

# THỬ NGHIỆM MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP DÒ TÌM TỐI ƯU THAM SỐ TRONG DỰ BÁO THỦY VĂN CHO LƯU VỰC HỒ BẢN VỄ

Dương Thị Thanh Hương<sup>(1)</sup>, Nguyễn Thị Hằng<sup>(1)</sup>, Nguyễn Chính Kiên<sup>(1)</sup>, Văn Thị Hằng<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Viện Cơ học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>(2)</sup>Viện Khoa Học Khí Tượng Thủy Văn và Biến đổi khí hậu

Ngày nhận bài: 15/8/2022; ngày chuyển phản biện: 16/8/2022; ngày chấp nhận đăng: 12/9/2022

**Tóm tắt:** Trong các mô hình thủy văn cần phải hiệu chỉnh nhiều tham số cho từng lưu vực, việc hiệu chỉnh này phụ thuộc vào kinh nghiệm của người làm dự báo. Trong bài báo này, nhóm tác giả thử nghiệm một số phương pháp dò tìm tối ưu để tìm ra bộ tham số phù hợp nhất cho lưu vực. Mô hình thương mại MIKE 11 - NAM, HEC-HMS và mô hình tự phát triển ItechTV2 được áp dụng tính toán cho lưu vực hồ Bản Vẽ.

Với bộ thông số đã dò tìm trong cơn lũ năm 2018, nhóm tác giả áp dụng kiểm định cho cơn lũ năm 2021 đạt được kết quả tốt. Mặc dù thời gian dò tìm của mô hình thủy văn phân bố ItechTV2 là lớn nhưng chỉ số đánh giá mô hình Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) cho thấy hiệu quả tính toán tốt hơn so với mô hình thủy văn thông số tập trung MIKE 11 - NAM và HEC-HMS.

**Từ khóa:** Tối ưu, mô hình thủy văn, Bản Vẽ.

## 1. Mở đầu

Dự báo lưu lượng nước ra khỏi lưu vực là một quá trình khó khăn, ngoài kiến thức thủy văn còn đòi hỏi dự báo viên phải am hiểu đặc tính của từng lưu vực nghiên cứu. Ngày nay, với sự phát triển của máy tính, cùng với việc áp dụng các thuật toán dò tìm tối ưu đã giúp cho người dự báo viên rút ngắn được thời gian tính toán, hiệu chỉnh mô hình. Các nhà khoa học trên thế giới [2] sử dụng một số phương pháp phổ biến để tối ưu tự động các thông số của mô hình thủy văn như phương pháp Genetic Algorithms (GA), Simulated Annealing (SA), và Levenberg-Marquardt. Ngoài ra, các tác giả cũng đánh giá hiệu quả của các thuật toán khác nhau như: Cooper và các cộng sự đã đánh giá các phương pháp tiến hóa xáo trộn phức hợp (SCE), giải thuật di truyền (GA), mô phỏng quá trình ủ (SA) để tối ưu các thông số mô hình Tank; Chan và cộng sự so sánh hiệu quả của phương pháp multi-Powell và SCE trong hiệu chỉnh mô hình Tank.

Các mô hình lớn, thương mại trên thế giới như MIKE [6], HEC [5] cũng đã cập nhật các tính

năng này vào bộ phần mềm của mình. Mô hình SWAT [7] (Xuesong Zhang), Xinanjing (Dong-mei Xu và cộng sự), Tank (Kouk Kig Kouk), MIKE 11 - NAM,... sử dụng SCE - phương pháp tìm kiếm toàn cục - để xác định giá trị tối ưu của hàm mục tiêu và tránh được các bẫy cực trị địa phương. Mô hình HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) là phần mềm do các kỹ sư thuộc Trung tâm Thủy văn Công trình thuộc Cục Kỹ thuật Quân đội Hoa Kỳ lựa chọn thuật toán đơn biến - Gradient (thực hiện các hiệu chỉnh liên tiếp đối với tham số ước tính) hoặc thuật toán Nelder và Mead để dò tìm tối ưu các thông số.

Tại Viện Cơ học, mô hình thủy văn phân bố ItechTV2 sau một thời gian cải tiến (được viết lại theo lý thuyết của mô hình Marine) với các tính mới: Gán mưa theo 04 phương pháp, tính toán song song trên CPU và GPU giúp bài toán có thể chia ô lưới mịn,... thì gần đây cũng đã phát triển thêm module dò tìm tối ưu các tham số. Việc phát triển này là cần thiết để có thể dò tìm được khối lượng lớn các tham số tương ứng với các thuật toán đã được xây dựng. ItechTV2 đã áp dụng một số phương pháp giải bài toán tối ưu hóa không dùng đạo hàm được chia thành ba nhóm: Phương pháp tìm kiếm (phương pháp

Liên hệ tác giả: Dương Thị Thanh Hương

Email: dthuong.imech@gmail.com

ô vuông, phương pháp Rosenbrock), phương pháp quy hoạch toán học (phương pháp Hooke-Jeeves, phương pháp Nelder-Mead), các thuật toán tối ưu dựa trên nền tảng của sự tiến hóa (Giải thuật di truyền (GA), phương pháp tiến hóa xáo trộn phức hợp (Shuffled Complex Evolution-SCE)).

## 2. Thiết lập mô hình

### 2.1. Mô hình ImechTV2

Để mô phỏng quá trình hình thành dòng chảy sinh ra bởi mưa trên lưu vực dựa trên phương trình bảo toàn khối lượng:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \mathbf{grad}(V) = P_0$$

Với giả thiết vận tốc của dòng chảy trao đổi giữa các ô lưới vuông:

$$\|\mathbf{u}\| = \sqrt{S} \cdot \frac{H^{2/3}}{K_m}$$

Ta có phương trình dưới dạng sai phân:

$$\Delta H + \sum_{j=1}^8 \frac{H_j^{5/3}}{K_m} \cdot \sqrt{S} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x} = P_0 \cdot \Delta t$$

Trong đó:

S: Độ dốc được tính theo 8 hướng;

K<sub>m</sub>: Hệ số nhám Manning;

Δx: Chiều rộng ô lưới;

Δt: Bước thời gian tính từ thời điểm t<sub>1</sub> đến t<sub>2</sub>;

j: Hướng chảy của ô lưới (j = 1 ÷ 8);

H: Độ sâu mực nước của ô lưới tính;

ΔH: Sự thay đổi mực nước của ô lưới tính từ thời điểm t<sub>1</sub> đến t<sub>2</sub>.

Từ đó tính được tổng lưu lượng ra khỏi lưu vực:  $Q = \sum \Delta q = \sum (\Delta H * \Delta x * \Delta x - q_{thấm})$  với q<sub>thấm</sub>: Lưu lượng thấm mỗi ô lưới được tính theo mô hình Green-Ampt.

Mô hình ImechTV2 [1] cải tiến việc gán mưa theo 04 phương pháp (trực tiếp từng ô

lưới, phân chia theo đa giác Thiessen, nội suy Kriging, nghịch đảo khoảng cách) và tính toán song song trên CPU và GPU giúp bài toán có thể chia ô lưới mịn.

Mô hình ImechTV2 sử dụng 06 phương pháp [3] ước lượng tham số tối ưu:

**Phương pháp ô vuông:** Chia miền xác định của từng thông số thành các phần bằng nhau, thực hiện n lần tính toán để tìm miền có giá trị nhỏ nhất của hàm mục tiêu. Phương pháp này chỉ cho phép phát hiện cực trị địa phương đủ rộng hơn mắt lưới.

**Phương pháp Rosenbrock:** Là bước phát triển của phương pháp độ dốc, thích hợp với dạng hàm mục tiêu không tính được đạo hàm riêng phần.

**Phương pháp Hooke-Jeeves:** Xuất phát từ một điểm x ∈ R<sup>n</sup> theo 2n hướng dọc theo n trục tọa độ với độ dài bước h tìm điểm x' có giá trị hàm mục tiêu f(x') tốt hơn f(x).

**Phương pháp Nelder-Mead:** Sử dụng một mô hình hình học gọi là simplex để di chuyển đi mô điểm tối ưu trong không gian tìm kiếm (gọi là "Simplex search method"). Các simplex n-chiều này được biến dạng nhờ 3 phép biến đổi: Đối xứng gương, phép co, phép dẫn dựa vào 4 tham số cần xác định đó là: Hệ số phản xạ, hệ số dẫn C, hệ số co D và hệ số thu hẹp E.

**Giải thuật di truyền (GA):** Giải thuật Di truyền áp dụng quá trình tiến hóa tự nhiên (di truyền, đột biến, chọn lọc tự nhiên và trao đổi chéo) để tìm lời giải gần tối ưu.

**Phương pháp tiến hóa xáo trộn phức hợp (Shuffled Complex Evolution-SCE):** Kết hợp giữa phương pháp Downhill Simplex với các khái niệm của phương pháp tìm kiếm ngẫu nhiên có kiểm soát; sự xáo trộn cạnh tranh; xáo trộn các phức hợp.

Dựa trên tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9845:2013 về "Tính toán các đặc trưng dòng chảy lũ" và đối sánh với bản đồ sử dụng đất và thảm phủ tại lưu vực nghiên cứu, các thông số được dò tìm của mô hình ImechTV2 được liệt kê dưới bảng sau:

Bảng 1. Các thông số của mô hình ImechTV2

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giới hạn dưới	Giới hạn trên
Sức cản bề mặt	n	-	0,01	0,2
Độ rỗng đất	Eta	-	0,05	0,5
Cột nước mao dẫn của mặt ướt	Sf	mm	30	500
Độ dẫn thủy lực	Kga	mm/giờ	0	150
Hệ số thấm	PerInf	-	0	100
Độ ẩm của đất	Theta	-	0	1

Tùy theo đặc trưng của từng ô lưới mà khoảng giá trị của các tham số cần dò tìm cũng được thu hẹp tương ứng theo bảng tiêu chuẩn trên. Trong quá trình tính toán, nhóm tác giả thử nghiệm dò tìm tối ưu bằng 06 phương pháp để so sánh, nhận thấy phương pháp Hooke-Jeeves có “chi phí tính toán” (kết hợp giữa thời gian tính, tốc độ hội tụ,...) là tốt nhất nên được sử dụng để thực hiện nghiên cứu này.

## 2.2. Mô hình MIKE 11 - NAM

Mô hình MIKE 11 - NAM là mô hình dạng bể chứa dùng để tính toán dòng chảy từ mưa. Các bể chứa được sử dụng trong mô hình gồm: Bể tuyết, bể chứa mặt, bể sát mặt (bể tầng rễ cây) và bể chứa ngầm. Mô hình sử dụng thuật toán tiến hóa xáo trộn phức hợp (SCE) - phương pháp tìm kiếm toàn cục - để xác định giá trị tối ưu toàn cục của hàm mục tiêu và tránh được các bẫy cực trị địa phương. Mô hình hiệu chỉnh 9 thông số trong Bảng 2 dưới đây.

Bảng 2. Các thông số của mô hình MIKE 11 - NAM

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giới hạn dưới	Giới hạn trên
Hàm lượng nước tối đa trong dung lượng trên bề mặt	$U_{max}$	mm	5	35
Hàm lượng nước tối đa trong dung lượng tầng đáy	$L_{max}$	mm	50	400
Hệ số dòng chảy tràn trên bề mặt	CQOF	-	0	1
Hằng số thời gian của dòng chảy	CKIF	giờ	200	2.000
Thời gian diễn toán	$CK_{12}$	giờ	3	72
Ngưỡng của dòng chảy mặt	TOF	-	0	0,9
Ngưỡng của dòng chảy sát mặt	TIF	-	0	0,9
Hằng số thời gian	TG	-	0	0,9
Giá trị ngưỡng của lượng nước ngầm	$CK_{BF}$	giờ	500	5.000

## 2.3. Mô hình HEC-HMS

Mô hình HEC-HMS là mô hình toán thủy văn được dùng để tính dòng chảy trên lưu vực bằng cách phân chia thành nhiều lưu vực nhỏ có tính đến các hồ chứa, các nhánh sông và các công trình thủy lợi,... Mô hình sử dụng kết hợp các module: Các phương pháp tính mưa (phương pháp biểu đồ mưa, tính mưa bình quân trên lưu vực); các phương pháp tính tổn thất (tốc độ thấm

ban đầu và thấm ổn định, chỉ số thấm CN, thấm Green và Ampt, độ ẩm đất); các phương pháp tính đường quá trình lũ đơn vị (phương pháp cơ bản, đường quá trình đơn vị tổng hợp); các phương pháp tính toán dòng chảy ngầm (phương pháp cắt nước ngầm, dòng chảy ngầm ổn định theo tháng, hồ chứa tuyến tính); các phương pháp diễn toán dòng chảy (diễn toán sóng động học, Muskingum, diễn toán Muskingum-Cunge, Modified Puls, diễn toán Lag).

Mô hình cho phép lựa chọn thuật toán đơn biến-Gradient (thực hiện các hiệu chỉnh liên tiếp đối với tham số ước tính) hoặc thuật toán Nelder-Mead để dò tìm tối ưu các thông số của

mỗi phương pháp trong các module lựa chọn ở trên. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng thuật toán Nelder-Mead để thực hiện việc dò tìm tối ưu các thông số trong mô hình HEC-HMS [2].

Bảng 3. Các thông số của mô hình HEC-HMS

Mô hình	Thông số	Đơn vị	Giới hạn dưới	Giới hạn trên
Tốc độ thấm ban đầu và thấm ổn định	Tổn thất ban đầu	mm	0	500
	Tỉ lệ thấm ổn định	mm/giờ	0	300
Đường cong thấm SCS	Độ sâu tổn thất ban đầu	mm	0	500
	Chỉ số CN	-	1	100
Thấm Green and Ampt	Độ ẩm tổn thất	-	0	1
	Độ dẫn thủy lực	mm	0	250
	Hút ẩm lớp ướt	mm	0	1.000
Tổn thất và suy giảm đều	Tổn thất ban đầu	mm	0	500
	Tổn thất lớn nhất	mm	0	500
	Hệ số tổn thất thu hồi	-	0,1	5
Đường quá trình đơn vị tổng hợp Clark	Thời gian tập trung	giờ	0,1	500
	Hệ số trữ nước	giờ	0	150
Đường quá trình đơn vị tổng hợp Snyder	Thời gian trễ	giờ	0,1	500
	Hệ số Cp	-	0,1	1
Sóng động học	Thời gian tập trung	phút	0,1	30.000
Nước ngầm	Hệ số nhám Manning	-	0	1
	Dòng chảy ngầm ban đầu	m <sup>3</sup> /s	0	100.000
	Hệ số suy giảm	-	0,000011	-
Phương pháp diễn toán Muskingum	K	giờ	0,1	150
	X	-	0	0,5
	Số bước	-	1	100
Sóng động học định tuyến	Hệ số N-value	-	0,01	10
Phương pháp diễn toán Lag	Thời gian trễ	phút	0	30.000

#### 2.4. Lưu vực nghiên cứu

Lưu vực thủy văn Bản Vẽ có diện tích khoảng 8.690 km<sup>2</sup> bao gồm cả phần diện tích của Lào (phần lớn) và Việt Nam. Dòng chảy chính của lưu vực là dòng Nậm Nơn, đây là một trong hai nhánh sông chính của lưu vực sông Cả.

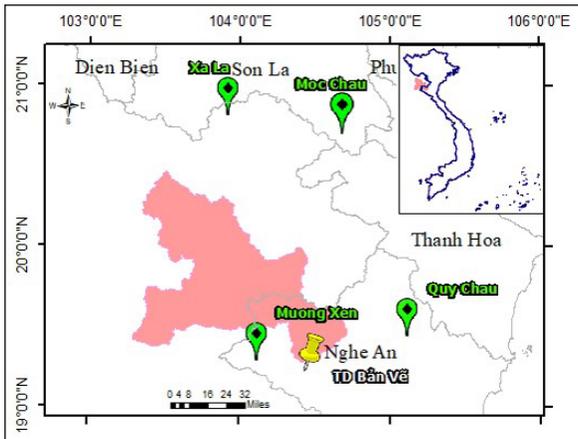
Số liệu địa hình được lấy từ bản đồ cao độ số DEM, từ nguồn của Cơ quan Thám hiểm Hàng không Vũ trụ Nhật Bản (JAXA) với độ phân giải 30 x 30 m. Đây là 1 trong những bản đồ có độ phân giải tốt nhất hiện nay, phiên bản năm 2021.

Bản đồ thám phủ, sử dụng đất có độ phân giải 10 x 10 m với 20 lớp chi tiết, là sản phẩm hợp tác giữa ESRI và Microsoft năm 2020.

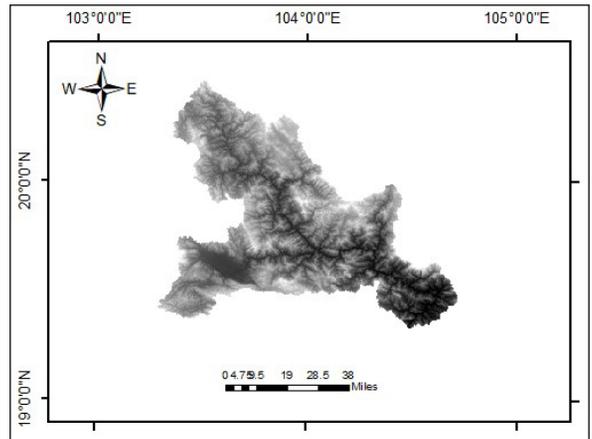
Số liệu khí tượng thủy văn được lấy từ nguồn số liệu của Trung tâm dự báo Khí tượng thủy văn Quốc gia, Tổng cục Khí tượng thủy văn.

+ Số liệu mưa của 4 trạm: Quỳnh Châu, Mường Xén, Xa La, Mộc Châu, đại diện cho lưu vực nghiên cứu.

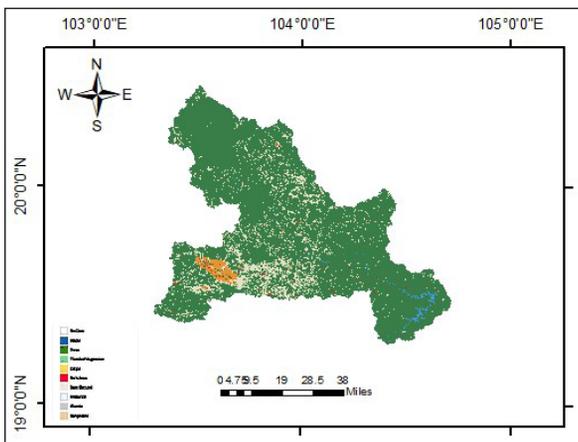
+ Số liệu dòng chảy ra khỏi lưu vực là lưu lượng vào hồ chứa Bản Vẽ.



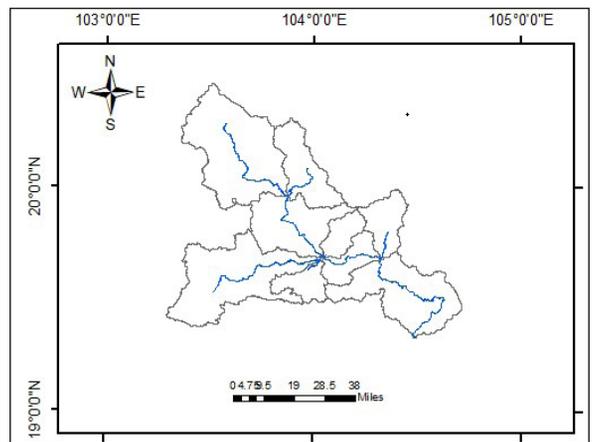
Hình 1a. Vị trí lưu vực



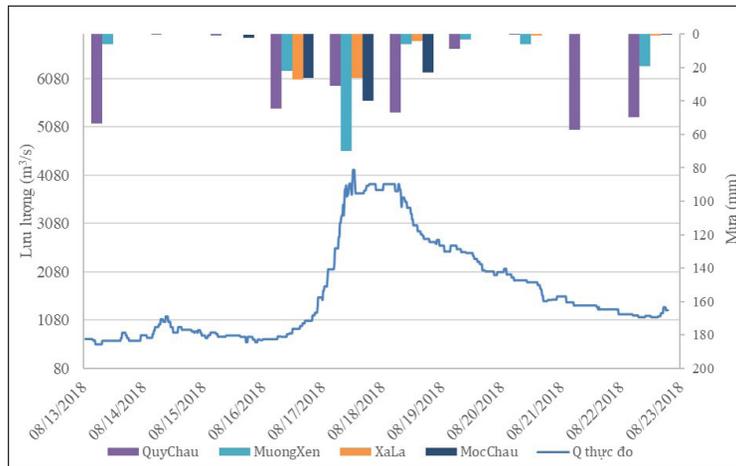
Hình 1b. Mô hình cao độ số (DEM) khu vực nghiên



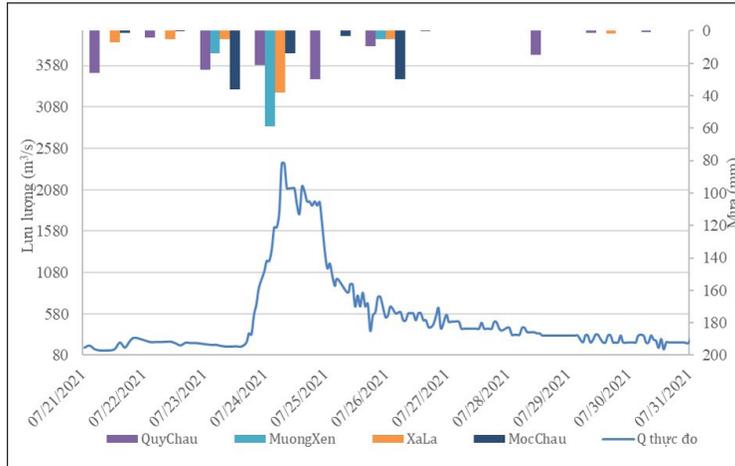
Hình 1c. Lớp thảm phủ khu vực nghiên cứu



Hình 1d. Phân chia tiểu lưu vực cho khu vực nghiên cứu



Hình 2. Số liệu mưa và lưu lượng thực đo ra khỏi lưu vực năm 2018



Hình 3. Số liệu mưa và lưu lượng thực đo ra khỏi lưu vực năm 2021

### 3. Kết quả tính toán

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã thực hiện nghiên cứu 02 trận lũ xảy ra trên lưu vực: Trận lũ tháng 8/2018 dùng để hiệu chỉnh và trận lũ xảy ra tháng 7/2021 để kiểm định lại mô hình đối

với các hệ số đã có được sau khi dò tìm tối ưu ở bước hiệu chỉnh (Bảng 4). Đây là các trận lũ lớn xảy ra trên lưu vực nghiên cứu, có đầy đủ số liệu khí tượng và thủy văn để tính toán hiệu chỉnh và kiểm định.

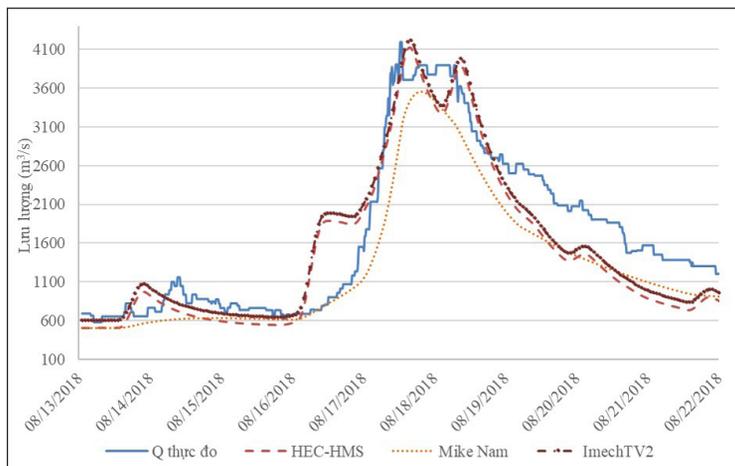
Bảng 4. Các trận lũ sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm định

Phương án	Thời gian bắt đầu	Thời gian kết thúc
Hiệu chỉnh	8/13/2018 01:00:00	8/22/2018 19:00:00
Kiểm định	07/21/2021 01:00:00	31/07/2021 19:00:00

#### 3.1. Dò tìm thông số tối ưu - hiệu chỉnh mô hình

Hình 4 là kết quả tính hiệu chỉnh lưu lượng vào hồ Bản Vẽ của 3 mô hình ItechTV2, HEC-HMS, MIKE 11 - NAM với số liệu thực đo năm 2018.

Để đánh giá kết quả tính toán, bài báo sử dụng chỉ tiêu NSE so sánh hai quá trình dòng chảy thực đo và tính toán (Bảng 5). Bộ thông số tìm được cho kết quả chỉ số NSE khá tốt, đều trên 0,8, định lượng và định tính khá phù hợp giữa tính toán và thực đo.



Hình 4. Kết quả hiệu chỉnh của 3 mô hình

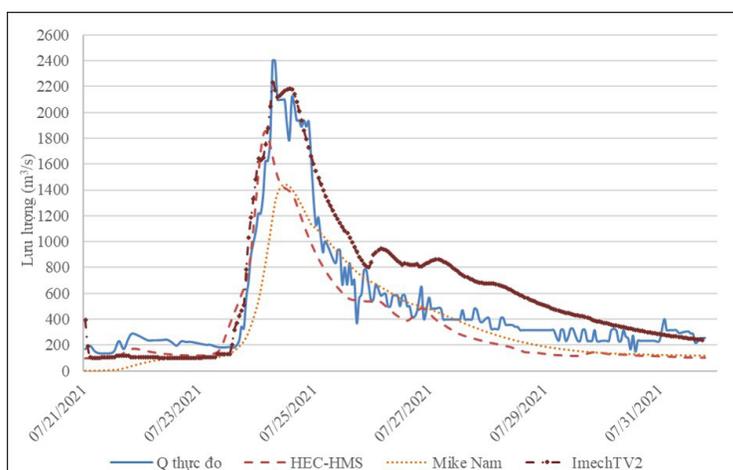
Bảng 5. Kết quả chỉ số NSE của phương án tính hiệu chỉnh

Phương án	ImechTV2	HEC-HMS	MIKE 11 - NAM
Hiệu chỉnh	0,85	0,82	0,8

### 3.2. Kiểm định mô hình

Sau khi đã dò tìm được bộ thông số tốt nhất có thể ở bước hiệu chỉnh, sử dụng để thực hiện tính toán cho phương án kiểm định năm 2021.

Kết quả kiểm định được thể hiện ở Hình 5 và Bảng 6. Có thể thấy, kết quả tính kiểm định của 3 mô hình đều khá tốt, trong đó ImechTV2 có chỉ số NSE đạt 0,78, cao hơn so với mô hình MIKE 11 - NAM và HEC-HMS.



Hình 5. Kết quả kiểm định của 3 mô hình

Bảng 6. Kết quả chỉ số NSE của phương án tính kiểm định

Phương án	ImechTV2	HEC-HMS	MIKE 11 - NAM
Kiểm định	0,78	0,76	0,73

### 4. Kết luận

Việc hiệu chỉnh các thông số của các mô hình thủy văn là công việc đòi hỏi ngoài kinh nghiệm của người dự báo viên, còn cần thực hiện một số lượng lớn các lần tính toán thử đúng-sai, trong nhiều trường hợp không đạt được kết quả như mong muốn. Nhờ các thuật toán dò tìm thông số tối ưu này, việc hiệu chỉnh mô hình là khả thi. Tuy có thể mất nhiều thời gian chạy dò tìm thông số các mô hình tùy theo loại và số lượng thông số (mô hình MIKE 11 - NAM là mô hình thủy văn thông số tập trung với 9 thông số cần tối ưu - thời gian chạy khoảng 1 phút; mô

hình HEC-HMS với khoảng 30 thông số cho lưu vực Bản Vẽ với điều kiện lập vừa phải - thời gian tính toán khoảng 1 giờ; mô hình thủy văn thông số phân bố ImechTV2 dò tìm khá nhiều thông số cho từng ô lưới - thời gian chạy khoảng 6 h, nhưng lại cho kết quả khả quan hơn). Qua việc thử nghiệm tính toán cho lưu vực Bản Vẽ năm 2018, 2021 cho thấy khả năng áp dụng việc dò tìm thông số tối ưu tự động bằng các thuật toán hiện đại đạt kết quả tốt so với các phương pháp dò tìm thủ công trước đây (thử đúng-sai, kinh nghiệm, tham chiếu tương đương) đồng thời cũng nâng cao chất lượng dự báo dòng chảy trên lưu vực.

**Lời cảm ơn:** Nhóm nghiên cứu xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của Đề tài cơ sở cấp Viện Cơ học năm 2022: “Ứng dụng một số phương pháp ước tính thông số tối ưu cho mô hình thủy văn phân bố”, trong việc thực hiện và công bố nghiên cứu này.

## Tài liệu tham khảo

### Tài liệu tiếng Việt

1. Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam (2005), “Nghiên cứu cơ sở khoa học cho các giải pháp tổng thể dự báo phòng tránh lũ lụt ở đồng bằng sông Hồng”, Đề tài cấp Nhà nước KC-08-13 thuộc Chương trình Bảo vệ môi trường và Phòng tránh thiên tai.
2. Nguyễn Đức Hạnh, Hoàng Thị Mỹ Linh (2013), “Tối ưu hóa một số thông số của mô hình mưa dòng chảy sử dụng PP SCE”, *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*, Tập 29, số 2S, 112-120.
3. Nguyễn Chính Kiên, Nguyễn Thị Hằng (2020), “Thử nghiệm một số phương số giải bài toán ước tính thông số tối ưu cho mô hình thủy văn”, *Tuyển tập báo cáo Hội nghị khoa học 45 năm Viện HL KH&CN VN-Tiểu ban CNTT, Điện tử, Tự động hóa và CN vũ trụ* ISBN: 978-604-9985-06-5. 2020.

### Tài liệu tiếng Anh

4. HEC-HMS Technical Reference Manual.
5. HEC-HMS 4.10 User’s Manual.
6. Mike 11, A Modelling System for Rivers and Channels, Reference Manual 2021.
7. SWAT 2012, User manual

## PARAMETER OPTIMIZATION FOR HYDROLOGICAL FORECASTING MODEL PILOTING FOR BAN VE RESERVOIR

Duong Thi Thanh Huong<sup>(1)</sup>, Nguyen Thi Hang<sup>(1)</sup>, Nguyen Chinh Kien<sup>(1)</sup>, Van Thi Hang<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>*Institute of Mechanics, Vietnam Academy of Science and Technology*

<sup>(2)</sup>*Viet Nam Institute of Meteorology, Hydrology and Climate Change*

*Received: 15/8/2022; Accepted: 12/9/2022*

**Abstract:** *In hydrological models, it is necessary to correct parameters for each basin which depends on the experience of the researcher. In this paper, some near-optimal detection methods to find the suitable set of parameters were tested. Commercial model MIKE 11 - NAM, HEC-HMS and self-developed model ImechTV2 are used to calculate for Ban Ve lake basin. On the basis of the calibration parameters in the flood of 2018, the flood of 2021 data is used for verification and received good results. Although the detection time of the ImechTV2 distributed hydrological model is large, the NSE index shows it is better computational efficiency than the MIKE 11 - NAM and HEC-HMS hydrological models.*

**Keywords:** *Near-optimal detection method, hydrological model, Ban Ve.*