

KẾT QUẢ MÔ PHỎNG LŨ BẰNG MÔ HÌNH SÓNG ĐỘNG HỌC MỘT CHIỀU LƯU VỰC SÔNG VỆ

Nguyễn Thanh Sơn, Ngô Chí Tuấn.

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Tóm tắt. Việc mô phỏng lũ thường được giải quyết thông qua các bài toán về quá trình thấm và quá trình tập trung nước trên lưu vực. Bài báo này giới thiệu kết quả ứng dụng mô hình sóng động học một chiều bằng phương pháp phần tử hữu hạn và phương pháp SCS trên lưu vực sông Vệ trong việc mô phỏng lũ làm cơ sở cho việc xây dựng công nghệ dự báo lũ và khai thác hợp lý tài nguyên nước và đất trên bề mặt lưu vực.

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 Vệ 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 [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 Vệ

Lưu vực sông Vệ tính đến trạm An Chi nằm trọn trên địa phận tỉnh Quảng Ngãi có diện tích là 1260km². Dòng chính sông dài 91 km bắt nguồn từ Nước Vo ở độ cao 1070m và đổ ra biển Đông tại Long Khê. Mật độ sông suối trong lưu vực đạt 0,79km/km² với tổng chiều dài toàn bộ sông suối là 995km. Độ dốc bình quân lưu vực khoảng 19,9%. Hệ thống sông Vệ có 5 phụ lưu cấp I có chiều dài lớn hơn 10km phát triển mạnh về bờ trái. Diện tích bờ trái lớn gấp 1,63 lần diện tích bờ phải, nhưng tổng chiều dài sông suối bờ trái lớn gấp 3,5 lần bờ phải.

Triển khai mô hình, áp dụng vào lưu vực sông Vệ như sau:

Rời rạc hoá khối liên tục

Thực chất của công việc này là xây dựng lưới phần tử cho lưu vực sông Vệ. Nguyên tắc xây dựng lưới phần tử đã được trình bày trong [1]. Từ bản đồ mạng lưới sông đã chia lưu vực sông Vệ tính đến trạm An Chi thành 7 đoạn sông con, các dải, các phần tử (hình 1). Theo hình 1, lưu vực được chia thành 83 phần tử tương ứng với 25 dải (bảng 1 và bảng 2). Các phần tử này đồng nhất tương đối về hướng chảy và tính chất liên tục dòng chảy.

Bảng 1. Số dải của các đoạn sông

Đoạn sông	I	II	III	IV	V	VI	VII
Số dải	3	4	6	2	3	1	6

Bảng 2. Các phần tử của lưu vực

STT	Đoạn sông 1	Đoạn sông 2	Đoạn sông 3	Đoạn sông 4	Đoạn sông 5	Đoạn sông 6	Đoạn sông 7
1	IL11	III11	IIIL11	IVL11	VL11	VIL11	VIII11
2	IL12	III21	IIIL21	IVL12	VL21	VIR11	VIII12
3	IL21	III31	IIIL31	IVL21	VL22	VIR12	VIII21
4	IL22	III32	IIIL41	IVR11	VL31	VIR13	VIII22
5	IL31	III33	IIIL42	IVR21	VR11		VIII31
6	IR11	III34	IIIL43		VR12		VIII41
7	IR12	III41	IIIL44		VR21		VIII42
8	IR21	IIIR11	IIIL51		VR22		VIII43
9	IR22	IIIR12	IIIL61		VR31		VIII51
10	IR23	IIIR21	IIIR11				VIII52
11	IR31	IIIR22	IIIR21				VIII61
12	IR32	IIIR31	IIIR22				VIIIR11
13		IIIR32	IIIR31				VIIIR12
14		IIIR33	IIIR32				VIIIR21
15		IIIR41	IIIR41				VIIIR31
16			IIIR42				VIIIR32
17			IIIR51				VIIIR41
18			IIIR61				VIIIR51
19			IIIR62				VIIIR61
Tổng số phần tử	12	15	19	5	9	4	19

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 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:

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

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:

$$\frac{1}{\Delta t} [FA] \{A\}_{t+Dt} - \frac{1}{\Delta t} [FA] \{A\}_t + [FQ] \{Q\} - q \{Fq\} = 0 \quad (10)$$

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

Hệ phương trình phân 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 phân tử hữu hạn trở thành:

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

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 phân 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:

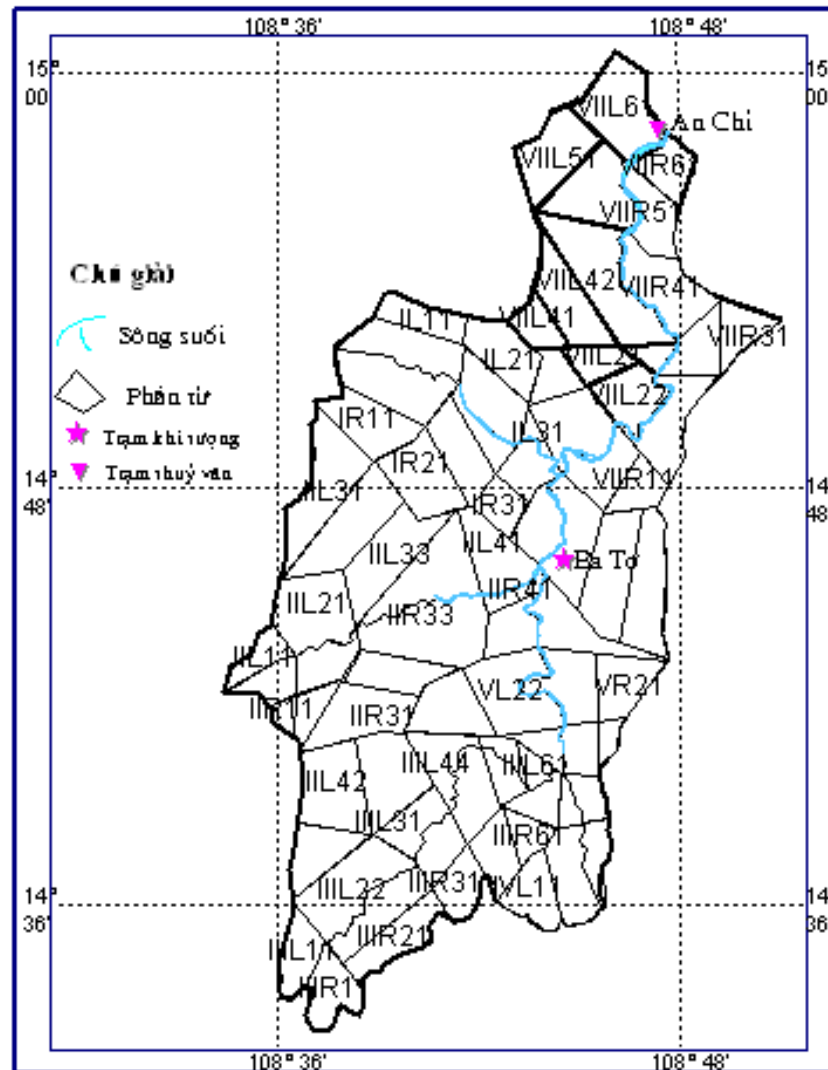
- Nhập dữ liệu: là số liệu về mưa tích lũy theo giờ, số liệu về mặt đệm (như độ dốc, hệ số nhám Manning, CN, chiều dài phần tử, chiều rộng phần tử...).
- Tính toán xử lý số liệu: mưa vượt thấm được tính theo phương pháp SCS.
- Dựa vào mưa vượt thấm, các thông số mặt đệm và lòng dẫn để tính lưu lượng 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

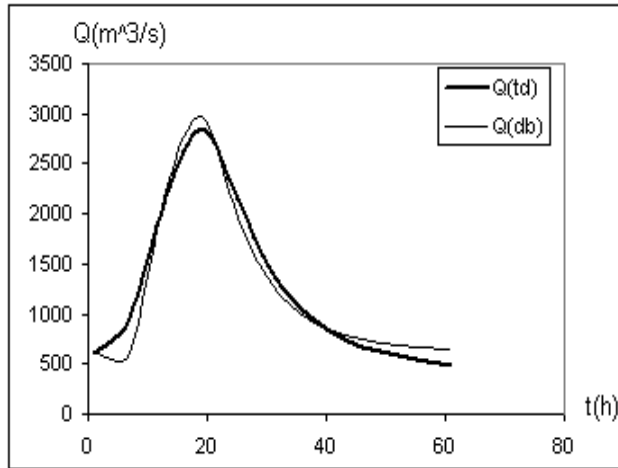


Hình 1. Sơ đồ lưới phần tử lưu vực sông Vê - trạm An Chi

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 để tìm ra được bộ thông số cho lưu vực sông Vê.

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 6 trận lũ của năm 1998 thu được kết quả mô phỏng với sai số trung bình về tổng lượng lũ từ 0.3 -7%, sai số trung bình về đỉnh lũ từ 4 - 11%. Phân tích đường quá trình lũ theo chỉ tiêu của R^2 của Tổ chức Khí tượng thế giới đạt 84,6 - 97%, thuộc loại khá và tốt. Ví dụ kết quả tính toán cụ thể cho trận lũ tại trạm thủy văn An Chi từ ngày 21/11/1998 đến ngày 24/11/1998 như sau:

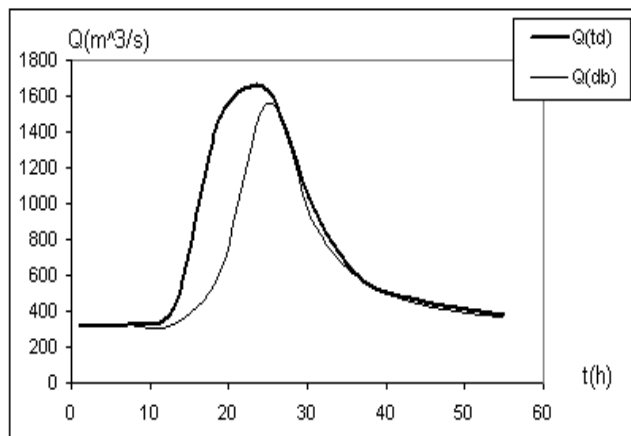


t(h)	Q(td)	Q(db)
1	609	609
7	953	609
13	2170	2226
19	2850	2977
25	2150	1959
31	1410	1292
37	982	949
43	740	795
49	622	716
55	542	676
61	491	654
Theo chỉ tiêu R ²		96.2%
Sai số đỉnh		4.46%
Sai số tổng lượng		0.37%

Hình 2. Trận lũ từ ngày 21/11/1998 đến ngày 24/11/1998

Kết quả kiểm tra mô hình

Sử dụng bộ thông số xác lập qua mô phỏng kiểm tra qua chuỗi độc lập dựa trên số liệu của trận lũ từ ngày 9/12/1998 đến ngày 12/12/1998 cho kết quả như sau:



t(h)	Q(td)	Q(db)
1	323	323
7	331	323
13	418	323
19	1480	1539
25	1630	1194
31	953	665
37	569	458
43	475	393
49	419	365
55	377	349
Theo chỉ tiêu R ²		85.6%
Sai số đỉnh		4.36%
Sai số tổng lượng		19.78%

Hình 3. Trận lũ từ ngày 9/12/1998 đến ngày 12/12/1998

Như vậy với kết quả kiểm tra có sai số đỉnh là 4.36%, sai số tổng lượng 19.78% và kiểm tra độ hữu hiệu đường quá trình theo chỉ tiêu R² đạt 85.6% là kết quả chấp nhận được. Như vậy 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 Vệ đến trạm An Chi.

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 thám 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 Vệ cho kết quả tốt.

Kết quả mô phỏng lũ trên lưu vực sông Vệ cho kết quả khá tốt với bộ thông số đề xuất 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.

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*.

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 VE RIVER BASIN USING ONE - DIMENSIONAL KINEMATIC WAVE MODEL

Nguyen Thanh Son, Ngo Chi Tuan
College of Science, VNU

The storm-water runoff simulation 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 for storm-water runoff simulation in the Ve river basin. This makes basic for building predictive technology of streamflow and properly managing/exploiting water and soil resources on surface basin.