

# TÍNH TOÁN VÀ KHÔI PHỤC CHUỖI SỐ LIỆU DÒNG CHẢY CHO LƯU VỰC SÔNG THAO (BAO GỒM CẢ PHẦN LÃNH THỔ TRUNG QUỐC) BẰNG BỘ MÔ HÌNH KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN KẾT HỢP WEHY-WRF

Hồ Việt Cường, Nguyễn Ngọc Quỳnh

Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Trịnh Quang Toàn

Đại học tổng hợp California, Davis - Hoa Kỳ

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày kết quả tính toán khôi phục dữ liệu dòng chảy cho lưu vực sông Thao, sử dụng bộ công cụ mô hình khí tượng thủy văn kết hợp WEHY-WRF với số liệu đầu vào là dữ liệu khí tượng toàn cầu ERA-20C. Mô hình khí tượng WRF được thiết lập dựa trên các đặc tính vật lý của lưu vực và được kiểm định với các chuỗi số liệu mưa thực đo của các trạm khí tượng mặt đất, kết hợp với bộ số liệu mưa toàn cầu APH của Nhật Bản. Mô hình thủy văn lưu vực WEHY được xây dựng dựa trên các thông số lưu vực như: địa hình, thảm phủ, thổ nhưỡng, v.v... Mô hình được kiểm định dựa trên các chuỗi số liệu thực đo thu thập được ở cả phần lãnh thổ Việt Nam và Trung Quốc. Kết quả số liệu dòng chảy sông Thao được khôi phục từ năm 1950-2008 có độ tin cậy khá tốt và có thể sử dụng để tính toán, phân tích, nghiên cứu về các đặc trưng thủy văn, dòng chảy trên lưu vực.

**Từ khóa:** mô hình khí tượng thủy văn WEHY-WRF, khôi phục dữ liệu, dữ liệu toàn cầu, thu hẹp động lực.

**Summary:** This study presents the reconstruction of hydrologic data over Thao River watershed in the North of Vietnam, by means of the coupled hydro-climate model (WEHY-WRF) with its input provided from historical atmospheric reanalysis data (ERA-20C). The WRF model (the atmospheric component) is implemented based on physical properties of the atmosphere over the study region, and is validated based on observed precipitation data such as ground data and Aphrodite precipitation data (APH). The WEHY model (the hydrologic component) is implemented with its parameters obtained from physical land surface properties of the study region such as topography, land use land cover, and soil data, and its atmospheric input provided from WRF. The coupled hydroclimate model were successfully validated at Thao River watershed by means of comparisons of the model simulations against the observations. Hence, the combination of proposed models are able to reconstruct the historical runoff data during a 58-year historical period (1950-2008) from Thao River watershed.

**Key words:** hydro-climate model WEHY-WRF, reconstruction data, reanalysis data, dynamical downscaling.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khôi phục dữ liệu dòng chảy trong điều kiện hạn chế về số liệu hoặc không có số liệu thực đo là một vấn đề rất cần thiết để phục vụ công

tác phân tích, tính toán thủy văn. Các số liệu thủy văn trong quá khứ có độ tin cậy tốt sẽ là cơ sở để tính toán các thông số thủy văn thiết kế, lập quy hoạch, quản lý tài nguyên nước,... xây dựng các đánh giá, phân tích về diễn biến của các đặc trưng thủy văn trên lưu vực. Trước đây, các nghiên cứu khôi phục số liệu thủy văn, dòng chảy chủ yếu sử dụng các dữ liệu

---

Ngày nhận bài: 19/9/2017

Ngày thông qua phản biện: 05/12/2017

Ngày duyệt đăng: 22/12/2017

mưa thực đo và tính toán bằng các mô hình diễn toán mưa - dòng chảy [1], hoặc sử dụng các phương pháp thống kê thông qua các chuỗi số liệu đo đạc trong quá khứ [2], [3]. Tuy nhiên, nếu trong điều kiện không có số liệu đo đạc mưa, dòng chảy, hoặc dữ liệu không liên tục, hoặc ở các bước thời gian quá dài (tháng, năm), thì các phương pháp này thường có sai số lớn và không thích hợp [4].

Trong những năm gần đây với sự phát triển của công nghệ máy tính và sự hoàn thiện của các thuật toán, phần mềm mô phỏng số được ứng dụng trong lĩnh vực khí tượng – thủy văn, thì vấn đề khôi phục các dữ liệu dòng chảy trong điều kiện ít dữ liệu hoặc không có dữ liệu đã trở nên khả thi hơn. Kavvas và các cộng sự [5] đã phát triển bộ công cụ kết hợp giữa mô hình khí tượng và mô hình thủy văn nhằm khôi phục lại phần dữ liệu còn thiếu tại các lưu vực ít số liệu và không có số liệu. Bộ mô hình này sử dụng các dữ liệu toàn cầu bao gồm: dữ liệu khí tượng toàn cầu (mưa, gió, nhiệt độ, khí áp, bốc hơi, bức xạ,...), dữ liệu ảnh viễn thám. Những dữ liệu này được sử dụng làm đầu vào để tính toán các điều kiện biên, điều kiện ban đầu và thiết lập các thông số vật lý của mô hình, hoặc cũng có thể sử dụng như những dữ liệu thực đo, phục vụ cho việc hiệu chỉnh và kiểm định mô hình áp dụng. Bài báo trình bày một số kết quả tính toán khôi phục chuỗi số liệu dòng chảy từ năm 1950-2008 cho lưu vực sông Thao bằng việc sử dụng bộ mô hình khí tượng thủy văn kết hợp WEHY-WRF.

## 2. PHƯƠNG PHÁP TIẾP CẬN VÀ SỐ LIỆU

### 2.1. Tổng quan khu vực nghiên cứu

Lưu vực sông Thao là một lưu vực sông quan trọng ở miền bắc Việt Nam, sông Thao là dòng chính của hệ thống sông Hồng. Bắt nguồn từ cực Tây Bắc của lưu vực ở  $25^{\circ}30'$  vĩ độ Bắc và  $100^{\circ}15'$  kinh độ Đông trên độ cao hơn 1770m, dòng chính sông Thao chảy trên lãnh thổ Trung Quốc được gọi là sông Nguyên

(sông có chiều dài 640km tương ứng diện tích lưu vực  $39.840\text{km}^2$ ). Sông Nguyên chảy vào Việt Nam ở Lào Cai và chảy theo hướng Tây Bắc - Đông Nam và được gọi là sông Thao (sông có chiều dài 270km tương ứng với phần diện tích lưu vực ở Việt Nam là  $11.910\text{km}^2$ ). Tại Việt Trì sông Thao hợp lưu với sông Đà, sông Lô-Gâm rồi chảy ra biển Đông được gọi là sông Hồng. Sông Thao chảy thẳng ít khúc khuỷu độ dốc lòng sông lớn. Các nhánh của sông Thao thường ngắn và dốc, chảy gần như vuông góc với dòng chính, bờ tả chủ yếu là các nhánh nhỏ, bờ hữu có một số nhánh lớn như Ngòi Nhi có diện tích lưu vực  $1.543\text{km}^2$ , Ngòi Thia có diện tích lưu vực  $1570\text{km}^2$ . Diện tích toàn bộ lưu vực (bao gồm cả phần Trung Quốc và Việt Nam) tính đến Việt Trì là:  $51.750\text{km}^2$ , với tổng chiều dài 910km.



Hình 1. Bản đồ vị trí lưu vực sông Thao trên lãnh thổ Việt Nam [6]

### 2.2. Phương pháp tính toán khôi phục dữ liệu dòng chảy cho lưu vực sông Thao

#### a) Tiếp cận đánh giá dữ liệu khí tượng toàn cầu (Reanalysis data):

Có nhiều loại dữ liệu khí tượng toàn cầu khác nhau trên thế giới, nổi bật nhất là dữ liệu từ Trung tâm Nghiên cứu Khí tượng và Môi trường Hoa Kỳ (NCEP/NCAR), dữ liệu của Châu Âu (ECMWF, ERA), hay của Nhật Bản (JMA). Đặc điểm chung của các bộ dữ liệu này là độ phân giải thô có thể dao động từ (80-300km) cho một cạnh của một ô lưới tính toán

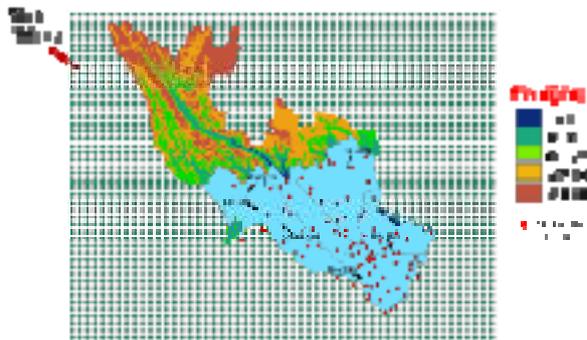
[7]. Với độ phân giải thô như vậy, các bộ số liệu toàn cầu cần phải được thu hẹp (downscaling) nhằm chi tiết hóa các điều kiện số liệu về các yếu tố khí tượng (mưa, gió, nhiệt độ, bức xạ, bốc hơi...) trong vùng nghiên cứu [7]. Vì vậy trong nghiên cứu này, phương pháp thu hẹp động lực (dynamical downscaling) được áp dụng nhằm chi tiết hóa bộ số liệu khí tượng trên toàn bộ lưu vực sông Thao trước khi đưa vào tính toán để khôi phục các dữ liệu thủy văn, dòng chảy cho lưu vực. Dữ liệu khí tượng toàn cầu được chọn là bộ số liệu ERA-20C được cung cấp bởi Trung tâm dự báo khí tượng Châu Âu (ECMWF). Đây là bộ dữ liệu có độ phân giải khá tốt so với các bộ dữ liệu toàn cầu khác (với độ phân giải là 125km) được cung cấp với các bước thời gian khác nhau (6h, ngày, tháng). Các tính toán thu hẹp động lực trong nghiên cứu này sử dụng bộ dữ liệu ERA-20C với bước thời gian 6 giờ, nhằm xây dựng các điều kiện biên và điều kiện ban đầu cho miền tính toán là toàn bộ lưu vực sông Thao (gồm cả phần lưu vực Trung Quốc và Việt Nam).

#### ***b) Thu hẹp động lực các điều kiện khí tượng lưu vực bằng mô hình WRF:***

Mô hình WRF là mô hình nghiên cứu dự báo sử dụng các ràng buộc vật lý phục vụ tính toán chi tiết hóa các yếu tố khí tượng ở độ phân giải cao. Đây là công cụ mới được phát triển trong những năm gần đây nhưng đã được ứng dụng rất phổ biến và rộng rãi. Cũng như các mô hình khí tượng trước đây, WRF cơ bản được xây dựng dựa trên các phương trình động lực học [8]. Đầu ra của mô hình WRF sau khi đã được thu hẹp có chứa nhiều biến khí tượng khác nhau như: mưa, nhiệt độ, gió, áp suất, bức xạ mặt trời đến, bức xạ đi,... Các dữ liệu này được đưa ra ở dạng dữ liệu chuỗi với bước thời gian có thể chọn trước theo từng giờ (1 giờ). Kết quả đầu ra của mô hình WRF được tính toán ở dạng trung bình ô lưới cho các yếu tố khí tượng và có thể sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho các mô hình thủy văn lưu vực [8].

Trong tính toán thu hẹp động lực, các mô hình khí tượng thường được khuyến cáo là thu hẹp dần dần xuống các ô lưới có kích thước nhỏ hơn, và thông thường bằng 1/3 các ô lưới trước đó (ví dụ 81km→27km→9km→3km) [9]. Trong nghiên cứu này, độ phân giải được sử dụng là 9km cho toàn bộ lưu vực sông Thao, và miền tính toán thiết lập tương ứng với độ phân giải này được thể hiện như trên Hình 2.

Các số liệu khí tượng ERA-20C sau khi được giải nén, giải mã hóa, được đưa vào trong mô hình WRF nhằm tiến hành thiết lập các điều kiện biên và điều kiện ban đầu để tính toán mô phỏng động lực các điều kiện khí tượng trên toàn miền tính toán.



Hình 2. Miền tính toán và vị trí các trạm đo khí tượng trên lưu vực [6]

#### ***c) Tính toán mô phỏng dòng chảy trên lưu vực bằng mô hình WEHY:***

Trên thế giới hiện nay có nhiều mô hình thủy văn phân bố có thể mô phỏng được các quá trình dòng chảy dựa trên cả các dữ liệu đầu vào là mưa, nhiệt độ, gió, bốc hơi,... hay bao gồm cả các yếu tố bề mặt lưu vực như: địa hình, cây trồng, chất liệu đất,... và cả độ che phủ lá cây. Các yếu tố mặt đệm này ảnh hưởng rất nhiều đến quá trình thấm và sự hình thành dòng chảy mặt, sát mặt, dòng ngầm. Trong đó mô hình WEHY là một dạng mô hình vật lý thực rất mạnh của Mỹ. Mô hình này có thể mô phỏng chi tiết các quá trình dòng chảy gồm: dòng chảy sườn dốc, thấm, bốc hơi, dòng ngầm, diễn toán trong lòng sông [5], [12]. Đây

cũng là mô hình đã được ứng dụng thành công ở nhiều nơi trên thế giới như Mỹ, Canada, Nhật, Malaysia, Thổ Nhĩ Kỳ, Syria, Iraq, Iran, Hàn Quốc. Một điểm rất quan trọng khi nói đến mô hình WEHY là khả năng tương tác với các mô hình khí tượng, đặc biệt là các mô hình thu hẹp khí tượng động lực như MM5, WRF. Bộ mô hình MM5 hay WRF đã được kết hợp thành công với WEHY trong các nghiên cứu về hạn hán, khôi phục số liệu dòng chảy, khôi phục số liệu bốc hơi, tính toán dòng chảy ngầm, dự báo mưa 72h, 48h và 36h cho các lưu vực ở Malaysia, Nhật bản và Thổ Nhĩ Kỳ [5], [9], [10], [11].

Để có thể thiết lập mô hình WEHY, các thành phần biểu diễn vùng nghiên cứu cần phải được thông số hóa và đưa vào các dạng format chuẩn của mô hình. Dữ liệu đầu vào của mô hình WEHY, ngoài các dữ liệu khí tượng đã được thu hẹp, còn cần đến các thông số về thảm phủ bao gồm độ che phủ lá cây, các đặc tính về đất, các thông số về bức xạ, độ sâu tầng rễ, các đặc điểm về địa hình bề mặt lưu vực [12]. Các số liệu về độ che phủ lá cây, thảm phủ, địa hình, có thể thu thập từ các bộ dữ liệu ảnh vệ tinh, ảnh viễn thám trên toàn cầu từ các tổ chức uy tín như Trung tâm hàng không và vũ trụ quốc gia Hoa Kỳ (NASA), Trung tâm khảo sát địa chất Hoa Kỳ (USGS), Tổ chức nông lương thế giới (FAO), Tổ chức đất thế giới (Soilgrid).

#### ***d) Quy trình tính toán khôi phục dữ liệu dòng chảy cho lưu vực sông Thao:***

Để khôi phục dữ liệu dòng chảy cho lưu vực sông Thao, nghiên cứu đã sử dụng bộ công cụ mô hình toán khí tượng – thủy văn kết hợp WEHY-WRF do Trung tâm thủy văn California-CHRL phát triển [5], quá trình mô phỏng khí tượng – thủy văn trên lưu vực được thực hiện theo chu trình khép kín trong từng thời đoạn tính toán thông qua các module ghép nối của mô hình. Quy trình công nghệ của mô hình được mô tả như sơ đồ khối tại Hình 3.

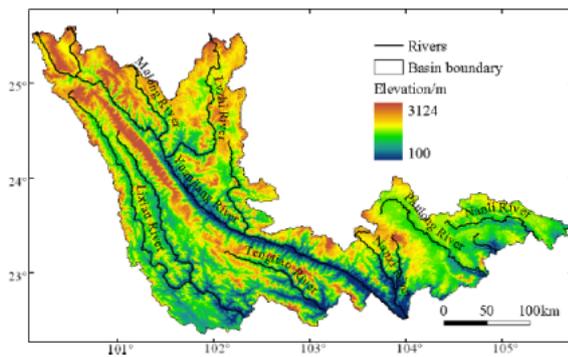


Hình 3. Quy trình tính toán khôi phục dữ liệu dòng chảy trên lưu vực bằng mô hình khí tượng thủy văn WEHY-WRF

### **2.3. Số liệu sử dụng để kiểm định mô hình khí tượng thủy văn WEHY-WRF**

Bộ số liệu khí tượng thủy văn được sử dụng nhằm kiểm định bộ mô hình khí tượng thủy văn WEHY-WRF được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau. Phần số liệu mưa và dòng chảy trên toàn bộ lưu vực sông Thao thuộc lãnh thổ Việt Nam được thu thập từ Trung tâm tư liệu Khí tượng Thủy văn Quốc gia - Bộ Tài nguyên và Môi trường và tại các cơ quan nghiên cứu chuyên ngành, với dữ liệu của tất cả các trạm như trên Hình 2. Bước thời gian của các số liệu này chủ yếu được đo đạc ở dạng dữ liệu giờ, ngày hoặc tháng. Dữ liệu mưa phần lãnh thổ Trung Quốc được thu thập từ bộ dữ liệu Aphrodite [AHP] của Nhật Bản [14], dữ liệu AHP (Asian Precipitation-Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation) là dữ liệu tính toán từ các trạm đo mưa mặt đất trên toàn cầu, có sử dụng các phương pháp tính toán nội suy, ngoại suy với độ phân giải 25 km. Dữ liệu được lưu trữ ở dạng mưa ngày từ năm 1951-2007 cho toàn cầu bao gồm dữ liệu mưa ở cả các khu vực địa hình núi hiểm trở như dãy núi Himalayas và các khu vực ít hoặc không có dữ liệu thực đo trong vùng Nam Á, Đông Nam Á... Các dữ liệu đo đạc được thu thập từ hơn 10.000

trạm dữ liệu mặt đất của tất cả các quốc gia trên toàn cầu. Đề án xây dựng dữ liệu Aphrodite được bắt đầu thực hiện vào năm 2006 và kết thúc vào tháng 3 năm 2011, hiện nay Aphrodite đang trở thành một trong những bộ dữ liệu được sử dụng nhiều nhất trong các nghiên cứu về khí tượng - thủy văn ở khu vực Châu Á [14].



Hình 4. Bản đồ địa hình và các nhánh sông thuộc Trung Quốc, phía thượng nguồn lưu vực sông Hồng - Thái Bình [14].

Hiện nay các số liệu khí tượng, thủy văn ở thượng nguồn lưu vực sông Thao phía Trung Quốc mặc dù không được cung cấp cho phía Việt Nam. Tuy nhiên, với sự chia sẻ thông tin rộng rãi của các tạp chí khoa học Quốc tế, một số thông tin và số liệu dòng chảy tại ba nhánh sông chính trên lãnh thổ Trung Quốc đã được khôi phục để sử dụng trong nghiên cứu này. Cụ thể là năm 2008 nhóm tác giả LI Yungang, HE Daming, YE Changqing thuộc trường đại học Vân Nam Trung Quốc, đã xuất bản các ấn phẩm khoa học liên quan đến số liệu dòng chảy trên các nhánh sông phía bắc (thượng nguồn) sông Hồng - Thái Bình [14]. Trong đó có 3 nhánh sông chính được đề cập đến bao

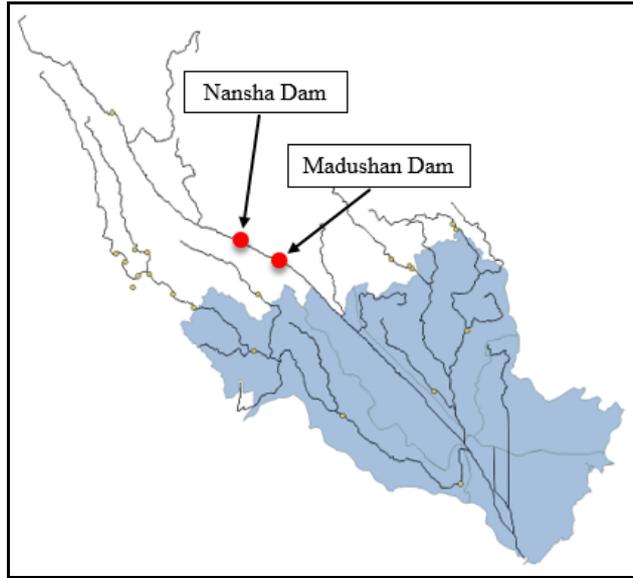
gồm nhánh sông Lixian thượng lưu sông Đà, nhánh Yuanjiang thượng lưu sông Thao và nhánh sông Panlong thượng lưu sông Lô. Tương ứng với 3 nhánh sông chính là 3 lưu vực sông với lưu vực sông Yuanjian, lưu vực sông Lixian và lưu vực Panlong.

Hình 4 là bản đồ địa hình và các nhánh sông chính trên phần thượng nguồn lưu vực sông Thao phía Trung Quốc, ngoài các nhánh sông chính còn các nhánh sông phụ bao gồm Tengtiao, Malong, Nanxi, Nanli. Trong nghiên cứu 2008 của trường đại học Vân Nam, số liệu thủy văn dòng chảy được cung cấp dưới dạng tổng lượng dòng chảy năm từ 1956-2000. Theo thống kê, số liệu tổng lượng dòng chảy năm trung bình trên lưu vực sông Yuanjiang có giá trị trung bình vào khoảng  $146.1 (10^8 m^3)$ . Giá trị thấp nhất trong chuỗi là năm 1980 với lượng dòng chảy năm là  $91 (10^8 m^3)$ . Giá trị cao nhất là  $245.7 (10^8 m^3)$  xuất hiện vào năm 1971. Độ lệch chuẩn dữ liệu là  $31.7 (10^8 m^3)$ ... Các số liệu này sẽ được sử dụng để kiểm định mô hình WEHY cho phần lưu vực phía lãnh thổ Trung Quốc.

Ngoài số liệu dòng chảy, các thông tin về Hồ chứa ở thượng nguồn lưu vực sông Thao (phía Trung Quốc) cũng đã được thu thập. Hiện tại có 2 hồ chứa là Nansha và Madushan nằm kế tiếp nhau cách nhau khoảng 48 km và đều nằm trên nhánh sông chính Yuanjiang, đập Nansha nằm ở phía trên thượng nguồn của đập Madushan và là hai hồ chứa thủy điện có vị trí khá gần với biên giới Việt Nam - Trung Quốc (Hình 5). Cả hai đập Nansha và Madushan đều được xây dựng gần đây (2006 và 2007) với dung tích khá nhỏ so với các hồ chứa thủy điện của Việt Nam.

**Bảng 1. Thông tin các hồ thủy điện trên lưu vực sông Yuanjiang**

Tên Hồ	Lưu vực	Năm xây dựng	Năm hoạt động	Chiều cao đập	Dung tích (triệu $m^3$ )	Khoảng cách đến biên giới
Nanshan Dam	Yuanjiang	2/2006	7/2008	85 m	212	94 km
Madushan Dam	Yuanjiang	5/2007	2/2011	105.5 m	551	46 km



Hình 5. Vị trí các hồ chứa phía thượng nguồn lưu vực sông Thao.

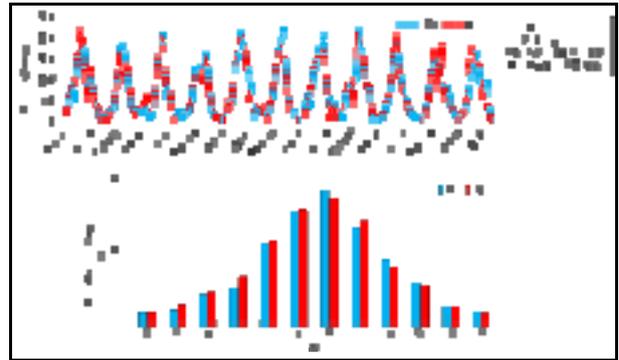
### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kết quả kiểm định mô hình khí tượng WRF

Sau khi thiết lập thành công mô hình khí tượng thu hẹp động lực WRF, tiến hành tính toán và mô phỏng các yếu tố khí tượng cho toàn bộ lưu vực nghiên cứu. Toàn bộ lưu vực sông Thao được chia làm 2 phần gồm, phần thượng nguồn phía Trung Quốc và phần hạ nguồn phía lãnh thổ Việt Nam. Kết quả của mô hình được chiết xuất với độ phân giải dữ liệu là 9km và được so sánh với các dữ liệu đo đạc tại các trạm khí tượng trên lưu vực có vị trí trùng với ô lưới tính toán. Trong nghiên cứu này, các số liệu mưa và nhiệt độ phía lãnh thổ Việt Nam được thu thập khá đầy đủ với tổng số 91 trạm có dữ liệu từ 1970 đến nay (Hình 2). Đây là cơ sở để kiểm định và đánh giá kết quả mô phỏng các điều kiện khí tượng cho phần hạ lưu của lưu vực sông Thao.

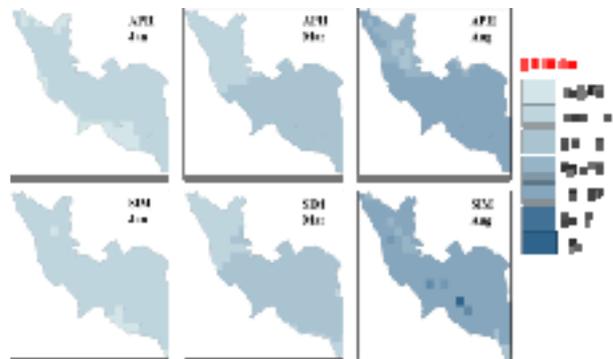
Kết quả so sánh giữa mưa mô phỏng và mưa thực đo trung bình tháng ở hạ lưu lưu vực sông Thao từ năm 1990–2000 (Hình 6) cho thấy đường mô phỏng (màu đỏ) khá gần với kết quả thực đo (màu xanh). Các chỉ số tương quan (0.893) và chỉ số Nash (0.782) khá tốt, chỉ số trung bình thực đo cũng khá sát với chỉ số trung bình mô phỏng (~143mm). Nếu xem xét

tính toán cho trung bình từng tháng nhiều năm (1990 - 2000), kết quả cũng rất tương đồng giữa các giá trị tính toán và thực đo. Dựa vào các kết quả kiểm định ở trên có thể nhận thấy rất rõ ràng, các kết quả so sánh khá sát nhau cả về mùa khô (từ tháng 10 năm trước, đến tháng 4 năm sau) và mùa mưa (từ tháng 5-9).



Hình 6. Kết quả kiểm định mưa trung bình lưu vực từ 1990-2000

Do không có dữ liệu khí tượng của phần thượng nguồn lưu vực thuộc phía lãnh thổ Trung Quốc nên các số liệu mưa toàn cầu Aphrodite (APH) của Nhật Bản (với độ phân giải 25km) được sử dụng và coi như là các dữ liệu thực đo để kiểm định mô hình (Bản chất của dữ liệu APH là được tính toán lại ở độ phân giải 25km với nguồn số liệu từ các trạm đo mặt đất thu thập được trên toàn cầu). Kết quả mô phỏng mưa ở phần thượng nguồn phía Trung Quốc được so sánh với dữ liệu APH cho toàn bộ lưu vực như trên Hình 7.



Hình 7. Kết quả kiểm định phân bố mưa trung bình tháng nhiều năm (1990-2000) cho toàn bộ lưu vực sông Thao.

Các số liệu phân bố mưa của APH và WRF có sự khác biệt về độ phân giải, nên kết quả tính toán mưa của mô hình WRF sẽ được nội suy từ độ phân giải 9km sang độ phân giải 25km để so sánh đồng bộ như trên Hình 7. So sánh bản đồ phân bố lượng mưa của một số tháng điển hình, đại diện cho đặc trưng mưa trong năm như: Tháng 1 (mùa khô), Tháng 3 (mùa trung gian) và Tháng 8 (mùa mưa) cho thấy kết quả mô phỏng của mô hình WRF khá tương đồng với số liệu mưa của APH. Có đến ~87% diện tích trùng nhau theo các ô màu so sánh giữa các số liệu tính toán từ WRF và APH trong cả ba tháng so sánh.

Kết quả kiểm định mô hình khí tượng WRF cho toàn lưu vực (bao gồm cả Việt Nam và Trung Quốc) là khá tốt, đảm bảo độ tin cậy và có thể sử dụng mô hình này để tính toán mô phỏng các yếu tố khí tượng trên lưu vực sông Thao để làm số liệu đầu vào cho các tính toán khôi phục dòng chảy của mô hình thủy văn WEHY.

### 3.2. Kết quả kiểm định mô hình thủy văn WEHY

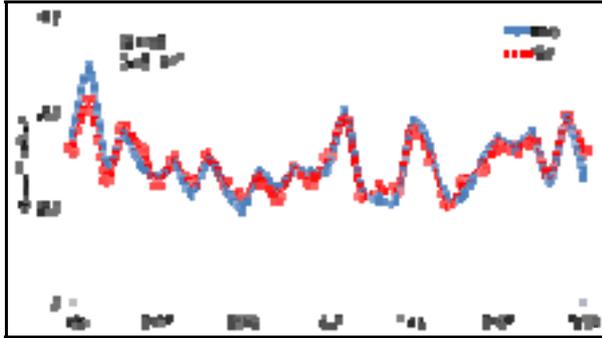
Sử dụng mô hình WRF đã được kiểm định, tiến hành mô phỏng các điều kiện khí tượng cho lưu vực sông Thao, kết quả nhận được là các chuỗi số liệu khí tượng trung bình ngày trên toàn lưu vực từ 1950-2008. Tiếp tục sử dụng bộ dữ liệu khí tượng đã được thu hẹp này để làm dữ liệu đầu vào cho các tính toán khôi phục dòng chảy bằng mô hình thủy văn WEHY (Watershed Environmental Hydrology). Thông số đầu vào của mô hình

WEHY được chia làm 2 loại chính: (1) các thông số trên sườn dốc; (2) các thông số chảy truyền trong sông. Một số thông số mô tả các tính chất vật lý của lòng dẫn như độ dốc của đoạn sông, sườn dốc 2 bên lòng sông, hay khả năng chuyển đổi giữa dòng chảy trong sông kết nối với các tầng nước sát mặt và nước ngầm [5], [12], [13]. Dữ liệu được sử dụng để tính toán bao gồm các dữ liệu về điều kiện địa hình lưu vực (DEM), số liệu đất, thảm phủ và các dữ liệu khí tượng gồm lượng mưa, độ ẩm, bốc hơi,... được thu thập từ các cơ sở dữ liệu toàn cầu và các trạm đo trên lưu vực.

Do các hồ chứa phía thượng nguồn Trung Quốc được xây dựng trong khoảng từ 2006-2007 và bắt đầu hoạt động điều tiết từ năm 2008. Nên khi tính toán kiểm định dữ liệu dòng chảy cho mô hình WEHY hoàn toàn có thể coi số liệu trước năm 2008 là số liệu dòng chảy tự nhiên khi chưa có sự tác động của hệ thống các đập thủy điện Trung Quốc. Số liệu sử dụng để kiểm định bao gồm số liệu tổng lượng trên sông Yuanjiang phía thượng nguồn Trung Quốc [15] và số liệu dòng chảy thực đo tại các trạm Yên Bái và Lào Cai từ năm 1970-1996 (27 năm). Tiến hành chiết xuất dữ liệu mô phỏng từ mô hình thủy văn WEHY so sánh với các số liệu thu thập được trên sông Yuanjiang từ năm 1970-2000 (31 năm). So sánh giữa số liệu thực đo (sông Yuanjiang - Trung Quốc) và số liệu chiết xuất từ mô hình WEHY cho thấy kết quả mô phỏng khá tốt, kết quả kiểm định được thể hiện tại Bảng 2 và Hình 8.

**Bảng 2. So sánh thông số thống kê giữa kết quả tính toán và số liệu thực đo sông Yuanjiang - Trung Quốc, thời đoạn từ 1970-2000**

Sông Yuanjiang	Tổng lượng dòng chảy năm (1970-2000)	Độ lệch chuẩn	Chỉ số tương quan	Nash
Thực đo $10^8 m^3$	146.9	32.1	0.94	0.87
Tính toán $10^8 m^3$	146.1	28.1		

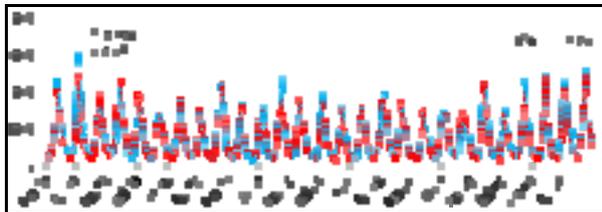


Hình 8. So sánh kiểm định tổng lượng dòng chảy năm mô phỏng và số liệu thực đo trên sông Yuanjiang – Trung Quốc từ 1970-2000.

Kết quả kiểm định dòng chảy tại trạm thủy văn Yên Bái – Việt Nam cho thấy các chỉ số

**Bảng 3. So sánh thông số thống kê giữa kết quả tính toán và số liệu thực đo tại trạm Yên Bái - Việt Nam, thời đoạn từ 1970-1996**

Trạm Yên Bái - sông Thao	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Chỉ số tương quan	Nash
Thực đo	762.63 m <sup>3</sup> /s	591.6 m <sup>3</sup> /s	0.884	0.81
Tính toán	734.93 m <sup>3</sup> /s	561.7 m <sup>3</sup> /s		



Hình 9. So sánh kiểm định dòng chảy trung bình tháng giữa mô phỏng và số liệu thực đo tại trạm Yên Bái trên sông Thao – Việt Nam từ 1970-1996.

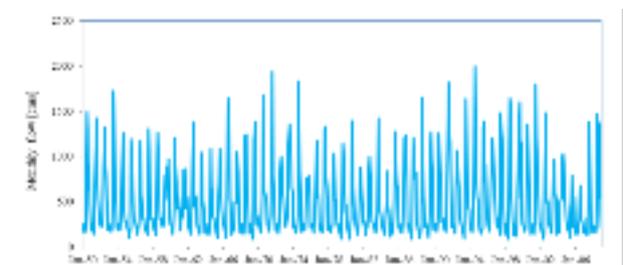
Kết quả kiểm định cho thấy mô hình WEHY có thể mô phỏng khá tốt dòng chảy trên cả phần lưu vực sông Thao phía lãnh thổ Trung Quốc và cả ở Việt Nam, các chỉ số thống kê đều đạt giá trị từ 0,8 trở lên. Một điểm đáng chú ý là dữ liệu khí tượng sử dụng làm đầu cho mô hình WEHY là các số liệu khí tượng đã được tính toán thu hẹp bằng mô hình WRF dựa trên bộ dữ liệu khí tượng toàn cầu ERA-20C. Như vậy có thể khẳng định rằng, các kết quả tính toán bằng phương pháp động lực trên mô hình khí tượng – thủy văn kết hợp WEHY-WRF đều cho kết quả tốt, với độ tin cậy cao và

thống kê đều đạt trên 0,8 (hệ số tương quan  $R^2=0.884$  và chỉ số Nash=0.81), với đường màu xanh là biểu diễn các giá trị thực đo và đường màu đỏ biểu diễn các giá trị mô phỏng. Kết quả mô phỏng theo quan sát là khá sát với thực đo cả về phần mùa lũ và mùa kiệt, đồng nghĩa với khả năng mô phỏng tốt dòng chảy cho lưu vực sông Thao của mô hình WEHY. Giá trị trung bình tính toán tại trạm Yên Bái từ năm 1970-1996 vào khoảng 734.93 m<sup>3</sup>/s khá gần với giá trị trung bình đo đạc (762.63 m<sup>3</sup>/s). Kết quả kiểm định chi tiết được thể hiện tại Bảng 3 và Hình 9.

có thể sử dụng bộ mô hình này để tính toán mô phỏng và khôi phục dữ liệu dòng chảy cho lưu vực sông Thao.

**3.3. Kết quả tính toán và khôi phục dữ liệu dòng chảy cho lưu vực sông Thao**

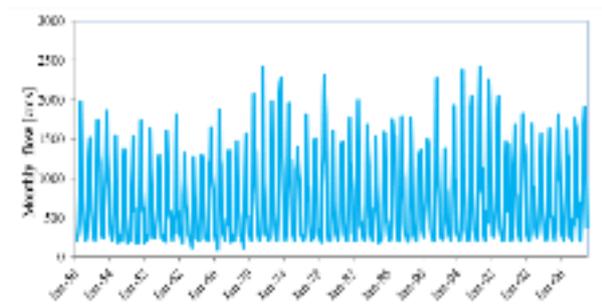
Sau khi kiểm định, mô hình WEHY được áp dụng để tính toán mô phỏng các quá trình dòng chảy trên toàn bộ lưu vực sông Thao từ 1950-2008. Kết quả khôi phục dữ liệu dòng chảy tại một số vị trí được thể hiện tại các Hình 10, Hình 11, Hình 12.



Hình 10. Kết quả khôi phục chuỗi dòng chảy trung bình ngày tại vị trí biên giới Trung Quốc - Việt Nam trên sông Thao, từ 1950-2008.

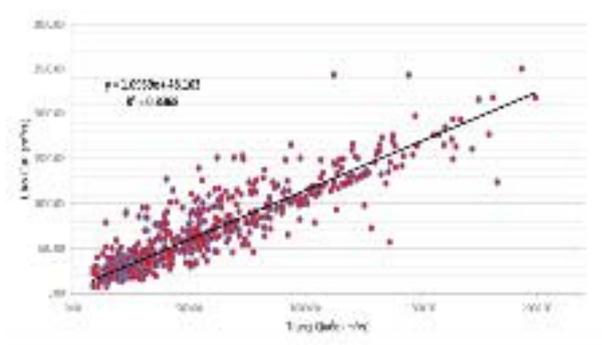


Hình 11. Kết quả khôi phục chuỗi dòng chảy trung bình ngày tại trạm Lào Cai, từ 1950-2008.

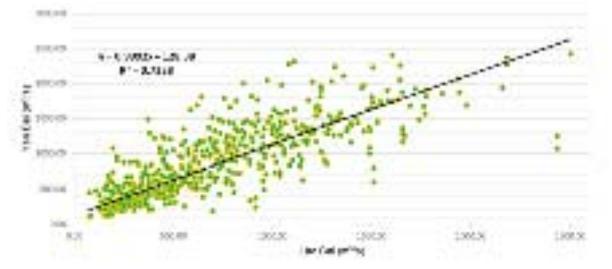


Hình 12. Kết quả khôi phục chuỗi dòng chảy trung bình ngày tại trạm Yên Bái, từ 1950-2008.

Dựa vào các kết quả tính toán khôi phục số liệu dòng chảy, tiến hành các phân tích mối quan hệ tương quan giữa lưu lượng trạm trên (dòng chảy phía Trung Quốc) và trạm dưới (dòng chảy phía Việt Nam). Kết quả phân tích được thể hiện tại các Hình 13 và Hình 14.



Hình 13. Quan hệ tương quan giữa lưu lượng dòng chảy phía lãnh thổ Trung Quốc và lưu lượng tại trạm Lào Cai – Việt Nam [ $m^3/s$ ].



Hình 14. Quan hệ tương quan giữa lưu lượng dòng chảy tại trạm Lào Cai và lưu lượng tại trạm Yên Bái [ $m^3/s$ ].

Như vậy, từ kết quả tính toán khôi phục chuỗi số liệu dòng chảy lưu vực sông Thao trên cả phần lãnh thổ Trung Quốc và Việt Nam. Dựa vào mối quan hệ tương quan giữa các trạm đã xây dựng, nếu biết được lưu lượng tại các trạm phía Việt Nam, có thể xác định được sơ bộ lưu lượng dòng chảy sông Thao phía thượng nguồn thuộc lãnh thổ Trung Quốc (dòng chảy vào Việt Nam) theo mối quan hệ tuyến tính như trên Hình 13 và Hình 14.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã ứng dụng phương pháp tính toán thu hẹp động lực nhằm khôi phục dữ liệu khí tượng cho toàn bộ lưu vực sông Thao ở độ phân giải 9 km và qua đó tính toán mô phỏng lại toàn bộ các điều kiện thủy văn trên lưu vực. Kết quả mô phỏng của mô hình khí tượng thủy văn kết hợp WEHY-WRF đã được so sánh kiểm định với các dữ liệu thực đo trên cả phần lãnh thổ Trung Quốc và Việt Nam, kết quả tính toán có độ tin cậy tốt và đạt các chỉ tiêu thống kê từ 0,8 trở lên. Mô hình sau khi kiểm định, đã được áp dụng để tính toán khôi phục lại các điều kiện khí tượng thủy văn trên toàn bộ lưu vực sông Thao từ năm 1950 đến năm 2008. Kết quả thu nhận được là bộ số liệu mưa và dòng chảy trên toàn bộ lưu vực, bao gồm cả phần thượng nguồn phía lãnh thổ Trung Quốc và toàn bộ phần hạ lưu phía Việt Nam. Từ các chuỗi số liệu dòng chảy được khôi phục, đã tiến hành phân tích mối quan hệ giữa dòng chảy phía Việt Nam và Trung Quốc.

Dựa trên các hàm tương quan đã xây dựng, có thể xác định sơ bộ được lưu lượng dòng chảy phía Trung Quốc vào lãnh thổ Việt Nam từ số liệu dòng chảy thực đo tại các trạm thủy văn của Việt Nam trên sông Thao.

Qua nghiên cứu có thể thấy, bộ mô hình khí tượng thủy văn kết hợp WEHY-WRF đã được áp dụng thành công để tính toán khôi phục chuỗi số liệu dòng chảy cho lưu vực sông Thao. Trong các nghiên cứu tiếp theo, mô hình này sẽ được ứng dụng để tính toán và nghiên cứu ảnh hưởng sự điều tiết dòng chảy của các

hồ chứa thủy điện phía thượng nguồn Trung Quốc, tác động lên chế độ thủy văn dòng chảy các sông phía hạ lưu của Việt Nam. Nghiên cứu này cũng có thể được mở rộng để tính toán khôi phục dữ liệu cho dòng chảy lũ, kiệt và mô phỏng sự biến đổi về các điều kiện khí tượng thủy văn trên lưu vực trong tương lai theo các điều kiện biến đổi khí hậu. Từ đó có thể tham khảo các kết quả tính toán khí tượng, thủy văn để đưa ra biện pháp thích hợp nhằm giảm thiểu các tác động tiêu cực cho lưu vực sông Thao.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Adam, Jennifer C., and Dennis P. Lettenmaier “Application of new precipitation and reconstructed streamflow products to streamflow trend attribution in northern Eurasia”. *Journal of Climate* 21.8 (2008): 1807-1828.
- [2] Salas, J. D., Ramirez, J. A., Burlando, P., and Pielke, R. A. (2003) “Stochastic simulation of precipitation and streamflow processes”. *Handbook of weather, climate, and water: Atmospheric chemistry, hydrology, and societal impacts*, T. D. Thomas and B. R. Colman, eds., Wiley, New York, 607–640
- [3] Salas, J. D. (1993) “Analysis and modeling of hydrologic time series”. Chapter 19, *Handbook of hydrology*, D. R. Maidment, ed., McGraw-Hill, New York.
- [4] Chen, Z. R., Kavvas, M., Ohara, N., Anderson, M., and Yoon, J. (2011) “Coupled regional hydroclimate model and its application to the Tigris-Euphrates basin”. *J. Hydrol. Eng.*, 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000207, 1059–1070.
- [5] Kavvas, M., Kure, S., Chen, Z., Ohara, N., and Jang, S. (2013). “WEHY-HCM for modeling interactive atmospheric-hydrologic processes at watershed scale. I: Model description”. *J. Hydrol. Eng.*, 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000724, 1262–1271
- [6] Hồ Việt Cường, Trịnh Quang Toàn và Nnk “Nghiên cứu ứng dụng phương pháp tính toán khôi phục chuỗi số liệu dòng chảy cho lưu vực sông”. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, Năm 2017.
- [7] Trinh, T., et al. (2016). “New methodology to develop future flood frequency under changing climate by means of physically based numerical atmospheric-hydrologic modeling”. *J. Hydrol. Eng.*, 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001331, 04016001.
- [8] Lo, Jeff Chun - Fung, Zong - Liang Yang, and Roger A. Pielke. “Assessment of three dynamical climate downscaling methods using the Weather Research and Forecasting (WRF) model”. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 113.D9 (2008).
- [9] T. Trinh, et al. Reconstruction of historical inflows into and water supply from Shasta Dam by coupling physically based hydroclimate model with reservoir operation model. *J. Hydrol. Eng.* (2016), p. 04016029

- [10] Yoshitani, J., et al. “Atmospheric model-based streamflow forecasting at small, mountainous watersheds by a distributed hydrologic model: Application to a watershed in Japan”. *Journal of Hydrologic Engineering* 14.10 (2009): 1107-1118.
- [11] Amin, M. Z. M., et al “Future climate change impact assessment of watershed scale hydrologic processes in Peninsular Malaysia by a regional climate model coupled with a physically-based hydrology model”. *Science of The Total Environment* 575 (2017): 12-22.
- [12] Kavvas, M. L., et al. “Watershed environmental hydrology (WEHY) model based on upscaled conservation equations: hydrologic module”. *Journal of Hydrologic Engineering* 9.6 (2004): 450-464.
- [13] Chen, Z. Q., et al. “Geomorphologic and soil hydraulic parameters for Watershed Environmental Hydrology (WEHY) model”. *Journal of Hydrologic Engineering* 9.6 (2004): 465-479.
- [14] Yatagai, Akiyo, et al. “APHRODITE: “Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges”. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93.9 (2012): 1401-1415.
- [15] LI Yungang, \*HE Daming, YE Changqing: “Spatial and temporal variation of runoff of Red River Basin in Yunnan”. Asian International Rivers Center, Yunnan University, Kunming 650091, China.