

ĐÁNH GIÁ SẢN PHẨM MƯA DỰ BÁO TỔ HỢP TỪ CÁC MÔ HÌNH DỰ BÁO MƯA SỐ TRỊ TOÀN CẦU: ỨNG DỤNG CHO LƯU VỰC SÔNG KONE

Đỗ Anh Đức

Viện Thủy điện và Năng lượng tái tạo

Nguyễn Thị Thu Hà, Ngô Lê An

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Sản phẩm mưa dự báo tổ hợp từ các mô hình số trị đã được sử dụng rộng rãi trong tác nghiệp dự báo lũ tại các trung tâm dự báo trên thế giới. Nghiên cứu này tập trung đánh giá chất lượng sản phẩm mưa dự báo tổ hợp thời đoạn 6h và thời gian dự báo lên tới 10 ngày của mô hình dự báo thời tiết số trị toàn cầu (NWP) với độ phân giải $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ đến từ 4 trung tâm khác nhau gồm trung tâm dự báo thời tiết hạn vừa của châu Âu (ECMWF), Cơ quan khí tượng Nhật bản (JMA), Cơ quan khí tượng Hàn Quốc (KMA), và Trung tâm quốc gia về dự báo môi trường (NCEP). Đánh giá được tiến hành cho lưu vực sông Kone trong thời gian mùa lũ các năm từ 2014 đến 2018 sử dụng các chỉ số đánh giá dự báo tất định và chỉ số đánh giá dự báo xác suất. Kết quả đánh giá cho thấy các sản phẩm mưa tổ hợp này có tiềm năng cao để cung cấp các giá trị dự báo xác suất, đặc biệt với thời gian dự báo lên tới 48h. Trong bốn mô hình số trị xem xét ở trên, mô hình ECMWF đều nhất quán cho kết quả dự báo mưa tốt nhất và mô hình NCEP cho ra kỹ năng dự báo mưa kém nhất theo các chỉ tiêu kiểm định dự báo tất định và xác suất được xem xét trong bài báo. Những kết quả đánh giá trong bài báo có ý nghĩa quan trọng khi xem xét sử dụng sản phẩm mưa dự báo tổ hợp của các mô hình số trị để kéo dài thời gian dự báo dòng chảy hỗ trợ kiểm soát lũ và vận hành hồ chứa theo thời gian thực.

Từ khoá: mưa dự báo tổ hợp, mô hình dự báo thời tiết số trị, NWP, lưu vực sông Kone,...

Summary: The use of rainfall forecasts derived from numerical weather prediction (NWP) models has recently become a common approach to improve the lead time of streamflow forecasts for flood control and real-time reservoir operation. However, evaluation of rainfall forecasts is often required before it can be used as input to hydrological models for flood forecasting. This paper, therefore, presents an assessment of NWP-based ensemble forecasts of rainfall for flood forecasting. Four global NWP models are chosen for this study including ECMWF, JMA, KMA, and NCEP. The assessment is carried out for the Kone river basin in Vietnam during flood seasons (September to December) during 2014–2018. The results are compared using multiple deterministic and probabilistic forecast verifications calculated at the original model grid value of 0.5° resolution, compared to gridded rainfall station data at different lead times (up to +10 days). The results show that ECMWF has the highest skill in rainfall forecast over the basin while NCEP showed the worst skillful rainfall forecasts in most cases considered. The findings of the paper have important implications for the use of ensemble NWP rainfall forecasts in hydrological modeling, particularly for flood forecasting.

Keywords: ensemble rainfall forecast, numerical weather prediction model, NWP-based ensemble forecasts, Kone river

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dự báo dòng lũ là một thành phần thiết yếu trong hệ thống quản lý lũ và vận hành hồ chứa

theo thời gian thực. Jain and Singh (2003) và Nohara et al. (2018) cũng như một số nghiên cứu khác trên thế giới về vận hành hồ chứa theo thời gian thực đã chỉ ra rằng hiệu ích của vận hành hồ chứa theo thời gian thực có thể tăng đáng kể nếu cải thiện kết quả dự báo dòng chảy lũ đến hồ. Trong bài toán dự báo lũ,

Ngày nhận bài: 13/9/2019

Ngày thông qua phản biện: 11/10/2019

Ngày duyệt đăng: 15/10/2019

đặc biệt với bài toán yêu cầu thời gian dự báo lớn hơn thời gian tập trung dòng chảy trên lưu, dự báo mưa định lượng (Quantitative Precipitation Forecasts – QPF) luôn là một vấn đề được ưu tiên và là thách thức lớn trong dự báo tác nghiệp trên thế giới bởi vì mưa có tính biến động lớn theo không gian và thời gian. Trong những năm gần đây, với sự phát triển của ngành khoa học khí quyển và những tiến bộ về khoa học máy tính, nhiều mô hình dự báo thời tiết số trị (numerical weather prediction (NWP)) đã được xây dựng và phát triển tại rất nhiều trung tâm hay các cơ quan khí tượng trên thế giới, cung cấp rất nhiều sản phẩm dự báo khí tượng tổ hợp với thời gian dự báo kéo dài (có thể lên tới 15 ngày), ví dụ trung tâm dự báo thời tiết hạn vừa của châu Âu ECMWF, Cơ quan khí tượng Nhật bản JMA, Cơ quan khí tượng Hàn Quốc KMA,... Do đó, các trung tâm dự báo trên thế giới và khu vực thường dùng sản phẩm dự báo mưa tổ hợp của các mô hình dự báo thời tiết số trị này để cung cấp các bản tin dự báo mưa định lượng, từ đó cung cấp các kết quả dự báo lũ tổ hợp, phục vụ cho công tác vận hành hồ chứa và quản lý lũ theo thời gian thực (Cai, Wang and Li, 2018; Sikder and Hossain, 2018). Cần chú ý rằng, tất cả những hệ thống dự báo tổ hợp của các mô hình dự báo thời tiết số trị đều dựa trên phương pháp tạo nhiễu động điều kiện ban đầu và N lần tích phân mô hình số trị với các trường ban đầu đó để tạo nên các sản phẩm dự báo thành phần tổ hợp (ensemble members) (Park, Buizza and Leutbecher, 2008). Các sản phẩm dự báo thành phần của mô hình số trị này kết hợp với một kết quả dự báo kiểm soát của mô hình đó (từ một phân tích “trung tâm”, thường là phân tích không tạo nhiễu động điều kiện ban đầu) sẽ tạo nên tổ hợp dự báo của mô hình số trị (ensemble forecast). Các kết quả dự báo thành phần và dự báo kiểm soát của biến mưa đạt được từ mô hình số trị sẽ được đưa vào các mô hình thủy văn để tạo ra tổ hợp dự báo dòng chảy lũ. Từ quan điểm và rất nhiều

nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra rằng, dự báo dòng chảy tổ hợp có thể giúp cải thiện vận hành hồ chứa theo thời gian thực, nghiên cứu này sẽ tập trung đánh giá về khả năng khai thác sản phẩm dự báo mưa tổ hợp từ các mô hình dự báo thời tiết số trị toàn cầu, trong điều kiện số liệu đo đạc mưa tại trạm thừa thớt. Lưu vực sông Kone được lựa chọn để nghiên cứu vì đây là khu vực mưa lũ thường xuyên, có cường độ mưa lớn, trong khi đó sông suối ngắn có độ dốc lớn, lưới trạm đo mưa phía thượng lưu lưu vực tương đối thưa thớt. Do vậy, việc nghiên cứu khả năng khai thác của sản phẩm mưa dự báo tổ hợp từ các mô hình số trị toàn cầu nhằm kéo dài thời gian dự báo lũ là rất cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn cao.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Sản phẩm mưa dự báo số trị

Hiện nay, có 11 mô hình NWP từ các trung tâm dự báo thuộc các quốc gia khác nhau tham gia cung cấp số liệu dự báo tổ hợp toàn cầu với độ phân giải không gian là $0,5^0 \times 0,5^0$ và bước thời gian là 6 giờ. Các trung tâm này bao gồm Cục khí tượng Úc BoM (Bureau of Meteorology of Australia), Trung tâm khí tượng Trung Quốc (CMA), Trung tâm nghiên cứu khí hậu và dự báo thời tiết (CPTEC), Trung tâm môi trường và biến đổi khí hậu Canada (ECCC), Trung tâm dự báo thời tiết hạn vừa của châu Âu (ECMWF), Cơ quan khí tượng Nhật bản (JMA), Cơ quan khí tượng Hàn Quốc (KMA), Cơ quan khí tượng quốc gia Pháp (Meteo-France), Văn phòng khí tượng vương quốc Anh (UKMO), Trung tâm quốc gia về dự báo môi trường (NCEP), và Trung tâm quốc gia về dự báo thời tiết hạn vừa (NCMRWF). Thời gian công bố số liệu và thời gian có sẵn số liệu của các trung tâm trên là không giống nhau, do đó nghiên cứu này chỉ sử dụng sản phẩm mưa từ 4 mô hình số trị đến từ ECMWF, JMA, KMA, và NCEP vì cả 4 mô hình này đều có số liệu đồng nhất từ năm 2014 – nay.

Thông tin về số tổ hợp, thời gian dự báo và thời gian phát kết quả dự báo được lựa chọn cho 4 mô hình số trị này được trình bày trong bảng 1 dưới đây.

Bảng 1: Thông tin về các trung tâm dự báo cung cấp dự báo tổ hợp toàn cầu được lựa chọn sử dụng trong bài báo

Tên viết tắt của trung tâm	Tên đầy đủ của trung tâm/ thành phố/ quốc gia hoặc vùng	Số tổ hợp + dự báo kiểm soát	Thời gian dự báo (ngày)	Thời gian phát kết quả dự báo trong ngày
ECMWF	Trung tâm dự báo thời tiết hạn vừa của châu âu (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), Reading, Europe	50+1	6h tới 10 ngày	00:00 UTC
JMA	Cơ quan khí tượng Nhật bản (Japan Meteorological Agency), Tokyo, Japan	26+1	6h tới 10 ngày	00:00 UTC
KMA	Cơ quan khí tượng Hàn Quốc (Korea Meteorological Administration), Seoul, Korea	23+1	6h tới 10 ngày	00:00 UTC
NCEP	Trung tâm quốc gia về dự báo môi trường (National Centres for Environmental Prediction, Washington), DC, USA, phối hợp với Trung tâm quốc gia về nghiên cứu khí quyển (The National Center for Atmospheric Research (NCAR)), Boulder, CO, USA	20+1	6h tới 10 ngày	00:00 UTC

2.2. Dữ liệu mưa thực đo

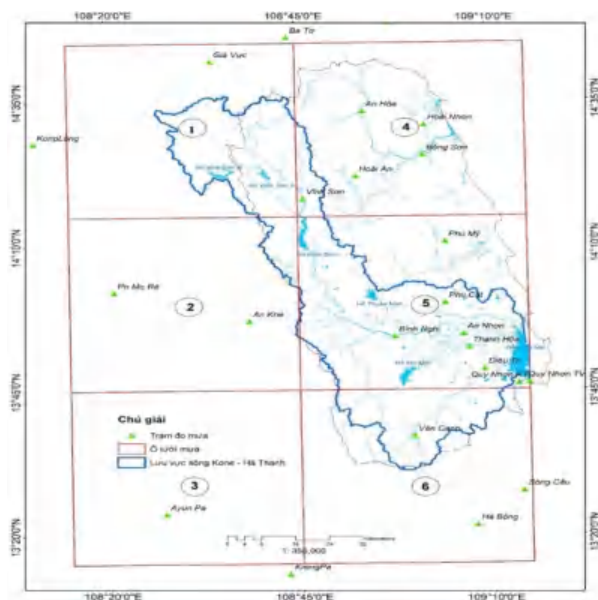
Số liệu thực đo thời đoạn 6 giờ của 24 trạm mưa ở trong và lân cận lưu vực sông Kone các tháng mùa lũ (từ tháng 9 đến tháng 12) trong các năm từ 2014 đến năm 2018, được sử dụng để làm cơ sở đánh giá chất lượng dữ liệu từ 4 mô hình số trị được lựa chọn ở trên. Vị trí các trạm và các ô lưới của mô hình số trị được trình bày trên Hình 1. Như vậy, ô lưới số 1, 4, 5 và 6 sẽ được sử dụng trong nghiên cứu khi chúng chứa đựng diện tích các phần của lưu vực sông Kone và lân cận.

Dữ liệu mưa dự báo từ các mô hình số trị được thể hiện bằng giá trị trung bình trong các ô lưới có độ phân giải 0,5°, trong khi các dữ liệu đo tại trạm thể hiện tại các điểm. Để so sánh

và đánh giá chất lượng mưa dự báo tổ hợp với kết quả đo tại trạm, nghiên cứu đã sử dụng phương pháp nội suy nghịch đảo khoảng cách IDW (*Inverse Distance Weight*) để nội suy lượng mưa trung bình ô lưới trên lưu vực sông Kone và vùng phụ cận từ các dữ liệu đo tại các trạm. Giá trị trung bình của ô lưới thực đo được tính theo công thức (1).

$$R_{\text{ô lưới}} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i \cdot \frac{1}{D_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i^2}} \quad (1)$$

Trong đó: $R_{\text{ô lưới}}$ là lượng mưa tính toán tại ô lưới, n là số trạm đo mưa, R_i là trị số đo mưa tại trạm i , D_i là khoảng cách từ trạm đo mưa thứ i đến tâm ô lưới tính toán.



Hình 1: Vị trí trạm đo mưa và ô lưới $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ của các mô hình số trị sử dụng trong nghiên cứu

2.3. Các chỉ số đánh giá sản phẩm mưa dự báo

Trong hệ thống dự báo tổ hợp, để đánh giá sản phẩm dự báo, người ta chia kết quả dự báo ra thành hai dạng dự báo là: Dự báo tất định và dự báo xác suất. Việc đánh giá chất lượng của sản phẩm dự báo mưa cho bốn mô hình dự báo thời tiết số trị sẽ được đánh giá theo các chỉ tiêu dự báo tất định và dự báo xác suất.

2.3.1. Chỉ số đánh giá dự báo tất định (deterministic forecasts):

Các chỉ số này sẽ được đánh giá cho sản phẩm dự báo kiểm soát (control) và sản phẩm dự báo trung bình tổ hợp (ensemble-mean). Các chỉ số dự báo tất định được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm:

a. Hệ số tương quan r (Correlation coefficient)

Hệ số tương quan r cho phép đánh giá mối quan hệ tuyến tính giữa tập giá trị dự báo và tập giá trị quan trắc. Giá trị tuyệt đối của hệ số tương quan càng lớn thì mối quan hệ tuyến tính giữa hai biến càng chặt chẽ.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f})(o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})^2}} \quad (2)$$

Trong đó, f_i là giá trị dự báo kiểm soát (hoặc

dự báo trung bình tổ hợp), o_i là giá trị thực đo, $\bar{f}$ và $\bar{o}$ là giá trị trung bình của tập dự báo và tập thực đo với N là chiều dài của tập.

b. Sai số tuyệt đối trung bình MAE (Mean Absolute Error)

Sai số tuyệt đối trung bình MAE biểu thị độ lớn trung bình của sai số dự báo. Giá trị của MAE nằm trong khoảng $(0, +\infty)$.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |f_i - o_i| \quad (3)$$

c. Sai số bình phương trung bình quân phương (RMSE - Root mean square Error)

Sai số bình phương trung bình quân phương biểu thị độ lớn trung bình của sai số dự báo như MAE; tuy nhiên, RMSE rất nhạy với những giá trị sai số lớn. Giá trị của RMSE nằm trong khoảng $(0, +\infty)$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - o_i)^2} \quad (4)$$

2.3.2. Chỉ số đánh giá dự báo xác suất (Probabilistic forecasts):

Nghiên cứu sử dụng các chỉ số dự báo xác suất được miêu tả dưới đây. Để biết thêm chi tiết thủ tục tính toán chúng, bạn đọc có thể tham khảo tài liệu trong Wilks (2011).

a. Điểm số Brier BS (Brier Score) và điểm số kỹ năng Brier BSS (Brier Skill Score)

Điểm số BS đánh giá sai số bình phương trung bình của tập giá trị xác suất dự báo tại một ngưỡng xác suất nào đó sao cho giá dự báo lượng mưa vượt ngưỡng q tương ứng với ngưỡng xác suất đó. Giá trị của BS nằm trong khoảng $(0 \text{ tới } 1)$. Giá trị lý tưởng là 0.

$$BS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{F_{f_i}(q) - F_{o_i}(q)\}^2 \quad (5)$$

Trong đó, $F_{f_i}(q) = Pr[f_i > q]$ và $F_{o_i}(q) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } o_i > q \\ 0 & \text{nếu ngược lại} \end{cases}$

Giá trị BS cho chúng ta biết sai số bình phương trung bình của giá trị dự báo xác suất nhưng không nói lên chất lượng thực của một

hệ thống dự báo. Do đó, điểm số kỹ năng Brier, gọi tắt là BSS, sẽ được sử dụng để so sánh giá trị dự báo với một giá trị dự báo tham chiếu (thường lấy là điều kiện thời tiết trung bình tương ứng xác định từ chuỗi số liệu thực đo). BSS miêu tả phần trăm dự báo được cải thiện so với dự báo tham chiếu, có giá trị trong khoảng $(-\infty$ tới 1).

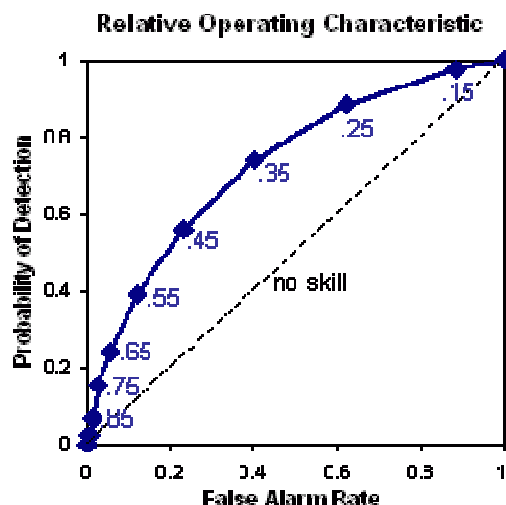
$$BSS = \frac{BS - BS_{ref}}{0 - BS_{ref}} = 1 - \frac{BS}{BS_{ref}} \quad (6)$$

Trong đó, BS_{ref}: Điểm số Brier của giá trị dự báo tham chiếu.

b. Đường cong đặc tính vận hành tương đối ROC (Relative Operating Characteristic)

Đường cong trình bày mối quan hệ giữa xác suất xuất hiện POD (probability of detection) và tỷ phần phát hiện sai FAR (False Alarm Rate) tại một ngưỡng xác suất nào đó sao cho giá dự báo lượng mưa vượt ngưỡng q tương ứng với ngưỡng xác suất đó. Nếu đường cong này nằm dọc theo đường chéo hàm ý rằng dự báo không kỹ năng (no skill), nếu đường cong hướng càng xa về góc bên trái trên cùng của biểu đồ hàm ý dự báo càng có kỹ năng cao, và nếu đường cong nằm dưới đường chéo hàm ý rằng dự báo kỹ năng âm (minh họa trong Hình 2). Để xây dựng đường cong ROC, ngưỡng xác suất được chọn để đánh giá cũng là 75% hoặc tần suất tương ứng là 25%, sau đó sử dụng một tập các giá trị xác suất tăng dần (ví dụ 0.05, 0.15, 0.25, ...) để tính toán các giá trị POD và FAR tương ứng.

POD là xác suất xuất hiện hiện tượng, bằng tỷ số giữa số lần trùng khớp giữa mô hình và quan trắc khi hiện tượng có xuất hiện (hits) và tổng số lần xuất hiện hiện tượng trong thực tế. POD cho biết khả năng thành công của mô hình, có giá trị trong khoảng từ 0 đến 1. FAR cho biết tỷ lệ mô phỏng/dự báo không của mô hình (mô hình cho kết quả có nhưng thực tế hiện tượng không xảy ra). Giá trị của FAR biến đổi từ 0 cho đến 1.



Hình 2: Minh họa đường cong ROC (WWRP/WGNE, no date)

c. Điểm số xác suất hạng liên tục CRPS (Continuous Ranked Probability Score) và Điểm số kỹ năng xác suất hạng liên tục CRPSS (Continuous Ranked Probability Skill Score)

CRPS đánh giá mức độ phù hợp giữa phân bố xác suất lũy tích của giá trị dự báo tổ hợp cho toàn bộ phạm vi những giá trị có thể (không cần xác định trước giá trị ngưỡng xác suất như BSS hay ROC ở trên) với phân bố xác suất lũy tích của giá trị thực đo tương ứng.

$$CRPS = \int_{-\infty}^{\infty} \{F_f(x) - F_o(x)\}^2 dx \quad (7)$$

Trong đó, $F_f(q)$ là xác suất lũy tích của giá trị dự báo, và $F_o(q)$ là xác suất lũy tích của giá trị thực đo.

Giá trị $\overline{CRPS}$ là giá trị CRPS được tính trung bình cho tất cả N cặp giá trị dự báo và thực đo. Giống như BS và BSS, để so sánh giá trị dự báo với một giá trị dự báo tham chiếu, nghiên cứu cũng dùng điểm số kỹ năng xác suất hạng liên tục, gọi tắt là CRPSS.

$$CRPSS = 1 - \frac{\overline{CRPS}}{\overline{CRPS}_{ref}} \quad (8)$$

Trong đó $\overline{CRPS}_{ref}$ là giá trị CRPS trung bình của một dự báo tham khảo.

d. Biểu đồ tần số xếp hạng (Rank histogram)

Biểu đồ tần số không cho biết các điểm số cụ

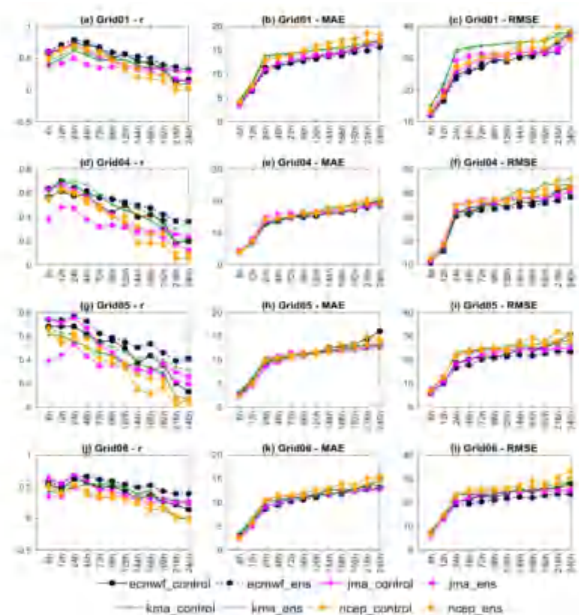
thể mà nó thường được sử dụng để đánh giá bằng mất chất lượng của hệ thống dự báo tổ hợp liên quan đến mức độ phân tán (spread) của các giá trị dự báo tổ hợp. Và cho biết vị trí giá trị quan trắc đặt ở đâu giữa các thành viên được xếp hạng của dự báo tổ hợp, do đó, cho ta biết mức độ phân tán của các giá trị dự báo tổ hợp.

3. KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ

3.1. Kết quả đánh giá dự báo tất định

Hình 2, trình bày kết quả đánh giá dự báo mưa tất định từ 4 mô hình cho 4 ô lưới bao gồm phần lớn diện tích của lưu vực sông Kone và vùng lân cận lưu vực tại các thời gian dự báo khác nhau, sử dụng chỉ số đánh giá tất định bao gồm: r , MAE và RMSE. Trước tiên, đánh giá tương quan giữa các tập giá trị dự báo và thực đo tại các thời gian dự báo khác nhau (từ +6h tới +240h). Có thể thấy rằng, hệ số tương quan giữa giá trị dự báo và giá trị thực đo giảm khi thời gian dự báo tăng. Nhìn chung phần lớn các kết quả dự báo kiểm soát và trung bình tổ hợp tại các ô lưới xem xét đều cho hệ số $r > 0,5$ khi thời gian dự báo nhỏ hơn +48h. Trong 4 ô lưới xem xét, ô lưới 4 và 5 thường cho giá trị r cao hơn ô lưới 1 và 6 tại các thời gian dự báo tương ứng. Điều này có thể lý giải do mật độ trạm quan trắc mưa trong ô lưới 4 và 5 cao hơn trong các ô lưới 1 và 6, và do đó có thể phản ánh chính xác hơn giá trị mưa lưới thực đo cho các ô lưới 4 và 5 này. So sánh giá trị tương quan giữa các mô hình và giữa tập giá trị dự báo kiểm soát và trung bình tổ hợp, có thể thấy mô hình ECMWF gần như cho kết quả tốt nhất tại tất cả các thời gian dự báo, và tập giá trị dự báo trung bình tổ hợp của ECMWF cho kết quả tốt hơn tập giá trị dự báo kiểm soát. Trong khi đó, mô hình NCEP và tập giá trị dự báo trung bình tổ hợp đến từ mô hình JMA là cho kết quả r thấp nhất tại hầu hết các thời gian dự báo. Nếu nhìn vào biểu đồ tán xạ trong Hình 3 biểu diễn quan hệ giữa giá trị dự báo kiểm soát và giá trị thực đo minh họa tại một số thời gian dự báo, có thể thấy rằng, hầu

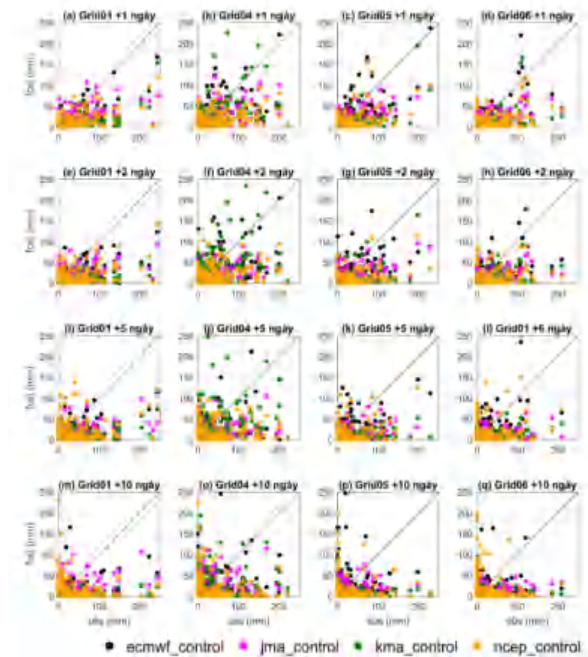
hết cả 4 ô lưới đều cho giá trị dự báo thấp hơn rất nhiều giá trị thực đo khi có mưa lớn tại các thời gian dự báo $< +48h$. Đối với thời gian dự báo dài (ví dụ 5 ngày và 10 ngày như trình bày trong Hình 3), có thể thấy giá trị dự báo và thực đo phân tán rất lớn.



Hình 3: Kết quả đánh giá dự báo tất định (hệ số tương quan r , MAE và RMSE) cho ô lưới số 1 (Grid01), 4 (Grid04), 5 (Grid05) và 6 (Grid06) tại các thời gian dự báo khác nhau. Tên mô hình ghép với “control” có nghĩa là sản phẩm dự báo mưa kiểm soát, còn nếu ghép với “ens” có nghĩa là sản phẩm dự báo trung bình tổ hợp.

Về đánh giá độ lớn sai số trung bình dự báo thông qua các chỉ số đánh giá MAE và RMSE, cũng có thể thấy giá trị MAE và RMSE tăng dần khi thời gian dự báo tăng. So sánh kết quả MAE giữa các mô hình và giữa tập giá trị dự báo kiểm soát và trung bình tổ hợp, cho thấy không có sự khác biệt nhiều về giá trị MAE giữa các mô hình hoặc giữa tập giá trị dự báo kiểm soát và tổ hợp, đặc biệt đối với ô lưới 4 và 5. Trong khi, đối với đánh giá sai số trung bình dự báo sử dụng chỉ số RMSE, có thể thấy rõ sự khác biệt về sai số dự báo giữa các mô hình. Tập giá trị dự báo kiểm soát và trung

biên tổng hợp đến từ mô hình ECMWF cho giá trị RMSE thấp nhất tại hầu hết các thời gian dự báo, trong khi giá trị RMSE cao nhất đến từ mô hình NCEP và KMA.

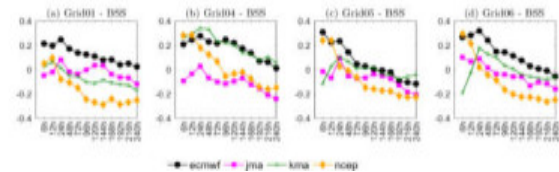


Hình 4: Minh họa quan hệ giữa số liệu dự báo mưa kiểm soát và thực đo tại các thời gian dự báo +1 ngày, +2 ngày, +5 ngày và +10 ngày cho các ô lưới số 1, 4, 5, và 6. Trục hoành (ký hiệu obs) là giá trị thực đo, trong khi trục tung (ký hiệu fcst) là giá trị dự báo.

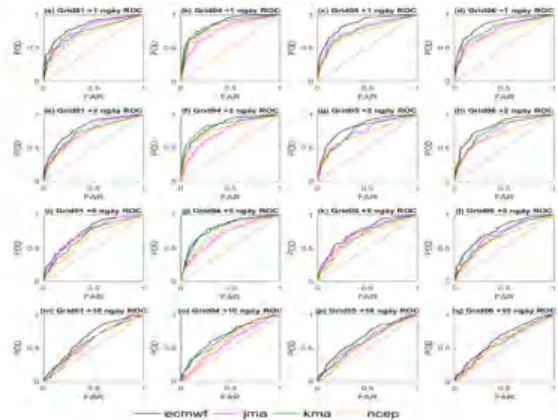
3.2. Kết quả đánh giá dự báo xác suất

Hình 5, trình bày kết quả đánh giá mức độ sai số trung bình của dự báo xác suất sử dụng điểm số kỹ năng Brier (BSS) cho ngưỡng tần suất 25% như một hàm của thời gian dự báo. Nhìn chung, cho tất cả các trường hợp tính toán, hệ thống dự báo tổ hợp của mô hình ECMWF đều cho ra các giá trị BSS lớn nhất, ngoại trừ ô lưới số 4, ở đó, giá trị BSS từ mô hình ECMWF và KMA là tương đương tại phần lớn các thời gian dự báo. Hệ thống dự báo tổ hợp của mô hình ECMWF đều cho các giá trị BSS >0 cho tất cả các thời gian dự báo nhỏ hơn +96h, hay nói cách khác, kết quả dự báo tổ hợp từ mô hình ECMWF đều có kỹ năng dự báo tốt hơn dự báo tham khảo tại

ngưỡng tần suất 25% cho các thời gian dự báo nhỏ hơn +96h. Ba hệ thống dự báo tổ hợp còn lại có kỹ năng dự báo tương đối thấp so với dự báo tham khảo, đặc biệt khi thời gian dự báo >24h, tại ngưỡng tần suất 25%, ngoại trừ hệ thống dự báo tổ hợp KMA cho ô lưới số 4 đã nói ở trên.



Hình 5: Kết quả tính toán chỉ số BSS cho ngưỡng tần suất 25%

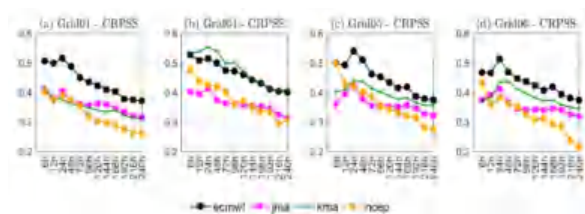


Hình 6: Đường cong đặc tính vận hành tương đối (ROC) biểu diễn quan hệ giữa chỉ số POD và FAR cho ngưỡng tần suất 25% minh họa tại các thời gian dự báo +1 ngày, +2 ngày, +5 ngày và +10 ngày.

Hình 6 minh họa đường cong đặc tính vận hành tương đối (ROC) biểu diễn quan hệ giữa chỉ số POD và FAR tại một số thời gian dự báo (+1 ngày, +2 ngày, +5 ngày và +10 ngày) dự báo xác suất lượng mưa vượt ngưỡng tương ứng với ngưỡng tần suất 25%. Cần nhắc lại rằng, nếu đường cong càng gần góc trên cùng bên trái, có nghĩa là giá trị POD càng cao và giá trị FAR càng thấp, do đó chất lượng dự báo đạt được càng tốt. Trong Hình 6 có thể thấy, đường cong ROC cho tất cả các trường hợp tính toán tại các thời gian dự báo 24h và 48h, đều gần về phía góc bên trái hơn tại các thời gian dự báo +120h

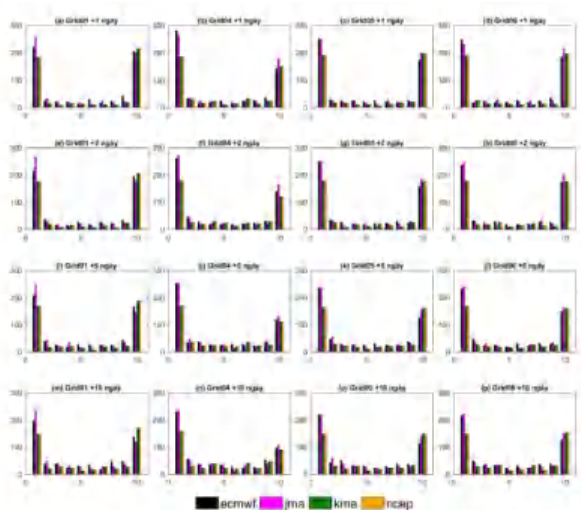
và +240h. Tại thời gian dự báo +240h, có thể thấy, dự báo gần như không có kỹ năng khi các đường cong ROC này rất gần với đường thẳng chéo. Từ kết quả đánh giá sử dụng đường cong ROC, cũng đi đến kết luận rằng hệ thống dự báo tổ hợp của ECMWF cho kỹ năng dự báo tốt hơn các mô hình khác cho tất cả các trường hợp tính toán, ngoại trừ ô lưới số 4, ở đó kỹ năng dự báo của KMA là tương đương với ECMWF giống như kết luận đối với đánh giá sử dụng chỉ số BSS ở trên.

Cả hai chỉ số đánh giá BSS và ROC đều liên quan đến đánh giá mức độ sai số trung bình của dự báo xác suất của các hệ thống dự báo mưa tổ hợp liên quan đến một ngưỡng xác suất xác định trước. Để đánh giá sai số trung bình dự báo xác suất của hệ thống dự báo mưa tổ hợp cho toàn bộ phạm vi những giá trị có thể mà không cần xác định trước giá trị ngưỡng xác suất, Hình 7 trình bày kết quả tính toán điểm số kỹ năng xác suất xếp hạng liên tục (CPRSS) như một hàm của thời gian dự báo. Nhìn chung, tất cả các sản phẩm dự báo mưa tổ hợp từ 4 mô hình số trị này đều cho kỹ năng dự báo cao hơn một dự báo tham khảo khi chúng đều cho giá trị $CPRSS > 0$, và giá trị CPRSS giảm dần khi thời gian dự báo tăng. Nếu so sánh giá trị CPRSS của cả 4 mô hình, có thể thấy rõ ràng sản phẩm dự báo mưa tổ hợp đến từ mô hình ECMWF thường xuyên cho giá trị CPRSS cao hơn rất nhiều giá trị CPRSS đến từ các mô hình còn lại tại gần như tất cả các thời gian dự báo. Sản phẩm dự báo mưa tổ hợp đến từ mô hình NCEP, nhìn chung cho giá trị CPRSS thấp nhất tại phần lớn các thời gian dự báo được xem xét trong bài báo này.



Hình 7: Kết quả chỉ số CPRSS trung bình cho 4 ô lưới tại các thời gian dự báo khác nhau

Cuối cùng, Hình 8 trình bày biểu đồ tần số xếp hạng cho cả 4 hệ thống mưa dự báo tổ hợp minh họa tại các thời gian dự báo +1 ngày, +2 ngày, +5 ngày và +10 ngày. Như đã nói ở trên, biểu đồ tần số xếp hạng để đánh giá về độ tin cậy và tính nhất quán của hệ thống dự báo tổ hợp. Một hệ thống dự báo tổ hợp được coi là tin cậy nếu nó có độ tán hoàn hảo hay nó chứa đựng toàn bộ phạm vi những giá trị có thể được nhiều từ điều kiện ban đầu. Trong tất cả các trường hợp tính toán cho cả 4 hệ thống dự báo mưa tổ hợp cho các ô lưới bao phủ lưu vực sông Kone và vùng phụ cận, tại các thời gian dự báo khác nhau (mặc dù kết quả trình bày ở đây chỉ minh họa tại một số thời gian dự báo như trong Hình 8), biểu đồ tần số xếp hạng đều có dạng hình chữ “U”. Điều này chỉ ra rằng sản phẩm dự báo tổ hợp từ các mô hình thiếu độ phân tán, hay giá trị quan trắc được đặt gần các thành viên dự báo có giá trị nhỏ nhất hoặc cao nhất. Do đó giá trị dự báo xác suất trong tình huống này có thể coi là “quá tự tin”.



Hình 8: Minh họa biểu đồ xếp hạng tần số cho 4 ô lưới tại các thời gian dự báo +1 ngày, +2 ngày, +5 ngày và +10 ngày

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bài báo đã tiến hành thu thập, phân tích và đánh giá sản phẩm mưa dự báo tổ hợp của 4

mô hình số trị toàn cầu gồm ECMWF, JMA, KMA, NCEP cho lưu vực sông Kone trong thời gian mùa lũ trong giai đoạn từ 2014 đến 2018. Từ kết quả đánh giá chất lượng dự báo sử dụng chỉ số đánh giá dự báo tất định cho thấy, cả 4 hệ thống dự báo tổ hợp phần lớn cho hệ số tương quan giữa giá trị dự báo tất định (dự báo kiểm soát và trung bình tổ hợp) và thực đo $r > 0,5$ khi thời gian dự báo nhỏ hơn +48h. Đối với các ô lưới có mật độ trạm đo nhiều hơn (ô lưới số 4 và 5), hệ số r thậm chí đạt trên dưới 0,7. Độ lớn sai số trung bình của tập giá trị dự báo tất định được đánh giá thông qua giá trị MAE và RMSE đều tăng dần khi thời gian dự báo tăng. Ngoài ra, các hệ thống dự báo tổ hợp này phần lớn đều dự báo lượng mưa thiên thấp cho các trường hợp mưa lớn đã xảy ra. So sánh kết quả đánh giá dự báo tất định giữa 4 hệ thống dự báo tổ hợp cho thấy sản phẩm dự báo tổ hợp của mô hình ECMWF có kết quả tốt nhất.

Đối với kết quả đánh giá dự báo xác suất cũng chỉ ra sản phẩm dự báo tổ hợp của mô hình ECMWF cho kỹ năng dự báo xác suất tốt hơn ba hệ thống dự báo tổ hợp còn lại. Kết quả đánh giá dự báo xác suất cho một ngưỡng xác suất cụ thể (nghiên cứu lựa chọn ngưỡng xác suất 75% để minh họa kết quả đánh giá) sử dụng chỉ số BSS cho thấy mô hình chỉ có mô hình ECMWF cho kỹ năng dự báo tốt hơn giá trị dự báo tham khảo khi thời gian dự báo nhỏ hơn +96h, ba mô hình còn lại cho kỹ năng dự báo phần lớn thấp hơn giá trị dự báo tham khảo khi thời gian dự báo lớn hơn +24h. Tuy nhiên, khi đánh giá mức độ sai số trung bình của dự báo xác suất cho toàn bộ phạm vi những giá trị xác suất có thể sử dụng chỉ số

CPRSS, thì cả 4 hệ thống dự báo tổ hợp đều cho kỹ năng dự báo tốt hơn một dự báo tham khảo. Kết quả đánh giá dự báo xác suất sử dụng đường cong quan hệ giữa giá trị POD và FAR cho thấy cả 4 hệ thống dự báo đều có kỹ năng dự báo khi thời gian dự báo nhỏ hơn +48h và kỹ năng dự báo cho ô lưới số 4 và 5 cao hơn cho ô lưới số 1 và 6. Về đánh giá độ tán dự báo tổ hợp cho thấy cả 4 hệ thống dự báo tổ hợp này đều có độ tán không đủ để phản ánh độ tin cậy của hệ thống dự báo tổ hợp hay kết quả dự báo xác suất rơi vào trường hợp dự báo “quá tự tin”.

Bài báo chỉ tập trung đánh giá chất lượng sản phẩm mưa dự báo tổ hợp dưới dạng thô từ bốn (04) mô hình số trị nhằm để có những nhận định về tiềm năng khai thác các sản phẩm này vào trong bài toán dự báo dòng chảy tổ hợp cho kiểm soát lũ và vận hành hồ chứa. Mặc dù đã có một số nghiên cứu sử dụng trực tiếp các sản phẩm dự báo mưa tổ hợp dưới dạng thô trong dự báo dòng chảy lũ đến hồ, ví dụ như trong nghiên cứu của Fan (2015) hay nghiên cứu của He (2010), thì cũng có rất nhiều nghiên cứu kiến nghị việc hiệu chỉnh thống kê các sản phẩm mưa dự báo tổ hợp này trước khi chúng được sử dụng làm số liệu đầu vào trong mô hình thủy văn để nâng cao hiệu quả dự báo dòng chảy lũ, ví dụ Wang *et al.* (2016), Verkade *et al.* (2013), Cai (2018) hay Liu (2018). Do đó, nhóm tác giả cũng kiến nghị những nghiên cứu sau cần tập trung vào nghiên cứu khả năng nâng cao chất lượng dự báo của các sản phẩm mưa dự báo tổ hợp từ các mô hình số trị trước khi chúng có thể được sử dụng cho bài toán dự báo dòng chảy hỗ trợ trong kiểm soát lũ và vận hành hồ chứa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cai, C., Wang, J. and Li, Z. (2018) ‘Improving TIGGE Precipitation Forecasts Using an SVR Ensemble Approach in the Huaihe River Basin’, *Advances in Meteorology*, 2018, pp. 1–15. doi: 10.1155/2018/7809302.

- [2] Fan, F. M. *et al.* (2015) ‘Verification of inflow into hydropower reservoirs using ensemble forecasts of the TIGGE database for large scale basins in Brazil’, *Journal of Hydrology: Regional Studies*. Elsevier B.V., 4(PB), pp. 196–227. doi: 10.1016/j.ejrh.2015.05.012.
- [3] Ganguly, A. R. (2002) ‘Forecasting Rainfall and Floods: Advances and Way Forward’, *ACE 2002: International Conference on Advances in Civil Engineering*.
- [4] He, Y. *et al.* (2010) ‘Ensemble forecasting using TIGGE for the July-September 2008 floods in the Upper Huai catchment: a case study’, *Atmospheric Science Letters*, 11(2), pp. 132–138. doi: 10.1002/asl.270.
- [5] Jain, S. K. (Sharad K. and Singh, V. P. (Vijay P. . (2003) *Water resources systems planning and management*. Elsevier. Available at: <https://www.sciencedirect.com/bookseries/developments-in-water-science/vol/51> (Accessed: 23 May 2019).
- [6] Lettenmaier, D. P. *et al.* (2011) ‘Application of a Medium-Range Global Hydrologic Probabilistic Forecast Scheme to the Ohio River Basin’, *Weather and Forecasting*, 26(4), pp. 425–446. doi: 10.1175/waf-d-10-05032.1.
- [7] Liu, L. *et al.* (2018) ‘Potential application of hydrological ensemble prediction in forecasting flood and its components over the Yarlung Zangbo River Basin, China’, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, (April), pp. 1–33. doi: 10.5194/hess-2018-179.
- [8] Nohara, D. (2018) ‘Real-Time Reservoir Operation for Flood Management Considering Ensemble Streamflow Prediction and Its Uncertainty Real-Time Reservoir Operation for Flood Management Considering Ensemble Stream flow Prediction and Its Uncertainty’, (April). doi: 10.1007/978-981-287-615-7.
- [9] Park, Y., Buizza, R. and Leutbecher, M. (2008) ‘Comparing and Combining Ensembles’, (January).
- [10] Sikder, M. S. and Hossain, F. (2018) ‘Improving operational flood forecasting in monsoon climates with bias-corrected quantitative forecasting of precipitation’, *International Journal of River Basin Management*. Taylor & Francis, 0(0), pp. 1–11. doi: 10.1080/15715124.2018.1476368.
- [11] Verkade, J. S. *et al.* (2013) ‘Post-processing ECMWF precipitation and temperature ensemble reforecasts for operational hydrologic forecasting at various spatial scales’, *Journal of Hydrology*. Elsevier B.V., 501, pp. 73–91. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.07.039.
- [12] Wang, G. *et al.* (2016) ‘Evaluation and Correction of Quantitative Precipitation Forecast by Storm-Scale NWP Model in Jiangsu, China’, *Advances in Meteorology*, 2016. doi: 10.1155/2016/8476720.
- [13] Wilks, D. S. (2011) *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press.
- [14] WWRP/WGNE (no date) *Forecast Verification methods Across Time and Space Scales*. Available at: https://www.cawcr.gov.au/projects/verification/#_Methods_for_forecasts_of_continuous_variables (Accessed: 10 June 2019).