

KẾT QUẢ MÔ PHỎNG LŨ BẰNG MÔ HÌNH 1D KWM - FEM & SCS LƯU VỰC SÔNG TRÀ KHÚC - TRẠM SƠN GIANG

Trương Quang Hải, Nguyễn Thanh Sơn.
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

1. Giới thiệu chung

Theo [1], mô hình sóng động học một chiều dựa trên cơ sở xấp xỉ chi tiết không gian và tích phân các phương trình đạo hàm riêng các quá trình vật lý diễn ra trên lưu vực nhằm diễn toán quá trình hình thành dòng chảy sông qua hai giai đoạn: dòng chảy trên sườn dốc và trong lòng dẫn. Mô hình cho phép đánh giá được tác động của lưu vực quy mô nhỏ đến dòng chảy, mở ra một giai đoạn mới trong việc mô hình hoá các quá trình thủy văn.

Dựa trên mô hình của Ross B.B và nnk, (Đại học Quốc gia Blacksburg, Mỹ) [4] dùng để dự báo ảnh hưởng của việc sử dụng đất đến quá trình lũ với mưa vượt thềm là đầu vào của mô hình, phương pháp phần tử hữu hạn kết hợp với phương pháp số dư của Galerkin được sử dụng để giải hệ phương trình sóng động học của dòng chảy một chiều.

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (1)$$

Phương trình động lượng

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) = gA(S - S_f) - gA \frac{\partial y}{\partial x} \quad (2)$$

trong đó:

Q : Lưu lượng trên bãi dòng chảy trên mặt hoặc trong kênh. q : Dòng chảy bổ sung ngang trên một đơn vị chiều dài của bãi dòng chảy (mưa vượt thềm đối với bãi dòng chảy trên mặt và đầu ra của dòng chảy trên mặt đối với kênh dẫn). A : Diện tích dòng chảy trong bãi dòng chảy trên mặt hoặc trong kênh dẫn. x : khoảng cách theo hướng dòng chảy. t : thời gian. g : gia tốc trọng trường. S : độ dốc đáy của bãi dòng chảy. S_f : độ dốc ma sát. y : độ sâu dòng chảy

Thuật giải hệ phương trình trên đã được trình bày trong [1], theo đó áp dụng cho lưu vực sông Trà Khúc được cụ thể theo các bước sau đây

1. Rời rạc hoá khối liên tục.
2. Lựa chọn các mô hình biến số của trường.
3. Tìm các phương trình phần tử hữu hạn.
4. Tập hợp phương trình đại số cho toàn bộ khối liên tục được rời rạc hoá.
5. Giải cho vector của các biến của trường tại nút.
6. Tính toán các kết quả từng phần tử từ biên độ các biến của trường tại nút.

Phương pháp SCS

Phương pháp SCS [3] được áp dụng để tính tổn thất dòng chảy từ mưa. Hệ phương trình cơ bản của phương pháp:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (3)$$

Từ nguyên lý liên tục, ta có:

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (4)$$

Kết hợp giải (3) và (4) để tính P_e

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (5)$$

với $I_a = 0,2S$,

trong đó: I_a - độ sâu tổn thất ban đầu, P_e - độ sâu mưa hiệu dụng, F_a - độ sâu thấm liên tục, P - tổng độ sâu mưa.

2. Thử nghiệm trên lưu vực sông Trà Khúc

Sông Trà Khúc bắt nguồn từ vùng núi phía đông cao nguyên KonPlong có độ cao trên 1000m. Từ nguồn tới ngã ba sông nhánh Đắc Rinh nhập lưu có tên là sông Re có độ dốc lòng sông đoạn thượng lưu rất lớn, mật độ lưới sông trên đoạn này khoảng 0.39 km/km². Từ nguồn sông chảy theo hướng tây nam - đông bắc, tới ngã ba (sông Re và Đắc Sê Lô) sông chuyển hướng nam - bắc, tiếp tục chảy tới Thạch Nham dòng sông bị uốn khúc theo hướng chung là tây nam - đông bắc, từ Thạch Nham ra biển Sa Kỳ sông chảy theo

hướng tây đông. Sông Trà Khúc tính đến trạm Sơn Giang có diện tích lưu vực là 3240 km², chiều dài sông 135km, khoảng 2/3 chiều dài sông chảy qua vùng núi, và đồi cao. Độ dốc bình quân lưu vực tương đối lớn, khoảng 23.9%. Triển khai mô hình, áp dụng vào lưu vực sông Trà Khúc như sau:

Rời rạc hoá khối liên tục

Thực chất của công việc này là xây dựng lưới phần tử cho lưu vực sông Trà Khúc. Nguyên tắc xây dựng lưới phần tử đã được trình bày trong [1]. Từ bản đồ mạng lưới sông đã chia lưu vực sông Trà Khúc tính đến trạm Sơn Giang thành 9 đoạn sông con gồm 39 dải và 150 phần tử [2] (hình 1). Các phần tử này (bảng 1) đồng nhất tương đối về hướng chảy và tính chất liên tục dòng chảy.

Lựa chọn mô hình biến số của trường.

Từ phương trình (1) và (2) việc xấp xỉ sóng động học đòi hỏi sự cân bằng giữa các lực trọng trường và ma sát trong phương trình động lượng và dòng chảy là hàm số chỉ phụ thuộc vào độ sâu có thể rút gọn về dạng:

$$S = S_f \quad (6)$$

Phương trình (6) có thể biểu diễn dưới dạng phương trình dòng chảy đều như phương trình Chezy hoặc Manning. Phương trình Manning được chọn cho việc giải này:

$$Q = \frac{1,49}{n} R^{2/3} S^{1/2} A \quad (7)$$

trong đó: R : bán kính thủy lực (diện tích/chu vi ướt). n - hệ số nhám Manning (theo đơn vị Anh)

Sau khi xấp xỉ sóng động học sẽ còn lại hai biến của trường cần xác định là A và Q .

Tìm hệ phương trình phần tử hữu hạn

Phương pháp số dư có trọng số của Galerkin được dùng để thiết lập các phương trình vì nó đã chứng tỏ là một phương pháp tốt đối với các bài toán về dòng chảy mặt. Phương pháp Galerkin cho rằng tích phân:

$$\int_D N_i K dD = 0 \quad (8)$$

D : khối chứa các phần tử. K : số dư sẽ được gán trọng số trong hàm nội suy N_i

Do phương trình (8) được viết cho toàn bộ không gian nghiệm nên nó có thể được áp dụng cho từng phần tử như dưới đây, ở đó hàm thử nghiệm sẽ được thay thế vào phương trình (5) và lấy tích phân theo từng phần tử của không gian:

$$\sum_{i=1}^{NE} \int_{D_e} \left\{ N_i \left[\frac{\partial Q}{\partial x} + \dot{A} - q \right] \right\} dD_e = 0 \quad (9)$$

trong đó: NE : số phần tử trong phạm vi tính toán. \dot{A} : đạo hàm theo thời gian của A . D_e : phạm vi của một phần tử. Giải phương trình (6) ta được:

$$\frac{1}{\Delta t} [F_A] \{A\}_{t+\Delta t} - \frac{1}{\Delta t} [F_A] \{A\}_t + [F_Q] \{Q\} - q \{F_q\} = 0 \quad (10)$$

Giải hệ phương trình cho véc tơ các biến của trường tại các nút.

Hệ phương trình phần tử hữu hạn (10) với các ẩn số là các biến tại các nút có thể được giải bằng phương pháp khử Gauss. Hệ phương trình phi tuyến cần phải giải thông qua các bước lặp. Các điều kiện ban đầu có thể làm hệ phương trình trở nên đơn giản hơn. Ví dụ đối với một dải chứa n phần tử tuyến tính và $n+1$ nút, trên các bãi dòng chảy sườn dốc của kênh tại thời điểm $t=0$, có một vài số hạng sẽ bằng 0. Phương trình phần tử hữu hạn trở thành:

$$\frac{1}{\Delta t} [F_A] \{A\}_{t+\Delta t} = \{f_q\} \quad (11)$$

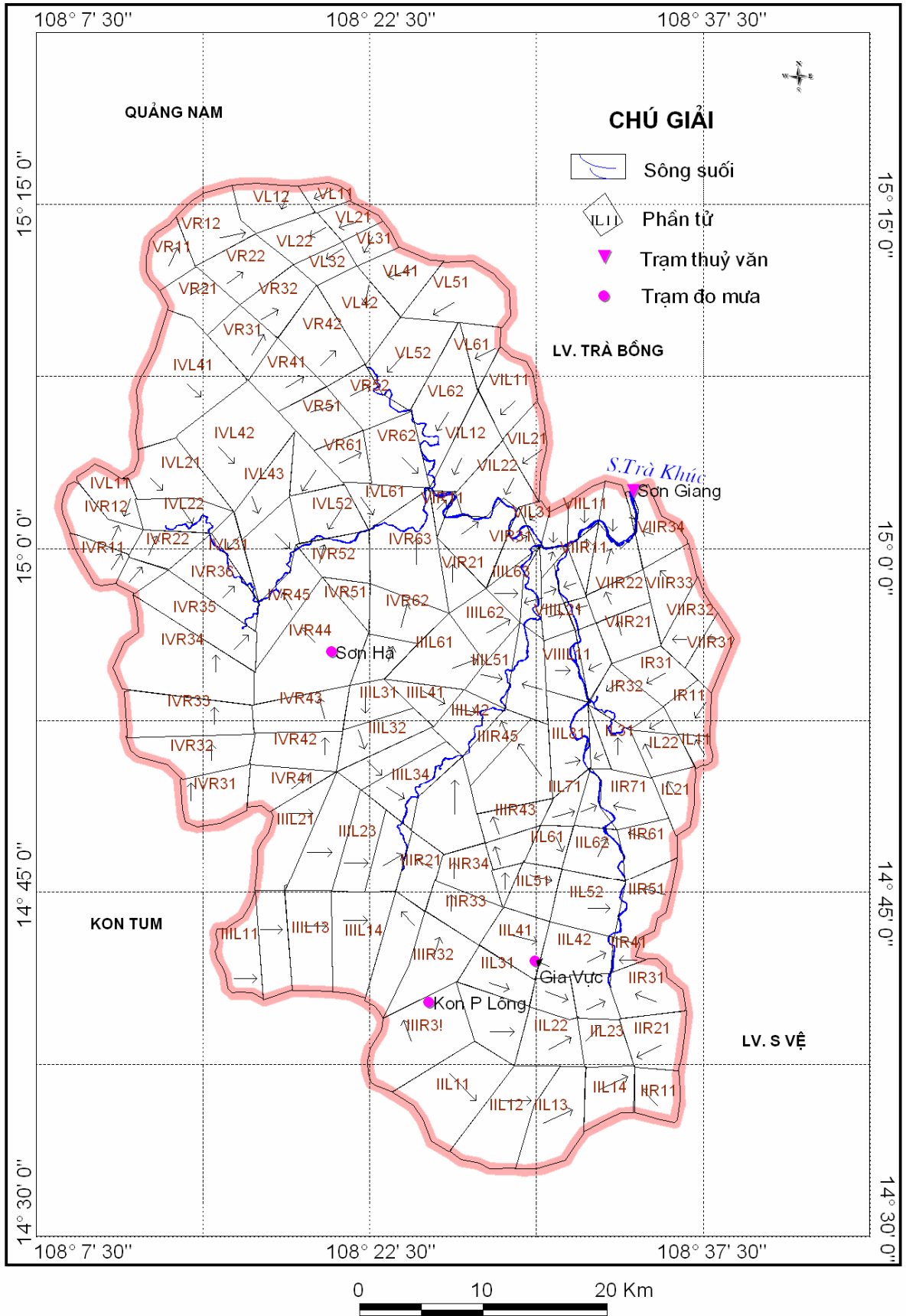
Sau khi giải đồng thời hệ phương trình này tìm các ẩn $\{A\}$, phương trình Manning được sử dụng để tìm các ẩn $\{Q\}$.

Tính toán các phần tử tạo thành từ biên độ của các biến của trường tại nút

Việc giải hệ các phương trình thường được sử dụng để tính toán các ẩn số bổ sung hay là các biến của trường thứ hai. Trong trường hợp này, phương trình Manning cho giá trị Q tại các nút sau khi các giá trị A đã được tính toán từ phương trình phần tử hữu hạn.

Bảng 1. Các phần tử của lưu vực phân theo các đoạn sông

STT	Sông 1	Sông II	Sông III	Sông IV	Sông V	Sông VI	Sông VII	Sông VIII	Sông IX
1	IL11	IIL11	IIIL11	IVL11	VL11	VIL11	VIIIL11	VIIIL11	IXL11
2	IL21	IIL12	IIIL12	IVL21	VL12	VIL12	VIIIL21	VIIIL21	IXR11
3	IL22	IIL13	IIIL13	IVL22	VL21	VIL21	VIIIL31	VIIIL31	
4	IL31	IIL14	IIIL14	IVL31	VL22	VIL22	VIIIR11	VIIIR11	
5	IR11	IIL21	IIIL21	IVL41	VL31	VIL31	VIIIR21	VIIIR21	
6	IR21	IIL22	IIIL22	IVL42	VL32	VIR11	VIIIR22	VIIIR31	
7	IR31	IIL23	IIIL23	IVL43	VL41	VIR21	VIIIR23		
8	IR32	IIL31	IIIL24	IVL44	VL42	VIR22	VIIIR31		
9		IIL32	IIIL31	IVL51	VL51	VIR31	VIIIR32		
10		IIL33	IIIL32	IVL52	VL52		VIIIR33		
11		IIL41	IIIL33	IVL61	VL61		VIIIR34		
12		IIL42	IIIL34	IVR11	VL62				
13		IIL51	IIIL41	IVR12	VR11				
14		IIL52	IIIL42	IVR21	VR12				
15		IIL61	IIIL51	IVR22	VR21				
16		IIL62	IIIL61	IVR31	VR22				
17		IIL71	IIIL62	IVR32	VR31				
18		IIL72	IIIL63	IVR33	VR32				
19		IIL81	IIIR11	IVR34	VR41				
20		IIR11	IIIR21	IVR35	VR42				
21		IIR21	IIIR31	IVR36	VR51				
22		IIR31	IIIR32	IVR41	VR52				
23		IIR41	IIIR33	IVR42	VR61				
24		IIR51	IIIR34	IVR43	VR62				
25		IIR61	IIIR35	IVR44					
26		IIR71	IIIR41	IVR45					
27		IIR81	IIIR42	IVR51					
28			IIIR43	IVR52					
29			IIIR44	IVR61					
30			IIIR45	IVR62					
31			IIIR51	IVR63					
32			IIIR61						
TỔNG	8	27	32	31	24	9	11	6	2



Hình 1. Sơ đồ các phần tử lưu vực sông Trà Khúc trạm Sơn Giang

3. Kết quả và thảo luận

Chương trình tính

Chương trình tính được xây dựng trên ngôn ngữ Fortran dựa trên thuật giải đã trình bày ở trên. Chương trình gồm các khối chính như sau:

- Nhập dữ liệu về mưa tích lũy theo giờ, số liệu về mặt đệm (độ dốc, hệ số nhám Manning, CN, chiều dài phần tử, chiều rộng phần tử...).
- Tính toán xử lý số liệu mưa vượt thấm được tính theo phương pháp SCS.
- Dựa vào mưa vượt thấm, các thông số mặt đệm và lòng dẫn để tính lưu lượng tại mặt cắt tính toán theo phương trình (7).
- Kiểm tra sai số tính toán.
- Đưa ra kết quả tính toán dạng bảng hoặc đồ thị.

Tính toán theo chương trình này với tốc độ máy PC, Pentium IV cho kết quả mô phỏng sau 4 - 5 phút.

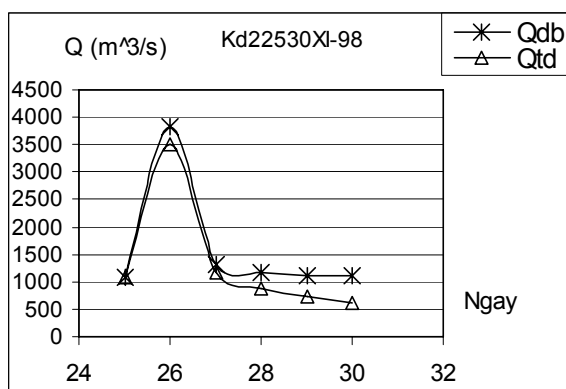
Xây dựng bộ thông số

- Từ tài liệu mưa ban đầu theo từng giờ, tích lũy mưa 6 giờ, ta được bảng số liệu lũy tích mưa theo các trận mưa làm đầu vào của mô hình.
- Tài liệu dòng chảy trích lũ thực tế dùng để so sánh với dòng chảy lũ mô phỏng thu được từ kết quả tính toán mô hình.
- *Độ dốc trung bình của mỗi phần tử* được xác định từ bản đồ độ dốc theo trung bình trọng số độ dốc trên phần tử
- *Chiều dài, rộng, diện tích* của các phần tử được xác định trực tiếp trên bản đồ lưới phần tử
- *Chiều dài và độ dốc đoạn lòng dẫn* xác định qua bản đồ địa hình và bản đồ mạng lưới sông suối
- *Hệ số nhám* của mỗi phần tử được lấy trực tiếp từ bản đồ rừng. Hệ số nhám được lấy bằng 0,4 đối với thảm phủ là cây lấy gỗ; 0,35 đối với vườn cây; 0,3 đối với vùng trồng cỏ; 0,25 đối với vùng dân cư và 0,02 đối với vùng không thấm nước [2].
- *Xác định hệ số CN* của từng phần tử theo phương pháp trung bình trọng số từ bản đồ sử dụng đất. Hệ số CN được tra bảng dựa trên các chỉ tiêu về loại đất và tình hình sử dụng đất.

Ngoài ra còn các thông số khác cần đưa vào file số liệu đầu vào cho mô hình như sai số cho phép (10-5), bước lặp (100), chiều rộng đoạn lòng dẫn nằm trong khoảng (30 - 170m), hệ số dốc mái kênh (1.5), và hệ số nhám của lòng dẫn đã được xác định theo giả định nằm trong khoảng (0.03 - 0.1), rồi cho tối ưu hoá bộ thông số ứng với các trận lũ của năm 1998,1999 để tìm ra được bộ thông số cho lưu vực sông Trà Khúc

Kết quả mô phỏng lũ

Từ file số liệu đã được xác lập theo các thông số đã được tính như trên và tiến hành tính toán bằng mô hình cho 7 trận lũ của năm 1998, 1999 [2] thu được kết quả: 3 trận lũ thuộc loại tốt với $R^2 > 85\%$, 2 trận lũ loại khá và 2 trận lũ loại đạt. Qua so sánh mô phỏng với thực đo có thể thấy rằng bộ thông số 7 trận lũ cho kết quả ổn định và áp dụng tốt cho lưu vực sông Trà Khúc. Ví dụ kết quả tính toán cụ thể cho trận lũ tại trạm thủy văn Sơn Giang từ ngày 25/XI/1998 đến ngày 30/XI/1998 (hình 2) như sau:



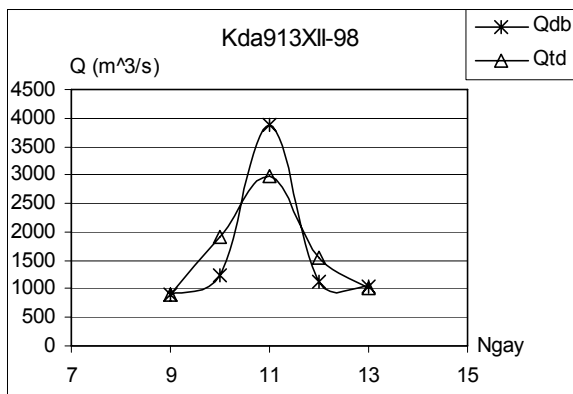
Hình2. Kết quả mô phỏng trận lũ từ ngày 25/XI đến 30/XI năm 1998 tại trạm Sơn Giang

Ngày	Qdb (m ³ /s)	Q(i) (m ³ /s)
25	1080	1080
26	3799.5	3510
27	1322.1	1180
28	1164.3	874
29	1121.4	722
30	1102.9	603
R^2	94,7%	
Sai số đỉnh	10,7%	
Sai số tổng lượng	16,9%	

Kết quả kiểm tra mô hình

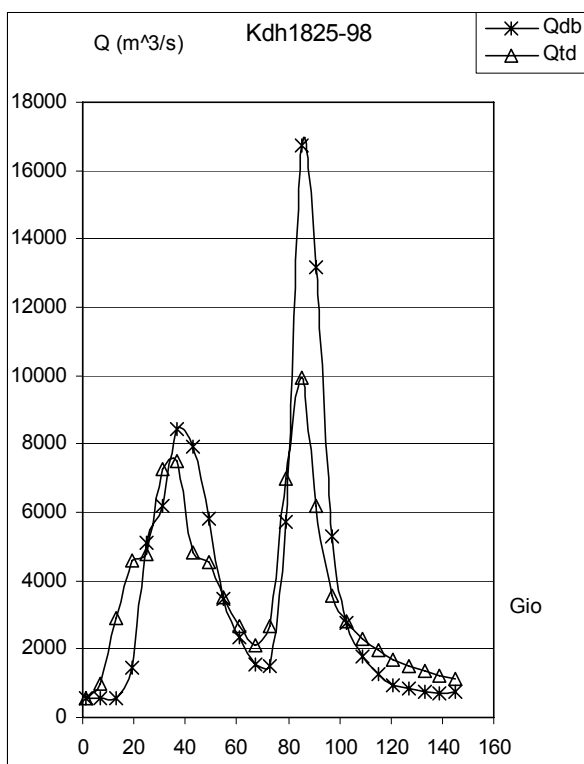
Để có được bộ thông số tương đối hoàn chỉnh trong khoá luận này đã sử dụng hai trận lũ độc lập để kiểm định thông số. Kết quả chạy cho hai trận lũ độc lập được thể hiện trên hình 3 và hình 4.

Với trận lũ từ ngày 9/XII đến ngày 13/XII năm 1998 (hình3) cho kết quả về lượng là khá tốt (với sai số tổng lượng <10%), về đỉnh thì thiên lớn sai số giữa dự báo và thực đo là 23,5%, sai số theo tiêu chuẩn $R^2 = 86,4\%$ thuộc loại tốt.



Hình 3. Kết quả tính cho chuỗi số liệu độc lập từ ngày 9/XII đến ngày 13/XII năm 1998 tại trạm Sơn Giang

Ngày	Qdb (m³/s)	Qtd (m³/s)
9	896	896
10	1239.07	1900
11	3882.54	2970
12	1133.17	1550
13	1031.31	1000
R ²	86,4%	
Sai số đỉnh	23,5%	
Sai số tổng lượng	1,6%	



Hình 4. Kết quả tính cho chuỗi số liệu độc lập từ 1h 19/XI đến 19 h 25/XI năm 1998 tại trạm Sơn Giang

Ngày	Qdb (m³/s)	Qtd (m³/s)
1	569	569
7	569	984
13	569.01	2890
19	1471.78	4600
25	5118.29	4800
31	6186.69	7270
37	8449.09	7490
43	7921.83	4820
49	5792.2	4540
55	3445.75	3500
61	2358	2670
67	1545.86	2110
73	1477.09	2670
79	5698.94	6980
85	16730.15	9940
91	13159.11	6190
97	5277.22	3550
103	2754.68	2800
109	1796.67	2320
115	1249.2	1990
121	937.88	1690
127	845.02	1520
133	736.32	1360
139	719.31	1220
145	741.59	1130
R ²	69%	
Sai số đỉnh 1	11,4%	
Sai số đỉnh 2	40,6%	
Sai số tổng lượng	6,8%	

Với trận lũ từ 1 giờ ngày 19/XI đến 19 giờ ngày 25/XI năm 1998 (hình 4) đây là trận lũ kép (xuất hiện hai đỉnh) với lưu lượng thuộc vào loại lớn, vì vậy việc mô phỏng hay dự báo cho đường quá trình của trận lũ này rất khó. Từ kết quả trên hình 3 nhận thấy rằng mô hình đã mô phỏng khá tốt đỉnh thứ nhất (với sai số đỉnh <15%), đỉnh thứ hai đã dự báo được thời gian xuất hiện đỉnh nhưng về giá trị thì cho sai số lớn (với sai số >25%), về lượng thuộc loại đạt với sai số là 6,8%, theo tiêu chuẩn đánh giá $R^2 = 69%$ thuộc loại khá. Như vậy bộ thông số chạy cho 7 trận lũ mô phỏng khi chạy cho 2 trận lũ độc lập cho kết quả tương đối khả quan và bước đầu có thể khẳng định bộ thông số của mô hình tương đối ổn định, có thể dùng để phát triển công nghệ dự báo lũ trên lưu vực sông Trà Khúc đến trạm Sơn Giang.

4. Kết luận

Với việc xấp xỉ chi tiết không gian và tích phân các phương trình đạo hàm riêng mô tả các quá trình vật lý diễn ra trên lưu vực, mô hình 1DKWM - FEM &SCS có khả năng đánh giá được những thay đổi trong phạm vi không gian nhỏ trên lưu vực đến quá trình hình thành dòng chảy. Tính biến động theo không gian của hình dạng lưu vực, của các đặc tính thủy văn và mưa có thể dễ dàng được xét đến trong mô hình trên.

Với số liệu đầu vào là mưa vượt thấm và các bản đồ số, phương pháp này cho phép giải quyết được hạn chế về tính thừa thớt của số liệu khi áp dụng thực tế mà các mô hình khác thường gặp. Việc áp dụng mô hình có tính khả thi cao khi đánh giá tác động sự thay đổi của các yếu tố tự nhiên tới dòng chảy. Một sự biến động nào đó trên một phần tử sẽ có tác động đến toàn bộ hệ thống và ảnh hưởng đến dòng chảy trên sông. Có thể dùng phương pháp này để đánh giá các quy hoạch đối với việc đảm bảo bền vững tài nguyên nước. Kết quả mô phỏng lũ trên lưu vực sông Trà Khúc cho kết quả khá tốt với bộ thông số dễ dàng được thiết lập nhờ sử dụng các công cụ tính toán với công nghệ GIS có độ tin cậy cao. Kết quả này có thể sử dụng cho việc xây dựng phương án dự báo lũ và khai thác tối ưu khả năng sử dụng bề mặt lưu vực.

Đề nâng cao hiệu quả của việc mô phỏng lũ có thể khai triển áp dụng hàm nội suy bậc cao trong mô phỏng không gian và thực nghiệm số các công thức tính thấm trong mô hình sóng động học một chiều, sẽ được bàn tới trong các công bố tiếp theo.

Các nghiên cứu trong bài báo này được sự hỗ trợ kinh phí của Chương trình nghiên cứu cơ bản Nhà nước thuộc Bộ Khoa học & Công nghệ giai đoạn 2006 -2008. Mã số: 705606

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Thanh Sơn, Lương Tuấn Anh, 2003. *Áp dụng mô hình thủy động học các phần tử hữu hạn mô tả quá trình dòng chảy lưu vực*. Tạp chí khoa học. Đại học Quốc Gia Hà Nội, T. XIX, No1, tr.90-99
2. Nguyễn Thanh Sơn. 2003. *Ứng dụng mô hình toán phục vụ quy hoạch lưu vực sông Trà Khúc*. Đề tài cấp ĐHQG Hà Nội, MS: QT-03-21, 78 tr.
3. Chow V.T. 1988, *Applied Hydrology*. Mc Graw Hill, 407 tr.
4. Ross B.B., D.N. Contractor and V.O. Shanhotlt. *Afinite-element model of overland and channel flow for assessing the hydrologic impact of land use change*. Journal of Hydrology, p. 49

Địa chỉ liên hệ: Nguyễn Thanh Sơn, Khoa KTTV-HDH, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội. Tel: 8584943; E-mail: sonnt@vnu.edu.vn

SIMULATE STORM-WATER RUNOFF ON TRA KHUC RIVER BASIN, SON GIANG STATION USING KWM1D - FEM & SCS MODEL

Truong Quang Hai, Nguyen Thanh Son
College of Science, VNU

The storm-water runoff simulaton is solved by mathematical methods for absorbed and concentrated processes of flow in the basin. This article introduces the results of applying one - dimensional kinematic wave model using finite elements and SCS methods (1DKWM-FEM & SCS) for storm-water runoff simulation in the Tra Khuc river basin, Son Giang station. This makes basic for building predictive technology of streamflow and properly managing/exploiting water and soil resources on basin surface.

The model gives simulations of floods in Tra Khuc river basin with acceptable accuracies, for example, the peak error is smaller 20%, volum error is smaller 15%, and effective coefficient is larger than 86%.

The model well responds to changes in surface and can be used for the basin planning.