

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

TRÀ NGUYỄN QUỲNH NGA

**NGHIÊN CỨU SỰ PHÁT TRIỂN CỦA HỒ XỐI NGÃ BA  
SÔNG VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP GIẢM THIỂU CÁC ẢNH  
HƯỞNG BẤT LỢI – ÁP DỤNG CHO KHU VỰC HỢP LƯU  
SÔNG HẬU VÀ SÔNG VÀM NAO**

Ngành: Quản lý Tài nguyên và Môi trường  
Mã số ngành: 9850101

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2024

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn 1: PGS.TS. NGUYỄN THỊ BÃY

Người hướng dẫn 2: PGS.TS. HUỖNH CÔNG HOÀI

Phản biện độc lập:

Phản biện độc lập:

Phản biện:

Phản biện:

Phản biện:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....  
.....

vào lúc            giờ            ngày            tháng            năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

### Hội nghị quốc tế

1. Tra Nguyen Quynh Nga, Nguyen Thi Bay, Tran Thanh Long, Huynh Cong Hoai. Chapter 5: Drivers and Mechanisms of Erosion in the Vietnamese Mekong Delta. The Mekong Delta Environmental Research Guidebook. Book chapter from Elsevier.
2. Tra Nguyen Quynh Nga, Tran Thi Kim, Ho Huu Nghia, Huynh Cong Hoai, Nguyen Thi Bay (2022). Using the TELEMAC model for analyzing the hydrodynamic regime in the Vam Nao River, Vietnam. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 1091. 012016. 10.1088/1755-1315/1091/1/012016. (SCOPUS)

### Tạp chí trong nước

1. Trà Nguyễn Quỳnh Nga, Lê Thanh Thuận, Huỳnh Công Hoài, Nguyễn Thị Bảy. Nghiên cứu ứng dụng mô hình toán và công thức thực nghiệm đánh giá sự phát triển của hố xói sâu hạ lưu sông Hậu và sông Vàm Nao. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 5(713), 1-10.

### Đề tài nghiên cứu khoa học

1. “Nghiên cứu sự phát triển của hố xói sâu trên ngã ba sông Hậu – sông Vàm Nao bằng mô hình toán và bằng công thức thực nghiệm”, mã số đề tài T-KTXD-2018-108

# MỞ ĐẦU

## 1. Đặt vấn đề

Khu vực ngã ba sông (hợp lưu hoặc phân lưu) là khu vực có cấu trúc dòng chảy phức tạp thay đổi theo cả ba phương. Chế độ thủy động lực tại hợp lưu phụ thuộc vào đặc điểm hình thái và đặc điểm thủy văn của các sông nhánh, khi hình thái và thủy văn sông thay đổi theo thời gian thì chế độ thủy động lực vùng hợp lưu cũng thay đổi theo (B. Rhoads, 2020).

Hố xói hình thành tại hợp lưu ngã ba sông là một điển hình do dạng sông vừa cong, vừa co hẹp, vừa hợp lưu. Sự phát triển của dạng hố này phụ thuộc vào nhiều yếu tố về hình thái như góc hợp lưu, bán kính cong, cũng như phụ thuộc vào chế độ thủy động lực của dòng chảy từ hai nhánh sông (Ferrarin và cộng sự, 2018), và đặc biệt là sự phức tạp của chế độ thủy lực do sự hợp lưu của hai dòng chảy. Hố xói tồn tại trong lòng sông và trong trường hợp nó phát triển, di chuyển về gần sát bờ làm cho bờ dốc đứng hơn, gây mất ổn định mái bờ,...

Trên lưu vực sông Mekong, theo tài liệu từ Ủy hội sông Mekong, vùng Đồng Bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL) có tổng cộng khoảng 23 hố xói, phân bố dọc theo 2 hệ thống sông Tiền và sông Hậu. Các hố xói phân bố chủ yếu ở các đoạn sông cong phía bờ lõm; nơi hợp lưu của 2 dòng; hoặc nơi dòng chảy co hẹp đột ngột; hoặc cuối các cù lao... Theo thời gian, các hố xói phát triển mở rộng, tiến dần đến gần bờ, làm cho mái bờ trở nên dốc đứng, hoặc xuất hiện hàm ếch, gây trượt lở đất, dẫn đến sạt bờ.

Vào năm 2017, tại khu vực ấp Mỹ Hội, xã Mỹ Hội Đông, huyện Chợ Mới, tỉnh An Giang đã xảy ra cố sạt lở bờ sông, đây là một trong những điển hình sạt lở do có hố xói sâu hình thành gần bờ, và là điểm nóng lúc bấy giờ. Vụ sạt lở này có chiều dài sạt lở khoảng 70 m và ăn sâu vào bờ 35m, làm sụp đổ 16 căn nhà xuống sông, hư hỏng mặt đường nghiêm trọng.

Vấn đề sạt lở ở khu vực Vàm Nao nói riêng và ĐBSCL nói chung đã ảnh hưởng rất nhiều đến nhà cửa, an sinh của người dân, thiệt hại đến cơ sở hạ tầng và có thể đe dọa đến cuộc sống của con người. Do đó, việc nghiên cứu sự phát triển của hố xói để có những định hướng giải pháp lâu dài và bền vững nhằm hạn chế xói lở gây mất đất ở ven sông, kênh, rạch là rất cần thiết.

Từ những phân tích trên, luận án: “Nghiên cứu sự phát triển của hố xói ngã ba sông và đề xuất giải pháp giảm thiểu các ảnh hưởng bất lợi – áp dụng cho khu vực hợp lưu sông Hậu và sông Vàm Nao” được thực hiện.

## **2. Mục tiêu và nhiệm vụ nghiên cứu của LATS**

Mục tiêu chính của LATS là: Nghiên cứu sự phát triển theo thời gian của hồ xói tại ngã ba sông (hợp lưu sông Hậu và sông Vàm Nao) và bước đầu đề xuất giải pháp giảm thiểu các ảnh hưởng bất lợi.

Để đạt được 3 mục tiêu này, các nội dung nghiên cứu chính triển khai như sau:

Nội dung 1: Phân tích chế độ thủy lực, cấu trúc dòng chảy 3 chiều theo thời gian và phân tích xu thế dịch chuyển của dòng xoáy trên mặt cắt ngang sông khi thay đổi lưu lượng đầu vào của 2 nhánh sông Hậu và Vàm Nao.

Nội dung 2: Phân tích diễn biến hình thái đáy sông và xác định nguyên nhân, dự báo xu thế phát triển hồ xói ở ngã ba sông Hậu và sông Vàm Nao.

Nội dung 3: Đánh giá ảnh hưởng của sự phát triển hồ xói ngã ba sông Hậu – Vàm Nao đến sạt lở bờ sông, từ đó đưa ra các định hướng giải pháp phù hợp với đặc trưng của vùng nghiên cứu.

## **3. Đối tượng, phạm vi và giới hạn nghiên cứu**

Đối tượng nghiên cứu: Cấu trúc dòng chảy 2 chiều, 3 chiều và sự phát triển hồ xói tại ngã ba sông.

Phạm vi và giới hạn nghiên cứu về không gian: vùng nghiên cứu 2D trong luận án là hệ thống sông chính của ĐBSCL (từ biên giới Campuchia đến cầu Mỹ Thuận và cầu Cần Thơ), đặc biệt là mô hình 3D được áp dụng cho khu vực ngã ba của sông Hậu và sông Vàm Nao thuộc địa phận tỉnh An Giang.

Phạm vi và giới hạn nghiên cứu về thời gian: Mô hình 2D và 3D được tính toán trong giai đoạn từ 2014 đến 2019.

Giới hạn nghiên cứu: luận án này chỉ nghiên cứu sự phát triển của hồ xói do xói lòng dẫn tại một hợp lưu điển hình (sông Hậu - Vàm Nao), từ đó đề xuất định hướng các giải pháp để hạn chế ảnh hưởng của hồ xói đến bờ sông.

## **4. Câu hỏi nghiên cứu**

Các câu hỏi nghiên cứu được đặt ra từ nhận định chung về nguyên nhân sạt lở bờ của khu vực này như sau:

- Chế độ thủy lực của khu vực ngã ba sông có hồ xói phức tạp như thế nào và tác động đến bờ sông Hậu – Vàm Nao ra sao?
- Nguyên nhân nào dẫn đến xu thế phát triển của hồ xói, và nó tác động như thế nào đến bờ sông khu vực nghiên cứu?

## **5. Ý nghĩa khoa học, thực tiễn**

- Ý nghĩa khoa học: kết quả nghiên cứu góp phần làm rõ và hoàn thiện mô phỏng cấu trúc dòng chảy 3D tại ngã ba sông có hồ xói, từ đó đánh giá tác động của dòng chảy đến quá trình phát triển hồ xói. Các kết quả này sẽ góp phần xây dựng các cơ sở khoa học cho các nghiên cứu có liên quan đến hồ xói ở ngã ba sông, đặc biệt là hồ xói ở khu vực hợp lưu sông tương tự như sông Hậu và sông Vàm Nao.

- Ý nghĩa thực tiễn: kết quả của luận án có thể được triển khai ứng dụng phục vụ cho nghiên cứu các quá trình hình thành hồ xói tại các khu vực có đặc tính tương tự như tại ngã ba sông Vàm Nao và sông Hậu. Ngoài ra, các định hướng giải pháp giảm thiểu tác động giúp cho các nhà quản lý và quy hoạch nắm bắt, tổ chức lại một cách phù hợp các cụm dân cư, công trình tại những khu vực này.

## **6. Tính mới của luận án**

Điểm mới của Luận án là:

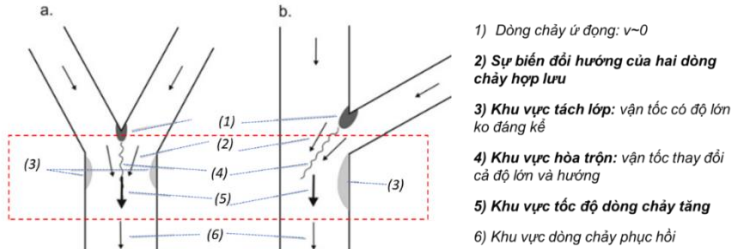
1. Phát triển được một phương pháp luận trong việc đánh giá ảnh hưởng của dòng chảy thứ cấp lên sạt lở bờ xuất hiện tại khu vực ngã ba sông có hồ xói, cụ thể là khu vực sông Hậu – sông Vàm Nao.
2. Vận dụng mô hình thủy lực để mô phỏng được dòng chảy thứ cấp, đồng thời kết hợp với mô hình tính diễn biến đáy, tính toán biến đổi đáy tại hợp lưu sông Hậu và sông Vàm Nao trong thời gian dài, thể hiện được cấu trúc dòng chảy theo phương đứng có dạng 2 xoáy ngược chiều nhau tác động vào đáy sông.
3. Tìm ra mối quan hệ giữa bề rộng của dòng xoáy gây xói đáy, tác động vào phía bờ phải sông Hậu (phía bờ Mỹ Hội Đông) và tỉ lệ lưu lượng “a” của 2 nhánh sông Hậu – sông Vàm Nao. Điều này đánh giá được khả năng bị xói phía bờ Mỹ Hội Đông khi có sự thay đổi tỷ lệ lưu lượng trên 2 nhánh sông Vàm Nao và sông Hậu.

# CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

## 1.1 Tổng quan vấn đề nghiên cứu

### 1.1.1 Đặc tính của ngã ba sông

Đặc điểm chung của dòng chảy ở vùng hợp lưu bao gồm 6 khu vực như Hình 1.2 (B. Rhoads, 2020)



Hình 1.2. Đặc tính của dòng chảy tại hợp lưu đối xứng (a) và không đối xứng (b) (B. Rhoads, 2020)

### 1.1.2 Đặc tính của hố xói sâu trên sông

Hố xói trên sông được hiểu là một hố sâu được hình thành trong lòng sông dưới tác động của nhiều nguyên nhân khác nhau từ tự nhiên và con người.

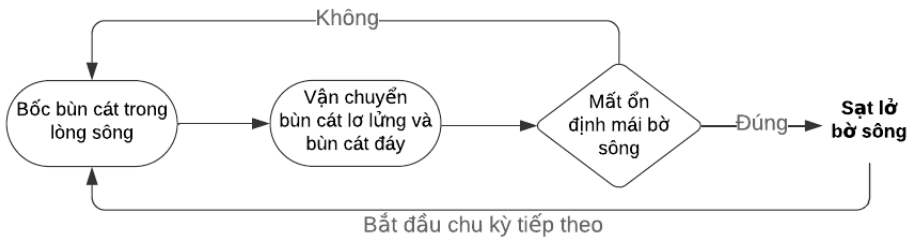
Có thể phân thành hai loại hố xói (Hoffmans & Verheij, 1997): (i) được hình thành trong lòng sông dưới tác động của dòng chảy tại những vị trí có hình thái đặc biệt như tại ngã ba sông, sau cồn, sát bờ lõm sông cong, ... (ii) được hình thành tại những vị trí sông có công trình xây dựng hoặc tại những nơi có các mỏ khai thác cát.

Trong luận án này tập trung nghiên cứu cho hố xói loại 1 hình thành do tác động của dòng chảy tại ngã ba sông.

### 1.1.3 Tác động của hố xói ngã ba sông đến sạt lở bờ sông

Sự cố sạt lở bờ là quá trình mà đất và các vật liệu bờ sông bị mất đi do nhiều yếu tố tác động, làm thay đổi đường bờ và lòng sông. Quá trình sạt lở bờ được mô tả như trong Hình 1.5.

Ở những khu vực gần sát bờ sông có hố xói, độ dốc của bờ sông tăng và có khả năng bị mất ổn định, dẫn đến sạt lở khối (Eilertsen & Hansen, 2008; Dey & Mandal, 2022). Trong một vài trường hợp khác, dưới tác động của thủy lực, khu vực này có thể bị xói, khoét vào chân bờ dạng hàm ếch, làm cho bờ sông bị sụp lở (Watson & Basher, 2006).



Hình 1.5. Quá trình sạt lở bờ sông

## 1.2 Tổng quan các nghiên cứu trong và ngoài nước về hố xói ở ngã ba sông

### 1.2.1 Trên thế giới

Trong nghiên cứu về hố xói tự nhiên, những hố xói sâu thường đặc trưng ở những vùng chịu ảnh hưởng của triều, tại hợp lưu giữa các nhánh sông và đoạn sông co hẹp đột ngột (Hoffmans & Verheij, 1997). Các nghiên cứu chủ yếu sử dụng kết hợp phương pháp đo đạc thực địa và mô hình toán.

- Dòng chảy triều lên gây xói và tạo ra dốc đứng cho phía thượng lưu của hố xói, dòng triều xuống gây bồi lắng dọc các mặt dốc thoải hơn (S. S. Ginsberg & G. M. E. Perillo, 1999; Kjerfve và cộng sự, 1979; Xie và cộng sự, 2018)
- Tìm ra sự tương quan giữa độ sâu tương đối của hố xói và góc tạo bởi các nhánh sông hợp lưu (Ashmore & Parker, 1983; Kjerfve và cộng sự, 1979)
- Dự báo quá trình phát triển của các hố xói bằng công cụ ngoại suy sử dụng số liệu đo đạc trong quá khứ để dự báo xu thế trong tương lai gần (Koevoets, 2019)

### 1.2.2 Trong nước

Nghiên cứu về hố xói ở ĐBSCL cũng có từ những năm 2000. Đặc biệt là nghiên cứu của Đinh Công Sản đã đưa ra công thức tính chiều sâu lớn nhất của hố xói cục bộ trong lòng sông tự nhiên (Sản, 2006).

- Nghiên cứu về dòng chảy xoáy (Eddy Current) tại đoạn sông Vàm Nao nơi có hố xói (Tánh và cộng sự, 2022; 2023) chỉ phân tích dòng xoáy do tách dòng và dòng chảy giáp nước giữa triều lên và triều xuống. Các giá trị vận tốc ở đây cũng nhỏ hơn 0,1 m/s không đủ cơ sở để nhận định khả năng tác động đến bờ sông. Vì vậy, cũng cần nghiên cứu thêm để tìm ra đúng nguyên nhân chính để có thể gây xói lở đáy dẫn đến sạt bờ.
- Một nghiên cứu khác có nhắc đến các hố xói ở vùng thượng lưu ĐBSCL (Bình và cộng sự, 2022) dựa vào các số liệu thực đo kết hợp mô hình. Kết quả dự báo đến năm 2026 dưới sự giảm phù sa 85% khu vực này sẽ hình thành thêm 6 hố



xói so với năm 2018. Nhóm tác giả dự báo các hố xói mới sẽ có khả năng gây ra sạt lở bờ trong tương lai.

Các nghiên cứu của tác giả chưa phân tích chính xác cấu trúc dòng chảy tại hợp lưu, chưa xác định nguyên nhân chính hình thành hố xói, xu thế diễn biến hố xói, đồng thời chưa đánh giá ảnh hưởng bất lợi của cấu trúc dòng chảy đến bờ sông.

### **1.3 Những thành tựu đã đạt được và những tồn tại trong nghiên cứu về hố xói ở ngã ba sông**

#### ***1.3.1 Những thành tựu đã đạt được***

- Thành lập công thức thực nghiệm dự báo độ sâu tương đối của hố xói và góc hợp bởi các nhánh sông (Kjerfve và cộng sự, 1979; Ashmore & Parker, 1983).
- Hình thái hố xói phụ thuộc rất nhiều vào chế độ triều (Kjerfve và cộng sự, 1979; S. S. Ginsberg & G. M. E. Perillo, 1999; Xie và cộng sự, 2018);
- Dự báo sự phát triển của các hố xói bằng công cụ ngoại suy (Koevoets, 2019).
- Đề xuất công thức tính chiều sâu lớn nhất của hố xói cục bộ sông cong (Sân, 2006).

#### ***1.3.2 Vấn đề còn tồn tại***

- Chưa nghiên cứu về sự phát triển của hố xói tại ngã ba sông, đặc biệt là cho ngã ba sông Hậu và sông Vàm Nao.
- Chưa phân tích ảnh hưởng của tỷ lệ lưu lượng dòng chảy từ sông nhánh đến sự dịch chuyển cấu trúc dòng chảy theo phương ngang tác động vào 2 bờ sông hợp lưu nơi có hố xói;
- Chưa nghiên cứu về ảnh hưởng bất lợi đến bờ sông gây ra do sự phát triển của hố xói ở ngã ba sông.

### **1.4 Vấn đề nghiên cứu của luận án**

Trong luận án này sẽ nghiên cứu các vấn đề chính như sau:

- Phân tích chế độ thủy lực phức tạp và cấu trúc dòng chảy ở khu vực ngã ba sông có hố xói, đồng thời phân tích sự dịch chuyển và kích thước của dòng thứ cấp tại mặt cắt ngang qua hố xói theo các tỷ lệ lưu lượng khác nhau trên hai sông nhánh.
- Phân tích diễn biến hình thái đáy sông và xác định nguyên nhân, dự báo xu thế phát triển hố xói ở ngã ba sông;
- Đánh giá ảnh hưởng của dòng thứ xoáy thứ cấp đến sự hình thành và phát triển của hố xói, đánh giá ảnh hưởng của sự phát triển hố xói đến sạt lở bờ sông, từ đó

đưa ra các hướng giải pháp phù hợp cho đặc tính của khu vực nghiên cứu và các vùng có đặc tính tương tự.

## **1.5 Tổng quan khu vực nghiên cứu**

### ***1.5.1 Giới thiệu tổng quan đặc trưng chung của vùng lũ ĐBSCL***

Lưu lượng của sông Tiền chiếm 81.4% và sông Hậu chỉ chiếm 18.6%. Nhờ sông Vàm Nao chuyển nước mà phía hạ lưu có lưu lượng cân bằng hơn. Bên cạnh đó, sự phát triển kinh tế, xã hội và thủy điện, thủy lợi liên vùng ở phía thượng nguồn sông Mekong cũng có khả năng làm ảnh hưởng đến lượng nước đổ về ĐBSCL.

Tải lượng phù sa về ĐBSCL không giống nhau trong nhiều năm, nhưng nhìn chung là có xu hướng giảm từ năm 2008 đến 2019.

Công trình xây dựng ven bờ đã làm gia tăng thêm tải trọng bờ, kết hợp với nền địa chất yếu sẽ làm tăng tốc độ sụt lún nền đất. Bên cạnh đó, ven sông là nơi có nguy cơ cao về sạt lở bờ vì ngoài tải trọng bờ thì còn chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố khác như tác động của dòng chảy dọc bờ, tác dụng của sóng tàu,...

### ***1.5.2 Tình hình xói lở chung cho vùng lũ ĐBSCL***

Tình trạng sạt lở bờ sông, bờ biển diễn ra ở ĐBSCL ngày một nghiêm trọng, đe dọa đến sự an toàn của người dân.

Có 7 nguyên nhân chính gây ra diễn biến xói lở hệ thống sông ĐBSCL, trong đó 3 nguyên nhân từ tự nhiên: (1) Cấu tạo địa chất yếu; (2) Hình thái sông bất lợi (sông cong, ngã ba, cù lao, mở rộng hoặc co hẹp); (3) Chế độ thủy lực, chênh lệch mực nước nhiều,... và 4 nguyên nhân do con người tác động: (4) sự thiếu hụt bùn cát từ thượng lưu, (5) khai thác cát trên sông, (6) giao thông thủy, (7) xây dựng cơ sở hạ tầng.

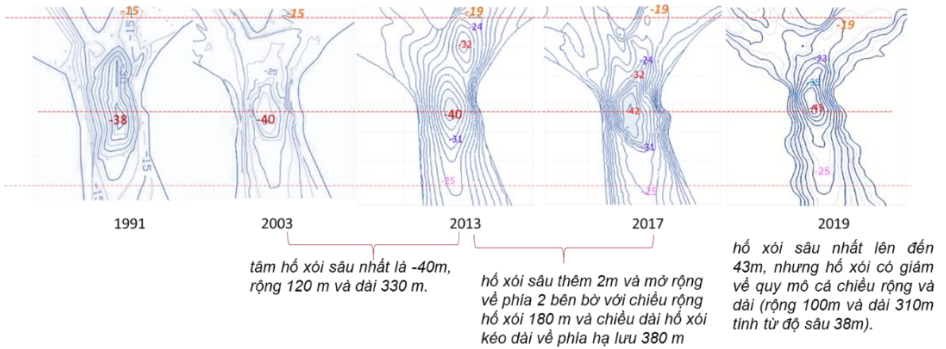
### ***1.5.3 Diễn biến đường bờ khu vực hợp lưu sông Hậu và sông Vàm Nao***

Dọc sông Vàm Nao phía bờ xã Kiến An và xã Mỹ Hội Đông, đường bờ có xu hướng mở rộng, trong khi đó, phía bờ thuộc xã Tân Trung thì không biến đổi. Điều này chứng tỏ rằng khi lưu lượng đổ vào sông Vàm Nao tăng lên, dưới ảnh hưởng của sông cong, dòng chảy sẽ áp sát theo lòng địa hình đáy sông phân bố lệch về phía bờ lõm, sẽ làm cho bờ lõm ngày càng xói hơn, xói chân bờ trong thời gian dài sẽ làm cho bờ bị sụp, làm cho bờ sông ngày càng mở rộng hơn.

### ***1.5.4 Diễn biến hồ xói hợp lưu***

Kích thước của hồ xói hợp lưu sông Vàm Nao – sông Hậu có nhiều biến đổi theo thời gian. Từ năm 1991 đến 2013, tâm hồ xói nằm ở giữa dòng, tuy nhiên sau 2016 thì nhận thấy hồ xói phát triển mở rộng về phía bờ phải (bờ của xã Mỹ Hội

Đông). Địa hình đáy sông được nội suy và biểu diễn dưới dạng các đường đồng mức độ sâu như Hình 1.34



Hình 1.34. Sự phát triển của hố xói ngã ba sông Vàm Nao theo thời gian

## 1.6 Kết luận Chương 1

Trong nội dung của chương này, luận án đã tổng hợp được định nghĩa về hố xói và sự hình thành hố xói trong sông, tổng quan được tình hình nghiên cứu về hố xói trên thế giới và trong nước, những nghiên cứu về hố xói ở ĐBSCL cũng như các nghiên cứu ở sông Vàm Nao và hợp lưu sông Hậu, sông Vàm Nao. Từ những tổng quan đó đã phân tích được những thành tựu đã đạt được và những tồn tại chưa được làm rõ trong nghiên cứu về hố xói ở hợp lưu sông Hậu và sông Vàm Nao, từ đó đề xuất được vấn đề nghiên cứu cụ thể cho luận án này.

## CHƯƠNG 2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ DỮ LIỆU

### 2.1 Phương pháp mô hình toán

#### 2.1.1 Phân tích và lựa chọn mô hình toán

Trên thế giới có rất nhiều mô hình toán mô phỏng quá trình thủy lực và diễn biến lòng dẫn như: CCHE2D, EFDC ECOMSED, TELEMAC, Delft3D, MIKE 21. Trong đó, nghiên cứu này lựa chọn mô hình TELEMAC/SISYPHE vì nhiều ưu điểm và đã có nhiều nghiên cứu ứng dụng mô hình TELEMAC để mô phỏng cho khu vực ĐBSCL đạt hiệu quả (Bình và cộng sự, 2022; T. N. Q. Nga và cộng sự, 2022; San và cộng sự, 2022; Thanh TN và cộng sự, 2023).

#### 2.1.2 Cơ sở lý thuyết mô hình

Mô hình TELEMAC-2D giải hệ phương trình dòng chảy mặt trung bình theo chiều sâu dựa trên hệ phương trình Saint-Venant (Ata và cộng sự, 2014; Hervouet, 2007).

TELEMAC3D là mô hình 3 chiều mô tả 3 chiều vận tốc (U,V,W) và độ sâu mực nước h từ cao độ đáy và mực nước tại mỗi bước thời gian (Hervouet, 2007).

Mô hình SISYPHE giải biến đổi đáy bằng phương trình Exner với trường hợp hạt không đồng nhất (lớp cấp hạt thứ k).

Hai module TELEMAC và SISYPHE được kết hợp với nhau và được giải bằng phương pháp phần tử hữu hạn tính cho lưới phi cấu trúc.

#### 2.1.3 Cơ sở và phương pháp đánh giá mô hình

Mô hình được hiệu chỉnh sao cho kết quả tính toán phù hợp nhất với số liệu thực đo. Để đánh giá sự phù hợp giữa thực đo và tính toán, trong mô hình thủy lực dùng chỉ số Nash-Sutcliffe (NSE) và hệ số tương quan  $R^2$ , đối với mô hình chuyển tải phù sa sẽ đánh giá bằng phần trăm sai số (PBIAS).

### 2.2 Các phương pháp nghiên cứu khác

#### 2.2.1 Phương pháp viễn thám

Phương pháp viễn thám được sử dụng để trích xuất đường bờ từ ảnh viễn thám trong nhiều năm. Kết quả này được sử dụng trong phần phân tích tổng quan sự biến động đường bờ trong nhiều năm của khu vực nghiên cứu.

#### 2.2.2 Phương pháp GIS

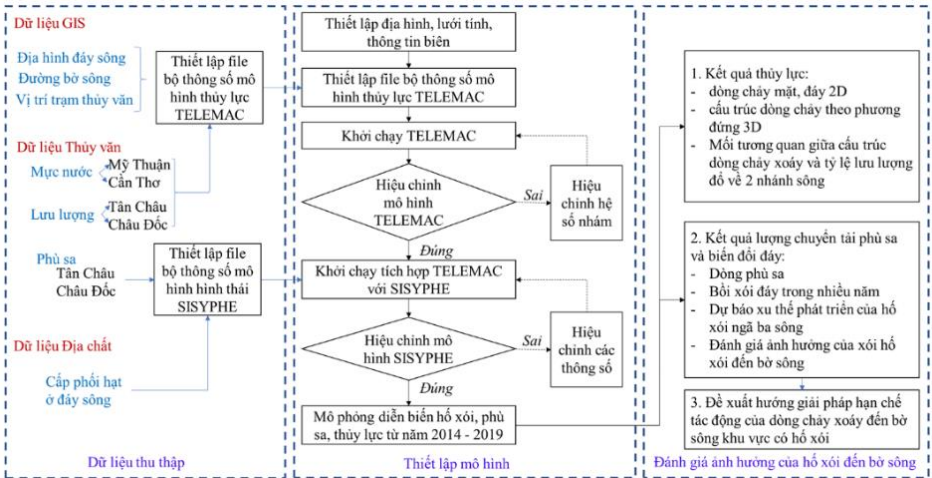
Trong luận án này, phần mềm được sử dụng để biên tập và xử lý các thông tin địa lý là phần mềm ArcGIS 10.5 và phần mềm Surfer 18.1. Các phần mềm này được sử dụng phục vụ cho các nội dung trong luận án như sau: (i) Thành lập các

sơ đồ khu vực nghiên cứu; (ii) Xuất các kết quả về thể tích của hồ xói từ các dữ liệu thu thập được; (iii) Xử lý các dữ liệu địa hình, nội suy các giá trị và hiển thị kết quả tính toán.

### 2.2.3 Phương pháp thu thập, thống kê, phân tích tài liệu và số liệu

Tổng hợp và phân tích các tài liệu, các công trình nghiên cứu trước nhằm kế thừa kết quả, tránh sự trùng lặp, đưa ra những vấn đề tồn tại và phát triển hướng nghiên cứu mới. Thu thập số liệu và thống kê đánh giá mức độ tin cậy của các số liệu, phục vụ xuyên suốt quá trình nghiên cứu. Sử dụng thống kê để phân tích các số liệu thu thập được, đồng thời tổng hợp số liệu/tài liệu theo định hướng mong muốn phục vụ cho việc phân tích đánh giá. Ngoài ra, phương pháp này được sử dụng để đánh giá độ tin cậy của mô hình.

Với mục đích nghiên cứu sự phát triển theo thời gian của hồ xói tại ngã ba sông cùng các phương pháp nghiên cứu như đã phân tích trên, một sơ đồ phương pháp thực hiện được trình bày như trong Hình 2.4:



Hình 2.4. Sơ đồ phương pháp thực hiện nghiên cứu

## 2.3 Dữ liệu

### 2.3.1 Dữ liệu địa hình

Số liệu địa hình trong khu vực nghiên cứu được kế thừa từ Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, từ đề tài của tác giả Nguyễn Thị Bảy, số liệu được cập nhật đến năm 2013. Địa hình đáy của các sông bao gồm 302775 điểm đo độ sâu với độ sâu trong khoảng từ 0 đến -43m.

Số liệu mặt cắt ngang của hồ xói là số liệu đo đạc, được kế thừa từ đề tài của tác giả Nguyễn Trần Nhã Tấn được sử dụng để so sánh với địa hình đáy ngang qua hồ xói từ kết quả mô hình.

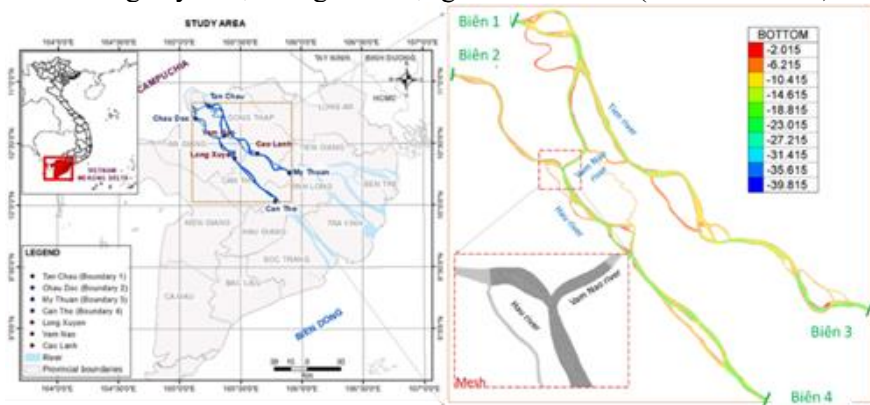
### 2.3.2 Dữ liệu thủy văn và phù sa

Số liệu về mực nước, lưu lượng theo giờ và nồng độ phù sa theo ngày thu thập từ Đài khí tượng thủy văn tại tất cả các trạm thủy văn trong vùng nghiên cứu. Trong đó, dữ liệu tại Tân Châu, Châu Đốc, Mỹ Thuận và Cần Thơ được dùng làm dữ liệu biên; 3 trạm còn lại (Vàm Nao, Cao Lãnh, Long Xuyên) dùng để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Trạm Vàm Nao có dữ liệu mực nước, lưu lượng và nồng độ phù sa; trạm Long Xuyên và Cao Lãnh chỉ có dữ liệu mực nước. Dữ liệu biên thu thập từ năm 2014 đến 2019 để phục vụ cho quá trình mô phỏng theo các giai đoạn.

## 2.4 Thiết lập mô hình

### 2.4.1 Mô hình TELEMAC 2D và SISYPHE

Miền tính cho mô hình 2D được giới hạn từ Tân Châu đến Mỹ Thuận trên sông Tiền và từ Châu Đốc đến Cần Thơ trên sông Hậu. Miền tính bao gồm 4 biên lỏng được đánh dấu như trong hình, với biên 1 tại trạm Tân Châu, biên 2 tại trạm Châu Đốc, biên 3 tại trạm Mỹ Thuận và biên 4 trạm Cần Thơ. Trong đó, khu vực tập trung để phân tích kết quả là hợp lưu của sông Hậu và sông Vàm Nao, đoạn có hồ xói và từng xảy ra sạt lở nghiêm trọng vào năm 2017 (xem Hình 2.12).

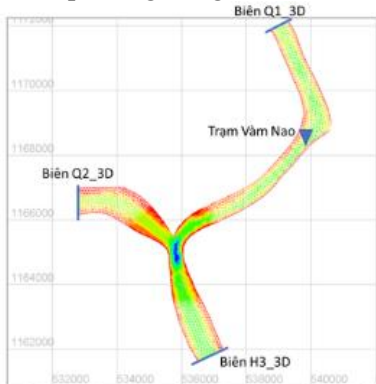


Hình 2.12. Miền tính toán mô hình 2D và bình đồ

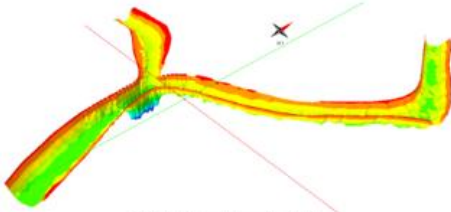
### 2.4.2 Mô hình TELEMAC3D và SISYPHE

Mô hình 3D tập trung tính toán cho khu vực hợp lưu sông Hậu và sông Vàm Nao, được giới hạn như Hình 2.13. Lưới tính bao gồm 2 thành phần: thành phần lưới

tam giác như lưới của mô hình 2D gồm 7247 phần tử và 13829 cạnh, khoảng cách các cạnh 2m. Lưới theo phương đứng được chia thành 10 lớp.



a. Lưới 3D với phương ngang là lưới phi cấu trúc tương tự lưới 2D



b. Địa hình trong không gian 3 chiều

Hình 2.13. Lưới tính mô hình 3D

### 2.5 Kết luận chương 2

Chương này trình bày các phương pháp nghiên cứu và dữ liệu sử dụng trong luận án. Trong đó phương pháp nghiên cứu chính là mô hình toán. Cơ sở lý thuyết của mô hình cũng đã được trình bày, bao gồm: TELEMAC2D, TELEMAC3D và SISYPHE. Để đánh giá hiệu quả của mô hình cần có cơ sở và phương pháp đánh giá phù hợp. Các dữ liệu sử dụng trong luận án cũng được thống kê rõ ràng để đảm bảo độ tin cậy của các dữ liệu sử dụng.

## CHƯƠNG 3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1 Hiệu quả mô phỏng bằng TELEMAC và SISYPHE

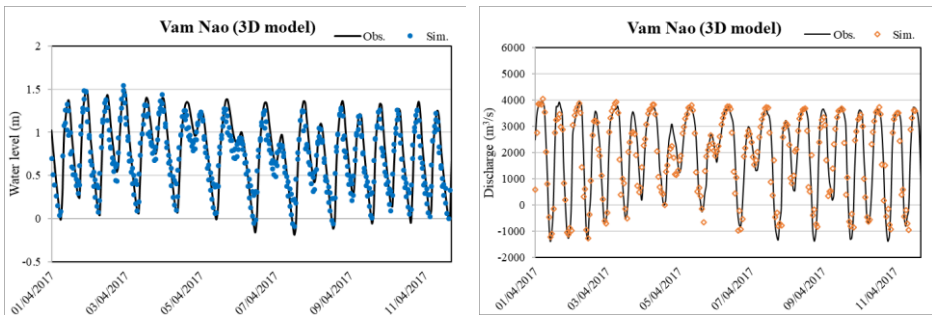
#### 3.1.1 Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Với chỉ số NSE,  $R^2$  và PBIAS như Bảng 3.1 đã chứng minh bộ thông số trong mô hình thủy lực là phù hợp, đảm bảo độ tin cậy để thiết lập bộ thông số đầu vào mô hình vận chuyển bùn cát.

*Bảng 3.1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mực nước (H), lưu lượng (Q) và hàm lượng phù sa (SSC) tại các trạm*

| Trạm       | Mùa lũ (10/2014) |      |            |      | Mùa kiệt (04/2017) |            |       |      |            |      |
|------------|------------------|------|------------|------|--------------------|------------|-------|------|------------|------|
|            | NSE              |      | $R^2$      |      | NSE                |            | $R^2$ |      |            |      |
|            | H                | Q    | H          | Q    | H                  | Q          | H     |      |            |      |
| Vàm Nao    | 0.73             | 0.67 | Vàm Nao    | 0.73 | 0.67               | Vàm Nao    | 0.73  | 0.67 | Vàm Nao    | 0.73 |
| Long Xuyên | 0.66             | -    | Long Xuyên | 0.66 | -                  | Long Xuyên | 0.66  | -    | Long Xuyên | 0.66 |
| Cao Lãnh   | 0.60             | -    | Cao Lãnh   | 0.60 | -                  | Cao Lãnh   | 0.60  | -    | Cao Lãnh   | 0.60 |

Mô hình 3D được hiệu chỉnh bằng số liệu mực nước, lưu lượng thu thập tại trạm Vàm Nao. Kết quả hiệu chỉnh được trình bày trong Hình 3.4, với hệ số NSE > 0,7 cho thấy mô hình 3D phù hợp để phân tích dòng chảy trong không gian 3 chiều cho đoạn hợp lưu này.



*Hình 3.4. Kết quả hiệu chỉnh mô hình TELEMAC3D*

Mô hình SISYPHE tính toán sự thay đổi đáy và cập nhật lại địa hình trong nhiều năm. Sau 3 năm tính toán từ mô hình từ 2014 đến cuối 2016 được xuất ra để so sánh với dữ liệu địa hình đo đạc năm 2017, trong giai đoạn 2017 đến 2019 được so sánh với dữ liệu địa hình đo đạc năm 2018 và 2019. Các kết quả đều cho  $NSE > 0.9$ ;  $R^2 > 0.9$ ; đều cho thấy mô hình đạt hiệu quả tốt.



### 3.1.2 Bộ thông số mô hình sau kiểm định

Bảng 3.2. Bộ thông số mô hình sau kiểm định

| Thông số   | Đơn vị               | Giá trị                             |
|--|----------------------|-------------------------------------|
| Bước thời gian   | giây                 | 10                                  |
| <b>Mô hình thủy lực TELEMAC2D</b>                            |                      |                                     |
| Hệ số nhám   |                      | 0,015 – 0,027                       |
| Mô hình rối  |                      | Mô hình k-ε                         |
| <b>Mô hình vận chuyển bùn cát và diễn biến đáy (SISYPHE)</b> |                      |                                     |
| Số lớp đáy   | m                    | Lớp 1: 35m; Lớp 2: 5m; Lớp 3: 7m    |
| Số cấp phối hạt  |                      | 2                                   |
| Đặc tính bùn cát   |                      | Không kết dính                      |
| Chuyển tải đáy (Bedload)                                     |                      | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Công thức tính toán chuyển tải bùn cát đáy                   |                      | VanRijn                             |
| Đường kính hạt theo từng cấp phối thứ k                      | mm                   | Fraction 1: 0.05<br>Fraction 2: 0.1 |
| Độ rỗng của hạt  |                      | 0.375                               |
| ALT (bề dày của lớp bùn cát sát đáy $q_b$ )                  | m                    | 0.15                                |
| Hàm lượng bùn cát mỗi lớp                                    | kg/m <sup>3</sup>    | 200; 250; 800                       |
| Hằng số xói  | kg/m <sup>2</sup> /s | 10 <sup>-6</sup>                    |
| Vận tốc lắng động bùn cát tới hạn $u_{*cr}$                  | m/s                  | 0.03                                |
| Ứng suất tới hạn xói   | N/m <sup>2</sup>     | 0.05                                |

### 3.2 Các kịch bản mô phỏng

Luận án này sẽ tính toán cho hiện trạng và dự báo (tóm tắt như trong Bảng 3.4):

- Hiện trạng: chia thành 2 giai đoạn:

+ Giai đoạn 1: từ 2014 đến hết năm 2016 (trước khi xảy ra sạt lở).

+ Giai đoạn 2: từ 2017 đến hết năm 2019 (sau khi xảy ra sạt lở).

- Dự báo: lưu lượng qua trạm Châu Đốc (biên Q2\_3D) giữ nguyên, lưu lượng qua trạm Vàm Nao (biên Q1\_3D) giảm 30% so với số liệu của năm 2018.

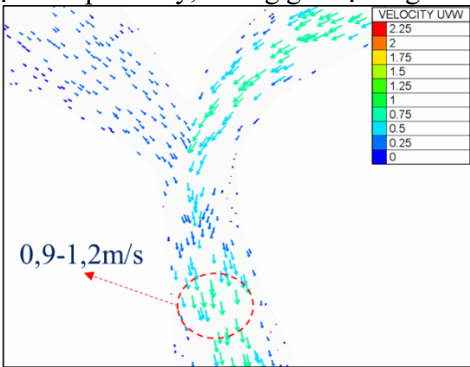
Bảng 3.4. Các kịch bản mô phỏng

| Kịch bản   | Kí hiệu     | Thời gian mô phỏng | Biên Q1_3D                                  | Biên Q2_3D     | Biên H         |
|------------|-------------|--------------------|---|----------------|----------------|
| Hiện trạng | Giai đoạn 1 | 2014-2016          | Dữ liệu thực Q                              | Dữ liệu thực Q | Dữ liệu thực Z |
|            | Giai đoạn 2 | 2017-2019          | Dự liệu thực Q                              | Dự liệu thực Q | Dự liệu thực Z |
| Dự báo     | VN-30%      | 2018               | Q giảm 30% so với số liệu thực của năm 2018 | Dữ liệu thực Q | Dữ liệu thực Z |

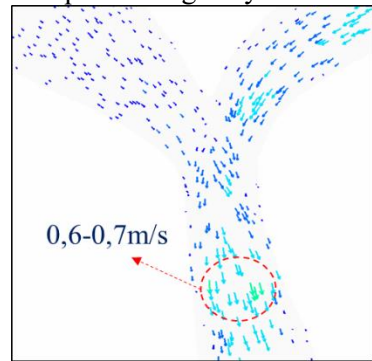
### 3.3 Các kết quả tính toán về chế độ thủy động lực học tại khu vực hợp lưu sông Hậu-sông Vàm Nao

#### 3.3.1 Kết quả thủy lực

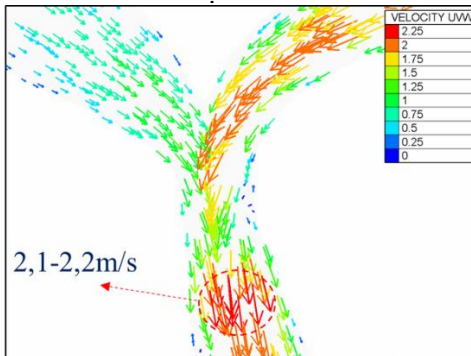
Tại những đoạn cong, ngoài dòng chảy theo phương chính, còn xuất hiện dòng thứ cấp (dòng chảy vòng trên mặt cắt ngang) do dòng bị uốn cong, nó tác động vào đáy sông và có khả năng gây xói. Kết quả về trường vận tốc ở lớp bề mặt và lớp sát đáy được trình bày trong Hình 3.9. Phân bố vận tốc lớp mặt (lớn nhất đạt giá trị 2,1 m/s-năm 2018) luôn lớn hơn vận tốc lớp sát đáy (1,7 m/s năm 2018). Lớp sát đáy vận tốc dòng chảy cũng đạt giá trị lớn, cho thấy khả năng bóc hạt lớn. Tại vùng phía sát bờ của xã Mỹ Hội Đông vẫn tồn tại xoáy ngang ở cả lớp mặt và lớp sát đáy, nhưng giá trị cũng nhỏ như kết quả từ dòng chảy 2 chiều.



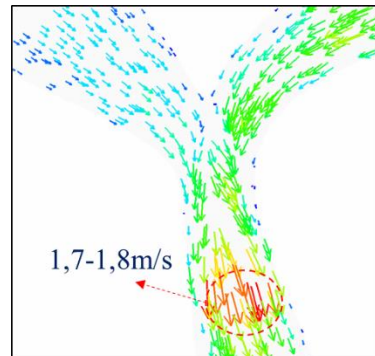
a. lớp mặt, triệu xuông mạnh nhất vào mùa kiệt năm 2015



b. lớp đáy, triệu xuông mạnh nhất vào mùa kiệt năm 2015



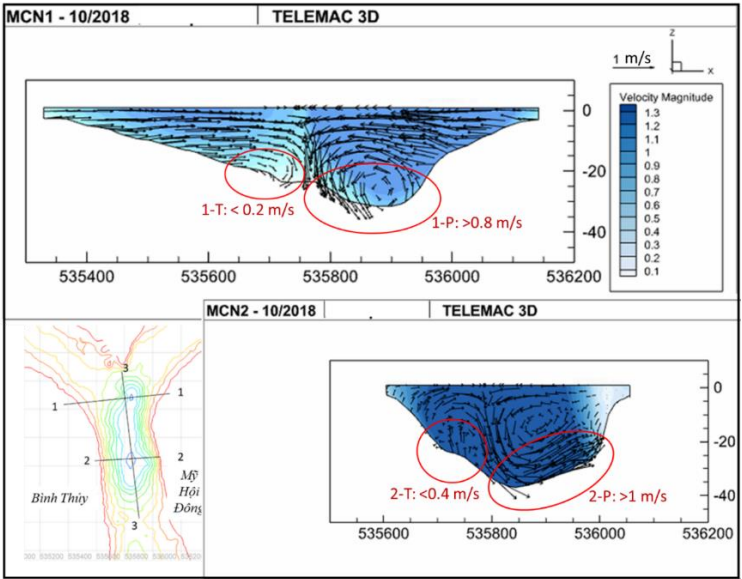
c. lớp mặt, triệu xuông mạnh nhất vào mùa lũ năm 2018



d. lớp đáy, triệu xuông mạnh nhất vào mùa lũ năm 2018

Hình 3.9. Vận tốc dòng chảy ở lớp mặt (a,c) và lớp sát đáy (b,d) tại hợp lưu sông Hậu – sông Vàm Nao

Hình 3.10 biểu diễn kết quả vận tốc tính toán từ TELEMAC3D được chiếu lên MCN1 và MCN2. Có hai dòng chảy vòng rõ ràng đối ngược nhau tại 2 MCN này. Trên cả 2 mặt cắt, vòng bên phải đều có cường độ lớn hơn hẳn (vận tốc khoảng 0,8 m/s tại MCN1 và khoảng 1 m/s tại MCN2) so với bên trái (vận tốc nhỏ hơn 0,2m/s và 0,4 m/s, tại MCN1 và MCN2 tương ứng). Vận tốc của vòng bên phải hướng thẳng xuống đáy và xoáy vào bờ phải bên xã Mỹ Hội Đông với giá trị lớn ngang với vận tốc dòng chính. Hai dòng thứ cấp kết hợp với dòng chảy theo phương chính tạo thành dòng chảy xoắn ốc, đây là yếu tố rất quan trọng ảnh hưởng đến xói sâu và xói ngang của lòng dẫn (N. T. Nga & Thục, 2003).



Hình 3.10. Dòng chảy vòng tại mặt cắt ngang hố xói từ mô hình TELEMAC3D vào mùa lũ (10/2018)

Mặt khác, theo số liệu thực đo thu thập được về sự phát triển của hố xói này, sau năm 2013 cho thấy hố xói phát triển mở rộng dần về phía bờ Mỹ Hội Đông. Để làm rõ vấn đề này, dòng chảy vòng trên hai MCN1 và MCN2 được xuất ra theo từng năm trong mùa lũ. Tại MCN1, vào những năm 2014, 2017 và 2018 cho thấy dòng thứ cấp bên trái có quy mô lớn hơn những năm khác (2015, 2016, 2019). Tại MCN2, vào những năm 2017 và 2018 dòng thứ cấp bên trái có quy mô phát triển và ép dần dòng thứ cấp bên phải về phía bờ Mỹ Hội Đông. Những năm này tương thích với tỷ lệ lưu lượng từ sông Hậu đổ về so với sông Vàm Nao tăng lên.

**Sự phụ thuộc của bề rộng B của dòng xoáy bên phải vào tỷ lệ a ( $a = \frac{Q_{CB}}{Q_{VN}}$ ,  $Q_{VN} \neq 0$ ):**

Đặt a là tỷ lệ giữa lưu lượng trạm Châu Đốc (trên sông Hậu) và lưu lượng trên sông Vàm Nao ( $a = \frac{Q_{CB}}{Q_{VN}}$ ,  $Q_{VN} \neq 0$ ), gọi B là bề rộng của dòng thứ cấp bên phải so với bờ Mỹ Hội Đông (MHD). Mối quan hệ giữa a và B được thiết lập như trên Hình 3.13, với trục tung là tỷ lệ a, trục hoành chỉ bề rộng B1 hoặc B2 bề rộng của xoáy bên phải (so với bờ MHD) tương ứng tại MCN1 và MCN2. Kết quả từ quan hệ cho thấy rằng, tỷ lệ lưu lượng hợp lưu của 2 nhánh sông có ảnh hưởng đến bề rộng B. Khi tỷ lệ a tăng thì B càng giảm. Như vậy, dòng thứ cấp bên phải sẽ càng dịch chuyển về bờ MHD.

Mối tương quan giữa bề rộng của dòng thứ cấp (B1, B2) so với bờ MHD phụ thuộc vào tỷ lệ từ Hình 4.13 có thể được tính như sau:

$$B1 = -130,45a + 480,85 \quad (3.1)$$

$$B2 = -111,01a + 361,06 \quad (3.2)$$

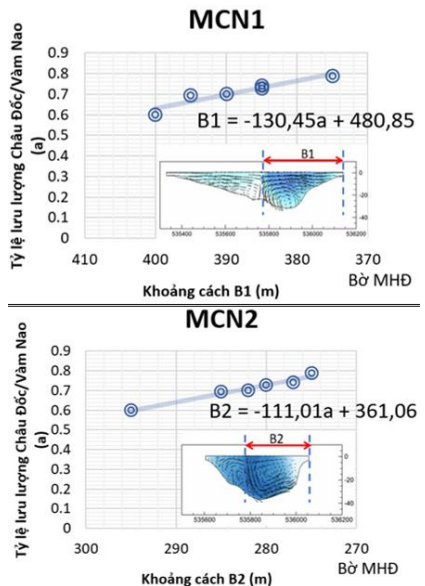
Trong đó,  $a \neq 0$  và  $B1 < 800\text{m}$ ;  $B2 < 450\text{m}$  (800m và 450m tương ứng là kích thước chiều rộng của MCN1 và MCN2).

Những kết quả trên chứng tỏ nếu tỷ lệ lưu lượng của các nhánh trước hợp lưu có sự thay đổi, thì dòng chảy thứ cấp sẽ dịch chuyển và gây tác động đối với bờ.

**Khảo sát xu thế dịch chuyển của các dòng thứ cấp từ mô hình:**

Phần này sử dụng kết quả từ kịch bản mô phỏng VN-30% để khảo sát rõ ràng hơn về sự dịch chuyển của dòng thứ cấp phụ thuộc vào tỷ lệ lưu lượng.

Kết quả tính toán cho thấy, khi tỷ lệ a ( $Q_{CB}/Q_{VN}$ ) tăng từ 0,79 (năm 2018) đến 1,13 (KB VN-30%) thì khoảng cách B của dòng thứ cấp bên phải so với bờ MHD giảm từ 375 m đến 335 m (đối với MCN1) và từ 275 m đến 235 m (đối với MCN2). Kết quả này cũng nghiệm đúng phương trình hồi quy tuyến tính  $B = f(a)$  tìm được như công thức (3.1) và (3.2).

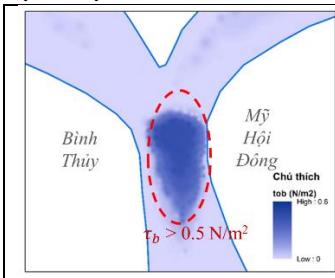


**Hình 3.13. Quan hệ của bề rộng dòng thứ cấp bên phải B phụ thuộc vào tỷ lệ a giữa  $Q_{CB}/Q_{VN}$**

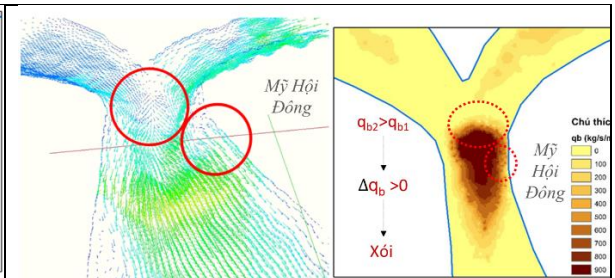
### 3.3.2 Kết quả bùn cát và diễn biến đáy

Kết quả diễn biến thủy lực tại ngã ba sông Vàm Nao (như đã phân tích ở phía trên) cũng dẫn tới quy mô của hố xói cũng sẽ có nhiều sự thay đổi theo thời gian. Sự thay đổi của hố xói theo thời gian được đánh giá dựa vào kết quả từ mô hình TELEMAC3D liên kết với SISYPHE.

Trên Hình 3.15 biểu diễn trường ứng suất đáy tại khu vực tính toán với giá trị tăng dần từ màu xanh nhạt (từ  $0.01 \text{ N/m}^2$ ) đến màu xanh đậm (trên  $0.6 \text{ N/m}^2$ ) so với ứng suất đáy tới hạn của khu vực này  $0.05 \text{ N/m}^2$  tính theo công thức VanRijn trong mô hình SISYPHE. Hầu như trên toàn vùng, ứng suất đáy đều vượt quá giá trị tới hạn.



Hình 3.15. Ứng suất tiếp lớp sạt đáy



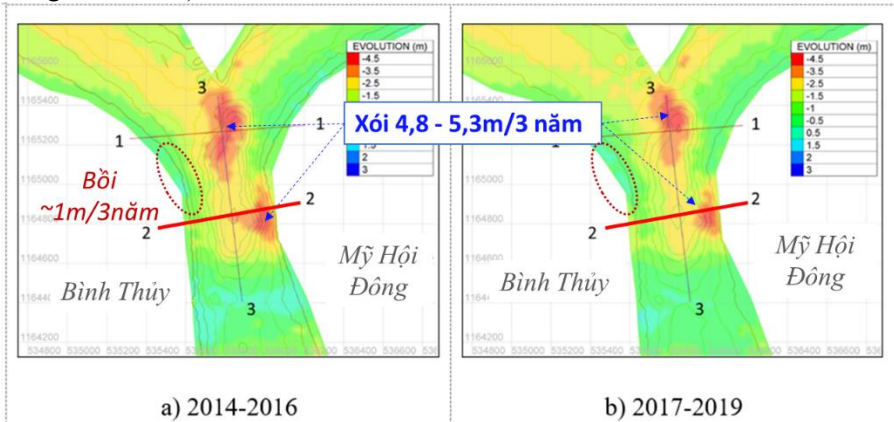
Hình 3.16. Kết quả dòng bùn cát đáy

Sự biến đổi đáy sông phụ thuộc nhiều vào “gradient” dòng bùn cát đáy. Dòng bùn cát đáy tại khu vực hợp lưu được thể hiện trong Hình 3.16 với lưu lượng bùn cát đáy  $q_b$  tính bằng (kg/s)/m. Kết quả cho thấy giá trị bùn cát đáy lớn tập trung ở vị trí hố xói (trên  $800 \text{ kg/s/m}$ ). Quan sát thấy ở phía thượng lưu và vách phải của hố xói có “Gradient”  $q_b$  dương (phần khoanh tròn trong Hình 3.16), điều này đã minh chứng được sự phát triển của hố xói về phía thượng lưu và mở rộng về phía bên phải bờ MHĐ. Khu vực này tương ứng với  $\tau_b$  đều lớn hơn  $0.5 \text{ N/m}^2$  và lớn hơn nhiều so với ứng suất tới hạn ( $\tau_{cr} = 0.05 \text{ N/m}^2$ ). Hạ lưu của hố xói, dòng bùn cát  $q_b$  giảm đi theo hướng dòng chảy, điều này cũng chứng tỏ được hố xói không phát triển về phía hạ lưu.

Để thấy rõ mức độ bồi, xói đáy quanh hố xói, tính toán sự thay đổi cao độ đáy ( $\Delta z$ ) của lòng sông trong đã được thực hiện cho các năm từ 2014 đến 2019, kết quả được thể hiện trong Hình 3.17.

Hình 3.17a thể hiện rõ tốc độ xói lớn hơn và lệch về phía bờ Mỹ Hội Đông và ở phía thượng lưu. Tại MCN2, trong giai đoạn 2014 đến 2016 ở vị trí sát bờ phải (trong phạm vi 100m so với bờ Mỹ Hội Đông), tốc độ xói lớn ( $\sim 5,3\text{m}$  sau 3 năm), ở vị trí này có dòng xoáy thứ cấp (như đã phân tích phía trên), là một trong những

nguyên nhân đào khoét đáy sông, làm tăng độ dốc mái bờ và khả năng lớn làm mất ổn định mái bờ. Xu thế bồi có khuynh hướng tập trung vào khu vực bờ trái (phía xã Bình Thủy) ở vị trí của MCN1. Tuy nhiên tốc độ bồi không đáng kể (chỉ khoảng 1m/3 năm).



Hình 3.17. Sự biến đổi đáy quanh hố xói hợp lưu trong 2 giai đoạn từ mô hình SISYPHE

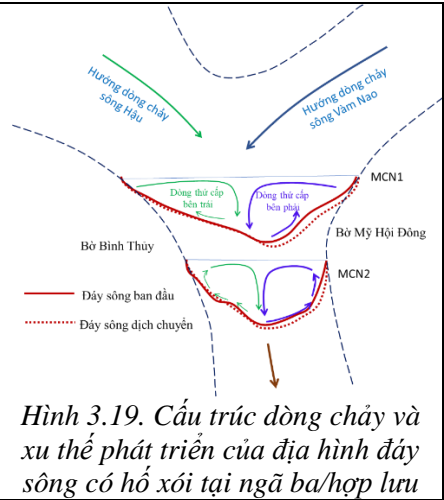
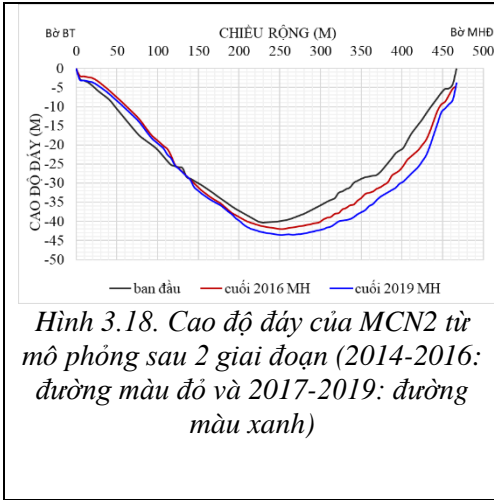
Trong giai đoạn 2017 đến 2019 (xem Hình 3.17b): phân bố bồi, xói cũng có xu thế tương tự, nhưng tốc độ xói ở giai đoạn này có phần giảm hơn, tốc độ xói lớn cũng lệch về phía bờ Mỹ Hội Đông và ở phía thượng lưu.

Kết quả diễn biến đáy theo từng năm tại hố xói được thống kê như trong Bảng 3.6. Khu vực tại đây chủ yếu là xói với tốc độ -0,8 m/năm. Năm 2016 mức độ xói thống kê là lớn nhất (lớn hơn -1,85 m/năm), trong khi đó tốc độ bồi chỉ đạt khoảng tối đa 0,64 m/năm. Điều này đã minh chứng cho vụ sạt lở bờ MHD tháng 4/2017, mép bờ sông bên phải bị dốc đứng hơn và gây mất ổn định mái bờ.

Bảng 3.6. Thống kê mức độ bồi, xói đáy sông ngay hợp lưu sông Hậu-sông Vàm Nao có hố xói từ 2014 đến 2019

|                        |     | 2014  | 2015         | 2016         | 2017        | 2018        | 2019         |
|------------------------|-----|-------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>Bồi<br/>(m/năm)</b> | Max | 0.78  | 0.27         | 0.64         | <b>0.80</b> | <b>0.80</b> | 0.39         |
|                        | Min | 0.21  | 0.04         | 0.25         | 0.30        | 0.29        | 0.08         |
| <b>Xói<br/>(m/năm)</b> | Max | -1.36 | <b>-1.78</b> | <b>-1.85</b> | -1.36       | -1.35       | <b>-1.80</b> |
|                        | Min | -0.31 | -0.30        | -0.26        | -0.23       | -0.22       | -0.25        |

Dưới đây là trích xuất các kết quả tính toán từ mô hình tại MCN2 qua tâm hố xói cuối mỗi giai đoạn (Hình 3.18). Kết quả cũng cho thấy rõ hơn về xu thế phát triển mở rộng về bên phải bờ MHD và sâu hơn của hố xói. So với các kết quả đo đạc được của MCN2 thì kết quả tính toán từ mô hình có sự tương đồng.



**3.3.3 Nguyên nhân và xu thế phát triển của hồ xói**

Trong khu vực hồ xói tại hợp lưu của sông Vàm Nao - Hậu, nhận thấy rằng có 2 yếu tố chính dẫn đến sự phát triển hồ xói:

- (1) Yếu tố hình thái sông cong ngược hướng nhau của 2 nhánh sông tại hợp lưu. Yếu tố này đã quyết định nên vị trí của hồ xói phân bố ở giữa đòng.
- (2) Một yếu tố thứ hai được đề cập tới là yếu tố thủy lực. Tỷ lệ lưu lượng  $Q_{CB}/Q_{VN}$  trong những năm qua có xu hướng tăng, làm cho đòng xoáy thứ cấp bên phải dịch chuyển về phía bờ MHD. Yếu tố này rất quan trọng vì nó quyết định sự phát triển của hồ xói mở rộng về phía bờ MHD.

**3.4 Đề xuất các hướng giải pháp giảm thiểu ảnh hưởng bất lợi của hồ xói hợp lưu đến sạt lở bờ**

Cơ sở cho việc đề xuất giải pháp nhằm phòng tránh hoặc giảm nhẹ thiệt hại do sạt lở bờ gây ra là nhận diện được các yếu tố có khả năng gây sạt lở bờ.

Yếu tố ảnh hưởng đến khả năng sạt lở bờ tại ngã ba sông Hậu và sông Vàm Nao, nơi có hồ xói sâu, đó là cấu trúc dòng chảy 3 chiều phức tạp (có đòng thứ cấp là 2 vòng xoáy) gây xói sâu và xói ngang, làm xói chân bờ, tăng độ dốc mái bờ sông.

**3.4.1 Hướng giải pháp chỉnh trị sông**

Trong một số trường hợp cụ thể thì dòng chảy có thể được điều chỉnh để giảm thiểu sạt lở bờ hoặc tạo ra bồi lắng. Các kết cấu của giải pháp này có những đặc tính như sau: (i) Giảm tác dụng của lực thủy động lên bờ sông; (ii) Kiểm soát hoặc điều hướng dòng chảy, giảm vận tốc tác động vào bờ và chân bờ.

Sau đây là một số giải pháp chỉnh trị sông phù hợp với đặc điểm thủy động lực của vùng ngã ba có hồ xói, có thể áp dụng cho ngã ba sông Hậu – Vàm Nao và một số vùng có đặc tính tương tự.

- Giải pháp hướng dòng: Mục đích của các giải pháp hướng dòng là làm cho dòng chủ lưu chuyển hướng ra xa khỏi bờ hoặc hướng dòng bùn cát sao cho tạo bồi lắng ở vị trí bị xói. Giải pháp hướng dòng thường dùng là mỏ hàn.

- Điều tiết lưu lượng 2 nhánh sông: Kết quả nghiên cứu từ luận án đã chỉ ra tỷ lệ lưu lượng sông Hậu và sông Vàm Nao có tác động đến khả năng sạt lở bờ sông ở khu vực ngã ba sông có hồ xói này. Vì vậy để giảm sạt lở bờ sông, đặc biệt là phía bờ của xã Mỹ Hội Đông, cần thiết xem xét các giải pháp liên quan đến việc điều tiết lưu lượng của 2 sông này. Tuy nhiên, sông Hậu và sông Vàm Nao nhận nước từ thượng nguồn sông Mekong đổ về, do đó, để điều tiết được lưu lượng nước về ĐBSCL cần phải có sự phối hợp liên quốc gia. Vì vậy, cần nghiên cứu kỹ và đưa ra đề xuất phù hợp nhất để giảm thiểu xung đột nguồn nước giữa các quốc gia.

- Đảo chiều hoàn lưu: Công trình đảo chiều hoàn lưu được ứng dụng để chống sạt lở, bảo vệ bờ sông dựa trên nguyên tắc tác động vào dòng chảy theo chiều ngược lại của dòng thứ cấp. Mục tiêu của công trình đảo chiều hoàn lưu là làm đảo ngược các quá trình dòng thứ cấp trong tự nhiên, nghĩa là công trình sẽ làm dòng chảy hướng ra xa khỏi bờ, tránh hướng trực tiếp vào bờ xói, đồng thời dòng bùn cát đáy sẽ được đưa về phía bờ bị xói để làm bồi đáy.

### **3.4.2 Hướng giải pháp chống sạt lở bờ**

#### Giải pháp công trình:

Tại khu vực hợp lưu sông có hồ xói, cơ chế xói lở chủ yếu là dạng xói chân bờ và khoét hàm éch, vì vậy chỉ cần khắc phục vấn đề xói chân bờ thì sẽ hạn chế sạt lở bờ. Giải pháp đề xuất cho trường hợp này là gia cố chân bờ để giảm bớt sự phát triển của hồ xói.

Giải pháp dùng rọ đá để gia cố mái bờ ở vị trí có khả năng bị xói, trường hợp này sẽ làm cho vận tốc dừng lại ở chân bờ, từ đó không gây xói chân bờ.

Một số giải pháp công trình cứng ứng dụng trong bảo vệ trực tiếp bờ sông, bao gồm: Kè áp mái, Tường chắn chống sạt lở bờ.

Hiện nay các nhà khoa học cũng đang nghiên cứu về các loại vật liệu mới nhằm tăng độ bền của kết cấu các công trình bảo vệ bờ chống sạt lở. Những vật liệu mới đã và đang được nghiên cứu và ứng dụng bao gồm: (i) Hỗn hợp xi măng đất, (ii) Bê tông cốt phi kim, (iii) Công nghệ túi vải địa kỹ thuật. Những công nghệ



mới này đều có phạm vi ứng dụng riêng tùy đặc tính của từng vùng, nhưng chúng có tiềm năng cao trong xây dựng kè bảo vệ bờ tại vùng ĐBSCL. Vì vậy, cần nghiên cứu kỹ theo các tiêu chí phù hợp với điều kiện của địa phương để giảm thiểu rủi ro, và kiểm nghiệm trên mô hình trong phòng thí nghiệm trước khi triển khai ứng dụng trong thực tế.

#### Giải pháp phi công trình:

Bên cạnh các giải pháp chỉnh trị sông và giải pháp công trình, thì các giải pháp phi công trình cũng rất quan trọng và cần thiết. Các giải pháp phi công trình đề xuất phù hợp với khu vực nghiên cứu này:

- Quan trắc thường xuyên đến lưu lượng đổ về hai nhánh hợp lưu, tính toán tỷ lệ lưu lượng của nhánh nhằm dự báo trước xu thế của sự dịch chuyển hố xói nhằm có biện pháp kịp thời giảm thiểu sạt lở.
- Hàng năm nên có kế hoạch quan trắc độ sâu của hố xói để khẳng định kịp thời sự dịch chuyển của hố xói.
- Bố trí các biển báo ở 2 bên bờ sông để nhắc nhở người dân tránh xa khu vực này. Bên cạnh đó, cần có những kênh thông tin, tuyên truyền và hướng dẫn cộng đồng về tính chất nguy hiểm của các khu vực có nguy cơ sạt lở cao, trong đó, cần có các hướng dẫn về cách ứng xử tạm thời khi có sự cố sạt lở xảy ra.
- Ngoài ra, các nhà quản lý cần quy hoạch lại khu dân cư cũng như các công trình ven bờ sông, tạo vùng đệm để tránh tăng tải trọng bờ ở những khu vực này.

### **3.5 Kết luận chương 3**

Chương 3 đã trình bày các kết quả nghiên cứu của luận án và đã giải quyết được các nội dung đã đặt ra. Dựa vào các dữ liệu từ đo đạc và kết quả phân tích từ mô hình có thể thấy rằng vùng hợp lưu sông Hậu và sông Vàm Nao ngay vị trí có hố xói vẫn đang diễn biến khá phức tạp, tuy nhiên, xu thế xói lở tập trung ở giữa lòng hố xói, phát triển mở rộng về phía thượng lưu và phía bờ phải thuộc xã Mỹ Hội Đông. Từ đó, đưa ra các hướng giải pháp để giảm thiểu các ảnh hưởng bất lợi đến sạt lở bờ sông.

# KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

## 1. Kết luận

Trong khuôn khổ của Luận án, các kết quả đạt được đã hoàn thành mục tiêu nghiên cứu đề ra, đó là tìm ra được nguyên nhân và phân tích được xu thế phát triển hồ xói tại khu vực hợp lưu của sông Hậu - sông Vàm Nao, từ đó đề xuất các hướng giải pháp thích hợp nhằm làm giảm sự ảnh hưởng của nó đến sạt lở bờ sông. Các kết quả đã thực hiện được:

(1) Đã phân tích được các nghiên cứu liên quan đến hồ xói nói chung và hồ xói ở hợp lưu sông Hậu-sông Vàm Nao nói riêng.

(2) Đã tính toán và phân tích kỹ về chế độ thủy động lực và diễn biến đáy đặc trưng cho vùng hợp lưu sông cong có hồ xói điển hình tại sông Hậu-Vàm Nao, từ đó đề xuất các hướng giải pháp có thể nghiên cứu để áp dụng cho khu vực nghiên cứu này.

Dưới đây tóm tắt lại 3 mục tiêu chi tiết đã đề ra ban đầu và các kết quả đạt được tương ứng:

Mục tiêu 1: Phân tích chế độ thủy lực, cấu trúc dòng chảy 3 chiều theo thời gian và phân tích xu thế dịch chuyển của dòng chảy khi thay đổi lưu lượng đầu vào của 2 nhánh sông:

- Tính được trường vận tốc dòng chảy theo từng lớp từ mô hình 3D, trong đó đặc biệt là lớp vận tốc sát đáy. Vận tốc lớp mặt lớn nhất đạt giá trị 2,1 m/s-năm 2018, tại lớp sát đáy đạt 1,7 m/s năm 2018.

- Phân tích dòng chảy vòng trên MCN hồ xói: có hai dòng chảy vòng đối ngược nhau. Trên cả 2 mặt cắt, vòng bên phải đều có cường độ lớn hơn hẳn (vận tốc khoảng 0,8 m/s tại MCN1 và khoảng 1 m/s tại MCN2) so với bên trái (vận tốc nhỏ hơn 0,2m/s và 0,4 m/s, tại MCN1 và MCN2 tương ứng). Hai dòng chảy vòng kết hợp với dòng chảy theo phương chính tạo thành dòng chảy xoắn, đây là yếu tố rất quan trọng ảnh hưởng đến xói sâu và xói ngang của lòng dẫn.

- Tìm ra được mối quan hệ giữa vị trí của dòng chảy vòng bên phải (phía bờ của MHD) với tỷ lệ lưu lượng Châu Đốc và Vàm Nao. Đây cũng là tính mới của luận án nhằm khảo sát sự phát triển của hồ xói về phía bờ MHD. Mối quan hệ này được thể hiện qua hai phương trình tương quan:  $B1 = -130,45a + 480,85$  (đối với MCN1) và  $B2 = -111,01a + 361,06$  (đối với MCN2). Việc phát hiện này sẽ giúp các nhà nghiên cứu có cơ hội dự báo được xu thế triển hồ xói Vàm Nao dựa trên dự báo lưu lượng đổ về hai nhánh sông.

- Đồng thời, tìm ra được xu thế dịch chuyển của dòng chảy vòng gây bất lợi cho phía bờ MHD từ kịch bản khi lưu lượng qua trạm Vàm Nao giảm đi 30%: với kịch bản này, khoảng cách B2 tiến về bờ MHD thêm 40 m, điều mà các nghiên cứu trước đây chưa có.

Mục tiêu 2: Phân tích diễn biến hình thái đáy sông và xác định nguyên nhân, dự báo xu hướng phát triển hố xói ở ngã ba sông:

- Tính được trường ứng suất đáy và lưu lượng bùn cát đáy. Kết quả cho thấy ứng suất đáy  $\tau_b$  đều lớn hơn  $0.5 \text{ N/m}^2$  và lớn hơn nhiều so với ứng suất tới hạn ( $\tau_{cr} = 0.05 \text{ N/m}^2$ ) trên toàn vùng. Lưu lượng dòng bùn cát đáy lớn tập trung ở vị trí hố xói (trên  $45 \text{ kg/s/m}$ ), ở phía thượng lưu và vách phải của hố xói có “Gradient”  $q_b$  dương, chứng tỏ được hố xói phát triển về phía thượng lưu và mở rộng về phía bên phải bờ MHD.

- Tìm ra được các nguyên nhân chính ảnh hưởng đến sự phát triển của hố xói hợp lưu: yếu tố hình thái sông cong và thủy lực (tỷ lệ của lưu lượng trên 2 nhánh sông hợp lưu) là hai yếu tố quyết định đến sự phát triển hố xói của khu vực này.

Mục tiêu 3: Đánh giá ảnh hưởng của sự phát triển hố xói ngã ba sông đến sạt lở bờ sông, từ đó đưa ra các định hướng giải pháp phù hợp với đặc trưng của vùng nghiên cứu:

- Đưa ra được các hướng giải pháp thích hợp nhằm giảm thiểu các ảnh hưởng bất lợi của sự phát triển hố xói đến sạt lở bờ. Giải pháp được chọn ở đây bao gồm các giải pháp công trình và phi công trình. Trong đó, giải pháp công trình thích hợp là sử dụng kè rọ đá chân bờ.

## **2. Kiến nghị**

Chế độ thủy động lực học và diễn biến bồi xói đáy, sạt lở bờ sông chịu ảnh hưởng bởi rất nhiều yếu tố từ tự nhiên, địa chất, hình thái môi trường xung quanh và yếu tố con người. Trong khuôn khổ của luận án còn một số hạn chế:

- Luận án chỉ giới hạn nghiên cứu biến đổi đáy sông, xói, bồi lòng dẫn mà chưa nghiên cứu về sạt lở bờ.

- Phạm vi nghiên cứu chỉ chọn một vùng điển hình cho hai dòng hợp lưu cong trái chiều như ở hợp lưu sông Hậu và sông Vàm Nao. Những loại hố xói khác chưa được nghiên cứu tính toán.

- Các yếu tố do hoạt động của con người chưa được đưa vào mô hình tính toán, ví dụ như ảnh hưởng của yếu tố khai thác cát....

- Các kết quả mô hình trong luận án này được mô phỏng trong khoảng thời gian từ năm 2014 đến năm 2019. Vì vậy các kết quả phân tích tính toán ở trên chỉ

mang tính chất đại diện cho các khoảng thời gian này. Mà quá trình hình thành và phát triển hồ xói cần thời gian dài hơn nữa để có thể đạt trạng thái ổn định.

Mặc dù còn có một số hạn chế như trên nhưng kết quả mô phỏng đã giúp làm rõ chế độ thủy động lực học, nguyên nhân và xu thế phát triển của hồ xói, từ đó xác định được ảnh hưởng của quá trình phát triển hồ xói ở khu vực hợp lưu sông Hậu-Vàm Nao đến tình hình sạt lở bờ sông. Vì vậy, kết quả từ luận án cũng mở ra được thêm những hướng nghiên cứu sau:

- Nghiên cứu sự phát triển của hồ xói dưới ảnh hưởng của khai thác cát ở phía thượng nguồn.
- Nghiên cứu các loại hồ xói điển hình khác.
- Nghiên cứu diễn biến bờ sông ở các khu vực có hồ xói sâu