

Xây dựng bản đồ chuẩn mưa năm và chuẩn dòng chảy năm tỉnh Quảng Bình

Ngô Chí Tuấn*, Nguyễn Thanh Sơn

Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN

Ngày nhận 02 tháng 01 năm 2009

Tóm tắt. Bản đồ chuẩn mưa năm và dòng chảy năm là một sản phẩm cần được tham khảo khi có những dự án liên quan tới việc quy hoạch và phát triển kinh tế xã hội trên địa bàn. Tỉnh Quảng Bình, do mạng lưới quan trắc dòng chảy quá thưa, chỉ có 2 trạm đo lưu lượng nên việc xây dựng bản đồ dòng chảy gặp nhiều khó khăn. Báo cáo đề cập đến quá trình xây dựng bản đồ chuẩn mưa năm và chuẩn dòng chảy năm dựa trên kết quả tính toán và khôi phục số liệu dòng chảy từ mưa của mô hình mưa - dòng chảy phi tuyến (NLRMM). Nội dung bài báo được sự hỗ trợ kinh phí từ đề tài KC. 09.08- 06/10.

1. Giới thiệu

Tỉnh Quảng Bình nằm ở Bắc Trung Bộ, Việt Nam với diện tích tự nhiên 8055 km², có hệ thống sông suối khá lớn, mật độ vào khoảng 0.8 - 1,1 km/km². Hiện tại trên địa bàn tỉnh Quảng Bình chỉ có 2 trạm đo lưu lượng dòng chảy trong khoảng thời gian dài là Đồng Tâm trên lưu vực sông Gianh (từ năm 1961 - 1981) và trạm Kiến Giang trên lưu vực sông Kiến Giang (1961 - 1976). Trong khi đó, các trạm đo mưa trong phạm vi tỉnh tương đối nhiều, chuỗi số liệu tương đối đồng bộ và liên tục từ năm 1963 cho đến nay. Chính vì vậy, để có cơ sở dữ liệu đánh giá tài nguyên nước tỉnh Quảng Bình cần xây dựng bản đồ chuẩn mưa năm và chuẩn dòng chảy năm. Để giải quyết bài toán trên, cần khôi phục quá trình dòng chảy trên các sông còn thiếu hoặc hoàn toàn không có tài liệu đo

lưu lượng từ số liệu đo mưa khá đầy đủ và đồng bộ trong tỉnh.

Có rất nhiều mô hình toán có thể sử dụng để khôi phục quá trình dòng chảy từ quá trình mưa. Báo cáo này đã chọn sử dụng mô hình mưa - dòng chảy phi tuyến NLRMM [1] (*Non Linear Rainfall Runoff Model*). Mô hình này do Viện KTTV xây dựng, đã được kiểm nghiệm cho các lưu vực sông vừa và nhỏ, cho kết quả rất phù hợp với số liệu thực đo và đã được đánh giá cao trong việc khôi phục và tính toán dòng chảy từ mưa cho các lưu vực thiếu hoặc không có tài liệu quan trắc.

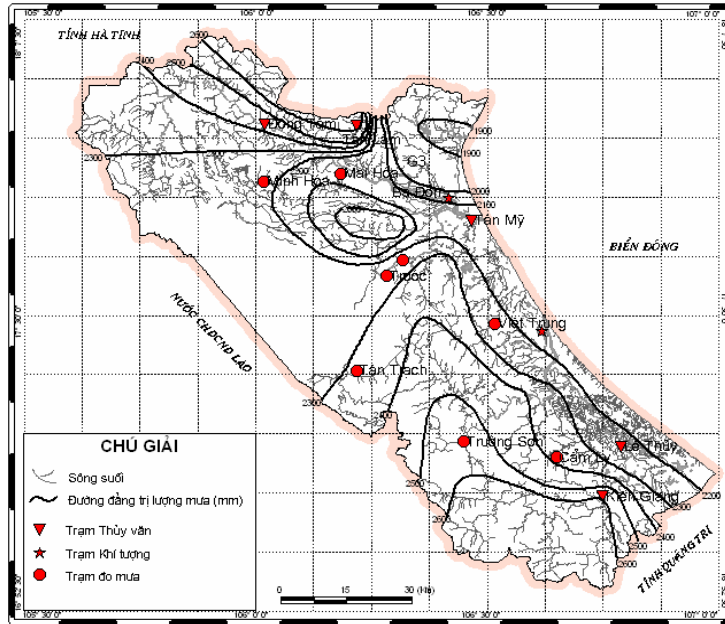
2. Xây dựng bản đồ chuẩn mưa năm trên địa bàn tỉnh Quảng Bình

Trên địa bàn tỉnh Quảng Bình ở phía bắc có các trạm khí tượng Ba Đồn, Tuyên Hoá có số liệu từ năm 1960. Các trạm thủy văn Lê Thủy, Kiến Giang có số liệu từ năm 1962 đến nay.

* Tác giả liên hệ. ĐT: 84-4-38584943.
E-mail: ngochituan@gmail.com

Tại thành phố Đồng Hới có trạm khí tượng Đồng Hới với chuỗi số liệu mưa liên tục từ năm 1956 tới nay được dùng làm chuẩn để tính toán. Ngoài ra còn có một số trạm đo mưa có số liệu đo từ 30 - 40 năm, đảm bảo độ tin cậy. Theo kết quả phân tích số liệu, chuẩn mưa năm của các

trạm này được tính trực tiếp từ chuỗi số liệu thực đo. Với thời kỳ 45 năm (1963 - 2007) tính toán lượng mưa năm bình quân nhiều năm của các trạm trên địa bàn tỉnh (bảng 1) theo các công thức đã trình bày trong [2]. Bản đồ chuẩn mưa năm được thể hiện như hình 1.



Hình 1. Bản đồ đẳng trị chuẩn mưa năm tỉnh Quảng Bình.

Bảng 1. Hệ số biến đổi Cv và chuẩn mưa năm các trạm ở Quảng Bình thời đoạn 1963-2007

TT	Trạm	\bar{X} (mm)	Cv	TT	Trạm	\bar{X} (mm)	Cv
1	Troóc	1952.4	0.213	7	Kiến Giang	2590.7	0.178
2	Đồng Tâm	2431.5	0.207	8	Tám lu	2579.7	0.195
3	Mai Hoá	2120.7	0.209	9	Minh Hoá	2302.9	0.173
4	Ba Đồn	2000.6	0.235	10	Tân Mỹ	2125.2	0.200
5	Đồng Hới	2171.8	0.195	11	Việt Trung	2226.0	0.161
6	Lệ Thủy	2248.4	0.201	12	Cẩm ly	2278.1	0.20

3. Mô hình NLRRM

Hệ thống mô hình mô phỏng lưu vực là một hệ thống động lực có đầu vào là mưa và đầu ra là dòng chảy. Các quá trình xem xét trong việc mô hình hoá bao gồm: lượng mưa sinh dòng chảy; dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm; diễn

toán dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm và xác định các thông số của mô hình. Phương pháp diễn toán dòng chảy được thực hiện dựa trên cơ sở phương trình lượng trữ phi tuyến:

$$R(t) - Q(t) = \frac{dS(t)}{dt} \tag{1}$$

$$S(t) = KQ^P(t) \tag{2}$$

trong đó: R(t) là lượng mưa sinh dòng chảy (cm/h); Q(t) là dòng chảy tại mặt cắt cửa ra của lưu vực (cm/h), S(t) là lượng trữ lưu vực (cm), K là thông số có đơn vị thời gian (h) và P là thông số thể hiện độ cong của đường cong lượng trữ. Hệ phương trình (1) và (2) được giải bằng phương pháp sai phân như sau:

Viết phương trình (2) dưới dạng sai phân:

$$\frac{R(t+\Delta t) - [Q(t) + Q(t+\Delta t)]/2}{S(t+\Delta t) - S(t)} \Delta t = \tag{3}$$

Trong đó: R(t+Δt) là lượng mưa sinh dòng chảy thời đoạn giữa t và t+Δt. Thay (2) vào (3) ta thu được:

$$\Delta t(R + \Delta t) - \frac{Q(t)\Delta t}{2} - \frac{Q(t + \Delta t)\Delta t}{2} = KQ^P(t + \Delta t) - KQ^P(t) \tag{4}$$

Phương trình (4) giải được với điều kiện ban đầu Q(t=0) = Q₀ và lượng mưa sinh dòng chảy R(t + Δt) cho trước. Nó có thể viết gọn dưới dạng:

$$Q(t + \Delta t) + \frac{2K}{\Delta t} Q^P(t + \Delta t) = \frac{2K}{\Delta t} Q^P(t) + 2R(t + \Delta t) - Q(t) \tag{5}$$

Trong phương trình (5), vế trái là ẩn cần tìm, vế phải là đại lượng đã biết. Phương trình này được giải bằng phương pháp lặp Newton như sau:

$$\text{Đặt: } b = \frac{2K}{\Delta t} Q^P(t) + 2R(t + \Delta t) - Q(t),$$

$$a = \frac{2K}{\Delta t}, \quad x = Q(t + \Delta t) \text{ thì phương trình (5)}$$

sẽ trở thành:

$$f(x) = ax^P + x - b = 0 \tag{6}$$

Trong phương trình (6), ẩn cần tìm là x được tính lặp như sau:

$$X_{K+1} = X_K - \frac{f(X_K)}{f'(X_K)} \tag{7}$$

Quá trình lặp được thực hiện sao cho điều kiện $|x_{K+1} - x_K| < \epsilon$ được thỏa mãn.

Để diễn toán cho dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm, trong hệ phương trình (1) và (2), chỉ cần thay thế các đặc trưng của dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm tương ứng:

Đối với dòng chảy mặt:

$$R_M(t) - Q_M(t) = \frac{dS_M(t)}{dt}$$

$$S_M(t) = K_1 Q_M^{P_1}(t)$$

Đối với dòng chảy ngầm:

$$R_N(t) - Q_N(t) = \frac{dS_N(t)}{dt}$$

$$S_N(t) = K_2 Q_N^{P_2}(t)$$

Trong đó: R_M(t) và R_N(t) là lượng mưa sinh dòng chảy mặt và lượng mưa sinh dòng chảy ngầm; Q_M(t) và Q_N(t) là dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm tại mặt cắt cửa ra; S_M(t) và S_N(t) là lượng trữ nước mặt và lượng trữ nước ngầm; K₁ và P₁ là các thông số diễn toán dòng chảy mặt; K₂ và P₂ là các thông số diễn toán dòng chảy ngầm.

Để diễn toán lượng mưa sinh dòng chảy R(t) trong phương trình (1), mô hình ứng dụng chỉ số mưa như sau:

$$IM(t) = a_0 X(t) + a_1 X(t-\Delta t) + a_2 X(t-2\Delta t) + \dots + a_n X(t-n\Delta t) \tag{8}$$

Trong đó: IM(t) là chỉ số mưa tại thời điểm t; X(t) là lượng mưa rơi trung bình trên lưu vực; a_i là thông số có ý nghĩa trọng số và

$$a_0 > a_1 > a_2 > \dots > a_n \tag{9}$$

Phương trình (8) kết hợp với điều kiện (9) được biến đổi đưa về dạng truy hồi:

$$IM(t) = C_1 IM(t - \Delta t) + [1 - a(t - \Delta t)] X(t). \tag{10}$$

Trong đó: C₁ là thông số (C₁ < 1) và a(t - Δt) là hệ số dòng chảy tại thời điểm (t - Δt).

Biểu thức (11) cho thấy: với C₁ < 1, khi lượng mưa X(t) = 0, chỉ số IM(t) sẽ giảm (do lượng bốc hơi); ngược lại, nếu X(t) > 0 chỉ số mưa có thể sẽ tăng.

Sau khi xác định được chỉ số mưa, lượng mưa sinh dòng chảy được tính thông qua hệ số dòng chảy được xác định theo công thức kinh nghiệm sau:

$$a(t) = 1 - \exp[-(IM(t)/C_2)^2] \quad (11)$$

Trong đó: C_2 là thông số và $C_2 > 0$.

Từ biểu thức (11) có thể thấy: Nếu $IM(t) \rightarrow \infty$ thì $a(t) \rightarrow 1$ (lượng mưa rơi bằng lượng mưa sinh dòng chảy), nếu $IM(t) \rightarrow 0$ thì $a(t) \rightarrow 0$ (không sinh dòng chảy). Điều này phù hợp với quy luật vật lý của sự hình thành dòng chảy.

Lượng mưa sinh dòng chảy ngầm được ước tính thông qua hệ số dòng chảy ngầm dựa trên cơ sở lập luận rằng tỷ số giữa lượng mưa sinh dòng chảy ngầm và tổng lượng mưa sinh dòng chảy tỷ lệ nghịch với tổng lượng mưa sinh dòng chảy:

$$a_N(t) = \frac{R_N(t)}{R(t)} = f^{-1}([R(t)]) \quad (12)$$

Từ biểu thức (12) dựa trên cơ sở thực nghiệm số, đã rút ra biểu thức kinh nghiệm sau:

$$a_N(t) = C_3 \exp(-R(t)/C_4). \quad (13)$$

Trong đó: - $a_N(t)$ là hệ số dòng chảy ngầm đối với lượng mưa sinh dòng chảy $R(t)$;

- C_3, C_4 là các thông số thoả mãn điều kiện $0 < C_3 < 1$ và $C_4 > 0$.

Từ biểu thức (5) có thể nhận thấy rằng lượng mưa sinh dòng chảy càng lớn thì tỷ trọng của dòng chảy ngầm càng nhỏ so với dòng chảy mặt. Điều này phù hợp với quy luật dòng chảy ở nước ta. Về mùa cạn, dòng chảy sông chủ yếu được cung cấp từ lượng trữ nước ngầm. Về mùa

mưa, lượng nước cung cấp cho dòng chảy sông chủ yếu lại do dòng chảy mặt mặc dù lượng dòng chảy ngầm có tăng.

Sau khi xác định hệ số dòng chảy ngầm, lượng mưa sinh dòng chảy ngầm được ước tính theo công thức sau:

$$R_N(t) = a_N(t).R(t). \quad (14)$$

Lượng mưa sinh dòng chảy mặt được xác định như sau:

$$R_M(t) = R(t) - R_N(t)$$

Lượng mưa sinh dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm sau khi diễn toán theo các phương trình đường cong lượng trữ phi tuyến sẽ thu được lượng dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm tại mặt cắt cửa ra của lưu vực. Dòng chảy tổng cộng tại mặt cắt cửa ra được tính bằng tổng lượng dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm:

$$Q(t) = Q_M(t) + Q_N(t) \quad (15)$$

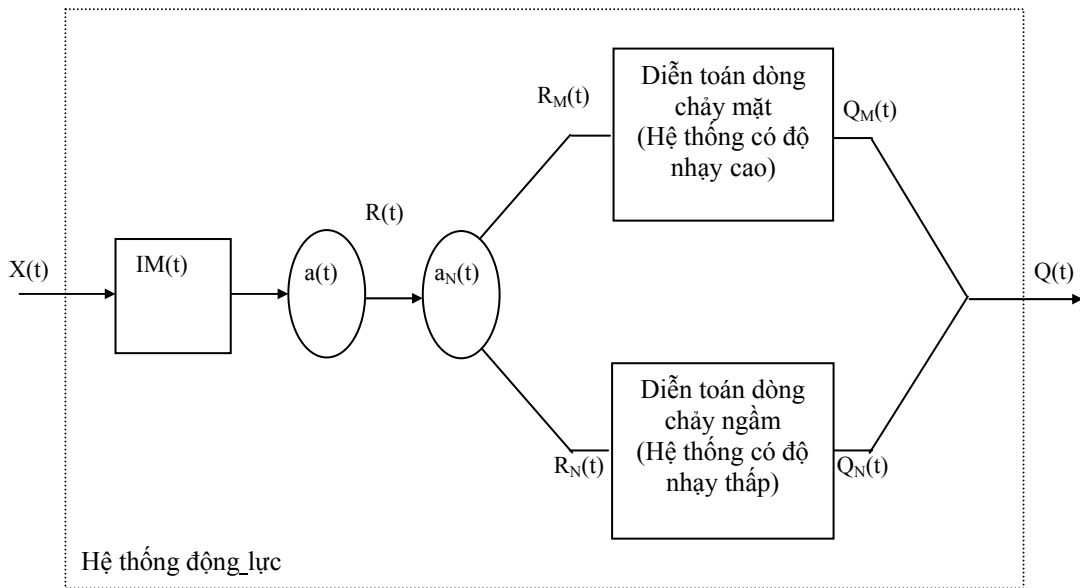
Như vậy, mô hình gồm 8 thông số như sau:

- C_1, C_2, C_3, C_4 là các thông số ước tính lượng mưa sinh dòng chảy;

- K_1, P_1 là các thông số diễn toán dòng chảy mặt;

- K_2, P_2 là các thông số diễn toán dòng chảy ngầm.

Cấu trúc của mô hình được thể hiện trong hình 2. Các thông số của mô hình được xác định theo thuật toán đơn hình, ứng dụng phương pháp Monte-Carlo. Chương trình tính được lập bằng ngôn ngữ FORTRAN.



Hình 2. Cấu trúc hệ thống của mô hình mưa - dòng chảy phi tuyến.

Mức độ phù hợp giữa các kết quả tính toán và thực đo được đánh giá theo tiêu chuẩn đánh giá sai số của Tổ chức Khí tượng Thế giới (WMO). Tiêu chuẩn này đánh giá độ hữu hiệu qua chỉ tiêu R^2 được xác định như sau:

$$R^2 = \frac{F_0^2 - F^2}{F_0^2} \times 100\% \quad (16)$$

Trong đó: $F^2 = \sum_{i=1}^N (Q_{id} - Q_{it})^2$ và

$$F_0^2 = \sum_{i=1}^N (Q_{id} - \bar{Q}_d)^2$$

với: Q_{id} là lưu lượng

thực đo, Q_{it} là lưu lượng tính toán, \bar{Q}_d là lưu lượng thực đo trung bình trong thời kỳ tính toán, N là tổng số điểm quan hệ lưu lượng thực đo và tính toán.

Tiêu chuẩn đánh giá như sau:

$$\begin{cases} 40 \div 65\% : \text{đạt} \\ R^2 = 65 \div 85\% : \text{khá} \\ > 85\% : \text{tốt} \end{cases}$$

4. Áp dụng NLRRM để khôi phục dòng chảy từ mưa

Phần lớn các lưu vực sông chính trong tỉnh Quảng Bình đều thiếu và không có số liệu thực đo dòng chảy nên để khôi phục số liệu quá trình dòng chảy tháng từ số liệu quá trình mưa tháng cho các lưu vực này bằng mô hình NLRRM, phải mượn bộ thông số tối ưu đã được hiệu chỉnh và kiểm định của lưu vực sông Gianh-trạm Đồng Tâm (lưu vực có 21 năm số liệu dòng chảy thực đo) và chuỗi số liệu thực đo 15 năm của lưu vực sông Kiến Giang-trạm Kiến Giang trên cơ sở thừa nhận các lưu vực này có các điều kiện địa lý tự nhiên tương tự nhau.

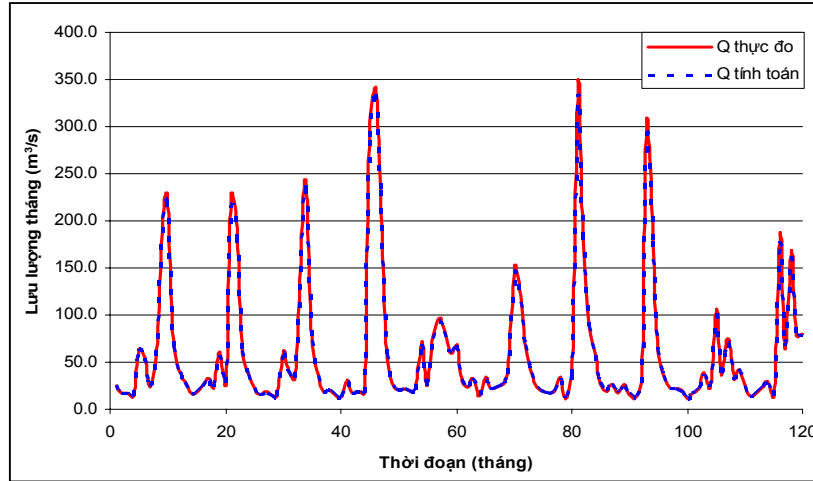
Hiệu chỉnh mô hình

Để hiệu chỉnh mô hình NLRRM tìm ra bộ thông số tối ưu cho lưu vực sông Gianh - trạm Đồng Tâm, nghiên cứu đã sử dụng số liệu mưa và dòng chảy thực đo của 10 năm đo đạc liên tục (1961-1970) tại trạm Đồng Tâm trên sông Gianh với trọng số mưa là 1,08. Kết quả hiệu chỉnh thông số mô hình bằng phương pháp thử sai cho bộ 8 thông số tối ưu như sau:

$$\begin{aligned}
 C_1 &= 0,948; & C_2 &= 8,774; \\
 K_1 &= 19,3; & P_1 &= 0,688; \\
 C_3 &= 0,402 & C_4 &= 60,8; \\
 K_2 &= 1138,6; & P_2 &= 0,986.
 \end{aligned}$$

Với bộ thông số này, đường quá trình lưu lượng dòng chảy trạm Đồng Tâm tính từ quá

trình mưa nhờ mô hình NLRRM rất phù hợp với đường quá trình lưu lượng dòng chảy thực đo (hình 3); độ hữu hiệu tính theo chỉ tiêu R^2 đạt tới 99,82%. Theo tiêu chuẩn của WMO, mô hình được đánh giá vào loại tốt.



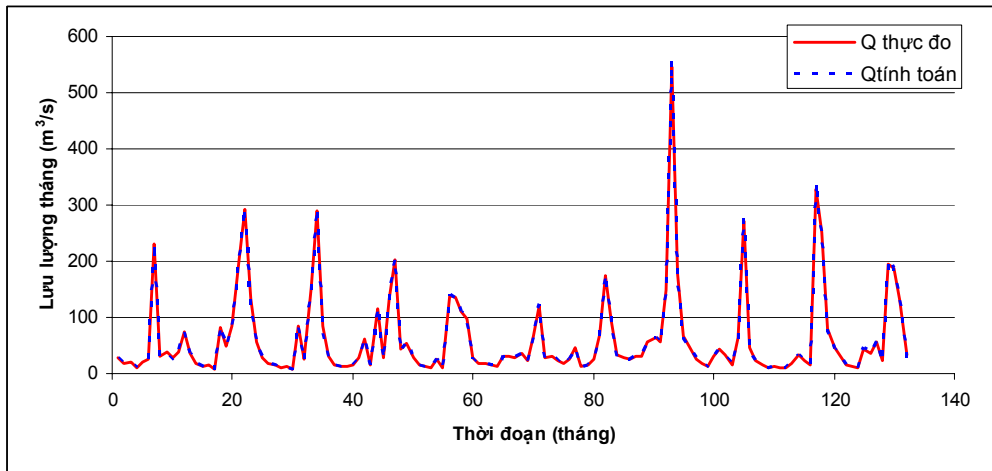
Hình 3. Đường quá trình dòng chảy thực đo và tính toán theo mô hình NLRRM tại trạm Đồng Tâm thời kỳ (1961-1970).

Kiểm nghiệm mô hình

Để kiểm tra độ ổn định của mô hình với bộ thông số đã tối ưu được, báo cáo đã tiến hành kiểm nghiệm mô hình NLRRM cho lưu vực sông Gianh-trạm Đồng Tâm dựa theo số liệu quá trình mưa và dòng chảy tháng độc lập liên tục 11 năm (1971- 1981) và tại trạm Đồng Tâm trên sông Gianh với số liệu quá trình mưa và dòng chảy tháng của 15 năm (1962-1976) cho cả trạm Kiến Giang trên sông Kiến Giang.

Khi kiểm định mô hình, các thông số mô hình được giữ nguyên như đã được xác định trong phần hiệu chỉnh. Kết quả kiểm nghiệm và đánh giá độ hữu hiệu của mô hình cho hai trạm cho thấy: đường quá trình dòng chảy tháng tính toán từ mô hình NLRMM với bộ thông số đã

tối ưu rất phù hợp với đường quá trình dòng chảy thực đo (hình 4 và 5). Độ hữu hiệu R^2 của mô hình với bộ thông số đã tối ưu khi kiểm nghiệm đối với trạm Đồng Tâm là 99,65% còn đối với trạm Kiến Giang là 99,5%. Theo tiêu chuẩn của WMO, mô hình được đánh giá vào loại tốt đối với cả hai trạm. Các kết quả kiểm nghiệm mô hình NLRMM tại trạm Đồng Tâm trên sông Gianh trên đã cho kết quả tốt và ổn định không chỉ cho trạm Đồng Tâm trên sông Gianh mà còn cho cả trạm Kiến Giang trên sông Kiến Giang và có thể ứng dụng để khôi phục số liệu quá trình dòng chảy tháng cho các lưu vực không có số liệu trên địa bàn tỉnh Quảng từ số liệu quá trình mưa với độ tin cậy cao.

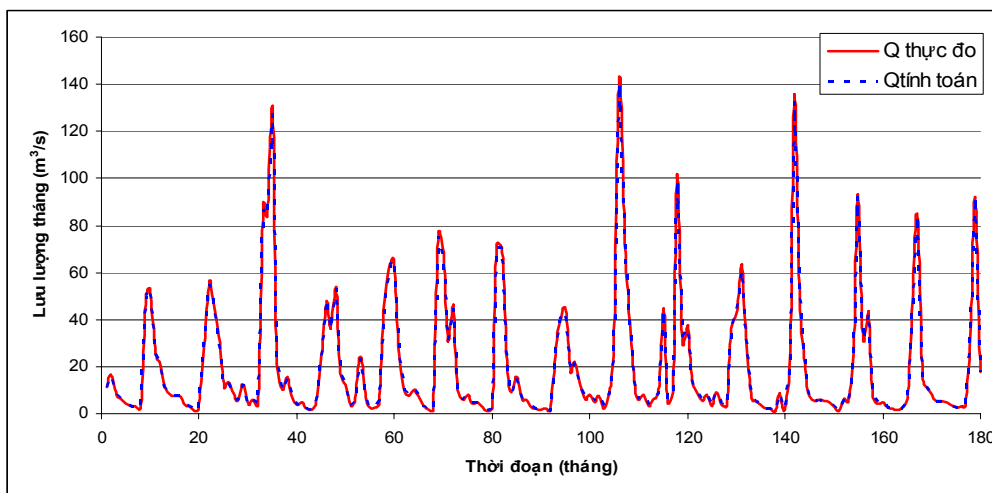


Hình 4. Đường quá trình dòng chảy thực đo và tính toán theo mô hình NLRRM tại trạm Đồng Tâm thời kỳ (1971-1981).

Ứng dụng mô hình NLRRM để khôi phục số liệu quá trình dòng chảy các lưu vực sông tỉnh Quảng Bình

Mượn bộ thông số mô hình NLRRM đã tối ưu và đảm bảo cho kết quả ổn định của lưu vực sông Gianh - trạm Đồng Tâm để khôi phục số liệu quá trình dòng chảy tháng thời kỳ 1963-

2007 từ quá trình mưa tháng thời kỳ 1963-2007 cho các lưu vực sông chính hoàn toàn không có số liệu thực đo dòng chảy trong tỉnh Quảng Bình trên cơ sở thừa nhận rằng: điều kiện mặt đệm của các lưu vực này tương tự với điều kiện mặt đệm lưu vực sông Gianh-trạm Đồng Tâm.

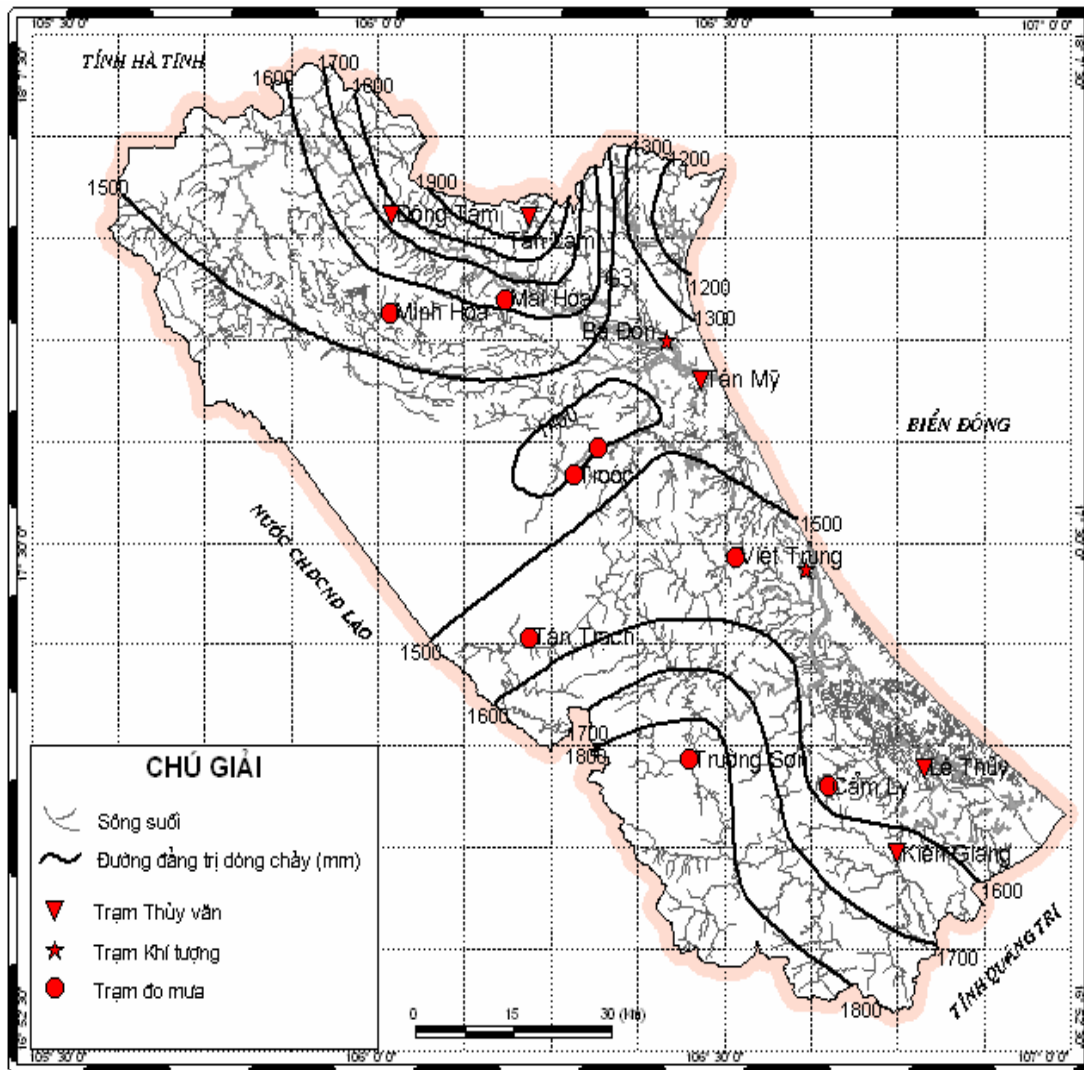


Hình 5. Đường quá trình dòng chảy thực đo và tính toán theo mô hình NLRRM tại trạm Kiến Giang thời kỳ (1962-1976).

Tất nhiên, khi khôi phục số liệu dòng chảy tháng cho các lưu vực sông này, số liệu diện tích lưu vực được thay thế bằng số liệu diện tích lưu vực của trạm tương ứng và số liệu quá trình mưa tháng được thay thế bằng số liệu quá trình mưa tháng của trạm mưa được lựa chọn cho lưu vực đó với các trọng số phù hợp (xác định dựa theo bản đồ đẳng trị chuẩn mưa năm). Từ kết

quả lưu lượng được khôi phục, tiến hành tính các đặc trưng dòng chảy chuẩn. Kết quả được thể hiện trong bảng 2.

Tiến hành xây dựng bản đồ đẳng trị chuẩn dòng chảy năm trên kết quả khôi phục số liệu. Kết quả thu được bản đồ đẳng trị chuẩn dòng chảy năm hình 6.



Hình 6. Bản đồ đẳng trị chuẩn dòng chảy năm tỉnh Quảng Bình.

Bảng 2. Kết quả tính các đặc trưng dòng chảy

STT	Lưu vực sông	Trạm	F (km ²)	X _o (mm)	Y _o (mm)	$\alpha_0 = Y_o/X_o$	Q ₀ (m ³ /s)
1	Sông Rào Nam	Minh Hoá	1234	2235.0	1537	0.69	48.72
2	Sông Tróóc	Tróóc	214	2060.0	1367	0.66	43.33
3	Sông Gianh	Đồng Tâm	1150	2411.0	1829	0.76	57.98
4	Sông Gianh	Mai Hoá	2144	2414.0	1712	0.71	54.27
5	Giang Gianh	Ba Đồn	3462	2166.0	1470	0.68	46.60
6	Kiến Giang	Lệ Thủy	462	2255.0	1557	0.69	49.36
7	Kiến Giang	Kiến Giang	320	2503.0	1666	0.67	52.81
8	Đại Giang	Tám Lu	1130	2520.0	1825	0.72	57.85
9	Kiến Giang	Đồng Hới	2650	2239.0	1541	0.69	48.85

5. Kết luận

Các số liệu quá trình dòng chảy đã khôi phục cho các lưu vực sông trong tỉnh Quảng Bình nhờ ứng dụng mô hình NLRRM với bộ tham số đã tối ưu được là đủ tin cậy. Bản đồ đẳng trị chuẩn mưa năm và bản đồ đẳng trị chuẩn dòng chảy thu được có thể được sử dụng làm tài liệu để đánh giá tài nguyên nước phục vụ quy hoạch phát triển kinh tế xã hội tỉnh Quảng Bình.

Tài liệu tham khảo

- [1] Lương Tuấn Anh, *Một mô hình mô phỏng quá trình mưa-dòng chảy trong các lưu vực vừa và nhỏ ở miền Bắc Việt Nam*, Luận án Tiến sĩ, 1996.
- [2] Nguyễn Thanh Sơn, *Tính toán thủy văn*, NXB Đại học Quốc Gia Hà Nội, 2003.

Producing annual rainfall and flow maps for Quang Binh province

Ngo Chi Tuan, Nguyen Thanh Son

Faculty of Hydro-Meteorology & Oceanography, College of Science, VNU

Annual rainfall and flow maps are the good references for economic development planning projects. In Quang Binh province, since the discharge gauging network is very scattered, there are only two stations for discharge measuring, so the establishment of annual flow map is difficult. This paper presents the steps in producing those maps base on discharge data recovering processes from rainfall data using nonlinear rainfall-runoff model (NLRRM).