

KẾT QUẢ MÔ PHỎNG LŨ BẰNG MÔ HÌNH 1DKWM – FEM & SCS LƯU VỰC SÔNG TẢ TRẠCH – TRẠM THƯỢNG NHẬT

Nguyễn Thanh Sơn

*Khoa Khí tượng-Thủy văn và Hải dương học
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG 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 lưu vực và tích phân số trị các phương trình đạo hàm riêng mô tả 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*) [3] dùng để dự báo ảnh hưởng của việc sử dụng đất đến quá trình lũ với mưa vượt thấm 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 thấm 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 Tả Trạch 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 phân 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 phân tử từ biên độ các biến của trường tại nút.

Phương pháp SCS

Phương pháp SCS [2] 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

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

2. Triển khai áp dụng mô hình trên lưu vực sông Tả Trạch

Sông Tả Trạch bắt nguồn từ phía đông dãy Trường Sơn có độ cao trên 1000m, và bắt nguồn từ hai nhánh chính, nhánh thứ nhất chảy theo hướng Tây Nam - Đông Bắc, nhánh thứ hai chảy theo hướng Bắc Nam, hai nhánh gặp nhau tại Khê Hai Nhất và hình thành nên sông Tả Trạch chảy theo hướng Bắc - Nam. Sông Tả Trạch có diện tích tương đối nhỏ chỉ với 208 km², chiều dài sông là 16.7 km, có tới 3/4 chiều dài sông chảy qua vùng đồi núi và trung du. Độ cao bình quân lưu vực là khá lớn khoảng 450m. Hệ số uốn khúc của dòng chính là không cao, khoảng 1.13. Phần thượng lưu và trung lưu dài khoảng 14.5 km, dòng chảy nhỏ hẹp và tương đối khúc khuỷu và dốc. Phần hạ lưu từ Khê Hai Nhất đến trạm Thượng Nhật dài khoảng 2.2 km lòng sông mở rộng hơn, bằng phẳng và tương đối thẳng.

Triển khai mô hình, áp dụng vào lưu vực sông Tả Trạch tính đến trạm Thượng Nhật như sau:

Rời rạc hoá khối liên tục

Thực chất của công việc này là xây dựng lưới phân tử cho lưu vực sông Tả Trạch. Nguyên tắc xây dựng lưới phân tử đã được trình bày trong [1]. Từ bản đồ mạng lưới sông đã chia lưu vực sông Tả Trạch tính đến trạm Thượng Nhật thành 10 đoạn sông

con, các dải, các phân tử (hình1). Theo đó, lưu vực được chia thành 66 phân tử (bảng 1). Các phân tử này đồng nhất tương đối về hướng chảy và tính chất liên tục dòng chảy.

Bảng 1. Các phân tử của lưu vực sông Tả Trạch - trạm Thượng Nhật

STT	Sông I	Sông II	Sông III	Sông IV	Sông V	Sông VI	Sông VII	Sông VIII	Sông IX	Sông X
1	IL11	IIL11	IIIL11	IVL11	VL11	VIL11	VIIL11	VIIIL11	IXL11	XL11
2	IL21	IIL21	IIIL12	IVL21	VL21	VIL21	VIIL21	VIIIL12	IXL21	XR11
3	IR11	IIL31	IIIL21	IVL31	VL31	VIL31	VIIL31	VIIIL21	IXL31	
4	IR21	IIL41	IIIL22	IVL41	VL41	VIL41	VIIR11	VIIIL22	IXR11	
5		IIL51	IIR11	IVR11	VR11	VIR11	VIIR21	VIIIR11	IXR21	
6		IIR11	IIIR12	IVR21	VR21	VIR21	VIIR31	VIIIR21	IXR31	
7		IIR21	IIIR21	IVR31	VR31	VIR31				
8		IIR31	IIIR22	IVR41	VR41	VIR41				
9		IIR41								
10		IIR51								
Tổng	4	10	8	8	8	8	6	6	6	2

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:

$$S=S_f \tag{6}$$

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:

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

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 phân 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:

$$\int_D N_i R \, dD = 0 \quad (8)$$

D : khối chứa các phần tử. R : 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.

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: là số liệu về mưa tích lũy theo giờ, số liệu về mặt đệm (như độ dốc, hệ số nhám Manning, CN, chiều dài phân tử, chiều rộng phân 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 tích lũy 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 phân tử* được xác định từ bản đồ độ dốc theo trung bình trọng số độ dốc trên phân tử

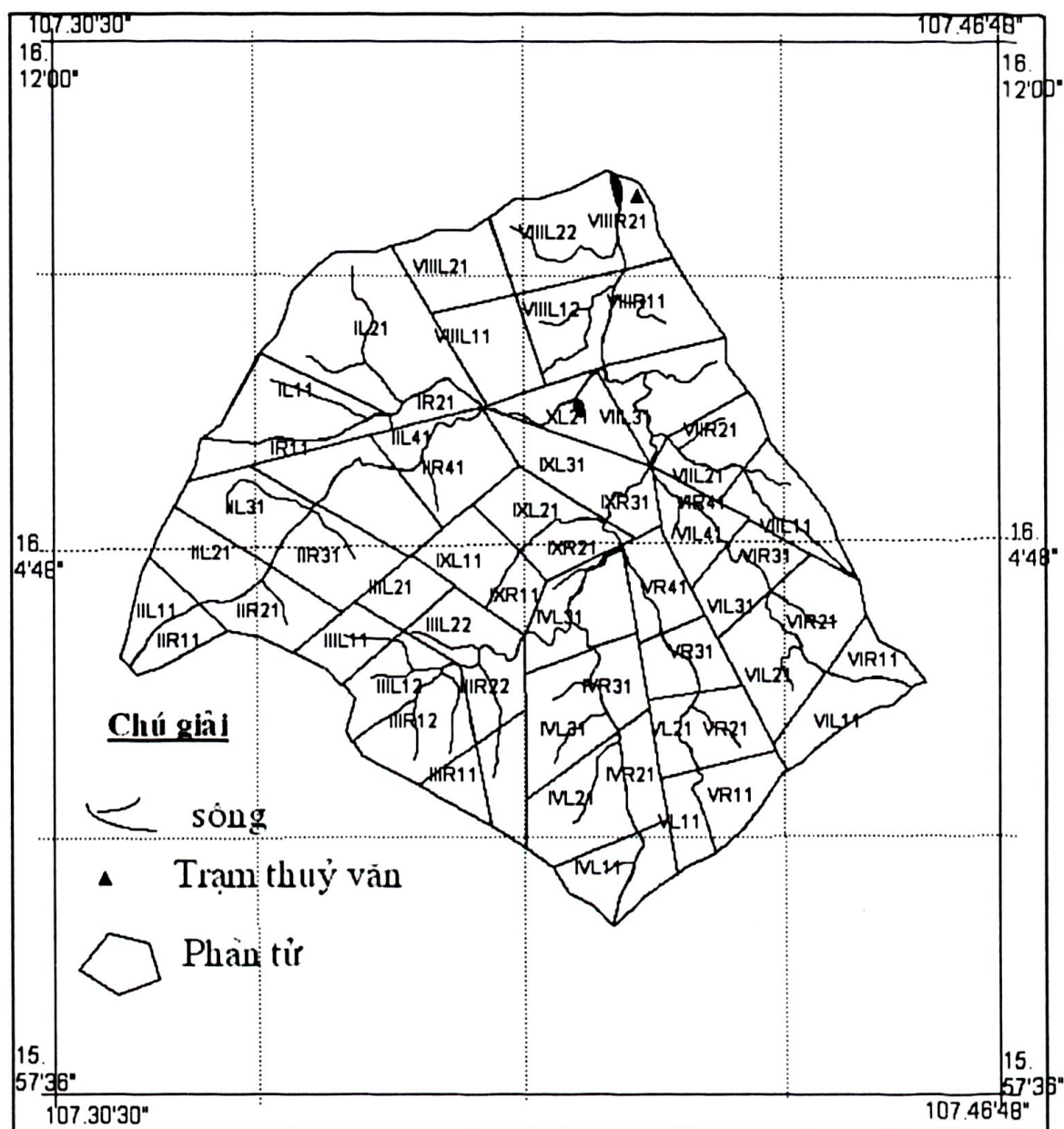
- *Chiều dài, rộng, diện tích* của các phân tử được xác định trực tiếp trên bản đồ lưới phân tử

- *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 phân 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 phân 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 9 trận lũ từ 1999 - 2003 để tìm ra được bộ thông số cho lưu vực sông Tả Trạch.

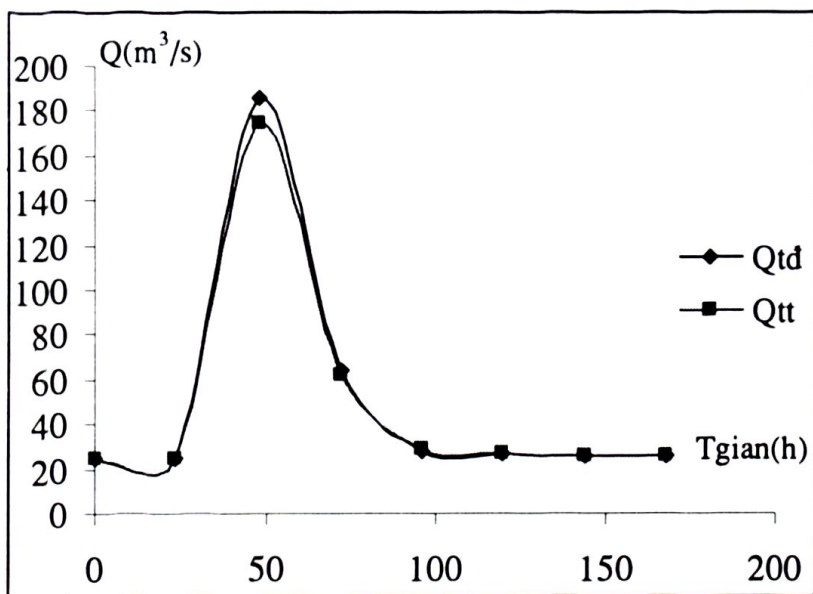


Hình 1. Sơ đồ lưới phần tử lưu vực sông Tả Trạch - trạm Thượng Nhật

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 9 trận lũ từ 1999 -2003 thu được kết quả mô phỏng với sai số về tổng lượng lũ từ 3 -14%, sai số trung bình về đỉnh lũ từ 5.3 - 15%. Phân tích đường quá trình lũ theo chỉ tiêu của R^2 của Tổ chức Khí tượng thế giới đạt 68.3 – 99.4%, thuộc loại khá và tốt. Ví dụ kết quả tính toán cụ thể cho trận lũ tại trạm thủy văn Thượng Nhật từ 7h/7/11/2000 đến 19h/13/11/2000 (hình 2) như sau:

Sai số đỉnh lũ: 5.9%
 Sai số tổng lượng lũ: 3.04%
 Độ hữu hiệu R²: 99.4%

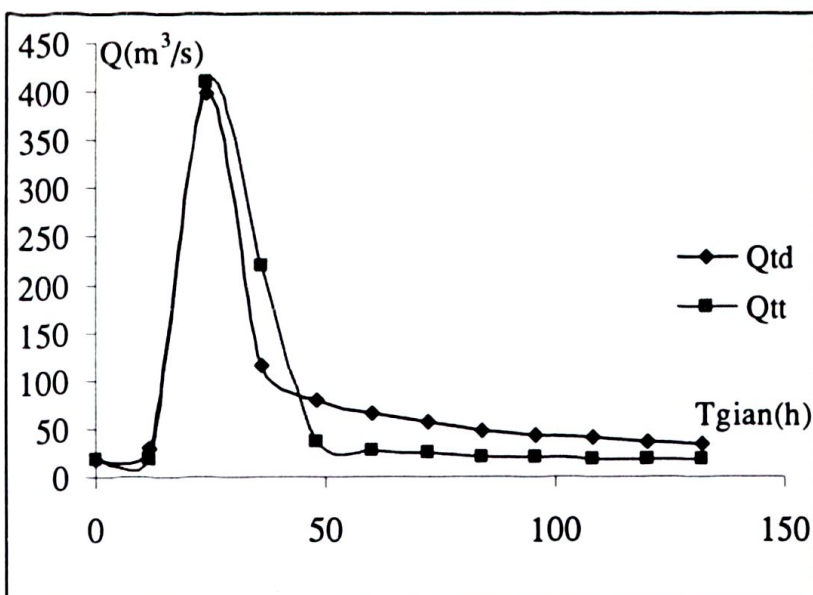


Tgian (h)	Qtd (m³/s)	Qtt (m³/s)
0	24.6	24.6
24	24.6	24.6
48	185.4	174.4
72	63.9	62.2
96	28.3	28.5
120	26.6	26.3
144	26.1	26.1
168	25.6	26.05
Tổng	405.1	392.75
S số đỉnh	5.90%	
S số tổng	3.04%	
R ²	99.40%	

Hình 2. Kết quả mô phỏng trận lũ từ 7h/7/11-19h/13/11/2000

Kết quả kiểm tra mô hình

Sử dụng bộ thông số xác lập qua mô phỏng để kiểm tra qua chuỗi độc lập dựa trên số liệu của trận lũ từ 1h/18/11/2002 đến 13h/23/11/2002 (hình 3) cho kết quả như sau:



Tgian (h)	Qtd (m³/s)	Qtt (m³/s)
0	18.7	18.7
12	29.6	18.7
24	398	409.4
36	116	220.4
48	78.4	36
60	65	27.7
72	55.8	25.7
84	47.6	20.9
96	43.1	20.2
108	39.6	19.2
120	37.1	19
132	33.7	18.9
S số tổng	11.10%	
S số đỉnh	2.80%	
R ²	85.10%	

Hình 3. Kết quả kiểm tra mô phỏng trận lũ từ 1h/18/11-13h/23/11/2002

Như vậy với kết quả kiểm tra có sai số đỉnh là 2.80%, sai số tổng lượng 11.1% và kiểm tra độ hữu hiệu đường quá trình theo chỉ tiêu R^2 đạt 85.1% là kết quả chấp nhận được. 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 Tả Trạch đến trạm Thượng Nhật.

4. Kết luận

Với việc xấp xỉ chi tiết không gian lưu vực và tích phân các phương trình đạo hàm riêng mô tả các quá trình vật lý diễn ra trên lưu vực, mô hình thủy động lực học có khả năng đánh giá được những thay đổi trong phạm vi những không gian nhỏ trên lưu vực đến quá trình hình thành dòng chảy. Phương pháp phần tử hữu hạn có thể được áp dụng một cách hiệu quả trong bài toán diễn toán dòng chảy mặt và dòng chảy trong kênh dẫn. 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. Đã áp dụng với lưu vực sông Tả Trạch cho kết quả tốt.

Kết quả mô phỏng lũ trên lưu vực sông Tả Trạch 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.

Để 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 -2009.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Thanh Sơn, Lương Tuấn Anh. 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, 2003.

2. Chow V.T. *Applied Hydrology*. Mc Graw Hill, 1988
3. 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*.

VNU. JOURNAL OF SCIENCE, Nat., Sci., & Tech., T.XXII, N₀3, 2006

SIMULATE STORM-WATER RUNOFF ON TA TRACH RIVER BASIN, THUONG NHAT STATION USING 1DKWM – FEM & SCS

Nguyen Thanh Son

*Department of Hydro-Meteorology & Oceanography
College of Science, VNU*

The storm-water runoff simulaton is solved by mathematical methods for absorbed and concentrated processes of flow on 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 Ta Trach river basin. This makes basic for building predictive technology of streamflow and properly managing/exploiting water and soil resources on surface basin.