

ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA CÁC YẾU TỐ ĐỘNG LỰC ĐẾN BIẾN ĐỘNG HÌNH THÁI CỦA NHẬT LỆ, TỈNH QUẢNG BÌNH

Vũ Đình Cường, Nguyễn Thanh Hùng, Trần Đình Hoà

Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Tóm tắt: Các cửa sông ven biển Miền Trung luôn có những biến động mạnh mẽ về hình thái do quá trình bồi - xói lòng dẫn xảy ra với tần suất cao, dưới tác động của các yếu tố động lực sóng, gió, thủy triều, nước dâng và lưu lượng sông biến động theo mùa có tính chất đặc trưng vùng miền rõ rệt. Bài báo nhằm cung cấp sự hiểu biết sâu sắc hơn về tác động của các yếu tố, thông qua phân tích kết quả tính toán về khối lượng biến động bồi - xói lòng dẫn để ước tính tỷ lệ tác động của từng yếu tố. Kết quả nghiên cứu đã xác định được yếu tố sóng và lưu lượng sông có vai trò chi phối lớn nhất với tỷ lệ lần lượt là 48,6 - 98,1% và 13 - 14%; yếu tố thủy triều và nước dâng - hạ theo mùa có tác động lớn với tỷ lệ lần lượt là 6,1 - 8,6% và 6 - 9% và yếu tố gió nội tại vùng chỉ có tác động nhỏ đến biến động bồi - xói khu vực cửa Nhật Lệ.

Từ khóa: Hình thái cửa Nhật Lệ, bồi - xói cửa sông, động lực cửa sông.

Summary: Estuaries at the central coast of Vietnam are subject to significant morphological changes due to the processes of sediment transport, erosion, and sedimentation, which lead to frequent changes in the seabed topography. These changes are influenced by dynamic factors such as wave, wind, tide, annual sea level variability, and river discharge, which exhibit clear seasonal and regional characteristics. This paper aims to offer a deeper understanding of these impacts through the analysis of calculated results on sediment deposition and erosion volumes, in order to estimate the influence of each factor. The study results determine that wave and river discharge play the most dominant roles, accounting for 48.6 - 98.1% and 13 - 14%, respectively; tidal movements and seasonal sea level rise and fall have significant impacts, with rates of 6.1 - 8.6% and 6 - 9%, respectively; and local winds have a minor effect on the sediment dynamics at the mouth of the Nhat Le river.

Keywords: Morphology of Nhat Le estuary, erosion - sedimentation in estuary, factors of estuarine dynamics.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cửa sông ven biển là vùng chuyển tiếp giữa biển và các con sông nội địa, nơi mà sóng thủy triều đại dương và dòng chảy sông kiểm soát các quá trình thủy động lực. Tuy nhiên, những sự thay đổi và tác động tự nhiên này vẫn chưa được hiểu rõ. Sự phức tạp của thủy động lực vùng cửa sông, với sự kết hợp của các quá trình và yếu tố tác động khác nhau như dòng chảy sông, gió, sóng, chế độ thủy triều và sự tương tác giữa sóng và dòng chảy, đã khiến cho việc dự báo vận chuyển bùn cát trong cửa sông trở nên khó khăn. Các cửa sông ven biển

khu vực Miền Trung có sự biến động rất lớn về hình thái dưới sự chi phối của các quá trình thủy triều, sóng và dòng chảy sông [5]. Do đặc điểm của sông Miền Trung yếu tố động lực biển đóng vai trò chính với thời gian dài đã quyết định đặc tính hình thái của cửa sông - xói về mùa lũ và bồi lấp và thu hẹp cửa vào mùa kiệt.

Cửa Nhật Lệ nằm ở khu vực ven biển Bắc Trung Bộ, thuộc thành phố Đồng Hới - tỉnh Quảng Bình, là nơi dòng chảy sông Nhật Lệ đổ ra Biển Đông (Hình 1). Đây là một trong hai cửa sông lớn nhất của tỉnh Quảng Bình (cùng với cửa sông Gianh), đóng vai trò rất quan trọng trong lĩnh vực vận tải thủy nội địa và tàu thuyền phục vụ đánh bắt cá của khu vực. Chế độ thủy động lực khu vực cửa sông

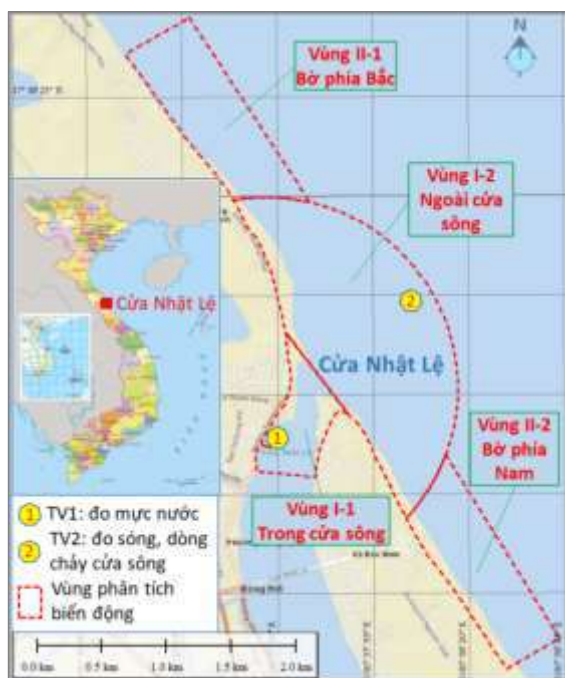
Ngày nhận bài: 26/02/2025

Ngày thông qua phản biện: 20/3/2025

Ngày duyệt đăng: 15/4/2025

ven biển Nhật Lệ khá phức tạp, do tương tác giữa dòng chảy sông với biển và có chế độ thủy động lực biến đổi theo mùa rõ rệt [1]. Hằng năm, mùa gió Đông Bắc từ tháng X-III có sóng lớn, trong đó từ tháng X-XII trùng mùa lũ trong sông; mùa gió Tây Nam có sóng nhỏ trùng mùa kiệt trong sông từ tháng V-VIII và các tháng chuyển mùa là tháng IV, IX.

Ở vùng cửa Nhật Lệ, vấn đề vận chuyển trầm tích, các quá trình xói mòn và bồi lắng luôn xảy ra mạnh mẽ với tần suất cao dưới tác động phức tạp của thủy triều, sóng, lưu lượng nước sông và mực nước ven biển dâng - hạ thay đổi theo mùa rõ rệt. Mực nước dâng - hạ theo mùa ở khu vực ven bờ biển Việt Nam đã được đề cập đến trong một số nghiên cứu. Tác giả Phạm Văn Huân và Nguyễn Tài Hợi [3] đã xác định được chiều cao mực nước dâng - hạ do những nguyên nhân phi triều (trong gió mùa ổn định, điều kiện cực trị khác) thông qua phân tích số liệu mực nước tại các trạm đo ven bờ biển nước ta. Theo đó, tác động dâng rút mực nước xảy ra với tần suất cao chỉ tập trung ở khoảng dưới 20 cm; những dao động dâng rút mực nước lớn hơn 50 cm có tần suất khá hiếm không vượt quá 1% ở tất cả các trạm; quá trình dâng, rút thường có tần suất xấp xỉ nhau.



Hình 1: Bản đồ khu vực cửa Nhật Lệ

Việc dự báo biến động bằng các mô hình toán đã chứng minh là một kỹ thuật mạnh mẽ, giúp hỗ trợ hiểu rõ các quá trình liên quan đến thực hiện các giải pháp cần thiết và lựa chọn thiết kế phù hợp [6]. Các mô hình toán hai chiều (2D) đã được phát triển và ứng dụng rộng rãi trong các nghiên cứu về thủy động lực, vận chuyển trầm tích và biến động hình thái các cửa sông ven biển. Nghiên cứu trên mô hình toán 2D giúp có những hiểu biết sâu sắc hơn về tác động của các yếu tố đến vận chuyển trầm tích gây bồi lắng, xói mòn ở vùng cửa sông. Cửa sông ven biển khu vực Miền Trung đã có nhiều nghiên cứu đánh giá về thủy động lực, vận chuyển bùn cát và biến động hình thái. Một số các tác giả đã nghiên cứu đánh giá mang tính tổng quát, quy luật chung cho các cửa sông khu vực [9, 10]; trong khi một số tác giả khác lại đi sâu vào nghiên cứu chi tiết cho các cửa sông cụ thể [11, 12]. Đối với cửa sông Nhật Lệ, cũng đã có khá nhiều các nghiên cứu được thực hiện [1, 5, 8]. Trong đó có nghiên cứu của nhóm tác giả Nguyễn Thanh Hùng và nnk [8] đã đi sâu vào nghiên cứu về các yếu tố chi phối sự biến động trong vận chuyển bùn cát tại cửa sông Nhật Lệ. Tính toán với 5 kịch bản có điều kiện biên khác nhau là tổ hợp của 3/4 yếu tố sóng, lưu lượng sông, thủy triều và gió nội tại trong vùng cho khoảng thời gian tháng 4/2018 và tháng 10/2018 đại diện cho 2 mùa gió đặc trưng; kết quả đã chỉ ra yếu tố sóng quan trọng nhất tác động đến hình thái cửa sông, chi phối khoảng 95% lượng bùn cát bồi - xói, các yếu tố còn lại chỉ chiếm tỷ lệ nhỏ trong tất cả các kịch bản tính.

Có thể nhận thấy, các tiến bộ trong mô hình toán cho phép phân tích, đánh giá chi tiết hơn được tác động của các yếu tố động lực đối với vận chuyển trầm tích trong vùng cửa sông ven biển. Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về thủy động lực và vận chuyển bùn cát vùng cửa sông khu vực Miền Trung và vùng cửa sông Nhật Lệ, nhưng ít có nghiên cứu nào đi sâu vào tính toán và đánh giá kết luận yếu tố động lực nào đóng vai trò chủ yếu trong việc vận chuyển bùn cát và thay đổi hình thái cửa sông. Do đó, mục tiêu của nghiên cứu này nhằm tiếp tục đi sâu làm sáng tỏ hơn về tác động của từng yếu tố động lực thủy triều, sóng, gió nội tại trong

vùng, lưu lượng sông và nước dâng - hạ theo mùa đến biến động hình thái cửa Nhật Lệ. Để đạt được mục tiêu đó, nghiên cứu đã ứng dụng mô hình thủy động lực và vận chuyển bùn cát Delft3D [7] với độ phân giải cao, thông qua phân tích kết quả tính toán về khối lượng biến động bồi - xói theo các kịch bản để ước tính tỷ lệ tác động của từng yếu tố.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Các dữ liệu cơ bản

Dữ liệu cơ bản được sử dụng trong nghiên cứu của bài báo bao gồm dữ liệu về địa hình, thủy - hải văn và bùn cát đáy để phục vụ thiết lập mô hình toán mô phỏng thủy động lực 2 chiều theo phương ngang cho vùng nghiên cứu:

- 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].

- Dữ liệu về thủy - hải văn và bùn cát đáy:

+ Số liệu mực nước triều: Sử dụng kết hợp các nguồn thu thập được, gồm số liệu đo mực nước theo từng giờ liên tục trong 01 năm 2018 từ đề tài KHCN cấp Bộ [3]; số liệu đo mực nước giờ trong hai đợt khảo sát tháng 4/2018, tháng 10/2018 từ đề tài KC08.16/16-20 [2] và số liệu mực nước thủy triều từ mô hình thủy triều toàn cầu TOPEX / Poseidon [13].

+ Số liệu sóng, dòng chảy ven bờ: Sử dụng các số liệu đo sóng, dòng chảy khu vực cửa Nhật Lệ trong hai đợt khảo sát tháng 4/2018, tháng 10/2018 từ đề tài KC08.16/16-20 [2].

+ 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 [14].

+ Số liệu bùn cát/trầm tích đáy khu vực cửa Nhật Lệ: Sử dụng tài liệu phân tích mẫu bùn cát/trầm tích đáy được kế thừa từ đề tài KC08.16/16-20 [2].

Các dữ liệu cơ bản về địa hình, thủy - hải văn đều đã được xử lý đồng bộ để đưa về cùng hệ tọa độ và cao độ chuẩn quốc gia.

2.2. Mô hình toán Delft3D

Ứng dụng mô hình toán Delft3D [7] do Deltares - Hà Lan phát triển để nghiên cứu thủy động lực, vận chuyển bùn cát gây bồi - xói lòng dẫn và biến động hình thái khu vực cửa sông Nhật Lệ. Module thủy động lực tính dòng chảy (Delft3d-Flow) có thể tính toán kết hợp đồng thời (online coupling) với các module khác gồm module tính sóng (Delft3d-Wave) và module tính vận chuyển trầm tích (Delft3d-Sed) như mô tả trong Hình 2. Việc tính toán kết hợp đồng thời có thể cho thấy được sự tương tác giữa các quá trình thủy động lực - sóng và vận chuyển trầm tích tại mỗi thời điểm tính của mô hình.

Thiết lập miền lưới tính của mô hình Delft3D cho vùng nghiên cứu

Mô hình Delft3D nghiên cứu thủy động lực, vận chuyển bùn cát gây bồi - xói lòng dẫn và biến động hình thái khu vực cửa sông Nhật Lệ được thiết lập với miền lưới tính mô hình có độ phân giải không gian từ 10m đến 500m theo quy mô lưới tính chi tiết nhất cho khu vực cửa sông, ven bờ biển lân cận phía Bắc - Nam cửa sông; lưới tính được thưa dần dọc theo bờ biển về hai phía và khi mở rộng ra về phía biển. Giới hạn phạm vi miền lưới tính của mô hình về phía sông được kéo dài sâu vào trong cửa sông khoảng 12 km; về phía biển được mở rộng ra ngoài khơi cách bờ khoảng 40 km; dọc theo bờ biển hai bên cửa sông kéo dài từ cửa về hai phía Bắc và Nam khoảng 40 km (như Hình 3). Việc mở rộng miền lưới tính mô hình nhằm đảm bảo giảm thiểu được những ảnh hưởng của các số liệu điều kiện biên và mô phỏng được lắng trụ triều lưu thông qua cửa Nhật Lệ.

Điều kiện biên mô hình

- Biên lưu lượng cửa sông Nhật Lệ: sử dụng số liệu đo đặc lưu lượng dòng chảy trong các đợt đo đạc khảo sát và kết quả tính toán lưu lượng dòng chảy sông ra cửa Nhật Lệ từ mô hình Mike Flood mô phỏng thủy lực dòng chảy cho hệ thống sông lưu vực sông Nhật Lệ. Mô hình này được kế thừa và cập nhật phát triển thêm từ kết quả của đề tài KC08.16/16-20 [2].

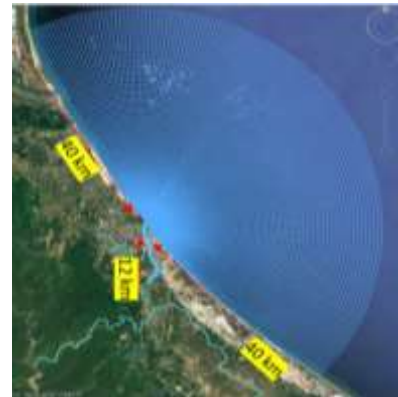
- Biên ngoài biển: mực nước sử dụng số liệu

triều toàn cầu TOPEX [13] kết hợp với số liệu mực nước giờ thực đo tại cửa Nhật Lệ [3];

sóng, gió sử dụng số liệu mô hình toàn cầu WaveWatchIII của NOAA [14].



Hình 2: Sơ đồ kết nối module sóng, dòng chảy và VCBC trong mô hình Delft3D



Hình 3: Phạm vi thiết lập miền lưới tính của mô hình Delft3D

Đánh giá sai số hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

+ *Đánh giá sai số hiệu chỉnh, kiểm định mô hình thủy động lực:*

Nghiên cứu sử dụng chỉ tiêu Nash-Sutcliffe (Nash và Sutcliffe, 1970) để đánh giá sự phù hợp giữa dữ liệu mô phỏng và dữ liệu đo đạc. Kết quả hiệu chỉnh mô hình còn được đánh giá thông qua chỉ tiêu sai số bình phương trung bình (RMSE), chỉ số này thường được sử dụng để đánh giá sự sai khác giữa các giá trị tính toán của mô hình và số liệu thực đo.

+ *Đánh giá sai số hiệu chỉnh mô hình VCBC và biến động bồi - xói lòng dẫn:*

Mô hình tính toán VCBC và biến động bồi - xói lòng dẫn được hiệu chỉnh thông qua so sánh kết quả tính toán bồi - xói của mô hình với kết quả phân tích chập bình đồ đo đạc khảo sát địa hình khu vực cửa Nhật Lệ trong cùng khoảng thời gian tính toán. Việc so sánh bao gồm so sánh về phạm vi, xu thế biến động bồi - xói và so sánh về khối lượng bồi - xói theo 4 phân vùng đặc trưng của khu vực cửa Nhật Lệ, gồm vùng I-1 trong cửa sông, vùng I-2 ngoài cửa sông, vùng II-1 bờ phía Bắc và vùng II-2 bờ phía Nam cửa sông như Hình 1.

Các kịch bản điều kiện biên để phân tích đánh giá

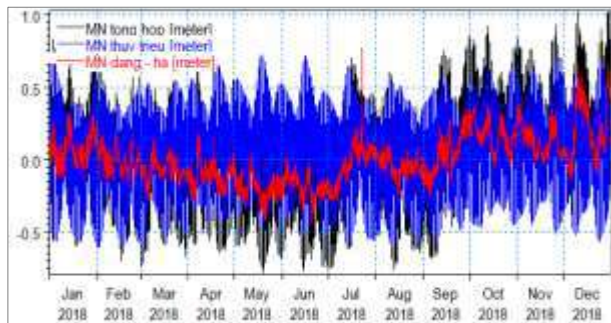
Nghiên cứu đánh giá tác động của các yếu tố động lực (sóng, thủy triều, gió nội tại trong

vùng, lưu lượng dòng chảy sông, nước dâng - hạ theo mùa) đến biến động hình thái cửa Nhật Lệ thông qua việc tính toán khối lượng bồi - xói lòng dẫn trong khoảng thời gian 01 năm liên tục. Chọn năm 2018 để nghiên cứu đánh giá, vì năm 2018 sóng ngoài khơi có sự phân mùa khá rõ rệt, dòng chảy sông trong mùa lũ có một số đợt mưa lũ gây ra lưu lượng tương đối lớn và có chuỗi số liệu đo mực nước giờ tại cửa Nhật Lệ trong 1 năm liên tục [3] để phân tích xác định được thành phần nước dâng - hạ theo 2 mùa trong năm, có số liệu đo đạc khảo sát địa hình đồng bộ để đánh giá khối lượng bồi - xói lòng dẫn.

Từ chuỗi số liệu mực nước tổng hợp thực đo tại cửa Nhật Lệ năm 2018 như Hình 4 (đường màu đen), bằng phương pháp phân tích điều hòa thủy triều đã phân tách xác định riêng được các thành phần dao động mực nước thủy triều (đường màu xanh) và thành phần dao động mực nước theo mùa (đường màu đỏ). Thành phần mực nước dâng - hạ theo mùa có biên độ dao động trung bình khoảng 20 - 40 cm, trong đó vào mùa hè mực nước bị hạ thấp xuống và vào mùa đông mực nước được dâng cao hơn.

Với 5 yếu tố động lực sông - biển cơ bản ở khu vực cửa Nhật Lệ, nghiên cứu đã thiết lập mô hình tính toán mô phỏng theo các kịch bản có điều kiện biên khác nhau là tổ hợp của 5

yếu tố này. Tổng số 06 kịch bản đã được tính toán bao gồm kịch bản nền KB1 có điều kiện biên có đầy đủ các yếu tố lưu lượng sông (Q sông), dao động mực nước thủy triều, sóng, gió nội tại trong vùng, nước dâng - hạ; 05 kịch bản còn lại có điều kiện biên lần lượt bớt đi một yếu tố so với tổ hợp điều kiện biên đầy đủ ở kịch bản nền KB1 như Bảng 1.

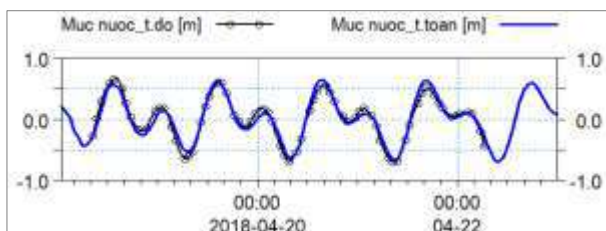


Hình 4: Biến trình mực nước tổng hợp và các thành phần mực nước thủy triều, nước dâng - hạ theo mùa được phân tích từ chuỗi số liệu thực đo năm 2018 tại cửa Nhật Lệ

Kết quả tính toán bồi - xói của các kịch bản KB2 đến KB6 khi bớt đi 1 yếu tố sẽ được so sánh với kịch bản nền KB1 có đầy đủ 5 yếu tố, từ đó phân tích đánh giá được tác động của từng yếu tố động lực.

Bảng 1: Tổng hợp các kịch bản tính toán

Kịch bản	Điều kiện biên các yếu tố thủy động lực				
	Sóng ngoài khơi	Mực nước thủy triều	Gió nội tại trong vùng	Lưu lượng sông	Nước dâng - hạ theo mùa
KB1	Có	Có	Có	Có	Có
KB2	Không	Có	Có	Có	Có
KB3	Có	Không	Có	Có	Có
KB4	Có	Có	Không	Có	Có
KB5	Có	Có	Có	Không	Có
KB6	Có	Có	Có	Có	Không



a) Mực nước tại trạm TV1

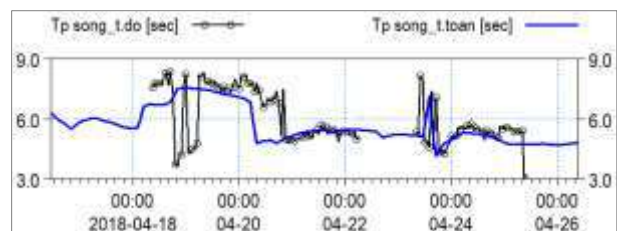
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

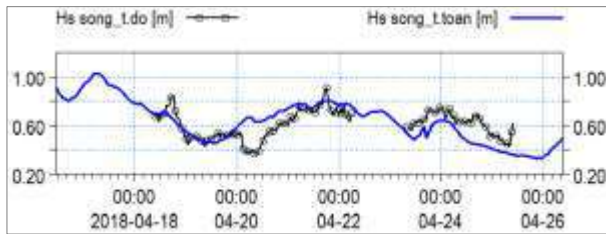
Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy động lực

Đầu tiên, mô hình Delft3D cần được hiệu chỉnh và kiểm định về độ tin cậy của các kết quả tính toán về thủy động lực (mực nước, sóng, dòng chảy). Trong quá trình hiệu chỉnh và kiểm định, các thông số của mô hình đã được điều chỉnh để giảm sai số giữa các kết quả tính toán mô phỏng và số liệu thực đo. Các thông số của mô hình được xác định trong quá trình hiệu chỉnh được giữ nguyên trong quá trình kiểm định. Mô hình thủy động lực được hiệu chỉnh và kiểm định với bộ số liệu đo đồng bộ các yếu tố địa hình, thủy hải văn khu vực cửa Nhật Lệ do đề tài KC08.16/16-20 khảo sát trong hai đợt trong tháng 4/2018 và tháng 10/2018. Vị trí các trạm đo khảo sát TV1 (đo mực nước) và TV2 (đo sóng, dòng chảy) như Hình 1.

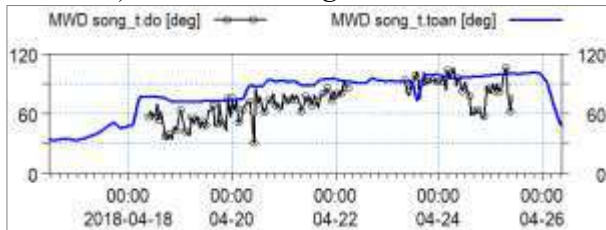
Kết quả so sánh số liệu để hiệu chỉnh mô hình như trong Hình 5. Chỉ tiêu NSE đánh giá sai số về mực nước, chiều cao sóng, vận tốc dòng chảy lần lượt là 0,89; 0,75 và 0,62 và chỉ tiêu RMSE đánh giá cho các yếu tố này lần lượt là 0,06; 0,14 và 0,16. Giá trị của các chỉ tiêu NSE và RMSE cho thấy sự phù hợp tốt giữa kết quả tính từ mô hình và dữ liệu thực đo. Các yếu tố chu kỳ, hướng sóng và hướng dòng chảy có mức độ biến thiên lớn khó đánh giá được bằng chỉ tiêu NSE hay RMSE cũng được đánh giá về sự phù hợp của đường biến trình giữa kết quả tính toán từ mô hình và số liệu đo đạc. Có thể nhận thấy các đường biến trình của các yếu tố này thể hiện được sự tương đồng tốt giữa kết quả mô hình và số liệu đo đạc.



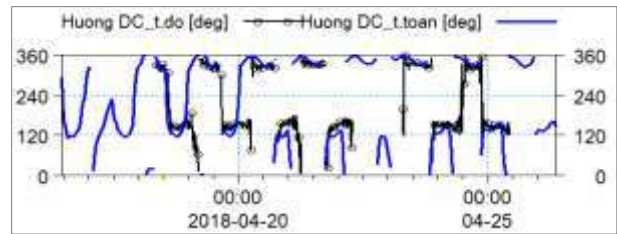
d) Chu kỳ sóng tại trạm TV2



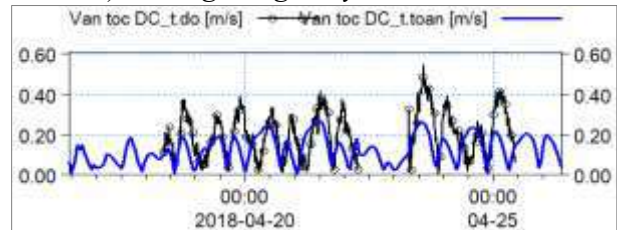
b) Chiều cao sóng tại trạm TV2



c) Hướng sóng tại trạm TV2



e) Hướng dòng chảy tại trạm TV2

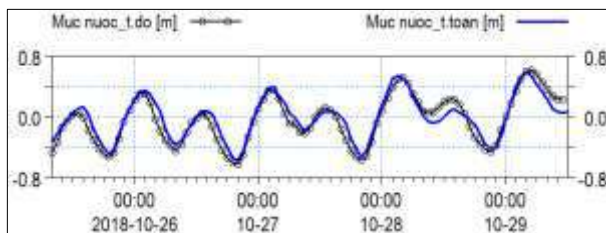


g) Vận tốc dòng chảy tại trạm TV2

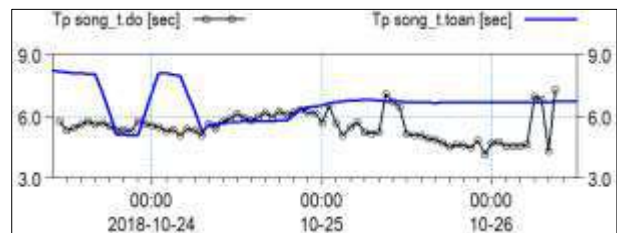
Hình 5: Kết quả hiệu chỉnh mô hình với số liệu đo đợt tháng 4/2018

Kết quả so sánh số liệu để kiểm định mô hình như trong Hình 5. Chỉ tiêu NSE đánh giá sai số về mực nước, chiều cao sóng, vận tốc dòng chảy lần lượt là 0,79; 0,78; 0,60 và chỉ tiêu đánh giá RMSE cho các yếu tố này lần lượt là 0,16; 0,11 và 0,21. Tương tự như bước hiệu

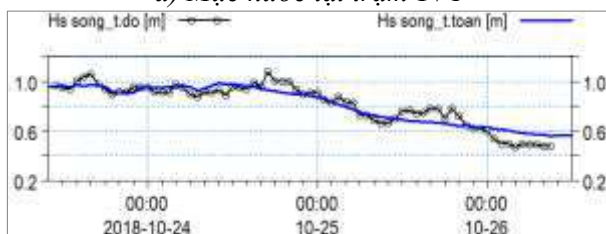
chỉnh mô hình, giá trị của các chỉ tiêu NSE, RMSE và các đường biến trình của các yếu tố chu kỳ, hướng sóng và hướng dòng chảy trong bước kiểm định mô hình cũng cho thấy sự phù hợp tốt giữa kết quả tính từ mô hình và dữ liệu thực đo.



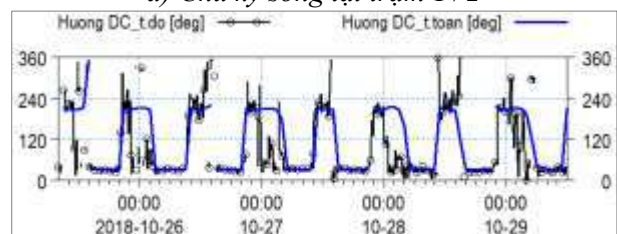
a) Mực nước tại trạm TV1



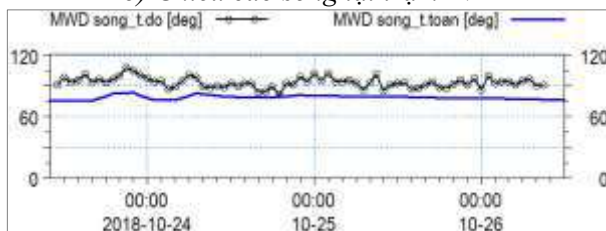
d) Chu kỳ sóng tại trạm TV2



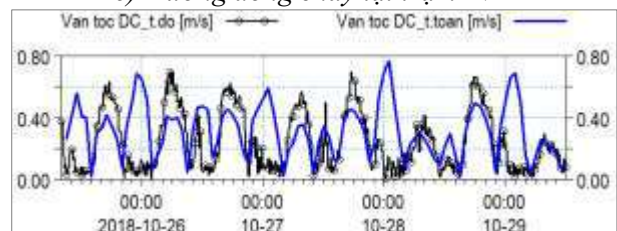
b) Chiều cao sóng tại trạm TV2



e) Hướng dòng chảy tại trạm TV2



c) Hướng sóng tại trạm TV2



g) Vận tốc dòng chảy tại trạm TV2

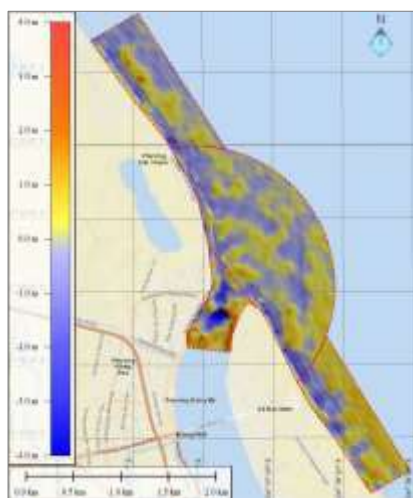
Hình 6: Kết quả kiểm định mô hình với số liệu đo đợt tháng 10/2018

Hiệu chỉnh mô hình VCBC và biến động bồi - xói lòng dẫn

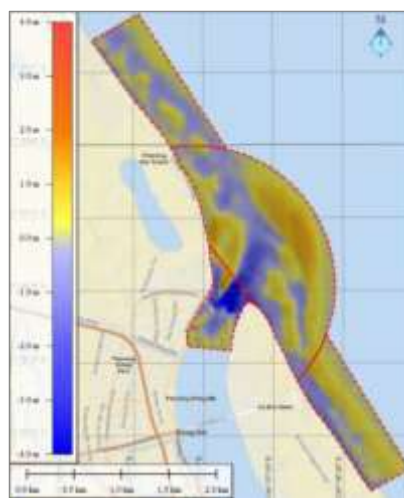
Mô hình vận chuyển bùn cát và bồi - xói lòng dẫn cho khu vực cửa Nhật Lệ được hiệu chỉnh với dữ liệu chụp bình đồ địa hình của 2 đợt đo trong tháng 4/2018 và tháng 10/2018, dữ liệu địa hình được kế thừa từ đề tài KC08.16/16-20.

Hình 7 thể hiện phạm vi bồi - xói khu vực cửa

Nhật Lệ trong khoảng thời gian tính toán mô phỏng so với dữ liệu chụp bình đồ địa hình. Kết quả so sánh cho thấy mô hình vận chuyển bùn cát sau khi được hiệu chỉnh đã cho kết quả về phạm vi biến động bồi - xói lòng dẫn tương đối phù hợp với thực tế, trong vùng cửa Nhật Lệ xuất hiện các khu vực bồi - xói chính phản ánh phù hợp với xu thế của dữ liệu đo đạc khảo sát.



a) Bồi - xói từ chụp bình đồ khảo sát

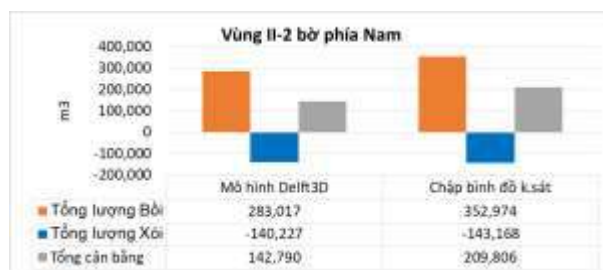
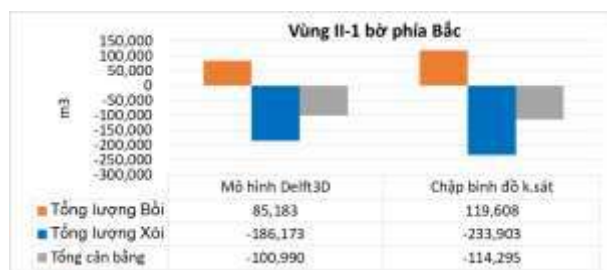


b) Bồi - xói từ kết quả tính mô hình

Hình 7: Kết quả hiệu chỉnh xu thế biến động bồi - xói lòng dẫn

So sánh đánh giá định lượng về tổng lượng vận chuyển bùn cát gây bồi - xói giữa kết quả tính toán từ mô hình và dữ liệu chụp bình đồ cho 4 phân vùng khu vực cửa Nhật Lệ được thể hiện như Hình 8. Có thể nhận thấy xu thế về cân bằng tổng lượng bồi - xói ở các vùng có sự tương đồng khá tốt giữa kết quả tính toán và kết quả chụp bình đồ đo đạc khảo sát. Xu thế chung về cân bằng bồi - xói trong thời kỳ khảo sát là ở phân vùng bờ biển phía Bắc cửa Nhật Lệ (vùng II-1) bị xói chiếm ưu thế, tổng lượng cân bằng bồi - xói tính toán từ mô hình khoảng 100.000 m³ và từ chụp bình đồ đo đạc khoảng

114.000 m³; ở phân vùng bờ biển phía Nam cửa (vùng II-2) được bồi tụ chiếm ưu thế, tổng lượng cân bằng bồi - xói tính toán từ mô hình khoảng 142.000 m³ và từ chụp bình đồ đo đạc khoảng 209.000 m³; ở phân vùng trong cửa sông (vùng I-1) bị xói chiếm ưu thế, tổng lượng cân bằng bồi - xói tính toán từ mô hình khoảng 79.000 m³ và từ chụp bình đồ đo đạc khoảng 57.000 m³; ở phân vùng ngoài cửa sông (vùng I-2) bị xói chiếm ưu thế, tổng lượng cân bằng bồi - xói tính toán từ mô hình khoảng 130.000 m³ và từ chụp bình đồ đo đạc khoảng 215.000 m³.





Hình 8: Kết quả hiệu chỉnh tổng lượng bồi - xói lòng dẫn khu vực cửa Nhật Lệ

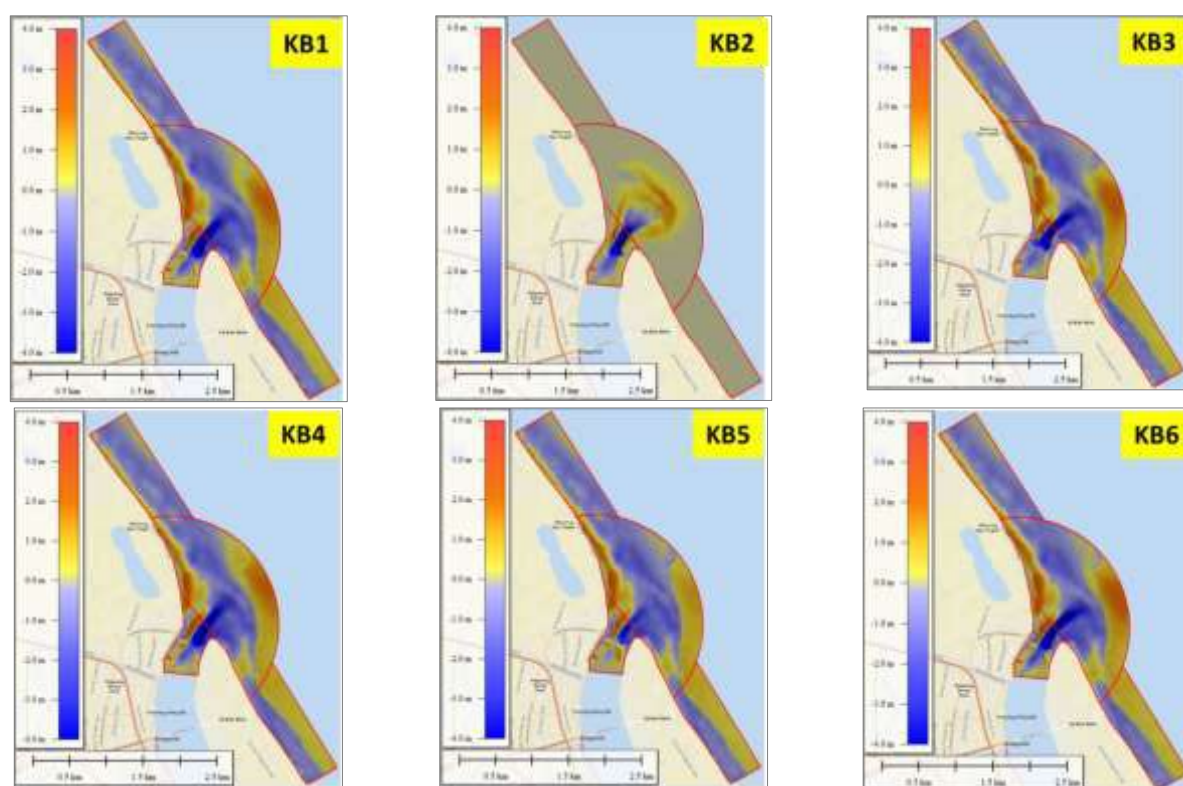
Như vậy, mô hình Delft3D thiết lập cho khu vực cửa Nhật Lệ đã được hiệu chỉnh và kiểm định cho kết quả phù hợp tốt về khả năng mô phỏng thủy động lực, vận chuyển bùn cát và biến động bồi - xói lòng dẫn; bộ thông số của mô hình đã được kiểm định đảm bảo độ tin cậy. Mô hình có thể sử dụng để tính toán mô phỏng về thủy động lực, vận chuyển bùn cát và biến động bồi - xói lòng dẫn theo các kịch bản đề phục vụ nghiên cứu.

3.2. Tác động của các yếu tố động lực đến biến động hình thái cửa Nhật Lệ

Đánh giá tác động của các yếu tố động lực đến biến động hình thái cửa Nhật Lệ được thực hiện thông qua kết quả so sánh đánh giá về

mức độ biến động bồi - xói lòng dẫn do các yếu tố động lực. Kết quả tính toán biến động bồi - xói lòng dẫn khu vực cửa Nhật Lệ theo 06 kịch bản được thể hiện như Hình 9.

Về xu thế biến động bồi - xói lòng dẫn: Có thể nhận thấy kết quả tính trong kịch bản KB2 (không có yếu tố sóng) có sự khác biệt lớn về xu thế biến động bồi - xói lòng dẫn so với kịch bản KB1 (kịch bản nền có đầy đủ các yếu tố) và các kịch bản còn lại KB3, KB4, KB5, KB6 khi lần lượt không có một trong các yếu tố hoặc thủy triều, gió nội tại trong vùng, lưu lượng sông, nước dâng - hạ theo mùa thì ít có sự khác biệt về xu thế biến động bồi - xói lòng dẫn so với kịch bản KB1.



Hình 9: Biến động bồi - xói lòng dẫn theo các kịch bản

Về khối lượng bồi - xói lòng dẫn: Kết quả tính toán định lượng về khối lượng bồi - xói theo các kịch bản và tỷ lệ phần trăm về khối lượng bồi - xói của các kịch bản KB2, KB3, KB4, KB5, KB6 so với kịch bản nền KB1 được thể hiện như trong Bảng 2 và Bảng 3. Trong đó, để thuận lợi cho việc so sánh đánh giá tác động của các yếu

tố động lực đến biến động bồi - xói lòng dẫn khu vực cửa Nhật Lệ, nghiên cứu đã gộp 4 phân vùng thành còn 2 khu vực chính là khu vực cửa sông - vùng I (gồm vùng I-1 trong cửa sông và vùng I-2 ngoài cửa sông) và khu vực bờ biển - vùng II (gồm vùng II-1 bờ phía Bắc và vùng II-2 bờ phía Nam).

Bảng 2: Lượng bồi - xói khu vực cửa sông và bờ biển lân cận với các kịch bản

Khu vực	Lượng bồi-xói (m ³)	KB1	KB2	KB3	KB4	KB5	KB6
		Đủ 5 yếu tố	Loại trừ sóng	Loại trừ thủy triều	Loại trừ gió nội tại	Loại trừ lưu lượng sông	Loại trừ nước dâng - hạ
Cửa sông (Vùng I)	Bồi	842.215	433.233	912.742	834.695	724.241	791.543
	Xói	1.224.136	378.821	1.149.540	1.253.827	1.065.047	1.138.327
	Tổng	381.920	54.412	236.798	419.132	340.805	346.784
Bờ biển (Vùng II)	Bồi	316.657	17.816	343.881	309.568	314.808	292.213
	Xói	624.412	12.025	583.721	629.980	617.980	568.322
	Tổng	307.754	5.792	239.840	320.412	303.172	276.109

Bảng 3: Tỷ lệ khối lượng bồi - xói khu vực cửa sông và bờ biển lân cận với các kịch bản

Khu vực	Lượng bồi - xói	Tỷ lệ tăng/giảm lượng bồi - xói lòng dẫn so với KB1 (%)				
		(KB2-KB1)/KB1	(KB3-KB1)/KB1	(KB4-KB1)/KB1	(KB5-KB1)/KB1	(KB6-KB1)/KB1
Cửa sông (Vùng I)	Bồi	-48,6	8,4	-0,9	-14,0	-6,0
	Xói	-69,1	-6,1	2,4	-13,0	-7,0
Bờ biển (Vùng II)	Bồi	-94,4	8,6	-2,2	-0,6	-7,7
	Xói	-98,1	-6,5	0,9	-1,0	-9,0

Thông qua kết quả tính toán khối lượng bồi - xói lòng dẫn theo các kịch bản đã đánh giá cụ thể được tác động của từng yếu tố động lực đến biến động hình thái cửa Nhật Lệ:

- Tác động của yếu tố sóng: Với kịch bản KB2, khi bỏ qua yếu tố sóng cho kết quả tính toán khối lượng bồi - xói nhỏ nhất so với kịch bản nền KB1 và các kịch bản còn lại. Địa hình đáy biến động chủ yếu ở khu vực cửa sông dưới tác động của yếu tố lưu lượng dòng chảy sông, thủy triều nên hình thành khu vực xói sâu tại vị trí cửa vào và dải cát ngầm chắn cửa dạng cung tròn khép kín ngay phía trước cửa sông. Khu vực bờ biển phía Bắc - Nam cửa sông không có biến động địa hình đáng kể. Khối lượng bồi - xói lòng dẫn trong kịch bản KB2 đã bị giảm đi rất lớn so với trong kịch bản KB1, trong đó khu vực cửa sông bị giảm khoảng 48,6 - 69,1% và khu vực bờ biển phía Bắc - Nam giảm khoảng 94,4 - 98,1%.

- Tác động của yếu tố thủy triều: Với kịch bản KB3 khi bỏ qua yếu tố thủy triều, khối lượng bồi - xói lòng dẫn khu vực cửa sông và khu vực bờ biển phía Bắc - Nam đều có xu thế bị giảm lượng xói khoảng 6,1 - 6,5%, tăng lượng bồi khoảng 8,4 - 8,6%.

- Tác động của yếu tố lưu lượng sông: Với kịch bản KB5 khi bỏ qua yếu tố lưu lượng dòng chảy sông, khối lượng bồi - xói lòng dẫn đều bị giảm; trong đó khu vực cửa sông giảm khoảng 13 - 14% và khu vực bờ biển phía Bắc - Nam giảm khoảng 0,6 - 1%.

- Tác động của yếu tố nước dâng - nước hạ theo mùa: Với kịch bản KB6 khi bỏ qua yếu tố nước dâng - hạ theo mùa, khối lượng bồi - xói lòng dẫn cũng đều bị giảm; trong đó khu vực cửa sông giảm khoảng 6 - 7% và khu vực bờ biển phía Bắc - Nam giảm khoảng 7,7 - 9%.

- Tác động của yếu tố gió nội tại trong vùng:

Với kịch bản KB4 khi bỏ qua yếu tố gió nội tại vùng ven biển cửa sông Nhật Lệ, khối lượng bồi - xói lòng dẫn thay đổi khoảng 0,9 - 2,4%. Khu vực cửa sông giảm lượng bồi khoảng 0,9% và tăng lượng xói khoảng 2,4%; khu vực bờ biển phía Bắc - Nam lượng bồi giảm khoảng 2,2% và tăng lượng xói khoảng 0,9%.

Trên cơ sở các kết quả mô phỏng xu thế biến động bồi - xói và tính toán định lượng cụ thể khối lượng biến động bồi - xói lòng dẫn khu vực cửa Nhật Lệ, có thể tổng quát hóa được tác động của từng yếu tố động lực (sóng, thủy triều, gió nội tại vùng, lưu lượng dòng chảy sông, nước dâng - hạ theo mùa) đến biến động hình thái cửa Nhật Lệ như sơ đồ Hình 10.

Trong 5 yếu tố động lực nêu trên thì có 2 yếu tố có vai trò chi phối, 2 yếu tố có tác động lớn và 1 yếu tố chỉ có tác động nhỏ. Yếu tố sóng chi phối đến biến động bồi - xói cả khu vực cửa sông và khu vực ven bờ phía Bắc - Nam cửa sông, làm gia tăng bồi - xói và biến đổi dải cát ngầm chôn cửa sông. Yếu tố lưu lượng dòng chảy sông chi phối đến bồi - xói khu vực cửa sông, tạo dải cát ngầm dạng cung tròn trước cửa sông. Yếu tố thủy triều tác động làm gia tăng xói, giảm bồi; yếu tố nước dâng - hạ theo mùa có tác động làm gia tăng xói khu vực cửa sông và bờ biển phía Bắc - Nam cửa sông. Yếu tố gió nội tại vùng ven biển cửa sông Nhật Lệ chỉ có tác động nhỏ đến biến động bồi - xói.



Hình 10: Sơ đồ đánh giá tác động của các yếu tố động lực đến biến động hình thái cửa Nhật Lệ tính theo tỷ lệ bồi - xói lòng dẫn

Kết quả xác định tác động của yếu tố sóng theo tỷ lệ % tương đối gần với kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả Nguyễn Thanh Hùng và nnk [8] đã công bố với tỷ lệ tác động của sóng gió khoảng 95%. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này đã tính toán và xác định sự đóng góp của các thành phần một cách chi tiết và đầy đủ hơn: (1) Phạm vi mô hình có biên được mở rộng hơn về phía trong sông, cách cửa sông khoảng 12km giúp mô phỏng tốt hơn được lắng trụ triều lưu thông qua cửa; (2) Tác động của các yếu tố được đánh giá riêng cho 2 vùng gồm vùng cửa sông và vùng bờ biển lân cận cửa sông; (3) Đưa vào đánh giá thêm được yếu tố quan trọng có tác động lớn là thanh phần nước dâng - hạ theo mùa; (4) Tính toán tác động của các yếu tố trong 1 năm liên tục nên kết quả sẽ phản ánh tốt hơn được sự tác động của các yếu tố có tính biến đổi theo mùa khá rõ rệt.

4. KẾT LUẬN

Khu vực cửa sông ven biển Miền Trung luôn có sự biến đổi mạnh mẽ về dòng chảy sông, sóng và mực nước theo mùa, dẫn tới vấn đề vận chuyển bùn cát và biến động hình thái cửa sông rất phức tạp. Nghiên cứu cụ thể cho cửa sông Nhật Lệ, bài báo đã phân nào làm sáng tỏ hơn được tác động của các yếu tố động lực đến vận chuyển bùn cát và biến đổi hình thái cửa sông, bao gồm dòng chảy sông, thủy triều, sóng, gió nội tại trong vùng và nước dâng - hạ theo mùa. Phân tích kết quả tính toán về khối lượng biến động bồi - xói lòng dẫn đã ước tính được tỷ lệ tác động của từng yếu tố; trong đó yếu tố sóng và lưu lượng sông có vai trò chi phối lớn nhất với tỷ lệ lần lượt là 48,6 - 98,1% và 13 - 14%, yếu tố thủy triều và nước dâng - hạ theo mùa có tác động lớn với tỷ lệ lần lượt là 6,1 - 8,6% và 6 - 9% và yếu tố gió nội tại vùng chỉ có tác động nhỏ đến biến động bồi - xói khu vực cửa Nhật Lệ. Kết quả nghiên cứu giúp hiểu rõ hơn về các cơ chế chi phối các quá trình này và cung cấp cơ sở khoa học để xây dựng các giải pháp quản lý bảo vệ bờ biển, ổn định cửa sông một cách hiệu quả, phục vụ phát triển kinh tế biển.

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] Nguyễn Khắc Đoàn và nnk, 2021. Nghiên cứu, đề xuất áp dụng công nghệ quan trắc liên tục một số đặc trưng động lực ven biển và diễn biến đường bờ, thử nghiệm cho bờ biển tỉnh Quảng Bình. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường.
- [4] Phạm Văn Huân, Nguyễn Tài Hoi, 2007. Dao động mực nước biển ven bờ Việt Nam. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, số 556 tháng 4 năm 2007, trang 30-37.

Tiếng Anh

- [5] D. D. Cham, N. T. Son, N. Q. Minh, N. T. Hung, and N. T. Thanh, 2020. Hydrodynamic Condition Modeling along the North-Central Coast of Vietnam. Engineering, Technology & Applied Science Research, vol. 10, no. 3, pp. 5648–5654, Jun. 2020, <https://doi.org/10.48084/etasr.3506>.
- [6] Deltares. 2011. Delft3D-FLOW: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. User manual, version 3.15.
- [7] Hung Thanh Nguyen, Cuong Dinh Vu, Hung Van Nguyen, Tuan D Nguyen, 2019. Factors controlling variation in sediment transport at Nhat Le estuary. Proceedings of the 10th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2019) Hanoi, Vietnam, September 25-28, 2019.
- [8] Lam Nghiem Tien, 2009. Hydrodynamics and morphodynamics of a seasonally forced tidal inlet system. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
- [9] Nguyen Thong, Ho Tuan Duc, Phan Quang Hung and Tran Hai Yen, 2022. Numerical study of sediment transport in Thu-Bon estuary and coastal areas of Hoi-An City. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 964 012001.
- [10] 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>.
- [11] Tung, T.T., 2011. Morphodynamics of seasonally closed coastal inlets at the central coast of Vietnam. PhD, Delft University of Technology, the Netherlands.
- [12] TOPEX global model. <http://volkov.oce.orst.edu/tides/TPXO7.2.html>.
- [13] Vu Dinh Cuong, Nguyen Thanh Hung, Tran Dinh Hoa, Nguyen Tien Thanh, 2024. Shoreline Changes and Sediment Transport along Nhat Le Coast, Vietnam. Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 14, No. 2, 2024, 13493-13501.
- [14] WAVEWATCH III global model. <https://polar.ncep.noaa.gov/waves/download.shtml>.