

ỨNG DỤNG FAST ĐÁNH GIÁ ĐỘ NHẠY CỦA CÁC THÔNG SỐ TRONG MÔ HÌNH HEC-HMS

Nguyễn Thế Toàn¹, Trần Kim Châu¹, Nguyễn Hà Linh²

Tóm tắt: Mô hình toán thủy văn là một công cụ hữu hiệu đã và đang được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực tài nguyên nước. Bản chất của mô hình toán là mô phỏng các quá trình vật lý bằng các phương trình toán học đơn giản thông qua các thông số của mô hình. Trong nghiên cứu này, kỹ thuật đánh giá độ nhạy FAST (Fourier amplitude sensitivity testing) được ứng dụng nhằm đánh giá độ nhạy cho các thông số của mô hình HEC-HMS trong bài toán mô phỏng dòng chảy lũ. Nghiên cứu được ứng dụng cho lưu vực Nậm Ly thuộc địa bàn tỉnh Hà Giang. Kết quả nghiên cứu cho thấy tầm quan trọng của từng thông số đối với từng kết quả đầu ra của mô hình. Trong đó hệ số CN là hệ số quan trọng nhất đối với lưu lượng đỉnh lũ và tổng lượng lũ còn thời gian lũ lên lại chịu ảnh hưởng lớn nhất của thời gian trễ Tlag. Dựa trên kết quả của nghiên cứu, quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình sẽ được giảm thiểu do đã khoanh vùng được những thông số nhạy cảm với các yếu tố đầu ra của kết quả mô hình.

Từ khoá: Phân tích độ nhạy, FAST, HEC-HMS.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mô hình toán thủy văn đã được phát triển từ rất lâu trên thế giới. Các mô hình thủy văn đầu tiên là công thức kinh nghiệm được đề xuất bởi Kuichling (1889). Các nguyên tắc của phương pháp này được đưa ra bởi Mulvaney (1851) và đường đơn vị do Sherman (1932) đề xuất. Hầu hết các mô hình thủy văn được sử dụng ngày nay được đề xuất sau những năm 1960. Cho đến ngày nay, mô hình thủy văn nhận được sự quan tâm ngày càng tăng từ những người nghiên cứu cũng như những người ứng dụng. Với sự tăng cường khả năng của các công cụ toán học, khả năng của máy tính cũng như sự tăng cường hiểu biết của con người về quá trình động lực trên lưu vực, mô hình toán thủy văn ngày càng phát triển (Montanari, 2011). Tuy nhiên, để đảm bảo độ tin cậy, việc thiết lập một mô hình thủy văn để giải quyết một vấn đề thực tế đòi hỏi phải áp dụng các quy trình thích hợp bao gồm thiết lập mô hình,

hiệu chỉnh mô hình, kiểm định mô hình (McCuen, 1973). Trong quá trình kể trên, việc hiệu chỉnh và kiểm định là quá trình tìm kiếm bộ thông số của mô hình sao cho nó phản ánh được bản chất vật lý của lưu vực. Đây là các bước rất quan trọng quyết định đến độ chính xác của kết quả tính toán. Theo (Refsgaard và Storm, 1990) quá trình có thể được thực hiện bằng cách thủ công, tự động hoặc kết hợp. Thông thường, người sử dụng mô hình thường dò tìm thông số bằng phương pháp thủ công (Yu, 2015). Tuy nhiên, hiệu chỉnh thủ công thường không hiệu quả và tốn thời gian (Götzinger và Bárdossy, 2008). Hiệu chỉnh tự động mặc dù có thể giảm thiểu thời gian, tuy nhiên, vẫn còn những giới hạn nhất định khi mô hình có cấu trúc phức tạp và có nhiều thông số. Do vậy, cần có những nghiên cứu làm giảm thiểu công sức của người ứng dụng mô hình. Bằng việc đánh giá tầm quan trọng của các thông số, từ đó tập trung hiệu chỉnh nhóm các thông số có độ nhạy cao. Cauchy (1847) đã mô tả một phương pháp tối ưu hóa liên quan đến việc phân tích độ nhạy. Phương pháp suy giảm độ dốc của Cauchy

¹ Đại học Thủy lợi

² Đại học Tài Nguyên môi trường

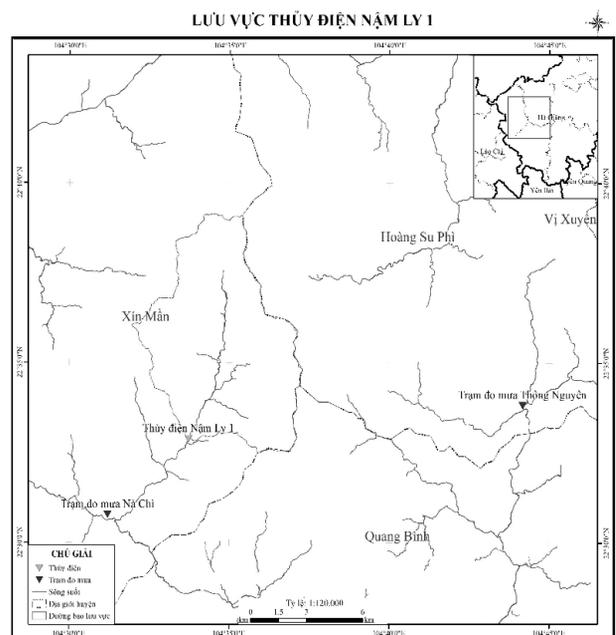
vẫn là một trong những kỹ thuật tối ưu hóa được sử dụng thường xuyên nhất. Điều này có thể làm giảm được công sức của người ứng dụng mô hình trong quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Sự hiệu quả của phân tích độ nhạy thông số mô hình đem lại hiệu quả tối ưu trong việc tính toán mô hình đã được ghi nhận đầy đủ. Đây là cách làm khả thi trong điều kiện hiện nay. Tuy nhiên, ý nghĩa của phân tích độ nhạy không chỉ dừng lại ở việc đánh giá ảnh hưởng của các thông số. Thông qua phân tích độ nhạy có thể xác định các yếu tố đầu vào, nếu có, có ảnh hưởng không đáng kể đến sự thay đổi đầu ra cũng như xác định phạm vi biến đổi của các biến đầu vào ảnh hưởng lớn đến kết quả đầu ra (Pianosi et al., 2016).

Phân tích độ nhạy là nghiên cứu xem sự biến đổi đầu ra của một mô hình có thể là dưới các tác động của biến đầu vào như thế nào (Saltelli, 2002). Mức độ ảnh hưởng của biến càng lớn hoặc tầm quan trọng của biến đầu vào càng cao thì chỉ số độ nhạy của biến đầu vào đó càng cao. Cukier (1978) kết luận rằng kỹ thuật phân tích độ nhạy rất hiệu quả đối với các hệ thống mô hình có nhiều thông số. Việc phân loại các phương pháp phân tích độ nhạy có thể dựa trên: Phân tích độ nhạy cục bộ và toàn cầu, Phân tích độ nhạy định lượng và định tính, hoặc lần lượt (One-At-a-Time) và cùng lúc (All-At-a-Time) (Pianosi, 2016). Hiện nay, ứng dụng của phân tích độ nhạy đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực của đời sống cũng như trong các mô hình toán. Spear và Hornberger (1980) đề xuất phương pháp phân tích độ nhạy tổng quát. Dựa trên nền tảng này Beven và Binley (1992) phát triển kỹ thuật đánh giá mức độ bất định tổng quát GLUE (generalized likelihood uncertainty estimation). Hiện nay có rất nhiều các kỹ thuật phân tích độ nhạy. Có thể kể đến một số kỹ thuật điển hình như FAST (Cukier et al., 1978), phương pháp sàng lọc (Morris, 1991), phương pháp dựa trên hồi quy (Sobol, 1993). Trong đó FAST là một trong những kỹ thuật phân tích độ nhạy phổ biến nhất. Nó sử dụng cách tiếp cận lấy mẫu tuần hoàn và phép biến đổi Fourier để phân tách phương sai

của đầu ra mô hình thành phương sai từng phần do các tham số mô hình khác nhau đóng góp.

Trong nghiên cứu này, các tác giả trình bày ứng dụng FAST vào phân tích độ nhạy cho mô hình HEC HMS. Nghiên cứu được ứng dụng cho lưu vực Nậm Ly của tỉnh Hà Giang. Kết quả của nghiên cứu cho chúng ta hiểu rõ hơn về tầm quan trọng của các thông số trong mô hình đối với việc tính toán lưu lượng đỉnh lũ cũng như thời gian lũ lên. Đây cũng là tiền đề cho việc ứng dụng các kỹ thuật dò tìm tối ưu bộ thông số mô hình một cách hiệu quả hơn.

2. GIỚI THIỆU VỀ VÙNG NGHIÊN CỨU



Hình 1. Lưu vực thủy điện Nậm Ly 1

Nghiên cứu được tiến hành cho lưu vực Nậm Ly thuộc tỉnh Hà Giang. Phạm vi của lưu vực từ thượng nguồn sông Nậm Ly đến thủy điện Nậm Ly 1 (hình 1). Sông Nậm Ly một phụ lưu của sông Con thuộc hệ thống sông Hồng. Sông Nậm Ly bắt nguồn từ các dãy núi cao gần 2000 m. Suối chảy theo hướng Đông Bắc - Tây Nam. Công trình thủy điện Nậm Ly được xây dựng tại địa phận xã Quảng Nguyên, huyện Xí Mãn, tỉnh Hà Giang. Tọa độ địa lý của khu vực công trình như sau: từ $22^{\circ}23'25''$ đến $22^{\circ}43'28''$ vĩ độ Bắc và từ $104^{\circ}33'49''$ đến $104^{\circ}34'52''$ kinh độ Đông. Lưu

vực thủy điện Nậm Ly 1 có diện tích lưu vực 76,4 km². Lưu lượng bình quân năm khoảng 4,65 m³/s.

3. PHƯƠNG PHÁP VÀ SỐ LIỆU

3.1. FAST

Phân tích độ nhạy toàn cầu (GSA) là một cách tiếp cận mạnh mẽ trong việc xác định đầu vào hoặc thông số nào ảnh hưởng nhiều nhất đến kết quả đầu ra của mô hình. Điều này xác định đầu vào nào cần thiết trong quá trình hiệu chỉnh mô hình hoặc trong quá trình phân tích độ bất định. GSA cho phép định lượng chỉ số độ nhạy (Si) của một đầu vào cụ thể thông qua tỷ lệ phần trăm của tổng biến động trong đầu ra do những thay đổi trong đầu vào đó. FAST là một phương pháp phân tích độ nhạy toàn cầu dựa trên phương sai. Đây là một trong những kỹ thuật phân tích độ nhạy phổ biến nhất trên toàn cầu. Phương pháp sử dụng bao gồm phương pháp lấy mẫu định kỳ và khai triển Fourier để phân tách phương sai của đầu ra mô hình thành phương sai từng phần do các tham số mô hình khác nhau đóng góp thông qua phương trình.

$$V = \sum_{j=1}^n V_j + \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n V_{jk} + \dots + V_{12..m} \quad (1)$$

Trong đó n là số lượng biến đầu vào; j là thứ tự của biến đầu vào thứ j; k = j+1;

$$V_j = V(E(X_j = x_j^*)) \text{ với}$$

$$V_{jk} = V(E(X_j = x_j^*, X_k = x_k^*)) - V_j - V_k.$$

$E(X_j = x_j^*)$ được định nghĩa là kỳ vọng của Y trong điều kiện X_1 có giá trị cố định x_j^*

Tỷ lệ phương sai từng phần so với phương sai đầu ra của mô hình được sử dụng để đo mức độ quan trọng của các tham số thông qua công thức

$$S_i = V_i/V \quad (2)$$

Kỹ thuật FAST (Cukier et al., 1978) sử dụng phương pháp lấy mẫu định kỳ trong không gian tham số. Mẫu tuần hoàn của mỗi tham số được

gán với một tần số đặc trưng (tức là một số nguyên riêng biệt), được sử dụng để xác định đóng góp của tham số vào phương sai của đầu ra mô hình dựa trên phép khai triển Fourier. FAST hiệu quả về mặt tính toán và có thể được sử dụng cho các mô hình phi tuyến tính và không đơn điệu. Do đó, nó đã được ứng dụng rộng rãi trong phân tích độ bất định và độ nhạy của các mô hình khác nhau, bao gồm cả mô hình thủy văn (Francos et al., 2003; Bajracharya et al., 2020)

3.2. Các bước tiến hành

Theo (Pianosi et al., 2016) một quá trình phân tích độ nhạy bao gồm 3 bước chính. Trong bước đầu tiên, các biến đầu vào được lựa chọn để đánh giá phân tích độ nhạy. Trong nghiên cứu này, tất cả các thông số của mô hình HEC-HMS cho cả 3 thành phần tổn thất, chuyển đổi dòng chảy và dòng chảy ngầm đều được tiến hành. Việc phân tích lựa chọn phương pháp tính toán cho mỗi thành phần này được phân tích trong phần kết quả. Phạm vi biến đổi của các thông số cũng được xác định dựa trên gợi ý của Scharffenberg (2016), riêng phạm vi T_{lag} được xác định dựa trên nhưng đặc trưng cụ thể của lưu vực. Bảng 1 mô tả chi tiết các thông số cũng như phạm vi biến đổi. Lựa chọn kích thước mẫu cũng là một nội dung trong bước này. Kích thước mẫu phải đảm bảo điều kiện hội tụ. Theo (Giglioli và Saltelli, 2000) kích thước mẫu nhỏ nhất được xác định là 65k với k là số biến. Morris (1991) xác định số lượng mẫu cần thiết theo công thức $r(k+1)$, với giá trị r biến động từ 5 đến 15. Theo gợi ý của Cukier et al. (1978) kích thước mẫu ban đầu được lựa chọn bằng 697 bộ thông số. Sau đó số lượng bộ thông số sẽ được tăng dần lên cho đến khi đảm bảo điều kiện hội tụ.

Bảng 1. Thông số và phạm vi biến đổi

STT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Phạm vi biến đổi	Phân bố
1	Độ thấm ban đầu	Ia	mm	0 - 20	Đồng nhất
2	Chỉ số CN	CN	-	60 - 100	Đồng nhất
3	% không thấm	%Imp	%	0 - 30	Đồng nhất
4	Thời gian trễ	T_{lag}	phút	30 - 240	Đồng nhất

STT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Phạm vi biến đổi	Phân bố
5	Dòng chảy ngầm ban đầu	Q_0	$m^3/s/km^2$	0.01 – 0.1	Đồng nhất
6	Hệ số triết giảm	e	-	0.01 – 0.99	Đồng nhất
7	Hệ số tỷ lệ	k	-	0.1 – 0.9	Đồng nhất

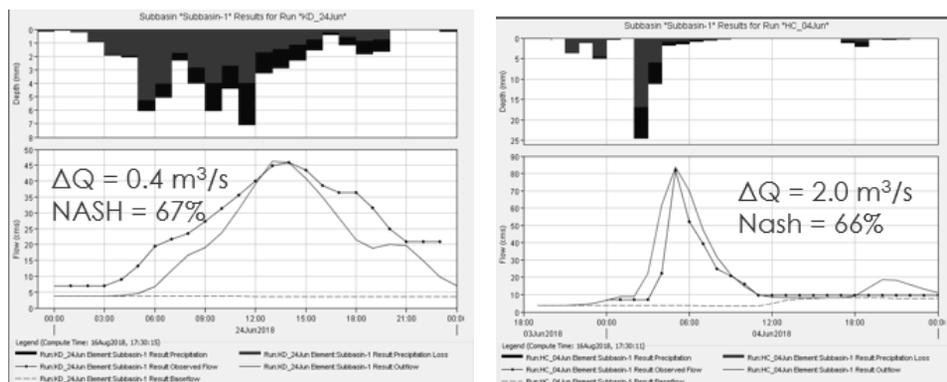
Bước thứ 2 của quá trình phân tích độ nhạy bao gồm việc kiểm định mô hình tính toán nhằm kiểm tra phản ứng của mô hình. Mô hình HEC-HMS đã được ứng dụng trên nhiều nước trên thế giới (Bennett and Peters, 2004) cũng như ở Việt Nam (Tran, 2016). Do vậy mô hình đủ tin cậy trong việc mô phỏng dòng chảy lũ từ mưa. Trong nghiên cứu này, mô hình sẽ được hiệu chỉnh và kiểm định nhằm tăng cường độ thêm tin cậy. Quá trình hiệu chỉnh và kiểm định sử dụng số liệu mưa giờ của 2 trạm mưa Nà Chi và Thông Nguyên với trọng số lần lượt là 0.98 và 0.2. Do điều kiện thu thập số liệu còn hạn chế chỉ thu thập được số liệu vận hành của nhà máy thủy điện Nậm Ly 1 trong 2 trận lũ ngày 04 và 24 tháng 6 năm 2018. Do vậy, dòng chảy tính toán sẽ được so sánh với số liệu dòng chảy lũ thực đo đến hồ trong 2 trận lũ này. Sau đó mô hình sẽ được sử dụng để tiến hành mô phỏng với các bộ thông số được tạo ra ở bước đầu tiên.

Bước cuối cùng trong quá trình đánh giá độ nhạy là quá trình phân tích. Kết quả tính toán chỉ số Si cần được kiểm tra điều kiện hội tụ. Như đã phân tích ở trên, đầu tiên mô hình sẽ được mô phỏng với 697 bộ thông số. Giá trị Si của từng thông số sẽ được xác định bằng công thức 2. Sau đó số lượng bộ thông số sẽ tăng dần và các giá trị

Si cũng tính toán tương ứng với các. Quá trình này chỉ dừng lại khi giá trị Si của các thông số không còn bị ảnh hưởng bởi số lượng bộ thông số. Trong nghiên cứu này, các chỉ số Si của từng thông số sẽ được xác định đối với các kết quả đầu ra là lưu lượng đỉnh lũ (Q_{max}), thời gian lũ lên (TI) và tổng lượng lũ (W). Dựa trên kết quả tính toán, tầm quan trọng của từng thông số đối với các kết quả đầu ra khác nhau sẽ được xác định.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trong mô hình HEC-HMS có 3 module chính. Đó là modul tính tổn thất thấm, modul chuyển đổi dòng chảy và modul tính toán nước ngầm. Kết quả tổng hợp của 3 modul này sẽ cho ra dòng chảy ở cửa ra của lưu vực. Trong mỗi modul sẽ có nhiều phương pháp tính toán khác nhau. Trong nghiên cứu này, phương pháp SCS-CN (Mishra và Singh, 2003; Mishra et al., 2007) được lựa chọn cho việc tính thấm, đường lũ đơn vị không thứ nguyên (NRCS, 2007) được dùng cho việc chuyển đổi mưa hiệu quả sang dòng chảy mặt, phương pháp triết giảm (Scharffenberg, 2016) dùng để tính toán dòng chảy ngầm. Đây là những phương pháp có ít thông số nhằm giảm thiểu khối lượng tính toán, nhưng cũng đảm bảo tính chính xác trong quá trình mô phỏng dòng chảy lũ.

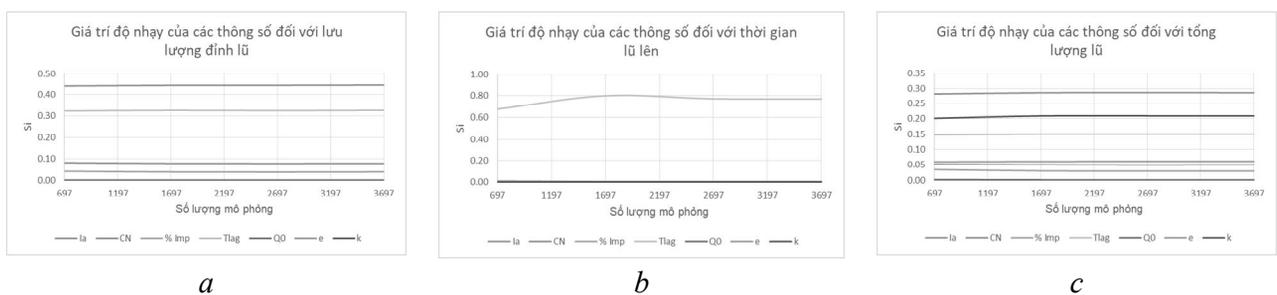


Hình 2. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Tiến hành hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Kết quả tính toán thể hiện như hình 2 dưới đây. Nhìn vào kết quả tính toán nhận thấy đường quá trình lũ tính toán và thực đo đồng dạng với nhau. Đỉnh lũ tính toán và thực đo trong cả 2 trường hợp trùng về thời gian và có giá trị xấp xỉ nhau. Như vậy có thể nhận thấy, mô hình có khả năng mô phỏng dòng chảy lũ cho lưu vực nghiên cứu.

Nhằm đánh giá độ hội tụ nghiên cứu tiến hành tính toán chỉ số độ nhạy Si với các kích thước mẫu khác nhau. Khởi đầu với kích thước mẫu là 697 bộ thông số, sau đó kích thước mẫu tăng dần lên. Kết quả tính toán chỉ số độ nhạy của các thông số theo

các kích thước mẫu được thể hiện như hình 3. Kết quả cho thấy với các yếu tố đầu ra khác nhau (đỉnh lũ, thời gian lũ lên, tổng lượng) cũng như các thông số khác nhau thì số lượng mô phỏng thỏa mãn điều kiện hội tụ cũng sẽ khác nhau. Với lưu lượng đỉnh lũ và tổng lượng lũ, điều kiện hội tụ được thỏa mãn đối với các thông số với kích thước mẫu gần 700 mô phỏng. Thời gian lũ lên là đầu ra có điều kiện hội tụ khó đạt được nhất. Tuy nhiên, với kích thước mẫu khoảng 2679 mô phỏng trở lên, giá trị các chỉ số độ nhạy không biến đổi nữa. Như vậy điều kiện hội tụ đã đạt được đối với toàn bộ các thông số.



Hình 3. Kết quả kiểm tra độ nhạy các thông số đối với (a) lưu lượng đỉnh lũ; (b) thời gian lũ lên; (c) tổng lượng lũ

Kết quả tính toán chỉ số độ nhạy của 7 thông số mô hình với 3 kết quả đầu ra được thể hiện ở bảng 2. Theo nhận định của (Tran, 2016), đối với mô hình HEC-HMS, 2 thông số đóng vai trò quan trọng nhất là CN và T_{lag} . Trong nghiên cứu này, các chỉ số độ nhạy của thông số trong bảng 3 đã minh chứng cho nhận định này. Nhận thấy đối với lưu lượng đỉnh lũ, chỉ có 4 thông số có ảnh hưởng đến giá trị này, đó là độ thấm ban đầu I_a , chỉ số CN, phần trăm không thấm % Imp và thời gian trễ T_{lag} . Trong đó, CN là thông số quan trọng nhất đối với Q_{max} với chỉ số độ nhạy là 0.45. Đóng vai trò quan trọng thứ 2 là T_{lag} với chỉ số độ nhạy là 0.33. Hệ số CN là thông số ảnh hưởng lớn nhất đến kết quả tính toán tổng lượng lũ W . Giả sử như đường quá trình lũ là một hình tam giác, nếu coi tổng lượng lũ là diện tích của hình tam giác thì thời gian của trận lũ sẽ là đáy của tam giác đó. Chiều cao của tam giác sẽ thể

hiện lưu lượng đỉnh lũ. Nếu như giá trị thời gian của trận lũ quyết định bởi T_{lag} , thì CN là chỉ số quyết định tới lượng tổn thất thấm trong mô hình. Từ đó dẫn đến việc quyết định lượng mưa hiệu quả - bản chất chính là lượng dòng chảy mặt của trận lũ. Đó là lý do CN và T_{lag} lại là 2 thông số quyết định đến giá trị đỉnh lũ. Đối với thời gian lũ lên T_1 , có thể dễ dàng nhận thấy thời gian trễ T_{lag} là thông số quan trọng nhất. Nó quyết định đến thời gian tập trung dòng chảy trên lưu vực. Từ đó dẫn đến việc nó quyết định đến thời gian lũ lên. Các thông số còn lại có ảnh hưởng không đáng kể đối với đầu ra này. Như đã phân tích ở trên CN quyết định đến tổng lượng dòng chảy mặt. Trong dòng chảy lũ, lượng dòng chảy mặt đóng vai trò quyết định đến tổng lượng, tuy nhiên đóng góp của dòng chảy ngầm cũng không thể bỏ qua. Điều đó thể hiện qua chỉ số độ nhạy của hệ số tỷ lệ (k) là 0.21, chỉ kém sau

độ nhạy của hệ số CN (0.29). Hệ số tỷ lệ (k) thể hiện tỷ lệ đỉnh dòng chảy ngầm so với đỉnh lũ. Chính vì vậy nó cũng sẽ có ảnh hưởng đến kết

quả tính toán tổng lượng. Một điều khá đặc biệt là thời gian trễ T_{lag} cũng có ảnh hưởng đáng kể đến tổng lượng lũ.

Bảng 2. Kết quả phân tích chỉ số độ nhạy các thông số mô hình

Đầu ra	Ia	CN	% Imp	T_{lag}	Q_0	e	k
Q_{max}	0.08	0.45	0.04	0.33	0.00	0.00	0.00
T_1	0.01	0.00	0.00	0.77	0.00	0.00	0.00
W	0.05	0.29	0.03	0.15	0.00	0.06	0.21

Như vậy, thông qua việc đánh giá kết quả độ nhạy của các thông số mô hình HEC-HMS, quá trình hiệu chỉnh kiểm định sẽ được tiến hành một cách có định hướng rõ ràng hơn. Thông thường, các chỉ số đánh giá như sai số đỉnh lũ (về cả giá trị lẫn thời gian) hay sai số tổng lượng sẽ được sử dụng để đánh giá độ phù hợp của mô hình. Dựa trên những chỉ số này, người thực hiện mô hình sẽ đánh giá được mô hình chưa phù hợp với yếu tố nào, từ đó sẽ có những định hướng cụ thể để lựa chọn các thông số để

thay đổi. Ví dụ, nếu đỉnh lũ chưa hợp lý thì chỉ số CN, rồi thời gian trễ sẽ được tập trung dò tìm trước. Trong khi đó các hệ số e và k có thể bỏ qua không cần chú ý. Tương tự, nếu đỉnh lũ bị lệch về thời gian, thông số cần quan tâm nhất sẽ là T_{lag} . Đây cũng là cơ sở định hướng cho các phương pháp dò tìm tối ưu. Với định hướng này, việc dò tìm các thông số sẽ được tiến hành hiệu quả hơn. Bảng 3 thể hiện đề xuất thứ tự ưu tiên dò tìm thông số tương ứng với các tiêu chí.

Bảng 3. Thứ tự đề xuất khi dò tìm thông số

Thứ tự	1	2	3	4	5	6
Sai số đỉnh lũ về lượng	CN	T_{lag}	Ia			
Sai số đỉnh lũ về thời gian	T_{lag}	Ia				
Sai số tổng lượng	CN	k	T_{lag}	e	Ia	% Imp

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã ứng dụng thành công kỹ thuật phân tích độ nhạy FAST nhằm xác định độ nhạy của các thông số mô hình HEC-HMS đối với lưu lượng đỉnh lũ, thời gian lũ lên và tổng lượng lũ. Kết quả cho thấy thấy CN là thông số quan trọng nhất đối với lưu lượng đỉnh lũ và tổng lượng lũ. Trong khi đó T_{lag} lại là thông số có ảnh hưởng lớn

nhất đối với thời gian lũ lên. Trong khi CN gần như không ảnh hưởng đến thời gian lũ lên thì T_{lag} lại có ảnh hưởng đáng kể đến lưu lượng đỉnh lũ và tổng lượng lũ. Kết quả của nghiên cứu sẽ đưa ra một thứ tự ưu tiên đối với mỗi loại hình đầu ra của mô hình. Đây sẽ là một định hướng cụ thể để quá trình dò tìm thông số được nhanh chóng và hiệu quả hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Tran, KC. (2016), “*Developing a Method to Define Main Parameters of SCS - CN Based on Available Data*”, Hội nghị khoa học thường niên Đại học Thủy lợi 2016, tr.495–497.
- Bajracharya, Ajay, Hervé Awoye, Tricia Stadnyk, and Masoud Asadzadeh. 2020. “*Time Variant Sensitivity Analysis of Hydrological Model Parameters in a Cold Region Using Flow Signatures.*” *Water (Switzerland)* 12 (4). <https://doi.org/10.3390/W12040961>.

- Bennett, Todd H., and John C. Peters. 2004. "Continuous Soil Moisture Accounting in the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)." Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management 2000: Building Partnerships 104 (1): 1–10. [https://doi.org/10.1061/40517\(2000\)149](https://doi.org/10.1061/40517(2000)149).
- Beven, K. J., and A. M. Binley. 1992. "The Future of Distributed Models: Model Calibration and Uncertainty Prediction." *Hydrological Processes* 6: 279–298.
- Cauchy, A. 1847. "Méthode Générale Pour La Résolution Des Systemes d'équations Simultanées." *Comp. Rend. Sci. Paris* 25: 536–38.
- Cukier, R. I., H. B. Levine, and K. E. Shuler. 1978. "Nonlinear Sensitivity Analysis of Multiparameter Model Systems." *Journal of Computational Physics* 26 (1): 1–42. [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(78\)90097-9](https://doi.org/10.1016/0021-9991(78)90097-9).
- Francos, A., F. J. Elorza, F. Bouraoui, G. Bidoglio, and L. Galbiati. 2003. "Sensitivity Analysis of Distributed Environmental Simulation Models: Understanding the Model Behaviour in Hydrological Studies at the Catchment Scale." *Reliab Eng Syst Saf* 79: 205–218.
- Giglioli, N., and A. Saltelli. 2000. "SimLab 1.1, Software for Sensitivity and Uncertainty Analysis, Tool for Sound Modelling," no. December 2000.
- Götzinger, Jens, and András Bárdossy. 2008. "Generic Error Model for Calibration and Uncertainty Estimation of Hydrological Models." *Water Resources Research* 44(12). <https://doi.org/10.1029/2007WR006691>.
- Kuichling, E. 1889. "The Relation between Rainfall and the Discharge of Sewers in Populous Districts." *Transactions ASCE* 20: 1–60.
- McCuen, Richard H. 1973. "The Role of Sensitivity Analysis in Hydrologic Modeling." *Journal of Hydrology* 18 (1): 37–53. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(73\)90024-3](https://doi.org/10.1016/0022-1694(73)90024-3).
- Mishra, S.K., P. Suresh. Babu, and V.P. Singh. 2007. "SCS-CN Method Revisited." In . Water Resources Publication Colorado.
- Mishra, S.K., and Vijay Singh. 2003. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Montanari, A. 2011. "Uncertainty of Hydrological Predictions." *Treatise on Water Science*, 459–78. [10.1016/B978-0-444-53199-5.00045-2](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53199-5.00045-2).
- Morris, Max D. 1991. "Factorial Sampling Plans for Preliminary Computational Experiments." *Technometrics* 33 (2): 161–74. <https://doi.org/10.1080/00401706.1991.10484804>.
- Mulvaney, T J. 1851. "On the Use of Self-Registering Rain and Flood Gauges in Making Observations of the Relations of Rainfall and of Flood Discharges in a given Catchment." *Proceeding of the Institute of Civil Engineers of Ireland* 4: 18–31.
- NRCS. 2007. "Part 630 Hydrology National Engineering Handbook." In *Engineering*. <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17755.wba&fbclid=IwAR1ErIJ5bOefzd88XYr0WxEqHP00eROePsWIZn4tBXA7rF9BZLnDWqLkyMs>.
- Pianosi, Francesca, Keith Beven, Jim Freer, Jim W. Hall, Jonathan Rougier, David B. Stephenson, and Thorsten Wagener. 2016. "Sensitivity Analysis of Environmental Models: A Systematic Review with Practical Workflow." *Environmental Modelling and Software* 79: 214–32. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.02.008>.
- Refsgaard, Jens Christian, and B. Storm. 1990. "Construction , Calibration And Validation of Hydrological Models." In *Distributed Hydrological Modelling*, 43–53. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-0257-2>.

- Saltelli, Andrea. 2002. "Sensitivity Analysis for Importance Assessment." Risk Analysis 22 (3): 579–90. <https://doi.org/10.1111/0272-4332.00040>.
- Scharffenberg, W. 2016. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual*. U.S. Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center. Vol. 1. http://www.hec.usace.army.mil/software/hechhms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.0.pdf.
- Sherman, L. K. 1932. "Streamflow from Rainfall by the Unit-Graph Method." Engineering News Record 108: 501–5.
- Sobol, I. M. 1993. "Sensitivity Analysis for Non-Linear Mathematical Models." Mathematical Modelling and Computational Experiment 1: 407–14.
- Spear, R. C, and G. M. Hornberger. 1980. "Eutrophication in Peel Inlet: II. Identification of Critical Uncertainties via Generalized Sensitivity Analysis." Water Research 14: 43–49.
- Tran, Kim Chau. 2016. "Developing a Method to Define Main Parameters of SCS - CN Based on Available Data." In The Annual Conference of Thuyloi University, 495–97.
- Yu, Z. 2015. "HYDROLOGY, FLOODS AND DROUGHTS | Modeling and Prediction." Encyclopedia of Atmospheric Sciences, 217–23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00172-9>.

Abstract:

**FAST APPLICATION IN EVALUATING THE SENSEMENT
OF PARAMETERS IN HEC-HMS MODEL**

Rainfall-runoff model is an effective tool that has been widely used in the water resources area. The essence of this type of model is to simulate physical processes by simple mathematical equations through the parameters. In this study, the Fourier amplitude sensitivity testing (FAST) technique was applied to evaluate the sensitivity indexes of the parameters of the HEC HMS model in flood simulation. The research was applied for Nam Ly basin in Ha Giang province. The study evaluated the importance of the parameters in the HEC HMS model for output results. The result shows CN is the most important parameter for peak discharge and total volume while rising time is determined by Tlag. Based on the results of the study, the process of model calibration and validation will be minimized because the most sensitive parameters have been localized.

Keywords: Sensitivity Analysis, FAST, HEC-HMS.

Ngày nhận bài: 01/6/2021

Ngày chấp nhận đăng: 30/6/2021