



Original Article

Performance of Hourly Rainfall Simulations using WRF Meteorological Model for Calculation of Streamflow to Ta Trach Reservoir During 2020 Flood Season

Nguyen Tien Thanh^{1,*}, Nguyen Thai Son², Nguyen Duc Mien³

¹*Thuyloi University, 175 Tay Son, Dong Da, Hanoi, Vietnam*

²*Institute of Geography, Vietnam Academy of Science and Technology,
18 Hoang Quoc Viet, Cay Giay, Hanoi, Vietnam*

³*Central Management Board for Irrigation Projects, 23 Hang Tre, Hoan Kiem, Hanoi, Vietnam*

Received 17 August 2022

Revised 06 January 2023; Accepted 10 March 2023

Abstract: More and more extreme weather events are frequently observed in Thua Thien Hue province in recent years, especially in 2020. Only 7 days from October 6-12, 2020, total rainfall measured at Thuong Nhat station is approximately 1900 mm, accounting for more than 50% of the total annual rainfall. So, it is necessary to ensure the effective operation for Ta Trach reservoir, a large reservoir with a basin area of 717 km² in Thua Thien Hue. This study is initially to clarify the performance of hourly rainfall simulations and streamflow to Ta Trach reservoir using WRF and HEC-HMS hydro-meteorological models during the 2020 flood season, respectively. The results showed that on the scale of daily, the correlation between simulated and measured rainfall is quite good, most of the stations could be reached about 0,8. On the scale of hourly, these figures are about 0,5 and the trend of cumulative hourly rainfall simulated is consistent with measured values. Especially, the trend of simulated streamflow using directly hourly rainfall from WRF model to Ta Trach reservoir is consistent with the measurement streamflow although the errors are still seen to extent with the NASH index of about 0,65.

Keywords: Ta Trach, WRF, HEC-HMS, extreme rainfall events.

* Corresponding author.

E-mail address: thanhnt@tlu.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuées.4898>

Khả năng mô phỏng mưa giờ của mô hình khí tượng WRF phục vụ tính toán dòng chảy tới hồ Tả Trạch mùa lũ 2020

Nguyễn Tiến Thành^{1,*}, Nguyễn Thái Sơn², Nguyễn Đức Miên³

¹Trường Đại học Thủy lợi, 175 Tây Sơn, Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Địa lý, Viện Hàn Lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,
18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

³Ban Quản lý Trung ương các dự án Thủy lợi, 23 Hàng Tre, Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 17 tháng 8 năm 2022

Chỉnh sửa ngày 06 tháng 01 năm 2023; Chấp nhận đăng ngày 10 tháng 3 năm 2023

Tóm tắt: Diễn biến ngày càng cực đoan hơn của thời tiết đã được ghi nhận tại tỉnh Thừa Thiên Huế trong những năm gần đây, đặc biệt là năm 2020. Chỉ trong 7 ngày từ ngày 06-12/2020, tổng lượng mưa đo được tại trạm Thượng Nhật là xấp xỉ 1900 mm, chiếm hơn 50% tổng lượng mưa năm. Vì vậy, công tác vận hành hồ chứa Tả Trạch, một hồ chứa lớn có diện tích lưu vực 717 km² ở Thừa Thiên Huế một cách hiệu quả là rất cần thiết. Nghiên cứu này bước đầu làm rõ khả năng mô phỏng mưa giờ và dòng chảy tới hồ Tả Trạch sử dụng mô hình khí tượng thủy văn WRF và HEC-HMS tương ứng cho mùa lũ 2020. Kết quả chỉ ra rằng trên quy mô ngày, tương quan giữa mưa mô phỏng và mưa thực đo là khá tốt, phần lớn các trạm đều đạt khoảng 0,8. Trên quy mô giờ, tương quan ở hầu hết các trạm đạt khoảng 0,5 và tổng lượng mưa tích lũy theo giờ có xu thế khá tương đồng so với thực đo. Đặc biệt, xu thế biến đổi của dòng chảy đến hồ Tả Trạch được mô phỏng sử dụng trực tiếp mưa giờ từ mô hình khí tượng WRF cho kết quả cũng khá tương đồng với dòng chảy thực đo mặc dù vẫn có sự chênh lệch nhất định với chỉ số NASH khoảng 0,65.

Từ khóa: Tả Trạch, WRF, HEC-HMS, mưa lớn cực đoan.

1. Mở đầu

Hồ chứa Tả Trạch với diện tích lưu vực 717 km² được xây dựng trên dòng chính sông Tả Trạch (một phụ lưu chính của sông Hương), thuộc địa phận xã Dương Hòa, thị xã Hương Thủy, tỉnh Thừa Thiên Huế, cách thành phố Huế 24 km về phía đông nam được đưa vào sử dụng cuối năm 2016. Đây là công trình thủy lợi-thủy điện đa mục tiêu có nhiệm vụ: i) Chống lũ tiểu mãn, lũ sớm, giảm lũ chính vụ cho hệ thống sông Hương; ii) Cấp nước cho sinh hoạt, công nghiệp;

iii) Tạo nguồn nước tưới ổn định cho 34.782 ha đất canh tác thuộc vùng đồng bằng sông Hương; và iv) Bổ sung nguồn nước ngọt cho hạ lưu sông Hương để đẩy mặn, cải thiện môi trường vùng đầm phá, phục vụ nuôi trồng thủy sản và phát điện [1]. Để đảm bảo công tác vận hành hồ hiệu quả và đưa ra các giải pháp ứng phó kịp thời khi có mưa lũ bất thường xảy ra đòi hỏi công tác dự báo dòng chảy tới hồ phải có độ tin cậy cao. Để đạt được điều này đòi hỏi dữ liệu liên quan tới đầu vào của mô hình dự báo dòng chảy như mật

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: thanhnt@tlu.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4898>

độ dữ liệu mưa quan trắc, chất lượng dữ liệu mưa dự báo, dữ liệu địa hình, thảm phủ chi tiết,... [2].

Cho tới nay đã có rất nhiều nghiên cứu quốc tế và trong nước đánh giá khả năng mô phỏng và dự báo mưa từ mô hình “nghiên cứu và dự báo thời tiết khu vực” (WRF) của Mỹ với nhiều sơ đồ tham số hóa vật lý khác nhau. Pervin và Thian (2021) [3] đã thực hiện khảo sát độ nhạy của 18 trường hợp tổ hợp các sơ đồ tham số hóa vật lý khác nhau trong mô hình WRF phiên bản ARW với một miền lưới tính có độ phân giải 30 km x 30 km để đánh giá khả năng mô phỏng một số đặc trưng khí hậu như lượng mưa mùa hè 2009 trên lưu vực sông Mackenzie, Canada. Nhìn chung, các kết quả đã cho thấy mô hình WRF mô phỏng lượng mưa thiên cao ở những khu vực vùng núi và thiên thấp ở một phần phía Bắc lưu vực. Nooni và cộng sự (cs) (2020) [4] đã đánh giá khả năng mô phỏng mưa lớn mùa hè 2020 cho khu vực phía Đông châu Phi sử dụng mô hình WRF phiên bản 4.2 với 3 lưới lồng với ở độ phân giải trong cùng là 5 km x 5 km. Kết quả cho thấy có thể sử dụng WRF trong dự báo mưa lớn với các cấu hình đã được thiết lập trong quá trình mô phỏng. Tại Việt Nam, các nghiên cứu liên quan tới mô hình WRF tập trung vào đánh giá khả năng dự báo mưa quy mô mùa [5] và mưa lớn do tổ hợp hình thể thời tiết khác nhau [6], khả năng dự báo với các hạn dự báo khác nhau [7-8], quỹ đạo bão [9],... bên cạnh việc thử nghiệm các sơ đồ tham số hóa vật lý khác nhau [10].

Với bài toán dự báo dòng chảy tới hồ, mô hình HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) [11] đã và đang được nhiều tác giả trong nước và quốc tế lựa chọn để mô phỏng dòng chảy cho các lưu vực nhỏ, khu vực có công trình với dữ liệu đầu vào còn hạn chế [12-16]. Ví dụ như Tuan (2017) [16] đã sử dụng mô hình HEC-HMS với phương pháp thử sai để tìm được bộ thông số phù hợp nhất phục vụ dự báo dòng chảy cho các hồ thuộc lưu vực Serepok, tỉnh Đắk Lắk. Kết quả đã chỉ ra rằng mô hình HEC-HMS có kết quả tương đối tốt và có độ tin cậy với chỉ số NASH đạt 0,7-0,8. Anh và cs, (2020) [2] đã thiết lập mô hình HEC-HMS dự báo dòng chảy tới hồ Bản Chát mùa lũ 2020. Nghiên cứu đã cho thấy HEC-HMS

mô phỏng tốt dòng chảy tới hồ với chỉ số NASH đạt 0,7 nhưng chỉ đạt mức trung bình với thời đoạn kiểm định. Một trong những nguyên nhân được cho là do mật độ trạm đo mưa thưa. Trong khi đó, hồ chứa Tả Trạch là công trình hồ thủy lợi - thủy điện đa mục tiêu quan trọng liên quan đến an ninh quốc gia theo Quyết định số 166 năm 2017 của Thủ tướng chính phủ nhưng chưa có nghiên cứu nào đánh giá khả năng mô phỏng lượng mưa giờ từ mô hình khí tượng để phục vụ dự báo dòng chảy tới hồ Tả Trạch. Mặt khác, khu vực lòng hồ Tả Trạch hiện chỉ có 2 trạm đo mưa là Thượng Nhật và Nam Đông do Bộ Tài nguyên và Môi trường quản lý và 01 trạm đo mưa tại tuyến đập (đo bằng thùng đo mưa) do Ban Quản lý hồ Tả Trạch quản lý [17]. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung làm rõ khả năng mô phỏng lượng mưa giờ của mô hình khí tượng WRF phiên bản 4.2.1 cho mùa mưa lũ bất thường năm 2020 (từ ngày 01 tháng 6 tới 31 tháng 12 năm 2020) xảy ra trên địa bàn tỉnh Thừa Thiên Huế phục vụ bài toán tính toán điều tiết hồ chứa Tả Trạch sử dụng mô hình HEC-HMS phiên bản 4.8 (sau đây được viết tắt là HEC-HMS).

2. Số liệu và phương pháp

2.1. Số liệu

Số liệu mưa giờ thực đo trong mùa mưa lũ năm 2019 và 2020 (tính trong khoảng thời gian từ 01 tháng 6 tới 31 tháng 12) được lấy từ các trạm đo mưa tự động A Lưới, Bình Điền (Thủy văn), Bình Điền (Đo mưa), Huế, Nam Đông, Dương Hóa, Hương Nguyên, Cồn Bi, Kim Long, Phú Ốc, Tả Lương và Thượng Nhật (Hình 7). Dữ liệu lưu lượng thực đo tới hồ được lấy từ trang web <https://hochuaviệtnam.vn/>

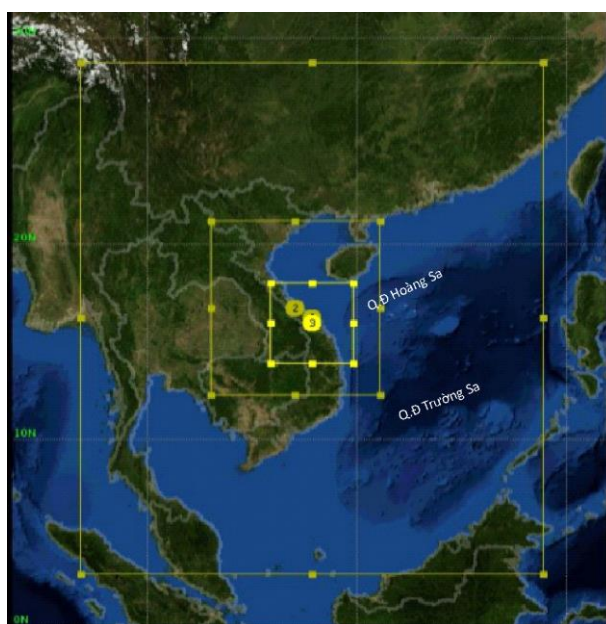
2.2. Thiết kế thí nghiệm mô hình WRF

Trong nghiên cứu này, mô hình khí tượng WRF phiên bản 4.2.1 (sau đây được viết tắt là WRF) được sử dụng với biên đầu vào là dữ liệu ERA5 có bước thời gian 1 giờ và có độ phân giải ngang $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Mô hình được thiết kế với 3 lưới lồng tương tác hai chiều có độ phân giải

tương ứng là 27 km, 9 km và 3 km cùng với tọa độ tâm tương ứng cho các miền như Hình 1. Độ rộng của các miền lưới như sau: Miền thứ nhất gồm 100 x 124 điểm lưới, miền thứ 2 gồm 109 x 127 điểm lưới và miền trong cùng gồm 160 x 175 điểm lưới với 38 mực thẳng đứng. Mô hình WRF được thiết kế với lưới đủ rộng để có thể nắm bắt được các quá trình hoàn lưu quy mô lớn ảnh hưởng tới Việt Nam, các miền con được thu hẹp miền lưới sao cho bao trọn khu vực nghiên cứu. Một số sơ đồ tham số hóa chính được tham khảo

và lựa chọn từ các nghiên cứu quốc tế và trong nước sử dụng mô hình WRF trong mô phỏng, dự báo trường khí tượng như: Sơ đồ bức xạ sóng dài RRTM, bức xạ sóng ngắn Dudhia, sơ đồ bề mặt Noah và sơ đồ mây đối lưu Kain-Fritsch [3, 5, 6, 8, 18].

Số liệu ban đầu và điều kiện biên cho mô hình WRF được lấy từ dữ liệu tái phân tích ERA5 được cung cấp từ kho dữ liệu dịch vụ biến đổi khí hậu Copernicus [19].



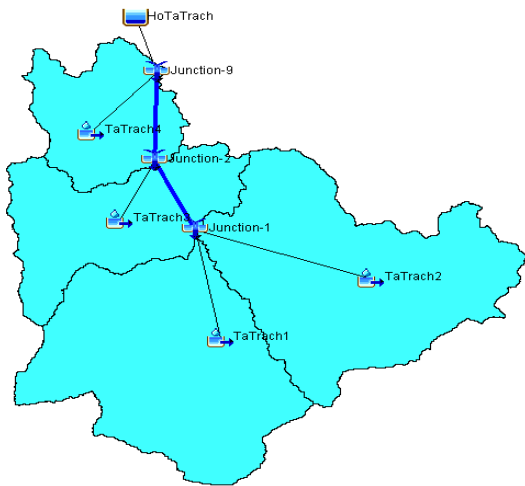
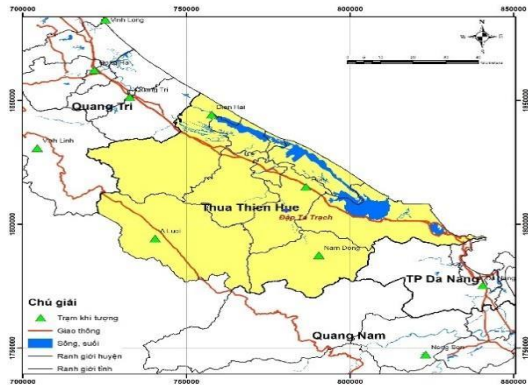
Hình 1. Thiết lập các miền lưới tính.

2.3. Mô hình HEC-HMS

Mô hình HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) là phần mềm do các kỹ sư thuộc Trung tâm Thủy văn Công trình, Cục Kỹ thuật Quân đội Hoa Kỳ thực hiện [11]. Đây là mô hình mưa rào - dòng chảy dạng tắt định, có thông số bán phân bố. Trong nghiên cứu, lưu vực hồ chứa Tả Trạch được chia thành các lưu vực nhỏ, các lưu vực này được liên kết với nhau. Về cấu trúc của mô hình được chia làm các mô đun chính như: i) Mô hình lưu vực (Basin Model): chứa các yếu tố của lưu vực, liên kết và các thông số của dòng

chảy; ii) Mô hình khí tượng (Meteorologic Model): chứa các dữ liệu về mưa và bốc hơi; iii) Các chỉ tiêu điều khiển (Control Specifications): bao gồm thời khoảng tính toán, thời gian bắt đầu và kết thúc tính; và iv) Chuỗi dữ liệu thời gian (Time series data). Hình 2 (dưới) mô tả sơ đồ tiểu lưu vực sông Tả Trạch trong mô hình HEC-HMS. Diện tích các tiểu lưu vực được cho trong Hình 2 (dưới) lần lượt là 223 km² đối với TaTrach1, 238 km², 123 km² và 133 km² tương ứng với các tiểu lưu vực TaTrach2, TaTrach3 và TaTrach4. Các tiểu lưu vực này kết nối với nhau thông qua các đoạn sông tại các điểm nút cửa ra không chế trên các tiểu lưu vực.

Phương pháp Muskingum, với hai thông số chính là thời gian chảy truyền của đoạn sông và chiều dài sông được sử dụng để được diễn toán dòng chảy trong các đoạn sông [11]. Việc hiệu chỉnh các thông số trong mô hình HEC-HMS được thực hiện theo phương pháp thử sai dựa theo chỉ tiêu NASH [20] để tìm ra bộ thông số phù hợp nhất. Các thông số có độ nhạy lớn đối với kết quả gồm: i) Tồn thất ban đầu; ii) Chỉ số CN; iii) % diện tích không thấm; iv) Thời gian trễ; v) Hệ số đỉnh; vi) Dòng chảy ngầm ban đầu; vii) Hằng số nước rút; và viii) Hệ số lệch đỉnh. Để tính toán dòng chảy lũ đến hồ Tả Trạch nghiên cứu sử dụng trực tiếp số liệu mưa giờ từ mô hình WRF làm đầu vào cho mô hình HEC-HMS.



Hình 2. Vị trí công trình đập hồ Tả Trạch (trên) và sơ đồ tiêu lưu vực sông Tả Trạch trong mô hình HEC-HMS (dưới).

2.4. Phương pháp đánh giá

Kết quả mô phỏng lượng mưa giờ từ mô hình WRF được đánh giá với số liệu mưa giờ thực đo trong thời đoạn mùa lũ từ tháng 6/2020 tới tháng 12/2020 qua các chỉ số thống kê như sai số bình phương trung bình quân phương (RMSE), hệ số tương quan (r). Nghiên cứu cũng sử dụng các chỉ số đánh giá sai số thống kê như: i) Tỷ lệ cảnh báo không (FAR) được tính bằng công thức $FAR = B/(A+B)$; ii) Xác suất phát hiện (POD) được tính bằng công thức $POD = A/(A+C)$; và iii) Chỉ số thành công (CSI) được tính bằng công thức $CSI = A/(A+B+C)$ [8]. Các đại lượng A, B, C, D được xác định theo Bảng 1. Trong đó, chỉ số POD là tỉ lệ giữa số lần mô phỏng đúng sự xuất hiện của hiện tượng so với tổng số lần xuất hiện của hiện tượng đó; giá trị $POD = 1$ thể hiện khả năng mô phỏng hoàn hảo tất cả các lần xuất hiện của hiện tượng. Chỉ số FAR là tỉ lệ giữa số lần không xuất hiện của hiện tượng so với tổng số lần mô phỏng xuất hiện của hiện tượng đó; giá trị $FAR = 0$ thể hiện khả năng mô phỏng hoàn hảo tất cả các lần không xuất hiện của hiện tượng. Chỉ số CSI là tỉ lệ giữa số lần xuất hiện của hiện tượng so với tổng số lần mô phỏng xuất hiện và số lần mô phỏng sót hiện tượng đó và hoàn hảo khi bằng 1.

Bảng 1. Xác định sai số cho biến có hai phân nhóm

	Quan trắc	Có	Không
Mô phỏng			
Có		A	B
Không		C	D

Ngoài ra, đường quá trình lượng mưa tích lũy cũng được sử dụng để phân tích so sánh giữa mô hình và thực đo.

Để hiệu chỉnh và kiểm định khả năng mô phỏng dòng chảy của mô hình HEC-HMS, nghiên cứu sử dụng 2 trận lũ từ 10/11 – 13/11/2019 (TL1) và 30/10 – 01/11/2019 (TL2). Mục đích việc làm này là lựa chọn được bộ thông số phù hợp của mô hình HEC-HMS sau đó áp dụng cho việc mô phỏng với dữ liệu mưa được mô phỏng từ mô hình WRF. Cách tiếp cận này

tương tự như một số nghiên cứu quốc tế và trong nước trước đó đã áp dụng [2, 12-16].

Kết quả tính toán dòng chảy tới hồ sử dụng mô hình HEC-HMS với dữ liệu mưa giờ từ mô hình WRF được đánh giá thông qua các chỉ số NASH theo phương trình (1). Giá trị chỉ số NASH cho biết mức độ tin cậy của kết quả mô phỏng dòng chảy từ mô hình so với thực đo và tối ưu khi bằng 1; khi giá trị NASH trong khoảng từ 0,75 tới bằng 1, từ 0,65 tới bằng 0,75, từ 0,5 tới bằng 0,65 và nhỏ hơn hoặc bằng 0,5 cho biết kết quả mô phỏng tương ứng là rất tốt, tốt, đạt và không đạt [20].

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{td}^i - Q_{tt}^i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{td}^i - \overline{Q_{td}^i})^2} \quad (1)$$

Trong đó:

Q_{tt}^i : dòng chảy tính toán tại thời điểm i (m^3/s);

Q_{td}^i : dòng chảy thực đo tại thời điểm i (m^3/s);

$\overline{Q_{td}}$: dòng chảy thực đo trung bình (m^3/s).

Ngoài ra, giá trị sai số đỉnh lũ được tính theo phương trình (2) [21] cũng được sử dụng để đánh giá mức độ tin cậy của kết quả mô phỏng dòng chảy từ mô hình.

$$\Delta Q = Q_{max}^{tt} - Q_{max}^{td} \quad (2)$$

Trong đó:

Q_{max}^{tt} : dòng chảy tính toán lớn nhất (m^3/s);

Q_{max}^{td} : dòng chảy thực đo lớn nhất (m^3/s);

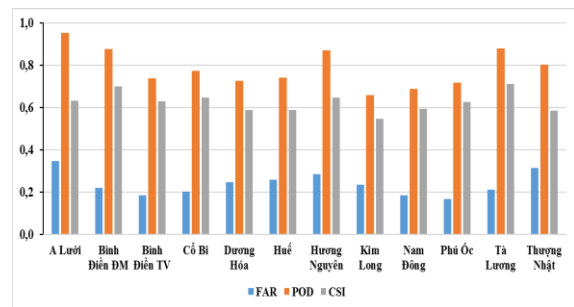
ΔQ : sai số giữa dòng chảy tính toán lớn nhất và dòng chảy thực đo lớn nhất (m^3/s).

3. Kết quả và thảo luận

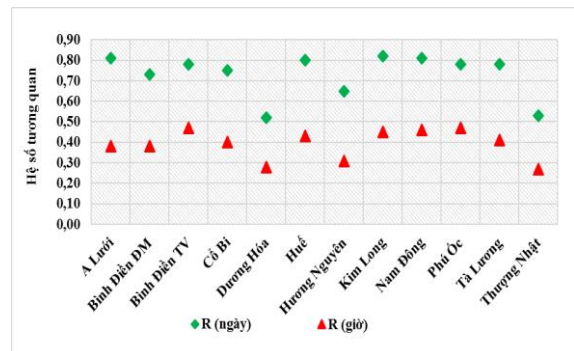
3.1. Đánh giá khả năng mô phỏng mưa giờ

Phân tích Hình 3 cho thấy, chỉ số FAR dao động từ 0,17 tại trạm Phú Ốc tới 0,35 tại trạm A Lưới. Điều này cho thấy có khoảng dưới 1/3 số ngày hiện tượng mưa xuất hiện mô phỏng có nhưng quan trắc không có. Chỉ số POD dao động

từ 0,66 tại trạm Kim Long tới 0,95 tại trạm A Lưới. Đây là chỉ số rất nhạy với số lần mô phỏng đúng sự xuất hiện của hiện tượng chứ không nhạy với phát hiện sai. Với những giá trị tính toán được cho như trên hình 3 đã chỉ ra mô hình mô phỏng khá tốt sự xuất hiện của hiện tượng tại các trạm như A Lưới, Bình Điền ĐM, Hương Nguyên, Tà Lương và Thượng Nhật với chỉ số POD lớn hơn 0,8, tức hơn 4/5 hiện tượng mưa xuất hiện đều được mô phỏng đúng. Trong khi chỉ số CSI dao động từ 0,55 tại trạm Kim Long tới 0,71 tại trạm Tà Lương. Hay nói cách khác, mô hình có khả năng nắm bắt khá tốt hiện tượng xuất hiện hay không xuất hiện mưa trong tổng số 213 ngày và tốt hơn cả là tại trạm Tà Lương.



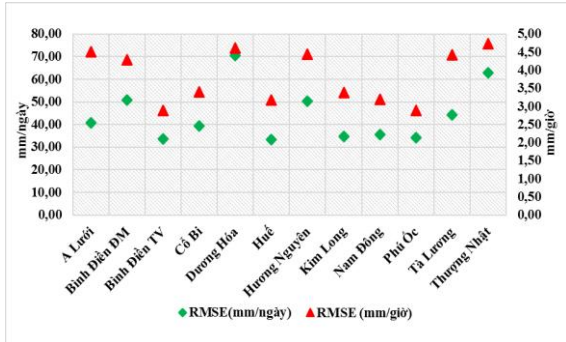
Hình 3. Kết quả các chỉ số FAR, POD và CSI tại các trạm đối với lượng mưa ngày.



Hình 4. Hệ số tương quan theo giờ và ngày giữa mô hình và thực đo tại các trạm.

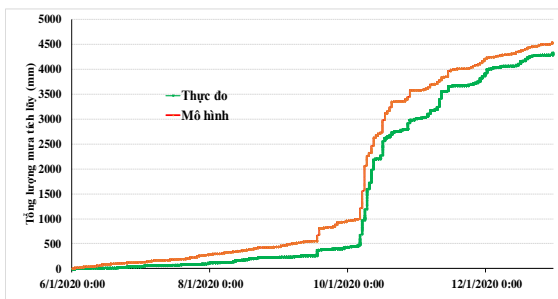
Phân tích hệ số tương quan tại tất cả các trạm từ Hình 4 đã cho thấy hầu hết các trạm đều có hệ số tương quan theo giờ xấp xỉ 0,5 và theo ngày khoảng 0,8 ngoại trừ tương quan thấp nhất xuất hiện tại trạm Dương Hóa, Hương Nguyên và

Thượng Nhật. Trong khi đó chỉ số RMSE dao động từ 2,89 mm/giờ tại trạm Bình Điền TV tới 4,74 mm/giờ tại trạm Thượng Nhật, và 33,47 mm/ngày tại trạm Huế tới 70,53 mm/ngày tại trạm Dương Hóa (Hình 5).



Hình 5. Chỉ số RMSE theo giờ và ngày giữa mô hình và thực đo tại các trạm.

Nhìn chung, mặc dù chỉ số RMSE theo giờ giữa mô hình và thực đo là khá lớn nhưng hệ số tương quan là khá tốt tại hầu hết các trạm ngoại trừ tại trạm Dương Hóa, Hương Nguyên và Thượng Nhật.

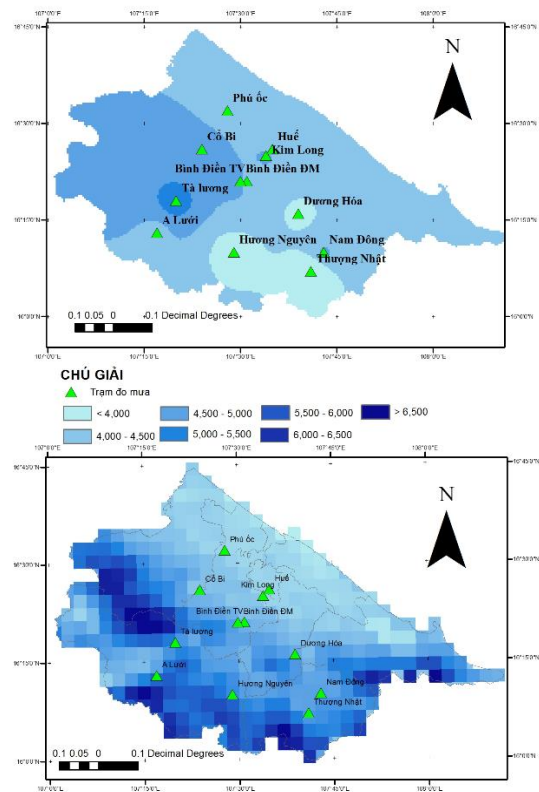


Hình 6. Lượng mưa tích lũy bình quân toàn tỉnh từ 1/6/2020 tới 31/12/2020 giữa mô hình và thực đo.

Phân tích lượng mưa tích lũy bình quân trên toàn tỉnh (Hình 6) cho thấy lượng mưa tích lũy từ mô hình có cùng xu thế với lượng mưa tích lũy từ thực đo. Đặc biệt trong những tháng đầu mùa mưa lũ, lượng mưa tích lũy từ mô hình khá cao so với thực đo. Điều này có thể do trong những tháng chuyển mùa, hình thế gây mưa phức tạp là một trong những nguyên nhân của vấn đề

này. Thêm vào đó, mô hình có thể không nắm bắt hoặc nắm bắt sai lệch cả về không gian và thời gian của các sự kiện mưa vừa và mưa lớn cục bộ trong tháng 7 do các yếu tố địa phương gây nên. Bên cạnh đó, việc lựa chọn sơ đồ mây đối lưu Kain-Fritsch có thể là một trong các nguyên nhân của vấn đề này [5, 17, 21]. Đáng chú ý, một số trạm thuộc khu vực phía Tây và Nam của tỉnh, nơi chủ yếu là địa hình đồi núi có thể có sự sai lệch mang tính hệ thống của mô phỏng từ mô hình WRF bởi chỉ số FAR là khá cao trong khi chỉ số CSI chỉ ở mức trung bình như trạm A Lưới, Hương Nguyên và Thượng Nhật; điều này có thể góp phần vào sai lệch chung.

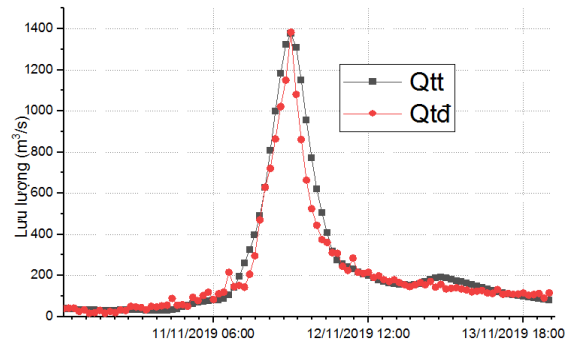
Phân tích và so sánh phân bố tổng lượng mưa theo không gian trong mùa lũ năm 2020 cho thấy phân bố mưa thiên cao ở vùng núi phía Tây và Nam của tỉnh. Nhìn chung, điều này cũng hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu trước đó [3].



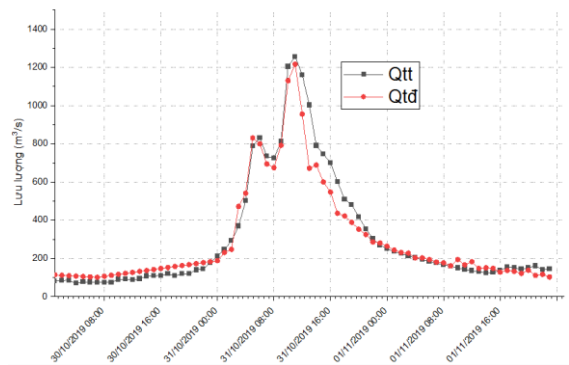
Hình 7. Phân bố không gian tổng lượng mưa giữa thực đo (trên) và mô hình (dưới) từ 1/6/2020 tới 31/12/2020.

3.2. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình HEC-HMS

Kết quả hiệu chỉnh cho thấy đường quá trình lũ thực đo và tính toán đến hồ Tả Trạch (Hình 8 và Hình 9) đều có xu thế lũ lên và lũ xuống đồng pha với nhau. Sai số đỉnh lũ giữa thực đo 1383,3 m³/s và lũ tính toán 1376,2 m³/s là 7,1 m³/s cho trận lũ từ 10-13/11. Đối với trận lũ 30/10-1/11 sai số này là 26,9 m³/s. Đặc biệt, chỉ số NASH đạt 92,3% và 92,5% tương ứng đối với hai trận lũ 10-13/11 và 30/10-1/11. Giá trị sai số tổng lượng tương ứng là 10 và 3,9% (Bảng 2). Chỉ số NASH có kết quả cao hơn 0,9 cho thấy mô hình có khả năng mô phỏng rất tốt quá trình lũ [20]. Phân tích Hình 8 và Hình 9 và Bảng 2 cho thấy quá trình rút của lũ tính toán chậm hơn so với thực đo. Điều này có thể do sự ảnh hưởng của: i) Độ dốc địa hình; ii) Hình dạng mặt cắt sông; và iii) Độ che phủ khiến lũ rút nhanh, và mô hình không thể nắm bắt kịp. Mặc dù vậy, nhìn chung kết quả tính toán cho thấy không có sự chênh lệch nhiều về lưu lượng đỉnh lũ. Kết quả hiệu chỉnh mô hình cho kết quả tương đối tốt và đảm bảo độ tin cậy cao. Hay nói cách khác, bộ thông số ứng với chỉ số NASH trong Bảng 2 là chấp nhận được [20-21] để mô phỏng cho các trận lũ và kịch bản khác trên lưu vực. Cụ thể, giá trị một số thông số chính tìm được cho từng tiểu lưu vực được cho trong Bảng 3.



Hình 8. Hiệu chỉnh lũ đến hồ Tả Trạch, trận lũ 10/11-13/11/2019 với dòng chảy tính toán (Qtt) và thực đo (Qtd).



Hình 9. Kết quả kiểm định lũ đến hồ Tả Trạch, trận lũ 30/10 – 01/11/2019 với dòng chảy tính toán (Qtt) và thực đo (Qtd).

Bảng 2. Thống kê các chỉ số trận lũ hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

	Đơn vị	TL1	TL2
Hệ số NASH		0,923	0,925
Sai số đỉnh	m ³ /s	-7,1	26,9

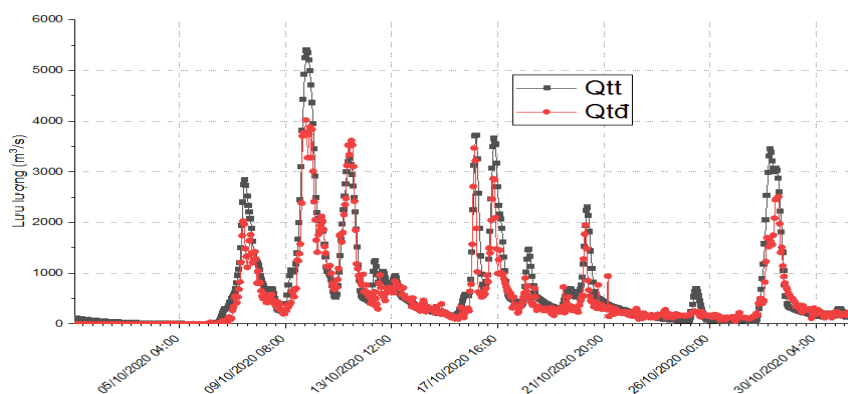
Bảng 3. Giá trị bộ thông số mô hình HEC-HMS cho từng tiểu lưu vực

Thông số	Khoảng giá trị từ HEC-HMS	TaTrach1	TaTrach2	TaTrach3	TaTrach4
Tổn thất ban đầu loss	0 - 500	5	5	5	5
Chỉ số CN	0 - 100	60	60	60	60
% diện tích không thấm	0 - 100	5	5	5	5
Thời gian trễ (phút)	-	250	250	250	250
Hệ số nước rút	0 - 1,0	0,3	0,3	0,3	0,3
Hệ số lệch đỉnh	0 - 1,0	0,2	0,2	0,2	0,2

3.3. Tính toán lũ tới hồ Tả Trạch trong mùa lũ 2020 sử dụng mưa giờ từ mô hình khí tượng WRF

Như được đề cập tới trong phần trước, sau khi lựa chọn được bộ thông số phù hợp của mô hình HEC-HMS, nghiên cứu sử dụng mưa giờ từ mô hình khí tượng WRF làm đầu vào cho mô hình HEC-HMS để tính toán dòng chảy tới hồ Tả Trạch. Hình 10 thể hiện kết quả mô phỏng dòng chảy tới hồ Tả Trạch từ 01/10 - 31/10/2020 trong đó có một số trận lũ điển hình từ 6/10 tới 9/10, 9/10 tới 16/10 và 16/10 tới 20/10. Nhìn chung, dòng chảy đến hồ Tả Trạch được mô phỏng từ mưa giờ của mô hình khí tượng WRF cho kết quả khá tương đồng với dòng chảy thực đo, đặc biệt về pha dao động và giá trị đỉnh. Về xu thế biến đổi của dòng chảy khá phù hợp, tuy nhiên độ chênh lệch về lượng dòng chảy còn lớn, chưa sát với thực tế, chỉ số NASH đạt 0,64 cho trận lũ từ 6-9/10, 0,71 cho trận lũ 1-16/10 và 0,65 cho trận lũ 16-20/10. Nguyên nhân của các vấn đề này có lẽ bởi năm 2020 là năm xuất hiện nhiều dị thường cực đoan thời tiết với tổ hợp của nhiều hình thái thời tiết khác nhau trên khu vực này.

Lượng mưa giờ lớn nhất ghi nhận có nơi đạt gần 60 mm, tổng lượng mưa ngày có nơi ghi nhận gần 500 mm. Đặc biệt, trong các trận lũ được chọn để mô phỏng lượng mưa quan trắc được là rất lớn, dao động trên dưới 1500 mm. Vì vậy, việc nắm bắt các điểm cực trị của mưa và dòng chảy là rất khó. Đáng chú ý là giá trị dòng chảy tính toán thường có xu thế thiên cao so với giá trị thực đo bởi lượng mưa mô phỏng từ mô hình WRF cho giá trị thiên lớn như được phân tích trong mục 3.1. Do đó, cần có thêm những nghiên cứu hơn nữa liên quan tới mưa và dòng chảy cực trị sử dụng kết hợp mô hình khí tượng WRF và mô hình tính toán dòng chảy HEC-HMS cũng như thử nghiệm cách tiếp cận phân tích, hiệu chỉnh thống kê sau mô hình giá trị dòng chảy tương tự cách tiếp cận để hiệu chỉnh lượng mưa từ các mô hình khí tượng [22]. Bên cạnh đó, ngoài sai số bắt nguồn từ mô hình khí tượng thì những sai số đến từ mô hình thủy văn cũng có thể góp phần tới sai số này. Ngoài ra, việc lựa chọn dữ liệu dạng lưới hay dạng điểm cũng có thể ảnh hưởng một phần tới kết quả tính toán dòng chảy tới hồ.



Hình 10. Kết quả mô phỏng một số trận lũ tới hồ Tả Trạch từ 01/10 tới 31/10 năm 2020 với dòng chảy tính toán (Qtt) và thực đo (Qtd).

4. Kết luận

Nghiên cứu đã thiết lập và mô phỏng lượng mưa giờ thành công cho mùa lũ năm 2020 sử dụng mô hình khí tượng WRF với điều kiện biên và ban đầu từ dữ liệu tái phân tích ERA5 với 3

miền lưới tính khác nhau ở độ phân giải cao. Kết quả đã cho thấy sự phù hợp nhất định cả về lượng mưa, xu thế tổng lượng mưa tích lũy và phân bố không gian mưa giữa mô hình và thực đo trong cả mùa lũ 2020. Hệ số tương quan mưa giờ từ mô hình và thực đo là khá tốt, có thể đạt 0,5 ở

một số trạm trên địa bàn tỉnh. Đặc biệt, dữ liệu mưa giờ từ mô hình WRF được sử dụng trực tiếp cho mô hình thủy văn HEC-HMS trong mô phỏng dòng chảy tới hồ Tả Trạch cho xu thế khá phù hợp mặc dù sai số đỉnh lũ còn lớn. Có thể thấy rằng mặc dù kết quả còn hạn chế nhưng hệ thống liên mô hình WRF và HEC-HMS hoàn toàn có thể sử dụng được để mô phỏng dòng chảy tới hồ Tả Trạch và cảnh báo sớm dòng chảy tới hồ như nguồn tham khảo cho các nhà quản lý hồ.

Trong nghiên cứu này, việc tính toán và lựa chọn bộ thông số được dựa trên cơ sở các trận lũ đại biểu trong mùa lũ. Vì vậy, khi thử nghiệm vào dự báo đòi hỏi cần được hiệu chỉnh lại sai số theo số liệu được cập nhật để đảm bảo tính ổn định. Ngoài ra, việc đánh giá khả năng mô phỏng mưa giờ từ mô hình WRF cần được mở rộng theo hướng đánh giá ngưỡng mưa, phân bố mưa cho các năm khác nhau trong các tình huống tổ hợp hình thể thời tiết gây mưa, đặc biệt là ngưỡng mưa lớn, thời gian, khu vực mưa từ đó làm cơ sở để nâng cao chất lượng dự báo mưa giờ sử dụng mô hình khí tượng WRF, hỗ trợ công tác chỉ đạo, điều hành, giúp các đơn vị quản lý đảm bảo vận hành an toàn công trình và giảm thiểu lũ trong điều kiện bình thường và tình huống khẩn cấp một cách hiệu quả. Bên cạnh đó, để đưa hệ thống này vào thực tiễn với kết quả có độ chính xác và tin cậy cao hơn, nghiên cứu đề xuất cần tiến hành thêm nghiên cứu bổ sung về việc áp dụng phương pháp hiệu chỉnh sau mô hình cho hệ thống liên mô hình WRF và HEC-HMS hoặc/và mô hình WRF.

Tài liệu tham khảo

- [1] Feasibility Study Report According to Decision No. 790/QĐ-TTĐ Dated June 28, 2001 of the Government on the Task of Ta Trach Reservoir (in Vietnamese).
- [2] N. A. Tuan, D. T. T. Huong, T. T. T. Huyen, HEC-HMS Hydrological Model for Forecasting the Flow of Water in to Ban Chat Reservoir During Flood Season 2020, *Journal of Natural Resources and Environment*, Vol. 34, 2020, pp. 100-108 (in Vietnamese).
- [3] P. Lia, T. Y. Gan, Sensitivity of Physical Parameterization Schemes in WRF Model for Dynamic Downscaling of Climatic Variables over the MRB. *Journal of Water and Climate Change* Vol. 12, No. 4, 2021, pp. 1043-1058, <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.036>.
- [4] N. I. Kwesi, G. Tan, Y. Hongming, A. A. S. Chaibou, B. A. Habtemicheal, G. T. Gnitou, K. T. L. K. Sian, Assessing the Performance of WRF Model in Simulating Heavy Precipitation Events Over East Africa Using Satellite-Based Precipitation Product, *Remote Sensing*, Vol. 14, No. 9, 2022, pp. 1964, <https://doi.org/10.3390/rs14091964>.
- [5] V. V. Thang, V. T. Anh, T. D. Thuc, T. B. Kien, N. V. Hiep, Verification of WRF Summer Rainfall Forecasts Over the South and Central Highland of Vietnam in Associated with Typhoons in the East Sea, *Journal of Climate Change Science*, Vol. 6, No. 2, 2017, pp. 43-51 (in Vietnamese).
- [6] N. T. Toan, C. Thanh, P. T. Phuong, V. T. Anh, Assessing the Predictability of WRF Model for Heavy Rain by Cold Air Associated with the Easterly Wind at High-Level Patterns over Mid-Central Vietnam, *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, Vol. 34, No 1S, 2018, pp. 132-136, <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnees.4328> (in Vietnamese).
- [7] L. A. Ngoc, N. V. Tin, T. N. Phat, N. V. Hong, The Assessment of the Weather Predictability of WRF Model for Southern Region. *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 708, 2019, pp. 55-63, [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2019\(708\).55-63](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2019(708).55-63) (in Vietnamese).
- [8] T. B. Kien, P. T. T. Nga, T. D. Thuc, P. T. M. Linh, V. V. Thang, Verification of Quantitative Rainfall Forecast Over Vietnam by using the Weather Research and Forecasting Model, *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 738, 2022, pp. 1-11, [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2022\(738\).1-11](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2022(738).1-11) (in Vietnamese).
- [9] P. V. Tan, N. L. Dzong, Testing the Application of the WRF-VAR System Combined with the Vortex Scheme for Trajectory Forecasting in the East Sea, *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 583, 2009, pp. 1-9 (in Vietnamese).
- [10] IMHEN, Applied Research of WRF Model for Weather and Typhoon Forecast in Vietnam, Project Funded by MONRE, 2012 (in Vietnamese).
- [11] S. A. William, M. J. Fleming, Hydrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2006.
- [12] H. V. Khoi et al., Hydrological Modelling, Agriculture Publisher, 2005 (in Vietnamese).

- [13] G. T. Bitew, A. B. Mulugeta, K. Miegel, Application of HEC-HMS Model for Flow Simulation in the Lake Tana Basin: The Case of Gilgel Abay Catchment, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia, *Hydrology*, Vol. 6, No. 1, 2019, pp. 21, <https://doi.org/10.3390/hydrology6010021>.
- [14] S. Kimhuy, C. Oeurng, Application of HEC-HMS Model to Assess Streamflow and Water Resources Availability in Stung Sangker Catchment of Mekong Tonle Sap Lake Basin in Cambodia, 2016, <https://doi.org/10.20944/preprints201612.0136.v1>.
- [15] O. J. Oloche, Z. Li, Application of HEC-HMS for Flood Forecasting in Misai and Wan'an Catchments in China, *Water Science and Engineering*, Vol. 3, No. 1, 2010, pp. 14-22, <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2010.01.002>.
- [16] H. N. Tuan, Applying the Hec-Hms Model to Forecasting the Flood Flow and Constructing the Flood Discharge Process to Downstream of Reservoirs in the Serepok River Basin in Dak Lak Province, Typical Application for Dak Minh Reservoir, Buon Don District, *Journal of Hydrometeorology*, No. 9, 2017, pp. 8-14 (in Vietnamese).
- [17] VDMA, Annual Report in 2017, 2017 (in Vietnamese).
- [18] Y. Umer, V. Jetten, J. Ettema, L. Lombardo, Application of the WRF Model Rainfall Product for the Localized Flood Hazard Modeling in A Data-Scarce Environment, *Natural Hazards*, Vol. 111, No. 2, 2022, pp. 1813-1844, <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05117-6>.
- [19] H. Hersbach, B. Bell, P. Berrisford, G. Biavati, A. Horányi, J. Muñoz Sabater, J. Nicolas, C. Peubey, R. Radu, I. Rozum, D. Schepers, A. Simmons, C. Soci, D. Dee, J. N. Thépaut, ERA5 Hourly Data on Single Levels from 1959 to Present, Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2018, <https://cds.climate.copernicus.eu/> (accessed on: July 22nd, 2022).
- [20] J. E. Nash, J.V. Sutcliffe, River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part I-A Discussion of Principles, *Journal of Hydrology*, Vol. 10, Iss. 3, 1970, pp. 282-290, [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6).
- [21] C. V. Te, M. David RC, L. W. Mays, *Applied Hydrology*, ISBN-10. 0070108102, McGraw-Hill Book Company, 1988.
- [22] M. Douglas, Bias Correcting Climate Change Simulations-A Critical Review, *Current Climate Change Reports*, Vol. 2, No. 4, 2016, pp. 211-220, <https://doi.org/10.1007/s40641-016-0050-x>.