

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH HEC-RAS TRONG NGHIÊN CỨU DIỄN TOÁN ĐÒNG CHẢY LŨ VÀ MÔ PHỎNG NGẬP LỤT TRÊN LƯU VỰC SÔNG LA

ThS. Trần Duy Kiều

Trường Cao đẳng Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Bài viết này nhằm đưa ra kết quả diễn toán dòng chảy lũ đồng thời mô phỏng ngập lụt trên lưu vực sông La bằng việc ứng dụng mô hình thủy lực HEC-RAS. Kết quả nghiên cứu có thể ứng dụng vào quá trình tích hợp các yếu tố xây dựng kịch bản quản lý lũ cho lưu vực sông La nói riêng và hệ thống sông Lam nói chung.

1. Đặt vấn đề

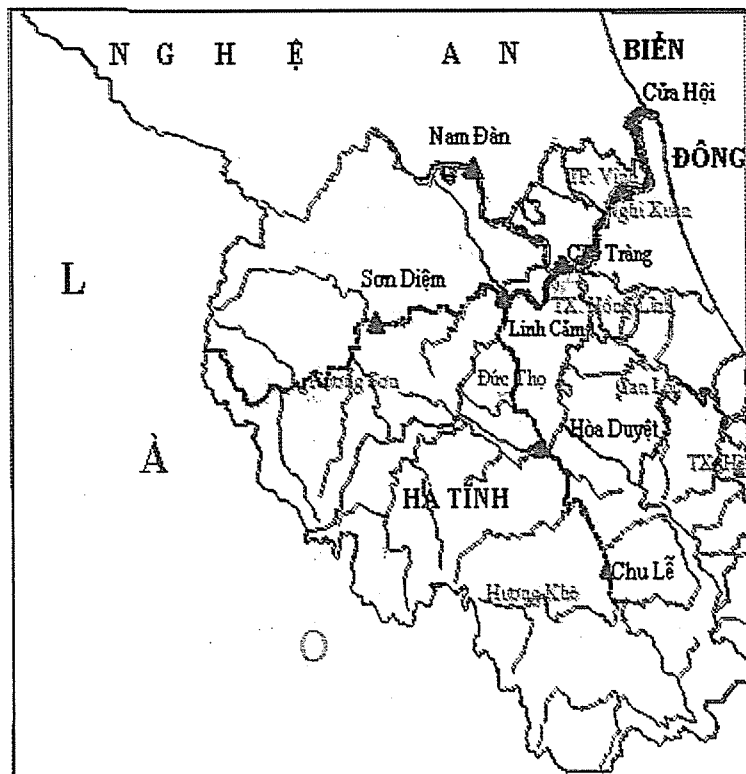
Sông La là sông lớn thuộc hệ thống sông Lam. Trong nhiều năm qua, khu vực Hà Tĩnh thường xuyên bị thiên tai lũ hoành hành và gây thiệt hại rất nghiêm trọng. Lũ lụt trên lưu vực sông La có những nét đặc trưng riêng: Tần số xuất hiện lớn (trung bình khoảng 3-4 trận lũ xảy ra hàng năm), thời gian truyền lũ ngắn (khoảng từ 3-8 giờ sau khi mưa lớn), thời gian duy trì ngập lụt lâu, cường suất lũ lớn và không ổn định... Vì vậy, để có phương án phòng, chống lũ kịp thời và hiệu quả thì công tác dự báo lũ lụt đóng vai trò rất quan trọng.

Một trong những giải pháp là ứng dụng mô hình toán để dự báo, cảnh báo lũ, lụt. Việc tìm kiếm những mô hình toán có khả năng mô phỏng tốt quá trình hình thành dòng chảy lũ để tính toán, dự báo lũ, lụt là một trong những vấn đề được nhiều nhà thủy văn quan tâm.

Mô hình toán thủy lực HEC-RAS là tổ hợp phần mềm đã quen sử dụng. Mô hình HEC-RAS được xây dựng trên sự kết hợp của mô hình HEC-6 và hệ thống thông tin địa lý (GIS) với những cải tiến đáng kể so với HEC-6 về kỹ thuật tính toán và khoa học thủy văn.

2. Khái quát về điều kiện địa lý tự nhiên lưu vực sông La

Sông La là nhánh cấp I của hệ thống sông Lam, dài 144 km, diện tích lưu vực sông 3221 km² [3]. Sông La gồm hai sông chính là Ngàn Sâu và Ngàn Phố (Sơ đồ mạng lưới sông suối và trạm KTTV được trình bày trong hình 1, một số đặc trưng hình thái các sông chính thuộc lưu vực sông La trình bày trong bảng 1).



Hình 1. Sơ đồ lưu vực sông La

Người phản biện: TS. Đặng Thanh Mai

Các sông thuộc sông La đều bắt nguồn từ núi cao của dãy Trường Sơn, độ dốc lòng sông và độ dốc lưu vực lớn từ 10-28%, diện tích lưu vực nhỏ,

chiều dài sông ngắn. Có thể nói địa hình ở đây ảnh hưởng rất lớn đến chế độ mưa và dòng chảy lũ của lưu vực sông.

Bảng 1. Đặc trưng hình thái các sông chính thuộc lưu vực sông La [3]

Sông	F _{lưu vực} (km ²)	Cao độ Bq (m)	Độ dốc Bq (%)	Chiều rộng bq (m)	Mật độ lưới sông (km/km ²)
Ngàn Phố	1070	331	25,2	19,7	0,91
Ngàn Sâu	2060	362	28,2	46,6	0,87

Hoạt động của bão và áp thấp nhiệt đới là nguyên nhân chính gây ra mưa lớn và lũ lụt ở lưu vực sông La.

- Lượng mưa có xu thế tăng dần theo độ cao lưu vực sông: Từ 1908 mm/năm tại Linh Cảm, 2100 mm/năm tại Sơn Diệm và lên đến 2350 mm/năm ở thượng nguồn. Số trận mưa có lượng mưa ngày lớn nhất trong năm tập trung ở tháng 9 và 10. Lượng mưa trong 2 tháng 9 và 10 chiếm 44,3% lượng mưa trung bình nhiều năm (Hòa Duyệt), 41% (Sơn Diệm) và đến 47% lượng mưa trung bình nhiều năm (Linh Cảm).

- Mưa lớn kéo dài là nguyên nhân chính gây ra lũ và ngập lụt trên lưu vực sông. Lũ lớn nhất trong năm xảy ra vào tháng 9, tháng 10 [2]. Tại Sơn Diệm trên sông Ngàn Phố, lũ lớn nhất vào tháng 9 với tần suất 44,2%, tại Hòa Duyệt trên sông Ngàn Sâu vào tháng 10 với tần suất 41,6%. Lượng dòng chảy 3 tháng mùa lũ chiếm trên 50% lượng dòng chảy năm. Lượng dòng chảy lũ tháng lớn nhất trong năm chiếm từ 21% (sông Ngàn Phố tại Sơn Diệm) đến 27% (sông Ngàn Sâu tại Hòa Duyệt) lượng dòng chảy năm.

- Quá trình lũ có nhánh lên lên dốc, xuất hiện lũ kép (2 đỉnh), ví dụ như trận lũ năm 1978, 1979 và 2002 trên sông Ngàn Phố tại Sơn Diệm. Biên độ lũ lớn, cường suất lũ lên lớn nhất có khi đạt tới 1,6 m/giờ.

- Theo [2] xét mức thay đổi dòng chảy lũ trên sông Ngàn Sâu và sông Ngàn Phố, kết quả cho thấy: trên cùng lưu vực sông La, mức tăng, giảm trung bình dòng chảy lũ giữa 2 nhánh có tính chất bù

trừ nhau.

3. Ứng dụng mô hình HEC-RAS trong tính toán và mô phỏng lũ trên lưu vực sông La.

a. Cơ sở khoa học của mô hình HEC-RAS

Cơ sở khoa học của mô hình thủy lực HEC-RAS [1] là tạo ra một công cụ có khả năng mô phỏng sự vận chuyển nước và diễn biến mực nước trong sông trên cơ sở giải hệ phương trình Saint-Venant 1 chiều.

Hệ phương trình Saint-Venant (1) gồm hai phương trình: Phương trình liên tục và phương trình động lượng, được thiết lập dựa trên giả thiết sau:

- + Dòng chảy một chiều, độ sâu và vận tốc chỉ biến đổi theo một phương dọc dòng chảy;
- + Dòng chảy biến đổi đều;
- + Đáy sông giả thiết là một đường thẳng;
- + Độ dốc đáy sông nhỏ, cao trình đáy sông không đổi;
- + Chất lỏng không giãn nở, khối lượng riêng của chất lỏng không đổi.

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \frac{Q^2}{A})}{\partial x} + g.A \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g.Q|Q|}{C^2 A.R} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: Q là lưu lượng (m³/s); A là diện tích mặt cắt ướt (m²); q là lưu lượng dòng ra nhập trên 1 đơn vị chiều dài dọc sông (m³/m.s); R là bán kính thủy

lực (m); x là biến không gian; t là thời gian (s); h là độ cao mặt nước; g là gia tốc trọng trường (m/s²).

Việc giải các phương trình dòng không ổn định một chiều là sơ đồ sai phân ẩn 4 điểm.

HEC-RAS đã phân chia dòng chảy ra thành ba khu thông qua sự thay đổi của hệ số nhám n.

Sự vận chuyển được tính toán trong từng phần chia theo công thức của phương trình Manning $Q = KA^{1/2}$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \quad (2)$$

Trong đó:

K: Sự vận chuyển cho từng phần chia

n: Hệ số nhám Manning cho từng phần chia

A: Diện tích dòng chảy cho từng phần chia

R: Bán kính thủy lực cho từng phần chia

Tổng lượng vận chuyển cho toàn bộ mặt cắt ngang bằng tổng ba lượng vận chuyển chia nhỏ.

Hệ số nhám Manning n cho kênh chính

Giá trị n thay đổi lớn phụ thuộc vào số lượng các nhân tố bao gồm độ gồ gề bề mặt, thảm phủ thực vật, sự không đồng đều của kênh, độ thẳng của kênh, trầm tích, cấu trúc kênh, hình dạng và kích cỡ sông, trạng thái, lưu lượng và nhiệt độ.

Tính toán tổn thất cục bộ

Sự mở rộng và co hẹp dòng chảy do sự thay đổi của mặt cắt ngang là một nguyên nhân của tổn thất năng lượng trong một đoạn sông. Như vậy, tổn thất cục bộ sẽ được tính dựa trên số liệu mặt cắt ngang.

+ Nếu mặt cắt ngang sông thay đổi không đáng kể và dòng chảy là êm, các hệ số mở rộng và co hẹp từ 0.1 - 0.3

+ Diện tích mặt cắt ngang thay đổi đột ngột thì hệ số mở rộng và co hẹp từ 0.3 - 0.5. Thông thường hệ số mở rộng và co hẹp quanh cầu và khúc co có thể cao tới 0.6 - 0.8. Các giá trị này có thể thay đổi bất kỳ mặt cắt ngang nào.

Nghiên cứu này đã sử dụng mô hình HEC-RAS Version 3.2.3 tháng 5/2005 có kết hợp thử nghiệm

với phiên bản mới Version 4.0 Beta tháng 11/2006 để tính toán thủy lực cho dòng chảy không ổn định lưu vực sông La.

b. Tính toán thủy lực và xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt

Số liệu sử dụng

1) Số liệu

Số liệu gồm: Mặt cắt ngang, chiều dài đoạn sông, hệ số tổn thất năng lượng (co hẹp, mở rộng), thông tin về hình dạng sông, hướng và chiều dài dòng chảy, các nút sông và các số liệu của các công trình thủy lực trên sông.

- Một mặt cắt ngang có độ dài đoạn sông cho bãi trái, bãi phải, và kênh chính. Thông thường ba chiều dài này là giống nhau. Tuy nhiên, có một số điều kiện làm cho chúng khác nhau khá lớn như tại chỗ uốn của đoạn sông cong hoặc nơi sông cong mà các bờ thì thẳng.

Số liệu để hiệu chỉnh và kiểm định gồm:

- Số liệu trận lũ thực đo thời đoạn 6 giờ năm 1973 (từ 22/8- 8/9/1973) và 1978 (từ ngày 16-24/9/1978) được dùng để hiệu chỉnh, dò tìm bộ thông số.

- Số liệu trận lũ thời đoạn 6 giờ năm 2002 (từ 18/9 đến 05/10/2002) được dùng để kiểm định mô hình (tại Hòa Duyệt) và xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt.

2) Điều kiện biên và điều kiện ban đầu

Điều kiện ban đầu là giá trị lưu lượng hoặc mực nước tại thời điểm tính toán

Điều kiện biên:

+ Biên lưu lượng tại vị trí thượng lưu, hạ lưu.

+ Biên mực nước tại vị trí hạ lưu.

+ Biên lưu lượng nhập lưu khu giữa.

- Biên trên là quá trình lưu lượng từ tài liệu trận lũ thực đo, riêng biên trên của mô hình thuộc mô hình hóa sông Ngàn Phố là quá trình lưu lượng tại Sơn Diệm.

- Biên dưới số liệu mực nước trung bình ngày của trạm thủy văn Chợ Trảng. Trong khi đó các điều kiện

biên vào là dòng chảy thời đoạn 6giờ. Mặt khác, tại đoạn sông nghiên cứu ít chịu ảnh hưởng của triều và hiện tượng nước vật. Do vậy, tại biên dưới đã dùng tài liệu độ sâu trung bình thay cho mực nước với việc sử dụng độ dốc năng lượng để tính toán tìm độ sâu.

- Điều kiện ban đầu (lưu lượng) tại các nút tính toán được xác định bằng cách thử sai trong quá trình hiệu chỉnh.

Với mục tiêu chính là diễn toán dòng chảy trong sông nên trong phần nghiên cứu này không đưa ô chứa/ ô ruộng/ công trình vào trong mạng lưới sông, tức là bỏ qua lưu lượng gia nhập khu giữa và sự thay đổi về tính chất của dòng chảy khi có các công trình xây dựng trên sông.

Phần lưu lượng nhập lưu khu giữa từ Chu Lễ, Sơn Diệm đến cửa ra không được tính đến làm cho kết quả mô hình có sai số. Tuy nhiên, phần lưu lượng nhập lưu khu giữa này không phải bỏ qua hoàn toàn mà trong quá trình diễn toán, phần lưu lượng nhập lưu khu giữa này được đưa vào thông qua các hệ số nhám bãi, hệ số thu hẹp và mở rộng mặt cắt.

c. Sơ đồ thủy lực

- Sơ đồ thủy lực được thiết lập như hình 5, mạng lưới sông được giới hạn:

+ Sông Ngàn Sâu tính từ Chu Lễ đến điểm hợp lưu với sông Ngàn Phố.

+ Sông Ngàn Phố tính từ Sơn Diệm đến điểm hợp lưu với sông Ngàn Sâu.

+ Sông La (từ điểm hợp lưu sông Ngàn Sâu và Ngàn Phố) đến Chợ Tràng.

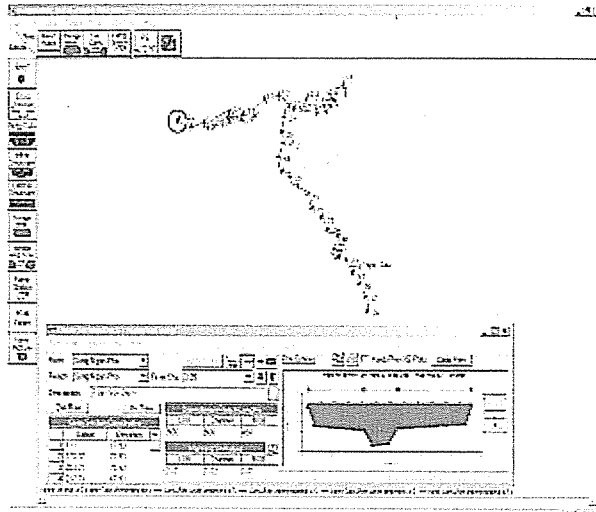
Từ tài liệu thực đo, các tài liệu thu thập về hệ thống tưới, tiêu trên lưu vực sông La, sơ đồ thủy lực phục vụ cho tính toán được thiết lập như sau:

Tổng số mắt cắt (hình 2): 35, (sông Ngàn Phố 10, sông Ngàn Sâu 19)

Số đoạn sông số hoá: 2; số nhánh sông: 3.

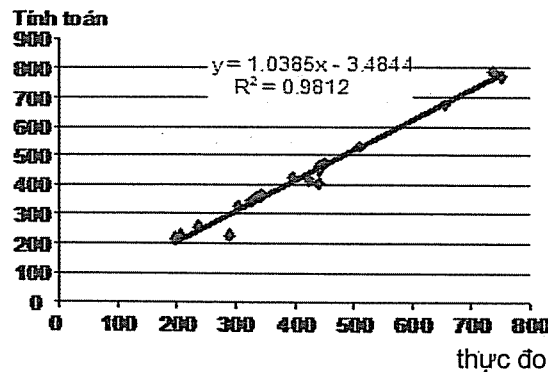
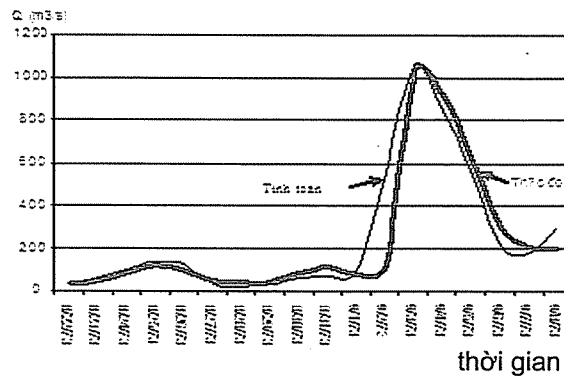
Số biên trên: 02; số biên dưới: 1.

Hình 2. Sơ đồ bố trí mắt cắt tính toán thủy lực
d. Tính toán hiệu chỉnh mô hình cho trận lũ năm 1973 và 1978



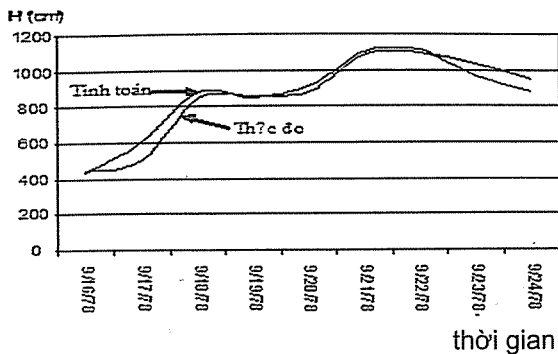
Do khu vực có địa hình, địa chất biến đổi, lòng dẫn chủ yếu là tự nhiên nên hệ số nhám sau khi hiệu chỉnh khoảng từ 0.03-0.035 cho lòng dẫn chính và từ 0.04- 0.055 cho các bãi. Hệ số tổn thất co hẹp và mở rộng đạt từ 0.1-0.6.

Hình 3. Quá trình lưu lượng tính toán và thực đo tại Hòa Duyệt, trận lũ 22/8 - 8/9 /1973



Hình 4. Quan hệ mực nước giữa tính toán và thực đo tại Hòa Duyệt trận lũ 22/8 - 8/9/1973

Mô hình HEC-RAS chạy ổn định với thời đoạn mô phỏng 1giờ, kết quả so sánh lưu lượng và mực nước giữa thực đo và tính toán tại Hòa Duyệt cho

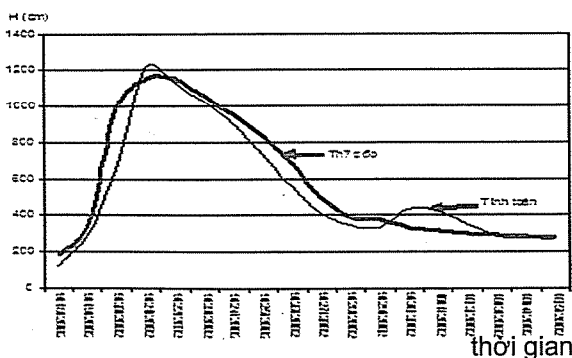


Hình 5. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại Hòa Duyệt, trận lũ từ 16 - 24/9/ 1978

Kết quả tính toán thử nghiệm cho trận lũ 1973 và 1978 cho thấy, quá trình diễn toán lũ phù hợp về hình dạng đường quá trình lũ, giá trị dòng chảy và thời điểm xuất hiện đỉnh lũ tại các vị trí mặt cắt trên đoạn sông nghiên cứu trên sông La. Kết quả hiệu chỉnh tại Hòa Duyệt đều cho kết quả tốt với chỉ số Nash > 0.9

d. Tính toán kiểm định mô hình cho trận lũ tháng 9/ 2002

Chọn trận lũ từ 18/9-5/10/2002 [2] với thời đoạn

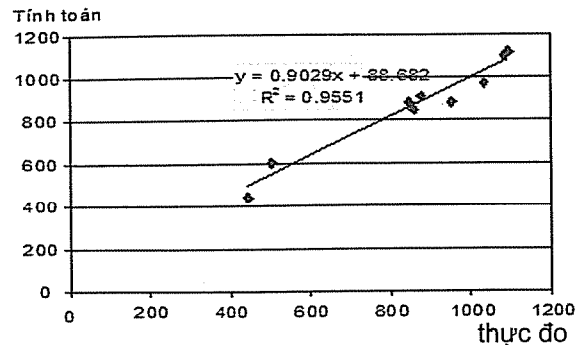


Hình 7. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại Hòa Duyệt, trận lũ từ 18/9 - 5/10/2002.

d. Xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt lưu vực sông La

Từ kết quả kiểm định, tác giả đã xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt trên lưu vực sông La, cụ thể là tập trung mô phỏng diện và mức độ ngập lụt tính từ vị trí hợp lưu sông Ngàn Sâu và Ngàn Phố (Linh Cảm)

nước giữa thực đo và tính toán tại Hòa Duyệt cho kết quả khá tốt (Hình 3, 4. 5. 6).

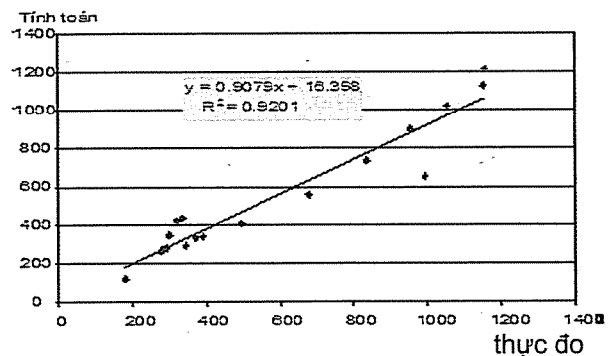


Hình 6. Quan hệ giữa mực nước tính toán và thực đo tại Hòa Duyệt, trận lũ từ 16-24/9/ 1978

tính toán là 6 giờ

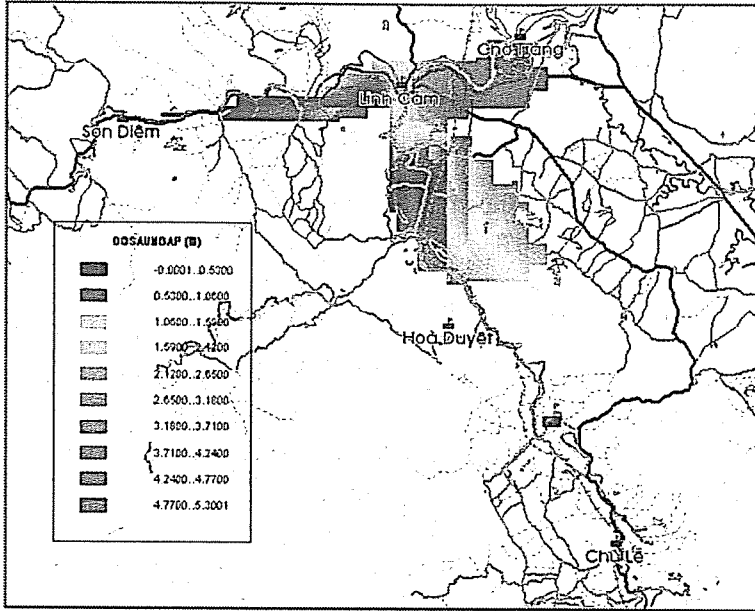
HEC-RAS mô phỏng trận lũ năm 2002 chạy ổn định với bộ thông số đã được xác định trong bài toán hiệu chỉnh cho trận lũ năm 1973 và 1978.

Kết quả kiểm định trận lũ 2002 trên sông La cho thấy sai số tương đối về trị số Qmax, Hmax giữa tính toán và thực đo đều nhỏ hơn 6%, chỉ số Nash cho kết quả lớn hơn 0.85, thời điểm xuất hiện đỉnh lũ giữa tính toán và thực đo là đồng thời.



Hình 8. Quan hệ giữa mực nước tính toán và thực đo tại Hòa Duyệt, trận lũ từ 18/9 - 5/10/ 2002.

đến vị trí nhập lưu sông Cả (Chợ Tràng) trên cơ sở tích hợp công nghệ GIS, bản đồ cao độ số DEM 50 m với bản đồ số địa hình tỷ lệ 1/50.000 để thiết lập các ô chứa, bãi tràn lũ. Từ số liệu địa hình và số liệu KTTV hiện có, xây dựng bản đồ nguy cơ (mô phỏng) ngập lụt theo hiện trạng trận lũ đã diễn ra trên lưu vực sông La năm 2002 (hình 9).



Hình 9. Bản đồ mô phỏng ngập lụt trận lũ 18/9-05/10/ 2002 lưu vực sông La

- Khu vực từ Linh Cảm đến Chợ Trảng (phía Đông Bắc huyện Đức Thọ) có độ sâu ngập lụt lớn nhất, có những chỗ bị ngập sâu từ 5.30 - 4.24 m.

- Độ sâu ngập lụt từ 4.24 - 3.18 m, tại phần tiếp giáp về hạ lưu trạm Linh Cảm và một phần bờ phải sông Ngàn Sâu, kể tiếp trạm Hòa Duyệt thuộc phía Tây Nam huyện Đức Thọ.

- Độ sâu ngập lụt từ 3.18 - 2.12 m tại khu vực Linh Cảm, phần tiếp giáp giữa huyện Hương Sơn và Đức Thọ.

- Ngập lụt sâu dưới 2.12 m thuộc huyện Hương Sơn và một số xã thuộc Đông Bắc huyện Vũ Quang.

4. Kết luận

Từ những kết quả ở trên, có thể rút ra một số kết luận sau:

- Mặc dù tài liệu, số liệu đo đạc trên lưu vực chưa nhiều như mong muốn, mặt khác vị trí các điểm kiểm tra và hiệu chỉnh còn hạn chế, song qua kết quả tính toán của mô hình cho thấy: mô hình đã mô phỏng tốt chế độ mực nước lưu lượng trong các trận lũ đã được xem xét, bộ thông số của mô hình khá phù hợp đã cho kết quả chạy mô hình ổn định và phù hợp với việc mô phỏng dòng chảy lũ trên lưu vực sông.

- Kết quả diễn toán dòng chảy lũ lưu vực sông La bằng mô hình HEC-RAS đáng tin cậy với chỉ tiêu Nash cao, đạt 0.90. Vì vậy có thể ứng dụng mô hình HEC-RAS để dự báo diện và mức độ ngập lụt

Tài liệu tham khảo

1. Lê Văn Nghinh, Bùi Công Quang, Hoàng Thanh Tùng. "Mô hình toán thủy văn". Giáo trình cao học Trường Đại học thủy lợi. 2006.
2. Trần Duy Kiều "Nghiên cứu lũ và xây dựng phương án cảnh báo lũ trên lưu vực sông Ngàn Phố". Luận văn Th.S kỹ thuật. Đại học Thủy lợi 2004.
3. Viện Khí tượng Thủy văn "Đặc trưng hình thái lưu vực sông Việt Nam". Hà Nội năm 1985.
4. Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcView GIS. Center for Research in Water Resources. Bureau of Engineering Research, the University of Texas at Austin. Eric Tate, M.S.E and David Maidment, PhD May 1999.