

## NGHIÊN CỨU CÁC ĐẶC TRƯNG THỦY ĐỘNG LỰC CỦA DÒNG CHẢY LŨ KHU VỰC PHÂN LƯU: ÁP DỤNG CHO PHÂN LƯU SÔNG HỒNG - SÔNG ĐUỐNG

Phạm Văn Chiến<sup>1</sup>

**Tóm tắt:** Trong bài báo này, mô hình MIKE 21FM đã được áp dụng để mô phỏng vận tốc, mực nước và lưu lượng dòng chảy lũ khu vực phân lưu sông Hồng - sông Đuống. Chuỗi dòng chảy ngày mùa lũ năm 2014 và 2018 được sử dụng để đánh giá độ nhạy thông số, hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Kết quả mô phỏng thể hiện rằng sai số căn quân phương (RMSE) và tuyệt đối trung bình (MAE) của mực nước tại Bá Giang, Liên Mạc, Hà Nội, Xuân Quan và Thượng Cát nhỏ hơn 7% biên độ độ sâu dòng chảy ghi nhận tại trạm, hệ số tương quan  $r$  và NSE rất gần một. Giá trị RMSE và MAE của lưu lượng tại Hà Nội và Thượng Cát chỉ bằng 6% biên độ lưu lượng thực đo, hệ số  $r$  và NSE lớn hơn 0.84. Kết quả mô phỏng vận tốc dòng chảy của trận lũ điển hình năm 1971 và 1996 thể hiện rằng vận tốc dòng chảy thay đổi từ -1.5 đến 4.5 m/s. Dòng chảy từ sông Hồng qua sông Đuống bằng khoảng 30% lưu lượng trước phân lưu.

**Từ khoá:** MIKE 21FM, Sông Hồng, Sông Đuống, Phân lưu sông Hồng - Đuống.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đọc theo hướng dòng chảy kể từ nguồn cho đến cửa ra, các con sông thường tồn tại nhiều sông nhánh khác nhau hình thành nên các vị trí phân lưu. Sự phân chia dòng chảy tại các vị trí phân lưu đó có thể ảnh hưởng đến mực nước, vận tốc, lưu lượng dòng chảy và chất lượng nước trong sông vùng hạ lưu. Quá trình phân chia dòng chảy tại các vị trí phân lưu còn ảnh hưởng đến các quá trình vận chuyển bùn cát, khống chế sự thay đổi hình thái của lòng sông cũng như xói lở bờ sông (Edmonds and Slingerland, 2007). Hơn nữa, các quá trình sinh thái trong vùng ngập nước hạ lưu vị trí phân lưu cũng có thể bị ảnh hưởng bởi việc phân chia dòng chảy tại các vị trí phân lưu (Sassi, et al 2011). Phân lưu sông Hồng - sông Đuống nằm trên đoạn sông Hồng qua thành phố Hà Nội cũng không phải là một ngoại lệ. Các nghiên cứu trước đây (Hà Văn Khôi, nmk 2010; Nguyễn Ngọc Quỳnh, nmk 2013; Nguyễn Ngọc Quỳnh, 2014) cũng đã thể hiện rằng dòng chảy sau phân lưu sông Hồng - sông Đuống thường ảnh hưởng đến quá trình vận chuyển bùn cát, xói lở bờ, đáy lòng sông.

Để mô phỏng và nghiên cứu các đặc trưng thủy động lực của dòng chảy nói chung và dòng chảy lũ nói riêng tại khu vực phân lưu, phương pháp mô hình toán thủy lực cũng thường được sử dụng bên cạnh phương pháp đo đạc. Bởi vì mô hình toán cho phép các thay đổi liên quan một cách dễ dàng và linh hoạt. Đồng thời, trong các mô hình một, hai và ba chiều, mô hình toán thủy lực hai chiều thường được sử dụng hơn cả bởi vì mô hình hai chiều cho các kết quả chi tiết hơn mô hình một chiều, đồng thời lại không quá phức tạp như mô hình ba chiều (Sassi, et al 2011). Hơn nữa, do chiều dài và chiều rộng sông thường lớn hơn rất nhiều so với độ sâu dòng chảy trong sông nên giả thiết về các mô hình trung bình độ sâu là có thể chấp nhận được.

Trong rất nhiều các mô hình thủy lực hai chiều như mô hình MOBED2, ADCIRC, MIKE 21FM, FLUVIAL12, DELFT2D, CCHE2D (Papanicolaou, et al 2008), mô hình MIKE 21FM thường hay được sử dụng trong các tính toán mô phỏng thủy động lực ở các vùng ngập nước hoặc các đoạn sông, nơi có địa hình thay đổi phức tạp. Bởi vì mô hình MIKE 21FM có (i) giao diện thân thiện đối với người dùng, (ii) có nhiều module khác nhau và việc kết nối các module với nhau

---

<sup>1</sup> Khoa Thủy văn và Tài nguyên nước, Trường Đại học Thủy lợi  
Email: pchientvct\_tv@tlu.edu.vn

được thực hiện một cách dễ dàng và linh hoạt, đồng thời (iii) có nhiều công cụ hỗ trợ tiện ích cho các quá trình xử lý dữ liệu đầu vào cũng như các kết quả đầu ra.

Mục tiêu chính của bài báo là nghiên cứu mô phỏng vận tốc, mực nước và lưu lượng của dòng chảy lũ khu vực phân lưu sông Hồng – sông Đuống sử dụng mô hình MIKE 21FM. Các mục tiêu cụ thể là (i) đánh giá và phân tích độ nhạy của hệ số nhám  $n$  và hệ số  $C$  trong module thủy động lực của mô hình MIKE 21FM, (ii) xác định giá trị thích hợp của các thông số nêu trên sử dụng chuỗi số liệu dòng chảy mùa lũ năm 2014 và 2018 và (iii) mô phỏng các đặc trưng vận tốc, mực nước và lưu lượng trong vùng nghiên cứu cho hai trận lũ lớn điển hình năm 1971 và 1996. Chuỗi số liệu (i) mực nước thực đo tại Bá Giang, Liên Mạc, Hà Nội, Xuân Quan và Thượng Cát và (ii) lưu lượng thực đo tại Hà Nội và Thượng Cát được sử dụng cho các mục đích so sánh. Bốn chỉ tiêu đánh giá sai số (bao gồm có và không có thứ nguyên) cũng sẽ được tính toán để đánh giá định lượng sự phù hợp giữa giá trị mô phỏng và thực đo tại 5 vị trí so sánh mực nước và 2 vị trí so sánh lưu lượng trong vùng nghiên cứu.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1 Mô hình thủy động lực hai chiều

Để mô phỏng các đặc trưng thủy động lực của dòng chảy lũ khu vực phân lưu sông Hồng – sông Đuống, module thủy động lực của mô hình hai chiều MIKE 21FM đã được sử dụng. Module thủy động lực giải hệ phương trình sóng nước nông được biến đổi từ các định luật bảo toàn khối lượng và động lượng, trong đó có xem xét đến ảnh hưởng của khuếch tán rối. Cụ thể, các thành phần đạo hàm theo không gian trong phương trình được rời rạc sử dụng phương pháp thể tích hữu hạn, trong khi đó các thành phần đạo hàm theo thời gian được xấp xỉ theo phương pháp Euler hiện bậc một hoặc Runge-Kutta bậc hai.

Thông số chính của module thủy động lực là hệ số nhám của bề mặt đáy lòng sông (kí hiệu là  $n$ ) và hệ số nhớt động học (kí hiệu là  $\nu$ ). Hệ số nhớt động

học được tính theo công thức kinh nghiệm Smagorinsky (1963):

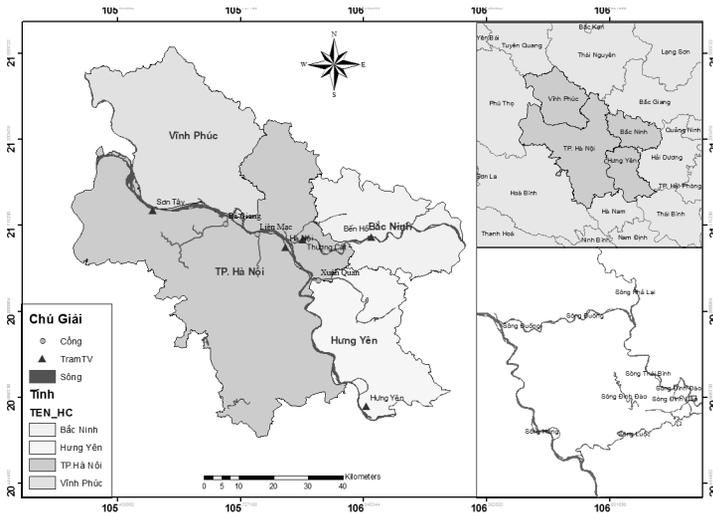
$$\nu = (C\Delta)^2 \sqrt{2\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 + 2\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2} \quad (1)$$

Trong đó  $\Delta$  là kích thước ô lưới và trong trường hợp sử dụng ô lưới tam giác thì  $\Delta = (l_1 \times l_2 \times l_3)^{1/3}$  với  $l_1, l_2, l_3$  là chiều dài của ba cạnh tam giác,  $C$  là hệ số đặc trưng cho dòng chảy rối và giá trị của  $C$  thay đổi từ 0.06 đến 0.85 (Smagorinsky, 1963). Tóm lại, thông số trong module thủy động lực là hệ số nhám  $n$  và hệ số  $C$ . Các thông số này sẽ được xác định dựa trên các số liệu đo đạc mực nước và lưu lượng tại các vị trí khác nhau.

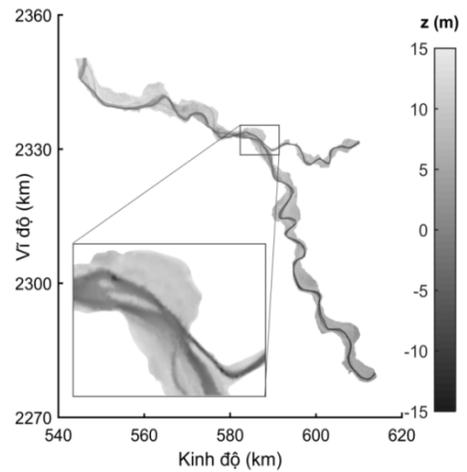
### 2.2 Thiết lập mô hình cho vùng nghiên cứu

#### 2.2.1 Phân lưu sông Hồng - sông Đuống và địa hình vùng tính toán

Hình 1 thể hiện khu vực phân lưu sông Hồng – sông Đuống, cùng với các phụ lưu chính, như sông Tích, Đáy, Nhuệ, Kim Sơn, Luộc của đoạn sông Hồng qua thành phố Hà Nội. Lưu ý rằng sông Tích, Đáy, Nhuệ, Kim Sơn lấy nước từ sông Hồng vào các hệ thống thủy lợi qua các cống điều tiết nhằm đáp ứng các yêu cầu sử dụng nước khác nhau. Về đặc điểm thủy văn, mùa lũ trên lưu vực sông Hồng thường kéo dài từ Tháng VI đến tháng X và mùa kiệt từ tháng XI đến tháng V năm sau. Dòng chảy năm trung bình nhiều năm trên sông Hồng (tính đến trạm thủy văn Sơn Tây) là 3740 m<sup>3</sup>/s, với mô đun dòng chảy chuẩn  $M_0=26.06$  l/skm<sup>2</sup> và tổng lượng dòng chảy  $W_0=18$  tỷ m<sup>3</sup> (Hà Văn Khôi, nnk 2010). Do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, hệ thống các hồ chứa thượng nguồn, các thay đổi về diễn biến hình thái lòng sông và quá trình đô thị hóa các bãi ven sông thành các khu dân cư mà các đặc trưng dòng chảy lũ phân lưu sông Hồng – Đuống có sự thay đổi mạnh mẽ, chi phối và ảnh hưởng đến các hoạt động dân sinh kinh tế, đòi hỏi cần phải có các tính toán nhằm đảm bảo an toàn tiêu thoát lũ cũng như ổn định các công trình bảo vệ bờ sông và các công trình qua sông (Nguyễn Ngọc Quỳnh, 2014).



Hình 1. Bản đồ đoạn sông nghiên cứu



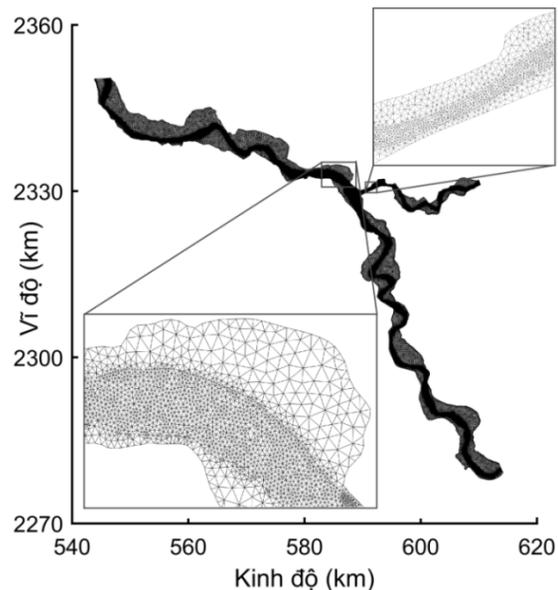
Hình 2. Địa hình đáy lòng sông

Trong mô phỏng, vùng tính toán được giới hạn trong phạm vi không gian tính từ trạm thủy văn Sơn Tây đến trạm thủy văn Hưng Yên, với chiều dài là 120 km. Ngoài ra, đoạn sông Đuống giới hạn từ phân lưu sông Hồng – sông Đuống đến trạm thủy văn Bến Hồ với chiều dài là 30 km cũng được xem xét trong tính toán, bởi vì sông Đuống là một trong hai phân lưu lớn nhất chuyển nước từ hệ thống sông Hồng qua hệ thống sông Thái Bình. Dữ liệu đầu vào của mô hình bao gồm (i) địa hình, (ii) chuỗi số liệu lưu lượng (tại Sơn Tây) và mực nước (tại Hưng Yên và Bến Hồ). Hình 2 thể hiện địa hình đáy (kí hiệu là  $z$ ) của sông Hồng đoạn giới hạn từ Sơn Tây đến Hưng Yên và đoạn sông Đuống xem xét trong tính toán. Cao trình đáy lòng sông thay đổi từ -15 đến 15 m, tùy thuộc vào từng vị trí.

### 2.2.2 Lưới tính toán

Hình 3 thể hiện lưới tam giác không đều dùng thể hiện lại vùng tính toán. Tổng số ô lưới tam giác sử dụng để mô tả các đoạn sông nghiên cứu trong mô phỏng là 27290 và tổng số điểm nút là 14821. Diện tích ô lưới tam giác thay đổi từ 50 đến 50000 m<sup>2</sup> để (i) một mặt thể hiện lại vùng tính toán một cách tốt nhất có thể đồng thời (ii) vẫn đảm bảo được số ô lưới tam giác sử dụng không quá lớn nhằm giảm thời gian tính toán của máy tính. Lưu ý rằng trong lưới tính toán, ô lưới tam giác có diện tích nhỏ thường được sử dụng để mô tả lòng sông, trong khi ô lưới tam giác có diện tích lớn thường được sử dụng để thể hiện lại các bãi ven sông. Diện tích ô lưới tam giác thay đổi dựa

trên (i) sự thay đổi địa hình đáy lòng và bãi sông và (ii) khoảng cách tính từ bờ sông.



Hình 3. Lưới dùng trong tính toán

### 2.2.3 Điều kiện biên và điều kiện ban đầu

Để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình, chuỗi số liệu dòng chảy ngày mùa lũ (từ tháng VI đến tháng XI) năm 2018 và 2014 tại Sơn Tây được sử dụng tại biên thượng lưu và chuỗi số liệu mực nước ngày mùa lũ trong cùng thời kỳ nêu trên tại Hưng Yên và Bến Hồ được sử dụng tại biên hạ lưu. Trận lũ từ ngày 9 đến 29 tháng 8 năm 1971 và từ ngày 9 đến ngày 29 tháng 8 năm 1996 cũng đã được sử dụng để mô phỏng các đặc trưng thủy động lực của dòng chảy lũ ứng với các trận lũ lớn lịch sử điển hình trong đoạn sông nghiên cứu.

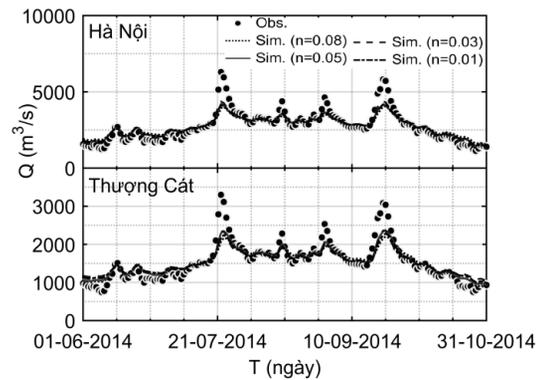
Chuỗi số liệu lưu lượng lũ với thời đoạn 6 giờ tại trạm thủy văn Sơn Tây được sử dụng tại biên thượng lưu, trong khi đó chuỗi số liệu mực nước giờ tại Hưng Yên và Bến Hồ được sử dụng tại các biên hạ lưu. Để đảm bảo tính ổn định, bước thời gian  $\Delta t=30s$  được lựa chọn cho tất cả các mô phỏng. Đồng thời, mực nước ban đầu được giả định bằng 2.0 m, vận tốc ban đầu được giả thiết bằng 0.5 m/s (theo phương dọc) và 0 (theo phương ngang).

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

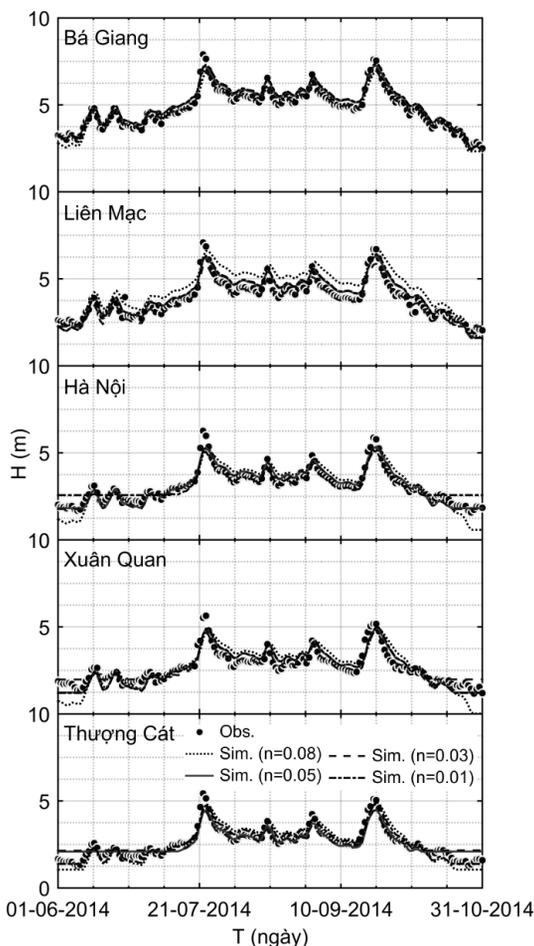
#### 3.1 Kết quả hiệu chỉnh thông số mô hình

Giá trị của các thông số mô hình ( $n$  và  $C$ ) được xác định theo phương pháp thử sai. Số liệu (i) mực nước ngày tại Bá Giang, Liên Mạc, Hà Nội, Xuân Quan và Thượng cát và (ii) lưu lượng ngày tại Hà Nội và Thượng Cát giai đoạn từ ngày 1-06-2014 đến 31-10-2014 đã được sử dụng để so sánh với các kết quả tính toán. Hệ số nhám  $n$  được thử từ 0.01 đến 0.08,

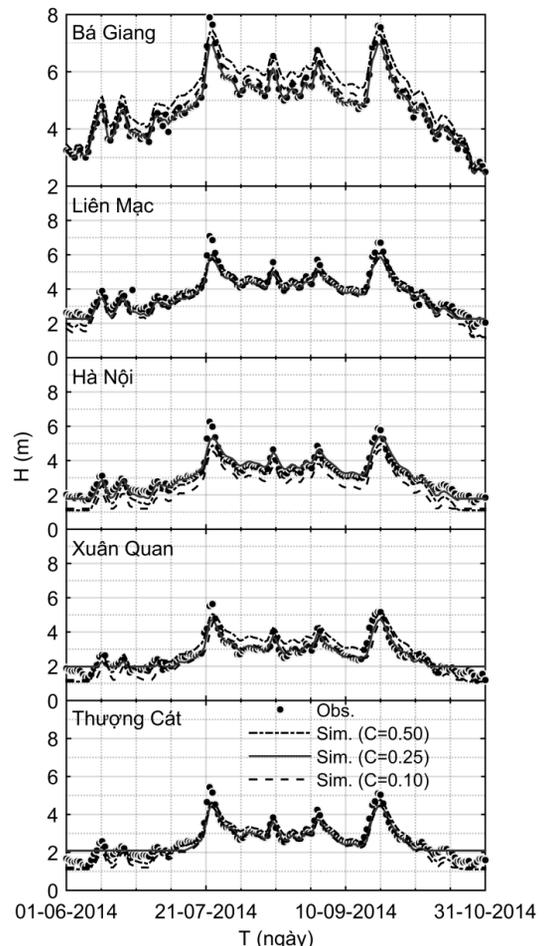
trong khi đó giá trị của hệ số  $C$  thay đổi trong khoảng từ 0.10 đến 0.50. Kết quả mô so sánh giữa mực nước và lưu lượng tính toán tại các vị trí so sánh được thể hiện từ Hình 4 đến Hình 6, trong khi giá trị các chỉ tiêu sai số được tổng hợp trong Bảng 1.



Hình 4. Lưu lượng dòng chảy thực đo (Obs.) và tính toán (Sim.) cho hiệu hệ số nhám  $n$



Hình 5. Mực nước thực đo (Obs.) và tính toán (Sim.) khi thay đổi hệ số nhám  $n$



Hình 6. Mực nước thực đo (Obs.) và tính toán (Sim.) khi thay đổi hệ số  $C$

**Bảng 1. Bảng tổng hợp giá trị các chỉ tiêu sai số cho hiệu chỉnh hệ số nhám**

Đặc trưng	Trạm	$n$	$RMSE$		$MAE$		$r$	$NSE$
			m, m <sup>3</sup> /s	%	m, m <sup>3</sup> /s	%		
H (m)	Bá Giang	0.08	0.299	3.79	0.225	2.85	0.967	0.929
		0.05	0.299	3.79	0.268	3.39	0.983	0.929
		0.03	0.173	2.20	0.104	1.32	0.991	0.976
		0.01	0.334	4.23	0.297	3.76	0.982	0.911
	Liên Mạc	0.08	0.727	10.27	0.647	9.15	0.936	0.527
		0.05	0.358	5.06	0.308	4.35	0.960	0.885
		0.03	0.327	4.62	0.247	3.49	0.973	0.904
		0.01	0.385	5.44	0.333	4.70	0.958	0.868
	Hà Nội	0.08	0.485	7.75	0.397	6.35	0.921	0.743
		0.05	0.257	4.10	0.211	3.37	0.966	0.928
		0.03	0.275	4.39	0.228	3.65	0.963	0.918
		0.01	0.377	6.03	0.281	4.49	0.953	0.845
	Xuân Quan	0.08	0.610	10.81	0.506	8.98	0.875	0.534
		0.05	0.367	6.51	0.314	5.58	0.934	0.831
		0.03	0.305	5.40	0.223	3.96	0.949	0.884
		0.01	0.390	6.91	0.336	5.95	0.930	0.810
Thượng Cát	0.08	0.402	7.41	0.353	6.50	0.933	0.779	
	0.05	0.332	6.11	0.244	4.49	0.942	0.850	
	0.03	0.354	6.51	0.267	4.91	0.957	0.829	
	0.01	0.267	4.91	0.228	4.20	0.960	0.903	
Q (m <sup>3</sup> /s)	Hà Nội	0.08	524.7	8.33	361.0	5.73	0.959	0.745
		0.05	462.2	7.34	309.1	4.91	0.961	0.802
		0.03	389.0	6.18	243.6	3.87	0.962	0.860
		0.01	461.4	7.32	305.6	4.85	0.961	0.803
	Thượng Cát	0.08	256.7	7.78	162.5	4.92	0.913	0.754
		0.05	209.0	6.33	133.0	4.03	0.964	0.837
		0.03	234.6	7.11	163.0	4.94	0.978	0.795
		0.01	245.1	7.43	162.2	4.92	0.958	0.776

Dựa trên bốn chỉ tiêu sai số, bao gồm sai số căn quân phương ( $RMSE$ ), sai số tuyệt đối trung bình ( $MAE$ ), hệ số tương quan ( $r$ ) và hệ số Nash-Sufficient ( $NSE$ ), hệ số nhám  $n=0.03$  cho đoạn sông Hồng,  $n=0.05$  cho đoạn sông Đuống và  $C=0.25$  đã được lựa chọn cho bước hiệu chỉnh. Ứng với giá trị của các thông số nêu trên,  $RMSE$  và  $MAE$  của mực nước tại cả 5 vị trí so sánh thay đổi từ 0.10 đến 0.35 m. Giá trị của các sai số này chỉ chiếm từ 1.3 đến 6.0% biên độ của độ sâu dòng chảy ghi nhận tại các vị trí so sánh. Hệ số tương quan  $r$  giữa mực nước thực đo và tính toán rất gần 1.0, trong khi hệ số  $NSE$

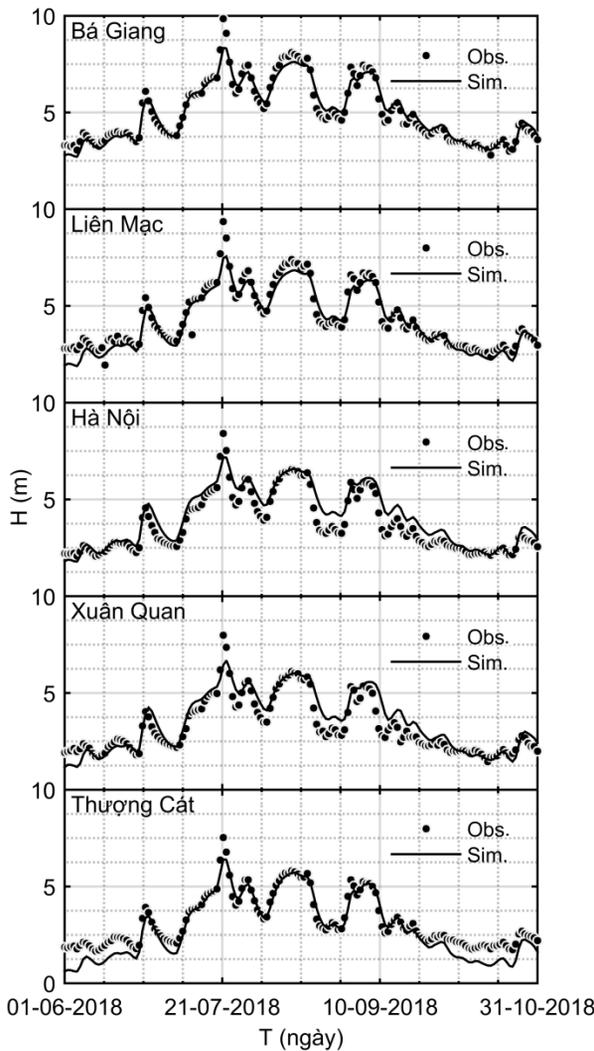
dao động từ 0.85 đến 0.98. Đối với lưu lượng tại Hà Nội và Thượng Cát, giá trị của  $RMSE$  và  $MAE$  lần lượt chỉ chiếm khoảng 6% và 4% biên độ lưu lượng ghi nhận tại trạm trong thời đoạn mô phỏng. Hệ số tương quan  $r=0.96$  và  $NSE$  lớn hơn 0.84.

### 3.2 Kết quả kiểm định mô hình

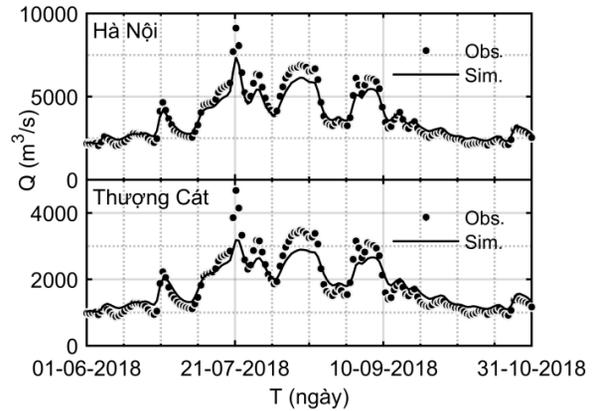
Hình 7 thể hiện kết quả so sánh đường quá trình mực nước và lưu lượng thực đo và tính toán, trong khi đó Hình 8 thể hiện đường quá trình lưu lượng cho kiểm định mô hình (với  $n=0.03$ ,  $n=0.05$  lần lượt cho đoạn sông Hồng và sông Đuống,  $C=0.25$ ). Kết quả mô phỏng tái hiện rất tốt đường

quá trình mực nước ngày thực đo tại cả 5 vị trí kiểm tra cũng như lưu lượng ngày thực đo tại Hà Nội và Thượng Cát. Hệ số tương quan  $r$  tương đối cao, với  $r > 0.94$  cho mực nước và  $r > 0.97$  cho lưu lượng dòng chảy. Sai số căn quân phương và sai số tuyệt đối trung bình của mực nước tại 5 vị trí chỉ chiếm từ 3 đến 7% biên độ dao động mực

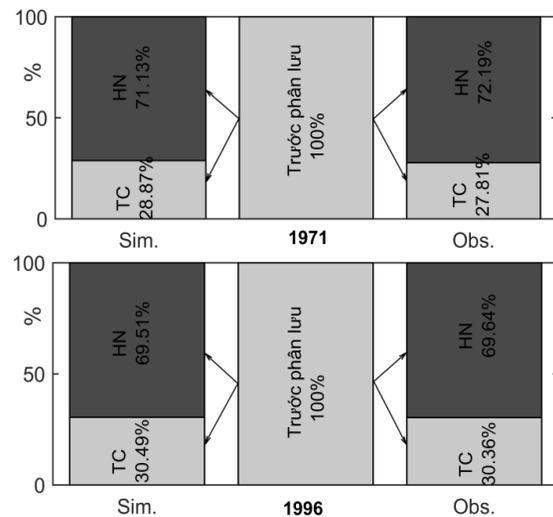
nước thực đo ghi nhận tại các trạm. Giá trị của các sai số trên cho lưu lượng dòng chảy tại Hà Nội và Thượng Cát chỉ chiếm từ 3.5 đến 6.5% biên độ lưu lượng thực đo. Các kết quả trên khẳng định rằng giá trị của các thông số mô hình đã hiệu chỉnh và kiểm định nêu trên hoàn toàn có thể được sử dụng cho mục đích tính toán tiếp theo.



Hình 7. Mực nước thực đo (Obs.) và tính toán (Sim.) cho kiểm định mô hình



Hình 8. Lưu lượng dòng chảy thực đo (Obs.) và tính toán (Sim.) cho kiểm định mô hình



Hình 9. Tỷ lệ phân chia lưu lượng dòng chảy tại phân lưu cho hai trạm lũ lịch sử điển hình

**Bảng 2. Bảng tổng hợp giá trị các chỉ tiêu sai số cho kiểm định mô hình**

Yếu tố	Trạm	RMSE		MAE		$r$	NSE
		m, m <sup>3</sup> /s	%	m, m <sup>3</sup> /s	%		
H (m)	Bá Giang	0.332	3.37	0.254	2.58	0.978	0.956
	Liên Mạc	0.435	4.65	0.336	3.59	0.965	0.922
	Hà Nội	0.539	6.41	0.424	5.04	0.963	0.865
	Xuân Quan	0.559	7.01	0.419	5.25	0.941	0.843
	Thượng Cát	0.539	7.16	0.422	5.60	0.973	0.838

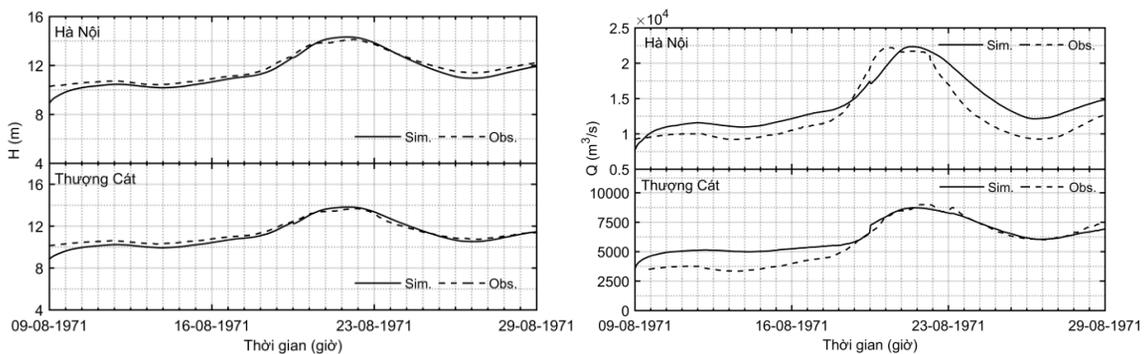
Yếu tố	Trạm	RMSE		MAE		$r$	NSE
		m, m <sup>3</sup> /s	%	m, m <sup>3</sup> /s	%		
Q (m <sup>3</sup> /s)	Hà Nội	435	4.77	342	3.75	0.993	0.926
	Thượng Cát	307	6.55	236	5.04	0.973	0.869

### 3.3 Kết quả mô phỏng một số trận lũ lớn điển hình

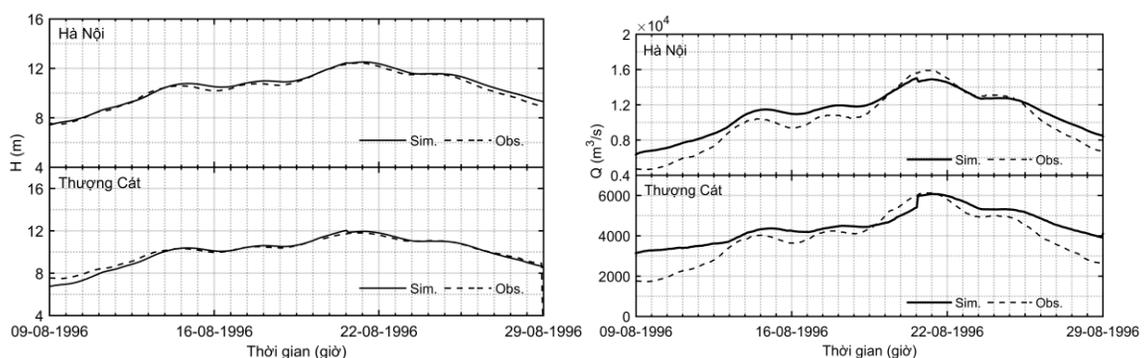
Hai trận lũ lịch sử điển hình (Hà Văn Khôi, ntk 2010) xuất hiện từ ngày 9 đến 29 tháng 8 năm 1971 với lưu lượng đỉnh lũ tại Sơn Tây  $Q_{\max} = 38400 \text{ m}^3/\text{s}$  (ứng với tần suất xuất hiện là  $p=0.5\%$ ) và trận lũ từ ngày 9 đến 29 tháng 8 năm 1996 với lưu lượng đỉnh lũ  $Q_{\max}=27400 \text{ m}^3/\text{s}$  (ứng với chu kỳ lặp lại là 40 năm) đã được lựa chọn để mô phỏng các đặc trưng thủy động lực của dòng chảy lũ khu vực nghiên cứu.

Hình 9 thể hiện tỷ lệ lưu lượng dòng chảy lũ tại

Hà Nội và Thượng Cát (kí hiệu là HN và TC) ứng với hai trận lũ điển hình năm 1971 và 1996. Kết quả mô phỏng thể hiện rằng tỷ lệ lưu lượng dòng chảy lũ vào sông Đuống khoảng 30% tổng lưu lượng dòng chảy lũ trước phân lưu. Nói cách khác, lưu lượng dòng chảy lũ tiếp tục chảy trên dòng chính sông Hồng sau phân lưu sông Hồng – sông Đuống khoảng 70% tổng lưu lượng dòng chảy trước phân lưu. Đồng thời, mô hình đã tái hiện khá tốt tỷ lệ phân chia lưu lượng dòng chảy lũ thực đo tại phân lưu sông Hồng - sông Đuống.



Hình 10. Mực nước, lưu lượng thực đo và tính toán cho trận lũ điển hình năm 1971



Hình 11. Mực nước, lưu lượng thực đo và tính toán cho trận lũ điển hình năm 1996

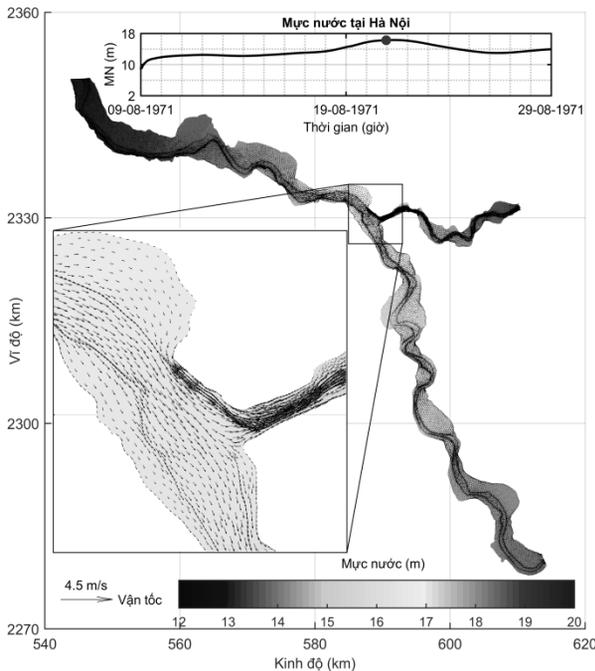
Hình 10 thể hiện đường quá trình mực nước, lưu lượng thực đo và tính toán tại Hà Nội và Thượng Cát cho trận lũ điển hình năm 1971, trong khi đó kết quả của trận lũ điển hình năm 1996 được thể hiện trên Hình 11. Đối với mực nước, RMSE và MAE thay đổi từ 0.16 đến 0.48 m (tương ứng bằng từ 1.3 đến 3.3% biên độ dao động mực

nước thực đo),  $r > 0.95$  và  $NSE > 0.89$  tại cả 2 trạm và cho cả 2 trận lũ điển hình. RMSE và MAE của lưu lượng nhỏ hơn 14% biên độ dao động của lưu lượng ghi nhận tại Hà Nội và Thượng Cát. Hệ số  $r$  lớn hơn 0.91 và hệ số NSE thay đổi từ 0.62 đến 0.89.

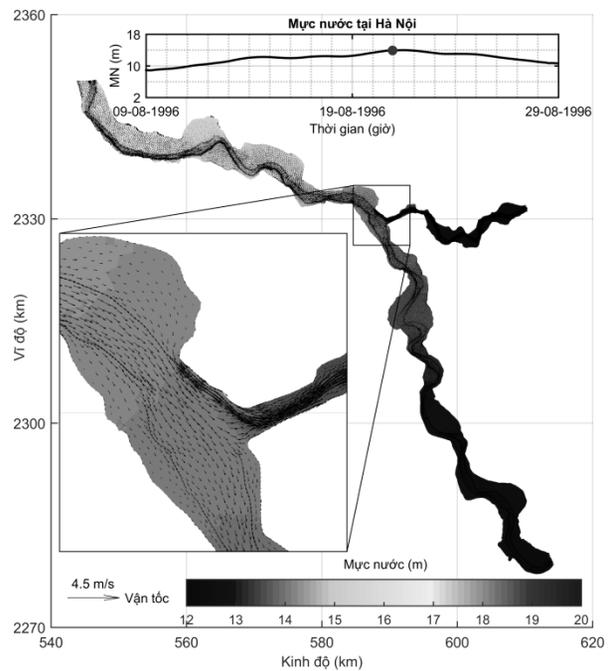
Kết quả mô phỏng phân bố vận tốc dòng chảy

khu vực phân lưu sông Hồng-sông Đuống tại thời điểm 13 giờ ngày 21-08-1971 và ngày 21-08-1996 được thể hiện lần lượt như Hình 12 và Hình 13. Dễ dàng nhận thấy rằng (i) mực nước giảm dần từ thượng lưu về hạ lưu trong vùng tính toán (từ 20 đến 14 m cho trận lũ 1971 và từ 16.5 đến 12 cho trận lũ 1996), (ii) vận tốc dòng chảy ứng với hai trận lũ đã chọn thay đổi từ -1.5 đến 4.5 m/s, và

(iii) kết quả mô phỏng thể hiện tốt xu thế thay đổi của vận tốc dòng chảy tại các vị trí mặt cắt ngang sông thu hẹp hoặc mở rộng. Khu vực cửa vào sông Đuống, nơi sông sâu và hẹp (Hình 2), tốc độ dòng chảy lớn với biên độ lên đến 4.5 m/s và hướng chủ yếu vào phía bờ hữu (theo chiều dòng chảy từ thượng lưu về hạ lưu).



Hình 12. Phân bố vận tốc dòng chảy tại thời điểm 13h ngày 21-8-1971



Hình 13. Phân bố vận tốc dòng chảy tại thời điểm 13 giờ ngày 21-08-1996

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã tập trung mô phỏng các đặc trưng thủy động lực của dòng chảy lũ tại phân lưu sông Hồng - sông Đuống sử dụng module thủy động lực của mô hình MIKE 21FM. Trong module thủy động lực của mô hình MIKE 21FM, hệ số nhám  $n$  là thông số nhạy hơn hệ số  $C$  - thông số để xác định hệ số nhớt động học theo công thức Smagorinsky (1963). Sử dụng chuỗi số liệu dòng chảy mùa lũ năm 2014 và 2018 và bốn chỉ tiêu đánh giá sai số, hệ số  $n=0.03$  và  $n=0.05$  lần lượt được xác định cho sông Hồng (từ Sơn Tây đến

Hưng Yên) và sông Đuống (từ ngã ba Hồng-Đuống đến Bến Hồ), trong khi  $C=0.25$  cũng được xác định cho tính toán hệ số nhớt. Giá trị  $RMSE$  và  $MAE$  của mực nước và lưu lượng nhỏ hơn 7.5% biên độ thực đo tại trạm, trong khi hệ số tương quan  $r > 0.95$  và  $NSE > 0.84$ . Kết quả mô phỏng hai trận lũ lịch sử điển hình năm 1971 và 1996 thể hiện rằng khoảng 30% lưu lượng dòng chảy lũ từ sông Hồng chuyển qua sông Đuống sau phân lưu sông Hồng - sông Đuống. Vận tốc dòng chảy ứng với hai trận lũ nêu trên thay đổi từ -1.5 đến 4.5 m/s.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

Hà Văn Khôi, và nnk (2009). *Nghiên cứu cơ sở khoa học cho việc xóa các khu chậm lũ sông Hồng, sông Đáy và sông Hoàng Long*. Báo cáo đề tài độc lập cấp nhà nước.

- Nguyễn Ngọc Quỳnh, Đào Văn Khương, Bùi Huy Hiếu và Nguyễn Mạnh Linh (2013). *Tác động của việc biến động tỷ lệ phân lưu sông Hồng- sông Đuống đến quy hoạch phòng chống lũ và sử dụng nước hệ thống sông Hồng*. Hội nghị KHTN 2013, Trang 119-121.
- Nguyễn Ngọc Quỳnh, (2014), *Thay đổi các yếu tố và quan hệ hình thái trên sông Hồng và sông Đuống do ảnh hưởng của các biến động thủy văn – lòng dẫn*. Tạp chí KH & CNTL, số 21, 1-13.
- Edmonds D, Slingerland R, (2007), *Mechanics of river mouth bar formation: implications for the morphodynamics of delta distributary networks*. J Geophys Res. doi:10.1029/2006JF000574.
- Papanicolaou A.N., Elhakeem M., Krallis G., Prakash S., Edinger J., (2008), *Sediment transport modelling review-current and future developments*. Journal of Hydraulic Engineering, 134, 1-14.
- Sassi M.G., A. J. F. Hoitink, Benjamin de Brye, Bart Vermeulen, Eric Deleersnijder, (2011), *Tidal impact on the division of river discharge over distributary channels in the Mahakam Delta*. Ocean Dynamics, 61, 2211–2228.
- Smagorinsky J., (1963), *General circulation experiments with the primitive equations*. Monthly Weather Review, 91, 99-164.

**Abstract:**

**HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF FLOOD FLOWS IN BIFURCATIONS:  
A CASE STUDY OF THE HONG - DUONG BIFURCATION**

*In the present paper, the model namely MIKE 21FM is applied to simulate velocity, water elevation and discharge of flood flows in the Hong - Duong bifurcation. Daily flows in the flood season of 2014 and 2018 are used for sensitive analysis, parameters calibration and model validation. The results showed that root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAE) of water elevation at Ba Giang, Lien Mac, Ha Noi, Xuan Quan and Thuong Cat change from 1.5 to 7% of observed magnitude at the stations, while correlation coefficient (r) and Nash-Sufficient coefficient (NSE) close to unity for both calibration and validation steps. Indeed, RMSE and MAE of water discharge at Ha Noi and Thuong Cat equal only about 6% of observed magnitude, while r and NSE is greater than 0.84. Simulated results of historical floods occurred in 1971 and 1996 also depicted that flow velocity varies between -1.5 and 4.5 m/s. The percentage of water discharge moving from the Red to the Duong River for two aforementioned flood events is about 30% of water discharge before the bifurcation.*

**Keywords:** MIKE 21FM, Red river, Duong river, Hong-Duong bifurcation.

---

Ngày nhận bài: 21/11/2019

Ngày chấp nhận đăng: 02/01/2020