ỨNG DỤNG MÔ HÌNH MIKE11 ST TÍNH TOÁN DÒNG CHẢY BÙN CÁT CHO VÙNG HẠ LƯU SÔNG MÊ KÔNG

Trần Văn Tình[1], Nguyễn Thị Bích Ngọc[1], Nguyễn Thành Luân[2], Hoàng Ngọc Quang[1]

Tóm tắt: *Số liệu bùn cát là đầu vào không thể thiếu của mô hình MIKE21 ST tính toán vận chuyển bùn cát và diễn biến đường bờ vùng cửa sông ven biển. Trong thực tế, các số liệu bùn cát chỉ được quan trắc tại một số vị trí trên sông lớn và cách xa cửa sông. Do đó, việc tính toán dòng chảy bùn cát cho các cửa sông không có sô liệu quan trắc là rất cần thiết. Nghiên cứu này trình bày các kết quả ứng dụng mô hình MIKE11 ST để tính toán dòng chảy bùn cát vùng hạ lưu sông Mê Kông làm đầu vào cho mô hình MIKE21 ST nghiên cứu chế độ vận chuyển bùn cát vùng ven biển Nam Bộ.*

Từ khóa: *Bùn Cát, MIKE11ST, sông Mê Kông.*

Ban Biên tập nhận bài: 05/09/2018 Ngày phản biện xong: 15/10/2018 Ngày đăng bài: 25/11/2018

1. Mở đầu

Lưu vực sông Mê Kông có tổng diện tích 795,000 km^2 trong đó phần nằm trên lãnh thổ Việt Nam là 65,170 km^2. Mê Kông là con sông dài thứ 12 trên thế giới và lớn thứ 10 về tổng lượng dòng chảy (tổng lượng nước hàng năm đạt khoảng 475 tỷ m^3, tổng lượng bùn cát khoảng 275 triệu km^3) [2]. Sông Mê Kông là nguồn cung cấp nước ngọt và phù sa chính của đồng bằng sông Cửu Long. Sau ngã tư Phnompenh, sông chia thành 2 nhánh đổ vào Việt Nam là sông Tiền và sông Hậu sau đó đổ ra biển đông bằng 9 cửa là Cửa Tiểu, Cửa Đại, Ba Lại, Hàm Luông, Cổ Chiên, Cung Hầu, Định An, Trần Đề, Bát Thát (Hình 1). Tuy nhiên, quá trình bồi lắng vùng cửa sông đã làm biến mất cửa Bát Thác trên sông Hậu. Vùng hạ lưu sông Mê Kông là nơi đang phải hứng chịu tác động nặng nề của biến đổi khí hậu và nước biển dâng, một trong những hậu quả đó là bờ sông và bờ biển bị biến đổi nghiêm trọng. Đã có nhiều nghiên cứu ứng dụng mô hình MIKE21ST để giải quyết bài toán biến động bờ sông, đường bờ biển khu vực này. Tuy nhiên, các nghiên cứu đó đều gặp phải khó khăn là thiếu số liệu bùn cát tại các cửa sông để làm đầu vào cho mô hình tính toán, do vùng hạ lưu sông Mê Kông lại chỉ có 3 trạm thủy văn quan trắc bùn cát là Tân Châu, Châu Đốc, Cần Thơ lại nằm cách xa các cửa sông. Do đó việc ứng dụng mô hình MIKE11ST để tính toán lượng bùn cát làm đầu vào cho mô hình MIKE21ST nghiên cứu chế độ vận chuyển bùn cát vùng ven biển Nam Bộ là cần thiết.

[1]Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

[2]Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển

Email: tvtinh@hunre.edu.vn

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu

2.1. Cơ sở lý thuyết của mô hình

MIKE11 là mô hình động lực một chiều được sử dụng nhằm phân tích chi tiết, thiết kế, quản lý và vận hành cho sông và hệ thống kênh hở. Mô đun mô hình thủy động lực (HD) là một phần trọng tâm của hệ thống mô hình MIKE11 và hình thành cơ sở cho hầu hết các mô đun bao gồm: dự báo lũ, tải khuếch tán, chất lượng nước, vận chuyển bùn cát. Mô đun HD được xây dựng dựa trên hệ phương trình Saint - Venant gồm phương trình liên tục và phương trình động lượng như sau:

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b\frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Phương trình động lượng:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial\left(\alpha \frac{Q^2}{A}\right)}{\partial x} + gA\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (2)$$

Trong đó: A là diện tích mặt cắt ngang (m^2); t là thời gian (s); Q là lưu lượng nước (m^3/s); x là biến không gian; g là gia tốc trọng trường (m/s^2); p là mật độ của nước (kg/m^3); b là độ rộng của lòng dẫn (m) và R là bán kính thủy lực (m).

Mô hình MIKE11 ST là mô hình MIKE 11 (HD) được tích hợp thêm mô đun vận chuyển bùn cát. Mô đun này được xây dựng trên cơ sở phương trình liên tục bùn cát và các hàm sức tải như sau:

Phương trình liên tục bùn cát:

$$(1-\varepsilon)\left[(1-\psi)\frac{W\Delta z_{j+1}^{n+1}}{\Delta t}+\psi\frac{W\Delta z_{j+1}^{n+1}}{\Delta t}\right]+\theta\frac{Qt_{j+1}^{n+1}}{\Delta x}+(1-\theta)\frac{Qt_{j+1}^{n}-Qt_{j}^{n}}{\Delta x}=0 \quad (3)$$

Trong đó: W là chu vi ướt ; Δz^{n+1} là sự thay đổi cao trình đáy; $Qt_j^n = W_t qt_j^n$ tỷ lệ vận chuyển bùn cát theo phần trăm độ rộng đơn vị; ε là độ rỗng của bùn cát; Ψ là hệ số chứa đựng không gian ($0.5 \le \Psi \le 1$); θ hệ số chứa đựng thời gian ($0.5 \le \theta \le 1$)

Hàm sức tải bùn cát:

$$\Phi = 0.1\frac{\theta^{5/2}}{f} \quad (4)$$

Trong đó: θ là tổng ứng suất trượt đáy không thứ nguyên; f là hệ số ma sát.

Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu [1]

Công thức tính toán bùn cát tổng cộng

Căn cứ vào phương thức vận chuyển, tổng lượng vận chuyển bùn cát là tổng của lượng vận chuyển bùn cát đáy và lượng vận chuyển bùn cát lơ lửng. Căn cứ vào nguồn vật liệu được vận chuyển, tổng lượng vận chuyển bùn cát cũng có thể được xác định bằng tổng của lượng vận chuyển vật liệu đáy và lượng vận chuyển chất rửa trôi. Chất rửa trôi bao gồm các vật liệu mịn, mịn hơn các vật liệu thấy ở đáy. Tổng lượng tải chất rửa trôi phụ thuộc chủ yếu vào sự cung cấp từ lưu vực, không phụ thuộc vào thủy lực sông. Bởi vậy, rất khó dự báo chất rửa trôi căn cứ vào các đặc trưng thủy lực của sông. Phần lớn các phương trình tải cát tổng cộng thực tế là các phương trình vận chuyển vật liệu đáy tổng cộng. Trong phần lớn các trường hợp, nên trừ đi chất rửa trôi từ đo đạc trước khi đem so sánh giữa lượng vận chuyển vật liệu đáy tổng cộng tính toán và thực đo.

Để tính toán vận chuyển bùn cát tổng cộng, MIKE 11 ST được tích hợp 4 công thức tính toán khác nhau bao gồm công thức Acker & White (1973), công thức của Engelund and Hansen, công thức Smart and Jaeggi và công thức Ashida- Michiue. Mỗi hàm vận chuyển bùn cát được xây dựng cho

Công Thức Engelund and Hansen

Engelund và Hansen (1972) đã ứng dụng khái niệm năng lượng dòng của Bagnold và nguyên lí tương tự để nhận được hàm vận chuyển bùn cát:

$$f'\Phi = 0.1\theta^{5/2} \quad (5)$$

với

$$f' = \frac{2gIh}{U^2} \quad (6)$$

$$\Phi = q_t\left[\gamma_s\left(\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}\right)gd^3\right]^{-1/2} \quad (7)$$

$$\theta = \frac{\tau}{(\gamma_s-\gamma)d} \quad (8)$$

Trong đó: g là gia tốc trọng trường; I là độ dốc năng lượng; U là tốc độ dòng chảy trung bình; qt là lưu lượng bùn cát đơn vị tổng cộng (suất chuyển cát tổng cộng) tính bằng trọng lượng qua mỗi đơn vị độ rộng; γ_s và γ tương ứng là trọng lượng riêng của bùn cát và nước; d là đường kính hạt trung bình và τ là ứng suất tiếp dọc theo đáy.

2.2. Sơ đồ tính và dữ liệu sử dụng

Sơ đồ tính thuỷ thạch động lực được trình bày trong hình 2 gồm 5928 mặt cắt ngang của 285 sông và kênh rạch với các biên như sau:

Biên trên: Lưu lượng nước và lưu lượng bùn cát, thành phần hạt bùn cát tổng cộng ứng với các cấp lưu lượng nước tại các trạm thủy văn Tân Châu và Châu Đốc.

Biên dưới: Mực nước tại các trạm Vũng Tàu, Vàm Kênh, An Thuận, Bến Trại, Trần Đề, Gành Hào, Sông Đốc, Xèo Rô, Rạch Giá.

Trạm kiểm tra: Lưu lượng nước, lưu lượng bùn cát, mực nước tại trạm thủy văn Cần Thơ; mực nước thực đo tại trạm Cao Lãnh.

Bước thời gian tính toán trong mô hình là $\Delta t = 2$ phút.

Hình 2. Sơ đồ mạng tính thủy lực và bùn cát bằng mô hình MIKE11ST

3. Kết quả tính toán

3.1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Sử dụng số liệu dòng chảy và bùn cát từ năm 2009 đến 2011 để hiệu chỉnh mô hình, từ năm 2012 đến 2013 để kiểm định mô hình.

Để đánh giá độ chính xác kết quả mô phỏng so với số liệu thực đo, nghiên cứu đã sử dụng hai chỉ tiêu là chỉ số hiệu quả Nash và sai số tổng lượng PBAIS.

Chỉ số Nash là một thông số thống kê xác định giá trị tương đối của phương sai dư so với phương sai của chuỗi thực đo, được tính theo công thức:

$$\text{Nash} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i^{tt} - x_i^{td}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i^{td} - x_i^{tb}\right)^2} \quad (9)$$

PBAIS là chỉ số sử dụng để ước tính xu hướng trung bình của mô phỏng lớn hơn hoặc nhỏ hơn giá trị thực đo. Chỉ số PBAIS được tính theo công thức:

$$PBAIS = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i^{tt} - x_i^{td}\right)}{\sum_{i=1}^{n} x_i^{td}} \times 100 \qquad (10)$$

Trong đó: x_i^{td} là giá trị thực đo; x_i^{tt} là giá trị mô phỏng; x_i^{tb} là giá trị thực đo trung bình; n là chiều dài chuỗi số liệu.

Dựa trên các giá trị của Nash và PBAIS có thể đánh giá được độ chính xác của mô phỏng (Bảng 1).

Bảng 1. Đánh giá mức độ chính xác của kết quả mô phỏng theo các chỉ số Nash và PBAIS [4]

Độ chính xác của mô phỏng	NASH	PBAIS (%)	
		Dòng chảy	Bùn cát
Tốt	0,75 < Nash ≤ 1	PBAIS < ± 10	PBAIS < ± 15
Khá	0,65 < Nash ≤ 0,75	± 10 ≤ PBAIS < ± 15	± 15 ≤ PBAIS < ± 30
Trung bình	0,5 < Nash ≤ 0,65	± 15 ≤ PBAIS < ± 25	± 30 ≤ PBAIS < ± 50
Dưới trung bình	Nash < 0,5	PBAIS > ± 25	PBAIS > ± 50

Mô hình MIKE11ST được hiệu chỉnh kiểm định mực nước cho 2 trạm thủy văn Cần Thơ, Cao Lãnh. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định tại các trạm được thể hiện từ hình 3 đến hình 4.

Hình 3. Đường quá trình mực nước thực đo và tính toán tại trạm thủy văn Cần Thơ: (a) hiệu chỉnh mô hình từ năm 2009-2011; (b) kiểm định mô hình từ 2012-2013

Hình 4. Đường quá trình mực nước thực đo và tính toán tại trạm thủy văn Cao Lãnh: (a) hiệu chỉnh mô hình từ năm 2009-2011; (b) kiểm định mô hình từ năm 2012-2013

Quá trình biệu chỉnh và kiểm định mực nước tại 4 trạm đạt chỉ số Nash khá cao, kết quả được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. Chỉ số Nash hiệu chỉnh và kiểm định mô phỏng mực nước

Giai đoạn	Cần Thơ	Cao Lãnh
Hiệu chỉnh	0,92	0,80
Kiểm định	0.92	0.90

Mô hình MIKE21ST được hiệu chỉnh và kiểm định lưu lượng nước và lưu lượng bùn cát tại trạm thủy văn Cần Thơ. Kết quả hiệu chỉnh và kiệm định được thể hiện trên hình 5.

Hình 5. (a, b) Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định lưu lượng nước thực đo và tính toán tại trạm thủy văn Cần Thơ; (c, d) Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định lưu lượng bùn cát tại trạm thủy văn Cần Thơ từ năm 2009-2013.

Bảng 3. Chỉ số Nash và PBAIS hiệu chỉnh và kiểm định lưu lượng nước và lưu lượng bùn cát tại trạm thủy văn Cần Thơ

Yếu tố	Chỉ số Nash		Chỉ số PBAIS	
	Hiệu chỉnh	Kiểm định	Hiệu chỉnh	Kiểm định
Lưu lượng nước	0,96	0.91	12,5	6
Lưu lượng bùn cát	0,75	0,69	22,6	29

Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định lưu lượng nước và lưu lượng bùn cát có độ chính xác không cao bằng so với quá trình mô phỏng mực nước, chỉ đạt mức khá theo tiêu chuẩn PBAIS (bảng 3). Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định thủy lực cho hệ số NASH lớn hơn 0,9 như vậy mô hình thủy lực đảm bảo phục vụ cho tính toán nghiên cứu các kịch bản. Với mô hình bùn cát, mô hình này đòi hỏi cơ sở dữ liệu, các yếu tố đầu vào rất lớn, sai số tính toán và thực đo với các mô hình hiện nay trên thế giới còn rất lớn. Nghiên cứu đã hiệu chỉnh với hệ số NASH mô hình bùn cát đạt hơn 70% đây là kết quả chấp nhận được.

3.2. Kết quả tính toán hàm lượng bùn cát tại các cửa sông

Sau khi chạy mô hình mô phỏng cho các thời đoạn, tiến hành xuất kết quả tính toán lưu lượng bùn cát và lưu lượng nước tại các vị trí cửa sông. Từ lưu lượng bùn cát và lưu lượng nước có thể suy ra hàm lượng bùn cát theo công thức: Trong đó c là hàm lượng bùn cát, R là lưu lượng bùn cát, Q là lưu lượng nước, $c = \frac{R.\delta}{Q}$ là khối lượng riêng của bùn cát.

Kết quả thu được hàm lượng bùn cát tại các cửa sông như hình 6, làm đầu vào cho mô hình MIKE21ST, phục vụ tính toán vận chuyển bùn cát và diễn biến vùng cửa sông ven biển.

Hình 6. Đường quá trình nồng độ lượng bùn cát tại các cửa sông

Theo kết quả tính toán năm 2011 là năm lũ lớn nhất trong khoảng 10 năm trở lại đây về mặt tổng lượng và là năm có đỉnh lũ lớn. Năm 2010 là năm lũ thấp lịch sử, tổng lượng lũ thấp nhất và ngắn nhất. Năm 2009 là năm lũ trung bình trong cả hai tiêu chí lưu lượng đỉnh lũ và tổng lượng lũ. Cũng từ những đặc điểm về quá trình lũ như vậy nên quá trình vận chuyển bùn cát cũng có sự ảnh hưởng theo. Kết quả tính toán cho thấy, trên cùng hệ thống sông Tiền, nhưng nồng độ bùn cát ra mỗi cửa lại khác nhau tùy thuộc vào lưu lượng nước chuyển qua mỗi sông nhánh. Cụ thể, trên sông Tiền, nồng độ bùn cát ra cửa Đại lớn hơn nồng độ bùn cát ra cửa Tiểu. Đồng thời, nồng độ lượng bùn cát cửa Đại cho giá trị lớn nhất so với các cửa còn lại (Hình 6).

Nồng độ bùn cát qua cửa Định An và cửa Trần Đề khá tương đồng nhau, điều đó cho thấy dòng chảy phân bố qua hai cửa khá đều nhau.

4. Kết luận

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định cho thấy, mô hình MIKE11ST có khả năng mô phỏng dòng chảy có độ chính xác tương đối cao (chỉ số Nash đạt từ 0,91 đến 0,96); mô phỏng bùn cát với độ chính xác khá (chỉ số Nash đạt từ 0,69 đến 0,75).

Như vậy, có thể sử dụng mô hình MIKE11ST để tính toán dòng chảy và bùn cát cho những vị trí thiếu hoặc không có số liệu quan trắc để tạo biên đầu vào cho mô hình MIKE21ST tính toán vận chuyển bùn cát và diễn biến vùng cửa sông ven biển.

Có kết quả tính toán được chính xác cần sử dụng thêm mô hình MIKE NAM để tính lượng nước và Bùn cát gia nhập khu giữa. Ngoài ra cần tiếp tục tiến hành khảo sát bổ sung số liệu thực đo bùn cát và lưu lượng nước, phục vụ hiệu chỉnh và kiểm định, xác định bộ thông số tối ưu của mô hình.

Tài liệu tham khảo

1. Đoàn Quang Trí, (2016), *Ứng dụng mô hình MIKE11 mô phỏng và tính toán xâm nhập mặn cho khu vực Nam Bộ*, Tạp chí Khí tượng Thủy văn số 671 tháng 11 năm 2016.

2. Trần Thanh Xuân, Hoàng Minh Tuyển, Trần Thục, Trần Hồng Thái, Nguyễn Kiên Dũng, (2012), *Tài nguyên nước các hệ thống sông chính Việt Nam*, NXB Khoa học và Kỹ thuật.

3. MIKE 11, (2014), *UserManual, Ref, View User Guide and Short Introduection – Tutorial*, DHI

4. Moriasi, D.N., Arnol, J. G, Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harner, R. D., Veith, T. L., (2007), *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*, Transaction of the ASABE, 50, 3, 885-900.

APPLICATION OF THE MIKE11 ST MODEL TO CALCULATE SEDIMENT CONTENT FOR DOWNSTREAM OF THE MEKONG RIVER SYSTEM

Tran Van Tinh[1], Nguyen Thi Bich Ngoc[1], Nguyen Thanh Luan[2], Hoang Ngoc Quang[1]

[1]Hanoi University of Natural Resources and Enviroment

[2]Key Laboratory of River and Coastal Engineering

Abstract: *Sediment data is an indispensable input for the MIKE21 ST model to calculate sediment transport coastal and estuarine evolution. But in fact, the observed sediment data only have at some location on main rivers and far from river outlets. Therefore, the calculation of sediment flow for estuaries without observe data is very necessary. This study presents the results of modeling applications MIKE11 ST model to calculate the flow of sediment downstream Mekong River systems as input to the Mike 21 ST model to study regime of sediment transport coastal areas of the South in Viet Nam.*

Keywords: *Sediment, MIKE11ST, MeKong River.*