

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

Trà Nguyễn Quỳnh Nga^{1,2}, Lê Thanh Thuận^{1,2}, Huỳnh Công Hoài^{1,2}, Nguyễn Thị Bảy^{1,2}

Tóm tắt: Phía hạ lưu sông Vàm Nao hợp lưu với sông Hậu, ngày 22 tháng 04 năm 2017 đã xảy ra một vụ sạt lở lớn làm ảnh hưởng nghiêm trọng đến dân sinh và kinh tế của địa phương. Theo nhận định của nhiều chuyên gia thì địa hình nơi đây có một hố xói sâu gần bờ, làm ảnh hưởng đến độ dốc và độ ổn định mái bờ gây sạt lở. Trong bài báo này, phương pháp mô hình toán được sử dụng để đánh giá sự phát triển của hố xói, đồng thời ứng dụng công thức thực nghiệm để tính toán độ sâu lớn nhất của hố xói. Kết quả tính toán từ mô hình cho thấy hố xói phía hạ lưu ngã ba sông phát triển sâu hơn 1m, rộng hơn 300m về phía hạ lưu trong một năm tính toán, có xu hướng phát triển phù hợp với số liệu đo đạc và cũng phù hợp với kết quả tính toán từ công thức thực nghiệm (tính được độ sâu tối đa hố xói khoảng 40m). Nhìn chung nghiên cứu đã cho thấy sự phát triển theo thời gian và không gian của hố xói.

Từ khóa: Sạt lở, Sông Hậu, Sông Vàm Nao, Hố xói sâu, Mô hình toán.

Ban Biên tập nhận bài: 08/4/2020

Ngày phản biện xong: 20/5/2020

Ngày đăng bài: 25/5/2020

1. Giới thiệu

Vấn đề sạt lở đã và đang là một trong những thách thức thu hút sự nghiên cứu từ các nhà khoa học. Đây là một vấn đề không đơn giản vì nó còn phụ thuộc vào tính đặc thù của điều kiện tự nhiên, đặc điểm hình thái, chế độ thủy lực, địa chất nền,... Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là một vùng trũng do phù sa sông bù đắp, với mạng lưới sông ngòi chằng chịt, nhiều cù lao, địa chất lòng sông yếu nên lòng dẫn dễ bị biến động, vì vậy sạt lở bờ sông là một trong những nguy cơ ảnh hưởng lớn đến dân sinh nơi đây. Có rất nhiều nguyên nhân gây nên tình trạng xói lở liên tục và nghiêm trọng như khai thác cát quá mức, do khai thác thủy điện ở thượng nguồn làm giảm lượng phù sa, mất cân bằng bùn cát dẫn đến xói lở, do hố xói sâu trong lòng dẫn... Theo báo cáo từ Ủy hội sông Mekong [1], vùng

ĐBSCL có 22 hố xói sâu phân bố dọc theo 2 hệ thống sông Tiền và sông Hậu (Hình 1).

Hố xói là một quá trình xói sâu do tác động của tự nhiên hoặc con người, vượt quá khả năng chống lại của vật liệu đáy sông gây xói sâu. Hố xói gây tác động xấu đến đê, hạ lưu đập tràn, chân cầu, hàm sông, bờ sông, bờ biển,... gây thiệt hại kinh tế, cơ sở hạ tầng và con người [2].

Khi các hố xói sâu phát triển mở rộng, tiến dần đến gần bờ sẽ làm mái bờ trở nên dốc đứng, hoặc xuất hiện hàm éch, làm cho khối đất gây trượt tăng lên, đến giới hạn thì sạt lở. Điển hình là sự cố sạt lở bờ sông ở khu vực ấp Mỹ Hội, xã Mỹ Hội Đông, huyện Chợ Mới, tỉnh An Giang ngày 22/4/2017 là một trong những điểm nóng sạt lở do có hố xói sâu hình thành gần bờ, làm nhiều nhà đổ sụp xuống sông.

Các nghiên cứu trước đây trên thế giới về

¹ Trường Đại học Bách Khoa TP. HCM

² Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

Email: tnqnga@hcmut.edu.vn; ntbay@hcmut.edu.vn

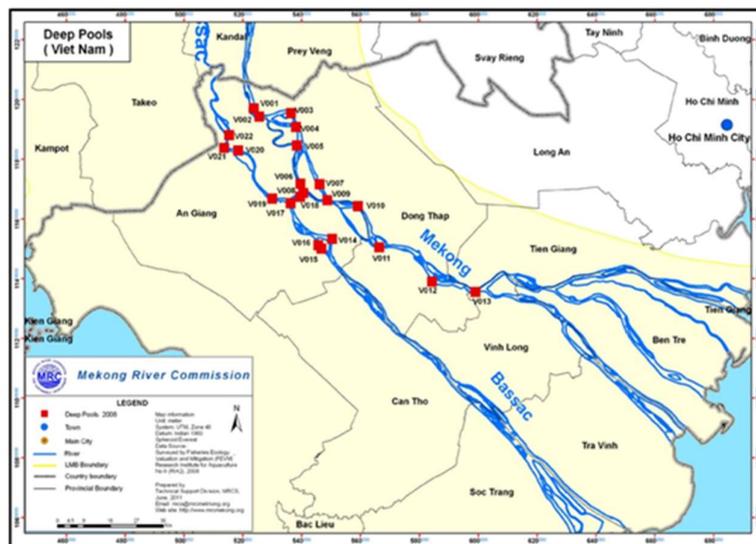
diễn biến hình thái sông bằng rất nhiều phương pháp như phân tích tài liệu, đo đạc hiện trường, mô hình vật lý, mô hình hóa, điển hình như Julien [3], Fischenich [4], Wang. C.H. và cộng sự [5], Johannesson và Parker [6], [7], Zolezzi và Seminara [8], Frascati và Lanzoni [9],... Các nghiên cứu liên quan đến cơ chế phát triển của hố xói chủ yếu là các hố xói được hình thành do công trình (trụ cầu, kè, đập...) như Guan D và cộng sự [10], Hoffmans và Verheij [11], Masoud và Mohammad [12],... chưa có nghiên cứu về xu thế phát triển một hố xói tự nhiên dưới tác động của yếu tố động lực học dòng chảy.

Ở Việt Nam, những nghiên cứu cơ bản về chuyển động bùn cát và hình thái sông chủ yếu mang tính ứng dụng và phân tích hậu quả như nghiên cứu của Lương Phương Hậu [13], Lê Ngọc Bích [14], Lê Mạnh Hùng [15],... 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 [16]. Các nghiên cứu này cũng chưa đánh giá được xu thế phát triển của hố xói tự nhiên trong sông.

Để tăng độ chính xác của nghiên cứu, cần phải kết hợp nhiều phương pháp khác nhau. Công thức thực nghiệm là một trong những phương pháp đánh giá nhanh. Mô hình toán có thể tiết kiệm được thời gian, kinh phí so với mô hình vật lý và khảo sát thực địa, mà vẫn có cái nhìn tổng quan và cụ thể, chi tiết từng vùng.

Do đó, trong bài báo này, chúng tôi sẽ ứng dụng mô hình toán để nghiên cứu sự phát triển của hố xói sâu tại ngã ba sông Hậu-sông Vàm Nao, đồng thời ứng dụng công thức thực nghiệm để tính lại độ sâu lớn nhất của hố xói này. Đây sẽ là tiền đề để dự báo ảnh hưởng của hố xói sâu gần bờ đến sạt lở bờ trong tương lai, góp phần giúp các nhà quản lý có cái nhìn tổng quan, đưa ra các giải pháp bảo vệ bờ phù hợp với đặc điểm của địa phương.



Hình 1. Vị trí các hố sâu ở ĐBSCL [1]

2. Phương pháp nghiên cứu và thu thập số liệu

2.1. Giới thiệu mô hình toán

2.1.1. Cơ sở lý thuyết mô hình

Phương pháp mô hình toán, cụ thể là mô hình MIKE 21 được sử dụng chính trong nghiên cứu này. Trong mô hình MIKE 21, tính toán dòng chảy và chuyển tải phù sa dựa trên cơ sở của phương trình động lượng, liên tục và chuyển tải

phù sa, có tính tới hàm số nguồn và diễn biến đáy nhờ gradient dòng bùn cát đáy và phương trình liên tục bùn cát đáy [17].

Hệ phương trình động lực học mô tả dòng chảy hai chiều đã được tích phân theo chiều sâu:

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \tag{1}$$

Phương trình động lượng:

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} = f\bar{v}h - g\bar{h}\frac{\partial\eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy}) + hu_s S \quad (2)$$

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial x} = f\bar{u}h - g\bar{h}\frac{\partial\eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy}) + hv_s S \quad (3)$$

Trong đó h là độ sâu dòng chảy ($h = \eta + d$) (m); η là cao độ mực nước (m); d là biến động của độ sâu theo thời gian (m); \bar{u} , \bar{v} là vận tốc tại độ sâu trung bình theo phương x , y (m/s); S là lưu lượng nguồn ($m^3/s/m^2$); ρ khối lượng riêng của nước (kg/m^3); τ_{sx} , τ_{sy} là ứng suất ma sát bề mặt theo hai phương x , y (N/m^2); τ_{bx} , τ_{by} là ứng suất

ma sát đáy theo hai phương x , y (N/m^2); f là thông số Coriolis; g là gia tốc trọng trường (m/s^2); A là hệ số nhớt rối theo phương ngang (m^2/s); S_{xx} , S_{xy} , S_{yy} là ứng suất tán xạ sóng (N/m).

Phương trình chuyển tải phù sa lơ lửng được mô tả như sau:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + u\frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + v\frac{\partial \bar{c}}{\partial y} = \frac{1}{h}\frac{\partial}{\partial x}\left(hD_x\frac{\partial \bar{c}}{\partial x}\right) + \frac{1}{h}\frac{\partial}{\partial y}\left(hD_y\frac{\partial \bar{c}}{\partial y}\right) + Q_L C_L \frac{1}{h} + \frac{1}{h}\Sigma S \quad (4)$$

Trong đó \bar{c} là nồng độ bùn cát trung bình theo chiều sâu (kg/m^3); u , v là các vận tốc dòng chảy trung bình theo chiều sâu (m/s); D_x , D_y là hệ số khuếch tán theo phương x , y (m^2/s); ΣS là tổng lượng bồi xói ($kg/m^2/s$); Q_L là lưu lượng nguồn trên mỗi đơn vị diện tích theo phương ngang ($m^3/s/m^2$); C_L là nồng độ lưu lượng nguồn (kg/m^3).

Trong MIKE 21 MT, sự biến đổi địa hình đáy theo thời gian được cập nhật sau mỗi một bước thời gian tính.

Khối lượng lớp đáy được cập nhật tính theo công thức sau:

$$m_{i,j}^{new} = m_{i,j}^{old} + (D_i - E_i)\Delta t + (T_{i,j-1} - T_{i,j}) \quad (5)$$

Trong đó m là khối lượng trầm tích (kg/m^2); D là lượng bồi ($kg/m^2/s$); E là lượng xói ($kg/m^2/s$); T là lượng trầm tích di chuyển của lớp đáy ($kg/m^2/s$); Δt là bước thời gian tính toán.

Bề dày của lớp đáy thứ j xác định theo công thức:

$$H_j^{new} = \frac{M_j}{\rho_{d,j}} = \frac{\sum_i m_{i,j}^{new}}{\rho_{d,j}} \quad (6)$$

Trong đó H là độ dày lớp đáy (m); M là tổng

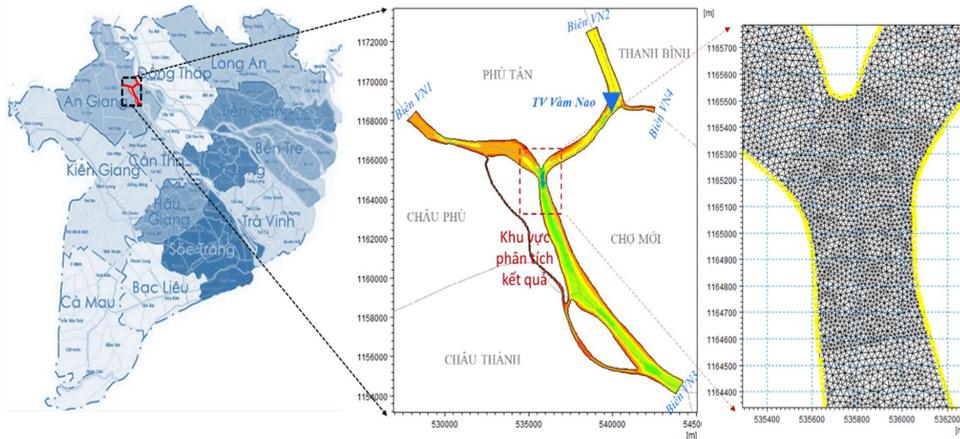
lượng trầm tích (kg/m^2); là mật độ khô (kg/m^3).

2.1.2. Thiết lập mô hình

Vùng nghiên cứu là ngã ba sông Hậu, sông Vàm Nao khu vực tỉnh An Giang, địa hình, biên và vị trí trạm thủy văn Vàm Nao để tính toán trong mô hình được thể hiện như Hình 2.

Khu vực cần phân tích kết quả là hồ xói sâu ở ngã ba sông Hậu và sông Vàm Nao, vì vậy sẽ được chia lưới mịn hơn với khoảng cách giữa các nút lưới là 15m, còn các khu vực khác thì lưới tính sẽ được chia thưa hơn. Tổng số phần tử tính toán là 186.782 phần tử.

Vùng tính có 4 biên lỏng, trong đó biên VN1, VN2 là biên lưu lượng, biên VN3, VN4 là biên mực nước cho mô hình thủy lực, mô hình chuyển tải phù sa dùng các biên tổng lượng phù sa tại cả 4 biên này. Các biên tính toán được trích từ mô hình 2D vùng thượng lưu, được kế thừa dữ liệu từ đề tài “Nghiên cứu xác định nguyên nhân, cơ chế và đề xuất các giải pháp khả thi về kỹ thuật, hiệu quả về kinh tế nhằm hạn chế xói lở, bồi lắng cho hệ thống sông Đồng Bằng Sông Cửu Long” [18] và được kiểm tra lại với trạm thủy văn Vàm Nao trong vùng tính để đảm bảo độ tin cậy của mô hình.



Hình 2. Khu vực nghiên cứu và lưới tính toán ngã ba sông Hậu - sông Vàm Nao

Đặc điểm cấu trúc địa chất tại khu vực này được mô tả trong Bảng 1 cụ thể như sau:

Bảng 1. Đặc điểm địa chất vùng nghiên cứu sông Hậu - sông Vàm Nao [19]

	Độ dày lớp (m)	Phân bố các cấp phối hạt trong từng lớp (%)		
		Hạt cát	Hạt bụi	Hạt sét
Lớp 1	3,6	10,4	15,1	48,5
Lớp 2	12,4	39,7	36,4	34,9
Lớp 3	5,6	49,9	48,5	16,6

2.1.3. Hiệu chỉnh mô hình

- Hệ số Nash-Scutcliffe (NSE) và độ lệch chuẩn của số liệu đo đạc (RSR) được dùng để đánh giá lưu lượng và mực nước giữa thực đo và tính toán. $NSE > 0,5$ và $RSR < 0,7$ thì kết quả mô phỏng được đánh giá là tốt [20].

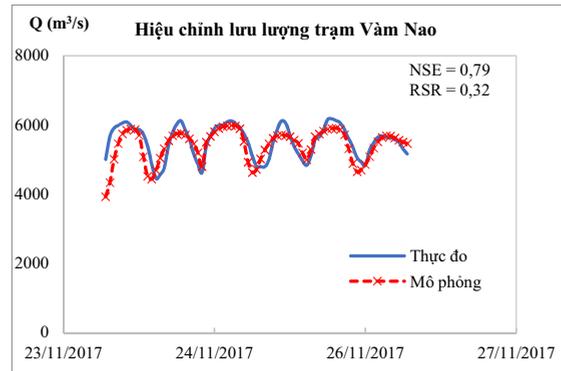
- Phần trăm sai số (PBIAS) được áp dụng cho số liệu phù sa lơ lửng bởi vì số liệu đo đạc thưa và phân tán, hệ số PBIAS có thể chỉ ra được mô hình tốt hay kém [21].

Mô hình được hiệu chỉnh trong 4 ngày từ 23/11/2017 đến hết ngày 26/11/2017 theo dữ liệu từ đề tài [18]. Kết quả hiệu chỉnh lưu lượng, mực nước tại trạm Vàm Nao trong vùng tính được thể hiện như trong Hình 3 và Hình 4.

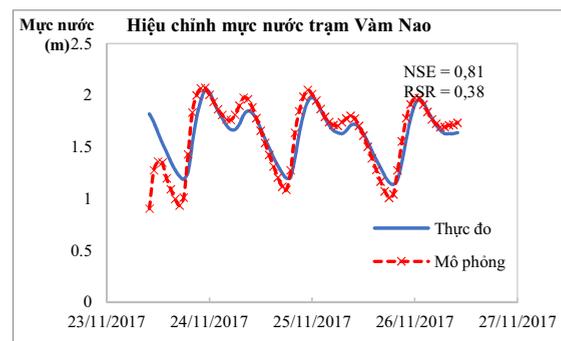
Dữ liệu phù sa tại trạm này được đo 8 lần mỗi ngày, kết quả tính toán và thực đo phù sa trung bình ngày được so sánh với nhau, thể hiện trong Hình 5.

Kết quả hiệu chỉnh cho thấy, mực nước, lưu lượng và nồng độ chất phù sa tại trạm thủy văn trong vùng tính từ mô hình rất phù hợp với giá trị thực đo. Mô hình thủy lực được hiệu chỉnh bằng

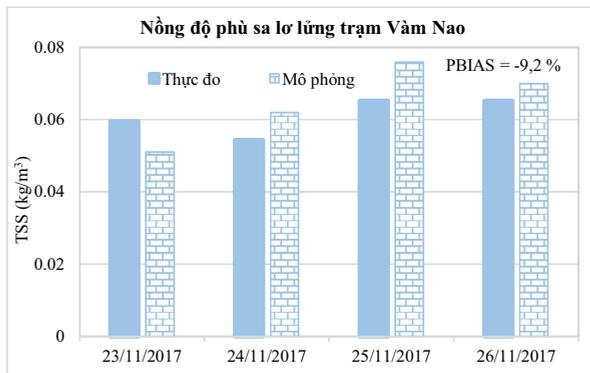
hệ số NSE và RSR với kết quả đạt được khá tốt ($NSE > 0,7$; $RSR < 0,4$). Mô hình chuyển tải phù sa được hiệu chỉnh bằng sai số trung bình với giá trị đạt được có sai số không quá 10%. Do đó, mô hình thủy lực và chuyển tải phù sa khá phù hợp để mô phỏng và đánh giá xu thế bồi xói cho vùng nghiên cứu này.



Hình 3. So sánh lưu lượng thực đo và tính toán tại trạm Vàm Nao



Hình 4. So sánh mực nước thực đo và tính toán tại trạm Vàm Nao



Hình 5. So sánh nồng độ phù sa thực đo và tính toán tại trạm Vàm Nao

2.1.4. Thiết lập bộ thông số mô hình

a. Bộ thông số mô hình thủy lực

Sau khi thực hiện hiệu chỉnh, bộ thông số thủy lực nhận được như sau:

- Bước thời gian: 30s;

- Điều kiện ban đầu: mực nước là 0 m, vận tốc tại thời điểm ban đầu 0 m/s;

- Điều kiện biên: các biên VN1 và VN2 là biên lưu lượng và biên VN3 và VN4 là biên mực nước được trích xuất từ kết quả thủy lực trong đề tài [18].

- Hệ số Manning M là thông số được sử dụng chủ yếu để hiệu chỉnh mô hình. Sau khi hiệu chỉnh hệ số Manning được lấy tuyến tính theo độ sâu với giá trị dao động từ 20-65 m^{1/3}/s.

b. Bộ thông số mô hình chuyển tải phù sa

- Điều kiện biên: nồng độ phù sa tại các biên được trích xuất từ kết quả mô hình tại 4 vị trí biên VN1, VN2, VN3 và VN4.

- Bộ thông số tính toán diễn biến đáy và chuyển tải phù sa cho khu vực nghiên cứu được trình bày cụ thể trong Bảng 2.

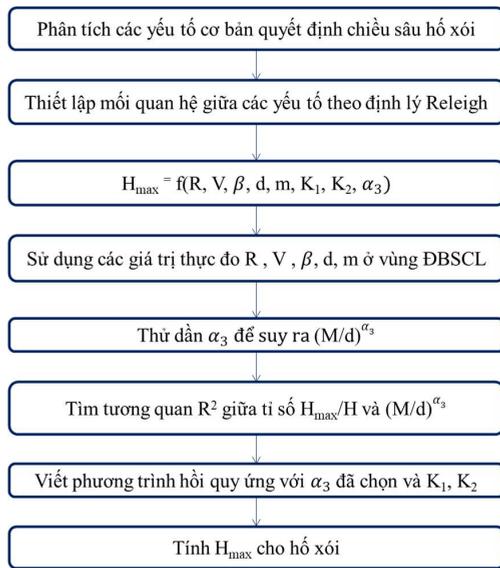
Bảng 2. Bộ thông số tính toán vận chuyển phù sa vùng nghiên cứu

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Vận tốc lắng đọng	w_s	m/s	$w_{s1} = 0,004$
			$w_{s2} = 0,05$
			$w_{s3} = 0,09056$
Ứng suất tới hạn xói	τ_{cc}	Lớp 1	0,3
		Lớp 2	0,35
		Lớp 3	0,4
Ứng suất tới hạn bồi	τ_{cd}	Lớp 1	0,05
		Lớp 2	2×10^{-6}
		Lớp 3	5×10^{-6}
Tốc độ xói	E_0	Lớp 1	5×10^{-6}
		Lớp 2	5×10^{-5}
		Lớp 3	5×10^{-5}
Độ nhám đáy	k_n	m	0,0005

2.2. Công thức thực nghiệm

Có nhiều nghiên cứu về công thức thực nghiệm tính toán về xói lở [22-25]. Tuy nhiên công thức thực nghiệm không thể áp dụng cho toàn bộ các nhánh sông mà tùy thuộc vào đặc điểm của từng vùng với những hệ số kinh nghiệm đáng tin cậy. Nghiên cứu này đã ứng

dụng công thức thực nghiệm của tác giả Đinh Công Sản [16] để tính độ sâu lớn nhất của hố xói. Công thức này được xây dựng riêng cho các hố xói đặc trưng ở ĐBSCL, rất phù hợp với vùng nghiên cứu trong bài báo này. Quy trình thiết lập công thức thực nghiệm dựa trên phép phân tích thứ nguyên theo định lý Releigh như Hình 6:



Hình 6. Quy trình xây dựng công thức thực nghiệm

Công thức dựa trên phép phân tích thứ nguyên theo định lý Releigh dựa vào các số liệu thực đo có ảnh hưởng đến hố xói cục bộ như yếu tố dòng chảy (độ lớn của dòng chảy, phân bố dòng chảy theo thời gian), yếu tố lòng dẫn (khả năng chống xói của lòng dẫn, mái dốc của lòng dẫn) cùng với các yếu tố lực tác động giữa dòng chảy và lòng dẫn (xung lực của dòng chảy, hình thái và cân bằng bùn cát) từ đó lựa chọn các yếu tố cơ bản và quyết định đến chiều sâu hố xói.

Công thức thực nghiệm được sử dụng trong bài báo:

$$\frac{H_{max}}{R} = K_1 \left[\frac{2k \frac{V^2}{2g} \sin(\beta) \sqrt{\frac{i^2}{1+i^2}}}{d} \right]^{\alpha_3} + K_2 \quad (7)$$

$$\text{hay } \frac{H_{max}}{H} = K_1 \left[\frac{M}{d} \right]^{\alpha_3} + K_2 \quad (8)$$

Trong đó V là vận tốc trung bình của dòng chảy tại các điểm tính toán (m^3/s); F là diện tích mặt cắt ứng với mực nước tạo lòng (m^2); B là chiều rộng mặt cắt tại mực nước tạo lòng (m); $R=H=F/B$ là chiều sâu trung bình mặt cắt trước đoạn gấp khúc; V là vận tốc ứng với lưu lượng và mực nước tạo lòng (m/s); d là đường kính trung bình hạt cát lòng dẫn (mm); β (độ) và β (radian) là giá trị góc hướng vào bờ của dòng chảy; i là độ dốc trung bình từ bờ sông đến đáy hố xói; M là giá trị

của biểu thức $2k \frac{V^2}{2g} \sin(\beta) \sqrt{\frac{i^2}{1+i^2}}$; $\left(\frac{M}{d}\right)^{\alpha_3}$ là giá trị M/d ứng với mũ α_3 khác nhau; H_{max} (tđ) là chiều sâu hố xói lớn nhất tính từ mực nước ứng với lưu lượng tạo lòng (m); H_{max}/H (tđ) là giá trị thực đo.

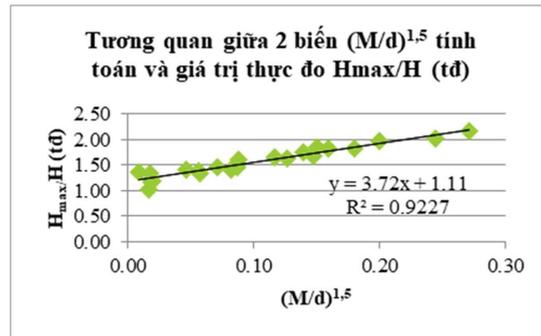
Để tính được kết quả H_{max} phải tìm được hệ số K_1 , K_2 , và α_3 . Để tìm được công thức thực nghiệm cụ thể cho ĐBSCL nói chung và ở Vàm Nao nói riêng cần sử dụng số liệu thực đo của 22 hố xói (vị trí như đã trình bày ở Hình 1).

Tiến hành thử dần hệ số α_3 , từ đó so sánh hệ số tương quan R^2 giữa biến $\left(\frac{M}{d}\right)^{\alpha_3}$ tính toán và giá trị thực đo H_{max}/H (tđ), kết quả trình bày trong Bảng 3. Chọn hệ số tương quan lớn nhất ứng với α_3 . Trường hợp này giá trị $\alpha_3 = 1,5$ được chọn vì nó cho giá trị lớn nhất của R^2 là 0,9227.

Bảng 3. Bảng tính tương quan giữa biến $\left(\frac{M}{d}\right)^{\alpha_3}$ tính toán và giá trị thực đo H_{max}/H (tđ)

Hệ số α_3	2,5	2	1,5	0,5	-0,5	-1
R^2	0,85	0,90	0,92	0,83	0,42	0,24

Hình 7 biểu diễn tương quan R^2 giữa biến $\left(\frac{M}{d}\right)^{1,5}$ (tính toán và giá trị thực đo H_{max}/H (tđ)). Giá trị K_1 và K_2 theo phương trình hồi quy với $\alpha_3 = 1,5$ lần lượt là 3,72 và 1,11.



Hình 7. Tương quan giữa 2 biến $\left(\frac{M}{d}\right)^{1,5}$ tính toán và giá trị thực đo H_{max}/H (tđ)

Vậy công thức thực nghiệm được xây dựng từ công thức (7) để tính chiều sâu hố xói lớn nhất là

$$\frac{H_{max}}{R} = 3,72 \left[\frac{2k \frac{V^2}{2g} \sin(\beta) \sqrt{\frac{i^2}{1+i^2}}}{d} \right]^{1,5} + 1,11 \quad (9)$$

3. Kết quả và bàn luận

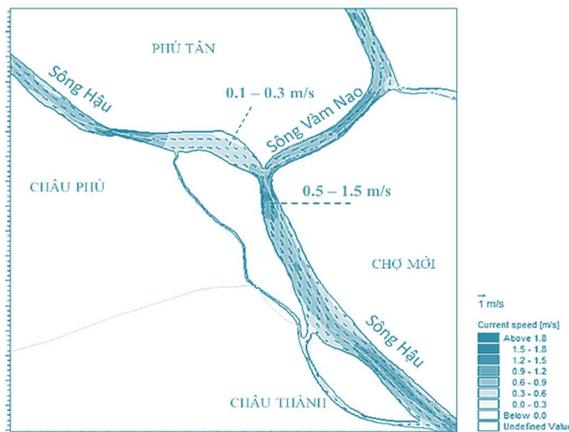
3.1. Kết quả từ mô hình MIKE 21

Mô hình sau khi hiệu chỉnh được ứng dụng để mô phỏng cho năm 2013.

Vận tốc dòng chảy trên sông Vàm Nao tương đối lớn, vận tốc lớn nhất đạt khoảng 0,6 đến 1,5 m/s năm 2013 (Hình 8).

Vận tốc dòng chảy trên sông Hậu, phía thượng lưu của sông Vàm Nao, 2 bên bờ huyện Phú Tân và huyện Châu Phú, đạt khoảng 0,1 đến 0,3 m/s.

Dòng chảy sông Hậu và sông Vàm Nao sau hợp lưu, vận tốc khá lớn (đạt đến 1,6 m/s), đây là một trong những nguyên nhân gây ra xói sâu ở ngã ba sông này, có nguy cơ ảnh hưởng đến sạt lở bờ.



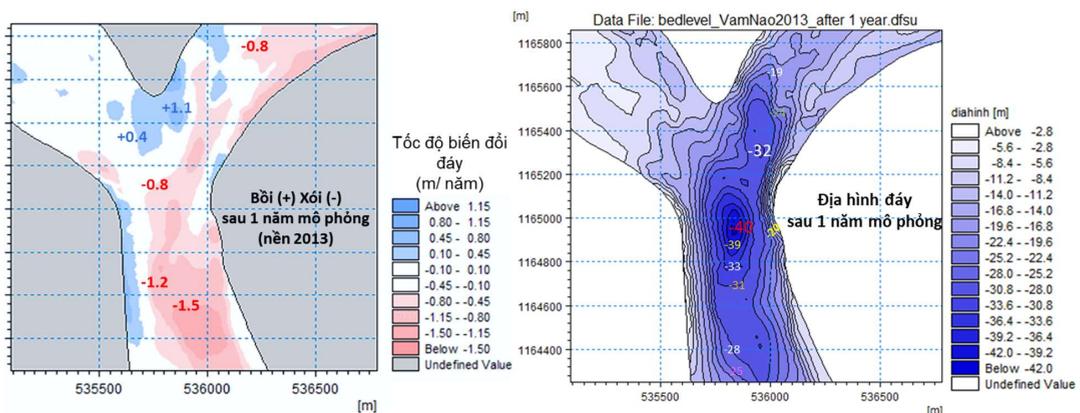
Hình 8. Vận tốc dòng chảy khi dòng chảy xuống mạnh nhất trong năm mô phỏng 2013

Sự phát triển của hố xói Vàm Nao được phân tích qua mức độ biến đổi đáy sau mô phỏng 1 năm. Kết quả tính toán bồi, xói đáy được thể hiện trong Hình 9, trong đó, màu đỏ thể hiện cho hiện

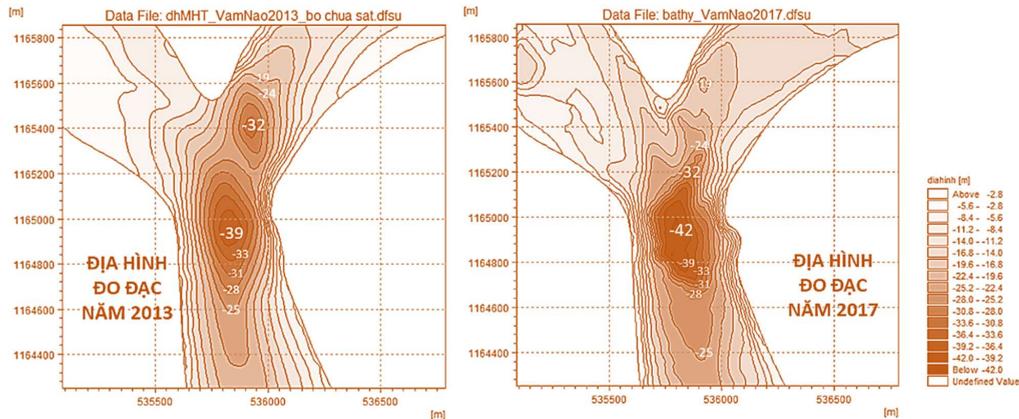
tượng xói (giá trị âm) và màu xanh thể hiện cho hiện tượng bồi (giá trị dương). Trên sông Hậu đoạn thượng lưu sông Vàm Nao xảy ra bồi lắng với tốc độ nhẹ, khoảng 0,1 m/năm. Trên sông Vàm Nao và sau ngã ba sông Hậu - sông Vàm Nao, xảy ra xói đáy là chủ yếu, tốc độ xói đáy khoảng 0,8 - 1,5 m/năm.

Về phía hạ lưu, sự dịch chuyển và biến đổi đáy, sự phát triển của hố xói diễn biến khá phức tạp. Theo kết quả tính toán, mức độ xói đáy thêm khoảng 1m/ năm. Địa hình nền năm 2013 được dùng để tính mô hình có 2 hố xói, 1 hố xói lớn ở vị trí hợp lưu của 2 sông (sâu 39m) và một hố xói nhỏ thuộc sông Vàm Nao (sâu 32m). Sau một năm mô phỏng, kết quả cho thấy hố xói nhỏ trên sông Vàm Nao có xu hướng dịch chuyển gần 100m về phía sông Hậu, mở rộng hơn và nhập vào hố xói lớn; hố xói lớn thì có xu hướng mở rộng hơn về phía hạ lưu khoảng 300m và sâu hơn, lúc này đạt độ sâu 40m, địa hình sát bờ sâu hơn 20m và rất dốc (các đường bình đồ rất sát nhau).

Xu hướng phát triển của hố xói này cũng phù hợp với dữ liệu địa hình đo đạc đã thu thập được từ Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam (dữ liệu địa hình năm 2013 và 2017) (Hình 10). Nhìn vào địa hình năm 2017, hố xói lớn có bề ngang hơn 300m và sâu 42m, hố xói nhỏ trong địa hình đo đạc năm 2013 đã dịch chuyển ra khỏi sông Vàm Nao, nhập hẳn vào hố xói lớn.



Hình 9. Địa hình đáy sau mô phỏng bồi, xói 1 năm (nền địa hình 2013)



Hình 10. Địa hình đáy thực đo năm 2013 và 2017

Thực tế, ở xã Mỹ Hội Đông, huyện Chợ Mới, tỉnh An Giang, đợt tháng 4/2017 đã xảy ra sạt lở nghiêm trọng, làm trôi nhiều nhà dân xuống đáy sông, ảnh hưởng đến đời sông dân sinh ở khu vực này. Nguyên nhân được nhận định là do nằm ở vị trí hợp lưu của dòng chảy, là vùng giao thoa giữa 2 chế độ thủy lực từ sông Tiền và sông Hậu nên dòng chảy mạnh, kết hợp với địa hình có hố xói sâu ở sát chân bờ, làm tăng độ dốc mái bờ, lại thêm tải trọng nặng như nhà dân, đường giao thông,... đã góp phần làm bờ thêm mất ổn định và nhanh chóng sạt lở. Nhận định này đã được làm sáng tỏ bằng các đánh giá kết quả của mô hình sau 1 năm tính toán khi hố xói có sự phát triển theo xu hướng gây bất lợi đối với sự ổn định của bờ sông.

3.2. Tính toán độ sâu lớn nhất của hố xói

Ứng dụng công thức (9), với các thông số đặc trưng của hố xói Vàm Nao với số liệu mô phỏng năm 2013 như sau: Lưu lượng tạo lòng $Q = 11172 \text{ (m}^3\text{/s)}$; Diện tích mặt cắt ứng với mực nước tạo lòng $F = 11051 \text{ (m}^2\text{)}$; Chiều rộng mặt cắt tại mực nước tạo lòng $B = 488,57 \text{ (m)}$; Chiều sâu trung bình mặt cắt trước đoạn gấp khúc $R = H = F/B = 22,62 \text{ (m)}$; Vận tốc ứng với lưu lượng

và mực nước tạo lòng $V = 1,5 \text{ (m/s)}$; Đường kính trung bình hạt cát lòng dẫn $d = 0,046 \text{ (mm)}$; Giá trị góc hướng vào bờ của dòng chảy $\beta = 32 \text{ (độ)}$; Độ dốc trung bình từ bờ sông đến đáy hố xói $i = 0,06$.

Từ đó, tính được $H_{\max} = 40,08 \text{ (m)}$. Sai số trung bình giữa tính toán và thực đo tại vị trí hố xói này là $E\% = 2,78\%$.

Tuy nhiên, công thức thực nghiệm này chỉ tính toán cho độ sâu hố xói cục bộ khi đã phát triển ổn định và công thức này cũng có hạn chế là chưa phản ánh được quá trình phát triển của hố xói [16].

4. Kết luận

Kết quả phân tích cho thấy hố xói Vàm Nao ngày càng phát triển triển sâu hơn (1 m/năm) và có xu hướng mở rộng về phía hạ lưu và mở rộng vào bờ. Cụ thể mô phỏng từ mô hình toán trong một năm đã chỉ ra rằng hố xói này phát triển sâu hơn 1m, rộng hơn 300 m về phía hạ lưu, phù hợp xu hướng phát triển thực tế từ đo đạc độ sâu đáy của hố xói: trên 40 m vào năm 2013 và hơn 42 m năm 2017 và phù hợp với tính toán độ sâu lớn nhất của hố xói từ công thức thực nghiệm.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM trong khuôn khổ đề tài mã số T-KTXD-2018-108. Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

1. Halls, A.S., Conlan, I., Wisesjindawat, W., Phouthavongs, K., Viravong, S., Chan, S., Vu, V.A. (2013), *Atlas of deep pools in the Lower Mekong River and some of its tributaries*, MRC Technical Paper No. 31. Mekong River Commission, Phnom Penh, Cambodia.

2. Annandale, G.W. (2006), *Scour Technology - Mechanics and Engineering Practice*, USA: The McGraw-Hill Companies, Inc.
3. Julien, P. (2010), *Sedimentation and Erosion*, Oxford Press, pp. 371.
4. Fischenich, J.C. (1989), *Channel Erosion Analysis and Control*. In Woessmer, W. and D.F. Potts, eds, *Proceedings Headwaters Hydrology*. American Water Resources Association. Bethesda, Md.
5. Wang, C.H., Onyx, Wai, W.H., Hu, C.H. (2004), *Three-dimensional modeling of sediment transport in the Pearl river estuary*, Us-China Workshop on Advanced Computational Modelling in Hydrosience and Engineering, September 19-21, Oxford, Mississippi, USA
6. Johannesson, H., Parker, G., (1989a), *Velocity redistribution in meandering rivers*. Journal of Hydraulic Engineering, 115 (8), 1019-1039.
7. Johannesson, H., Parker, G., (1989b), *Linear theory of river meanders*, In: Ikeda, S., Parker, G. (Eds.), *River Meandering: Water Resources Monograph*, vol. 12, American Geophysical Union, Washington, DC, 181-212.
8. Zolezzi, G., Seminara, G. (2001), *Downstream and upstream influence in river meandering*, Part 1. General theory and application to overdeepening. Journal of Fluid Mechanics, 438, 183-211
9. Frascati, A., Lanzoni, S. (2009), *Morphodynamic regime and long-term evolution of meandering rivers*, Journal of Geophysical Research, 114, F02002, Doi:10.1029/2008JF001101.
10. Guan, D., Melville, B., Friedrich, H. (2016), *Local scour at submerged weirs in sand-bed channels*. Journal of Hydraulic Research, 54(2), 172-184, DOI:10.1080/00221686.2015.1132275
11. Hoffmans, G.J.C.M., Verheij, H.J. (1997), *Scour Manual*, A.A.Balkema, Rotterdam.
12. Ghodsian, M., Vaghefi, M. (2009), *Experimental study on scour and flow field in a scour hole around a T-shape spur dike in a 90° bend*. International Journal of Sediment Research, 24(2), 145-158.
13. Lương Phương Hậu, Trần Đình Hợi (2004), *Động lực học dòng sông và chỉnh trị sông*, Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội.
14. Lê Ngọc Bích (1999), *Báo cáo tổng hợp kết quả điều tra biến đổi lòng dẫn hệ thống sông Cửu Long, hạ du sông Đồng Nai - Sài Gòn và định hướng các giải pháp kỹ thuật phòng chống sạt lở giảm nhẹ thiên tai trên sông Cửu Long (1995-1999)*. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam.
15. Lê Mạnh Hùng, Đinh Công Sản (2001), *Công thức kinh nghiệm xác định tốc độ xói lở bờ sông Cửu Long*. Tạp chí hoạt động khoa học, Bộ Khoa học, Công Nghệ và Môi trường, 27-28.
16. Đinh Công sản (2006), *Một số vấn đề về Động lực học dòng chảy và quan hệ hình thái sông Cửu Long*, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam.
17. MIKE21 (2012), *Hydrodynamic and Transport Module - Scientific Documentation*, Ed: DHI water & Environment.
18. Nguyễn Thị Bảy, Huỳnh Công Hoài, Đặng Nguyên Khôi, Trà Nguyễn Quỳnh Nga, Nguyễn Thị Diệu Thúy (2019), *Chuyên đề 4.4.2 thuộc đề tài Nghiên cứu xác định nguyên nhân, cơ chế và đề xuất các giải pháp khả thi về kỹ thuật, hiệu quả về kinh tế nhằm hạn chế xói lở, bồi lắng cho hệ thống sông Đồng Bằng Sông Cửu Long*, Đề tài Nhà nước thuộc Chương trình Tây Nam Bộ.
19. Viện khoa học khí tượng thủy văn và biến đổi khí hậu (2016), *Điều tra khảo sát điều kiện tự nhiên - dòng chảy, địa hình, địa chất lòng sông nhằm xác định nguyên nhân gây sạt lở sông Hậu (đoạn chảy qua An Giang) và đề xuất kế hoạch tổng thể khắc phục*, Sản phẩm của đề tài Phân tích nguyên nhân chính gây sạt lở bờ sông Hậu tỉnh An Giang.
20. Moriasi, D.N., Gitau, M.W., Pai, N., Daggupati, P. (2015), *Hydrologic and water quality*

models: Performance measures and evaluation criteria. Transactions of the ASABE, 58(6), 1763-1785.

21. Gupta, H.V., Sorooshian, S., Yapo, P.O. (1999), *Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration*. Journal of Hydrologic Engineering, 4(2), 135-143.

22. Izumi, N., Kovacs, A., Parker, G., Leuthe, D.P. (1991), *Experimental and theoretical studies of bank erosion in rivers and its prevention by low-cost means*, ST. Anthony Falls Hydraulic Lab., University of Minnesota, 320.

23. Lê Mạnh Hùng, Đặng Thị Bích Ngọc (2004), *Công thức kinh nghiệm tính tốc độ xói lở bờ đoạn sông Tiền khu vực Thường Phước - tỉnh Đồng Tháp*. Tạp chí Nông nghiệp công nghiệp thực phẩm, 6, 787.

24. Rutherford, I. (2000), *Some human impacts on Australian stream channel morphology*. In: River Management: The Australasian Experience, p.11-49, John Wiley & Sons, Chichester, UK.

25. Rose, R.D., Wilson, D.J., Bartley, R., Wilkinson, S. (2005), *Riverbank erosion and its importance to uncertainties in large scale sediment budgets*. Sediment Budgets 1 (Proceedings of symposium S1 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005). IAHS Publ. 291.

Application of mathematical models and empirical formulas to assess the development of the scour hole at the lower section of the Hau and Vam Nao river

Tra Nguyen Quynh Nga^{1,2}, Le Thanh Thuan^{1,2}, Huynh Cong Hoai^{1,2}, Nguyen Thi Bay^{1,2}

¹ Ho Chi Minh City University of Technology

² Viet Nam National University Ho Chi Minh City

Abstract: *Downstream of the confluence of Vam Nao and Hau rivers, on 22 April 2017, a large failure riverbank severely affected the local residents and economy. According to many experts, the bed river here has a scour hole near the riverbank, affecting slope stability causing landslides. In this paper, the mathematical modeling method is used to evaluate the development of the scour hole, while also applying empirical formulas to calculate the maximum depth of the scour hole. Results from model calculations showed scour hole downstream of the confluence developed deeper than 1m, wider than 300m downstream in a calculated year, tends to develop in accordance with the measurement data and also suitable with the calculation results from the empirical formula (the maximum depth of scour hole about 40m). This research has generally shown the temporal and spatial development of scour hole.*

Keywords: *Bank erosion, Hau river, Vam Nao river, Scour hole, Modeling.*