

ÁP DỤNG MÔ HÌNH 1DKWM – FEM & SCS ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA QUÁ TRÌNH ĐỔ THỊ HÓA ĐẾN DÒNG CHẢY LŨ TRÊN MỘT SỐ SÔNG NGÒI MIỀN TRUNG

Nguyễn Thanh Sơn

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. Sử dụng mô hình sóng động học một chiều phương pháp phần tử hữu hạn (1DKWM-FEM) kết hợp với phương pháp SCS đã thu được những thành công nhất định khi mô phỏng lũ trên một số lưu vực sông ngòi Miền Trung. Bài báo giới thiệu kết quả áp dụng mô hình này để đánh giá tác động của các kịch bản đô thị hóa đến sự hình thành đỉnh lũ, từ đó đưa ra những cảnh báo cho các nhà quy hoạch tính hợp lý khai thác tài nguyên đất và nước 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 nkk, (Đại học Quốc gia Blacksburg, Mỹ) [2] dùng để đánh giá 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, 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, Vệ, Thu Bồn và Tả Trạch được cụ thể theo các bước sau:

Rời rạc hoá khối liên tục. Thực chất của công việc này là xây dựng lưới phần tử cho các lưu vực sông. Nguyên tắc xây dựng lưới phần tử đã được trình bày trong [1]. Các phần tử này 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:

$$S = S_f \quad (3)$$

Phương trình (3) 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:

$$Q = \frac{1,49}{n} R^{2/3} S^{1/2} A \quad (4)$$

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. Sau một số biến đổi [4] ta được:

$$\frac{1}{\Delta t} [F_A] \{A\}_{t+Dt} - \frac{1}{\Delta t} [F_A] \{A\}_t + [F_Q] \{Q\} - q \{F_Q\} = 0 \quad (5)$$

Giải hệ phương trình cho véc tơ các biến của trường tại các nút. Hệ phương trình phần tử hữu hạn (5) 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:

$$\frac{1}{\Delta t} [FA] \{A\}_{t+Dt} = \{f_q\} \quad (6)$$

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.

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:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (9)$$

Từ nguyên lý liên tục, ta có:

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (10)$$

Kết hợp giải (9) và (10) để tính P_e

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (11)$$

Đây là phương trình cơ bản của phương pháp SCS để tính độ sâu mưa hiệu dụng hay dòng chảy trực tiếp từ một trận mưa rào với: I_a - độ sâu tổn thất ban đầu, - độ sâu mưa hiệu dụng, - F_a độ sâu thấm liên tục, - P tổng độ sâu mưa (Hình 1). Qua nghiên cứu các kết quả thực nghiệm trên nhiều lưu vực nhỏ ở Mỹ, quan hệ kinh nghiệm đã được xây dựng:

$$I_a = 0.2S$$

Trên cơ sở này, ta có :

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (12)$$

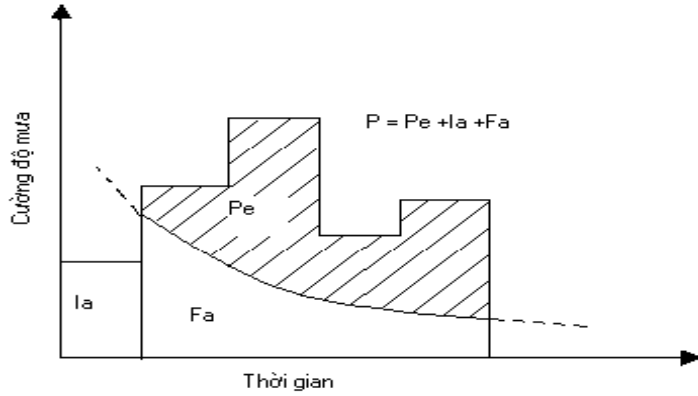
Với S được tính theo công thức:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (\text{inch}) \quad \text{hay} \quad S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (\text{mm}) \quad (13)$$

Trong đó CN là hiệu số đường cong, là một số không thứ nguyên biến đổi trong khoảng từ 0 đến 100. Đối với mặt không thấm hoặc mặt nước $CN = 100$, đối với các mặt tự nhiên $CN < 100$. CN là thông số phụ thuộc vào loại đất và tính chất sử dụng đất trên bề mặt lưu vực.

2. Triển khai áp dụng mô hình

Mô hình 1DKWM – FEM & SCS được triển khai ứng dụng cho 4 lưu vực trên địa bàn Miền Trung Việt Nam bao gồm: sông Tả Trạch tính đến trạm Thượng Nhật, sông Thu Bồn tính đến trạm Nông Sơn, sông Trà Khúc tính đến trạm Sơn Giang và sông Vệ tính đến trạm An Chí.



Hình 1. Các biến số có tổn thất dòng chảy trong phương pháp SCS

Đặc điểm chung của các lưu vực này là nằm ở đới chuyển tiếp khí hậu hai miền Bắc – Nam, có độ dốc tương đối lớn, các sông đều bắt nguồn từ dãy Trường Sơn đổ ra Biển Đông. Nền địa chất với đá gốc phân bố ở tầng nông rất thuận lợi cho việc hình thành dòng chảy mặt, thảm thực vật có độ che phủ từ 35 – 45%, có khả năng điều tiết lũ loại trung bình. Mùa mưa và mùa lũ kéo dài ba tháng từ tháng X đến tháng XII. Mỗi năm có khoảng 3 – 6 trận lũ với tính chất khá ác liệt.

Mô hình 1DKWM – FEM & SCS yêu cầu bộ dữ 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...). Mô hình đã được áp dụng để tiến hành mô phỏng lũ [4] trên các sông nghiên cứu đạt 84,6 - 97%, thuộc loại từ khá đến tốt, chứng tỏ bộ thông số xây dựng được có độ ổn định cao.

Ngày nay, khi công cuộc hiện đại hóa và công nghiệp hóa đất nước đang phát triển, hàng loạt các khu công nghiệp mới xuất hiện, các vùng đất hoang vắng đang trở thành các thị trấn, và ở khu vực Miền Trung, nơi có đường Hồ Chí Minh đi qua cùng với chính sách mở cửa thu hút vốn đầu tư trong và ngoài nước, công cuộc đô thị hóa (ĐTH) ngày càng được đẩy mạnh. Điều này dẫn đến sự thay đổi đáng kể các điều kiện mặt đệm trên các lưu vực, tăng điều kiện thuận lợi cho việc hình thành dòng chảy mặt, nói chung và hình thành lũ, nói riêng. Với việc đô thị hóa tăng, có nghĩa là điều kiện sử dụng đất trên lưu vực thay đổi kéo theo sự thay đổi hệ số CN và tính chất lũ. Bằng mô hình 1DKWM – FEM & SCS có thể khảo sát được mức độ ảnh hưởng của công cuộc đô thị hóa đến sự hình thành lũ, từ đó có thể cảnh báo được cho các nhà quy hoạch về mức độ phát triển đô thị hóa, đó là nội dung chính của bài báo này.

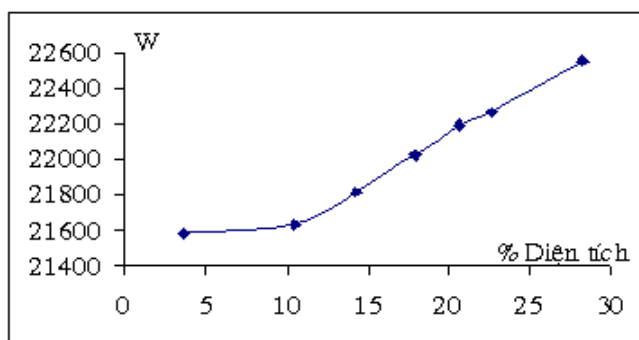
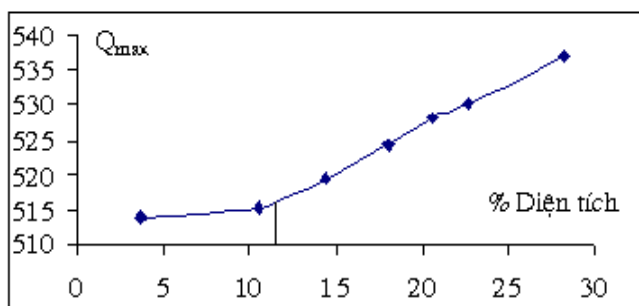
Qua khảo sát 4 lưu vực nói trên, phân tích các điều kiện thuận lợi về địa hình, giao thông và các điều kiện dân cư tác giả đã xây dựng các kịch bản tăng diện tích đô thị trên các lưu vực sông nghiên cứu để rút ra những kết luận về mức độ đô thị hóa giới hạn để các nhà quy hoạch có thể định hướng đúng đắn, tránh gây các hiểm họa về thiên tai lũ lụt do sự quá tải khi khai thác lưu vực.

Chu trình tính toán được tiến hành như sau:

- Phân tích các điều kiện địa hình thuận lợi cho việc phát triển đô thị trên các lưu vực sông nghiên cứu để xây dựng kịch bản ĐTH
- Thay đổi dần diện tích ĐTH trên các phần tử, lựa chọn lại hệ số CN và tính toán lại quá trình lũ bằng mô hình 1DKWM – FEM & SCS
- Xây dựng quan hệ giữa diện tích ĐTH (%) và đỉnh và tổng lượng lũ
- Đưa ra kết luận về ảnh hưởng của quá trình ĐTH đến sự hình thành dòng chảy lũ trên lưu vực.

3. Kết quả và thảo luận

Trên lưu vực sông Tả Trạch: Đã tiến hành khảo sát 9 trận lũ từ năm 1999 đến 2004 cho kết quả ở bảng 1. Hình 2 biểu diễn quan hệ của diện tích đô thị hóa với đỉnh lũ và tổng lượng lũ cho thấy khi diện tích đô thị hóa tăng đến 11.5% thì đỉnh và tổng lượng lũ tăng đột ngột, chứng tỏ sự quá tải của lưu vực với quá trình thay đổi mặt đệm.



Q_{max} (m^3/s)	%
513.8	3.7
515.1	10.5
519.4	14.3
524.3	18.0
528.3	20.6
530	22.7
536.9	28.2
$W(m^3)$	%
21579.6	3.7
21634.2	10.5
21814.8	14.3
22020.6	18.0
22188.6	20.6
22260	22.7
22549.8	28.2

Hình 2. Ảnh hưởng của quá trình đô thị hoá đến dòng chảy lũ trên sông Tả Trạch, trận lũ từ 16h/21/10/2001 đến 7h/23/10/2001

Bảng 1. Ảnh hưởng của quá trình đô thị hoá đến dòng chảy qua 9 trận lũ trên sông Tả Trạch

Trận lũ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ngưỡng ĐTH (%)	11.5	11.5	12	12	12	11.5	9.5	10	11.5
Ngưỡng ĐTH TB(%)	11.3								

Trên lưu vực sông Thu Bồn: Đã tiến hành khảo sát 9 trận lũ từ năm 1998 đến 2003 cho kết quả ở bảng 2. Hình 3 biểu diễn quan hệ của diện tích đô thị hóa với đỉnh lũ và tổng lượng lũ cho thấy khi diện tích đô thị hóa tăng đến 14.5% thì đỉnh và tổng lượng lũ tăng đột ngột

Bảng 2. Ảnh hưởng của quá trình đô thị hoá đến dòng chảy qua 9 trận lũ trên sông Thu Bồn

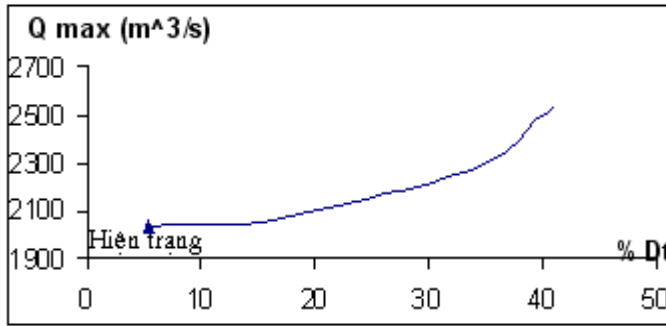
Trận lũ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ngưỡng ĐTH (%)	14.3	15	15	13	12.5	14.5	15.5	17.5	16
Ngưỡng ĐTH TB(%)	14.8								

Trên lưu vực sông Trà Khúc: Đã tiến hành khảo sát 3 trận lũ từ năm 1998 đến 2000 cho kết quả ở bảng 3. Hình 4 biểu diễn quan hệ của diện tích đô thị hóa với đỉnh lũ và tổng lượng lũ cho thấy khi diện tích đô thị hóa tăng đến 29% thì đỉnh và tổng lượng lũ tăng đột ngột

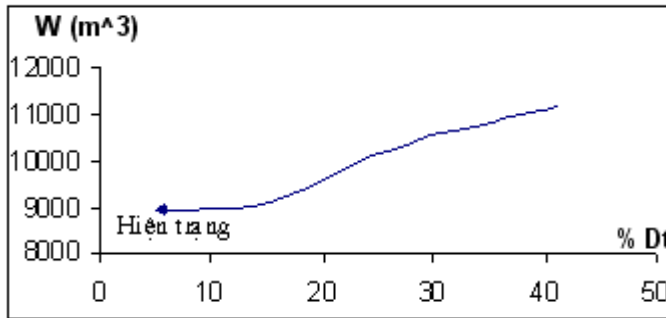
Bảng 3. Ảnh hưởng của quá trình đô thị hoá đến dòng chảy qua 3 trận lũ trên sông Trà Khúc

Trận lũ	1	2	3
Ngưỡng ĐTH (%)	29	30	30
Ngưỡng ĐTH TB(%)	29.6		

Trên lưu vực sông Vệ: Đã tiến hành khảo sát 2 trận lũ từ năm 1999 đến 2000 cho kết quả ở bảng 4. Hình 5 biểu diễn quan hệ của diện tích đô thị hóa với đỉnh lũ và tổng lượng lũ cho thấy khi diện tích đô thị hóa tăng đến 20% thì đỉnh và tổng lượng lũ tăng nhanh

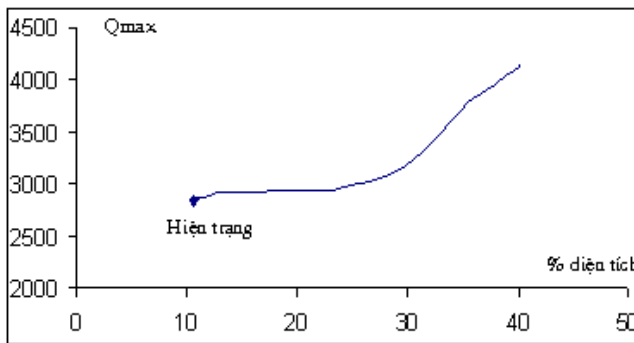


Q max (m ³ /s)	% Dt
2037.83	5.53
2048.00	10.14
2057.00	15.26
2185.94	27.45
2310.80	35.38
2478.29	39.46
2543.38	41.13

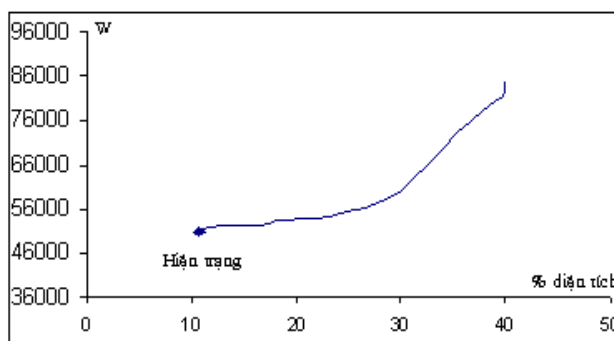


W (m ³)	% Dt
8914.34	5.53
8980.00	10.14
9090.00	15.26
10351.50	27.45
10860.00	35.38
11079.69	39.46
11193.09	41.13

Hình 3. Ảnh hưởng của đô thị hoá đến quá trình dòng chảy lũ trên sông Thu Bồn, trận lũ từ 19h/2/10 – 13h/8/10-2003



Q _{max}	%
2848.2	10.6
2924.9	12.8
2924.9	16.3
2943	18.1
2957.2	23.3
3169.6	29.8
3780.1	35.3
4090.7	39.7
4166.7	40.0

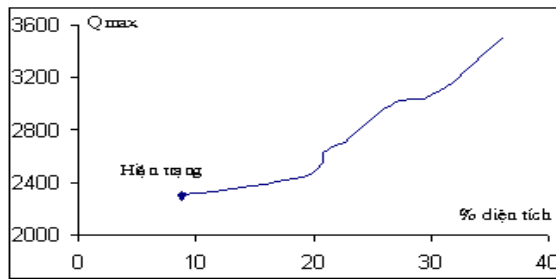


W	%
50605	10.6
52181.1	12.8
52375.1	16.3
53123.5	18.1
54213.4	23.3
59889	29.8
73002.6	35.3
81725.2	39.7
84837.9	40.0

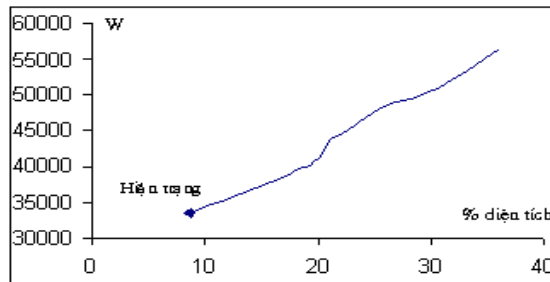
Hình 4. Ảnh hưởng của quá trình đô thị hóa đến quá trình dòng chảy trên sông Trà Khúc, trận lũ ngày 25/XI đến 30/XI năm 1998

Bảng 4. Ảnh hưởng của quá trình đô thị hoá đến dòng chảy qua 2 trận lũ trên sông Vệ

Trận lũ	1	2
Ngưỡng ĐTH (%)	20	20
Ngưỡng ĐTH TB(%)	20	



Q _{max}	%
2297.9	8.80
2451	19.4
2655	21.1
2712.8	22.7
2992.1	26.4
3088.5	30.6
3509.8	36.1



W	%
33518.7	8.80
40159.5	19.4
43729.8	21.1
44942.1	22.7
48763.6	26.4
50801.8	30.6
56514.6	36.1

Hình 5: Ảnh hưởng của quá trình đô thị hóa đến quá trình dòng chảy lũ trên sông Vệ, trận lũ ngày 21/XI đến 24/XI năm 1998

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 1DKWM – FEM & SCS 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. 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 thảm và các bản đồ số 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 khảo sát các kịch bản đô thị hóa cho thấy mỗi lưu vực với các đặc điểm địa lý tự nhiên riêng biệt cho những ngưỡng hạn chế diện tích đô thị hóa khác nhau (sông Tả Trạch: 11.3%, sông Thu Bồn: 14.8%, sông Vệ :20% và sông Trà Khúc: 30%). Kết luận này rất hữu ích khi tiến hành đô thị hóa lưu vực đối với các nhà quy hoạch và quản lý theo hướng phát triển bền vững và quản lý hợp lưu vực sông.
- Các kết luận trên được xây dựng qua việc khảo sát một số trận lũ, mang ý nghĩa về phương pháp, chứng minh khả năng của mô hình 1DKWM – FEM & SCS đối với việc đánh giá các điều kiện mặt đệm. Tính thực tiễn và độ chính xác của nó cần được kiểm chứng với số lượng các trận lũ lớn hơn. Ngoài ra, cần xây dựng thêm các kịch bản phối hợp với nhiều yếu tố mặt đệm khác như lớp phủ thực vật, độ dốc, hướng sườn ... để có các kết luận chính xác và chi tiết hơn, sẽ được bàn tới trong các công bố tiếp theo.

Các kết quả nghiên cứu được công bố trong bài báo này được sự hỗ trợ kinh phí của Chương trình nghiên cứu cơ bản cấp Nhà nước giai đoạn 2006 - 2008.

Tài liệu tham khảo

- 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, No1PT, 2003.
- Ross B.B., D.N. Contractor and V.O. Shanhotlt. *A finite-element model of overland and channel flow for assessing the hydrologic impact of land use change*.
- Chow V.T. *Applied Hydrology*. Mc Graw Hill, 1988
- Nguyễn Thanh Sơn, Ngô Chí Tuấn. *Kết quả mô phỏng lũ bằng mô hình sóng động học một chiều lưu vực sông Vệ* Tạp chí khoa học. Đại học Quốc Gia Hà Nội T.XX, No 3PT, 2004

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

THE IMPACT OF URBANISATION ON FLOOD FLOW OVER RIVER BASINS IN CENTRAL VIETNAM, USING ONE - DIMENSIONAL KINEMATIC WAVE MODEL & SCS METHOD

Nguyen Thanh Son
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 (1DKWM-FEM & SCS) for storm-water runoff simulation in the Central Vietnam river basins. This study shows simulation results by applying this model to estimate the impact of urbanisation on the formation of flood peak based on which warnings are given to planning makers for optimal using soil and water resources over the basins.