

## **PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ ĐỘ NHẠY CÁC THÔNG SỐ MÔ HÌNH THỦY VĂN VÀ ỨNG DỤNG CHO MÔ HÌNH MƯA - DÒNG CHẢY NAM TRÊN LƯU VỰC SÔNG VỆ**

**Trịnh Xuân Mạnh<sup>1</sup>, Trần Quốc Việt<sup>1</sup>, Lê Thị Thường<sup>1</sup>**

**Tóm tắt:** Mô hình toán thủy văn đang ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong các nghiên cứu hoặc dự án liên quan đến đánh giá và dự báo dòng chảy, chất lượng nước, quản lý tài nguyên nước. Phân tích độ nhạy nhằm mục đích xác định các tham số chính ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng đóng một vai trò quan trọng trong việc ứng dụng các mô hình toán nói chung, đặc biệt mô hình mưa dòng chảy nói riêng. Các mô hình toán đang có sự phát triển mạnh mẽ nhằm mô phỏng đầy đủ các quá trình vật lý xảy ra trong tự nhiên, do đó chúng dần trở nên phức tạp hơn kéo theo số lượng các thông số trong mô hình nhiều hơn, đòi hỏi cần có sự phân tích độ nhạy kỹ lưỡng. Để phục vụ có hiệu quả cho việc hiệu chỉnh và kiểm định mô hình, các phương pháp phân tích độ nhạy thông số cần được áp dụng trước tiên làm cơ sở để đưa ra một chiến lược hiệu chỉnh, tối ưu thông số sao cho phù hợp nhất với từng loại mô hình, lưu vực và số liệu có sẵn. Bài báo giới thiệu và phân tích một số phương pháp phân tích độ nhạy thông số thường được sử dụng trong các nghiên cứu trên thế giới và ứng dụng cho mô hình mưa dòng chảy thông số tập trung NAM trên lưu vực sông Vệ.

**Từ khóa:** Phân tích độ nhạy, mô hình toán, MIKE11 NAM, Sông Vệ.

### **1. MỞ ĐẦU**

Trong hơn ba thập kỉ vừa qua, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của lĩnh vực công nghệ thông tin thì mô hình toán thủy văn cũng có những bước tiến đáng kể khi các thuật toán phức tạp được áp dụng nhằm mô tả chi tiết các quá trình vật lý xảy ra trong chu trình thủy văn như quá trình hình thành dòng chảy từ mưa, quá trình chuyển động của nước trong sông và vùng ngập lũ, các quá trình liên quan đến vận chuyển bùn cát và chất lượng nước. Từ những phương pháp mô hình đơn giản ban đầu như mô hình tỷ lệ (Rational methods) đến các mô hình phân bố phức tạp (Distribution models) đang được ứng dụng rất rộng rãi trong nhiều các đề tài nghiên cứu và dự án thực tiễn.

Trong thực tế thì tùy vào từng loại mô hình khác nhau mà số lượng các thông số là khác nhau, có mô hình chỉ vài thông số cơ bản đến những mô hình phức tạp có hàng trăm thông số. Mỗi một mô

hình ứng với các điều kiện lưu vực khác nhau sẽ có các thông số nhạy khác nhau. Số lượng các thông số mô hình lớn là một thách thức với công tác hiệu chỉnh và kiểm định mô hình nhằm tìm ra bộ thông số tối ưu nhất. Có rất nhiều các thuật toán tối ưu đã được phát triển để giải quyết các vấn đề nêu trên, nhưng một thực tế là để tối ưu toàn bộ các thông số mô hình là khó khả thi và không thực sự cần thiết trong quá trình hiệu chỉnh. Do đó, khi ứng dụng các thuật toán tối ưu cho hiệu chỉnh mô hình thì các thông số không quan trọng hoặc ít tác động đến kết quả đầu ra sẽ được cố định giá trị không thay đổi nhằm tăng hiệu quả tính toán cũng như giảm đáng kể thời gian tìm kiếm thông số tối ưu. Ngày nay có nhiều các phương pháp phân tích độ nhạy thông số khác nhau như các phương pháp cục bộ hoặc toàn diện (local hoặc global method), phương pháp phân tích số lượng hoặc chất lượng (Qualitative hoặc quantitative method), phương pháp quét hoặc lọc (Screening hoặc refined method) được sử dụng khá rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau, không chỉ riêng ngành thủy văn. Mỗi một phương

---

<sup>1</sup> Khoa Khí Tượng Thủy Văn - Đại học Tài Nguyên và Môi Trường Hà Nội

pháp nêu trên có sự khác biệt rất lớn về cách thức chọn mẫu, khả năng ứng dụng, cấu trúc thuật toán v.v. Do đó cần phải có sự tìm hiểu và phân tích kỹ lưỡng trước khi ứng dụng bất kì phương pháp nào vào việc phân tích độ nhạy thông số nhằm đạt hiệu quả cao nhất trong hiệu chỉnh mô hình.

Nghiên cứu này sẽ giới thiệu và phân tích hai phương pháp thông dụng trong phân tích độ nhạy mô hình gồm phương pháp phân tích thông số cục bộ và toàn diện. Lưu vực sông Vệ tính đến trạm thủy văn An Chỉ tại tỉnh Quảng Ngãi có đầy đủ số liệu về khí tượng thủy văn bao gồm các số liệu về mưa, bốc hơi, dòng chảy, đồng thời các trạm mưa phân bố khá đồng đều trên toàn bộ lưu vực nên phù hợp cho việc ứng dụng mô hình mưa dòng chảy. Hai phương pháp phân tích độ nhạy nêu trên sẽ được áp dụng nhằm đánh giá các thông số nhạy của mô hình thủy văn NAM. Kết quả nghiên cứu được trình bày và phân tích trong các nội dung dưới đây.

## 2. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ ĐỘ NHẠY THÔNG SỐ

Trước tiên cần định nghĩa rõ ràng thế nào là độ nhạy thông số hoặc thông số nhạy bởi có nhiều thuật ngữ được sử dụng liên quan đến thông số mô hình toán như thông số nhạy, thông số quan trọng, thông số chính, thông số ảnh hưởng v.v. Nhìn chung trong mô hình toán thủy văn thông số nhạy có thể được hiểu là thông số mà sự thay đổi của thông số này trong phạm vi biến đổi của nó có ảnh hưởng lớn đến sự biến đổi của kết quả đầu ra của mô hình. Hay nói cách khác khi thông số được cho là nhạy thay đổi giá trị thì kết quả đầu ra sẽ có sự biến đổi rõ ràng. Độ nhạy của thông số sẽ được đánh giá thông qua các hàm mục tiêu hay sai số đánh giá khác nhau nhằm tìm ra được mối quan hệ giữa các thông số đầu vào và sự biến đổi của kết quả đầu ra của một mô hình cụ thể. Dựa trên phạm vi, khả năng ứng dụng và đặc điểm của từng phương pháp phân tích độ nhạy mà có thể chia làm hai loại phương pháp chính gồm phương pháp phân tích cục bộ và phương pháp phân tích toàn diện. Bên cạnh đó, các phương pháp phân tích độ nhạy thông số thường được chia thành 2 nội dung cơ bản gồm chọn mẫu và tính toán chỉ số độ nhạy.

### 2.1. Phương pháp phân tích độ nhạy cục bộ

Phương pháp phân tích này khá đơn giản khi đánh giá độ nhạy của một thông số tại một giá trị cố định trong toàn miền giá trị của thông số đó. Điểm giá trị để đánh giá độ nhạy thông số có thể là giá trị mặc định của thông số đó trong mô hình hoặc lựa chọn một giá trị bất kì nào đó trong miền giá trị. Theo đó, có nhiều cách lựa chọn sự thay đổi của thông số ( $\Delta$ ) xung quanh giá trị đã chọn, có thể là  $\pm 20\%$  hoặc  $\pm 50\%$ , hoặc cũng có thể  $\pm 1\%$  của toàn miền xác định của thông số đó. Tổng số mô phỏng trong mô hình khi áp dụng phương pháp này là  $2n+1$ ,  $n$  là số lượng các thông số sử dụng. Đối với phương pháp này, khi đánh giá độ nhạy cho một thông số cụ thể thì các thông số khác sẽ được cố định giá trị hay nói cách khác là chỉ thay đổi giá trị của một thông số cho mỗi lần tính trong khi các thông số còn lại giữ nguyên giá trị ban đầu. Độ nhạy của thông số (SI) được lượng hóa thông qua chỉ số độ nhạy, chỉ số này được xác định thông qua mức biến đổi tương đối của thông số và kết quả đầu ra của mô hình. Trong khi đó kết quả đầu ra mô hình được tính toán thông qua các hàm mục tiêu. Nếu gọi  $y_0$  là kết quả đầu ra của mô hình theo giá trị thông số ban đầu  $x_0$ , khi đó giá trị  $x_0$  sẽ được tính toán biến đổi theo hệ số  $\pm\Delta x$  sẽ là  $x_1 = x_0 - \Delta x$  và  $x_2 = x_0 + \Delta x$ , tương ứng với  $x_1$  và  $x_2$  sẽ xác định được  $y_1$  và  $y_2$ . Sự phụ thuộc của biến  $y$  và biến  $x$  sẽ được xác định thông qua đạo hàm riêng như sau  $\partial y / \partial x$ . Công thức trên được viết lại gần đúng dưới dạng vi phân để xác định được công thức chỉ số độ nhạy như sau:

$$SI = \frac{y_2 - y_1}{2\Delta x} \quad (1)$$

Công thức (1) còn chứa thứ nguyên do  $y$  và  $x$  có thứ nguyên khác nhau. Do đó để loại bỏ thứ nguyên thì công thức (1) được biến đổi thành như dưới đây.

$$SI = \frac{\frac{y_2 - y_1}{y_0}}{\frac{2\Delta x}{x_0}} \quad (2)$$

Theo Lenhart (2002) thì chỉ số độ nhạy được phân thành các cấp khác nhau dựa trên mức độ nhạy gồm Không nhạy, Trung bình, Cao và Rất cao như bảng 1. Có thể nói ưu điểm của phương pháp này là đơn giản, dễ thực hiện cho người sử

dụng mô hình. Tuy nhiên, phương pháp này còn tồn tại một số hạn chế như chỉ đánh giá độ nhạy thông số tại những giá trị nhất định mà chưa xem xét trên toàn miền giá trị có thể có của thông số, do đó tính bất định của phương pháp là khá cao.

Ngoài ra, sự tương tác giữa các thông số đối với nhau và với kết quả đầu ra mô hình cũng chưa được đánh giá một cách cụ thể. Để khắc phục các hạn chế này thì phương pháp phân tích độ nhạy toàn diện là một trong những giải pháp phù hợp.

**Bảng 1. Bảng phân cấp độ nhạy của thông số mô hình**

Cấp độ	Chỉ số SI	Mức độ nhạy
I	$0.00 \leq  SI  < 0.05$	Không nhạy
II	$0.05 \leq  SI  < 0.20$	Trung bình
III	$0.20 \leq  SI  < 1.00$	Cao
IV	$ SI  \geq 1.00$	Rất cao

## 2.2. Phương pháp phân tích độ nhạy toàn diện

Trong thực tế thì phương pháp này thường được đề xuất sử dụng cho các mô hình toán thủy văn bởi chúng có nhiều những ưu điểm so với phương pháp phân tích độ nhạy cục bộ. Cũng có thể nói, các phương pháp phân tích độ nhạy toàn diện khắc phục được các hạn chế của phương pháp cục bộ bởi chúng có khả năng đánh giá được sự ảnh hưởng của các thông số trên toàn miền xác định, cũng như xem xét sự tương tác giữa các thông số đầu vào mà không bị ảnh hưởng bởi ý kiến chủ quan của người sử dụng mô hình và lưu vực đánh giá. Trong phương pháp này có thể chia thành các nhóm phương pháp khác như Phân tích độ nhạy khu vực (Regional Sensitivity Analysis), Phương pháp dựa trên phân tích phương sai (Variance based methods), Phương pháp dựa vào hồi quy (Regression based methods) và Phương pháp Bayesian. Trong bài báo này chúng tôi chỉ giới thiệu và phân tích tóm tắt phương pháp phân tích độ nhạy khu vực.

Phân tích độ nhạy khu vực cũng có thể gọi là phương pháp phân tích độ nhạy tổng quát (Generalized sensitivity analysis) được nghiên cứu và phát triển đầu tiên bởi Spear và Hornberger (1980) và được ứng dụng nhiều trong các nghiên cứu về thủy văn trên thế giới. Phương pháp này có thể ứng dụng cả hai thuật toán chọn mẫu ngẫu nhiên gồm Monte Carlo và Latin hypercube. Lựa chọn mẫu và phân nhóm thông số là hai nội dung cơ bản khi áp dụng phương pháp này. Các tập giá trị thông số mô hình sẽ được lựa chọn trong miền

xác định của nó theo hai phương pháp chọn mẫu nêu trên. Theo đó, phương pháp Monte Carlo sẽ chọn mẫu ngẫu nhiên bằng cách sử dụng một hàm phân bố đồng nhất đa biến chung cho tất cả các thông số. Phương pháp Latin hypercube cơ bản cũng dựa trên phương pháp Monte Carlo nhưng có sử dụng cách tiếp cận khác bằng cách phân tầng nhóm mẫu, cụ thể, phương pháp này chia khoảng giá trị của thông số ra thành N tầng và mỗi tầng sẽ tương ứng với một xác suất xuất hiện là 1/N. Các hàm phân bố đồng dạng sẽ được gán cho mỗi tầng giá trị. Sau đó các giá trị ngẫu nhiên sẽ được lựa chọn trong mỗi tầng để tạo thành một bộ thông số cho việc mô phỏng trong mô hình. Sau khi chọn mẫu sẽ tiến hành chạy mô hình để tính toán kết quả đầu ra, khi đó các bộ thông số mô hình lần lượt được phân tách thành hai nhóm như đã nêu. Cuối cùng phương pháp phân tích độ nhạy này sẽ dựa trên việc đánh giá bằng đồ thị hoặc thống kê để xác định các thông số nhạy nhất.

Đối với phân tích bằng đồ thị thì có thể sử dụng các biểu đồ của hàm phân bố lũy tích để xác định. Theo đó, việc phân nhóm các thông số mô hình sẽ dựa trên tính chất “hành vi/ không có hành vi” (behavioral/nonbehavioral) của các đường cong phân bố lũy tích của từng nhóm thông số. Wagener và các cộng sự (2001) đã đề xuất một phương pháp đánh giá độ nhạy dựa trên phương pháp phân tích độ nhạy tổng quan này. Theo đó, các tập giá trị thông số mô hình được chia thành 10 nhóm có kích cỡ như nhau dựa trên việc sắp xếp các kết quả đầu ra của mô hình. Hàm phân bố lũy tích được xác định cho từng thông số trong

mỗi nhóm như vậy mỗi thông số sẽ có 10 đường cong phân bố lũy tích. Nếu các đường cong này là hội tụ với nhau thì thông số đó không nhạy, ngược lại nếu chúng phân tán thì thông số đó là nhạy đối với kết quả đầu ra của mô hình. Ngoài ra có thể định lượng hóa độ nhạy bằng cách sử dụng công thức thống kê của Kolmogorow-Smirnov:

$$S_i = \max \left| F_i^B(x_i) - F_i^{\bar{B}}(x_i) \right| \quad (3)$$

Trong đó  $S_i$  là độ nhạy thông số thông số  $i$ ,  $F_i^B(x_i)$  và  $F_i^{\bar{B}}(x_i)$  lần lượt là hàm phân bố lũy tích cận biên của hai nhóm thông số gồm có “hành vi” và “không có hành vi”.

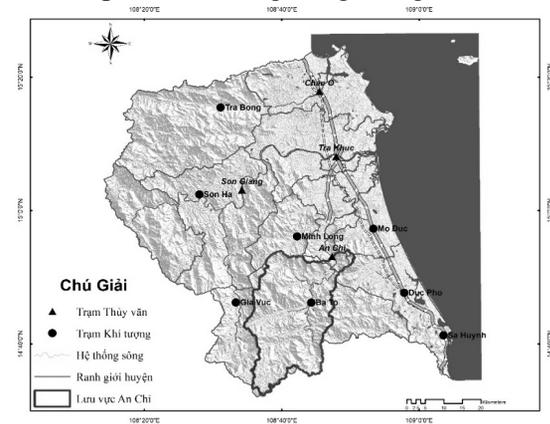
Trong nghiên cứu này phương pháp phân tích độ nhạy bằng đồ thị sẽ được áp dụng như là một phương pháp chính để phân tích độ nhạy các thông số mô hình. Nhìn chung phương pháp phân tích độ nhạy toàn diện có nhiều ưu điểm hơn so với phương pháp phân tích cục bộ. Tuy nhiên nó cũng có những hạn chế nhất định, do mỗi một thông số sẽ được khảo sát trên toàn miền giá trị nên nếu mô hình có số lượng thông số lớn thì tập giá trị bộ thông số là rất lớn kéo theo thời gian mô phỏng tính toán là rất nhiều và chiếm nhiều tài nguyên máy tính hơn.

### 3. TỔNG QUAN LƯU VỰC NGHIÊN CỨU VÀ MÔ HÌNH

#### 3.1. Lưu vực nghiên cứu

Lưu vực sông Vệ là một trong 4 hệ thống sông thuộc tỉnh Quảng Ngãi. Lưu vực có diện tích vào khoảng 1.263 km<sup>2</sup> nằm ở phía Nam của Tỉnh và là lưu vực lớn thứ 2 trong tỉnh. Sông bắt nguồn từ rừng núi phía Tây, chạy theo hướng Tây Nam – Đông Bắc, giữa các huyện Tư Nghĩa, đổ ra biển Đông tại cửa Cổ Lũy và cửa Đức Lợi (hình 1). Sông chính có chiều dài khoảng 90 km trong đó 2/3 chiều dài chảy trong vùng núi có độ cao 100 đến 1000 m, mật độ sông suối trong lưu vực đạt 0,79 km/km<sup>2</sup>, độ dốc bình quân vào khoảng 19,9% (Nguyễn Ngọc Hà, 2015). Sông Vệ có 5 phụ lưu lớn nhỏ với tổng chiều dài là 995 km, các phụ lưu chính cấp I gồm các sông Nê, sông Trà Nô, sông Vực Hồng phát triển mạnh phía bờ tả. Nằm ở sườn phía Đông của dãy Trường Sơn, lưu vực sông Vệ có địa hình phức tạp bao gồm cả vùng núi cao, trung du và đồng bằng. Sông Vệ có nguồn

nước mặt dồi dào, tập trung chủ yếu vào 3 tháng mùa lũ. Lượng mưa biến đổi từ 1900 đến 3600 mm và phân bố không đồng đều giữa các vùng.



Hình 1. Bản đồ lưu vực sông Vệ và các trạm khí tượng thủy văn

#### 3.2 Tổng quan mô hình mưa - dòng chảy

Mô hình NAM (Nedbor-Afstrømnings- Model) được phát triển tại Khoa Thủy văn, Viện Kỹ thuật Thủy động lực và Thủy lực thuộc Đại học Kỹ thuật Đan Mạch năm 1982. Trong mô hình NAM các thông số và các biến là đại diện cho các giá trị được trung bình hóa trên toàn lưu vực. Mô hình tính quá trình mưa - dòng chảy theo cách tính liên tục hàm lượng ẩm trong bể chứa riêng biệt có tương tác lẫn nhau (DHI, 2011). Mô hình NAM đã được ứng dụng rộng rãi ở Việt Nam trong rất nhiều các nghiên cứu nên có độ tin cậy cao và đã được kiểm chứng phù hợp với lưu vực ở nước ta. Cấu trúc mô hình NAM được xây dựng trên nguyên tắc các hồ chứa theo chiều thẳng đứng và các hồ chứa tuyến tính, gồm 5 bể chứa theo chiều thẳng đứng gồm bể chứa tuyết tan, bể chứa mặt, bể chứa tầng dưới, bể chứa ngầm tầng trên và bể chứa ngầm tầng dưới. Trong mô hình NAM dòng chảy mặt được xác định khi lượng trữ bề mặt đã tràn,  $U > U_{max}$ , thì lượng nước thừa PN sẽ gia nhập vào thành phần dòng chảy mặt. Thông số CQOF đặc trưng cho phần nước thừa PN đóng góp vào dòng chảy mặt. Nó được giả thiết là tương ứng với PN và biến đổi tuyến tính theo quan hệ lượng trữ ẩm đất,  $L/L_{max}$ , của lượng trữ ẩm tầng thấp (DHI, 2011).

$$Q_{DF} = \begin{cases} CQ_{OF} \frac{L/L_{max} - T_{DF}}{1 - T_{DF}} P_N \text{ Nếu } \frac{L}{L_{max}} > T_{DF} \\ 0 & \text{Nếu } \frac{L}{L_{max}} \leq T_{DF} \end{cases} \quad (4)$$

Trong đó CQOF= hệ số dòng chảy tràn trên mặt đất ( $0 \leq CQOF \leq 1$ ), TOF = giá trị ngưỡng của dòng chảy tràn ( $0 \leq TOF \leq 1$ ).

**Bảng 1. Bảng mô tả một số thông số mô hình MIKE11 NAM và khoảng giới hạn**

Thông số	Khoảng giới hạn	Đơn vị	Ý nghĩa thông số
$L_{max}$	50 - 300	mm	Lượng nước tối đa trong bể chứa tầng rễ cây
$U_{max}$	10 - 30	mm	Lượng nước tối đa trong bể chứa mặt
CQOF	0.0 – 1.0	-	Hệ số dòng chảy mặt quy quyết định sự phân phối của mưa hiệu quả cho dòng chảy ngầm và thấm.
TOF	0.0 - 0.99	-	Giá trị ngưỡng của dòng chảy mặt. Dòng chảy mặt chỉ hình thành khi lượng ẩm tương đối của đất ở tầng rễ cây lớn hơn TOF
TIF	0.0 - 0.99	-	Giá trị ngưỡng của dòng chảy sát mặt. Dòng chảy sát mặt chỉ hình thành khi lượng ẩm tương đối của đất ở tầng rễ cây lớn hơn TIF
TG	0.0 - 0.99	-	Giá trị ngưỡng của lượng nước bổ sung của dòng chảy ngầm. Lượng nước bổ sung cho bể chứa ngầm chỉ hình thành khi lượng ẩm tương đối của đất ở tầng rễ cây lớn hơn TG
CKIF	500 - 1000	h	Hằng số thời gian của dòng chảy sát mặt CKIF cùng với $U_{max}$ quyết định dòng chảy sát mặt
CK1,2	3- 48	h	Hằng số thời gian cho diễn toán dòng chảy mặt và sát mặt. Dòng chảy mặt và sát mặt được diễn toán theo các bể chứa tuyến tính theo chuỗi với cùng một hằng số thời gian CK1,2
CKBF	1000-3000	h	Hằng số thời gian dòng chảy ngầm

Mô hình NAM sau này được tích hợp vào mô hình thủy lực MIKE11 do Viện Nghiên cứu Thủy Lực Đan Mạch xây dựng và sau đây gọi là mô hình MIKE11 NAM. Trong mô hình có khoảng 23 thông số đại diện cho các quá trình hình thành dòng chảy từ mưa tại các bể tuyết, chứa mặt, sát mặt, bể ngầm và tưới tiêu. Bảng 1 trình bày ý nghĩa của 9 thông số phổ biến thường được sử dụng cho bể mặt, sát mặt và bể ngầm cùng khoảng giá trị của chúng trong mô hình, các thông số còn lại có thể tham khảo thêm trong DHI (2011).

#### 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mô hình MIKE11 NAM được thiết lập cho lưu vực sông Vệ trong đó sử dụng 3 trạm mưa gồm An Chi, Ba Tơ và Giá Vực. Trong nghiên cứu này mô hình chỉ sử dụng ba bể chứa chính là bể mặt, bể sát mặt và bể ngầm với tổng số thông số là 16. Số liệu bốc hơi tiềm năng được tính thông qua số liệu bốc hơi thực đo tại trạm khí tượng Ba Tơ. Trọng số các trạm mưa dùng để tính mưa bình quân lưu vực được xác định bằng phương pháp đa giác Thai-son. Kết

quả đầu ra của mô hình được tính toán thông qua các hàm mục tiêu gồm sai số căn quân phương (RMSE), sai số trung bình (AE) và sai số đỉnh (ErrMax). Các công thức tính các sai số nêu trên được trình bày sau đây, trong đó  $Sim_i$  và  $Obs_i$  lần lượt là giá trị thực đo và tính toán, n là độ dài chuỗi số.

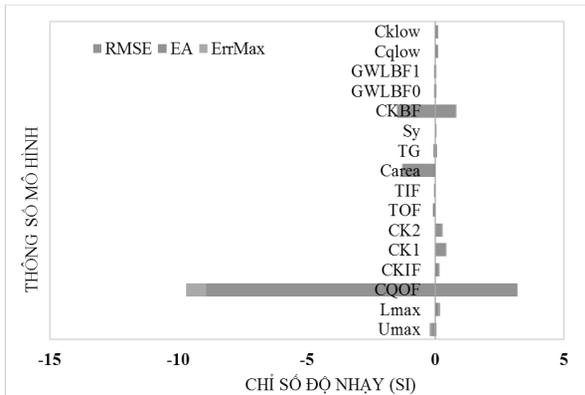
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Sim_i - Obs_i)^2} \quad (5)$$

$$AE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Sim_i - Obs_i) \quad (6)$$

$$ErrMax = (Max(Sim_i) - Max(Obs_i)) \quad (7)$$

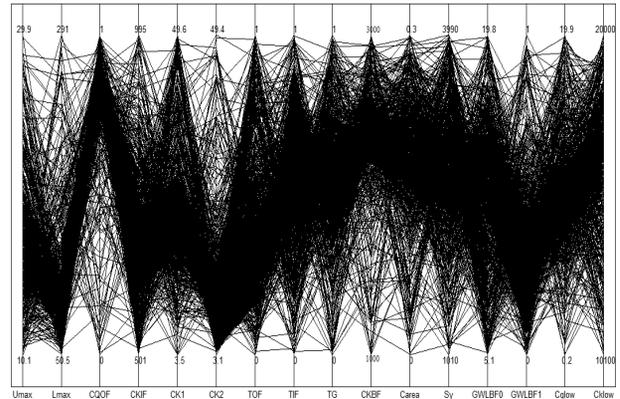
Áp dụng phương pháp đánh giá độ nhạy cục bộ như đã trình bày ở trên, trong đó độ biến đổi của các giá trị thông số mô hình được chọn là  $\Delta x = \pm 20\%$ . Sử dụng số liệu mưa và dòng chảy mùa lũ từ tháng 9 đến tháng 12 năm 2017 để tiến hành mô phỏng trong mô hình, số liệu mô phỏng giai đoạn đầu được kéo dài nhằm làm “nóng” mô hình và giảm sai số do ảnh

hường của điều kiện ban đầu. Bộ thông số được lựa chọn để đánh giá độ nhạy là giá trị trung bình trong khoảng giới hạn của từng thông số. Đầu ra của mô hình sử dụng các công thức RMSE, AE và ErrMax. Tổng số mô phỏng bằng mô hình là 33. Kết quả khi áp dụng phương pháp đánh giá độ nhạy này cho lưu vực sông Vệ với cả ba hàm mục tiêu cho thấy các thông số nhạy nhất bao gồm CQOF, CK12, Umax, Lmax, CKBF và Carea (hình 2). Trong đó thông số CQOF là nhạy nhất với cả ba hàm mục tiêu và đặc biệt nhạy với sai số đỉnh.

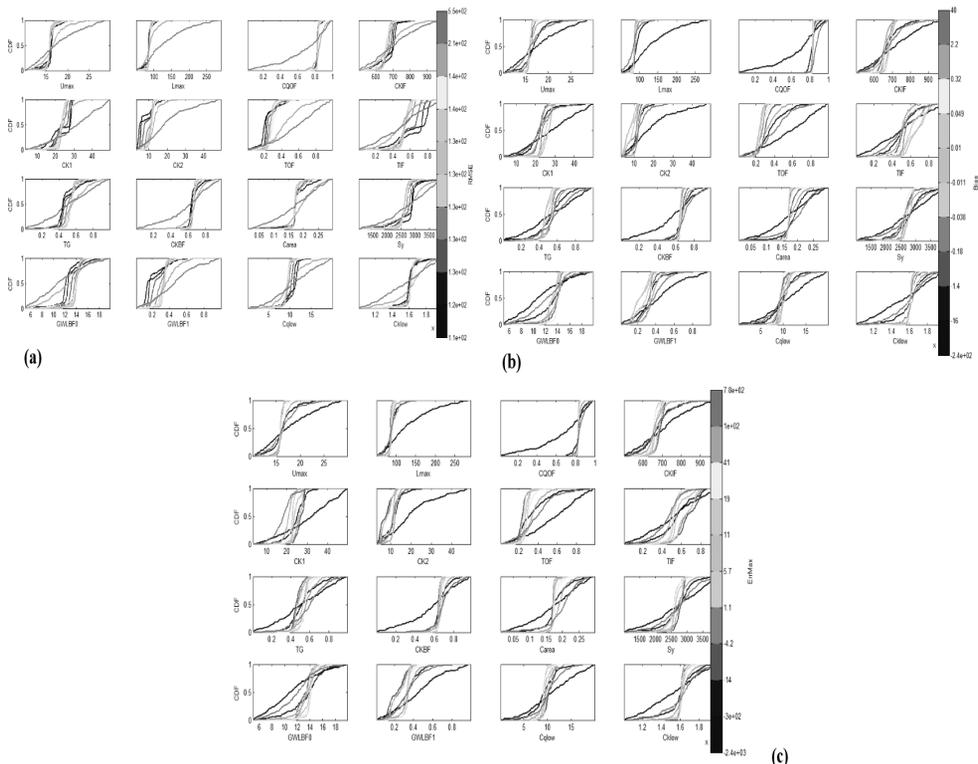


Hình 2. Độ nhạy các thông số mô hình MIKE11 NAM cho lưu vực sông Vệ

Tiếp theo phương pháp phân tích độ nhạy toàn diện với phương pháp lấy mẫu Monte Carlo được áp dụng. Trong đó 16 thông số của ba bể chứa chính được lựa chọn để tạo ra 2000 bộ thông số là sự kết hợp ngẫu nhiên của các giá trị thông số trong miền xác định của chúng. Các bộ thông số được mô phỏng trong mô hình để xác định các giá trị đầu ra cho phân tích độ nhạy. Hình 3 mô tả sự kết hợp giữa các thông số và khoảng giá trị giới hạn của mỗi thông số mô hình MIKE11 NAM.



Hình 3. Phân bố các giá trị thông số và khoảng giới hạn



Hình 4. Đường cong phân bố tần suất lũy tích của các thông số ứng với các hàm mục tiêu (a) sai số căn quân phương, (b) sai số trung bình và (c) sai số đỉnh.

Để đánh giá độ nhạy thông số phương pháp tiếp cận sử dụng đồ thị được sử dụng trong nghiên cứu này. Hình 4 thể hiện kết quả tính toán các đường cong phân bố tần suất lũy tích của các thông số ứng với các hàm mục tiêu như AE, RMSE và Errmax. Mỗi một thông số được thể hiện bằng một biểu đồ gồm các đường cong phân bố tần suất lũy tích theo các nhóm từ 1 đến 10 như đã trình bày trong phần phương pháp của bài báo này. Thang màu sắc bên phải thể hiện độ lớn các sai số tính toán, trong đó màu xanh đậm chỉ thị cho giá trị thấp nhất và ngược lại màu đỏ thể hiện giá trị lớn nhất của sai số đó. Mức độ phân tán của giá trị lớn nhất và nhỏ nhất sẽ cho thấy thông số đó có nhạy tương ứng với sai số được chọn hay không. Khảo sát toàn bộ kết quả tính toán cho thấy đối với sai số trung bình thì các thông số nhạy gồm CQOF, CK12, TOF và TIF. Đối với sai số căn quân phương thì các thông số Lmax, CQOF, CK12, TOF và GWLBF0 là nhạy nhất. Đối với sai số đỉnh thì các thông số Lmax, CQOF, CK12, TOF, TIF và GWLBF1 đóng vai trò ảnh hưởng nhiều nhất trong mô hình MIKE11 NAM cho lưu vực sông Vệ. Nếu xét trên cả ba hàm mục tiêu này có thể thấy rằng các thông số CQOF, CK12 và TOF là các thông số nhạy trong việc đánh giá dòng chảy mùa lũ của sông Vệ.

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày và phân tích ngắn gọn nội dung của hai phương pháp phân tích độ nhạy thông số mô hình cơ bản hiện nay thường được

sử dụng. Nhìn chung, các phương pháp phân tích độ nhạy có mục đích tìm ra những thông số mô hình có ảnh hưởng lớn đến kết quả đầu ra của mô hình với những lưu vực sông cụ thể, từ đó những thông số ít quan trọng hơn có thể được giữ nguyên trong suốt quá trình hiệu chỉnh và kiểm định, điều này có ý nghĩa lớn với việc tối ưu hóa bộ thông số mô hình. Sử dụng hai phương pháp phân tích độ nhạy cho mô hình MIKE11 NAM trên lưu vực sông Vệ trong mùa lũ năm 2017 thấy rằng đối với phương pháp phân tích độ nhạy cục bộ các thông số nhạy nhất bao gồm CQOF, CK12, Umax, Lmax, CKBF và Carea khi khảo sát trên ba hàm mục tiêu RMSE, AE và ErrMax, trong đó thông số CQOF có độ nhạy rất cao. Đối với phương pháp phân tích độ nhạy toàn diện khi khảo sát trên cùng ba hàm mục tiêu thì các thông số CQOF, CK12, TOF, TIF, Lmax, Umax, GWLBF0 và GWLBF1 là những thông số có ảnh hưởng lớn nhất đến kết quả đầu ra của mô hình này.

Đánh giá độ nhạy thông số mô hình là một bài toán phức tạp bởi nó phụ thuộc vào nhiều yếu tố như phạm vi giới hạn thông số, hàm mục tiêu, lưu vực nghiên cứu, cấu trúc mô hình, các số liệu đầu vào và thời khoảng đánh giá. Do đó để có những kết luận mang tính tổng quan và chính xác hơn về độ nhạy của các thông số mô hình đối với từng lưu vực cụ thể thì các nhân tố nêu trên cần được đánh giá một cách chi tiết và đồng bộ hơn nữa.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Nguyễn Ngọc Hà và Nguyễn Tiên Giang, (2015), *Tài nguyên nước mặt lưu vực sông Vệ*. Tạp chí Khoa học Tự Nhiên và Công Nghệ, Tập 31, số 3S 104-115.
- Lenhart T, Eckhart K, Fohrer N và Frede HG, (2002), *Comparison of two different approaches of sensitivity analysis*. Physics and Chemistry of the Earth, 27, 645-654.
- DHI, (2011), *A modelling system for rivers and channels. Reference Manual*, DHI Software. DHI Water & Environment.
- Spear R.C, Hornberger G.M, (1980), *Eutrophication in peel inlet – II. Identification of critical uncertainties via generalized sensitivity analysis*. Water Res. 14, 43–49.
- Wagener T, Boyle D., Lees,M.J, Gupta H, and H. V. Sorooshian S, (2001), *A framework for development and application of hydrological models*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 5, 13–26.

**Abstract:**  
**MODEL PARAMETER SENSITIVITY ANALYSIS IN HYDROLOGICAL  
MODELLING AND APPLICATION FOR THE RAINFALL-RUNOFF MODEL NAM  
IN THE VE RIVER BASIN**

*Hydrological models have been developed and widely applied in many studies or projects corresponding to the evaluation and prediction of river flows, water quality, and water resources management, etc. Sensitivity analysis aims to identify the key parameters that affect model performance and it plays a crucial role in applying hydrological models in general, especially for rainfall-runoff models. However, the increasing complexity of hydrological models means that a large number of parameters need to be estimated. To better understand the complex models in relation to model calibration and validation, sensitivity analysis methods need to be utilized first aiming to plan a good strategy for the model parameters optimization process based on specific models, river basins, and available data. This paper presents two methods of parameter sensitivity analysis for the lumped model MIKE11 NAM and applies them in the Ve river basin as a case study.*

**Keywords:** Sensitivity analysis, hydrological modelling, MIKE11 NAM, Ve river.

---

*Ngày nhận bài: 10/7/2020*

*Ngày chấp nhận đăng: 31/8/2020*