

## ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC QUÁ TRÌNH ĐỘNG LỰC ĐẾN BIẾN ĐỘNG ĐỊA HÌNH ĐÁY VÙNG VEN BỜ CỬA SÔNG MÊ KÔNG

Vũ Duy Vinh<sup>1\*</sup>, Trần Đình Lâm<sup>1</sup>, Trần Anh Tú<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Kim Anh<sup>1</sup>, Nguyễn Ngọc Tiến<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Viện Tài nguyên và Môi trường biển-Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>2</sup>Viện Địa chất và Địa vật lý biển-Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

\*E-mail: vinhvd@imer.ac.vn

Ngày nhận bài: 13-1-2015

**TÓM TẮT:** Bài viết trình bày các kết quả nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của các quá trình động lực ở vùng ven bờ châu thổ sông Mê Kông đến biến động địa hình đáy khu vực này. Vai trò của các quá trình động lực được đánh giá thông qua kết quả phân tích của 50 kịch bản tính toán khác nhau với cách tiếp cận tham số MORFAC (the Morphological Acceleration Factor) trong mô hình Delft3D. Các kết quả tính toán cho thấy động lực sóng và sóng là các yếu tố có ảnh hưởng lớn đến quá trình vận chuyển trầm tích và biến động địa hình đáy biển ven bờ châu thổ sông Mê Kông. Khi lặng sóng gió, sự tương tác của động lực sóng và dao động mực nước tạo thành các vùng bồi tụ ở vùng cửa sông và dải ven bờ châu thổ. Sóng các hướng với khoảng độ cao 1 - 3 m là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến xu hướng biến động địa hình đáy biển ven bờ châu thổ sông Mê Kông. Sự tích lũy trầm tích ở khu vực ven bờ châu thổ sông Mê Kông trong các tháng mùa lũ chỉ là tạm thời khi có các nguồn cung cấp lớn từ lục địa. Sau mùa lũ, dưới tác động của các quá trình động lực trong điều kiện thiếu hụt trầm tích, đã diễn ra sự tái phân bố trầm tích, tạo thành đặc điểm biến động địa hình đáy như kết quả tổng hợp trong mùa cạn.

**Từ khóa:** Biến động địa hình đáy, Mê Kông, morfac, mô hình, động lực.

### MỞ ĐẦU

Phương pháp tiếp cận MORFAC (Morphological Acceleration Factor) là cách tiếp cận cho phép mô phỏng biến động địa hình (BĐDH) đáy biển với khoảng thời gian dài: năm, chục năm, hàng trăm năm ... bằng cách tổng cộng các khoảng thời gian tính toán ngắn phù hợp. Điển hình ứng dụng thành công phương pháp này lần đầu tiên là các kết quả nghiên cứu về BĐDH đáy của Lesser và nnk., (2004) and Roelvink (2006) [1, 2]. Sau đó với cách tiếp cận này, mô hình toán có thể mô phỏng xu thế BĐDH đáy biển do ảnh hưởng của sóng và dòng chảy trong khoảng thời gian hàng chục năm [3-5] và dưới ảnh hưởng của lực tác động duy nhất (chỉ tính đến ảnh hưởng của thủy triều) cho tiến hóa địa hình trong khoảng hàng trăm năm [6-8].

Nói chung, mô hình mô phỏng BĐDH đáy gồm tập hợp các tính toán về các quá trình thủy động lực (TĐL), vận chuyển trầm tích và cập nhật các BĐDH đáy. Tuy nhiên, quy mô thời gian (time scale) của BĐDH đáy nói chung lớn hơn nhiều lần so với quy mô thời gian của các quá trình TĐL và vận chuyển trầm tích. Vì vậy, theo lý thuyết muốn mô phỏng BĐDH đáy, cần phải mô phỏng từ các bước thời gian với quy mô nhỏ của các quá trình TĐL và vận chuyển trầm tích, sau đó tổng hợp lại. Quá trình này sẽ mất rất nhiều thời gian tính toán, đặc biệt là khi cần mô phỏng BĐDH đáy ở các quy mô thời gian lớn như nhiều năm hoặc hàng trăm năm. Với cách tiếp cận MORFAC, những BĐDH đáy sẽ được cập nhật với tỷ lệ phù hợp với quy mô tính toán của quá trình TĐL, vận chuyển trầm tích. Qua đó giảm việc lặp lại các chu kỳ

của quá trình TĐL giống nhau và giảm thời gian tính toán.

Nhiều nghiên cứu mô phỏng BDDH đáy biển dựa trên cách tiếp cận MORFAC cho thấy rằng các kết quả nhận được khá phù hợp với điều kiện thực tế [1, 2]. Một số nghiên cứu, dự báo BDDH với quy mô thời gian dài (50 - 100 năm) cũng cho kết quả tốt mà không ảnh hưởng đến các đặc trưng khác của các quá trình TĐL và vận chuyển trầm tích [6-8]. Không chỉ có ý nghĩa lớn trong việc giảm thời gian tính toán, cách tiếp cận MORFAC còn có thể cung cấp kết quả đánh giá định lượng về vai trò của từng yếu tố tác động, khoảng tác động của điều kiện động lực đến quá trình vận chuyển trầm tích và BDDH đáy [9-11].

Sông Mê Kông là sông lớn nhất ở vùng nhiệt đới Tây Thái Bình Dương với khoảng 470 tỷ m<sup>3</sup> nước và lượng trầm tích đưa ra biển hàng năm lên tới khoảng 160 triệu tấn [12]. Tuy nhiên, lượng nước và trầm tích chủ yếu tập trung trong các tháng mùa lũ. Nơi đây cũng có chế độ động lực phức tạp với sự tác động có ảnh hưởng của các yếu tố như sóng, dòng chảy, thủy triều và nguồn nước từ sông đổ ra biển. Dưới ảnh hưởng của các điều kiện đó nên đường bờ, địa hình đáy biển ở khu vực này luôn có sự biến động mạnh theo không gian, thời gian và gây ra những khó khăn nhất định đến các hoạt động giao thông thủy cũng như sự phát triển bền vững của các khu dân cư ven biển trong vùng. Do đó, các vấn đề liên quan đến quá trình vận chuyển trầm tích và BDDH đáy ở khu vực này đã được các nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm nghiên cứu [13-17]. Đây là cách tiếp cận tổng hợp khi thiết lập một hệ thống mô hình TĐL - sóng - vận chuyển trầm tích để mô phỏng BDDH đáy biển ven bờ châu thổ sông Mê Kông (CTSMK). Bài viết này sẽ bổ sung thêm những hiểu biết về ảnh hưởng của các quá trình động lực đến BDDH đáy biển ven bờ CTSMK thông qua cách tiếp cận MORFAC.

## **TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP**

Khu vực nghiên cứu nằm trong khoảng tọa độ 7,5 - 10,5 độ vĩ bắc và 103,2 - 107,9 độ kinh đông thuộc vùng biển ven bờ CTSMK. Đây là khu vực nằm trong vùng ảnh hưởng của chế độ

khí hậu có tính chất nhiệt đới gió mùa với sự tương phản sâu sắc giữa hai mùa gió: Mùa gió Đông Bắc từ tháng 11 năm trước đến tháng 3 năm sau và mùa gió Tây Nam từ tháng 4 đến 9.

Các kết quả nghiên cứu trước kia cho thấy trầm tích của sông Mê Kông phần lớn là hạt mịn. Trong mùa cạn, kích thước hạt ngưng keo là 30 - 40 μm và thành phần hạt sét chiếm 20 - 40% thể tích [18]. Ngược lại vào mùa lũ, kích thước hạt ngưng keo biến đổi khoảng rộng hơn với giá trị 50 - 200 μm và thành phần hạt sét chiếm khoảng 20 - 30% thể tích [19]. Trong khảo sát gần đây của đề tài: “*Tương tác giữa các quá trình động lực Biển Đông và nước sông Mê Kông*”, hàm lượng trầm tích lơ lửng (TTLL) trong mùa mưa ở khu vực này phổ biến từ 0,09 - 0,316 kg/m<sup>3</sup> (mùa mưa) và 0,04 - 0,12 kg/m<sup>3</sup> (mùa khô); kích thước đường kính hạt d<sub>50</sub> phổ biến trong khoảng 2,5 - 15 μm.

Địa hình đáy ở vùng ven bờ, cửa sông Mê Kông tương đối bằng phẳng. Độ dốc đáy biển khá nhỏ và độ sâu lớn nhất khoảng 40 - 70 m. Điều kiện động lực khu vực này chịu ảnh hưởng mạnh của các khối nước sông, chế độ thủy triều mang tính chất bán nhật triều với biên độ khá lớn [20] và điều kiện sóng biển đổi mạnh theo mùa gió [21].

## **Tài liệu**

### ***Nhóm tài liệu để thiết lập, kiểm chứng mô hình***

Số liệu độ sâu và đường bờ của khu vực cửa sông ven bờ CTSMK được số hóa từ các bản đồ địa hình UTM hệ tọa độ địa lý VN 2000 tỷ lệ 1:50.000 và 1:25.000. Độ sâu của khu vực phía ngoài sử dụng cơ sở dữ liệu GEBCO -1/8 có độ phân dải 0,5 phút được xử lý từ ảnh vệ tinh kết hợp với các số liệu đo sâu [22, 23].

Các chuỗi số liệu gió, sóng quan trắc nhiều năm ở trạm hải văn Côn Đảo và Vũng Tàu được xử lý làm đầu vào cho mô hình tính. Đây là số liệu đo đạc với tần suất 6 h/lần trong năm 2012. Ngoài ra, số liệu sóng được tham khảo thêm từ kết quả tính sóng của wave climate (BMT Argoss, 2011) của năm 2012 [24].

Số liệu mực nước để dùng cho việc hiệu chỉnh mô hình 1 h/lần tại Vũng Tàu trong năm 2012. Ngoài ra, chuỗi số liệu mực nước còn

được xử lý làm đầu vào cho các biên mở phía biên của mô hình với 8 sóng triều chính là M2, S2, K2, N2, O1, K1, P1, Q1. Các hằng số điều hòa thủy triều ở phía ngoài xa bờ được thu thập từ cơ sở dữ liệu FES2004 của LEGOS và CLS [25, 26].

Các số liệu đo đạc về dòng chảy, trầm tích của đề tài “*Tương tác giữa các quá trình động lực Biển Đông và nước sông Mê Kông*” trong mùa mưa và mùa khô 2013-2014 cũng đã được thu thập, xử lý để phục vụ thiết lập hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình. Cơ sở dữ liệu WOA13 [27] với độ phân giải 0,25 độ cho khu vực Biển Đông cũng được khai thác để sử dụng cho mô hình tính ở phía ngoài.

### **Nhóm tài liệu thiết lập các kịch bản tính**

Số liệu thống kê kết quả tính mô hình kết hợp với quan trắc từ vệ tinh (waveclimate - BMT ARGOSS 2014) các đặc trưng sóng, gió trung bình trong khoảng hơn 20 năm (1992-2013) ở vùng biển phía ngoài ven bờ CTSMK. Các đặc trưng trung bình của lưu lượng nước sông trong mùa lũ và mùa cạn tại trạm đo Mỹ Thuận (sông Tiền) và Cần Thơ (sông Hậu) trong 6 năm (2007 - 2012).

### **Phương pháp**

Ngoài các phương pháp như GIS để số hóa địa hình, lồng ghép các bản đồ số, phương pháp lưới lồng (phương pháp NESTING trong Delf3D) để tạo các điều kiện biên mở của mô hình [28], cách tiếp cận MORFAC được sử dụng để thiết lập mô hình theo các nhóm kịch bản tính khác nhau, qua đó đánh giá ảnh hưởng của các quá trình động lực đến BĐDH đáy biển ven bờ.

Mô hình tính sử dụng hệ tọa độ cong trực giao cho khu vực cửa sông ven bờ CTSMK, phạm vi vùng tính bao gồm các vùng nước của các cửa: Soài Rạp, cửa Tiểu, cửa Đại, cửa Ba Lai, cửa Hàm Luông, Cỏ Chiên, Cung Hầu, Định An và Trần Đề. Miền tính trải rộng từ vùng biển Vũng Tàu đến phía tây của Cà Mau, với kích thước khoảng 485 km theo chiều đông - tây nam và 100 km theo chiều bắc - nam, được chia thành  $424 \times 295$  điểm tính, kích thước các ô lưới biến đổi từ 43,9 m đến 11.488,9 m. Theo độ sâu, vùng nghiên cứu

chiều thẳng đứng, toàn bộ cột nước được chia làm 4 lớp Sigma độ sâu theo hệ tọa độ  $\sigma$ .

### **Các kịch bản hiện trạng**

Trong kịch bản hiện trạng, mô hình TĐL được thiết lập và chạy cho các mùa đặc trưng: 3 tháng mùa mưa (tháng 9, 10, 11 năm 2012); 3 tháng mùa khô (tháng 3, 4, 5 năm 2012). Bước thời gian chạy của mô hình là 0,2 phút.

Điều kiện ban đầu của các kịch bản hiện trạng là các kết quả tính toán trong “file restart” sau tháng đầu tiên của mỗi mùa (tháng 3 của mùa khô và tháng 9 của mùa mưa). Số liệu để cung cấp cho các biên mở phía biên (nhiệt độ, độ muối, mực nước) lấy từ kết quả tính toán từ mô hình phía ngoài (lưới thô) bằng phương pháp NESTHD. Đây là các số liệu dạng timeserial với tần suất 1 h/lần.

Đối với các biên sông: Sử dụng chuỗi số liệu lưu lượng nước đo tại trạm thủy văn Cần Thơ và Mỹ Thuận với tần suất 1 h/lần cho điều kiện biên sông của mô hình. Số liệu độ muối và nhiệt độ cho điều kiện biên là các đặc trưng trung bình tháng. Số liệu gió đưa vào mô hình tính cho kịch bản hiện trạng là các số liệu quan trắc tại Côn Đảo trong các tháng 3 - 5 và tháng 9 - 12 năm 2012 với tần suất 6 h/lần.

Mô hình sóng được thiết lập chạy đồng thời (online coupling) với mô hình TĐL và mô hình vận chuyển trầm tích. Điều kiện biên mở của mô hình sóng sử dụng kết quả tính sóng của WAVE CLIMATE cho vùng Biển Đông và tham khảo thêm số liệu sóng quan trắc tại Côn Đảo trong năm 2012 [24]. Kiểu ma sát đáy trong mô hình sóng ở nghiên cứu này được lựa chọn là phổ JONSWAP với hệ số có giá trị 0,067. Mô hình B&J được lựa chọn để tính ảnh hưởng của nước nông nơi diễn ra quá trình sóng đổ [29].

Tham số nhám đáy (bottom roughness) trong nghiên cứu này được lựa chọn sử dụng các hệ số Manning (n) biến đổi theo không gian với giá trị 0,018 - 0,023  $m^{-1/3}s$  [30, 31]. Các giá trị liên quan đến điều kiện rối có thể được xác định do người dùng như là một hằng số, hoặc tham số biến đổi theo không gian hoặc tính toán với cách tiếp cận HLES (Horizontal Large Eddy Simulation) đã được tích hợp trong hệ thống mô hình Delft3D theo lý thuyết của

Uittenbogaard [32] và Van Vossen [33]. Tiêu chuẩn ứng suất cho quá trình xói của trầm tích được lựa chọn là  $0,25 \text{ N/m}^2$  [34]. Tiêu chuẩn ứng suất cho quá trình bồi lắng của trầm tích được lựa chọn là  $0,1 \text{ N/m}^2$  [34]. Tốc độ xói trong tự nhiên ban đầu được giả thiết là  $10^{-3} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ .

So sánh kết quả tính toán mực nước từ mô hình với mực nước quan trắc tại các trạm Vũng Tàu, Bình Đại, An Thuận, Hòa Bình cho thấy khá phù hợp kể cả về pha và biên độ [17]. Sai số bình phương trung bình giữa tính toán và đo đạc mực nước ở các trạm này dao động trong khoảng  $0,15 - 0,25 \text{ m}$ .

Ngoài ra, các kịch bản tính cho năm 2013 - 2014 với các điều kiện tương tự nhưng khác điều kiện biên sông (sử dụng giá trị trung bình) cũng đã được thiết lập để kiểm chứng với kết quả đo đạc dòng chảy và hàm lượng TTLL của đề tài “*Tương tác giữa các quá trình động lực Biển Đông và nước sông Mê Kông*”. Các giá trị quan trắc dòng chảy được phân tích thành các thành phần kinh hướng (u) và vĩ hướng (v) trước khi đem so sánh với các kết quả tính toán từ mô hình. Sau lần hiệu chỉnh cuối cùng, kết quả so sánh cho thấy có sự phù hợp tương đối giữa số liệu đo đạc và tính toán dòng chảy ở khu vực này. So sánh hàm lượng TTLL quan trắc và tính toán ở một số vị trí phía ngoài cửa sông Mê Kông cũng cho thấy sự phù hợp [17].

### Các kịch bản tính toán

Để đánh giá ảnh hưởng của các quá trình động lực đến địa hình đáy biển ven bờ CTSMK, các kịch bản tính toán được thiết lập theo phương pháp MORFAC trong mô hình Delft3D. Hệ số  $f_{\text{morfac}}$  khi áp dụng để tính đến ảnh hưởng ở các tần suất khác nhau có thể được tính theo công thức:

$$f_{\text{morfac}} = \frac{p_c \times \text{year duration}}{T_{\text{morphological}}} \quad (1)$$

Trong đó:  $p_c$ - tần suất xuất hiện sóng ở các khoảng độ cao; year duration- khoảng thời gian tính toán biến động địa hình (giờ);  $T_{\text{morphological}}$ - khoảng thời gian của một lần tính toán (giờ).

Trong nghiên cứu này, khoảng thời gian của mỗi lần tính toán ( $T_{\text{morphological}}$ ) là một chu kỳ

triều (bao gồm cả kỳ nước cường và nước kém): 14,75 ngày. Tần suất xuất hiện các khoảng độ cao sóng ứng với vận tốc gió khác được tính toán từ số liệu tổng hợp trong hơn 20 năm (1992 - 2013) của BMT ARGOSS (2014).

Các nhóm kịch bản sẽ được thiết lập dựa trên ảnh hưởng của gió, sóng, lưu lượng nước sông. Các số liệu sóng được phân tích thành 2 nhóm: mùa lũ (bảng 1) và mùa cạn (bảng 2). Mùa lũ gồm các tháng 9, 10, 11 (các tháng có lượng chảy lớn nhất) với lưu lượng chảy trung bình ở trạm Mỹ Thuận (sông Tiền) và Cần Thơ (sông Hậu) lần lượt là  $12.531 \text{ m}^3/\text{s}$  và  $13.131 \text{ m}^3/\text{s}$ . Mùa cạn gồm các tháng từ 1-8 và tháng 12 với lưu lượng chảy trung bình ở trạm Mỹ Thuận (sông Tiền) và Cần Thơ (sông Hậu) lần lượt là  $3.054 \text{ m}^3/\text{s}$  và  $37.391 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Một số nghiên cứu liên quan đã chỉ ra rằng với hệ số  $f_{\text{morfac}}$  có giá trị lên tới 1.000 vẫn có khả năng tạo ra các kết quả tính toán, dự báo chấp nhận được khi so sánh với số liệu đo thực tế [6-8, 35]. Tuy nhiên, việc đánh giá độ tin cậy trong các kết quả dự báo cũng như tính ổn định của mô hình cho các tính toán qui mô thời gian dài (trên 50 năm) và ảnh hưởng đến địa hình đáy của một số yếu tố (sóng, bão ...) còn gặp nhiều khó khăn. Vì vậy, đã có nhiều nghiên cứu liên quan được thực hiện nhằm đánh giá hệ số  $f_{\text{morfac}}$  bao nhiêu thì đảm bảo tiêu chuẩn ổn định [2, 3, 5, 7, 36, 37]. Mặc dù đưa ra các tiêu chuẩn khác nhau, nhưng các nghiên cứu này đã chỉ ra rằng hệ số  $f_{\text{morfac}}$  phù hợp phụ thuộc vào kích thước lưới tính, bước thời gian tính toán và tốc độ thay đổi của địa hình đáy.

Liang (2010) đưa ra tiêu chuẩn xác định hệ số  $f_{\text{morfac}}$  với số lỗi nhỏ hơn 1% [36]:

$$f_{\text{morfac}} \times \psi \leq 10^{-3} \quad (2)$$

$$\text{Với: } \psi = \frac{\alpha \beta U^{\beta-1}}{h} = \frac{\alpha \beta U^{\beta}}{hU} = \beta \frac{S}{U} \quad (3)$$

Trong đó:  $\psi$  là số hạng đặc trưng cho hàm lượng trầm tích, giá trị của  $\psi$  thường dao động trong khoảng từ  $10^{-6} - 10^{-4}$  [36]; S là lượng trầm tích vận chuyển, U là vận tốc dòng chảy;  $\beta$  thường có giá trị bằng 5;  $\alpha$  là hằng số đặc trưng cho đặc điểm trầm tích.

**Bảng 1.** Các kịch bản tính toán trong mùa lũ (tháng 9, 10, 11)

TT	Kịch bản tính	Hướng sóng, gió	Thời gian xuất hiện (ngày)	sóng		Tốc độ gió (m/s)	Lưu lượng TB (m <sup>3</sup> /s)		f <sub>morfac</sub>
				Hs (m)	Tp (s)		sông Tiền	sông Hậu	
1	mk10		13,01 (lặng sóng, gió)				12.531,07	13.131,03	0,8822
2	mk11		0,09	0,5	6,5	4,5	12.531,07	13.131,03	0,0062
3	mk12	NE	2,82	2	9	7,5	12.531,07	13.131,03	0,1913
4	mk13		0,55	4	10,5	9,5	12.531,07	13.131,03	0,0370
5	mk14		0,09	6	11,5	12,5	12.531,07	13.131,03	0,0062
6	mk15		0,46	0,5	6,5	4,5	12.531,07	13.131,03	0,0308
7	mk16		7,74	2	9	7,5	12.531,07	13.131,03	0,5244
8	mk17	E	4,64	4	10,5	10,5	12.531,07	13.131,03	0,3146
9	mk18		2,00	6	11,5	12,5	12.531,07	13.131,03	0,1357
10	mk19		0,09	8	12,5	14,5	12.531,07	13.131,03	0,0062
11	mk110		0,09	0,5	6,5	4,5	12.531,07	13.131,03	0,0062
12	mk111	SE	6,19	2	9	7,5	12.531,07	13.131,03	0,4195
13	mk112		4,55	4	10,5	11	12.531,07	13.131,03	0,3085
14	mk113		1,00	6	11,5	12,5	12.531,07	13.131,03	0,0679
15	mk114		0,18	0,5	6,5	4,5	12.531,07	13.131,03	0,0123
16	mk115		7,46	2	9	7,5	12.531,07	13.131,03	0,5059
17	mk116	S	5,92	4	10,5	11,5	12.531,07	13.131,03	0,4010
18	mk117		2,09	6	11,5	13	12.531,07	13.131,03	0,1419
19	mk118		0,46	8	12,5	15	12.531,07	13.131,03	0,0308
20	mk119		0,27	0,5	6,5	4,5	12.531,07	13.131,03	0,0185
21	mk120		12,56	2	9	7,5	12.531,07	13.131,03	0,8514
22	mk121	SW	11,01	4	10,5	11,5	12.531,07	13.131,03	0,7465
23	mk122		6,28	6	11,5	13	12.531,07	13.131,03	0,4257
24	mk123		1,18	8	12,5	15	12.531,07	13.131,03	0,0802
25	mk124		0,27	10,5	13,5	17	12.531,07	13.131,03	0,0185

**Bảng 2.** Các kịch bản tính toán trong mùa cạn (tháng 12, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)

TT	Kịch bản tính	Hướng sóng, gió	Thời gian xuất hiện (ngày)	sóng		Tốc độ gió (m/s)	Lưu lượng TB (m <sup>3</sup> /s)		f <sub>morfac</sub>
				Hs (m)	Tp (s)		sông Tiền	sông Hậu	
1	mk0		29,87 (lặng sóng, gió)				3.053,78	3.738,63	2,025
2	mk1		0,27	0,5	6,5	4,5	3.053,78	3.738,63	0,019
3	mk2	NE	5,48	2	8,5	7,5	3.053,78	3.738,63	0,372
4	mk3		1,10	4	10,5	10,5	3.053,78	3.738,63	0,074
5	mk4		1,64	0,5	6,5	4,5	3.053,78	3.738,63	0,111
6	mk5		23,29	2	8,5	8	3.053,78	3.738,63	1,579
7	mk6	E	11,78	4	10,5	12,5	3.053,78	3.738,63	0,799
8	mk7		4,38	6	11,5	14,5	3.053,78	3.738,63	0,297
9	mk8		0,55	8	12,5	16,5	3.053,78	3.738,63	0,037
10	mk9		1,64	0,5	6,5	4,5	3.053,78	3.738,63	0,111
11	mk10		18,36	2	8,5	7,5	3.053,78	3.738,63	1,245
12	mk11	SE	9,59	4	10,5	10,5	3.053,78	3.738,63	0,650
13	mk12		3,29	6	11,5	12,5	3.053,78	3.738,63	0,223
14	mk13		0,27	8	12,5	14,5	3.053,78	3.738,63	0,019
15	mk14		2,47	0,5	6,5	4,5	3.053,78	3.738,63	0,167
16	mk15		25,21	2	8,5	6,5	3.053,78	3.738,63	1,709
17	mk16	S	14,80	4	10,5	9,5	3.053,78	3.738,63	1,003
18	mk17		7,67	6	11,5	12,5	3.053,78	3.738,63	0,520
19	mk18		1,10	8	12,5	14,5	3.053,78	3.738,63	0,074
20	mk19		3,29	0,5	6,5	4,5	3.053,78	3.738,63	0,223
21	mk20		45,76	2	8,5	7,5	3.053,78	3.738,63	3,102
22	mk21	SW	31,51	4	10,5	10,5	3.053,78	3.738,63	2,136
23	mk22		21,65	6	11,5	12,5	3.053,78	3.738,63	1,468
24	mk23		6,30	8	12,5	14,5	3.053,78	3.738,63	0,427
25	mk24		2,74	10,5	13,5	16,5	3.053,78	3.738,63	0,186

Tổ hợp các điều kiện sóng kết hợp với gió, sóng, lưu lượng nước sông có tổng cộng 50 kịch bản tính toán khác nhau. Kết quả tổng hợp của 50 kịch bản tính này sẽ cho thấy BĐDH đáy ở khu vực nghiên cứu cũng như vai trò của các quá trình động lực đến BĐDH đáy ven bờ CTSMK. Trong các kịch bản tính này, hệ số  $f_{\text{morfac}}$  lớn nhất là 3,1 (kịch bản mk20), giả sử với hệ số  $\psi$  lớn nhất ở khu vực này là  $10^{-4}$  thì kịch bản tính này vẫn thỏa mãn điều kiện trong phương trình (2).

## KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### Trường hợp không có sóng, gió

Phân tích thống kê từ chuỗi số liệu sóng - gió trong nhiều năm cho thấy thời gian lặng sóng, gió trung bình trong năm chiếm khoảng 25,2% tần suất (14,3% trong mùa lũ và 10,9% trong mùa cạn. Như vậy một năm trung bình có khoảng 43 ngày lặng sóng, gió (bảng 2, 3): mùa lũ 13 ngày và 30 ngày mùa cạn.

Trong trường hợp lặng sóng, gió, dòng trầm tích từ lục địa qua các cửa sông ít có sự di chuyển ra phía ngoài mà chủ yếu tập trung quanh các cửa sông. Kết quả là tạo thành các vùng bồi tụ nhỏ ngay sát các cửa sông với độ cao khoảng từ 5 - 10 mm. Do dòng bùn cát trong mùa lũ đưa ra lớn hơn nên mặc dù số ngày tính trong mùa lũ ít hơn (13 ngày so với 30 ngày của mùa cạn) nhưng vùng bồi mở rộng đáng kể ra phía ngoài so với mùa cạn với độ cao khoảng 1 - 3 mm (hình 1b). Cũng trong mùa lũ không thấy xuất hiện dấu hiệu xói đáy. Trong khi đó vào mùa cạn, tuy xu hướng bồi vẫn chiếm ưu thế nhưng vùng bồi tụ bị thu hẹp, độ cao khu vực bồi không chỉ khá nhỏ so với mùa lũ mà còn xuất hiện xói nhỏ ở khu vực phía ngoài cửa Định An (hình 1a). Như vậy sự tương tác giữa dòng chảy sông và dòng triều trong khi lặng sóng - gió thể hiện điều kiện động lực yếu do chỉ có sự tương tác của dòng triều và dòng chảy sông ở khu vực này. Kết quả là tạo thành các vùng bồi ở ngay các cửa sông và dải ven bờ (đến khoảng độ sâu 10 m) trong cả mùa lũ và mùa cạn.

### Ảnh hưởng kết hợp của sóng, gió

Dưới ảnh hưởng kết hợp của các điều kiện sóng, gió kết hợp với thủy triều và ảnh hưởng

của các khối nước sông (biến động mạnh theo mùa), tác động của các quá trình động lực đến điều kiện vận chuyển bùn cát cũng như BĐDH đáy ở vùng ven bờ CTSMK thể hiện những ảnh hưởng rất khác nhau.

Trong mùa cạn dòng bùn cát từ hệ thống sông đưa ra vùng ven bờ bị hạn chế với xu thế chung là xói lở nhiều hơn bồi tụ. Tuy nhiên mức độ BĐDH đáy khác nhau phụ thuộc vào độ cao và hướng sóng tới.

Với hướng sóng NE (đông bắc), biểu hiện xói lở nhẹ xuất hiện ở dải ven bờ phía ngoài các cửa sông khi độ cao sóng lớn hơn 0,5 m. Mặc dù vậy, ở các khoảng độ cao sóng lớn hơn (kịch bản tính mk2 và mk3), tác động của sóng không làm thay đổi nhiều xu thế BĐDH đáy ở khu vực nghiên cứu: xu thế xói nhẹ ở dải ven bờ phía ngoài và bồi nhẹ ở phía tây nam cửa Trần Đề (hình 1c).

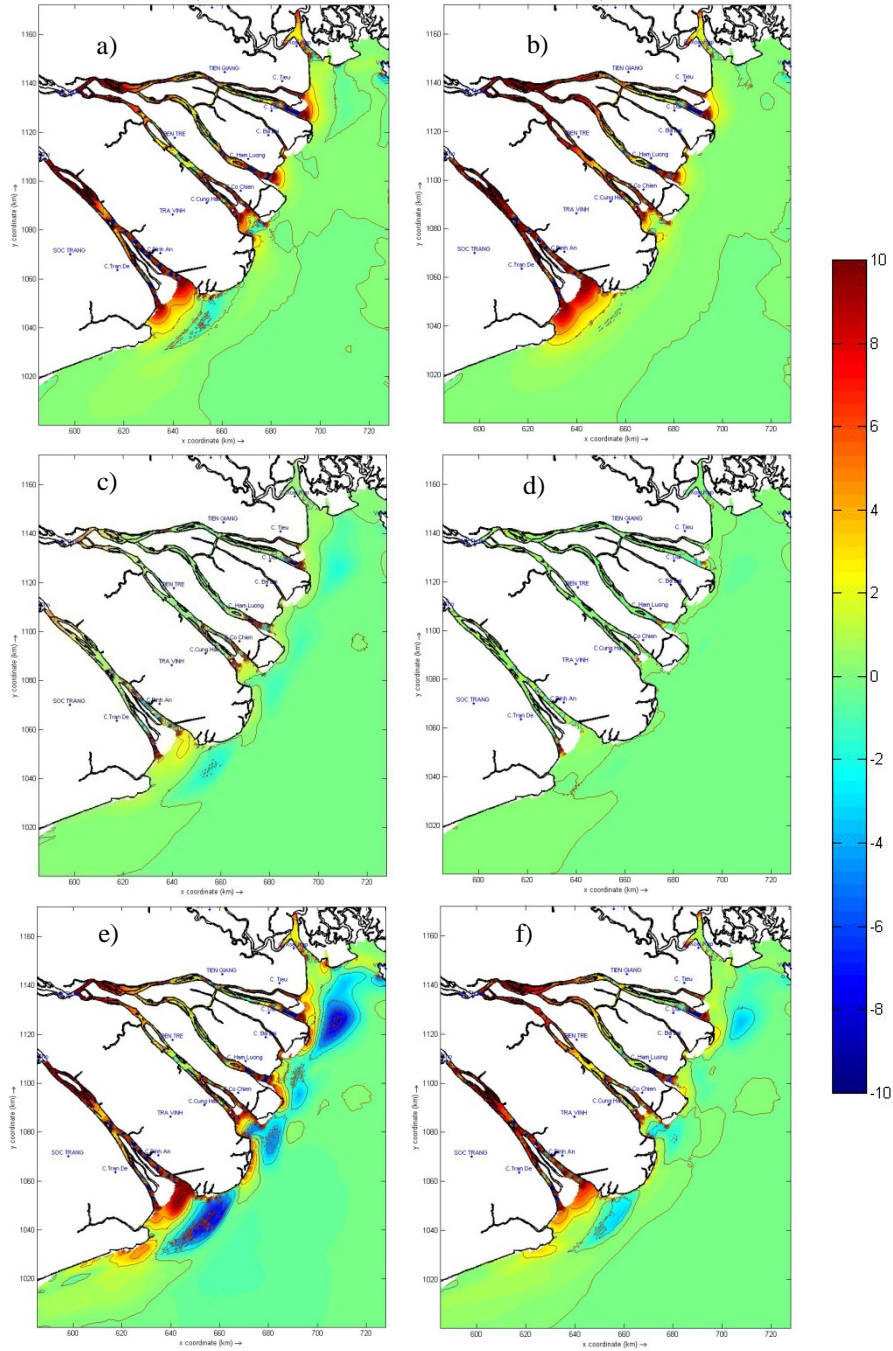
Khi hướng sóng tác động là hướng E (hướng đông) trong mùa cạn, sự tương tác giữa các điều kiện động lực trong trường hợp này đã tạo thành các vùng xói ở phía ngoài khu vực cửa Đại, cửa Cung Hầu và cửa Định An. Các vùng xói này nằm ngay phía ngoài ở các khu vực bồi phía trong các cửa sông (hình 1e). Mức độ bồi - xói tăng lên rõ rệt khi độ cao sóng lớn hơn 0,5 m nhưng các vị trí của khu vực bồi xói không thay đổi nhiều. Đáng chú ý là trong các kịch bản tính cho sóng hướng E, luôn xuất hiện vùng bồi ở khu vực phía tây nam cửa Trần Đề và vùng xói mở rộng ra phía ngoài khơi nằm giữa phía đông nam cửa Cung Hầu và cửa Trần Đề.

Trường hợp sóng tác động từ hướng SE (đông nam) trong mùa cạn, các điều kiện động lực cũng tạo ra sự biến đổi địa hình đáy ở vùng ven bờ phía ngoài khu vực nghiên cứu tương tự như trường hợp sóng hướng E. Khi độ cao sóng lớn hơn 0,5 m, xuất hiện các vùng bồi ở sát cửa và các vùng xói lở nhẹ ở phía ngoài cửa Đại, Cổ Chiên và Định An (hình 2a). Tuy nhiên, khác với sóng hướng E, trong trường hợp này xuất hiện vùng bồi tụ nhỏ vùng biển phía ngoài cửa Tiểu - cửa Hàm Luông. Vùng bồi tụ ở phía tây nam cửa Định An cũng bị chia cắt, thu hẹp lại hơn so với trường hợp sóng hướng E.

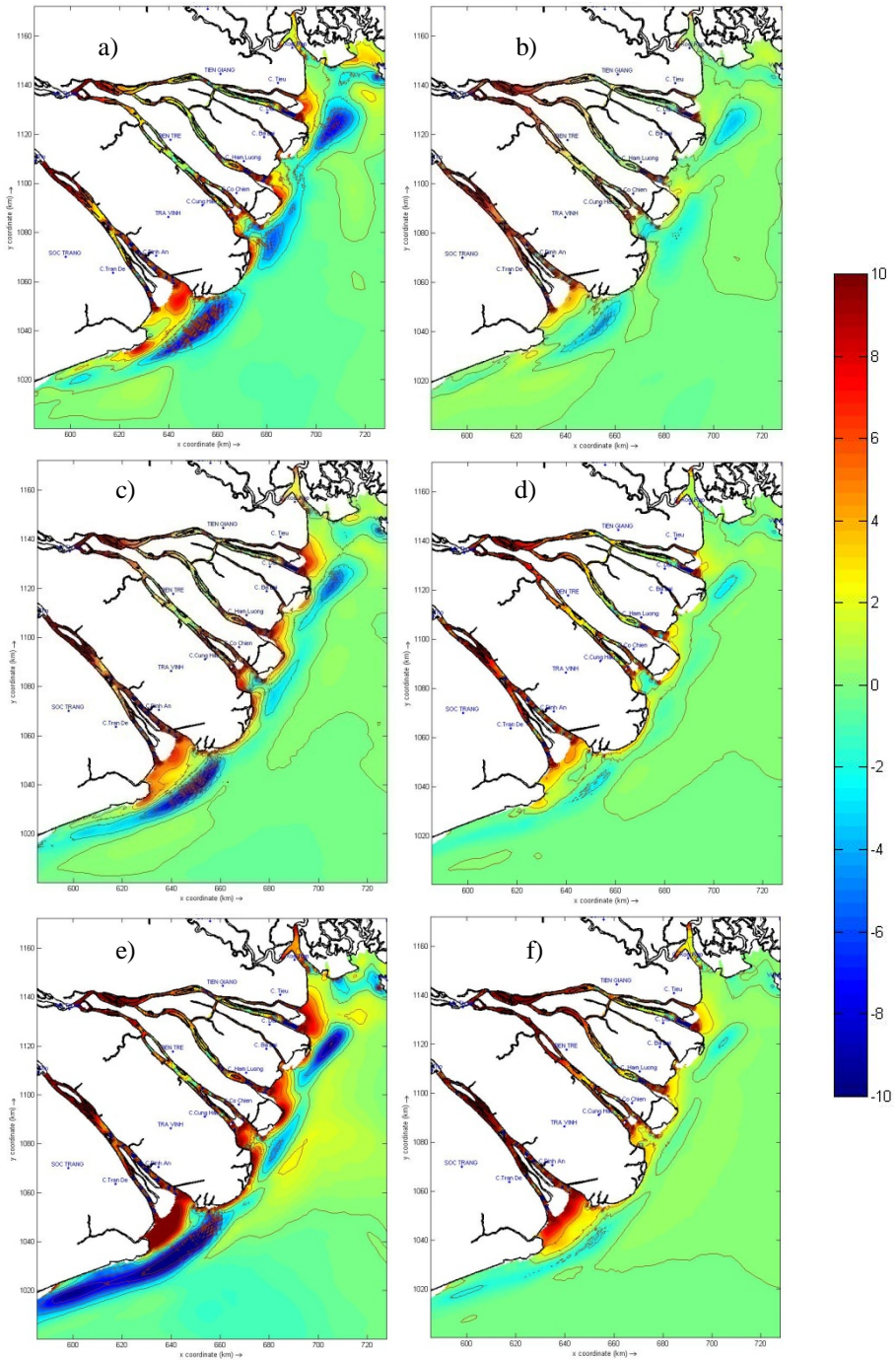
Những ảnh hưởng của sóng hướng S (Nam) đến địa hình đáy ở khu vực nghiên cứu trong

mùa cạn vẫn thể hiện xu thế xói trong mùa cạn ở dải ven biển phía ngoài các cửa Đại, Cung Hầu và Định An. Tuy nhiên, quy mô và cường độ vùng xói giảm đáng kể so với các hướng sóng E và SE. Vùng xói ở khu vực phía ngoài

cửa Định An cũng dịch chuyển nhẹ xuống phía nam (phía cửa Trần Đề). Trong khi đó, vùng bồi ở phía ngoài được mở rộng hơn kéo dài từ khu vực cửa Tiểu xuống gần cửa Định An (hình 2c).



**Hình 1.** Biến động địa hình đáy (mm) vùng ven bờ CTSMK ở một số kịch bản ứng với hình thể lạng sóng, sóng NE và E (a- mk0, b- mk10; c- mk3, d- mk13; e- mk5; f- mk15)



**Hình 2.** Biến động địa hình đáy (mm) vùng ven bờ CTSMK ứng với hình thể sóng SE, S và SW ở một số kịch bản (a- mk10; b- mk110; c- mk15, d- mk115; e- mk20; f- mk120)

Trong trường hợp sóng hướng SW (tây nam), tác động tổng hợp của các điều kiện động lực đã gây ra vùng xói đáy mạnh ở phía nam - tây nam khu vực cửa Định An - Trần Đề. Một

số khu vực khác cũng bị xói với quy mô và cường độ nhỏ hơn như phía ngoài cửa Đại, cửa Cô Chiên (hình 2e). Ở phía ngoài các vùng xói này là khu vực bồi tụ được mở rộng từ khu vực



phía ngoài cửa Tiểu đến phía đông của Định An. Điều này có thể được giải thích là do tác động của sóng, các vùng bồi tụ được tạo thành ở phía nam - tây nam cửa Định An bị xói, lượng trầm tích bị đưa lên cột nước và vận chuyển theo hướng sóng về phía đông bắc tạo thành các khu vực bồi tụ ở xa bờ.

Cũng giống như trong mùa cạn, hướng sóng NE trong mùa lũ không ảnh hưởng nhiều đến BĐĐH đáy ở vùng ven bờ CTSMK. Xu hướng bồi vẫn là chủ đạo trong các trường hợp sóng NE nhưng vùng bồi dịch chuyển về phía nam - tây nam cửa Định An - Trần Đề do dòng trầm tích được tăng cường hơn về phía tây nam dưới ảnh hưởng của sóng gió NE (hình 1d). Do dòng trầm tích cung cấp từ sông khá dồi dào trong mùa lũ nên không gây ra tác động xói đáng kể đến địa hình đáy ở khu vực này như trong mùa cạn.

Khi hướng sóng tác động từ hướng E, các yếu tố động lực tạo thành các vùng xói nhỏ (cả quy mô và cường độ) ở phía ngoài cửa Đại, Hàm Luông và Định An (hình 1f). Trong khi đó, vùng bồi xuất hiện ở các cửa sông và dải ven biển phía ngoài, đặc biệt là dưới tác động của sóng hướng E, xu thế bồi được tăng cường mạnh về phía nam cửa Trần Đề.

Tác động của sóng hướng SE khi độ cao sóng lớn hơn 0,5 m cũng làm xuất hiện các vùng xói lở nhẹ (nhỏ hơn -2 mm) ở phía ngoài các cửa Đại, Cung Hầu và Định An (hình 2b). Mặc dù quy mô và cường độ của các vùng xói này tăng lên khi xuất hiện độ cao sóng lớn hơn nhưng vị trí các vùng bồi tụ ở ngay sát cửa sông và phía ngoài không thay đổi nhiều và xu thế bồi vẫn chiếm ưu thế.

Trong mùa lũ, sóng hướng S không làm xói lở đáng kể địa hình đáy biển ven bờ CTSMK. Tuy nhiên, ngoài vùng bồi tụ ngay sát các cửa sông tác động của sóng làm xuất hiện 1 dải xói lở nhẹ chạy dọc phía ngoài các cửa. Ở phía ngoài dải xói này, hình thành một vùng bồi trải dài từ phía ngoài cửa Định An đến khu vực phía ngoài cửa Tiểu (hình 2d).

Quá trình vận chuyển trầm tích về phía tây nam các cửa sông bị ngăn cản dưới các ảnh hưởng của sóng hướng SW. Vì vậy dòng bùn cát từ sông đưa ra một phần bị giữ lại quanh

các cửa sông, phần khác được đưa ra xa bờ hơn. Kết quả là tạo thành các vùng bồi tụ xa bờ ở phía ngoài từ khu vực cửa Định An lên phía cửa Tiểu (hình 2f). Mặc dù xuất hiện vùng xói nhẹ do thiếu hụt trầm tích ở phía nam - tây nam cửa Trần Đề nhưng lượng trầm tích thiếu hụt này được bù lại nhanh chóng từ cửa Định An và Trần Đề.

### **Địa hình đáy tích lũy theo mùa và cả năm**

Tích lũy địa hình đáy ven bờ CTSMK trong mùa cạn được dựa trên các kết quả tính tổng cộng của 25 kịch bản tính với các khoảng độ cao sóng khác nhau (bảng 2). Đây cũng chính là các tác động tổng hợp của sóng, gió, thủy triều, dòng chảy sông tới địa hình đáy ở khu vực nghiên cứu trong mùa cạn. Kết quả này cho thấy các đặc điểm như:

Xuất hiện các vùng bồi tụ ngay sát các cửa sông với giá trị khoảng 5 - 15 mm (hình 3a). Hiện tượng này có thể là kết quả của quá trình động lực sông yếu trong mùa cạn, dòng bùn cát không được đưa xa ra phía ngoài. Trong khi đó dưới ảnh hưởng của sóng hướng E, SE và S, một lượng trầm tích đáng kể bị đưa trở lại các cửa sông.

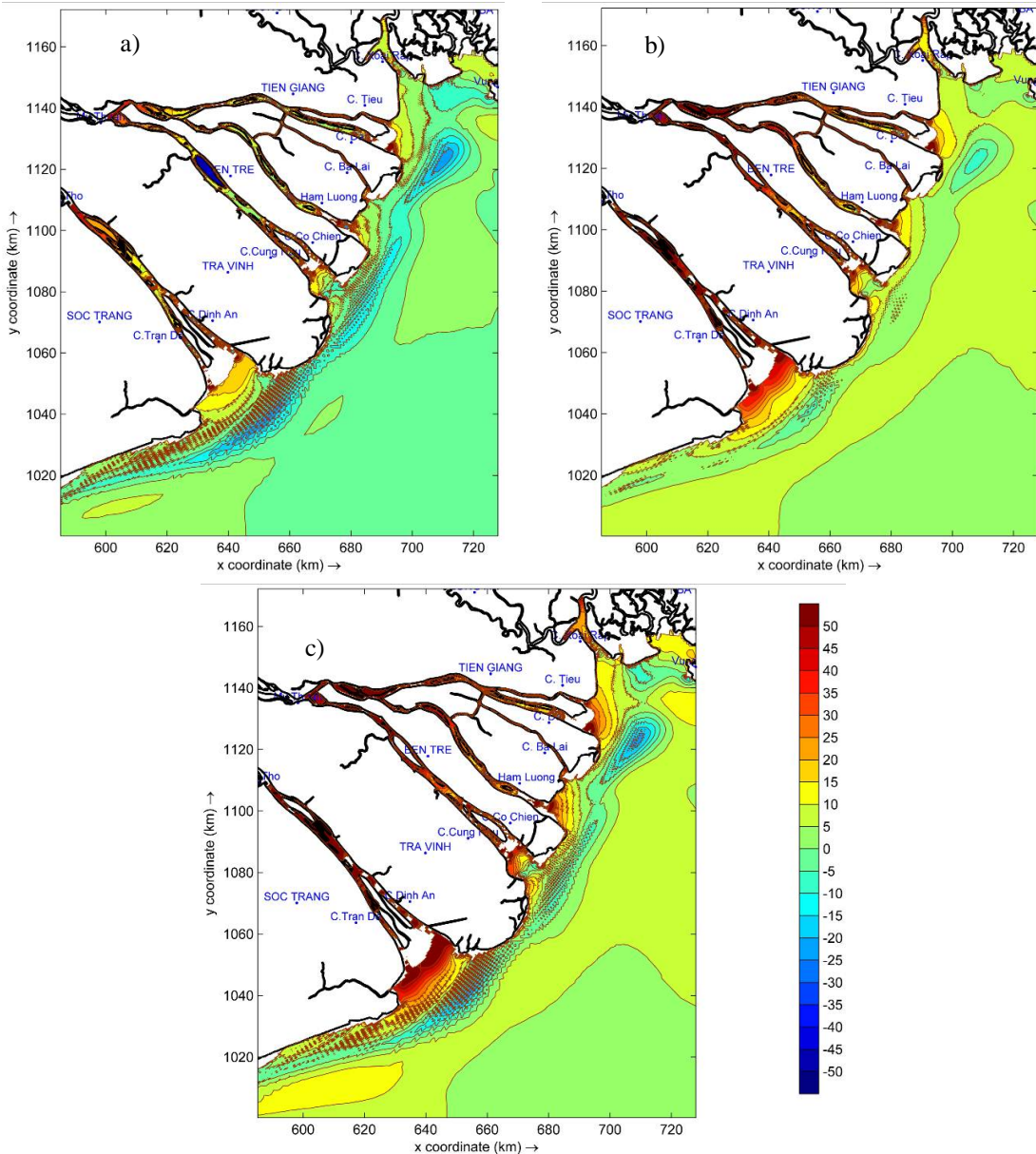
Các vùng xói xuất hiện ngay phía ngoài các bãi bồi, tập trung chủ yếu ở 3 khu vực phía ngoài các cửa Đại, cửa Cung Hầu và cửa Định An - Trần Đề (hình 3a) với giá trị khoảng -5 - 15 mm. Sự hình thành các vùng xói này là kết quả tác động chủ yếu của động lực sóng kết hợp với dòng chảy tổng hợp.

Khu vực xa bờ hơn (khoảng độ sâu từ 10 m trở ra), xuất hiện các vùng bồi tụ ở khu vực phía tây nam và đông bắc của ven bờ châu thổ với giá trị khoảng 1 - 5 mm. Trong đó vùng bồi tụ khu vực đông bắc lớn hơn là kết quả tác động của các trường sóng gió S-SW. Còn vùng bồi tụ phía tây nam là kết quả tác động của các trường sóng gió hướng đông, đông bắc (hình 3a).

Trong 3 tháng mùa lũ, dòng trầm tích từ lục địa đưa ra nhiều hơn kèm theo với lưu lượng nước sông khá lớn (lưu lượng nước trung bình lớn hơn mùa cạn 3,5 - 4,1 lần). Chính dòng chảy mạnh từ sông này kết hợp với dòng triều trong các pha triều xuống đưa bùn cát ra xa bờ hơn tạo

thành vùng bồi tụ ở khoảng độ sâu đến 25 m nước với giá trị khoảng 5 - 10 mm (hình 3b). Trong khi đó, ở khoảng độ sâu 5 - 10 m lại xuất hiện một số vùng xói nhẹ. Điều này có thể được

giải thích là ở khoảng độ sâu đó trong mùa lũ vừa chịu tác động của dòng chảy sông đưa ra vừa chịu tác động do sóng vỡ nên sự tích tụ trầm tích rất hạn chế [38].



**Hình 3.** Tổng hợp biến động địa hình đáy (mm) vùng cửa sông ven bờ CTSMK (a- tổng cộng trong mùa cạn, b- tổng cộng trong mùa lũ; c- tổng cộng cả năm)

BĐĐH tích lũy trong cả năm ở vùng ven bờ CTSMK là kết quả tổng hợp của các nhóm kịch bản tính trong mùa cạn, mùa lũ và thể hiện các đặc trưng gần như giống các kết quả tổng hợp

trong mùa lũ (hình 3c): bồi ở gần các cửa sông và sát ven bờ, xói ở dải ven bờ và bồi nhẹ ở vùng biển phía ngoài. Như vậy, mặc dù mùa lũ chỉ diễn ra trong vòng 3 tháng nhưng nó lại

quyết định phần lớn sự phân bố trầm tích ở khu vực nghiên cứu do ảnh hưởng của các quá trình động lực và dòng nước mạnh từ hệ thống sông đưa ra. Sau mùa lũ, dưới tác động của các quá trình động lực trong điều kiện thiếu hụt trầm tích, diễn ra sự tái phân bố trầm tích, tạo thành đặc điểm BĐĐH đáy như kết quả tổng hợp trong mùa cạn. Điều này phù hợp với những nghiên cứu đánh giá về biến động theo mùa của quá vận chuyển trầm tích ở khu vực này của Xue và nnk., [16].

Theo kết quả đánh giá tốc độ bồi lắng ở vùng cửa sông ven bờ CTSMK bằng các kết quả phân tích mẫu trong các lõi khoan bằng phương pháp xác định tuổi  $^{14}\text{C}$  của Tạ Thị Kim Oanh và nnk., (2002), tốc độ bồi trung bình trong khoảng 5.000 năm trở lại đây tại một số vị trí ven bờ ở khu vực này biến đổi trong khoảng 7,9 - 14,1 mm/năm [15]. So với kết quả đánh giá BĐĐH năm (trung bình 21 năm) ở nghiên cứu này cũng cho thấy sự phù hợp nhất định.

So với kết quả tính toán mô phỏng của Xue và nnk., (2012), thì có sự khác biệt là trong kết quả nghiên cứu này xuất hiện các vùng xói nhẹ ở khoảng độ sâu từ 5 - 10 m. Điều này có thể được giải thích là trong nghiên cứu [16] bỏ qua ảnh hưởng của các điều kiện sóng cực trị (trong giông bão, áp thấp nhiệt đới). Sóng - gió cực trị tác động mạnh đến quá trình xói đáy [39] và có thể làm tăng mức độ xói đáy biển lên tới 17 lần so với các điều kiện lặng sóng [40]. Vì vậy BĐĐH đáy biển sau các điều kiện thời tiết cực đoan có thể bằng diễn biến của quá trình đó trong nhiều tháng hoặc nhiều năm [41, 42]. Phân tích từ số liệu thống kê của Trung tâm Khí tượng Thủy văn Quốc gia, trong khoảng 52 năm (1961 - 2012) có 18 cơn bão (hoặc áp thấp nhiệt đới) ảnh hưởng đến vùng ven bờ CTSMK thì trong khoảng 21 năm (1992 - 2012) đã có 13 cơn bão (chiếm khoảng 72% số lượng bão trong hơn 50 năm trở lại đây). Như vậy xu thế xói lở nhiều hơn trong kết quả tính BĐĐH đáy biển ven bờ CTSMK (hình 3) là một phần kết quả tác động của sự gia tăng số lượng bão và áp thấp nhiệt đới ở khu vực này trong những năm gần đây.

## KẾT LUẬN

Phương pháp tiếp cận MORFAC có thể cung cấp những hiểu biết về vai trò của từng

nhóm yếu tố động lực ứng với các điều kiện khác nhau đến BĐĐH đáy biển ở vùng ven bờ CTSMK. Thông qua các kết quả của các nhóm kịch bản tính đồ đã cho thấy đặc điểm biến đổi địa hình đáy ở khu vực này trong điều kiện mùa cạn, mùa lũ và cả năm.

Ở vùng ven bờ CTSMK, động lực sóng và nước sông là các yếu tố có ảnh hưởng lớn đến quá trình vận chuyển trầm tích và BĐĐH đáy biển. Khi lặng sóng gió, sự tương tác của động lực sóng và dao động mực nước tạo thành các vùng bồi tụ ở ngay sát các cửa sông và trong khoảng độ sâu dưới 10 m nước ven bờ châu thổ.

Sóng các hướng với khoảng độ cao 1 - 3 m là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến phần lớn xu hướng BĐĐH đáy biển ven bờ CTSMK. Tác động của trường sóng trong khoảng độ cao đó là yếu tố chính gây ra sự phân bố lại trầm tích, mang trầm tích từ cửa sông ra các khu vực xung quanh.

Dòng bùn cát trong mùa lũ ra xa bờ hơn đã tạo thành vùng bồi tụ ở khoảng độ sâu đến 25 m nước với giá trị khoảng 5 - 10 mm trong khi đó, ở khoảng độ sâu 5 - 10 m lại xuất hiện một số vùng xói nhẹ. Ngược lại, vào mùa cạn do sự thiếu hụt của dòng bùn cát từ sông đưa ra và ảnh hưởng của sóng đã tạo thành các vùng bồi tụ ngay sát các cửa sông với giá trị khoảng 5 - 15 mm đồng thời xuất hiện các vùng xói ngay phía ngoài các bãi bồi, tập trung chủ yếu ở 3 khu vực phía ngoài các cửa Đại, cửa Cung Hầu và cửa Định An - Trần Đề với giá trị khoảng -5 - 15 mm.

BĐĐH tích lũy trong cả năm ở vùng ven bờ CTSMK thể hiện các đặc trưng gần như giống các kết quả tổng hợp trong mùa lũ, điều này cho thấy mặc dù mùa lũ chỉ diễn ra trong vòng 3 tháng nhưng nó lại quyết định phần lớn sự phân bố trầm tích ở khu vực nghiên cứu do ảnh hưởng kết hợp của các quá trình động lực và dòng nước mạnh từ hệ thống sông đưa ra. Sau mùa lũ, dưới tác động của các quá trình động lực trong điều kiện thiếu hụt trầm tích, diễn ra sự tái phân bố trầm tích, tạo thành đặc điểm BĐĐH đáy như kết quả tổng hợp trong mùa cạn.

**Lời cảm ơn:** Bài báo có sử dụng các tư liệu của Nhiệm vụ Hợp tác quốc tế theo Nghị định thư về Khoa học và Công nghệ giữa Việt Nam

và Hoa Kỳ giai đoạn 2013 - 2014: “Tương tác giữa các quá trình động lực Biển Đông và nước sông Mê Kông” và đề tài VT/CB-01/14-15, các tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ quý báu đó. Các tác giả cũng chân thành cảm ơn những nhận xét của các phản biện trong quá trình hoàn thiện bài báo này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lesser, G. R., Roelvink, J. A., Van Kester, J. A. T. M., and Stelling, G. S., 2004. Development and validation of a three-dimensional morphological model. *Coastal engineering*, **51**(8): 883-915.
2. Roelvink, J. A., 2006. Coastal morphodynamic evolution techniques. *Coastal Engineering*, **53**(2): 277-287.
3. Lesser, G. R., 2009. An approach to medium-term coastal morphological modelling. UNESCO-IHE, Institute for Water Education.
4. Tonnon, P. K., Van Rijn, L. C., and Walstra, D. J. R., 2007. The morphodynamic modelling of tidal sand waves on the shoreface. *Coastal Engineering*, **54**(4): 279-296.
5. Jones, O. P., Petersen, O. S., and Kofoed-Hansen, H., 2007. Modelling of complex coastal environments: some considerations for best practise. *Coastal Engineering*, **54**(10): 717-733.
6. Dissanayake, D. M. P. K., Ranasinghe, R., and Roelvink, J. A., 2009. Effect of sea level rise in tidal inlet evolution: A numerical modelling approach. *Journal of Coastal Research*, 942-946.
7. Van der Wegen, M., and Roelvink, J. A., 2008. Long-term morphodynamic evolution of a tidal embayment using a two-dimensional, process-based model. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978-2012), **113**(C3).
8. Van der Wegen, M., Wang, Z. B., Savenije, H. H. G., and Roelvink, J. A., 2008. Long-term morphodynamic evolution and energy dissipation in a coastal plain, tidal embayment. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* (2003-2012), **113**(F3).
9. Van Duin, M. J. P., Wiersma, N. R., Walstra, D. J. R., Van Rijn, L. C., and Stive, M. J. F., 2004. Nourishing the shoreface: observations and hindcasting of the Egmond case, The Netherlands. *Coastal Engineering*, **51**(8): 813-837.
10. Grunnet, N. M., Ruessink, B. G., and Walstra, D. J. R., 2005. The influence of tides, wind and waves on the redistribution of nourished sediment at Terschelling, The Netherlands. *Coastal Engineering*, **52**(7): 617-631.
11. Walstra, D. J. R., Hoekstra, R., Tonnon, P. K., and Ruessink, B. G., 2013. Input reduction for long-term morphodynamic simulations in wave-dominated coastal settings. *Coastal Engineering*, **77**, 57-70.
12. Milliman, J. D., and Syvitski, J. P., 1992. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *The Journal of Geology*, 525-544.
13. Nguyen, V. L., Ta, T. K. O., and Tateishi, M., 2000. Late Holocene depositional environments and coastal evolution of the Mekong River Delta, Southern Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, **18**(4): 427-439.
14. Nguyễn Văn Lập, Tạ Thị Kim Oanh, 2012. Đặc điểm trầm tích bãi triều và thay đổi đường bờ biển khu vực ven biển tỉnh Cà Mau, châu thổ sông Cửu Long. *Tạp chí các Khoa học về Trái đất*, **34**(3): 1-9.
15. Ta, T. K. O., Nguyen, V. L., Tateishi, M., Kobayashi, I., Tanabe, S., and Saito, Y., 2002. Holocene delta evolution and sediment discharge of the Mekong River, southern Vietnam. *Quaternary Science Reviews*, **21**(16): 1807-1819.
16. Xue, Z., He, R., Liu, J. P., and Warner, J. C., 2012. Modeling transport and deposition of the Mekong River sediment. *Continental Shelf Research*, **37**, 66-78.
17. Vũ Duy Vinh, Trần Đình Lân, Trần Anh Tú, Nguyễn Thị Kim Anh, 2014. Mô phỏng đặc điểm biến động địa hình vùng cửa sông ven bờ sông Mê Kông. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **14**(3A): 31-42.

18. Wolanski, E., Nhan, N. H., and Spagnol, S., 1998. Sediment dynamics during low flow conditions in the Mekong River estuary, Vietnam. *Journal of Coastal Research*, 472-482.
19. Wolanski, E., Huan, N. N., Nhan, N. H., and Thuy, N. N., 1996. Fine-sediment dynamics in the Mekong River estuary, Vietnam. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **43**(5): 565-582.
20. Nguyễn Ngọc Thủy, 1982. Thủy triều đồng bằng sông Cửu Long và vùng biển kế cận. Báo cáo tại Hội thảo Quốc tế về xâm nhập mặn ở ĐBSCL, 22-27/10/1982 tại thành phố Hồ Chí Minh.
21. Le Dinh Mau Nguyen Van Tuan, 2014. Estimation of wave characteristics in East Vietnam Sea using swam model. *Journal of Marine Science and Technology*, **14**(3): 212-218.
22. Becker, J. J., Sandwell, D. T., Smith, W. H. F., Braud, J., Binder, B., Depner, J., Fabre, D., Factor, J., Ingalls, S., Kim, S-H., Ladner, R., Marks, K., Nelson, S., Pharaoh, A., Trimmer, R., Von Rosenberg, J., Wallace G., and Weatherall, P., 2009. Global bathymetry and elevation data at 30 arc seconds resolution: SRTM30\_PLUS. *Marine Geodesy*, **32**(4): 355-371.
23. Merri T Jone, Pauline W., Raymond N. Cramer, 2009. User Guide to the centenary edition of the GEBCO digital atlas and its datasets. Natural Environment Research Council.
24. BMT Argoss, 2011. Overview of the service and validation of the database. Reference: RP\_A870, www.waveclimate.com.
25. Lefevre, F., Lyard, F. H., Le Provost, C., and Schrama, E. J., 2002. FES99: a global tide finite element solution assimilating tide gauge and altimetric information. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **19**(9): 1345-1356.
26. Lyard, F., Lefevre, F., Letellier, T., and Francis, O., 2006. Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004. *Ocean Dynamics*, **56**(5-6): 394-415.
27. Boyer, T. (Ed.), Mishonov, A. (Technical Ed.), 2013. World Ocean Atlas 2013 Product Documentation. Ocean Climate Laboratory, NODC / NESDIS / NOAA. Silver Spring, MD 20910-3282.
28. Delft Hydraulics, 2014. Delft3D-FLOW User Manual: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. Technical report.
29. Battjes, J. A., and Janssen, J. P. F. M., 1978. Energy loss and set-up due to breaking of random waves. *Coastal Engineering Proceedings*, **1**(16).
30. Arcement, G. J., and Schneider, V. R., 1989. Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains (38 p.). Washington, DC, USA: US Government Printing Office.
31. Simons, D. B., and Şentürk, F., 1992. Sediment transport technology: water and sediment dynamics. Water Resources Publication.
32. Uittenbogaard, R. E., 1998. Model for eddy diffusivity and viscosity related to sub-grid velocity and bed topography. Note, WL| Delft Hydraulics.
33. Van Vossen, B., 2000. Horizontal large eddy simulations; evaluation of computations with DELFT3D-FLOW. Report MEAH-197. Delft University of Technology.
34. Van Run, L., 1993. Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries, and Coastal Seas, Aqua Publica tions, Delft Hydraulics, The Netherlands.
35. Dissanayake, D. M. P. K., Roelvink, J. A., and Van der Wegen, M., 2009. Modelled channel patterns in a schematized tidal inlet. *Coastal Engineering*, **56**(11): 1069-1083.
36. Li, L., 2010. A fundamental study of the Morphological Acceleration Factor (Doctoral dissertation, TU Delft, Delft University of Technology).
37. Ranasinghe, R., Swinkels, C., Luijendijk, A., Roelvink, D., Bosboom, J., Stive, M.,

- and Walstra, D., 2011. Morphodynamic upscaling with the MORFAC approach: Dependencies and sensitivities. Coastal engineering, **58**(8): 806-811.
38. Masselink, G., Hughes, M. G., and Knight, J., 2011. Introduction to Coastal Processes and Geomorphology. 2<sup>nd</sup> edition, London, UK: Hodder Education.
39. Dyer, K., 1986. Coastal and estuarine sediment dynamics. Chichester: Wiley.
40. Yang, S. L., Friedrichs, C. T., Shi, Z., Ding, P. X., Zhu, J., and Zhao, Q. Y., 2003. Morphological response of tidal marshes, flats and channels of the outer Yangtze River mouth to a major storm. Estuaries, **26**(6): 1416-1425.
41. Goodbred, S. L., and Hine, A. C., 1995. Coastal storm deposition: salt-marsh response to a severe extratropical storm, March 1993, west-central Florida. Geology, **23**(8): 679-682.
42. Nyman, J. A., Crozier, C. R., and DeLaune, R. D., 1995. Roles and patterns of hurricane sedimentation in an estuarine marsh landscape. Estuarine, Coastal and Shelf Science, **40**(6): 665-679.

## INFLUENCE OF DYNAMIC PROCESSES ON MORPHOLOGICAL CHANGE IN THE COASTAL AREA OF MEKONG RIVER MOUTH

Vu Duy Vinh<sup>1</sup>, Tran Dinh Lan<sup>1</sup>, Tran Anh Tu<sup>1</sup>, Nguyen Thi Kim Anh<sup>1</sup>, Nguyen Ngoc Tien<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of marine Environment and Resources-VAST*

<sup>2</sup>*Institute of Marine Geology and Geophysics-VAST*

**ABSTRACT:** *This paper presents some results on the influences of dynamic processes on morphological change in the Mekong river mouth area. The roles of these dynamic processes were assessed by the MORFAC (the morphological acceleration factor) method (Delft3D model) and analysis of 50 scenarios. Study results show that wave and river are dominant factors impacting on sediment transport and morphological change in the study area. In case of calm wave-wind, the interaction between river and tides creates deposition zones. Significant wave height in the range of 1 - 3 m is important factor that affects morphological changes in Mekong coastal area. The sediment accumulation in the flood season is the temporary distribution of sediments from the river. After flood season, sediments in the seabed are re-distributed and transported by the influences of dynamic processes in the condition of the lack of sediments. As a result, it creates the morphological change in the dry season.*

**Keywords:** *Morphological change, Mekong, morfac, modelling, dynamics.*