo ra thông qua việc xác định trọng số của các sản phẩm mưa dự báo dựa trên giá trị của các chỉ tiêu dự báo đúng (CSI) và sai số quân phương (RMSE) ở khung thời gian trước. Đối với dự báo sau 6 giờ, độ lệch trung bình giữa lượng mưa tích hợp với NWP ở 6 giờ được tính toán và thêm vào cho các khoảng thời gian dự báo dài hơn. Phương pháp này được áp dụng cho 2 trận lũ xảy ra vào năm 2020 và 2021 trên khu vực thượng lưu sông Mã. Kết quả cho thấy lượng mưa tích hợp có độ chính xác cao hơn đáng kể so với NWP ở khoảng thời gian dự báo 6 giờ nhưng không thay đổi nhiều ở các khoảng thời gian dài hơn trừ sai số trung bình (ME). Tương ứng với sự cải thiện của lượng mưa, độ chính xác dự báo lũ tăng lên đáng kể với giá trị của chỉ số hiệu quả mô hình (NSE) tăng lên và sai số dung tích (REV) giảm xuống. Những kết quả này đã chứng minh sự cần thiết của tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với NWP.

Từ khóa: Dự báo lũ; NWP; Dự báo mưa dựa trên radar; Tích hợp.

1. Đặt vấn đề

Lượng mưa là yếu tố đầu vào quan trọng nhất trong mô hình mưa - dòng chảy. Đối với mô hình thủy văn đủ tốt để mô phỏng các quá trình xảy ra trên lưu vực, cải thiện độ chính xác lượng mưa dự báo đóng vai trò quyết định gia tăng độ chính xác dự báo dòng chảy. Hiện nay, có nhiều phương pháp, mô hình để dự báo mưa, trong đó hai phương pháp nổi bật và có độ tin cậy lớn nhất là sử dụng mô hình số trị và radar. Trong hai loại sản phẩm mưa dự báo này, mỗi sản phẩm đều có những ưu điểm và nhược điểm riêng. Trong khi lượng mưa dự báo dựa trên radar chỉ đủ tin cậy cho 2-3 giờ kế tiếp thì mô hình số trị lại có khả năng dự báo dài với độ tin cậy cao hơn [1–4]. Do đó, tích hợp hai loại sản phẩm dự báo này có tiềm năng lớn để nâng cao độ chính xác dự báo mưa và dòng chảy.

Những nghiên cứu đầu tiên trên thế giới về tích hợp lượng mưa dự báo từ mô hình số trị với radar bắt đầu từ cuối những năm 90 của thế kỷ 20. Ví dụ, tác giả [5] phát triển hệ thống Nimrod tự động dự báo mưa hạn cực ngắn (đến 6 giờ) bằng việc tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với sản phẩm dự báo mưa của mô hình UM (*Unified Model*) cho vương quốc Anh. Các tác giả sử dụng hệ số tương quan của từng loại hình dự báo mưa ở thời gian trước để xác định trọng số tích hợp cho radar (W_A) và mô hình số (W_M). Tác giả trình bày kết quả tích hợp thử nghiệm cho sự kiện mưa lớn xảy ra từ ngày 5 đến 13 tháng 9 năm 1995. Kết quả

cho thấy, sau khi tích hợp, chỉ số tỷ lệ dự báo đúng (*hit rate*) và sai số quân phương (*root mean square factor*) đã được cải thiện đáng kể, tuy nhiên chỉ tiêu tỷ lệ cảnh báo không (*false alarm ratio*) lại tăng lên. Tác giả [6] giới thiệu về hệ thống cảnh báo sớm và tự động dự báo mưa đối lưu hạn cực ngắn GANDOLF. Hệ thống này được phát triển để dự báo mưa hạn cực ngắn cho lưu vực sông Thames, vương quốc Anh. Thay vì chỉ sử dụng dữ liệu dự báo tích hợp từ mô hình số và radar trong hệ thống Nimrod, tác giả đã tích hợp thêm dữ liệu từ mô hình hướng đối tượng (*object-oriented model*) để cố gắng giải quyết những hạn chế của dự báo mưa dựa trên radar (sử dụng phương pháp ngoại suy để cho ra kết quả dự báo mưa dẫn đến kỹ năng dự báo giảm mạnh khi thời gian dự báo xa hơn). Kết quả áp dụng thử nghiệm cho hai trận mưa lớn xảy ra vào năm 1995 và 1996 đã cho độ chính xác tăng lên đáng kể so với chỉ dự báo bằng Nimrod với sự cải thiện của các chỉ số dự báo thành công (*critical success index*) và sai số trung bình bình phương (*mean square error*), tuy nhiên chỉ số cảnh báo sai lại tiếp tục tăng lên so với Nimrod. Tác giả [7] đề xuất một phương pháp tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số, trong đó dữ liệu mưa dự báo từ radar được tính toán lại theo các thông số địa hình sau đó tiếp tục được hiệu chỉnh trước khi tích hợp dự báo mưa tổ hợp từ mô hình số (2 km, 30 giờ). Trong nghiên cứu này, tác giả xác định trọng số tích hợp cho từng loại dự báo mưa dựa trên giá trị của CSI và RMSE ở khung thời gian trước. Các tác giả đã áp dụng phương pháp đề xuất để cải thiện năng lực dự báo mưa lũ cho sự kiện mưa lớn xảy ra vào đầu tháng 9 năm 2011 ở lưu vực sông Shingu, Nhật Bản. Kết quả áp dụng thử nghiệm cho thấy rất khả quan khi độ chính xác của lượng mưa tích hợp tốt hơn hẳn so với dự báo mưa hoặc chỉ từ radar hoặc chỉ từ mô hình số cho tất cả các trường hợp tính toán (cho các ngưỡng mưa khác nhau). Ngoài ra, nhiều nghiên cứu khác cũng đã được thực hiện để tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar và mô hình số trị như [8–18].

Ở Việt Nam, nghiên cứu tích hợp lượng mưa dự báo từ mô hình số trị với radar vẫn còn rất hạn chế. Gần đây, cùng với thành công của Đài Khí tượng Cao không trong dự báo mưa hạn cực ngắn (*nowcasting*) dựa trên radar, tác giả [19] đã nghiên cứu thử nghiệm tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với sản phẩm mô hình số trị phân giải cao (NWP) để có được sản phẩm dự báo mưa định lượng - khách quan hạn cực ngắn tại Việt Nam. Nghiên cứu đã áp dụng hệ thống cảnh báo mưa hạn cực ngắn do Cơ quan khí tượng Hồng Kông phát triển cho trận mưa xảy ra vào ngày 4 tháng 3 năm 2020. Kết quả cho thấy dự báo mưa tích hợp từ hai sản phẩm có chất lượng tốt hơn so với dự báo từ mô hình số trị hoặc dự báo dựa trên radar. Tuy nhiên, nghiên cứu này mới chỉ áp dụng thử nghiệm cho một trận mưa duy nhất, do đó chưa đủ để khẳng định được lượng mưa tích hợp tốt hơn so với mô hình số trị và radar.

Có thể thấy rằng, các nghiên cứu tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar và mô hình số trị đã đạt được những thành công nhất định trong việc nâng cao độ chính xác dự báo mưa. Tuy nhiên, một vấn đề quan trọng áp dụng lượng mưa tích hợp vào trong dự báo lũ vẫn chưa được thực hiện. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện để: 1) Tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị; 2) Đánh giá khả năng sử dụng của lượng mưa tích hợp trong dự báo lũ.

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

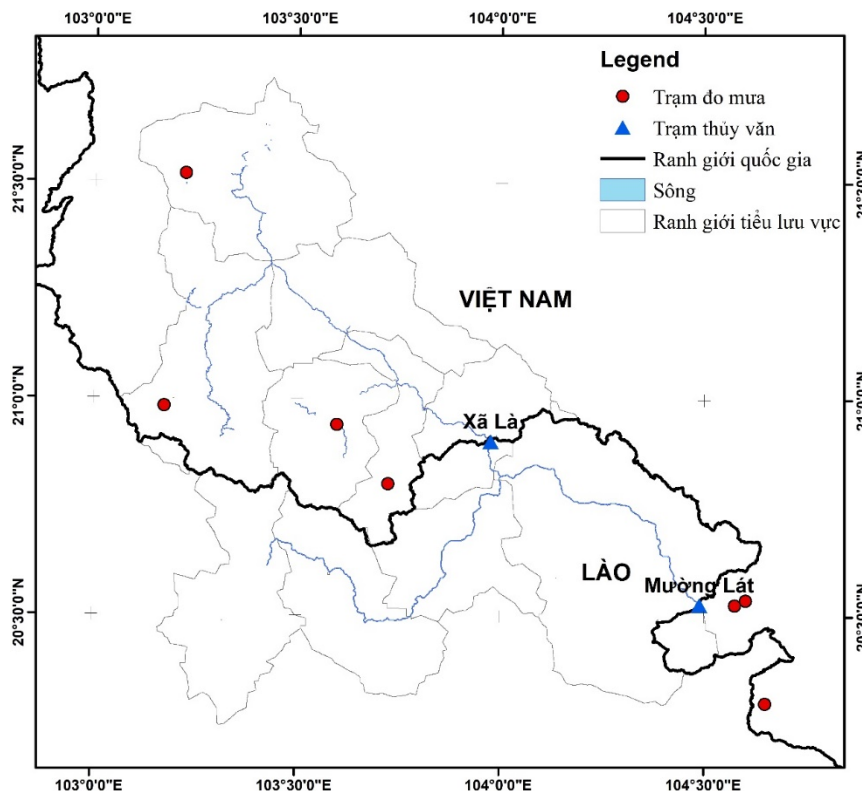
2.1. Khu vực nghiên cứu và số liệu sử dụng

Khu vực thượng lưu sông Mã tính đến trạm Mường Lát được lựa chọn áp dụng thử nghiệm trong nghiên cứu này nhờ dòng chảy không bị ảnh hưởng bởi sự điều tiết của hồ chứa và các công trình nhân tạo. Khu vực này có diện tích khoảng 12.951 km², trong đó phần diện tích nằm trong lãnh thổ Việt Nam khoảng 6.784 km², nằm trong lãnh thổ Lào khoảng 6.167 km². Bản đồ khu vực nghiên cứu được thể hiện trong Hình 1.

Số liệu mưa thực đo 6 giờ của 7 trạm đo mưa từ năm 2020 đến 2021 được thu thập từ Tổng cục Khí tượng Thủy văn để phục vụ cho thực hiện các công việc: 1) Tính toán độ chính xác của lượng mưa dự báo dựa trên radar và mô hình số trị phục vụ cho tính trọng số tích

hợp của từng sản phẩm mưa; 2) Kết hợp với lượng mưa dự báo làm đầu vào cho mô hình thủy văn. Bên cạnh đó, số liệu lưu lượng thực đo của trạm Mường Lát cũng được thu thập và sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình mưa - dòng chảy và đánh giá kết quả dự báo lũ.

Sản phẩm mưa dự báo dựa trên radar cung cấp bởi Đài Khí tượng Cao không (AMO), Tổng cục Khí tượng Thủy văn được sử dụng để tích hợp với lượng mưa dự báo từ mô hình WRF (thu thập từ Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia (NCHMF), Tổng cục Khí tượng Thủy văn). Dữ liệu mưa dự báo dựa trên radar có độ phân giải không gian là 1,5km, cập nhật từng giờ, dự báo cho 6 giờ tới. Dữ liệu mưa dự báo từ mô hình WRF có độ phân giải theo không gian là 3km, 6 giờ cập nhật một lần, dự báo cho 72 giờ tới. Để tích hợp được lượng mưa dự báo từ mô hình số trị và radar tại các ô lưới, lượng mưa dự báo dựa trên radar được chuyển về độ phân giải 3km (cùng độ phân giải với mô hình số trị) bằng phương pháp nghịch đảo trọng số theo khoảng cách (IDW). Cấu hình của các sản phẩm được trình bày trong Bảng 1.



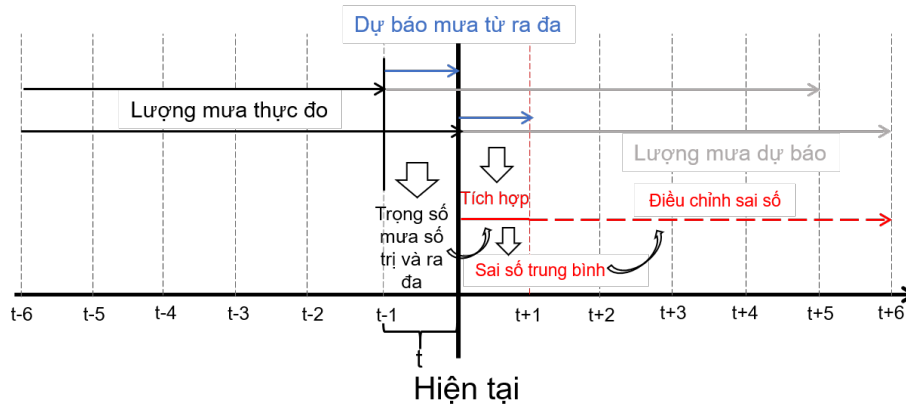
Hình 1. Bản đồ khu vực thượng lưu sông Mã tính đến trạm Mường Lát.

Bảng 1. Cấu hình của các sản phẩm dự báo mưa.

| Mô hình | Độ phân giải | Bước thời gian | Số giờ dự báo | Cập nhật | Nguồn số liệu |
|--------------------|--------------|----------------|---------------|----------|---------------|
| WRF | 3.0 km | 6 giờ | 72 giờ | 6 giờ | NCHMF |
| Radar | 1.5 km | 1 giờ | 6 giờ | 1 giờ | AMO |
| Radar tái cấu hình | 3.0 km | 6 giờ | 6 giờ | 6 giờ | IDW |

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Đầu tiên, lượng mưa hỗn hợp cho khoảng thời gian dự báo 6 giờ được tạo ra bằng việc tích hợp lượng mưa dự báo từ mô hình số trị với lượng mưa dự báo dựa trên radar (sau đây gọi là giai đoạn tích hợp). Sai số trung bình cho từng lưu vực sau đó được tính toán và cộng thêm vào lượng mưa dự báo từ mô hình số trị cho khoảng thời gian dự báo sau 6 giờ (sau đây gọi là giai đoạn điều chỉnh sai số). Sơ đồ các bước tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ các bước tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị.

Ở giai đoạn tích hợp, tìm trọng số phù hợp cho dự báo mưa ra đa và mô hình số trị có vai trò quan trọng nhất. Nghiên cứu này áp dụng một phương pháp để tính toán trọng số cho mỗi hệ thống theo cả chất lượng và định lượng. Chỉ số dự báo đúng (*Critical Success Index* - *CSI*) được sử dụng cho phân tích chất lượng, trong khi đó sai số quân phương (*Root Mean Square Error* - *RMSE*) được sử dụng cho phân tích định lượng. *CSI* và *RMSE* được tính toán theo phương trình (1) và (2).

$$CSI = \frac{H}{M + H + F} \quad (1)$$

Bảng 2. Bảng xác định các thông số (*contingency table*).

| Dự báo | Thực đo | |
|--------|---------|-------|
| | Có | Không |
| Có | H | F |
| Không | M | C |

Trong đó H (hit) là số lần dự báo đúng, được xác định khi cả mô hình dự báo và quan trắc đều có mưa; M (*miss*) là số lần dự báo thiếu, được xác định khi mô hình dự báo không mưa trong khi thực tế quan trắc được có mưa; F (*false*) là số lần dự báo sai, được xác định khi mô hình dự báo có mưa trong khi thực tế quan trắc lại không có mưa. Các thông số H, M và F được xác định theo Bảng 2.

CSI được xem như thước đo độ chính xác dự báo khi không xem xét những trường hợp hiện tượng không xuất hiện. *CSI* có giá trị trong khoảng từ 0 đến 1. *CSI* bằng không nghĩa là mô hình dự báo không chính xác, trong khi *CSI* bằng một cho thấy mô hình dự báo đúng hoàn toàn.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2} \quad (2)$$

Trong đó F là lượng mưa dự báo, O là lượng mưa thực đo, N là độ dài chuỗi dữ liệu. Giá trị của *RMSE* nằm trong khoảng $(0, +\infty)$.

Trọng số của lượng mưa dự báo bằng ra đa (WR1 và WR2) và mô hình số trị (WN1 và WN2) ở từng điểm lưới được định nghĩa là một hàm bình phương, để thể hiện độ phản hồi nhạy của trọng số tích hợp cho mô hình số trị, như thể hiện trong các phương trình từ (3) đến (6). Cuối cùng, lượng mưa tích hợp (RB) ở hiện tại được tạo ra bằng việc sử dụng phương trình (7).

$$WR1 = \frac{CSI_{\text{radar}}^2}{CSI_{\text{radar}}^2 + CSI_{\text{NWP}}^2} \quad (3)$$

$$WR2 = 1 - \frac{RMSE_{\text{radar}}^2}{RMSE_{\text{radar}}^2 + RMSE_{\text{NWP}}^2} \quad (4)$$

$$WN1 = \frac{CSI_{\text{NWP}}^2}{CSI_{\text{radar}}^2 + CSI_{\text{NWP}}^2} \quad (5)$$

$$WN2 = 1 - \frac{RMSE_{\text{NWP}}^2}{RMSE_{\text{radar}}^2 + RMSE_{\text{NWP}}^2} \quad (6)$$

$$R_{\text{Hỗn hợp}} = \left(\frac{WR1 + WR2}{2} \right) \times R_{\text{radar}} + \left(\frac{WN1 + WN2}{2} \right) \times R_{\text{NWP}} \quad (7)$$

Ở giai đoạn điều chỉnh sai số, sai số ở mỗi điểm lưới (EF) được tính toán ở giai đoạn tích hợp bằng việc trừ hỗn hợp mới tạo ra cho lượng mưa dự báo từ mô hình số trị (phương trình (8)), sau đó lấy trung bình cho toàn bộ lưu vực để nhận được sai số trung bình. Cuối cùng, sai số trung bình đơn giản được thêm vào từng thành viên tổ hợp cho khoảng thời gian dự báo trên 6 giờ (phương trình (9)).

$$EF = \frac{1}{n} \sum_{g=1}^n (R_{\text{Hỗn hợp},g} - R_{\text{NWP},g}) \quad (8)$$

$$R_{\text{upd}} = R_{\text{NWP}} + EF \quad (9)$$

2.3. Mô hình mưa - dòng chảy

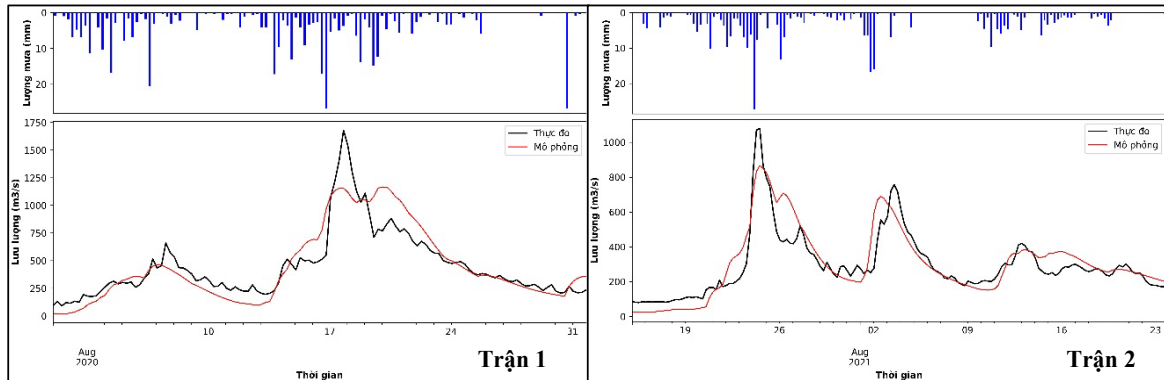
Dựa vào việc xem xét các quá trình vật lý trong mô hình, các mô hình thủy văn được phân chia thành 3 loại: mô hình hộp đen, mô hình dựa trên vật lý, và mô hình khái niệm và kinh nghiệm. Mô hình hộp đen chỉ làm việc với dữ liệu để tìm ra mối quan hệ giữa dữ liệu thực đo và dự báo và không phù hợp với mục tiêu của nghiên cứu này. Loại mô hình thứ hai có nhiều ưu điểm về mặt lý thuyết, nhưng nó yêu cầu một lượng lớn số liệu đầu vào và dữ liệu thông số (*parametric data*), những dữ liệu này vẫn còn khá hạn chế ở Việt Nam. Vì vậy, mô hình khái niệm và kinh nghiệm nhận được nhiều sự quan tâm hơn nhờ việc đơn giản hóa các quá trình vật lý. Những mô hình thuộc loại này sử dụng dữ liệu, thông số dạng bình quân theo không gian và có thể được sử dụng như mô hình bán phân bố bằng việc chia lưu vực thành các tiểu lưu vực. Vì những lợi ích như vậy, nghiên cứu này lựa chọn một mô hình khái niệm và kinh nghiệm để mô phỏng dòng chảy cho thượng lưu sông Mã tính đến trạm Muồng Lát.

Mô hình Mike NAM, được phát triển bởi Viện Thủy lực Đan Mạch, là một mô hình khái niệm và kinh nghiệm sử dụng lượng mưa và bốc hơi bình quân lưu vực làm đầu vào để mô phỏng các quá trình tập trung dòng chảy của nước trên lưu vực và trong sông. Mặc dù không có nhiều ưu điểm về mặt lý thuyết nhưng mô hình Mike NAM lại cho thấy khả năng mô phỏng dòng chảy đáng kinh ngạc khi được áp dụng thành công ở nhiều nơi trên thế giới và ở Việt Nam. Lý thuyết mô hình Mike NAM có thể tìm thấy trong [20]. Do đó, nghiên cứu này đã lựa chọn mô hình Mike NAM để mô phỏng dòng chảy cho khu vực thượng lưu sông Mã tính đến trạm Muồng Lát. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình cho 2 trận lũ xảy ra từ 01 giờ ngày 01/8/2020 (sau đây gọi là trận 1) đến 19 giờ ngày 31/8/2020 và từ 01 giờ ngày 15/7/2021 đến 19 giờ ngày 23/8/2021 (sau đây gọi là trận 2) được trình bày trong Bảng 3 và Hình 3. Trong đó, chỉ số NSE (*Nash Sutcliffe Efficiency* - chỉ số hiệu quả mô hình) và REV (*Relative Error in Volumn* - sai số dung tích) được xác định theo các công thức (10) và (11). Kết quả cho thấy giá trị của NSE của 2 trận lũ đều trên 0,8 và giá trị của REV khá nhỏ. Do đó, mô hình Mike NAM có đủ khả năng để mô phỏng dòng chảy cho thượng lưu sông Mã.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O})^2} \quad (10)$$

$$REV = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \right] \times 100 \quad (11)$$

Trong đó S là lưu lượng mô phỏng, O là lưu lượng thực đo, n là tổng độ dài chuỗi.



Hình 3. Kết quả mô phỏng dòng chảy cho 2 trận lũ bằng mô hình Mike NAM.

Bảng 3. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình cho trạm Mường Lát.

| Trận lũ | Quá trình | NSE | REV (%) |
|---------|------------|------|---------|
| Trận 1 | Hiệu chỉnh | 0,81 | 0,14 |
| Trận 2 | Kiểm định | 0,80 | -3,29 |

2.4. Chỉ tiêu đánh giá độ chính xác dự báo mưa

Để đánh giá kỹ năng dự báo mưa của hỗn hợp so với dự báo mưa từ mô hình WRF và radar, ngoài việc sử dụng chỉ số CSI và RMSE, nghiên cứu này sử dụng thêm chỉ số POD (*Probability of Detection*), FAR (*False Alarm Ratio*), sai số trung bình (*Mean Error - ME*), và hệ số tương quan (*Correlation Coefficient*). Các chỉ số POD, FAR và CSI được tính toán cho các ngưỡng mưa khác nhau và được xác định bằng các công thức (12), (13), và (1), trong khi các chỉ tiêu ME và hệ số tương quan (CC) và RMSE được xác định bằng công thức (14), (15), và (2):

$$POD = \frac{H}{M + H} \quad (12)$$

POD cho biết khả năng dự báo đúng của mô hình, biến thiên từ 0 đến 1. POD bằng 1 nghĩa là mô hình dự báo đúng hoàn toàn và ngược lại khi POD tiến dần đến 0. POD chỉ nhạy đối với những trường hợp không dự báo được mà không nhạy đối với những trường hợp cảnh báo không.

$$FAR = \frac{F}{H + F} \quad (13)$$

FAR thể hiện tỷ lệ mô hình cho kết quả có nhưng thực tế hiện tượng không xảy ra. Giá trị của FAR nằm trong khoảng từ 0 đến 1. Giá trị của FAR tiến tới 0 thì mô hình càng cảnh báo không ít và ngược lại.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i) \quad (14)$$

ME thể hiện độ lệch trung bình của dự báo so với quan trắc. Mô hình dự báo thiên cao nếu ME dương, thiên thấp nếu ME thấp và hoàn hảo nếu bằng 0.

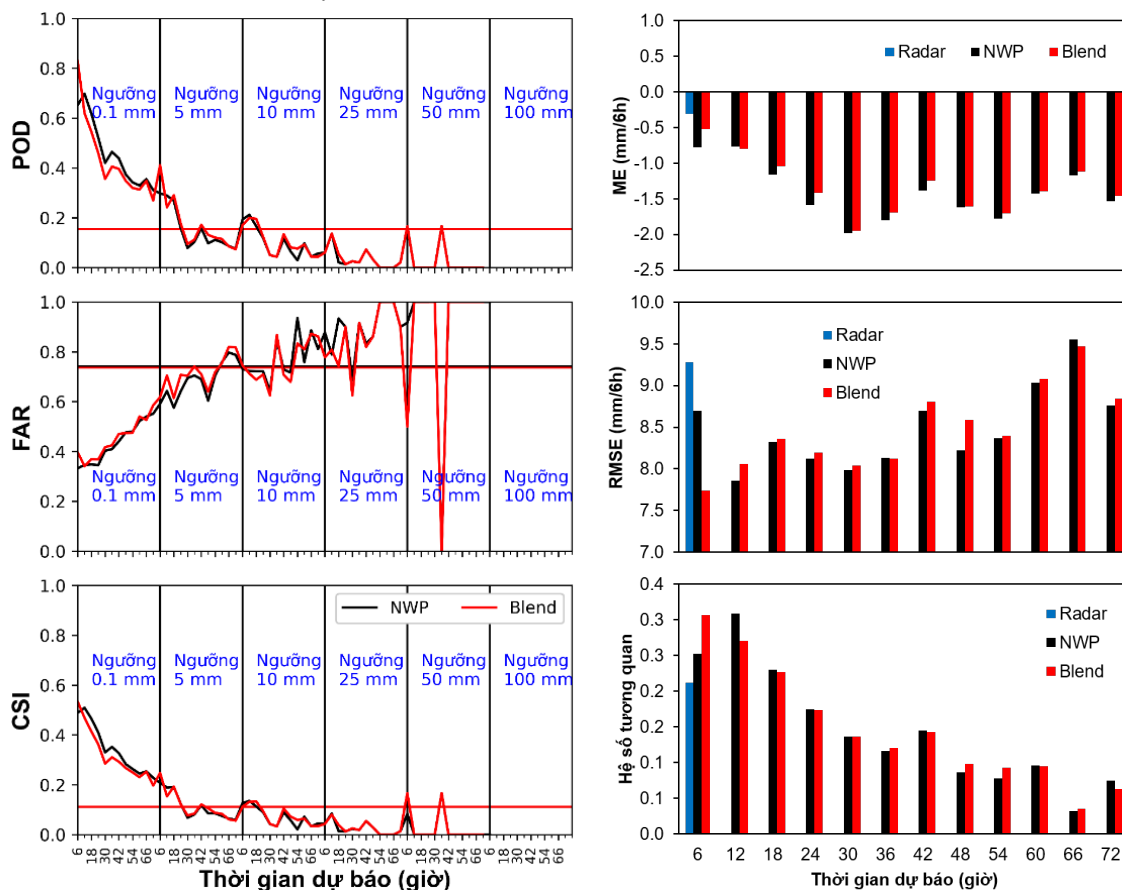
$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \quad (15)$$

Giá trị hệ số tương quan (CC) biến đổi từ -1 đến 1, giá trị tốt nhất là 1.

3. Kết quả và thảo luận

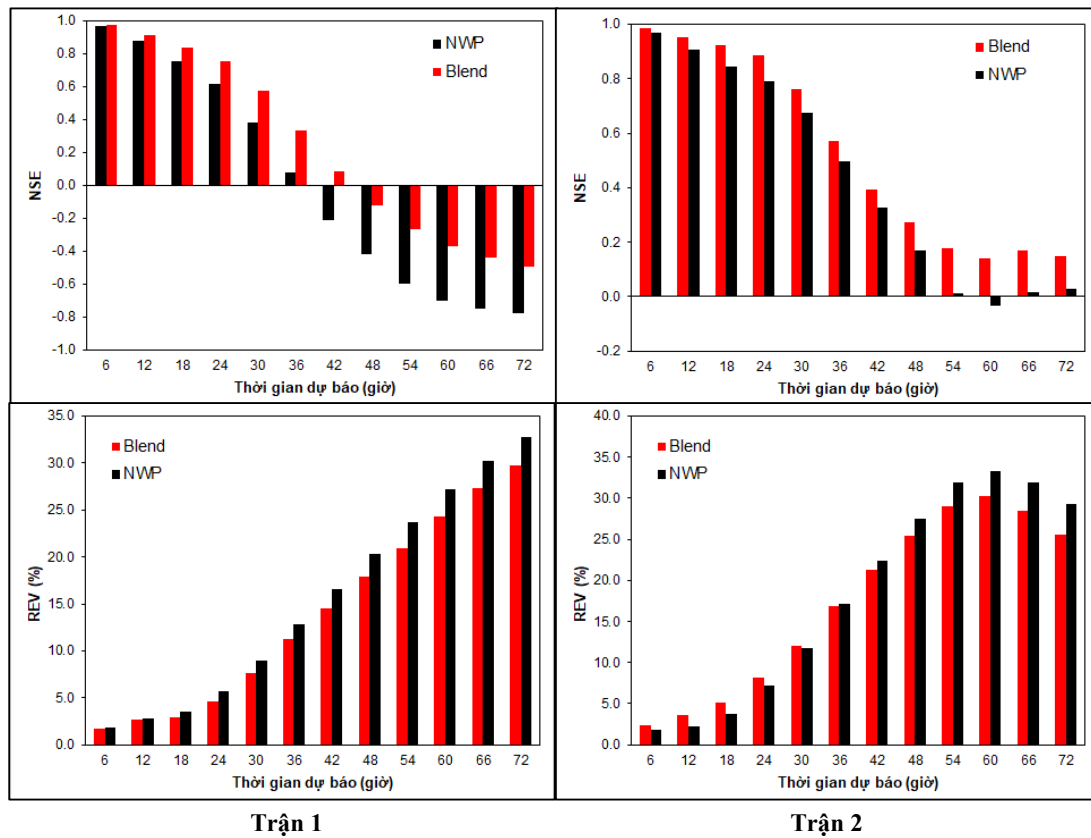
3.1. Kết quả tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị

Kết quả tính toán các chỉ số cho từng loại mưa dự báo (WRF, radar, và hỗn hợp (blend)) cho các đợt mưa xảy ra trong 2 trận lũ được thể hiện trong Hình 4. Ở giai đoạn tích hợp, hỗn hợp dự báo mưa có độ chính xác cao hơn dự báo mưa hoặc từ mô hình WRF hoặc từ radar với giá trị POD và CSI của hỗn hợp cao hơn so với mô hình WRF và radar ở các ngưỡng mưa khác nhau. Giá trị POD và CSI giảm xuống và FAR tăng lên khi ngưỡng mưa tăng lên. Đối với ngưỡng 0,1mm (có mưa hoặc không mưa), giá trị POD của mô hình WRF, radar và hỗn hợp tương ứng là 0,65, 0,67, và 0,83; giá trị FAR tương ứng là 0,33, 0,36, và 0,40; giá trị CSI tương ứng là 0,49, 0,48, và 0,53. Đối với chỉ tiêu định lượng dự báo, giá trị ME và RMSE trung bình tất cả các khu vực có xu hướng tiến tới 0 (giá trị “tốt nhất”). Giá trị ME trung bình toàn khu vực của mô hình WRF, radar và hỗn hợp lần lượt là -0,77 mm/6h, -0,31 mm/6h, và -0,52 mm/6h; đối với RMSE lần lượt là 8,70 mm/6h, 9,28 mm/6h, và 7,74 mm/6h. Hệ số tương quan của hỗn hợp cũng tốt hơn so với dự báo mưa từ mô hình WRF và radar. Giá trị trung bình của hệ số tương quan của mô hình WRF, radar và hỗn hợp lần lượt là 0,25, 0,21 và 0,31. Ở giai đoạn điều chỉnh sai số, các chỉ tiêu đánh giá chất lượng dự báo (POD, FAR, và CSI) không có sự thay đổi nhiều ở các khu vực. Điều này cũng là dễ hiểu vì lượng mưa từ mô hình số trị đơn thuần được cộng thêm vào. Đối với các trận mưa lớn, việc cộng thêm vào này về cơ bản không làm thay đổi chất lượng dự báo pha. Đối với các chỉ tiêu định lượng, chỉ số ME tăng lên ở tất cả các khu vực (tiến gần về 0), tuy nhiên mức tăng không quá lớn, trong khi chỉ số RMSE gần như không đổi. Những kết quả này cho thấy, hỗn hợp mưa dự báo có kỹ năng tốt hơn so với mô hình WRF và radar cả về mặt chất lượng, định lượng và tương quan cho khoảng thời gian dự báo 6 giờ. Điều này đã chứng minh sự cần thiết phải tích hợp 2 nguồn mưa từ mô hình số trị và radar để gia tăng độ chính xác của không chỉ dự báo mưa mà còn cho cả dự báo lũ.

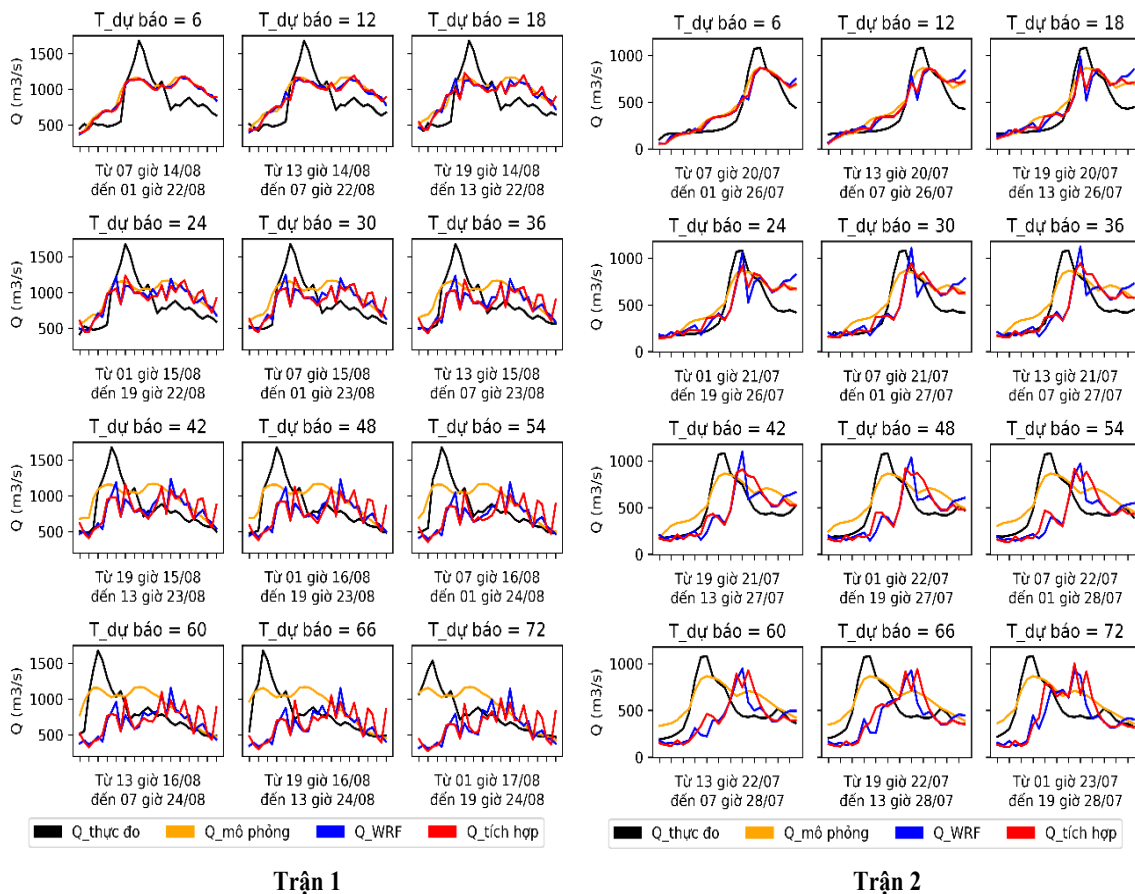


Hình 4. Kết quả tính toán các chỉ tiêu đánh giá độ chính xác của các sản phẩm mưa dự báo.

3.2. Kết quả dự báo lũ



Hình 5. Kết quả tính toán các chỉ tiêu đánh giá chất lượng dự báo lũ sử dụng đầu vào WRF và hỗn hợp.



Hình 6. Kết quả dự báo dòng chảy theo các khoảng thời gian dự báo.

Lưu lượng dòng chảy lũ mô phỏng sử dụng lượng mưa dự báo từ mô hình WRF và tích hợp làm đầu vào được so sánh với lưu lượng dòng chảy sử dụng lượng mưa thực đo để bỏ qua sai số gây ra bởi mô hình Mike NAM, từ đó đánh giá được độ hiệu quả của lượng mưa tích hợp so với từ mô hình WRF. Kết quả tính toán chỉ số NSE và REV cho 2 loại dữ liệu mưa đầu vào cho 2 trận lũ được thể hiện trong Hình 5, trong khi đường quá trình dự báo cho từng khoảng thời gian dự báo được trình bày trong Hình 6. Kết quả cho thấy dự báo lũ sử dụng lượng mưa tích hợp cho kết quả tốt hơn đáng kể so với sử dụng sản phẩm của mô hình WRF với giá trị của NSE tăng mạnh và REV giảm xuống ở tất cả các bước thời gian dự báo (trừ 30 giờ đầu ở trận lũ thứ 2 có REV tăng lên). Nếu xét giá trị của NSE lớn hơn 0,7 và REV nhỏ hơn 20% là tiêu chuẩn đánh giá độ tin cậy thì dự báo lũ sử dụng sản phẩm mưa của mô hình WRF ở trận 1 có độ tin cậy cao đến 18 giờ kế tiếp, trong khi sử dụng mưa tích hợp có độ tin cậy cao cho 24 giờ kế tiếp; độ tin cậy đối với trận 2 tương ứng là 24 giờ và 30 giờ. Những kết quả này cho thấy sự cần thiết của việc tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị trong việc nâng cao chất lượng dự báo lũ cho khu vực thượng lưu sông Mã tính đến trạm Mường Lát.

4. Kết luận

Nghiên cứu này được thực hiện để tích hợp lượng mưa dự báo từ mô hình WRF và radar. Lượng mưa dự báo dựa trên radar được chuyển từ độ phân giải 1,5 km về 3 km để khớp với độ phân giải của mô hình WRF, phục vụ cho việc tích hợp tại từng ô lưới. Trọng số tích hợp từ 2 sản phẩm mưa được xác định thông qua chỉ tiêu đánh giá chất lượng dự báo CSI và định lượng dự báo RMSE. Độ lệch trung bình giữa hỗn hợp mới tạo ra và mô hình số trị cho khoảng thời gian 6 giờ ở các khu vực tiếp tục được tính toán và cộng thêm vào lượng mưa dự báo từ mô hình WRF cho khoảng thời gian dự báo sau 6 giờ với mục đích phục vụ cho nâng cao chất lượng dự báo lũ. Kết quả cho thấy, đối với khoảng thời gian dự báo 6 giờ, kỹ năng dự báo mưa từ mô hình WRF cho kết quả không tốt bằng từ radar. Sau khi tích hợp 2 nguồn, hỗn hợp mưa dự báo đã thể hiện kỹ năng tốt hơn so với mô hình WRF và radar cả về mặt chất lượng, định lượng và tương quan. Đối với khoảng thời gian dự báo sau 6 giờ, các chỉ tiêu POD, FAR, CSI, RMSE và hệ số tương quan thay đổi không đáng kể, trong khi chỉ số ME tiến gần về 0. Tương ứng với sự cải thiện về chất lượng dự báo mưa, độ chính xác dự báo dòng chảy tăng lên đáng kể với giá trị của NSE tăng lên và REV giảm xuống. So sánh với sử dụng lượng mưa dự báo từ mô hình WRF, độ tin cậy của khoảng thời gian dự báo dòng chảy sử dụng lượng mưa tích hợp tăng từ 18 giờ lên 24 giờ đối với trận 1 và từ 34 giờ lên 30 giờ đối với trận 2. Điều này cho thấy khả năng tăng được độ chính xác dự báo lũ bằng việc tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị.

Kết quả của nghiên cứu đã cho thấy sự cần thiết phải tích hợp lượng mưa dự báo dựa trên radar với mô hình số trị để nâng cao chất lượng dự báo lũ ở thượng lưu lưu vực sông Mã. Tuy nhiên, phương pháp áp dụng mới chỉ được áp dụng cho một khu vực cụ thể, khả năng áp dụng cho các lưu vực khác ở Việt Nam vẫn còn chưa được xác định. Vì vậy, trong thời gian tới, nghiên cứu sẽ tiếp tục mở rộng ra cho các lưu vực khác trên toàn Việt Nam.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự hỗ trợ về mặt dữ liệu và phương pháp luận của đề tài 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, thuộc chương trình TNMT.02/21-25 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. Lin, C.; Vasic, S.; Kilambi, A.; Turner, B.; Zawadzki, I. Precipitation forecast skill of numerical weather prediction models and radar nowcasts. *Geophys. Res. Lett.* **2005**, *32*, L14801.
2. Wang, D.; Wang, G.L. Comparisons Analysis on Short-Term Precipitation between the Radar-Based Extrapolation and the Meso-Scale Numerical Model Weather Prediction. *Plateau Meteorol.* **2014**, *33*, 811–822.
3. Berenguer, M.; Surcel, M.; Zawadzki, I.; Xue, M.; Kong, F. The diurnal cycle of precipitation from continental radar mosaics and numerical weather prediction models. Part II: Intercomparison among numerical models and with nowcasting. *Mon. Weather Rev.* **2012**, *140*, 2689–2705.
4. Nerini, D.; Foresti, L.; Leuenberger, D.; Robert, S.; Germann, U. A reduced-space ensemble Kalman filter approach for flow-dependent integration of radar extrapolation nowcasts and NWP precipitation ensembles. *Mon. Weather Rev.* **2019**, *147*, 987–1006.
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. Yu, W.; Nakakita, E.; Kim, S.; Yamaguchi, K. Improvement of rainfall and flood forecasts by blending ensemble NWP rainfall with radar prediction considering orographic rainfall. *Hydrol. J.* **2015**, *531*, 494–507.
8. Atencia, A.; Rigo, T.; Sairouni, A.; More, J.; Bech, J.; Vilaclara, E.; Cunillera, J.; Llasat, M.C.; Garrote, L. Improving QPF by blending techniques at the meteorological service of Catalonia. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **2010**, *10*, 1443–1455.
9. Bowler, N.; Pierce, C.; Seed, A. STEPS: a probabilistic precipitation forecasting scheme which merges an extrapolation nowcast with downscaled NWP. *Q J R Meteorol Soc.* **2006** *132*, 2127–2155.
10. 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.
11. Wong, W.K.; Lai, E.S.T. RAPIDS—Operational Blending of Nowcast and NWP QPF. In Proceedings of the 2nd International Symposium on Quantitative Precipitation Forecasting and Hydrology, Boulder, CO, USA, 4–8 June 2006.
12. Wong, W.K.; Yeung, L.; Wang, Y.C.; Chen, M.X. Towards the blending of NWP with nowcast: Operation experience in B08FDP. In Proceedings of the World Weather Research Program Symposium on Nowcasting, Whistler, BC, Canada, 30 August–4 September 2009.
13. Wilson, J.; Xu, M. Experiments in blending radar echo extrapolation and NWP for nowcasting convective storms. In Proceedings of the Fourth European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, Barcelona, Spain, 18–22 September 2006, pp. 519–522.
14. Yoon, S.S. Adaptive Blending Method of Radar-Based and Numerical Weather Prediction QPFs for Urban Flood Forecasting. *Remote Sens.* **2019**, *11*, 642.
15. Wang, J.; Wang Z.; Ye, J.; Lai, A.; Ma, H.; Zhang, W. Technical Evaluation of Precipitation Forecast by Blending Weather Radar Based on New Spatial Test Method. *Remote Sens.* **2023**, *15*, 3134.

16. Cheng, C.L.; Chen, M.X. Short-term quantitative precipitation forecast experiments based on blending of nowcasting with numerical weather prediction. *Acta Meteorol. Sin.* **2013**, 71, 397–415.
17. Imhoff, R.O.; Cruz, L.D.; Dewettinck, W.; Brauer, C.C.; Uijlenhoet, R.; Heeringen, K.V.; Velasco_Forero, C.; Nerini, D.; Ginderachter, M.V.; Weerts, A.H. Scale-dependent blending of ensemble rainfall nowcasts and numerical weather prediction in the open-source pysteps library. *Q. J. R. Meteorolog. Soc. Quarterly* **2023**, 149, 1335–1364.
18. Kober, K.; Craig, G.C.; Keil, C.; Dörnbrack, A. Blending a probabilistic nowcasting method with a high-resolution numerical weather prediction ensemble for convective precipitation forecasts. *Q. J. R. Meteorolog. Soc. Quarterly* **2012**, 138, 755–768.
19. Khiêm, M.V.; Wang-chun, W.; Wai-kin, W.; Lun, Y.S.; Tiến, D.Đ.; Hung, M.K.; Quân, Đ.Đ.; Dung, P.T.P.; Nga, N.T.; Trang, C.T.H. Thử nghiệm ứng dụng radar kết hợp mô hình số trị trong dự báo mưa hạn cực ngắn. *Tạp chí Khoa học Trái đất và Môi trường* **2021**, 3, 63–72.
20. Denmark Hydraulic Institute (DHI). MIKE ZERO The Common DHI User Interface for Project Oriented Water Modelling User Guide, DHI, 2014.

Accuracy improvement of flood forecast by blending radar-based rainfall prediction with numerical weather prediction rainfall product

Nguyen Hoang Minh^{1*}, Phung Tien Dung¹, Vu Thi Thanh Van¹, Doan Van Hai¹, Mai Van Khiem¹

¹ National Centre for Hydro-Meteorological Forecasting, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; hoangminh281287@gmail.com; ptdung77@gmail.com; vtvan7702@gmail.com; hai110684@gmail.com; maikhiem77@gmail.com

Abstract: This study was conducted to blend radar-based rainfall prediction with numerical model (NWP) outputs to improve the accuracy of flood forecasting. The hybrid rainfall for the 6 hours ahead is generated by determining the weights of the products based on the values of critical success index (CSI) and root mean square error (RMSE) in the previous time step window. For the longer lead time, the mean error field between the hybrid with NWP at 6 hours is calculated and added to longer forecast periods. This method is applied to 2 flood events occurring in 2020 and 2021 in the upstream area of Ma River basin. The results show that hybrid has a significantly higher accuracy than the NWP at the 6-hour ahead but does not change much at longer lead time except the mean error (ME). Corresponding to the improvement of precipitation forecast, the flood prediction accuracy increased significantly with the value of Nash Sutcliffe efficiency (NSE) increased and relative error in volumn (REV) decreased. These results demonstrated the necessity of blending radar-based precipitation forecasting with NWP output.

Keywords: Flood forecasting; NWP; Radar-based rainfall prediction; Blending.