

NGHIÊN CỨU KHAI THÁC DỮ LIỆU DỰ BÁO MƯA HẠN DÀI CHO LƯU VỰC SÔNG TRÀ KHÚC

Đặng Vi Nghiê¹, Ngô Lê An², Nguyễn Thị Thu Hà²

Tóm tắt: Dự báo tài nguyên nước hạn dài đóng vai trò quan trọng trong các bài toán lập kế hoạch sử dụng nước, quản lý tài nguyên nước và các hoạt động khác. Cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ, các sản phẩm mưa dự báo số trị hạn dài ngày càng được nghiên cứu nâng cao chất lượng cũng như mức độ chi tiết. Nghiên cứu này tập trung đánh giá và nâng cao khả năng khai thác dữ liệu dự báo mưa mùa ECMWF-System5 thuộc Trung tâm dự báo hạn vừa châu Âu (ECMWF) ứng dụng cho lưu vực Trà Khúc với thời gian dự kiến dự báo 6 tháng thử nghiệm cho giai đoạn 1993-2016. Hai phương pháp hiệu chỉnh được xem xét là phương pháp hệ số tỷ lệ và phương pháp hồi quy tuyến tính. Kết quả cho thấy, cả hai phương pháp đều giúp cải thiện sai số tuyệt đối trung bình MAE giảm từ trung bình trên 50mm/tháng xuống dưới 10mm/tháng. Tuy nhiên, phương pháp hệ số tỷ lệ lại làm giảm hệ số tương quan R. Còn phương pháp hồi quy tuyến tính không làm thay đổi nhiều hệ số này. Nghiên cứu chỉ ra rằng, phương pháp hồi quy tuyến tính phù hợp để làm tăng chất lượng dữ liệu mưa dự báo hạn dài cho lưu vực Trà Khúc.

Từ khóa: ECMWF-System5, dự báo hạn dài, hiệu chỉnh sai số...

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dự báo hạn dài về tài nguyên nước đóng vai trò quan trọng cho các bài toán lập kế hoạch sử dụng nước, quản lý tài nguyên nước và nhiều hoạt động khác (Pagano và c.s., 2014). Các nghiên cứu về dự báo thủy văn hạn dài trên thế giới đã được thực hiện sớm, từ những nghiên cứu sử dụng các phương pháp thống kê ngẫu nhiên cho đến các phương pháp xem xét các quá trình hình thành mưa-dòng chảy trên lưu vực. Các phương pháp thống kê ngẫu nhiên có nhiều ưu điểm như có thể tính toán nhanh, sử dụng ít loại dữ liệu nhưng chúng thường khó dự báo các trường hợp đặc biệt, nhất là các trường hợp có các dữ liệu nằm ngoài vùng quan trắc. Trong khi đó, nhóm phương pháp mô hình mưa – dòng chảy có thể dự báo được các các trị số “bất thường” vì chúng mô tả hệ thống dựa trên bản chất vật lý. Tuy vậy, nhóm phương pháp này cần phải có kết quả dự báo lượng mưa đầu vào tốt.

Với sự phát triển của khoa học công nghệ, các công nghệ dự báo mưa là đầu vào của dự báo

thủy văn đã có thể cung cấp các kết quả dự báo dài hơn, đa dạng và chi tiết hơn. Rất nhiều các trung tâm khí hậu trên thế giới đã thực hiện các nghiên cứu và dự báo khí tượng hạn ngắn, hạn vừa và hạn dài với các số liệu được cập nhật liên tục. Điều này đã thúc đẩy các nghiên cứu khai thác sử dụng các dữ liệu dự báo này trong bài toán dự báo dòng chảy.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu khai thác các dữ liệu dự báo số trị hạn dài (seasonal forecast) cũng đã được nhiều nhà nghiên cứu thực hiện. Tuy nhiên, một số nghiên cứu mới chỉ dừng lại việc đánh giá chất lượng dữ liệu (Khiêm, Chinh và Hương, 2014; Thành, 2021). Các nghiên cứu về hiệu chỉnh sai số của các mô hình khí hậu tại Việt Nam hiện nay chủ yếu liên quan đến bài toán xem xét tác động của biến đổi khí hậu (thiên về hiệu chỉnh về tần suất) hoặc dự báo hạn ngắn (dự báo lũ). Các nghiên cứu nâng cao khả năng khai thác các dữ liệu dự báo hạn dài (đặc biệt là dự báo hạn dài tổ hợp) bằng cách sử dụng các phương pháp hiệu chỉnh còn chưa nhiều (Khiêm, 2018; Hà, Tùng và Kim, 2021). Trong khi đó, cách tiếp cận dự báo dạng tổ hợp đang ngày càng trên thông

¹ Viện Quy hoạch Thủy lợi Việt Nam

² Trường Đại học Thủy lợi

dụng vì nó giúp các nhà ra quyết định có thể hình dung mức độ “không chắc chắn” trong các kết quả dự báo để từ đó đưa ra các quyết định khai thác, quản lý tài nguyên nước phù hợp.

Ở Việt Nam, quản lý sử dụng nước trong các hệ thống tưới tại các địa phương hầu hết do các công ty TNHH MTV khai thác công trình thủy lợi và do các huyện đảm nhận, việc lập kế hoạch lập kế hoạch tưới, kế hoạch sản xuất các công trình, hệ thống công trình hiện nay chủ yếu vẫn dựa vào nguồn nước hiện có trong các công trình, hệ thống công trình thủy lợi và dựa vào kinh nghiệm thực tiễn là chính, các thông tin về dự báo mưa trước và trong vụ sản xuất, phân bổ nguồn nước mang tính dài hạn vẫn chưa được chú trọng đúng mức. Bên cạnh đó trong khoảng 20 năm trở lại đây vùng Nam Trung bộ nói chung và lưu vực sông Trà Khúc nói riêng đã và đang phải đối mặt với tình trạng hạn hán, thiếu nước và xâm nhập mặn khá nghiêm trọng, mức độ thiệt hại ngày càng tăng trong các đợt hạn hán mang tính chu kỳ. Để chủ động hơn trong công tác chỉ đạo điều hành sản xuất, quản lý hạn hán chủ động, giảm thiểu rủi ro do hạn hán gây ra trên địa bàn vùng Nam Trung bộ nói chung và lưu vực sông Trà Khúc nói riêng, cần nâng cao hiệu quả dự báo Tài nguyên nước mặt hạn dài.

Do vậy, bài báo này sẽ nghiên cứu khai thác dữ liệu dự báo mưa mùa từ sản phẩm dự báo tổ hợp của mô hình động lực mùa ECMWF-System5 thuộc Trung tâm dự báo hạn vừa châu Âu (ECMWF) phục vụ cho bài toán dự báo hạn dài nguồn nước cho lưu vực sông Trà Khúc.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ DỮ LIỆU

2.1. Phương pháp nghiên cứu

2.1.1. Phương pháp đánh giá và hiệu chỉnh dữ liệu mưa dự báo

Sản phẩm dự báo mưa số trị được thể hiện ở dạng ô lưới, trong khi số liệu mưa thực đo được thể hiện theo điểm. Do vậy, để so sánh giữa thực đo và dự báo theo không gian, lượng mưa thực đo tại các trạm cũng như của mô hình số trị sẽ được xây dựng thành lượng mưa dạng ô lưới có kích thước 10km×10km bằng công thức nội suy nghịch đảo khoảng cách (IDW):

$$P^* = \frac{\sum_{i=1}^n \left(P_i \cdot \frac{1}{D_i^k} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{D_i^k} \right)} \quad (1)$$

Trong đó: P^* là lượng mưa “nội suy” tại ô lưới cần xác định, P_i là lượng mưa tại trạm/ô lưới lân cận thứ i so với tâm ô lưới cần nội suy, D_i là khoảng cách từ tâm ô lưới đến vị trí trạm đo mưa/ô lưới thứ i , k là hệ số của công thức và thường được lấy bằng 2.

Một số các chỉ tiêu đánh giá sự phù hợp giữa dự báo và thực tế:

- Chỉ số sai số tuyệt đối trung bình (MAE) :

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i^{db} - X_i^{td}|}{n} \quad (2)$$

- Chỉ số tương quan R:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i^{db} - \bar{x}^{db})(x_i^{td} - \bar{x}^{td})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i^{db} - \bar{x}^{db})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i^{td} - \bar{x}^{td})^2}} \quad (3)$$

Với X_i là trị số tại ô lưới thứ i ; \bar{X} là trị số trung bình; các kí hiệu td , db tương ứng chỉ biến thực đo và dự báo.

Phương pháp hiệu chỉnh: Lượng mưa dự báo thường có sai số khi so sánh với số liệu thực đo. Sai số này càng lớn khi thời gian dự kiến dự báo càng xa. Các phương pháp hiệu chỉnh thông dụng trên thế giới bao gồm phương pháp hồi quy tuyến tính, hệ số tỷ lệ, hiệu chỉnh phân vị. Trong nghiên cứu hiệu chỉnh mưa dự báo hạn dài (nhất là dự báo dạng tổ hợp), các phương pháp hồi quy tuyến tính và hệ số tỷ lệ được sử dụng nhiều vì tính đơn giản, hiệu quả nên đây cũng là các phương pháp được khai thác trong nghiên cứu này.

Trong nghiên cứu này, lượng mưa dự báo hiệu chỉnh P^* tại từng ô lưới được thực hiện bằng các phương pháp:

* Hồi quy tuyến tính đơn biến:

$$P_{i,j}^* = b_0 + b_1 P_{i,j} \quad (4)$$

* Hệ số tỷ lệ:

$$P_{i,j}^* = P_{i,j} + \Delta_{i-j} \quad (5)$$

$$\Delta_{i-j} = P_{i-j}^{td} - P_{i-j} \quad (6)$$

Trong đó: i là ô lưới thứ i ; j là bước thời gian, P^{td} và P lần lượt là lượng mưa thực đo và dự báo; t là thời đoạn tính toán lựa chọn.

Đối với phương pháp hồi quy tuyến tính đơn biến, hai chuỗi số dự báo và thực đo được lấy từ

thời điểm đầu có số liệu (1/1993) đến tháng thực hiện dự báo. Ví dụ nếu thực hiện dự báo vào tháng 2/1994 thì chuỗi dữ liệu sẽ sử dụng là từ tháng 1/1993 – 1/1994 (13 cặp số). Các hệ số hồi quy này sẽ được xác định bằng phương pháp bình phương tối thiểu. Sang tháng 3/1994, 2 chuỗi số liệu được cập nhật thêm cặp số liệu thực đo và dự báo tháng 2/1994 và tiếp tục tính lại các hệ số b0, b1 của phương trình hồi quy đơn biến. Quá trình này được lặp lại sau mỗi bước thời gian là một tháng.

Đối với phương pháp hệ số tỷ lệ, giá trị Δ được xác định dựa trên chênh lệch dự báo trong quá khứ tại thời điểm j-t. Trong nghiên cứu này, t được lựa chọn là 12 dựa trên giả thiết sai số dự báo tháng k sẽ tương tự như sai số dự báo tại tháng k của năm trước. Ví dụ để dự báo mưa tháng 2 năm 1994, giá trị Δ được xác định dựa trên chênh lệch giữa dự báo và thực đo tại tháng 2 năm 1993.

2.2. Dữ liệu

2.2.1. Dữ liệu dự báo số trị ECMWF

Dữ liệu dự báo từ sản phẩm tổ hợp ECMWF-System5 được cung cấp theo 2 thời kỳ: 1993 – 2016 (dự báo lại) và từ 2017 đến nay (dự báo thời gian thực). Ở thời kỳ dự báo lại 1993-2016, có 25 thành viên tổ hợp dự báo (25 kết quả dự báo với biên ban đầu khác nhau). Còn ở thời kỳ từ 2017 đến nay thì số lượng thành viên tổ hợp dự báo là 51. Thời gian dự kiến dự báo kéo dài hơn 6 tháng và được cập nhật liên tục vào ngày đầu tiên của tháng. Kết quả dự báo được thể hiện theo không gian bằng các ô lưới có kích thước xấp xỉ $100\text{km} \times 100\text{km}$.

Trong nghiên cứu này, các đánh giá và phân tích sẽ tập trung vào thời kỳ 1993-2016 do giai đoạn này dài (24 năm) và cũng để đảm bảo tính đồng nhất trong đánh giá dù chỉ có 25 thành phần tổ hợp dự báo. Việc phân tích và đánh giá cũng có thể thực hiện tương tự với giai đoạn sau (2017-2020) với 51 thành viên.

2.2.2. Dữ liệu thực đo

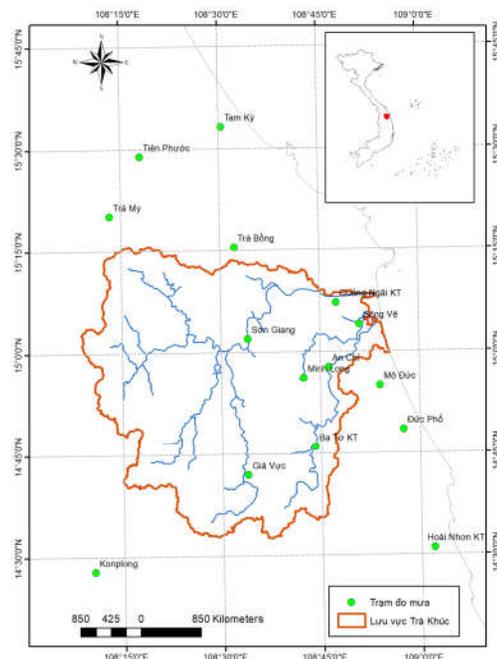
Dữ liệu thực đo mưa được lấy từ 15 trạm đo mưa trong lưu vực Trà Khúc và lân cận cùng với các thời kỳ có dữ liệu dự báo số trị (xem hình 1).

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Đánh giá kết quả dự báo ECMWF

Sản phẩm dự báo tổ hợp của ECMWF bao gồm 25 thành viên tương ứng với kết quả mô phỏng/dự báo với 25 biên ban đầu khác nhau với thời gian dự kiến lớn hơn 6 tháng với bước thời gian ngày. Để đánh giá được chi tiết, nghiên cứu này sẽ thực hiện đánh giá kết quả dự báo mưa theo thời gian dự kiến từng tháng. Các dữ liệu mưa dự báo và mưa thực đo được đồng bộ theo không gian dạng ô lưới có kích thước $10\text{km} \times 10\text{km}$ theo công thức (1).

Kết quả đánh giá lượng mưa dự báo từng tháng theo chỉ số MAE và R được trình bày ở hình 2.



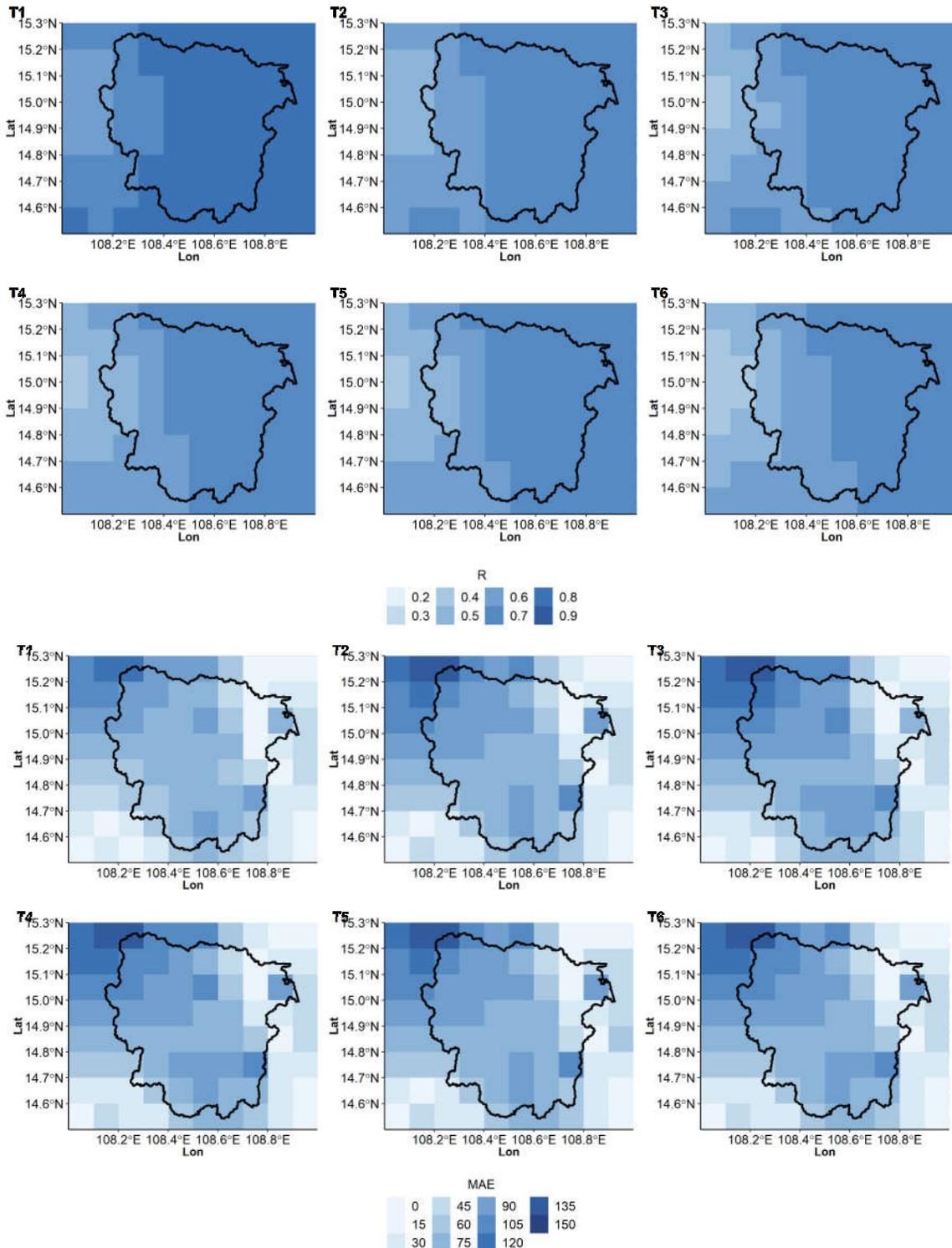
Hình 1. Lưu vực Trà Khúc và các trạm đo mưa dùng trong nghiên cứu

Hình vẽ 2 cho thấy, nhìn chung hệ số tương quan R trung bình từng ô lưới (tính cho cả chuỗi từ năm 1994 đến 2016 và trung bình của 25 thành viên) cho từng tháng đạt kết quả tương đối tốt biến đổi từ 0,33 đến 0,77 và trung bình là 0,63. Tuy nhiên, chênh lệch sai số tuyệt đối trung bình tại từng ô lưới cho từng tháng dự báo còn tương đối nhiều. Chênh lệch trung bình tuyệt đối giữa dự báo và thực đo từ 50mm đến 60mm tương ứng với mỗi tháng dự kiến dự báo.

Từ kết quả hình 3 cho thấy phương pháp hiệu chỉnh theo hệ số tỷ lệ đã giúp cải thiện đáng kể chênh lệch về lượng giữa dự báo và thực đo khi

chỉ số MAE biến đổi từ 0 đến 37mm/tháng và trung bình là 8,5mm/tháng. Tuy nhiên, phương pháp hiệu chỉnh theo hệ số tỷ lệ đã làm giảm chất lượng dự báo theo đường quá trình thể hiện hệ số tương quan R đã giảm xuống khoảng từ

0,44 đến 0,68 với trung bình là 0,55. Phương pháp hiệu chỉnh theo hệ số tỷ lệ vì thế có thể sử dụng trong các bài toán dự báo nhanh về tổng lượng nước vì phương pháp này đơn giản, tính toán nhanh chóng.



Hình 2. Hệ số R và MAE với dữ liệu dự báo thô. T1, T2, T3, T4, T5, T6 tương ứng là kết quả đánh giá cho mưa dự báo 1 tháng tại thời gian dự kiến 1, 2, 3, 4, 5, 6 tháng tới.

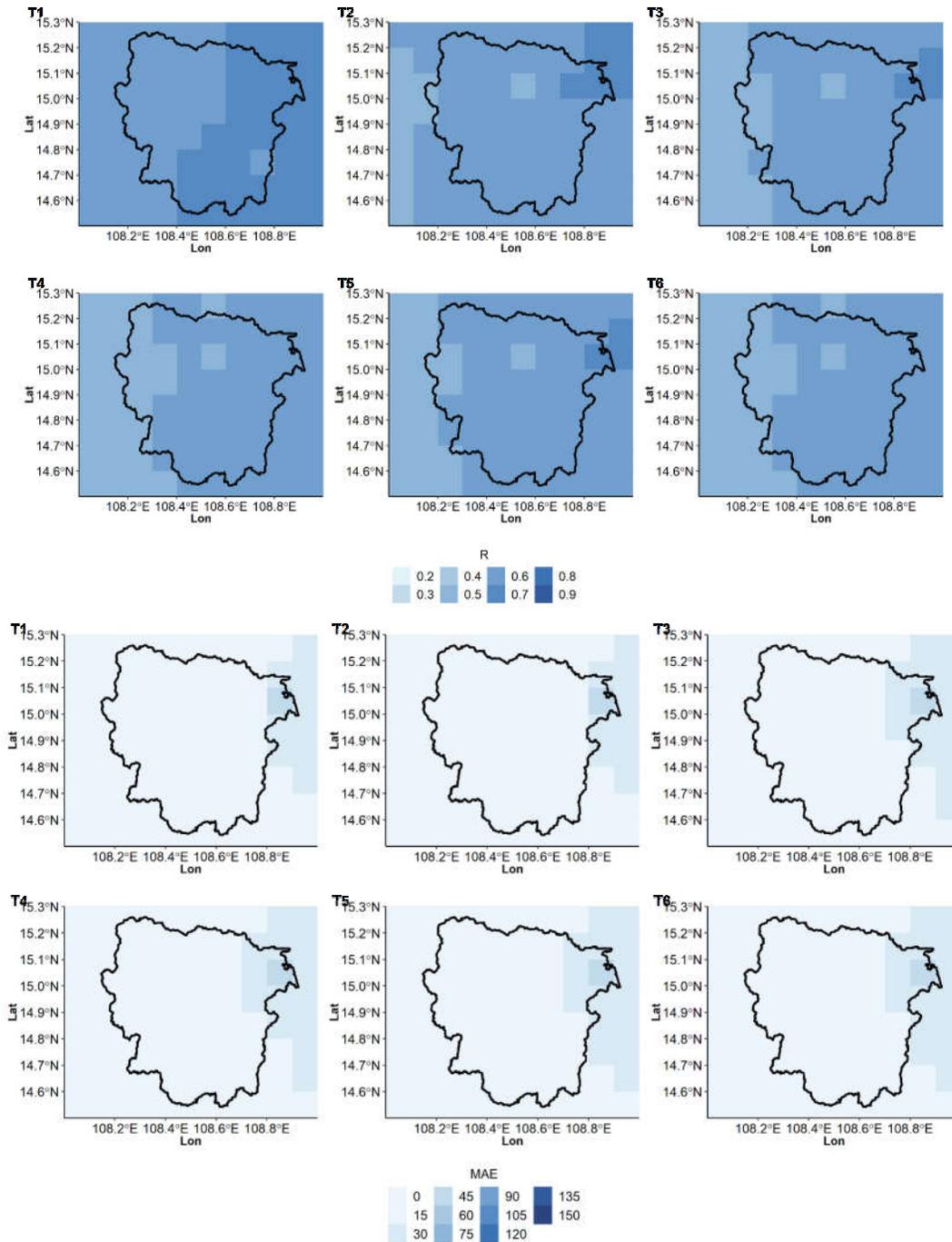
Khu vực hạ lưu của lưu vực cho kết quả dự báo tốt hơn so với khu vực thượng nguồn (phía tây). Điều này cũng có thể do các trạm đo mưa được sử dụng trong nghiên cứu tập trung chủ yếu ở phía đông thuộc hạ lưu lưu vực. Khu vực phía tây chỉ có trạm Konplong và Trà My kết hợp với trạm Sơn Giang ở trung lưu có tác động chính đến kết quả ước tính mưa thực đo tại thượng nguồn. Các

trạm khác như Đắk Tô, Kon Tum, Đắk Mốt không được sử dụng vì có cách xa khu vực nghiên cứu.

3.2. Đánh giá kết quả dự báo ECMWF được hiệu chỉnh theo phương pháp hệ số tỷ lệ

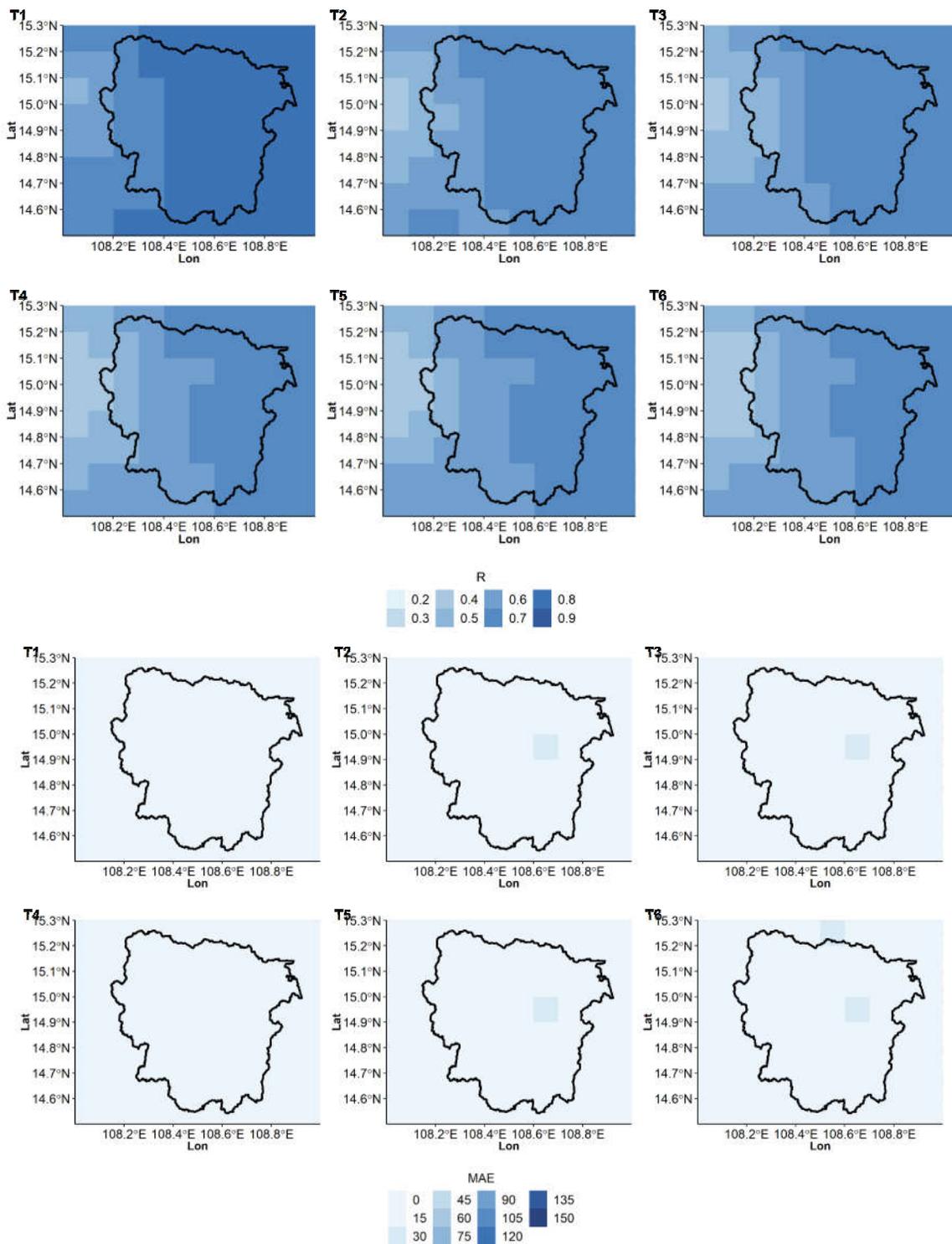
Hệ số tỷ lệ Δ được thử nghiệm xác định theo sai số dự báo của tháng trước đó tại từng ô lưới và từng thành viên dự báo.

Kết quả đánh giá được thể hiện ở hình 3.



Hình 3. Hệ số R và MAE với dữ liệu dự báo thô. T1, T2, T3, T4, T5, T6 tương ứng là kết quả đánh giá cho mưa dự báo 1 tháng tại thời gian dự kiến 1, 2, 3, 4, 5, 6 tháng tới

3.3. Đánh giá kết quả dự báo ECMWF được hiệu chỉnh theo phương pháp hồi quy đa biến



Hình 4. Hệ số R và MAE với dữ liệu dự báo thô. T1, T2, T3, T4, T5, T6 tương ứng là kết quả đánh giá cho mưa dự báo 1 tháng tại thời gian dự kiến 1, 2, 3, 4, 5, 6 tháng tới

Lượng mưa dự báo ECMWF được hiệu chỉnh dựa trên chuỗi số liệu quá khứ theo công thức (4). Kết quả dự báo được hiệu chỉnh trong nghiên cứu này được thử nghiệm từ tháng 1/1994, số liệu dự

báo từ tháng 1/1993 đến tháng 12/1993 được sử dụng để xây dựng phương trình hồi quy. Sau mỗi tháng dự báo, chuỗi số liệu được sử dụng để xây dựng phương trình hồi quy được cập nhật thêm

một tháng mới nhất. Kết quả đánh giá dự báo được thể hiện ở hình 4.

Hình 4 cho thấy, phương pháp hồi quy đa biến cho kết quả hệ số tương quan R xấp xỉ với kết quả dự báo thô nhưng đã cải thiện đáng kể sai số tuyệt đối trong dự báo cho từng tháng dự kiến khác nhau. Sai số trung bình dự báo từng tháng của từng ô lưới biến đổi từ 0 đến 16mm/tháng, trung bình là 6,0mm/tháng. Điều này cho thấy, phương pháp hồi quy đa biến đã giúp hiệu chỉnh lượng mưa dự báo rất tốt, đặc biệt là về tổng lượng, phù hợp với bài toán dự báo tài nguyên nước mặt hạn dài.

3.4. Đánh giá kết quả dự báo theo chuỗi số liệu giai đoạn 2017-2020

Nghiên cứu cũng đã đánh giá cho chuỗi số liệu

dự báo tổ hợp giai đoạn 2017-2020 tương tự như đánh giá cho chuỗi số liệu dự báo lại 1993-2016 thể hiện ở bảng 1 (thô, hcđt, hctq tương ứng là các trường hợp chưa hiệu chỉnh, hiệu chỉnh theo phương pháp tỷ lệ, hiệu chỉnh theo phương pháp hồi quy tuyến tính). Nghiên cứu từ tháng 1/2018 với số liệu nền ban đầu là năm 2017 và tiếp tục cập nhật từng tháng. Kết quả đánh giá cũng cho kết quả tương tự khi cả hai phương pháp hiệu chỉnh đều giúp cải thiện sai số MAE trong khi chỉ số R cũng không thay đổi đáng kể so với trường hợp không có hiệu chỉnh sai số. Do dữ liệu giai đoạn này ngắn nên mức độ cải thiện chưa rõ rệt như giai đoạn dự báo lại, đặc biệt là hệ số tương quan R.

Bảng 1. Tổng hợp kết quả đánh giá cho giai đoạn 2017-2020

Chỉ số	1 tháng	2 tháng	3 tháng	4 tháng	5 tháng	6 tháng
R thô	0,75	0,68	0,62	0,64	0,63	0,59
R hcđt	0,67	0,57	0,57	0,56	0,54	0,55
R hctq	0,71	0,58	0,55	0,55	0,54	0,55
MAE thô (mm)	37,3	39,8	35,6	34,4	36,7	38,2
MAE hcđt (mm)	17,5	29,5	27,5	31,7	36,3	34,2
MAE hctq (mm)	12,0	30,1	24,3	31,8	37,1	34,8

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đánh giá dữ liệu dự báo số trị tổ hợp của ECMWF-System5 cho thời kỳ 1993-2016 và thử nghiệm hiệu chỉnh sai số dự báo theo 2 phương pháp hệ số tỷ lệ và hồi quy tuyến tính đơn biến.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, nhìn chung dữ liệu dự báo số trị ECMWF khá phù hợp về xu thế đường quá trình thể hiện trị số tương quan R đạt trung bình trên 0,60 trên toàn lưu vực ở từng tháng dự kiến dự báo. Tuy nhiên sai số tuyệt đối giữa thực đo và dự báo tương đối lớn, trung bình trên 50mm/tháng.

Phương pháp hiệu chỉnh theo hệ số tỷ lệ đã giúp cải thiện đáng kể sai số tuyệt đối khi giúp làm giảm

sai số này xuống thành trung bình 8,5mm/tháng. Tuy nhiên, phương pháp này cũng làm giảm chất lượng dự báo theo đường quá trình khi trị số R cũng bị giảm xuống trung bình còn 0,55. Tuy vậy, phương pháp hiệu chỉnh theo hệ số tỷ lệ đơn giản nên phù hợp với việc tính toán nhanh bài toán dự báo lượng tài nguyên nước hạn dài.

Phương pháp hiệu chỉnh theo phương trình hồi quy tuyến tính đơn biến là tốt nhất trong nghiên cứu này khi làm giảm đáng kể sai số tuyệt đối xuống còn xấp xỉ 6,0mm/tháng và hệ số tương quan R vẫn xấp xỉ so với trường hợp dự báo thô. Do vậy, phương pháp hiệu chỉnh theo phương trình hồi quy đa biến sẽ phù hợp nhất trong bài toán nâng cao chất lượng dự báo tài nguyên nước hạn dài.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Hà, N. T. T., Tùng, H. T. và Kim, N. Q. (2021) “Hiệu chỉnh sản phẩm dự báo tổ hợp lượng mưa hạn mùa từ hệ thống dự báo động lực cho vùng đồng bằng sông Cửu Long”, Tạp chí khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường 2, 73, tr 70–77.

- Khiêm, M. V. (2018) “Nghiên cứu phương pháp hiệu chỉnh sản phẩm mưa dự báo hạn mùa cho khu vực Việt Nam”, Tạp chí Các khoa học Trái đất và Môi trường, 34(1S), tr 33–40.
- Khiêm, M. V., Chinh, T. H. và Hương, N. T. D. (2014) “Thử nghiệm dự báo hạn hán tại Việt Nam bằng sản phẩm dự báo của một số mô hình toàn cầu”, Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 639, tr 21–25.
- Pagano, T. C. và c.s. (2014) “Challenges of Operational River Forecasting”, Journal of Hydrometeorology, 15(4), tr 1692–1707. doi: 10.1175/JHM-D-13-0188.1.
- Thành, N. T. (2021) “Đánh giá chất lượng dự báo trường khí tượng của một số mô hình khí hậu toàn cầu cho khu vực Việt Nam”, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 74, tr 128–135.

Abstracts:

STUDY ON USING OF SEASONAL FORECASTS DATA IN THE TRA KHUC RIVER BASIN

Seasonal water resource forecasts play an increasingly important role in decision-making systems, especially in the agriculture and water sectors. Along with the rapid development of science and technology, seasonal forecasting has made progress in recent years, and global ensemble prediction systems provide increasingly accurate and reliable seasonal forecasting with up to 6–9 months' lead time. This study focuses on evaluating the applicability of seasonal precipitation re-forecasts from the new ECMWF seasonal forecast system 5 (ECMWF-System5) for the Tra Khuc river basin at six-monthly lead times over the period 1993-2016. In addition, two calibration methods are used to bias correct the seasonal ensemble precipitation forecasts, including the scaling method and the regression-based method. A comparative evaluation of both raw and bias-corrected reforecasts is performed using mean absolute error (MAE) and correlation coefficient (R). According to MAE, both bias correction methods are able to reduce the MAE value from over 50mm/month to less than 10mm/month averaged over the basin and the forecasted months considered. In terms of the R evaluation metric, the scaling method decreases the R-value from 0.63 (for the raw reforecasts) to 0.55 (for the calibrated reforecasts) on average, while the regression-based method does not change this coefficient significantly...

Keywords: ECMWF-System5, seasonal forecasts, bias-correction...

Ngày nhận bài: 23/4/2022

Ngày chấp nhận đăng: 30/6/2022