

Water exchange in Van Phong bay, Khanh Hoa province by hydrodynamic model

Tran Van Chung^{1,*}, Nguyen Huu Huan¹, Thai Ngoc Chien²

¹*Institute of Oceanography, VAST, Vietnam*

²*Research Institute for Aquaculture No. 3, Ministry of Agriculture and Rural Development, Vietnam*

*E-mail: tvanchung@gmail.com

Received: 2 August 2020; Accepted: 26 December 2020

©2021 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

Abstract

The analysis of the average wind field from 1979 to 2018 showed that in the Van Phong bay area, the hydrodynamic process is mainly influenced by tidal currents when the frequency of weak wind accounts for a high proportion and the wind regime is controlled entirely by locality and less likely to alter tidal currents significantly. Based on the shallow water hydrodynamic finite element model (FEM), a two-dimensional hydrodynamic model has been developed for Van Phong bay to study hydrodynamic features, especially exchange capacity of seawater with the open sea. The results show that the daily average daily exchange of water in Van Phong bay is about $1,845.46 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$, equivalent to 34.7% water volume in the bay. In the rainy season, the typical daily average water exchange in Van Phong bay is about $2,136.04 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$, equivalent to 43.19% of the volume of water in the bay. In the dry season, the typical daily average total water exchange in Van Phong bay is about $1,825.56 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$, corresponding to 34.35% of water volume in the bay.

Keywords: Water exchange, tide, current, two-dimensional (2D) nonlinear model, finite element method (FEM).

Trao đổi nước tại vịnh Vân Phong, Khánh Hòa từ kết quả mô hình số trị thủy động lực

Trần Văn Chung^{1,*}, Nguyễn Hữu Huân¹, Thái Ngọc Chiến²

¹*Viện Hải dương học, Viện Hàn Lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Việt Nam*

²*Viện Nghiên cứu nuôi trồng thủy sản III, Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, Việt Nam*

*E-mail: tvanchung@gmail.com

Nhận bài: 2-8-2020; Chấp nhận đăng: 26-12-2020

Tóm tắt

Các phân tích trường gió trung bình từ năm 1979–2018 đã cho thấy rằng trong vịnh Vân Phong, quá trình thủy động lực chịu ảnh hưởng chính bởi dòng triều khi mà tần suất gió yếu chiếm tỷ lệ khá cao và chế độ gió chịu ảnh hưởng hoàn toàn bởi tính địa phương và ít có khả năng thay đổi đáng kể tốc độ dòng triều. Dựa trên mô hình phần tử hữu hạn thủy động lực nước nông (FEM), mô hình thủy động lực hai chiều đã được phát triển cho vịnh Vân Phong, nhằm nghiên cứu các đặc điểm thủy động lực và đặc biệt là khả năng trao đổi nước biển với biển mở. Kết quả cho thấy: Tổng lượng nước trao đổi trung bình ngày trong vịnh Vân Phong khoảng $1.845,46 \times 10^6$ m³/ngày, tương đương 34,7% thể tích nước trong vịnh. Trong đó vào mùa mưa, tổng lượng nước trao đổi trung bình ngày điển hình trong vịnh Vân Phong khoảng $2.136,04 \times 10^6$ m³/ngày, trao đổi 43,19% lượng thể tích nước trong vịnh. Vào mùa khô, tổng lượng nước trao đổi trung bình ngày điển hình trong vịnh Vân Phong khoảng: $1.825,56 \times 10^6$ m³/ngày, trao đổi 34,35% lượng thể tích nước trong vịnh.

Từ khóa: Trao đổi nước, thủy triều, dòng chảy, mô hình hai chiều phi tuyến, phương pháp phần tử hữu hạn.

MỞ ĐẦU

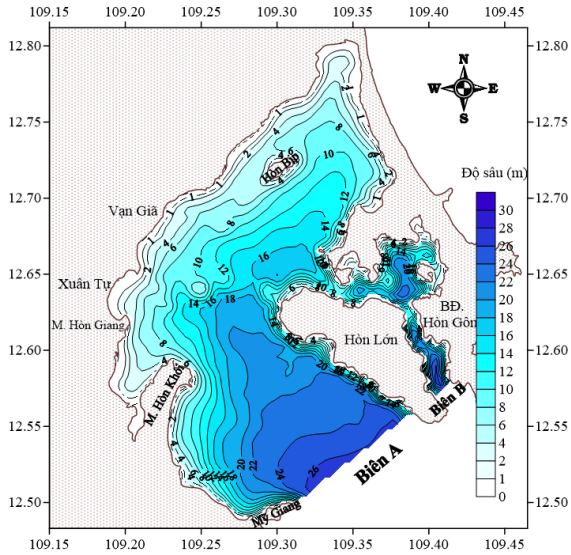
Vịnh Vân Phong nằm giới hạn trong khoảng 109°10'–109°26' kinh độ Đông và 120°29'–120°48' vĩ độ Bắc. Vịnh cách Nha Trang về phía bắc hơn 30 km theo đường chim bay, 60 km đường bộ và 40 hải lý theo đường biển. Phía tây vịnh Vân Phong (cách bờ vịnh 20–30 km) là phần kéo dài của dãy Trường Sơn. Phía đông nam cửa vịnh rộng 17 km thông ra Biển Đông. Phía đông bắc là bán đảo Hòn Gốm gồm các dãy núi nhỏ và cồn cát kéo dài nên tránh được sóng. Phía đông nam nằm giữa bán đảo Hòn Gốm, Hòn Lớn và đảo Cổ Cò, là dải nước hẹp có chiều rộng 200 m có độ sâu trung bình 25 m, là kênh tàu tự nhiên rất thuận lợi. Tổng diện tích khu vực này khoảng 150.000 ha; trong đó diện tích mặt nước vùng vịnh khoảng 80.000 ha và diện tích đất liền

khoảng 70.000 ha. Khu vực này có địa hình phong phú, đặc biệt là hệ thống đảo, bán đảo, vịnh sâu và kín gió, bờ và bãi biển, cồn cát hấp dẫn và là khu vực có hệ sinh thái đa dạng như rừng nhiệt đới, rừng ngập mặn, động thực vật biển nông ven bờ (theo https://vi.wikipedia.org/wiki/V%E1%BB%8Bnh_V%C3%A2n_Phong). Vịnh Vân Phong là một trong ba địa điểm có điều kiện tự nhiên tốt nhất tại Việt Nam để xây dựng cảng biển lớn (hai địa điểm còn lại là Cam Ranh và Vũng Rô).

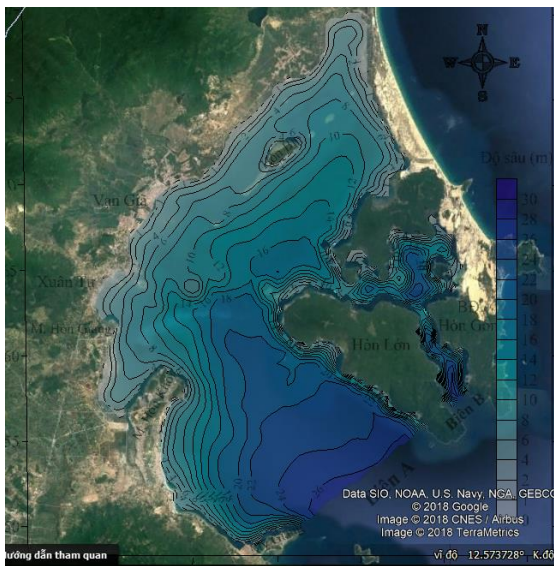
Riêng tại khu vực vịnh Vân Phong, có các công trình nghiên cứu về chế độ dòng chảy theo phương pháp phần tử hữu hạn đã được thực hiện [1–3] và vùng gần kề có hình dạng gần tương đồng như Vũng Rô [4], Cam Ranh [5, 6], Đám Bầy (Nha Trang) [7], Nha Trang [8] và Bình Cang - Nha Trang [9] và các

vùng khác như Vịnh Phan Thiết [10], vịnh Bắc Bộ [11].

TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP



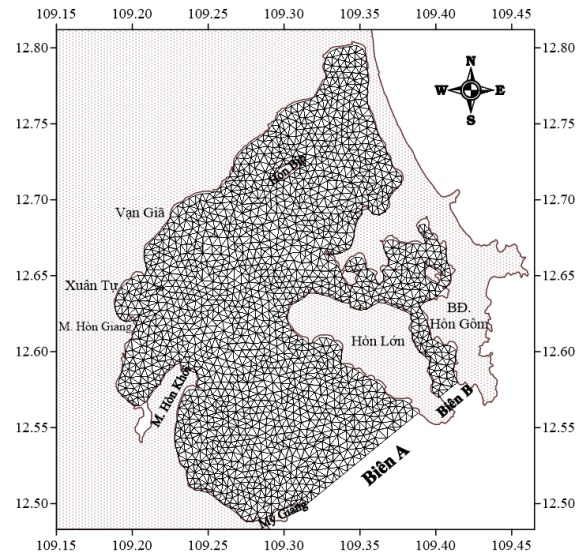
Hình 1. Trường độ sâu (m) khu vực nghiên cứu



Hình 2. Trường độ sâu (m) làm khớp trên bản đồ Google Earth

Để tính dòng chảy cho vịnh Vân Phong, chúng tôi đã thiết lập mạng lưới tính với kinh độ từ 109,186°E đến 109,409°E, vĩ độ từ 12,487°N đến 12,797°N. Mạng lưới tam giác được thiết lập với góc cực tiểu là 30°, diện tích

cực đại 2.756.112 m², trung bình 116.282 m², cực tiểu 52.988 m². Trong đó, diện tích mặt thoáng cho tính toán là 431,6 km², tương ứng với 2.025 điểm nút nằm ngang và 3.712 lưới tam giác. Các nút được gán để đưa vào điều kiện biên mở cho dao động thủy triều là 28 nút, trong đó biên mở ở tại A (gọi là Biên A) là 23 nút, biên tại B (gọi là Biên B) là 5 nút, có thể xem chi tiết trên hình 1, hình 3. Độ sâu cực tiểu được tính toán 0,1 m, bước thời gian 100 s, số vòng lặp mỗi bước thời gian 100, hàm trọng số $\theta = 1$ (sai phân theo bước thời gian hoàn toàn ổn vì vậy bài toán ổn định không điều kiện), hệ số nhám đáy $c_d = 0,0026$ (theo đề nghị của đề tài KT.03.03 [12]). Làm khớp trên bản đồ Google earth cho trường độ sâu (hình 2) và mạng lưới tam giác (hình 4).

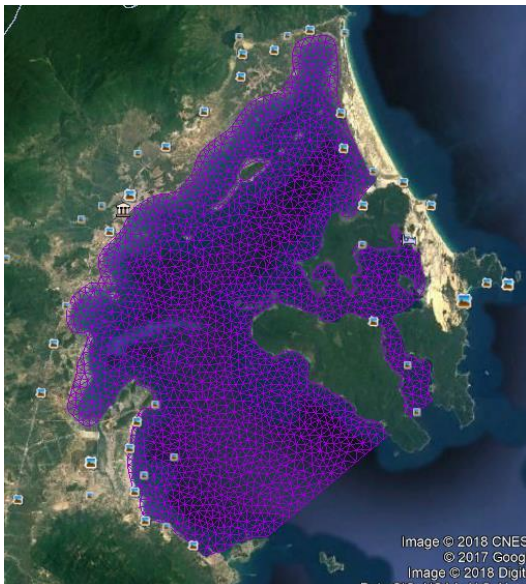


Hình 3. Mạng lưới tam giác cho nghiên cứu chế độ dòng chảy

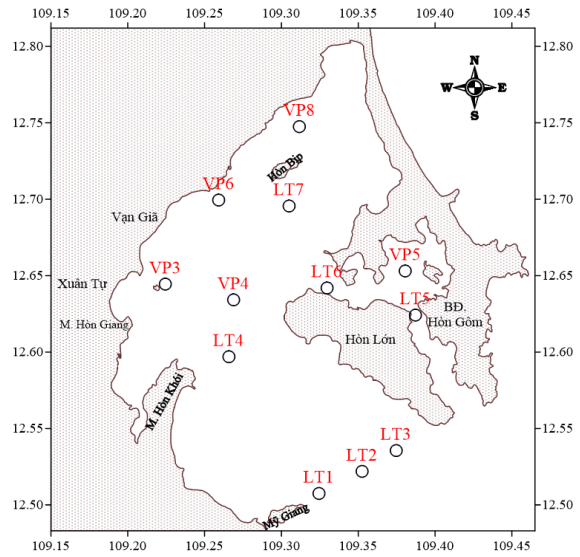
Dữ liệu được thu thập từ 4 chuyến khảo sát bổ sung vào tháng 5, 8, 10 và 12/2016. Trên hình 5 là các trạm vị khảo sát vật lý - môi trường, trong đó các trạm được thực hiện “VP” đo mặt rộng các trạm ký hiệu “LT” còn đo thêm liên tục 1 ngày đêm theo ôp 6 giờ.

Để phân tích chế độ gió trong vịnh Vân Phong (vị trí trên hình 6), chúng tôi đã sử dụng dữ liệu gió được cung cấp từ NCEP CFSR từ năm 1979–2018 với tần suất 1 giờ/số liệu [13]. Kết quả phân tích cho thấy, tốc độ gió trong khu vực vịnh Vân Phong yếu, với tốc độ gió từ

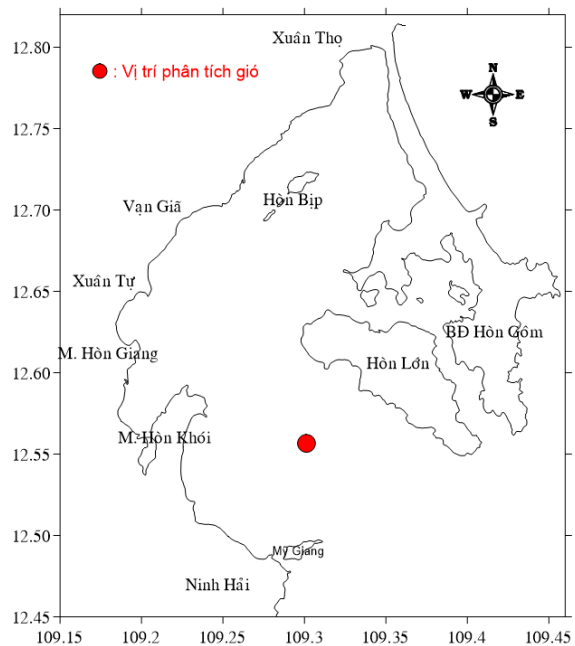
(0–4 m/s) chiếm tới 56,3%. Hướng gió có tần suất xuất hiện nhiều nhất trong vịnh Vân Phong, thể hiện ảnh hưởng của chế độ gió mùa Đông Bắc với 3 hướng điển hình đó là hướng bắc (N), chiếm tần suất xuất hiện cao nhất trong năm 16,4% (hình 7), tiếp đến bắc đông bắc (NNE) chiếm 11,6% và bắc tây bắc (NNW) chiếm 8,5% (hình 9). Trong khi đó theo phân tích tại trạm khí tượng Nha Trang [8], tác động gió mùa Đông Bắc được thể hiện với 3 hướng chính là hướng đông bắc (NE) có tần suất xuất hiện trong năm là 20,73%, hướng bắc đông bắc (NNE) với tần suất xuất hiện 11,56% và hướng bắc (N) chỉ với tần suất xuất hiện 10,52% (hình 7); với trạm đo khí tượng Tuy Hòa thì thể hiện trong ba hướng gió chiếm ưu thế là hướng bắc đông bắc (NNE) với tần suất xuất hiện 19,31%, đông bắc (NE) chiếm 16,35%; bắc (N) chiếm 10,57% (hình 8). Trong đó, tác động chính của mùa gió Tây Nam đến vịnh Vân Phong theo 3 hướng chính hướng tây (W) (8,1%), tây tây nam (WSW) (5,9%) và bắc tây bắc (WNW) (5,7%) (hình 9). Khi đó tại trạm đo khí tượng Nha Trang với hướng ưu thế là đông nam (SE) với tần suất cao nhất trong các hướng gió xuất hiện trong khu vực này, chiếm 23,05% (hình 7); tại trạm Tuy Hòa thì gió mùa Tây Nam được đặc trưng bởi hướng gió chính là tây (W) chiếm 10,01% (hình 8).



Hình 4. Mạng lưới tam giác được làm khóp trên Google Earth

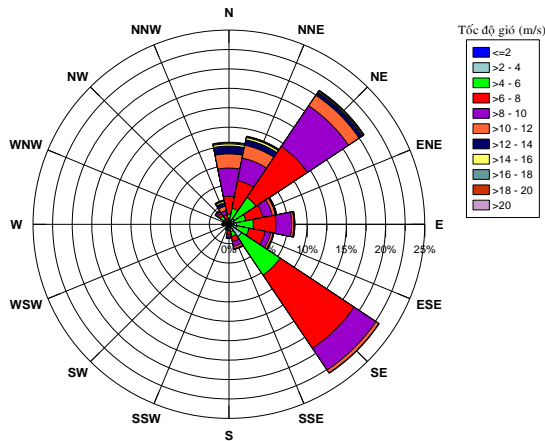


Hình 5. Các trạm đo cho hiệu chỉnh mô hình

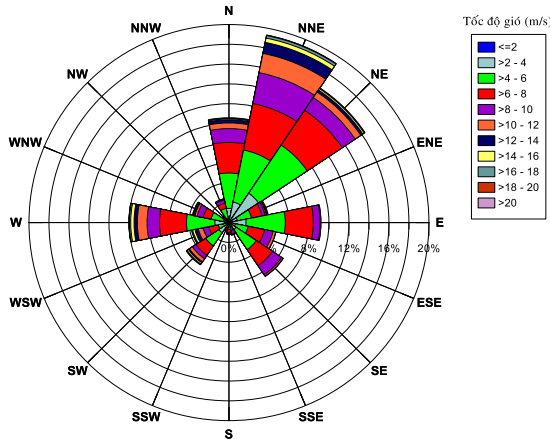


Hình 6. Vị trí phân tích chế độ gió

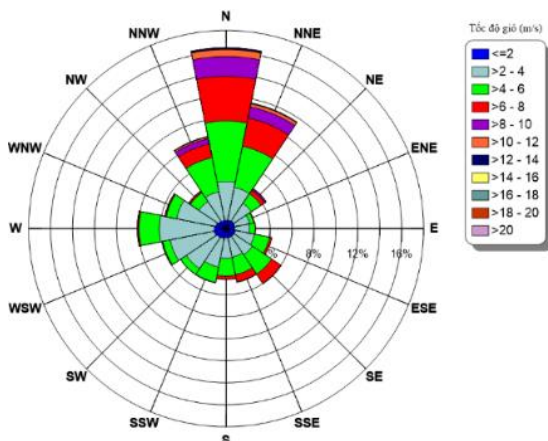
Do kết quả nghiên cứu tập trung chính vào phân tích trao đổi nước nên phương pháp nghiên cứu, tính tin cậy của mô hình trong ứng dụng tại vịnh Vân Phong có thể tham khảo trong công trình công bố của nhóm tác giả Bùi Hồng Long và Trần Văn Chung (2006, 2009) [1, 2] và Trần Văn Chung (2016) [3].



Hình 7. Hoa gió tại khu vực Nha Trang (109°20'E; 12°13'N)



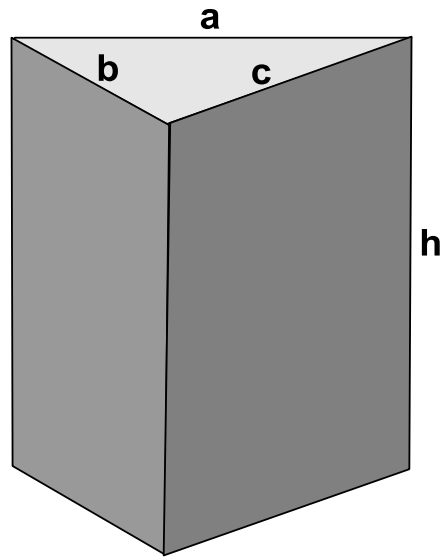
Hình 8. Hoa gió tại khu vực Tuy Hòa (109°17'E; 13°05'N)



Hình 9. Hoa gió tại Vân Phong theo số liệu NCEP CFSR (109°18'4,41"E; 12°33'23,78"N)

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU Xác định diện tích và thể tích các tiểu vùng nghiên cứu

Chia vùng tính thành các hình lăng trụ tam giác nhỏ, thể tích của mỗi lăng trụ tam giác được tính như sau:



Hình 10. Lăng trụ tam giác của các điểm lưới phân tử

$$p_i = \frac{a + b + c}{2}$$

$$S_i = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)} \quad (1)$$

$$V_i = S_i \times h$$

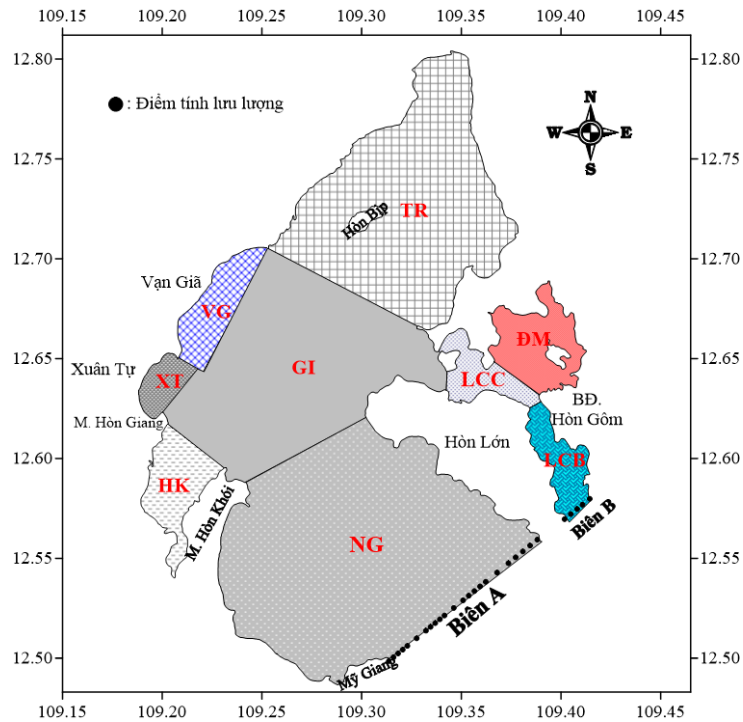
Trong đó: p : Nửa chu vi tam giác phần tử; h : Độ sâu mực nước tính trung bình của tam giác phần tử; S_i : Diện tích tam giác phần tử i ; V_i : Thể tích của lăng trụ tam giác phần tử i .

Diện tích toàn bộ vùng tính:

$$S = \sum_{i=1,n} S_i; V = \sum_{i=1,n} V_i$$

Trong đó: n : Tổng số ô lưới tam giác.

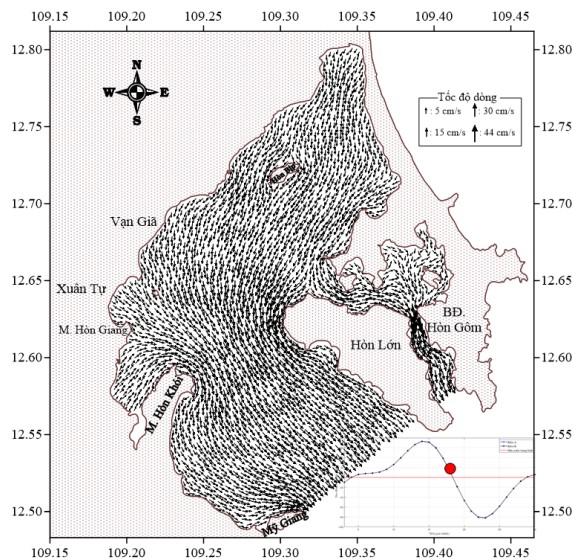
Để tính trao đổi nước qua mặt cắt từ bên ngoài vào vịnh Vân Phong, được phân tích từ 28 điểm với 23 điểm tính tại mặt cắt cửa lớn (biên A) và 5 điểm tính qua mặt cắt cửa nhỏ (biên B) để xác định lưu lượng qua mặt cắt liên quan đến trao đổi nước thể hiện trên hình 11.



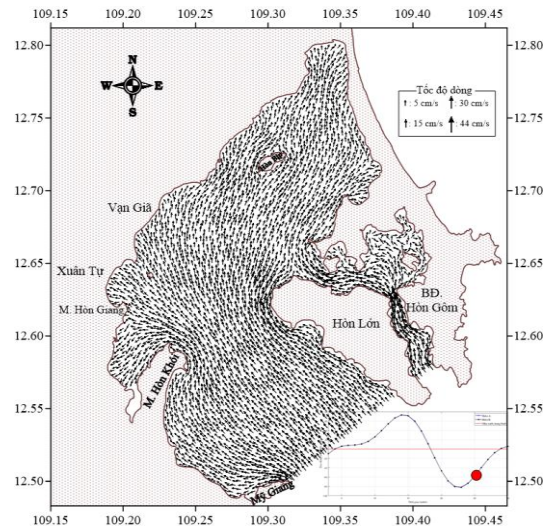
Hình 11. Sơ đồ các phân vùng dùng cho tính toán trao đổi nước

Ghi chú: **TR**: vùng ảnh hưởng khu vực trong vịnh; **VG**: vùng ảnh hưởng khu vực Vạn Giã; **XT**: vùng ảnh hưởng Xuân Tụ; **HK**: vùng ảnh hưởng Khu vực Hòn Khói; **GI**: vùng ảnh hưởng khu vực giữa vịnh; **NG**: vùng ảnh hưởng khu vực gần cửa vịnh; **LCC**: vùng ảnh hưởng khu vực Lạch Cỏ Cò; **DM**: vùng ảnh hưởng khu vực Đầm Môn; **LCB**: vùng ảnh hưởng khu vực Lạch Cửa Bé.

Ảnh hưởng do dao động triều



Hình 12. Phân bố dòng chảy trung bình theo độ sâu cho pha triều xuống



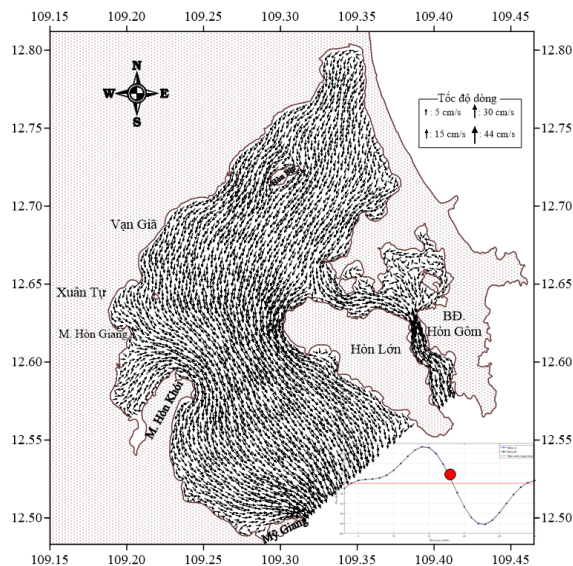
Hình 13. Phân bố dòng chảy trung bình theo độ sâu cho pha triều lên

Theo kết quả tính thì tổng lượng nước trao đổi trung bình ngày điển hình (do ảnh hưởng

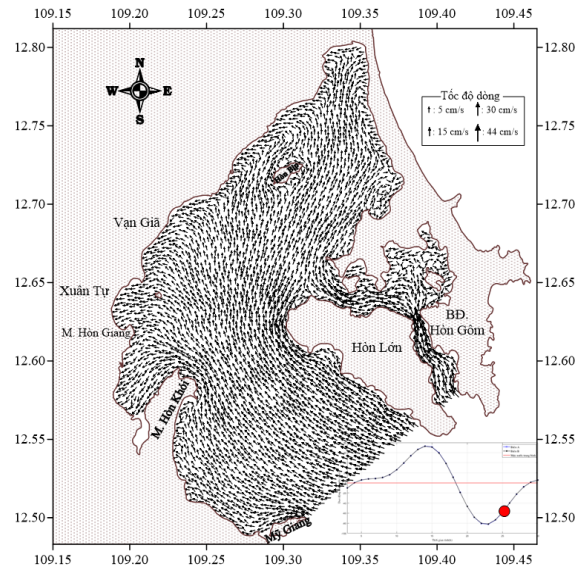
của triều) trong vịnh Vân Phong khoảng: $1.845,46 \times 10^6$ m³/ngày (trao đổi 34,7 %/ngày lượng nước trong vịnh). Trong đó ở pha triều lên (hình 12), lượng nước trao đổi trong 1 giờ: thấp nhất: $2,70 \times 10^6$ m³; trung bình: $57,08 \times 10^6$ m³; cao nhất: $124,52 \times 10^6$ m³. Ở pha triều xuống (hình 13), lượng nước trao đổi trong 1 giờ: Thấp nhất: $38,79 \times 10^6$ m³; trung bình: $96,71 \times 10^6$ m³; cao nhất: $128,17 \times 10^6$ m³.

Ảnh hưởng trong mùa mưa

Vào mùa mưa ở tỉnh Khánh Hòa được bắt đầu từ tháng 8 đến tháng 12 [14], đây là cơ sở cho chúng tôi tính toán ảnh hưởng của mùa mưa lên vịnh Vân Phong. Theo tính toán trung bình theo các tháng chịu ảnh hưởng mùa mưa thì tổng lượng nước trao đổi trung bình ngày điển hình trong vịnh Vân Phong khoảng: $2.136,04 \times 10^6$ m³/ngày (thay thế 43,19%/ngày lượng thể tích nước trong vịnh). Trong đó ở pha triều lên (hình 14), lượng nước trao đổi trong 1 giờ: Thấp nhất: $38,47 \times 10^6$ m³; trung bình: $81,56 \times 10^6$ m³; cao nhất: $145,34 \times 10^6$ m³. Ở pha triều xuống (hình 15), lượng nước trao đổi trong 1 giờ: Thấp nhất: $45,74 \times 10^6$ m³; trung bình: $96,40 \times 10^6$ m³; cao nhất: $125,46 \times 10^6$ m³.

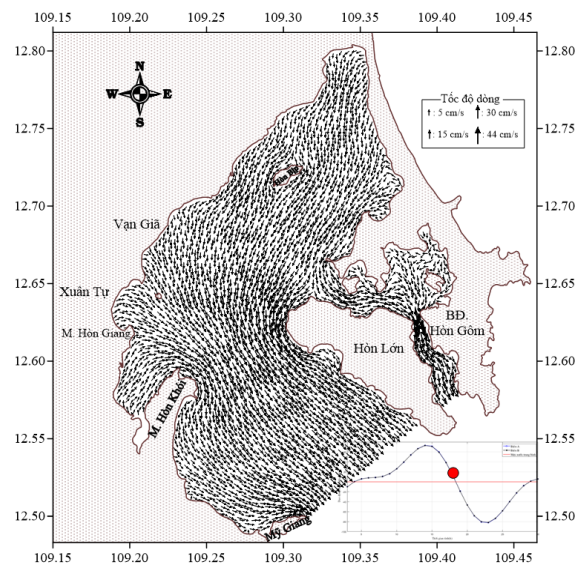


Hình 14. Phân bố dòng chảy trung bình theo độ sâu điển hình cho pha triều xuống trong mùa mưa



Hình 15. Phân bố dòng chảy trung bình theo độ sâu điển hình cho pha triều lên trong mùa mưa

Ảnh hưởng trong mùa khô



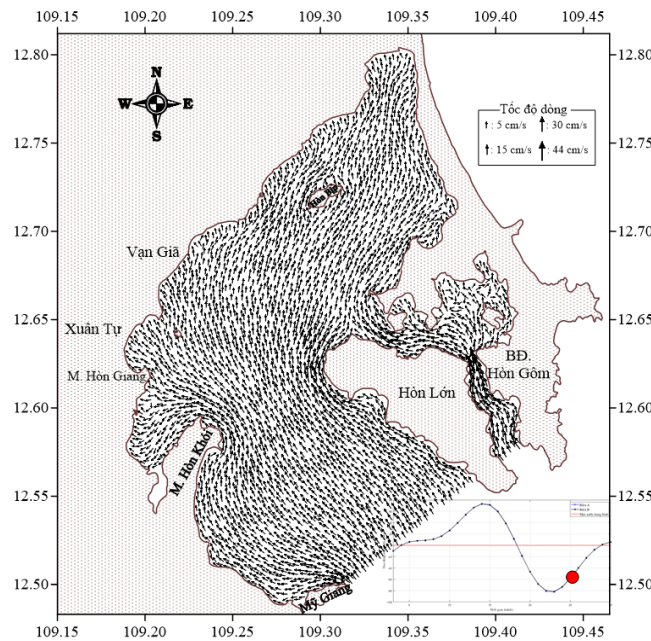
Hình 16. Phân bố dòng chảy trung bình theo độ sâu điển hình cho pha triều xuống trong mùa khô

Vào mùa khô ở tỉnh Khánh Hòa được kéo dài từ tháng 1 đến tháng 7 [11], theo kết quả mô phỏng thì tổng lượng nước trao đổi trung bình ngày điển hình trong vịnh Vân Phong khoảng: $1825,56 \times 10^6$ m³/ngày (trao đổi

khoảng 34,35 %/ngày lượng thể tích nước trong vịnh). Trong đó ở pha triều lên (hình 16), lượng nước trao đổi trong 1 giờ: Thấp nhất: $5,98 \times 10^6 \text{ m}^3$; trung bình: $37,40 \times 10^6 \text{ m}^3$; cao nhất: $124,71 \times 10^6 \text{ m}^3$. Ở pha triều xuống (hình 17), lượng nước trao đổi

trong 1 giờ: Thấp nhất: $40,08 \times 10^6 \text{ m}^3$; trung bình: $76,35 \times 10^6 \text{ m}^3$; cao nhất: $128,54 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Chi tiết trao đổi nước theo các phân vùng trong chế độ mùa được thể hiện đầy đủ trong bảng 1.



Hình 17. Phân bố dòng chảy trung bình theo độ sâu điển hình cho pha triều lên trong mùa khô

Bảng 1. Thông tin trao đổi nước đặc trưng trong các phân vùng vịnh Vân Phong

Vùng	TR	VG	XT	HK	GI	NG	LCC	ĐM	LCB	Tổng
Diện tích (km ²)	106,00	14,50	6,55	16,15	103,10	156,50	10,04	18,06	10,65	441,55
Thể tích ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	700,43	41,35	9,14	40,58	1234,87	2830,41	105,57	187,90	164,85	5315,09
Trao đổi nước đặc trưng ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{ngày}$)	243,27	14,36	3,17	14,09	428,88	983,03	36,66	65,26	57,25	1845,98
Trao đổi nước mùa mưa ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{ngày}$)	511,84	70,49	30,71	77,14	504,51	760,46	44,37	87,48	49,05	2136,04
Trao đổi nước mùa khô ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{ngày}$)	456,94	61,70	28,77	65,02	408,60	647,21	41,72	78,61	36,98	1825,56
Trao đổi nước mùa mưa (%/ngày)	23,96	3,30	1,44	3,61	23,62	35,60	2,08	4,10	2,30	100%
Trao đổi nước mùa khô (%/ngày)	25,03	3,38	1,58	3,56	22,38	35,45	2,29	4,31	2,03	100%

Ghi chú: TR: vùng ảnh hưởng khu vực trong vịnh; VG: vùng ảnh hưởng khu vực Vạn Giã; XT: vùng ảnh hưởng Xuân Tụ; HK: vùng ảnh hưởng Khu vực Hòn Khôi; GI: vùng ảnh hưởng khu vực giữa vịnh; NG: vùng ảnh hưởng khu vực gần cửa vịnh; LCC: vùng ảnh hưởng khu vực Lạch Cỏ Cò; ĐM: vùng ảnh hưởng khu vực Đầm Môn; LCB: vùng ảnh hưởng khu vực Lạch Cửa Bé.

NHẬN XÉT VÀ THẢO LUẬN

Các phân tích trường gió trung bình cập nhập từ năm 1979–2018 đã cho thấy rằng

trong vịnh Vân Phong, tác động của trường gió không lớn, nên quá trình thủy động lực chịu ảnh hưởng phần lớn bởi dòng triều khi

mà hầu hết tần suất gió yếu chiếm tỷ lệ cao và chế độ gió chịu ảnh hưởng hoàn toàn bởi tính địa phương và ít có khả năng thay đổi đáng kể tốc độ dòng triều. Theo phân tích phân bố dòng, tuy có sự tác động lệch hướng dòng triều khi có tác động của mùa gió Đông Bắc nhưng do tính chất dòng yếu và ảnh hưởng địa hình khu vực nên các dòng chảy chính vẫn thay đổi không đáng kể. Từ phân tích tác động của dòng triều, cơ chế dòng vào - ra trong vịnh khá đặc trưng. Sự tương đồng về độ lớn và ngược hướng giữa hai pha triều đã thể hiện rõ ràng trong mô phỏng.

Tổng lượng nước trao đổi trung bình ngày trong vịnh khoảng $1.845,46 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ngày}$, trao đổi 34,7% thể tích nước trong vịnh. Trong đó ở pha triều lên, lượng nước trao đổi trong 1 giờ: Thấp nhất: $2,70 \times 10^6 \text{ m}^3$; trung bình: $57,08 \times 10^6 \text{ m}^3$; cao nhất: $124,52 \times 10^6 \text{ m}^3$. Ở pha triều xuống, lượng nước trao đổi trong 1 giờ: Thấp nhất: $38,79 \times 10^6 \text{ m}^3$; trung bình: $96,71 \times 10^6 \text{ m}^3$; cao nhất: $128,17 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Vào mùa mưa, tổng lượng nước trao đổi trung bình ngày điển hình trong vịnh Vân Phong khoảng: $2.136,04 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ngày}$, trao đổi 43,19% lượng thể tích nước trong vịnh. Ở pha triều lên, lượng nước trao đổi trong 1 giờ trung bình: $81,56 \times 10^6 \text{ m}^3$, với pha triều xuống, lượng nước trao đổi trong 1 giờ trung bình khoảng $96,40 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Vào mùa khô, tổng lượng nước trao đổi trung bình ngày điển hình trong vịnh Vân Phong khoảng: $1.825,56 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ngày}$, trao đổi 34,35% lượng thể tích nước trong vịnh. Trong đó ở pha triều lên, lượng nước trao đổi trong 1 giờ trung bình: $37,40 \times 10^6 \text{ m}^3$, trong khi ở pha triều xuống, lượng nước trao đổi trong 1 giờ trung bình: $76,35 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Trong những năm gần đây, chất lượng nước và hệ sinh thái của vịnh Vân Phong đã bị ảnh hưởng mạnh mẽ bởi công nghiệp ven biển, nuôi trồng thủy sản và đô thị hóa, có thể dẫn đến suy thoái môi trường sống. Sẽ hiệu quả hơn khi đề xuất các kế hoạch phục hồi vật lý phù hợp dựa trên cơ sở quá trình thủy động lực đã biết. Hiểu rõ hơn về các đặc điểm thủy văn/động lực của vịnh Vân Phong và khả năng trao đổi nước của nó với biển mở tạo điều kiện cho việc đề xuất các phương án dựa trên vật lý theo cách hiệu quả nhất. Với những số liệu khảo sát còn hạn

chế và tốn kém, việc phát triển mô hình thủy động lực học cho vịnh Vân Phong là cần thiết. Áp dụng thành công mô hình thủy động lực rất hữu ích trong việc hiểu rõ hơn về hải dương học khu vực và cũng như trong việc đề xuất hiệu quả các phương án phục hồi dựa trên quá trình vật lý. Từ đó đưa ra các giải pháp, các thông số kỹ thuật tương đối chính xác để các nhà quản lý có chính sách hoạch định, quy hoạch các công trình - dịch vụ biển một cách hợp lý, tiết kiệm tránh lãng phí không cần thiết, góp phần hạn chế tai biến thiên nhiên,...

Lời cảm ơn: Bài báo đã sử dụng nguồn tài liệu từ đề tài tỉnh Khánh Hòa: “Nghiên cứu xác định các yếu tố không bền vững của nghề nuôi tôm hùm trên biển tại huyện Vạn Ninh và đề xuất các giải pháp khắc phục” (2014–2017) và đề tài VAST.UDCN.01/14–15 “Nghiên cứu ứng dụng thử nghiệm máy bay không người lái (UAV) kết hợp với một số thiết bị khoa học chuyên dụng (máy ảnh chuyên dụng, phổ kế phản xạ) trong nghiên cứu thủy văn và môi trường vùng nước nông ven bờ (điểm triển khai khu vực Phú Yên - Bình Thuận)”. Xin gửi lời cảm ơn chân thành đến Ban chủ nhiệm các đề tài, đồng nghiệp trong nhóm nghiên cứu đã góp ý và hỗ trợ giúp chúng tôi hoàn thành bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Long, B. H., and Chung, T. V., 2006. Experimental calculation of three dimension (3D) current model in Van Phong bay. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 6(1), 12–27. (in Vietnamese).
- [2] Long, B. H., and Chung, T. V., 2009. Calculations of tidal currents in Van Phong bay using the finite element method. *Advances in Natural Science*, 10(4), 495–478.
- [3] Tran Van Chung, 2016. The program simulates the process of material transport in the Van Phong bay. *Khanh Hoa Journal of Science & Technology*, 6, 20–25. ISSN 1859-1981 (in Vietnamese).
- [4] Van Chung, T., and Huan, N. H., 2017. Calculations of current in the vung ro bay using the finite element method. *Vietnam*

- Journal of Marine Science and Technology*, 17(2), 121–131. <https://doi.org/10.15625/1859-3097/9249> (in Vietnamese).
- [5] Long, B. H., and Van Chung, T., 2008. Simulation results of the tidal current regime in Camranii bay using finite element method. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 8(4), 19–35. (in Vietnamese).
- [6] Bui Hong Long, Tran Van Chung and Vu Tuan Anh, 2008. Dynamic characteristics and water exchanged process of the Cam Ranh bay. *Proceedings of first symposium: Marine geology & sustainable development of Vietnam*, pp. 687–696. (in Vietnamese).
- [7] Long, B. H., and Van Chung, T., 2014. Calculations of tidal currents in Bay lagoon (Nha Trang bay) using finite element method. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 14(4), 332–340. (in Vietnamese).
- [8] Tran Van Chung, Ngo Manh Tien and Vo Van Quang, 2020. Development of a wave-current model through coupling of FEM and SWAN models in Nha Trang bay. *DTU Journal of Science and Technology*, 43(6), 1–8. ISSN 1859-4905 (in Vietnamese).
- [9] Van Chung, T., and Long, B. H., 2014. Hydrodynamical characteristics of binh cang-nha trang waters from models: FEM and ECOSMO. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 14(4), 320–331. (in Vietnamese).
- [10] Long, B. H., and Van Chung, T., 2012. Study on the current regime in phan thiet bay using 3D nonlinear finite element method. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 12(4), 1–14. (in Vietnamese).
- [11] Van Chung, T., and Long, B. H., 2015. Some calculated results of current in the Gulf of Tonkin by using nonlinear three dimensional (3D) model. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 15(4), 320–333. <https://doi.org/10.15625/1859-3097/7377> (in Vietnamese).
- [12] National marine investigation program KHCN-06 (Pham Van Ninh (chief editor), 2003. East Vietnam Sea (Marine hydrometeorology and dynamics), Vol. 2, *Vietnam National University Press, Hanoi*, 565 p. (in Vietnamese).
- [13] Tran Van Chung and Ngo Manh Tien, 2019. Characteristics of wind regime in Van Phong Bay over 40 years (1979-2018) from NCEP CFSR. *Khanh Hoa Journal of Science & Technology*, 4, 16–19. ISSN 1859-1981 (in Vietnamese).
- [14] Nguyen Huu Ho, Nguyen Tan Hung, Bui Minh Son, Truong Thi Phuong Thao, Nguyen Van Thang, Thieu Quang Tam, Vo Anh Kiet, Nguyen Van Ly, Nguyen Dinh Thanh and Bui Hong Long, 2003. Summary report of research on the topic: Hydro-climate characteristics of Khanh Hoa province, 216 p. (in Vietnamese).