

NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG MÔ HÌNH THỦY ĐỘNG MỘT VÀ HAI CHIỀU KẾT HỢP XÂY DỰNG BẢN ĐỒ NGUY CƠ NGẬP LỤT VÙNG HẠ LƯU SÔNG LA NGÀ

TS. Lương Tuấn Anh

Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường

Bài báo trình bày nghiên cứu phát triển mô hình thủy động sóng khuếch tán một và hai chiều kết hợp DHM và áp dụng mô hình để mô phỏng lũ và xây dựng bản đồ ngập lụt vùng hạ lưu sông La Ngà.

1. Mở đầu

Bản đồ nguy cơ ngập lụt là công cụ giúp cán bộ quản lý lựa chọn và phối hợp các biện pháp phòng, chống lũ lụt, đồng thời là tài liệu cơ bản phục vụ quy hoạch thiết kế các công trình kiểm soát lũ và giúp nâng cao hiệu quả phục vụ của công tác dự báo, cảnh báo mưa lũ, ngập lụt [2]. Hiện nay, các mô hình thủy văn, thủy lực thường được áp dụng để mô phỏng những trận lũ, lụt thực tế và từ đó khái quát hóa để xây dựng các bản đồ nguy cơ ngập lụt ứng với tần suất lũ thiết kế khác nhau.

Hiện nay, có các mô hình toán khác nhau để lựa chọn trong nghiên cứu và tính toán ngập lụt. Một trong các phương pháp mô phỏng lũ và ngập lụt là cách tiệm cận kết hợp mô hình 1 chiều trong sông và 2 chiều trong vùng đồng bằng ngập lụt [3, 4, 5].

Sông La Ngà là phụ lưu trái của sông Đồng Nai, tính đến trạm thủy văn La Ngà có diện tích 2110 km², chiều dài sông khoảng 60km. Khu vực hạ lưu sông La Ngà có nguy cơ ngập lụt cao do địa hình có dạng hình lòng chảo và có khả năng thoát lũ kém, gây ảnh hưởng lớn đến sản xuất và đời sống.

Bài báo dưới đây sẽ trình bày nghiên cứu phát triển và áp dụng mô hình thủy động sóng khuếch tán 1 và 2 chiều để mô phỏng lũ và xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt vùng hạ lưu sông La Ngà.

2. Cơ sở lý thuyết và phát triển mô hình thủy động sóng khuếch tán DHM

Mô hình thủy động sóng khuếch tán DHM (Diffusion Hydrodynamic Model) [4] được xây dựng

dựa trên cơ sở đơn giản hóa các phương trình chuyển động bằng cách bỏ qua các thành phần quán tính, mô phỏng lũ trong sông bằng mô hình sóng khuếch tán 1 chiều và dòng chảy trong vùng đồng bằng ngập lụt bằng mô hình sóng khuếch tán 2 chiều. Mô hình có cấu trúc không phức tạp, thích hợp với việc mô phỏng lũ và ngập lụt ở khu vực không chịu ảnh hưởng của thủy triều.

Nghiên cứu phát triển mô hình DHM được thực hiện trên cơ sở:

(i) Thêm 01 thành phần quán tính vào phương trình chuyển động của dòng chảy 1 chiều trong hệ thống sông tạo ra khả năng mô hình có thể mô phỏng dòng chảy trong vùng có ảnh hưởng của thủy triều, nước dâng ven biển.

(ii) Bổ sung các điều kiện biên trong của mô hình, bao gồm đập tràn, cống có cửa điều khiển vào hệ phương trình 01 chiều và công trình vùng ngập lũ như đường, đê, công trình thủy lợi đối với hệ phương trình 02 chiều mô tả chuyển động của dòng chảy ngập lụt, cho phép mô hình có thể mô phỏng đê, đường, cống qua đê,....

Mô hình 1 chiều và 2 chiều được kết nối với nhau dựa trên nguyên tắc liên tục và chảy tràn bờ, tràn qua đê, đường và các công trình khác.

Việc nghiên cứu bổ sung thêm 01 thành phần quán tính vào phương trình chuyển động của dòng chảy 1 chiều được thực hiện như sau:

Phương trình chuyển động sóng động lực có dạng:

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \left(\frac{\partial Z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (1)$$

Trong phương trình (1) nếu bỏ qua thành phần gia tốc đối lưu và áp dụng công thức Sêdi-Manning đối với độ dốc ma sát, thu được:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{n^2 Q |Q|}{A^2 R^{4/3}} = 0 \quad (2)$$

Áp dụng cách xử lý của GS Nguyễn Ân Niên trong mô hình KOD [1], sử dụng sơ đồ sai phân hiện tăng cường (enhanced explicit) đối với phương trình (2):

$$\frac{Q_i^{j+1} - Q_i^j}{\Delta t} + gA^{j+1} \frac{Z_i^{j+1} - Z_{i-1}^{j+1}}{\Delta x} + g \frac{n^2 Q_i^{j+1} |Q_i^{j+1}|}{A^{j+1} R^{4/3}} = 0 \quad (3)$$

Đặt: $GRAD = \frac{Z_i^{j+1} - Z_{i-1}^{j+1}}{\Delta x}$ ta có:

$$Q_i^{j+1} = f(Z_i^{j+1}, Z_{i-1}^{j+1}) = \left(\frac{1}{\Delta t} Q_i^j - gA^{j+1} GRAD \right) \left(\frac{1}{\Delta t} + g \frac{n^2 |Q_i^j|}{A^{j+1} R^{4/3}} \right) \quad (4)$$

Đối với đập tràn, quan hệ dạng (4) như sau:

- Trường hợp chảy tự do: ($h_i^{j+1} < 2/3 * h_{i-1}^{j+1}$)

$$Q_i^{j+1} = f(Z_i^{j+1}, Z_{i-1}^{j+1}) = 0.35 * B * \sqrt{2gh_{i-1}^{j+1}}$$

- Trường hợp chảy ngập: ($h_i^{j+1} > 2/3 * h_{i-1}^{j+1}$)

$$Q_i^{j+1} = f(Z_i^{j+1}, Z_{i-1}^{j+1}) = 0.91 * h_i^{j+1} * B * \sqrt{2g(h_{i-1}^{j+1} - h_i^{j+1})}$$

Trong đó: Q: Lưu lượng (m³/s); Z: Mức nước (m);
A: Diện tích mặt cắt (m²); R: bán kính thủy lực (m);
B: chiều dài đường tràn (m); h: độ sâu (m).

Cách xử lý như vậy giúp mở rộng phạm vi áp dụng của mô hình. Mô hình có thể áp dụng cho các vùng đồng bằng cửa sông có ảnh hưởng thủy triều và vùng ngập lụt không tiếp cận với biển do các bãi bồi cát tự nhiên và do đê biển, đồng thời có thể nghiên cứu tác động của các công trình kiểm soát lũ trên sông và tác động của đê, đường giao thông đến quá trình ngập lụt.

3. Áp dụng mô hình DHM xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt hạ lưu sông La Ngà.

- Sơ đồ hóa mạng lưới sông và vùng hạ lưu sông La Ngà:

Tính toán lũ trong hệ thống sông của mô hình

DHM cho sông La Ngà được mô phỏng bằng mô hình một chiều, số liệu về mặt cắt của hệ thống sông do Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực (Đài KTTV KV) Nam Trung bộ đo đạc năm 2006. Khu vực ngập lụt của hệ thống sông được mô phỏng bằng mô hình hai chiều theo lưới tính vuông. Kích thước của mỗi ô lưới là 500 m x 500 m, bao gồm 1621 ô lưới với diện tích là 405 km². Cao trình các ô tính được xác định từ bản đồ địa hình 1/10.000 được số hoá. Các công trình như đê, đường bộ cũng được mô phỏng trong mô hình.

- Điều kiện biên và điều kiện ban đầu:

+ Biên trên là quá trình lưu lượng lũ tại trạm Thủy văn Tà Pao.

+ Biên dưới của mô hình DHM được xác định là quan hệ lưu lượng- độ sâu dòng chảy $Q=f(D)$ tại mặt

cắt cửa ra là trạm thủy văn Phú Hiệp trên cơ sở quan hệ $Q=f(Z)$ được xử lý bằng cách tính lấy $D=Z-Z_0$ và Z_0 là cao độ đáy sông tại trạm Phú Hiệp. Quan hệ này có dạng $Q=2.97 \cdot D^{2.653}$.

+ Biên nhập lưu khu giữa được ước tính từ quá trình mưa tại trạm thủy văn Võ Xu.

Điều kiện ban đầu được sử dụng là điều kiện biên khô, Mô hình được khởi động với điều kiện ban đầu và ổn định sau khoảng 48h tính toán.

- Kết quả kiểm nghiệm mô hình DHM:

Số liệu mực nước, lưu lượng thực đo của trận lũ xảy ra tháng cuối tháng 7 đầu tháng 8 năm 1999 với lưu lượng đỉnh lũ tại Tà Pao đạt $834 \text{ m}^3/\text{s}$, lớn hơn lũ 10 năm lặp lại ($781 \text{ m}^3/\text{s}$), mực nước đỉnh lũ 122,12 m, vượt báo động III 1,12 m đã được dùng để xác định thông số của mô hình. Quá trình tính toán được thực hiện trong thời gian 10 ngày bắt đầu từ 1h ngày 27 tháng 7 năm 1999 đến ngày 24h ngày 5 tháng 8 năm 1999. Lưu lượng lũ trung bình thời đoạn 10 ngày khoảng $600 \text{ m}^3/\text{s}$ và tổng lượng đến tại trạm Thủy văn Tà Pao là 518,4 triệu m^3 . Tổng lượng mưa trong khoảng thời gian tính toán là 227 mm tại trạm thủy văn Võ Xu. Lượng mưa trong cùng thời kỳ tính toán (10 ngày) tương ứng của trạm Tà Pao và La Ngâu là 260,3 mm và 293,7 mm.

Hiệu chỉnh mô hình DHM với hệ số nhám lòng dẫn được xác định các trị số trong khoảng 0,03-0,04, hệ số nhám trong khu vực ngập lụt được xác định gần bằng 0,07. Kết quả hiệu chỉnh mô hình cho các cho thấy mô hình DHM có khả năng mô phỏng lũ khá tốt. Do tại biên vào lấy quá trình lưu lượng nên quá trình mực nước thực đo tại trạm Tà Pao và quá trình lưu lượng lũ tại trạm Võ Xu được sử dụng để kiểm tra mức độ mô phỏng của mô hình. Sai số mực nước lớn nhất xảy ra ở vùng chân lũ do ảnh hưởng của điều kiện ban đầu nhưng không vượt quá 0,35 m, sai số vùng đỉnh lũ không vượt quá 0.2 m và sai số lưu lượng không vượt quá 15,0%. Chỉ

số mô phỏng lũ (Chỉ số Nash) đạt trên 90% đối với mực nước và 87 % đối với lưu lượng nước.

Như vậy, đối với trận lũ năm 1999, độ sâu ngập lụt trung bình của vùng nghiên cứu là 1,59 m, bao gồm vùng diện tích 521 ô tính (diện ngập được tính là vùng có độ sâu trên 0.25m, bắt đầu ảnh hưởng đến sản xuất nông nghiệp), tương ứng diện tích 142,75 km^2 . Kết quả tính toán diễn biến ngập lụt được thể hiện ở hình 1.

Số liệu sử dụng để kiểm định mô hình là số liệu đo lũ đồng bộ năm 2005. Đặc điểm lũ của sông La Ngà năm 2005 là lũ có đỉnh lũ tương đương lũ tần suất lặp lại trung bình khoảng 3 năm/lần. Dạng lũ năm 2005 tại Tà Pao có 1 đỉnh lũ chính rõ nét, đạt lưu lượng $558 \text{ m}^3/\text{s}$ sau đó giảm nhanh và xuất hiện 2-3 đỉnh lũ phụ lưu lượng khoảng trên $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Kết quả kiểm định mô hình cho thấy mức độ mô phỏng đạt loại khá, đường quá trình lũ tính toán và thực đo tại trạm Võ Xu có sự phù hợp tốt, chỉ số phù hợp Nash đạt 85 % đối với mực nước và 82 % đối với lưu lượng nước, sai số mực nước đỉnh lũ -27cm. Ngập lụt năm 2005 không lớn và thời gian ngập là không dài, chủ yếu vùng hạ lưu lân cận trạm thủy văn Phú Hiệp. Kết quả tính toán phù hợp với số liệu điều tra ngập lụt năm 2005 của Đài KTTV KV Nam Trung Bộ.

- Các phương án tính toán:

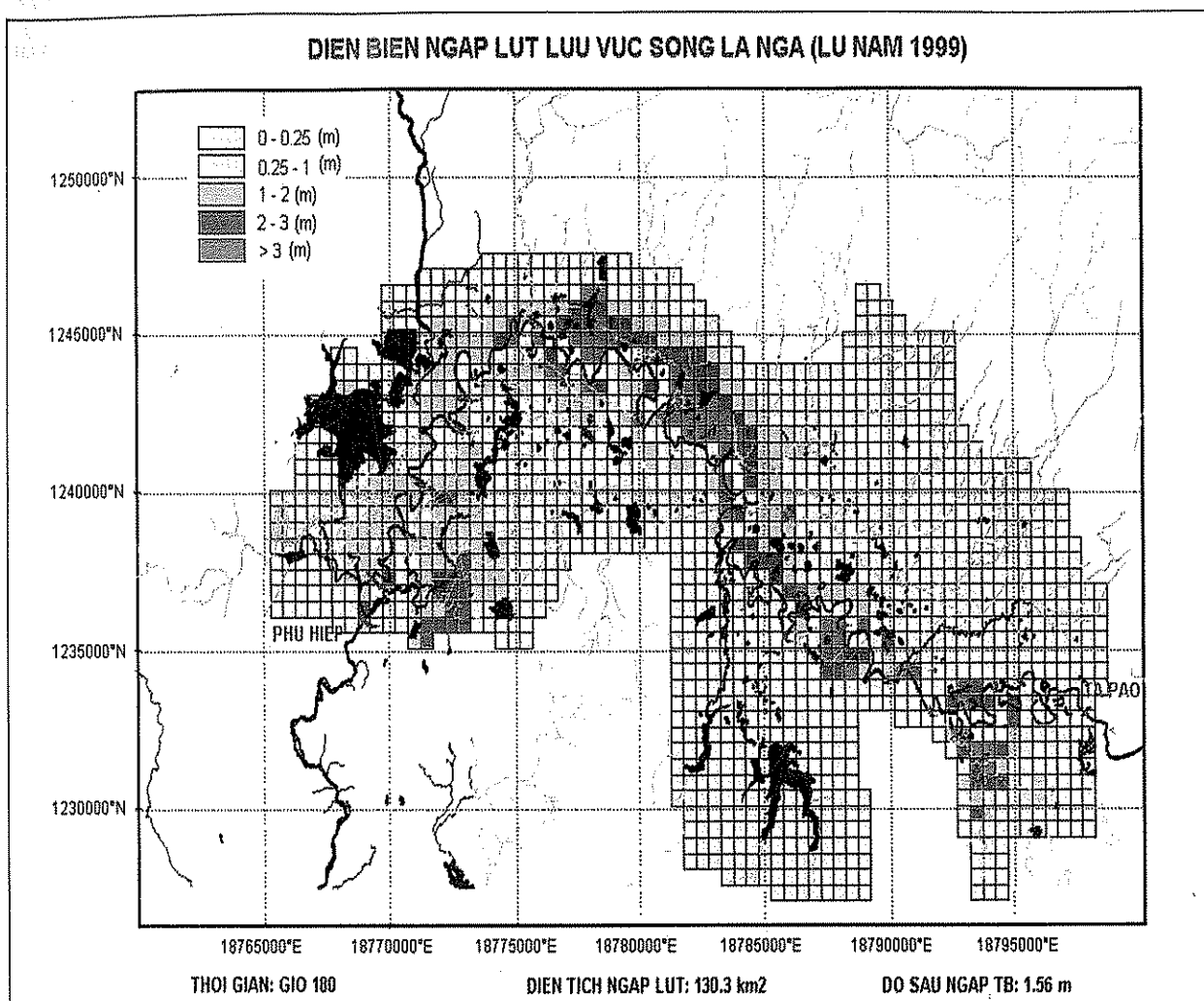
+ Bản đồ nguy cơ ngập lụt tần suất lũ 10% :

Lưu lượng lũ đến tại Tà Pao: Quá trình lũ tần suất 10%;

Biên ra: quan hệ thực đo lưu lượng- mực nước tại Phú Hiệp;

Mưa khu giữa: Quá trình mưa tại Võ Xu tần suất 10%;

Phương án tính: Không có đường đê bờ trái và có đường đê bờ trái.



Hình 1. Diễn biến ngập lụt lưu vực sông La Nga

+ Bản đồ ngập lụt tần suất 5%: Với các số liệu đầu vào ứng với lưu lượng đầu vào tần suất 5%, lượng mưa khu giữa tần suất 5%, biến ra là khả năng thoát lũ của trạm Phú Hiệp (quan hệ lưu lượng là hàm số của mực nước) đã tiến hành mô phỏng quá trình ngập lụt vùng nghiên cứu với 2 phương án: phương án có đường- đê (hiện trạng) từ Võ Xu đến mặt cắt số 19 và không có đê (điều kiện trước đây).

+ Bản đồ ngập lụt tần suất 1%: Kết quả mô phỏng quá trình ngập lụt ứng với tần suất 1% cũng được thực hiện đối với 2 phương án: phương án có đường đê với cao trình 109-110m và không có đê nhằm đánh giá tác động của đê đối với tình hình lũ lụt của khu vực nghiên cứu.

- Kết quả nghiên cứu và tính toán:

Kết quả tính toán cho thấy với các phương án tính toán khác nhau, ứng với lũ lớn, ngập lụt trong khu vực chủ yếu có độ sâu ngập từ 1 đến 2 m, vùng ngập có độ sâu dưới 2m chiếm 60-70% diện tích ngập toàn vùng. Khả năng làm giảm ngập lụt hạ lưu của đường đê bờ trái phụ thuộc vào độ lớn của lũ. Lũ tần suất 5%, tác động của đường đê làm diện ngập giảm đáng kể, đối với lũ tần suất 1%, diện ngập giảm ít do tràn đường và ứ nước ngược từ trạm Phú Hiệp do khả năng thoát lũ kém của đoạn sông này.

Khu vực nghiên cứu trên sông La Nga đoạn từ Tà Pao đến Phú Hiệp có nguy cơ ngập lụt cao do đặc điểm địa hình sau trạm thủy văn Tà Pao tương đối bằng phẳng, khả năng chuyển tải dòng chảy lũ kém, dễ gây tràn ngập do lũ thượng nguồn và ứng

ngập do mưa tại chỗ. Dạng lũ năm 1999 là dạng lũ gây bất lợi cho tình hình ngập lụt của khu vực, thời gian ngập lụt kéo dài trong ba ngày. Độ sâu ngập lụt tại thời điểm ngập sâu nhất, tính trung bình cho toàn bộ vùng ngập đối với các trận lũ lớn hơn lũ tần suất 5 năm lặp lại khoảng 1,7m. Nguyên nhân chính gây ngập lụt khu vực có sự đóng góp chủ yếu từ dòng chảy đầu vào khu vực nghiên cứu là dòng chảy lũ từ trạm thủy văn Tà Pao, lượng gia nhập khu giữa đáng kể nhưng không đồng bộ với lũ thượng nguồn do chế độ mưa khác nhau giữa thượng nguồn và khu trung lưu của khu vực.

Diện ngập lụt và nguy cơ ngập lụt vùng hạ lưu sông La Ngà sẽ được giảm thiểu đáng kể nếu các hồ trữ nước thượng lưu là Hàm Thuận - Đa Mi phối hợp cắt lũ tốt đồng thời bổ sung tuyến công trình La Ngà 3 cắt lũ. Thiệt hại do lũ lụt sẽ được giảm thiểu

đáng kể nếu công tác dự báo thủy văn có độ tin cậy và hiệu quả cao, quy hoạch phòng lụt ở khu vực có tính đến việc tránh lũ, sơ tán kết hợp với các biện pháp phi công trình khác.

4. Kết luận và kiến nghị:

Mô hình DHM có khả năng áp dụng một cách có hiệu quả để mô phỏng lũ và xây dựng các bản đồ nguy cơ ngập lụt vùng hạ lưu các lưu vực sông có độ lớn trung bình. Mô hình có khả năng thích hợp với cả khu vực nghiên cứu chịu ảnh hưởng của thủy triều và đánh giá tác động của công trình đến quá trình ngập lụt. Kết quả tính toán ngập lụt hạ lưu sông La Ngà cho thấy diện ngập lụt của khu vực nghiên cứu có thể đạt trên 170 km² ứng với lũ tần suất 1%. Khi xây dựng tuyến đường - đê bờ trái sông La Ngà, diện ngập được thu hẹp nhưng làm các khu vực khác của vùng nghiên cứu bị ngập lụt sâu hơn.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Ân Niên (1991) : Phương pháp thủy lực giải các bài toán lũ trên sông. Trường Đại học Thủy lợi, Hà Nội, 1991.
2. Hoàng Niêm (1986): Bản đồ hóa nguy cơ ngập lụt. Viện Khí tượng Thủy văn. Hà Nội, 1986.
3. Trần Thực, Lương Tuấn Anh, Huỳnh Lan Hương (2001): Flood Forecast and Inundation computation for the Thu Bon River System. Proceedings. International Symposium on achievements of IHP-V in Hydrological Research. Hanoi, Vietnam, 19-22 November.
4. Hromadka T.V., Yen C.C. (1986) : A Diffusion Hydrodynamic Model. Journal of Adv. Water Resources. Volume 9. September 1986.
5. Dutta D., Herath S. and Musiake K. (2000): Distributed Hydrological model for Flood Inundation Simulation. Proceedings, Mekong River Study Workshop, Bangkok, 2000.