

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH MIKE11 VÀ MÔ HÌNH DELFT3D ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CÁC GIẢI PHÁP CÔNG TRÌNH CHỈNH TRỊ ĐOẠN SÔNG CONG GẤP HỮU TRUNG TRÊN SÔNG LUỘC PHỤC VỤ GIAO THÔNG THỦY

Phạm Văn Thắng

Công ty TNHH Royal Haskoning DHV Việt Nam

Nguyễn Kiên Quyết

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

Nguyễn Quang Hùng

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Nội dung bài báo trình bày kết quả ứng dụng mô hình MIKE11 và mô hình DELFT3D đánh giá hiệu quả các phương án quy hoạch công trình chỉnh trị đoạn cong gấp Hữu Chung trên sông Luộc, kết quả nghiên cứu đã lựa chọn phương án cắt trong là phù hợp với đoạn sông nghiên cứu phục vụ giao thông thủy và khai thác tổng hợp của các ngành kinh tế hữu quan.

Từ khóa: Delft3D, Mike11, Hữu Chung, cắt trong, cắt ngoài.

Summary: This paper presents results of applying Mike 11 and DELFT 3D modes to evaluate efficiency of river training solutions at sharp river turn of Huu Chung in Luoc river. The inner-cut solution then is proposed as an appropriate treatment for inland waterway and integrated economic purposes.

Keyword: River curve, river training, Huu Chung, Luoc river, MIKE 11, DELFT 3D, inner-cut river training, outer-cut/ inner-cut solution.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sông Luộc nằm trên tuyến trên tuyến đường thủy số 3 vùng đồng bằng Bắc Bộ (ĐBBS): Tuyến đường thủy từ Ninh Bình đến Lạch Huyện theo sông Đáy, sông Đào Nam Định, sông Hồng, sông Luộc, sông Văn Úc, Lạch Tray, sông Đào Hải Phòng, sông Cấm, kênh Đình Vũ, sông Bạch Đằng, kênh Tráp sang Lạch Huyện. Đối với sông Luộc, có nhiều đoạn cong gấp có bán kính cong nhỏ hơn 300m, đặc biệt đoạn cong Hữu Chung chiều dài theo tuyến cong là 5300m, trong khi đoạn nối thẳng ở vị trí gần nhất chỉ có 850m, chính vì vậy gây trở ngại lớn cho giao thông thủy hoạt động trên tuyến.

Ở Việt Nam, cùng với quá trình phát triển nhanh về kinh tế trong vài thập kỷ gần đây, nhu cầu chỉnh trị sông phục vụ các ngành kinh tế hữu quan nói chung và chỉnh trị đoạn sông cong gấp nói riêng, càng trở nên bức thiết để đạt được các mục tiêu chủ yếu như giao thông thủy, chống xói lở bờ sông, phòng lũ, bảo vệ đê bao, ổn định tuyến luồng tàu. Một số công trình chỉnh trị đoạn sông cong gấp đã và đang được triển khai do yêu cầu cấp thiết của thực tế, dự án tiêu biểu là cắt thẳng đoạn sông cong Quán Xá trên sông Chu (Thanh Hoá), công trình đã được thực thi và cho hiệu quả tốt.

Vì vậy, việc “Nghiên cứu giải pháp công trình chỉnh trị đoạn sông cong gấp Hữu Chung trên sông Luộc phục vụ giao thông thủy”, là rất cần thiết, nhằm giải quyết những bức xúc đối với giao thông thủy trên tuyến sông này. Mặt khác,

Ngày nhận bài: 20/4/2023

Ngày thông qua phản biện: 19/5/2023

Ngày duyệt đăng: 02/6/2023

giúp các nhà quản lý, nhà tư vấn thiết kế có thêm tài liệu tham khảo đáng tin cậy, phục vụ nhu cầu chỉnh trị sông cong gấp, góp phần phát triển bền vững kinh tế - xã hội của các địa phương có các đoạn sông tương tự.



Hình 1: Đoạn cong Hữu Chung trên sông Luộc

2. CƠ SỞ DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Để giải quyết mục tiêu và nhiệm vụ đặt ra của vấn đề nghiên cứu, sử dụng tổng hợp một số phương pháp nghiên cứu sau đây:

- Phương pháp khảo sát, điều tra thực địa ở vùng nghiên cứu;
- Phương pháp phân tích số liệu thực đo;
- Phương pháp mô hình toán;
- Phương pháp phân tích tổng hợp;
- Phương pháp chuyên gia.

2.1. Số liệu cơ bản phục vụ nghiên cứu

Số liệu địa hình: Số liệu địa hình năm 1995, 2005 (TL 1/5000), số liệu địa hình tháng 10-2015 (Hệ cao độ nhà nước), [1], [2], [3], [4].

Số liệu địa chất: Số liệu địa chất do Công ty Tư vấn Xây dựng Cảng- Đường thủy (thuộc Tổng công ty Tư vấn Thiết kế Giao thông vận tải) khảo sát năm 2015, [4].

Số liệu khí tượng: Số liệu về nhiệt độ, độ ẩm, lượng mưa, chế độ gió bão do Công ty Tư vấn Xây dựng công trình thủy I (WACOSE), [1], [2], [3], [4].

Số liệu thủy văn: Số liệu tại trạm đo Triều

Dương trên sông Luộc và số liệu quan hệ mực nước tại Hữu Chung và mực nước tại trạm Triều Dương, Chanh Chử, [1], [2], [3], [4].

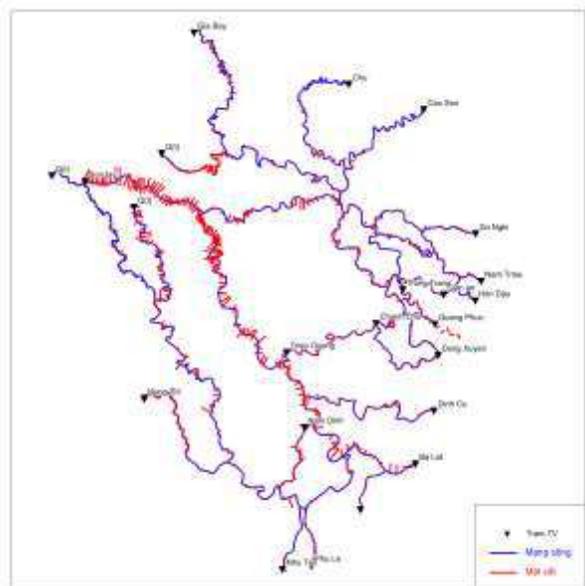
2.2. Phương pháp phân tích số liệu thực đo

Phương pháp chỉnh lý, phân tích số liệu thực đo được ứng dụng trong phân tích diễn biến đoạn cong Hữu Chung trên sông Luộc, thông qua chụp diễn biến trên mặt bằng, mặt cắt ngang và mặt cắt dọc.

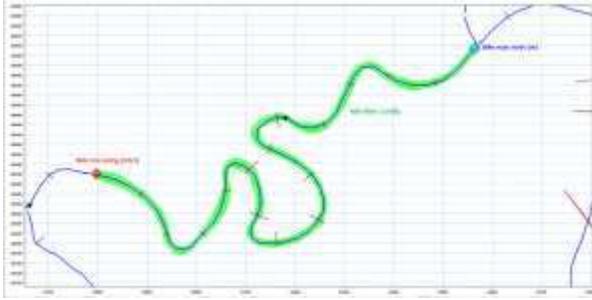
2.3. Phương pháp mô hình toán

Khu vực nghiên cứu nằm trên sông Luộc thuộc hệ thống sông Hồng- Thái Bình do không có trạm thủy văn nên chưa xác định được các đặc trưng về thủy động lực. Do đó để có số liệu đặc trưng thủy văn tại khu vực nghiên cứu việc sử dụng sử dụng 2 bộ mô hình đó là mô hình Mike11 mạng sông (DHI - Viện thủy lực Đan Mạch) cho toàn bộ mạng lưới sông đảm bảo được các điều kiện biên (dựa trên các trạm thủy văn) và bộ mô hình DELFT3D (Deltares, Hà Lan) để tính toán, mô phỏng đánh giá được chế độ thủy thạch động lực. Trong đó, mô hình 1 chiều (Mike11) phục vụ cung cấp số liệu đầu vào cho 2 chiều (DELFT3D).

Hai bộ mô hình đã được sử dụng tính toán rất nhiều nơi trên thế giới và cho kết quả đáng tin cậy.



Hình 2: Phạm vi mô hình thủy lực 1 chiều



Hình 3: Vị trí điều kiện biên của mô hình 2D

a) Mô hình thủy lực 1 chiều, [8]

Phạm vi biên mô hình thủy lực lưu vực sông Hồng – sông Thái Bình (Hình):

- Sông Hồng được tính toán từ trạm thủy văn Sơn Tây;
- Sông Cầu tính từ trạm thủy văn Gia Bảy;
- Sông Thương tính từ trạm thủy văn Cầu Sơn;
- Sông Lục Nam tính từ trạm thủy văn Chũ;
- Sông Đáy từ trạm thủy văn Ba Thá;
- Sông Hoàng Long từ trạm thủy văn Hưng Thi;
- Phía dưới là 10 cửa sông: Đáy, Ninh Cơ, Sông Sò, Ba Lạt, Trà Lý, Thái Bình, Lạch Tray, Văn Úc, Cấm, Đá Bạch.

b) Đối với mô hình thủy lực (Delft3D-Flow, [9])

- Biên thủy văn thượng lưu của đoạn sông là đường quá trình lưu lượng. Biên thủy văn hạ lưu của đoạn sông là đường quá trình mực nước. Các dữ liệu này được trích từ mô hình 1D trong trường hợp tính toán cho kịch bản lũ.
- Điều kiện ban đầu là lưu lượng tại mặt cắt đầu tiên của sông. Các vị trí khác mô hình sẽ tự nội suy điều kiện ban đầu.
- Đối với mô hình hình thái (Delft3D-Mor): biên của mô hình tương tự như biên của mô hình thủy lực cộng với trường mực nước và dòng chảy tính toán từ mô hình thủy lực và dữ liệu về độ đục tại biên trên của mô hình từ mô hình 1D (với mô đun ST), thành phần cấp hạt d50.

c) Các yêu cầu cần đạt được

Nghiên cứu chế độ thủy lực trước và sau khi có công trình chỉnh trị;

Cung cấp số liệu về trường dòng chảy, làm số liệu đầu vào để phân tích diễn biến lòng dẫn trước và sau khi có công trình;

Kết quả mô phỏng là căn cứ để đánh giá và tối ưu hóa việc bố trí công trình chỉnh trị.

Nghiên cứu diễn biến lòng dẫn (chế độ bồi xói) của đoạn sông, từ đó đánh giá sơ bộ hiệu quả của phương án công trình chỉnh trị.

d) Các trường hợp nghiên cứu

Kịch bản hiện trạng: mùa lũ và mùa kiệt;

Kịch bản sau khi có công trình (công trình chỉnh trị): mùa lũ và mùa kiệt;

Bộ số liệu thủy văn để hiệu chỉnh lũ 1996; kiểm định năm 2010.

e) Hiệu chỉnh mô hình, kiểm định mô hình

Việc so sánh này có thể tiến hành bằng trực quan (so sánh hai đường quá trình tính toán và thực đo trên biểu đồ), kết hợp chỉ tiêu Nash để kiểm tra.

$$\text{Nash} = 1 - \frac{\sum (X_{o,i} - X_{s,i})^2}{\sum (X_{o,i} - \bar{X}_o)^2}$$

$X_{o,i}$: Giá trị thực đo

$X_{s,i}$: Giá trị tính toán hoặc mô phỏng.

\bar{X}_o : Giá trị thực đo trung bình

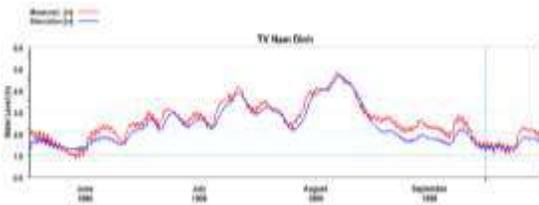
Bảng 1: kết quả đo hệ số NASH (R2)

Trạm	Hệ số NASH (R2)	
	Trận lũ 1996	1 năm 2010
Nam Định	0,95	0,80
Triều Dương	0,92	0,88
Chanh Chử	0,92	0,90
Trung Trang	0,78	0,93
Kiến An		0,93

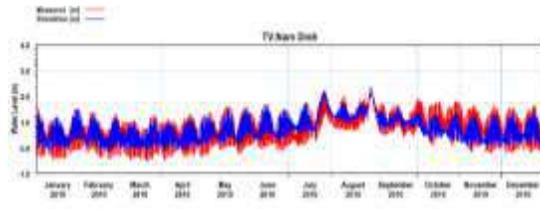
Thuật toán số tương thích khá tốt đối với vùng nghiên cứu và toàn bộ lưu vực sông

Hồng - sông Thái Bình, hội tụ nhanh, kết quả tính toán ổn định, tin cậy, mô tả đúng

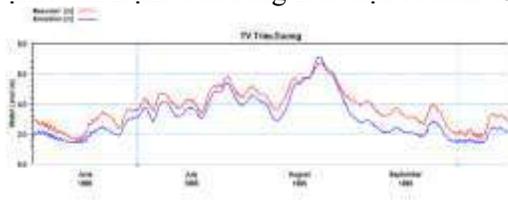
đến các quy luật động lực học trên vùng nghiên cứu.



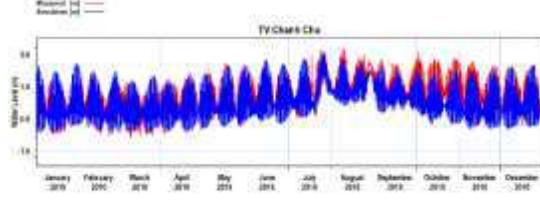
a) Quá trình mực nước mô tính toán và thực đo tại trạm Nam Định trên sông Đào trận lũ năm 1996



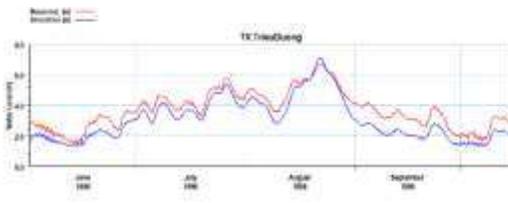
b) Quá trình mực nước mô tính toán và thực đo tại trạm Nam Định trên sông Đào 1 năm 2010



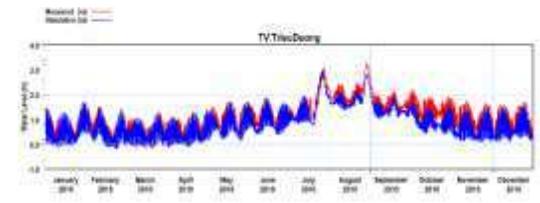
c) Quá trình mực nước mô tính toán và thực đo tại trạm Chanh Chủ trên sông Luộc trận lũ năm 1996



d) Quá trình mực nước mô tính toán và thực đo tại trạm Chanh Chủ trên sông Luộc 1 năm 2010



e) Quá trình mực nước mô tính toán và thực đo tại trạm Chanh Chủ trên sông Luộc trận lũ năm 1996



f) Quá trình mực nước mô tính toán và thực đo tại trạm Triều Dương trên sông Luộc 1 năm 2010

Hình 4: Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

2.4. Giải pháp công trình ổn định đoạn sông nghiên cứu

a) Đối tượng chỉnh trị và đối tượng tác động

Căn cứ vào đặc điểm địa hình các đoạn sông nghiên cứu, chế độ thủy văn cùng với kinh nghiệm trong công tác chỉnh trị sông, để đạt được hiệu quả vấn đề đặt ra, đối tượng tác động cả dòng chảy và lòng dẫn, [5], [6], [7].

b) Kích thước tuyến chỉnh trị

- Mực nước ngang với bãi già trên sông Luộc ứng với cao trình +2,1

- Bề rộng tuyến chỉnh trị được xác định dựa vào các yêu cầu: Kết hợp với thực tế và hệ thống công trình đã tính toán thiết kế và triển khai xây dựng nhiều năm trên sông Luộc phục

vụ giao thông thủy của Cục đường thủy nội địa, Bộ giao thông vận tải, trên đoạn sông ứng với cao trình bãi già bề rộng lòng sông thường dao động theo từng đoạn từ 160 ÷ 180m. Nên chọn chiều rộng tuyến chỉnh trị là: **B = 180m**

Bán kính cong tuyến chỉnh trị: $R = (4 \div 5) B_{ctj} = 800m$.

c) Chuẩn tắc luồng tàu: B = 60m; H = 3,6m; $R_{min} = 300m$

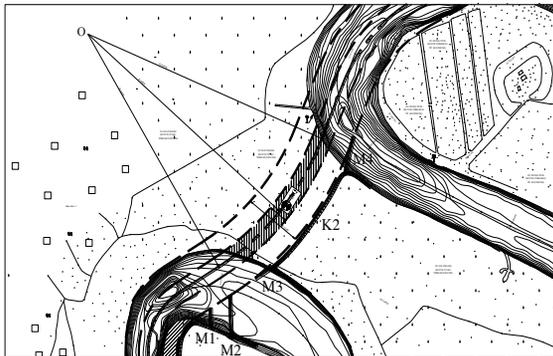
d) Mực nước thấp thiết kế: mực nước ứng với tần suất 98% trên đường tần suất lũy tích mực nước trung bình ngày: $MNTTK = + 0,6$

e) Chọn cao trình đáy kênh dẫn là: -3,0

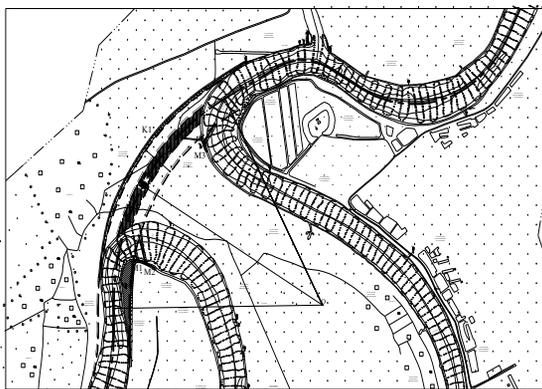
f) Phương án mặt bằng bố trí và qui mô công trình

Phương án cắt trong: Đoạn bờ lồi thượng lưu kênh dẫn: Điều chỉnh dòng chảy tập trung vào

kênh dẫn và giảm bớt lưu lượng vào lạch sông cũ (lạch phải), bằng hệ thống mở hàn M1 và M2 và hệ thống kè bờ K1 ổn định bờ lồi là điểm không chế tại cửa vào kênh dẫn. Khu vực đầu vào kênh dẫn bố trí hệ thống mở hàn M3 có tác dụng đón dòng chảy chảy vào kênh dẫn. Đồng thời khu vực này để tránh xói lở khi dòng chảy tập trung vào kênh dẫn bố trí hệ thống mở hàn K2 dọc theo chiều dài kênh dẫn, nhằm hạn chế sức công phá của dòng chảy khi đi vào kênh dẫn gây xói lở bồi lắng luồng đào, mặt khác tại điểm vào của kênh dẫn kè bờ còn có nhiệm vụ ổn định đầu mom kênh dẫn. Khu vực đầu ra kênh dẫn bố trí hệ thống mở hàn M4 có tác dụng đưa dòng chảy nối tiếp với đoạn sông hạ lưu khúc cong, hạn chế dòng chảy vào sông cũ. Mặt khác tại điểm ra của kênh dẫn kè bờ còn có nhiệm vụ ổn định đầu mom kênh dẫn (Hình 5.a).



a) Phương án cắt trong



b) Phương án cắt ngoài

Hình 5: Mặt bằng quy hoạch chỉnh trị đoạn cong gấp Hữu Chung, sông Luộc

Phương án cắt ngoài: Đoạn bờ lồi thượng lưu kênh dẫn: Điều chỉnh dòng chảy tập trung vào kênh dẫn và giảm bớt lưu lượng vào lạch sông cũ (lạch phải), bằng hệ thống mở hàn M1 và M2; hệ thống kè bờ K1 ổn định bờ lõm. Khu vực đầu ra kênh dẫn bố trí hệ thống mở hàn M3 có tác dụng đón dòng chảy đưa dòng chảy theo khúc sông hạ lưu khúc cong (Hình 5.b)

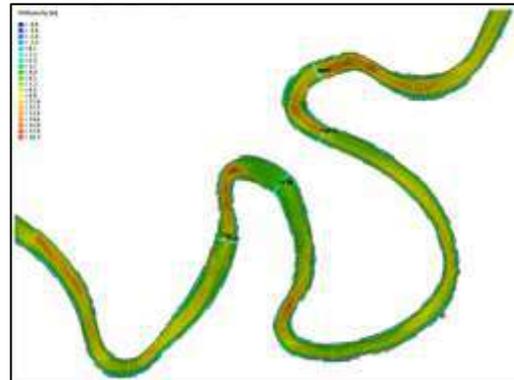
3. NGHIÊN CỨU TRÊN MÔ HÌNH TOÁN TRƯỜNG ĐỘNG LỰC DÒNG CHẢY ĐOẠN CONG HỮU CHUNG TRÊN SÔNG LUỘC TRƯỚC VÀ SAU KHI CÓ CÔNG TRÌNH CHỈNH TRỊ

3.1. Các yêu cầu cần đạt được

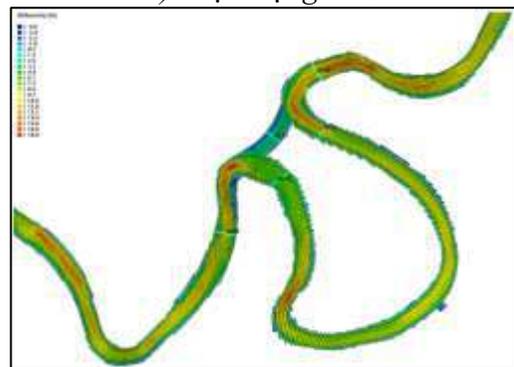
Cung cấp bức tranh về trường động lực dòng chảy đoạn sông nghiên cứu điều kiện hiện trạng;

Cung cấp bức tranh về trường động lực dòng chảy đoạn sông nghiên cứu điều kiện có công trình chỉnh trị;

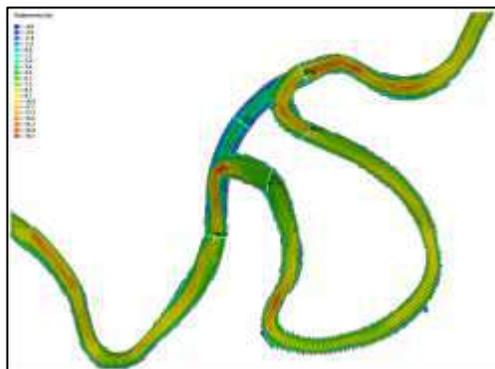
Tác động của các phương án quy hoạch công trình chỉnh trị đề xuất đối với chế độ thủy lực đoạn sông.



a) Hiện trạng PA0



b) Công trình PA1



c) Công trình PA2

Hình 6: Lưới tính toán và các tham số

3.2. Mô hình hóa số liệu đầu vào

Lưới tính toán của mô hình 2D được lập dạng lưới cong trục giao, bao gồm 19.689 phần tử (938 nút theo phương dọc sông, 21 nút theo phương ngang sông) Kích thước phần tử của lưới phụ thuộc số nút khai báo

theo phương dọc, phương ngang và kích thước lòng dẫn sông. Nhìn chung trên toàn hệ thống, kích thước lưới là (5-6)m theo phương ngang và 10m theo phương dọc sông đối với mô hình. Tại các khu vực có công trình, ô lưới được điều chỉnh phù hợp với vị trí và kích thước công trình. Kích thước các ô lưới trung gian được mô hình tự nội suy để có kích thước ô lưới biến đổi dần. Tọa độ lưới trong nghiên cứu được đưa về hệ UTM địa phương WGS_1984_UTM_Zone_48N (scale = 0.9996). Các đơn vị sử dụng trong nghiên cứu (trừ khi được định nghĩa riêng) dùng theo hệ SI. Hệ cao độ sử dụng hệ cao độ Nhà nước (ứng với mực nước biển trung bình tại Hòn Dấu). Mô hình thủy lực được khai báo với các thông số chính như sau:

Bảng 2: Thông số mô hình Delft3D- Flow về chế độ thủy động lực

Thông số	Giá trị
Timestep/ Bước thời gian	1min
Critical CFL number/ HS ổn định	0.9
Threshold depth/ Chiều sâu giới hạn	0.1m
Bed roughness/ Hệ số nhám đáy	Roughness formulation/ công thức tính trở lực: Manning, uniform $U = 0.03, V = 0.03$
Horizontal eddy viscosity/ Xoáy động học	constant in domain/ Hằng số
Wind forcing/ Ứng suất gió	Excluded/ Không bao gồm

Mô hình hình thái được khai báo với các thông số chính như sau:

Bảng 3: Thông số mô hình Delft3D-Mor về hình thái

Thông số	Giá trị
Morphological scale factor/ Hệ số tỷ lệ hình thái	1
Minimum depth for sediment calculation/ chiều sâu nhỏ nhất để tính toán trầm tích	0.1m
Reference density for hindered settling/ Tỷ trọng tham chiếu sức cản quá trình lắng đọng	1600kg/m

Thông số	Giá trị
Specific density of cohesive sediment MT/ Trọng lượng riêng của trầm tích kết dính	2650kg/m
Dry bed density of cohesive sediment MT/ Trọng lượng khô của trầm tích kết dính	500kg/m
Settling velocity of cohesive sediment MT/ Vận tốc lắng đọng của trầm tích kết dính	0.25mm/s

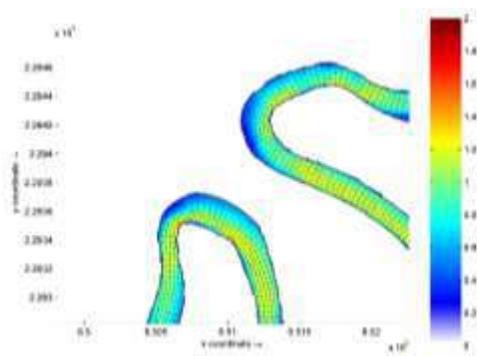
3.3. Các trường hợp nghiên cứu

- Nghiên cứu chế độ thủy lực trong điều kiện hiện trạng
- + Cấp lũ lớn nhất (PA-A0) $Q=1749\text{m}^3/\text{s}$
- + Cấp kiệt (PA-B0) $Q=665\text{m}^3/\text{s}$
- Nghiên cứu chế độ thủy lực điều kiện có công trình phương án 1 (PA1)
- + Cấp lũ lớn nhất (PA-A1) $Q=1749\text{m}^3/\text{s}$
- + Cấp kiệt (PA-B1) $Q=665\text{m}^3/\text{s}$

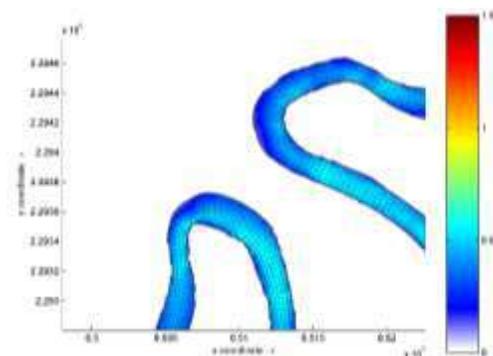
- Nghiên cứu chế độ thủy lực điều kiện có công trình phương án 2 (PA2)
- + Cấp lũ lớn nhất (PA-A2) $Q=1749\text{m}^3/\text{s}$
- + Cấp kiệt (PA-B2) $Q=665\text{m}^3/\text{s}$

3.4. Kết quả nghiên cứu chế độ thủy lực đoạn sông nghiên cứu trong điều kiện hiện trạng và sau khi có công trình chỉnh trị

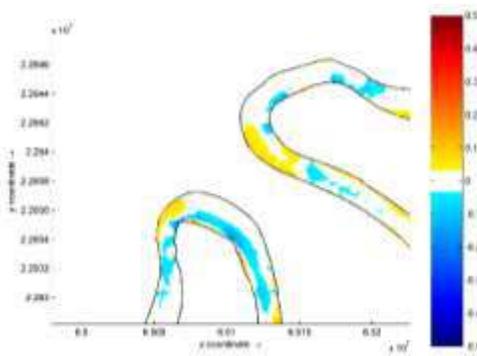
a) Kết quả mô phỏng theo kịch bản các cấp lưu lượng trong điều kiện hiện trạng (PA0)



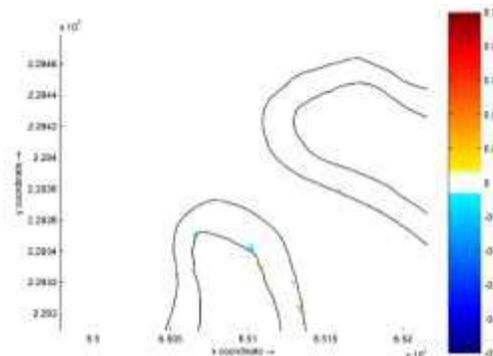
Hình 7: Trường vận tốc dòng chảy (m/s) trong điều kiện cấp lũ lớn nhất



Hình 8: Trường vận tốc dòng chảy (m/s) trong điều kiện cấp kiệt

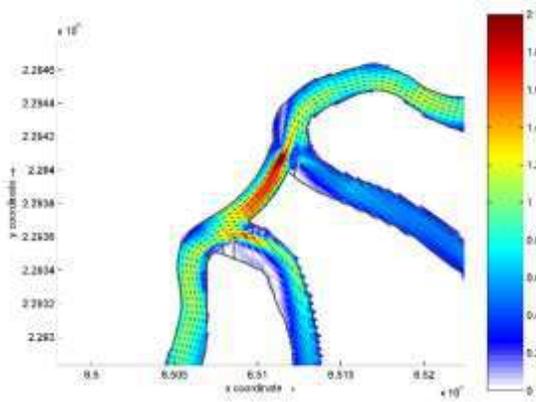


Hình 9: Biến động địa hình đáy (m) trong điều kiện cấp lũ lớn nhất

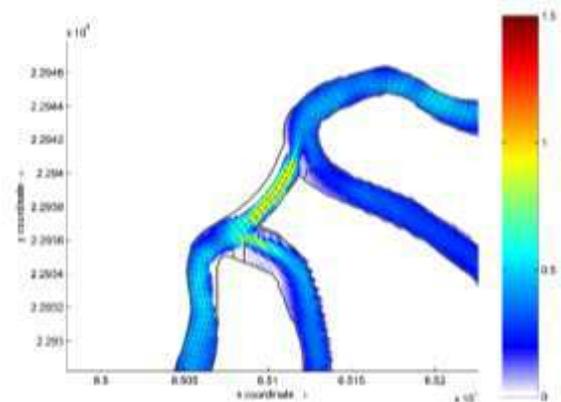


Hình 10: Biến động địa hình đáy (m) trong điều kiện cấp kiệt

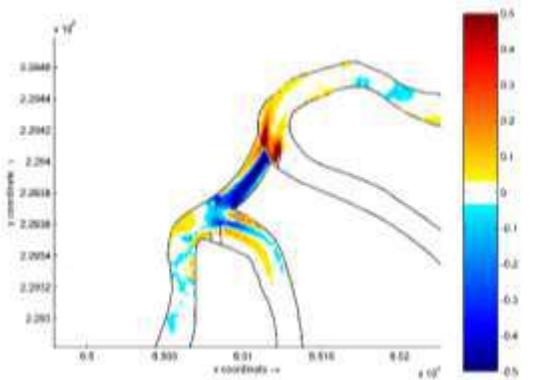
b) Kết quả mô phỏng theo kịch bản các cấp lưu lượng trong điều kiện bố trí công trình (PA1).



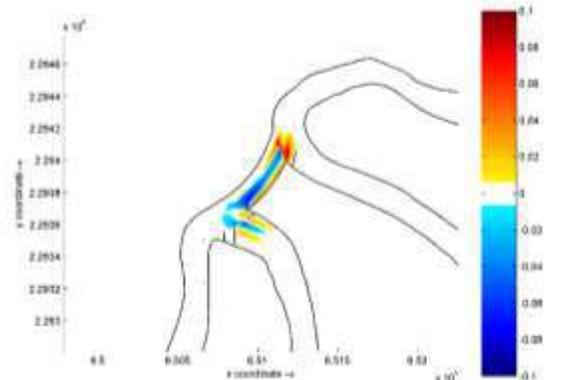
Hình 11: Trường vận tốc dòng chảy (m/s) trong điều kiện cấp lũ lớn nhất



Hình 12: Trường vận tốc dòng chảy (m/s) trong điều kiện cấp kiệt

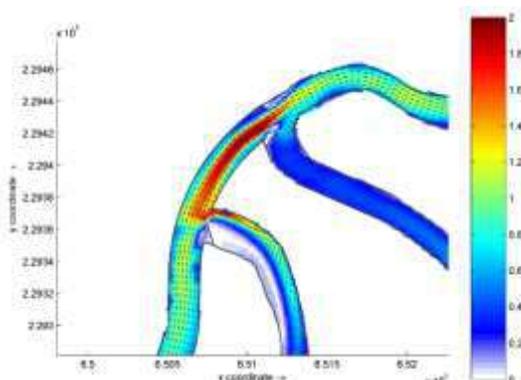


Hình 13: Biến động địa hình đáy (m) trong điều kiện cấp lũ lớn nhất

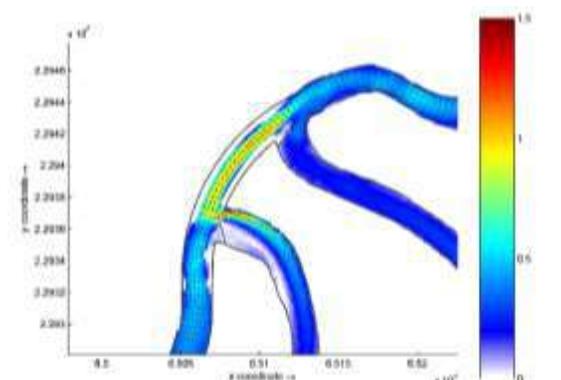


Hình 14: Biến động địa hình đáy (m) trong điều kiện cấp kiệt

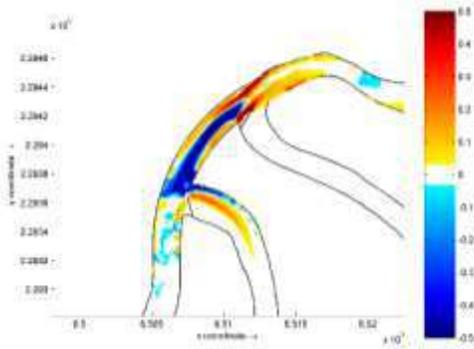
c) Kết quả mô phỏng theo kịch bản các cấp lưu lượng trong điều kiện bố trí công trình (PA2).



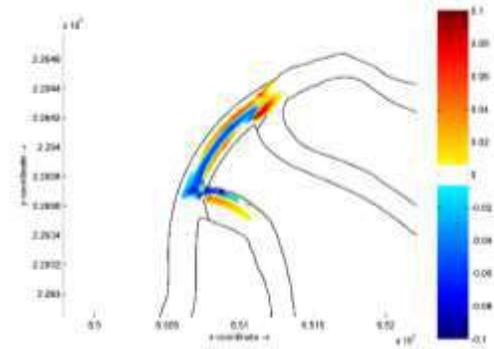
Hình 15: Trường vận tốc dòng chảy (m/s) trong điều kiện cấp lũ lớn nhất



Hình 16: Trường vận tốc dòng chảy (m/s) trong điều kiện cấp kiệt



Hình 17: Biến động địa hình đáy (m) trong điều kiện cấp lũ lớn nhất



Hình 18: Biến động địa hình đáy (m) trong điều kiện cấp kiệt

d) Phân tích kết quả

Bảng 4: Phương án công trình 1 (PA1)

Tên	Cấp lũ lớn nhất			Cấp Kiệt		
	MC01	MC02	MC11	MC01	MC02	MC11
Lưu lượng (m ³ /s)	1749	793.17	955.83	665	293.56	371.44
Mức nước (m)	3.27	3.13	3.1	1.29	1.24	1.21

Bảng 5: Phương án công trình 1 (PA1)

Tên	Cấp lũ lớn nhất			Cấp Kiệt		
	MC01	MC02	MC21	MC01	MC02	MC21
Lưu lượng (m ³ /s)	1749	722.8	1026.2	665	315.84	349.16
Mức nước (m)	3.35	3.13	3.11	1.34	1.25	1.24



Hình 19: Vị trí trích xuất kết quả tính toán

Kết quả mô phỏng các phương án công trình so với hiện trạng bằng mô hình 2 chiều (Delft3D-Flow) cho thấy được: Khu vực dự án ảnh hưởng của lũ trên sông (mùa lũ) và ảnh hưởng của thủy triều (mùa kiệt). Hai phương án công trình đều cho thấy kết quả lưu lượng

được phân bổ ra 2 nhánh. Các nhánh (kênh đào) lượng nước chuyển qua >50% so với nhánh sông cũ. Mức nước hai phương án chỉnh trị (qua kênh mới) đều giảm hơn so với phương án hiện trạng. Phương án 1 (cắt trong) có khoảng cách tuyến luồng ngắn hơn và có 4 kè hướng dòng như vậy đường bờ được bảo vệ bởi dòng chảy tác động trực tiếp. Giữa các tuyến kè hướng sẽ xói đáy do dòng chảy bị co hẹp và gây bồi phía sau kè hướng dòng. Phương án 2 (cắt ngoài) tuyến luồng dài hơn và thuận lợi về hướng dòng chảy hơn so với phương án 1 (cắt trong) do đó lượng nước chuyển sang nhiều hơn khoảng 4%. Tuy nhiên, phần đầu của tuyến luồng sẽ bị xói mạnh do PA2 chỉ có 1 kè hướng dòng vì vậy dòng chảy tập trung về phía bờ trái.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã chỉ ra rằng mô hình Delft3D mô phỏng khá tốt chế độ thủy động lực và vận chuyển bùn cát cho khu vực nghiên cứu. Kết quả mô phỏng đã làm sáng tỏ hình thái trước và sau khi có cụm công trình là do sự tương tác dòng chảy lũ và mùa kiệt. Lưu lượng được phân thành 2 nhánh sau khi có phương án công trình: Lưu lượng nước bên nhánh (kênh đào) cao bên nhánh tự nhiên (sông uốn khúc). Mực nước sau khi có phương án công trình giảm hơn với phương án hiện trạng do sự tách dòng. Biến đổi địa

hình khu vực công trình cho thấy khu vực có công trình mạnh hơn nhánh hiện trạng xói đáy ở khu vực luồng chính trị, bồi phía sau công trình ở nhánh tự nhiên. Hai phương án mặt bằng qui hoạch chính trị đều có tính khả thi về phương diện kỹ thuật. Theo kết quả từ mô hình toán có được, cho thấy rằng phương án cắt trong (PA 1) có tính toàn diện, triệt để, tính ổn định và hiệu quả chính trị cao hơn, đảm bảo an toàn đề điều, góp phần khắc phục tình trạng xói lở bờ, ổn định luồng, ổn định lòng sông và ảnh hưởng không đáng kể đến thoát lũ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Báo cáo nghiên cứu khả thi (1994). *Dự án nâng cấp cải tạo sông Luộc*. Công ty Tư vấn Xây dựng Đường Thủy (TEDI-WECCo), Hà nội 1994.
- [2] Báo cáo nghiên cứu khả thi (2002). *Dự án nâng cấp cải tạo tuyến vận tải thủy Quảng Ninh – Ninh Bình*. Công ty Tư vấn Xây dựng công trình thủy I (WACOSE).
- [3] Bộ giao thông vận tải (2021), *Quy hoạch kết cấu hạ tầng đường thủy nội địa thời kỳ 2021 – 2030, tầm nhìn đến năm 2050*.
- [4] Dự án phát triển GTVT đồng bằng Bắc Bộ - NDTDP (2016). Nghiên cứu lập dự án đầu tư xây dựng công trình nâng cấp tuyến hành lang đường thủy số 2 (Quảng Ninh - Hải Phòng - Thái Bình - Nam Định - Ninh Bình).
- [5] Lương Phương Hậu (2010), *Nghiên cứu các giải pháp Khoa học – Công nghệ cho hệ thống công trình chính trị trên các đoạn sông trọng điểm vùng ĐBBB và ĐBNB*. Báo cáo tổng kết đề tài KC08.14/06-10.
- [6] Nguyễn Kiên Quyết (2011), *Nghiên cứu một số giải pháp phòng chống sạt lở bờ sông*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Xây dựng.
- [7] Lê Văn Tuấn (2017), *Nghiên cứu cơ chế tác động để chính trị đoạn sông cong gấp trong vùng chịu ảnh hưởng của thủy triều*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật.
- [8] DHI, 2019. Users Manual: MIKE 11. Danish Hydraulic Institute.
- [9] Delft Hydraulics, 2006. Delft3D-FLOW User Manual; Delft3D-WAVE User Manual.