

XÂY DỰNG MÔ HÌNH BÁN PHÂN BỐ MÔ PHÒNG DÒNG CHẢY CHO MỘT SỐ LƯU VỰC SÔNG LỚN VÀ VỪA KHU VỰC NAM TRUNG BỘ

Lê Thị Hải Yến, Ngô Lê An
Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Các mô hình mưa dòng chảy được ứng dụng rộng rãi nhằm mô phỏng dòng chảy từ mưa. Các mô hình thông số tập trung có ưu điểm tính toán nhanh, số liệu đầu vào ít nhưng không mô tả được phân bố các đặc trưng khí tượng thủy văn theo không gian nên chỉ phù hợp với các lưu vực nhỏ. Các mô hình thông số phân bố có ưu điểm mô tả tốt biến động theo không gian cả mặt đệm lưu vực lẫn các yếu tố khí tượng thủy văn nhưng các mô hình đòi hỏi lượng số liệu lớn, thời gian tính toán lâu hơn. Nghiên cứu này xây dựng mô hình bán phân bố kết hợp các ưu điểm của hai nhóm mô hình thông số tập trung và phân bố dựa trên mô hình NAM và diễn toán Muskingum. Mô hình được mô phỏng thử nghiệm cho các lưu vực vừa (Nông Sơn, Thành Mỹ) và lưu vực lớn (Cung Sơn) cho kết quả hệ số Nash ở các bước hiệu chỉnh và kiểm định đều trên 0,80 thể hiện tính hiệu quả và khả năng ứng dụng tốt của mô hình.

Từ khoá: Mô hình bán phân bố, mô hình mưa dòng chảy NAM, sông Vu Gia – Thu Bồn, sông Ba, diễn toán Muskingum

Summary: Rainfall-runoff models are widely applied to simulate flow from rainfall. Lumped parameter models have the advantage of fast calculation with a small amount of input data requirement, but it cannot illustrate the variation of hydro-meteorology features by space, so it is only suitable for small basins. The distributed parameter models provide good description of spatial variation both in the basin responses and hydrological meteorological factors, but they require large amounts of data and longer computational time. This research builds a semi-distributed model combining the advantages of two groups of lumped and distributed parameter models based on the NAM model and the Muskingum routing. The model is applied in order to simulate daily runoff for the medium scale basins (Nong Son, Thanh My) and large scale basin (Cung Son). The Nash coefficient of calibration and verification processes are higher than 0.80, showing the effectiveness and the good applicability of the model.

Keywords: Semi-distributed model, Nam rainfall runoff model, Vu Gia – Thu Bon, Ba, Muskingum routing.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các mô hình thủy văn mưa dòng chảy được ứng dụng rộng rãi trong bài toán mô phỏng dòng chảy từ mưa do chúng được xây dựng dựa trên bản chất vật lý của quá trình hình thành dòng chảy trên lưu vực. Dựa trên việc mô tả phân bố các đặc trưng vật lý này mà các

mô hình thủy văn được phân chia thành các nhóm: mô hình thông số tập trung, mô hình bán phân bố và mô hình thông số phân bố. Trong mô hình thông số tập trung, các đặc trưng về khí tượng và các đặc tính vật lý khác được lấy trung bình hoá trên toàn bộ lưu vực và dòng chảy chỉ được xác định tại vị trí cửa ra (NAM, TANK...). Do vậy, các mô hình này chỉ có thể ứng dụng cho các lưu vực nhỏ (thường không quá 1000km²) khi các biến động về khí tượng, thủy văn cũng như các đặc

Ngày nhận bài: 29/5/2017

Ngày thông qua phản biện: 12/7/2017

Ngày duyệt đăng: 26/7/2017

tính vật lý khác theo không gian không quá nhiều. Ưu điểm của các mô hình này là yêu cầu về số liệu đầu vào ít, thời gian tính toán nhanh. Ngược lại, các mô hình thông số phân bố mô tả sự thay đổi về các đặc trưng này theo không gian một cách chi tiết có thể dưới dạng ô lưới hoặc theo các hàm phi tuyến (TOPMODEL, TOPKAPI, WESPA, DIMOSOP...). Với dạng mô hình này, dòng chảy có thể được xác định tại bất cứ vị trí nào trên lưu vực. Mô hình có thể ứng dụng cho các lưu vực có diện tích lớn, các vùng có sự thay đổi mạnh mẽ theo không gian về khí tượng cũng như các điều kiện mặt đệm. Tuy nhiên, các mô hình dạng này yêu cầu số liệu chi tiết về biến động các đặc trưng này theo không gian, thời gian chạy mô phỏng của mô hình cũng thường lâu hơn nhiều so với mô hình tập trung. Mô hình bán phân bố là dạng mô hình kết hợp các ưu điểm của hai nhóm mô hình trên đó là số liệu yêu cầu ít, tính toán nhanh nhưng vẫn mô tả được biến động của các đặc trưng lưu vực theo không gian. Nhìn chung, các mô hình dạng này dựa trên việc mô tả lưu vực lớn thành các lưu vực con kết hợp với các phương pháp diễn toán dòng chảy. Một số mô hình tiêu biểu dạng này là SSARR, SWAT, HEC-HMS.

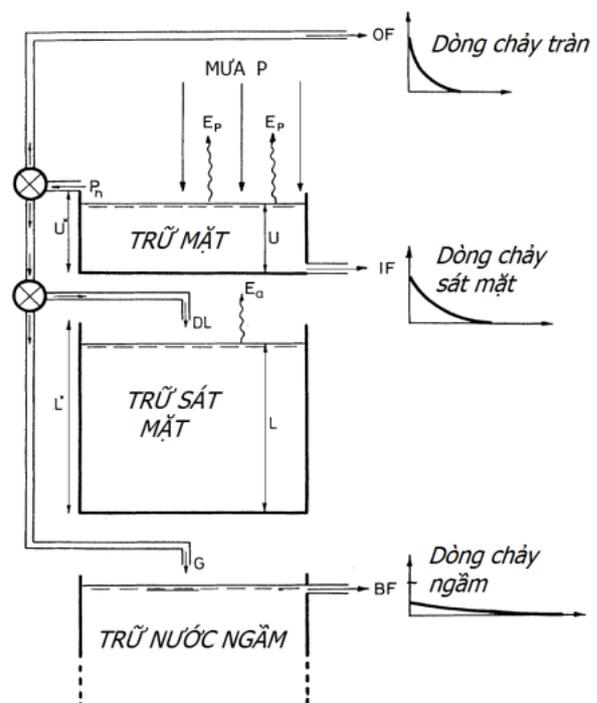
Bài báo tập trung nghiên cứu xây dựng mô hình bán phân bố thông qua việc kết hợp mô hình NAM (mô hình mưa dòng chảy thông số tập trung) với mô đun diễn toán dòng chảy Muskingum. Mô hình sẽ được thử nghiệm và đánh giá hiệu quả cho các lưu vực sông vừa (Vu Gia – Thu Bồn tại Nông Sơn và Thành Mỹ với diện tích lưu vực lần lượt là 3.100km^2 và 2.100km^2) và lưu vực lớn (sông Ba tại Củng Sơn với diện tích trên 13.000km^2).

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Mô hình mưa dòng chảy NAM

Mô hình NAM được Nielsen và Hansen giới thiệu vào năm 1973 (Nielsen và Hansen, 1973) [2], đây là mô hình mưa dòng chảy thông số tập trung được ứng dụng rộng rãi ở Việt Nam thông

qua bộ mô hình họ MIKE. Mô hình có ít thông số và yêu cầu số liệu đầu vào không nhiều bao gồm lượng mưa, bốc hơi tiềm năng và số liệu dòng chảy dùng để hiệu chỉnh, kiểm định mô hình. Trong điều kiện ở Việt Nam, mô hình có ba bể chứa mô tả trữ mặt (bể U), trữ sát mặt (bể L) và trữ nước ngầm (bể ngầm) như ở hình 1. Các dữ liệu đầu vào của mô hình là lượng mưa P, bốc hơi tiềm năng E_p . Mô hình có 9 thông số chính bao gồm thông số U^* , L^* mô tả lượng trữ nước lớn nhất ở bể U và bể L, hệ số C_{OF} , C_{IF} biểu thị hệ số dòng chảy mặt và sát mặt, K_0 , K_I và K_B là hằng số thời gian tương ứng đối với thành phần dòng chảy mặt, sát mặt và ngầm, C_{L1} , C_{L2} là các ngưỡng sinh dòng chảy bề mặt và sát mặt. Dòng chảy ra của lưu vực là dòng chảy tổng hợp của ba thành phần OF, IF và BF tương ứng với dòng chảy mặt, sát mặt và dòng chảy ngầm. Chi tiết các bước tính toán mô phỏng dòng chảy được Nielsen và Hansen trình bày trong nghiên cứu của mình. (Nielsen và Hansen, 1973) [2]



Hình 1. Sơ đồ mô hình NAM (theo Nielsen và Hansen) [2]

2.2. Mô hình diễn toán dòng chảy Muskingum

Phương pháp Muskingum thường được sử dụng để diễn toán dòng chảy trên sông dựa trên quan hệ biến đổi giữa lượng trữ và lưu lượng (hình 2). Mô hình có 2 tham số K và X lần lượt biểu thị thời gian chảy truyền và hệ số lượng trữ của đoạn sông (Cunge, 1969) [1].

Công thức tính toán dòng chảy ra của đoạn sông được trình bày ở phương trình 1:

$$O_{j+1} = C_1 I_{j+1} + C_2 I_j + C_3 O_j \quad (1)$$

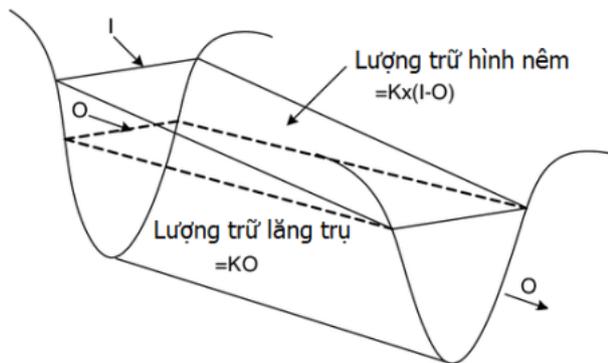
Với I và O lần lượt là dòng chảy vào và dòng chảy ra đoạn sông.

C_1, C_2, C_3 được tính toán theo công thức 2, 3, 4:

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (2)$$

$$C_2 = \frac{\Delta t + 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (3)$$

$$C_3 = \frac{2K(1-X) - \Delta t}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (4)$$



Hình 2. Cân bằng lượng trữ đoạn sông

2.3 Xây dựng mô hình bán phân bố

Lưu vực sông lớn sẽ được chia thành nhiều lưu vực con sao cho các diện tích trên lưu vực này không quá 1000km², đồng thời các đặc trưng trên các lưu vực này tương đối đồng nhất (phân bố mưa, bốc hơi, độ dốc, thảm phủ...). Dòng chảy sinh ra trên mỗi lưu vực con sẽ được mô phỏng bằng một mô hình NAM.

Dòng chảy tại cửa ra các lưu vực này sẽ được diễn toán về dòng chảy cửa ra lưu vực sông chính trên các đoạn sông bằng phương pháp diễn toán Muskingum. Dòng chảy lưu vực sông chính sẽ là tập hợp tất cả dòng chảy của các lưu vực con sau khi đã diễn toán đến cửa ra lưu vực sông chính này.

Các thông số mô hình NAM và Muskingum cho mỗi lưu vực con và các đoạn sông được tìm kiếm theo phương pháp thử sai Brute-Force dựa trên việc so sánh dòng chảy tổng cộng tại cửa ra lưu vực chính và các lưu vực khác có đo dòng chảy theo chỉ số Nash (công thức 5):

$$Nash = 1 - \frac{\sum (Q_{th}^i - Q_{do}^i)^2}{\sum (Q_{th}^i + Q_{do}^i)^2} \quad (5)$$

Phương pháp thử sai Brute-Force dựa trên nguyên lý tìm kiếm nghiệm tối ưu bằng cách xét mọi trường hợp có thể. Trong nghiên cứu này, các thông số mô hình đều được giới hạn tùy theo ý nghĩa vật lý của nó. Các khoảng giới hạn sẽ được chia nhỏ thành từng đoạn đều nhau và đây chính là các giá trị thông số cần kiểm tra thử sai. Bộ thông số cho kết quả mô hình có giá trị Nash cao nhất có thể coi là bộ thông số phù hợp.

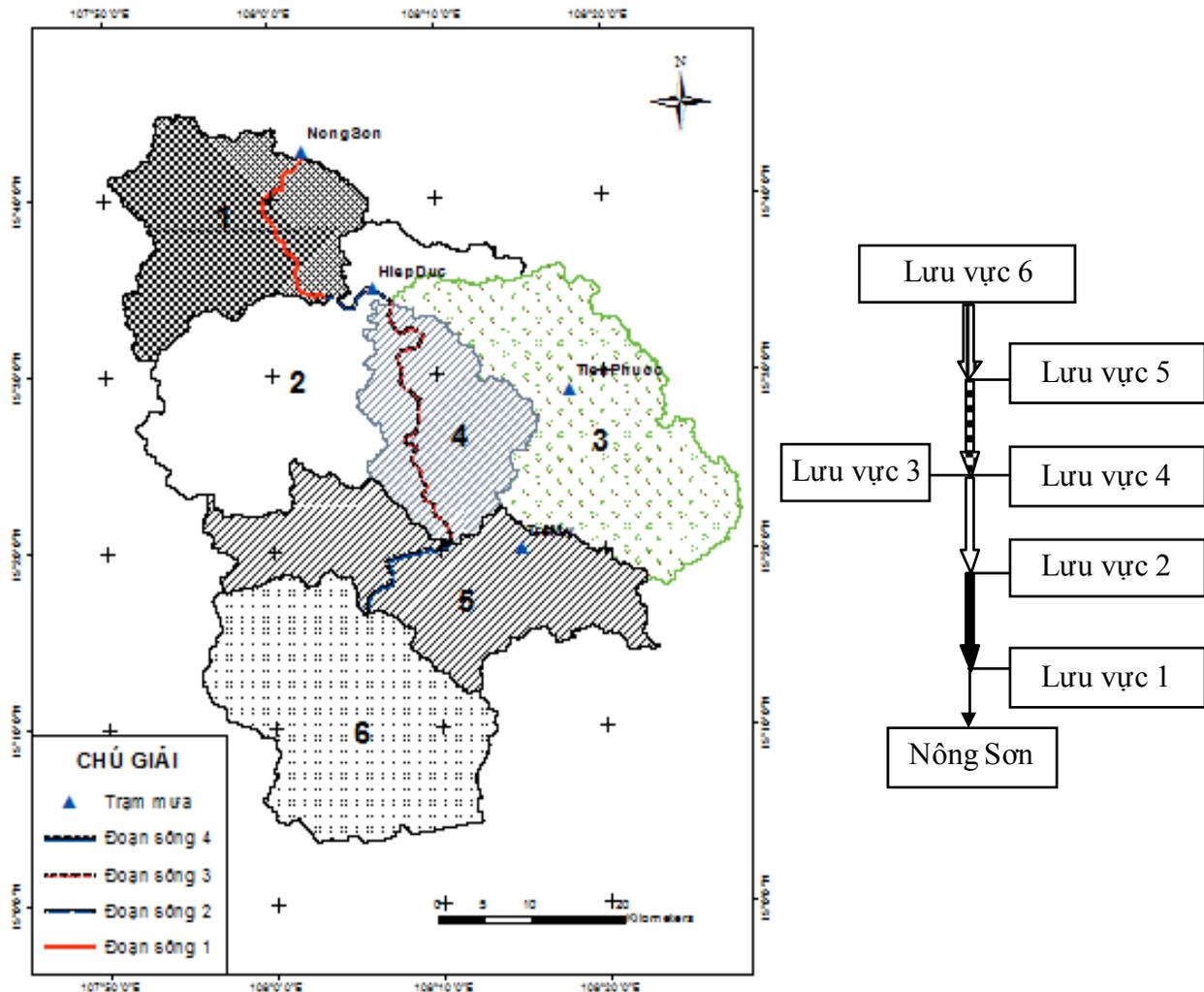
3. THIẾT LẬP MÔ HÌNH MÔ PHỎNG DÒNG CHẢY KHU VỰC NGHIÊN CỨU

3.1 Thiết lập mạng lưới tính toán

3.1.1 Lưu vực Nông Sơn và Thành Mỹ

Lưu vực Nông Sơn và Thành Mỹ được mô tả trong mô hình bán phân bố như hình 3 và hình 4. Lưu vực Nông Sơn được chia thành 6 lưu vực con kết nối với nhau trên 4 đoạn sông chính trong khi lưu vực Thành Mỹ được chia thành 5 lưu vực con và 3 đoạn sông chính. Bốc

hơi tiềm năng thời đoạn ngày của lưu vực còn lưu vực Thành Mỹ là Đà Nẵng. Nông Sơn lấy từ trạm Trà My và Đà Nẵng



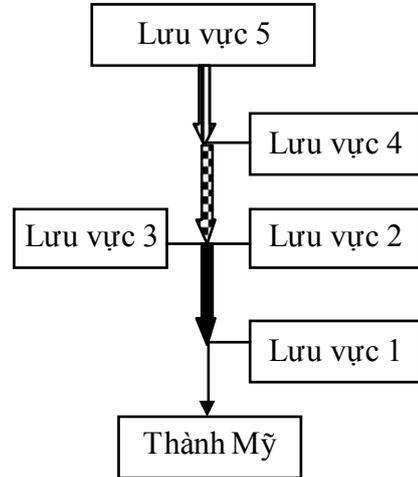
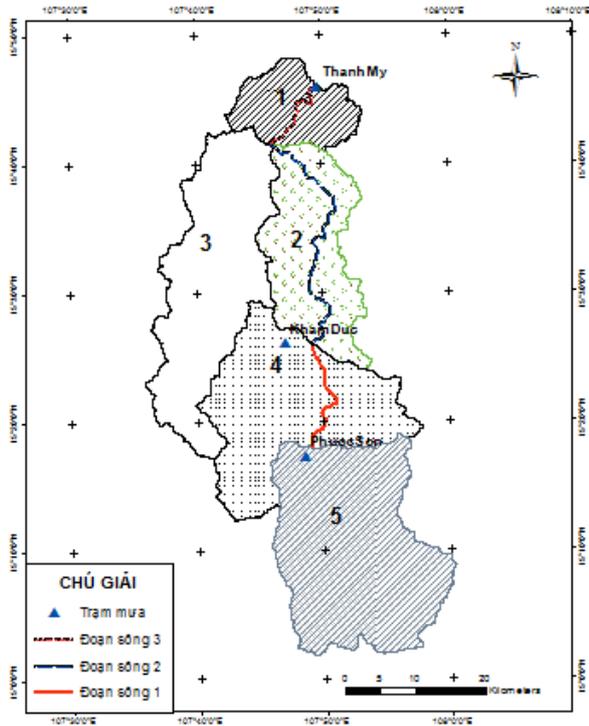
Hình 3. Sơ đồ mô phỏng lưu vực Nông Sơn

Hình bên trái là bản đồ lưu vực chính bao gồm các lưu vực sông con và đoạn sông. Hình bên phải là sơ đồ kết nối của các thành phần này. Các trạm đo mưa được sử dụng để tính lượng mưa trung bình ngày trên các lưu vực con được trình bày ở bảng 1.

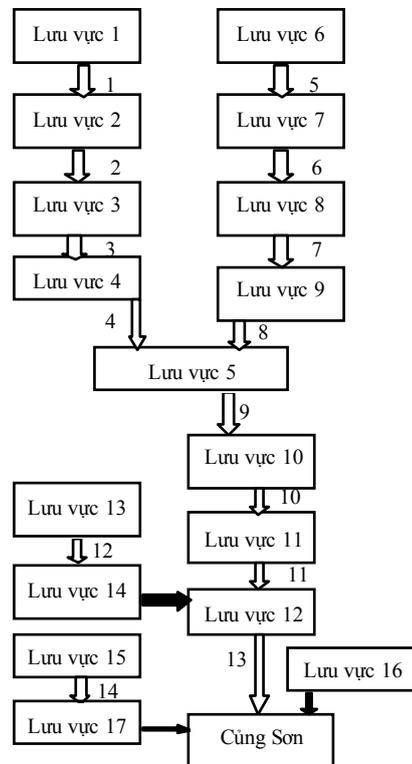
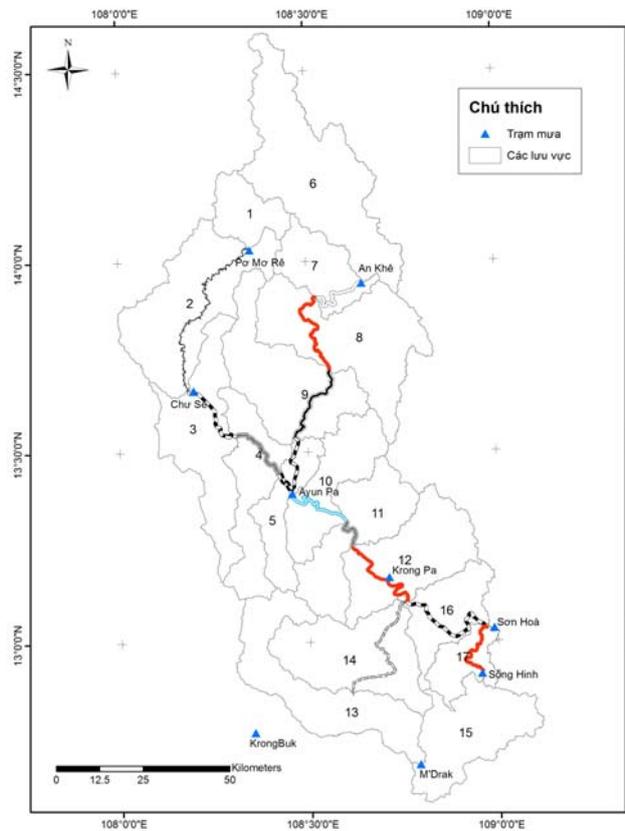
3.1.2 Lưu vực sông Ba

Lưu vực sông Ba là lưu vực lớn với diện tích trên 13.000km² nên được chia thành

17 lưu vực con. Lượng mưa trung bình thời đoạn ngày trên các lưu vực này được lấy theo phương pháp trung bình số học. Lưu vực con không có trạm đo mưa sẽ lấy theo lượng mưa của trạm đo mưa gần nhất (Hình 5). Các trạm đo mưa sử dụng trong nghiên cứu và vị trí của nó được trình bày ở hình 5. Dữ liệu bốc hơi tiềm năng thời đoạn ngày được lấy từ các trạm đo An Khê, AyunPa, M'Drak và Sơn Hoà.



Hình 4. Sơ đồ mô phỏng lưu vực Thành Mỹ



Hình 5. Sơ đồ mô phỏng lưu vực Cung Sơn. Hình bên phải là sơ đồ kết nối với các đoạn sông được thể hiện bằng các mũi tên có đánh số.

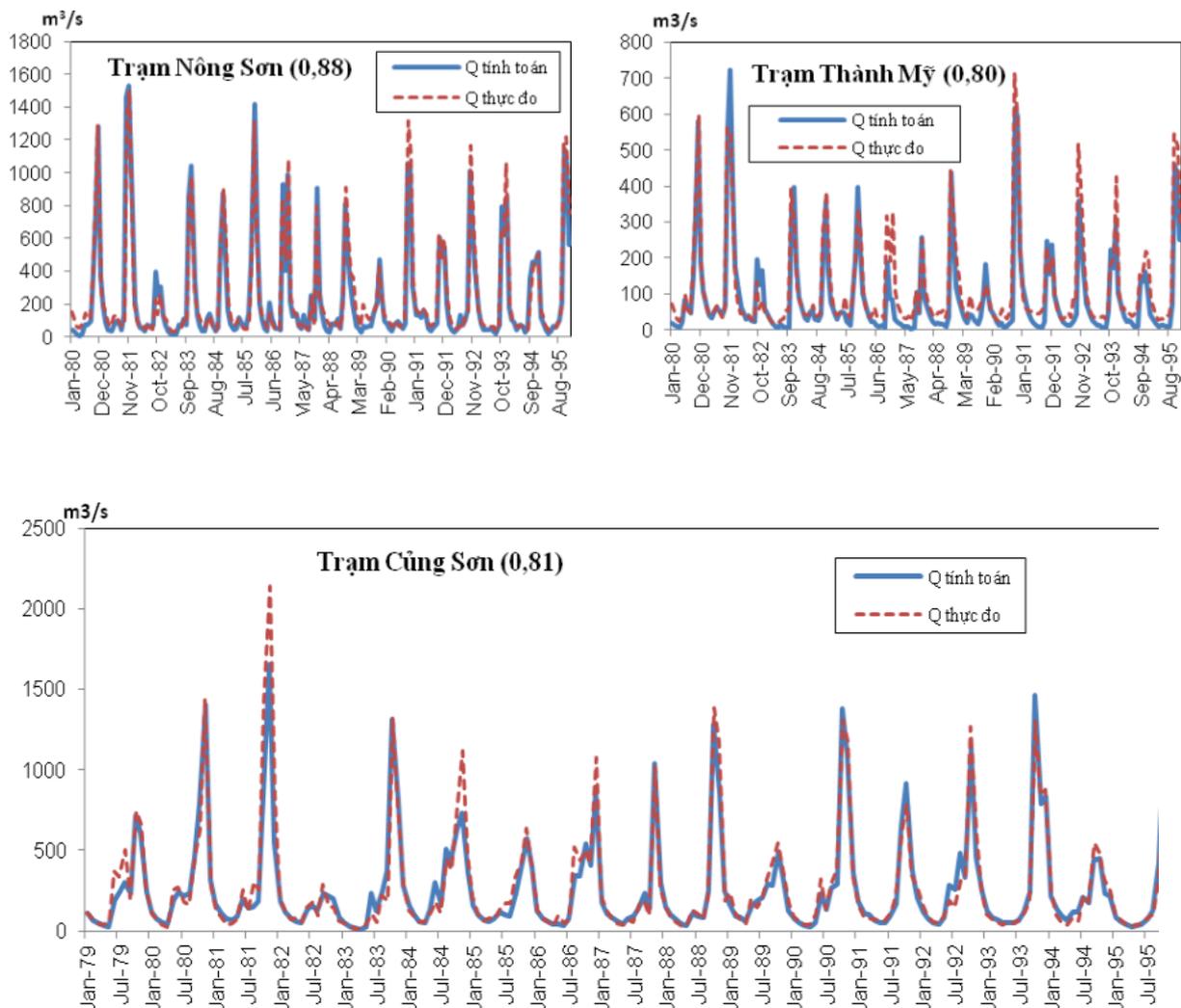
3.2. Mô phỏng dòng chảy

3.2.1 Hiệu chỉnh

Dòng chảy ngày tại cửa ra tại các trạm Nông Sơn (lưu vực Nông Sơn), Thành Mỹ (lưu vực Thành Mỹ), An Khê, Pơ Mơ Rê, Sông Hình, Củng Sơn (lưu vực Củng Sơn) được sử dụng để đánh giá khả năng mô phỏng của mô hình. Đối với lưu vực Củng Sơn có dòng chảy thực đo tại một số trạm đo ở thượng lưu như Pơ Mơ Rê ở lưu vực 1, An Khê ở lưu vực 6 và Sông Hình ở lưu vực 15. Các số liệu này cũng được sử dụng nhằm tìm kiếm bộ thông số cho các lưu vực con này. Các lưu vực con lân cận sẽ có

bộ thông số tương tự lúc ban đầu nhằm nâng cao tốc độ dò tìm bộ thông số.

Giai đoạn hiệu chỉnh được lấy từ năm 1980 đến năm 1995 cho Nông Sơn và Thành Mỹ, từ năm 1979 đến 1995 cho Củng Sơn. Kết quả mô phỏng dòng chảy ngày tại Nông Sơn, Thành Mỹ và Củng Sơn tại giai đoạn hiệu chỉnh cho hệ số Nash lần lượt là 0,88; 0,80 và 0,81 được trình bày ở hình 6 với bộ thông số trình bày ở bảng 1 và bảng 2. Dòng chảy mô phỏng tại các lưu vực con ở Pơ Mơ Rê, An Khê, Sông Hình có hệ số Nash lần lượt là 0,73; 0,72 và 0,68.



Hình 6. Dòng chảy thực đo và mô phỏng (trung bình tháng) tại Nông Sơn (trên, trái), Thành Mỹ (trên, phải) và Củng Sơn (dưới) giai đoạn hiệu chỉnh 1980 – 1995

Bảng 1. Thông số mô hình các lưu vực con và các đoạn sông lưu vực Nông Sơn – Thành Mỹ

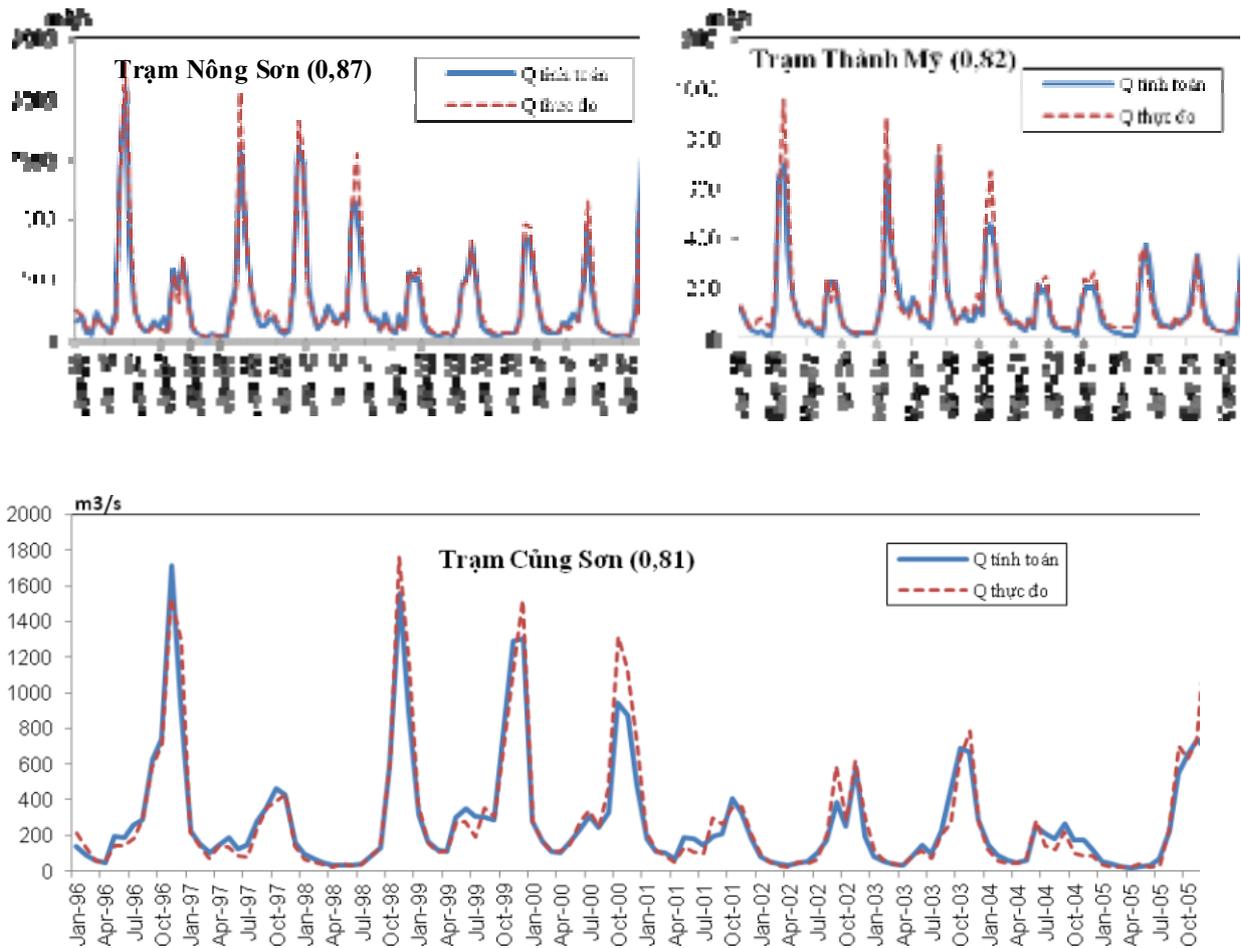
NAM	Nông Sơn						Thành Mỹ				
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
Lưu vực											
Diện tích (km²)	558,2	544,4	582	594,6	304,9	504,9	160,8	488,7	325,6	466	588,7
Trạm mưa	NS	HĐ	TP	TM	TM+HĐ	TM	TM	TM+KĐ	TM+KĐ	KĐ	KĐ
U*	20	10	10	10	10	10	20	10	10	10	10
L*	250	208	150	210	250	250	300	150	210	150	250
COF	0,80	0,20	0,40	0,80	0,70	0,70	0,80	0,40	0,80	0,20	0,70
CIF	0,25	0,04	0,07	0,06	0,04	0,04	0,25	0,1	0,05	0,05	0,03
K0	0,13	0,38	0,10	0,10	0,78	0,78	0,13	0,10	0,10	0,39	0,78
KI	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
CLI-2	28	60	10	31	60	60	28	10	31	60	60
TG	0,10	0,1	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
KB	3000	500	896	1637	1011	1011	3000	896	1637	500	1011
Muskingum	Nông Sơn						Thành Mỹ				
Đoạn sông	1	2	3	4			1	2	3		
X	0,1	0,2	0,1	0,1			0,3	0,1	0,1		
K	3	3	3	3			3	3	1		

Ký hiệu các trạm mưa: Nông Sơn (NS), Hiệp Đức (HĐ), Tiên Phước (TP), Trà My (TM), Thành Mỹ (TM), Khâm Đức (KĐ)

Bảng 2. Thông số mô hình các lưu vực con và các đoạn sông cho lưu vực Củng Sơn

Lưu vực	1-2		3-5		6-9		10-12		13-14		15,17		16		
U*	20		10		5		10		10		18		20		
L*	250		210		170		210		250		182		250		
COF	0,80		0,80		0,80		0,80		0,70		0,90		0,70		
CIF	0,25		0,06		0,002		0,06		0,04		0,002		0,038		
K0	0,13		0,10		0,45		0,10		0,78		0,10		0,78		
KI	0,10		0,10		0,10		0,10		0,11		0,10		0,10		
CLI-2	28		31		44		31		60		29		60		
TG	0,10		0,1		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		
KB	3000		1640		3500		1637		1011		515		1011		
Đoạn sông	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
X	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
K	3	2	3	5	1	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3

3.2.2 Kiểm định



Hình 7. Dòng chảy thực đo và mô phỏng (trung bình tháng) tại trạm Nông Sơn (trên, trái), Thành Mỹ (trên, phải) và Củng Sơn (dưới) giai đoạn kiểm định 1996 – 2005

Giai đoạn 1996 đến 2005 được sử dụng để kiểm định cho mô hình. Giai đoạn 2006 trở về sau thì dòng chảy trên các lưu vực sông này nhìn chung bắt đầu bị ảnh hưởng bởi việc điều tiết của các hồ chứa. Kết quả kiểm định về mô phỏng dòng chảy ngày cho hệ số Nash tại Nông Sơn, Thành Mỹ và Củng Sơn lần lượt là 0,87; 0,82 và 0,81 (hình 7). Điều này chứng tỏ, mô hình đã mô phỏng tốt quá trình dòng chảy và các bộ thông số tìm kiếm được là phù hợp với mô hình.

Từ kết quả hiệu chỉnh và kiểm định của mô hình ở trên cho ba lưu vực khác nhau có diện tích từ vừa đến lớn, có thể thấy rằng mô hình bán phân bố đã mô tả tốt các đặc trưng khí tượng cũng như mặt đệm lưu vực theo không

gian. Đối với lưu vực có diện tích lớn như lưu vực Củng Sơn có nhiều vùng mưa khác nhau, mô hình đã mô phỏng tốt dòng chảy tại cửa ra lưu vực chính. Các số liệu đo dòng chảy tại các trạm đo khác nằm trong lưu vực cũng được tận dụng để dò tìm bộ thông số cho các lưu vực con, giúp nâng cao độ chính xác mô phỏng biến động dòng chảy theo không gian, cũng như tiết kiệm thời gian tìm kiếm bộ thông số trên toàn bộ lưu vực. Đây cũng là ưu điểm của mô hình bán phân bố này so với mô hình NAM truyền thống.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng mô hình mô phỏng dòng chảy thử nghiệm cho hai nhóm lưu vực

vừa (Nông Sơn và Thành Mỹ) và lưu vực lớn (Cung Sơn) sử dụng mô hình NAM và diễn toán dòng chảy Muskingum. Mô hình có ưu điểm sử dụng được các số liệu đầu vào biến động theo không gian như mưa, bốc hơi, mặt đệm khi lưu vực lớn được chia thành các lưu vực con có các đặc điểm khí tượng, thủy văn, mặt đệm tương đồng. Dòng chảy các lưu vực này được kết nối với nhau đến cửa ra lưu vực chính bằng các đoạn sông diễn toán theo phương pháp Muskingum.

Do không có quá nhiều thông số, phương pháp

Brute-Force thích hợp để sử dụng để dò tìm các bộ thông số cho mô hình mà không mất quá nhiều thời gian. Kết quả mô phỏng dòng chảy cho ba lưu vực Nông Sơn, Thành Mỹ và Cung Sơn cho kết quả phù hợp cao khi hệ số Nash đều đạt trên 0,80 trong cả hai bước hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Điều này chứng tỏ, mô hình bán phân bố được xây dựng có thể mô phỏng tốt dòng chảy cho các lưu vực vừa và lớn. Các thông số của mô hình có ý nghĩa vật lý phù hợp với thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Cunge J. A. (1969). On The Subject Of A Flood Propagation Computation Method (Muskingum Method). *Journal of Hydraulic Research*, 7:2, 205-230, DOI:10.1080/00221686909500264
- [2]. Nielsen S. A. và Hansen E. (1973). Numerical simulation of the rainfall-runoff process on a daily basis. *Nordic Hydrology* 4, 1973, 171-190.