

ĐẶC ĐIỂM VẬN CHUYỂN BÙN CÁT VÀ NGUYÊN NHÂN GÂY BỒI LẮNG KHU VỰC ĐÀM NẠI (NINH THUẬN)

Vũ Duy Vinh^{1*}, Đỗ Thị Thu Hương¹, Nguyễn Văn Quân¹, Nguyễn Ngọc Tiên²

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

²Viện 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: 25-8-2015

TÓM TẮT: Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu, đánh giá đặc điểm vận chuyển bùn cát và biến động địa hình đáy ở khu vực đầm Nại (Ninh Thuận) trên cơ sở thiết lập hệ thống mô hình thủy động lực - sóng - vận chuyển bùn cát và biến động địa hình đáy cho khu vực này. Kịch bản hiện trạng đã được thiết lập, kiểm chứng từ số liệu đo đạc về dòng chảy, mực nước trong mùa mưa và mùa khô. Theo cách tiếp cận tham số MORFAC (The Morphological Acceleration Factor) trong mô hình Delft3D, 36 kịch bản tính toán khác nhau đã được thiết lập dựa trên các điều kiện sóng, lưu lượng nước vào đầm. Phân tích các kết quả tính toán cho thấy dòng bùn cát ở phía ngoài biển khu vực nghiên cứu chủ yếu di chuyển từ phía đông bắc xuống phía tây - tây nam. Lượng bùn cát đi vào khu vực cửa đầm (lạch Tri Thủy) từ biển chiếm ưu thế tuyệt đối so với dòng đi từ khu vực cửa đầm ra ngoài với giá trị lần lượt là 760,1 m³/ngày và 122,8 m³/ngày gây bồi lấp khu vực cửa đầm. Dòng bùn cát từ đầm Nại ra và vào từ khu vực cửa đều rất nhỏ: 2,1 m³/ngày và 3,4 m³/ngày. Các kết quả trên cho thấy lượng bùn cát từ xung quanh đổ vào đầm Nại nhưng không thoát được ra biển qua khu vực cửa đầm là nguyên nhân chính gây bồi lắng lòng đầm với tốc độ bồi lắng 5 - 15 mm/năm. Dòng bùn cát trong lũ cũng làm tăng đáng kể đến tốc độ bồi lắng trong lòng đầm Nại do lượng bùn cát này sau khi vào đầm phần lớn bị lắng đọng lại ở trong lòng đầm.

Từ khóa: Đầm Nại, vận chuyển bùn cát, biến động địa hình đáy, morfac, Delft3D.

MỞ ĐẦU

Đầm Nại (thuộc tỉnh Ninh Thuận) là một trong những đầm có diện tích khá nhỏ trong hệ thống đầm hồ ven biển miền Trung, diện tích hiện nay khoảng 700 ha (chỉ bằng khoảng 1/30 diện tích của Tam Giang-Cầu Hai). Đầm Nại nằm khá sâu trong đất liền và được nối với biển bằng một kênh dài khoảng 2 km, chiều rộng biến đổi \approx 200 - 500 m, sâu khoảng 6 - 8 m. Địa hình của đầm Nại tương đối nông (độ sâu trung bình chỉ khoảng 2,8 m) và khá bằng phẳng với vùng triều rộng chiếm khoảng 2/3 diện tích đáy. Mặc dù có diện tích nhỏ nhưng đầm Nại không chỉ có ý nghĩa lớn về mặt sinh thái mà còn có những đóng góp hết sức quan

trọng cho sự phát triển kinh tế xã hội của huyện Ninh Hải và thành phố Phan Rang-Tháp Chàm. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, khu vực đầm Nại đã có những biểu hiện suy thoái nghiêm trọng. Một trong những nguyên nhân dẫn đến hiện tượng đó là quá trình bồi lắng, thu hẹp, giảm thể tích nước của đầm.

Các kết quả nghiên cứu liên quan chỉ ra rằng biến động địa hình (BĐDH) đáy là hệ quả của các quá trình thủy động lực (TĐL) và vận chuyển bùn cát của khu vực. 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 bùn cát. Vì vậy, theo lý thuyết muốn mô phỏng

BĐĐH 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 BĐĐH đáy ở các qui mô thời gian lớn như nhiều năm hoặc hàng trăm năm. Để giải quyết khó khăn đó, trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng cách tiếp cận theo phương pháp MORFAC (Morphological Acceleration Factor), những BĐĐH 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.

Phương pháp tiếp cận MORFAC là cách tiếp cận cho phép mô phỏng BĐĐH đáy với khoảng thời gian dài (năm, chục năm, hàng trăm năm) trong khoảng thời gian tính toán ngắn phù hợp. Diễn hình ứng dụng thành công phương pháp này lần đầu tiên là các kết quả nghiên cứu về BĐĐH đáy của Lesser và nnk., (2004) and Roelvink (2006) [1, 2]. Với cách tiếp cận này, mô hình toán có thể mô phỏng xu thế BĐĐH 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]. Bài viết này dựa trên cách tiếp cận MORFAC để đánh giá các đặc điểm vận chuyển bùn cát, BĐĐH đáy ở khu vực đầm Nại (Ninh Thuận), qua đó đánh giá nguyên nhân gây bồi lắng ở khu vực này.

TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Tài liệu

Trong nghiên cứu này các tài liệu chính đã được sử dụng, bao gồm:

Nhóm tài liệu địa hình, đường bờ của khu vực gồm số liệu đo sâu tại đầm Nại của đề tài KC.08.25/11-15, số liệu độ sâu và đường bờ của vùng ven bờ Ninh Thuận từ các bản đồ địa hình 1:50.000 do Cục Đo đạc Bản đồ xuất bản năm 2005. Độ sâu của vùng biển phía ngoài được sử dụng từ cơ sở dữ liệu GEBCO -1/8 [9].

Số liệu mực nước, dòng chảy để hiệu chỉnh mô hình là các kết quả đo đạc mực nước (1 h/lần) tại khu vực phía trong và ngoài đầm

Nại. Các hằng số điều hòa thủy triều ở phía ngoài xa bờ được thu thập từ cơ sở dữ liệu FES2004 [10].

Số liệu khảo sát nhiệt độ, độ muối nước biển ở khu vực đầm Nại và phía ngoài của đề tài KC.08.25/11-15 trong các năm 2013 - 2014. Số liệu nhiệt độ và độ muối nước biển ở vùng biển xa bờ được thu thập xử lý từ cơ sở dữ liệu WOA13 với độ phân giải 0,25 độ [11].

Nhóm tài liệu thiết lập các kịch bản tính bao gồm số liệu thống kê kết quả tính mô hình kết hợp với quan trắc từ vệ tinh (Wave Climate -BMT ARGOSS 2014) các đặc trưng sóng, gió trung bình trong khoảng hơn 20 năm (1992 - 2013) ở vùng biển phía ngoài ven bờ Ninh Thuận. Các kết quả tính toán lượng nước, bùn cát từ lưu vực xung quanh vào đầm Nại trong điều kiện bình thường và lũ [12].

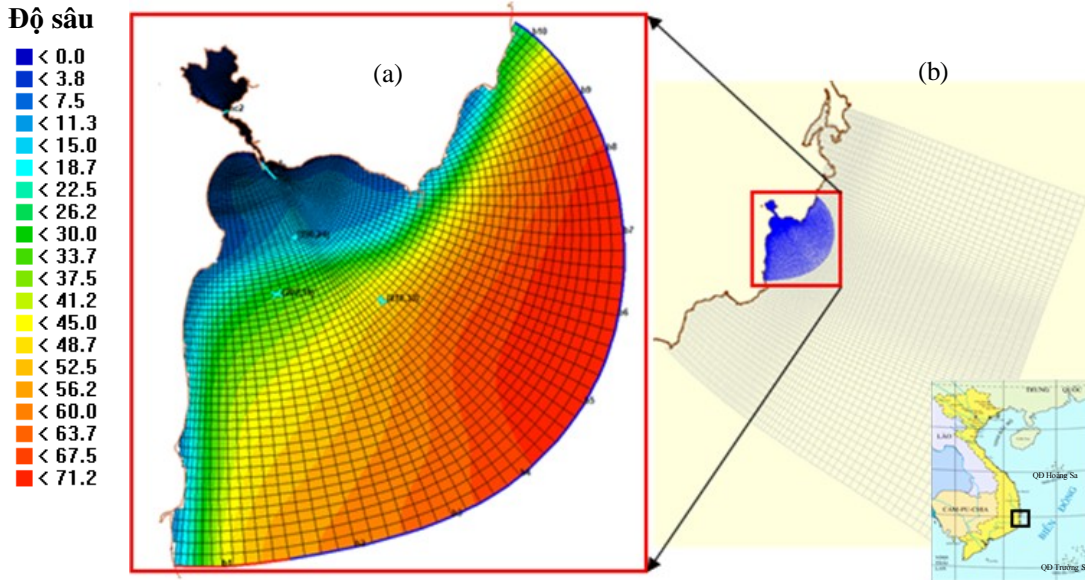
Phương pháp

Ngoài các phương pháp như GIS để số hóa địa hình, lồng ghép các bản đồ số; phương pháp xử lý số liệu từ cơ sở dữ liệu nhiệt muối WOA13 và thủy triều FES2004 nhằm cung cấp số liệu cần thiết cho các điều kiện biên mở nhiệt - muối cho mô hình TĐL vùng ngoài khơi (với lưới tính thô) được lưu trữ ở dạng file Netcdf. Trong nghiên cứu này, phương pháp lưới lồng (phương pháp NESTING trong Delf3D) đã được sử dụng để tạo các điều kiện biên mở của mô hình [13]. Theo phương pháp lưới lồng, để tạo các file số liệu cho điều kiện biên mở phía biển của mô hình với lưới chi tiết (cho vùng đầm Nại), một mô hình với lưới thô hơn cùng thời gian tính toán, cùng kiểu lưới tính ở phía ngoài đã được thiết lập. Mô hình lưới thô có kích thước 91×87 điểm tính và sử dụng hệ lưới cong trục giao. Các ô lưới có kích thước biến đổi từ 546 - 1.824 m (hình 1b). Theo chiều thẳng đứng, mô hình này được chia thành 4 lớp độ sâu trong hệ tọa độ σ . Biên mở biển của mô hình này được chia thành nhiều đoạn khác nhau, mỗi đoạn sử dụng các hằng số điều hòa trong cơ sở dữ liệu FES2004 và số liệu nhiệt muối trung bình tháng trong cơ sở dữ liệu WOA13.

Hệ thống mô hình chi tiết cho khu vực đầm Nại được thiết lập với hệ lưới cong trục giao, phạm vi miền tính bao gồm các vùng nước cửa

đầm Nại và khu vực ven biển phía ngoài. Miền tính trải rộng với kích thước khoảng 35 km theo chiều đông bắc - tây nam và 28 km theo chiều tây bắc - đông nam, được chia thành 233 × 69 điểm tính, kích thước các ô lưới biến đổi

từ 6,5 m đến 953,8 m (hình 1a). Lưới độ sâu được thiết lập trên cơ sở lưới tính và bản đồ địa hình của khu vực. Các quá trình cơ bản trong mô hình TĐL bao gồm các quá trình nhiệt-muối, bùn cát và sóng.



Hình 1. Lưới tính chi tiết và lưới độ sâu của mô hình (a- lưới chi tiết; b- lưới thô)

Các kịch bản hiện trạng

Trong kịch bản hiện trạng, mô hình được thiết lập và chạy cho 3 nhóm kịch bản mùa đặc trưng: 2 tháng mùa khô (tháng 6 - 7 năm 2013); 2 tháng mùa mưa (tháng 9 - 10 năm 2013) và 2 tháng mùa khô năm 2014 (tháng 4 - 5 năm 2014). 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 kịch bản tính (tháng 6, 9 năm 2013 và tháng 4 năm 2014). Số liệu đề cung cấp cho các biên mở phía biển (nhiệt độ, độ muối, mực nước, sóng) 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.

Mô hình sóng được thiết lập chạy đồng thời (online coupling) với mô hình TĐL và mô hình vận chuyển bùn cát. Điều kiện biên mở của mô hình sóng sử dụng kết quả tính sóng của WAVE CLIMATE cho vùng Biển Đông trong

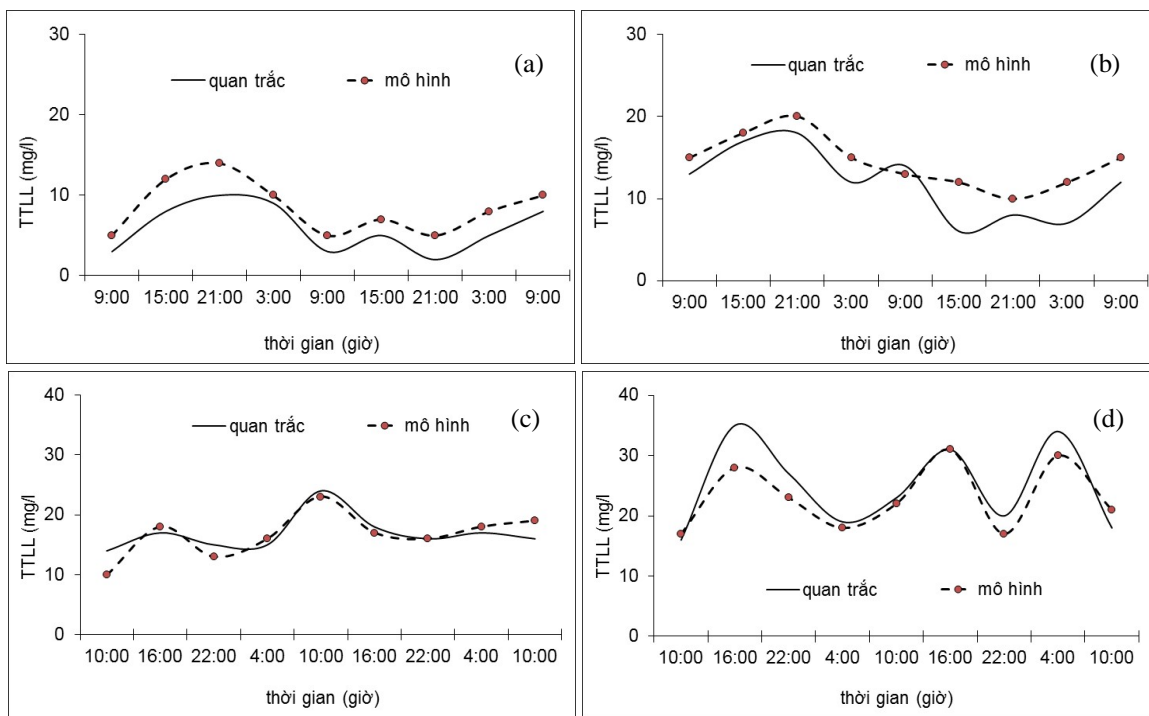
thời gian tính toán [12]. Kiểu phổ trong mô hình sóng ở nghiên cứu này được lựa chọn là phổ JONSWAP với hệ số ma sát đáy cố giá trị 0,067. Mô hình B&J [14] được lựa chọn để tính ảnh hưởng của nước nông nơi diễn ra quá trình sóng đổ [14].

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 [15, 16]. Các giá trị liên quan đến điều kiện rôi 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 [17] và Van Vossen [18]. Tiêu chuẩn ứng suất cho quá trình xói của trầm tích được lựa chọn là 0,26 N/m² [19]. Tiêu chuẩn ứng suất cho quá trình bồi lắng của trầm tích được lựa chọn là 0,11 N/m² [19]. Tốc độ xói ở lớp biên đáy ban đầu được giả thiết là 10⁻³ kg/m².s.

Hiệu chỉnh, kiểm chứng kết quả tính của mô hình

Các kết quả tính toán của mô hình đã được kiểm chứng thông qua việc so sánh với số liệu quan trắc. So sánh kết quả tính toán mực nước từ mô hình với mực nước quan trắc tại các trạm ở các khu vực giữa đầm Nại, cửa đầm phía trong và cửa đầm Nại phía ngoài biển cho thấy khá phù hợp kể cả về pha và biên độ. Sai số bình phương trung bình giữa tính toán và đo đạc mực nước ở các trạm này dao động trong khoảng 0,15 - 0,2 m. Các giá trị quan trắc

đồng chảy được phân tích thành các thành phần kinh hướng (u) và vĩ hướng (v) trước khi 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 ở khu vực này [21]. Mô hình vận chuyển trầm tích đã được hiệu chỉnh các tham số và kiểm chứng kết quả tính với số liệu hàm lượng trầm tích lơ lửng (TTLL) đo đạc của đề tài KC08.25/11-15. Sau lần hiệu chỉnh cuối, các kết quả kiểm chứng cho thấy có sự phù hợp tương đối giữa số liệu đo đạc và kết quả tính của mô hình (hình 2).



Hình 2. So sánh hàm lượng TTLL (mg/l) giữa tính toán và quan trắc trong mùa mưa (19/10/2013-21/10/2013: a- tầng mặt phía ngoài cửa đầm, b- tầng đáy phía ngoài cửa đầm; c- tầng mặt trong đầm, d- tầng đáy trong đầm)

Các kịch bản tính toán

Để đánh giá ảnh hưởng của các quá trình động lực đến điều kiện vận chuyển bùn cát và địa hình đáy ở khu vực nghiên cứu, các kịch bản tính được thiết lập theo phương pháp MORFAC. Hệ số f_{morfac} khi áp dụng để tính đến ảnh hưởng ở các tần suất sóng, gió thủy triều và lưu lượng nước vào đầm theo công thức sau:

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

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

Các nhóm kịch bản sẽ được thiết lập dựa trên ảnh hưởng của gió, sóng, lưu lượng nước từ xung quanh vào đầm Nại. Các số liệu sóng được phân tích thành 2 nhóm: khi có lũ và điều kiện bình thường (ít mưa). Điều kiện lũ được tính đến dựa trên các kết quả tính toán lũ tần suất 10% của nhóm tác giả Viện Khoa học Thủy lợi, đây cũng là một nội dung thực hiện trong khuôn khổ đề tài KC.08.25/11-15.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Đặc điểm vận chuyển bùn cát

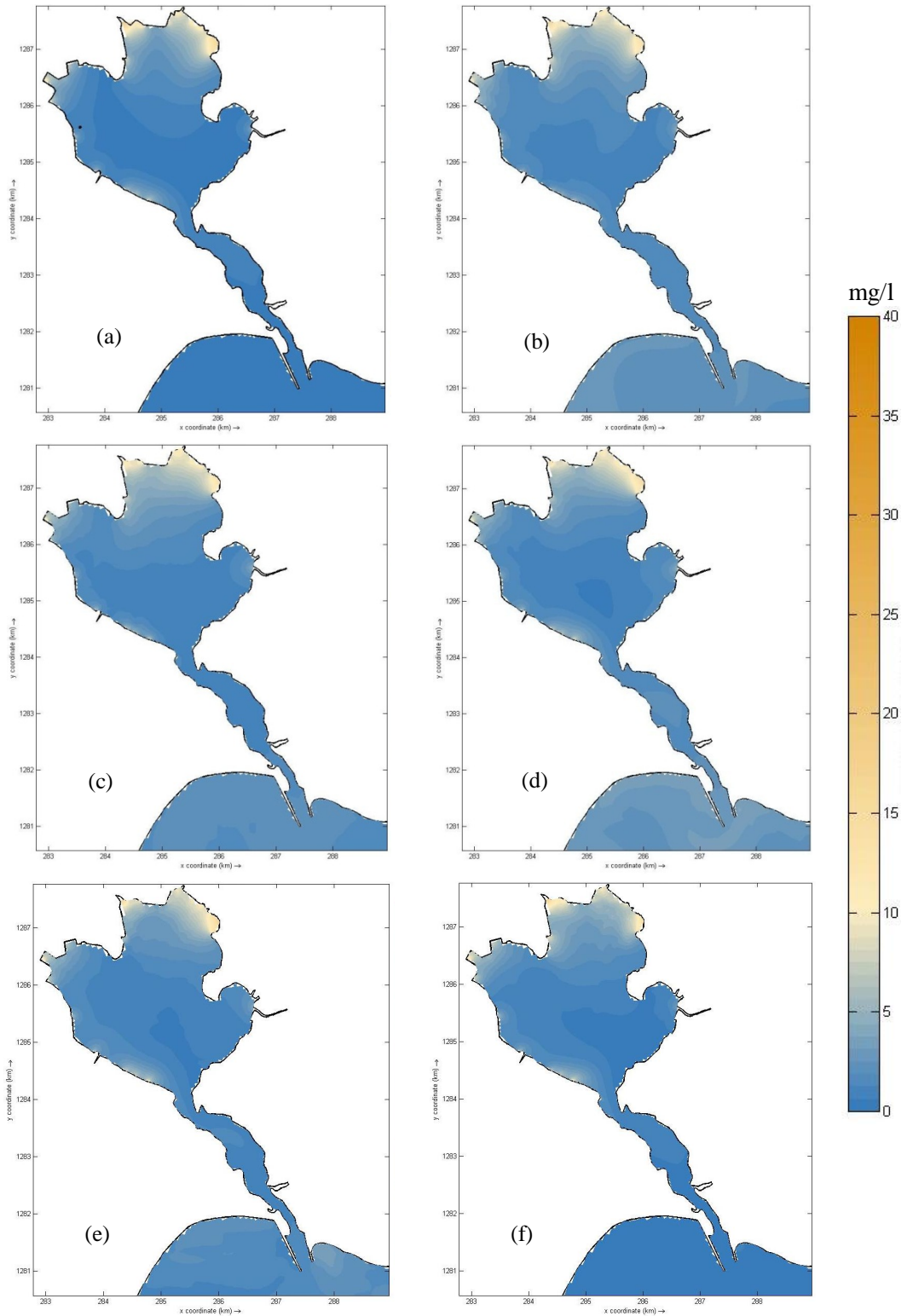
Phân tích thống kê từ chuỗi số liệu sóng

trong nhiều năm ở khu vực nghiên cứu cho thấy thời gian xuất hiện sóng có độ cao nhỏ hơn 0,3 m và từ các hướng truyền ít tác động đến vùng biển ở khu vực nghiên cứu (hướng N, NW, W) chiếm khoảng 14,2%. Tần suất xuất hiện độ cao sóng từ 0,3 - 0,5 m ở khu vực này chiếm 22,4% (tương ứng 81,8 ngày trong năm). Số ngày còn lại tương ứng với các khoảng độ cao sóng, vận tốc gió và hướng tác động khác nhau (bảng 1). Các kết quả tính toán cho thấy với mỗi kịch bản tính toán khác nhau, phân bố, vận chuyển bùn cát ở khu vực này thể hiện các đặc điểm khác nhau.

Bảng 1. Các nhóm kịch bản tính toán chủ yếu

| STT | Kịch bản tính | Hướng sóng, gió | Tần suất xuất hiện (%) | Thời gian xuất hiện (ngày) | sóng | | Tốc độ gió (m/s) | f _{morfac} |
|-----|---------------|-----------------|------------------------|----------------------------|--------|--------|------------------|---------------------|
| | | | | | Hs (m) | Tp (s) | | |
| 1 | n0* | | 14,2 | 51,8 | | | | 3,51 |
| 2 | n1 | | 1,5 | 5,5 | 0,3 | 6 | 3,5 | 0,37 |
| 3 | n2 | | 0,7 | 2,6 | 1 | 7,5 | 5,5 | 0,17 |
| 4 | n3 | NE (đông bắc) | 1,3 | 4,7 | 2 | 8,5 | 7,5 | 0,32 |
| 5 | n4 | | 0,5 | 1,8 | 3 | 9,5 | 9,5 | 0,12 |
| 6 | n5 | | 0,2 | 0,7 | 4 | 10,5 | 11,5 | 0,05 |
| 7 | n6 | | 1,8 | 6,6 | 0,3 | 6 | 3,5 | 0,45 |
| 8 | n7 | | 2,6 | 9,5 | 1 | 7,5 | 5,5 | 0,64 |
| 9 | n8 | | 4,5 | 16,4 | 2 | 8,5 | 7,5 | 1,11 |
| 10 | n9 | E (đông) | 3,5 | 12,8 | 3 | 9,5 | 9,5 | 0,87 |
| 11 | n10 | | 2,4 | 8,8 | 4 | 10,5 | 11,5 | 0,59 |
| 12 | n11 | | 1,1 | 4,0 | 5 | 11,5 | 13,5 | 0,27 |
| 13 | n12 | | 0,5 | 1,8 | 6 | 12,5 | 15 | 0,12 |
| 14 | n13 | | 1,8 | 6,6 | 0,3 | 6 | 3,5 | 0,45 |
| 15 | n14 | | 2,1 | 7,7 | 1 | 7,5 | 5,5 | 0,52 |
| 16 | n15 | | 3,5 | 12,8 | 2 | 8,5 | 7,5 | 0,87 |
| 17 | n16 | SE (đông nam) | 3,0 | 11,0 | 3 | 9,5 | 9,5 | 0,74 |
| 18 | n17 | | 2 | 7,3 | 4 | 10,5 | 11,5 | 0,49 |
| 19 | n18 | | 0,8 | 2,9 | 5 | 11,5 | 13,5 | 0,20 |
| 20 | n19 | | 0,3 | 1,1 | 6 | 12,5 | 15 | 0,07 |
| 21 | n20 | | 1,3 | 4,7 | 0,3 | 6 | 3,5 | 0,32 |
| 22 | n21 | | 2,8 | 10,2 | 1 | 7,5 | 5,5 | 0,69 |
| 23 | n22 | | 4,7 | 17,2 | 2 | 8,5 | 7,5 | 1,16 |
| 24 | n23 | S (nam) | 4,2 | 15,3 | 3 | 9,5 | 9,5 | 1,04 |
| 25 | n24 | | 2,8 | 10,2 | 4 | 10,5 | 11,5 | 0,69 |
| 26 | n25 | | 1,6 | 5,8 | 5 | 11,5 | 13,5 | 0,40 |
| 27 | n26 | | 0,9 | 3,3 | 6 | 12,5 | 15 | 0,22 |
| 28 | n27 | | 1,8 | 6,6 | 0,3 | 6 | 3,5 | 0,45 |
| 29 | n28 | | 4,5 | 16,4 | 1 | 7,5 | 5,5 | 1,11 |
| 30 | n29 | | 8,5 | 31,0 | 2 | 8,5 | 7,5 | 2,10 |
| 31 | n30 | SW (tây nam) | 7,7 | 28,1 | 3 | 9,5 | 9,5 | 1,91 |
| 32 | n31 | | 5,8 | 21,2 | 4 | 10,5 | 11,5 | 1,44 |
| 33 | n32 | | 3,9 | 14,2 | 5 | 11,5 | 13,5 | 0,97 |
| 34 | n33 | | 1,2 | 4,4 | 6 | 12,5 | 15 | 0,30 |
| 35 | n2-lu | NE | 0,7 | 3,0 | 1 | 7,5 | 5,5 | 0,2 |
| 36 | n7-lu | E | 0,7 | 3,0 | 1 | 7,5 | 5,5 | 0,2 |

Ghi chú: * Lặng sóng và các hướng sóng ít tác động đến khu vực (N, NW, W).



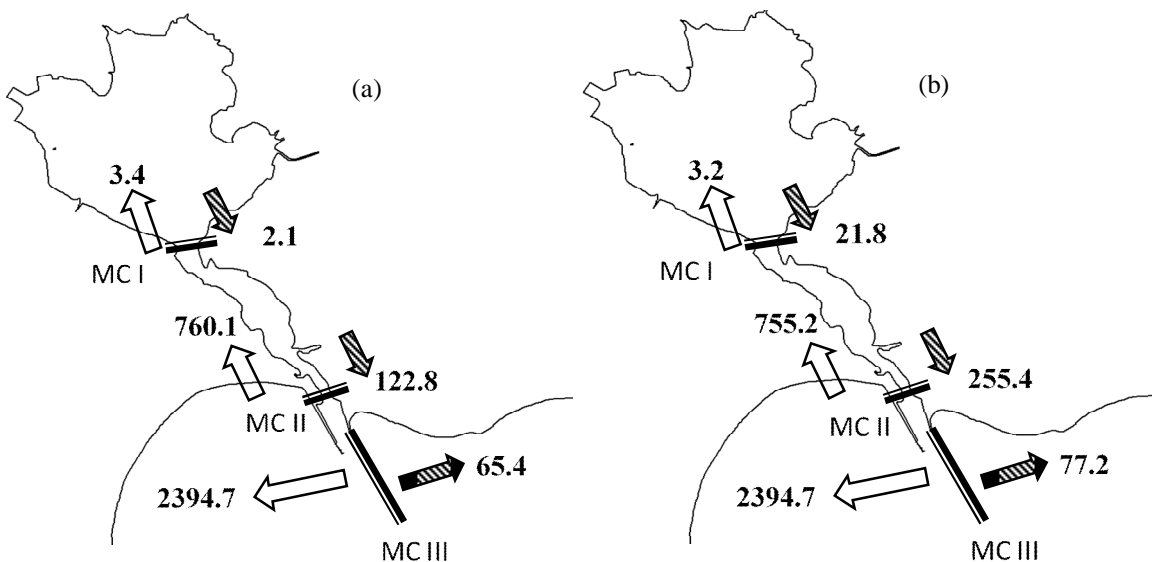
Hình 3. Phân bố TTLL tầng mặt (mg/l) trong pha triều xuống khu vực đầm Nại (a- lặn sóng - kích bản n0; b- kích bản n5; c- kích bản n8; d- kích bản n15; e- kích bản n22; f- kích bản n29)

Mặc dù có đặc điểm phân bố trầm tích khác nhau nhưng các kết quả tính toán đều cho thấy hàm lượng TTLL trong nước ở khu vực này khá nhỏ phân bố chủ yếu gần các nguồn phát thải ven bờ và khu vực gần bờ - nơi chịu ảnh hưởng do các tác động của sóng. Trong điều kiện sóng nhỏ dòng bùn cát từ lục địa đưa ra tập trung ngay gần sát ven bờ đầm (hình 3a) và ít tham gia vào quá trình di chuyển đến các khu vực khác. Khi sóng lớn hơn, dưới ảnh hưởng của ứng suất sóng - dòng chảy, một lượng bùn cát đáng kể ở lớp sát đáy bị bứt tách đưa trở lại môi trường nước làm tăng độ đục ở một số khu vực, trong đó có vùng biển ven bờ phía ngoài cửa đầm. Quá trình tái lơ lửng của bùn cát khác nhau phụ thuộc vào độ cao sóng và hướng tác động, trong đó các hướng sóng tác động nhiều là hướng E, SE và hướng S (hình 3b, 3c, 3d, 3f).

Động thái di chuyển bùn cát ở khu vực nghiên cứu đã được đánh giá định lượng thông qua phân tích dòng bùn cát qua các mặt cắt khác nhau: Cửa đầm phía trong (cầu Tri Thủy - MC I), cửa đầm phía ngoài (MC II), và mặt cắt vuông góc với bờ (MC III). Các kết quả tính toán cho thấy trong điều kiện bình thường, lượng bùn cát di chuyển ra và vào qua cửa đầm phía trong lần lượt là 2,1 m³/ngày và 3,1 m³/ngày. Như vậy là tại mặt cắt này dòng bùn cát có cân bằng theo hướng từ ngoài vào

trong đầm lớn hơn từ đầm đi ra ngoài biển (hình 4a). Trong khi đó, tại mặt cắt ở cửa đầm phía ngoài, dòng bùn cát đi ra và vào lần lượt có giá trị là 122,8 m³/ngày và 760,1 m³/ngày. Như vậy là ở cửa đầm phía ngoài dòng bùn cát đi vào từ biển chiếm ưu thế tuyệt đối so với dòng bùn cát đi ra từ đầm. Đáng chú ý là kết quả phân tích tổng hợp từ tất cả các kịch bản tính toán đều cho thấy dòng bùn cát di chuyển dọc bờ (mặt cắt MC III) có xu hướng xuống phía tây - tây nam nhiều hơn rất nhiều so với đi lên phía đông - đông bắc: giá trị trung bình ngày của dòng bùn cát đi xuống và lên lần lượt là 2.394,7 m³/ngày và 65,4 m³/ngày (hình 4a).

Trong điều kiện lũ, dòng bùn cát từ trong đầm ra phía ngoài đã tăng mạnh so với bình thường: Dòng bùn cát từ đầm đi ra có giá trị khoảng 21,8 m³/ngày so với dòng bùn cát từ ngoài đi vào qua mặt cắt MC I là 3,2 m³/ngày. Xu thế tăng mạnh dòng bùn cát đi ra qua mặt cắt MC II khi có lũ cũng được thể hiện rõ rệt với giá trị của dòng bùn cát này đạt 255,4 m³/ngày. Trong khi dòng bùn cát đi vào từ biển giảm từ 760,1 m³/ngày (năm không có lũ) xuống còn 755,2 m³/ngày khi có lũ (hình 4b). Các kết quả phân tích cho thấy ảnh hưởng của lũ không có tác động đáng kể đến xu thế di chuyển của dòng bùn cát dọc bờ phía ngoài so với điều kiện không có lũ (hình 4).



Hình 4. Vận chuyển bùn cát trung bình ngày (m³) qua một số mặt cắt khu vực đầm Nai trong mùa mưa (a- khi không có lũ, năm mưa ít; b- trường hợp có lũ, năm mưa nhiều)

Các kết quả phân tích từ các kịch bản tính toán khác nhau cũng cho thấy sóng hướng SE và S làm tăng cường sự vận chuyển bùn cát vào và ra khu vực đầm Nại hơn các hướng sóng gió

còn lại. Trong khi dòng bùn cát dọc bờ chịu sự chi phối chủ yếu của sóng gió các hướng E, SE và S (bảng 2).

Bảng 2. Tổng hợp vận chuyển bùn cát trung bình (m³/ngày) qua một số mặt cắt

| Hướng sóng gió | Mặt cắt | | | | | |
|----------------|---------|-----|-------|---------|--------|---------|
| | MC I | | MC II | | MC III | |
| | Ra | Vào | Ra | Vào | Lên | Xuống |
| Lặng sóng (n0) | 1,3 | 2,4 | 43,5 | 0,2 | 2,8 | 0,1 |
| NE (n1-n5) | 1,9 | 2,5 | 64,2 | 87,2 | 2,8 | 32,2 |
| E (n6-n12) | 1,8 | 3,2 | 135,1 | 1.022,4 | 1,4 | 2.680,4 |
| SE (n13-n19) | 2,3 | 3,9 | 188,5 | 1.211,6 | 1,9 | 6.173,0 |
| S (n20-n26) | 2,3 | 4,3 | 137,8 | 1.260,9 | 118,4 | 2.755,1 |
| SW (n27-n33) | 2,1 | 2,7 | 82,8 | 134,8 | 193,5 | 0,2 |

Biến động địa hình đáy khu vực đầm Nại

Sự biến động địa hình đáy ở khu vực đầm Nại là kết quả tác động trực tiếp của các quá trình thủy động lực và vận chuyển bùn cát. Kết quả phân tích từ các kịch bản tính toán khác nhau cho thấy biến động của các điều kiện sóng và dòng bùn cát từ xung quanh vào đầm có ảnh hưởng khác nhau đến biến động địa hình đáy của khu vực này.

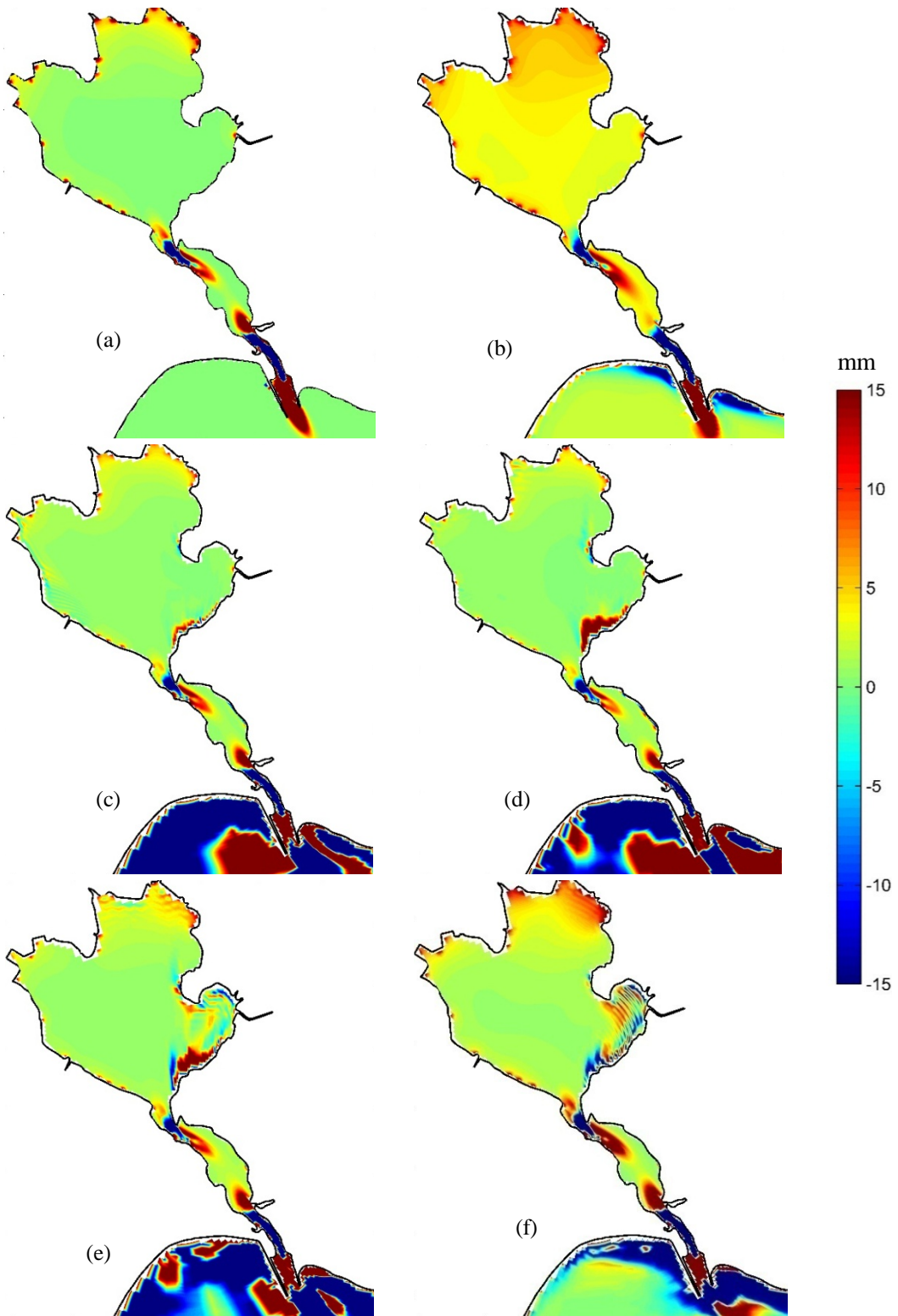
Khi không có tác động của sóng, các kết quả tính toán cho thấy địa hình ở khu này có xu thế bồi tụ là chủ yếu. Trong đó các vùng ven bờ đầm phía tây - tây bắc có tốc độ bồi lớn hơn với giá trị khoảng 4 - 5 mm/năm. Ở khu vực giữa đầm, tốc độ bồi rất nhỏ với giá trị chỉ khoảng 1 - 2 mm/năm (hình 5a). Cũng trong trường hợp này, xuất hiện một số vùng bồi - xói xen kẽ ở khu vực lạch Tri Thủy và cửa đầm phía ngoài.

Với điều kiện sóng hướng NE, dòng bùn cát ở khu vực ven bờ phía đông bắc của đầm được tăng cường di chuyển ra giữa đầm, qua đó làm tăng cường đáng kể tốc độ bồi lắng ở khu vực giữa đầm và lạch Tri Thủy (hình 5b). Tốc độ bồi lắng dưới ảnh hưởng của trường gió - sóng hướng NE đã tăng lên với giá trị 4 - 8 mm/năm, đây cũng là hướng tác động làm tăng tốc độ bồi lắng ở khu vực đầm Nại lớn nhất so với các hướng sóng còn lại. Mặc dù hướng đường bờ biển phía ngoài làm hạn chế đáng kể ảnh hưởng của sóng nhưng những tác động của sóng hướng NE vẫn thể hiện thông qua sự xuất hiện của các vùng xói nhẹ ở phía ngoài hai bên bờ kè đồng thời tăng cường bồi tụ ở khu vực cửa, giữa hai tuyến kè chắn sóng (hình 5b).

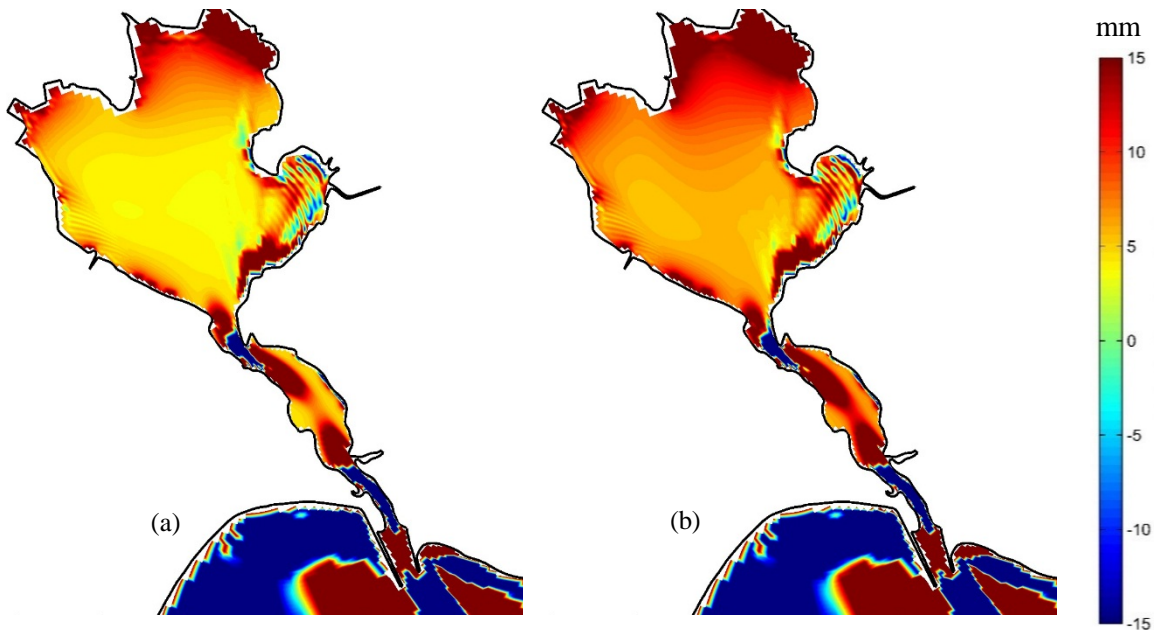
Tác động của sóng các hướng E, S và SE đến bồi lắng trong lòng đầm Nại ít hơn so với hướng NE, giá trị bồi lắng trong các trường hợp này phổ biến chỉ từ 2 - 3 mm/năm. Trong khi đó xuất hiện một số vùng bồi tụ nhỏ ở khu vực phía đông nam bờ đầm Nại (hình 5c, 5d, 5e). Ở khu vực lạch Tri Thủy và cửa đầm phía ngoài cũng xuất hiện các vùng bồi - xói xen kẽ. Tuy nhiên vùng bồi lấp ở cửa lạch Tri Thủy nhỏ hơn so với trường hợp sóng gió hướng NE, trong khi vùng xói đáy ở vùng ven biển phía ngoài khá lớn.

Hướng sóng SW cũng làm tăng cường tốc độ bồi lắng trầm tích phía trong đầm Nại (lớn hơn so với các hướng E, SE và E nhưng nhỏ hơn so với hướng NE) với giá trị trung bình khoảng 3 - 4 mm/năm (hình 5f). Mặc dù cũng xuất hiện các vùng bồi xói ở khu vực lạch Tri Thủy nhưng vùng xói ven biển phía ngoài có phạm vi nhỏ hơn so với trường hợp các hướng sóng - gió E, SE và S.

Tổng hợp kết quả của tất cả các kịch bản tính toán cho thấy địa hình đáy ở khu vực đầm Nại có xu thế bồi là chủ yếu, tốc độ bồi lắng tính toán trong điều kiện không có ảnh hưởng của lũ phổ biến trong khoảng từ 7 - 10 mm/năm. Khu vực có tốc độ bồi lớn hơn 10 mm/năm là ở vùng ven bờ phía đông bắc và dải hẹp xung quanh đầm (hình 6a). Địa hình đáy ở khu vực lạch Tri Thủy xuất hiện các vùng bồi xói xen kẽ. Tuy nhiên vị trí của các vùng bồi xói đó thay đổi theo các điều kiện động lực, đặc biệt là dưới những ảnh hưởng của các hướng sóng khác nhau. Ngoài ra, ở khu vực cửa đầm phía ngoài (giữa hai tuyến kè chắn sóng, hình 6) cũng xuất hiện vùng bồi với giá trị khoảng 15 - 20 mm/năm.



Hình 5. Biến động địa hình đáy (mm) khu vực đầm Nại (a- lắng sóng; b- tổng các hướng NE; c- tổng các hướng E; d- tổng các hướng SE; e- tổng các hướng S; f- tổng các hướng SW)



Hình 6. Ảnh hưởng của lũ đến biến động địa hình đáy (mm) khu vực đầm Nại (a- địa hình đáy hằng năm khi không có lũ; b- địa hình đáy khi có lũ 10%)

Ảnh hưởng của lũ được phân tích cho thấy yếu tố này làm tăng lên rõ rệt tốc độ bồi lắng ở khu vực nghiên cứu. Khi xuất hiện lũ trong năm, tốc độ bồi đã tăng lên với giá trị trung bình phổ biến khoảng 10 - 15 mm/năm. Điều này có thể được lý giải là khi xuất hiện lũ, một lượng bùn cát khá lớn đưa vào đầm nhưng do khả năng thoát nước ra biển hạn chế (qua lạch hẹp dài) nên phần lớn lượng bùn cát đó bị lắng đọng trong lòng đầm.

Trong khuôn khổ thực hiện đề tài KC.08.25/11-15, đã tiến hành lấy mẫu trầm tích trong một số cột khoan tại đầm Nại, đầm Tam Giang-Cầu Hai và đầm Thị Nại, sau đó phân tích bằng phương pháp đồng vị phóng xạ để xác định tuổi, tốc độ lắng đọng. Các kết quả phân tích cho thấy ở khu vực đầm Nại tốc độ bồi tụ lớn nhất có thể lên tới 34,4 mm/năm, nhỏ nhất là 2,9 mm/năm và trung bình là 12,5 mm/năm. Các kết quả khảo sát này tương đối phù hợp với các kết quả tính toán mô hình ở trên.

Tốc độ bồi lắng ở khu vực đầm Nại cao hơn rõ rệt so với khu vực đầm Thị Nại, Tam Giang - Cầu Hai khi các kết quả phân tích cho thấy tốc độ bồi lắng ở các khu vực đó lần lượt chỉ là 2,6 mm/năm và 3,1 mm/năm. Nguyên

nhân chủ yếu có thể là do sự khác biệt về hình thái địa hình: đầm Thị Nại và Tam Giang-Cầu Hai kết nối gần như trực tiếp với biển trong khi đầm Nại nằm khá sâu trong đất liền, nối với biển qua một lạch hẹp dài tới gần 2 km.

Nguyên nhân gây bồi lắng đầm Nại

Các kết quả khảo sát, nghiên cứu ở khu vực đầm Nại cho thấy đặc điểm trầm tích ở khu vực này có thành phần cơ học được cấu tạo chủ yếu bởi cấp hạt bùn sét và bùn sét chứa cát, trong khi khu vực cửa đầm và lạch được cấu tạo chủ yếu bởi cấp hạt cát [22]. Mặt khác theo sơ đồ về quan hệ giữa vận tốc dòng chảy, kích thước đường kính hạt trầm tích và khả năng vận chuyển bùn cát (đường cong Hjulstrom [23] được điều chỉnh theo Sundborg [24], các đặc điểm thủy động lực có ảnh hưởng quan trọng đến vận chuyển bùn cát ở khu vực nghiên cứu. Ở khu vực phía trong đầm Nại do vận tốc dòng chảy hầu hết nhỏ hơn 0,15 m/s, vận tốc trung bình không vượt quá 0,1 m/s [21] nên ở khu vực đầm Nại, dòng bùn cát chủ yếu vận chuyển và lắng đọng trong lòng đầm: trong điều kiện không có lũ lượng bùn cát trung bình đi ra khỏi đầm chỉ 2,1 m³/ngày. Kết quả này phù hợp với đánh giá của Trịnh Thế Hiếu và nnk., (đề tài Đặc điểm địa chất - địa mạo khu vực đầm Nại,

tỉnh Ninh Thuận, 2005): các đặc điểm thủy động lực tạo điều kiện thuận lợi cho các quá trình lắng đọng, bồi lắng trầm tích trong lòng đầm Nại. Lượng bùn cát đi ra khỏi khu vực đầm Nại trung bình ngày nhỏ hơn so với lượng bùn cát từ khu vực lạch Tri Thủy đi vào đầm. Tuy nhiên lượng bùn cát này quá nhỏ để làm tăng lượng bồi lắng trong lòng đầm mà chỉ có thể làm tăng bồi lắng khu vực ven bờ phía đông nam của đầm Nại.

Một nguyên nhân khác gián tiếp làm tăng quá trình bồi lắng khu vực đầm Nại là quá trình bồi lấp cửa phía ngoài của đầm. Do sự trao đổi nước của đầm phụ thuộc vào lạch Tri Thủy nhưng đây là lạch hẹp và dài nên đã làm hạn chế đáng kể sự thoát nước cũng như vận tốc dòng chảy trong đầm ở các pha triều xuống. Theo kết quả nghiên cứu của Bruun (1968) để đảm bảo sự ổn định của các cửa đầm và địa hình đáy của đầm thì vận tốc dòng chảy trung bình ở khu vực cửa đầm trong kỳ triều cường cần lớn hơn 1,0 m/s [25]. Tuy nhiên, ở khu vực lạch Tri Thủy, vận tốc dòng chảy trong kỳ triều cường chỉ đạt khoảng 0,4 - 0,5 m/s [21]. Mặc dù các tuyến kè chắn sóng ở phía ngoài cửa đã làm giảm đáng kể dòng bùn cát từ biển vào gây bồi lấp cửa đầm nhưng lượng bùn cát vào khu vực lạch Tri Thủy trung bình ngày vẫn đạt tới giá trị khoảng 637 m³.

Do khả năng thoát nước từ đầm ra biển bị hạn chế qua lạch Tri Thủy nên khi xuất hiện lũ, dòng bùn cát từ xung quanh bị lắng đọng phần lớn trong lòng đầm (hình 5b) chứ không thoát được nhiều ra biển và làm tăng đáng kể tốc độ bồi lắng của đầm so với trường hợp không có lũ (hình 6). Mặt khác, lũ cũng có tác động làm giảm bồi lấp khu vực cửa phía ngoài đầm Nại và lạch Tri Thủy do dòng bùn cát nhận từ đầm Nại nhỏ hơn lượng bùn cát đưa ra biển.

Dòng bùn cát đi từ xung quanh vào đầm cũng ảnh hưởng lớn đến quá trình nông hóa của khu vực đầm Nại. Theo kết quả nghiên cứu của Trịnh Thế Hiếu và nnk., (2005) trong đề tài “Đặc điểm địa chất - địa mạo khu vực đầm Nại, tỉnh Ninh Thuận”, địa hình xung quanh khu vực đầm Nại chủ yếu là dạng địa hình dạng bóc mòn, thảm thực vật rất nghèo nàn. Với dạng địa hình này, kết hợp với kiểu khí hậu khô hạn khi xuất hiện mưa lũ sẽ làm tăng cường các quá

trình xói mòn rửa trôi mang bùn cát xuống các lưu vực xung quanh và đổ vào đầm Nại. Những ảnh hưởng này trở lên rõ rệt hơn do các tác động của con người như chặt phá rừng ngập mặn. Theo kết quả nghiên cứu của Nguyễn Đức Vệ và nnk., (2014), diện tích RNM ở khu vực đầm Nại đã giảm từ 434,3 ha (năm 1975) xuống còn 10,2 ha (năm 2014), giảm tới 97,7% [26]. Ngoài các nguyên nhân ở trên, một số tác động khác của con người cũng trực tiếp hoặc gián tiếp làm tăng cường sự nông hóa ở khu vực đầm Nại như: phá rừng đầu nguồn và thảm thực vật làm tăng xói mòn rửa trôi khi xuất hiện mưa lũ và tăng nguồn bùn cát đưa vào đầm; các hoạt động nuôi trồng thủy sản (đắp đầm, quây ao, ...) làm giảm diện tích đầm, thu hẹp lạch Tri Thủy, ... điều này làm giảm khả năng trao đổi nước giữa đầm và biển làm cường hóa quá trình nông hóa đầm. Cán cân tương tác giữa biển và đầm Nại hiện nay nghiêng về phía biển. Do lưu lượng nước từ đầm chảy ra biển nhất là trong mùa lũ có thể đã bị suy giảm đáng kể. Điều này dẫn đến cửa đầm thường bị bồi lấp do không đủ lưu lượng nước từ đầm chảy ra để đẩy các cồn cát ngầm ra biển, duy trì ổn định của lạch “channel”.

KẾT LUẬN

Với phương pháp tiếp cận Mofac, đặc điểm vận chuyển bùn cát ở khu vực đầm Nại đã được phân tích đánh giá thông qua các kịch bản tính khác nhau về điều kiện sóng, thủy triều, lưu lượng nước sông và nguồn cung bùn cát. Các kết quả tổng hợp cho thấy phần lớn lượng bùn cát từ các nguồn xung quanh vào đầm Nại bị giữ lại phần lớn ở khu vực bên trong đầm và là nguyên nhân chính gây bồi lắng lòng đầm.

Kết quả phân tích cân bằng bùn cát tại mặt cắt của đầm phía trong (khu vực cầu Tri Thủy) cho thấy lượng bùn cát từ ngoài biển vào đầm trung bình khoảng 1,3 m³/ngày. Điều này cho thấy có sự tham gia (dù rất nhỏ) của bùn cát từ biển đến quá trình bồi lắng ở khu vực đầm Nại.

Các điều kiện sóng với hướng và độ lớn khác nhau có vai trò khác nhau đến mức độ bồi lắng ở khu vực đầm Nại. Trong đó sóng từ hướng NE và SW có ảnh hưởng đến tốc độ bồi lắng ở đầm Nại hơn so với sóng từ các hướng E, SE và S.

Dòng bùn cát từ biển vào khu vực lạch Tri Thủy với giá trị trung bình khoảng $637 \text{ m}^3/\text{ngày}$ là nguyên nhân chính gây bồi lấp khu vực này, qua đó làm hạn chế khả năng trao đổi nước, vận chuyển bùn cát từ đầm ra biển. Địa hình đáy của khu vực lạch Tri Thủy cũng luôn biến động (bồi - xói) theo các điều kiện động lực khác nhau. Đặc biệt là khi xuất hiện lũ, bùn cát từ lạch này bị đưa ra biển nhiều hơn, làm tăng các quá trình xói đáy, giảm bồi lấp ở lạch Tri Thủy.

Dòng bùn cát từ đầm đưa ra biển bị hạn chế do lạch Tri Thủy bị cạn hóa, vì vậy phần lớn bị giữ lại trong lòng đầm. Qua đó làm tăng đáng kể tốc độ bồi lắng ở khu vực đầm Nại so với trường hợp không có lũ.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của đề tài “Nghiên cứu, đánh giá các giá trị địa chất - địa mạo nổi bật nhằm phát hiện và xác định các di sản địa chất ở dải ven biển Bình Thuận”, mã số VAST05.06/16-17 và đề tài KC.08.25/11-15 đã cho phép sử dụng nguồn số liệu của đề tài để hoàn thành công trình này. Các tác giả cũng chân thành cảm ơn những nhận xét, góp ý hết sức sâu sắc và quý giá 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., Walstra, D. J. R., 2006. The modelling of sand ridges 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*, **56**(2): 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*, **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*, **113**(F3).
9. Jones, M. T., Weatherall, P., and Cramer, R. N., 2009. User guide to the Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas and its data sets. Natural Environment Research Council.
10. 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.
11. Locarnini, R. A., A. V., Mishonov, J. I., Antonov, T. P., Boyer, H. E., Garcia, O. K., Baranova, M. M., Zweng, C. R., Paver, J. R., Reagan, D. R., Johnson, M., Hamilton, D., Seidov, 2013. World Ocean Atlas 2013. Ocean Climate Laboratory. National Oceanographic Data Center. Silver Spring, MD 20910 - 3282.
12. Groenewoud, P., 2011. Overview of the service and validation of the database. Reference: RP_A870, www.waveclimate.com. BMT Argoss.
13. Delft Hydraulics, 2014. Delft3D-FLOW User Manual: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. Technical report.
14. 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).
15. Arcement, G. J., and Schneider, V. R., 1989. Guide for selecting Manning's

- roughness coefficients for natural channels and flood plains. US. Geological Survey Water Supply Paper 2339, 38 p.
16. Simons, D. B., and Şentürk, F., 1992. Sediment transport technology: water and sediment dynamics. Water Resources Publication.
 17. Uittenbogaard, R. E., 1998. Model for eddy diffusivity and viscosity related to sub-grid velocity and bed topography. Note, WL|Delft Hydraulics.
 18. Van Vossen, B., 2000. Horizontal large eddy simulations; evaluation of computations with DELFT3D-FLOW. Report MEAH-197. Delft University of Technology.
 19. Van Rijn, L. C., 1993. Principles of Sediment Transport in Rivers. Estuaries and Coastal. Seas. Aqua Publications. The Netherlands
 20. 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.
 21. Vũ Duy Vĩnh, Nguyễn Văn Quân, 2015. Đặc điểm thủy động lực và khả năng trao đổi nước khu vực đầm Nại (Ninh Thuận) - kết quả từ mô hình Delft3D. Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển, **15**(3): 250-256.
 22. Lê Thị Vinh, 2014. Chất lượng môi trường trầm tích đầm Nại, tỉnh Ninh Thuận. Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển, **14**(1): 59-67.
 23. Hjulstrøm, F., 1939. Transportation of debris by moving water, in Trask, P.D., ed., Recent Marine Sediments; A Symposium: Tulsa, Oklahoma, American Association of Petroleum Geologists, p. 5-31.
 24. Sundborg, Å., 1956. The River Klarälven: a study of fluvial processes. Geografiska Annaler, **38**(2): 125-237.
 25. Bruun, P., 1967. Tidal inlets and littoral drift (Vol. 2). Universitetsforlaget.
 26. Nguyễn Đắc Vệ, Nguyễn Văn Quân, Bùi Văn Vượng, 2014. Đánh giá biến đổi hệ sinh thái ven bờ đầm Nại từ 1975 đến 2014 bằng công nghệ viễn thám và GIS. Tuyển tập Hội nghị Khoa học toàn quốc về sinh học và phát triển bền vững lần thứ 2. Nxb. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Tr. 859-870.

SEDIMENT TRANSPORT AND CAUSE OF THE DEPOSITION IN NAI LAGOON (NINH THUAN PROVINCE)

Vu Duy Vinh¹, Do Thi Thu Huong¹, Nguyen Van Quan¹, Nguyen Ngoc Tien²

¹Institute of Marine Environment and Resources-VAST

²Institute of Marine Geology and Geophysics-VAST

ABSTRACT: This paper presents some studies on the characteristics of sediment transport and morphological change in the Nai lagoon (Ninh Thuan province). The 3D model was established based on Delft3D system combining hydrodynamics - wave - sediment transport and the MORFAC (the morphological acceleration factor) approach method with 36 different scenarios. The study results show that sediment flux in the coastal zone is predominantly moving from the east-northeast to the west-southwest directions. The sediments coming from the sea into the Tri Thuy channel are very big as compared with output sediment flux from the lagoon with daily average value of 760.1 m³/day and 122.8 m³/day respectively; these are the main cause of Nai lagoon inlet's deposition processes. On the other hand, input and output sediment fluxes at the lagoon inlet (Tri Thuy Bridge) are small with daily average value of 3.4 m³/day and 2.1 m³/day respectively. The sediment from different sources into the Nai lagoon, but very small amount transported to the sea is

Vũ Duy Vĩnh, Đỗ Thị Thu Hương, ...

the main cause of the deposition in Nai lagoon with rate of 5 - 15 mm/year. The sediment flux from the lagoon to the sea in the flooding is small and mostly kept in the lagoon. Therefore, the flooding makes significant increase of deposition rate in Nai lagoon.

Keywords: *Nai lagoon, sediment transport, morphological change, MORFAC, Delft3D.*