

NGHIÊN CỨU HƯỚNG TIẾP CẬN MÔ PHỎNG DÀI HẠN DIỄN BIẾN HÌNH THÁI CỬA SÔNG NHẬT LỆ, TỈNH QUẢNG BÌNH

APPROACHE TO LONG-TERM MODELLING OF THE NHAT LE ESTUARY MORPHOLOGY, QUANG BINH PROVINCE

➤ Vũ Đình Cường - Nguyễn Thanh Hùng:

Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển - Viện KHTLVN

Tóm tắt: Cửa sông Nhật Lệ nằm trên dải ven biển miền Trung, là một trong những cửa sông tiêu biểu cho loại hình cửa sông phẳng có doi cát chắn. Bài báo nghiên cứu thiết lập mô hình mô phỏng diễn biến hình thái dài hạn (5-10 năm) cho cửa sông Nhật Lệ, trên cơ sở kết hợp ứng dụng mô hình toán Delft3D với hệ số gia tốc hình thái (Mf hay MorFac) và phát triển kỹ thuật rút gọn điều kiện biên của mô hình (về lưu lượng dòng chảy và bùn cát sông, sóng, thủy triều). Kết quả mô hình mô phỏng so sánh với dữ liệu thực đo địa hình thời kỳ 2009-2019, cho thấy mô hình tái hiện khá hợp lý quy luật bồi - xói tổng thể tại các doi cát và lòng dẫn cửa sông, bùn cát được bồi tích tương đối lớn ở khu vực dải cát ngầm chắn cửa dưới tác động của dòng chảy sông và sóng. Kết quả của nghiên cứu này góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho quản lý vùng cửa sông Nhật Lệ một cách hiệu quả và bền vững.

Từ khóa: Hình thái cửa sông, Hình thái cửa Nhật Lệ, Mô phỏng dài hạn.

Abstract: The Nhat Le estuary, located on the central coast of Vietnam, is a representative example of a tide-influenced, wave-dominated estuary with a characteristic sand spit. This study developed a long-term morphological evolution model (over 5-10 years) for the Nhat Le estuary, based on the application of the Delft3D numerical modeling system combined with a morphological acceleration factor (Mf or MorFac) and the implementation of boundary condition reduction techniques for river discharge, sediment load, waves, and tides. Modeling results compared with measured bathymetric data from 2009 to 2019 indicate that the model successfully reproduces the general patterns of sedimentation and erosion, particularly at the mouth bars and estuarine channels. Notably, substantial sediment deposition is observed along the submerged sandbar at the estuary mouth due to the combined influence of river flow and wave action. The findings from this study provide scientific insights that support effective and sustainable management of the Nhat Le estuary.

Key words: Estuary morphology, morphology of Nhat Le estuary, Long-term modelling.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Diễn biến hình thái dài hạn của cửa sông ven biển đã trở thành chủ đề nghiên cứu quan trọng trong bối cảnh các hoạt động của con người ngày càng mạnh mẽ quanh khu vực cửa sông. Trên thế giới, mô hình mô phỏng hình thái dài hạn là một phương pháp hiệu quả để nghiên cứu sự biến đổi hình thái và đã được ứng dụng nhiều cho khu vực cửa sông ven biển. Hơn nữa, mô hình này cung cấp một công cụ khả thi để xem xét xu hướng diễn biến hình thái cửa sông, từ đó định hướng cho các giải pháp quản lý như quy hoạch tuyến luồng giao thông thủy, đảm bảo thoát lũ cửa sông. Việc phát triển công nghệ mô hình dài hạn đã thúc đẩy nghiên cứu biến đổi hình thái dài hạn và cung cấp những luận cứ khoa học cho việc khai thác hiệu quả hơn các cửa sông, như: dự báo diễn biến hình thái dài hạn của cửa sông Clyde, Anh và đánh giá xu thế hướng động hình thái của cửa sông trước tác động của biến đổi khí hậu và con người; Mô phỏng biến đổi hình thái sau khi xây dựng hồ Capitol ở

cửa sông Deschutes, bang Washington, Hoa Kỳ; hay mô phỏng sự thay đổi hình thái thực tế trong giai đoạn sau khi xây dựng đê chắn sóng (1926-1958) tại cửa sông Columbia và cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho công tác quản lý cửa sông này [4].

Ở Việt Nam, đặc điểm về thủy động lực và diễn biến hình thái cửa sông ven biển cũng đã được nghiên cứu nhiều và tập trung cho các cửa sông miền Trung. Các nghiên cứu về thủy động lực và diễn biến hình thái cửa sông ven biển đã ứng dụng các mô hình toán hiện đại như WAM, STWAVE, MIKE21, SEDTRAN, DELFT3D... để xác định trường động lực sóng, dòng chảy, vận chuyển bùn cát, dự báo sa bồi luồng tàu, biến động cửa sông [1,2,3,7]. Nghiên cứu diễn biến bồi - xói khu vực cửa sông chủ yếu được tính toán đánh giá theo các kịch bản ngắn hạn. Các nghiên cứu ngắn hạn tuy cung cấp thông tin hữu ích trong việc đánh giá xu thế xói lở - bồi tụ trong điều kiện khí tượng thủy văn cực trị (như lũ lớn hoặc bão mạnh), song vẫn còn hạn chế trong việc phản ánh đầy đủ quy luật

biến đổi hình thái tự nhiên của cửa sông. Khi xem xét trong thời gian dài hạn có thể nhận diện được xu thế hình thái trung bình và sự phục hồi hình thái tự nhiên của cửa sông sau các sự kiện cực trị. Những biến động ngắn hạn thường bị "làm mờ" bởi quá trình hồi phục tự nhiên dài hạn này. Một số tác giả đã nghiên cứu diễn biến cửa sông trong thời gian dài hạn, trong đó có thể kể đến tác giả Nghiên Tiến Lam và Trần Thanh Tùng [6,8] đã đi sâu vào nghiên cứu diễn biến hình thái cửa sông dài hạn, nhưng các mô hình đã được các tác giả đơn giản hóa các điều kiện mô phỏng và kết hợp với mô hình nhận thức để giải thích quy luật diễn biến của cửa sông miền Trung.

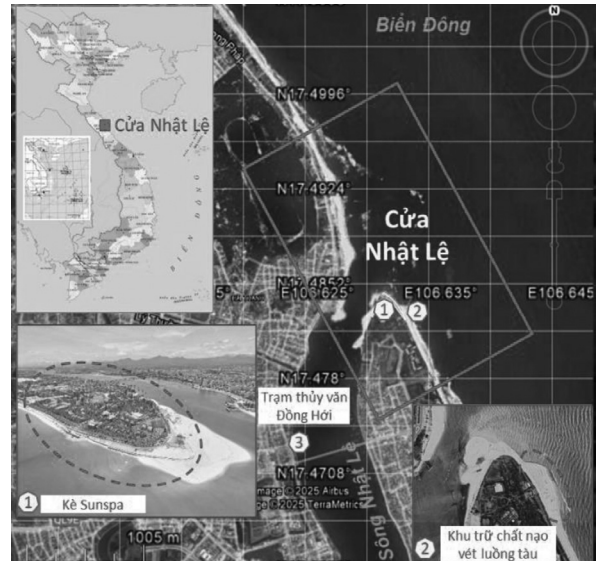
Trong bài báo này, mô hình toán 2 chiều trung bình theo phương ngang (2DH) Delft3D được nghiên cứu ứng dụng để mô phỏng dài hạn diễn biến hình thái của cửa sông Nhật Lệ (tỉnh Quảng Bình), trong thời kỳ 5 năm và 10 năm. Kết quả tính toán biến động bồi - xói lòng dẫn khu vực cửa sông qua các thời kỳ này được so sánh đánh giá với dữ liệu đo đạc khảo sát địa hình trong giai đoạn 2009-2019. Các phương pháp rút gọn điều kiện biên sóng, thủy triều và lưu lượng sông được áp dụng. Mục tiêu chính của nghiên cứu này là xây dựng được mô hình mô phỏng diễn biến hình thái dài hạn cho cửa sông Nhật Lệ, trên cơ sở xác định được phương pháp rút gọn điều kiện biên sóng, thủy triều và lưu lượng sông và kết hợp hệ số gia tốc hình thái M_f (Morphological Acceleration Factor) phù hợp với vùng nghiên cứu. Việc làm rõ hơn được xu thế biến động hình thái dài hạn cửa sông Nhật Lệ sẽ hỗ trợ tạo cơ sở khoa học giá trị cho các công tác quy hoạch và quản lý cửa sông (như nạo vét, xây dựng tuyến luồng và tiêu thoát lũ) cũng như hướng nghiên cứu khoa học cho các cửa sông ven biển miền Trung có điều kiện tự nhiên tương tự.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Cửa Nhật Lệ thuộc địa phận thành phố Đồng Hới, tỉnh Quảng Bình, có tọa độ địa lý $17^{\circ}29'$ vĩ độ Bắc và $106^{\circ}38'$ kinh độ Đông (như Hình 1). Khu vực cửa sông Nhật Lệ có diễn biến hình thái rất phức tạp. Trước đây diễn biến xói lở bờ phía Bắc rất mạnh, sau đó lại là quá trình bồi tụ bờ phía Bắc và chuyển sang xói lở sang bờ phía Nam. Diễn biến bờ biển khu vực cửa Nhật Lệ ngày càng theo chiều hướng xấu, vào mùa đông quá trình xói lở ngày càng mạnh, vào mùa hè quá trình bồi tụ ngày càng yếu. Hằng năm bãi biển ngày càng bị mất đi và ảnh hưởng không nhỏ đến bãi tắm và các khu du lịch. Tuy nhiên, trái ngược là lại hiện tượng cửa sông Nhật Lệ lại thường xuyên bị bồi tụ và luồng lạch qua cửa biển động rất

mạnh, gây ra rất nhiều khó khăn và nguy hiểm cho tàu thuyền ra vào cửa sông.



Hình 1. Bản đồ khu vực cửa Nhật Lệ

2.2. Các dữ liệu cơ bản

Các dữ liệu cơ bản về địa hình, thủy - hải văn và bùn cát khu vực cửa sông Nhật Lệ được sử dụng trong nghiên cứu của bài báo: (1) Dữ liệu địa hình, sử dụng kết hợp các loại tài liệu địa hình khác nhau thu thập được, bao gồm bản đồ địa hình đất liền tỷ lệ 1:10.000, bản đồ địa hình đáy biển tỷ lệ 1:50.000 do Bộ Tài nguyên và Môi trường thành lập và các bình đồ địa hình tỷ lệ 1:5.000 khu vực cửa Nhật Lệ được đo đạc khảo sát từ đề tài KC08.16/16-20 [2]. (2) Dữ liệu về thủy - hải văn và bùn cát, bao gồm số liệu mực nước thực đo tại trạm thủy văn Đồng Hới; mực nước thủy triều từ mô hình thủy triều toàn cầu TOPEX / Poseidon [9]; số liệu sóng, gió ngoài khơi: sử dụng số liệu sóng, gió nhiều năm từ nguồn mô hình sóng toàn cầu WaveWatch III của NOAA [10]; các số liệu về lưu lượng dòng chảy và bùn cát ra cửa sông Nhật Lệ được tính toán bởi các mô hình thủy văn, thủy lực (Mike NAM, SWAT và Mike Flood) kế thừa, cập nhật bổ sung từ đề tài KC08.16/16-20.

Các dữ liệu cơ bản đều đã được xử lý đồng bộ đưa về cùng hệ tọa độ và cao độ chuẩn quốc gia để phục vụ nghiên cứu.

2.3. Hướng tiếp cận mô phỏng dài hạn diễn biến hình thái cửa sông

Các quá trình diễn biến thủy động lực (như thủy triều, dòng chảy sông và sóng) và hình thái ở vùng cửa sông có tính chất phức tạp, được biến đổi trên các quy mô không gian và thời gian khác nhau. Các yếu tố thủy động lực ảnh hưởng đến biến đổi địa hình cửa sông trong thời gian ngắn từ vài giờ đến vài năm, trong khi hình thái thường biến đổi theo quy mô từ vài năm đến hàng thập kỷ. Do đó, việc

nghiên cứu để có thể gia tăng tốc độ tính toán và tái hiện một cách hiệu quả các yếu tố thủy động trong mô hình mô phỏng hình thái dài hạn là một vấn đề then chốt để giảm thời gian tính toán của mô hình.

• **Kỹ thuật rút gọn điều kiện biên:**

Kỹ thuật rút gọn điều kiện biên số liệu đầu vào của mô hình, là phương pháp xây dựng một tổ hợp rút gọn của các điều kiện biên đại diện nhưng vẫn cho kết quả mô phỏng biến đổi hình thái dài hạn phù hợp. Kỹ thuật này được áp dụng để giảm lược các yếu tố thủy động sao cho vẫn giữ được đặc điểm vận chuyển bùn cát, trong khi giảm được độ phức tạp và thời gian tính toán của mô hình mô phỏng hình thái dài hạn. Các yếu tố tác động từ biển như điều kiện thủy triều và sóng đại diện thường được chấp nhận rộng rãi. Như các tác giả Latteux (1995) và Dano Roelvink & Reniers (2012) [11,12] đã lựa chọn một con triều lên - xuống cho kết quả tính toán vận chuyển bùn cát tương quan cao so với cả chu kỳ triều để làm điều kiện thủy triều đại diện. Một cách tiếp cận khác, tác giả Lesser (2009) [13] đã đơn giản hóa chu kỳ thủy triều đầy đủ thành tổ hợp hai thành phần M_2 và C_1 và triều đại diện này cần lớn hơn 7 - 20% so với triều thiên văn. Với điều kiện biên sóng, số liệu sóng có thể được phân nhóm theo chiều cao sóng (Walstra và cộng sự, 2013) hoặc hướng sóng (Brown & Davies, 2009) [14,15] nhằm tạo ra kết quả tính vận chuyển bùn cát tương tự như toàn bộ sóng.

Đối với điều kiện biên phía sông, hiện nay chưa có được sự đồng thuận rộng rãi về cách rút gọn số liệu đầu vào. Như tác giả Guo và cộng sự (2015) [16] đã giảm lược lưu lượng sông theo trung bình năm; tác giả Ganju và cộng sự (2011) [17] lại chọn ba mức lưu lượng điển hình để đại diện cho các năm ít nước, trung bình và nhiều nước; hay một số tác giả khác lại chọn cách phân loại lưu lượng sông thành nhóm thấp và cao theo xác suất xuất hiện. Các cửa sông chịu ảnh hưởng chính từ dòng chảy sông, vấn đề rất quan trọng và hiệu quả là biểu diễn được sự biến đổi theo mùa của lưu lượng dòng chảy trong mô hình hình thái dài hạn.

• **Hệ số gia tốc hình thái M_f (hay MorFac):**

Hệ số gia tốc hình thái (MorFac hoặc M_f) thường được sử dụng để giảm thời gian tính toán liên quan đến mô phỏng động lực học hình thái dài hạn. Hệ số gia tốc hình thái là một đại lượng vô hướng được áp dụng cho phương trình liên tục trầm tích, giả định rằng sự thay đổi về động lực học hình thái xảy ra ở tỷ lệ thời gian dài hơn so với các quá trình thủy động lực học. Việc sử dụng MORFAC giả định mối quan hệ tuyến tính giữa các quá trình thủy động lực học và động lực học hình thái.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t^*} = \frac{M_f}{1 - \lambda} \nabla \cdot \vec{q}_b \quad (1)$$

Trong đó η là cao độ của đáy, t^* là tọa độ thời gian hiệu dụng, λ là độ rỗng của trầm tích, và $\nabla \cdot \vec{q}_b$ là độ phân kỳ của vectơ lưu lượng vận chuyển bùn cát đáy trên một đơn vị chiều rộng. Thời gian mô phỏng thực tế là $t = M_f \times t^*$. Độ lớn của sự thay đổi cao độ của đáy được tăng lên theo hệ số M_f (vế phải của Công thức (1)), trong khi thời gian được giảm đi theo hệ số M_f (vế trái của Công thức (1)). Đối với các mô phỏng có số liệu đầu vào ổn định về dòng chảy và trầm tích, tăng tốc hình thái được áp dụng bằng cách giảm tổng thời gian mô phỏng theo hệ số M_f và nhân độ phân kỳ của lưu lượng vận chuyển với M_f . Đối với các mô phỏng có tác động tuần hoàn, chẳng hạn như thủy triều, mỗi chu kỳ mô phỏng được coi là đại diện cho các chu kỳ M_f . Đối với các tác động không ổn định, không đều như thủy văn lưu lượng dòng chảy sông, chuỗi thời gian dòng chảy vào được điều chỉnh bằng cách giảm giá trị thời gian theo hệ số M_f .

• **Mô hình Delft3D:**

Trong mô hình Delft3D, các quá trình dòng chảy, sóng, vận chuyển trầm tích và cập nhật hình thái được tính toán đồng thời theo phương pháp "trực tuyến", với kết quả mô-đun FLOW và mô-đun WAVE được trao đổi định kỳ theo bước thời gian chạy mô phỏng. Mô-đun FLOW giải bài toán nước nông trung bình theo 2D hoặc 3D, trong khi mô-đun WAVE sử dụng mô hình SWAN (thế hệ 3) mô phỏng lan truyền, tạo sóng do gió, tiêu tán và tương tác phi tuyến.

Vận chuyển trầm tích (lượng tải đáy và lơ lửng) được tính toán theo trường dòng chảy - sóng và cập nhật địa hình đáy diễn ra tại từng bước thời gian thủy động lực. Vì biến đổi hình thái diễn ra chậm hơn nhiều so với biến đổi thủy động lực nên mô hình Delft3D sử dụng hệ số gia tốc hình thái MorFac để nhân tốc độ vận chuyển trầm tích rỗng, giúp rút ngắn thời gian mô phỏng.



Hình 2. Sơ đồ hệ số MorFac trong Delft3D

Bài báo sử dụng kế thừa kết quả nghiên cứu thiết lập mô hình Delft3D cho cửa sông Nhật Lệ mà tác giả và các cộng sự đã đạt được trong nghiên cứu Đánh giá tác động của các yếu tố động lực đến biến động hình thái cửa Nhật Lệ, tỉnh Quảng Bình [3], để tiếp tục phát triển thành mô hình mô phỏng diễn biến hình thái dài hạn cửa sông Nhật Lệ.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân tích xử lý số liệu cho điều kiện biên của mô hình DBHT dài hạn

• Thời kỳ mô phỏng dài hạn diễn biến hình thái của sông Nhật Lệ

Việc lựa chọn thời kỳ mô phỏng dài hạn diễn biến hình thái cửa sông Nhật Lệ được xác định trên cơ sở khoa học và thực tiễn. Cửa sông Nhật Lệ là nơi giao thoa và bị chi phối bởi các yếu tố sông - biển; do đó để phản ánh đầy đủ được biến động của các yếu tố này trong dài hạn, chuỗi số liệu cần bao trùm được tối thiểu cả hai chu kỳ đặc trưng, bao gồm: chu kỳ thủy văn 11 năm (phản ánh quy luật biến động của dòng chảy sông) và chu kỳ hải văn 19 năm (phản ánh quy luật biến động của thủy triều và sóng). Mặt khác, khi mô hình mô phỏng càng dài hạn thì kết quả tính toán càng có sai số lớn. Khi có những biến động lớn về địa hình thì cần đo khảo sát cập nhật lại địa hình để tính toán mô phỏng cho một thời kỳ mới.

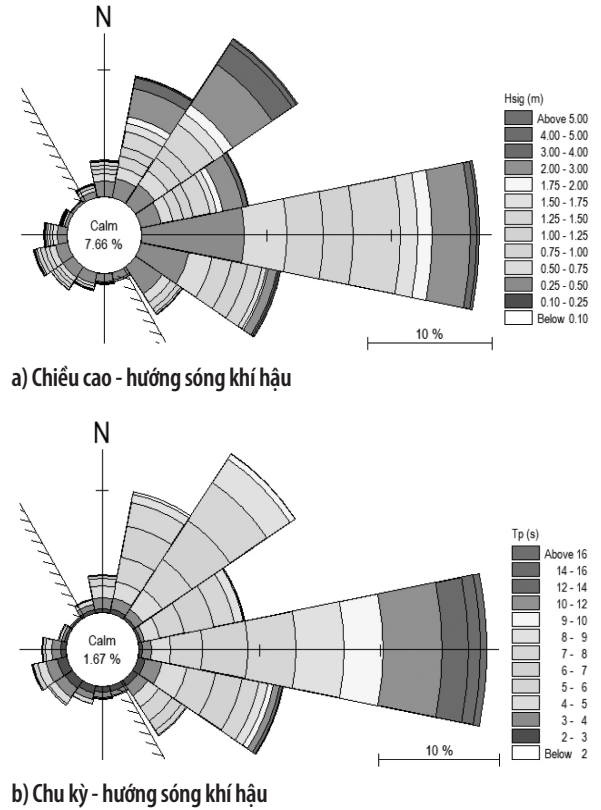
Trên cơ sở dữ liệu địa hình thu thập được cho khu vực cửa sông Nhật Lệ để kiểm chứng mô hình, kết hợp với thực tế có các công trình được xây dựng ở cửa sông có tác động lớn đến biến động địa hình như tuyến kè Sunspa (2009), hoạt động nạo vét tuyến luồng tàu kết hợp xây dựng đoạn đê quay phía trước tuyến kè Sunspa để chứa vật liệu nạo vét, vừa xảy ra trận lũ lớn lịch sử tháng 10/2020 (như Hình 1); nghiên cứu đã lựa chọn thời kỳ mô phỏng diễn biến hình thái cửa sông dài hạn 5 - 10 năm trong giai đoạn 2009 - 2019.

• Phân tích thống kê để xử lý số liệu cho điều kiện biên sóng

Từ chuỗi dữ liệu sóng 45 năm (1979-2024) tại điểm sóng Wave watch III ngoài khơi vùng biển Nhật Lệ (với ba tham số Hsig-Tp-MWD), tổng hợp phân tích số liệu sóng theo từng tháng của 12 tháng trong năm. Xem xét trong thời kỳ nhiều năm, các tham số sóng ngoài khơi vùng biển Nhật Lệ có sự biến đổi rõ ràng và liên tục theo từng tháng trong năm.

Tổng hợp thống kê và phân tích tần suất xuất hiện của các thành phần sóng có chiều cao, chu kỳ theo cấp độ tương ứng với 16 hướng chính. Trong đó tham số chiều cao sóng từ 0.05 - 5.05m được chia thành 26 cấp độ; tham số chu kỳ sóng từ 1 - 20 giây được chia thành 20 cấp độ. Từ chuỗi số liệu sóng

phân tích thống kê theo tần suất xuất hiện cho 12 tháng, sau đó được phân phối thành chuỗi số liệu sóng khí hậu (thể hiện qua hoa sóng khí hậu như Hình 3) đặc trưng trong 1 năm, làm điều kiện biên mô hình mô phỏng diễn biến hình thái dài hạn.



Hình 3. Hoa sóng khí hậu vùng biển Nhật Lệ

• Phân tích điều hòa để xử lý số liệu cho điều kiện biên mực nước

Để có chuỗi số liệu biên mực nước giờ cho mô hình diễn biến hình thái dài hạn, đảm bảo đặc trưng biến động theo mùa trong năm ở vùng cửa Nhật Lệ, nghiên cứu sử dụng phân tích điều hòa thủy triều để xác định được các thành phần sóng triều và loại bỏ thành phần dao động mực nước phi triều từ chuỗi số liệu mực nước quan trắc trong 35 năm (1990-2024) tại trạm Đồng Hới. Kết quả phân tích đã xác định được bộ hàng số điều hòa thủy triều cho khu vực cửa Nhật Lệ gồm 69 hàng số điều hòa. Trong đó có 10 hàng số điều hòa chính (biên độ lớn) như Bảng 1, gồm các hàng số Q_1 , O_1 , P_1 , K_1 (sóng nhật triều chính), N_2 , M_2 , S_2 , K_2 (sóng bán nhật triều chính), S_A , S_{SA} (thành phần sóng dài) và hàng số trung bình A_0 (thành phần mực nước trung bình tại trạm).

Sử dụng hàng số A_0 và hai hàng số điều hòa sóng dài S_A và S_{SA} đặc trưng cho nước dâng - nước hạ theo mùa ở cửa Nhật Lệ, kết hợp với bộ 10 hàng số điều hòa thủy triều của mô hình triều toàn cầu TOPEX để làm điều kiện biên mực nước cho mô

hình diễn biến hình thái dài hạn cửa sông Nhật Lệ. Cách tiếp cận này phù hợp vì vừa đảm bảo được tính đặc trưng về dao động mực nước riêng cho khu vực cửa Nhật Lệ, vừa đảm bảo được sự biến đổi liên tục của thủy triều trên từng điểm nút biên của mô hình.

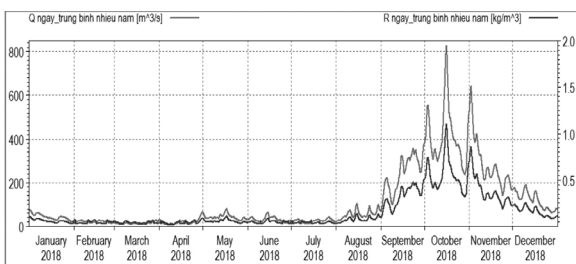
Bảng 1. Tổng hợp 10 hằng số điều hoà thủy triều chính cho cửa Nhật Lệ

TT	Hằng số	Độ lớn (m)	Pha (độ)
1	A_0	0,055	-
2	Q_1	0,065	0,42
3	O_1	0,287	34,83
4	P_1	0,060	100,87
5	K_1	0,189	115,73
6	N_2	0,038	330,24
7	M_2	0,198	4,68
8	S_2	0,049	65,54
9	K_2	0,038	93,11
10	S_A	0,205	316,44
11	S_{SA}	0,094	71,19

• Phân tích thống kê xử lý số liệu cho điều kiện biên lưu lượng, bùn cát sông

Trên lưu vực sông Nhật Lệ không có trạm đo bùn cát, chỉ có trạm thủy văn Kiến Giang và Tám Lu đo lưu lượng dòng chảy nhưng đã ngừng đo từ những năm 1980. Do đó nghiên cứu đã ứng dụng các mô hình thủy văn, thủy lực (Mike NAM, SWAT và Mike Flood) kế thừa, cập nhật bổ sung từ đề tài KC08.16/16-20 để diễn toán lưu lượng dòng chảy và bùn cát ra cửa sông Nhật Lệ. Từ đó tính toán được chuỗi số liệu 35 năm (từ 1990 - 2024) lưu lượng dòng chảy và nồng độ bùn cát trung bình ngày đổ ra cửa Nhật Lệ.

Với chuỗi số liệu 35 năm về lưu lượng dòng chảy và nồng độ bùn cát cửa sông, phân tích thống kê để thu về chuỗi số liệu có độ dài 1 năm đặc trưng cho cửa Nhật Lệ như . Chuỗi số liệu đặc trưng này có trị số tính bằng trung bình thống kê (trung vị) của chuỗi nhiều năm và được sử dụng làm điều kiện biên của mô hình dài hạn.

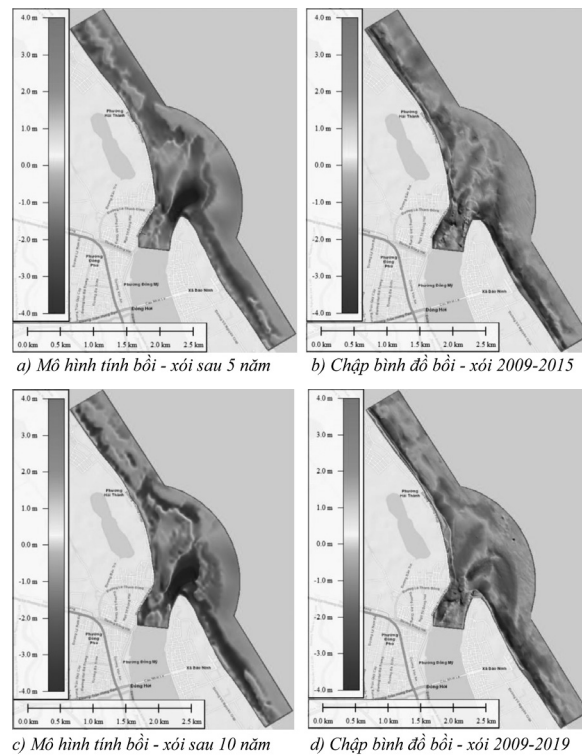


Hình 4. Số liệu biên lưu lượng, bùn cát cửa sông cho mô hình DBHT dài hạn

3.2. Mô phỏng dài hạn diễn biến hình thái cửa Nhật Lệ

Với bộ số liệu điều kiện biên phản ánh được những biến động về thủy - hải văn theo mùa trong một năm đã xác định được cho khu vực cửa sông Nhật Lệ, mô hình Delft3D mô phỏng DBHT dài hạn được thiết lập và chạy mô phỏng diễn biến hình thái thời đoạn 5 - 10 năm. Do mô hình sử dụng chuỗi số liệu biên 1 năm nên để mô phỏng DBHT dài hạn thời đoạn 5 - 10 năm cần sử dụng kết hợp hệ số gia tăng tốc độ tính toán hình thái M_f tương ứng với các thời đoạn này là $M_f = 5$ và $M_f = 10$.

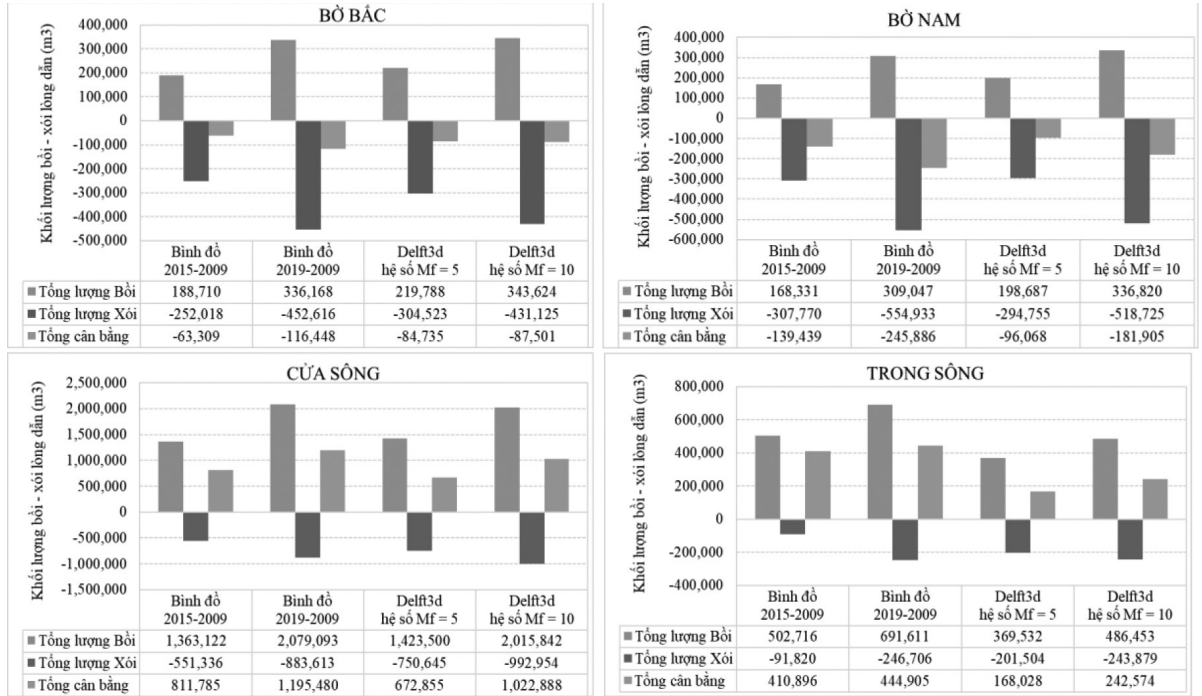
Kết quả tính toán biến động bồi - xói lòng dẫn khu vực cửa Nhật Lệ sau khoảng thời gian 5 năm, 10 năm được thể hiện như Hình 4. So sánh với số liệu chụp địa hình từ các bình đồ đo khảo sát giai đoạn 5 năm (2009-2015) và 10 năm (2009-2019) cho thấy mô hình đã mô phỏng hợp lý xu thế biến động bồi - xói khu vực cửa sông, đặc biệt tại các vùng có biến động mạnh.



Hình 5. Biến động bồi - xói lòng dẫn theo các kịch bản

Hình 5 thể hiện kết quả so sánh về khối lượng bồi - xói lòng dẫn giữa tính toán từ mô hình DBHT dài hạn và tính toán từ chụp bình đồ đo khảo sát địa hình, theo 4 phân vùng của khu vực cửa sông Nhật Lệ với thời đoạn 5 - 10 năm.

- Với thời đoạn dài hạn 5 năm: Vùng phía bờ Bắc cửa sông, khối lượng bùn cát bồi, xói lòng dẫn tính từ mô hình (V_{MH}) thiên lớn hơn so với khối lượng tính từ đo khảo sát (V_{KS}), tỷ lệ



Hình 6. Biến động bồi - xói lòng dẫn theo các kịch bản

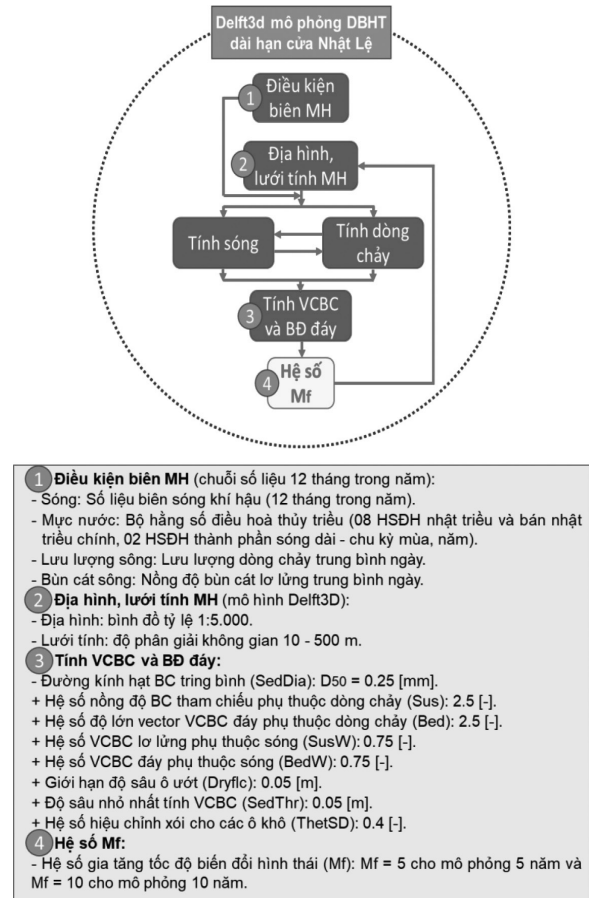
tương đối (V_{MH}/V_{KS}) khoảng 1,34 lần (tương ứng $84.735/63.309m^3$); Vùng phía bờ Nam cửa sông, khối lượng V_{MH} bồi tụ thiên lớn nhưng xói thiên nhỏ hơn so với V_{KS} , tỷ lệ (V_{MH}/V_{KS}) khoảng 0,69 lần (tương ứng $96.068/139.439m^3$); Vùng trong cửa sông, khối lượng V_{MH} bồi tụ thiên nhỏ nhưng xói thiên lớn hơn so với V_{KS} , tỷ lệ (V_{MH}/V_{KS}) khoảng 0,41 lần; Vùng cửa sông, khối lượng V_{MH} thiên lớn hơn so với V_{KS} , tỷ lệ (V_{MH}/V_{KS}) khoảng 0,83 lần.

- Với thời đoạn dài hạn 10 năm: Vùng phía bờ Bắc, khối lượng V_{MH} bồi tụ thiên lớn nhưng xói thiên nhỏ hơn so với V_{KS} , tỷ lệ (V_{MH}/V_{KS}) khoảng 0,75 lần. Vùng phía bờ Nam, khối lượng V_{MH} bồi tụ thiên lớn nhưng xói thiên nhỏ hơn so với V_{KS} , tỷ lệ (V_{MH}/V_{KS}) khoảng 0,74 lần; Vùng trong cửa sông, khối lượng V_{MH} thiên nhỏ hơn so với V_{KS} , tỷ lệ (V_{MH}/V_{KS}) khoảng 0,55 lần; Vùng cửa sông, khối lượng V_{MH} bồi tụ thiên nhỏ nhưng xói thiên lớn hơn so với V_{KS} , tỷ lệ (V_{MH}/V_{KS}) khoảng 0,86 lần.

Như vậy, mô hình tái hiện hợp lý xu thế bồi - xói trong không gian và thời gian, đồng thời cho thấy tiềm năng áp dụng trong phân tích và dự báo hình thái động cửa sông.

3.3. Hướng tiếp cận xây dựng mô hình mô phỏng DBHT dài hạn cửa Nhật Lệ

Trên cơ sở kết quả mô phỏng DBHT dài hạn 5 năm, 10 năm (giai đoạn 2009 - 2019), nghiên cứu đề xuất hướng tiếp cận xây dựng mô hình mô phỏng DBHT dài hạn cửa sông Nhật Lệ bằng mô hình thủy động lực, VCBC và biến động lòng dẫn Delft3D trung bình theo phương ngang (2DH)



Hình 7. Sơ đồ hướng tiếp cận xây dựng mô hình mô phỏng DBHT dài hạn cửa sông Nhật Lệ

được tổng quát thành sơ đồ như Hình 6.

KẾT LUẬN

Mô hình diễn biến hình thái dài hạn (5 - 10

năm) cho cửa sông Nhật Lệ được xây dựng trên cơ sở ứng dụng mô hình toán hiện đại Delft3D, với hệ số gia tăng tốc độ tính toán biến động hình thái Mf và kết hợp với kỹ thuật rút gọn điều kiện biên cho mô hình. Từ các chuỗi số liệu nhiều năm (số liệu sóng 45 năm và số liệu mực nước, lưu lượng dòng chảy, bùn cát sông 35 năm), ứng dụng phương pháp và kỹ thuật thống kê, phân tích điều hòa tính toán được các đặc trưng của chuỗi dữ liệu; sau đó thu các chuỗi dữ liệu nhiều năm kể trên thành chuỗi chuỗi dữ liệu mới có độ dài 1 năm và dùng số liệu này làm điều kiện biên cho mô hình diễn biến hình thái dài hạn. Chuỗi số liệu này có khoảng thời gian 1 năm, trong đó các yếu tố sóng, mực nước, lưu lượng dòng chảy và bùn cát sông đều thể hiện được quy luật biến đổi theo mùa trong năm đặc trưng cho khu vực cửa sông Nhật Lệ.

Với điều kiện biên 1 năm, nghiên cứu đã xác định được hệ số Mf có giá trị lần lượt bằng 5 và 10 tương ứng với thời kỳ mô phỏng dài hạn là 5 năm và 10 năm. Mô hình đã mô phỏng được xu thế biến đổi địa hình, dịch chuyển luồng lạch, bồi - xói lòng dẫn khu vực cửa sông trong thời kỳ dài hạn 5 năm (2009-2015) và 10 năm (2009-2019) phù hợp với dữ liệu đo đạc khảo sát địa hình, trong đó thời kỳ 5 năm mô hình cho kết quả mô phỏng tốt hơn. Từ đó nghiên cứu đã khái quát hóa thành sơ đồ hướng tiếp cận xây dựng mô hình mô phỏng diễn biến hình thái dài hạn cửa sông Nhật Lệ. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Nguyễn Thanh Hùng, Vũ Đình Cường, Nguyễn Văn Hùng, Nguyễn Quang Minh (2018). Nghiên cứu biến động theo mùa của chế độ thủy động lực khu vực cửa sông Nhật Lệ tỉnh Quảng Bình. Tạp chí Khoa học và Công nghệ thủy lợi, số 48-2018, trang 91-104.
2. Nguyễn Thanh Hùng và nnk (2020). Nghiên cứu quá trình xói lở, bồi tụ dải bờ biển cửa sông từ Quảng Bình đến Thừa Thiên Huế, có xét tới ảnh hưởng của các tác động từ thượng nguồn và đề xuất giải pháp ổn định”. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp nhà nước, mã số KC.08.16/16-20.
3. Vũ Đình Cường, Nguyễn Thanh Hùng, Trần Đình Hòa (2025). Đánh giá tác động của các yếu tố động lực đến biến động hình thái cửa Nhật Lệ, tỉnh Quảng Bình. Tạp chí Khoa học và Công nghệ thủy lợi, số 89 - tháng 4/2025, trang 2 - 12.

Tiếng Anh

4. Harshinie Karunarathna and Dominic Reeve (2008). A Boolean Approach to Prediction of Long-Term Evolution of Estuary Morphology. Journal of Coastal Research Vol. 24, No. 2B, Supplement (Mar., 2008), pp. 51-61 (11 pages).
5. Deltares (2011). Delft3D-FLOW: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. User manual, version 3.15.
6. Lam Nghiem Tien (2009). Hydrodynamics and morphodynamics of a seasonally forced tidal inlet

- system. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
7. Nguyen Thanh Hung, Vu Dinh Cuong, Nguyen Tien Thanh, Nguyen Van Hung, and Trieu Quang Quan (2024). Modeling of Hydrodynamic Regimes for the Thuan An Estuary. Journal of Water Management Modeling 32: S531, www.chijournal.org ISSN: 2292-6062. DOI: https://doi.org/10.14796/JWMM.S531.
8. Tung, T.T. (2011). Morphodynamics of seasonally closed coastal inlets at the central coast of Vietnam. PhD, Delft University of Technology, the Netherlands.
9. TOPEX global model. <http://volkov.oce.orst.edu/tides/TPXO7.2.html>.
10. WAVEWATCH III global model. <https://polar.ncep.noaa.gov/waves/download.shtml>.
11. B. Latteux. Techniques for long-term morphological simulation under tidal action. Mar. Geol. (1995).
12. Dano Roelvink & Ad Reniers. A Guide to Modeling Coastal Morphology. World Scientific Publishing Company. Volume 12. ISBN 9789814304252 / 9814304255. DOI:10.1142/9789814304269_0006.
13. G.R. Lesser. An approach to medium-term coastal morphological modelling. Doctoral Thesis (2009). TU Delft Repository. <https://resolver.tudelft.nl/27a1ffa0-580e-4eae-907b-ce6f901e652e>
14. D.J.R. Walstra et al. Input reduction for long-term morphodynamic simulations in wave-dominated coastal settings. Coast. Eng. (2013).
15. J.M. Brown et al. Methods for medium-term prediction of the net sediment transport by waves and currents in complex coastal regions. Cont. Shelf Res. (2009).
16. L.C. Guo et al. Exploration of the impact of seasonal river discharge variations on long-term estuarine morphodynamic behavior. Coast. Eng. (2015).
17. N.K. Ganju et al. Discontinuous hindcast simulations of estuarine bathymetric change: a case study from Suisun Bay, California. Estuar. Coast. Shelf Sci. (2011).