

PHÁT TRIỂN MÔ HÌNH SỐNG ĐỘNG HỌC MỘT CHIỀU PHI TUYẾN CHO MẠNG LƯỚI SÔNG VÀ ỨNG DỤNG THỬ NGHIỆM CHO LƯU VỰC SÔNG DINH NINH HÒA

Bùi Văn Chanh¹, Trần Ngọc Anh^{2,3}, Lương Tuấn Anh⁴

Tóm tắt: Mô hình sóng động học một chiều phi tuyến được nhóm tác giả xây dựng và chỉ ứng dụng được cho một đoạn sông. Ứng dụng mô hình thử nghiệm mô hình, tác giả mô phỏng một trận lũ trên sông La Ngà, đoạn từ trạm thủy văn Tà Pao đến trạm thủy văn Võ Xu. Phương pháp lặp Newton ứng dụng trong mô hình được kế thừa và phát triển để mô phỏng cho một nhánh sông và một mạng lưới sông. Thứ tự tính toán của các nhánh sông và điểm gia nhập được xác định trên cơ sở phân cấp mạng lưới sông. Đối với mô hình sóng động học một chiều phi tuyến cho một đoạn sông được xây dựng với 3 vòng lặp gồm: thời gian, không gian và lặp Newton, khi phát triển cho mạng lưới sông đã bổ sung thêm vòng lặp về số nhánh sông. Kết quả cải tiến giúp mở rộng phạm vi ứng dụng, mô phỏng sát với thực tế. Mô hình được ứng dụng thử nghiệm cho mạng lưới sông Dinh Ninh Hòa, là lưu vực có 03 nhánh sông gia nhập tương đối lớn và không thể ứng dụng mô hình sóng động học một chiều phi tuyến cho một đoạn sông. Vì vậy việc cải tiến mô hình là rất cần thiết, giúp nâng cao hiệu quả sử dụng, chất lượng mô phỏng.

Từ khóa: Sóng động học, Dinh Ninh Hòa.

Ban Biên tập nhận bài: 12/11/2017 Ngày phản biện xong: 15/12/2017 Ngày đăng bài: 25/12/2017

1. Mở đầu

Sông Dinh Ninh Hòa là con sông lớn thứ 2 tỉnh Khánh Hòa có vị trí nằm trong khoảng $12^{\circ}23' - 12^{\circ}45'$ vĩ độ bắc, $108^{\circ}52' - 109^{\circ}12'$ kinh độ đông. Sông bắt nguồn từ đỉnh núi Chư Mư có độ cao 2000 m, thượng nguồn sông có tên là Eakrongrou. Sông chảy theo hướng bắc - nam, đến buôn Đưng nhập nhánh suối Sa và đổi hướng chảy theo tây bắc - đông nam. Đến cầu Dục Mỹ sông được nhập lưu với nhánh suối Bông cách cầu 500 m về phía hạ lưu và nhập lưu với nhánh Suối Trầu tại thôn Tân Trúc xã Ninh Xuân. Hai nhánh suối này đều nhập lưu ở bờ bên phải hợp thành dòng chính của lưu vực có tên là sông Cái. Khi sông Cái chảy đến phía tây thị xã Ninh Hòa, sông được nhập lưu với nhánh sông Đá Bàn và

¹Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Trung Bộ, Trung tâm KTTV Quốc gia.

²Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN

³Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN

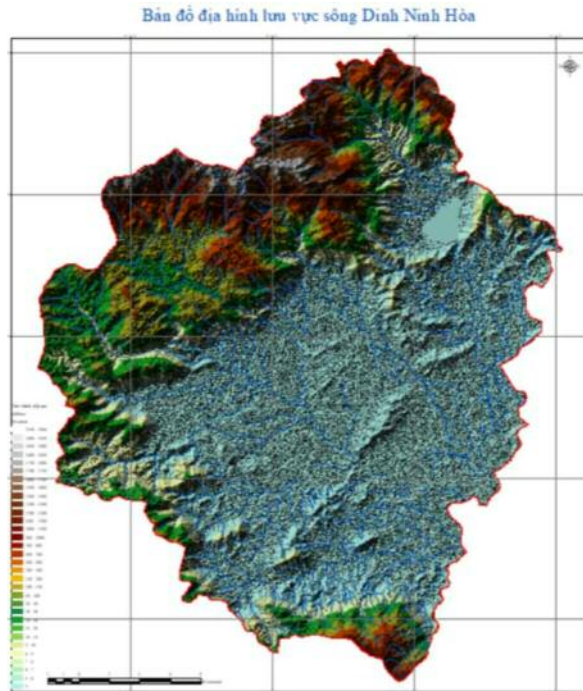
⁴Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi Khí hậu.

Email: buivanchanh@gmail.com

sông Đá tại vị trí cách cầu Đường Sắt khoảng 350 m về phía thượng lưu. Sông tiếp tục chảy theo hướng đông bắc - tây nam và nhập lưu với sông Cầu Lắm tại thôn Hà Liên xã Ninh Hà trước khi đổ vào đầm Nha Phu. [2]

Lưu vực sông Dinh Ninh Hòa có dạng hình nan quạt, có nhiều nhánh sông không chế các tiểu lưu vực chênh lệch không nhiều. Trên lưu vực chỉ có duy nhất trạm thủy văn Ninh Hòa ở hạ lưu, phương án dự báo tốt nhất là sử dụng mô hình mưa - dòng chảy thông số phân bố kết hợp với mô hình thủy lực để dự báo cho trạm thủy văn Ninh Hòa. Mô hình mưa - dòng chảy thông số phân bố tính toán mưa cho các nhánh sông, gia nhập khu giữa chỉ trong 1 mô hình nên rất thuận tiện và phù hợp cho lưu vực sông Dinh Ninh Hòa. Dòng chảy trong sông được diễn toán bằng mô hình thủy lực, kết nối với mô hình mưa - dòng chảy thông số phân bố để tính lưu lượng đầu vào và gia nhập khu giữa. Với các mô hình thủy lực thuộc loại sóng động lực cần phải đo đạc mặt cắt ngang, tuy nhiên trên lưu vực sông Dinh không có mặt cắt ở thượng lưu các nhánh

sông. Để diễn toán dòng chảy trong sông từ thượng lưu, gia nhập khu giữa về hạ lưu, nhóm tác giả đã nghiên cứu xây dựng mô hình sóng động học một chiều cho mạng lưới sông và áp dụng thử nghiệm cho lưu vực sông Dinh Ninh Hòa.



Hình 1. Bản đồ địa hình lưu vực sông Dinh Ninh Hòa

2. Phát triển mô hình sóng động học một chiều phi tuyến cho hệ thống sông

$$Q_{i+1}^{j+1} = \frac{\left[\frac{\Delta t}{\Delta x} Q_i^{j+1} + \alpha \beta Q_{i+1}^j \left(\frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} + \Delta t \left(\frac{q_{i+1}^{j+1} + q_{i+1}^j}{2} \right) \right]}{\left[\frac{\Delta t}{\Delta x} + \alpha \beta \left(\frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} \right]} \quad (9)$$

Kế thừa phương pháp sai phân trên và áp dụng cho phương trình 1 như sau:

$$\frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x} + \frac{A_{i+1}^{j+1} - A_{i+1}^j}{\Delta t} = \frac{q_{i+1}^{j+1} + q_{i+1}^j}{2} \quad (10)$$

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} Q_{i+1}^{j+1} + \alpha (Q_{i+1}^{j+1})^\beta = \frac{\Delta t}{\Delta x} Q_i^{j+1} + \alpha (Q_{i+1}^j)^\beta + \Delta t \left(\frac{q_{i+1}^{j+1} + q_{i+1}^j}{2} \right) \quad (13)$$

2.1. Kế thừa nghiên cứu sóng động học phi tuyến cho một đoạn sông [1]

Từ hệ phương trình Saint Venant, trong đó chỉ giải thành phần độ dốc trong phương trình động lượng. Phương trình đạo hàm riêng của biến A và Q theo t như sau:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \alpha \beta Q^{\beta-1} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha \beta Q^{\beta-1} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) = q \quad (2)$$

$$\frac{\partial u_{i+1}^{j+1}}{\partial x} = \frac{u_{i+1}^{j+1} - u_i^{j+1}}{\Delta x} \quad (3)$$

$$\frac{\partial u_{i+1}^{j+1}}{\partial t} = \frac{u_{i+1}^{j+1} - u_{i+1}^j}{\Delta t} \quad (4)$$

$$\frac{\partial Q_{i+1}^{j+1}}{\partial x} \approx \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x} \quad (5)$$

$$\frac{\partial Q_{i+1}^{j+1}}{\partial t} \approx \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_{i+1}^j}{\Delta t} \quad (6)$$

$$Q \approx \frac{Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^j}{2} \quad (7)$$

$$q \approx \frac{q_{i+1}^{j+1} + q_{i+1}^j}{2} \quad (8)$$

Thay thế các phương trình từ 5 đến 8 vào phương trình 2 được phương trình sai phân sóng động học tuyến tính cho sơ đồ ẩn như sau:

$$A_{i+1}^{j+1} = \alpha (Q_{i+1}^{j+1})^\beta \quad (11)$$

$$A_{i+1}^j = \alpha (Q_{i+1}^j)^\beta \quad (12)$$

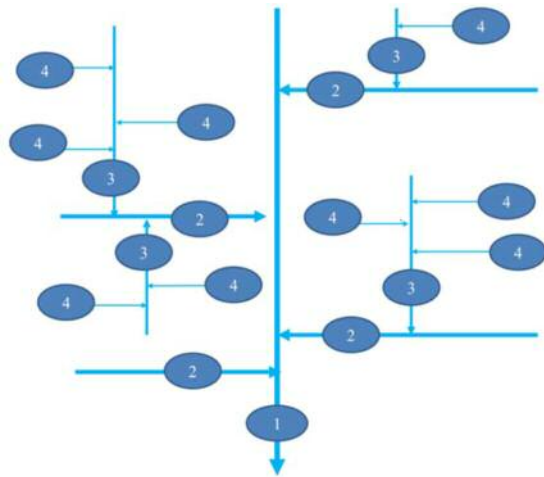
Kết quả thu được phương trình sai phân sóng động học một chiều phi tuyến:

Kế thừa phương pháp lặp Newton để giải phương trình 13. Trong đó sử dụng kết quả tính toán từ mô hình sóng động học một chiều tuyến tính làm giá trị ban đầu cho phép lặp. Một cách tiếp cận là sử dụng nghiệm của sơ đồ tuyến tính, phương trình 13 như là nghiệm gần đúng thứ nhất của sơ đồ phi tuyến. Li, Simons và Stevens (1975) [4] sau khi tiến hành các phân tích về tính ổn định đã chỉ ra sơ đồ sử dụng phương trình 22 là một sơ đồ ổn định không điều kiện và có thể sử dụng các trị của $\Delta t/\Delta x$ trong một phạm vi khá rộng mà không tạo ra sai số lớn trong hình dạng của đường quá trình lưu lượng.

2.2. Phát triển mô hình sóng động 1 chiều phi tuyến cho mạng lưới sông

Từ mô hình sóng động học một chiều phi tuyến cho 1 đoạn sông ở trên được phát triển cho mạng lưới sông. Một mạng lưới sông được tập hợp từ nhiều nhánh sông, mỗi nhánh sông có nhiều đoạn sông. Để tính toán cho mạng lưới sông cần xác định thứ tự tính toán, cơ sở xác định thứ tự tính toán là hướng chảy và phân cấp sông. Phương pháp phân cấp sông theo thứ tự là sông chính có số thứ tự là 1, được gọi là sông cấp 1; sông đổ trực tiếp vào sông cấp 1 là sông cấp 2 được gán số thứ tự là 2; sông đổ trực tiếp vào sông cấp 2 là sông cấp 3 được gán số thứ tự là 3, quá trình phân cấp sông như trên được tiếp tục cho đến cấp sông cuối cùng được đưa vào tính toán trong mô hình (hình 2).

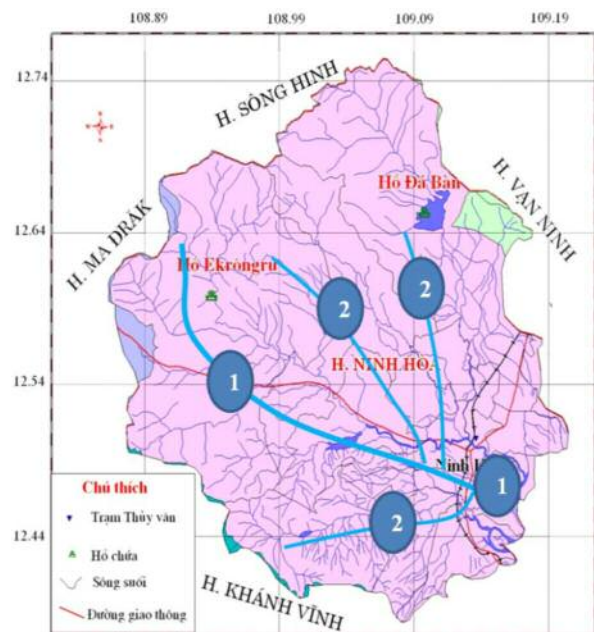
Mỗi đoạn sông có đặc trưng thủy lực khác nhau gồm hệ số nhám Manning (n), độ dốc sông (%), độ rộng sông (m), độ dài từng đoạn sông (m). Các đặc trưng trên của các đoạn sông được sắp xếp theo thứ tự hướng chảy của từng nhánh sông. Mỗi nhánh sông được xác định vị trí kết nối với sông mà nhánh sông đó đổ vào, vị trí đổ vào của sông được xác định lượng gia nhập trong mô hình. Mô hình tự xác lập thứ tự tính toán các đoạn sông, nhánh sông đến vị trí cửa ra. Mô hình cho phép xuất kết quả ở bất kỳ vị trí nào trên mạng lưới sông thông qua kết nối vị trí trạm và vị trí node sông trong mạng lưới thủy lực. Số liệu sử dụng trong mô hình gồm file thủy lực như mô tả ở trên, file lưu lượng đầu vào các nhánh sông cấp cao nhất.



Hình 2. Sơ đồ phân cấp sông

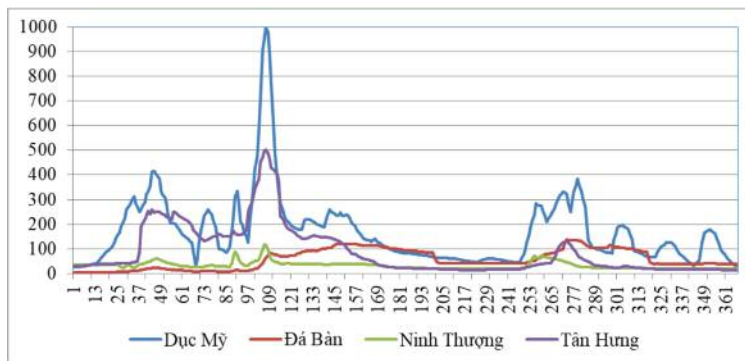
3. Thử nghiệm mô phỏng cho lưu vực sông Dinh Ninh Hòa

Hạ lưu sông Dinh Ninh Hòa gồm: sông Cái là sông cấp 1, các sông còn lại gồm sông Đá Bàn, sông Đá và Cầu Lắm là sông cấp 2.



Hình 3. Bản đồ mạng lưới sông Dinh Ninh Hòa

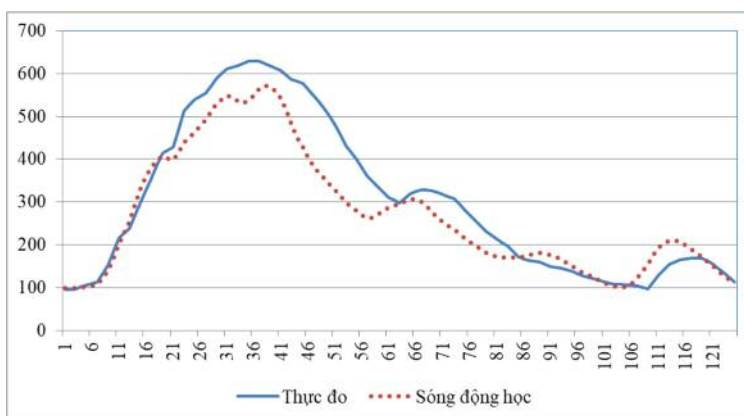
Độ dốc đáy các đoạn sông, chiều rộng sông trung bình các đoạn được tính từ số liệu mặt cắt ngang đo đạc ngoài thực địa ở trên, hệ số nhám các đoạn sông tra từ bảng tra thủy lực. Biên đầu vào là đường quá trình lưu lượng của trận lũ đồng bộ năm 2010 tại các biên lưu lượng gồm: (1) Dục Mỹ, (2) Đá Bàn, (3) Ninh Thương, (4) Tân Hưng. [3]



Hình 4. Đường quá trình lưu lượng trận lũ đồng bộ năm 2010

Đánh giá yếu tố lưu lượng thực đo và tính toán từ mô hình sóng động học 1 chiều phi tuyến bằng chỉ tiêu Nash Sutcliffe tại trạm thủy văn

Ninh Hòa là 87,4% đạt loại tốt theo tiêu chuẩn của WMO.



Hình 5. Đường mực nước thực đo và tính toán tại trạm thủy văn Ninh Hòa

4. Kết luận

- Với các sông miền núi, việc không có điều kiện đo mặt cắt ngang, trong khi đó yêu cầu mô phỏng không cao như khu vực đồng bằng thì việc ứng dụng mô hình sóng động học một chiều là giải pháp rất tốt.

- Mô hình sóng động học một chiều phi tuyến ở trên được giải bằng sơ đồ sai phân ẩn, áp dụng được phương pháp lặp Newton để giải hệ

phương trình Saint Venant.

- Sử dụng sử dụng kết quả tính toán từ mô hình sóng động học tuyến tính làm giá trị thử ban đầu giúp giải bài toán nhanh hơn, dễ hội tụ hơn.

- Kết quả ứng dụng bước đầu là khả quan, tuy nhiên cần kiểm nghiệm mô hình với nhiều lưu vực sông, nhiều điều kiện khác nhau để xác định phạm vi ứng dụng và tiếp tục hoàn thiện.

Tài liệu tham khảo

1. Bùi Văn Chanh, Trần Ngọc Anh, Lương Tuấn Anh (2016), *Mô phỏng dòng chảy trong sông bằng sóng động học một chiều phi tuyến*, Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường, Tập 32, Số 3S tr. 14-19.
2. Đặc điểm Khí hậu Thủy văn tỉnh Khánh Hòa (2014), *Báo cáo tổng hợp kết quả đề tài*, Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Khánh Hòa.
3. *Lập bản đồ ngập lụt lưu vực sông Dinh Ninh Hòa và sông Cái Nha Trang*, Báo cáo tổng hợp kết quả dự án, Sở Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn tỉnh Khánh Hòa.
4. Ven Techow, David R.Maidment, Larry W.Mays (1988), *Applied Hydrology*, New York : McGraw-Hill, c1988.

DEVELOPING NON-LINEAR ONE DIMENSION KINEMATIC WAVE MODEL FOR RIVER SYSTEM AND CONDUCTING EXPERIMENTS ON DINH NINH HOA BASIN

Bui Van Chanh¹, Tran Ngoc Anh^{2,3}, Luong Tuan Anh⁴

¹South Center Regional Hydro - Meteorological Center, NHMS

²Faculty of Hydro-Meteorology & Oceanography, VNU University of Science

³Center for Environmental Fluid Dynamic, VNU University of Science

⁴Vietnam Institute of Meteorology Hydrology and Climate Change

Abstract: *The Non-Linear One Dimension Kinematic Wave Model which was built by our group of researchers that can only simulate for one river section. The model conducting experiments on La Nga river from Ta Pao to Vo Xu hydro station. However, in essence, we need simulate for river system, so we are developing the model to simulate for simulation river network instead one river section. The Newton iteration method that used in the model for one river section is inherited and developed to simulate for river networks. Calculating order of river branch and entry point that is determined base on decentralization river network. With Non-Linear One Dimension Kinematic Wave Model for one river section that was built with 3 time for iterations include: time, space and Newton iteration. When we are developing the model for river network and later is numbers of river branch that are implemented.*

The results of development that will expand application range, simulation are practical. The model is applied for Dinh Ninh Hoa basin that has three large sub-basin and Non-Linear One Dimension Kinematic Wave Model for river section can't apply for this basin. So development this model is very necessary that help to improve the ability of applying the model and the quality of simulation.

Keywords: *Kinematic Wave, Dinh Ninh Hoa.*