

## ĐẶC ĐIỂM THỦY ĐỘNG LỰC VÀ KHẢ NĂNG TRAO ĐỔI NƯỚC KHU VỰC ĐÀM NẠI (NINH THUẬN) - KẾT QUẢ TỪ MÔ HÌNH DELFT3D

Vũ Duy Vĩnh\*, Nguyễn Văn Quân

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

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

Ngày nhận bài: 20-4-2015

**TÓM TẮT:** Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu, đánh giá đặc điểm thủy động lực và khả năng trao đổi nước ở khu vực đầm Nại (Ninh Thuận) trên cơ sở thiết lập mô hình thủy động lực cho khu vực này. Mô hình 3 chiều (mô hình Delft3D) đã được thiết lập, kiểm chứng từ số liệu đo đạc về dòng chảy, mực nước trong mùa mưa và mùa khô. Các kết quả tính toán mô phỏng cho thấy biên độ triều trong đầm Nại giảm 0,05 - 0,2 m so với ngoài biển, thời gian xuất hiện nước lớn và nước ròng chậm hơn lần lượt là 1 giờ và khoảng 1 - 3 giờ. Vận tốc dòng chảy trong đầm thường có giá trị không lớn hơn 0,2 m/s. Khả năng trao đổi nước giữa đầm Nại và vùng biển phía ngoài tương đối tốt so với các đầm khác ở Việt Nam và trên thế giới. Trong các điều kiện thời tiết bình thường, thời gian cần thiết để thay nước trong đầm bằng nước từ biển là 2,4 - 2,7 ngày.

**Từ khóa:** Đầm Nại, thủy động lực, trao đổi nước, mô hình Delft3D.

### MỞ ĐẦU

Đặc điểm thủy động lực (TĐL) là yếu tố quan trọng nhất quyết định các quá trình vật lý và sinh địa hóa ở các vùng đầm hồ ven biển. Bất cứ sự biến động nào của các điều kiện TĐL đều có thể dẫn đến thay đổi mạnh mẽ độ mặn, các quá trình xáo trộn cũng như các quá trình sinh-địa-hóa khác. Qua đó, quyết định đến việc tổ chức, hoạt động, vai trò sản xuất của các quần thể sống trong hệ sinh thái [1-4]. Chính vì vậy, những hiểu biết về các điều kiện TĐL có ý nghĩa lớn trong việc đưa ra các định hướng quản lý phù hợp để cân bằng các lợi ích khai thác (du lịch, khai thác cá, nuôi trồng ...) với việc duy trì, phục hồi các điều kiện môi trường, chất lượng nước.

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 biển 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, những công bố liên quan đến điều kiện môi trường, đặc điểm thủy văn, hải văn ở khu vực này còn khá ít. Bài viết này trình bày kết quả mô phỏng đặc điểm TĐL, đánh giá khả năng trao đổi nước ở khu vực đầm Nại dựa trên việc ứng dụng mô hình TĐL 3 chiều, mô hình Delft3D.

## 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: 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 [5].

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 [6].

Số liệu khảo sát nhiệt độ và 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 từ cơ sở dữ liệu WOA13 với độ phân giải 0,25 độ [7].

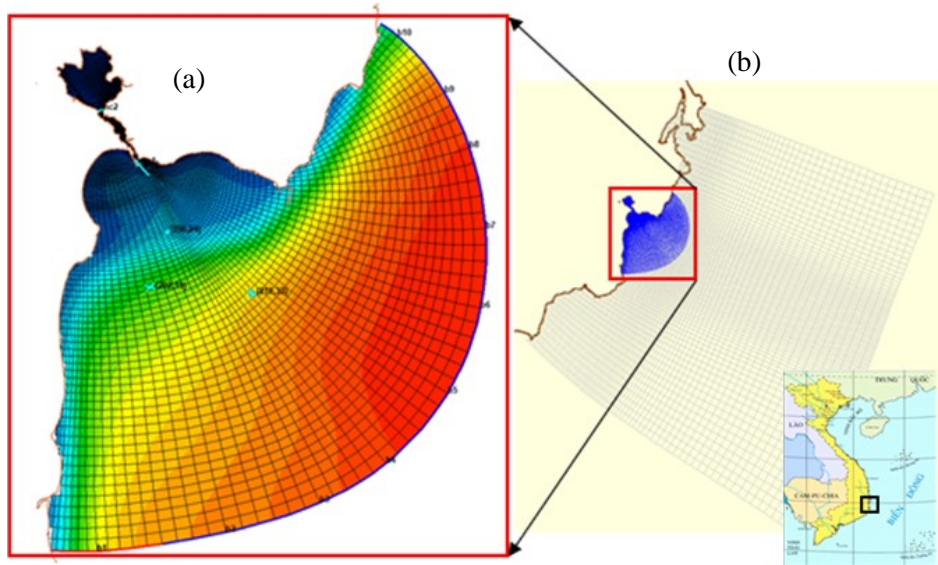
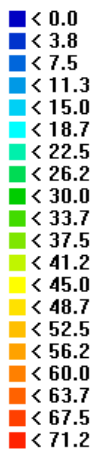
### Phương pháp

Trong nghiên cứu này, các phương pháp chính sau đã được sử dụng:

*Phương pháp GIS* để số hóa, xử lý và cập nhật số liệu địa hình.

*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.

Độ sâu



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

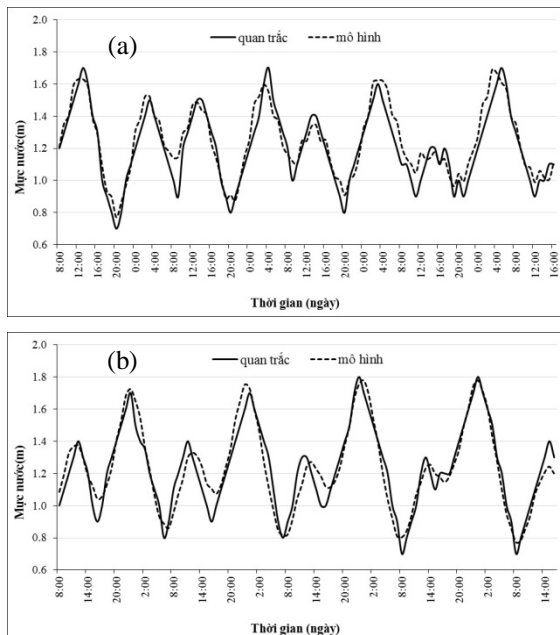
*Phương pháp lưới lồng* (NESTING) được sử dụng trong nghiên cứu này để tạo ra các điều kiện biên mở phía biển của mô hình [8]. Để tạo các file số liệu cho điều kiện biên mở biển của mô hình với lưới chi tiết (cho vùng đầm Nại), một mô hình với lưới thô hơn cùng thời gian tính toán, cùng kiểu lưới tính ở phía ngoài đã được thiết lập. Mô hình lưới thô có kích thước  $91 \times 87$  điểm tính và sử dụng hệ lưới cong trực 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  $\sigma$ . 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.

Trong nghiên cứu này, các điều kiện TĐL được mô hình hóa bằng module TĐL (Delft3D-

Flow) của hệ thống mô hình Delft3D của Hà Lan. Đây là hệ thống mô hình có thể mô phỏng tốt điều kiện TĐL - sóng, vận chuyển trầm tích, biến động địa hình ở vùng cửa sông ven bờ [8]. Mô hình TĐL cho khu vực đầm Nại và ven bờ Ninh Thuận sử dụng hệ lưới cong trục giao có phạm vi vùng tính bao gồm các vùng nước của 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  $233 \times 69$  điểm tính, kích thước các ô lưới biến đổi từ 6,5 đến 953,8 m (hình 1a). Theo chiều thẳng đứng, toàn bộ cột nước được chia làm 4 lớp độ sâu theo hệ tọa độ  $\sigma$ . Lưới độ sâu được thiết lập trên cơ sở lưới tính và bản đồ địa hình của khu vực. Mô hình được thiết lập và tính đến cả các quá trình nhiệt - muối và ảnh hưởng của sóng.

Mô hình TĐL được thiết lập và chạy với các mùa đặc trưng trong năm: mùa khô (tháng 6 - 7 năm 2013); mùa mưa (tháng 9 - 10 năm 2013). Bước thời gian chạy của mô hình là 0,1 phút.



**Hình 2.** So sánh kết quả tính mực nước từ mô hình và quan trắc tại khu vực phía trong cửa đầm Nại: a- mùa khô (26/7 - 30/7/2013); b- mùa mưa (19/10 - 23/10/2013)

Điều kiện ban đầu của các kịch bản hiện trạng là các kết quả tính toán sau ngày cuối trong chuỗi tính toán khởi tạo (trong các file restart) của tháng 6 (mùa khô) và tháng 9 (mùa mưa). Số liệu đề cung cấp cho các biên mở phía biển là kết quả tính toán từ mô hình phía ngoài sau đó sử dụng phương pháp NESTHD để tạo các file số liệu nhiệt độ, độ muối, mực nước tại các điểm biên. Đây là các số liệu dạng không dừng (timeserial) với tần suất 1 h/lần.

Trong nghiên cứu này, thể tích nước của đầm được tính dựa trên lưới độ sâu của mô hình và mực triều trung bình trong thời gian tính toán. Tải lượng nước chuyển qua các mặt cắt được tính trung bình từng giờ theo kết quả của mô hình. Thể tích nước của đầm và lượng nước chuyển qua mặt cắt tính cho hai trường hợp: đầm Nại chỉ tính từ cầu Tri Thủy trở vào (không tính đến lạch Tri Thủy) và đầm Nại tính cả lạch Tri Thủy. Khả năng trao đổi nước giữa đầm Nại và vùng biển phía ngoài được đánh giá bằng phương pháp của Dronkers và Zimmerman (1982) [9].

*Hiệu chỉnh, kiểm chứng kết quả tính của mô hình*

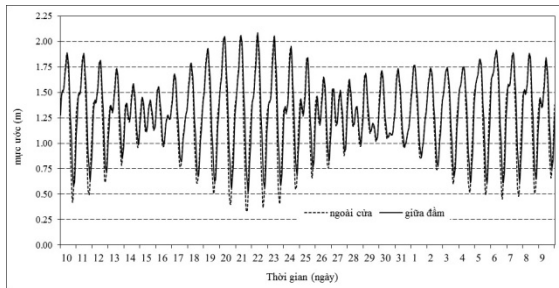
Các kết quả tính toán của mô hình đã được kiểm chứng thông qua việc so sánh với số liệu quan trắc. So sánh kết quả tính toán mực nước từ mô hình với mực nước quan trắc tại các trạm ở các khu vực giữa đầm Nại, cửa đầm phía trong (hình 2) và cửa đầm Nại phía ngoài biển cho thấy khá phù hợp kể cả về pha 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 dòng 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.

## KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### Biến đổi của mực nước triều trong đầm Nại

Vùng ven biển Ninh Thuận nằm trong khu vực chuyên tiếp của chế độ thủy triều mang tính chất nhật triều không đều ở phía bắc và chế độ triều mang tính chất bán nhật triều không

đều ở phía nam. Vì vậy mặc dù thủy triều vẫn có tính chất nhật triều không đều nhưng có đặc điểm dao động mực nước khá phức tạp. Độ lớn triều phổ biến dao động trong khoảng 0,5 - 2,0 m. Trong 1 tháng có khoảng 16 - 18 ngày nhật triều. Tuy nhiên cũng có tháng số ngày nhật triều chỉ là 14 - 15 ngày. Những ngày bán nhật triều xuất hiện cả trong kỳ triều cường và triều kém (hình 3). Hàng tháng có khoảng 4 - 6 ngày nhật triều liên tục sau đó mực nước chuyển sang chế độ triều mang tính chất hỗn hợp trong khoảng 5 - 7 ngày.

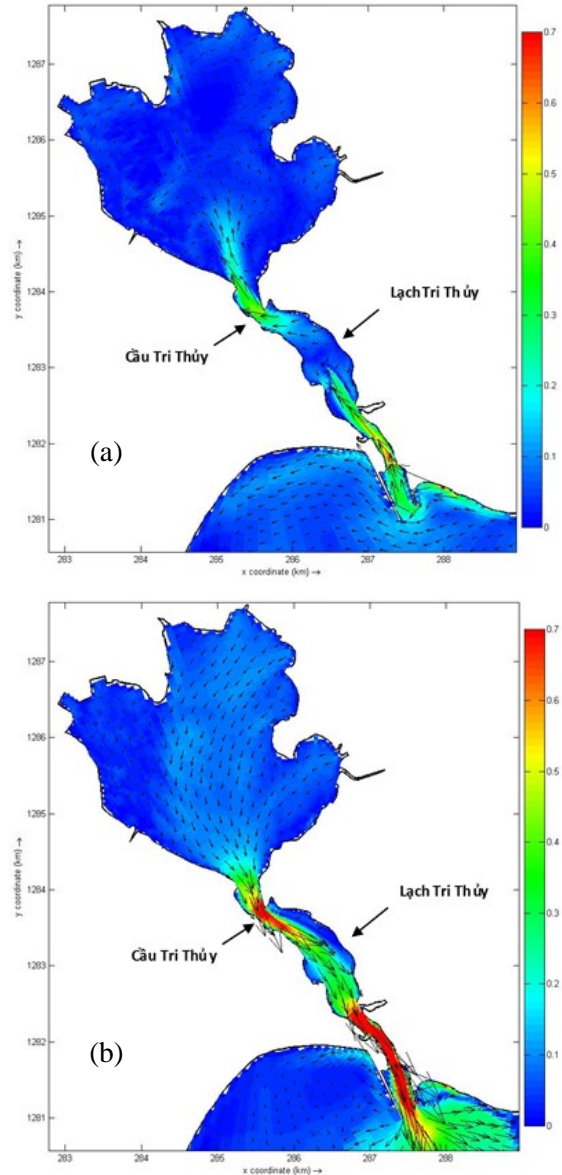


**Hình 3.** Dao động mực nước ở vùng biển phía ngoài và trong đầm Nại (10/7-10/8/2013)

Các nghiên cứu liên quan về sự truyền triều từ biển vào các đầm ven biển qua các cửa đã chỉ ra rằng biên độ triều sẽ giảm trong khi pha xuất hiện các cực trị (nước lớn, nước ròng) sẽ trễ so với vùng biển phía ngoài [10]. Tuy nhiên sự thay đổi các đặc trưng triều ở trong đầm so với phía ngoài rất khác nhau ở các đầm ven biển và phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau như tính chất triều ở vùng biển phía ngoài, đặc điểm của kênh dẫn (độ rộng, sâu, chiều dài), lượng nước ngọt chảy vào đầm ... Ở khu vực đầm Nại, biên độ triều phía trong đầm giảm từ 0,05 - 0,2 m so với biên độ triều ở phía ngoài, những ngày triều kém biên độ triều trong đầm giảm ít hơn so với những ngày triều cường. Thời gian xuất hiện nước lớn ở phía trong đầm Nại chậm hơn so với vùng biển phía ngoài chỉ khoảng 1 giờ. Trong khi đó, thời gian xuất hiện nước ròng ở phía trong đầm thường chậm hơn vùng biển phía ngoài cửa khoảng 1 - 3 giờ, những ngày triều kém thời gian xuất hiện nước ròng ở phía trong đầm chỉ chậm hơn ở ngoài cửa khoảng 1 giờ.

**Biến động dòng chảy ở khu vực Đầm Nại**

Khu vực đầm Nại có điều kiện động lực yếu do sự trao đổi nước giữa đầm và vùng nước biển phía ngoài chỉ diễn ra qua một cửa lạch hẹp (hình 1). Các kết quả tính toán cho thấy dòng chảy ở khu vực này luôn biến động theo không gian và thời gian theo dao động của mực nước thủy triều.

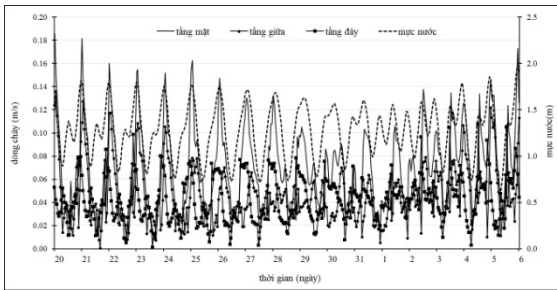


**Hình 4.** Trường dòng chảy (m/s) khu vực đầm Nại trong mùa mưa (a-triều lên, b-triều xuống)

Trong pha triều lên, các khối nước biển xâm nhập vào phía trong đầm Nại qua cửa lạch

khá hẹp. Vận tốc dòng chảy có giá trị tương đối lớn ở khu vực cửa đầm với giá trị phổ biến trong khoảng 0,4 - 0,5 m/s. Qua cầu Tri Thủy, vận tốc dòng chảy giảm dần với giá trị phổ biến trong khoảng 0,07 - 0,15 m/s. Do đặc điểm địa hình nên trường dòng chảy phía trong đầm Nại ở pha triều này khá phân tán, tạo thành các hoàn lưu nhỏ ngược chiều kim đồng hồ ở khu vực phía tây nam và cùng chiều kim đồng hồ ở khu vực phía đông - đông bắc của đầm. Các hoàn lưu nhỏ này xuất hiện rõ rệt hơn trong khoảng 3 - 5 giờ ở cuối pha triều lên (hình 4a).

Trong pha triều xuống, các khối nước trong đầm Nại di chuyển ra biên qua cửa đầm. Vận tốc dòng chảy ở khu vực cửa đầm biến đổi khoảng 0,5 - 0,7 m/s. Trường dòng chảy phía trong tương đối đồng nhất về hướng với giá trị vận tốc phổ biến trong khoảng 0,1 - 0,2 m/s (hình 4b).



**Hình 5.** Biến động vận tốc dòng chảy khu vực giữa đầm Nại trong mùa mưa (20/10-06/11/2013)

Ở phía trong đầm Nại, thời gian dừng chảy xuất hiện trước thời điểm nước lớn khoảng 2 - 3 giờ. Trong khi đó, thời gian dừng chảy ở thời kỳ nước ròng kéo dài khoảng 2 - 4 giờ xuất hiện trước, trong và sau khi nước ròng.

Mặc dù độ sâu của đầm Nại khá nhỏ nhưng sự phân tầng về giá trị của dòng chảy khá rõ rệt. Đặc biệt là thời điểm nửa cuối của pha triều lên và nửa đầu của pha triều xuống, sự chênh lệch giá trị vận tốc dòng chảy giữa tầng mặt và các tầng dưới có thể lên tới 0,05 - 0,1 m/s (hình 5). Trong các kỳ triều, sự phân tầng về hướng và giá trị dòng chảy có xu hướng tăng lên vào những ngày triều cường và giảm xuống vào những ngày triều kém. Theo không gian, sự phân tầng của dòng chảy khá nhỏ ở khu vực

cửa đầm và càng sâu vào phía trong đầm, sự phân tầng này càng tăng lên. Điều này tương ứng với sự xáo trộn của các khối nước giảm dần từ ngoài cửa đầm Nại vào phía trong (phía bắc của đầm).

### Đặc điểm trao đổi nước của Đầm Nại

Một trong những tiêu chuẩn quan trọng nhất để đánh giá chất lượng môi trường nước và quản lý môi trường ở các đầm hồ ven biển là khả năng trao đổi nước của đầm với vùng biển bên ngoài. Để đánh giá khả năng trao đổi nước này, hiện nay người ta thường dùng chỉ số thời gian cần thiết để thay toàn bộ lượng nước trong đầm bằng nước biển (flushing time hoặc residence time). Ngày nay chỉ số này (F) còn được dùng để đánh giá trao đổi vật chất (dinh dưỡng, hữu cơ hòa tan và các chất gây ô nhiễm) giữa đầm và biển [11].

Chỉ số F ở khu vực đầm Nại phụ thuộc chặt chẽ vào dao động mực nước triều. Trong những ngày triều cường chỉ số này có thể xuống tới giá trị 1,67 ngày nhưng vào những ngày triều kém thời gian cần để thay nước cho đầm Nại tăng lên, chỉ số F có thể lên tới 4,24 ngày. Các kết quả tính trung bình trong 1 tháng cho thấy thời gian cần thiết để thay toàn bộ nước trong đầm Nại là 2,41 ngày vào mùa khô và 2,51 ngày trong mùa mưa. Nếu tính cả lạch Tri Thủy thì thời gian cần để thay đổi khối nước của đầm Nại và lạch Tri Thủy là 2,63 ngày (mùa mưa) và 2,56 ngày trong mùa khô (bảng 1). Mặc dù trong mùa mưa, có sự tham gia của các khối nước ven đầm đi vào nhiều hơn, lượng nước từ đầm chảy ra tăng làm giảm lượng nước từ biển vào đầm. Trong mùa mưa, các khối nước từ biển cũng ít có điều kiện xâm nhập sâu vào phía trong của đầm Nại so với mùa khô, vì vậy chỉ số F ở khu vực đầm Nại trong mùa khô nhỏ hơn so với mùa mưa. Các kết quả tính toán cũng cho thấy vai trò rất quan trọng của dao động triều đến khả năng trao đổi nước ở khu vực này.

Đầm Nại có diện tích và độ sâu tương đối nhỏ và nằm trong vùng có biên độ triều trung bình so với các vùng biển khác ở nước ta. Đó là các điều kiện thuận lợi để tăng cường khả năng trao đổi nước giữa đầm và vùng biển phía ngoài. Tuy nhiên, đầm Nại nằm khá sâu trong đất liền, sự trao đổi nước phải qua một lạch hẹp

dài tới gần 2 km. Chính điều này làm giảm khả năng trao đổi nước, cũng như tăng chỉ số F ở khu vực này. Liên hệ với đầm Lăng Cô (Thừa Thiên-Huế) có diện tích lớn hơn đầm Nại (khoảng 2 lần), độ sâu trung bình nhỏ hơn, biên độ triều ở khu vực rất nhỏ nhưng chiều dài cửa đầm ngắn (khoảng 1 km) bằng một nửa so với đầm Nại nên chỉ số F ở đầm Lăng Cô gần như tương đương với đầm Nại với giá trị trung bình

khoảng 2,5 ngày. So với một số đầm ven biển trên thế giới, chỉ số F ở khu vực đầm Nại tương đối tốt. Chỉ số F trung bình ở đầm Venice (Ý) theo công bố của Rapaglia và nnk (2010) là 5,8 - 6,0 ngày [12]; đầm Great Barrier Reef (Úc), chỉ số này là khoảng 40 ngày ở vùng phía trong và 14 ngày ở vùng phía ngoài [13]; đầm Chiku (tây nam Đài Loan) chỉ số này là 5,8 ngày [14].

**Bảng 1.** Đặc điểm trao đổi nước ở khu vực đầm Nại (tính trung bình 1 tháng)

Khu vực	Mùa mưa				Mùa khô			
	Thể tích (triệu m <sup>3</sup> )	Lượng chảy (triệu m <sup>3</sup> /ngày)		F (ngày)	Thể tích (triệu m <sup>3</sup> )	Lượng chảy (triệu m <sup>3</sup> /ngày)		F (ngày)
		chảy ra	chảy vào			chảy ra	chảy vào	
Đầm Nại*	19,975	8,382	7,518	2,513	19,856	8,377	8,073	2,414
Đầm Nại** (tính cả lạch Tri Thủy)	23,898	10,019	8,166	2,628	23,760	9,551	9,034	2,557

Ghi chú: \* mặt cắt tính trao đổi nước ở ngang cầu Tri Thủy

\*\* mặt cắt tính trao đổi nước ở ngang kè chắn sóng phía ngoài cửa

## KẾT LUẬN

Các đặc điểm TĐL ở khu vực đầm Nại chịu sự chi phối chính của dao động mực nước thủy triều. Đây là yếu tố có ảnh hưởng quyết định đến đặc điểm dòng chảy và khả năng trao đổi nước của đầm.

Dao động mực nước ở khu vực nghiên cứu khá phức tạp do là vùng chuyển tiếp của vùng nhật triều không đều và bán nhật triều không đều. Các đặc điểm hình thái địa hình đã làm cho đặc điểm thủy triều ở trong đầm Nại thay đổi so với vùng biển phía ngoài: biên độ triều giảm 0,05 - 0,2 m, thời gian xuất hiện nước lớn chậm hơn khoảng 1 giờ, thời gian xuất hiện nước ròng chậm hơn ở vùng biển phía ngoài khoảng 1 - 3 giờ.

Dòng chảy trong đầm có vận tốc khá nhỏ với giá trị không lớn hơn 0,2 m/s. Trường dòng chảy khá phân tán trong pha triều lên và tương đối đồng nhất về vận tốc và hướng trong pha triều xuống. Theo chiều thẳng đứng mặc dù độ sâu của đầm Nại khá nhỏ nhưng sự phân tầng về giá trị của dòng chảy khá rõ rệt ở nửa cuối của pha triều lên và nửa đầu của pha triều xuống, sự chênh lệch giá trị vận tốc dòng chảy giữa tầng mặt và các tầng dưới có thể lên tới 0,05 - 0,1 m/s.

Khả năng trao đổi nước giữa đầm Nại và vùng biển phía ngoài tương đối tốt so với các đầm khác ở Việt Nam và trên thế giới. Trong các điều kiện thời tiết bình thường, thời gian cần thiết để thay nước trong đầm bằng nước từ biển là 2,4 - 2,7 ngày.

**Lời cảm ơn:** Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn tới Bộ Khoa học và Công nghệ, Viện Tài nguyên và Môi trường biển (Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam), Ban chủ nhiệm đề tài trọng điểm cấp nhà nước (KC.08.25/11-15) đã cho phép sử dụng nguồn số liệu của đề tài và hỗ trợ kinh phí để hoàn thành công trình này. Các tác giả cũng chân thành cảm ơn những nhận xét, góp ý hết sức quý báu của các phản biện trong quá trình chỉnh sửa hoàn thiện bài báo.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Brambati, A., 2000.* Coastal sediments and biota as indicators of Hg contamination in the Marano and Grado Lagoons. *Materials and Geoenvironment*, **48**(1): 165-171.
2. *Ferrarin, C., and Umgiesser, G., 2005.* Hydrodynamic modeling of a coastal lagoon: the Cabras lagoon in Sardinia, Italy. *Ecological Modelling*, **188**(2): 340-357.

3. Cucco, A., and Umgiesser, G., 2006. Modeling the Venice Lagoon residence time. *Ecological Modelling*, **193**(1): 34-51.
4. Petti, M., and Bosa, S., 2004. Pollution transport in the lagoon of Grado and Marano: a two dimensional modelling approach. In *River Flow* (pp. 1183-1192).
5. Jones, M. T., Weatherall, P., Cramer, R. N., 2009. User guide to the centenary edition of the GEBCO Digital Atlas and its data sets. Natural Environment Research Council.
6. 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.
7. T. Boyer, Ed.; A. Mishonov, Technical Ed., 2013. World Ocean Atlas 2013 Product Documentation. Ocean Climate Laboratory, NODC/NESDIS/NOAA. Silver Spring, MD 20910-3282.
8. *Delft Hydraulics*, 2003. Delft3D-FLOW User Manual; Delft3D-WAQ User Manual
9. Dronkers, J., and Zimmerman, J. T. F., 1982. Some principles of mixing in tidal lagoons. *Oceanologica Acta*, Special issue.
10. Ferla, M., Cordella, M., Michielli, L., and Rusconi, A., 2007. Long-term variations on sea level and tidal regime in the lagoon of Venice. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **75**(1): 214-222.
11. Monsen, N. E., Cloern, J. E., Lucas, L. V., and Monismith, S. G., 2002. A comment on the use of flushing time, residence time, and age as transport time scales. *Limnology and Oceanography*, **47**(5): 1545-1553.
12. Rapaglia, J., Ferrarin, C., Zaggia, L., Moore, W. S., Umgiesser, G., Garcia-Solsona, E., Garcia-Orellana, J., and Masqué, P., 2010. Investigation of residence time and groundwater flux in Venice Lagoon: comparing radium isotope and hydrodynamical models. *Journal of environmental radioactivity*, **101**(7): 571-581.
13. Wang, Y., Ridd, P. V., Heron, M. L., Stieglitz, T. C., and Orpin, A. R., 2007. Flushing time of solutes and pollutants in the central Great Barrier Reef lagoon, Australia. *Marine and Freshwater Research*, **58**(8): 778-791.
14. Hung, J. J., and Kuo, F., 2002. Temporal variability of carbon and nutrient budgets from a tropical lagoon in Chiku, Southwestern Taiwan. *Estuarine, coastal and shelf science*, **54**(5): 887-900.

## CHARACTERISTICS OF HYDRODYNAMICS AND FLUSHING TIME IN NAI LAGOON (NINH THUAN) - RESULTS BASED ON THE DELFT3D

Vu Duy Vinh, Nguyen Van Quan

*Institute of Marine Environment and Resources-VAST*

**ABSTRACT:** This paper presents the results of research and estimate on the hydrodynamic characteristics and flushing time in Nai lagoon (Ninh Thuan province). The 3D model was set up based on Delft3D modelling system and calibration, validation through measured data of currents, water elevation in typical seasons (rainy and dry). The results showed that tidal amplitude in the lagoon decreases 0.05 - 0.2 m compared to the value in the open sea. The tidal lag in the lagoon is about 1 hour (high tide) and about 1 - 3 hours for low tide. Current velocity in Nai lagoon is always less than 0.2 m/s. Flushing time in Nai lagoon is fairly good compared with other lagoons in Vietnam as well as in the world with the value of about 2.4 - 2.7 days.

**Key words:** Nai lagoon, hydrodynamics, flushing time, Delft3D model.